

Pro gradu -tutkielma

**Ympäristön resurssien merkitys paahdekasvilajien
menestymiselle**

Sanni Virtanen



Jyväskylän yliopisto

Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Ekologia ja evoluutiobiologia

18.02.2019

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

Sanni Virtanen: Ympäristön resurssien merkitys paahdekasvilajien menestymiselle
Pro gradu -tutkielma: 40 s., 1 liite (3 s.)
Työn ohjaajat: FT, Dos. Minna-Maarit Kytöviita
Tarkastajat: FT, Dos. Elisa Vallius ja FT, Dos. Tapio Mappes
Helmikuu 2020

Hakusanat: arbuskelimykorrhiza, fasilointi, rajoittava resurssi

Resurssien määrä vaikuttaa lajien välisiin suhteisiin, yhteisöjen koostumukseen ja ekosysteemin tuottavuuteen. Niukoissa ja vähätuottoisissa elinympäristöissä kasvilajien menestymistä saattaa rajoittaa useamman, kuin yhden resurssin saatavuus. Paahdeympäristöt ovat luonnostaan kuivia ja ravinnepöyhä elinympäristöjä, joiden lajisto on uhanalaistunut Suomessa erityisesti umpeenkasvun ja metsienkäsittelyn vuoksi. Tässä tutkimuksessa käsiteltiin kolmea merkittävää ympäristön resurssia: kalkin määrää maaperässä, keräsienijuurta ja kasviyhteisön monimuotoisuutta ihmisvaikutuksesta syntyneessä korvaavassa paahdeympäristössä. Faktorikoe toteutettiin Jyväskylän Vesangassa käytöstä poistetulla hiekkakuopalla kylvämällä kangasajuruohon (*Thymus serpyllum*), masmalon (*Anthyllis vulneraria*) ja mataroiden (*Galium verum* ja *G. x pomeranicum*) siemeniä yksin sekä seoksena koeruuduille. Itäneiden taimien määrä, peittävyys ja koko sekä juurten keräsienikolonisaation määrä eri käsittelyryhmissä laskettiin. Käsittelyjen vaikutus kasvuun oli useimmiten positiivinen. Masmalon ja mataroiden taimien peittävyys kasvoi, kun kalkkia ja keräsientä lisättiin yhdessä tai erikseen ja myös mataroiden koko oli suurempi keräsienen lisäämisen myötä. Juurten keräsienikolonisaatio oli runsasta, eivätkä käsittelyt vaikuttaneet kolonisaation määrään. Tulosten perusteella kohdelajien menestyminen riippui useammasta rajoittavasta resurssista. Paahdelajien siementaimien kasvua niukassa elinympäristössä voidaan tukea kalkitsemisen ja keräsienisiirrosten avulla. Lajien suojelun kannalta kasvilajien sekä isäntäkasvien ja keräsienikumppaneiden välisiin vuorovaikutussuhteisiin sekä maaperätekijöihin kuten happamuuteen tulisi kiinnittää enemmän huomiota.

UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ, Faculty of Mathematics and Science
Department of Biological and Environmental Science
[Major subject]

Sanni Virtanen: The importance of resource availability to plant species' success in a sun exposed habitat
MSc thesis: 40 p., 1 appendix (3 p.)
Supervisors: PhD, Doc. Minna-Maarit Kytöviita
Inspectors: PhD, Doc. Elisa Vallius and PhD, Doc. Tapio Mappes
February 2020

Keywords: facilitation, limiting resource, vesicular arbuscular mycorrhiza

Resource availability affects species interactions, community composition and ecosystem productivity. Plant species success in nutrient poor ecosystems with low productivity may be limited by more than one resource. Sun exposed habitats are naturally dry and nutrient limited habitat types. These habitats and their specialist species are endangered in Finland mainly due to overgrowing and forest management. In this study, I manipulated the availability of three critical resources: soil pH by adding lime, arbuscular mycorrhizal fungi and plant community diversity in a manmade substitutive sun exposed habitat. This fully factorial experiment was conducted in Vesanka, Jyväskylä at an old sandpit and seeds of the focal species *Thymus serpyllum*, *Anthyllis vulneraria* and *Galium* -complex (*G. verum* and *G. x pomeranicum*) were sown separately and as a mixture on the study plots. Data describing the germination rate, size, coverage and mycorrhizal colonization rate of the seedlings in different treatment groups was collected. The treatments had mainly positive effect on the seedling growth. Liming alone as well as combination of liming and adding mycorrhiza increased the coverage of *A. vulneraria* and *Galium* sp. Also the size of *Galium* sp. increased significantly by adding mycorrhiza. The amount of root colonizing hyphae was great in all treatment groups showing no clear response to the treatments. The results suggest that the focal species were limited by more than one resource. Seedling growth in nutrient limited habitats could be enhanced by adding lime and arbuscular mycorrhiza. Plant interactions with mutualist species, plant-plant interactions and soil characters such as pH should be considered in conservation practices.

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO.....	4
1.1 Resurssit muovaavat kasviyhteisöjä	4
1.2. Positiiviset vuorovaikutussuhteet	5
1.2 Uhanalaiset paahdeympäristöt	7
1.4 Tutkimuksen tavoitteet	9
2 AINEISTO JA MENETELMÄT	11
2.1 Tutkimuslajit.....	11
2.2 Kokeen perustaminen ja koeasetelma.....	12
2.2.1 Käsittelyt	14
2.3 Aineisto.....	15
2.4 Tilastolliset analyysit	17
3 TULOKSET	19
3.1 Taimien määrä.....	19
3.2 Taimien peittävyys	21
3.3 Taimien koko	22
3.4 Keräsienikolonisaatio	23
4 TULOSTEN TARKASTELU	25
4.1 Paahdekasvilajien menestyminen	25
4.2 Tulosten soveltaminen	33
4.3. Johtopäätökset	35
KIITOKSET	36
KIRJALLISUUS	36
LIITE 1. TAIMIAINEISTON KUVAAJAT	41

1 JOHDANTO

1.1 Resurssit muovaavat kasviyhteisöjä

Erilaisten ekosysteemien tuottavuus riippuu saatavilla olevien resurssien määrästä. Tuottajatasolla, kasviyhteisöissä välttämättömiä resursseja ovat valo, vesi, hiilidioksidi ja ravinteina toimivat kivennäisaineet. Kuitenkin erilaisissa kasvuympäristöissä näiden tarjolla olevien resurssien määrät ja suhteet vaihtelevat (Gleeson & Tilman 1992). Resurssien puute rajoittaa kasvua ja edelleen yhteisön tuottavuutta, mikä toimii kimmokkeena kilpailulle muuttaen vuorovaikutussuhteita ja kasvillisuuden koostumusta (Tilman 1985, Farrior ym 2013).

Kasvua rajoittavien resurssien mallintamisessa on erilaisia lähtökohtia. Liebigin minimilain (engl. Sprengel-Liebig Law of the Minimum) mukaan kasvua rajoittaa se välttämätön resurssi, jota on tarpeeseen nähden vähiten saatavilla (Gorban ym. 2011). Tällöin ainoastaan tietyn resurssin lisäämisellä voitaisiin saada aikaan kasvua, mutta vain siihen asti, kunnes jonkin toisen resurssin saatavuus alkaa rajoittaa sitä. Vaihtoehtoisen hypoteesin mukaan kaikki välttämättömät resurssit ovat yhtä lailla rajoittavia (engl. Multiple Limitation Hypothesis, MLH) (Gleeson & Tilman 1992). Tämä ajatus pohjaa teoriaan, jonka mukaan kasvit mukautuvat ympäristöönsä optimoimalla resurssien hankinnan ja kohdentamisen esim. juurten ja yhteyttävien rakenteiden välillä (Gleeson & Tilman 1992). Tällöin ennusteena on, että kasvit reagoivat minkä tahansa välttämättömän resurssin lisäämiseen investoimalla vähemmän sen ottoon ja panostamalla enemmän muiden resurssien hankintaan, jotta niiden rajoittavuus pysyy samana (Gleeson & Tilman 1992, Farrior ym 2013).

Luonnon kasviyhteisöissä resurssien saatavuuden ja niiden kohdentamisen väliset suhteet ovat kuitenkin usein monimutkaisempia, kuin mitä edellä kuvatut mallit yksinään kykenevät selittämään. Farrior ym. (2013) havaitsivat typen ja veden lisäämisen vaikutuksia seuranneessa kokeessa, että kasvua rajoittavia resursseja oli kerrallaan vain yksi, mutta rajoittava resurssi saattoi vaihdella saman kasvukauden aikana. Tiettyjen resurssien saatavuus voi myös olla toisiinsa vahvasti kytkeytynyttä ja korreloida keskenään (Gleeson & Tilman 1992). Abioottiset tekijät, kuten maaperän happamuus, voivat vaikuttaa resurssien saatavuuteen vaikeuttamalla ravinteiden ottoa ja siten rajoittamalla merkittävästi kasviyhteisöjen monimuotoisuutta (Roem & Berendse 2000).

1.2. Positiiviset vuorovaikutussuhteet

Elinympäristöissä, joissa resurssien määrä rajoittaa kasvien kasvua voimakkaasti, positiivisten vuorovaikutusten suhteellinen määrä yhteisöissä lisääntyy ja kilpailun osuus pienenee (Ploughe ym. 2019). Positiivisilla vuorovaikutuksilla eli fasilitoinnilla tarkoitetaan lajien välillä tapahtuvaa vuorovaikutusta, jossa molemmat osapuolet hyötyvät tai toinen osapuoli hyötyy ja toiselle ei synny haittaa tai hyötyä (Bertness & Callaway 1994). Karuimmissa elinympäristöissä, fasilitaation merkitys kasveille on erityisen suuri ja fasilitoivien vuorovaikutusten määrän ja voimakkuuden on todettu lisääntyvän esimerkiksi kuivuusstressin kasvaessa (Ploughe ym. 2019).

Tutkimusten perusteella fasilitoivat suhteet ovat oleellinen osa uhanalaisten ja harvinaisten kasvilajien suojelun onnistumista (Ren ym.2014). Esimerkiksi suojakasvit (engl. nurse plants) voivat edesauttaa suojelun kohdelajien menestymistä monella tapaa. Useimmiten suojakasvien positiiviset vaikutukset liittyvät niiden tarjoamaan varjostukseen ja kasvualustan kosteuden ylläpitoon (Ren ym. 2014). Sopiva varjostus voi vähentää säteilykuormitusta, tasoittaa lämpötilaa ja hidastaa veden haihtumista ympäröivästä maasta tarjoten paremmat edellytykset itämiselle ja pienten taimien selviytymiselle. Suojakasvit voivat myös

ylläpitää naapurikasveja hyödyttäviä maaperän mikrobeja (Middleton & Bever 2010).

Myös kasvien ja maaperän mikrobiston välillä esiintyy fasilitoivia suhteita (Callaway 1995). Tärkeimpiin näistä vuorovaikutussuhteista kuuluvat kasvin kanssa keräsienijuuren muodostavat arbuskelimykorrhitsa- eli keräsienet. Keräsienijuurisymbioosissa elää yli 80 % maalla elävistä kasveista (Bonfante & Desirò 2015). Keräsienet ovat riippuvaisia isäntäkasvistaan (Bonfante & Desirò 2015). Vastavuoroisesti keräsienijuuri edistää isäntäkasvin resurssien hankintaa, kuten ravinteiden ja veden ottoa sekä parantaa patogeeneilta suojautumista ja ympäristöstressin sietämistä (Clark & Zeto 2000, Bonfante & Desirò 2015). Keräsienten on havaittu olevan erityisen merkityksellisiä niukkaravinteisissa kasvuympäristöissä ja tukevan esimerkiksi kuivien ja ravinneköyhien niittyjen ja ruohomaiden monimuotoisuutta (Dostálek ym.2013).

Hyödyllisten keräsienten merkityksestä lajien suojelussa on tuotettu kansainvälistä tutkimustietoa, mutta Suomessa keräsienten hyödyntämistä käsittelevä tutkimus on keskittynyt lähinnä ruoantuotannon tai metsätalouden kannalta merkityksellisiin lajeihin. Keräsienten siirrostamisen on kuitenkin usein todettu edistävän uhanalaisten ja harvinaisten kasvilajien menestystä ja elinympäristöjen ennallistamista (mm. Fuchs & Haselwandter 2008, Bothe ym. 2010, Dostálek ym. 2013, Ferrazano & Williamson 2013, Koziol & Bever 2017,). Keräsienten on havaittu kasvattavan merkitsevästi kasviyhteisöjen monimuotoisuutta (Dhillion & Gardsjord 2004, Dostálek ym. 2013) sekä hillitsevän ei-toivottuja paikallisia lajeja ja vieraslajeja edesauttaen yhteisön vaateliaampien lajien kasvua (Koziol & Bever 2017). Sopivat keräsienisymbiontit voivat myös tasoittaa lajienvälistä kilpailua edistämällä heikompien kilpailijoiden esiintymistä (Zhou ym. 2018). Tutkimuksen perusteella kasviyhteisön parhaaksi olisi käyttää paikallisesti sopeutuneita keräsienilajeja, jolloin voitaisiin edesauttaa pysyvän ja vakaan yhteisön muodostumista (Middleton & Bever 2010).

1.2 Uhanalaiset paahdeympäristöt

Suomessa erityisen niukkoja habitaatteja edustavat paahdeympäristöt, joissa veden ja ravinteiden määrä rajoittaa ekosysteemin tuottavuutta. Paahdeympäristöjä tavataan monenlaisten elinympäristöjen osina ja niitä sisältyy useisiin luonnonsuojelulaissa (1996/1096), metsälaissa (1996/1093) ja luontodirektiivissä (92/43/ETY) mainittuihin luontotyyppeihin ja erityisen arvokkaisiin elinympäristöihin. Tällaisia ovat mm. puuttomat tai vähäpuustoiset hiekkadyynit, katajakedot, hakamaat, sekä harjumetsät.

Paahdeympäristöille tyypillisiä ominaisuuksia ovat runsas valon määrä, aukkoinen kasvipeite sekä vettä läpäisevä kivennäismaa (From 2005). Paahdeympäristöjen lajit ovat sopeutuneet äärimmäisiin kasvuoloihin ja altistuvat erityisesti kuivuudelle, voimakkaalle säteilylle, korkeille päivälämpötiloille sekä tuulelle ja kylmyydelle. Ravinteisuus on yleensä vähäistä, mikä peilautuu erikoistuneessa kasvilajistossa. Kasvillisuudeltaan monimuotoisimmat paahdeympäristöt sijoittuvat kalkkivaikutteisille alueille (From 2005).

Useimmille paahdekasvilajeille on yhteistä runsas valon tarve sekä heikko kilpailukyky (From 2005). Paahdekasvilajien menestymisen edellytyksenä ovat olleet metsäpalot, kulot ja laiduntaminen, jotka ovat paljastaneet mineraalimaata ja synnyttäneet aukkoja kasvipeitteeseen (Kittamaa ym. 2009). Tällöin paahdelajit ovat heikompina kilpailijoina saaneet sijaa muilta lajeilta (Kittamaa ym.2009). Palojen ja laidunnuksen puuttuessa kasvillisuus sulkeutuu ja varjostus lisääntyy. Pohjakerrokseen kertyvä karike ja sammaloituminen estävät paahdelajien taimettumisen (Kittamaa ym. 2009).

Paahdeympäristön kasvillisuus määrittelee myös hyönteislajiston koostumusta (From 2005). Suurin osa paahteisten alueiden uhanalaisista lajeista ovat hyönteisiä, erityisesti perhosia, myrkkypistiäisiä, kovakuoriaisia ja suorasiipisiä (From 2005) Näistä monet ovat pitkälle erikoistuneita ja esimerkiksi paahdeympäristöjen perhosten esiintymistä rajoittaa toukan ravintokasvi (Kaitila 2005). Muun muassa

äärimäisen uhanalaiset muurahaissiniisi *Maculinea arion* sekä harjusiniisi *Pseudophilotes baton* elävät ainoastaan kangasajuruoholla (Kittamaa ym. 2009).

Paahteisten ympäristöjen eliölajien tilanne on heikentynyt jatkuvasti (From 2005, Rassi ym.2010, Hyvärinen ym. 2019). Alkuperäisistä paahdeympäristöistä valtaosa on umpeenkasvun, rehevöitymisen ja maankäytön muutosten vuoksi jo hävinnyt tai häviämässä ja tehokas palojentorjunta estää uusien paahdeympäristöjen luontaisen syntymisen (Hämäläinen & Tukia 2015). Erityisesti metsätalouden käytännöt ja rakentaminen muuttavat jäljellä olevia luontaisia paahdeympäristöjä (From 2005). Paahdelajiston taantumiseen vaikuttaa myös perinneympäristöjen katoaminen maatalouden tehostumisen ja perinteisen karjanpidon vähentymisen myötä (Kempainen 2017, Hyvärinen ym. 2019). Lisäksi avoimien alueiden umpeenkasvua edistää maaperään ja kasveihin vaikuttava ilmakehästä kulkeutuva typpilaskeuma, jonka kumuloituvat vaikutukset säilyvät maaperässä pitkään (Ryttäri & Tainio 2015). Ylimääräinen typpi rehevöittää ja happamoittaa maaperää muuttaen kasvillisuuden koostumusta ja erityisesti karut elinympäristöt ovat näille vaikutuksille alttiita (Dise ym. 2011).

Korvaavilla ympäristöillä on suuri merkitys paahdelajiston ylläpitäjänä, kun luontaiset paahdeympäristöt häviävät (From 2005). Paahdeympäristöjä on nykyisin enimmäkseen enää ihmisen luomissa avoimissa ympäristöissä, kuten tienpientareilla, ratapenkereillä ja lentokentillä, jotka tarjoavat paahdelajistolle suotuisat kasvuolosuhteet (Hämäläinen & Tukia 2015). Hiekkamaille sijoittuvat ja niitä sisältävät kohteet ovat erityisen tärkeitä (From 2005, Kittamaa 2009). Käytöstä poistetut maanottoalueet kuten sora- ja hiekkakuopat soveltuvat korvaaviksi paahdeympäristöiksi, sillä niissä mineraalimaata on usein tarpeeksi näkyvissä ja kasvipeite on aukkoista (From 2005, Hämäläinen & Tukia 2015). Korvaavien ympäristöjen perustamista ja jo tunnettujen kohteiden hoitoa on kiirehdittävä koska sekä luontaiset, että ihmisen toiminnasta syntyneet paahdeympäristöt ovat uhattuina (From 2005, Kittamaa ym. 2009, Hämäläinen & Tukia 2015).

1.4 Tutkimuksen tavoitteet

Tässä pro gradu -tutkimuksessa tavoitteenani oli selvittää, voidaanko ympäristön resursseja lisäämällä edistää harvinaistuvien paahdekasvilajien menestymistä korvaavassa kasvuympäristössä, jossa ravinteita ja vettä on luonnostaan saatavilla hyvin niukasti. Tutkimuksen oletukset perustuvat usean rajoittavan resurssin hypoteesiin.

Tutkimuskysymykseni oli, vaikuttaako resurssien lisääminen paahdelajien menestymiseen. Tutkimuksen kohdelajeina olivat kangasajuruoho (*Thymus serpyllum*), masmalo (*Anthyllis vulneraria*) sekä matarat (*Galium verum* ja *Galium x pomeranicum*) ja lisättyjä resursseja edustivat: kalkitseminen, *Funneliformis mossaea* -keräsienien lisääminen ja monilajinen yhteisö.

Asetin tutkimushypoteesit seuraavasti:

H1) Kalkin lisääminen parantaa kohdelajien menestymistä, koska kalkitseminen nostaa kasvualustan pH:ta, mikä hyödyttää kasveja edistämällä maaperämikrobien toimintaa ja parantamalla ravinteiden liukoisuutta (Roem & Berendse 2000). Kalkin sisältämät kalsium ja magnesium ovat myös kasveille välttämättömiä ravinteita (Chapin 1980).

H2) Keräsienien lisääminen parantaa kohdelajien menestymistä, koska keräsienikumppani auttaa kasveja käyttämään ympäristön resursseja tehokkaammin (Bonfante & Desirò 2015).

H3) Kohdelajit menestyvät paremmin osana monilajista yhteisöä, koska useamman lajin muodostama yhteisö voi lisätä käytettävissä olevien resurssien määrää lisääntyvien fasilitoivien suhteiden kautta (Ren ym. 2014, Ploughe ym. 2019).

H4) Edellä mainittujen tekijöiden yhteisvaikutuksesta kohdelajit menestyvät paremmin, koska usean rajoittavan resurssin hypoteesiin mukaan kaikki

resurssilisäykset vaikuttaisivat kasvuun positiivisesti ja parhaiten menestyisivät ne taimet, joilla resurssien saantia on lisätty eniten (Gleeson & Tilman 1992).

H5) Kalkin ja keräsienen lisääminen kasvattaa keräsienen kolonisaation määrää taimien juurissa, koska keräsienen lisääminen parantaa kolonisoitumisen todennäköisyyttä ja kasvualustan pH -arvon nostaminen edistää keräsienen toimintaa ja lisää sen määrää (Johnson ym. 2005, Heyburn 2017).

2 AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1 Tutkimuslajit

Tutkimuksen kohdelajeiksi valittiin kasveja, jotka ovat taantuneet paahdeympäristöjen heikentymisen myötä. Lajien valinnassa huomioitiin niiden merkitys myös muille eliöille, kuten uhanalaistuville ja harvinaistuville hyönteislajeille. Kokeessa käytetyt siemenet tilattiin Suomen Niittysiemen Oy:ltä. Siemenet ovat suomalaisista alkuperää.

Ensimmäinen tutkimuslaji, kangasajuruoho (*Thymus serpyllum*), on varpukasvi, joka kasvaa kuivilla hiekkamailla muodostaen matalia kasvustoja (Ryttäri 2009). Kangasajuruohoa luonnehditaan paahdeympäristöjen avainlajiksi, sillä se on lukuisille hyönteislajille tärkeä ravintokasvi (Ryttäri 2009). Eteläinen alalaji, harjuajuruoho (*T. serpyllum subsp. serpyllum*), on koko maassa silmälläpidettävä, kun taas elinvoimainen tenonajuruoho (*Thymus serpyllum subsp. tanaënsis*) esiintyy ainoastaan Tunturi-Lapissa (Hyvärinen ym. 2019).

Toinen tutkimuslaji, masmalo (*Anthyllis vulneraria*) kuuluu hernekasveihin ja kykenee typensidontaan symbioottisten juurinysträbakteerien avulla (Zahran 1999, Ryttäri 2009). Masmalo esiintyy luonnossa harvinaisena avoimilla harjunrinteillä (Ryttäri 2009). Laji on hyvin muunteleva ja sillä on useampia alalajeja, joista mm. pohjanmasmalo (*Anthyllis vulneraria ssp. lapponica*) on silmälläpidettävä ja idänmasmalo (*Anthyllis vulneraria ssp. polyphylla*) äärimmäisen uhanalainen (Ryttäri & Väre 2012).

Kolmantena kohdelajina oli matararisteymä, joka ilmensi vaihtelevasti keltamataran (*Galium verum*) ja piennarmataran (*Galium x pomeranicum*) fenotyyppejä. Keltamatara on kuivuuteen hyvin sopeutunut paahteisten kallioiden, kotojen ja tienpientareiden laji (Ryttäri & Väre 2012). Se on uhanalaisluokituksen mukaan vaarantunut ja uhanalaisuuden syynä on kasvupaikkojen umpeenkasvun ohella risteytyminen voimakkaammin kilpailevan paimenmataran (*Galium album*)

kanssa (Ryttäri & Väre 2012, Hyvärinen ym. 2019). Piennarmatara on keltamataran ja paimenmataran risteymä, joka on levinnyt erityisesti eteläisessä Suomessa (Vieraslajiportaali 2019).

Kokeen keräsienisiirrosteena käytettiin *Funneliformis mossae* -lajin itiöitä. Lajia on yleisesti käytetty sienijuurellisten kasvien tuottamisessa ja sen soveltuvuus on laaja-alainen, eli sen voidaan olettaa sopivan monenlaisten isäntälajien kumppaniksi (Bothe ym. 2010). *F. mossae* esiintyy myös paikallisesti hiekkaisissa ja kuivissa ympäristöissä ja sitä on löydetty Keski-Suomessa kissankäpälän (*Antennaria dioica*) juuristosta (Vega-Frutis ym. 2013).

2.2 Kokeen perustaminen ja koeasetelma

Tutkimuksessa selvitettiin faktoriaalisella koejärjestelyllä kalkin ja keräsienien lisäämisen sekä monilajisen yhteisön vaikutusta kolmen paahdekasvilajin menestymiseen. Menestymisen mittareita olivat siementaimien määrä, peittävyys ja koko sekä juurten keräsienikolonisaation määrä.

Kohdelajien siementen itämiskykyä testattiin ensin Jyväskylän Yliopiston laboratoriuksien kasvihuoneessa keväällä 2018. Itämiskokeessa 150 kangasajuruohon siementä, 75 masmalon siementä ja 150 mataroiden siementä kylvettiin puhtaalla hiekalla täytettyihin astioihin. Lisäksi 75 masmalon ja 150 kangasajuruohon siementä kylvettiin astioihin, joissa hiekkään oli sekoitettu dolomiittikalkkia siementen kylvöohjeen suosituksen perusteella.

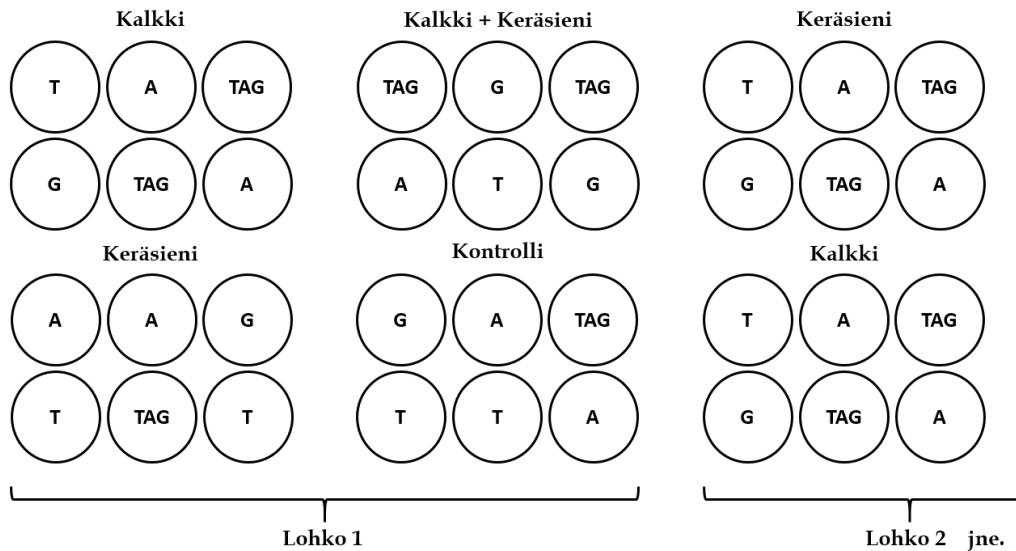
Tutkimuksen varsinainen koevaihe suoritettiin käytöstä poistetulla hiekkakuopalla Jyväskylän Vesangassa kesällä 2018. Aikaisemmin hiekanottoon käytetty alue on maisemoitu istuttamalla mäntyä ja kenttäkasvillisuus koostuu pääosin kanervatyypin kuiville kankaille tyypillisestä lajistosta. Koealalla kasvillisuuden peittävyys oli vähäistä ja kivennäismaa erittäin hienoa. Ala sijoittui aidatulle alueelle, mikä sulkee pois ihmislähtöisen häiriön, jota alueella on muuten runsaasti.

Kohdelajien siemenet kylvettiin 0,059 m² koeruutuihin, jotka ryhmiteltiin käsittelyn mukaan (Kuvat 1 ja 2). Käsittelyt olivat 1) kalkitseminen, 2) keräsieni ja 3) yhteisö. Kalkin vaikutusta tutkittaessa kalkkia joko lisättiin (n= 24 kunkin lajin kohdalla) tai ei lisätty koeruudulle (n= 24 kunkin lajin kohdalla). Keräsienen vaikutusta tutkittaessa keräsientä joko lisättiin (n= 24 kunkin lajin kohdalla) tai ei lisätty (n= 24 kunkin lajin kohdalla). Yhteisön vaikutusta tutkittaessa kukin kasvilaji kylvettiin joko yksin (n= 24 kunkin lajin kohdalla) tai yhdessä muiden lajien kanssa (n= 24 kunkin lajin kohdalla). Koska kohdelajeja oli kolme ja yhteisökäsittelyssä lajit kylvettiin samaan ruutuun, oli koeruutuja yhteensä 96.

Yksittäisiä koeruutuja edustivat astiat, jotka oli rakennettu muovilieriöistä (Kuva 1). Niiden pohjana oli vettä läpäisevää juurimattoa. Kasvualusta oli steriloimatonta kivennäismaata koealueelta, jolloin läsnä oli alueen oma maaperäeliöstö. Astiat kaivettiin hiekkamaahan siten, että astian reuna jäi maanpinnan tasoon. Astiat täytettiin niin, että syvemmältä kaivettu kivennäismaa päätyi astian pohjalle ja pintamaa aseteltiin päällimmäiseksi. Koealalta kerättiin myös maanäytteet pH: n mittaamista varten. Mahdolliset tunnistamattomat ympäristön muuttujat pyrittiin huomioimaan jakamalla koeala neljään lohkokoon (Kuva 2).



Kuva 1 Valmiit koeruudut noin kaksi viikkoa kokeen perustamisen jälkeen.



Kuva 2 Koeasetelma visualisointi, jossa kirjaimet vastaavat koeruutuun kylvettyä kasvilajia: T = *T. serpyllum*, A = *A. vulneraria*, G = *Galium* sp. Kirjainyhdistelmä TAG merkitsee kolmen lajin muodostamaa yhteisöä, eli yhteisökäsittelyä. Kalkki- ja keräsienikäsittelyjen mukaan ryhmitellyt koeruudut on jaettu yhteensä 4 lohkokon, joissa eri käsittelyt ja kasvilajit toistuvat satunnaisessa järjestyksessä.

2.2.1 Käsittelyt

Kalkkikäsittelyä varten koealan kivennäismaan happamuuden lähtöarvot selvitettiin mittaamalla pH koealalta otetuista maanäytteistä. Lisättävän kalkin määrä määritettiin mittaustulosten perusteella. Koealan pH-arvo oli keskimäärin 6,5 yksikköä, eli kasvualusta oli lähtötilanteessa vain hyvin lievästi hapan. Kalkin lisääminen tehtiin sekoittamalla 20 g dolomiittikalkkia 2 litraan pintamaata, jolloin kivennäismaan pH nousi 7,9 yksikköön.

Keräsienikäsittelyssä koeruuduille siirrostettiin keräsienen itiöitä. Siirrostevalmistettiin huuhtomalla keräsienen isäntäkasvina toimineiden metsäkurjenpolvien (*Geranium sylvaticum*) juurakoista itiöitä sisältävää massaa, josta itiöt erotettiin 75 µm maa-ainesseulalla. Koska itiöiden lisäksi siirrostevalmiste sisälsi muitakin massasta huuhtoutuneita partikkeleita, valmistettiin myös ns. kontrollisiirrostevalmiste, huuhtomalla sienijuurettomien metsäkurjenpolvien juurakoita. Koeruuduille, joille lisättiin keräsientä, siirrostettiin n. 4400 itiötä. Molemmat

siirrosteet lisättiin veteen sekoitettuna siten, että 100 ml siirrostetta valutettiin 1 cm syvyyteen poistamalla ensin 1 l pintamaata, joka sitten levitettiin takaisin siirrosteen päälle.

Yhteisökäsittelyssä siemenet kylvettiin koeruutuihin yksin tai yhdessä muiden lajien kanssa. Siementen kylvömäärät määritettiin siementen itävyyden perusteella. Masmalon siemeniä kylvettiin yksinään 15 kpl/koeruutu ja kangasajuruohon ja mataroiden siemeniä 30 kpl/koeruutu. Monilajiseen yhteisöön jokaisen lajin siemeniä kylvettiin kolmannes yksin kylvettyjen siementen määrästä. Masmalon siemeniä kylvettiin tällöin 5 kpl/koeruutu ja kangasajuruohon ja mataroiden siemeniä 10 kpl/koeruutu. Kangasajuruohon ja mataroiden siemenet siroteltiin tasaisesti omille ruuduilleen ja taputeltiin kevyesti pintahiekkaan. Masmalon siemenet kylvettiin painamalla siemenet hiekkaan noin 1 cm syvyyteen. Koeruutuja ei kasteltu kasvukauden aikana.

2.3 Aineisto

Siementen itämistä seurattiin muutaman päivän välein. Kun ensimmäiset taimet havaittiin, niiden kehityksen vaiheet kirjattiin kahden viikon välein. Taimien lopullinen määrä laskettiin kesän lopulla. Taimien lukumäärän perusteella laskettiin kaikilta koeruuduilta kunkin lajin itävyys osuutena koeruudulle kylvettyjen siementen lukumäärästä, koska siemeniä oli kylvetty eri määriä.

Kunkin lajin peittävyys arvioitiin silmämääräisesti suhteessa koeruudun pinta-alaan. Kasvullisesti lisääntyvien lajien, kuten kangasajuruohon ja mataran kohdalla on luontevaa arvioida peittävyyttä yksilön käsitteen ollessa häilyvä. Näin onkin tehty aikaisemmissa tutkimuksissa ja selvityksissä (esim. Kittamaa ym. 2009, Blomster & Kokkonen 2014, Tukia ym. 2015). Peittävyys kuvaa paremmin koko kasvuston menestymistä ja yhteyttävän pinta-alan määrää. Taimien määrän ja itävyyden perusteella ei katsottu tarpeelliseksi huomioida peittävyuden tarkastelussa sitä, että siemeniä oli kylvetty vähemmän yhteisökäsittelyssä.

Taimien koon arvioinnissa käytössä oli nouseva asteikko, jossa esitettyjen kriteerien perusteella jokainen taimi sai 1 - 7 pistettä (Taulukko 1). Kokoa arvioitiin sekä silmämääräisesti, että mittatikkua apuna käyttäen.

Taulukko 1. Taimien koon pisteytys

Pisteet	<i>T. serpyllum</i>	<i>A. vulneraria</i>	<i>G. verum</i> & <i>G. x pomericum</i>
1	sirkkalehdet/ näivettynyt	sirkkalehdet/ näivettynyt	sirkkalehdet/ näivettynyt
2	useita lehtipareja, >2 cm	useita lehtiä, >3 cm	useita lehtiä, > 2 cm
3	haaroo, > 4 cm	> 5 cm	> 4 cm korkea
4	rönsyt > 6 cm	> 7 cm,	> 6 cm,
5	useita rönsyjä, >8 cm	selvä ruusuke, > 10cm θ	useita versoja tai >8 cm
6	rönsyt >10 cm tai kukkii	> 12 cm θ	>10 cm korkea ja useita versoja
7	> 12 cm θ	> 14 cm θ	> 12 cm korkea ja useita versoja

Juurinäytteet kerättiin keräsienen kolonisaation mittaamista varten kasvukauden lopulla lokakuussa 2018. Kalkki- ja keräsienikäsittelyjen kasveista kerättiin 5 näytettä jokaista lajia kohden. Yksi näyte koostui viidestä n. 3 cm pituisesta ja saman vahvuisesta palasta, jotka oli leikattu eri kohdista juuristoa.

Keräsienirakenteiden värjäys tehtiin trypaanin sinisellä tuoreille juurinäytteille soveltaen Varga ym. (2009) sekä Xie ym. (2018) käyttämiä menetelmiä (Taulukko 2). Pestyt juurenpalat kirkastettiin ensin KOH-liuoksessa, jonka jälkeen ne huuhdeltiin vedellä ja laitettiin suolahappoliuokseen. Juuret värjättiin lämpöblokissa, jonka jälkeen värjäytyneet näytteet säilöttiin glyseroliin.

Taulukko 2. Juurten keräsienirakenteiden värjäysmenetelmän vaiheet eri kasvilajeilla.

Kasvilaji	Liuokset		
	5 % KOH	2 % HCl	0.2 % Trypan Blue
<i>T.serpyllum</i>	42 h	30 h	90 min 80 °C
<i>A.vulneraria</i>	24 h	24 h	60 min 80 °C
<i>G.verum</i> & <i>G. x pomeranicum</i>	42 h	48 h	70 min 80 °C

Värjätyistä juurista koottiin jokaiselle juurinäytteelle preparaatti, joissa juuren palat aseteltiin rinnakkain. Sienijuurikolonisaation määrä laskettiin preparaateista mikroskoopin 100 × suurennoksella noudattaen *gridline intersect* -menetelmää (Giovannetti & Mosse 1980). Kolonisaation määrä laskettiin jokaisesta näytteessä sienirihman, kerästen, ja sienen varastorakkuloiden eli vesikkeliin osuutena viidessä palassa siten, että jokaisesta palasta laskettiin 10 kertaa satunnaisesti linssin leikkausviivalle osuvat keräsienen rakenteet (1). Keräsienijuuren rakenteet laskettiin jokaisesta 60 näytteestä 50 leikkauskohdasta.

$$\text{rihman osuus (\%)} = \frac{\sum \text{rihman osuminen leikkausviivalle}}{50 \text{ (=leikkauskohtien määrä)}} \times 100 \quad (1)$$

2.4 Tilastolliset analyysit

Aineiston analysoinnissa käytettiin R-tilasto-ohjelman versiota 3.6.1. Selittävien käsittelymuuttujien vaikutuksia sekä yhdysvaikutuksia vastemuuttujiin selvitettiin lineaarisen regressioanalyysin avulla. Kangasajuruoho, masmalo ja matarat erotettiin analyysissä, koska lajit ovat erilaisia. Alustavien analyysien perusteella lajit näyttivät vastaavan käsittelyihin eri tavoin, joten vaikutuksia päädyttiin mallintamaan lajien kohdalla erikseen.

Siementaimien analyysissä selittäviä muuttujia olivat kalkki, keräsieni ja yhteisö ja vastemuuttujia taimien lukumäärä, peittävyys ja koko. Kaikkiin taimien vastemuuttujia selittäviin malleihin lisättiin satunnaisvaikutukseksi lohko ($n=4$), koska haluttiin ottaa huomioon koealan tunnistamattomien tai vaikeasti määritettävien ympäristömuuttujien aiheuttama vaihtelu. Jokaisen mallin sisällä testattuja käsittelykombinaatioita verrattiin kontrollikäsittelyyn ja tilastollisen merkitsevyyden raja-arvona oli 0,05.

Vaikutuksia taimien lukumäärään testattiin mallintamalla itäneiden taimien osuutta kylvetyistä logistisen beta-regressiomallin avulla (R-ohjelman `glmmTMB`-funktio samannimisestä lisäosasta, binomijakaumalla ja logistisella linkkifunktiolla). Itäneiden taimien osuuden mallintamisessa otettiin huomioon kaikki havainnot. Vaikutuksia peittävyyteen testattiin myös käyttämällä logistista beta-regressiomallia (R-ohjelman `glmmTMB`-funktio, beta-jakaumalla ja logistisella linkkifunktiolla). Taimien kokoa voitiin testata yleisen lineaarisen sekamallin avulla, sillä mallin oletus jäännöslukujen normaalista jakaumasta täyttyi kaikkien lajien kohdalla (R-ohjelman `lme`-funktio, `lme4` -lisäosasta). Taimien peittävyyden ja koon mallintamisessa hylättiin ns. 0-havainnot, eli jos koeruudulla ei ollut tarkasteltavan lajin taimia, se jätettiin pois analyysistä. Taimien koolle tai peittävyydelle ei ollut mielekästä antaa arvoa, jos taimia ei ollut itänyt ollenkaan.

Keräsienikolonisaatiota kuvaavia vastemuuttujia olivat rihman osuus, kerästen osuus ja vesikkelien osuus. Malliin selittäviksi muuttujiksi valikoituivat kalkki- ja keräsienikäsittelyt sekä näiden yhdysvaikutus, sillä aineisto oli hyvin pieni. Käsittelyjen kalkki ja keräsienisiirrote vaikutuksia keräsienikolonisaatioon verrattiin kontrolliin logistisen beta-regressiomallin avulla (R-ohjelman `betareg`-funktio samannimisestä lisäosasta, logistisella linkkifunktiolla).

3 TULOKSET

3.1 Taimien määrä

Kangasajuruohon taimia oli itänyt 34 koeruudulla, masmalon taimia 31 ruudulla ja mataroiden taimia 35 ruudulla mahdollisesta 48 koeruudusta/laji (Taulukko 3). Kylvetyistä 96 koeruudusta kokonaan tyhjiä oli 14. Kaikkiaan ruuduilta lasketuista 206 taimesta oli kangasajuruohoa 82 kpl, masmaloa 50 kpl ja mataroita 74 kpl. Itäneiden taimien osuus oli kaikilla lajeilla ja kaikissa käsittelyissä odotetusti pienempi, kuin kasvihuoneessa toteutetussa itämiskokeessa (vrt. Taulukot 4 ja 5).

Taulukko 3. Itäneitä taimia sisältäneiden koeruutujen lukumäärä (n), eli niiden koeruutujen lukumäärä, joilta kerättiin aineistoa peittävydestä ja kasvin koosta lajien kangasajuruoho (*T. serpyllum*), masmalo (*A. vulneraria*) ja mataroiden (*G. verum* & *G. xpomeranicum*) osalta käsittelyissä kontrolli C, lisätty kalkki K, keräsieni M, yhteisö Y, kalkki+keräsieni K+M, kalkki+yhteisö K+Y, keräsieni+yhteisö M+Y sekä kalkki+keräsieni+yhteisö K+M+Y.

Käsittely	n		
	<i>T.serpyllum</i>	<i>A. vulneraria</i>	<i>G. verum</i> & <i>G. xpomeranicum</i>
C	5	5	4
K	5	5	5
M	4	5	5
Y	5	1	3
K+M	6	6	6
K+Y	4	3	5
M+Y	3	2	3
K+M+Y	2	4	4

Kalkin lisäämisellä, keräsienisirrosteella tai yhteisöllä ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta itäneiden taimien määrään, kun eroa kontrolliin testattiin mallintamalla itäneiden taimien osuutta kylvetyistä siemenistä. Itäneiden taimien osuuksissa oli paljon hajontaa käsittelyryhmien sisällä, mutta lajien välillä ei ollut huomattavia eroja. Itäneiden taimien osuudet koeruuduilla vaihtelivat välillä 0–50 %. Taimien itävyydet on esitetty laatikko- ja janakaavioissa liitteessä 1 (katso kuva

1). Kangasajuruoholla ja mataroilla korkein keskimääräinen itäneiden taimien osuus oli kummallakin ruuduilla kalkki + yhteisö ja masmalon taimilla ruuduilla kalkki + keräsieni + yhteisö (Taulukko 5). Mataroiden taimien osuus oli kaikissa käsittelyryhmissä suurempi ja masmalon taimien osuudet suurempia kaikissa muissa paitsi yhteisö-ruuduilla ja yhteisö + keräsieni -ruuduilla verrattuna kontrolliin.

Taulukko 4. Kasvihuoneolosuhteissa toteutetun kangasajuruohon (*T. serpyllum*), masmalon (*A. vulneraria*) ja mataroiden (*G. verum* & *G. xpomeranicum*) siementen itävyyskokeen tulokset (%).

Laji	kylvetty (n)	itävyys (%)
<i>T. serpyllum</i>	150	98,7
<i>T. serpyllum</i> + kalkki	150	97,3
<i>A. vulneraria</i>	75	16,0
<i>A. vulneraria</i> + kalkki	75	14,7
<i>G. verum</i> & <i>G. x pomeranicum</i>	150	58,0

Taulukko 5. Kangasajuruohon (*T. serpyllum*), masmalon (*A. vulneraria*) ja mataroiden (*G. verum* & *G. xpomeranicum*) itävyydet, eli taimien osuudet (%) kylvetyistä siemenistä keskiarvoina \pm SE. Kokeen eri käsittelyryhmiä olivat kontrolli C, lisätty kalkki K, keräsieni M, yhteisö Y, kalkki+keräsieni K:M, kalkki+yhteisö K:Y, keräsieni+yhteisö M:Y sekä kalkki+keräsieni+yhteisö K:M:Y.^a

Käsittely	Laji					
	<i>T. serpyllum</i>		<i>A. vulneraria</i>		<i>G. verum</i> & <i>G. xpomeranicum</i>	
C	7,3 \pm	1,4	7,8 \pm	1,1	4,8 \pm	1,3
K	5,8 \pm	0,6	10,8 \pm	1,3	6,0 \pm	1,2
M	6,0 \pm	1,3	12,3 \pm	2,3	5,0 \pm	0,8
Y	13,3 \pm	4,2	3,3 \pm	3,3	6,7 \pm	3,3
K:M	11,7 \pm	1,7	10,2 \pm	1,3	8,8 \pm	2,2
K:Y	18,3 \pm	7,9	13,3 \pm	8,4	18,3 \pm	5,4
M:Y	8,3 \pm	4,0	6,7 \pm	4,2	10,0 \pm	5,2
K:M:Y	5,0 \pm	3,4	20,0 \pm	8,9	13,3 \pm	6,1

^a Käsittelyiden välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja

3.2 Taimien peittävyys

Masmalon ja mataroiden peittävyys kasvoi merkitsevästi kalkin lisäämisen ja keräsienien lisäämisen sekä niiden yhdistelmän myötä ja oli suurimmillaan kalkkilisätyillä ruuduilla molemmilla lajeilla (Taulukko 6). Masmalon peittävyys oli suurin kalkkilisätyillä ruuduilla mikä erosi merkitsevästi kontrolliruuduista ($p = 0,0148$), joilla peittävyys oli pienin. Myös keräsienilisätyillä ruuduilla masmalon peittävyys oli merkitsevästi suurempi, kuin kontrolliruuduilla ($p = 0,047$). Masmalon peittävyys ruuduilla, joissa oli lisätty sekä kalkkia että keräsienisiirrostetta erosi myös kontrolliruuduista tilastollisesti merkitsevästi ($p = 0,032$). Myös mataroiden peittävyys oli kontrolliin verrattuna merkitsevästi suurempi kalkkilisätyillä ruuduilla ($p = 0,003$), keräsienilisätyillä ruuduilla ($p = 0,009$) sekä ruuduilla, joille oli lisätty kalkkia ja keräsientä ($p = 0,008$). Mataran taimien peittävyys oli suurin kalkkilisätyillä ruuduilla ja pienin silloin kun laji oli kylvetty yhdessä muiden lajien kanssa, eikä kalkkia tai keräsientä lisätty.

Taulukko 6. Kangasajuruohon (*T. serpyllum*), masmalon (*A. vulneraria*) ja mataroiden (*G. verum* & *G. xpomeranicum*) taimien peittävyyden (%) keskiarvo \pm SE. Kokeen eri käsittelyryhmiä olivat kontrolli C, lisätty kalkki K, keräsieni M, yhteisö Y, kalkki+keräsieni K:M, kalkki+yhteisö K:Y, keräsieni+yhteisö M:Y sekä kalkki+keräsieni+yhteisö K:M:Y.^a

Käsittely	Laji		
	<i>T. serpyllum</i>	<i>A. vulneraria</i>	<i>G. verum</i> & <i>G. xpomeranicum</i>
C	10,6 \pm 2,3	6,2 \pm 0,9	3,3 \pm 1,1
K	27,4 \pm 7,7	16,4 \pm 2,7 *	13,2 \pm 2,2 **
M	15,0 \pm 1,7	12,0 \pm 1,3 *	10,2 \pm 1,6 **
Y	13,0 \pm 2,3	10,0 \pm 0	2,7 \pm 0,8
K:M	12,0 \pm 1,8	13,0 \pm 2,6 *	9,3 \pm 1,7 **
K:Y	17,5 \pm 2,6	15,0 \pm 0	8,2 \pm 3,0
M:Y	11,7 \pm 3,1	15,0 \pm 5,8	6,7 \pm 1,2
K:M:Y	6,0 \pm 2,3	13,8 \pm 2,0	4,5 \pm 1,6

^a Kalkin, keräsienisiirrosteen ja yhteisön vaikutusten eroa kontrollikäsittelyyn (=C) testattiin yleistetyn lineaarisen sekamallin (beta-GLMM) avulla.

* Tulos on tilastollisesti merkitsevä, $P < 0,05$

** Tulos on tilastollisesti merkitsevä, $P < 0,01$

Kangasajuruohon peittävyys eri käsittely-yhdistelmissä ei eronnut kontrollista tilastollisesti merkitsevästi. Myös kangasajuruohon keskimääräinen peittävyys oli suurimmillaan kalkkilisätyillä ruuduilla, mutta hajontaa oli paljon. Taimien peittävyudet on esitetty laatikko- ja janakaavioissa liitteessä 1 (katso kuva 2).

3.3 Taimien koko

Taimien keskimääräinen koko koeruuduilla vaihteli koon arvioinnissa käytetyn pisteytysmenetelmän (Taulukko 1) mukaisesti välillä 1 - 7. Mataroiden taimien keskimääräinen koko keräsienilisätyillä ruuduilla oli merkitsevästi suurempi verrattuna kontrolliruutujen taimien kokoon ($p = 0,036$). Myös mataroiden kalkkilisätyjen ruutujen ero kontrolliruutuihin oli lähellä tilastollista merkitsevyyttä ($p = 0,091$). Kaikissa muissa käsittely-yhdistelmissä, paitsi monilajisessa yhteisössä mataroiden taimien koko oli suurempi, kuin kontrolliruuduilla (Taulukko 7).

Taulukko 7. Kangasajuruohon (*T. serpyllum*), masmalon (*A. vulneraria*) ja mataroiden (*G. verum* & *G. xpomeranicum*) taimien koon keskiarvo koeruudulla \pm SE. Kokeen eri käsittelyryhmiä olivat kontrolli C, lisätty kalkki K, keräsieni M, yhteisö Y, kalkki+keräsieni K:M, kalkki+yhteisö K:Y, keräsieni+yhteisö M:Y sekä kalkki+keräsieni+yhteisö K:M:Y.^a

Käsittely	Laji					
	<i>T. serpyllum</i>		<i>A. vulneraria</i>		<i>G. verum</i> & <i>G. xpomeranicum</i>	
C	3,7 \pm	0,2	2,5 \pm	0,2	2,3 \pm	0,3
K	3,9 \pm	0,6	3,8 \pm	0,4	4,2 \pm	0,5
M	4,5 \pm	0,2	3,6 \pm	0,2	4,7 \pm	0,4 *
Y	5,4 \pm	0,6	4,0 \pm	0	2,3 \pm	0,6
K:M	3,5 \pm	0,3	3,6 \pm	0,5	4,5 \pm	0,4
K:Y	4,8 \pm	0,4	3,8 \pm	0,1	4,2 \pm	0,7
M:Y	5,0 \pm	0	4,5 \pm	1,4	4,1 \pm	0,3
K:M:Y	4,8 \pm	1,3	3,5 \pm	0,2	3,6 \pm	0,3

^a Kalkin, keräsienisiirrosteen ja yhteisön vaikutusten eroa kontrolliin (=C) testattiin yleisen lineaarisen sekamallin (LMM) avulla.

* Tulos on tilastollisesti merkitsevä, $P < 0,05$

Masmalokylvösten taimien koon keskiarvot olivat suuremmat kaikissa käsittely-yhdistelmissä kontrolliruutuihin verrattuna ja keskimäärin suurimpia olivat taimet keräsieni + yhteisö -ruutujen sisällä, mutta erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Myös kangasajuruohon taimien keskimääräinen koko oli kontrolliruutuihin verrattaessa hieman suurempi kaikissa muissa käsittely-yhdistelmissä paitsi kalkki + keräsieni -ruuduilla, kun laji kasvoi yksin. Kangasajuruohon taimien keskimääräinen koko oli suurin silloin, kun laji oli kylvetty yhdessä masmalon ja mataran kanssa, jolloin yhteisöruutujen ero kontrolliruutuihin oli lähellä merkitsevän tuloksen rajaa ($p = 0,080$). Taimien koot on esitetty laatikko- ja janakaavioissa liitteessä 1 (katso kuva 3).

3.4 Keräsienikolonisaatio

Keräsienikolonisaatiota esiintyi kaikissa tutkituissa juurinäytteissä keräsienen tai kalkin lisäämisestä riippumatta. Rihma oli yleisimmin havaittu juurten keräsienirakenne kaikissa tutkimuslajeissa (Taulukko 8). Toiseksi eniten esiintyi keräsiä ja vähiten vesikkeleitä. Kolonisaation määrä oli suurinta kangasajuruohon taimien juurissa ja pienintä mataroiden taimien juurissa. Kalkin tai keräsienen lisäämisellä tai näiden yhdistelmällä ei ollut merkitsevää vaikutusta rihman määrään. Kerästen määrä kangasajuruohon juurissa oli merkitsevästi pienempi keräsienilisätyjen kasvien juurissa verrattuna kontrollikasveihin ($p = 0,013$). Vesikkelien määrä masmalon juurissa oli merkitsevästi suurempi kalkkilisätyissä kasveissa verrattuna kontrollikasveihin ($p = 0,007$).

Taulukko 8. Keräsienen kolonisaatio (%) \pm SE kangasajuruohon (*T. serpyllum*), masmalon (*A. vulneraria*) ja mataroiden (*G. verum* & *G. xpomeranicum*) juurissa käsittelyissä kontrolli C, lisätty kalkki K, keräsieni M ja kalkki+keräsieni K:M. ^a

Kasvilaji	Rihma (%)			
	C	K	M	K:M
<i>T. serpyllum</i>	74,4 \pm 5,7	66,4 \pm 6,5	70,4 \pm 9,7	71,6 \pm 8,0
<i>A. vulneraria</i>	58,0 \pm 8,0	50,8 \pm 7,1	60,0 \pm 6,4	64,4 \pm 5,8
<i>G. verum</i> & <i>G. xpomeranicum</i>	38,4 \pm 4,0	41,2 \pm 7,9	40,8 \pm 7,6	48,8 \pm 7,2
	Keräset (%)			
	C	K	M	K:M
<i>T. serpyllum</i>	23,2 \pm 6,7	23,6 \pm 4,6	14,8 \pm 6,2 *	18,8 \pm 4,6
<i>A. vulneraria</i>	19,6 \pm 6,3	13,2 \pm 3,9	12,0 \pm 4,9	16,0 \pm 3,8
<i>G. verum</i> & <i>G. xpomeranicum</i>	16,8 \pm 3,9	15,6 \pm 3,5	17,6 \pm 6,0	22,8 \pm 5,5
	Vesikkelit (%)			
	C	K	M	K:M
<i>T. serpyllum</i>	10,0 \pm 5,3	13,6 \pm 4,6	19,6 \pm 10,9	16,0 \pm 5,8
<i>A. vulneraria</i>	8,4 \pm 3,7	16,0 \pm 4,7 *	9,6 \pm 2,0	12,4 \pm 2,6
<i>G. verum</i> & <i>G. xpomeranicum</i>	1,2 \pm 1,2	8,8 \pm 3,9	1,2 \pm 0,8	3,2 \pm 1,9

^a Kalkin ja keräsienisiirrosteen vaikutusten eroa kontrolliin (=C) testattiin beta-regressiomallin avulla (beta-GLM).

* Tulos on tilastollisesti merkitsevä, P <0,05

4 TULOSEN TARKASTELU

4.1 Paahdekasvilajien menestyminen

Tämän tutkielman tavoitteena oli selvittää, voidaanko ympäristön resursseja lisäämällä edistää paahdekasvilajien menestymistä. Kalkin lisääminen, keräsienen lisääminen ja monilajinen yhteisö sekä näiden eri yhdistelmät, joko paransivat kohdelajien menestymistä tai eivät vaikuttaneet siihen. Keräsienijuurikolonisaation osalta kalkin lisääminen ja keräsienen lisääminen vaikuttivat sienijuuren rakenteisiin osalla kohdelajeista, mutta eivät vaikuttaneet varsinaisen kolonisaation määrään.

Tutkimushypoteesi (H1) kalkin lisäämisen vaikutuksesta paahdekasvien menestymiseen sai tukea tutkimuksen tuloksista masmalon ja mataroiden osalta. Molempien lajien peittävyys kasvoi kalkin lisäämisen myötä. Kalkin lisäämisen positiivinen vaikutus kasvuun tukee hyvin myös aikaisempia tutkimuksia ja kalkitsemisen hyödyt tunnetaan erityisesti kasvintuotannossa. Heyburn ym. (2017) tutkivat kalkitsemisen merkitystä pysyvien nurmien hoidossa ja perustelevat kalkin hyötyä pH:n nousun aikaansaamalla kasvien typen saannin paranemisella ja keräsienijuuren määrän lisääntymisellä. Roem ja Berendse yhdistivät tutkimuksessaan (2000) korkeamman pH:n lajirikkauteen ravinneköyhillä niityillä Hollannissa, missä mm. voimakkaasti taantuneet jäkki (*Nardus stricta*), purtojuuri (*Succisa pratensis*), ketosilmäruoho (*Euphrasia stricta*) sekä muut uhanalaiset lajit esiintyivät vain aloilla joiden pH arvo oli yli 5. Tutkimuksessa (Roem & Berendse 2000) pH korreloi positiivisesti myös maan kalsium- ja hienoainespitoisuuden kanssa. Hiekkakuopalla koealan kivennäismaan pH oli mittaustulosten perusteella korkea jo luonnostaan. Koealan pH 6,5 on korkeampi kuin suomalaisessa kivennäismaassa tavallisesti, mutta tämä on tyypillistä hyvin hienojakoiselle maa-ainekselle (Starr & Tamminen 1992).

Kangasajuruohon osalta kalkin lisäämisellä ei ollut selvää vaikutusta taimien menestymiseen. Kalkitseminen ei ehkä tuonut erityistä lisähyötyä, jos

kivennäismaa koealueella oli jo luonnostaan kangasajuruoholle happamuudeltaan sopiva. Joidenkin kangasajuruohon populaatioiden on todettu viihtyvän melko happamassakin maassa (Blomster & Kokkonen 2014). Kangasajuruohot vaikuttivat menestyvän koealalla hyvin kaikissa käsittelyryhmissä ja joukossa oli myös muutamia suvullisesti lisääntyviä yksilöitä.

Hypoteesi (H2) keräsienen lisäämisen vaikutuksesta paahdekasvien menestymiseen sai tukea masmalon ja mataroiden osalta. Keräsienen lisääminen nosti masmalon ja mataroiden peittävyttä. Molemmilla lajeilla oli enemmän yhteyttävää pinta-alaa koeruuduilla, joille keräsientä lisättiin. Lehtiruusukkeeseen muodostavan masmalon ja maavarresta versovien mataroiden kannalta tämä tarkoitti yleensä sitä, että lehtiä ja mataroilla myös versoja oli runsaammin. Matarakasvien koko oli myös suurempi, kun keräsientä oli lisätty.

Keräsienten vaikutuksista on saatu vastaavanlaisia tuloksia kuivien ja ravinneköyhien elinympäristöjen kasvilajistoa käsittelevissä tutkimuksissa. Ferrazzano ja Williamson (2013) havaitsivat Texasin osavaltion Freestone Countyn hiekkamaille sijoittuneessa tutkimuksessaan, että uhanalaisen, hiekkaverbenojen sukuun kuuluvan *Abronia macrocarpa* -lajin koko sekä lehtien määrä olivat selvästi suuremmat, kun kasvin taimet oli siirrostettu keräsienellä. Laji muistuttaa kasvumuodoltaan paljon kangasajuruohoa ja keräsienen todettiin edesauttavan sen kasvua erityisesti kuivuusjaksojen aikana. Myös Tšekin tasavallassa kalkkivaikutteisilla kuivilla niityillä havaittiin yhteisön koostumuksen ja tiettyjen lajien menestymisen olevan riippuvaista keräsienistä, sillä keräsienten taannuttaminen laski kolmivuotisessa tutkimuksessa huomattavasti monivuotisten kukkakasvien peittävyttä (Dostálek ym. 2013).

Kangasajuruohon kohdalla tulokset eivät tukeneet hypoteesia H2, sillä keräsienen lisäämisellä ei ollut selvää vaikutusta lajin menestymiseen. On huomioitava, että keräsienten ja isäntälajien väliset suhteet ovat erilaisia. Lin ym. (2015) mukaan keräsienen vaikutus isäntäkasviin vaihtelee kasvilajien toiminnallisten ryhmien välillä. Yli 300 tutkimusta yhdistävän analyysin perusteella keräsienten on havaittu

edistävän voimakkaimmin ruohovartisten typensitojakasvien kilpailukykyä, kun taas puuvartisiin lajeihin keräsienellä ei olisi yhtä paljon vaikutusta (Lin ym. 2015). Masmalo on typensitoja ja kangasajuruoho puolivarpu, joten toiminnallinen ryhmä voisi tämän perusteella olla yksi selitys eroille lajien vasteissa keräsien lisäämiseen.

Hypoteesi (H3) monilajisen yhteisön vaikutuksesta paahdekasvien menestymiseen ei saanut tukea tutkimuksen tuloksista. Useamman lajin muodostamalla yhteisöllä ei ollut selvää vaikutusta kohdelajien siementaimien menestymiseen. Suurin itäneiden osuus kaikilla lajeilla oli kuitenkin käsittely-yhdistelmissä, joissa siemenet oli kylvetty seoksena. Yhteisöllä on voinut olla resurssien kuten veden saantia edistävä vaikutus, mikäli esimerkiksi aiemmin itäneet ja suuremmat masmalon taimet ovat fasilitoineet muiden lajien itämistä varjostamalla ja sitomalla kosteutta.

Lajimäärän yhteyttä ekosysteemin tasapainoon ja kasvien biomassan tuotantoon on tutkittu paljon ja mm. kymmenvuotisessa tutkimuksessa Minnesotassa, Yhdysvalloissa (Tilman ym. 2006) lajirikkaus lisäsi ruohomaan kasviyhteisön biomassan tuotantoa ja vakautta ekosysteemitasolla. Yksittäisten lajien kannalta on vähemmän näyttöä siitä, että monimuotoisuus parantaisi kasvien menestymistä, mutta niukoissa paahdeympäristöissä voidaan odottaa esiintyvän enemmän fasilitoivia suhteita ja vähemmän kilpailua, verrattuna resurssirikkaampiin ympäristöihin (Ploughe ym. 2019).

Tulosten tulkinnessa on huomioitava rajoittavana tekijänä ainoastaan yhden kasvukauden aikana tehtyihin havaintoihin perustuva aineisto. Lyhyt tarkasteluajanjakso voi selittää sitä, miksi monilajisen yhteisön osalta ei havaittu vaikutusta taimien kasvuun. Lajiston monimuotoisuuden vaikutus kasvien menestymiseen voi olla havaittavissa vasta pidemmän aikajakson tarkastelussa (Drayton & Primack 2012). Esimerkiksi kasvien ravinteiden saatavuuden edistäminen on yksi kasvien välillä esiintyvistä fasilitoivista vaikutuksista (Ren ym. 2014) ja vaatisi pidempiaikaista tutkimusta. Ravinteiden saatavuuden edistäminen perustuu ravinteiden vapautumiseen hajoavasta kasvimateriaalista

(Chapin 1980). Lyhyen tarkastelujakson aikana hajoavaa orgaanista ainesta ei ehdi juurikaan kerääntyä, sillä vuodenvierroon vaiheet ovat olennainen tekijä sen syntymisessä (Chapin 1980). Michiganjärven hiekkadyynien ekologiaa ja sukkessiota käsittelevässä tutkimuksessa (Olson 1958) hajoavista kasveista peräisin olevan typen katsottiin olevan tärkeä tekijä kasvi- biomassan lisääntymisessä ja kasviyhteisön kehityksessä.

Hypoteesi (H4) usean resurssin vaikutuksesta paahdelajien menestymiseen sai osittain tukea tutkimuksen tuloksista. Kalkin ja keräsienien lisääminen yhdessä vaikutti positiivisesti masmalon ja mataroiden siementaimien peittävyteen, mutta muilla käsittely-yhdistelmillä ei ollut vaikutusta lajien menestymiseen. Kangasajuruohon kohdalla selviä vaikutuksia ei havaittu minkään resurssiyhdistelmän lisäämisen osalta. Masmalon ja mataroiden suurempi peittävyys koeruuduilla, joille sekä kalkkia, että keräsientä lisättiin, tukee usean rajoittavan resurssin hypoteesia (Gleeson & Tilman 1992). Kun rajoittavia resursseja on yhtäaikaista useita, kasvin tulisi käyttää niitä sellaisessa suhteessa, että niiden rajoittavuus pysyy samana (Tilman 1985), eli kasvi toimii strategisesti optimoiden resurssien käyttöä. Hiekkakuopan karuissa kasvuolosuhteissa kasvien voidaan odottaa panostavan erityisesti juurten kasvuun veden ja ravinteiden saamiseksi (Chapin 1980). Juurilla hankittavien resurssien lisääminen näkyy siten, että kasvilla on varaa panostaa maanpäällisten, yhteyttäviin rakenteisiin, mikä näkyy esimerkiksi suurempana peittävytenä.

Tutkimushypoteesin oletuksesta poiketen kalkitsemisen ja keräsienien mallinnettu yhdysvaikutus oli kuitenkin aina negatiivinen, vaikka niiden lisäämisellä yhdessä olikin kontrolliruutuihin verrattaessa positiivinen vaikutus. Kalkin ja keräsienisiirrosten yhteisvaikutus jäi siis aina pienemmäksi, kuin erillisten kalkin lisäämisen ja keräsienien lisäämisen vaikutukset yhteenlaskettuna. Toisaalta resurssimanipulaatiokokeissa, joissa lisätään useita resursseja, voi myös olla hankalaa havaita vaikutuksia, sillä vaikutukset voivat näkyä vain hyvin pieninä

eroina resurssien kohdentamisessa (Gleeson & Tilman 1992). Lisäksi yhdysvaikutusten tulkinta vaikeutuu, kun mukana on useita selittäviä tekijöitä.

Ei voida tehdä selvää eroa, toimivatko paahdekasvilajit strategisesti usean rajoittavan resurssin hypoteesin mukaan vai kuten ns. Liebigin kasvit, joiden kasvua minimilain (Gorban ym. 2011) mukaan rajoittaisi yhden resurssin saatavuus. Tutkimukseen ei kerätty tietoa siitä, mikä tai mitkä resurssit ovat rajoittaneet kasvua, vaikka veden saatavuuden voidaankin olettaa olleen kriittinen tekijä ainakin joinakin ajanjaksoina. Kuivuus vaikuttaa myös muiden resurssien hankintaan, kuten ravinteiden ottoon ja yhteyttämiseen (Ploughe ym. 2019). Veden ohella typen on todettu olevan merkittävä rajoittava tekijä niukoissa kasvuympäristöissä ja esimerkiksi Pohjois-Dakotan puolikuivilla ruohomailla sen on havaittu olevan pääasiallinen kasvua rajoittava resurssi (Power 1980). On mahdollista, että kuivuusjaksojen takia eri resurssi on rajoittanut kasvua eri aikoina, kuten Farrior ym. (2013) kokeissa Minnesotan ruohotasangoilla, missä vuoroin vesi ja vuoroin typi rajoittivat kasvien kasvua saman kauden aikana.

Hypoteesi (H5) kalkin ja keräsienien vaikutuksesta paahdelajien keräsienijuuren kolonisaation määrään ei saanut tuloksista selvää tukea. Kalkin lisääminen ja keräsienien lisääminen näyttivät kuitenkin vaikuttavan tiettyjen keräsienirakenteiden määrään osalla kohdelajeista. Keräsienien rakenteiden määrät juurissa mukailivat vastaavien tutkimusten tuloksia. Esimerkiksi suomalaistutkimuksessa viherkatolla kasvatettujen ja *Rhizophagus irregularis* -keräsienellä siirrostettujen ketokasvilajien juurissa rihman osuus oli suurin, keräsiä esiintyi vähemmän ja vesikkelien osuus oli pienin (Xie ym. 2018). Hiekkakuopalla kasvatetuilla paahdelajeilla rakenteet esiintyivät samassa suhteessa.

Keräsienien tai kalkin lisäämisellä yhdessä tai erikseen ei ollut vaikutusta rihman määrään. Koska kalkitsemisella ja kolonisaation määrällä ei havaittu selvää yhteyttä, ei käsittely ehkä hyödyttänyt keräsientä, mistä kertoisi myös taimien tarkastelussa ilmennyt kalkin- ja keräsienien lisäämisen negatiivinen yhdysvaikutus. Kalkitseminen ja korkeampi maaperän pH on kuitenkin aiemmissa

tutkimuksissa yhdistetty suurempaan keräsienijuuren määrään (Johnson ym. 2005, Heyburn ym. 2017). Esimerkiksi Skotlannin ylänköniittyjen ekologiaa käsittelevässä tutkimuksessa Johnson ym. (2005) havaitsivat kalkitsemisen lisäävän keräsienikolonisaation määrää nurmiröllin (*Agrostis capillaris*) juurissa.

Rihman määrä kertoo varsinaisesta kolonisaatiosta, mutta ravinteiden vaihdossa sienien ja kasvin välillä kerästen merkitys on suurin (Vestberg 2018). On olemassa myös joitakin viitteitä siitä, että pelkän rihman muodostama kolonisaatio ei yksinään edistäisi isännän kasvua merkittävästi (Xie ym. 2018). Kolonisaatiotyyppejä on erilaisia ja keräsienilajin muodostama kolonisaatiotyyppi riippuu isäntälajista (Vestberg 2019), mikä voi myös selittää lajien välisiä eroja. Esimerkiksi varastorakkuloina toimivia vesikkeleitä esiintyi mataroilla vähän verrattuna kahteen muuhun kohdelajiin. Vesikkelien keskimääräinen osuus oli mataroiden juurissa alle 4 %, kun kangasajuruohon ja masmalon juurissa vesikkeleiden osuudet olivat 15 % ja 12 %.

Vesikkelien määrä masmalon juurissa oli suurempi, kun kalkkia oli lisätty, mikä saattaisi olla seurausta resurssien lisäämisestä. Tätä tukisi myös kalkin lisäämisen positiivinen vaikutus masmalon taimien menestymiseen. Vesikkelien merkitys keräsienen ja isäntäkasvin välisessä suhteessa on toistaiseksi vielä huonosti tunnettu. Kerästen määrä oli puolestaan merkitsevästi pienempi keräsienilisätyillä kangasajuruohoilla, mikä voi viitata siihen, ettei kangasajuruohon ja siirrostetun keräsienikumppanin välillä ollut yhtä paljon aineidenvaihtoa, kuin runsaammin keräsiä muodostavassa kolonisaatiossa. Tulkinta olisi yhtenäinen sen kanssa, etteivät kangasajuruohon taimetkaan näyttäneet merkittävästi hyötyvän keräsienen lisäämisestä.

Juurten kolonisaatiota esiintyi kaikilla lajeilla ja kaikissa käsittelyissä, mistä voidaan päätellä, että koealalla esiintyi keräsieniä jo luonnostaan. Kolonisaatio voi saada alkunsa itiöistä, valmiiksi kolonisoiduista juuren pätkistä tai maassa olevasta rihmastosta (Vestberg 2018). Koealan ympäristössä esiintyi harvakseltaan maitohorsmaa (*Epilobium angustifolium*), ahokeltanoita (*Hieracium Vulgata*-ryhmä),

ahosuolaheinää (*Rumex acetosella*) ja nurmirölliä (*Agrostis capillaris*) sekä kiiltopajun (*Salix phylicifolia*) ja harmaalepän (*Alnus incana*) taimia, joten kontrolliruuduillakin esiintynyt sienijuurikolonisaatio on voinut olla peräisin edellä mainittujen lajien keräsienikumppaneilta. Kolonisaation runsaus kuivuuteen sopeutuneiden kohdelajien juurissa on hyvin linjassa aiemman tietämyksen kanssa. Sienijuuren merkitys kuivuusstressiä aiheuttavissa oloissa on suuri, sillä maan alla levittäytyvä rihmasto tavoittaa paremmin vähäiset vesivarat ja sienijuuri voi säädellä myös veden haihduntaa (Rapparini & Peñuelas 2014).

Tutkimuksen merkittävimpinä havaintoina pidän kalkin ja keräsienen positiivisia vaikutuksia paahdelajien siementaimien kasvuun. Mataroiden kohdalla tuloksiin on suhtauduttava pienellä varauksella risteymäyksilöiden vuoksi, koska ne ovat saattaneet ilmentää paahdelajin ominaisuuksia vaihtelevasti. Enemmän aineistoon vaikuttivat kuitenkin kesän 2018 kasvuolosuhteet, jotka olivat helteiden ja kuivuusjaksojen vuoksi itämisen ja taimettumisen kannalta hankalat. Jyväskylässä kesäkuukausien sademäärä oli vain 139,2 mm, joka on vain 60 % vuosien 1981-2010 keskiarvosta 232,2 mm (Ilmatieteenlaitos 2019). Myös kesän keskilämpötila oli Ilmatieteenlaitoksen tilastojen mukaan 2 °C keskiarvoa korkeampi. Kuumen ja kuivan kesän vaikutus näkyy aineiston pienessä koossa, sillä kaikki itämiskykyiset siemenet eivät itäneet vielä tarkasteluajanjaksolla. Epäoptimaalisista sääoloista huolimatta itäneet taimet menestyivät kokonaisuutena hyvin ensimmäisenä kasvukautenaan eikä kuolleisuutta esiintynyt sirkkalehtivaiheen jälkeen. Huomionarvoista oli myös käsittelyistä riippumaton keräsienikolonisaation suuri määrä, joka kertoi keräsienten runsaudesta ja taimien kolonisotumisen tehokkuudesta päällepäin karussa ja kasvillisuudeltaan niukassa ympäristössä.

Resurssien lisäämisen pitkäaikaisia vaikutuksista ei tämän tutkimuksen perusteella voida täysin tietää. Pitkäaikaisten vaikutusten ymmärtäminen on tärkeää, sillä ne voivat poiketa suuresti lyhyellä aikavälillä ilmenevistä vaikutuksista (Tilman 1985). Tilmanin resurssikilpailuteoria (1982) ja resurssisuhdehypoteesi (1985) ennustavat resurssien lisäämisen vaikuttavan lajiston koostumukseen. Tilmanin mukaan

yhteisön koostumus muuttuu, kun kasvua rajoittavien resurssien suhteellisessa määrässä tapahtuu muutoksia. Hiekkakuopalle kylvettyjen paahdelajien kannalta kasvillisuuden muuntuminen ja kilpailun lisääntyminen voisivat ajan myötä heikentää niiden menestymistä, koska lajit ovat sopeutuneet ravinteiden niukkuuteen, eivätkä kestä kilpailua. Avoimien alueiden umpeenkasvu onkin merkittävin syy paahdelajien taantumiseen (Hyvärinen 2019).

Vaikka resurssien lisääminen luonnonympäristöissä voi johtaa pitkäaikaisiin muutoksiin kasviyhteisön koostumuksessa, ei ole perusteita sille, että kalkin kertalisäys tai keräsienen lisääminen voisi heikentää paahdeympäristöä. Keräsienicumppanit ovat ravinneköyhissä ympäristöissä monen lajin menestymisen edellytys (esim. Dostálek ym. 2013, Koziol & Bever 2017) eikä kalkin lisäämisen vaikutus jää pysyväksi hiekkamaassa, josta ravinteet huuhtoutuvat helposti (Chapin 1980). On kuitenkin syytä kiinnittää huomiota siihen, mitä resursseja lisätään ja missä määrin. Tilmanin resurssikilpailuteoria (1982) tarjoaa erilaisia ennusteita sen mukaan, miten resurssien saatavuus muuttuu, ja mitkä ovat kasvilajin menestymisen vaatimukset. Yhden resurssin määrän muuttuminen yhteisössä voi johtaa siihen, että laji häviää toiselle kilpailussa, mutta resurssien määrien satunnaisen vaihtelun ei pitäisi aiheuttaa suoraviivaista muutosta kasviyhteisön lajikoostumuksessa (Tilman 1985). Rajoittavien resurssien positiivisen korrelaation tulisi puolestaan lisätä kasvien tuottavuutta, mutta ei johtaa merkittäviin muutoksiin yhteisössä (Tilman 1985). Kalkin ja keräsienen lisääminen edistävät muiden ympäristön resurssien saatavuutta sekä hankintaa ja paahdelajien kannalta näiden käsittelyjen voitaisiin nähdä edustavan resurssien positiivista korrelaatiota sekä satunnaista vaihtelua resurssien saatavuudessa. On mahdollista, että pitkällä aikajänteellä merkittävämpi muutos paahdeympäristön resurssien tarjonnassa voi syntyä rehevöittävän typpilaskeuman myötä (Dise ym. 2011, Rytteri & Tainio 2015).

4.2 Tulosten soveltaminen

Tutkimuksessa hiekkakuopalle kylvettyjen paahdelajien menestyminen antoi osaltaan näyttöä entisen maanottoalueen hyödyllisyydestä taantuvien lajien korvaavana elinympäristönä. Korvaavat ympäristöt voivat parhaimmillaan ylläpitää ekologisia käytäviä, askelkiviä tai suuria lähdepopulaatioita, joista suojeltavat lajit voivat levitä uusille kasvupaikoille (Hämäläinen & Tukia 2015). Tulokset osoittivat myös toimivia käytäntöjä paahdeympäristöjen kasvillisuuden tukemiseksi.

Suomen ympäristökeskus on antanut hoitosuosituksia mm. harjumetsien paahdeympäristöille (Tukia ym. 2015). Paahdeympäristöjen ja niiden kasvilajien suojelua toteutetaan mm. peittoavan kasvillisuuden poistolla, kulotuksilla ja mineraalimaan paljastamisella sekä lajien siirtoistutuksilla (Kittamaa ym. 2009, Tukia ym. 2015). Lyhyellä aikavälillä tavoitteena on lisätä paahteisuutta ja valoisuutta hoidettavalla kohteella, mutta pitkän tähtäimen tavoitteena on paahdeympäristön säilymisen lisäksi kytkeytyneisyys toisiin paahdekohteisiin ja lajiesiintymiin (Hämäläinen & Tukia 2015). Korvaavien ympäristöjen perustamisella kytkeytyneisyyttä voitettiin lisätä.

Ex-situ-suojaus eli etäsuojelu jossain muualla, kuin lajin luontaisella kasvupaikalla voidaan myös yhdistää paahdelajien siirtoistutuksiin (Hyvärinen 2012). Etäsuojeltujen lajien siirtoistutukset voivat olla helpoin tapa vahvistaa lajin populaatiota, mutta mm. Hyvärinen (2012) suosittelee siementen kylvöä suoraan kasvupaikalle. Kylvämällä tehtyjen istutusten tehoa on myös kyseenalaistettu (Drayton & Primack 2012). M. Kokkonen ja A. Blomster sivusivat aihetta tutkielmassaan (2014), joka käsitteli kangasajuruohon siirtoistutuksia. Siirtoistutusten parissa työskennelleiden asiantuntijoiden haastattelujen perusteella kasvien jakaminen tunnettujen populaatioiden aikuisista kasveista on tavallinen menetelmä ja siementen kylvöä luonnonympäristöihin tehdään vähemmän jos ollenkaan. Hiekkakuopalla siemeninä kylvetyt lajit menestyivät kuitenkin hyvin ja

siementen kylvämisellä voidaan selättää tiettyjä ongelmia, joita siirtoistutuksiin liittyy. Siemeniä on helpompaa ja edullisempaa siirtää uusille kohteille kuin aikuisia kasveja juurakoineen. Kasvit, erityisesti paahdeympäristöjen vahvajuuriset lajit, voivat kärsiä siirtämisestä juurten katkeillessa. Maaperän muokkaaminen häiritsee myös sienijuuririhmastoja. Siirrettävät kasvit joutuvat nopeasti sopeutumaan uuteen kasvuympäristöön ja muutos aiheuttaa stressiä, mikä vaikuttaa kasvin kykyyn ylläpitää ja puolustaa itseään. Kylvämällä siemeniä suoraan kohdealueelle muuttuva ympäristö karsii pois soveltumattomat yksilöt varhaisessa vaiheessa ja varttuvat taimet mukautuvat vallitseviin olosuhteisiin (Hyvärinen 2012).

Hyödylliset keräsienikumppanit ja kalkitseminen voisivat olla liitettävissä osaksi jo olemassa olevia paahdeympäristöjen hoidon ohjeistuksia. Keräsieniä kannattaisi hyödyntää erityisesti sellaisilla kohteilla, joista rihmastot ja keräsientä ylläpitävät isäntäkasvit puuttuvat tai niiden määrä on vähäinen. Tällaisia voivat olla vastikään rakennetut teiden pengerrykset tai käytöstä poistuvat maanottoalueet. Keräsieniä kasvatetaan kaupallisiin tarkoituksiin esimerkiksi taimitarhoille ja keräsientä sisältäviä tuotteita suunnataan myös kuluttajille kuten puutarhaharrastajille. Keräsieniä voidaan eristää maasta viljeltäväksi isännäksi sopivien kasvien ruukuissa, joiden sisällöstä valmistettua tuotetta voidaan siirrostaa uusien kasvien juuristoon (Vestberg & Kahiluoto 2018). Sopivan keräsienikumppanin löytäminen ennallistamis- ja hoitotarkoituksiin edellyttää kuitenkin tutkimusta. Lisäksi keräsienten viljely luonnonhoitotarkoituksiin vaatii tuottajan ja tuotantotilaa.

Lajien suojelun yhteydessä kalkitsemisesta ei ole mainintoja, vaikka monet uhanalaiset paahdekasvilajit ovat kalkinsuosijoita (From 2005). Kalkitseminen voisi olla kustannustehokas käytäntö monenlaisilla kohteilla ja yksinäänkin toimiva vaihtoehto siihen asti kunnes keräsienten hyödyntäminen yleistyy luonnonhoidon piiriissä. Kalkin lisäämisellä heti kylvövaiheessa voitaisiin tukea suojeltavan lajin siementaimien kasvua kriittisimmän kasvuvaiheen yli, jolloin

selviytymismahdollisuudet paranisivat ja suojeltavalla lajilla olisi kilpailuetu. Kalkitseminen voisi soveltua myös siirtoistutusten tueksi.

Huolella valikoituja menetelmiä käyttämällä voidaan parantaa onnistumisen todennäköisyyttä niin olemassa olevien kohteiden hoidossa, kuin uusien paahdeympäristöjen perustamisessa. Useat tutkimukset (esim. Drayton & Primack 2012, Ploughe ym. 2019) kuuluttavat myös pitkäaikaisseurantojen merkitystä ja niitä toteutetaankin valituilla hoitokohteilla eri puolilla Suomea (Kittamaa ym. 2009, Tukia ym. 2015). Siirtoistutuksissa hoidettuja populaatioita tulee seurata useamman, kuin yhden lisääntyvän sukupolven ajan, jotta istutuksen onnistumisesta voidaan tehdä varmoja johtopäätöksiä (Drayton & Primack 2012). Tämä pätee myös kylvämällä tehtyihin istutuksiin.

4.3. Johtopäätökset

Tässä tutkimuksessa kohdekasvilajien vaste resurssien lisäämiseen oli lähempänä strategiaa, jossa kasvit optimoivat kasvunsa resurssien tarjonnan mukaan, kuin tilannetta, jossa kasvien kasvua rajoittaisi ainoastaan yksi resurssi. Luonnonympäristöissä tavataan molempia ilmiöitä ja tilanne voi muuttua riippuen siitä tarkastellaanko yksittäisiä lajeja vai yhteisöjä. Kaikki tutkitut lajit eivät vastanneet resurssien lisäämiseen samalla tavalla, mikä kertoo lajien välisistä eroista siinä, mitä resursseja ja missä suhteessa ne tarvitsevat menestyäkseen.

Tulosten perusteella paahdekasvit voivat hyötyä resurssien lisäämisestä jolloin resurssien lisäämisellä voidaan auttaa paahdekasvilajeja menestymään uusilla kasvupaikoilla. Lajien suojelussa tulisi kiinnittää enemmän huomiota kokonaisuuteen: kasvien välisiin ja kasvien ja keräsienikumppaneiden välisiin vuorovaikutussuhteisiin sekä maaperätekiijöihin. Tärkeää on myös huomioida resurssien lisäämisen pitkäaikaiset vaikutukset.

Niukoissa elinympäristöissä kauppaa resursseista käydään enemmän maanpinnan alla kuin sen päällä, jolloin valtaosa paahdekasvilajien elämästä jää ihmissilmän

näkymättömiin. Karuilla, paahteisilla ympäristöillä on kuitenkin oma paikkansa osana erilaisten elinympäristöjen kirjoa ja paahdeympäristöjä tukemalla voidaan parantaa ainutlaatuisten eliöyhteisöjen ja uhanalaisten lajien asemaa.

KIITOKSET

Kiitän ohjaajaani Minna-Maarit Kytöviitaa tutkimuksen ideoimisesta, ohjauksesta, avusta ja innostamisesta. Kiitos kuuluu myös Suomen biologian seura Vanamo ry:lle työni tukemisesta.

KIRJALLISUUS

- Bertness M.D & Callaway R. 1994. Positive interactions in communities. *Trends in Ecology and Evolution* 9: 191–193.
- Blomster, A. & Kokkonen, M. 2014. Siirtoistutukset osana kasvilajien suojelua – esimerkkinä kangasajuruoho (*Thymus serpyllum*). LuK-tutkielma. Jyväskylän yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos. 22 s.
- Bonfante P. & Desirò A. 2015. Arbuscular mycorrhizas: The Lives of Beneficial Fungi and Their Plant Hosts. Teoksessa: Lugtenberg B. (toim.) *Principles of Plant-Microbe Interactions*. Springer, Sveitsi. s. 235–245.
- Bothe H., Turnau K. & Regvar M. 2010. The potential role of arbuscular mycorrhizal fungi in protecting endangered plants and habitats. *Mycorrhiza* 20: 445–457.
- Callaway R.M. 1995. Positive interactions among plants. *The Botanical Review*. 61: 306–349.
- Chapin F.S. 1980. The mineral nutrition of wild plants. *Annual Review of Ecology and Systematics* 11: 233–260.
- Clark R.B. & Zeto S.K. 2000. Mineral acquisition by arbuscular mycorrhizal plants. *Journal of Plant Nutrition* 23: 867–902.
- Dhillon S.S. & Gardsjord T.L. 2004. Arbuscular mycorrhizas influence plant diversity, productivity, and nutrients in boreal grasslands. *Canadian J. Bot.* 82: 104–114.

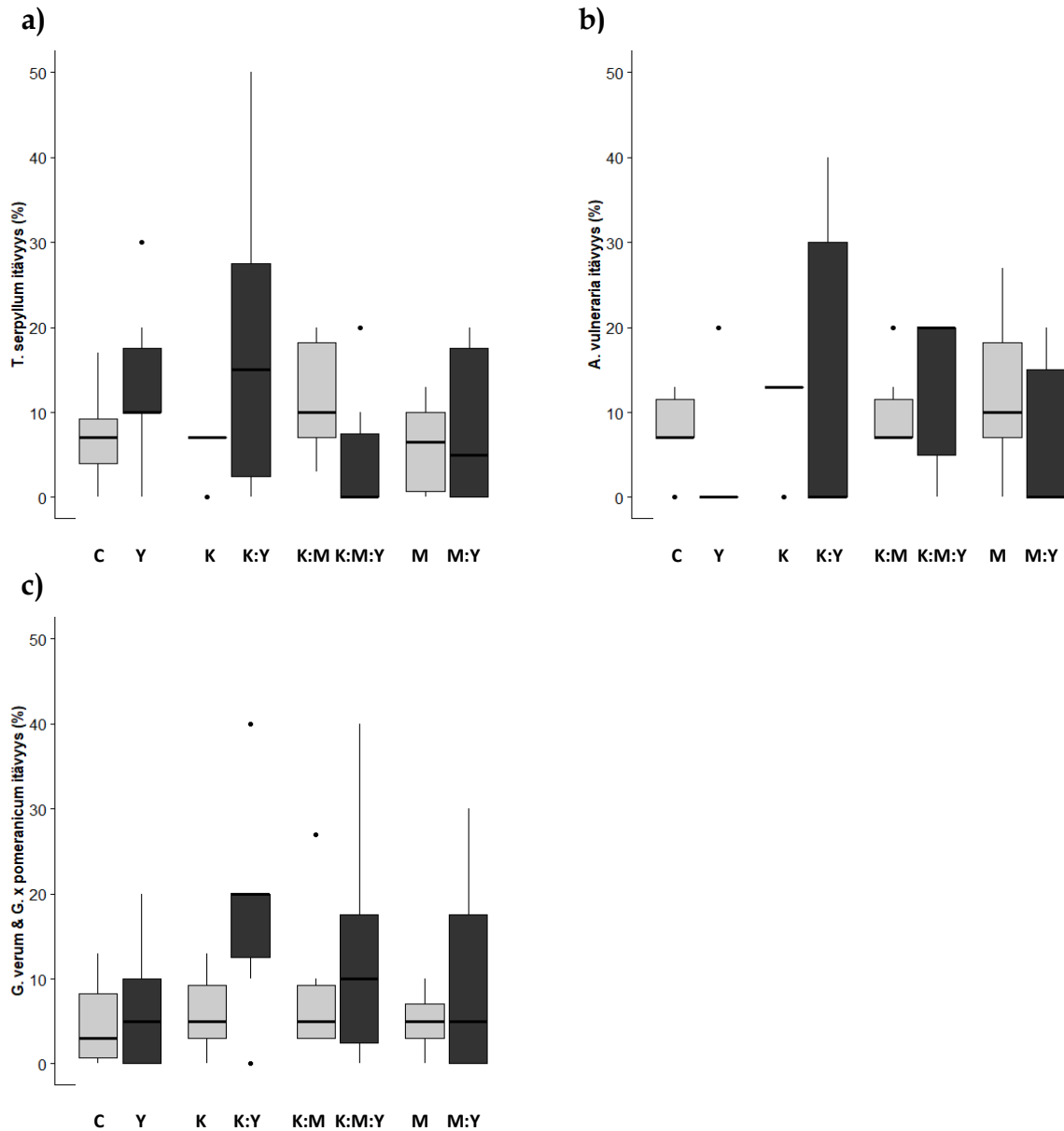
- Direktiivi 92/43/ETY. Neuvoston direktiivi 92/43/ETY luontotyyppien sekä luonnonvaraisen eläimistön ja kasviston suojelusta. OJ L 206, 22.7.1992. Saatavissa: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=CELEX%3A31992L0043>
- Dise, N., Ashmore, M., Belyazid, S., Bleeker, A., Bobbink, R., de Vries, W., Willem Erisman, J., Spranger, T., Stevens, C.J. & van den Berg, L. 2011: Nitrogen as a threat to European terrestrial biodiversity. Teoksessa: Sutton, M.A., Howard, C.M., Willem Erisman, J., Billen, G., Bleeker, A., Grennfelt, P., van Grinsven, H. & Grizzetti, B. *The European Nitrogen Assessment – Sources, Effects and Policy Perspectives*. Cambridge University Press. pp. 463–494.
- Dostálek T., Pánková H., Münzbergová Z. & Rydlová J. 2013. The effect of AMF suppression on plant species composition in a nutrient-poor dry grassland. *PLoS ONE* 8, doi:10.1371/journal.pone.0080535.
- Drayton P. & Primack R. B. 2012. Success rates for reintroductions of eight perennial plant species after 15 years. *Restoration Ecology* 20: 299–303.
- Farrion C.E, Tilman D., Dybzinski R., Reich B.P., Levin S.A. & Pacala S.W. 2013. Resource limitation in a competitive context determines complex plant responses to experimental resource additions. *Ecology* 94: 2505–2517.
- Ferrazzano S. & Williamson P.S. 2013. Benefits of mycorrhizal inoculation in reintroduction of endangered plant species under drought conditions. *Journal of Arid Environments* 98: 123 – 125.
- From S. (toim.) 2005. Paahdeympäristöjen ekologia ja uhanalaiset lajit. *Suomen ympäristö* 774. Suomen ympäristökeskus. 86 s.
- Fuchs B. & Haselwandter K. (2008) Arbuscular mycorrhiza of endangered plant species: potential impacts on restoration strategies. Teoksessa: Varma A. (toim.) *Mycorrhiza*. Springer, Cham. pp. 565–579.
- Giovannetti M. & Mosse B. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytol.* 84: 489 – 500.
- Gleeson S.K. & Tilman D. 1992. Plant allocation and the multiple limitation hypothesis. *The American Naturalist* 139: 1322–1343.
- Gorban A.N., Pokidysheva L.I., Smirnova E.V. & Tyukina T.A. 2011. Law of the minimum paradoxes. *Bulletin of Mathematical Biology* 73: 2013–2044.
- Heyburn J., McKenzie P., Crawley M.J. & Fornara D.A. 2017. Long-term belowground effects of grassland management: the key role of liming. *Ecological Applications* 27: 2001–2012.
- Hyvärinen E., Juslén A., Kemppainen E., Uddström A. & Liukko U.-M. (toim.) 2019. *Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2019*. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 704 s.

- Hyvärinen M. 2012. Mitä on luonnonkasvien *ex situ* -suojaus? Teoksessa: Rytteri T., Kalliovirta M. & Lampinen R. (toim.) *Suomen uhanalaiset kasvit*. Tammi, Helsinki. 384 s.
- Hämäläinen J. & Tukia H. 2015. Metsien pirstoutuminen ja elinympäristöjen tuhoutuminen. Teoksessa: Tukia, H., Hämäläinen, J. & Rytteri, T. (toim.). Harjumetsien paahde-elinympäristöverkostot - Metsien luonnonhoidon vaikutukset harjuluontoon, maisemaan ja paahdelajiston monimuotoisuuteen. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 2/2015: 15–24.
- Ilmatieteen laitos 2019. Lämpötila- ja sadetilastoja vuodesta 1961. <https://ilmatieteenlaitos.fi/tilastoja-vuodesta-1961> (luettu: 4.6.2019)
- Johnson D., Leake J.R. & Read D.J. 2005. Liming and nitrogen fertilization affects phosphatase activities, microbial biomass and mycorrhizal colonisation in upland grassland. *Plant and Soil* 271: 157–164.
- Kaitila J. 2005. Paahdeympäristöjen perhosista. Teoksessa: From S. (toim.) Paahdeympäristöjen ekologia ja uhanalaiset lajit. *Suomen ympäristö* 774: 29–35.
- Kempainen R. 2017. RAPORTTEJA 25 | 2017 Perinnemaisemien inventointiohje Varsinais-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. saatavissa <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/136257/25%202017%20Raportteja.pdf?sequence=2>.
- Kittamaa S., Rytteri T., Ajosnpää T., Aapala K., Hallman E., Lehesvirta T. & Tukia H. (toim.).2009. Harjumetsien paahdeympäristöt - nykytila ja hoito. *Suomen ympäristö* 25: 88 s.
- Koziol L. & Bever J.D. 2017. The missing link in grassland restoration: arbuscular mycorrhizal fungi inoculation increases plant diversity and accelerates succession. *Journal of Applied Ecology* 54: 1301–1309.
- Lefcheck J., Byrnes J., Isbell F., Gamfeldt L., Griffin J.N., Eisenhauer N., Hensel M.J.S., Hector A., Cardinale B.J. & Duffy J.E. 2015. Biodiversity enhances ecosystem multifunctionality across trophic levels and habitats. *Nature Communications* 6. doi:10.1038/ncomms7936.
- Lin G., McCormack L. M. & Guo D. 2015. Arbuscular mycorrhizal fungal effects on plant competition and community structure. *Journal of Ecology* 103: 1224–1232.
- Luonnonsuojelulaki 20.12.1996/1096.
- Metsälaki 12.12.1996/1093.
- Middleton E.L. & Bever J.D. 2010. Inoculation with a native soil community advances succession in a grassland restoration. *Restoration Ecology* 20: 218–226.
- Olson J.S. 1958. Rates of succession and soil changes on southern Lake Michigan sand dunes. *Botanical Gazette* 119: 125–170.

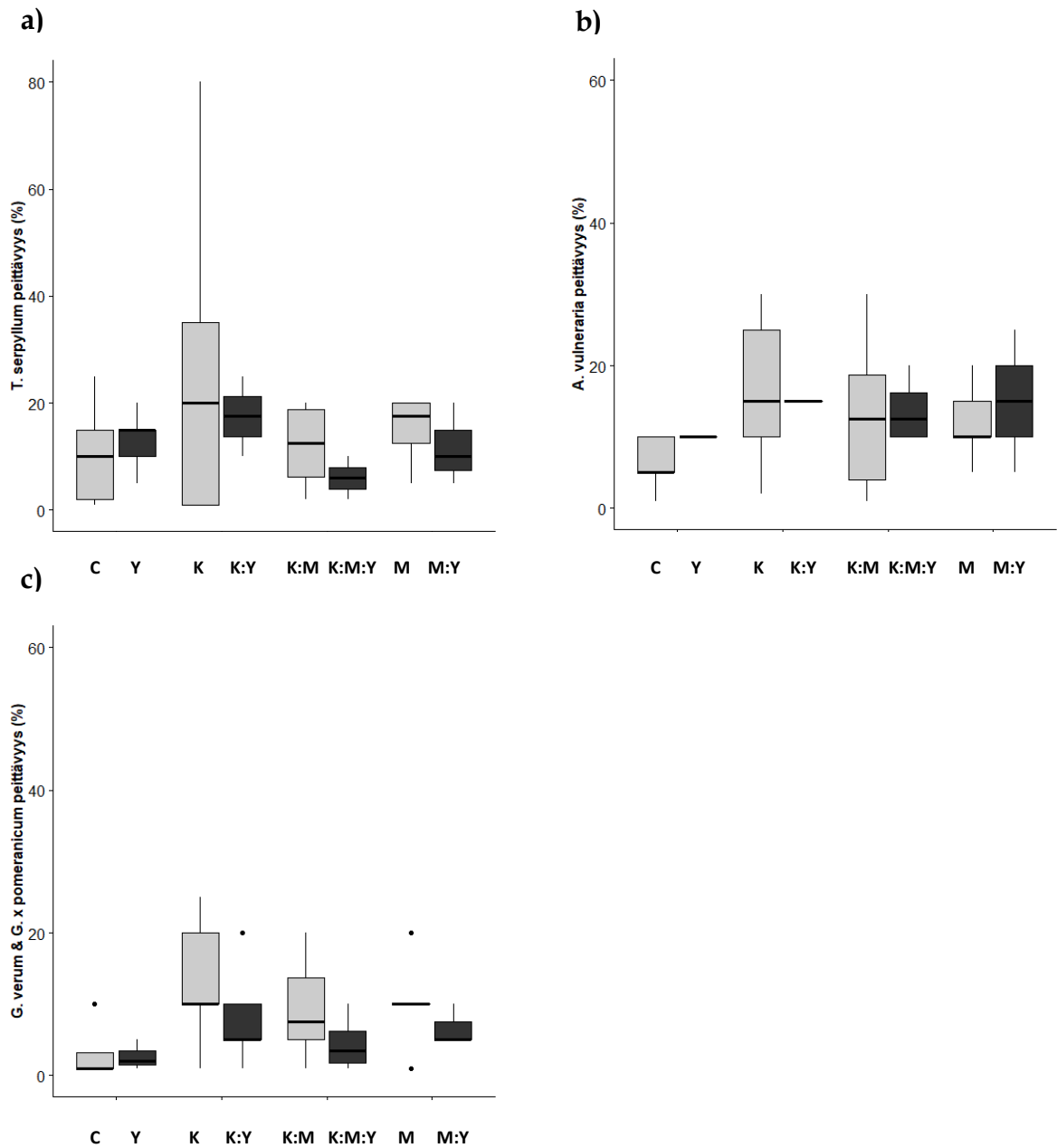
- Ploughe L.W., Jacobs E.M., Frank G.S., Greenler S.M., Smith M.D. & Dukes J.S. 2019. Community Response to Extreme Drought (CRED): a framework for drought-induced shifts in plant-plant interactions. *New Phytol.* 222: 52–69.
- Power, J.F. 1980. Response of semiarid grassland sites to nitrogen fertilization: I. Plant growth and water use. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 545–550.
- Rapparini F. & Peñuelas J. 2014. Mycorrhizal Fungi to alleviate drought stress on plant growth. Teoksessa: Miransari, M. (toim.) *Use of Microbes for the alleviation of soil stresses*. Springer, New York. s. 21–42.
- Rassi P., Hyvärinen E., Juslén A. & Mannerkoski I. (toim.) 2010. *Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2010*. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus, Helsinki. 685 s.
- Roem W.J. & Berendse F. 2000. Soil acidity and nutrient supply ratio as possible factors determining changes in plant species diversity in grassland and heathland communities. *Biological Conservation* 92: 151–161.
- Ryttäri T., Kalliovirta M. & Lampinen R. (toim.) 2012. *Suomen uhanalaiset kasvit*. Tammi, Helsinki. 384 s.
- Ryttäri T. & Tainio E. 2015. Öron saaren ketojen hoito – tuloksia ja päätelmiä kasvillisuusseurannoista 2004–2012. Teoksessa: Tukia, H., Hämäläinen, J. & Ryttäri, T. (toim.). Harjumetsien paahde-elinympäristöverkostot - Metsien luonnonhoidon vaikutukset harjuluontoon, maisemaan ja paahdelajiston monimuotoisuuteen. *Suomen ympäristökeskuksen raportteja 2/2015*: 59–66.
- Ryttäri T. & Väre H. 2012. Keltamatara–Galium verum. Teoksessa: Ryttäri T., Kalliovirta M. & Lampinen R. (toim.). *Suomen uhanalaiset kasvit*. Tammi, Helsinki. s.190–192.
- Ryttäri T. 2009. Harjujen paasterinteiden kasvilajisto. Teoksessa: Kittamaa S., Ryttäri T., Ajosenpää T., Aapala K., Hallman E., Lehesvirta T. & Tukia H. (toim.) 2009. Harjumetsien paahdeympäristöt - nykytila ja hoito. *Suomen ympäristö* 25: s. 14.
- Starr M. & Tamminen P. 1992. Suomen metsämaiden happamoituminen. Teoksessa: Kukkonen I. & Tanskanen H. (toim.) 1992. Ympäristötieteelliset kartat ja kartoitushankkeet Suomessa. –Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 115: 7–14.
- Tilman D. 1982. *Resource competition and community structure*. Princeton University Press, Princeton, N.J.
- Tilman D. 1985. The Resource-ratio hypothesis of plant Succession. *The American Naturalist* 125: 827–852.
- Tilman D., Reich P.B. & Knops J.M.H. 2006. Biodiversity and ecosystem stability in a decade-long grassland experiment. *Nature* 441: 629–632.

- Tukia, H., Hämäläinen, J. & Rytteri, T. (toim.) 2015. Harjumetsien paahdeelinympäristöverkostot - Metsien luonnonhoidon vaikutukset harjuluontoon, maisemaan ja paahdelajiston monimuotoisuuteen. *Suomen ympäristökeskuksen raportteja 2/2015*. 102 s.
- Tukia H. , Kotiharju S., Valonen J-M. & Äärelä R. 2015. Johtopäätökset ja hoitosuosituksia harjujen paahdeympäristöjen hoitoon. Teoksessa: Tukia, H., Hämäläinen, J. & Rytteri, T. (toim.). Harjumetsien paahdeelinympäristöverkostot - Metsien luonnonhoidon vaikutukset harjuluontoon, maisemaan ja paahdelajiston monimuotoisuuteen. *Suomen ympäristökeskuksen raportteja 2/2015*: 89–98.
- Varga S., Kytöviita M-M. & Siikamäki P. 2009. Sexual differences in response to simulated herbivory in the gynodioecious herb *Geranium sylvaticum*. *Plant Ecol* 202: 325–336.
- Vega-Frutis R., Varga S. & Kytöviita M-M. 2013. Dioecious species and arbuscular mycorrhizal symbioses: The case of *Antennaria dioica*. *Plant Signal Behav* 8, doi: 10.4161/psb: 23445.
- Vestberg M. 2018. Keräsienijuuri. Teoksessa: Vestberg M. & Timonen S.S. (toim.) *Rihman kiertämät - kasvien ja sienten erottamaton elämä*. Mauritz Vestberg, Vihtavuori. s. 65–76.
- Vestberg M. & Kahiluoto H. 2018. Keräsienisymbioosin merkitys maataloudessa. Teoksessa: Vestberg M. & Timonen S.S. (toim.) *Rihman kiertämät - kasvien ja sienten erottamaton elämä*. Mauritz Vestberg, Vihtavuori. s. 281.
- Vieraslajiportaali 2019. Paimenmatara (*Galium album*). <https://vieraslajit.fi/lajit/MX.39293/show> (luettu 23.9.2019)
- Xie L., Lehvävirta S., Timonen S., Kasurinen J., Niemikapee J. & Valkonen J.P.T. 2018. Species-specific synergistic effects of two plant growth–promoting microbes on green roof plant biomass and photosynthetic efficiency. *PLoS ONE* 13,doi:10.1371/journal.pone.0209432.
- Zahran H.H. 1999. *Rhizobium*-legume symbiosis and nitrogen fixation under severe conditions and in an arid climate. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 63: 968–989.
- Zhou Y., Li X., Gao Y., Liu H., Gao Y.B., van der Heijden M.G.A. & Ren A.Z. 2018. Plant endophytes and arbuscular mycorrhizal fungi alter plant competition. *Functional Ecology* 32: 1168–1179.

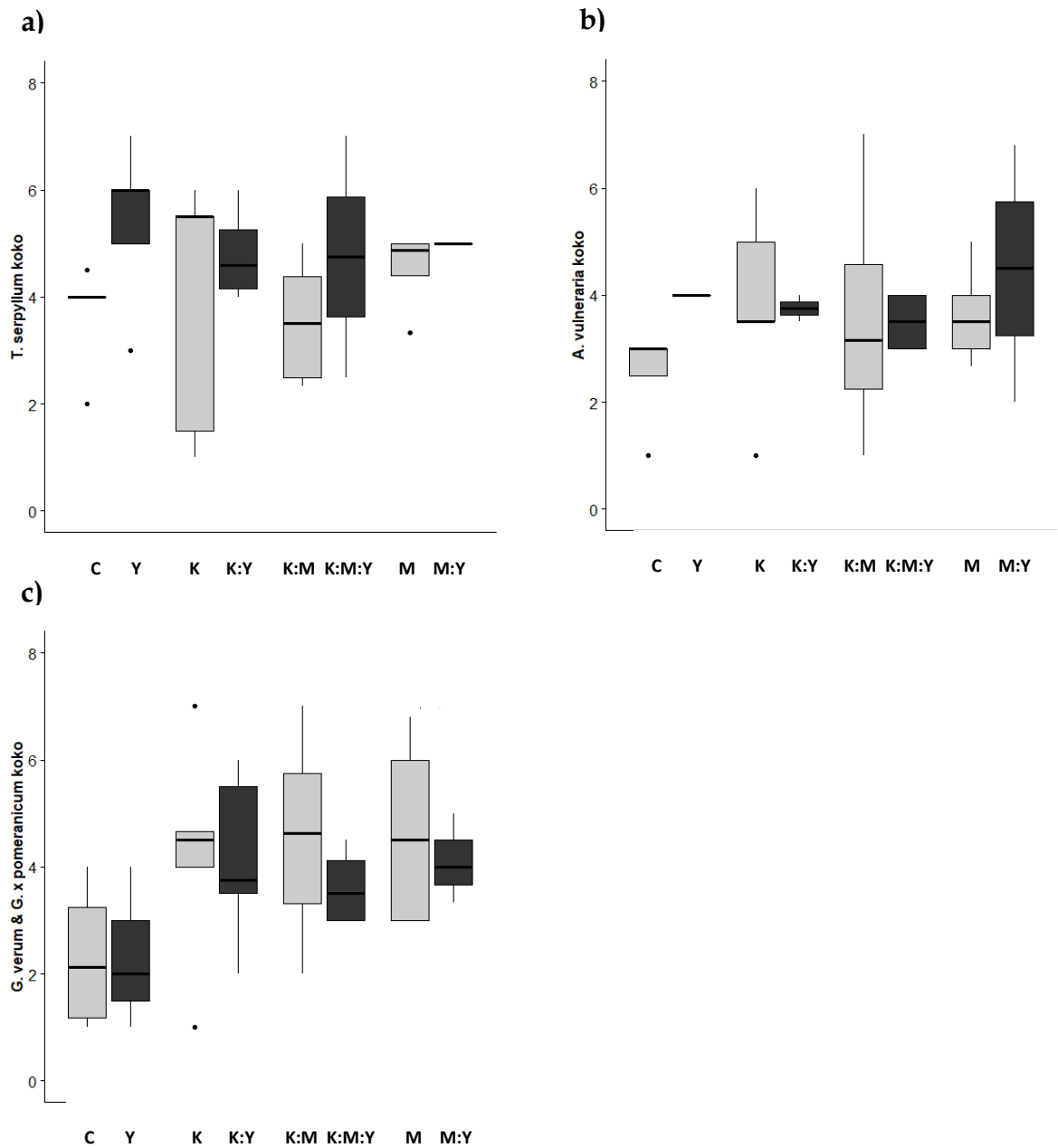
LIITE 1. TAIMIAINEISTON KUVAAJAT



Kuva 1. Laatikko- ja janakaavioissa on kuvattuna kasvilajien a) kangasajuruoho (*T. serpyllum*), b) masmalo (*A. vulneraria*) sekä c) mataroiden (*G. verum* & *G. xpomeranicum*) itävyys (%) käsittely-yhdistelmissä kontrolli C, lisätty kalkki K, keräsieni M, yhteisö Y, kalkki+keräsieni K:M, kalkki+yhteisö K:Y, keräsieni+yhteisö M:Y sekä kalkki+keräsieni+yhteisö K:M:Y. Laatikoiden väri kuvaa yhteisökäsittelyä: vaalea väri merkitsee, että laji on kylvetty yksin ja tumma, että laji on kylvetty yhdessä muiden lajien kanssa. Laatikoiden tummempi poikkiviiva esittää havaintojen mediaanin, laatikon reunat ylä- ja alaneljännestien rajat ja janojen päät suurimmat ja pienimmät arvot. Pisteet esittävät poikkeavan suuret ja pienet arvot.



Kuva 2. Laatikko- ja janakaaviossa on kuvattuna kasvilajien a) kangasajuruoho (*T. serpyllum*), b) masmalo (*A. vulneraria*) ja c) mataroiden (*G. verum* ja *G. xpomeranicum*) peittävyys (%) käsittely-yhdistelmissä kontrolli C, lisätty kalkki K, keräsieni M, yhteisö Y, kalkki+keräsieni K:M, kalkki+yhteisö K:Y, keräsieni+yhteisö M:Y sekä kalkki+keräsieni+yhteisö K:M:Y. Laatikoiden väri kuvaa yhteisö-käsittelyä: vaalea väri merkitsee, että laji on kylvetty yksin ja tumma, että laji on kylvetty yhdessä muiden lajien kanssa. Laatikoiden tummempi poikkiviiva esittää havaintojen mediaanin, laatikon reunat ylä- ja alaneljännesten rajat ja janojen päät suurimmat ja pienimmät arvot. Pisteet esittävät poikkeavan suuret ja pienet arvot.



Kuva 3. Laatikko- ja janaaaviossa on kuvattuna kasvilajien a) kangasajuruoho (*T. serpyllum*), b) masmalo (*A. vulneraria*) sekä c) mataroiden (*G. verum* ja *G. xpomeranicum*) taimien keskimääräinen koko käsittely-yhdistelmissä kontrolli C, lisätty kalkki K, keräsieni M, yhteisö Y, kalkki+keräsieni K:M, kalkki+yhteisö K:Y, keräsieni+yhteisö M:Y sekä kalkki+keräsieni+yhteisö K:M:Y. Laatikoiden väri kuvaa yhteisö-käsittelyä: vaalea väri merkitsee, että laji on kylvetty yksin ja tumma, että laji on kylvetty yhdessä muiden lajien kanssa. Laatikoiden tummempi poikkiviiva esittää havaintojen mediaanin, laatikon reunat ylä- ja alaneljännesten rajat ja janojen päät suurimmat ja pienimmät arvot. Pisteet esittävät poikkeavan suuret ja pienet arvot.