

Pro Gradu –tutkielma

**Komealupiinin (*Lupinus polyphyllus*)
levittäytymiskyky ja taimien kasvuun vaikuttavat tekijät**

Anna Nieminen ja Paula Rantanen



Jyväskylän yliopisto

Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Ekologia ja evoluutiobiologia (A.N.)

Ekologia ja ympäristöhoito (P.R.)

26.3.2012

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta

Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Ekologia ja ympäristönhoito/Ekologia ja evoluutiobiologia

NIEMINEN, A. ja

RANTANEN, P. : Komealupiinin (*Lupinus polyphyllus*) levittäytymiskyky ja taimien kasvuun vaikuttavat tekijät

Pro Gradu –tutkielma: 34 s.

Työn ohjaajat: FT Leena Lindström, FT Anne Lyytinen, FT Elisa Vallius

Tarkastajat: Prof. Janne Kotiaho, Prof. Mikko Mönkkönen

Maaliskuu 2012

Hakusanat: itäminen, maaperän pH, siementen leviäminen, tienvarret, valoisuusolosuhteet, vieraslajit

TIIVISTELMÄ

Kasvit voivat levittäytyä joko ulkopuolisen voiman, kuten eläinten, tuulen/veden mukana, tai ilman ulkopuolista apua. Monet kasvit muodostavat maaperään siemenpankin dormanssissa olevista siemenistä, mikä estää siementen itämisen epäsuotuisissa olosuhteissa. Täten siemenpankin avulla tapahtuva levittäytyminen voi käynnistyä, kun itämiseen ja taimien kasvuun vaikuttavat tekijät kohtaavat. Pro gradu -tutkimuksemme selvitimme laajalle levinneen vieraslajin, komealupiinin (*Lupinus polyphyllus*) levittäytymiskykyä ja kuinka liikenne vaikuttaa siihen. Lisäksi tutkimme, kuinka maaperän pH tai kasvuympäristön valoisuus vaikuttavat lupiinin kasvuun ja siten sen kykyyn päästä uusille alueille. Toteutimme maastotutkimuksemme Keski-Suomessa maanteiden ja pyöräteiden varrella keväällä ja kesällä 2011. Tutkimme lupiinin levittäytymistä 25 tutkimusalueella, joista kerättiin siemeniä eri etäisyyksiltä pääesiintymästä. Ensimmäinen ruutu (50*50 cm²) sijaitsi esiintymän keskellä, kaksi reunoilla ja kolme etäisyyksillä (2 m, 5 m ja 10 m) molempiin suuntiin esiintymän reunoista. Lisäksi kontrollialueena toimi 6 lupiinitonta aluetta (3 ruutua (50*50 cm²), 10 m:n etäisyydellä toisistaan). Mittasimme tutkimus- ja kontrollialueilla maaperän pH:n testataksemme voisivatko erot alueiden välillä selittää lupiinin esiintymiseroja. pH oli kuitenkin sama kaikilla alueilla. Kasvatuskokeessa testasimme, kuinka valo ja kasvualusta vaikuttavat lupiinin kasvuun. Lupiinin taimia (n = 80) kasvatettiin 2 eri kasvualustalla (multa, turve) 2 eri pH:ssa (multa: 6.5, 7.6; turve: 4, 7.4) joko varjossa tai valossa 58 vuorokautta. HavaitSIMME tutkimuksemme, että suurin osa siemenistä oli esiintymän keskellä ja reunoilla ja levittäytyi vain noin 2 metrin päähän. Liikenne tai siementen paino ei vaikuttanut levittäytymissuuntaan eikä -etäisyyteen. Kasvatuskokeessamme lupiinin taimet kasvoivat parhaiten mullassa (pH 6.5) ja huonoiten turpeessa (pH 4). pH:ssa 6,5 (multa) kasvaneet taimet olivat pidempiä ja painavampia sekä niiden lehdet olivat isompia ja niitä oli enemmän valossa kuin varjossa kasvaneilla taimilla. Sen sijaan pH:ssa 4 (turve) kasvaneet taimet olivat lyhyempiä ja lehdet olivat pienempiä valossa kuin varjossa kasvaneilla taimilla. Valon määrä ei vaikuttanut pH:ssa 4 kasvaneiden taimien painoon eikä lehtien määrään. Parhaan kasvualustan pH oli 6.5 (multa), mikä vastasi hyvin teiden varsien maaperän pH:ta. Tutkimuksemme perusteella lupiinin levittäytymistä voivat kuitenkin rajoittaa sekä erittäin hapan että emäksinen maaperä, varjoisa ympäristö ja lupiinin lyhyt levittäytymisetäisyys. Tuloksiamme voidaan mahdollisesti hyödyntää lupiinin levittäytymisen ehkäisemisessä.

UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ, Faculty of Mathematics and Science

Department of Biological and Environmental Science

Ecology and Environmental Management/ Ecology and Evolutionary Biology

NIEMINEN, A. and

RANTANEN, P.: Dispersal in Garden lupin (*Lupinus polyphyllus*) and factors that affect the growth of seedlings

Master of Science Thesis: 34 p.

Supervisors: PhD Leena Lindström, PhD Anne Lyytinen, PhD Elisa Vallius

Inspectors: Prof. Janne Kotiaho, Prof. Mikko Mönkkönen

March 2012

Key Words: dispersal of seeds, germination, invasive species, light conditions, roadsides, soil pH

ABSTRACT

Seeds can be dispersed by some animals, wind/water or without any external force to disperse seeds. Multiple plant species can also form a soil seed bank of dormant seeds which don't germinate under unfavorable conditions. Thus dispersal through seedbanks can happen when factors that affect germination and growth of seedlings are met. The aim of our thesis was to investigate dispersal ability of a wide spread invasive garden lupine (*Lupinus polyphyllus*) and how the traffic affects it. In addition, we investigated how the soil pH and habitat's light conditions affect lupine's growth and thus its ability to invade new areas. The field study was conducted in Central Finland on offside of roads and bicycle paths in spring and summer 2011. We assessed the dispersal of lupine from 25 research areas, from which seeds were collected from different distances to the main occurrence area. First plot (50*50 cm²) was located in the middle of the lupine area, two on both sides of the occurrence, and three plots at different distances (2 m, 5 m and 10 m) from the both edges. We also studied six control areas without lupine (3 plots (50*50 cm²), 10 m apart). We measured the soil pH from both research and control areas to test if differences among the areas could explain differences in lupine's occurrence but the pH was the similar in all of our areas. In the growing experiment we tested how light and growth medium affect growth of lupine. Lupine seedlings (n = 80) were grown on 2 different growth media (soil and peat) in 2 different pH values (soil: 6.5, 7.6; peat: 4, 7.4) under shade or light conditions for 58 days. Our results showed that most seeds were located just in the middle and at the edges of the occurrence and dispersal was only about 2 meters. Traffic or seed weight did not affect the direction or distance of the spread. The plants grew best in soil (pH 6.5) and the worst in peat (pH 4). The plants in pH 6.5 (soil) were taller, heavier, had bigger leaves and had more leaves in the light than in the shadow, while the plants in peat were shorter and had smaller leaves in the light than in the shadow. The amount of the light had no effect on the biomass and number of leaves of seedlings in peat treatment. The pH of the best growth medium was 6,5 (soil) which corresponded well with the roadside pH. Based on our results the spread of lupine, however, can be restricted by both acidic and alkaline soil, shady environment and short spreading distance. This information from our study might be useful when trying to prevent the spread of lupine.

Sisältö

1. JOHDANTO	5
2. AINEISTO JA MENETELMÄT	8
2.1. Tutkimuslaji: Komealupiini (<i>Lupinus polyphyllus</i>)	8
2.2. Maastotutkimus	9
2.2.1. Tutkimusalueet	9
2.2.2. Aineiston keruu	11
2.3. Kasvatuskoe	12
2.4. Tilastollinen analysointi	15
2.4.1. Maastotutkimus	15
2.4.2. Kasvatuskoe	15
3. TULOKSET	16
3.1. Maastotutkimus	16
3.2. Kasvatuskoe	19
3.2.1. Taimien pituus	19
3.2.2. Taimien versojen ja juurien paino	20
3.2.3. Lehtien määrä	22
3.2.4. Lehtien koko	23
4. TULOSTEN TARKASTELU	25
Työnjako	30
Kiitokset	30
Kirjallisuus	30

1. JOHDANTO

Levittäytymisellä tarkoitetaan yksilön liikkumista synnyinpaikaltaan pois (Clobert ym. 2001, Bullock ym. 2002) paikkaan, jossa yksilöt lisääntyvät (Howard 1960), sekä liikkumista populaatioiden välillä (Bilton ym. 2001). Levittäytyminen voi olla joko aktiivista, jossa eliöillä on liikkumiseen liittyviä käyttäytymistekijöitä tai ulkopuolisen voiman avulla tapahtuvaa passiivista levittäytymistä (Begon ym. 1996). Yleisesti siemenkasvit levittäytyvät siementen kasvusta irtoamisen jälkeen sekundäärisesti mm. hyönteisten, jyrsojen tai abioottisten tekijöiden kuten tuulen (Howe 1989, Bilton ym. 2001) tai veden kuljettamana (van der Pijl 1972). Myös ihminen voi aiheuttaa samankaltaisia vaikutuksia kuin tuuli tai eläimet: autojen ilmavirtausten tiedetään kuljettavan siemeniä mukanaan kauemmaksi ja autojen renkaisiin tai ihmisten kenkiin voi tarttua siemeniä, jotka päätyvät kauaksi alkuperäisestä lähtöpaikastaan (Schmidt 1989, Garnier ym. 2008).

Ilman sekundääristä leviämistä siemenet jäävät hyvin lähelle emokasvia (Masaki ym. 1994) ja emokasvin läheisyydessä niillä on suurempi riski kärsiä patogeeneista, siemenpredaatiosta, herbivoriasta ja lajin sisäisestä kilpailusta (Janzen 1970, Howe & Smallwood 1982, Howe 1989). Useilla kasvilajeilla on erillisiä siementen leviämistä edistäviä sopeumia (Howe 1989), kuten erilaisia haituvia tai siivekkeitä siemenen ulkopinnalla (Augsburger 1986, Willson 1993). Siementen ulkomuodosta ei kuitenkaan aina voida suoraan päätellä sen leviämistapaa, ja samalla lajilla voi olla eri tavalla levittäytyviä siemeniä (Howe & Smallwood 1982). Kaikki kasvit eivät myöskään käytä ulkopuolista apua siementen levittämiseen, vaan niiden siemenkodan rakenne voi olla sellainen, että siemenet lentävät kodan hajotessa paineen vaikutuksesta (Willson 1993), kuten komealupiinilla (*Lupinus polyphyllus*) (Saarinen ym. 2006).

Levittäytymistavasta riippumatta levittäytyminen on tärkeä ominaisuus kasvien selviytymiselle (Neuhauser 1998). Levittäytymisen kehittymistä edistäviä tekijöitä onkin monia (Clobert ym. 2001). Levittäytymisen avulla voidaan mm. päästä pois epäsuotuisasta tilasta (Howe & Smallwood 1982) ja välttää siten kilpailua asuttamalla kilpailusta vapaampia habitaatteja (Howard 1960, Lidicker 1962). Levittäytymällä kasvit pystyvät myös välttämään läheistä sukua olevien yksilöiden lisääntymistä keskenään (Clobert ym. 2001) ja saamaan geneettisesti vaihtelevia jälkeläisiä (Lidicker 1962). Lisäksi habitaatien pirstoutuminen aiheuttaa eliöiden populaatioiden alueellista eriytymistä ja metapopulaatioiden muodostumista (Travis ym. 1999), jolloin yksilöiden levittäytymiskyvyn merkitys kasvaa. Levittäytymällä voidaan yhdistää näitä erillisiä alapopulaatioita (Travis & Dytham 1998) ja laajentaa muutenkin elinaluetta (Comins ym. 1980).

Ihmiset voivat vaikuttaa lajien levittäytymiseen välillisesti aiheuttamalla populaatioiden eriytymistä habitaatien pirstoutumisella (Travis ym. 1999, Thomas 2000). Lisäksi ihmiset voivat vaikuttaa lajien levittäytymiseen myös suoraan (Crawley 1997). Tällaisia usein ihmisten toiminnan seurauksena ja voimakkaasti levittäytyviä lajeja kutsutaan vieraslajeiksi (Crawley 1997). Ihminen on levittänyt kasveja, joko tahallisesti, tuomalla ulkomailta puutarhakasveja, jotka ovat levinneet luontoon tai tahattomasti mm. laivojen ja junien mukana. Ihminen aiheuttaa toiminnallaan myös erilaisia häiriöitä ympäristöön luoden avoimia laikkuja habitaatteihin, jolloin syntyy tilaa uusien lajien leviämiselle (Baker 1965, Maron & Connors 1996, Vitousek ym. 1996). Vieraskasvilajit levittäytyvät lähinnä habitaatteihin, jotka ovat sukkession alkuvaiheessa (Baker 1965, Thiele ym. 2010). Ne asuttavat useimmin tienvarsia tai muita ihmisvaikutuksen alaisia alueita (Dukes & Mooney 1999, Huston 2004, Flory & Clay 2009). Vieraslajeja

tavataankin yleensä vähemmän metsäisissä habitaateissa kuin avoimemmilla alueilla, koska metsässä selviytymisestä huolimatta vieraslajien kasvu on hitaampaa siellä kuin muissa habitaateissa (Dukes & Mooney 1999, Huston 2004, Flory & Clay 2009).

Sukcession vaiheen ja häiriöiden määrän lisäksi eliöiden invaasiokykyyn vaikuttavat ennen kaikkea resurssien saatavuus ja niiden vaihtelut (Davis ym. 2001). Yhteisö on sitä alttiimpi invaasioille, mitä enemmän siellä on käyttämättömiä ravinteita. Lajien kyky levittäytyä uusille alueille ei siis ole lajille vakio, vaan vaihtelee ajassa riippuen yhteisön ravinteiden ja niitä kuluttavien lajien määrästä (Davis ym. 2001). Häiriöt taas voivat lisätä ravinteiden määrää ja sitä kautta lajien invaasioita (D'Antonio 1993). Vieraslajit pystyvät asuttamaan parhaiten yhteisöjä, jotka ovat vähätuottoisia ja vähähäiriöisiä tai tuottavia ja runsashäiriöisiä (Huston 2004).

Vieraslajit eivät kuitenkaan aina onnistu levittäytymään ja kotoutumaan uusille alueille. Yhtenä syynä tähän pidetään yhteisön bioottista resistenssia, jolloin alkuperäiset lajit ovat monimuotoisessa yhteisössä vahvempia kilpailijoita kuin vieraslajit (Elton 1958, Hector ym. 2001, Maron & Vila 2001). Yhteisöt ovat sitä vastustuskykyisempiä invaasioille, mitä suurempi lajiversiteetti niissä on (Elton 1958, Hector ym. 2001). Kilpailu voi vaikuttaa invaasiokykyyn jo taimivaiheessa heikentäen taimien selviytymistä ja kasvua yhteisössä (D'Antonio 1993). Vahva biologinen resistenssi on mahdollisesti yksi syy siihen, miksi monet vieraslajit elävät ihmisten muokkaamissa elinympäristöissä (Elton 1958). Laajemman mittakaavan levittäytymisen esteenä taas on usein ilmastolliset tekijät, jotka estävät lajia levittäytymästä olosuhteisiin, joihin ne eivät ole sopeutuneet (Levine 2008).

Se osa vieraslajeista, jotka levittäytyvät erittäin tehokkaasti ja aiheuttavat jonkinlaista haittaa ympäristölleen, luokitellaan haitallisiksi vieraslajeiksi (Vitousek ym. 1996, Mack ym. 2000, Työryhmämuistio MMM 2011). Haitalliset vieraslajit ovat vakava uhka luonnon monimuotoisuudelle, koska ne voivat vaikuttaa kotoperäisten lajien levinneisyyteen ja runsauteen (Bertness 1984, Porter & Savignano 1990, Valtonen ym. 2006, Thiele ym. 2010). Tehokkaan leviämisen lisäksi haitallisten vieraslajien siementen täytyy onnistua myös itämään ja taimien kasvamaan, jotta vieraslaji vakiintuisi uudella alueella. Levittäytymisen jälkeiset abioottiset tekijät vaikuttavat siementen itämiseen ja siten kasvien esiintymiseen (Bouwmeester & Karssen 1992). Jokaisella lajilla on omat vaatimukset itämiselle sekä taimien kasvulle (Fenner 1985). Jos olosuhteet ovat siemenen itämiselle huonot, siemen voi mennä lepotilaan eli dormanssiin eikä uusia taimia synny. Siementen dormanssi estää itämisen huonoissa olosuhteissa, mutta dormanssi rikkoutuu ja itäminen tulee taas mahdolliseksi, kun olosuhteet esim. häiriöiden takia muuttuvat kyseisen lajin itämiselle sopivammiksi (Levin 1990, Willson 1993, Scott 2008). Dormanssi on kasville yksi tapa pidentää levittäytymisaikaa, jona siemen voi kulkeutua ulkoisten tekijöiden vaikutuksesta pois emokasvin luota ennen kuin alkaa itää (Willson 1993, Scott 2008). Maaperään kertyneitä dormanssissa olevia siemeniä kutsutaan maaperän siemenpankiksi. Voimakkaasti levittäytyvät ja uusia alueita valtaavat kasvit muodostavat eniten siemenpankkeja ja vieraslajeilla siemenpankki voi olla uudessa elinympäristössä suurempi kuin alkuperäisellä alueella (Fenner 1985, Lonsdale ym. 1988, Noble 1989). Lisäksi siemenet voivat säilyä itämiskykyisinä useita kymmeniä vuosia (Otte ym. 2002), joten kasvien esiintymisestä ei voida suoraan päätellä lajin todellista levittäytymistä uudelle alueelle.

Se miten maaperän ominaisuudet, kuten ravinteet ja pH vaikuttavat kasvien kasvuun itämisen jälkeen riippuu kasvilajista (Scott 2008). Vaikka pH:n sietoraja vaihtelee kasvilajien välillä, hyvin harvat kasvit luonnossa kasvavat alle 4,5 pH:ssa ja useimmille kasveille maaperä muuttuu myrkylliseksi pH:n laskettua alle kolmen (Begon ym. 1996). Jo alle 5 pH:ssa bakteerien toiminta heikkenee, mikä vähentää orgaanisen aineen hajoamista

maaperässä, heikentää osmoregulaatiota, entsyymitoimintaa ja anaerobista toimintaa (Etherington 1975, Fitter & Hay 1987, Begon ym 1996). Matala pH lisää metallien liukoisuutta (Etherington 1975, Begon ym 1996), mikä aiheuttaa myös muiden ravinteiden, kuten fosfaattien, vähenemistä maaperässä (Etherington 1975, Begon ym. 1996). Kasvit, jotka puolestaan viihtyvät happamassa maaperässä, kärsivät tavallisesti ravinteiden puutteesta emäksisessä maaperässä (Lehto 1994). Maaperän ominaisuuksien lisäksi myös valo vaikuttaa oleellisesti kasvien kasvuun mm. nostamalla fotosynteesiastetta (Townsend ym. 2003). Lisäksi esimerkiksi kasvien lehtien muoto vaihtelee valon määrän mukaan.

Halusimme tutkimuksessamme yhdistää leviämisen ja levittäytymiskyvyn ja siksi selvitimme, miten kauaksi komealupiini leviää yksittäisestä esiintymästä ja onko liikenteellä vaikutusta siementen levittäytymisestääsiyyteen tai -suuntaan esiintymästä. Selvitimme lupiinien levittäytymiskykyä siemenpankinäytteiden perusteella. Keräsimme lupiinin siemeniä esiintymän reunasta yli 2 m etäisyydeltä, koska aiemmassa tutkimuksessa (Jantunen ym. 2005) lupiinin siementen levittäytymistä ei ole tutkittu näin etäällä esiintymästä. Jantunen ja muiden (2005) tutkimuksen mukaan lupiinin siemenet sinkoutuivat pisimmillään 1,7 m päähän kukinnosta. Tämän perusteella odotuksenamme oli, että esiintymän sisäpuolelta ja sen läheisyydestä (1,7 m säteellä) löytyisi eniten siemeniä. Vaikka lupiinin tiedetään leviävän melko lyhyitä etäisyyksiä (Saarinen ym. 2006), niin mahdollisista habitaatin ominaisuuksien ja liikenteen vaikutuksista lupiinin leviämiseen ei ole tietoa. Arvelimme, että lupiinilla on joitain levittäytymistä edistäviä ulkopuolisia tekijöitä, koska se lyhyestä levittäytymisestääsiyydestään huolimatta on levittänyt voimakkaasti laajoille alueille etenkin tien varsilla. Siemenet voivat kulkeutua auton renkaiden tai ohiajavista autoista tulevan ilmapvirtauksen mukana (Schmidt 1989, Garnier ym. 2008), joten hypoteesinamme oli, että etenkin tien liikennöintisuunnasta löytyisi siemeniä enemmän ja kauempaa kuin liikennöintisuuntaa vastaan olevasta suunnasta.

Siementen levittäytymisen lisäksi tutkimme, vaikuttavatko maaperän pH ja valoisuus lupiinin kasvuun, koska lupiinia tavataan harvoin metsässä ja metsämaahan on yleensä hapanta (Etherington 1975). Lisäksi lupiinia esiintyy harvemmin alueilla, joiden maaperän pH on korkea (Peiter ym. 2001), joten erot maaperän happamuudessa voisivat mahdollisesti selittää eroa lupiinin esiintyvyydessä eri alueiden välillä. Valo voi olla myös pH:n ohella tekijä, joka vaikuttaa lupiinin kasvuun, koska lupiinin arvellaan viihtyvän aukeilla ja valoisilla paikoilla (Peiter ym. 2001). Valon odotetaan edistävän taimien kasvua (Begon ym 1996), koska tehokas typensitomiskyky vaatii paljon energiaa, eikä lupiini siten voisi menestyä varjossa (Sprent 1973). Maaperän happamuus ja erilaiset valoisuusolot saattavat myös vaikuttaa eri tavoin taimien eri osien kasvuun, joten tarkastelimme taimien pituutta, painoa, lehtien kokoa ja määrää erikseen. On mahdollista, että taimet kasvavat huonoissakin kasvuoloissa, mutta hyvässä maaperässä kasvi todennäköisemmin kasvattaa myös enemmän lehtiä kuin huonossa maaperässä. Lehtien määrä saattaa kertoa myös siitä, miten kasvi on sopeutunut tiettyihin valo-olosuhteisiin, koska usein varjossa kasvaessaan kasvit panostavat lehtien kasvuun (Jones & McLeod 1990, Groninger ym. 1996, Alvarenga ym. 2003, Hoffmann & Franco 2003). Erot versojen ja juurien painossa eri kasvualustoilla ja valoisuusoloissa saattaisivat taas kertoa lupiinin keskittävän resurssejaan vain jomman kumman (verso, juuret) kasvuun eri kasvuoloissa. On havaittu, että varjossa kasvaessaan kasvit panostavat mahdollisesti enemmän verson kuin juuren kasvuun sekä kasvattavat suurempia lehtiä ja pidemmän verson parantaakseen mahdollisuuksiaan päästä valoisampaan ympäristöön ja maksimoidakseen fotosynteesipinta-alan (Jones & McLeod 1990, Groninger ym. 1996, Alvarenga ym. 2003, Hoffmann & Franco 2003). Lehtien koon tarkastelu taas oli oleellista, koska huonoissakin oloissa lehtiä saattaisi olla paljon, mutta ne olisivat pienempiä. Täten lehtien koko selittäisi paremmin sitä, millaisissa kasvuoloissa

(valo, pH) taimet kasvaisivat paremmin ja mikä taas mahdollisesti estäisi tehokasta kasvua. Odotimme lupiinin siis kasvavan huonosti korkeissa pH-pitoisuuksissa ja toisaalta matalassa pH:ssa ollessaan varjossa (Peiter ym. 2001). Tulosten avulla toivomme löytävämme uusia keinoja torjua lupiinin levittäytymistä.

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

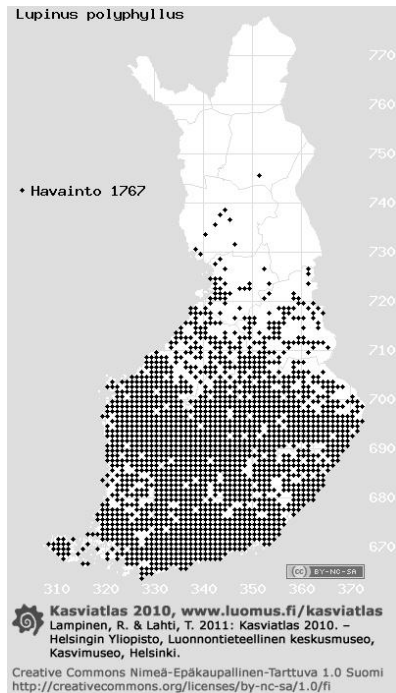
2.1. Tutkimuslaji: Komealupiini (*Lupinus polyphyllus*)

Komealupiini (*Lupinus polyphyllus*) on hernekasvien (Fabaceae) heimoon kuuluva (Lampinen & Lahti 2010) kookas, monivuotinen ja myrkyllinen kasvi, jonka vankan ja tavallisesti haarattoman varren pituus vaihtelee 60–100 cm (Hämet-Ahti ym. 1998). Lupiinin kukinto on varren latvassa oleva pitkä terttu, jonka väri on useimmiten sininen, mutta vaihtelee joskus punaisesta jopa valkoiseen tai kirjavaan (Hämet-Ahti ym. 1998). Lupiini ei kuki ensimmäisenä vuotena, vaan ainoastaan lehtiruusu kehittey. Kuitenkin heti seuraavana kesänä se kukkii kesäkuulta elokuun loppuun (Saarinen ym. 2006).

Yhden lupiinin kukinto voi tuottaa jopa yli tuhat siementä (Saarinen ym. 2010), ja siemenet voivat säilyä itämiskykyisinä yli 50 vuotta (Otte ym. 2002). Lupiinin siemenet ovat pallomaisia eikä niillä ole liito-ominaisuuksia (Saarinen ym. 2006), mutta ne voivat levitä siemenpallon revetessä ainakin 1,7 metrin päähän (Jantunen ym. 2005, Saarinen ym. 2006). Lupiinin siemenet voivat kulkeutua ajoneuvojen mukana, maansiirron tai muiden ihmistoimintojen seurauksesta (Fremstad 2006). Siemenet kypsyvät myöhään kesällä tai aikaisin syksyllä (Fremstad 2006).

Lupiini on kotoisin Pohjois-Amerikan länsiosista (Fremstad 2006), missä sen luontainen elinalue kulkee Kaliforniasta Alaskaan (Aniszewski 1998). Lupiini pystyy kasvamaan monenlaisissa ilmasto-oloissa sekä pohjoisella että eteläisellä pallonpuoliskolla (Aniszewski 1998). Lupiinia on tuotu Eurooppaan jo 1800-luvulla (Fremstad 2006) ja se on kotiutunut laajalle alueelle. Euroopassa sitä on viljelty koristekasvina, mutta myöhemmin myös muihin tarkoituksiin, erityisesti maaperän parantamiseen ja rehuksi koti- ja villieläimille (Fremstad 2006).

Suomessa lupiini on yleinen, vakiintunut vieraslaji (Fremstad 2006), jota tavataan Etelä-Suomesta Kainuuta ja Oulun seutua myöten (Kuva 1). Lupiini jatkaa levittäytymistään edelleen, mitä Suomessa mahdollisesti edesauttavat sopivat ilmasto-olot, lupiinin tehokas typensitomiskyky ja hyvä kuivuudensietokyky (Saarinen ym. 2006). Lupiini voi kasvaa jopa juoksevilla hiekalla vahvojen juurtensa avulla, mutta pääasiassa se menestyy vain muokatuilla mailla (Saarinen ym. 2010). Lupiinin yleisimpiä kasvupaikkoja ovat hiekkaiset tienvarret, sorakuopat ja joutomaat (Mossberg & Stenberg 2003). Lupiinin on sanottu suosivan enemmän happamia maaperiä kasvualustanaan kuin kovin kalkkipitoista tai emäksistä maaperää (Peiter ym. 2001). Maaperää rehevöittävä lupiini sitoo tyypeä suoraan ilmasta juurinyströillä elävien bakteerien avulla ja uhkaa monia vähäravinteisessa maassa viihtyviä niitty- ja laidunkasveja (Saarinen ym. 2010).



Kuva 1. Lupiinin levinneisyysalue Suomessa vuonna 2010 (Lampinen & Lahti 2011).

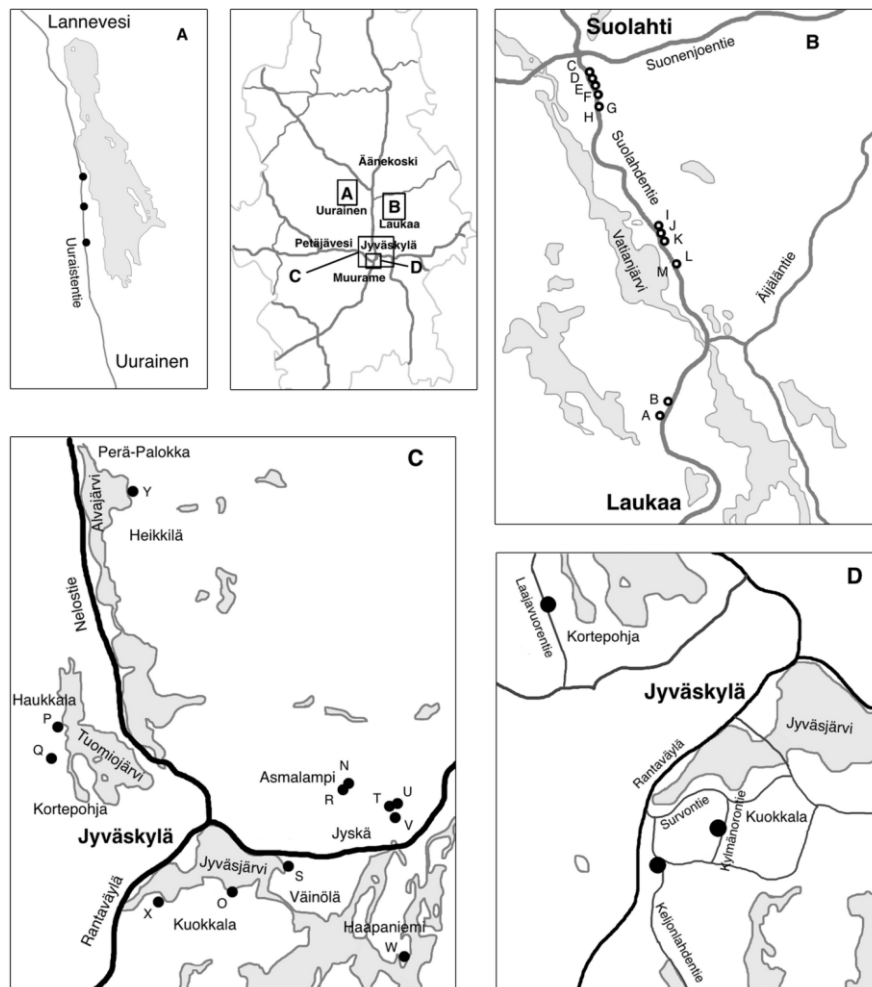
2.2. Maastotutkimus

2.2.1. Tutkimusalueet

Toteutimme tutkimuksemme Keski-Suomessa maanteiden varsilla Laukaan Kuusassa ja Uraisilla sekä pyöriteiden varsilla Jyväskylässä (Kuva 2). Laukaassa ja Uraisilla tutkimusalueet olivat autoteiden varsilla, joissa liikennöintiä oli 351–1 500 ajoneuvoa/vuorokausi (Urainen) ja 1 501–3 000 ajoneuvoa/vuorokausi (Laukaa) (Liikennevirasto 2011) ja Jyväskylän alueella pyöriteiden varsilla, jossa autot eivät ole vaikuttaneet lupiinin siementen leviämiseen. Näin pystyimme vertaamaan tien liikennöintiä vaikutusta lupiinin siementen levittäytymiseen. Valitsimme tutkimusalueemme myös lupiinin esiintyvyyden suhteen siten, että maantien varrella Laukaan Kuusassa lupiinia esiintyi, mutta Uraisilla ei. Jyväskylän pyöriteiden varsilla meillä oli tutkimusalueita paikoilta, joissa lupiinia esiintyi sekä joissa sitä ei esiintynyt.

Lupiinin esiintymäalueilta valitsimme Laukaasta 13 koaluetta (tutkimusalueet A-M) (Kuva 2B) ja Jyväskylän kaupungin alueelta 12 aluetta (N-Y) (Kuva 2C). Tutkimusaloiksi valitsimme lupiiniesiintymiä, jotka olivat selkeästi toisista esiintymistä erillään, samankokoisia ja yhtä tiheitä (Taulukko 1), jotta nämä tekijät eivät vaikuttaisi siementen levittäytymiseen. Toisistaan selvästi erillisiä ja toisiinsa nähden suhteellisen saman kokoisia lupiiniesiintymiä oli vaikea löytää, joten esiintymät valittiin mukaan jos ne täyttivät suunnilleen kriteerit: erillään olevat esiintymät ja maksimissaan 100 m pitkä esiintymä. Koska Laukaan tiellä oli paljon sopivaksi katsomiamme esiintymiä valitsimme kaikki maantie esiintymät sieltä, etteivät yksittäiset esiintymät muilta alueilta vaikuttaisi aineistoon poikkeavasti. Lisäksi Uraisilta (Kuva 2A) ja Jyväskylältä (Kuva 2D) valitsimme kustakin 3 aluetta, joissa lupiinia ei esiintynyt. Samoin nämä alueet valikoituivat mukaan siksi, että ne olivat ainoita alueita, joista löysimme pitkiä matkoja tien vartta, jossa ei esiintynyt lainkaan lupiinia. Uraisilta valikoimme maantienvarsilta ei-lupiinalueet (n = 3), joiden keskeltä lupiiniesiintymään oli vähintään 1,5 km ja etäisyys toisiinsa 1,3 km ja 1 km. Jyväskylässä pyöriteiden varsilla ei-lupiinalueiden (n = 3) etäisyys lupiiniesiintymään oli lyhyempi (vähintään n. 200 m).

Maaperä tutkimuspaikoissamme maanteiden varsilla vastasi hyvin kuivaa metsämaata. Tienpientareilla kasvoi useilla alueilla runsaasti pieniä kuusen tai koivun taimia. Kasvillisuus oli useimmilla tutkimusalueilla muuten varsin niukkaa ja joko heinän tai sammalen valtaamaa lupiinien lisäksi. Pyörätiealueilta löytyi yksittäisiä maanteitä paljon rehevämpiä, hyvin heinäisiä alueita. Maaperä oli myös paikoin hyvin kuivaa. Lisäksi maaperä oli pyörätiealueilla erilaista verrattuna maantiealueisiin. Soraisuus oli pyörätiealueilla hyvin yleistä, mikä yhdistyi myös kuivaan maahan ja niukkaan kasvillisuuteen. Alueet, joilla ei esiintynyt lupiinia, eivät eronneet lupiiniesiintymäalueista kasvilajistoltaan selkeästi. Tätä muuta kasvillisuutta arvioimme silmämääräisesti ja kirjassimme ylös runsaiten esiintyneet kasvit (Liite 1), koska tutkimuksemme kannalta ei ollut oleellista tietää tarkasti, kuinka paljon yksittäisiä eri lajeja esiintyi lupiinin seurassa, vaan mitkä lajit esiintyvät runsaina ja olivat lupiinin mahdollisia kilpailijoita.



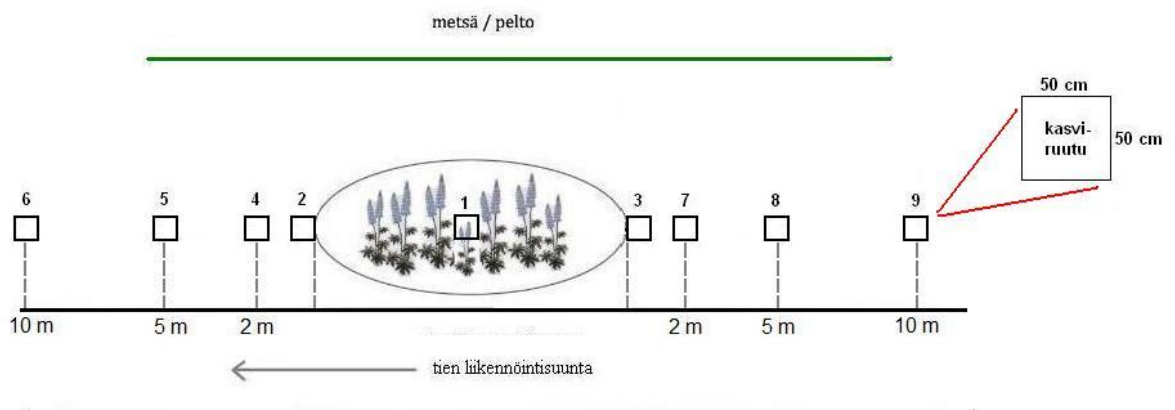
Kuva 2 . Maantien varrella olevat tutkimusalueet, joissa lupiinia esiintyi, ovat kuvassa B (A-M) ja pyörätien varren tutkimusalueet ovat kuvassa C (N-Y). Tutkimusalueet A-M (n = 13) sijaitsivat Laukaan Kuusassa Suonenjoentien ja Suolahdentien risteyksestä Laukaaseen päin vievän maantien varrella (Kuva B). Tutkimuspaikat N-Y (n = 12) sijaitsivat enemmän hajallaan ympäri Jyväskylää. Tutkimuspaikat T, U ja V sijaitsivat Vaajakoskella (n = 3), paikat N ja R Asmalammella (n = 2), paikka W Noukanniemen vierassatamassa, Vaajakosken Haapaniemessä (n = 1), paikka S Viherlandian läheisyydessä (n = 1), paikka O Kuokkalassa rantaraitilla lähellä siirtolapuutarhaa (n = 1), paikka X Survontielle Ylistön rinteiden läheisyydessä (n = 1), paikat P ja Q Haukkalassa (n = 2) ja Y Palokan Heikkilässä (n = 1) (Kuva C). Maantien varrella olevat tutkimusalueet, joissa lupiinia ei esiintynyt, ovat kuvassa A ja pyörätien varrella esiintyvät tutkimusalueet ovat kuvassa D.

Taulukko 1. Lupiinesiiintymien pituus (m), leveys (m), pinta-ala (m²) ja kaltevuusaste (%). Tutkimusalueita oli maanteiden ja pyöräteiden varsilla.

TUTKIMUSALUEIDEN OMINAISUUKSIA			
Pituus (m)			s.e.
	Maantie (n = 13)	20,7	1,6
	Pyörätie (n = 12)	14,3	2,4
Leveys (m)			
	Maantie (n = 13)	4,8	0,1
	Pyörätie (n = 12)	6,1	1
Pinta-ala (m ²)			
	Maantie (n = 13)	99,4	6,8
	Pyörätie (n = 12)	95,8	30,1
Kaltevuusaste (%)			
	Maantie (n = 13)	45	2
	Pyörätie (n = 12)	-11	10

2.2.2. Aineiston keruu

Lupiinesiiintymistä keräsimme siemeniä touko-kesäkuun aikana (27.5.–8.6.2011), jokaiselta tutkimusalueelta 9 ruudulta (leveys 50 cm, pituus 50 cm). Ruudut sijoitimme niin, että yksi ruutu oli esiintymän keskellä ja yksi sekä esiintymän molemmilla reunoilla että molemmilta reunoilta pois päin 2, 5 ja 10 m:n etäisyydellä. (Kuva 3). Esiintymän ulkopuolella olevien ruutujen keskipiste oli etäisyysmittojen (2, 5 ja 10 m) kohdalla, mutta reunaruu- tujen keskipiste oli 25 cm esiintymän reunasta ulospäin.



Kuva 3. Tutkimusalueilta kerättiin lupiinin siemeniä yhdeksästä ruudusta (koko 50*50 cm²), jotka sijoitettiin kuvan mukaisesti. Keskimmäinen ruutu (1) sijaitsi esiintymän keskellä. Seuraavat ruudut esiintymän kummallakin reuna-alueella (2,3) ja reunasta aina 2 (4,7), 5 (5,8) ja 10 (6,9) metrin etäisyydellä.

Jaoin jokaisen tutkimusalan ruutujen tutkijan arpomalla, jotta siementen kerääjällä ei olisi ollut vaikutusta siihen, paljonko siemeniä löytyi miltäkin etäisyydeltä. Keräsimme talteen kaikki maanpinnalla tai pinnan läheisyydessä (enintään 2 cm:n syvyydessä) silmin havaittavissa olevat siemenet, koska pilottitutkimuksemme mukaan siemeniä oli pääosin karikkekerroksessa, lähellä kiinteän maan pintaa, eikä juurikaan syvemmällä maassa. Annoimme keräämiemme siementen kuivua huoneenlämmössä vuorokaudesta vajaaseen 2 viikkoon riippuen siementen keräämispäivästä. Siementen

kuivuttua punnitsimme kaikki siemenet koeruuduittain ja laskimme tämän perusteella siemenen keskipainon kussakin koeruudussa. Punnitsimme siemenet, koska oletimme kevyempien siementen leviävän kauemmaksi, sillä ne ovat mahdollisesti helpommin tuulen mukana kulkeutuvia. Lisäksi laskimme ruuduilta kaikki lupiinin taimet sekä aikuiset kasvit. Esiintymien ulkopuolella oli myös yksittäisiä lupiiniyksilöitä ja taimia. Näiden määrän kirjassimme ylös juoksumetriren tarkkuudella. Laskimme, paljonko lupiinia esiintyi reunasta 2 metriin, 2 metristä 5 metriin ja 5 metristä 10 metriin. Uusien kasvien sijainnit 10 metristä eteenpäin merkitsimme ylös joko 100 metriin tai seuraavaan esiintymään asti.

Kirjasimme ylös esiintymän ominaisuuksia ja kuvailimme ympäröivää habitaattia, jotka voisivat selittää mahdollisia eroja taimien ja siementen määrien välillä eri alueilla. Mittasimme esiintymän pitoisuuden, leveyden, lupiinikasvuston peittävyuden ja esiintymän etäisyyden seuraavaan esiintymään, jos toinen esiintymä oli alle 100 metrin päässä. Kirjoitimme esiintymistä ylös lupiinin lisäksi myös muutamat runsaimmin esiintyvät kasvit (Liite 1). Lisäksi mittasimme pH:n pH-liuskoilla esiintymästä kolmelta eri koeruudulta (keskeltä ja molemmista suunnista 10 metristä) kolme kertaa kustakin ruudusta. Otimme GPS-sijainnin esiintymän keskeltä ja lisäksi merkitsimme tutkimuspaikat kuitunauhalla tutkimusalueen myöhempää tunnistamista varten, kun lupiinit kukkivat. Kesäkuun lopussa lupiinin kukkiessa kävimme vielä laskemassa kukkivien lupiinin määrän ja esiintymän lupiinin korkeuden. Pyörätien varrella Jyväskylässä oli 2 paikkaa, jotka oli ehditty jo niittää, joten niistä emme saaneet kukkien lukumäärää ja esiintymän korkeutta.

Lupiini leviää tehokkaasti eri paikkoihin, joten halusimme selvittää, miksi sitä ei kuitenkaan esiinny kaikkialla. Siksi tutkimme myös, eroaako lupiinikasvustoalueiden kasvuympäristö ja maaperän pH alueista, joissa lupiinia ei esiinny. Keräsime 10.6. maaperänäytteitä 2 alueelta, joissa lupiinia ei esiintynyt (Urainen, Jyväskylä, Kuva 2 A,D) ja tutkimme, löytyykö niistä mahdollisesti esimerkiksi ajoneuvojen mukana kulkeutuneita, kauaksi esiintymistä levittäytyneitä siemeniä. Jokaiselta kontrollialueelta ($n = 6$) tutkimme $3 \text{ } 50 \times 50 \text{ cm}^2$ kokoista ruutua 10 m:n etäisyydeltä toisistaan mahdollisten siementen löytymiseksi. Lisäksi kirjassimme ylös näiltä alueilta samat ominaisuudet kuin alueilta, joissa lupiinia esiintyi (tien kaltevuus, muut kasvit, varjoisuus/valoisuus, habitaatti, pH). Mittasimme pH:n pH-liuskoilla kontrollialueilla. Tämän lisäksi otimme kustakin ruudusta maaperänäytteen, jonka pH:n mittasimme pH-mittarilla (ISO 10390 – standardin mukaisesti, VWR-ph meter). Näin pystyimme varmistamaan, että pH-liuskoilla saadut arvot olivat samat kuin tarkalla mittarilla.

2.3. Kasvatuskoe

Tutkimme kasvatuskokeessa lupiinin kasvua erilaisessa maaperässä sekä valoisuuden ja pH:n vaikutusta kasvuun. Koe toteutettiin istuttamalla lupiinin taimet ruukkuihin, joiden maaperässä oli eri pH:t. Ruukut sijoitettiin kasvamaan 4 katoksen alle, joissa oli keskenään erilaiset valoisuusolosuhteet (2 valokatosta ja 2 varjokatosta).

Keräsime siemenet ($n = 700$) huhtikuussa kahdelta toisistaan lähellä olevalta alueelta Jyväskylän Kuokkalasta. Säilytimme niitä paperipusseissa ja kylvimme ne kasvihuoneella 4.5.2011 multaan ($\text{pH} = 5,4$) ennen kuin jaoimme taimet eri käsittelyihin. Valitsimme noin 100 itäneestä siemenestä 80 tainta kokeeseen. Jaoimme taimet pitoitensa suhteen viiteen kokoluokkaan (0-1,4, 1,5-2,4, 2,5-3,4, 3,5-4,4 ja 4,5-5,4 cm), joiden perusteella jaoimme taimet tasaisesti jokaiseen käsittelyyn. Taimien alkupituus ei vaihdellut merkitsevästi eri valoisuus ja pH-käsittelyssä (yhdysvaikutus: 1-ANOVA: $F_{3,72} = 0,338$, $P = 0,798$, valon vaikutus: $F_{1,72} = 0,173$, $P = 0,679$, pH:n vaikutus: $F_{3,72} = 0,988$, $P = 0,404$).

Kasvualustana käytimme multaa (pH ennen kalkin lisäystä 5,4) ja turvetta (pH ennen kalkin lisäystä 4), joiden pH:ta muutimme kalkin avulla. Lisäsime 20 litraan turvetta ja multaa 160 g kalkkia, kastelimme seokset ja annoimme kalkin imeytyä 12 päivää ennen

seosten jakamista ruukkuihin. Kalkittuun turpeeseen lisäsimme lisäksi (Kemiran) rakeista NK-lannoitetta 20 g. Ei-kalkittuun turpeeseen emme muistaneet lisätä lannoitteita. Mullassa ravinteet olivat jo valmiina. Kalkitun turpeen pH nousi aluksi noin 6:een ja kalkitun mullan pH oli noin 7-8. Lisäksi osa ruukuista sisälsi turvetta (n = 20) tai multaa (n = 20), joihin ei lisätty kalkkia. Lisäsimme kalkkia (4 g) reilun kuukauden päästä jokaiseen ruukkuun, jossa kalkkia oli ollut aikaisemminkin, jotta pH ei muuttuisi alkuperäisistä arvoista. Mittasimme pH:n pH-liuskoilla kerran viikossa jokaisesta katoksesta satunnaisesta 3 kalkitusta mullasta ja kalkitusta turpeesta, jotta pystyimme tarkkailemaan pH-arvojen muutosta kokeen aikana. Kokeen päätyttyä mittasimme kasvualustojen pH:t tarkasti pH-mittarilla (ISO 10390 –standardin mukaisesti, VWR-ph meter) veteen liuotetusta maaperänäytteestä. Alkuperäiset pH-arvot (turve pH 4, multa pH 5,4, kalkittu turve pH 6, kalkittu multa pH 7,5) muuttuivat kokeen aikana, ja lopulliset pH-käsittelyt olivat pH 4 (turve, n = 20), 6,5 (multa, n = 20), 7,4 (kalkittu turve, n = 20) ja 7,6 (kalkittu multa, n = 20).

Istutimme taimet koeruukkuihin (0,5 l), jotka veimme kasvamaan ulos joko valoon tai varjoon. Rakensimme ulos 4 katosta, 2 vastaamaan varjoista ja 2 valoisaa kasvupaikkaa. Sijoitimme katokset limittäin 2 riviin seinän viereen siten, että lähimmät katokset olivat noin 1 m ja kauempana olevat noin 2 metrin päässä seinästä (Kuva 4). Varjo- ja valokatokset sijaitsivat vuorotellen lähempänä seinää. Varjokatoksessa oli mustasta mansikkamuovista tehty katto, jonka päällä muutaman sentin ylempänä läpinäkyvä muovi sadesuojana. Valokatoksessa oli läpinäkyvä muovikatto, jotta molempien valokäsittelyiden välillä sadeolosuhteet ja mikroilmasto olisivat mahdollisimman samanlaiset. Mittasimme valon määrää kokeemme aikana 2 kertaa katosten kaikista kulmista ja keskeltä. Lisäksi mittasimme katosten lämpötilaa viiden päivän ajan kokeen aikana.

Asettelimme jokaisen katoksen pohjalle muovin, jonka päälle laitoimme 20 ruukkua (kasvualustana turve (n = 5), multa (n = 5), kalkittu turve (n = 5), kalkittu multa (n = 5) 3 riviin (Kuva 5). Ruukkujen alle laitoimme matalan alusruukun, jotta kasteluvesi jäisi siihen eivätkä ravinteet ym. sekoittuisi veden mukana toisiin ruukkuihin. Jokaiseen 4 katokseen sijoitimme yhtä monta eri kasvualustaa: 5 kalkittua turvetta, 5 kalkittua multaa, 5 turvetta ja 5 multaa. Asettelimme ruukut niin, ettei samaa kasvualustaa ollut vierekkäin. Lisäksi siirsimme ruukkuja joka päivä siten, että ensimmäinen ruukku ensimmäisen ruukkurivin vasemmasta reunasta siirrettiin taaimmisen riviin oikeaan kulmaan ja kaikkia muita ruukkuja siirrettiin samalla siten yksi eteenpäin, jotta valoisuusolosuhteet olisivat kaikille samat. Ruukut olivat katoksissa 58 vuorokautta. Kokeen alussa osa valokatoksessa olleista kasveista sai valoshokin ja niiden lehdet ja varret muuttuivat punertaviksi. Kasvit kuitenkin toipuivat ajan myötä. Kirjasimme ylös joka toinen viikko taimien pituuden, suurimman lehden koon (lehden halkaisija mitattuna litistetyn lehden päästä päähän), lehtien määrän ja taimen kunnon. Kokeen lopussa kuihtuneita ja taittuneita lehtiä alkoi olla myös enemmän, joten merkitsimme niiden määrät ylös.



Kuva 4. Kasvatuskokeessa lupiineja kasvatettiin valo- (kaksi keskimmäistä katosta) ja varjokatoksissa (kaksi reunimmaista katosta).



Kuva 5. Kasvatuskokeessa lupiinit istutettiin 0,5 litran ruukkuihin.

Laitoimme versot ja juuret paperipusseihin ja kuivasimme niitä noin viikon kuivauskaapissa (Lämpötila = 40°C). Tämän jälkeen punnitsimme niiden kuivapainon (vaaka: Sartorius BL 1500 S). Otimme maanäytteen jokaisesta ruukusta, jonka avulla määritimme tarkan pH:n samalla laitteella (ISO 10390 standardin mukainen VWR-pH meter) ja menetelmällä kuin tienvarsien maaperänäytteiden tutkimisessa.

2.4. Tilastollinen analysointi

2.4.1. Maastotutkimus

Tutkimusalueiden siemen- ja taimimääriä tutkimusalueiden välillä vertailtiin, jotta tiedettiin eroavatko tutkimusalueet. Siementen ja taimien määrien eroa eri tutkimusalueilla analysoimme Kruskal-Wallis testillä, joka on riippumattomalle aineistolle sopiva ei-parametrinen testi. Testiin päädyimme, koska parametrinen testien varianssien yhtäsuuruus- ja normaalijakautuneisuusoletus eivät täytyneet. Teimme analyysin jaetulle aineistolle eli maantiealueille ja pyörätiealueille erikseen. Samalla testillä testasimme myös erikseen, eroavatko maantie- ja pyörätiealueet keskenään.

Sitä, eroavatko eri tutkimusalueilta kerättyjen siementen keskipainot toisistaan, testasimme Kruskal-Wallis testillä jaetulla aineistolla. Vastemuuttujana olivat ruutukohtaiset siementen painon keskiarvot, koska kaikkia siemeniä ei punnittu yksitellen. Punnitsimme ruutukohtaisesti kaikki siemenet yhdessä ja laskimme siitä ruutukohtaisen siemenen keskipainon.

Analysoimme liikennöintisuunnan vaikutusta lupiin siementen levittäytymiseen tienvarsilla Wilcoxonin testillä. Analyysiin otimme mukaan esiintymän ulkopuoliset ruudut. Laskimme esiintymän liikennöintisuuntaan olevien 3 koeruudun siementen ja taimien määrät yhteen ja vertasimme tätä summaa liikennöintisuuntaa vastaan olevien ruutujen siementen ja taimien määrään. Analysoimme maantiealueita ja pyörätiealueita erikseen, jotta näimme, levittääkö autoliikenne maanteilla siemeniä enemmän liikenteen suuntaan. Liikennöintisuunnan vaikutusta analysoimme lisäksi vertaamalla siementen ja taimien määriä kaikkien esiintymän ulkopuolisten koeruutujen ($n = 6$) välillä Friedmanin merkkitestillä. Jos merkitseviä eroja löytyi, teimme parittaiset vertailut Wilcoxonin testillä.

2.4.2. Kasvatuskoe

Kaikki kasvualustakäsittelyt (multakäsittelyt: multa ja kalkittu multa, turve käsittelyt: turve ja kalkittu turve) analysoimme erikseen, koska turpeessa ja mullassa kasvaneiden taimien pH-käsittelyt eivät olleet suoraan verrattavissa turpeen ja mullan erilaisten ominaisuuksien vuoksi. Tilastollisia analyysejä varten maaperän happamuuden olisi pitänyt olla samat sekä turpeessa, että mullassa, jotta turve- ja multa -kasvualustoja olisi voinut verrata toisiinsa. Valon ja pH:n vaikutusta eri kasvualustassa verson ja juuren painon suhteeseen sekä verson ja juuren painoon testasimme kovarianssianalyysillä, jossa taimen alkupituus oli kovariaattina. Jos selittävien tekijöiden (valo ja pH) välillä oli lähellä tilastollisesti merkitsevää oleva yhdysvaikutus, testasimme päävaikutukset vielä varmuuden vuoksi yksinkertaisten vaikutusten testillä. Verson ja juuren painolle teimme logaritmimuunnoksen, jotta testin oletukset täytyivät. Valokatoksessa olevista pH:ssa 4 (turve) kasvaneista taimista 3 kuoli, mistä johtuen turpeessa valokatoksessa kasvaneiden kasvien $n = 17$. Muissa käsittelyissä oli 20 tainta. Punnitsimme kuitenkin myös kuolleiden taimien versojen painot ($n = 20$), joten ainoastaan juuren painoja tutkittaessa emme pystyneet ottamaan huomioon kaikkia alkuperäisiä taimia ($n = 17$).

Taimien pituutta tutkittaessa otimme mukaan 5 mittauskertaa (alkupituus istutus hetkellä, pituus 2, 4, 6 ja 8 viikkoa kokeen aloituksesta). Valon (= valo, varjo) ja pH:n (= 4, 6,5, 7,4, 7,6) vaikutusta taimen pituuteen sekä lehtien määrään ja kokoon eri kasvualustoissa testasimme toistomittaus- ANOVA:lla. Testasimme myös valon vaikutusta taimien loppupituuteen vielä erikseen 1-ANOVA:lla, jotta saimme tietää, oliko valolla vaikutusta kokeen lopussa (8 viikkoa aloituksesta).

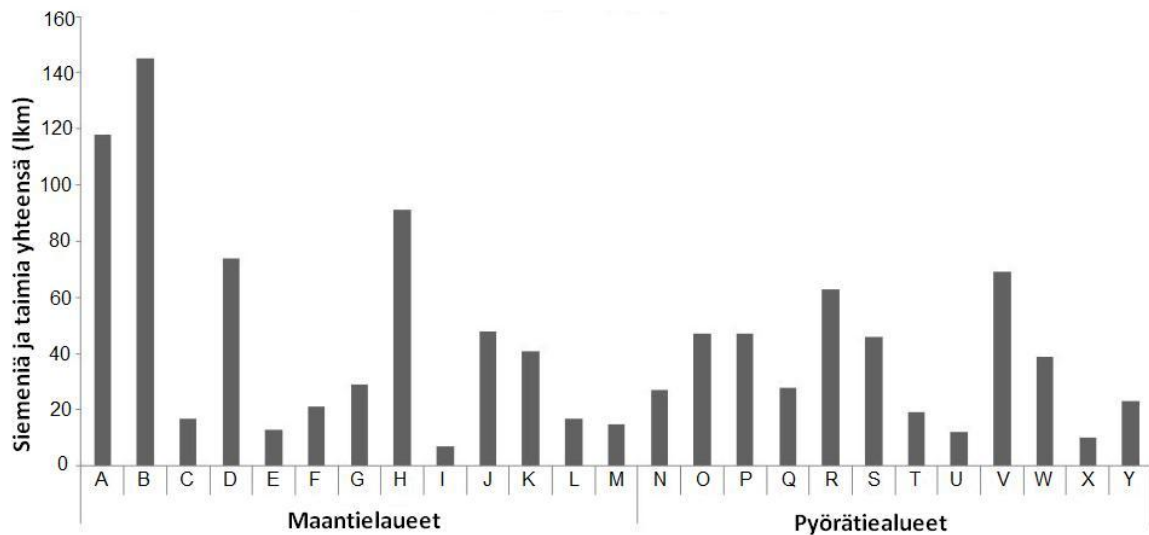
Lehtien kokoa ja määrää tarkasteltaessa otimme mukaan 4 eri mittauskertaa: 2, 4, 6 ja 8 viikkoa kokeen alkamisesta. Lehtien kokoa ja määrä tarkasteltaessa taimien alkupituus oli kovariaattina toistomittaus- ANCOVA:ssa. Sväärisyysoletus ei toteutunut, joten

käytimme Huynh-Feldtin korjattuja arvoja tulkitessamme tuloksia. Turpeessa kasvaneiden taimien lehtien määrää tarkasteltaessa sväärisyysoletus oli kuitenkin voimassa eikä korjattuja arvoja tarvittu. Jos selittävien tekijöiden (valo ja pH) välillä oli tilastollisesti merkitsevä yhdysvaikutus, testasimme päävaikutukset erikseen yksinkertaisten vaikutusten testillä.

3. TULOKSET

3.1. Maastotutkimus

Testasimme, eroavatko tutkimusalueiden siementen ja taimien yhteismäärät keskenään ja onko maantie- ja pyörätiealueiden välillä eroa siemen- ja taimimäärissä. Siementen ja taimien määrät eivät eronneet sen mukaan, olivatko tutkimusalueet maanteiden tai pyörätien varsilla (Kruskal-Wallis: $\chi^2 = 0,001$, $df = 1$, $P = 0,973$). Siementen ja taimien yhteismäärä ei myöskään eronnut samankaltaisella tietyypillä olevien eri tutkimusalueiden välillä (Kruskal-Wallis: maantiet: $\chi^2 = 12,100$, $df = 12$, $P = 0,438$; pyörätiet: $\chi^2 = 3,724$, $df = 11$, $P = 0,977$, Kuva 6). Kontrollialueilta ei löytynyt yhtään siementä.



Kuva 6. Tutkimusalueiden siementen ja taimien yhteismäärät maantie- ja pyörätiealueilla.

Tutkimusalueista kirjasimme ylös myös lupiinikasvustoa kuvailevia ominaisuuksia: lupiinin peittävyysprosentin, kukintojen lukumäärän ja korkeimman lupiiniyksilön pituden. Näiden tietojen avulla halusimme tutkia, ovatko tutkimusalueet kokonsa lisäksi lupiinikasvuston ominaisuuksiltaan myös samankaltaisia. Tulosten mukaan tutkimusalueet olivat lupiinikasvuston ominaisuuksien osalta melko samanlaisia (Taulukko 2). Lupiini esiintymiksi onnistuttiin valitsemaan hyvin samankokoisia ja lupiinin peittävyydeltä yhtenäisiä esiintymiä, joten esiintymät olivat hyvin vertailukelpoisia. Kukintojen lukumäärässä ja lupiinin peittävydessä ei ollut merkitsevää eroa maantielalueiden eikä pyörätiealueiden kesken (Taulukko 2). Tutkimusalueiden lukumäärä oli pienempi eri ominaisuuksien mittausten osalta, koska muutama tutkimusalue ($n = 2$) oli ehditty niittää ennen kasvien lukumäärä- ja korkeusmittausta.

Taulukko 2. Lupiiniensiintymien ominaisuuksien, peittävyysprosentin (% ka) ja kukintojen lukumäärän (lkm ka) sekä keskivirheiden (s.e.) väliset erot tutkimusalueittain. Kruskal-Wallis -testin testisuureet (χ^2), vapausasteet (df) ja tilastollinen todennäköisyys (P) maantie- ja pyörätiealueilla.

LUPIININ OMINAISUUDET TUTKIMUSALUEILLA					
Peittävyys	% ka	s.e.	χ^2	df	P
Maantiet (n = 13)	65	5,5	12,00	12	0,45
Pyörätiet (n = 12)	50,8	5,2	11,00	11	0,44
Kukintojen lkm	lkm ka	s.e.	χ^2	df	P
Maantiet (n = 13)	479,2	57,5	12,00	12	0,45
Pyörätiet (n = 10)	540	169,1	9,00	9	0,44

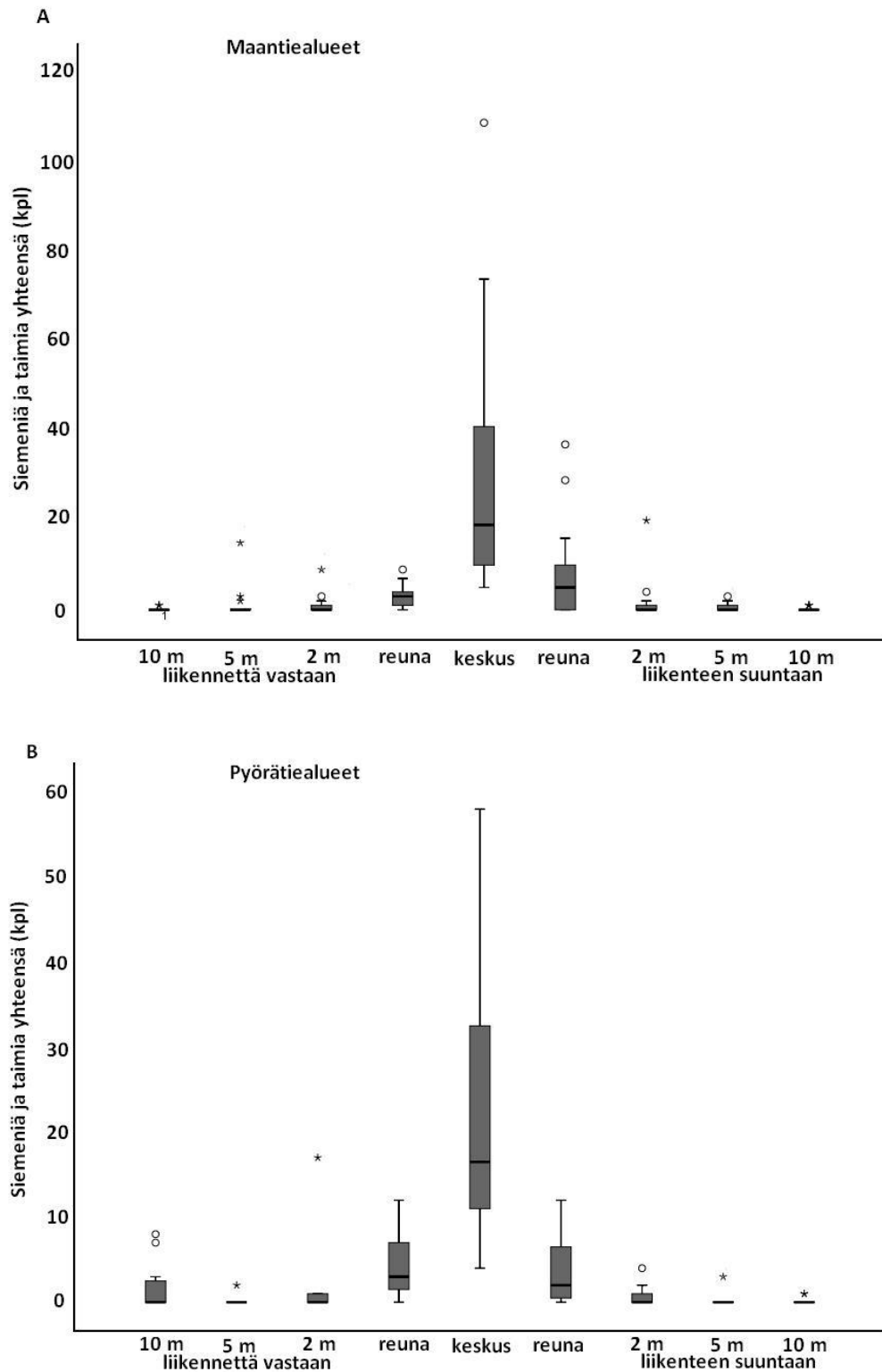
Lupiinin siemenet olivat myös melko saman painoisia kaikilla tutkimusalueilla. Kaikkien ruutukohtaisten keskipainojen keskiarvo oli 0,023 g (s.e. = 0,003, n = 57), maantiealueilla 0,029 g (s.e. = 0,005, n = 33) ja pyörätiealueilla 0,019 g (s.e. = 0,0007, n = 24). Siementen keskipaino ei eronnut tilastollisesti merkitsevästi tutkimusalueiden välillä maantiealueilla (Kruskal-Wallis: $\chi^2 = 15,418$, df = 11, P = 0,164) eikä pyörätiealueilla ($\chi^2 = 7,223$, df = 8, P = 0,513). Kaikilta koeruuduilta ei saatu laskettua keskiarvoa, koska joiltain ruuduilta ei löytynyt lainkaan siemeniä.

Liikenne ei vaikuttanut siementen levittäytymiseen maanteilla eikä pyöräteillä, kun verrattiin esiintymän ulkopuolella ja liikennettä vastaan olevien ruutujen siementen ja taimien kokonaismääriä keskenään (maantiet, Wilcoxon: T = -0,359, n = 13, P = 0,719, Kuva 7A; pyörätiet: T = -1,132, n = 12, P = 0,258, Kuva 7B). Testasimme myös, onko auto- tai pyörä- ja kävelyliikenteellä vaikutusta lupiinin siementen levittäytymisettäisyyksiin vertaamalla kaikkia esiintymän ulkopuolisia koeruutuja (2, 5 ja 10 m päässä esiintymästä molempiin suuntiin). Teiden liikenne ei vaikuttanut siementen levittäytymisettäisyyksiin (maantiealueet: Friedman: $\chi^2 = 1,922$, df = 5, P = 0,860, Kuva 7A; pyörätiealueet: $\chi^2 = 7,189$, df = 5, P = 0,207, Kuva 7B).

Esiintymän sisällä olevien ruutujen (keskiruutu ja 2 reunaruutua) siemen- ja taimimäärät erosivat merkitsevästi maantiealueilla (Friedman: $\chi^2 = 16,980$, df = 2, P < 0,001) ja pyörätiealueilla (Friedman: $\chi^2 = 15,167$, df = 2, P = 0,001). Keskiruuduissa oli enemmän siemeniä kuin reunoilla riippumatta liikenteen suunnasta (Taulukko 3, Kuvat 7A, B).

Taulukko 3. Erot siementen ja taimien yhteismäärissä esiintymän sisällä maantie- ja pyörätiealueilla. Wilcoxonin testisuureet (T) ja tilastollinen todennäköisyys (P) keskiruudun ja eri liikenteen suuntiin olevien esiintymän reuna ruutujen välillä.

Maantiealueet	T	P
Liikennettä vastaan vs. Keskiruutu	-3,08	0,002
Liikenteen suuntaan vs. Keskiruutu	-3,18	0,001
Liikennettävastaan vs. Liikenteen suuntaan	-1,18	0,237
Pyörätiealueet		
Liikennettä vastaan vs. Keskiruutu	-2,94	0,003
Liikenteen suuntaan vs. Keskiruutu	-3,06	0,002
Liikennettävastaan vs. Liikenteen suuntaan	-0,04	0,968



Kuva 7. Siementen ja taimien määrät viiksilaatikkoina maantie- (Kuva A) pyörätiealueilla (Kuva B) liikennöintisuuntaan ja sitä vastaan. Kuvan A ja B y-akselin skaala on erilainen johtuen siemen- ja taimimäärien eroista maantie- ja pyörätiealueilla.

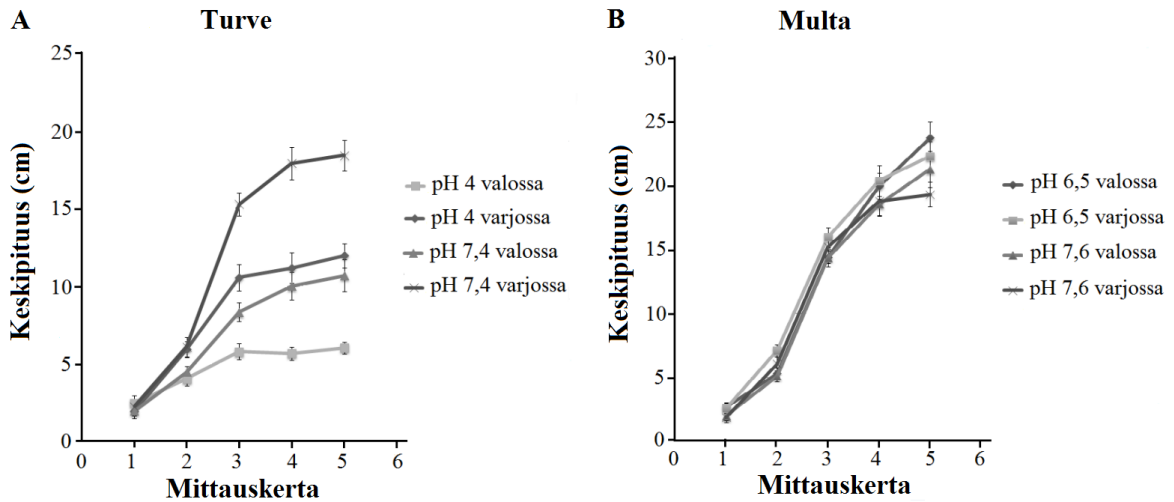
3.2. Kasvatuskoe

Kasvatuskokeen tavoitteena oli selvittää maaperän happamuuden ja valon vaikutusta lupiin taimien kasvuun. Kasvua arvioimme tutkimuksemme kasvien pituuden, verson ja juuren painon, lehtien määrän ja koon perusteella. Valokatoksessa valon määrä vaihteli 36–80 10^3 lx ja varjokatoksessa 2,7 ja 7,5 10^3 lx välillä riipuen mistä kohtaa katosta mittaus oli tehty. Varjokatoksessa valon määrä oli kuitenkin aina noin 10 % valokatosten valon määrästä. pH oli keskimäärin turpeessa 4 (s.e. = 0,03), mullassa 6,5 (s.e. = 0,05), kalkitussa turpeessa 7,4 (s.e. = 0,04) ja kalkitussa mullassa 7,6 (s.e. = 0,03). Mittasimme myös eri katosten lämpötilaeroja. Viiden päivän aikainen maksimi varjokatoksessa oli 35,1 ja minimi 15,4 C-astetta. Valokatoksessa vastaavasti maksimi oli 41,1 ja minimi 16 C-astetta. Koeasetelmassamme tapahtui sellainen virhe, että emme muistaneet lannoittaa kasvualustaa, jonka pH oli 4 (turve), vaikka lannoitimme pH:ta 7,4 olevaa kasvualustaa (kalkittu turve). Lisäksi emme voineet verrata keskenään kahden kasvualustan tuloksia (multa ja turve), koska niiden pH-arvot eivät vastanneet toisiaan. Täten varmimmin voimme tulkita tuloksia vain mullassa kasvaneiden taimien osalta.

3.2.1. Taimien pituus

Testasimme, oliko maaperän happamuudella ja valon määrällä vaikutusta taimien pituuskasvuun. Turpeessa valolla ja pH:lla ei ollut yhdysvaikutusta, joten pH vaikutti samalla tavalla taimien pituuskasvuun sekä valossa että varjossa (Taulukko 4). Valo vaikutti tilastollisesti merkitsevästi taimien pituuskasvuun turpeessa. Varjossa taimet olivat merkitsevästi pidempiä kuin valossa (Taulukko 4). pH vaikutti myös tilastollisesti merkitsevästi taimien pituuskasvuun (Taulukko 4). pH:ssa 7,4 (kalkittu turve) taimet olivat pidempiä kuin pH:ssa 4 (turve) (Kuva 8A). Tämän merkitsevyyden kohdalla pitää kuitenkin muistaa, että pH:ta 4 olevaan kasvualustaan ei lisätty ravinteita ollenkaan, kun taas kasvualustaan, jonka pH oli 7,4, niitä lisättiin.

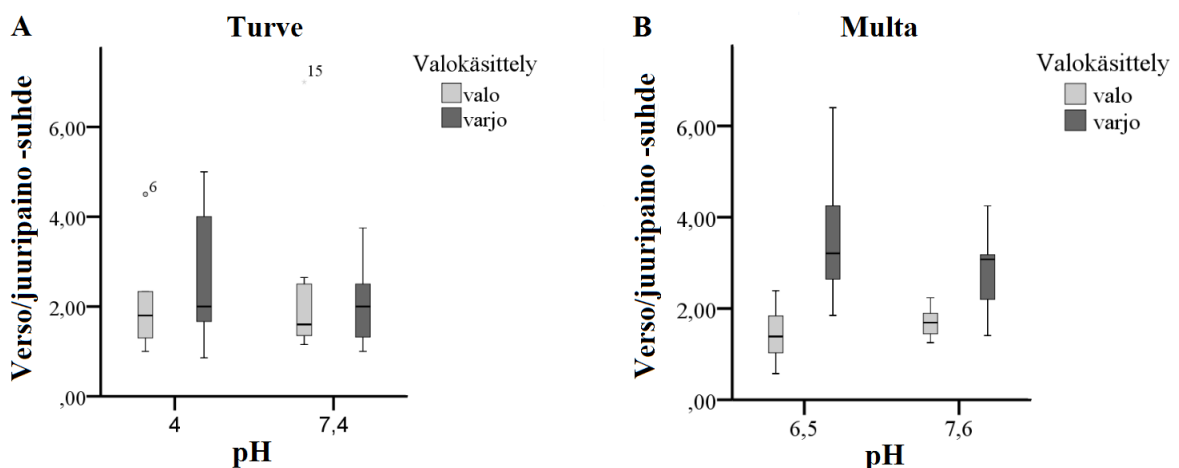
Valolla ja pH:lla ei ollut yhdysvaikutusta taimien pituuskasvuun silloin, kun taimet kasvoivat mullassa (Taulukko 5). Valo vaikutti tilastollisesti merkitsevästi taimien pituuteen (Taulukko 5) siten, että ensin varjossa kasvaneet taimet olivat pidempiä kuin valossa kasvaneet, mutta 6 viikkoa kokeen aloituksesta valossa olleet taimet kasvoivat pidemmiksi kuin varjossa olleet taimet (Kuva 8B, mittauskerta 4). Kuitenkaan mittauskerralla, joka oli 8 viikkoa kokeen aloituksesta (eli kokeen päättyessä), valon vaikutus taimien pituuteen ei ollut tilastollisesti merkitsevä (1-ANOVA: $F_{1,36} = 2,017$, $P = 0,164$). pH:lla ei ollut vaikutusta mullassa kasvaneiden taimien pituuskasvuun (Taulukko 5) vaikkakin tulos oli hyvin lähellä merkitsevää eroa. pH:ssa 6,5 (multa) kasvaneet taimet olivat lähestulkoon tilastollisesti merkitsevästi pidempiä kuin pH:ssa 7,6 (kalkittu multa) kasvaneet.



Kuva 8. Turpeessa (Kuva A) ja mullassa (Kuva B) kasvaneiden taimien keskipituus eri mittauskerroilla eri valoisuus- ja pH-käsittelyissä. pH 4 vastaa kasvualustaa turve, pH 7,4 kasvualustaa kalkittu turve, pH 6,5 vastaa kasvualustaa multa ja pH 7,6 kasvualustaa kalkittu multa. Mittauskerrat olivat alkupituus, taimien pituus 2, 4, 6 ja 8 viikkoa kokeen aloituksesta.

3.2.2. Taimien versojen ja juurien paino

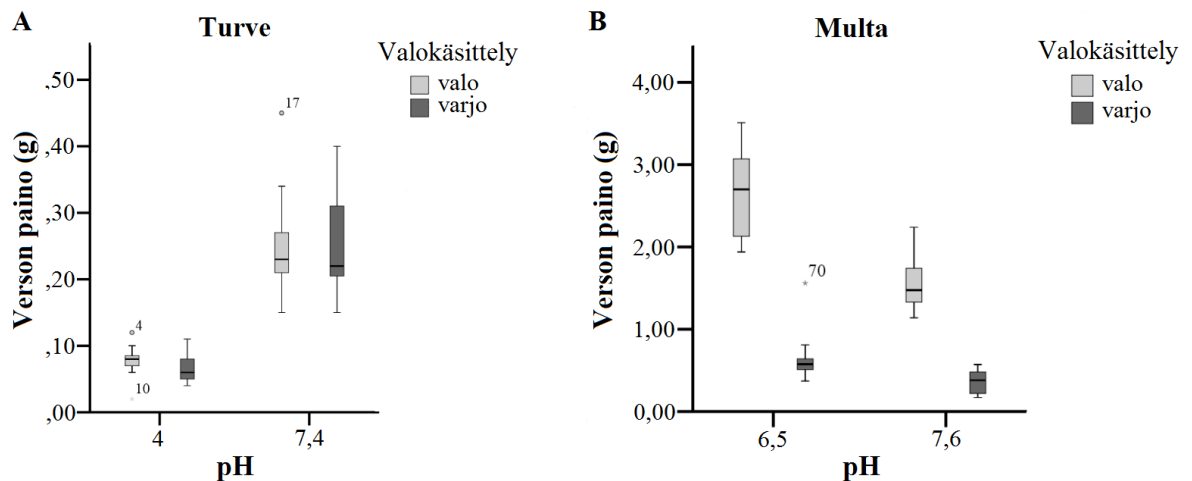
Kun kasvualustana oli turve, valolla ja pH:lla ei ollut yhdysvaikutusta verso/juuripaino -suhteeseen (Taulukko 4). Myöskään valo ja pH eivät vaikuttaneet tilastollisesti merkitsevästi verso/juuripaino -suhteeseen (Taulukko 4, Kuva 9A). Mullassa valolla ja pH:lla ei ollut yhdysvaikutusta eli pH vaikutti samalla tavalla molemmissa valo-olosuhteissa (valo, varjo) (Taulukko 5), vaikkakin p-arvo oli hyvin lähellä merkitsevän yhdysvaikutuksen rajaa. Mullassa verso/juuripaino -suhde oli isompi varjossa kuin valossa (Taulukko 5, yksinkertaisten vaikutusten testi: $F_{1,36} = 46,100$, $P < 0,001$, Kuva 9B). Kuten turpeessa, pH ei vaikuttanut verso/juuripaino -suhteeseen (Taulukko 5, yksinkertaisten vaikutusten testi: $F_{1,36} = 0,023$, $P = 0,880$). Kovariaattina olleella alkupituudellakaan ei ollut merkitsevää vaikutusta turpeessa ja mullassa verso/juuripaino -suhteeseen (turve: $F_{1,32} = 0,002$, $P = 0,968$, multa: $F_{1,35} = 0,421$, $P = 0,521$).



Kuva 9. Turpeessa (Kuva A) ja mullassa (Kuva B) kasvaneiden taimien verso/juuripaino -suhde eri valoisuus- ja pH-käsittelyissä. pH 4 vastaa kasvualustaa turve, pH 7,4 kasvualustaa kalkittu turve, pH 6,5 vastaa kasvualustaa multa ja pH 7,6 kasvualustaa kalkittu multa.

Valon ja pH:n välillä ei ollut yhdysvaikutusta turpeessa kasvaneiden taimien verson painoon (Taulukko 4). pH vaikutti verson painoon tilastollisesti merkitsevästi (Taulukko 4): pH:ssa 4 (turve) kasvaneiden taimien verson kuivapaino oli pienempi kuin pH:ssa 7,4 (kalkittu turve) kasvaneiden (Kuva 10A), mutta tätäkin tarkastellessa pitää huomioida ravinteiden puuttuminen pH:sta 4. Valolla ei ollut merkitsevää vaikutusta verson painoon (Taulukko 4). Kovariaattina olleella alkupituudella oli tilastollisesti merkitsevä vaikutus verson painoon ($F_{1,35} = 8,439$, $P = 0,006$). Mitä pidempiä taimet olivat aluksi sitä painavampia versot olivat myös kokeen lopussa.

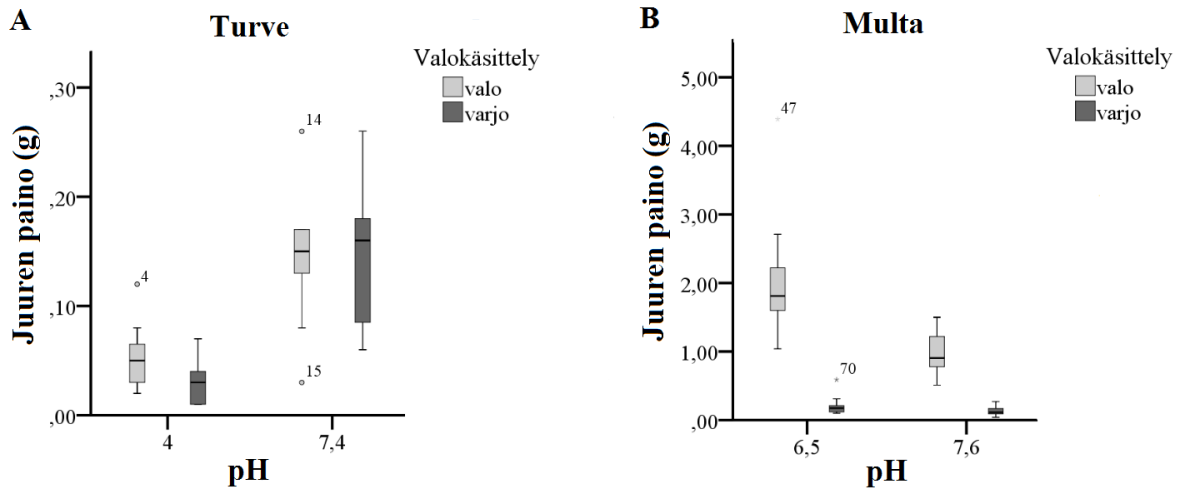
Valolla ja pH:lla ei ollut merkitsevää yhdysvaikutusta myöskään mullassa kasvaneiden taimien verson painoon (Taulukko 5). Valo vaikutti merkitsevästi verson painoon (Taulukko 5). Valossa versot olivat painavampia kuin varjossa (Kuva 10B). Lisäksi pH:lla oli merkitsevä vaikutus verson painoon (Taulukko 5) niin, että pH:ssa 6,5 (multa) versot olivat painavampia kuin pH:ssa 7,6 (kalkittu multa) (Kuva 10B). Mullassakin alkupituudella (kovariaatti) oli merkitsevä vaikutus verson painoon ($F_{1,35} = 14,519$, $P = 0,001$). Alussa pidempiä olleet versot olivat kokeen päätyttyä painavampia.



Kuva 10. Turpeessa (Kuva A.) ja mullassa (Kuva B) kasvaneiden taimien verson paino eri valoisuus- ja pH-käsittelyissä. pH 4 vastaa kasvualustaa turve, pH 7,4 kasvualustaa kalkittu turve, pH 6,5 vastaa kasvualustaa multa ja pH 7,6 kasvualustaa kalkittu multa. Kuvien A ja B y-akselien skaalat ovat erit, koska turpeessa kasvaneiden taimien versot olivat huomattavasti kevyempiä kuin mullassa kasvaneiden taimien.

Tulokset olivat samanlaisia taimien juuren painoa tarkasteltaessa kuin taimien verson painon suhteen. Valon ja pH:n välillä ei ollut yhdysvaikutusta turpeessa kasvaneiden taimien juuren painoon (Taulukko 4). pH vaikutti juuren painoon tilastollisesti merkitsevästi (Taulukko 4) siten, että pH:ssa 4 (turve) kasvaneiden taimien juuren paino oli pienempi kuin pH:ssa 7,4 (kalkittu turve) kasvaneiden (Kuva 11A). Ravinteiden puuttuminen kasvualustasta, jonka pH oli 4, voi olla kuitenkin syy tähän eroon. Valolla (Taulukko 4) tai kovariaattina olleella alkupituudella ($F_{1,32} = 1,426$, $P = 0,241$) ei ollut merkitsevää vaikutusta juuren painoon.

Valolla ja pH:lla ei ollut merkitsevää yhdysvaikutusta myöskään mullassa kasvaneiden taimien juuren painoon (Taulukko 5). Valo kuitenkin vaikutti merkitsevästi juuren painoon (Taulukko 5). Valossa juuret olivat painavampia kuin varjossa (Kuva 11B). Lisäksi pH:lla oli merkitsevä vaikutus juuren painoon (Taulukko 5) niin, että pH:ssa 6,5 (multa) juuret olivat painavampia kuin pH:ssa 7,6 (kalkittu multa) (Kuva 11B). Mullassakaan kovariaatilla (alkupituus) ei ollut merkitsevää vaikutusta juuren painoon ($F_{1,35} = 3,556$, $P = 0,068$).

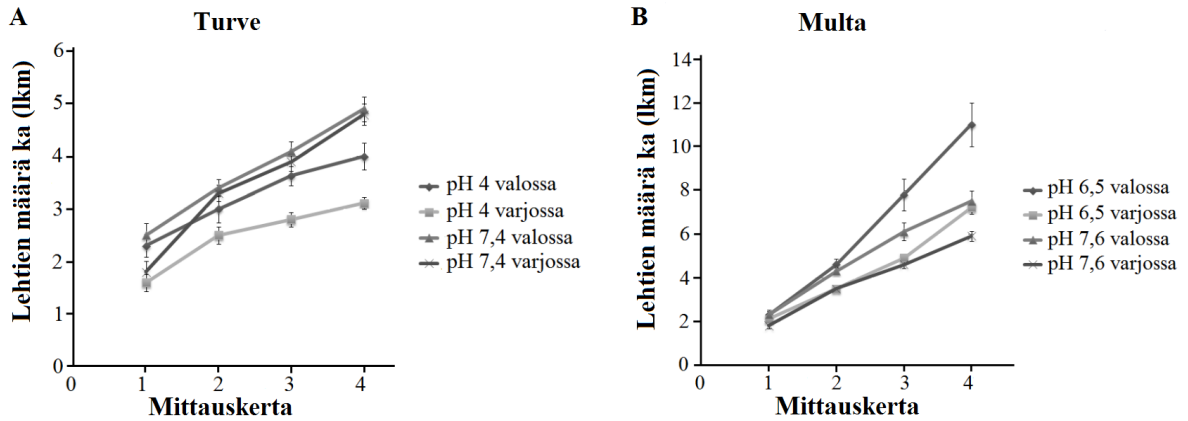


Kuva 11. Turpeessa (Kuva A) ja mullassa (Kuva B) kasvaneiden taimien juuren paino eri valoisuus- ja pH-käsittelyissä. pH 4 vastaa kasvualustaa turve, pH 7,4 kasvualustaa kalkittu turve, pH 6,5 vastaa kasvualustaa multa ja pH 7,6 kasvualustaa kalkittu multa. Kuvien A ja B y-akselien skaalat ovat erit, koska turpeessa kasvaneiden taimien juuret olivat huomattavasti kevyempiä kuin mullassa kasvaneiden taimien.

3.2.3. Lehtien määrä

Turpeessa valolla ja pH:lla ei ollut yhdysvaikutusta lehtien määrään (Taulukko 4). pH vaikutti tilastollisesti merkitsevästi lehtien määrään (Taulukko 4). pH:ssa 7,4 (kalkittu turve) lehtiä oli enemmän kuin pH:ssa 4 (turve) (Kuva 12A), mikä voi yksinkertaisesti johtua pH:ta 7,4 olevan kasvualustan lannoituksesta. Valolla (Taulukko 4) tai kovariaattina olleella alkupituudella ($F_{3,90} = 0,170$, $P = 0,916$) ei ollut merkitsevää vaikutusta lehtien määrään.

Mullassa kasvaneiden taimien lehtien määrään valolla ja pH:lla sen sijaan oli merkitsevä yhdysvaikutus eli pH:lla oli erilainen vaikutus lehtien määrään riippuen siitä, olivatko taimet kasvaneet valossa vai varjossa (toistomittaus- ANCOVA: $F_{1,553, 54,351} = 4,150$, $P = 0,030$). Valokatoksessa pH:ssa 6,5 (multa) kasvaneilla taimilla oli enemmän lehtiä kuin pH:ssa 7,6 (kalkittu multa) (yksinkertaisten vaikutusten testi: $F_{1,35} = 8,265$, $P = 0,007$, Kuva 12B). Varjossa kasvaneiden taimien lehtien määrään ei vaikuttanut maaperän pH ($F_{1,35} = 0,563$, $P = 0,458$). Valolla oli merkitsevä vaikutus taimien lehtien määrään molemmissa happamuuksissa (pH 6,5: $F_{1,35} = 22,287$ $P < 0,001$, pH 7,6: $F_{1,35} = 6,533$, $P = 0,015$). Sekä pH:ssa 6,5 että pH:ssa 7,6 kasvaneilla taimilla oli enemmän lehtiä valokatoksessa kuin varjossa (Kuva 12B). Kovariaatilla (alkupituus) ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta lehtien määrään (toistomittaus- ANCOVA: $F_{1,553, 54,351} = 0,124$, $P = 0,833$).

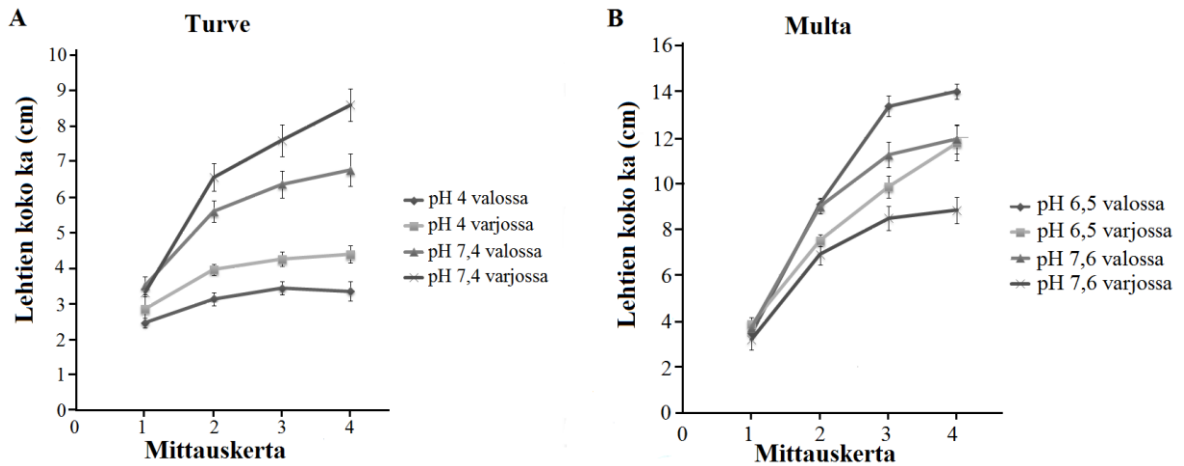


Kuva 12. Turpeessa (Kuva A) ja mullassa (Kuva B) kasvaneiden taimien lehtien määrän keskiarvo eri mittauskerroilla eri valoisuus- ja pH-käsittelyissä. pH 4 vastaa kasvualustaa turve, pH 7,4 kasvualustaa kalkittu turve, pH 6,5 vastaa kasvualustaa multa ja pH 7,6 kasvualustaa kalkittu multa. Mittauskerrat olivat lehtien määrät 2, 4, 6 ja 8 viikkoa kokeen aloituksesta. Kuvien A ja B y-akselien skaalat erit, koska mullassa kasvaneilla taimilla oli paljon enemmän lehtiä kuin turpeessa kasvaneilla.

3.2.4. Lehtien koko

Turpeessa valolla ja pH:lla ei ollut yhdysvaikutusta lehtien kasvuun (toistomittaus-ANCOVA:Taulukko 4). Valolla oli merkitsevä vaikutus lehtien kokoon (Taulukko 4). Varjossa lehdet kasvoivat isommiksi kuin valossa (Kuva 13A). Samoin pH vaikutti merkitsevästi lehtien kokoon (Taulukko 4) siten, että pH:ssa 7,4 (kalkittu turve) lehdet olivat isompia kuin pH:ssa 4 (turve) (Kuva 13A). Tulosten paikkaansapitävyyttä on kuitenkin vaikea todistaa, pH:sta 4 unohtuneiden ravinteiden takia. Alkupituudella (kovariaatti) oli merkitsevä vaikutus lehtien kokoon ($F_{2,108, 60.533} = 4,393, P = 0,016$) siten, että alussa pidemmällä taimilla oli myös suuremmat lehdet.

Valolla ja pH:lla ei ollut yhdysvaikutusta myöskään mullassa kasvaneiden taimien lehtien kokoon (Taulukko 5). Toisin kuin turpeessa, mullassa kasvaneiden taimien lehdet olivat isompia valossa kuin varjossa (Taulukko 5, Kuva 13B). Lisäksi pH:lla oli merkitsevä vaikutus lehtien kokoon (Taulukko 5). pH:ssa 6,5 (multa) lehdet kasvoivat isommiksi kuin pH:ssa 7,6 (kalkittu multa, Kuva 13B). Kovariaatilla (alkupituus) ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta lehtien kokoon ($F_{1,857, 64.978} = 0,417, P = 0,646$).



Kuva 13. Turpeessa (Kuva A) ja mullassa (Kuva B) kasvaneiden taimien lehtien keskimääräinen koko eri mittauskerroilla eri valoisuus- ja pH-käsittelyissä. pH 4 vastaa kasvualustaa turve, pH 7,4 kasvualustaa kalkittu turve, pH 6,5 vastaa kasvualustaa multa ja pH 7,6 kasvualustaa kalkittu multa. Mittauskerrat olivat lehtien koko 2, 4, 6 ja 8 viikkoa kokeen aloituksesta. Kuvien A ja B y-akselien skaalat erit, koska mullassa kasvaneiden taimien lehdet olivat isompia kuin turpeessa kasvaneiden.

Taulukko 4. Valon ja pH:n vaikutus turpeessa kasvaneiden taimien pituuteen, verso/juuripaino – suhteeseen, verson ja juuren painoon, lehtien määrään sekä lehtien kokoon. Toistomittaus – ANOVA:n, ANOCAN:n ja toistomittaus –ANOCOVA:n testisuureet (F), tilastollinen todennäköisyys (P) ja vapausasteet (df1, df2) taimien kokoa mittaaville ominaisuuksille.

	Yhdysvaikutus				pH				Valokäsittely			
	F	P	df1	df2	F	P	df1	df2	F	P	df1	df2
Taimen pituus (toistomittaus- ANOVA)	1,268	0,289	2,105	65,246	25,605	<0,001	2,105	65,246	41,355	<0,001	2,105	65,246
Verso/juuripaino - suhde (ANCOVA)	0,373	0,546	1,000	32,000	0,234	0,632	1,000	32,000	0,901	0,350	1,000	32,000
Verson paino (ANCOVA)	0,162	0,690	1,000	35,000	146,20	<0,001	1,000	35,000	0,196	0,660	1,000	35,000
Juuren paino (ANCOVA)	0,626	0,435	1,000	32,000	37,324	<0,001	1,000	32,000	2,200	0,148	1,000	32,000
Lehtien määrä (toistomittaus- ANCOVA)	1,680	0,177	3,000	90,000	11,400	<0,001	3,000	90,000	1,051	0,374	3,000	90,000
Lehtien koko (toistomittaus- ANCOVA)	2,683	0,076	2,018	60,533	52,136	<0,001	2,018	60,533	10,591	<0,001	2,018	60,533

Taulukko 5. Valon ja pH:n vaikutus mullassa kasvaneiden taimien pituuteen, verso/juuripaino – suhteeseen, verson ja juuren painoon sekä lehtien kokoon. Toistomittaus –ANOVA:n, ANOCAN:n ja toistomittaus –ANOCOVA:n testisuureet (F), tilastollinen todennäköisyys (P) ja vapausasteet (df1, df2) taimien kokoa mittaaville ominaisuuksille.

	Yhdysvaikutus				pH				Valokäsittely			
	F	P	df1	df2	F	P	df1	df2	F	P	df1	df2
Taimen pituus (toistomittaus-ANOVA)	0,087	0,904	1.850	66,595	2,800	0,072	1.850	66,595	4,701	0,014	1.850	66,595
Verso/juuripaino - suhde (ANCOVA)	3,312	0,077	1,000	35,000	0,107	0,746	1,000	35,000	45,650	<0,001	1,000	35,000
Verson paino (ANCOVA)	0,177	0,677	1,000	35,000	23,204	<0,001	1,000	35,000	268,790	<0,001	1,000	35,000
Juuren paino (ANCOVA)	1,101	0,301	1,000	35,000	10,296	<0,001	1,000	35,000	224,454	<0,001	1,000	35,000
Lehtien koko (toistomittaus-ANCOVA)	2,346	0,108	1,857	64,978	17,198	<0,001	1,857	64,978	28,838	<0,001	1,857	64,978

4. TULOSTEN TARKASTELU

Huolimatta siitä, että lupiinia pidetään voimakkaasti levittäytyvänä, suurin osa lupiinin siemenistä löytyi heti lupiinesintymän läheltä. Eniten siemeniä ja taimia oli esiintymän keskellä ja reunoilla eikä niitä esiintynyt juurikaan 2 m:ä kauempana esiintymän reunasta. Tutkimuksemme tulokset siementen lyhyestä levittäytymisestää ovat yhtenevät aikaisemman tutkimuksen kanssa (Jantunen ym. 2005), jossa todettiin, etteivät lupiinin siemenet levittäytyneet yli 1,7 m päähän esiintymän reunasta. Lyhyt levittäytymismatka saattaa olla suurin syy siihen, miksi lupiinia ei esiinny joillain alueilla lainkaan. Tätä tukee myös tuloksemme ei-lupiinialueiden maaperän pH:sta, joka ei eronnut juurikaan lupiinesintymäalueiden maaperän happamuudesta. Täten maaperän happamuus ei selitä sitä, miksi lupiini puuttuu joltain alueilta vaan puuttuminen saattaa johtua yksinkertaisesti vain siitä, ettei lupiini ole vielä levinnyt näille alueille. Vieraslajithan ovat yleisesti voimakkaasti levittäytyviä (Crawley 1997) ja asuttavat nimenomaan tienvarsia (Dukes & Mooney 1999, Huston 2004, Flory & Clay 2009), mikä tukisi myös oletusta siitä, että lupiinkin pystyisi levittäytymään tienvarsille vielä laajemmin, muttei ole vielä ehtinyt. Tätä tukee myös kasvatuskokeemme tulos, jonka mukaan lupiinin taimet kasvoivat parhaiten pH:ssa 6,5, mikä vastasi hyvin alueiden, joilla esiintyi tai puuttui lupiini, maaperän pH:ta. Alueilla, joissa lupiinia ei esiintynyt, saattoi kuitenkin olla jo dormanssissa olevia siemeniä, mutta ei lupiinin taimia. Dormanssissa olevat siemenet itäisivät vasta olosuhteiden muututtua sopivammiksi (Levin 1990, Willson 1993, Scott 2008). Kontrollialueilta, joissa lupiinia ei esiintynyt, emme kuitenkaan löytäneet siemeniä edes siemenpankista, joten tämä kertoisi enemmän siitä, että lupiinin siemeniä ei kyseisillä paikoilla ollut. Lisäksi vaikutti siltä, ettei lupiini muodostanut kovin suurta siemenpankkia, koska siemeniä ei löytynyt kovin syvältä maasta vaan ainoastaan maanpinnan läheisyydestä. Muissa tutkimuksissa (Maron & Kauffman 2006, LaBolle 2008) ainakin *Lupinus arboreuksen* on kuitenkin todettu muodostavan siemenpankkeja maaperään. *Lupinus arboreuksen* siemenpankin koon on todettu pienentyvän siemeniä syövien

lyrsijöiden takia (Maron & Simms 1997, Maron & Kauffman 2006). Saattaa siis olla, että myös komealupiinin isot pinnalle jäävät siemenet joutuvat siemensyöjien ravinnoksi, elleivät ne ehdi itää tarpeeksi nopeasti.

Lyhyestä levittäytymisestä huolimatta lupiini kuitenkin leviää tehokkaasti alueille, joihin se ei voi kulkeutua ilman ulkopuolista apua. Täytyy siis olla olemassa tekijöitä, jotka edesauttavat lupiinia leviämään myös kauemmaksi. Yksi mahdollinen lupiinin levittäytymistä edesauttava tekijä Suomessa on autoliikenne. Vieraslajien tiedetään levittäytyvän esimerkiksi kulkuneuvojen kuten laivojen, junien ja autojen mukana painolastina tai kulkuneuvoihin kiinnittyneenä (Schmidt 1989, Crawley 1997). Ohiajavat autot aiheuttavat myös voimakkaan ilmavirtauksen, joka voi kuljettaa siemeniä mukanaan (Garnier ym. 2008). Tuloksemme mukaan teiden auto- tai kevytliikenne ei kuitenkaan vaikuttanut lupiinin siementen levittäytymiseen maanteilla eikä kaupunkialueilla. Kummallakaan alueella siemenet eivät myöskään levittäytyneet juurikaan 2 metriä kauemmas. Syynä tähän voi olla lupiinin siementen koko. Ne saattavat olla liian painavia, eivätkä siten kulkeudu liikenteen mukana (Schmidt 1989). Aineistomme oli kuitenkin pieni, joten suuremmalla aineistolla tuloksetkin olisivat voineet olla erilaisia ja erot tulla näkyviin.

Halusimme testata, oliko siementen painolla vaikutusta levittäytymisestä. Emme kuitenkaan pystyneet testaamaan tätä kunnolla, sillä siementen keskipainojen otoskoko jäi liian pieneksi. Siementen painoja ei saatu kaukana esiintymästä olevista ruuduista, koska joistain ruuduista ei löytynyt yhtään siementä. Kauemmilla etäisyyksillä olevista siemenistä oli vain yksittäisiä painoja tiedossa, emmekä siten voineet vetää johtopäätöksiä siitä, mitä siemenet keskimäärin olisivat painaneet kauempana. Siementen koon lisäksi yksi syy liikenteen vaikutuksen puuttumiseen voi olla se, että tutkimusalueemme lupiiniesiintymät olivat melko lähellä toisiaan. Jos tutkimuksen mittakaava olisi ollut suurempi, olisi mahdollisesti voitu havaita, että nyt erillisiksi luokitellut esiintymät, olisivatkin olleet isomman esiintymän liikenteen mukana kulkeutuneista siemenistä muodostuneita uusia esiintymiä. Suuremman mittakaavan tutkimuksessa olisi kuitenkin ollut ongelmana, miten rajata lupiiniesiintymät erillisiksi. Mitä suurempi mittakaava olisi ollut käytössä sitä vaikeampi olisi ollut arvioida, mistä siemenet olisivat tulleet löytöpaikalleensa. Keski-Suomeen lupiini on kuitenkin levinnyt jo laajalle (Kuva 1), joten olisi ollut helpompi löytää kunnolla kaukana toisistaan olevia esiintymiä esimerkiksi pohjoisempaa, mihin meidän resurssit eivät olisi kuitenkaan riittäneet.

Vaikka lupiinin lyhyt levittäytymismatka voi selittää lupiinin puuttumista joiltakin alueilta, syitä saattaa olla myös muita. Kasvatuskokeellamme haettiin pH:n ja valoisuusolosuhteiden avulla selitystä sille, miksi lupiinia esiintyy toisilla paikoilla enemmän (etenkin tienvarret) kuin toisilla (esim. metsät) (Mossberg & Stenberg 2003). Yleisestikin on todettu, että vieraslajeja esiintyy vähemmän metsäisissä habitaateissa kuin avoimilla alueilla, vaikka ne pystyisivätkin selviytymään siellä (Dukes & Mooney 1999, Huston 2004, Flory & Clay 2009). Metsämaa on yleensä hapanta ja pH on keskimäärin 4,5 (Etherington 1975), joten pH voisi osaltaan selittää sitä, miksi lupiinia ei juurikaan esiinny metsissä. Kokeemme tulokset saavat tukea myös siitä, että ylipäänsä hyvin harvat kasvit luonnossa kasvavat näin alhaisissa pH-pitoisuuksissa (Begon ym. 1996), koska jo alle 5 pH:ssa bakteerien toiminta heikkenee, mikä vähentää orgaanisen aineen hajoamista maaperässä, heikentää osmoregulaatiota, entsyymitoimintaa ja anaerobista toimintaa (Etherington 1975, Fitter & Hay 1987, Begon ym. 1996).

Koeasetelmissamme tapahtuneiden virheiden takia tulostemme tulkinnat eivät turpeen osalta ole luotettavia. Lisäksi pystyimme vertaamaan vain turpeessa (kalkittu ja kalkitsematon turve) tai mullassa (kalkittu ja kalkitsematon multa) kasvaneita taimia

keskenään koska eri kasvualustojen pH:t eivät vastanneet toisiaan. Emme siis voi olla täysin varmoja siitä, johtuvatko erot taimien menestymisessä (taimien pituus, paino, lehtien koko ja määrä) itse kalkista, maaperän pH:sta vai ravinteiden määrästä. Ravinteiden määrä voi vaikuttaa merkittävästi eroihin pH:n 4 (turve) ja pH:n 7,4 (kalkittu turve) välillä, koska pH:ta 4 olevaan kasvualustaan emme muistaneet lisätä lannoitetta lainkaan, kun taas kasvualustaan, jonka pH oli 7,4, sitä lisäsimme. Ravinteilla on iso merkitys kasvien kasvuun (Begon ym. 1996), joten kalkittu turve saattoi olla parempi kasvualusta kuin pelkkä turve ainoastaan lannoitteen takia. Siksi kalkitun ja kalkitsemattoman turpeisen kasvualustan vertailun tuloksista ei voida vetää suoraan mitään varmoja tulkintoja. Taimien huono menestyminen pH:ssa 4 on kuitenkin yleistä (Begon ym. 1996). Multa sisälsi jo valmiiksi ravinteita, eli multakäsittelyssä muuttui vain pH, ei ravinteiden määrä. Turve näytti lisäksi kuivuvan multaa helpommin, mikä yhdistettynä ravinteiden puutteeseen heikentää kasvien kasvua entisestään (Begon ym. 1996). Kasvien juuret eivät kasva kunnolla kuivassa maassa ja toisaalta ravinteiden puutteessa kasvi ei kasva niin isoksi, että se saisi kerättyä juurillaan tarpeeksi vettä (Begon ym. 1996). Jos olisimme esimerkiksi manipuloineet mullan pH:ta happamammaksi, olisivat taimet mahdollisesti voineet kasvaa siinä hyvin, vaikka ne eivät turpeessa happamassa kasvaneetkaan, koska lupiinin tiedetään kuitenkin viihtyvän monenlaisissa oloissa maaperän ollessa happamasta neutraaliin (Peiter ym. 2001). Lisäksi tarkoituksenamme oli alunperin vertailla neljää eri pH:ta (4, 5,4, 6 ja 7,5) ja kahta eri valoisuutta (valo, varjo), mutta pH:t muuttuivatkin kokeen aikana. Lopulta sekä kalkitun mullan että kalkitun turpeen pH:t olivat todella lähellä toisiaan (kalkittu turve: pH 7,4 ja kalkittu multa: pH 7,6), joten näitä vertailemalla olisi voinut saada tietoa siitä, vaikuttiko itse kasvualustan laatu (multa, turve) vai kalkitus taimien kasvuun. Tätä ei voitaisi kuitenkaan yleistää koskemaan kalkitsematonta multaa ja turvetta, koska kalkilla oli todennäköisesti erilainen vaikutus eri kasvualustoihin. Jos mullan ja turpeen pH olisi saatu ilman kalkkia tai muuta kasvuun vaikuttavaa tekijää lähelle toisiaan, olisi se kertonut paremmin eroista mullassa ja turpeessa kasvaneiden taimien välillä. Pelkästään mullassa kasvaneita lupiineja tarkastelemalla, voidaan kuitenkin vahvistaa aikaisempien tutkimusten tulokset (Peiter ym. 2000), että emäksisessä maaperässä lupiini kasvaa heikommin, kuin lähellä neutraalia olevassa pH:ssa.

Kokeessamme turpeessa, jonka pH oli 4, kasvaneet taimet olivat pienimpiä ja kevyimpiä sekä lehtiä oli vähiten ja ne olivat pieniä verrattuna pH:ssa 7,4 kasvaneisiin taimiin. Turpeessa pH:ssa 4 kasvaneet taimet olivat myös silmämääräisesti arvioituna pienimpiä verrattuna muissa happamuuksissa (pH:t 6,5, 7,4 ja 7,6) kasvaneisiin taimiin. Tämä voi johtua myös siitä, että lupiini on typensitojakasvi (Saarinen ym. 2006) ja typensidonta heikkenee matalassa pH:ssa (Etherington 1975), mikä saattaa huonontaa lupiinin kasvua. Keltalupiinin (*Lupinus luteus*) ja valkolupiinin (*Lupinus albus*) on kuitenkin todettu kasvavan hyvin jopa 4,7 pH:n maaperässä, vaikka osa kärsii tällöin lievistä kloroosista (Foy 1997). Tulostemme mukaan lupiini kasvoi hyvin maaperässä, jonka pH oli noin 6,5. Tällöin taimet olivat pisimpiä ja painavimpia sekä taimilla oli lehtiä enemmän ja ne olivat isompia kuin pH:ssa 7,6 kasvaessaan. pH 6,5 oli myös paras kasvualusta, kun verrattiin kaikkia kasvualustoja (pH:t 4, 7,4, 7,6) silmämääräisesti keskenään. Mullassa (pH:t 6,5 ja 7,6) ja turpeessa (pH:t 4 ja 7,4) kasvaneiden kasvien välisiä eroja emme kuitenkaan voineet testata suoraan tilastollisesti, koska multa ja turve eroavat jo itse ominaisuuksiltaan niin paljon. Siten emme olisi pystyneet toteamaan, johtuuko ero tällöin pH:sta vai kasvualustasta (multa, turve) yleensä. Lisäksi pH:ssa 4 (turve) kasvaneista taimista 3 kuoli kokeen aikana, kun taas muissa käsittelyissä (pH:t 6,5, 7,4, 7,6) kaikki taimet säilyivät hengissä koko kokeen ajan.

Matalan pH:n lisäksi myöskin kovin korkea pH oli haitallinen lupiinin taimien kasvulle. pH:ssa 7,6 (kalkittu multa) taimet kasvoivat huonommin kuin pH:ssa 6,5

(multa). Kuitenkin pH:ssa 7,4 (kalkittu turve) taimet kasvoivat paremmin kuin pH:ssa 4 (turve), vaikka pH olikin korkea. Tätä voidaan mahdollisesti selittää sillä, että kalkin avulla pystyttiin nostamaan turpeen pH:ta, mutta multa taas saattoi muuttua kalkin takia liian emäksiseksi taimien kasvulle. On myös todettu, että matalassa pH:ssa kalkin vaikutus lupiinien kasvuun on positiivisempi kuin korkeassa pH:ssa vaikkakin vähäisempi eli kalkitus saattaa poistaa happaman maaperän aiheuttamaa kloroosia, mutta ei juurikaan paranna kasvua (Foy 1997). Lisäksi syitä taimien erilaiseen kasvuun kalkitsemattomalla ja kalkitulla kasvualustalla voidaan etsiä myös kalkkipitoisten maiden ominaisuuksista. Kalkkipitoisissa maissa, joiden pH vaihtelee 7,5 ja 8,3 välillä ravinteiden liukoisuus heikkenee, jolloin raudanpuute on hyvin yleistä (Etherington 1975). Tämä saattaa ainakin osittain selittää taimien huonompaa kasvua pH:ssa 7,6 (kalkittu multa) kuin pH:ssa 6,5 (multa). Aikaisempien tutkimusten mukaan maaperän korkea kalkkipitoisuus heikentää muiden lupiinilajien (keltalupiini *Lupinus luteus*, sinilupiini *Lupinus angustifolius* ja valkolupiini *Lupinus albus*) kasvua hidastaen verson kasvua ja aiheuttaen mm. kloroosia (lehtivihreän puutetta) ja aineenvaihdunnan heikkenemistä (De Silva ym. 1994, Peiter ym. 2000). Ravinteiden epätasapaino vaikuttaa kalkin lisäksi näihin kasvuominaisuuksiin (Peiter ym. 2000). Kuitenkaan verson pituuden suhteen pH:ssa 6,5 ja pH:ssa 7,6 kasvaneiden taimien välillä ei ollut merkitsevää eroa (Kuva 8B), mihin kokeen kesto voi olla yhtenä syynä. Kalkin lisäyksen aiheuttamat muutokset eivät näy heti (Lammerts ym. 1999), joten pidemmällä aikavälillä pH:ssa 6,5 (multa) ja pH:ssa 7,6 (kalkittu multa) kasvaneiden taimien pituudessa olisi mahdollisesti voitu havaita myös merkitseviä eroja. Vaikka kalkitus ei vaikuttanut mullassa kasvaneiden taimien pituuteen, niin pH:ssa 7,4 (kalkittu turve) kasvaneet taimet olivat kuitenkin pidempiä kuin pH:ssa 4 (turve) kasvaneet (Kuva 8A). Tätä voidaan myös selittää mahdollisesti ajan avulla, koska turpeinen kasvualusta tuntui vaativan enemmän kastelua. Tällöin kalkkikin saattoi imeytyä siihen nopeammin kuin multaiseen kasvualustaan, jossa erot pituuskasvussa eivät vielä näkyneet.

Valon vaikutus lupiinin kasvuun riippui lupiinien kasvualustasta. Valossa lämpötila oli korkeampi kuin varjossa, mikä saattoi myös vaikuttaa taimien kasvuun. Valolla on kuitenkin suurempi merkitys kasvun kannalta, koska siemenet eivät idä täysin pimeässä missään lämpötilassa (Corbineau & Côme 1982). Korkea lämpötila voi myös jopa heikentää kasvin kasvua (Lafta & Lorenzen 1995). Valo paransi selkeästi yhdistettynä hyvän maaperän (maaperä, jonka pH oli 6,5) kanssa lupiinin kasvua. Tulokset olisivat mahdollisesti hyvin samanlaisia myös monien muiden vieraslajien kohdalla, koska vieraslajeja tavataan enemmän avoimilla alueilla (Dukes & Mooney 1999, Huston 2004, Flory & Clay 2009). Valon määrä ei vaikuttanut taimien loppupainoon (Kuva 10A ja 11A) ja lehtien määrään (Kuva 12A) silloin, kun taimet kasvoivat pH:ssa 4 ja 7,4 (eli turpeessa), mutta taimien lehdet olivat isompia ja versot pidempiä varjossa kuin valossa. Kokeen lopussa ravinteet todennäköisesti loppuivat ruukuista ja siksi erot tasoittuivat eikä eroja tämän takia välttämättä esiintynyt taimien loppupainossa tai lehtien määrässä. pH:ssa 6,5 (multa) kasvaneet taimet olivat pidempiä aluksi varjossa kuin valossa, mutta kokeen päätyttyä ne olivat valossa pidempiä kuin varjossa. Valoshokki, mikä tapahtui kokeen alussa (ensimmäisinä päivinä taimien ulosviennin jälkeen) valossa kasvaneille taimille, saattoi vaikuttaa tähän. Valoshokin jälkeen kului vähän aikaa ennen kuin taimet toipuivat ja alkoivat kasvaa paremmin. pH:ssa 6,5 ja 7,6 (eli mullassa) kasvaneet taimet olivat valossa painavampia, niiden lehdet olivat isompia ja lehtiä oli enemmän kuin varjossa. Lisäksi mullassa kasvaneiden lupiinien versot olivat juuria painavampia (verso/juuripainosuhte oli suurempi) varjossa kuin valossa (Kuva 9B). Koska multa oli kasvatuskokeemme perusteella paras kasvualusta ja taimilla oli mullassa hyvät mahdollisuudet panostaa kasvuun, saattavat taimien painoerot eri valoisuusolosuhteiden

välillä näkyä mullassa selkeämmin kuin turpeessa. Turpeessa taimet kasvoivat luultavasti muutenkin huonommin, joten valon vaikutus painoon ei ilmennyt niin selvästi.

Lupiinin taimien parempi kasvu valossa voi johtua siitä, että valo edistää mullassa kasvaneiden kasvien kasvua. Lämpötilalla voi olla myös vaikutusta tähän, koska valossa kasvaneet taimet kasvoivat myös lämpimämmässä kuin varjossa kasvaneet, joten mahdollisesti sekä valo että lämpötila yhdessä selittävät taimien parempaa kasvua. Varjossa lupiinin typensitomiskyky vaatii kuitenkin paljon energiaa, mikä voi vaikuttaa lupiinin huonompaan menestymiseen varjossa (Begon ym. 1996) riippumatta lämpötilasta. Sprentin (1973) tutkimuksen mukaan toisen lupiini-lajin (*Lupinus arboreus*) tyyppä sitovien juurinyströiden määrä vähenee ja paino pienenee varjossa kasvaessa. Tutkimuksissa on myös todettu juurien ympäristön lämpötilan vaikuttavan typensidontaan heikentävästi (Legros & Smith 1994), vaikkakin tulos on hieman ristiriitainen. mm. Palmason ym. (1992) sanovat lupiinin pystyvän sitomaan hyvin tyyppä myös matalassa lämpötilassa. Varjossa kasvaessaan lupiinit tulostemme mukaan panostivat myös enemmän verson kuin juurten kasvuun, mikä varmasti entisestään heikentää typensidontan mahdollisuuksia lupiinilla. Lisäksi varjossa kasvit pyrkivät verson runsaamman kasvun avulla pääsemään valoon. Myös muissa tutkimuksissa on todettu, että kasvit varjossa kasvaessaan panostavat enemmän verson kuin juuren kasvuun sekä kasvattavat suurempia lehtiä ja pidemmän verson parantaakseen mahdollisuuksiaan päästä valoisampaan ympäristöön ja maksimoidakseen fotosynteesipinta-alan (Jones & McLeod 1990, Groninger ym. 1996, Alvarenga ym. 2003, Hoffmann & Franco 2003). Hoffmannin & Francon (2003) tutkimuksen mukaan metsässä kasvaneet kasvit olivat jopa kaksi kertaa savaniympäristössä kasvaneita kasveja pidempiä ja niiden lehdet olivat yli 50 %:a isompia. Erot kasvun painottumisessa kasvin eri osiin alkavat näkyä kuitenkin merkittävästi vasta, kun varjostus on tarpeeksi suurta verrattuna valoisaan ympäristöön. Valon määrä täytyy pienentyä jopa 70 % täysin valoisaan ympäristöstä, ennen kuin erot kasvussa tulevat merkitseviksi (Alvarenga ym. 2003). Meidän tutkimuksessamme varjokäsittelyssä valonmäärä oli jopa 90 %:a siitä valosta, mitä mitattiin valokäsittelyssä, mikä tukisi myös sitä, että erot johtuvat todennäköisemmin juuri valosta eikä lämpötilasta.

Tulostemme perusteella voidaan sanoa, että lupiini menestyy hyvin valoisassa habitaatissa ja multa-kasvualustalla, jonka pH on 6,5 ja heikosti turpeessa, jonka pH on 4. Tutkimusalueidemme tienvarsien pH vastaakin hyvin tätä parhaaksi todettua pH:ta 6,5, joten tienpielet vastaavat todennäköisesti hyvin habitaattia, johon lupiini on luontaisesti sopeutunut alkuperäisellä alueellaan. Sama voi päteä myös monien muiden vieraslajien kohdalla, koska vieraslajien on todettu viihtyvän tienvarsilla (Dukes & Mooney 1999, Huston 2004, Flory & Clay 2009). Mikään tutkimuksessamme tarkastelluista tekijöistä (lupiinin siementen ja taimien määrä, siementen paino, teiden liikennöinti-intensiteetti tai maaperän pH) ei kuitenkaan selitä lupiinin esiintymistä. Koska lupiini ei luontaisesti levittäydy laajalle alueelle, on sen täytynyt siirtyä uuteen ympäristöön esim. ihmisten toiminnan avulla, kuten useimmat muutkin vieraslajit levittäytyvät (Crawley 1997). Lupiinia siirretään tienvarsilta kotipihoihin, joista se edelleen saattaa levitä pihojen ulkopuolelle. Syitä lupiinin esiintymiseen ja levittäytymiseen tienvarsilla voidaan etsiä mahdollisesti myös tienvarsien maaperän alkuperästä. Tietyömaille tuodaan usein peitemaata muualta. Tuotu maa saattaa sisältää lupiinin siemeniä, jolloin lupiini on sitten päässyt uusille alueille puutarhan ulkopuolelle. Lupiinin siemenet voivat säilyä itämiskykyisinä pitkään (Otte ym. 2002). Lupiinin siementen kulkeutumisen estäminen maaperän mukana on tehokkain tapa estää lupiinin leviämistä uusille alueille, koska kasvustojen niittäminen ei rajoita lupiinin kasvua (Saarinen ym. 2010). Lupiinin peittävyys on todettu nousevan niittämisestä huolimatta ja useampi niitto haittaisi myös tienvarsien muuta kasvillisuutta sekä perhosia yksipuolistaen lajistoa, koska kasvillisuus ei

ehdi uusiutua (Saarinen ym. 2006). Torjunnassa ja tienvarsien maaperän muokkaamisessa voitaisiin hyödyntää tietoa siitä, että lupiini viihtyi huonosti happamassa turpeisessa maaperässä ja muokata tienvarsien maata happamammaksi. Ongelmana tässä kuitenkin olisi se, ettei suurin osa muistakaan kasvilajeista todennäköisesti kasvaisi enää kovin happamassa maaperässä (Begon ym. 1996). Tulostemme mukaan varjoinen kasvupaikka heikensi myös osaltaan lupiinin taimien kasvua. Tienvarsien kasvillisuutta ei voida varjostaa esimerkiksi istuttamalla puita, koska ne huonontaisivat näkyvyyttä ja siten heikentäisivät liikenneturvallisuutta. Keinotekoisesti lupiiniesiintymää voitaisiin varjostaa esimerkiksi tiiviillä kankaalla, mutta käytännössä tämä olisi erittäin hankalaa suuremmalla mittakaavalla. Tämäkin voisi haitata myös muuta kasvilajistoa, mutta yleisesti tiiviissä lupiiniesiintymässä esiintyy lähinnä vain lupiinia. Näin lupiinien kasvua voitaisiin ainakin mahdollisesti hidastaa, vaikei täysin estää. Olisi myös mielenkiintoista tietää tarkemmin, syökö jotkin eläimet komealupiinin siemeniä Suomen luonnossa tai sen alkuperäisellä kasvialueella ja voisiko sitä kautta löytyä ratkaisua lupiinin torjuntaan.

TYÖNJAKO

Työn suunnittelu, maastotyöt, teoriataustan selvitys ja kirjoittaminen sekä tulosten tulkinnat on tehty täysin yhteistyössä. Tilastoanalyysit ja tulosten selostukset on jaettu niin, että Paula teki maastotutkimuksen analyysit ja Anna kasvatuskokeen. Analyysit on kuitenkin suunniteltu ja tulkittu yhdessä.

KIITOKSET

Ensiksi haluamme kiittää ohjaajiamme Leena Lindströmiä, Anne Lyytistä ja Elisa Valliusta kaikista neuvoista koko gradunteon ajalta. Lisäksi erityiskiitokset tutkimuksemme rahoittajille Suomen Biologian Seura Vanamolle, Societas pro Fauna et Flora Fennica –seuralle ja Suomen Kulttuurirahastolle, jotka mahdollistivat työmme toteutuksen. Keski-Suomen ELY-keskukselle kiitokset lupiinikartoitusaineistosta, aluiden valinnasta ja neuvoista niihin liittyen. Harri Högmanderia haluamme kiittää avusta tilastollisten analyysien kanssa. Kiitos myös Etelä-Karjalan Allergia- ja Ympäristöinstituutille lupiinijulkaisumateriaalin saamisesta.

KIRJALLISUUS

- Alvarenga A.A., Castro E.M., Castro Lima Junior E., Magalhaes M.M. 2003. Effects of different light levels on the initial growth and photosynthesis of *Croton urucurana* Baill. In southeastern Brazil. *Rev. Arvore* 27: 53-57.
- Aniszewski T. 1998. Perennial Stability of Total Quinolizidine Alkaloid Content in Alkaloid-Poor Washington Lupin (*Lupinus Polyphyllus* Lindl). *J. Sci. Food. Agric.* 76: 195-199.
- Augspurger C.K. 1986. Morphology and Dispersal Potential of Wind-Dispersed Diaspores of Neotropical Trees. *Am. J. Bot.* 3: 353-363.
- Baker H.G. 1965. Characteristics and Modes of Origin of Weeds. Teoksessa: Baker H.G. & Stebbins G.L. (toim), *The genetics of colonizing species* 147-168.
- Begon M., Harper J.L. & Townsend C.R. 1996. *Ecology*. Blackwell Science Ltd.
- Bertness M. D. 1984. Habitat and community modification by an introduced herbivorous snail. *Ecology* 65: 370-381.
- Bilton D.T., Freeland J.R. & Okamura B. 2001. Dispersal in freshwater invertebrates. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 32: 159-181.
- Bouwmeester H.J. & Karssen C.M. 1992. The dual role of temperature in the regulation of the seasonal changes in dormancy and germination of seeds of *Polygonum persicaria* L. *Oecologia* 90:88-94.

- Bullock J.M., Kenward R.E. & Hails R. 2002. *Dispersal Ecology*. Blackwell, Malden, MA.
- Clobert J, Danchin E., Dhondt A.A. & Nichols J.D. 2001. *Dispersal*. Oxford University Press, Oxford.
- Comins H.N., Hamilton W.D. & May R.M. 1980. Evolutionary stable dispersal strategies. *J. Theor. Biol.* 82: 205-230.
- Corbineau F. & Côme D. 1982. Effect of the intensity and duration of light at various temperatures on the germination of *Oldenlandia corymbosa* L. seeds. *Plant Physiol.* 70: 1518-1520.
- Crawley M.J. 1997. *Plant ecology*, Blackwell Science, Oxford.
- D'Antonio C.M. 1993. Mechanisms controlling invasion of coastal plant communities by the alien succulent, *Carpobrotus edulis*. *Ecology* 74: 83-95.
- Davis M.A., Grime J.P. & Thompson K. 2001. Fluctuating resources in plant communities: a general theory of invasibility. *J. Ecol.* 88: 528-534.
- De Silva D.L.R., Ruiz L. P., Atkinson C. J. & Mansfield T. A. 1994. Physiological disturbances caused by high rhizospheric calcium in the calcifuge *Lupinus luteus*. *J. Exp. Bot.* 45(5): 585-590.
- Dukes J.S. & Mooney H.A. 1999. Does global change increase the success of biological invaders? *Trends Ecol. Evol.* 14: 135-139.
- Elton C. 1958. *The ecology of invasions by plants and animals*, Methuen, London.
- Etherington, J.R. 1975. *Environment and Plant Ecology*, John Wiley & sons, London.
- Fenner M. 1985. *Seed ecology*. Chapman and Hall Ltd, London.
- Fitter A.H. & Hay R.K.M. 1987. *Environmental Physiology of Plants*. Academic Press, London.
- Flory S.L. & Clay K. 2009. Effects of roads and forest successional age on experimental plant invasions. *Biol. Conserv.* 142: 2531-2537.
- Foy C.D. 1997. Tolerances of lupin species and genotypes to acid soil and coal mine spoil. *J. Plant Nutr.* 20(9): 1095-1118.
- Fremstad E. 2006. NOBANIS – Invasive Alien Species Fact Sheet- *Lupinus polyphyllus*.
- Garnier A., Pivard S. & Lecomte J. 2008. Measuring and modelling anthropogenic secondary seed dispersal along roadverges for feral oilseed rape. *Basic Appl. Ecol.* 9: 533-541.
- Groninger J. W., Seiler J. R., Peterson J. A. & Kreh R. E. 1996. Growth and photosynthetic responses of four Virginia Piedmont tree species to shade. *Tree Physiol.* 16: 773-778.
- Hector A., Dobson K., Minns A., Bazeley-White E. & Lawton J.H. 2001. Community diversity and invasion resistance: An experimental test in a grassland ecosystem and a review of comparable studies. *Ecol. Res.* 16: 819-831.
- Hoffmann W.A. & Franco A.C. 2003. Comparative growth analysis of tropical forest and savanna woody plants using phylogenetically independent contrasts. *J. Ecol.* 91: 475-484.
- Howard W.E. 1960. Innate and environmental dispersal of individual vertebrates. *Am. Midl. Nat.* 63: 152-161.
- Howe H.F. 1989. Scatter and clump-dispersal and seedling demography: hypothesis and implications. *Oecologia* 79 : 417-426.
- Howe H. & Smallwood J. 1982. Ecology of seed dispersal. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 13: 201-228.
- Huston M.A. 2004. Management strategies for plant invasions: manipulating productivity, disturbance, and competition. *Divers. Distrib.* 10: 167-178.
- Hämet-Ahti L., Suominen J., Ulvinen T. & Uotila P. (toim.) 1998. *Retkeilykasvio*, 4. täysin uudistettu painos. Luonnontieteellisen keskusmuseon kasvimuseo. Yliopistopaino, Helsinki.
- Jantunen J., Saarinen K. & Valtonen A. 2005. *Niitettyjen tienpientareiden kasvillisuus. Vuoden 2005 tulokset. Raportti 4*. Etelä-Karjalan Allergia- ja Ympäristöinstituutti, Joutseno. 26 s.
- Janzen D.H. 1970. Herbivores and the Number of Tree Species in Tropical Forests. *Am. Nat.* 940: 501-528.
- Jones R.H. & McLeod K.W. 1990. Growth and photosynthetic responses to a range of light environments in Chinese tallow tree and Carolina ash seedlings. *For. Sci.* 36: 851-862.
- LaBolle R.T. 2008. The Effect of Fire on the Seed Bank of *Lupinus arboreus*. *California State Science Fair 2008 Project Summary*.
- Lafta A.M. & Lorenzen J.H. 1995. Effect of high temperature on plant growth and carbohydrate metabolism in potato. *Plant Physiol.* 109: 637-643.

- Lammerts E.J., Pegtel D.M, Grootjans A.P. & van der Veen A. 1999. Nutrient limitation and vegetation changes in a coastal dune slack. *J. Veg. Sci.* 10: 111-122.
- Lampinen R. & Lahti T. 2010. *Kasviatlas 2009*. Helsingin yliopisto, Luonnontieteellinen keskusmuseo, Helsinki.
- Legros, T. & Smith, D.L. 1994. Root zone temperature sensitivity of nitrogen fixing and nitrate-supplied soybean [*Glycine max* (L.) Merr. cv maple arrow] and lupin (*Lupinus albus* L. cv ultra) plants. *Environ. Exp. Bot.* 34: 117–127.
- Lehto T. 1994. Effects of soil pH and calcium on mycorrhizas of *Picea abies*. *Plant Soil* 163: 69-75.
- Levin D.A. 1990. The seed banks as a source of genetic novelty in plants. *Am. Nat.* 135: 563-572.
- Levine J.M. 2008. Biological Invasions. *Curr. Biol.* 18(2): 57-60.
- Lidicker W.Z. Jr. 1962. Emigration as a possible mechanism permitting the regulation of population density below carrying capacity. *Am.Nat.* 96: 23-29.
- Liikennevirasto 2011. Liikenneviraston liikennemääräkartta –sivu. http://www.tiehallinto.fi/servlet/page?_pageid=71&_dad=julia&_schema=PORTAL30&menu=5196&_pageid=71&linkki=993&julkaisu=506&kieli=fi/ Luettu 29.3.2011.
- Lonsdale W.M., Harley K.L.S & Gillett J.D. 1988. Seed bank dynamics in *Mimosa pigra*, an invasive tropical shrub. *J. Appl. Ecol.* 25: 963-976.
- Mack R.N., Simberloff C.D. & Lonsdale W.M. 2000. Biotic Invasions: Causes, Epidemiology, Global Consequences and Control. *Issues in ecology* 5: 1-20.
- Maron J.L. & Connors P.G. 1996. A native nitrogen-fixing shrub facilitates weed invasion. *Oecologia* 105: 302-312.
- Maron, J.L. & Kauffman, M.J. 2006. Habitat-specific impacts of multiple consumers on plant population dynamics. *Ecology* 87: 113-124
- Maron J.L. & Simms E.L. 1997. Effect of seed predation on seed bank size and seedling recruitment of bush lupine (*Lupinus arboreus*). *Oecologia* 111: 76-83.
- Maron J.L. & Vila M. 2001. When do herbivores affect plant invasion? Evidence for the natural enemies and biotic resistance hypotheses. *Oikos* 95: 361-373.
- Masaki T., Kominami Y. & Nakashizuka T. 1994. Spatial and Seasonal Patterns of Seed Dissemination of (*Cornus controversa*) in a Temperate Forest. *Ecology* 7: 1903-1910.
- Mossberg B. & Stenberg L. 2003. *Suuri Pohjolan Kasvio*. Tammi, Helsinki.
- Neuhauser C. 1998. Habitat destruction and competitive coexistence in spatially explicit models with local interactions. *J. Theor. Biol.* 193: 445-463.
- Noble I.R. 1989. Attributes of invaders and the invading process: terrestrial and vascular plants. Teoksessa: Drake J. A. ym. (toim.) *Biological Invasions: a Global Perspective*, John Wiley & Sons Ltd. 301-313.
- Otte A., Obert S., Volz H. & Weigand E. 2002. Effekte von Beweidung auf *Lupinus polyphyllus* Lindl. in Bergwiesen des Biosphärenreservates Rhön. *Neobiota* 1: 101-133.
- Palmason F, Danso S. & Hardarson G. 1992. Nitrogen accumulation in sole and mixed stands of sweet-blue lupin (*Lupinus angustifolius* L.) regrass and oats. *Plant soil* 142: 135-142.
- Peiter E., Yan F. & Schubert S. 2000. Are mineral nutrients a critical factor for lime intolerance of lupins? *J. Plant Nutr.* 23: 617-635.
- Peiter E., Yan F. & Schubert S. 2001. Lime-induced growth depression in *Lupinus* species- Are soil pH and bicarbonate involved? *J.Plant Nutr. Soil Sci.* 164: 165-172.
- Porter S.D. & Savignano D.A. 1990. Invasion of polygene fire ants decimates native ants and disrupts arthropod community. *Ecology* 71: 2095-2106.
- Saarinen K., Jantunen J. & Valtonen A. 2006. *Niiton vaikutus tienpientareiden niittyeliöstön monimuotoisuuteen (NIINI)*. Tienhallinnon julkaisuja 9/2006, Tiehallinto, Helsinki, 46 s.
- Saarinen K., Jantunen J. & Valanti M. 2010. Niittokaan ei hillitse lupiinia. *Lutukka* (26.10.2010).
- Schmidt W. 1989. Plant dispersal by motor cars. *Vegetatio* 80: 147-152.
- Scott P. 2008. *Physiology and Behaviour of Plants*. John Wiley & Sons, Ltd.
- Sprent J. I. 1973. Growth and nitrogen fixation in *Lupinus arboreus* as affected by shading and water supply. *New Phytol.* 72:1005-1022.

- Thiele J., Isermann M., Otte A. & Kollmann J. 2010. Competitive displacement or biotic resistance? Disentangling relationships between community diversity and invasion success of tall herbs and shrubs. *J. Veg. Sci.* 21:213–220.
- Thomas C. 2000. Dispersal and extinction in fragmented landscapes. *Proc. R. Soc. Lond. B.* 267: 139-145.
- Travis J.M.J & Dytham C. 1998. The evolution of dispersal in a metapopulation: a spatially explicit, individual-based model. *Proc. R. Soc. Lond. B* 265:17-23.
- Travis J.M.J, Murrell D.J. & Dytham C. 1999. The evolution of density-dependent dispersal. *The Roy. Soc.* 266: 1837-1842.
- Työryhmämuistio MMM 2011:2. Ehdotus kansalliseksi vieraslajistradegiaksi. http://www.mmm.fi/attachments/mmm/julkaisut/tyoryhmamuistiot/newfolder_25/5xXyg8NtA/trm2011_2.pdf.
- Valtonen A., Jantunen J. & Saarinen K. 2006. Flora and lepidoptera fauna adversely affected by invasive *Lupinus polyphyllus* along road verges. *Biol. Conserv.* 133: 389–396.
- van der Pijl L. 1972. *Principles of Dispersal in Higher Plants*. Springer-Verlag, Berlin.
- Vitousek P.M., D'Antonio C.M., Loope L.L. & Westbrooks R. 1996. Biological Invasions as Global Environmental Change. *Am. Sci.* 84: 468-478.
- Willson M.F. 1993. Dispersal mode, seed shadows, and colonization patterns. *Vegetatio* 107/108: 261-280.

Liite 1. Kasvillisuus tutkimusalueilla silmämääräisesti arvioituna

Yleisimpiä kasveja, joita esiintyi kummallakin alueella
voikukat (<i>Taraxacum sp.</i>) peltokorte (<i>Equisetum arvense</i>) maitohorsma (<i>Epilobium angustifolium</i>) kuusentaimet (<i>Picea abies</i>) heinät (Poaceae) valkoapila (<i>Trifolium repens</i>) sinkärsämö (<i>Achillea millefolium</i>) leinikit (<i>Ranunculus sp.</i>) hiirenvirna (<i>Vicia cracca</i>) ohdakkeet (<i>Cirsium sp.</i>) poimulehti (<i>Alchemilla sp.</i>)
Kaupunkialueella maanteitä yleisempiä kasveja
peltokanankaali (<i>Barbarea vulgaris</i>) piharatamo (<i>Plantago major</i>) pietaryrtti (<i>Tanacetum vulgare</i>) koiranputki (<i>Anthriscus sylvestris</i>) lillukka (<i>Rubus saxatilis</i>) vuohenputki (<i>Aegopodium podagraria</i>) puna-ailakki (<i>Silene dioica</i>) nokkonen (<i>Urtica dioica</i>) suolaheinät (<i>Rumex sp.</i>)
Maanteillä esiintyi enemmän kuin kaupungissa
kissankello (<i>Campanula rotundifolia</i>) nurmitädyke (<i>Veronica chamaedrys</i>) sammal sp. orvokki (<i>Viola sp.</i>) koivun (<i>Betula sp.</i>) taimia metsäkurjenpolvi (<i>Geranium sylvaticum</i>) matara (<i>Galium sp.</i>) rätvänä (<i>Potentilla erecta</i>) paju (<i>Salix sp.</i>)