

**SIENIJUURTEN HYÖDYT PORKKANALLE JA MAHDOLLISUUDET
HYytiÄISEN TILALLA**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö
Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma, Mustiala
Syksy, 2020
Henri Hyytiäinen

Tekijä	Henri Hyytiäinen	Vuosi 2020
Työn nimi	Sienijuurten hyödyt porkkanalle ja mahdollisuudet Hyytiäisen tilalla	
Ohjaajat	Heikki Pietilä	

TIIVISTELMÄ

Sienijuurisymbioosit mahdollistavat monia hyötyjä symbioosissa elävälle isäntäkasville ja elinympäristölle. Työssäni kuvaan sienijuurisymbioosin monimuotoisia vaikutuksia ja hyötyjä porkkanan kasvatuksessa. Pohdin myös sienijuurten hyödyntämisen edellytyksiä Hyytiäisen tilalla, sekä sen mahdollistavia muutoksia tilan toimintaan. Työn tavoite on koota porkkana-sienijuri-symbioosin hyödyistä ja haitoista tutkittua tietoa helposti luettavaan muotoon. Työn tilaajana toimii Hyytiäisen tila ja Arto Hyytiäinen, jotka ovat erikoistuneet porkkanan viljelyyn.

Keräsienet muodostavat symbioosin useimpien viljelykasvien, myös porkkanan kanssa. Tutkimukset osoittavat keräsienen lisäävän porkkanan sadon määrää ja laatua onnistuneessa symbioosissa. Hyytiäisen tilan viljelykäytännöissä on useita sienijuurten elinolosuhteita ja symbioosia heikentäviä tekijöitä, kuten intensiivinen muokkaus sekä kemiallisten mineraalilannoitteiden ja fungisidien käyttö. Tavanomaisessa viljelyssä onnistunut mutualistinen symbioosi on vaikeampi toteuttaa kuin luomuviljelyssä. Ratkaisut on pääluokittain jaettu kahteen vaihtoehtoon: luomuviljelyyn siirtyminen tai ongelmallisten toimien korjaus tavanomaisessa tuotannossa.

Avainsanat mykorritsa, sienijuri, keräsienijuri, porkkana

Sivut 38 sivua ja liitteitä 0 sivua

Mustiala

Author Henri Hyytiäinen

Year 2020

Subject The benefits of mycorrhizae on carrot and the possibilities on Hyytiäinen farm

Supervisors Heikki Pietilä

ABSTRACT

Mycorrhizal symbiosis has a lot of advantages for its host plant and for the surrounding nature. In this thesis you will find information on the diverse effects and benefits of mycorrhizal symbiosis on carrot growing. In it I evaluate also the possibilities of benefiting from mycorrhizae on Hyytiäinen farm and the changes to the farm practices enabling it. The intention of the thesis is to gather information on pros and cons of carrot-mycorrhiza-symbiosis in an easy-to-read form. The thesis was commissioned by the Hyytiäinen farm and Arto Hyytiäinen, who specialize in growing carrots.

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) forms a symbiosis with most of field crops as it does with carrot. Multiple researches suggest that in a successful symbiosis the AMF increases the gross and marketable yield of carrot. There are many procedures in the farming practices of Hyytiäinen that weaken the living conditions and symbiosis of the AMF, such as intensive tillage, use of mineral fertilizers and fungicides. It is harder to achieve successful mutualistic symbiosis in conventional farming than it is in organic farming. The solutions can be divided into two main categories: going organic or changing the problematic practices in conventional farming.

Keywords mycorrhizae, AMF, arbuscular mycorrhizal fungi, carrot

Pages 38 pages and appendices 0 pages

Sisälllys

1	Johdanto	1
2	Mykorritsa/Sienijuuri.....	2
2.1	Yleistä	2
2.2	Sienijuurisymbioosit.....	3
3	Keräsienijuuret	3
3.1	Rakenne ja kehittyminen	5
3.2	Vaikutukset isäntäkasville ja maaperälle	6
3.2.1	Ravinteiden keräys	9
3.2.2	Laajat symbioosiverkostot	9
3.2.3	Vaikutukset kasvinterveydelle sekä maaperälle.....	10
3.2.4	Keräsienten vaikutukset porkkananalle.....	11
3.3	Otolliset elinolosuhteet.....	12
3.3.1	Maanmuokkaus ja isäntäkasvi	12
3.3.2	Luomuviljely	14
3.3.3	Fungisidit	14
3.4	Kaupalliset sienijuurivalmisteet.....	15
3.5	Keräsienijuuren esiintyvyyden toteaminen	16
4	Porkkana	17
4.1	Yleistä	17
4.2	Elinolosuhteet	17
4.3	Ravinnetalous.....	18
4.4	Viljelytekniikka	18
4.5	Viljelykierto	18
5	Hyytiäisen tilan viljelykäytännöt ja -olosuhteet.....	19
5.1	Maanmuokkaus.....	19
5.2	Kasvinsuojelu.....	20
5.3	Lannoitus.....	21
5.4	Pelto-olosuhteet	21
6	Pohdinta	22
6.1	Sienijuurten hyötyjä	22
6.2	Sienijuurten vaikutukset porkkanan satoon	23
6.3	Sienijuurten esiintyminen Hyytiäisen tilalla.....	23
6.4	Esiintymistä ja symbioosia heikentävät tekijät Hyytiäisen tilalla	24

6.5	Sienijuurten hyödyntämiseen liittyvät epävarmuudet	25
6.6	Sienijuurten huomioiminen Hyytiäisen tilan viljelykäytännöissä	26
7	Johtopäätökset	29
	Lähteet.....	31

Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1. Keräsienijuuri kolonisoii puna-apilan juurta. a) Rihmasto (hyphae) juuren ulkopuolella ja varastorakkula (vesicle) 40-kertaisella suurennoksella. b) Rihmasto (hyphae) juuren sisällä 150-kertaisella suurennoksella. (Kumar, 2013).....	5
Kuva 2. Piirros keräsienijuuren muodostamista rakenteista isäntäkasvin juuren pintasoluksoon. (Walker, 2013b)	6
Kuva 3. Rakennetyt mallit olosuhteiden vaikutuksesta sienijuuren kolonisaatiolle ja isäntäkasvin biomassalle. (Wilson ym., 2016, s. 8)	8
Kuva 4. Maalajijakauma pääluokittain. (henkilökohtainen tiedonanto tekijälle suullisesti, viljelijä Arto Hyytiäinen, 2.2.2020)	22

1 Johdanto

Sienijuuret ovat maassa eläviä kasvin ja sienien muodostamia yhtenäisiä rakenteita, joilla on monia positiivisia vaikutuksia niin isäntäkasville kuin maaperällekin. Ne parantavat kasvin stressinsietokykyä, lisäävät sen ravinteiden ja veden ottoa sekä parantavat sen vastustuskykyä tuholaisia ja kasvitauteja vastaan. Lisäksi ne parantavat maan ominaisuuksia eroosiota vastaan. (Vestberg & Timonen, 2018, s. 11; Vestberg, Timonen & Lehto, 2018, ss. 13–15). Ilmastonmuutos ja sen myötä lisääntyvät ilmaston ääriolot, uudet kasvitaudit ja -tuholaiset, runsaan sadannan aiheuttama eroosio ja ravinnehuuhtoumat lisäävät riskejä kasvintuotannolle Suomessa (Luonnonvarakeskus, n.d.). Jos maatalouden fosforin kulutus jatkaa kasvamistaan samaa vauhtia kuin se on tähän asti kasvanut, maailman helposti hyödynnettävien raakafosfaattivarantojen arvioidaan loppuvan 50–125 vuoden kuluessa. (Gilbert, 2009, s. 717) Lisäksi EU:n Pellolta pöytään -strategiassa pyritään vähentämään lannoitteiden käyttöä vähintään 20 %, ravinnehuuhtoumia vähintään 50 % ja kasvinsuojeluaineiden käyttöä ja niiden riskejä 50 % vuoteen 2030 mennessä (Ympäristövaliokunta, 2020). Sienijuuret voivat olla osa ratkaisua näihin ongelmiin. Niiden avulla voi olla mahdollista vähentää fosforilannoitusta satotason laskematta, vähentää kasvinsuojeluaineiden käyttöä tai korvata sillä poistuvien valmisteiden suojelevaa vaikutusta kasvinterveydelle (Aaltonen & Vestberg, 2005; Vestberg, Timonen & Lehto, 2018, ss. 13–15) Mutualistiset sienijuurisymbioosit ovat yksi ravinnetaloudellisesti ja ekologisesti tärkeimpiä maaperässä tapahtuvista sieni-kasvisymbiooseista. (Weil & Brady, 2017, s. 516) ”Sienijuuri on ekosysteemin tarjoama palvelu, jota on mahdollista hyödyntää kaikentyyppisessä kasvintuotannossa” (Aaltonen & Vesberg, 2005).

Tässä opinnäytetyössä tavoitteena on kerätä yhteen tutkittua tietoa sienijuurten hyödyistä ja haitoista porkkanan tuotannossa. Lisäksi työssä pohditaan sienijuurten esiintymisen ja hyödyntämisen edellytyksiä Hyytiäisen tilalla. Hyytiäisen tila on tavanomaiseen porkkanan tuotantoon keskittynyt tila Kanta-Hämeessä ja toimii työn tilaajana. Työssä perehdytään porkkanan tuotannossa merkityksellisten sienijuurten otollisiin elinolosuhteisiin, esiintymiseen tilan olosuhteissa ja symbioosin edellytyksiin sekä sen haittoihin ja hyötyihin isäntäkasvin kannalta. Lähteinä työssä pyritään käyttämään tutkittua, julkisesti saatavilla olevaa tietoa sienijuurten osalta ja haastattelutietoa tilan viljelykäytäntöjä selvitettäessä. Työssä pyritään ensisijaisesti vastaamaan

kysymyksiin: ”Mitä hyötyjä tai haittoja sienijuuret tarjoavat porkkanan tuotannossa?”, ”Mitkä edellytykset Hyytiäisen tilalla on sienijuuren esiintymiselle?” ja ”Millä muutoksilla Hyytiäisen tilan viljelykäytännöissä voidaan parantaa sienijuurten hyödyntämisen edellytyksiä tilan porkkanan tuotannossa?”.

2 Mykorritsa/Sienijuuri

2.1 Yleistä

Mykorritsa on maassa elävän sienen ja kasvin juuren muodostama yhtenäinen rakenne, jota kutsutaan myös sienijuureksi (Vestberg & Timonen, 2018, s. 11). Nimitys on lähtöisin kreikan kielen sanoista: ’mukès’, joka tarkoittaa sientä, ja ’rhiza’, joka tarkoittaa juurta (Micropia, n.d.). Ensimmäiset sienijuuret muodostuivat sienten ja vesikasvien välillä, ennen kuin maakasveja oli vielä kehittynyt, yli 400 miljoonaa vuotta sitten (Vestberg & Timonen, 2018, s.11; Parniske, 2008, s. 763). Niitä voidaan pitää elävinä fossiileina, sillä ne ovat säilyneet rakenteeltaan muuttumattomina siitä asti (Parniske, 2008, s. 763). Sienijuurellinen vesikasvi pystyi selviytymään sille normaalia kuivemmissä olosuhteissa, joka johti maakasvien kehittymiseen. Tästä johtuen suurin osa, yli 90 %, maapallon kasveista on lähtökohtaisesti sienijuurellisia. (Vestberg & Timonen, 2018, s. 11)

Sienijuuret voidaan jaotella kolmeen päätyyppiin sen mukaan, kuinka ne käyttäytyvät ja minkälaisia rakenteita ne muodostavat isäntäkasvinsa juurisolukoissa (Vestberg, Timonen & Lehto, 2018, s. 17). Eri sienijuurityypit kehittävät symbioottisen suhteen eri isäntäkasviryhmiin. Endomykorritsa eli sisäsienijuuri muodostaa rihmoja, jotka läpäisevät isäntäkasvinsa soluseinän ja muodostavat rakenteita soluseinän ja solukalvon väliin. Ektomykorritsat eli pintasienijuuret muodostavat rihmoja kasvien solujen väleihin, mutta eivät läpäise soluseiniä. Niiden ominaisuuksiin kuuluu myös isäntäkasvin juuren pinnalle muodostuva sienivaippa. Kolmas ryhmä on ektendomykorritsa eli sekatyypiset sienijuuret. Ne muodostavat rakenteita, joissa on vaihdellen yhtäläisyyksiä niin sisäsienijuurien kuin pintasienijuurien rakenteiden kanssa. Sisäsienijuuriin kuuluvat arbuskelimykorrhitsa eli keräsienijuuri, erikoidimykorrhitsa eli kanervasienijuuri ja orkideamykorrhitsa eli kämmekkäsienijuuri. Keräsienijuurella on laajin valikoima isäntäkasveja. Sen isäntäkasveja ovat esimerkiksi sammaleet, sanikkaiset,

paljassiemeniset sekä useimmat ruohovartiset koppisiemeniset ja jotkin puuvartisista koppisiemenisistä. Kanervasienuuren isäntäkasveja ovat sammaleet ja kanervakasvit. Kämmeikkäsienuuren isäntäkasveja ovat kämmeikkäkasvit. Pintasienuurien isäntäkasveina toimivat koppi- ja paljassiemeniset puut. (Vestberg, Timonen & Lehto, 2018, s. 17–20)

2.2 Sienijuurisymbioosit

Symbioosissa on kaksi osapuolta, jotka sienijuurisymbioosissa ovat sieni ja kasvi. Tässä toiminnassa kasvia kutsutaan isäntäkasviksi ja sientä symbiontiksi. Sienten ja kasvien symbioosit ovat pääasiassa mutualistisia, eli molempia osapuolia hyödyttäviä, mutta joissain tapauksissa suhde voi olla kommensalistinen, jolloin toinen osapuoli hyötyy tilanteesta enemmän kuitenkin aiheuttamatta haittaa toiselle, tai parasiittinen, jolloin toinen osapuoli hyötyy suhteesta toisen haitaksi. Sienen ja kasvin välisessä kanssakäymisessä sieni voi olla myös nekroottinen patogeeni, jolloin se johtaa kanssakäymisissä olevan isäntäkasvin kuolemaan, mutta tällaista tilannetta ei enää lueta kuuluvaksi symbioottiseen suhteeseen. (Vestberg, Timonen & Lehto, 2018, s. 13–14 ja 16) Sienijuuren symbioottisen toiminnan laatu saattaa vaihdella dynaamisesti osapuolten eri kasvuvaiheiden, genotyyppien yhteensopivuuden sekä ulkoisten tekijöiden vaikutuksesta symbioottisen suhteen alusta sen loppuun. Esimerkiksi sienijuurisienen muodostumisen ja kasvun aikana sen vaatima symbioosin hinta saattaa nousta suureksi pienelle kehittyvälle kasville, ja muutaman viikon ajan kasvin itämisestä sienen kasvu saattaa rajoittaa kasvin kehittymistä. Tavallisesti suhde alkaa kääntyä kasville edullisempaan suuntaan siemenestä saatavan energian loputtua. Mutualismi ja parasitismi toimivat ääripäinä tässä sienijuurisymbioositoiminnan jatkumossa, jossa yleisimmin liikutaan mutualistisessa päässä. (Johnson, Graham & Smith, 1997, ss. 578–579)

3 Keräsienijuuret

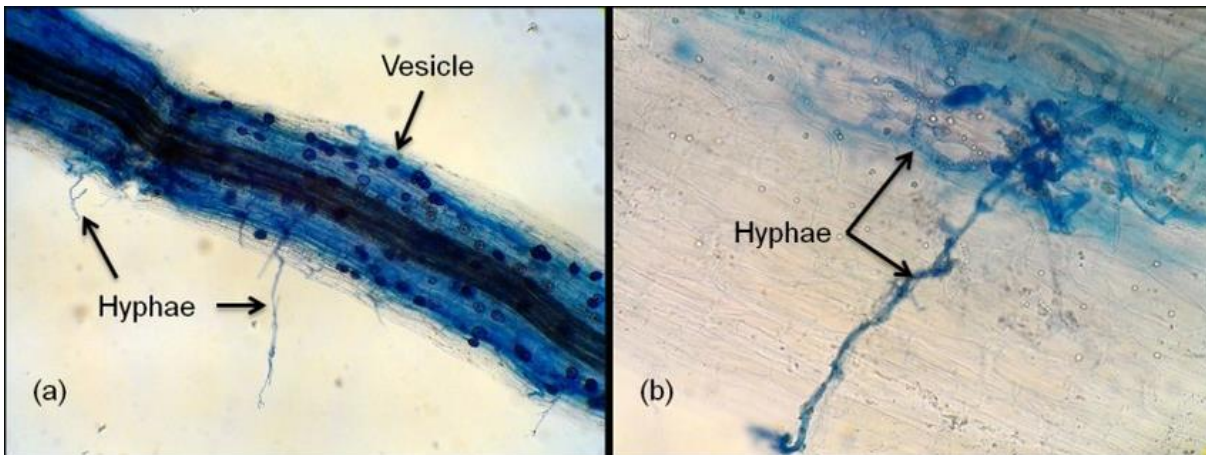
Sienijuurista yleisin kasvin kanssa symbioosin muodostava on keräsieni, joka voi muodostaa symbioottisen suhteen maakasveista noin 80 % kanssa. Se muodostaa symbioottisen suhteen erityisesti ruuantuotannossa käytettävien viljakasvien, vihannesten, hedelmäpuiden sekä palkokasvien kanssa. (Pepe, Giovannetti & Sbrana, 2018, s. 1) Keräsienet eli arbuskelimykorrhizat kuuluvat *Glomeromycetes* -luokkaan, jossa niitä on 23 eri sukua. Vestbergin (2018, s. 43) arvion

mukaan maapallolta löytyy hieman alle 300 keräsienilajia, tosin tämä arvio on epävarma. Toistaiseksi Suomesta on löytynyt 28 eri keräsienilajia 12 eri suvusta. Näistä 20 lajia on löydetty peltomaasta ja 16 muualta luonnosta. (Vestberg, 2018a, s. 43, 46) Suomessa keräsienilajeista *Claroideoglomerus claroideum*, *Glomus hoi* ja *Funneliformis mosseae* kestävät hyvin peltoviljelyssä maanmuokkauksen tuomaa räsitusta. Kansainvälisissä tutkimuksissa peltomaissa kestäviä keräsieniä ovat lisäksi *Rhizophagus intraradices* ja *Funneliformis geosporum*. (Vestberg, 2018a, s. 49) Keräsienijuuresta käytetään yleisesti englannin kielessä lyhennettä AMF (arbuscular mycorrhizal fungi), josta on aiemmin käytetty myös lyhennettä VAM (vesicular arbuscular mycorrhiza) (Walker, 2013a, s. 145).

Sienijuuren toimintaan ja muodostumiseen vaikuttavat niin isäntäkasvin kuin keräsienin perimä. Nykyisten viljelylajikkeiden kehityksessä tehokas sienijuurisymbioosi ei ole ollut jalostuksen kriteerinä. Tästä johtuen maatiaislajikkeet, jotka ovat sopeutuneet niukkaravinteisiin olosuhteisiin, saattaisivat olla nykyajikkeita tehokkaampia symbioottisessa suhteessa. (Palojärvi, 2018, s. 28) Keräsienet tarvitsevat pääsääntöisesti, muutamaa erikoistapausta lukuun ottamatta, isäntäkasvin saavuttaakseen täyden elämänkiertonsa, ja tuottaakseen lisääntymiskykyisiä itiöitä (Parniske, 2008, s. 765; Hildebrandt, Ouziad, Marner & Bothe, 2005, s. 258, 263). Muodostuvien itiöiden määrä ei ole suorassa suhteessa kolonisaation voimakkuuden kanssa, vaan vahvasti kolonisoitunut sienijuuri voi silti tuottaa heikosti itiöitä. Vastavuoroisesti heikosti kolonisoitunut sienijuuri voi tuottaa suuren määrän itiöitä. Itiöiden tuottamiseen vaikuttaa myös esimerkiksi vuosittaiset olosuhdevaihtelut, alueelliset erot sekä sienijuurelle mahdollisesti aiheutettu stressi. Stressin on pohdittu laukaisevan sienijuurelle selviytymistilan, jolloin se tuottaa suuremman määrän itiöitä lisätäkseen selviytymismahdollisuuksiaan. Luonnontilaisessa ekosysteemissä saattaa tämän johdosta esiintyä vähemmän itiöitä kuin aktiivisessa käytössä olevilla. (Moreira, Baretta, Tsai & Cardoso, 2006, s. 383)

3.1 Rakenne ja kehittyminen

Kuva 1. Keräsienijuuri kolonisoi puna-apilan juurta. a) Rihmasto (hyphae) juuren ulkopuolella ja varastorakkula (vesicle) 40-kertaisella suurennoksella. b) Rihmasto (hyphae) juuren sisällä 150-kertaisella suurennoksella. (Kumar, 2013)



Keräsienen pääosat ovat itiö, varastorakkulat ja keräset. Kaikkia osia yhdistää rihmasto. Itiö itää maassa ja alkaa muodostaa rihmasto, joka hakeutuu isäntäkasvin juuren luokse.

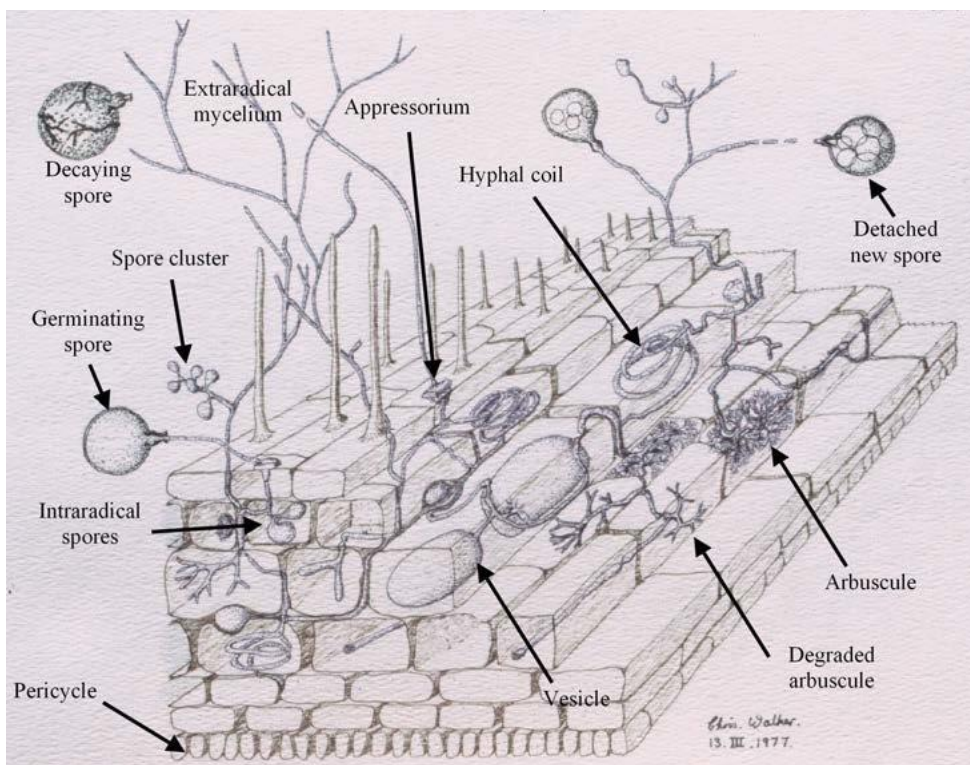
(Yllä olevasta Kuva 1 näkee hyvin mittasuhteet keräsienen rihmaston ja puna-apilan juuren välillä.)

Rihmasto tunkeutuu isäntäkasvin pintasolukon läpi kuorisoluihin, jossa se muodostaa kuorisolujen väleihin varastorakkuloita ja kuorisolujen soluseinien ja solukalvon väliin keräsiä (Kuva 2). Tämän jälkeen juuren ulkopuolinen rihmasto alkaa laajenemaan ja muodostamaan rihmaston itiöitä.

Uusia keräsieniä voi muodostua lisääntymisyksiköistä, joita ovat keräsienten itiöt, kolonisoituneet juuren kappaleet tai rihmasto. Kaikista tehokkaimmin uusi kolonisaatio muodostuu maassa ennestään olevasta ehjästä rihmastosta, joka on taimelle nopeimmin käytettävissä. (Vestberg, 2018b, ss. 65–69) Keräsienen itämisessä kaikki lisääntymisyksiköt ovat yhtä tärkeitä ja tehokkaita. Itiöt ovat kooltaan 0,05–1 mm kokoisia ja säilyvät maaperässä vuosia. Ne leviävät eläinten, tuulen ja työkalujen välityksellä. Niiden leviäminen luonnollisilla tavoilla ei ole montakaan kilometriä, jonka takia tiettyjä lajeja tavataan vain maa- tai mannerkohtaisesti. Itiöillä on keräsienen lajista riippuen eri pituisia ja vahvuisia lepotiloja. Joidenkin lajien itiöt ovat itämiskelpoisia heti ja toisilla horros voi kestää useita kuukausia. Itiöiden itämiseen vaikuttavia tekijöitä ovat lämpötila, maan pH, isäntäkasvin esiintyminen, juuristovyöhykkeellä olevat mikrobit, hiilidioksidipitoisuus ja maaperässä olevat ravinteet, joista erityisesti fosforin esiintyminen. Keräsienijuurten välillä itämiseen lähdössä on eroja sukujen välillä niin kosteusolosuhteissa kuin maan pH:ssakin, lisäksi

itämisen toteutuksessa rihmojen määrässä on eroja. Itiöiden itämiselle parhaat kosteusolosuhteet ovat alle maan kenttäkapasiteetin ja sitä kosteammat olosuhteet, poikkeuksena *Glomus macrocarpum*-, *Claroideoglomus etunicatum*- ja *Rhizophagus clarum* -lajit, jotka itävät myös kuivissa olosuhteissa. Keräsienet toisin kuin useimmat taudinaiheuttajasienet eivät vaadi isäntäkasvia itiöiden itämiseen. (Vestberg, 2018b, ss. 65–69) Tosin keräsieni ei pysty käymään koko elinkaartaan läpi ilman isäntäkasvia. (Parniske, 2008, s. 765)

Kuva 2. Piirros keräsienijuuren muodostamista rakenteista isäntäkasvin juuren pintasoluksoon. (Walker, 2013b)



3.2 Vaikutukset isäntäkasville ja maaperälle

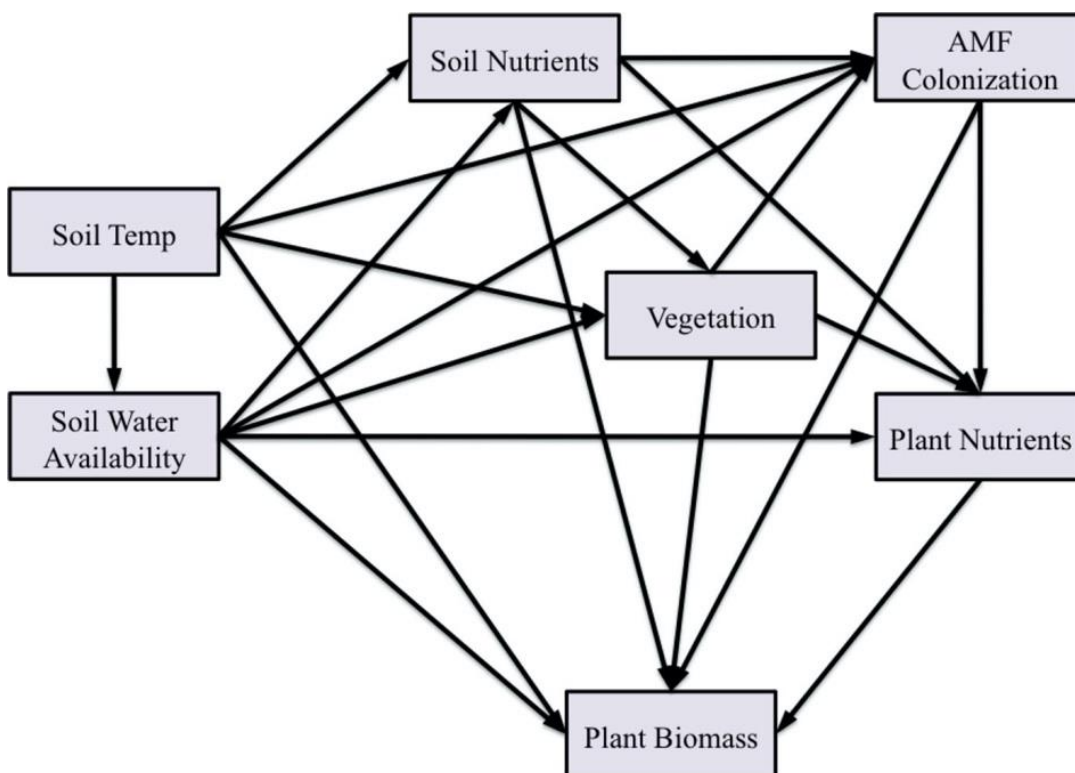
Sienet ovat tehokkaita irrottamaan ja keräämään ravinteita maasta, kun taas kasvit ovat tehokkaita luomaan energiapitoisia yhteyttämistuotteita hiilidioksidista ja auringon energiasta (Vestberg, Timonen & Lehto, 2018, s. 13). Suurin osa maatalouskäytössä olevista kasvilajeista hyötyy sienijuurisymbioosista, erityisesti palkokasvit. Maataloustuotannossa olevista kasviheimoista vain ristikkukaiset (esim. rypsi, rapsi ja kaali) ja savikkakasvit (esim. pinaatti ja juurikkaat) eivät muodosta sienijuurisymbioosia. (Vestberg, Timonen & Lehto, 2018, ss. 13–15) Vilja- ja heinäkasvit hyödyntävät sienijuuria heikosti (Hoppula & Hoppula, 2018). Mutualistisessa

ymbioosissa sieni kerää maasta ravinteita ja vettä kasville, sekä suojaa kasvia taudinaiheuttajia vastaan, ja kasvi luovuttaa sienelle vastavuoroisesti yhteyttämistuotteita. Symbioosissa sienisymbiontti sijaitsee kasvin juuren kuorisolujen välitiloissa ja tekee yhteistyötä kasvin juurisolujen kanssa, kumpikin luovuttaen toistensa tarvitsemia yhdisteitä edes takaisin. Sieni kasvattaa isäntäkasvin ulkopuolelle sienirihmaston, joka levittäytyy maassa isäntäkasvin ympäristöön. (Vestberg, Timonen & Lehto, 2018, ss. 13–15) Sienijuurisienet kolonisoivat pääasiassa voimakkaimmin pieniä, distaalisia juuria. (Guo ym., 2008, ss. 680–681) Rihmaston kanssa juuriston imukykyinen pinta-ala voi olla ehkä jopa 10-kertainen verrattuna kasviin, jolla on käytössään vain oma juuristonsa (Weil & Brady, 2017, s. 517). Rihmaston juuret ovat ohuet ja pystyvät hakeutumaan pienempiin maahuokosiin kuin isäntäkasvin juuret ja näin voivat kerätä ravinteita ja vettä, joka normaalisti olisi isäntäkasvin ulottumattomista. (Vestberg, Timonen & Lehto, 2018, s. 13–15) Rihmat ovat erityisen tehokkaita keräämään itseensä fosfori-ioneita ja voivat irrottaa jopa maahan vahvasti sitoutunutta fosforia (Weil & Brady, 2017, s. 673). Kuivissa olosuhteissa sienijuuret voivat kuljettaa vettä isäntäkasville jopa parikymmenen metrin syvyydestä (Jones, 2017a). Isäntäkasvien sienijuurista saamaa hyötyä verratessa, pääsääntöisesti karkeajuurisimmat kasvit hyötyvät sienijuuriston tarjoamasta rihmastosta eniten (Palojärvi, 2018, s. 28)

Sienijuurisymbioosin vaikutukset ja hyödyt isäntäkasville voivat vaihdella myös kasvin kehitysvaiheen ja iän mukaan. Pienet kasvit tuottavat vähän yhteyttämistuotteita, joten symbioosissa luovutettavien aineiden määrä voi koitua kasville raskaaksi ja johtaa kasvin kasvun hidastumiseen suhteessa sienijuurettomaan yksilöön. Myöhäisemmässä kasvuvaiheessa kasvin yhteyttämistuotteiden tuotanto on suurempi, joten sienijuuren ylläpito voi olla kasville helpompaa, jolloin kasvin kasvu saattaa nopeutua suhteessa sienijuurettomaan yksilöön. Kasvilajin kasvutiheydellä sekä kasvutiheyden ja saatavilla olevan fosforin yhteisvaikutuksella on havaittu olevan vaikutusta sienijuuren luomaan isäntäkasvin sadonlisään. Se, kuinka suuri vaikutus on tai onko sitä ollenkaan, vaihtelee edellä mainittujen olosuhteiden yhtälön lisäksi kasvilajeittain. (Schroeder & Janos, 2004) Hamelin (1996, s. 205) mukaan keräsienen biotrofinen luonne sekä maan, sienen ja kasvin välisen vuorovaikutuksen monimutkaisuus tekee sienijuurisymbioosista hankalasti hallittavan maataloudessa. Lämpötila vaikuttaa keräsienen kasvuun ja kolonisaatioon. Maan matala lämpötila heikentää keräsienen rihmaston kasvua ja kolonisaatiota merkittävästi alle 12 asteen lämpötiloissa, jonka ylittyessä kasvu vahvistuu lämpötilan kasvaessa noin 20 asteeseen asti. Yli 20-asteisessa maassa rihmaston kasvu ja kolonisaatio alkavat tasaantumaan, silti

lisääntyen ainakin 24 asteeseen asti. (Gavito & Azcón-Aguilar, 2012, ss. 7–8) Sienijuurisymbioosin kustannus kasville voi vaihdella 5–30 % välillä kasvin yhteyttämistuotteiden kokonaistuotannosta (Weil & Brady, 2017, s. 517). Symbioosin hyödyt isäntäkasville tulevat parhaiten esiin monivuotisilla kasveilla (Palojärvi, 2018, s. 28). Alla oleva rakenneyhtälömalli (Kuva 3) kuvaa sienijuurisymbioosiin vaikuttavia yhtälön osia ja niiden suoria ja epäsuoria vaikutussuhteita toisiinsa (Wilson ym. 2016, s. 8).

Kuva 3. Rakenneyhtälömalli olosuhteiden vaikutuksesta sienijuuren kolonisaatiolle ja isäntäkasvin biomassalle. (Wilson ym., 2016, s. 8)



Laajassa Pohjois-Amerikassa ja Euroopassa vuosina 2011-2014 tehdyssä peltotutkimuksessa tutkittiin sienijuuren vaikutusta perunan satoon yhteensä 231 erillisessä tutkimuskohteessa. Tutkitut lohkot olivat tavanomaisesti viljeltyjä. Tutkimuksessa kaikilla lohkoilla käytettiin sieniympinää samaa Myke® Pro Potato-L -tuotetta, joka sisältää yhtä *Rhizophagus irregularis* (*Glomus intraradices*, *Glomus irregulare*) -keräsienilajia. Tuote on kanadalaisen Premier Tech Biotechnologies -yrityksen valmistama, perunalle suunnattu tuote, jolla perunan mukula joko peitataan tai aine sijoitetaan kylvettäessä suoraan kylvövakoon. Tulosten perusteella sienijuurikäsitteily lisäsi kokonaissatoja keskimäärin 9,5% (~ +4tn/ha) verrattuna samoilla

menetelmillä viljeltyyn sienijuurettomaan verrokkiin nähden. Tulos oli tasainen jokaisena tutkimuksen neljänä vuonna. (Hijiri, 2016, ss. 210–211)

3.2.1 Ravinteiden keräys

Ravinteista sienijuuret keräävät tehokkaimmin fosforia ja typpeä, joista symbioosin kannalta parhaissa olosuhteissa, 80–90 % isäntäkasvin tarpeesta voi kulkea sienijuuriston kautta. Tämä suhde heikkenee, jos maassa on helposti saatavilla kyseisiä ravinteita liukoisessa muodossa. (Jones, 2017a) Maan fosforimäärän lisääntyminen vaikuttaa sienien ja kasvin saamaan hyötyyn symbioosista. Symbioosi saattaa muuttua loisimiseksi, jos maassa on fosforia hyvin ja helposti saatavilla. Lähtökohtaisesti keräsienijuurisymbioosin vaikutus isäntäkasviin on huono nestemäisellä mineraalilannoituksella, tyydyttävä kiinteällä mineraalilannoitteella, hyvä hallitusti vapautuvalla mineraalilannoitteella ja erinomainen hitaasti vapautuvalla orgaanisella lannoitteella. (Vestberg, 2017) Vaikka symbioosi olisi muodostettu, jos kasvia lannoitetaan liukoisella typellä tai fosforilla, se lopettaa yhteyttämistuotteiden lähettämisen juuriin ja sienijuurelle, ja jo muutamassa minuutissa sienijuuri lopettaa symbioottisen toimintansa ja sulkee keräset, joiden kautta ravinteet ja vesi kulkivat kasviin. (Jones, 2017a) Typen ja fosforin lisäksi symbioosin avulla myös sinkin, kuparin ja kaliumin saanti voi parantua. Toimiessaan sienijuurisymbioosi mahdollistaakin fosforilannoituksen vähentämisen ilman vaikutusta kasvin tuottamaan satoon. (Aaltonen & Vestberg, 2005) Tästä johtuen pelloilta vesistöihin voi huuhtoutua jopa 80-90% vähemmän fosforia, verrattaessa voimakkaasti lannoitettuun lohkoon (Palojärvi, 2018, s. 29).

3.2.2 Laajat symbioosiverkostot

Yleensä sienijuurisymbioosissa isäntäkasvilla on samanaikaisesti useampia sienijuuria, jotka kokonaisuutena isäntäkasvin juurten kanssa muodostavat sienijuuriston. (Vestberg, Timonen & Lehto, 2018, ss. 13–15) Sienijuuristossa voi olla mukana myös useampia kasveja, jotka voivat vaihtaa keskenään ravinteita. Kokeissa on myös havaittu sienijuuren, ruohokasvin, Rhizobium-bakteerin ja palkokasvin neljänkeskeinen symbioosi. Tällöin sienijuuren välityksellä heinäkasvista palkokasviin siirtyy fosforia, jota heinäkasvin hienojakoisempi juuristo yhdessä sienijuuren kanssa saa tehokkaammin irti maasta kuin palkokasvin juuristo. Palkokasvi puolestaan siirtää sienijuuren välityksellä heinäkasville yhdessä Rhizobium-bakteerin kanssa muodostamaansa typpeä. Tällaisia symbiooseja tapahtuu luonnontilaisilla sekakasvialueilla, heinä-palkokasvilohkoilla sekä

sekaviljelyssä samalla loholla palkokasvin ja muun symbioottisesti aktiivisen viljelykasvin välillä. (Weil & Brady, 2017, s. 519)

3.2.3 Vaikutukset kasvinterveydelle sekä maaperälle

Sienijuurten on havaittu parantavan isäntäkasvin vastustuskykyä maaperän kasvitauteja ja ankeroisia vastaan (Vestberg, Timonen & Lehto, 2018, s. 15). Kasvit voivat viestiä keskenään sienijuuriston välityksellä. Tuholaisen tai patogeenin hyökkäämäksi joutunut kasvi voi lähettää viestin vaarasta toiselle saman lajin kasville, jolloin se voi varautua uhkaan alkamalla erittää uhkaa torjuvia eritteitä, sekundaarisia aineenvaihduntatuotteita. (Jones, 2017b) Keräsienijuuret voivat myös vaikuttaa maalevintäisiin sienitauteihin. Sienijuurisympioosissa olevat kasvit sairastuvat niihin harvemmin ja kärsivät vähemmän vahinkoa verrattuna sienijuurettomiin kasveihin. Taudinaiheuttajan kasvu saattaa jopa pysähtyä. (Dehne, 1982, s. 1115) Sienijuuret voivat myös vapauttaa antibiootteja, sekä torjua patogeeneja kilpailemalla niiden kanssa infektiotalasta tai muuttamalla juuren pintakerrosta. (Weil & Brady, 2017, s. 517).

Sienijuurikolonisaation on havaittu myös vähentävän isäntäkasvin ja kasvualustan kasvinsuojeluainejäämiä, jota voidaan mahdollisesti hyödyntää saastuneiden peltomaiden puhdistamisessa. Tosin sienijuurikolonisaatio voi vähentyä vahvoja kasvinsuojeluainepitoisuuksia käytettäessä. Reaktio vaihtelee kasvi- ja sienilajeittain. (Wang ym., 2011) Sienijuurten on myös havaittu lisäävän isäntäkasvin juurten raskasmetalli- ja kasvinsuojeluainepitoisuuksia. (Huang, 2006, s. 9379) Helena Rahikainen (2012, s. 22) Helsingin yliopistossa tekemässään julkaisemattomassa pro gradu -työssään (VA-mykorrhitsan, herbisidin ja tiheyden vaikutus porkkanan (*Daucus carota*) kasvuun) arvelee tutkimuksessaan käyttämänsä herbisidin aiheuttaneen taimikuolleisuutta porkkanalla lisääntyneen kasvinsuojeluaineen oton tai lisääntyneen elinkustannuksen ja kasvinsuojeluaineen aiheuttaman stressin takia. *Bacillus subtilis* -suvun bakteereilla on antifungaalisia ominaisuuksia, joiden on tutkittu vähentävän merkittävästi keräsienijuuren kolonisaation esiintyvyyttä ja voimakkuutta kasvilla, sekä haittavan keräsienijuuren itiöiden itämistä ja rihmaston kasvua. (Xiao ym., 2008, ss. 1135–1136) *Bacillus subtilis* -bakteereita löytyy luontaisesti maasta, sekä niitä käytetään ainakin Bayerin Serenade ASO -aineessa, joka on biologinen fungisidi. (Bayer Group, 2019)

Sienijuuristo ja maaperän bakteerit ovat tärkeitä maan mururakenteen ylläpitäjinä. (Vestberg, Timonen & Lehto, 2018, s. 15) Sienijuuret vaikuttavat pellon humustasapainoon ja hiilen sitomiseen peltomaahan. Ne erittävät maahan glomaliinia, maaperän omaa liimayhdistettä, joka sitoo maa-ainesta yhteen ja muodostaa murusia. Näissä murusissa ilmasta maahan saatu hiili ei ole yhtä altis huuhtoutumiselle. Glomaliinin merkitys on suuri myös maan rakenteen ja mururakenteen kannalta. Sitä erittyy maahan ainoastaan sienijuurisymbioosin avulla. Lannoitettaessa liukoisilla ravinteilla, glomaliinin siirtyminen maahan katkeaa, symbioosin loputtua. Tämä vaikuttaa myös muuhun maabakteeristoon, joka käyttää ravinnokseen kasvilta saatavia hiiliyhdisteitä, jolloin vaikutus maan rakenteeseen on entistä huonompi, ja maa on altis hiilen vähenemiselle ja tiivistymiselle. (Jones, 2017a) Sienijuuriston laajalle levittyvä rihmasto estää myös eroosiota sitomalla maata yhteen (Palojärvi, 2018, s. 29). Sienijuurien on havaittu myös stabiloivan peltomaan happamuutta. Pelto, jossa on hyvin sienijuuria, on vähemmän altis nopeille muutoksille maan pH:ssa niin ylös kuin alaspäin, kuin peltomaa, jossa sienijuuria ei esiinny. (Jones, 2017b)

3.2.4 Keräsienten vaikutukset porkkananalle

Porkkana on tehokas sienijuurisymbioosin hyödyntäjä (Hoppula & Hoppula, 2018). Keräsienijuuret voivat kolonisoida porkkanan tehokkaasti, jopa yli 90-prosenttisesti. Ruukkukasvatuskokeissa sienijuuren kanssa on saatu tuloksia, joissa porkkanan juuren tuorepaino on kasvanut noin viisin- (Wang ym., 2011) ja peltokokeessa noin kaksinkertaisesti (Regvar, Vogel-Mikuš & Ševerkar, 2003, s. 229) sienijuurettomaan kontrolliin verrattuna. Sienijuuren havaittiin myös lisäävän porkkanan karotenoidipitoisuutta peltokokeessa. (Wang ym., 2011; Regvar, Vogel-Mikuš & Ševerkar, 2003, ss. 228–229) Sienijuuriymppejä valmistavan Premier Tech Agriculture -yhtiön tutkimustuloksissa mainitaan testatun kuuden vuoden aikana yhdellätoista eri loholla markkinakelpoisen porkkanasadon lisän olleen keskimäärin 9,8 %. Näissä tutkimuksissa tutkimuskumppanina oli eri instituutioita, kuten Eurofins Agrosience services. (Premier Tech, 2020) Rahikaisen tekemässä pro gradu -tutkimuksessa tutkittaessa keräsienijuuren, herbisidikäsittelyn ja kylvötiheyden yhteisvaikutusta porkkanalle, ei ruukkukokeessa mykorritsakolonisaatiolla havaittu vaikutusta porkkanan kasvuun. Sen arveltiin johtuvan kokeen pienestä kasvutilasta ja käytetystä kasvutiheydestä. Tutkimuksessa tosin havaittiin mykorritsallisten porkkanoiden olevan herkempiä herbisidille kuin mykorritsattomien. Tämän arveltiin johtuvan sienijuuren voimakkaammasta

maavaikutteisen herbisidin otosta ja keräämisestä kasviin, tai sienijuuren aiheuttamasta kustannuksesta kasville, joka on johtanut sen stressinsietokyvyn alenemiseen ja heikentänyt sen herbisidinkestävyyttä. (Rahikainen, 2012, s. 22, julkaisematon, Helsingin yliopisto)

3.3 Otolliset elinolosuhteet

Suomalaisessa peltomaassa on pääsääntöisesti runsas valikoima keräsienten itiöitä (Palojärvi, 2018, s. 28) Maalajeista turpeen kasvualustana on todettu olevan keräsienten luontaista esiintymistä heikentävä tekijä (Vestberg, 2018a, s. 49). Joillakin suomalaisista luonnonturpeista on havaittu olevan taudinaiheuttajien kasvua heikentäviä tekijöitä (Tahvonen, 1982, ss. 354–355) Näiden ominaisuuksien arvellaan olevan myös vaikuttavana tekijänä Vestbergin, Saaren, Kukkosen & Hurmeen (2005, ss. 455–456) tekemän tutkimuksen tuloksille, joiden mukaan pellon turvelisäys heikensi symbioosin muodostumista. Turvelisäyksellä ei ollut vaikutusta mykorrhitsan itämiseen tai varhaiseen juuriston kasvuun. Peltolohkon luontaisesti heikkoa sienijuurikantaa on mahdollista vahvistaa kaupallisilla tuotteilla (Palojärvi, 2018, s. 28).

3.3.1 Maanmuokkaus ja isäntäkasvi

Raivattaessa maata maanviljelyskäyttöön, maan elinolosuhteet muuttuvat rajusti. Monokulttuuri ja kahden viljelykasvin kierto köyhdyttävät alueen kasvistoa ja sitä myötä sen juuristoaluetta. Viljelykasveja vaihtelemalla tai kylvämällä kerääjä-/talvipeitekasveja voidaan saada myönteinen, lisäävä vaikutus maan mikrobistoon. (Weil & Brady, 2017, s. 536) Sienijuurisienet tarvitsevat isäntäkasvin lisääntyäkseen, joten toistuva heikosti sienijuurellisten tai sienijuurettomien kasvien viljely köyhdyttää maan keräsienikantaa. Sekaviljely on toimiva tapa edesauttaa sienijuurikannan säilymistä pellossa, esimerkiksi käyttämällä palkokasveja aluskasveina tai viljelemällä seoskasvustoja joko rivi- tai kaistasekaviljelynä. Puuvartisten kasvien hyödyntäminen sekaviljelyssä pelloilla on kansainvälisen tutkinnan kohteena, sillä monet hedelmäpuut ovat tehokkaita keräsienijuuren hyödyntäjiä. (Palojärvi, 2018, s. 30)

Toistuva, syvä maanmuokkaus, esimerkiksi kyntö, on haitaksi sienijuurille, rikkoen niiden rihmastoja ja levittäen niiden itiöitä suuremmalle alueelle maatilavuutta. Maan muokkaus pellon ollessa ilman aktiivista kasvustoa tai eloperäisen materiaalin lisäystä heikentää olosuhteita entisestään. Sienijuurien kannalta kyntöä matalampi, kevennytty muokkaus on hellempi ratkaisu.

Paras tilanne sienijuuriston kannalta on, jos peltoa ei muokata ollenkaan ja kylväminen toteutetaan esimerkiksi suorakylvönä edellisvuoden sängelle. (Palojärvi, 2018, s. 29) Maan muokkauksen ajankohdalla on myös merkitystä sienijuurelle, sillä syyskynnön on havaittu heikentävän hajotetun rihmaston selviytymistä elinkelpoisena talven yli. Sillä on haitallisia vaikutuksia seuraavan vuoden satokasville, sienijuurelta saadun hyödyn jäädessä vähäisemmäksi. Keväällä toteutetulla kevennetyn muokkauksen menetelmällä, jolla rihmasto pysyy talven yli ehjänä, se säilyy elinvoimaisempana alkavalle kasvukaudelle. Parhaat kasvu- ja selviytymisolosuhteet sienijuurisienelle saadaan talviaikaisella kasvipeitteellä, joka toimii isäntäkasvina, yhdistettynä maan rakennetta mahdollisimman vähän sekoittavaan suorakylvöön. Sekoittamattomassa maassa suurin osa rihmastosta sijaitsee viljelykasvirivien kohdalla, jolloin seuraavana vuonna viljely mahdollisimman lähellä edellisvuoden rivejä optimoi kasvukaudella saatavan hyödyn sienijuuresta. Vaihtoehtona myös sienijuurelle edullisemmalle kevennetylle muokkaukselle on "ridge tillage"-viljelytapa. (Kabir, 2004, ss. 26–28)

Pepe, Giovannetti & Sbrana (2018) tekemässä kokeessa havaittiin kokeessa käytettyjen keräsienilajien rihmaston pysyvän elinvoimaisena, laajenevan ja kolonisoivan uusia kasveja isäntäkasvin maanpäällä kasvavan osan poistamisen jälkeen jopa viiden kuukauden ajan. Tutkimuksessa pohdittiin, että tuloksella on suuri merkitys ymmärrettäessä tulevan kauden satokasvin kolonisointia. Muista tutkimuksista tiedetään kuolleidenkin kolonisoituneiden satokasvin juurten toimivan lisääntymisyksikköinä vielä pitkään kasvisolun kuoleman jälkeen. Kuolleiden ja elävien kolonisoituneiden kasvin juurten kappaleiden toimiessa lisääntymisyksikköinä, uuden satokasvin kolonisaationopeuden arvioidaan olevan nopeampi ja maan sienijuuritiheydellä olevan laajempi mahdollisuus selviytyä muokkauksesta ja talvesta. (Pepe, Giovannetti & Sbrana, 2018, s.7) Gavito & Azcón-Aguilar (2012, ss.7–9) havaitsivat tutkimuksessaan keräsienen rihmaston kasvun ja kolonisaation olevan heikompi matalilla maan lämpötiloilla. He pohtivat tämän heikentävän sienijuurten hyödyntämistä tavanomaisessa maataloudessa pohjoismaisissa ilmasto-olosuhteissa. Tavanomaisessa tuotannossa intensiivisen maanmuokkauksen hajottaman rihmaston korjaamisen tapahtuessa merkittävästi vain maan lämpötilan ollessa yli 15 astetta, jää otollisten olosuhteiden aikaikkuna sienijuuren isäntäkasville tuottamalle hyödyille vähäiseksi. Gavito & Azcón-Aguilar pohtivat, että ilmastonmuutoksen aiheuttama ilmaston lämpeneminen parantaa mahdollisuuksia sienijuuren hyödyntämiselle pohjoismaisessa maataloustuotannossa.

3.3.2 Luomuviljely

Tutkimusten mukaan luomuviljely on tavanomaista viljelyä parempi sienijuurille suosien niiden laji- ja yksilörunsautta, vaikka pellot siltikin muokattaisiin kyntämällä. (Palojärvi, 2018, s. 29)

Alankomaissa toteutettiin laaja peltotutkimus, jossa vertailtiin useamman vuoden ajan sienijuurien määrää ja lajirikkuutta tavallisen, luomuviljelyn ja luonnonniittyjen välillä. Siinä havaittiin lajien yhtenäistyvän vahvasti tavanomaisesti viljellyillä lohkoilla. Luomuna viljeltyjen sekä luonnonniittyinä olleiden nurmien sienijuurilajisto vaihteli suuremmin lohkojen välillä ja lohkojen sisäiset lajirikkaudet olivat suurempia. Erot viljelytapojen välillä juurten kolonisaatiovoimakkuudessa olivat keskimäärin 60 % luomun eduksi ensimmäisenä viljelyvuonna ja yli 100 % seuraavana vuonna. Tutkimuksessa tarkasteltiin myös sienijuurien määrän muutosta siirryttäessä tavanomaisesta viljelystä luomuun. Siinä havaittiin kolonisaation voimistuvan ajan kanssa, ja että kolonisaatio on voimakkain kauan luomuna viljellyillä lohkoilla. (Verbruggen ym., 2010, ss. 972–977) Luomuviljelyn etuina ovat harvemmat muokkaukset viherlannoitusnurmien ollessa kierrossa sekä lannoituksen perustuminen eloperäisiin lannoitteisiin. Kasvinsuojeluaineiden käyttö on vähäisempää, erityisesti fungisidien käytön vähentämisellä on selkeää vaikutusta. (Palojärvi, 2018, s. 29–30)

3.3.3 Fungisidit

Fungisidien vaikutus sienijuurelle vaihtelee sienijuurilaji- ja käsittelyainekohtaisesti. Jin, Germida & Walley (2013) tutkivat peittäusainefungisidin vaikutusta sienijuurelle herneellä ja kikherneellä. Siementen peittämisen systeemisillä fungisideilla havaittiin heikentävän sienijuuren kolonisaatiota varhaisessa kasvin kasvuvaiheessa. Kosketusvaikutteisilla peittäusaineilla taas tuloksissa joko ei havaittu vaikutusta, tai vaikutus oli kolonisaatiolle positiivinen fungisidista riippuen. Systeemisten fungisidien havaittiin myös heikentävän isäntäkasvin kasvua ja fosforin ottoa, mikä näkyi selkeimmin sienijuurellisilla kasveilla, joiden fungisidittomilla verrokeilla oli suurin kasvu. Kolonisaatiolle haitallisten vaikutusten välttämiseksi ympättävien sienijuurivalmisteiden sijoittaminen tulisi tehdä etäälle peitatusta siemenestä, jotta peittäusaine ei olisi suorassa kontaktissa itiöiden kanssa. Esimerkiksi ympä voidaan sijoittaa kylvövakojen väliin. (Jin, Germida & Walley, 2013, ss. 28–29)

3.4 Kaupalliset sienijuurivalmisteet

Markkinoilla on useita kaupallisia sienijuurivalmisteita niin kotimaassa kuin ulkomailla. Suomalaisia valmisteita ovat muun muassa Myko-Ympäri sekä Biolan Rootgrow. Biolanin tuotetta myydään 150 g kuluttajapakkauksissa. (Aaltonen & Vestberg, 2005; Biolan, n.d.). Ulkomaisia valmistajia löytyy esimerkiksi Tšekistä Symbiom, Yhdysvalloista Mycorrhizal Applications ja Kanadasta Premier Tech Agriculture.

Myko-Ympäri on MTT:n vuonna 2005 markkinoille tuoma sienijuurivalmiste. Se sisältää kotimaisesta peltomaasta eristettyjä ja tehokkaiksi symbionteiksi todettuja keräsieniä. Valmistetta tuotettiin Laukaan toimipisteessä turvekasvualustalla maissin juuristossa lisäämällä. (Aaltonen & Vestberg, 2005) Luonnonvarakeskuksen tutkija Sannakajsa Velmalan henkilökohtaisen tiedonannon tekijälle (puhelu, 2.10.2020) mukaan tuotteen lisäys ja kaupallinen toiminta on sittemmin lopetettu ja olemassa olevaa kantaa ylläpidetään Luonnonvarakeskuksessa.

Tšekkiläinen Symbiom-yhtiö valmistaa tuotteita niin kuluttaja- kuin ammattilaiskäyttöön. Yrityksen Symbivit-valmiste on tuotesivujen mukaan soveltuva porkkanalle, ja soveltuvien kasvien lista pitää sisällään myös muita vihanneksia ja hedelmiä. Valmistetta on saatavilla 150 gramman pakkauksesta 750 kilogramman pakkauskokoon. (Symbiom, n.d.) Symbiomin henkilökohtaisen tiedonannon tekijälle (sähköposti, 5.10.2020) mukaan tuotteen suositeltu käyttömäärä on 20 kg/ha ja hehtaarikustannus valmisteen osalta on noin 127 euroa. He myyvät myös vastaavia tuotteita eri muodoissa eri tuotenimillä. Tuotteiden käyttötavat vaihtelevat ja hehtaarikustannukset vaihtelevat 90 ja 127 euron välillä.

Yhdysvaltalainen Mycorrhizal Applications on maailman markkinajohtaja sienijuuriympärien valmistuksessa. Heidän MycoApply-tuotelinjansa on suunnattu ammattikäyttäjille kuten maatalouteen, viherrakentamiseen, metsätalouteen ja puutarhatuotantoon. (Mycorrhizal Applications, n.d.)

Kanadalaisen Premier Tech Agriculture -yhtiön Aktiv[®]-tuoteperhe pitää sisällään maatalouteen suunniteltuja mykorritsa- ja rhizobium-ympäriä (Premier Tech, n.d.-a.). Tuoteperheen Specialty Crops -tuote on jauhemainen, granuloitu tai peittauksen mahdollistava vihanneksille ja marjakasveille tarkoitettu keräsieniympäri. Jauhemainen ja granuloitu tuote sisältää *Glomus*

intraradices -lajin itiötä, kun taas peittäusaineena käytettävään ympäin on lisätty myös *Bacillus*-suvun bakteereja. Tuotetta markkinoidaan 500 g (jauhe) ja 10 kg (granuloitu) pakkauksina ja se on tarkoitettu käytettäväksi siemenet peittaamalla, kylvöriiville sijoittamalla tai kasvualustaan sekoittamalla. (Premier Tech, n.d.-b.; Premier Tech, n.d.-c.) Tuotteen ohjeista käy ilmi, ettei kyseinen sienijuuri ole erityisen herkkä kasvustoon ruiskutettavia kasvinsuojeluaineita kohtaan, kunhan ne eivät ole systeemisiä. Maavaikutteisia aineita käytettäessä käsittelyn suositellaan tapahtuvan joko kaksi viikkoa ennen ympäystä tai neljä viikkoa sen jälkeen. (Premier Tech, 2019, s. 1) Premier Tech Agriculturen henkilökohtaisen tiedonannon tekijälle (sähköposti, 5.10.2020) mukaan valitettavasti valmistajan sienijuuriympit eivät ole Suomessa rekisteröityjä, joten tuotteita ei ole mahdollista tällä hetkellä tuoda maahan.

3.5 Keräsienijuuren esiintyvyyden toteaminen

Keräsienien ja kasvin välisestä symbioosista ja sienien esiintymisestä voidaan mitata monia eri asioita eri tavoin. Mitattavia asioita ovat esimerkiksi kolonisaatio ja itiöiden esiintyminen. Kolonisaatiota tarkastellaan pääasiassa kasvin juuresta otetusta näytteestä mikroskoopilla. Ennen tarkastelua näytteet tulee kirkastaa ja värjätä (ks. myös Phillips & Hayman, 1970, ss. 158–160). Kolonisaatiota voidaan mitata eri tavoin esimerkiksi mittaamalla kokonaiskolonisaatiota, arbuskelikolonisaatiota, vesikkelikolonisaatiota tai rihmakolonisaatiota. Kolonisaatiota määritettäessä näistä arbuskelikolonisaatio on mitattava ominaisuus, sillä arbuskelit eli keräset ovat keräsienijuurien ainut yksilöivä ominaisuus. Kokonaiskolonisaation tarkastelu, jossa etsitään käytännössä kaikenlaisia merkkejä sienien kolonisaatiosta, onnistuu stereomikroskoopilla noin 40-kertaisella suurennoksella. Arbuskelikolonisaation tutkiminen puolestaan vaatii 200-kertaisen suurennoksen valomikroskoopilla, jotta keräset ovat selkeästi tunnistettavat. Kolonisaatioprosentti lasketaan, hieman vaihdellen tapojen välillä, havaituista kolonisoituneista näytteistä tai osanäytteistä verrattuna kaikkien näytteiden määrään (McGonigle ym., 1990, ss. 495–500).

Märkäsiivilöinnillä voidaan erotella isäntäkasvin juurien ympäriltä kerätyistä maanäytteistä itiöitä. Tässä toimenpiteessä maanäytteet sekoitetaan veteen ja raskaimman maa-aineksen annetaan painua pohjalle. Kevyempää maa-ainesta ja itiöitä sisältävä liuos kaadetaan erikokoisten siivilöiden läpi, jolloin jäljellä oleva maa-aines jää karkeimpiin siivilöihin itiöiden erottuessa seuraaviin

hienojakoisempiin siivilöihin. (Gerdemann & Nicolson, 1963, ss. 236–237) Hienojakoisin siivilä tulisi olla hienojakoisuudeltaan noin 38–53 µm välillä pienimpienkin itiöiden keräämiseksi (West Virginia University, n.d.-a).

Itiöiden erottelun jälkeen niistä on mahdollista tunnistaa kyseiset sienilajit. Tunnistamista voi yrittää stereomikroskoopilla silmämääräisesti, noin 25- tai 50-kertaisella suurennoksella, sillä itiöillä on lajien välillä jonkin verran tunnusomaisia piirteitä. Näytteitä voi verrata esimerkiksi West Virginia Universityn referenssipankkiin (West Virginia University, n.d.-b.), johon on koottu joidenkin keräsienilajien itiöiden kuvia ja ominaispiirteitä. Silmämääräinen tunnistaminen ei kuitenkaan ole kovin helppo tai varma tapa tunnistaa lajeja. (West Virginia University, n.d.-b.) Lajit voidaan tunnistaa varmemmin DNA-analyysillä. (West Virginia University, n.d.-c.)

4 Porkkana

4.1 Yleistä

Porkkana (*Daucus carota*) on Suomen syödyin avomaan vihannes ja merkittävin juures. Sen viljely juontaa juurensa noin 1100-luvulle Espanjaan ja Vähä-Aasiaan. Alkuperäiset porkkanalajikkeet olivat punaisia, keltaisia ja mustia, kunnes 1700-luvulla Hollannissa kehitettiin oranssi, karoteenipitoinen porkkana. Porkkanaa on käytetty sen viljelyhistorian aikana ruuan lisäksi väriaineena ja lääkekasvina. Oranssit porkkanalajikkeet yleistyivät niiden kehittämisen jälkeen ja nykyään suurin osa viljeltävistä porkkanalajikkeista ovat oransseja. (Aaltonen ym., 2016, s. 5)

4.2 Elinolosuhteet

Porkkana viihtyy parhaiten vettä läpäisevissä, ilmavissa ja multavissa hietamaissa. Kivennäismaista hieno ja karkea hieta ovat soveltuvimmat porkkanan viljelyyn ja niiden lisäksi soveltuvat myös eloperäiset multa- ja turvemaat. Näitä jäykemmällä maalajeilla porkkanoiden kasvu jää lyhyeksi ja ne haaroittuvat. Karkeat kivennäismaat saattavat olla liian kuivia ilman jatkuvaa sadetusta. Kivennäismaiden ja eloperäisten maiden välillä eloperäisten maiden etuna on pehmeät kasvu- ja korjuuolosuhteet, jonka takia porkkanan pinta ei naarmuunnu ja näin on varastointikelpoisempaa verrattuna kivennäismaissa kasvatettuihin. Kivennäismaiden etuna on nopeammasta maan

lämpenemisestä johtuva aikaisuus, joka mahdollistaa varhaisporkkanan kasvatuksen. Porkkanan viljelymaan suositeltava pH on 6–7. (Aaltonen ym., 2016, ss. 5–6)

4.3 Ravinnetalous

Porkkana on hyvä typenottaja ja ottaa sitä helposti yli oman tarpeensa. Liika typpi varastoituu juureen nitraattina, nostaen sadon nitraattipitoisuutta. Porkkanan typpilannoitus suositus kivennäismaalla on noin 90 kg hehtaaria kohden 50 000 kg satotasolla ja viljan ollessa esikasvina. Orgaanisilla mailla typpilannoitusta voidaan vähentää 15–30 kg edellä mainitusta yhdeksästäkymmenestä kilosta. 50 000 kilon porkkanasato käyttää noin 30–40 kg fosforia hehtaaria kohden. Fosforilannoitusta voidaan lisätä 7 kg/ha jokaista 10 000 kiloa lisäsatoa kohden. (Aaltonen ym., 2016, ss. 6–7)

4.4 Viljelytekniikka

Suomessa porkkanaa viljellään harjussa tai tasamaalla. Harjuviljelyssä valmiiksi muokattu ja lannoitettu maa kootaan harjuiksi, jotka tiivistetään kevyesti. Porkkanan siemenet kylvetään harjujen pintaan. Tällä tekniikalla matalammankin ruokamultakerroksen lohkoilla on mahdollista viljellä porkkananoita, sillä kun maa nostetaan harjuihin, joissa maa on kasattu vain porkkanoiden kohdalle, niiden kasvukohdassa oleva kevyen maan syvyys on helpommin tarvittava koko pellon alalta. Harjukylvössä siementen itäminen voi olla heikompaa kuivuuden takia kuin tasamaalle kylvettäessä. Heikon ja epätasaisen itämisen merkitys korjattavalle sadolle on suuri.

Tasamaalle kylvettäessä etuna on yksinkertaisempi kylvötekniikka ja suurempi rivimetrimäärä hehtaarille. Tasamaakylvö ei vaadi laitteita harjunmuodostamiseen vaan porkkanat kylvetään riveihin valmiiksi muokatulle, tasaiselle maalle. Tällä tekniikalla kylvettäessä porkkanat myös kärsivät kuivuudesta kuivana vuonna harjukylvöä vähemmän. (Aaltonen ym., 2016, s. 9)

4.5 Viljelykierto

Porkkanaa ei tule viljellä samalla lohkolla useana peräkkäisenä vuonna. Suositeltu viljelykierto on kerran neljässä tai viidessä vuodessa. Liian tiuha viljely lisää kasvitautilien määrää maassa. Näitä ovat esimerkiksi mustamätä, porkkanapolte ja porkkanan lehtilaikku. Kaksi jälkimmäistä säilyy

lohkolla porkkanan korjuujätteissä yhdestä kahteen vuotta ja mustamädän kestoitiöt viidestä kymmeneen vuotta. Mustamädän isäntäkasveja on laaja kirjo, joista yleisimmät ovat porkkanan tavoin sarjakukkaisia. (Aaltonen ym., 2016, s. 5)

Porkkanan viljelykierron kannalta hyviä esikasveja ovat esimerkiksi kaura, kaalit, sipuli, lanttu, punajuuri ja monivuotinen heinänurmi. Näistä vaihtoehtoista paras on kaura. Vältettäviä esikasveja porkkanalle ovat pahkahomeen isäntäkasvit, esimerkiksi salaatti, apila, herne, papu, persilja ja öljykasvit. (Aaltonen ym., 2016, s. 5)

5 Hyytiäisen tilan viljelykäytännöt ja -olosuhteet

Hyytiäisen tilan toiminta keskittyy porkkanan viljelyyn, joka on ollut tilan päätuotantosuunta vuodesta 1974 lähtien. Tilalla viljeltiin ensimmäisen kerran porkkanaa jo 1950-luvulla. (Leinonen, 2018) Tällä hetkellä tilan vuosittainen porkkanan viljelyala on noin 130 hehtaaria. Tilan kokonaisviljelyala on noin 400 hehtaaria, josta porkkanan lisäksi kauraa on noin 170 hehtaaria ja luonnonhoitopeltoa ja muuta nurmea loput noin 100 hehtaaria, vuosittain. Tilan toiminta ja tuotanto pyörivät päätuotantokasvi porkkanan ympärillä, ja sen tarpeet määrittelevät olosuhteet ja toimintatavat myös muiden kasvien osalta. Esimerkiksi kauran paikka välikasvina perustuu suurimmaksi osin siihen, että sillä on vain vähän samoja kasvitauteja porkkanan kanssa. Tilalla viljeltävät porkkana sekä kaura viljellään tavanomaisesti. (henkilökohtainen tiedonanto tekijälle suullisesti, viljelijä Arto Hyytiäinen, 2.2.2020)

5.1 Maanmuokkaus

Tilan maanmuokkauksen perustana on syyskyntö. Sen tarve perustuu porkkanan kylvötekniikan asettamiin vaatimukseen kylvöolosuhteista, joissa tilalla käytössä olevalla tekniikalla saadaan paras kylvöjälki, kun edellisen kauden kasvijätteet on saatu piilotettua mahdollisimman hyvin jo syksyllä. Näin kasvijätteet ovat myös pehmenneet ja nousevat heikommin kylvömuokkauksen yhteydessä häiritsemään kylvöä. Erityisesti edellisvuoden viljan korret aiheuttavat ongelmia noustessaan ylös porkkanaa kylvettäessä. Korret sekoittuvat harjun pintamaahan tukkien kylvökonetta, ja näin vaikuttaen esimerkiksi porkkanan kylvösyvyyteen ja taimettumisen tasaisuuteen. Lisäksi porkkananviljelylohkoilla kynnyllä haetaan maan pinnan kuohkeuttamista ja ilmaamista,

porkkanan sadonkorjuun tiivistettyä sitä hieman. Porkkanalohkoilla kasvijätteiden tehokkaalla hautaamisella haetaan myös tautiriskin pienentämistä niissä tapauksissa, jolloin samalla lohkolta viljellään porkkanaa myös seuraavana vuonna. Muokkaus toteutetaan hieman alle 20 senttimetrin syvyydestä. Vuosittain kynnettäviä maita ovat kuluneen vuoden porkkana- ja viljamaat, joilla molemmilla pyritään saavuttamaan kasvijätteiden tehokas peittäminen. Nämä lohkot kynnetään aina vain syksyisin. Tilan kierrossa viljelyalassa olevat luonnonhoitopellot muokataan ainoastaan uudistustarpeen mukaan, hyvin harvoin. (henkilökohtainen tiedonanto tekijälle suullisesti, viljelijä Arto Hyytiäinen, 2.2.2020)

Keväällä tulevan kasvukauden porkkanapellot joko tasausäestetään ja jyrsitään ennen kylvöä tai jyrsitään suoraan kynnökseltä, riippuen peltolohkojen kosteusolosuhteista sekä maalajista. Maalajeista jäykimmät pääsääntöisesti esimuokataan, joko jyrsimällä tai äestämällä, ennen kylvöjyrshintä. Kevyimmillä maalajeilla riittää pelkkä kylvöjyrshintä. Jyrshintä toteutetaan joko taso- ja kelajyrshimen yhdistelmällä tai ainoastaan tasojyrshimellä. Tasojyrshimen piikeillä on tarkoitus kuohkeuttaa noin 25 senttimetrin syvyyteen asti ja hakata maa hienojakoiseksi, porkkanan juuren kasvun helpottamiseksi ja fyysisiltä ominaisuuksiltaan laadukkaan juuren tuottamiseksi. Jyrshitty maa kootaan noin 20 senttimetriä korkeiksi harjuiksi ja neljä harjua yhdeksi kaksi metriä leveäksi porkkanapenkiksi. Kasvukauden aikana porkkanalohkot myös mullataan keskimäärin kolme kertaa. (henkilökohtainen tiedonanto tekijälle suullisesti, viljelijä Arto Hyytiäinen, 2.2.2020)

5.2 Kasvinsuojelu

Tilan kasvinsuojelutoimet pohjaavat vahvasti kemialliseen tuholaisten, rikkakasvien ja kasvitautien torjuntaan. Toimien tavoitteena on tuottaa mahdollisimman laadukas ja runsas sato, joka porkkanan osalta myös säilyy varastoituna. Tilan pelloilla tavattavista rikkakasveista yleisimpiä ovat peipit, jauhosavikka, kiertotatar, peltomatara, peltovalvatti, peltosaunio, pujo sekä mustakoiso. Näistä vaikeimmin torjuttavia tilan kierrossa ovat peltosaunio sekä mustakoiso. (henkilökohtainen tiedonanto tekijälle suullisesti, viljelijä Arto Hyytiäinen, 2.2.2020)

Porkkanan kasvitautien torjunta on aloitettu jo kylvettäessä peitattua porkkanansiementä. Siemenet ostetaan valmiiksi peitattuina pääasiassa Apron xl-Maxim -seoksella, joista toinen on systeeminen ja toinen kosketusvaikutteinen fungisidi (Syngenta, n.d.; Syngenta, 2020). Kasvukauden aikana ruiskutuskertoja peltolohkoa kohden tulee noin kymmenen kertaa. Näistä

pari ensimmäistä herbisidejä, toisena muutamia kertoja insektisidejä ja herbisidejä, sekä kasvukauden lopulla kahdesta kolmeen käsittelyä fungisidejä. Porkkanat saavat myös kasvukauden alkuvaiheilla fungisidikäsittelyn biologisella kasvitautientorjuntaan tarkoitettulla Serenade ASO -valmisteella. Serenade ASO sisältää muun muassa *Bacillus subtilis* -suvun bakteereja, jotka suojaavat kasvia haitallisia sieniä ja bakteereja vastaan (Bayer Group, 2019). Rikkakasvitorjuntaa toteutetaan myös mekaanisesti harjujen väleissä multauksen yhteydessä noin kolme kertaa kasvukauden aikana. (henkilökohtainen tiedonanto tekijälle suullisesti, viljelijä Arto Hyytiäinen, 2.2.2020)

Kauralohkoilla käsittelyjä lohkoille kertyy kasvukauden aikana paikoin kaksi herbisidiruiskutusta. Näistä ensimmäinen alkukesästä rikkakasvitorjuntana kasvustosta, joka toteutetaan koko alalle. Toinen käsittely toteutetaan tarpeen mukaan sadonkorjuun jälkeen juolaveh্নätorjuntana glyfosaatilla. (henkilökohtainen tiedonanto tekijälle suullisesti, viljelijä Arto Hyytiäinen, 2.2.2020) Kauran siemenet peitataan Celest Trio -valmisteella, joka on systeeminen, paikallissysteeminen sekä kosketusvaikutteinen fungisidi (Hankkija, n.d.).

5.3 Lannoitus

Tilan lannoitus on täysin kemiallisten mineraalilannoitteiden varassa. Pääpiirtein porkkanalohkot lannoitetaan kylvön yhteydessä Yara Mila Hevi3 (NPK 11-4,6-18) -lannoitteella, josta lohkot saavat 44–55 kg typpeä ja 20–25 kg fosforia hehtaaria kohden. Kaurat saavat kylvön yhteydessä Yara Mila Y5 (NPK 20-4,6-10) -lannoitetta, josta kertyy typpeä lohkoille 40–50 kg ja fosforia 10–12 kg hehtaaria kohden. Porkkanoita lannoitetaan lisäksi kylvön yhteydessä nestemäisellä fosforilla noin 2,5 kg ja kasvukaudella heinäkuussa rakeisella typpilannoitteella Yara Liva Nitraborilla (15-0-0) noin 10–15 kg typpeä hehtaaria kohden. (henkilökohtainen tiedonanto tekijälle suullisesti, viljelijä Arto Hyytiäinen, 2.2.2020)

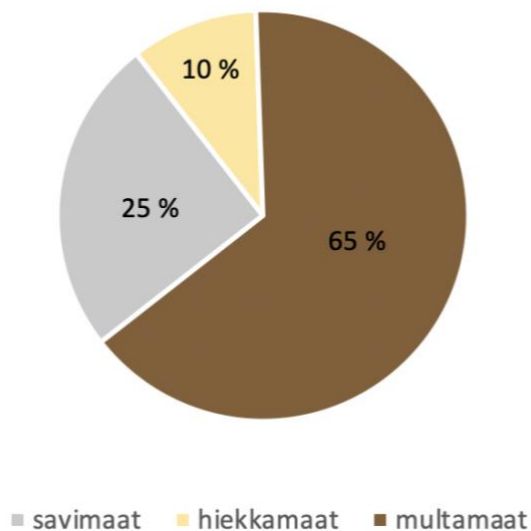
5.4 Pelto-olosuhteet

Tilan noin 400 hehtaarin vuosittaisesta viljelyalasta noin 25 % on savi-, 10 % hiekka- ja 65 % multa- ja turvemaita, josta puhtaasti turvemaita noin 5 %. (Kuva 4). Tilan omistuksessa olevista noin 215 hehtaarista savimaita on noin puolet ja toinen puoli on multa- ja turvemaita. Savimaat ovat kaikki

jatkuvasti luonnonhoitopeltoina ja multa- ja turvemaat ovat kaura-porkkana-kierrossa.
(Henkilökohtainen tiedonanto tekijälle suullisesti, viljelijä Arto Hyytiäinen, 2.2.2020)

Kuva 4. Maalajijakauma pääluokittain. (henkilökohtainen tiedonanto tekijälle suullisesti, viljelijä Arto Hyytiäinen, 2.2.2020)

Maalajijakauma pääluokittain



6 Pohdinta

6.1 Sienijuurten hyötyjä

Sienijuurilla on paljon erinäisiä vaikutuksia kasvien kasvulle, hyvinvoinnille ja terveydelle. Ne ylläpitävät myös maan hyvinvointia vähentämällä eroosiota, parantamalla maan mururakennetta glomaliinin avulla, stabiloimalla maan happamuutta ja ravitsemalla sen mikrobistoa. (Vestberg, Timonen & Lehto, 2018, s.15; Jones, 2017a; Jones, 2017b). Ne tarjoavat kasville välineitä selviytyä ilmaston ja olosuhteiden muuttuessa äärimmäisyyksien välillä heilahtelevaksi. Kuivuuden vallitessa ne mahdollistavat kasville paremmat edellytykset saada vettä syvemmältä ja laajemmalla alueelta laajan sienijuuriston avulla (Vestberg, Timonen & Lehto, 2018, ss. 13–15). Sienijuuret parantavat kasvin mahdollisuuksia taistella maalevintäisiä patogeenejä vastaan kilpailemalla elintilasta niiden kanssa, tuottamalla antibiootteja, muuttamalla juuren pintakerrosta ja mahdollistamalla viestinnän kasvien välillä, jolloin kasvit voivat varautua tuholaisen tai patogeenin hyökkäykseen

erittämällä niitä torjuvia eritteitä (Weil & Brady, 2017, s. 517; Dehne, 1982, s. 1115). Sienijuuret keräävät maasta tehokkaasti ravinteita, erityisesti typpeä ja fosforia. Parhaissa olosuhteissa symbioosin kannalta jopa 80–90 % kasvin käyttämästä tpeestä ja fosforista voi kulkea sienijuuren kautta. (Jones, 2017a) Ne pystyvät irrottamaan maahan tiukasti sitoutuneita ravinteita, jotka muuten olisivat kasvin käyttämättömissä, sekä keräämään ravinteita suuremmalta alueelta (Vestberg, Timonen & Lehto, 2018, ss. 13–15). Tällä on merkittävä vaikutus myös mahdollisuuksiin laskea lannoitustasoja, sekä vähentää muualle ympäristöön huuhtoutuvia ravinteita. Symbioottisessa suhteessa elävän tuotantokasvin lannoitustasoja laskemalla voi fosforin huuhtoutuminen vesistöihin vähentyä jopa 80–90 % ilman vaikutusta kasvin kasvulle. Tämä tosin edellyttää, että symbioosi toimii optimaalisella tavalla. (Aaltonen & Vestberg, 2005; Palojarvi, 2018, s. 29).

6.2 Sienijuurten vaikutukset porkkanan satoon

Sienijuurella on selkeästi mahdollisuus positiivisiin vaikutuksiin porkkanan tuotannossa. Se tarjoaa porkkanalle mahdollisuuden sadonlisään sekä äärimmäisistä sääilmiöistä, tuholaisista ja kasvintuhoajista selviämiseen. Kuten Wang ym. (2011) ja Regvar ym. (2003) ovat tutkimuksissaan osoittaneet, symbioosi keräsienijuuren kanssa tarjoaa porkkanalle hyvät edellytykset merkittäväänkin sadonlisään. Nämä tutkimukset näyttivät suuret vaikutukset yksittäisten sienijuurellisten juurten biomassan ollessa moninkertainen sienijuurettomiin verrokkeihin nähden. Tämän lisäksi kokonaissatoon liittyviä tuloksia vahvistaa Premier Techn (2020) teettämät tutkimukset heidän sienijuuriympönsä vaikutuksesta, jossa päästiin keskimäärin 9,8 % markkinakelpoisen sadon kasvuun tavanomaisesti viljeltynä. Tulokset vaikuttavat uskottavilta, sillä lähes samaa tuotetta (Myke® Pro Potato-L vs. AGTIV® Specialty Crops, *Glomus intraradices* vs. *Glomus intraradices*) on tutkittu laajemmin perunalla. Perunalla laajassa tavanomaisesti viljellyssä peltotutkimuksessa saadut tulokset vastaavat lähes Premier Techn saamia tuloksia porkkanan osalta. (Premier Tech, 2020; Hijiri, 2016, ss. 210–211)

6.3 Sienijuurten esiintyminen Hyytiäisen tilalla

Hyytiäisen tilan viljelyssä olevilta pelloilta löytyy todennäköisesti vähintään tyydyttävästi luonnollisia keräsienikantoja. Lähtökohdat keräsienten luontaiselle esiintymiselle ovat hyvät.

Suomalaisessa peltomaassa keräsienten esiintyvyys on yleensä runsasta (Palojärvi, 2018, s. 28), ja tilan kokonaisviljelyalan maalajit suosivat pääosin keräsienten luontaista esiintymistä. Ainoastaan turvemaidella niiden esiintymisen tiedetään olevan heikkoa (Vestberg, 2018a, s. 49), ja niitä tilan viljelykierrossa on vain vähän, noin 5 % (henkilökohtainen tiedonanto tekijälle suullisesti, viljelijä Arto Hyytiäinen, 2.2.2020). Keräsienten esiintymistä lisäävä tekijä tilalla on myös porkkana isäntäkasvina. Porkkana muodostaa herkästi symbioosin sienijuuren kanssa ja keräsieni kolonisoii porkkanaa vahvasti, jopa yli 90 % (Wang, ym., 2011). Esiintymisen toteaminen voitaisiin helpoimmin tilatasolla toteuttaa kolonisaatiota tutkimalla. Tämä vaatisi tilalta ainoastaan mikroskoopin sekä osaamista juurinäytteiden valmisteluun, kirkastukseen, värjäämiseen ja näytteiden tutkimiseen. Tutkimisen ei pitäisi olla ylitsepääsemättömän vaikeaa esimerkiksi tämän opinnäytetyön kappaleen 3.6 tekstin lähdetekstien ohjeilla.

6.4 Esiintymistä ja symbioosia heikentävät tekijät Hyytiäisen tilalla

Keräsienen esiintymistä heikentäviä tekijöitä tilan toiminnassa ovat peitatus siemenen käyttäminen ja puutarhatuotannon tuomat toistuvat maan muokkaukset. Systeemisillä fungisideilla peitatus siemenet heikentävät keräsienen kolonisointia ja täten sienijuuren muodostumista. (Jin, Germida & Walley, 2013, ss. 28–29; Palojärvi, 2018, s. 29) Tilan molemmilla tuotantokasveilla, kauralla ja porkkanalla, käytetään peitattua siementä. Molemmilla kasveilla osa käytetyistä peittäusaineista on systeemisiä fungisideja. Heikentäviä tekijöitä saattavat olla myös muut tilalla käytettävät kasvinsuojeluaineet, kuten Serenade ASO (Wang ym., 2011; Xiao ym., 2008, ss. 1135–1136), tosin niiden vaikutukset eivät ole yksiselitteisiä, ja ne voivat olla itiöiden tuoton kannalta jopa positiivisia. Sienijuuren itiömäärän on joissain tapauksissa huomattu lisääntyneen, kun ulkoiset tekijät ovat aiheuttaneet sille stressiä (Moreira, Baretta, Tsai & Cardoso, 2006, s. 383). Vaikka luontaisia keräsieniä esiintyisi tilan lohkoilla heikosti, se ei olisi suuri este sienijuuren hyödyntämiseen porkkanantuotannossa, sillä keräsienikantaa voidaan vahvistaa kaupallisilla sienijuuriympyeillä (Palojärvi, 2018, s. 28). Kaupallisten valmistajien kustannukset eivät ole korkeat. Esimerkiksi Symbiomin halvimmalla porkkanaviljelyyn sopivan keräsieniympin vuosittainen hehtaarikustannus on 90 euroa (henkilökohtainen tiedonantotekijälle, Symbiom, sähköposti, 5.10.2020). Kustannusta laskee myös se, ettei sienijuuriymppeä tarvitse lisätä jokaisena porkkanan viljelyvuonna, jos sienikanta pidetään elinvoimaisena ja runsaana maassa myös vuosien välillä.

Sienijuuresta saatavaa hyötyä symbioosissa heikentävät erityisesti runsas liukoisen fosforin saatavuus (Vestberg, 2017; Jones, 2017a) ja sienijuuren sekä kasvin varhainen kehitysvaihe (Schroeder & Janos, 2004; Kabir, 2004, ss. 26–28). Tilan maanmuokkaus perustuu syyskynntöön, jossa molempien tuotantokasvien, porkkanan ja kauran jälkeen viljelylohkot syyskynnetään. (henkilökohtainen tiedonanto tekijälle suullisesti, viljelijä Arto Hyytiäinen, 2.2.2020). Syvä maanmuokkaaminen hajottaa sienirihmastoja ja sekoittaa sitä suurempaan maatilavuuteen, laimentaa sen esiintymistä. (Palojärvi, 2018, s. 29) Intensiivinen muokkaus vaurioittaa sienijuurta, jonka jälkeen se joutuu talvehtimaan ilman isäntäkasvia. Tämä heikentää sienijuuren mahdollisuuksia selvitä elinkykyisenä seuraavaan vuoteen. (Kabir, 2004, ss. 26–28) Vaikutus ei välttämättä ole valtava, sillä keräsieni selviytyy kuolleissa juuren kappaleissa lisääntymiskykyisenä pitkiäkin aikoja. (Tommerup & Abbott, 1981, s. 431) Syysmuokkauksen suurimmat vaikutukset ovat todennäköisesti seuraavan vuoden satokasville, kun olemassa oleva sienijuuriverkosto on hajotettu (Kabir, 2004, ss. 26–28). Juuriston uudelleenrakennuskustannukset tulevat uusien tainten maksettavaksi. Rihmasto kolonisoii kasvin hitaammin eikä pysty heti toimittamaan ravinteita kasville. Symbioosin kustannukset ovat nuorelle kasville lähtökohtaisestikin suhteessa korkeat (Johnson, Graham & Smith, 1997, ss. 578–579; Schroeder & Janos, 2004). Sienijuuren hyödyntämistä heikentää entisestään Suomen pohjoinen sijainti ja sen viileät kasvuolosuhteet. Sienijuuren rihmaston kasvu ja kolonisaatio ovat hyvin hitaita maan lämpötilan ollessa alle 12 astetta. Tästä johtuen maan muokkauksella rikotun rihmaston korjaantuminen ja kasvu alkaa merkittävästi vasta maan lämpötilan ylittäessä kyseisen lämpötilan, joka entisestään heikentää sienijuurten hyödyntämisen mahdollisuuksia muokkausintensiivisessä maataloudessa Suomen rajallisella kasvukaudella. (Gavito & Azcón-Aguilar, 2012, ss. 7–8)

Tilan lannoitus on painottunut täysin mineraalilannoitteisiin ja porkkanalle fosforia annetaan niin kiinteässä kuin nestemäisessä muodossa (henkilökohtainen tiedonanto tekijälle suullisesti, viljelijä Arto Hyytiäinen, 2.2.2020). Varsinkin korkealiukoisen fosforin lannoitustaso heikentää mutualistisen symbioosin edellytyksiä ja muuttaa sen herkästi loisivaksi. Näin sienijuuren vaikutus isäntäkasvin kasvulle voi olla jopa negatiivinen. (Vestberg, 2017; ks. myös Jones, 2017a)

6.5 Sienijuurten hyödyntämiseen liittyvät epävarmuudet

Sienijuurien hyödyntämiseen maataloudessa liittyy jonkin verran epävarmuuksia, sillä symbioosin muodostumiseen ja siitä saatavaan hyötyyn vaikuttavat monet asiat. Ensiksi sienijuuren

muodostumiseen vaikuttaa sienien ja kasvin perimä (Johnson, Graham & Smith, 1997, ss. 578–579). Lisäksi kasvin kasvutiheydellä sekä kasvutiheyden ja fosforin saatavuuden yhtälöllä on havaittu vaikutusta symbioosista saatavaan hyötyyn. Kasvin ja sienijuuren kasvuvaihe vaikuttaa merkittävästi sienijuuren tuottamaan hyötyyn ja haittaan kasville. Näistä edellä mainituista tekijöistä muodostuu symbioottisen suhteen summa, joka voi olla isäntäkasville positiivinen tai negatiivinen. (Schroeder & Janos, 2004) Kuten Hamel (1996, s. 205) on todennut: sienijuurisymbioosi on hankalasti hallittavissa maataloudessa, keräsienien biotrofisen luonteen sekä maan, kasvin ja sienien monimutkaisen vuorovaikutuksen takia.

Kasvinsuojeluaineiden käytön vaikutuksista ei ole yksiselitteistä tietoa. Vahvojen kasvinsuojeluainepitoisuuksien käyttö saattaa vähentää kolonisaatiota (Wang ym., 2011) ja niiden on myös arveltu aiheuttavan sienijuurellisella porkkanalla taimikuolleisuutta (H. Rahikainen julkaisematon Helsingin yliopiston Pro Gradu -tutkielma, 2012, s. 22). Systemiset fungisidit heikentävät kolonisaatiota, kun taas kosketusvaikutteiset saattavat jopa parantaa sitä (Jin, Germida & Walley, 2013, ss. 28–s29). Premier Tech (2019) -yrityksen keräsienijuurirympin ohjeistuksessa kerrotaan, että systemiset kasvinsuojeluaineet ovat haitaksi sienijuuren muodostumiselle. Ohjeistuksen perusteella keräsienellä ei vaikuttaisi olevan erityistä herkkyttä kasvustoon ruiskutettaville kasvinsuojeluaineille. Maavaikutteisia kasvinsuojeluaineita tosin suositellaan käytettävän vasta neljän viikon kuluttua ympäryksestä, minkä perusteella symbioosin herkkyys kasvinsuojeluaineille on erityinen ensimmäisen neljän viikon ajan.

6.6 Sienijuurten huomioiminen Hyttiäisen tilan viljelykäytännöissä

Tilalla luontaisten sienijuurten huomioimisella ja niiden elinmahdollisuuksiin ja tehokkaaseen symbioosiin panostamalla saataisiin todennäköisesti hyötyjä kauppakelpoisen porkkanasadon sekä kokonaissadon suurempana määränä. Toimet voidaan jakaa kahteen eri yläkategoriaan: luomuun ja tavanomaiseen.

Sienijuurisymbioosin kannalta parannus nykyiseen tuotantoon olisi luomuviljelyyn siirtyminen. Sen etuja ovat orgaaninen lannoitus, kasvinsuojeluaineiden käytön väheneminen sekä viherlannoituksen myötä maanmuokkauksen vähentyminen (Paljojärvi, 2018, ss. 29–30). Verbruggen ym. (2010, ss. 972–977) tutkimuksessaan havaitsi kolonisaation lisääntyvän vuosittain siirryttäessä tavanomaisesta viljelystä luomuviljelyyn. Kasvinsuojeluaineiden osalta selkein

vaikutus saadaan fungisidien jäädessä pois (Palojärvi, 2018, ss. 29–30), tosin myös biologisilla fungisidivalmisteilla, kuten tilan käyttämällä Serenade ASO -valmisteella, saattaa olla haittavaikutuksia sienijuurelle (Xiao ym., 2008, ss. 1135–1136).

Lannoituksen muutos hidasliukoisempiin vaihtoehtoihin kuten orgaanisiin lannoitteisiin, edes fosforin osalta, mahdollistaisi paremmat hyödyt symbioottisesta suhteesta (Vestberg, 2017) Nykyisillä tilan lannoitus- ja muokkaustavoilla voi sienijuuren vaikutus porkkanan kasvulle olla jopa negatiivinen, kun mineraalilannoitus muuttaa symbioottisen suhteen loisimiseksi ja muokkauksessa hajotetun rihmaston rakentaminen vaatii energiaa (Schroeder & Janos, 2004; Kabir, 2004, ss. 26–28). Luomuun siirtyminen olisi tilalle iso muutos, jota täytyisi tarkastella muillakin tavoilla kuin vain sienijuurten hyödyntämisen kautta. Helpommin lähestyttävää on tarkastella toimintatapoja tavanomaisessa viljelyssä ja pyrkiä parantamaan sen edellytyksiä sienijuurille ja niiden mahdollistamalle symbioosille.

Vaihtoehtona luomuviljelyyn siirtymiselle voisi olla toimintamalli, jossa tilalla toteutettaisiin muutoksia toimintatapoihin tavanomaisessa viljelyssä. Tilan toimintatavoissa muutoksen kohteena olisivat jo luomuviljelyssä käsitellyt muokkaus, kasvinsuojelu, lannoitus ja viljelykierto. Pelkästään muokkaustapojen, lannoituksen ja kasvinsuojelun sienijuurelle haitallisia kohtia muuttamalla tilalla saavutettaisiin merkittävä parannus sienijuurten elinolosuhteiden parantumisessa. Nämä kolme edellä mainittua toimintaa muodostavat suurimmat haitat sienijuurten kehittymiselle, toiminnalle sekä symbioosista saataville hyödyille (Schroeder & Janos, 2004; Kabir, 2004, ss. 26–28; Jin, Germida & Walley, 2013, ss. 28–29). Ensimmäisenä käytännön toimenä fungisideilla peitatut porkkanan siemenet tulisi korvata peittaamattomilla siemenillä. Näin symbioosin muodostuminen sienijuuren ja porkkanan taimen välille lisääntyy merkittävästi. (Jin, Germida & Walley, 2013, ss. 28–29) Muokkauksessa olisi mahdollista siirtyä kevennettyyn muokkaustapaan, pois lukien porkkanan esikasvin päättäminen. Tällä vähennettäisiin kyntö keskimäärin yhteen kolmasosaan nykyisestä viljelykierron aikana. Porkkanaa edeltävänä syksynä kyntö puolustaa paikkaansa parantaen porkkanan kylvöä merkittävästi (henkilökohtainen tiedonanto tekijälle suullisesti, viljelijä Arto Hyytiäinen, 2.2.2020). Vaihtoehtona olisi myös välikasvien viljely suorakylvöllä, jolloin vaikutus sienijuurten elinvoimalle olisi paras mahdollinen, mutta muutos muokkaukseen olisi käytännöllisin kevennettyinä, sillä siirtyminen suorakylvöön vaatisi konekannan muutosta, jolloin askel sen toteuttamiseen ei ole yhtä helposti toteutettava. Porkkanan kylvömuokkaus jyrsimällä on ongelmallinen sienijuurille, sillä se hajottaa rihmaston tehokkaasti ja sekoittaa maan. Sen

muuttaminen ei valitettavasti tule kysymykseen, sillä se on olennainen osa porkkanan kylvötekniikkaa (henkilökohtainen tiedonanto tekijälle suullisesti, viljelijä Arto Hyytiäinen, 2.2.2020). Lannoitukseen on tehtävä muutoksia, jos sienijuurisympioosista halutaan hyötyä porkkanan kasvulle. Suurin vaikutus on fosforilannoituksella, joka tilalla täytyisi vaihtaa liukenevasta kemiallisesta lannoitteesta heikommin liukenevaan mineraalilannoitteeseen tai vaihtoehtoisesti orgaaniseen lannoitteeseen, esimerkiksi lantaan. Käytännöllisin lannoitevaihtoehto olisi olomuodoltaan rakeinen, kuten nykyiset, jolloin laitteet ja toimintatavat voitaisiin pitää mahdollisimman samankaltaisina. Vaihtoehtona voisi olla esimerkiksi Ecolan Agra Organic 8-4-8 -luomulannoite. Se on rakeinen lihaluujauhohojainen lannoite, jonka fosfori on pääasiassa hidasliukoisessa muodossa. (Lantmännen Agro Oy, n.d.; Ecolan, 2020) Tämä korvaisi tilan käyttämän Hevi 3 -lannoitteen. Ainoastaan kaliumlannoitus jää vajavaiseksi, joten se on toteutettava erikseen. (henkilökohtainen tiedonanto tekijälle suullisesti, viljelijä Arto Hyytiäinen, 2.2.2020) Lannoitustaso saattaa olla nykyisellään fosforin osalta liian korkea mutualistiselle symbioosille, mutta se on todettava käytännössä pienellä alalla kokeilemalla, sillä se on kasvilajikohtainen (Hoppula & Hoppula, 2018). Käytännön toimista viljelykierron muuttaminen sienijuurille edullisempaan suuntaan vähentämällä kauran osuutta porkkanan viljelykierrossa olisi toivottavaa, sillä se on heikosti symbioottinen (Hoppula & Hoppula, 2018). Kauran paikkaa viljelykierrossa puolustaa se, että se sopii erinomaisesti porkkanan välikasviksi, koska sillä on hyvin vähän samoja kasvitauteja porkkanan kanssa (henkilökohtainen tiedonanto tekijälle suullisesti, viljelijä Arto Hyytiäinen, 2.2.2020). Muutoksia tulisi kokeilla alkuun muutamalla loholla, jotta vaikutuksia voidaan arvioida rajatulla pinta-alalla. Peitattujen siementen vaihto peittaamattomiin saattaa lisätä maalevintäisiä sienitauteja porkkanalla, tai vaihtoehtoisesti sienijuuri voi korvata fungisidien vaikutukset patogeeneja vastaan. Muiden fungisidien käytön ja sen vähentämisen vaikutukset tulisi arvioida kokeilemalla, ensin vähentämällä systeemiä. Tosin niiden käyttö rajoittuu kasvukauden lopulle, jolloin sienijuuristo on kasvanut jo suureksi ja kestää mahdollisesti valmisteita paremmin. Lisäksi negatiiviset vaikutukset symbioosiin ovat ajallisesti rajatummalla, joten ne jäävät porkkanalle vähäisiksi. Muutoksia tulee tilalla arvioida tarkasti, jotta sienijuurista saatava potentiaalinen hyöty porkkanan sadon määrälle ja laadulle ei jää muutosten vaikutuksia pienemmäksi. Sienijuuret tarjoavat myös hyötyjä ympäristölle, sekä niiden hyödyntämiseksi tehtävät muutokset tuovat mukanaan ympäristöhyötyjä (Palojärvi, 2018, s. 29; Jones, 2017a; Jones, 2017b). Näitä ei voi jättää arvottamatta tilalla kokonaisuutta arvioitaessa.

7 Johtopäätökset

Sienijuuret mahdollistavat laajan joukon hyötyjä isäntäkasvilleen (Vestberg, Timonen & Lehto, 2018, ss. 13–15). Näin on myös porkkanan tapauksessa, sillä porkkana on tehokas sienijuurisymbioosin hyödyntäjä (Hoppula & Hoppula, 2018). Wang ym. (2011) ja Regvar ym. (2003) tutkimuksissaan osoittavat, että symbioottinen suhde sienijuuren kanssa mahdollistaa porkkanalle suuremman ja laadukkaamman sadon. Porkkanan sadon lisää puoltavat myös Premier Techin (2020) tekemät peltokokeet, joissa päästiin keskimäärin noin 10 % markkinakelpoisen sadon lisään. Sienijuurten hyödyntämiseen liittyy tosin monia muuttujia. Symbioottinen suhde on kuin yhtälö, joka muodostuu useiden tekijöiden summasta. Siihen vaikuttavat sienin ja kasvin perimä sekä kasvuvaihe, kasvin kasvutiheys, fosforin saanti, maan lämpötila sekä monet muut tekijät kuten esimerkiksi kasvinsuojeluaineet ja maanmuokkaus. (Johnson, Graham & Smith, 1997, ss. 578–579; Schroeder & Janos, 2004; Gavito & Azcón-Aguilar, 2012, ss. 7–8 Jin, Germida & Walley, 2013, ss. 28–29; Kabir, 2004, ss. 26–28)

Hyytiäisen tilan pelloilta löytyy todennäköisesti vähintään tyydyttävästi luonnollisia keräsienijuurikantoja. Porkkanaa kolonisoivan sienijuuren olemassaolo voitaisiin tilatasolla todentaa jokseenkin luotettavasti kolonisaatiota tutkimalla. Tutkimus voitaisiin toteuttaa mikroskoopilla porkkanan juurinäytteitä tutkimalla tämän opinnäytetyön kappaleen 3.6 tekstin lähteitä apuna käyttäen. Vaikka kolonisoivia sienikantoja ei todellisuudessa löytyisikään tai kanta olisi heikko ei se poistaisi mahdollisuuksia sienijuuren hyödyntämiseen viljelyssä, sillä niitä voidaan lisätä maahan ympäriällä kaupallisilla sienijuurivalmisteilla (Palojärvi, 2018, s. 28). Kustannus ympärykselle ei olisi valtava, halvimmillaan noin 90 € hehtaari, ja se olisi mahdollista toteuttaa joustavasti eri tavoin (henkilökohtainen tiedonanto tekijälle, Symbiom, sähköposti, 5.10.2020). Symbioosin hyödyntäminen porkkanan eduksi ei olisi tilan nykyisillä viljelykäytännöillä aivan yksinkertaista, sillä tilan viljely on tavanomaista. Viljelykiertoon sisältyy paljon muokkausta, fungisideja ja kemiallisia mineraalilannoitteita, jotka ovat omiaan heikentämään sienijuurisymbioosista saatavaa hyötyä (henkilökohtainen tiedonanto tekijälle suullisesti, viljelijä Arto Hyytiäinen, 2.2.2020; Palojärvi, 2018, ss. 28–29). Jos sienijuuria haluttaisiin hyödyntää tilalla, olisi viljelykäytäntöihin tehtävä muutoksia. Sienijuurten esiintymisen, kolonisaation ja symbioosin kannalta paras vaihtoehto olisi tilan siirtyminen luomuun, joka pakottaisi toimintatavat sienijuurille suotuisammiksi (Palojärvi, 2018, ss.29–30; Verbruggen ym. 2010, ss. 972–977). Toinen vaihtoehto, joka on tilan lähtökohdissa parempi, olisi pysyminen tavanomaisessa viljelyssä. Tällöin

sienijuurille haitallisia toimintatapoja pyrittäisiin muuttamaan paremmiksi, kuitenkin muuttamatta kokonaisuutta sellaiseksi, jossa sienijuurista saatava potentiaalinen hyöty jää pienemmäksi kuin muutosten negatiiviset vaikutukset porkkanan sadon määrään ja laatuun.

Viljelykierrossa kyntömuokkauksen määrää olisi mahdollista vähentää kierron viljavuosilta, jolloin syvämuokkauksen määrä vähenisi keskimäärin yhteen kolmasosaan nykyisestä viljelykierron aikana. Viljan päättömuokkaus toteutettaisiin kevennettynä, esimerkiksi kultivoimalla. Lannoitusta olisi muutettava vähintään fosforilannoituksen osalta niin, että liukoisen fosforin määrä vähenisi. Tämä tarkoittaisi muutoksia nykyisiin kemiallisiin mineraalilannoitteisiin. Tilalle helpoimmin toteutettava vaihtoehto kemialliselle fosforilannokselle olisi esimerkiksi Ecolan Agra Organic 8-4-8 -lannos, jolla saadaan korvattua nykyinen typpi- ja fosforilannoitus lähes kokonaisuudessaan orgaanisella, hidasliukoisella vastineella (Lantmännen Agro Oy, n.d.). Lannoitteista paras vaihtoehto olisi lanta, mutta sen käyttäminen ilman omia eläimiä ja vaadittavaa konekantaan olisi liian iso harppaus tilan toimintaan. Lannoitustaso saattaisi olla liian korkea hidasliukoisenakin lannoitteella mutualistiselle symbioosille. Oikea lannoitustaso tulisi kokeilla käytännössä pienellä alalla, sillä se on kasvilajikohtainen. Lannoituksen osalta arvioitavaksi jäisi myös kauran lannoitus. Kauralla olisi mahdollista jatkaa nykyisellä lannoitteella ja lannoitustavalla, jos se ei heikennä kauran satoa symbioosin kautta. Kauralle hyöty sienijuurisymbioosista olisi oletettavasti vähäinen pienempien juurien ja viljakasvien heikomman hyödyntämispotentiaalin takia, joten en usko myöskään symbioosin mahdollisten negatiivisten vaikutusten olevan valtavia kauran kasvulle (Hoppula & Hoppula, 2018). Systeemisten fungisidien käyttöä koko viljelykierrossa täytyisi vähentää. Se tarkoittaisi lähinnä porkkanan ja viljan peittäusaineiden vaihtamista tai peittaamattomien siementen käyttämistä. Kaikki muutokset toimenpiteisiin voisivat aiheuttaa myös haittaa porkkanan tuotannolle. Haitta saattaisi olla jopa suhteessa suurempi kuin sienijuuren positiivinen vaikutuspotentiaali on, joten muutokset tulisi ottaa käyttöön ja toteuttaa rajatulla muutaman hehtaarin alalla. Näin vaikutuksia voitaisiin arvioida paremmin ja symbioosin mahdolliset hyödyt tai haitat saataisiin konkreettisesti tarkasteltaviksi tilan viljely-ympäristössä.

Lähteet

- Aaltonen, M. & Vestberg, M. (2005). Uudet tekniikat käyttöön avomaalla. *Koetoiminta ja käytäntö* 68(3), 4. Haettu 1.10.2020 osoitteesta: <http://www.mtt.fi/koetoiminta/pdf/mtt-kjak-v62n03s04.pdf>
- Aaltonen, M., Hannukkala, A., Huusela-Veistola, E., Jalli, H., Ketola, J., Känkänen, H., Nissinen, A., Raiskio, S., Ruuttunen, P., Salo, T., Tiilikkala, K., Tuovinen, T. & Vänninen, I. (2016). *Porkkana IPM-ohjeet 2016*. Luonnonvarakeskus. Haettu 12.10.2020 osoitteesta: <https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/532776/Luke-porkkanaopas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bayer Group (2019). *Serenade Fungicides*. Haettu 17.9.2020 osoitteesta: <https://www.cropscience.bayer.us/-/media/Bayer-CropScience/Country-United-States-Internet/Documents/Products/Fungicides/Serenade-Opti/Serenade-Organic-Grower-Product-Bulletin.ashx>
- Biolan (n.d.). *Biolan Rootgrow Mykorritsa*. Tuotesivut. Haettu 2.10.2020 osoitteesta: <https://www.biolan.fi/tuotteet/biolan-rootgrow-mykorritsa.html>
- Dehne, H. M. (1982). Interaction between vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and plant pathogens. *Phytopathology* 72(8), 1115–1119. Haettu 19.2.2020 osoitteesta: https://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/Documents/1982Articles/Phyto72n08_1115.PDF
- Ecolan (2020). *Ecolan Agra® Ilmastokestävät lannoitteet*. PDF tuote-esite. Haettu 12.11.2020 osoitteesta: https://www.lantmannenagro.fi/globalassets/product-integration/files/ecolan_agra_ilmastoluomu_tuotteet_2020_esite.pdf
- Gavito, M. & Azcón-Aguilar, C. (2012). Temperature stress in arbuscular mycorrhizal fungi: a test for adaptation to soil temperature in three isolates of *Funneliformis mosseae* from different climates. *Agricultural and food science* 21(1), 2–11. Haettu 12.11.2020 osoitteesta: <https://doi.org/10.23986/afsci.4994>

- Gerdemann, J. W. & Nicolson, T. H. (1963). Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society* 46(2), 235–244. Haettu 1.12.2020 osoitteesta: [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(63\)80079-0](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(63)80079-0)
- Gilbert, N. (2009). Environment: The disappearing nutrient. *Nature* 461(8), 716–718. Haettu 13.10.2020 osoitteesta: <https://doi.org/10.1038/461716a>
- Guo, D., Xia, M., Wei, X., Chang, W., Liu, Y., Wang, Z. (2008). Anatomical traits associated with absorption and mycorrhizal colonization are linked to root branch order in twenty-three Chinese temperate tree species. *New Phytologist* 180(3), 673–683. Haettu 2.10.2020 osoitteesta: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02573.x>
- Hamel, C. (1996). Prospects and problems pertaining to the management of arbuscular mycorrhizae in agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 60(2-3), 197–210. Haettu 13.10.2020 osoitteesta: [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(96\)01071-7](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(96)01071-7)
- Hankkija (n.d.). *Celest Trio*. Haettu 12.10.2020 osoitteesta: https://www.hankkija.fi/Maatalous_ja_metsa/kasvinsuojeluaineet/peittausaineet/celest-trio/
- Hijiri, M. (2016). Analysis of a large dataset of mycorrhiza inoculation field trials on potato shows highly significant increases in yield. *Mycorrhiza* 26, 209–214. Haettu 2.10.2020 osoitteesta: <https://doi.org/10.1007/s00572-015-0661-4>
- Hildebrandt, U., Ouziad, F., Marnier, F.-J. & Bothe, H. (2006). The bacterium *Paenibacillus validus* stimulates growth of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* up to the formation of fertile spores. *FEMS Microbiology Letters* 254(2), 258–267. Haettu 29.9.2020 osoitteesta: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2005.00027.x>
- Hoppula, K. & Hoppula, K. (2018). *Mykorritsa- eli sienijuurisymbioosi*. Powerpoint esitys. Luomuliiketoiminnan kehittäminen Keski-Suomessa. Luke. Haettu 24.2.2020 osoitteesta: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201901172345>
- Huang, H., Zhang, S., Chen, B.-D., Wu, N., Shan, X.-Q. & Christy, P. (2006). Uptake of atrazine and cadmium from soil by maize (*Zea mays* L.) in association with the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus etunicatum*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54(25), 9377–9382. Haettu 05.09.2020 osoitteesta: <https://doi.org/10.1021/jf061699g>

- Jin, H., Germida, J. J. & Walley, F. L. (2013). Suppressive effects of seed-applied fungicides on arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) differ with fungicide mode of action and AMF species. *Applied Soil Ecology* 72, 22–30. Haettu 11.10.2020 osoitteesta: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.05.013>
- Johnson, N. C., Graham, J. H. & Smith, F. A. (1997). Functioning of mycorrhizal associations along the mutualism-parasitism continuum. *New Phytol.* 135, 575–585. Haettu 29.8.2020 osoitteesta: <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.1997.00729.x>
- Jones, C. (2017a). knaapi knehtilässä. Luentotallenne. HAMK Kultura. HAMK. Haettu 19.2.2020 osoitteesta: https://kultura.hamk.fi/media/knaapi+knehtilässä/0_5ff1z12r
- Jones, C. (2017b). Christine_Jones_Soil_Carbon_osa 2.mp4. Luentotallenne. HAMK Kultura. HAMK. Haettu 20.2.2020 osoitteesta: https://kultura.hamk.fi/media/Christine_Jones_Soil_Carbon_+osa+2.mp4/0_eqdam2r1
- Kabir, Z. (2004). Tillage or no-tillage: Impact on mycorrhizae. *Canadian Journal of Plant Science* 85(1) 2005, 23–29. Haettu osoitteesta 27.8.2020 osoitteesta: <https://doi.org/10.4141/P03-160>
- Kumar, A. (2013). Keräsienijuuri kolonisoii puna-apilan juurta. a) Rihmastoja juuren ulkopuolella ja vesikkeli 40 kertaisella suurennoksella. b) Rihmastoja juuren sisällä 150 kertaisella suurennoksella [kuva]. Haettu 16.11.2020 osoitteesta: https://www.researchgate.net/figure/Arbuscular-mycorrhizal-root-colonization-in-red-clover-roots-a-hyphae-on-root-surface_fig3_258012658
- Lantmännen Agro Oy (n.d.). *Ecolan Agra® Organic 8-4-8 luomulannoite 700kg*. Tuotesivut. Haettu 12.11.2020 osoitteesta: <https://www.lantmannenagro.fi/tuotteet/lannoitteet-ja-kalkit/luomulannoitteet/ecolan-agra-organic-8-4-8-luomulannoite-700kg/>
- Leinonen, J. (2018). Forssalainen Karotia panostaa tuotantotiloihin – Suomen suurin yksityinen porkkanatila vahvistaa asemiaan. *Forssan Lehti* 12.10.2017. Haettu 30.1.2020 osoitteesta: <https://www.forssanlehti.fi/lounais-hame/forssalainen-karotia-panostaa-tuotantotiloihin-suomen-suurin-yksityinen-porkkanatila-vahvistaa-asemiaan-8673>

Luonnonvarakeskus (n.d.). *Maatalous ja ilmastonmuutos*. Haettu 1.10.2020 osoitteesta:

<https://www.luke.fi/tietoa-luonnonvaroista/maatalous-ja-maaseutu/maatalous-ja-ilmastonmuutos/>

McGonigle, T. P., Miller, M. H., Evans, D. G., Fairchild, G. L., Swan, J. A. (1990). A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol.* 115, 495–501. Haettu 20.11.2020 osoitteesta:

<https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1990.tb00476.x>

Micropia (n.d.). *Mycorrhiza*. Haettu 30.11.2020 osoitteesta:

<https://www.micropia.nl/en/discover/microbiology/mycorrhiza/>

Moreira, M., Baretta, D., Tsai, S. M. & Cardoso, E. J. B. N. (2006). Spore density and root colonization by arbuscular mycorrhizal fungi in preserved or disturbed *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. ecosystems. *Scientia Agricola* 63(4), 380–385. Haettu 12.10.2020 osoitteesta:

<https://doi.org/10.1590/S0103-90162006000400009>

Mycorrhizal Applications, (n.d.). *About Us*. Tietoa yrityksen toiminnasta. Haettu 2.10.2020 osoitteesta: <https://mycorrhizae.com/about/>

Palojärvi, A. (2018). Monta keinoa ylläpitää hyödyllistä sienijuurta peltomaassa. *Luomulehti* 5/2018, 28–30

Parniske, M. (2008). Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. *Nature Reviews Microbiology* 6, 763–775. Haettu 29.9.2020 osoitteesta:

<https://doi.org/10.1038/nrmicro1987>

Pepe, A., Giovannetti, M. & Sbrana, C. (2018). Lifespan and functionality of mycorrhizal fungal mycelium are uncoupled from host plant lifespan. *Scientific Reports* 8(10235). Haettu 24.9.2020 osoitteesta: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-28354-5>

Phillips, J. M. & Hayman, D. S. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society* 55(1), 158–161. Haettu 1.12.2020 osoitteesta:

[https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(70\)80110-3](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(70)80110-3)

- Premier Tech (2019). *Compatibility pesticides and mycorrhizae*. Haettu 3.10.2020 osoitteesta:
https://medias.ptagtiv.com/media/2606/compatibility-pest-myco-web-201910_agtiv_en.pdf
- Premier Tech (2020). *Efficacy REPORT*. Peltokokeiden tuloksia eri vuosilta. Haettu 3.10.2020 osoitteesta: https://medias.ptagtiv.com/media/2660/2020_efficacy_report_agtiv_sc.pdf
- Premier Tech (n.d.-a). *Products*. Haettu 3.10.2020 osoitteesta:
<https://www.ptagtiv.com/en/products/zone/europe/>
- Premier Tech (n.d.-b.). *AFTIV® Specialty Crops Powder*. Haettu 3.10.2020 osoitteesta:
<https://www.ptagtiv.com/en/products/aktiv-specialty-crops-powder/#product-description>
- Premier Tech (n.d.-c.). *AGTIV® Specialty Crops Granular*. Haettu 3.10.2020 osoitteesta:
<https://www.ptagtiv.com/en/products/aktiv-specialty-crops-granular/#product-description>
- Regvar, M., Vogel-Mikuš, K., & Ševerkar, T. (2003). Effect of AMF inoculum from field isolater on the yield of green pepper, parsley, carrot, and tomato. *Folia Geobotanica* 38(2), 223–234.
Haettu 5.9.2020 osoitteesta:
https://www.researchgate.net/publication/226148682_Effect_of_AMF_inoculum_from_field_isolates_on_the_yield_of_green_pepper_parsley_carrot_and_tomato
- Schroeder, M. S. & Janos, D. P. (2004). Phosphorus and intraspecific dencity alter plant responses to arbuscular mycorrhizas. *Plant and Soil* 264, 335–348. Haettu 18.2.2020 osoitteesta:
<https://doi.org/10.1023/B:PLSO.0000047765.28663.49>
- Symbiom (n.d.). *Symbivit*. Mykorritsivalmisteiden tuotesivut. Haettu 1.10.2020 osoitteesta:
<https://www.symbiom.cz/en/p-3-symbivit>
- Syngenta (2020). *Maxim*. Haettu 12.10.2020 osoitteesta:
<https://www.syngentaseedcare.com/product/crop-protection/maxim>
- Syngenta (n.d.). *Apron XL*. Haettu 12.10.2020 osoitteesta:
<https://www.syngenta.nl/en/farmore/vegetables/apron-xl>
- Tahvonen, R. (1982). The suppressiveness od Finnish light coloured Sphagnum peat. *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland* 54(5), 345–356. Haettu 6.10.2020 osoitteesta:
<https://doi.org/10.23986/afsci.72115>

- Tommerup, I. C. & Abbott, L. K. (1981). Prolonged survival and viability of VA mycorrhizal hyphae after root death. *Soil Biol. Biochem* 13, 431–433. Haettu 24.9.2020 osoitteesta: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(81\)90090-0](https://doi.org/10.1016/0038-0717(81)90090-0)
- Verbruggen, E., Rölting, W. F. M., Gamper, H. A., Kowalchuk, G. A., Verhoef, H. A. & van der Heijden, M. G. A. (2010). Positive effects of organic farming on below-ground mutualists: large-scale comparison of mycorrhizal fungal communities in agricultural soils. *New Phytologist* 186(4), 968–979. Haettu 2.10.2020 osoitteesta: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03230.x>
- Vestberg, M. (2017). Mauriz Vestberg-Ansa_Palojärvi_kommentti. Luentotalenne. HAMK Kultura. HAMK. Haettu 19.2.2020 osoitteesta: https://kultura.hamk.fi/media/Mauriz+Vestberg-Ansa_Palojärvi_kommentti/0_kwvau6h4
- Vestberg, M. (2018a). Keräsienten luokittelu ja esiintyminen Suomessa. Teoksessa M. Vestberg & S. Timonen (toim.), *Rihman kiertämät: Kasvien ja sienten erottamaton elämä* (ss. 41-49). Omakustanne.
- Vestberg, M. (2018b). Keräsienijuuri. Teoksessa M. Vestberg & S. Timonen (toim.), *Rihman kiertämät: Kasvien ja sienten erottamaton elämä* (ss. 65–77). Omakustanne.
- Vestberg, M. & Timonen, S. (2018). Mitä sienijuuret ovat. Teoksessa M. Vestberg & S. Timonen (toim.), *Rihman kiertämät: Kasvien ja sienten erottamaton elämä* (s. 11). Omakustanne.
- Vestberg, M., Saari, K., Kukkonen, S. & Hurme, T. (2005). Mycotrophy of crops in rotation and soil amendment with peat influence the abundance and effectiveness of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi in field soil. *Mycorrhiza* 15, 447–458. Haettu 6.10.2020 osoitteesta: <https://doi.org/10.1007/s00572-005-0349-2>
- Vestberg, M., Timonen, S. & Lehto, T. (2018). Erilaiset sienijuurisymbioosit. Teoksessa M. Vestberg & S. Timonen (toim.), *Rihman kiertämät: Kasvien ja sienten erottamaton elämä* (ss. 13–23). Omakustanne.
- Walker, C. (2013a). Arbuscular mycorrhizae in the living collection at the Royal Botanic Garden Edinburgh. *Sibbaldia: The Journal of Botanic Garden Horticulture* 11, 143–157. Haettu 25.9.2020 osoitteesta:

https://www.researchgate.net/publication/283154041_Arbuscular_mycorrhizae_in_the_living_collections_at_the_Royal_Botanic_Garden_Edinburgh

Walker, C. (2013b). *Piirros keräsienijuuren muodostamista rakenteista isäntäkasvin juuren pintasolukossa* [kuva] . Haettu 25.9.2020 osoitteesta:

https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-an-arbuscular-mycorrhiza-showing-the-different-structures-formed-by-the_fig2_283154041

Wang, FY., Tong, RJ., Shi, ZY., Xu, XF. & He, XH. (2011). Inoculations with Arbuscular Mycorrhizal Fungi Increase Vegetable Yields and Decrease Phoxim Concentrations in Carrot and Green Onion and Their Soils. *PLoS ONE* 6(2): e16949. Haettu 20.1.2020 osoitteesta

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0016949>

Weil, R. & Brady, N. (2017). *The nature and properties of soils*. Pearson education limited.

Wilson, H., Johnson, B. R., Bohannon, B., Pfeifer-Meister, L., Mueller, R. & Bridghan S. D. (2016). Experimental warming decreases arbuscular mycorrhizal fungal colonization in prairie plants along a Mediterranean climate gradient. *PeerJ* 4 : e2083. Haettu 12.11.2020 osoitteesta:

<https://doi.org/10.7717/peerj.2083>

West Virginia University (n.d.-a.). *Extraction of Spores*. Ohjeita itiöiden erotteluun. Haettu 1.12.2020 osoitteesta: <https://invam.wvu.edu/methods/spores/spore-extraction>

West Virginia University (n.d.-b.). *Species Descriptions from Reference Cultures*. Keräsienten itiöiden referenssipankki. Haettu 1.12.2020 osoitteesta: <http://fungi.invam.wvu.edu/the-fungi/species-descriptions.html>

West Virginia University (n.d.-c.). *DNA Methods*. Haettu 1.12.2020 osoitteesta: <https://invam.wvu.edu/methods/dna-analysis>

Xiao, X., Chen, H., Chen, H., Wang, J., Ren, C. & Wu, L. (2008). Impact of *Bacillus subtilis* JA, a biocontrol strain of fungal plant pathogens, on arbuscular mycorrhiza formation in *Zea mays*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 24, 1133–1137. Haettu 18.9.2020 osoitteesta: <https://doi.org/10.1007/s11274-007-9584-3>

Ympäristövaliokunta (2020). Valiokunnan lausunto YmVL 13/2020 vp – E 83/2020 vp. Haettu
30.11.2020 osoitteesta:

https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/Lausunto/Sivut/YmVL_13+2020.aspx