

Pro Gradu –tutkielma

**Maaperäeläinten runsastuminen ja vaikutukset
tarhakurjenpolven (*Geranium x magnificum*) taimien
kasvuun rakkaturpeisessa kasvualustassa**

Elina Puolakka



Jyväskylän yliopisto

Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Ekologia ja ympäristöhoito

23.5.2008

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta
Bio- ja ympäristötieteiden laitos
Ekologia ja ympäristön hoito

PUOLAKKA, E. : Maaperäeläinten runsastuminen ja vaikutukset
tarhakurjenpolven (*Geranium x magnificum*) taimien
kasvuun rahkaturpeisessa kasvualustassa
Pro Gradu –tutkielma: 33 s.
Työn ohjaajat: Dos. Jari Haimi, FT Juha Mikola, FL Sanna Kukkonen
Tarkastajat: FT Elisa Vallius, Dos. Jari Haimi
Toukokuu 2008

Hakusanat: arbuskelimykorrhitsa, kasvualusta, maaperäeläimet, vaalea rahkaturve

TIIVISTELMÄ

Vaalea rahkaturve on yleisin taimistoilla käytettävä kasvualusta. Sillä on paljon hyviä ominaisuuksia taimistoviljelyn kannalta, mutta maaperän mikrobeille, sienille ja hajottajaeläimille se ei ole suotuisa elinympäristö. Maaperän ravintoverkolla on suuri vaikutus ravinteiden mineralisaatioon ja epäsuorasti kasvien kasvuun. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, voisiko rahkaturpeen ominaisuuksia muuttaa maaperäeliöstölle sopivammiksi. Kokeilla haluttiin myös selvittää Myko-Ymppi –nimisen kasvien sienijuuri-infektiota edistävän valmisteen toimimista erilaisissa kasvualustaseoksissa. Aikaisemmissa tutkimuksissa on havaittu, että rahkaturpeella on negatiivisia vaikutuksia mykorrhitsainfektion syntyyn ja määrään.

Kasvihuoneoloissa tehty tutkimus koostui kahdesta kahdeksan viikkoa kestäneestä kokeesta, joissa käytettiin tarhakurjenpolven (*Geranium x magnificum*) taimia ja samoja seosaineita, jotka olivat peltomaa, kompostimulta ja Myko-Ymppi –valmiste. Kokeessa A oli lohkokettu 2x2x2 mallinen faktorikoe, jossa taimien alkuperäiseen kasvualustaan lisättiin seosaineita. Koe B tehtiin satunnaistettujen lohkojen koeasetelmalla ja siinä taimet istutettiin kokonaan erilaiseen kasvualustaan. Molemmissa kokeissa mitattiin viikoilla 4 ja 8 taimien lehtipinta-ala osoituksena taimen kasvusta ja menestyksestä. Maaperäeläin- ja juuristonäytteet otettiin kokeen lopussa. Kokeen aikana osa taimien lehdistä muuttui punaiseksi ja kuivui. Syynä tähän oli oletettavasti kasvualustojen korkean ravinnepitoisuuden ja lämpimien kasvuolojen yhteisvaikutus.

Kompostimullan lisäämisellä oli positiivinen vaikutus sukkulamatojen runsauteen kokeessa A, mutta muuten maaperäeläinmäärät jäivät kaikissa käsittelyissä vähäisiksi. A kokeessa ei myöskään havaittu eroja taimien lehtipinta-aloissa. Kokeessa A peltomaa ja kompostimulta yhdessä Myko-Ymppi –valmisteen kanssa tasasivat käsittelyn sisäistä vaihtelua mykorrhitsainfektion määrässä, mutta tilastollisesti merkitsevää eroa mykorrhitsainfektion määrässä käsittelyjen välillä ei havaittu. Kokeessa B havaittiin, että yksinään käytettynä kompostimulta ei ole sopiva kasvualusta tarhakurjenpolvelle. Eri kasvualustojen ei havaittu kokeessa B aiheuttavan eroja mykorrhitsainfektion määrässä tai Myko-Ymppi –valmisteen toiminnassa. Johtopäätös kokeista on, että siinä käytetyt seosaineet eivät muuttaneet rahkaturpeen ominaisuuksia riittävästi maaperäeläinten menestymisen kannalta. Seosaineiden lisääminen rahkaturpeeseen saattoi kuitenkin hyödyttää mykorrhitsainfektion syntyä ilman merkittäviä negatiivisia vaikutuksia taimen kasvulle, joten niiden käyttöä ja soveltamista taimistoviljelyyn tulisi tutkia lisää.

UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ, Faculty of Science

Department of Biological and Environmental Science
Ecology and Environmental Management

PUOLAKKA, E. : The abundance of soil animals and their effects on the
 growth of herbaceous perennial Cranesbill (*Geranium x
 magnificum*) saplings
Master of Science Thesis: 33 p.
Supervisors: PhD Jari Haimi, PhD Juha Mikola, Licentiate Sanna
 Kukkonen
Inspectors: PhD Elisa Vallius, PhD Jari Haimi
May 2008

Key words: arbuscular mycorrhiza, growing medium, soil animals, light *Sphagnum* peat

ABSTRACT

Light *Sphagnum* peat is the most used growing medium in horticulture. It has a lot of good properties, but for soil microbes, fungi and decomposer animals it is not a favorable habitat. Soil food web has a great effect on mineralization and indirect effects on the growth of primary producers. The aim of this study was to find out whether it is possible to change the features of *Sphagnum* peat to be more suitable for soil fauna. The function of Myko-Ympäri, which is a horticultural product to increase the amount of arbuscular mycorrhizal (AM) infection, was tested in different kind of growing media mixes. In previous studies it has been found that *Sphagnum* peat has negative effects on AM infection.

The study consisted of two greenhouse experiments lasting eight weeks. The sapling grown were Cranesbill (*Geranium x magnificum*) and the soils used in growing media mixes were same in both experiments. Experiment A was a 2x2x2 factor design with blocks in which the amendments (field soil, compost mould and Myko-Ympäri -product) were added to the original horticultural peat. In the experiment B the randomized block design was used and the whole growing medium of the sapling was changed. In both experiments in weeks 4 and 8 the total leaf area of sapling was measured as indication of its growth and bloom. The soil and root samples were taken only at the end. During the experiments the leaves of saplings from all the treatments started to turn red and dry out. One possible reason for this is the influence of high level of nutrients at the growing media and high temperature in the greenhouse.

The compost mould had a positive influence on the abundance of nematodes but the numbers of other soil animals were not affected by any treatment. In the experiment A there were no significant differences in the leaf areas. The field soil and compost mould combined with the Myko-Ympäri lowered the variation in the amount of AM infection, but no significant differences between the treatments were detected. In experiment B it was found out that the compost mould alone was not suitable growing medium for Cranesbill. The amount of mycorrhizal infection did not differentiate in the experiment B. To sum up, the soil amendments did not change the properties of *Sphagnum* peat enough for the thriving of soil animals. Mixing the amendment to the *Sphagnum* peat might be useful for the AM infection without any extra costs to the saplings. From this point of view, it could be reasonable to use them in horticulture and do more basic research work on them.

Sisältö

1	JOHDANTO	5
1.1	Rahkaturve kasvualustana	5
1.2	Maaperän hajottajaravintoverkko	5
1.3	Maaperäeläimet ja niiden merkitys ekosysteemissä	6
1.4	Kasvin suhde elinympäristöönsä ja sienijuuren merkitys	7
1.5	Kompostin vaikutukset kasvualustaan	8
1.6	Tutkimuksen tavoitteet.....	9
2	AINEISTO JA MENETELMÄT	10
2.1	Kokeen toteutus ja perustaminen.....	10
2.2	Lehtipinta-alan mittaaminen.....	14
2.3	Maaperäeläimien ja mykorritsainfektion määrän mittaaminen.....	14
2.4	Tilastolliset analyysit	15
3	TULOKSET A KOKEESTA.....	16
3.1	Käsittelyiden vaikutus maaperäeläinten määrään.....	16
3.2	Käsittelyjen vaikutus taimen menestymiseen.....	18
3.3	Käsittelyiden vaikutus mykorritsainfektion määrään	20
4	TULOKSET B KOKEESTA.....	21
4.1	Taimen kasvu erilaisissa kasvualustoissa.....	21
4.2	Mykorritsainfektion määrä ja Myko-Ympäri -valmisteen toiminta eri kasvualustoissa	22
5	TULOSTEN TARKASTELU.....	24
5.1	Maaperäeläinten määrään vaikuttavat tekijät	24
5.2	Maaperäeläinten vaikutus taimen kasvuun	25
5.3	Taimen lehtipinta-alojen pieneneminen.....	25
5.4	Mykorritsainfektion määrään vaikuttaminen Myko-Ympäri- valmisteella	26
5.5	Tarhakurjenpolven taimen kasvu ja Myko-Ympäri valmisteen toimiminen erilaisissa kasvualustoissa	27
6	YHTEENVETO.....	28
	KIITOKSET.....	29
	KIRJALLISUUS	30

1 JOHDANTO

1.1 Rahkaturve kasvualustana

Vaalea rahkaturve on taimistoviljelyssä yleisimmin käytetty kasvualusta. Kasvualustana vähän maatunut rahkaturve on ravinneköyhää ja hapanta, mutta siinä on hyvä ja kestävä rakenne, minkä vuoksi se pidättää hyvin vettä ja ylläpitää kasvualustan ilmahuokostilavuutta (Schmilewski 1996). Rahkaturpeessa on ligniinin kaltaisia sphagnoleja, jotka hidastavat mikrobien hajotustoimintaa ja edistävät turpeen rakenteen pysyvyyttä, vaikka turvetta lannoitettaisiin (Puustjärvi 1982). Rungasravinteiden määrä turpeessa lisää mikrobien hajotustoimintaa. Gobatin ym. (2003) mukaan happamuuden ja hapettomuuden vuoksi soiden turvekerroksessa ei elä kalkkia vaativia hajottajaeläimiä (esim. lieroja tai tuhatjalkaisia) vaan soilla hajottajaravintoverkon tärkeimmät osat ovat sientä syövät sukkulamadot, änkyrimadot ja kaksisiipisten toukat. Soilla tavataan myös protistoihin kuuluvia eliöitä, hyppyhäntäisiä ja runsaasti kuoripunkteja (Silvan ym. 2000, Gobat ym. 2003). Vaikka soiden vedenpintaa laskettaisiin ja olot muuttuisivat turpeessa hapellisiksi, olisi rahkaturve edelleen huonolaatuinen ravintokohde ja rajoittaisi hajottajaeläinten toimintaa (Silvan ym. 2000). Suurin osa soilla elävistä hyönteisistä elävät suon pintakerroksessa, jossa ne ovat alttiita ympäristössä tapahtuville muutoksille eivätkä esimerkiksi änkyrimadot viihdy syvemmillä ja enemmän hajoaneissa turvekerroksissa, vaikka kuumina kesinä ne siirtyvätkin pintakerroksissa kosteampiin ja viileämpiin oloihin syvemmälle turpeeseen (Laiho 2006).

Sienirihmasto on soilla runsaasti 20 cm:n syvyyteen saakka ja niitä hyödyntävinä siellä elää sienensyöjäeläimiä (Gobat ym. 2003). Samassa paikassa esiintyvän hajottajasieniyhteisön koostumuksessa on eroja riippuen siitä, millaista hajotettava materiaali on, eikä siihen niinkään vaikuta paikan fysikaaliset tai pintaveden kemialliset olot (Thormann ym. 2003). Tämä havainto tukee ajatusta siitä, että rahkaturpeen hitaan hajoamisen syynä on sen heikko käytettävyys sellaisenaan detritusta syövien hajottajaeläinten ravintona (Coulson & Butterfield 1979, Laiho 2006). Hitaan hajoamisnopeuden ja alhaisen luontaisen ravinnepitoisuuden vuoksi rahkaturve on hyvä kasvualusta taimistoviljelyssä, koska sen rakenne on kestävä ja sitä voidaan lannoittaa tarkoituksen vaatimalla tavalla.

1.2 Maaperän hajottajaravintoverkko

Hajottajaeliöistä koostuvalla ravintoverkolla on keskeinen merkitys saatavilla olevien ja kasvien tarvitsemien ravinteiden kierrossa (Wardle 1999, Wardle ym. 2004). Ravintoverkkoteorian mukaan (Polis & Strong 1996) maaperän ravintoverkossa lajit ovat tiiviisti vuorovaikutuksessa keskenään eikä selvää tuottaja-kuluttaja-peto –hierarkiaa voida lajien kaikkiruokaisuuden (omnivorian) vuoksi havaita. Maaperän ravintoverkon resursseja (detritusta ja kasvien tuottamia ja maaperään vapauttamia hiiliyhdisteitä) käyttävät ravintonaan monet lajit riippumatta niiden pääasiallisesta trofiatasosta. Suurin osa ravintoverkon ravinteiden mineralisaatiosta tapahtuu mikrobien ja sienten toiminnan seurauksena alimmalla trofiatasolla, mutta korkeammilla trofiatasolla ovat maaperäeläimet (protistat, sukkulamadot, punkit, hyppyhäntäiset, tuhatjalkaiset ja lierot) vaikuttavat mineralisaatioprosessiin aktiivisella alemman tason hajottajilla. Maaperäeläinten ravinnonkäytöllä on epäsuora, mutta merkittävä vaikutus maaperän ravinteiden saatavuuteen ja sitä kautta kasvien kasvuun (Wardle 1999). Mikrobit vapauttavat biokemiallisesti pääosan orgaanisen aineksen ravinteista, mutta maaperäeläimillä on tärkeä rooli sekä orgaanisen aineksen käsittelyssä mikrobeille sopivaan muotoon että mikrobien aktivoimisessa (Coleman ym. 2004).

Maaperäeläimet aktivoivat mikrobeja joko suoraan valikoivan laidunnuksen kautta tai epäsuoraan hienontamalla orgaanista ainesta lisäten pinta-alaa, jolle mikrobit voivat levittäytyä. Epäsuoria vaikutustapoja ovat myös mikrobien levittäminen ja ravinteiden saatavuuteen vaikuttaminen. Valikoiva laidunnus vaikuttaa mikrobiyhteisön rakenteeseen ja kilpailusuhteisiin (Cole & Bardgett 2006). Maaperän ravintoverkon eri tasoilla hajottajaeläimet käyttävät ravinnokseen saman aineksen uudelleen ja uudelleen aineksen muuttuessa seuraavalle hajottajaeläimelle fysikaalisesti ja kemiallisesti sopivammaksi ravintokohteeksi. Maaperäeläinten ravintoverkossa eliöiden koko pienenee, runsaus lisääntyy ja eliöissä tapahtuva ravintoaineiden sitoutuminen orgaanisiksi molekyyleiksi tehostuu mitä lähemmäs orgaanisen aineksen lopullista hajoamisessa edetään (Gobat ym. 2003).

Maaperän mikrobeille hiiliyhdisteet, jotka kasvi juurtensa kautta erittää maahan, ovat hyvälaatuinen ja runsas ravintolähde, joka saa mikrobit kasvamaan ja lisääntymään. Runsa mikrobisto on puolestaan saalisresurssi maaperäeläimistöön kuuluville mikrobivoreille, kuten esimerkiksi protistoille ja sukkulamadoille (Bardgett ym. 2005). Suurin osa maaperäeläimistä saa käyttämänsä hiilen ilmeisesti juurisysteemin kautta eikä lehtikarikkeesta, mikä on ollut tähän asti vallitseva käsitys (Pollier ym. 2007). Kasvin juuristoon kulkeutuu enintään 80 %, mutta tavallisimmin 20-50 % kasvin tuottamista hiiliyhdisteistä (Gobat ym. 2003). Hiiliyhdisteet voivat siirtyä juurten kautta hajottajaravintoverkkoon eläinten syödessä suoraan eläviä tai kuolleita juuria tai niiden osia. Juurten lähellä elää runsaasti bakteereita, jotka saavat resurssinsa juurten maahan luovuttamista sokeriyhdisteistä ja mikrobivorit saavat juurten hiilen saalistamalla näitä mikrobeja. Sienensyöjiin juurten hiili siirtyy kasvista hiilensä ottavien sienten, esim. sienijuuren, kautta. Todennäköisimpänä kasvien tuottamien hiiliyhdisteiden siirtymäreittinä hajottajaravintoverkkoon pidetään sienijuurta (Albers ym. 2006, Pollier ym. 2007).

Kasvien ravinteiden saanti on biokemiallisesti riippuvainen ravinteita vapauttavien mikrobien ja niitä syövien maaperäeläimien tiiviistä vuorovaikutuksesta. Kasvit voivat aktivoida typen vapautumista orgaanisesta aineksesta tuottamalla hiiliyhdisteitä hajottajamikrobeille, joiden toimintaa hiiliyhdisteiden vähäisyys tavallisesti rajoittaa (Raynaud ym. 2006). Tätä hiilen (C) ja typen (N) kiertoa maaperän ja siinä elävien mikrobien välillä kuvataan mikrobisilmukka -käsitteellä. Suoraan mikrobeille menevien hiiliyhdisteiden lisäksi kasvit kuluttavat tuottamiaan yhdisteitä oman kasvunsa sekä sienijuuren että tyypeä sitovien bakteerien kanssa muodostamissaan symbionttisissa vuorovaikutussuhteissa.

Maaperän mikrobit kilpailevat kasvien kanssa maaperän ravinteista. Mikrobien runsastuessa kasvin juurten lähellä ritsosfäärissä niihin sitoutuu paljon ravinteita, jotka vapautuvat mikrobeista kasvin käyttöön mikrobinsyöjien ravinnonkäytön kautta (Bonkowski 2004). Maaperäeläimillä on hieman korkeampi tai sama C:N suhde kuin mikrobeilla, joten ne voivat erittää ravinnosta saamiaan ravinteita takaisin maaperään biologisesti saatavilla olevassa epäorgaanisessa muodossa (Cole & Bardgett 2006).

1.3 Maaperäeläimet ja niiden merkitys ekosysteemissä

Maaperäeläimiin kuuluu lajeja useista pääjaksoista ja monet maaperäeläinryhmistä ovat edelleen heikosti tunnettuja (Coleman ym. 2004). Maaperäeläimiä voidaan jaotella usealla tavalla (Gobat ym. 2003, Coleman 2004), mutta yleisin tapa on jakaa ne ruumiin pituuden mukaan kokoluokkiin: 1) mikrofauna < 0,2 mm, 2) mesofauna 0,2-10 mm, 3) makrofauna > 10 mm. Megafaunaksi kutsutaan maaperän eläimiä, jotka ovat vielä makrofaunaakin kookkaampia. Moni ekologinen piirre, kuten ravinto, elintapa, esiintymissyvyys (,johon

vaikuttaa myös maaperän huokoisuus) sekä eläimen liikkumistapa ja runsaus riippuvat eläimen koosta (Gobat ym. 2003).

Maaperäeläimet vaikuttavat kasvien kasvuun yleensä positiivisesti (Ingham ym. 1985, Setälä ja Huhta 1991, Laakso & Setälä 1999, Bardgett & Chan 1999, Bonkowski ym. 2000). Niiden vaikutus on usein epäsuoraa ja tapahtuu mikrobien toiminnan kautta (Verhoef & Brussaard 1990). Ravinneköyhissä kasvualustoissa maaperäeläinten vaikutus kasvin kasvuun on selvä (Ingham ym. 1985, Setälä & Huhta 1991), mutta sama maaperäeläinten vaikutus on havaittu myös ravinnerikkaassa kasvualustassa (Laakso ym. 2000). Ravinnetoisuuden lisäksi maaperäeläimet parantavat kasvualustan ilmastusta ja vedenpidätyskykyä muuttamalla alustan rakennetta murumaisemmaksi (Schrader ym. 1997). Maaperäeläinyhteisön rakenteen ja lajirunsauden vaikutus typen (N) mineralisaatioon on ollut myös tutkimuksen kohteena. Bradford ym. (2002) havaitsivat, että maaperäeläinryhmien monipuolisuus lisäsi kasvin lehtibiomassaa ja kasvatti hajotusnopeutta, mutta nettoprimaari tuotantoon tai ekosysteemin nettotuotantoon sillä ei ollut vaikutusta. Bardgett ja Chan (1999) havaitsivat, että heidän tutkimuskasvinsa, jäkin (*Nardus stricta*), ravinnetoisuus kasvoi ja typen mineralisaatio lisääntyi mikrobeja ja hyppyhäntäisiä sisältäneessä käsittelyssä ja suurimmillaan se oli käsittelyssä, jossa maaperän ravintoverkkoa monipuolusti mikrobien lisäksi sekä sukkulamadot että hyppyhäntäiset. Heidän kokeessaan yhdellä yksittäisellä maaperäeläinryhmällä ei yhdessä mikrobien kanssa ollut vaikutusta taimen typpipitoisuuteen. Monien tutkimusten tulokset ovat vastakkaisia Bardgettin ja Chanin (1999) ja Bradfordin ym. (2002) tutkimuksille ja esittävät, että suurin osa maaperän eläinlajeista on ekosysteemin toiminnan kannalta tarpeettomia (redundant species hypothesis, Lawton 1994). Ainakin Cragg ja Bardgett (2001) ja Liiri ym. (2002) ovat tehneet havainnon, että lajirunsaudella ei ole havaittavaa vaikutusta typen mineralisaatioon tai kasvin kasvuun. ”Tarpeeton laji” –hypoteesin mukaan vain tietty määrä maaperäeläinlajeja on tarpeellinen ekosysteemin toiminnan kannalta ja monikaan laji ei ole ainoa tehtävänsä suorittaja vaan lajin toiminnan ja tehtävän ekosysteemissä voisi hoitaa joku toinenkin laji (Lawton 1994). ”Tarpeeton laji” –hypoteesia tukee esimerkiksi havainto siitä, että koivun taimen kasvu ei ollut riippuvainen maaperän ravintoverkon rakenteesta vaan yhdestä änkyrimatolajista (*Cognettia sphagnetorum*) (Laakso & Setälä 1999). On myös havaittu, että yksi hyppyhäntäislaji, *Collembola candida*, oli yksin riittävä tekijä typen mineralisaation lisääntymiseen mineralisoi enemmän tyyppiä kuin kahden tai kolmen hyppyhäntäislajin yhdistelmä (Cragg & Bardget 2001).

1.4 Kasvin suhde elinympäristöönsä ja sienijuuren merkitys

Kasvit ovat jatkuvassa vuorovaikutuksessa vaihtelevan kasvuympäristönsä kanssa. Kaikkien ympäristötekijöiden tulee olla kasvin vaatimukset täyttävällä tasolla, jotta ne menestyisivät (Rending & Taylor 1989). Kasvit tarvitsevat kasvaakseen suotuisan kasvualustan ja lämpötilan, riittävästi vettä ja ilmaa kasvualustansa, yhteyttämiseen hiilidioksidia (CO₂) sekä lisäksi ravinteita muiden kuin yhteyttämistuotteiden tuottamiseen. Kasvit tarvitsevat myös tukea, jonka ne saavat joko juurten avulla kasvualustastaan. Jos kasville haitallisten aineiden määrä ylittää kasvin sietokyvyn, niiden kasvu vähenee (Rending & Taylor 1989).

Kasvit ovat sessiilejä eliöitä, joten ne eivät voi liikkua ympäristögradienttien mukaan optimaalista etsien kasvupaikkaa. Niiden on sopeuduttava kasvupaikassaan vallitseviin pienilmasto- ja maaperäoloihin. Maanpinnan yläpuolisina eliöinä kasvit ja maan alapuolinen eliöstö ovat vahvasti riippuvaisia toisistaan, koska kasvit tuottavat maaperän eliöstölle sen tarvitseman hiilen ja maaperän eliöstö puolestaan vapauttaa monimutkaisiksi yhdisteiksi sitoutuneita ravinteita kasvien käyttöön (Wardle 1999, Wardle ym. 2004).

Kasvit tuottavat orgaanisia hiiliyhdisteitä hajottajaravintoverkolle ja resursseja juuristosymbiooteille, juuria syöville herbivoreille ja taudinaiheuttajille (Wardle ym. 2004). Maaperäeläimet vaikuttavat hajottajaravintoverkon kautta ravinteiden kiertoon ja vapautumiseen, orgaanisen aineksen hajotukseen ja maaperän rakenteeseen. Nämä tekijät puolestaan vaikuttavat primaarituotantoon ja hiilen varastointiin ekosysteemissä (Bradford ym. 2002, Coleman ym. 2004). Kasvien maaperään tuottamat resurssit voivat lajikohtaisesti vaihdella sekä laadun että määrän suhteen. Tällä voi olla tärkeä merkitys cascade- hypoteesin mukaan maaperän eliöstölle ja niiden säätelemille prosesseille (Hooper ym. 2000, Wardle ym. 2004).

Yhtenä merkittävänä tekijänä kasvien maalle siirtymisessä evoluution kuluessa pidetään kasvien muodostamaa symbioosia sienten kanssa (sienijuurta), mikä mahdollistaa kasvin ravinteiden ja veden saannin kasvin omia juuria laajemmalla alueella ja tehokkaammin (Smith & Read 2002). Ravinteiden ja veden saannin lisäämiseksi lähes kaikki kasvit muodostavat maaperässä olevien sienien kanssa symbioottisen suhteen, jota kutsutaan sienijuureksi, mykorritsaksi (Peterson ym. 2004). Sienijuurta on kahta päätyyppiä: ecto- ja endomykorritsaa, joiden erona on niiden tapa muodostaa sienirihmaa kasvinjuuren kanssa. Ectomykorritsa, jota tavataan puilla ja pensailta, muodostaa juuren ympärille sienirihmavaipan ja juuren solujen väliin verkkomaisen rakenteen (Hartig net). Endomykorritsa puolestaan muodostaa rakenteita juurisolujen sisään. Yleisin sienijuurenmuodostustapa on endomykorritsaan kuuluva arbuskelimykorrhiza (AM), jonka muodostamaa mykorritsaa tavataan lähes 80 %:lla kaikista kasvilajeista (Peterson 2004).

Arbuskelimykorrhizan positiivinen vaikutus kasvin kasvuun todettu sekä viljelykasveilla että puilla (Smith & Read 2002). AM:n vaikutus kasvin kasvuun ja juurten mykorritsainfektion määrään korostuu erityisesti ravinneköyhillä ja ravinteiden jakautumisen suhteen epätasalaatuisilla kasvualustoilla, koska AM:n infektoimat juuret ovat juuren pituusyksikköön suhteutettuna tehokkaampia ravinteiden ottajia. AM:n muodostamat sienirihmat ovat kasvin juuria pienempiä, jolloin ne voivat tunkeutua maaperässä pienempiin huokosiin ja väleihin kuin juuret. Suurissa fosforipitoisuuksissa mykorritsasta on kasveille haittaa ja vahvasti sillä infektoitunut kasvi kasvaa huonommin ei-infektoituneeseen yksilöön verrattuna (Smith & Read 2002). AM vaikuttaa positiivisesti myös kasvin juurtumiseen. Se myös lisää kasvin stressinsietokykyä sekä kasvitaudinaiheuttajia ja muita biotisia tekijöitä että kuivuutta ja ravinteiden vähyyttä, vastaan. Arbuskelimykorrhizalla on myös maaperän rakennetta parantava vaikutus ja se lisää kasviyhteisön diversiteettiä (Azcón-Aguillar & Barea 1997).

Mykorritsaa on sekä luonnontilaisissa että maatalouskäytössä olevissa maaperissä, mutta turveperäisissä kasvualustoissa ja saastuneissa maissa sitä ei juurikaan ole. Taimistoviljelyssä käytetyissä kasvualustoissa mykorritsaa lisääviä valmisteita on kehitetty ja niistä on hyötyä kasvin kasvuun joissain olosuhteissa. Mykorritsa lisää tyypillisesti kasvin fosforin ottoa alhaisilla fosforipitoisuuksilla, mutta astiataimiviljelyssä tämän merkityksestä ei olla varmoja. Tästä huolimatta mykorritsan ei-ravinteiden ottoon liittyvät edut voivat kuitenkin olla astiataimiviljelyssäkin tärkeitä (Koide & Mosse 2004).

1.5 Kompostin vaikutukset kasvualustaan

Kompostia on käytetty puutarha-alalla taimistoviljelyssä pitkään turpeen rinnalla bioperäisenä kasvualustana (Goldstein 2001). Viime vuosina kasvanut ympäristötietoisuus ja jätteiden uudelleen käytöstä sekä hitaasti uusiutuvan luonnonvaran, turpeen, käytön vähentämistavoitteet ovat lisänneet kompostin käyttöä puutarha-alalla (Grigatti 2007). Kompostin käytön lisääntymistä edistää myös sen kasvitauteja vähentävät ominaisuudet, hyvä vedenpidätyskyky sekä kasvualustan orgaanisen aineksen määrän lisääminen (Goldstein 2001).

Komposti syntyy biojätteiden hajotessa nopeassa tahdissa. Lämpöä tuottavassa prosessissa aerobiset bakteerit ja muut mikrobit hajottavat orgaanisen aineksen hiilidioksidiksi, ammoniumiksi ja hajotustuotteiksi (Day & Shaw 2001). Hajottamisesta vastaavat mikrobit, joiden runsaus vetää puoleensa maaperän mikrobi- ja sienensyöjiä. Valmiin kompostin lisääminen maaperään muuttaa maaperän fysikaalisia, kemiallisia ja biologisia ominaisuuksia sekä lyhyt- että pitkäaikaisesti. Kompostin lisääminen kasvualustaan nostaa sen epäorgaanisten suolojen pitoisuuksia, mikä edistää juurten ravinteiden ottoa. Myös loppuun asti hajonnut komposti sisältää paljon mikrobeja, jotka voivat merkittävästi lisätä kasvualustan entsyymiaktiivisuutta. Komposti voi myös olla kasvualustassa eläville maaperäeläimille ravinnonlähde ja sen lisääminen voi muuttaa maaperän ravintoverkkoja (Gobat ym. 2004).

Kompostin positiiviset vaikutukset kasvin kasvuun ovat selkeimmin havaittavissa silloin, kun kompostin määrä kasvualustasta on n. 25-50 % (Perez-Murcia ym. 2006, Grigatti ym. 2007). Vaikka kompostin lisääminen turpeeseen muuttaa turpeen taimistoviljelyssä hyväksi havaittuja fysikaalisia ominaisuuksia, ne eivät kuitenkaan ainakaan Ribeiron ym. (2000) mukaan olleet heidän kokeessaan kasvin kasvua rajoittavia tekijöitä. Kompostin lisääminen kasvualustaan lisää ravinteiden ja hivenaineiden määrää (Perez-Murcia ym. 2006). Hivenaineet (esim. Na, Cu, Zn) saattavat suurina pitoisuuksina olla haitallisia sekä kasveille (Perez-Murcia ym. 2006) että kasvualustassa eläville maaperäeläimille (Cole ym. 2001), mutta suurempi ongelma kompostin käytössä on sen runsas pääravinteiden määrä. Runsas ravinteisuus nostaa kasvualustan vesiliukoisen suolojen määrän eli johtoluvun tasolle, joka haittaa kasvien ravinteiden ottoa.

Kompostin laadussa ja kemiallisissa ominaisuuksissa saattaa olla paljon eroja riippuen kompostoidusta materiaalista, kompostointitavasta ja seosaineesta. Mikroniveljalkaisiin maaperäeläimiin kuuluvien punkkien yksilömäärä lisääntyi lyhyellä ja keskimääräisellä aikavälillä, jos komposti sekoitettiin hiekkaan, mutta savespitoiseen ainekseen sekoitettuna se ei vaikuttanut punkkien määrään (Andrés & Domene 2005). Elinympäristönä komposti on kostean ja lämpimän mikroilmastonsa sekä vaihtelevan ja jatkuvan hajotettavan materiaalin lähteenä selkärangattomia hajottajaeläimiä suosiva. Ensimmäisen vuoden tuoreessa kompostissa voitiin havaita kerroksellisuutta myös hajottajaeläimien esiintymisessä. Pinnalla viihtyneet mikrobin- ja mädänsyöjät poistuvat toisena vuonna ja kompostin pohjalla ollut maaperäeläimistö levittäytyi koko kompostiin (Gobat ym. 2004).

Kasvin kasvuun kompostin lisääminen kasvualustaan vaikuttaa positiivisesti, koska se lisää veden, ravinteiden ja hivenaineiden määrää maaperässä. Komposti vaikuttaa myös maaperän rakenteeseen lisäämällä sen ilmahuokostilavuutta ja vakauttamalla rakennetta, mikä helpottaa juurten tunkeutumista maahiukkasten väliin. Kompostin lisääminen kasvualustaan vaikuttaa sen pH-tasoon ja edistää sen pysymistä kasveille suotuisalla tasolla (Gobat ym. 2004).

1.6 Tutkimuksen tavoitteet

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli kokeellisesti selvittää keinoja, joilla voitaisiin lisätä kasvuturpeisen kasvualustan biologista aktiivisuutta, joka on yksi maaperän laadusta kertova tekijä. Biologinen aktiivisuus määritellään kasvien, maaperäeläinten ja mikrobin toiminnan tehokkuudeksi (Coleman ym. 2004). Muita maaperän laatua osoittavia tekijöitä ovat maaperän kyky toimia veden siirtäjänä, orgaanisen aineen hajottajana ja maaperään joutuneiden saasteiden vähentäjänä (Linden ym. 1994). Koe tehtiin astiataimilla kasvihuoneoloissa ja siinä käytettiin biologisen aktiivisuuden mittareina kasvin lehtipinta-alaa ja kasvualustan maaperäeläinten yksilömäärää, jota Coleman ym. (2004) pitivät yhtenä keinona arvioida maaperän laatua, ja jonka on havaittu vaikuttavan positiivisesti

kasvualustasta vapautuvan typen määrään (Cole ym. 2004) ja kasvin kasvuun (Setälä & Huhta 1991, Scheu ym. 1999).

Tutkimukseen kuului kaksi erillistä koetta (kokeet A ja B), joissa selvitettiin taimistoviljelyyn sovellettavissa olevien seosainesten vaikutusta rahkaturpeisen kasvualustan maaperäeläinten runsauteen, mykorritsan muodostumiseen ja näiden tekijöiden vaikutusta kasvin kasvuun. A kokeen tavoitteena oli selvittää 1) lisääkö peltomaan tai kompostin sekoittaminen rahkaturpeiseen kasvualustaan maaperäeläinten runsautta, 2) menestyvätkö kasvien taimet paremmin eli kasvattavatko suuremman lehtipinta-alan käsitellyssä kasvualustassa kuin alkuperäisessä kokonaan rahkaturpeisessa kasvualustassa ja 3) voiko taimien mykorritsainfektion määrään vaikuttaa Myko-Ympäri – nimisellä AM- sienijuurta sisältävällä valmisteella. Koe B oli ensimmäistä soveltavampi ja sillä haluttiin selvittää 1) kasvaako tutkimuskasvi paremmin peltomaassa tai kokeessa käytetyssä kompostimullassa kuin turvealustalla, 2) vaikuttaako Myko-Ympäri –valmisteen lisääminen mykorritsainfektion määrään ja taimen kasvuun sekä 3) onko kasvualustalla vaikutusta Myko-Ympäri –valmisteen toimintaan.

2 AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1 Kokeen toteutus ja perustaminen

Tutkimus tehtiin kesällä 2006 Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen (MTT) Kasvintuotannon tutkimuslaitoksella Laukaassa. Tutkimuskasvina käytettiin tarhakurjenpolvea (*Geranium x magnificum*), jonka hollantilaista alkuperää olevat taimet ostettiin eräältä suomalaiselta taimistolta. Taimet olivat kasvaneet alkukasvukauden taimiston hiekkakentällä pohjista rei'itetyissä ruukuissa muovilaatikoihin aseteltuina. Taimet olivat istutettu Kekkilän karkeaan ruukutusseokseen (Kekkilä 2007a) ja niiden pinnalle oli vaihdettu Kekkilän ampeliseosta (Kekkilä 2007b). Taimille oli keväällä laitettu pitkäaikainen Y4 ja puutarhan Y lannoite.

Koeasetelma oli A kokeessa kolmen faktorin koeasetelman 2x2x2 ja satunnaistettujen lohkojen koeasetelman yhdistelmä, jossa lohkokotijän avulla pyritään pienentämään ennakoitua vaihtelua aiheuttavien tekijöiden vaikutusta. Satunnaistettujen lohkojen kokeessa koeyksilöt pyritään jakamaan lohkoihin niin, että jokaisessa lohossa on keskenään mahdollisimman homogeenisiä koeyksilöitä. Jokaisessa lohossa jokainen käsittely esiintyy vain kerran ja ne liitetään satunnaisesti lohkoon kuuluviin koeyksilöihin (Ranta ym. 2002).

Kokeissa käytetyt taimet jaettiin silmämääräisesti koon mukaan kahdeksaan lohkoon. Kokeessa A oli kahdeksan (taulukko 1) ja kokeessa B viisi (taulukko 2) kolmen kasvualustaan lisätyn aineen (myöhemmin seosaine) yhdistelmästä muodostuvaa käsittelyä. Taimia A kokeessa oli siten yhteensä 64 kpl ja kokeessa B taimia oli yhteensä vain 45 kpl ja käsittelyjä oli viisi. Koeasetelma B kokeessa poikkeaa satunnaistettujen lohkojen kokeen asetelmasta, mutta tämän seikan ei oleteta vaikuttavan kokeen tulosten tilastolliseen käsittelyyn. Syynä käsittelyjen määrän vähentämiseen toisessa kokeessa kahdeksasta viiteen oli resurssipula. Samaa alkuperää olevia tutkimuskasvin taimia ei ollut saatavilla riittävää määrää kahteen täydelliseen satunnaistettujen lohkojen koeasetelman mukaiseen kokeeseen. Toisaalta poisjääneet käsittelyt eivät olleet koekysymysten kannalta oleellisia, niiden merkitys kokeessa olisi ollut ainoastaan koeasetelman täydentäminen.

Taulukko 1. A kokeen käsittelyt. Seosaineiden jälkeen suluissa oleva tilavuus kertoo käytetyn määrän käsittelyä kohden (X = seosaine on mukana käsittelyssä).

Käsittely	Lyhenne	Seosaineet		
		Peltomaa (1 dl)	Myko-Ympäri (0,15 dl)	Komposti (1dl)
Alkuperäinen kasvuturve	T			
Pelto	P	X		
Myko-Ympäri	MY		X	
Pelto*Myko-Ympäri	P*MY	X	X	
Komposti	K			X
Komposti*Pelto	K*P	X		X
Komposti*Myko-Ympäri	K*MY		X	X
Komposti*Myko-Ympäri*Pelto	K*MY*P	X	X	X

Taulukko 2. Kokeen B käsittelyt. Suluissa oleva tilavuus kertoo käytetyn seosaineen määrän käsittelyä kohden. (X = seosaine on mukana käsittelyssä).

Käsittely	Lyhenne	Seosaineet		
		Peltomaa (5 dl)	Myko-Ympäri (0,25dl)	Komposti (5 dl)
Alkuperäinen kasvuturve	T B			
Pelto	P B	X		
Pelto*Myko-Ympäri	P*MY B	X	X	
Myko-Ympäri	MY B		X	
Komposti	K B			X

Kokeissa käytetyt taimien alkuperäiseen kasvualustaan lisätyt seosaineet saatiin seuraavasti: peltomaa otettiin MTT:n Laukaan tutkimusaseman multavalta ja hyväkuntoiselta koepelloilta, Myko-Ympäri tuotesäkistä ja kompostimulta jälkikypsytyksestä biojätekompostin ja maa-ainesten seosta Mustankorkea Oy:ltä. Peltomaa murennettiin käsin ja kompostimulta seulottiin 10 mm seulalla ennen niiden käyttöä kokeessa. Peltomaan ja kompostimullan avulla oli tarkoitus lisätä maaperäeläimiä kasvualustaan ja parantaa niiden viihtyvyyttä esim. lisäämällä kompostimullan sisältämien mikrobien avulla mikrobeja syövien maaperäeläinten ravintoresursseja.

Taimet istutettiin kasvualustan käsittelyn jälkeen 0,7 l muoviruukkuihin ja siirrettiin kasvamaan lohkoittain satunnaistetussa järjestyksessä muovikasvihuoneeseen. Taimia kasteltiin tarpeen mukaan sekä taimen juurelle että aluslautaselle niin, etteivät kasteluedet sekoittuneet taimien kesken. Kasteluviesien sekoittuminen voi altistaa mykorritsainfektion leviämiselle taimien välillä (Vestberg 2006). Käsittelyjen välisiä ravinnepitoisuuksien eroja tasattiin lannoittamalla niukempiravinteiset kasvualustat osassa käsittelyjä käytettävän kompostimullan ravinnetasolle (taulukko 3) kolmella erilaisella Kemiran lannoitteella: Puutarhan hiven PK:lla (N-P-K: 2-7-17), Puutarhan Y2:lla (N-P-K:6-6-19) ja Kevätviljan Y3:lla (N-P-K: 20-3-8) (Kts. www.kemira-growhow.com). Lämpötilaa kasvihuoneessa säädeltiin nostamalla ja laskemalla kasvihuonemuovin reunoja.

Taulukko 3. Viljavuustutkimuksen tulokset kokeissa A ja B käytetyistä kasvualustoista kompostimullan ravinnetasolle lannoittamisen jälkeen. Seosaineet olivat samat molemmissa kokeissa (mS=milliSiemens; luku, joka kertoo maasuspension sähkönjohtokyvystä ja kuvaa ionien määrää)

Koe	Käsittely	johtoluku 10x mS/cm	pH	Kalsium (Ca) mg/l	Fosfori (P) mg/l	Kalium (K) mg/l	Magnesium (Mg) mg/l	Rikki (S) mg/l	Nitrattityppi (NO ₃ -N) mg/l
A	P	6,4	6,3	2000	86	436	346	175	< 10
	MY	6,6	5,8	2000	110	241	395	167	< 10
	P*K	4,5	6,2	1800	62	287	315	115	10
	MY*K	6,5	6,2	2000	72	251	380	169	< 10
	P*MY*K	5,3	6,3	2200	56	283	366	116	15
B	P*MY B	2,7	6,6	1600	13	117	344	94	12
	MY B	9,1	6,1	2000	110	499	488	278	38
	K B	7,9	6,5	1300	82	545	172	36	34

Kokeessa A taimien juuripaakusta poistettiin kasvialustaseosta 3 dl. Seosaineet lisättiin taimen juuripaakusta poistettuun alkuperäiseen kasvialustaan siten, että ruokkuun takaisin laitettun seoksen kokonaistilavuus kokeessa A oli 3 dl. Kokeessa B toimittiin samalla tavalla, mutta poistetun kasvialustan määrä oli 5 dl ja takaisin laitettun seosaineen määrä oli myös 5 dl. Kokeessa B taimien juuret puhdistettiin kokonaan alkuperäisestä kasvialustasta huuhtomalla ne kevyesti vedessä ennen taimien istuttamista uuteen kasvialustaan. Kokeissa A ja B käytettyjen seosaineiden määrät näkyvät taulukoista 1 ja 2. Käsittelyn T ja T B saaneita taimia käsiteltiin samalla tavoin kuin muita käsittelyn saaneita taimia (=käsittelykontrolli), mutta niillä kasvialustana säilyi alkuperäinen turvekasvialusta. Taimet valittiin lohkojen sisällä satunnaisesti käsittelyihin. Kasvihuoneessa taimet sijoitettiin kasvamaan lohkoittain satunnaisessa järjestyksessä kasvihuoneen pituussuunnan mukaan. Näin kokoerojen lisäksi mahdolliset kasvihuoneen valaistuserot tulivat osaksi lohkokelijää. Kokeen aikana näitä valaistuseroja havaittiin silmämääräisesti hyvin vähän.

Kokeessa käytetyistä kasvialustoista tehtiin Viljavuuspalvelu Oy:ssä viljavuustutkimukset, joissa selvitettiin kasvialustan maalaji, johtoluku, pH sekä ravinnepitoisuudet. Kaikkien käsittelyjen kasvialustoista tehtiin sekä kokeen alussa että kokeen lopussa kosteusprosentin ja orgaanisen aineksen osuuden määritykset (taulukko 4). Koetta perustettaessa käytetyistä seosaineista otettiin näytteet, joista voitiin selvittää kokeen alussa alkuperäisessä kasvialustassa sekä seosaineissa ollut maaperäeläinten määrä (taulukko 5). Alkuperäisestä kasvialustasta näytteet otettiin satunnaisotannalla ja seosaineista ne otettiin eri kohdista huolellisen sekoittamisen jälkeen.

Taulukko 4. Kasvualustan kosteus ja orgaanisen aineksen määrä kokeen A (n=8) ja kokeen B (n=4) lopussa ("= laskettu seitsemästä arvosta, "" = laskettu kolmesta arvosta).

Koe A	Käsittely	Kosteusprosentti	Orgaanisen aineen määrä (%)
	T	28,72	44,87
	P*	25,87	29,62
	MY	24,41	47,29 "
	MY*P	19,84	28,90
	K	21,21 "	28,46
	K*P	19,32	25,84
	K*MY	26,75 "	32,83
	K*MY*P	18,17	20,18
Koe B			
	P B	15,54	9,8
	P*MY B	14,7	9,24
	MY B	29,81	29,23
	K B	17,21	8,54
	T	27,47 ""	49,74

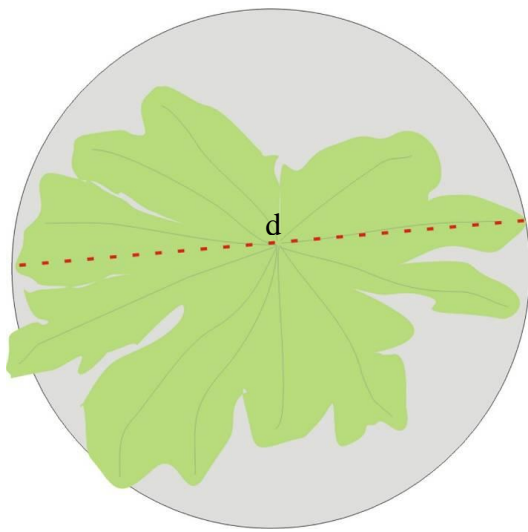
Taulukko 5. Molemmissa kokeissa käytettyjen seosaineiden ja alkuperäisen kasvualustan (turve) keskimääräiset maaperäeläinmäärät (sukkulamadot n=3, muut n=5).

Seosaine	Maaperäeläinlaji	yksilöä/l
Komposti	Hyppyhäntäiset	0
	Kaksisiipisten toukat	0
	Punkit	0
	Sukkulamadot	42
	Toukat	0
	Änkyrimadot	0
Myko-Ymppe	Hyppyhäntäiset	0
	Kaksisiipisten toukat	0
	Punkit	0
	Sukkulamadot	11
	Toukat	0
	Änkyrimadot	0
Pelto	Hyppyhäntäiset	10
	Kaksisiipisten toukat	4
	Punkit	7
	Sukkulamadot	54
	Toukat	4
	Änkyrimadot	32
Alkuperäinen kasvualusta	Hyppyhäntäiset	103
	Kaksisiipisten toukat	43
	Punkit	17
	Sukkulamadot	377
	Toukat	48
	Änkyrimadot	4

2.2 Lehtipinta-alan mittaaminen

Taimen lehtipinta-alaa ja siinä tapahtuvia muutoksia käytettiin kuvaamaan tarhakurjenpolven hyvinvointia ja kasvua. Kasvit keräävät biomassaa myös maan alapuoliseen osaansa, juuriin, mutta siinä tapahtuvia muutoksia ei tässä kokeessa pystytty havainnoimaan. Taimien lehtipinta-alan määrittämistä varten muokattiin kaava, jonka avulla lehden pinta-ala oli mahdollista laskea sen halkaisijan avulla. Samantapaista lähestymistapaa ei-tuhoavalle lehtipinta-alan tai lehtipinta-ala indeksin mittaamiselle on käytetty monissa tutkimuksissa (esim. Blanco ym. 2003, Campostrini ym. 2004, Lu-Hsiu ym. 2004, Ruophael ym. 2007, de Soussa ym. 2005). Yksittäisen lehden pinta-ala laskettiin kaavalla 1, jossa d = lehden halkaisija (kuva 1).

$$\pi(d*1/2)^2*0,637 \quad (1)$$



Kuva 1. Mallikuva lehden halkaisijan mittauskohdasta sekä korjauskertoimella poistuvasta pinta-alasta (ympyrän sisälle jäävä harmaa alue).

Tätä tutkimusta varten muokattu kaava muodostui ympyrän pinta-alan kaavasta, joka kerrottiin korjauskertoimella. Korjauskertoimen tarkoitus oli poistaa ylimääräinen pinta-ala ja saada laskennallinen pinta-ala vastaamaan enemmän lehden todellista pinta-alaa. Korjauskerroin saatiin 90 lehdestä planimetrin (LI-3100C Area meter) avulla mitattujen todellisten lehtipinta-alojen ja ympyrän pinta-alan kaavan avulla laskettujen pinta-alojen suhteena [cm^2 todellinen lehti / ($\pi * (d*1/2)^2$)]. Koetaimien lehdistä halkaisija mitattiin viivoittimella. Molemmissa kokeissa taimen lehtipinta-ala mitattiin alussa (26.-28.6.06, vko 0), puolivälissä (19.-20.7.06, vko 4) sekä lopussa (15.-16.8.06, vko 8). Taimien kasvatusaika molemmissa kokeissa oli 56 - 58 päivää. Lehtien kokonaispinta-ala saatiin summaamalla yksittäisten lehtien pinta-alat. Taimista laskettiin myös lehtien kokonaismäärä sekä viikoilla 4 ja 8 punaisiksi muuttuneiden ja kuivuneiden lehtien määrä. Kuivuneet lehdet poistettiin taimesta laskemisen jälkeen.

2.3 Maaperäeläimien ja mykorritsainfektion määrän mittaaminen

Maaperäeläinten esiintymistä ja runsautta tutkittiin kokeen alussa ottamalla näytteitä taimien kasvualustasta ja siihen lisättävistä ympäristöaineista. Sukkulamatojen laskemista varten otettiin kolme näytettä ja mikroniveljalkaisten laskemista varten viisi näytettä jokaisesta raaka-aineesta (alkuperäinen kasvualustaturve, pelto, komposti ja Myko-Ympäri). Änkyrimatoja varten otettiin kahdeksan näytettä taimien alkuperäisestä turvekavialustasta sekä kompostista, Myko-Ympäristä ja peltomaasta kolme näytettä eri kohdista. Näiden näytteiden oletettiin olevan kattava otos taimiastioiden alkutilanteen maaperäeläimistöstä. Kokeen A lopussa jokaisesta astiasta otettiin yksi maaperäeläinnäyte ja yksi juuristonäyte. Kokeessa B jokaisesta taimesta otettiin juuristonäyte.

Maaperäeläinnäytteet analysoitiin perinteisin standardimenetelmin Änkyri- ja sukkulamadot eroteltiin märkäsuppiloilla ja mikroniveljalkaiset high gradient –

erottelulaitteessa. Mykorriitsainfektion selvittämistä varten taimien juurista otettiin juuristonäytteet sahaamalla taimipaakku puoliksi. Tämä paakku huuhdottiin varoen puhtaaksi kasvualustasta ja värjättiin, jotta sienijuuri-infektiot näkyisivät mikroskooppilla. Tarhakurjenpolven juuret ovat tummat, joten ne piti ennen värjäystä valkaista 10 % KOH-liuoksessa noin 4 vuorokautta. Tämän jälkeen juuret huuhdottiin vedellä ja laitettiin kahden tunnin ajaksi alkaaliseen H₂O₂-liuokseen (187 ml deionisoitua H₂O, 10 ml 30 % H₂O₂ ja 3 ml 35 % NH₄), mikä jälkeen ne huuhdottiin vedellä. Tämän jälkeen juuret tehtiin happamiksi liottamalla niitä 4 tuntia 1% HCl -liuoksessa. Juuret otettiin pois ja päälle kaadettiin väriaine (875 ml maitohappoa, 63 ml glyserolia, 63 ml H₂O ja 200 mg trypaanisineä). Juuria pidettiin inkuboinnin alussa kiehumispisteeseen asti kuumennetussa väriaineessa noin 12 tuntia. Juuristonäytteet säilytettiin säilytysliuoksessa, joka oli samankaltainen kuin värjäysliuos, mutta ilman väriainetta.

Mykorriitsainfektion määrä laskettiin molemmissa kokeissa kaikkien taimien juuristoista. Laskeminen tehtiin värjäytyistä juurista tutkimusmikroskoopin avulla. Juuristonäyte levitettiin ruudutetulle petrimaljalle ja leikattiin pieniksi kappaleiksi. Laskeminen suoritettiin etenemällä järjestelmällisesti petrimaljan ruudukkoa pitkin ja laskemalla kaikki juurenkappaleet 100 asti, jotka osuivat ruudukon muodostaville viivoille. Näistä sadasta kappaleesta laskettiin infektoituneiden juurten palasten osuus. Infektion määrä ilmoitetaan tuloksissa prosentuaalisina osuuksina [esim. (46 infektoitunutta juuren palasta / 100 laskettua juuren palasta)* 100= 46 %:n infektio].

2.4 Tilastolliset analyysit

Aineiston normaalisuusoletuksen toteutuminen testattiin Kolmogorov-Smirnovin testillä ja varianssien yhtä suuruus Levenen testillä. Joissakin tapauksissa aineisto poikkesi joiltain osin normaalisuusoletuksesta, mutta se päätettiin analysoida tästä huolimatta parametrisellä 3-anovalla. Tulosten tulkinnassa on otettu huomioon, että varianssianalyysi antaa liian merkitsevän tuloksen, jos normaalisuusoletus ei toteudu (Ranta ym. 2002). Kokeessa A maaperäeläinten osalta parametrinen testien oletukset eivät toteutuneet, joten aineisto analysoitiin ei-parametrisellä faktorikokeen Kruskalin-Wallis H-testillä. Lehtipinta-alat, punaisten lehtien määrä ja mykorriitsainfektion esiintyminen testattiin kokeessa A 2x2x2 faktorikokeella, jossa oli mukana lohkokotekijä. Faktorit eli vaikuttavat tekijät olivat peltomaa, Myko-Ymppi ja komposti ja niillä oli kaksi tasoa (0= ei ja 1= on). Kaikki faktorit olivat kiinteitä. Malli, jonka avulla aineisto testattiin, oli $y = \text{Peltomaa} + \text{Myko-Ymppi} + \text{Peltomaa} * \text{Myko-Ymppi} + \text{Komposti} + \text{Komposti} * \text{Peltomaa} + \text{Komposti} * \text{Myko-Ymppi} + \text{Komposti} * \text{Myko-Ymppi} * \text{Peltomaa} + \text{Lohko}$. Kuivuneiden lehtien kappalemäärille tehtiin logaritminmuunnos, jotta parametrinen testien oletukset saatiin voimaan.

Kokeessa B täydellinen 2x2x2 faktorikokeen koeasetelma ei toteutunut, joten käsittelyt yhdistettiin yhdeksi faktoriksi, jolla oli viisi tasoa. Lehtipinta-alat ja mykorriitsainfektion määrä analysoitiin satunnaistettujen lohkojen varianssianalyysillä, jonka malli on $y = \text{Käsittely} + \text{Lohko}$. Satunnaistettujen lohkojen kokeen lohkokotekijä on luonteeltaan satunnainen ja käsittelyt ovat kiinteitä. Tällöin on kyseessä sekamalli, jossa lohkoilla ja käsittelyillä ei tule olla yhdysvaikutusta (Ranta ym. 2002). Tämä selittää kokeen B mallin lisäksi myös A kokeen mallin, jossa lohkokotekijän ja muiden faktoreiden yhdysvaikutusta ei tarkasteltu.

Kokeessa B mykorriitsainfektion ja punaisten lehtien määrän välistä riippuvuutta sekä lehtipinta-alan välistä riippuvuutta taimen mykorriitsainfektion määrästä tarkasteltiin Pearsonin korrelaatiokertoimen avulla. Parittaisia vertailuja käsittelyjen välillä tehtiin T-testillä sekä Mann-Whitneyn U -testillä. Kaikki tilastolliset testaukset tehtiin SPSS -ohjelmistolla (versio 13.0 for Windows).

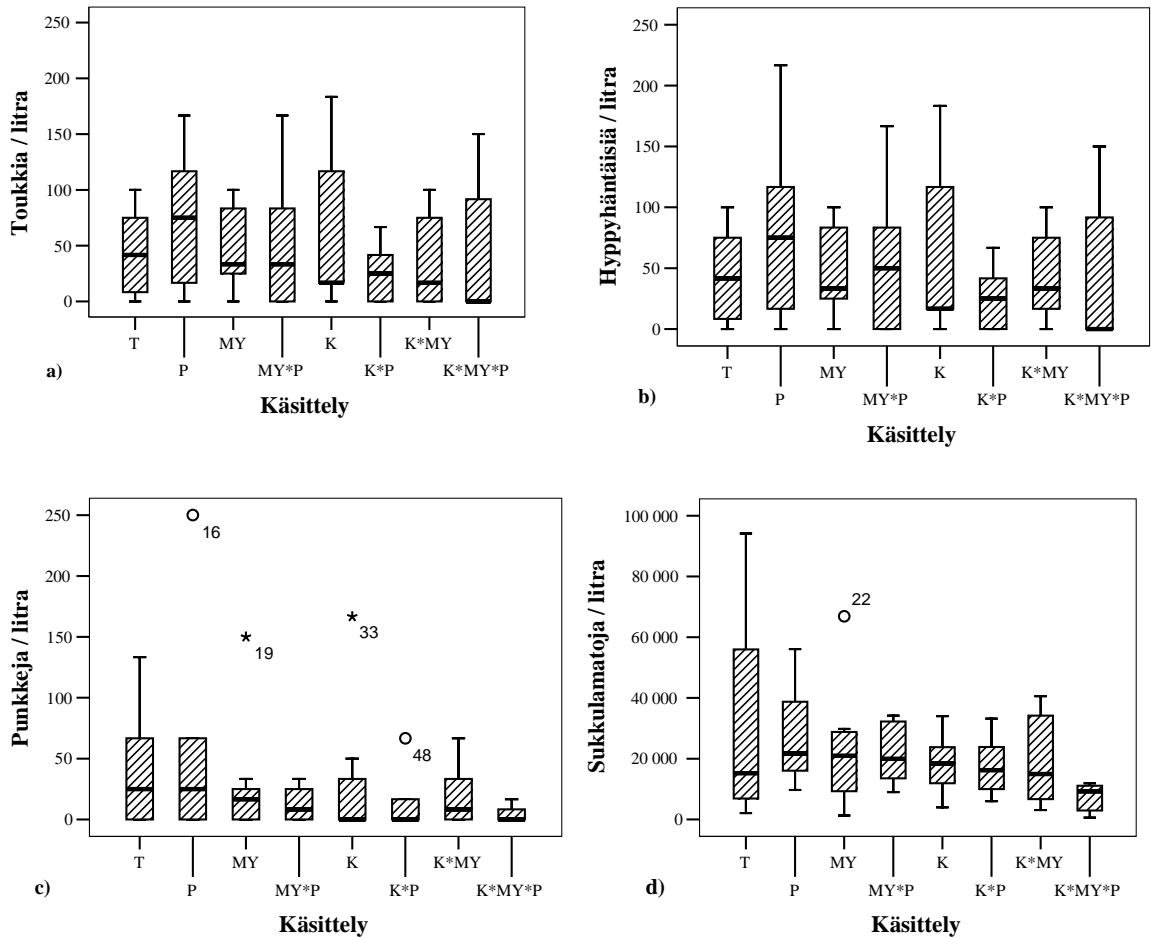
3 TULOKSET A KOKEESTA

3.1 Käsittelyiden vaikutus maaperäeläinten määrään

Kompostin lisääminen kasvualustaan aiheutti eroja sukkulamatojen runsauteen (taulukko 6).. Niiden määrä erosi merkitsevästi muista käsittelyn K –kohdalla, jossa kasvualustaan lisättiin kompostimultaa (taulukko 6). Peltomaa, Myko-Ymppi tai kompostikäsitteilyillä ja niiden yhdysvaikutuksilla ei ollut vaikutusta muiden maaperäeläinryhminen runsauteen. Vaihtelu maaperäeläinten määrässä käsittelyiden sisällä oli suurta (kuva 2). Maaperäeläimiä oli kaikissa kasvualustoissa, myös käsittelyssä T, johon niitä ei oltu siirrostettu. Taimien alkuperäisessä kasvualustassa oli kokeen alussa maaperäeläimiä runsaasti kasvualustaan lisättyihin seosaineisiin verrattuna (taulukko 5). Kokeessa havaitut maaperäeläinmäärät ovat esitetty myös yksilöinä grammassa kasvualustaa taulukossa 7 helpottamaan tulosten vertailua aiempien tutkimusten kanssa.

Taulukko 6. Kruskalin-Wallis H-testisuureen arvot eri maaperäeläinryhmille käsittelyittäin. Tilastollisesti merkitsevä ero on lihavoitu. Riskitaso 0,05 kaikille arvoille $X^2_{(1)}=3,841$.

Maaperäeläinryhmä	Käsittely						
	P	MY	MY*P	K	K*P	K*MY	K*MY*P
Änkyrimadot	0,033	0,038	0,407	0,033	1,154	0,407	0,381
Sukkulamadot	0,202	1,444	1,183	4,444	2,931	0,922	0,381
Toukat	0,127	0,341	0,095	2,103	0,617	0,002	1,014
Hyppyhäntäiset	0,31	0,038	0,288	1,61	1,365	0,065	0,424
Punkit	0,96	0,497	0,267	2,553	0,072	0,168	0,083



Kuva 2. Kokeessa tarkastelujen maaperäeläinryhmien esiintyminen laatikko-jana-kuvioiden esitettynä käsittelyittäin: a) kaksisiipisten toukkien, b) hyppyhäntäiset c) punkit ja d) sukkulamadot. Käsittelyjen sisäisistä suurista vaihteluista kertovat myös havaitut ääriarvot. Käsittelyjen lyhenteet on selitetty taulukossa 1.

Taulukko 7. Kokeen A lopussa havaittu maaperäeläinten keskimääräinen yksilömäärä/g näytettä (maaperäeläinmäärät ovat kokeessa A laskettu tilavuuden mukaan, joten ilmoittaminen painon mukaan perustuu orgaanisen aineksen määrän selvittämisen yhteydessä saatuun 0,6 dl näyttemaan painoon).

Käsittely	Yksilömäärä/g		
	Sukkulamatoja	Hyppyhäntäisiä	Punkkeja
1	234	1	0
2	440	4	1
3	191	3	0
4	232	3	0
5	165	1	0
6	276	3	0
7	62	2	0
8	726	8	1

3.2 Käsittelyjen vaikutus taimen menestymiseen

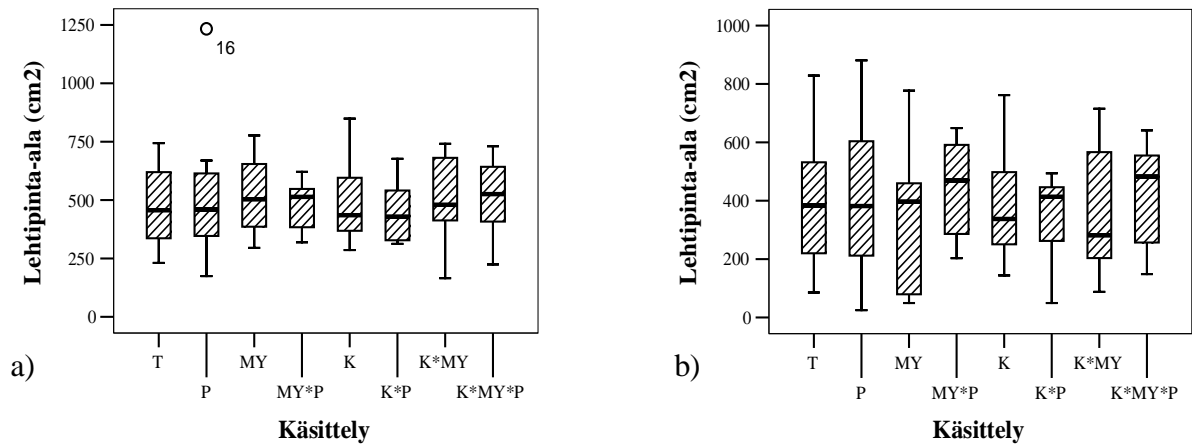
Käsittelyillä ei ollut vaikutusta kokeen puolivälissä eikä lopussa taimien lehtipinta-aloihin. (taulukko 8 a ja b, kuva 3), mitä pidettiin näissä kokeissa taimen menestymisestä kertovana tekijänä. Lohkotekijällä oli tilastollisesti merkitsevä vaikutus sekä viikolla 4 että viikolla 8 taimen lehtipinta-alaan. Tämä selittyy sillä, että taimet jaettiin silmämääräisesti koon mukaan lohkoihin koetta perustettaessa ja kertoo siitä, että taimen alkukoon vaikutus sen lehtipinta-alaan ulottuu kokeen loppuun saakka.

Silmämääräisesti kasvit näyttivät kokeiden aikana hyvinvoivilta, vaikka ne eivät kukkineet. Taimet saivat riittävästi vettä eikä niissä näkynyt tuhohyönteisiä. Tästä huolimatta taimien lehdet alkoivat tuleentua kokeen aikana muuttuen ensin punaisiksi kuivuen sen jälkeen ruskeiksi. Käsittelyt tai niiden yhdysvaikutukset eivät aiheuttaneet merkitseviä eroja kuivuvien lehtien määriin (taulukko 9). Lohkotekijällä, eli taimen koolla kokeen alussa, oli merkitsevä vaikutus punaisiksi ja kuivuneiksi muuttuneiden lehtien määriin sekä kokeen viikolla neljä (taulukko 9a, kuva 4 a) että kahdeksan (taulukko 9 b, kuva 4 b).

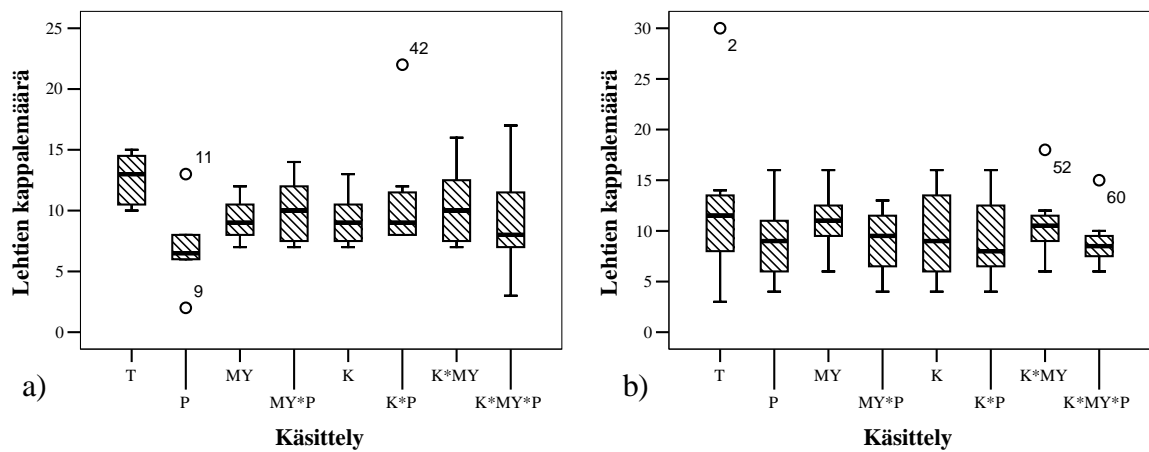
Taulukko 8. Lehtipinta-alojen kolmisuuntaisen ANOVA:n tulokset A kokeen viikolta a) neljä ja b) kahdeksan. Tilastollisesti merkitsevät erot ovat lihavoitu. Käsittelyjen selitykset on esitetty taulukossa 1.

a)			
Käsittelyt	F-arvo	df	p-arvo
P	0,035	1	0,852
MY	0,39	1	0,535
MY*P	0,16	1	0,691
K	0,149	1	0,701
K*P	0,195	1	0,661
K*MY	0,564	1	0,456
K*MY*P	1,593	1	0,213
Lohko	14,383	7	<0,001

b)			
Käsittely	F-arvo	df	p-arvo
P	0,978	1	0,328
MY	0,24	1	0,879
MY*P	1,662	1	0,203
K	0,25	1	0,619
K*P	0,46	1	0,501
K*MY	0,327	1	0,57
K*MY*P	0,001	1	0,979
Lohko	11,383	7	<0,001



Kuva 4. Taimien lehtipinta-alat a) viikolla neljä ja b) viikolla kahdeksan. Käsittelyjen lyhenteet on selitetty taulukossa 1.



Kuva 5. Punaiset ja kuivuneet lehdet viikolla a) viikolla neljä ja b) viikolla kahdeksan. Käsittelyjen lyhenteet on selitetty taulukossa 1.

Taulukko 9. Punaisten ja kuivuneiden lehtien kappalemäärien 3-ANOVA testien tulokset. a) viikolla neljä (aineistolle on tehty logaritminmuunnos) ja b) viikolla 8. Tilastollisesti merkitsevät erot on lihavoitu. Käsittelyjen lyhenteiden selitykset on esitetty taulukossa 1.

a)

Käsittely	F-arvo	df	P-arvo
P	0,418	1	0,521
MY	0,588	1	0,447
MY*P	0,014	1	0,907
K	0,961	1	0,332
K*P	0,147	1	0,703
K*MY	1,604	1	0,211
K*MY*P	2,187	1	0,146
Lohko	2,516	7	0,027

b)

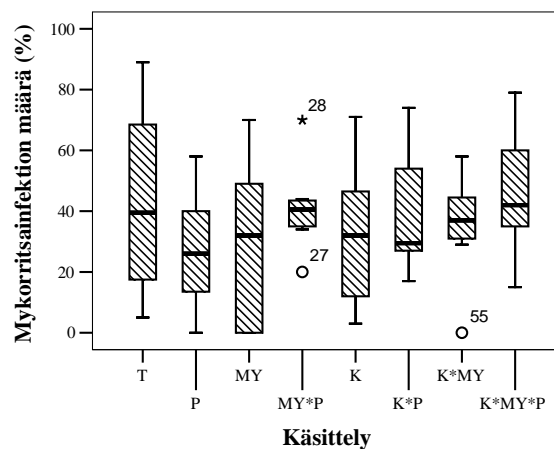
Käsittely	F-arvo	df	P-arvo
P	3,487	1	0,068
MY	0,015	1	0,901
MY*P	0,000	1	1,000
K	0,469	1	0,497
K*P	0,655	1	0,442
K*MY	0,314	1	0,578
K*MY*P	0,469	1	0,497
Lohko	2,535	7	0,026

3.3 Käsittelyiden vaikutus mykorritsa-infektion määrään

Mykorritsa-infektion määrissä kokeen käsittelyt eivät aiheuttaneet tilastollisesti havaittavaa eroa (taulukko 10). Vaihtelu mykorritsa-infektion määrissä käsittelyjen sisällä oli suurta (kuva 5). Suurinta vaihtelua oli käsittelyssä, jossa taimi kasvoi alkuperäisessä turvekasvualustassaan, mutta lähes yhtä suurta se oli myös MY- käsittelyssä, jossa alkuperäiseen kasvuturpeeseen lisättiin Myko-Ymppeä. Pienintä vaihtelua mykorritsa-infektion määrässä oli käsittelyssä, jossa kasvualustaan oli lisätty seosaineeksi peltomaata ja Myko-Ymppeä ja lähes saman tasoista se oli käsittelyssä, jossa seosaineena oli komposti ja Myko-Ymppeä (taulukko 11).

Taulukko 10. Mykorritsa-infektion määrän kolmisuuntaisen ANOVA:n tulokset kokeessa A. Käsittelyjen lyhenteet on selitetty taulukossa 1.

Käsittely	F-arvo	df	p-arvo
P	0,0365	1	0,548
MY	0,203	1	0,644
MY*P	0,223	1	0,639
K	0,278	1	0,600
K*P	0,914	1	0,344
K*MY	0,223	1	0,639
K*MY*P	1,159	1	0,287
Lohko	0,531	7	0,807



Kuva 5. Kokeen A mykorritsa-infektion määrä käsittelyittäin. Käsittelyjen lyhenteet on selitetty taulukossa 1.

Taulukko 11. Mykorritsainfektion määrissä havaitut keskihajonnat käsittelyittäin.

käsittely	keskihajonta (%)
T	31,2
P	19,2
MY	27,5
P*MY	14,1
K	22,8
K*P	20,0
K*MY	16,8
K*MY*P	20,0

4 TULOKSET B KOKEESTA

4.1 Taimen kasvu erilaisissa kasvualustoissa

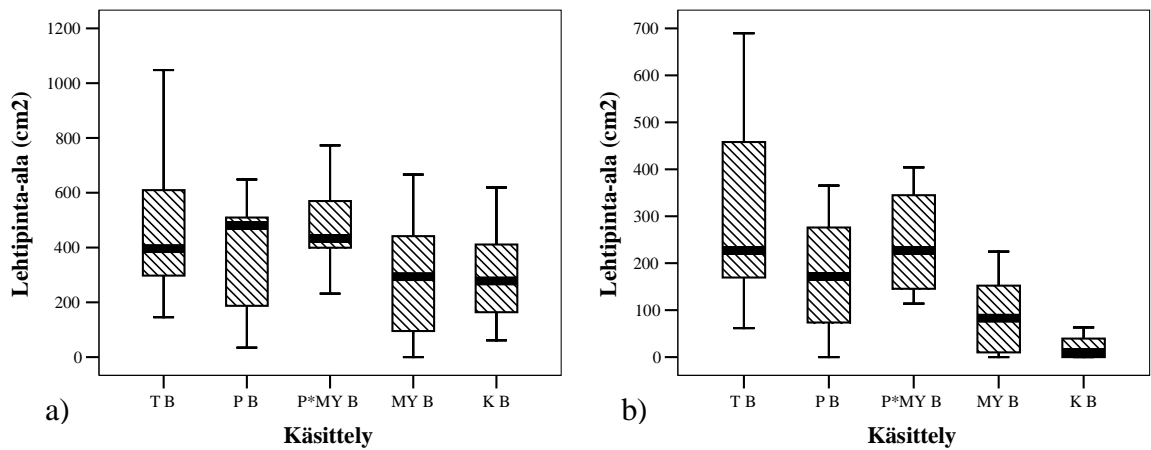
Kokeessa B käsittelyillä ei ollut vaikutusta lehtipinta-aloihin kokeen viikolla neljä, mutta kokeen lopussa viikolla kahdeksan käsittelyt aiheuttivat eroja taimien lehtipinta-aloissa (taulukko 12, kuva 6). Kokeen alkupuoliskolla lohkoilla, eli taimien lehtipinta-alaan koolla kokeen alussa, oli merkitystä viikolla neljä havaittuun lehtipinta-alaan. Kokeen lopussa lohkokelijän vaikutus lehtipinta-alaan ei ollut enää tilastollisesti merkitsevä (taulukko 12, kuva 6). Kokeen lopussa kolmen käsittelyparin välillä oli tilastollisesti merkitsevä ero taimien lehtipinta-aloissa (taulukko 13, kuva 6 b).

Taulukko 12. Lehtipinta-alaan 1- ANOVA:n tulokset. Käsittelyllä ja lohkoilla ei ole yhdysvaikutusta, koska niiden välillä ei ole satunnaistettujen lohkojen koeasetelmasta johtuen yhteyttä.

		F-arvo	df	p-arvo
Vko 4	käsittely	2,212	4	0,093
	lohko	4,268	7	0,003
Vko 8	käsittely	7,942	4	<0,001
	lohko	2,097	7	0,077

Taulukko 13. Käsittelyjen vaikutus lehtipinta-alaan kokeen viikolla 8 havaittiin Tukeyn HSD – testin avulla kolmen käsittelyparin välillä. Käsittelyjen lyhenteet on selitetty taulukossa 2.

Käsittelyparit	p-arvo
T B : MY B	0,007
T B : K B	<0,001
P*MY B : K B	0,005



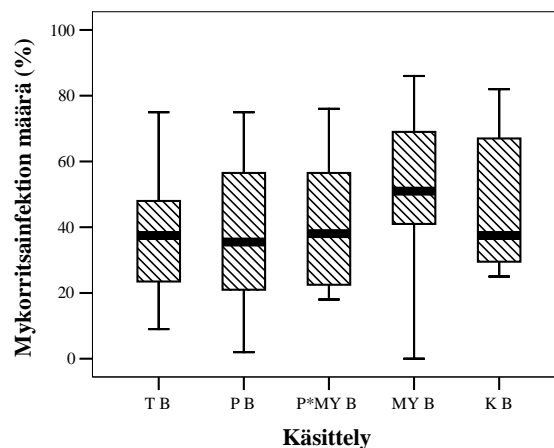
Kuva 6. Kokeen B lehtipinta-alojen kuvaajat a) viikolla 4 ja b) viikolla 8. Käsittelyjen lyhenteet on selitetty taulukossa 2.

4.2 Mykorritsa-infektion määrä ja Myko-Ympäri -valmisteen toiminta eri kasvualustoissa

Käsittelyt eivät vaikuttaneet mykorritsa-infektion määrään (taulukko 14, kuva 7). Mykorritsa-infektion määrä B kokeessa ei korreloinut tilastollisesti merkitsevästi taimen lehtipinta-alan kanssa viikolla neljä (Pearson's $r = -0,037$, $n=40$, $p=0,822$, kuva 8 a) tai viikolla 8 (Pearson's $r = -0,038$, $n=40$, $p=0,818$, kuva 8 b). Mykorritsa-infektion määrä ei korreloinut myöskään havaittujen punaisten ja kuivuneiden lehtien määrän kanssa (viikolla 4 Pearson's $r = 0,287$, $n=40$, $p=0,073$ ja viikolla 8 Pearson's $r = 0,026$, $n=40$, $p=0,874$, kuva 9).

Taulukko 14. Mykorritsa-infektion määrän ANOVA:n tulokset.

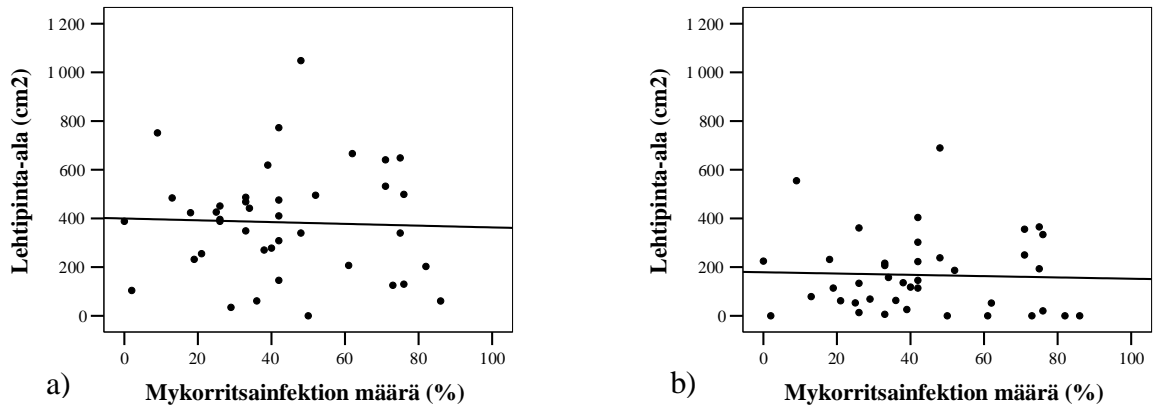
	F-arvo	df	p-arvo
käsittely	0,57	4	0,687
lohko	1,648	7	0,164



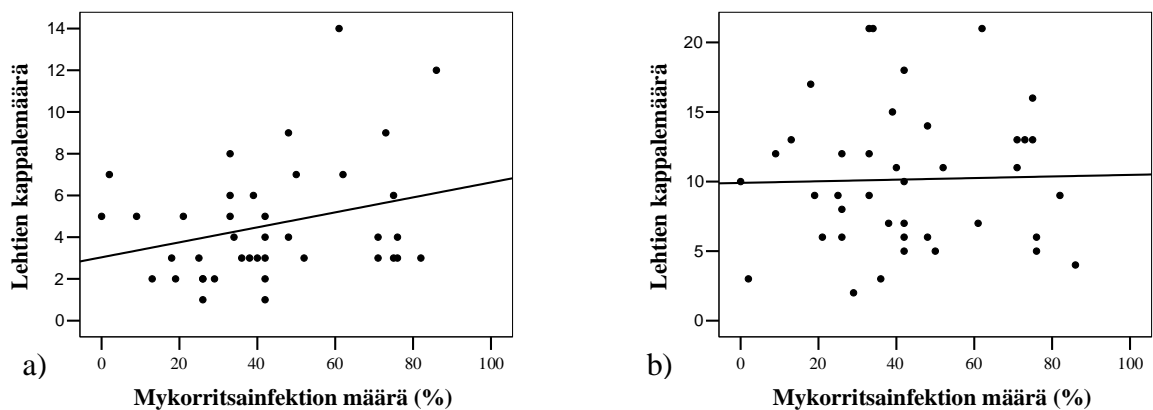
Kuva 7. Mykorritsa-infektion määrät prosentteina eri käsittelyissä.

Taulukko 15. Mykorritsainfektion määrissä havaitut keskihajonnat kokeessa B.

käsittely	keskihajonta (%)
T B	20,3
P B	25,4
P*MY B	22,1
MY B	26,1
K B	22,1



Kuva 8. Lehtipinta-alan ja mykorritsainfektion välillä ei ollut havaittavissa tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota a) viikolla 4 eikä b) viikolla 8.



Kuva 9. Punaisten ja ruskeiden lehtien määrän ja mykorritsainfektion määrän välinen korrelaatio a) viikolla 4 ja b) viikolla 8 ei ollut tilastollisesti merkitsevää.

Alkuperäiseen kasvuturpeeseen lisätynä Myko-Ympä ei lisännyt taimen lehtipinta-alaa viikolla neljä (T B keskiarvo (ka.)= 474,93, keskihajonta (s)= 292,48, n=8, MY B ka=290,89, s.d.=285,57, t-testi; $t_{14}=1,409$, $p=0,181$). Kokeen lopussa (viikko 8) taimet, jotka kasvoivat alkuperäisessä kasvualustassa ilman Myko-Ympä kasvattivat suuremman lehtipinta-alan (kuva 6 b). Peltomaassa kasvaneiden taimien lehtipinta-aloihin (käsittelyt P B ja P*MY B) Myko-Ympillä ei ollut vaikutusta kokeen viikolla neljä eikä kokeen loppuessa viikolla 8 (kuva 6). Taimien mykorritsainfektion määrissä ei ollut näiden kahden käsittelyparin (T B ja MY B sekä P B ja P*MY B) välillä eroja (T B ka=37,75, s=20,30, n=8, MY B ka=50,00, s=26,12, n=8; t-testi, $t_{14}=1,133$, $p=0,276$ ja P B ka=37,88, s=25,33, n=8, P*MY B ka=41,00, s=22,08, n=8; t-testi; $t_{14}=-0,263$, $p=0,796$). Mykorritsainfektion määrien keskihajonnat (taulukko 15) antavat hieman viitettä siitä, että peltomaassa ja

kompostimullassa Myko-Ympäri olisi toiminut useammalla taimella, koska näissä käsittelyissä keskijajonta on pienempää kuin muissa käsittelyissä.

5 TULOSTEN TARKASTELO

5.1 Maaperäeläinten määrään vaikuttavat tekijät

Kokeessa A tavoitteena oli selvittää mahdollisuuksia siirrostaa maaperäeläimiä taimistoviljelyssä käytettävään raakaturpeeseen kasvualustaan ja lisätä niiden viihtyvyyttä siinä. Kokeen alussa odotettiin, että peltomaata ja kompostimultaa lisäämällä maaperäeläinten määrä lisääntyisi kasvualustassa ja kompostimullan runsas mikrobisto lisäisi mikrobinsyöjämaaperäeläinten, joita esim. suurin osa sukkulamadoista on, runsautta kasvualustassa. Kokeen alussa odotettiin myös, että runsas maaperäeläimistö edistäisi taimen kasvua lisäämällä hajotustoiminnan kautta kasvin tarvitsemien ravinteiden määrää kasvualustassa. Kasvin ravinteiden ottoa tehostaisi myös sen juurten muodostama symbioosi mykorritsasienten kanssa, jonka odotettiin näkyvän myös taimen kasvun lisääntymisenä.

Kokeen A tulosten perusteella voidaan sanoa, että sukkulamatojen kohdalla maaperäeläinten määrän lisäämisessä onnistuttiin. Niiden määrä oli muita käsittelyjä suurempi käsittelyssä K, jossa kasvualustaan lisättiin kompostimultaa. Kompostimullan mikrobisto saattoi olla sukkulamatoja runsastuttava tekijä, koska muiden maaperäeläinryhmien, jotka ovat pääasiassa karikkeen- tai sienensyöjiä, määrät jäivät alhaisiksi. Maaperäeläimet ovat useissa laboratorioissa tehdyissä tutkimuksissa osoittaneet kykynsä runsastua mikrokosmoksissa (Bååth ym. 1981, Setälä & Huhta 1991, Huhta ym. 1998).

Kokonaisuudessaan kokeessa A maaperäeläinten määrät jäivät mikrokosmoksissa havaittuihin maaperäeläinmääriin nähden alhaisiksi, mihin varmasti vaikutti ”kentällä” tehdyn kokeen lisäksi se, että kasvualustaan lisätyissä seosaineissa maaperäeläinten määrä ei ollut suuri. Kokeessa käytetty peltomaa ei ollut näihin kokeisiin soveltuvin seosaine lisäämään maaperäeläinmäärää kasvualustassa. Siinä itsessään oli hyvin vähän maaperäeläimiä, vaikka seosaine oli otettu hyväkuntoiselta ja multavalta viljelykäytössä olevalta pellolta. Rahkaturve ei ole runsaasta orgaanisen aineksen määrästä huolimatta hyvä elinympäristö maaperäeläimille, koska siinä on sphagnoleja, mikä vaikeuttaa turpeen käyttöä ravinnon lähteenä. Setälä ja Huhta (1991) käyttivät mikrokosmoskokeessaan maaperää, jossa orgaanisen aineksen pitoisuus oli 34 % ja siihen oli lisäravinnoksi lisätty kuusen neulasia ja koivun lehtiä sisältävää kariketta. Heidän kokeessaan änkyrimadot runsastuivat 45 viikon aikana 60 yksilön alkupopulaatiosta 83 200 yksilöä/m² vastaavaan populaatiokokoon ja sukkulamadot 2000 yksilöstä 1 820 000 yksilöön/m². Huhta ym. (1998) tekemässä kokeessa maaperäeläimet runsastuivat yli satakertaisesti kahdeksan viikon aikana kolmessa erilaisessa kosteudessa. Kokeen A maaperäeläinmäärät jäivät yksilöä/g muotoon muutettuna kauas näistä määristä.

Kummassakaan kokeessa ei maaperäeläinten ravintoverkon osana ollut änkyrimatoja, joita pidetään metsämaan avainlajeina ja joiden toimintaa ja vaikutusta hajotusprosessiin ei mikään muu laji maaperäeläinyhteisössä voi korvata (Laakso & Setälä 1999). Vaikka soiden ravintoverkkoja ei ole tutkittu paljoakaan (Laiho 2006) änkyrimatojen oletetaan olevan merkittävin hajottajaeläin myös turpeisessa maaperässä (Cole ym. 2000). Koe A, jossa tutkittiin maaperäeläinten runsautta kasvualustassa ei anna lisävaloa änkyrimatojen vaikutukseen ravinteiden mineralisaatiossa turpeisessa kasvualustassa. Änkyrimadoilla on myös maaperän rakennetta parantavia vaikutuksia (Schrader ym. 1997), joista voisi olla etua erityisesti astiataimikasvatuksessa. Änkyrimadot eivät kuitenkaan toimi yksin vaan

osana monipuolista maaperän ravintoverkkoa (Setälä ym. 1990), joten niiden rinnalla tulisi olla myös muita maaperäeläinryhmiä. Maaperän ravintoverkon monimutkaisuus vuorovaikutussuhteisiin viittaa myös Bardgettin ja Chanin (1999) havainto siitä, että bakteereja syövien sukkulamatojen positiivinen vaikutus typen mineralisaatioon esiintyi vain silloin, kuin systeemissä oli läsnä sienensyöjämikroniveljalkaisia. Näiden yhteisvaikutuksesta mikrobisyhteisöön kohdistui suurempi saalispaine verrattuna yhden maaperäeläinryhmän aiheuttamaan saalispaineeseen. Mikrobisilmukka-hypoteesin mukaan tämä alentaa mikrobisyhteisön kasvua ja vähentää maaperäeläinten eritteiden kautta vapautuvan typen sitoutumista mikrobeihin, jolloin tyyppiä vapautuu nopeammin maaperään ja esimerkiksi kasvien saataville. Hajottajaeläinten toimintaa tarkastellessa on tärkeä pitää mielessä koko maaperän ravintoverkko sekä sen toiminta ja vaikutukset yhteisötasolla.

5.2 Maaperäeläinten vaikutus taimen kasvuun

Kokeessa oletettiin, että maaperäeläinten positiiviset vaikutukset taimen kasvuun ilmentyisivät taimen suurempana lehtipinta-alana. Kokeen A käsittelyt eivät aiheuttaneet eroja maaperäeläinten määrään, joten tämän kokeen perusteella ei voida osoittaa, että maaperäeläimet lisäisivät tai vähentäisivät tarhakurjenpolven taimien kasvua. Sekä kokeessa A että B tarhakurjenpolven taimien kasvuun vaikutti jokin muu tekijä, kuin näissä kokeissa tarkasteltu, koska taimien kasvu alkoi hidastua kokeen puolivälissä ja niiden lehdet alkoivat kuivua ruskeiksi.

Hajottajaravintoverkolla on merkittävä rooli kasvien saamien ravinteiden säätelyssä (Wardle 1999). Maaperäeläinten ja niistä koostuvan ravintoverkon rakenteen on havaittu vaikuttavan positiivisesti sekä kasvin biomassan lisääntymiseen että typpipitoisuuteen (Bardgett & Chan 1999, Partsch ym. 2006) myös typpirikkaassa maaperässä (Laakso ym. 2000). Molemmissa kokeissa kasvualustat olivat lannoitettuja ja niiden ravinnepitoisuudet pyrittiin saamaan samalle tasolle, jotta maaperäeläinten vaikutus kasvin ravinteiden ottoon ja sitä kautta lisääntyneeseen kasvuun olisi havaittavissa. Lannoituksesta johtuvasta korkeasta ravinnepitoisuudesta huolimatta maaperäeläimillä olisi voinut olla mikrobisilmukan kautta epäsuora vaikutus taimen kasvuun. Tätä vaikutusta ei kuitenkaan havaittu, koska kaikissa käsittelyissä taimien lehtipinta-alassa tapahtuneet muutokset olivat saman suuruisia. Tässä kokeessa ei mitattu taimien typpipitoisuutta, mistä Laakso ym. (2000) havaitsivat maaperäeläinten positiivisen vaikutuksen kasvin hyvinvointiin, mikä olisi voinut kertoa taimen lehtipinta-alaa tarkemmin taimen hyvinvoinnista ja maaperäeläinten vaikutuksesta siihen.

5.3 Taimen lehtipinta-alojen pieneneminen

Kokeen puolivälissä havaittiin, että taimien lehden muuttuivat punaisiksi ja vähitellen kuivuivat. Taimien lehtipinta-ala alkoi pienentyä ja kasvu tyrehtyi vastoin oletuksia. Tästä voi päätellä, että kokeen puolessavälissä kasvien kasvuun ja hyvinvointiin tapahtui jotain vahingollista. Ilmiö oli havaittavissa kaikissa käsittelyissä eikä käsittelyjen havaittu vaikuttavan lehtien kuivumiseen, mutta taimen koosta kertova lohkoketijä vaikutti kuivuneiden lehtien kappalemäärään, mikä on loogista. Isommissa kasveissa on enemmän lehtiä ja ne kärsivät ilmiöstä enemmän kuin pienemmät.

Syitä lehtien punaiseksi muuttumiseen ja kuivumiseen saattoi olla monia. Taimen kasvustusta saattoi olla liian pieni. Taimet kasvoivat kohtalaisen kookkaiksi, mutta vain yksi niistä kukki kokeen aikana. Taimien lehtien muuttuessa punaisiksi kokeen puolivälissä tarkistettiin usean taimen satunnaisotoksena olivatko taimen juuret kasvaneet vyyhdiksi pitkin astian reunoja. Tällainen ilmiö olisi kertonut tilanpuutteesta ja selittänyt

taimien lehtien värimuutoksen ja kuivumisen (Vestberg 2006). Vyyhdiksi kasvaneita juuria ei kokeen viikolla 4 havaittu, mutta koetta purkaessa huomattiin, että monen taimen juuripaakku oli erittäin tiivis ja sisälsi paljon juuria. Tarhakurjenpolven juuret ovat ruskeita, mikä saattoi haitata juurten ahtauden havaitsemista kokeen puolivälissä.

Kasvien lehtien punaiseksi muuttuminen voi johtua fosforin puutteesta (Taiz & Zeiger 2002). Joillakin kasvilajeilla fosforin puute aiheuttaa värillisen pigmentin, antosyaanin, muodostumista, joka voi aiheuttaa lehtiin violettia tai punaista väriä ja ennenaikaista lehtien putoamista (Dewlin & Witham 1983, Taiz & Zeiger 2002). Kokeessa käytetyistä kasvualustoista tehdyissä ravinneanalyyseissä fosforin pitoisuuksien todettiin olevan arveluttavan korkealla tasolla sen sijaan, että siitä olisi puutetta, joten näyttöä taimien fosforin puutteesta ei ole. Viljavuustutkimuksien näytteiden otossa oltiin huolellisia, mutta kuitenkin ei voida pois sulkea sitä mahdollisuutta, että näytteen joukossa olisi ollut lannoiterakeita, jotka voivat vaikuttaa suuresti näytteen saamiin tuloksiin eikä kerro totuutta keskimääräisestä kasvualustasta.

Luonnostaan punalehtisten kasvien lehtien punaisuutta lisää kompostin käyttö (Papafotiou ym. 2007). Punaisuutta aiheuttavaksi yhdisteeksi näillä kasveilla on havaittu antosyaani, jonka muodostuminen riippuu fosforin puutteen lisäksi esimerkiksi liiallisten hiilihydraattien kerääntymisestä, virus- tai sieni-infektiosta, kasvin vahingoittumisesta, lämpötilasta tai valosta (Papafotiou ym. 2007). Tämän kokeen osalta on mahdotonta kokeessa käytetyn koeasetelman ja siitä tehtyjen mittausten perusteella sanoa, voisiko kokeessa käytettyjen taimien lehtien punaiseksi muuttumisen ja kuivumisen syynä olla fosforin puutteen sijasta jokin Papafotiou ym. (2007) mainitseminen tekijöistä.

Todennäköisin selitys molemmissa kokeissa havaitulle lehtien kuivumiselle oli korkean lämpötilan ja väkevän ravinnepitoisuuden yhdistelmä. Tähän viittaavat Viljavuuspalvelun mittaamat korkeat johtoluvut kaikissa kasvualustoissa. Viljelymaassa johtoluvun tulisi olla alle 2,5 ja arvoja lähellä kymmentä pidetään liian korkeina (Viljavuuspalvelu 1997). Kasvualustan suolaantumisen vaikeuttaa kasvin vedenottoa, joten kasvi kärsii kuivuudesta helpommin suolaisessa kuin suolattomassa kasvualustassa. Koe tehtiin kesällä 2006, jolloin sää oli lämmin ja taimia kasvatettiin muovikasvihuoneessa. Kasvihuoneessa ei ollut mahdollista säädellä lämpötilaa varjostamalla tai ilmastosteuteen vaikuttamalla, joten taimet saattoivat erittäin todennäköisesti kärsiä lämpöstressistä, joka yhdessä korkean ravinnepitoisuuden kanssa saattaisi olla syynä taimien lehtien kuivumiseen.

5.4 Mykorritsainfektion määrään vaikuttaminen Myko-Ympäri- valmisteella

Käsittelyillä ei ollut vaikutusta mykorritsainfektion määrään, mutta käsittelyjen sisällä havaittu vaihtelu mykorritsainfektion määrässä oli suuria eroja käsittelyjen välillä. Mykorritsan kasville suotuisat vaikutukset eivät ole suoraan verrannollisia sienijuuri-infektion määrään vaan jo alhaisilla mykorritsainfektioitasoilla on raportoitu sen edullisista vaikutuksista kasvin kasvuun. Ajoud ym. (1996) havaitsivat, että yksi *Eukalyptys*-lajeista (*E. dives*) muodosti 49 % suuremman verson kuivapainon ei-infektoituihin kontrolleihin verrattuna vaikka vain 7 % sen juurten pituudesta oli AM sienien infektoimaa.

Rahkaturpeella on negatiivisia vaikutuksia mykorritsainfektion syntyyn ja määrään, mutta negatiivisen vaikutuksen syy on epäselvä (Linderman & Davis 2003). Seosaineen lisääminen rahkaturpeeseen vähentää rahkaturpeen negatiivisia vaikutuksia mykorritsainfektion muodostumiseen (Biermann & Lindeman 1983). Kummassakin kokeessa havaittiin, että mykorritsainfektioita muodostui alkuperäisessä kasvaturpeessakin, vaikka AM sieniä ei ole luonnollisesti kasvaturpeena käytetyssä vaaleassa rahkaturpeessa (Vestberg & Kukkonen). Kokeiden käsittelyissä, joissa kasvualustana oli pelkkä kasvaturve, Myko-Ympin kanssa tai ilman sitä, oli sienijuuri-infektion tason vaihtelu

suurinta. Turpeeseen lisättyä Myko-Ympppi ei vähentänyt sienijuuri-infektiossa havaittua vaihtelua samalla tavalla kuin yhdessä peltomaan tai kompostin kanssa turpeeseen sekoitettuna, mikä oletettavasti johtuu turpeen mykorrhitsainfektiota vähentävästä vaikutuksesta.

Kokeen tuloksista saa myös viitteitä siihen, että tässä kokeessa seosaineena käytetyssä peltomaassa mykorrhitsainfektion määrä on vähäinen, koska peltomaa yksinään sekoitettuna turpeeseen ei saanut aikaan samanlaista infektion määrän vaihtelun kaventumista kuin peltomaa ja Myko-Ympppi yhdessä. Yhdessä peltomaan kanssa käytettynä Myko-Ympppi puolestaan tasasi mykorrhitsainfektion määrää, vaikka keskimääräinen infektioitaso oli sama muiden käsittelyjen kanssa. Myös kompostin kanssa sekoitettuna Myko-Ympillä oli samanlainen vaikutus.

Sienijuurella on suurin merkitys kasvin fosforin (P) saantiin (Smith & Read 2002) ja sitä kautta taimen kasvuun. Korkean fosforipitoisuuden on oletettu vaikuttavan mykorrhitsainfektion määrään negatiivisesti joko vähentämällä sitä tai estämällä sen muodostumisen kokonaan (Biermann & Linderman 1983a). Tämä negatiivinen ilmiö on havaittavissa vain epäorgaanisen fosforin kohdalla (Linderman & Davis 2001), mikä selittäisi sen, että kompostimullan korkea fosforipitoisuus ei estänyt Myko-Ympin toimintaa käsittelyssä K*MY. Nämä havainnot tukevat aiempia tutkimustuloksia siitä, että turpeen negatiivisia vaikutuksia sienijuurisymbioosin syntymiselle voidaan vähentää lisäämällä kasvualustaan rahkaturpeen seuraksi jotakin muuta maa-ainesta, joka voi hyvin olla korkeasta fosforipitoisuudestaan huolimatta kompostimultaa.

5.5 Tarhakurjenpolven taimen kasvu ja Myko-Ympppi valmisteen toimiminen erilaisissa kasvualustoissa

Kokeessa B taimien kasvualustat vaihdettiin kokonaan. Sillä haluttiin selvittää erilaisten kasvualustojen soveltuvuutta ja vaikutusta tarhakurjenpolven taimien kasvuun sekä Myko-Ympppi -valmisteen aiheuttamaa vastetta mykorrhitsainfektion määrässä erilaisissa kasvualustoissa. Kokeen puoliväliin mennessä kasvualustalla ei ollut taimien lehtipinta-alaan vaikutusta, mutta kokeen lopussa suurin lehtipinta-ala oli alkuperäisessä kasvuturpeessa kasvaneilla taimilla ja pienin lehtipinta-ala oli kompostimultaan istutetuilla taimilla. Taimen lehtipinta-alat olivat joka käsittelyssä pienemmät kokeen lopussa kuin kokeen puolivälissä. Syynä tähän oli lehtien kuivuminen, mihin vaikuttaneet tekijät olivat oletettavasti samat kuin kokeessa A. Erityisen korkeat kasvualustojen johtoluvut kokeessa B käytetyissä kasvualustoissa viittaisivat ravinnestressiin, joka yhdessä korkean lämpötilan kanssa saattoi aiheuttaa taimien huonon menestymisen. Kokeessa vallinneissa oloissa tarhakurjenpolven taimet menestyivät yhtä hyvin alkuperäisessä kasvuturpeessaan kuin peltomaassa tai peltomaan ja Myko-Ympin seoksessa.

Mykorrhitsainfektion määrässä ei ollut eroja erilaisissa kasvualustoissa kasvaneiden taimien välillä eikä mykorrhitsainfektion määrä ja taimen lehtipinta-ala korreloineet keskenään. Tämä kertoo siitä, että tässä kokeessa mykorrhitsainfektion määrä ei vaikuttanut taimen kasvuun. Mikään kokeessa B käytetyistä kasvualustoista ei ollut toista kasvualustaa suotuisampi sienijuuri-infektion muodostumiselle, mutta peltomaassa Myko-Ympppi tasasi taimien välistä vaihtelua. Myös kompostimullalla oli samankaltainen vaikutus, tosin ilman Myko-Ympppiä. Näihin kasvualustoihin lisättyä Myko-Ympppi saattaisi siis tuottaa tasaisemman mykorrhitsainfektioitaso ja toimia paremmin.

6 YHTEENVETO

Maaperäeläinten määrät jäivät kokeissa käytetyissä kasvualustoissa yleisesti ottaen alhaisiksi. Rahkaturpeeseen kasvualustaan sekoitettujen seosaineiden maaperäeläinmäärä oli vähäinen eikä missään seoksessa ei ollut kovin hyviä oloja maaperäeläimille, koska ne eivät merkittävästi runsastuneet kokeen aikana. Kompostimullan lisääminen kasvuturpeeseen oletettavasti paransi sukkulamatojen ravinto-oloja ja vaikutti sitä kautta niiden runsastumiseen. Tätä voidaan pitää positiivisena viitteenä siitä, että kompostin lisääminen seosaineena kasvuturpeeseen olisi kannattavaa. Kompostimullan mukana rahkaturpeisen kasvualustan muutkin ominaisuudet muuttuisivat, mutta esimerkiksi sen korkeaa ravinnepitoisuutta voisi vähentää sekoittamalla se lannoittamattomaan turpeeseen. Aiempien tutkimusten mukaan rahkaturve itsessään korkeasta orgaanisen aineksen määrästä huolimatta ei ole suotuisa elinympäristö maaperäeläimille, koska se ei tarjoa hyviä ravintoresursseja. Tästä kokeesta A ei saatu suoraa osoitusta, mutta tämän suuntaiset tulokset voisivat selittää kokeessa A havaitut vähäiset maaperäeläinmäärät. Maaperäeläinten viihtymistä rahkaturpeisessa kasvualustassa saattaisi edistää karikkeen (ravintoresurssi) sekoittaminen kasvualustaan yhdessä kompostin kanssa. Peltomaan sekoittamisesta turpeeseen ei tässä kokeessa ollut merkittävää hyötyä maaperäeläinten kannalta, mutta multavan ja humuspitoisen peltomaan avulla kasvualustaturpeeseen voitaisiin siirtää luonnollista maaperäeläinkantaa kuten kokeessa A tehtiin.

Taimien kasvuun erilaiset kasvualustat eivät vaikuttaneet kokeessa A. Kasvualustojen ravinnetasoissa vaihtelu kasvualustojen välillä ei ollut kovinkaan suurta, mikä selittää taimien samanlaisen menestymisen. Myöskään mykorrhitsainfektion määrä ei vaihdellut käsittelyjen välillä, mutta käsittelyjen sisäiseen vaihteluun kasvualustalla oli vaikutusta. Peltomaan ja Myko-Ympin sekoittaminen taimien alkuperäiseen kasvuturpeeseen vähensi mykorrhitsainfektion vaihtelun määrän yli puoleen pelkkään alkuperäiseen kasvualustaan verrattuna. Kompostimullan ja Myko-Ympin lisääminen vaikutti melkein yhtä voimakkaasti. Seosaineiden lisääminen rahkaturpeeseen on jo aiemmissa tutkimuksissa osoittautunut vähentävän turpeen negatiivisia vaikutuksia sienijuuri-infektion syntymiseen ja runsauteen. Peltomaan ja kompostimullan lisääminen rahkaturpeeseen tasoitti kokeessa A sienijuuri-infektion vaihtelua ja on siten suositeltava toimenpide, vaikka taimen kasvuun kahdeksan koeviikon aikana sillä ei ollutkaan merkitystä. Mykorrhitsalla on ravinteiden lisääntyneen saannin lisäksi myös muita kasville edullisia vaikutuksia esimerkiksi patogeenisten sienitautien ehkäisemisessä, joita ei voi arvioida mykorrhitsan taimen kasvuun aiheuttaman vaikutuksen perusteella.

Kokeen B tulosten perusteella tarhakurjenpolven taimille parhain kasvualusta kokeen oloissa oli sen alkuperäinen turvekasvualusta. Kompostimulta aiheutti erittäin voimakasta lehtien kuivumista, joten se oli näissä oloissa kaikkein huonoin vaihtoehto. Mykorrhitsainfektion määrään B kokeessa ei millään kasvualustalla ollut vaikutusta, mutta sama käsittelyjen sisäiseen vaihteluun liittyvä ilmiö kuin kokeessa A oli havaittavissa. Peltomaata ja Myko-Ymppiä kannattaisi siis sekoittaa rahkaturpeeseen, jos taimille halutaan saada aikaan tasainen mykorrhitsainfektion taso.

Tämä tutkimuksen tulokset ja havainnot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä, mutta kokeet antoivat hieman lisätietoa aiemmin vähän tutkittuun ja soveltavaan maaperäbiologiseen aiheeseen. Yleisesti ottaen erilaisten turpeiden ja muiden kasvualustoiksi soveltuvien aineiden tutkimista tulisi lisätä. Olisi tärkeää selvittää myös erilaisten kasvualustojen vaikutus taimen menestymiseen sen lopullisessa kasvupaikassa.

KIITOKSET

Haluan kiittää MTT:n Laukaan toimipaikkaa mahdollisuudesta tehdä soveltava harjoittelu ja Pro Gradu –tutkielmaan liittyvä kenttätö kesällä 2006. Kiitän MTT:tä myös taloudellisesta tuesta ja tutkija Mauritz Vestbergiä avusta ja ohjauksesta. Timo Mieskoselle kuuluu suuri kiitos neuvoista ja ohjauksesta maaperäeläinnytteiden käsittelyn onnistumiseksi. Lämmin kiitos Pro Gradu –tutkielmani ohjaajille Jari Haimille, Juha Mikolalle ja Sanna Kukkoselle, jotka jaksoivat kannustaa minua sekä ohjata ja kommentoida työtäni lukemattomia kertoja.

KIRJALLISUUS

- Ajoud D., Plenchette C., Halli-Hargas R. & Lapeyrie F. 1996. Response of 11 eucalyptus species to inoculation with three arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycorrhiza* 6: 129-135.
- Albers D., Schaefer M. & Scheu S. 2006. Incorporation of plant carbon into the soil animal food web of an arable system. *Ecology* 87: 235-245.
- Andrés P. & Domene X. 2005. Ecotoxicological and fertilizing effects of dewatered, composted and dry sewage sludge on soil mesofauna: a TME experiment. *Ecotoxicology*. 545-557.
- Azcón-Aguillera C. & Barea J.M. 1997. Applying mycorrhiza biotechnology to horticulture: significance and potentials. *Scientia Horticulturae* 68:1-24.
- Bardgett R.D. & Chan K.F. 1999. Experimental evidence that soil fauna enhance nutrient mineralization and plant nutrient uptake in montane grassland ecosystems. *Soil Biology and Biochemistry*. 31: 1007-1014.
- Bardgett R.D., Bowman W.D., Kaufmann R. & Schmidt S.K. 2005. A temporal approach to linking aboveground and belowground ecology. *Trends in Ecology & Evolution*. 20: 634-641.
- Biermann B. & Linderman R.G. 1983a. Effect of container plant growth medium and fertilizer phosphorus on establishment and host growth response to vesicular-arbuscular mycorrhizae. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 108: 962-971.
- Biermann B. & Linderman R.G. 1983b. Increased geranium growth using pretransplant inoculation with a mycorrhizal fungus. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 108: 972-976.
- Blanco F.F. & Folegatti M.V. 2003. A new method for estimating the leaf area index of cucumber and tomato plants. *Hortic. bras.* 21: 666-669.
- Bonkowski M., Cheng W., Griffiths B.S., Alpeh J. & Scheu S. 2000. Microbial-faunal interactions in the rhizosphere and the effect on plant growth. *Eur. J. Soil Biol.* 36: 135-147.
- Bonkowski M. 2004. Protozoa and plant growth: the microbial loop in soil revisited. *New Phytologist* 162: 617-631.
- Bååth E., Lohm U., Lundgren B., Rosswall T., Södesrström B. & Sohlenius B. 1981. Impact of microbial-feeding animals on total soil activity and nitrogen dynamics: a soil microcosm experiment. *Oikos*. 37: 257-264.
- Bradford M.A., Jones T.H., Bardgett R.D., Black H.I.J., Boag B., Bonkowski M., Cook R., Eggers T., Gange A.C., Grayston S.J., Kandeler E., McGaig A.E., Newington J.E., Prosser J.I., Setälä H., Staddon P.L., Tordoff G.M., Tscherko D. & Lawton J.H. 2002. Impacts of Soil Faunal Community Composition on Model Grassland Ecosystems. *Science*. 298: 615-618.
- Campostrini E. & Yamanishi O.K. 2001. Estimation of papaya leaf area using the central vein length. *Scientia-Agricola*. 58: 39-42.
- Cole L. & Bardgett R.D. 2006. Animals: Microbial Interactions and Nutrient Cycling. Teoksessa *Encyclopedia of Soil Science* DOI:10.1081/E-ESS-120001584. Taylor & Francis, s.133-166.
- Cole L., Bardgett R.D. & Inelson P. 2000. Enchytraeid worms (Oligocheta) enhance mineralization of carbon in organic upland soils. *European Journal of Soil Science*. 51:185-192.
- Cole L., Dromph K., Boaglio V. & Bardgett R.D. 2004. Effect of density and species richness of soil mesofauna on nutrient mineralisation and plant growth. *Biol. Fertility Soils*. 39: 337-343.
- Cole L.J., McCracken D.I., Foster G.N. & Aitken M.N. 2001. Using Collembola to assess the risks of applying metal-rich sewage sludge to agricultural land in western Scotland. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 83: 177-189.
- Coleman D.C., Crossley D.A. & Hendrix P.F. 2004. *Fundamentals of soil ecology*. 2. painos. Elsevier academic press. Boston. 386 s.
- Cragg R.G. & Bardgett, R.D. 2001. How changes in soil faunal diversity and composition within a trophic group influence decomposition processes. *Soil Biology & Biochemistry*. 33: 2073-2081.
- Coulson J.C. & Bitterfield J. 1978. Investigation of the biotic factors determining the rates of plant decomposition on planket bog. *Journal of Ecology*. 66: 631-650.

- Day M. & Shaw K. 2001. Biological, chemical and physical processes of composting. Teoksessa Stoffella P.J. & Kahn B.A. (toim.) *Compost Utilization in Horticultural Cropping Systems*. CRC Press LLC .www.environmentbase.com/books/91/LA4143FM.PDF, luettu 12.1.2008.
- Devlin R.M. & Witham, F.H. 1983. Plant physiology. 4. painos. Willard Grant Press, Boston, 577 s.
- de Soussa E.F., Araújo M.C., Posse R.P., Detmann E., Bernardo S., Berbert P.A. & dos Santos P.A. 2005. Estimating the total leaf area of the green dwarf coconut tree (*Cocos nucifera* L.). *Sci. Agric.* 62: 597-600.
- Gobat J., Aragno M. & Matthey W. 2004. *The living soil. Fundamentals of soil science and soil biology*. Science Publishers. Enfield, NH. 602 s.
- Goldstein N. 2001. The Composting Industry in the United States: Past, Present and Future. Teoksessa Stoffella P.J. & Kahn B.A. (toim.) *Compost Utilization in Horticultural Cropping Systems*. CRC Press LLC .www.environmentbase.com/books/91/LA4143FM.PDF, luettu 21.1.2008.
- Grigatti M., Giorgioni M.E. & Ciavatta C. 2007. Compost-based growing media: Influence on growth and nutrient use of bedding plants. *Bioresource Technology* 98: 3526-3534.
- Hooper D.U., Bignell D.E., Brown V.K., Brussaard L., Dangerfield J.M., Wall D.H., Wardle D.A., Coleman D.C., Giller K.E., Lavelle P., Van der Putten W.H., De Ruiter P.C., Rusek J. Silver W.L., Tiedje J.M. & Wolters W. 2000. Interaction between aboveground and belowground biodiversity in terrestrial ecosystems: patterns, mechanisms and feedbacks. *BioScience*. 50: 1049-1061.
- Huhta V., Sulkava P. & Viberg K. 1998. Interactions between enchytraeid (*Cognettia sphagnetorum*), microarthropod and nematode populations in forest soil at different moistures. *Applied Soil Ecology*. 9: 53-58.
- Ingham R.E., Trofymow J.A., Ingham E.R. & Coleman D.C. 1985. Interactions of Bacteria, Fungi, and their Nematode Grazers: Effects on Nutrient Cycling and Plant Growth. *Ecol. Monogr.* 55: 119-140 .
- Kekkilä 2007a. Tuotetiето Kekkilän karkea ruokutusseos.
<http://www.kekkila.fi/TRek.nsf/FSammattiviljelijat?OpenFrameSet&Frame=mainframe&Src=/TRek.nsf/Tuotteet/4035023?OpenDocument&AutoFramed>, luettu 15.6.06 ja 13.8.07
- Kekkilä 2007 b. Tuotetiето Kekkilän ampeliseos.
<http://www.kekkila.fi/TRek.nsf/FSammattiviljelijat?OpenFrameSet&Frame=mainframe&Src=/TRek.nsf/Tuotteet/4035003?OpenDocument&AutoFramed>. Luettu 15.6.06 ja 13.8.07.
- Koide R.T. & Mosse B. 2004. A history of research on arbuscular mycorrhiza. *Mycorrhiza* 14: 145-163.
- Laakso J. & Setälä H. 1999. Sensitivity of primary production to changes in the architecture of belowground food webs. *Oikos* 87: 57-64.
- Laakso J., Setälä H. & Palojarvi, A. 2000. Influence of decomposer food web structure and nitrogen availability on plant growth. *Plant and Soil* 255: 153-165.
- Laiho R. 2006. Decomposition in peatlands: Reconciling seemingly contrasting results on the impacts of lowered water levels. *Soil Biology and Biochemistry* 38:2011-2024.
- Lawton J.H. 1994. What Do Species Do in Ecosystems? *Oikos* 71: 367-374.
- Liiri M., Setälä H., Haimi J., Pennanen T. & Fritze H. 2002. Relationship between soil microarthropod species diversity and plant growth does not change when the system is disturbed. *Oikos* 96: 137-149.
- Linden D.R., Hendrix P.F. Coleman C.D. & van Vliet P.C. 1994. Faunal Indicators of Soil Quality. Teoksessa: Doran J.W., Coleman D.C., Benzdicek D.F. ja Steward B.A. (toim.) *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. SSSA Special Publication Nro 35. American Society of Agronomy, Madison, 91-106.
- Lindermann R.G. & Davis, E.A.2001. Vesicular-arbuscular mycorrhiza and plant growth response to soil amendment with composted grape pomace or its water extract. *HortTechnology* 11: 446-450.
- Lindermann R.G. & Davis, E.A. 2003. Soil amendment with different peatmosses affects mycorrhizae of onion. *HortTechnology* 13: 285-289.

- Lu-HsiuYing, Lu-ChunTang, Wei-Meng Li & Chan-Lit Fu. 2004. Comparison of different models for nondestructive leaf area estimation in taro. *Agronomy-Journal*. 96: 448-453.
- Papafotiou M., Avajianneli B., Michos C. & Chatzipavlidis I. 2007. Coloration, antocyanin concentration and growth of croton (*Codiaeum variegatum*) as affected by cotton gin trash compost use in the potting medium. *HortScience* 42:83-87.
- Partsch S., Milcu A. & Scheu S. 2006. Decomposers (Lumbricidae, Collembola) affect plant performance in model grasslands of different diversity. *Ecology*. 87: 2548-2558.
- Perez-Murcia M.D., Moral R., Moreno-Caselles J., Perez-Espinosa A. & Paredes C. 2006. Use of composted sewage sludge in growth media for broccoli. *Bioresource Technology*. 97: 123-130.
- Peterson R.L., Massicotte H. B. & Melville L.H. 2004. *Mychorrhizas: Anatomy and Cell Biology*. CABI Publishing, Wallingford, 173 s.
- Polis G.A. & String D.R. 1996. Food web complexity and community dynamics. *The American Naturalist*. 147:813-846.
- Pollierer M.M., Maraun M., Körner C., Scheu S. & Langel R. 2007. The underestimated importance of belowground carbon input for forest soil animal food webs. *Ecology Letters* 10: 729-736.
- Puustjärvi V. 1982. Peat and plant year book 1981-1982. Peat Research Institute, Helsinki, Finland.
- Teoksessa Parent, L-E & Ilnicki, P. 2003. Organic soil and peat materials for sustainable agriculture, CRC Press, Florida, 205 s.
- Ranta E., Rita H. & Kouki J. 2002. Tilastotiedettä ekologeille. 8.painos Yliopistopaino. Helsinki, 569 s.
- Raynaud X., Lata J-C. & Leadley P.W. 2006. Soil microbial loop and nutrient uptake by plants: a test using a coupled C:N model of plant-microbial interactions. *Plant Soil* 287: 95-116.
- Rending V. & Taylor H. 1989. *Principles on Soil-Plant Interrelations*. McGraw-Hill Publishing Company, New York,
- Ribeiro H., Vasconcelos E. & dos Santos J. 2000. Fertilisation of potted geranium with a municipal solid waste compost. *Bioresource Technology* 73: 247-249.
- Rouphael Y., Colla G., Fanasca S. & Karam F. 2007. Leaf area estimation of sunflower leaves from simple linear measurements. *Photosynthetica* 45: 306-308.
- Scheu S., Theenhaus A. & Jones T.H. 1999. Links between detritivore and the herbivore system: effects of earthworms and collembola on plant growth and aphid development. *Oecologia* 199: 541-551.
- Schmilewski, G.K. 1996. Horticultural use of peat. Teoksessa: Lappalainen, E. (toim), *Global Peat Resources*. International Peat Society, Saarijärvi, 327-334.
- Schrader S., Langmaack M. & Helming K. 1997. Impact of Collembola and enchytraeidae on soil surface roughness and properties. *Biology and Fertility Soils* 25: 396-400.
- Setälä H. & Huhta V. 1991. Soil Fauna Increase Betula Pendula Growth: Laboratory Experiments with Coniferous Forest Floor. *Ecology* 72: 665-671.
- Setälä H., Martikainen E., Tynni M. & Huhta V. 1990. Effects of soil fauna on leaching of nitrogen and phosphorus from experimental systems simulating coniferous forest floor. *Biology and Fertility of Soils*. 10:170-177.
- Silvan N., Laiho R. & Vasander H. 2000. Changes in mesofauna abundance in peat soils drained for forestry. *Forest Ecology and Management* 133: 127-133.
- Smith S.E. & Read D.J. 2002. *Mycorrhizal Symbiosis*. 2. painos. Elsevier Science, London. 605 s.
- Taiz L. & Zeiger E. 2002. *Plant physiology*. 3. painos. Sinauer Associates, Sunderland. 690 s.
- Thormann M.N., Currah R.S. & Bayley S.E. 2003. Succession of microfungial assemblages in decomposing peatland plants. *Plant and soil*. 250: 323-333.
- Verhoef H.A. & Brussaard L. 1990. Decomposition and nitrogen mineralization in natural and agro-ecosystems: The contribution of soil animals. *Biogeochemistry* 11: 175-211.
- Vestberg M. 2006. Henkilökohtainen tiedonanto. 25.6. 2006 ja 18.7.2006.
- Vestberg M & Kukkonen S. 2008. Microbiologically improved peat-based growing media for nursery plant production. *Acta Horticulturae*. [painossa]
- Viljavuuspalvelu 1997. Viljavuustutkimuksen tulkinta avomaan puutarhaviljelyssä. Viljavuuspalvelu Oy. Mikkeli. 20 s.

- Wardle D.A. 1999. How soil food webs make plants grow. *Trends in Ecology & Evolution* 14: 418-420.
- Wardle D.A., Bardgett R.D., Klironomos J.N., Setälä H., van der Putten, Wim H. & Wall D.H. 2004. Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science* 304: 1629-1633.