

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Fakultet for miljøvitenskap og teknologi
Institutt for naturforvaltning

Masteroppgave 2014
30/60 stp

Norsk gran (*Picea abies*) sin motstandseven mot gransnutebillen (*Hylobius abietis*): Effekt av methyl jasmonate og plantestørrelse.

Norwegian spruce (*Picea abies*) resistance against pine weevil (*Hylobius abietis*): Effect of methyl jasmonate and plant size.

Rasmus Andreas Stokkeland

Forord

Dette er begynnelsen på slutten av en 2 årig master i Skogfag ved Institutt for Naturforvaltning ved Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet.

Jeg vil takke de som har hjulpet og veiledet oppgaven; Inger Fløistad, Toril D. Eldhuset, og Paal Krokene. En takk til Møre og Romsdal fylkeskommune for økonomisk støtte til feltarbeid.

En stor takk til mine medstudenter på skogfag som har gjort dette til to meget gode år.

Ås, 15. mai 2014

Rasmus Andreas Stokkeland

Sammendag

Gransnutebiller (*Hylobius abietis* L.) ble for første gang observert på 1700- tallet. Det norske navnet gransnutebille kan virke misvisende, da billen i virkeligheten foretrekker furu foran gran og kalles på engelsk «pine weevil», men har trolig sin bakgrunn i at billen i Norge gjør mest skade i plantninger av gran.

Når billen angriper små bartrær kan det føre med seg alvorlige konsekvenser. Billens gnag kan resultere i ringbarking helt inn til veden, og den nedadgående vanntransporten blir dermed brutt. Når vanntransporten i veden brytes vil planten ofte dø på grunn av uttørking.

Selv om små bartreplanter er sårbare for angrep fra gransnutebiller er de ikke helt forsvarsløse. I en koevolusjon mellom skadegjørere og bartreplanter, har bartreplanter gjennom millioner av år utviklet forsvarsmekanismer mot planteetere og skadedyr.

Økt kunnskap rundt aspekter spesifikt relatert til metyl jasmonat (MJ) og plantens morfologiske egenskaper vil kunne bidra til å redusere skader relatert til gransnutebiller og senke kostnader i det norske skogbruket. Kun én tidligere studie har sett på effekten av MJ på utviklingen av finrøtter. Denne ble gjort på furu, det er ikke tidligere gjort lignende studier på norsk gran. En økning i andel finrøtter vil kunne styrke plantens kapasitet til å ta opp vann og næring. Dette vil styrke den fremtidige veksten samt øke plantens forsvarsevne mot gransnutebiller.

Denne oppgaven tar for seg ulike tiltak mot gransnutebiller, med det hovedformål å redusere skader og øke overlevelsen hos planter. Faktorer som granplantens induserbare forsvarsevne og utvikling av finrøtter ved påføring av MJ har blitt testet i veksthus. Forskjeller som fysiske egenskaper, gnag og overlevelse for ulike plantetyper har blitt testet i felt over en toårsperiode på Rykkjem i Møre og Romsdal.

Abstract

Pine weevil (*Hylobius abietis* L.), was first registered in the 17th century. In the early 1900s the forestry went from single-tree selection to a clearcut system. This led to an increase in the access to stumps, where the pine weevil can develop from egg to adult.

An attack from pine weevils on small conifers may lead to serious consequences. An unconnected water transport system in the tree may be the result when beetles eat the bark. When the water transport is cut off the plant often die due to dehydration.

Although small conifers are vulnerable to attack by the pine weevil, they are not completely defenseless. Through coevolution with pests during millions of years, the conifers have evolved defenses against herbivores and pests.

Increased knowledge about aspects specifically related to methyl jasmonate (MJ) and plant morphological characteristics, will help reduce damages related to pine weevil and lower the economic costs in the Norwegian forestry. Only one previous study has been done on the effect of MJ on the development of fine roots. This was on pine and it has not previously been done similar studies on Norway spruce. An increase in the proportion of fine roots will strengthen the plant's future capacity to take up water and nutrients. This will enhance the future growth and increase the plant's defense capability against pine weevil.

This study discusses various measures against pine weevil, with the main objective to reduce injuries and increase the survival of the plants. Factors such as inducible defense capability and development of fine roots by application of MJ have been tested in greenhouses. Different physical properties, gnawing and survival of various plant types have been tested in the field over a two years period in Rykkjem in Møre and Romsdal.

The length of the leader on plants treated with 100 mM MJ was significantly less than the control, four weeks after the last treatment. None of the treatments gave a significant result on the growth of xylem and diameter. However, the relationship of fine and coarse small roots was strongly influenced by MJ. The effect on the production of traumatic resin ducts was highly related to the dose of MJ applied on the plants.

Innholdsfortegnelse

Innledning.....	4
Gransnutebillens biologi	5
Flukt	5
Egglegging	5
Larveutvikling	6
Generasjonstid	6
Matkilde	7
Forebyggende tiltak mot angrep	8
Skjermstilling	8
Ventetid	8
Markberedning	9
Kjemisk beskyttelse.....	9
Fysisk beskyttelse.....	9
Hva styrker plantens overlevelse ved et angrep	10
Plantens morfologiske egenskaper	10
Plantetype	10
Grunnleggende forsvarsegenskaper	11
Påføring av Methyl jasmonat	11
Målsetting.....	13
Material og metode.....	14
Effekt av MJ på vekts og rotutvikling	14
Forsøksdesign.....	14
Behandlinger	15
Tversnitt	17
Whinrizho-analyse av rotutvikling.....	18
Feltforsøk, effekt av markberedning og plantetype	19

Beskrivelse av område og bestand	19
Plantematerialet	20
Datainnsamling	20
Dataanalyse	20
Resultat	22
Effekt av MJ på vekst og rotutvikling	22
Effekt av MJ på apikalvekst	24
Stammediameter	25
Effekt av Methyl jasmonat på vedtilvekst (mm)	26
Effekt av Methyl jasmonat på tørrvekt topp og sideskudd	27
Effekt av Methyl jasmonat på tørrvekt røtter	28
Forholdet mellom fine finrøtter og grovere finrøtter	29
Total lengde av finrøtter	29
Forhold mellom lengden av fine og grove finrøtter	30
Dekningsgrad av traumatiske kvaekanaler (TD)	31
Effekt av markberedning og plantetype	32
Avgang i felt	32
Forskjell i utgangshøyde	33
Forskjell i utgangsdiameter	34
Effekt av markberedning og plantetype på snutebillegnag	35
Diskusjon	36
Effekt av Methyl jasmonat	36
Apikalvekst	36
Stammediameter og vedtilvekst	37
Tørrvekt topp og sideskudd	37
Tørrvekt røtter	38
Forholdet mellom fine og grove finrøtter	39

Dekningsgrad av traumatiske kvaekanaler (TD).....	40
Feltforsøk	41
Avgang	41
Forskjell i utgangshøyde	42
Forskjell i utgangsdiameter	42
Forskjell i gnag	42
Mulige feilkilder i material og metode.....	43
Statistikk.....	45
Konklusjon	47
Litteratur.....	48

Innledning

Gransnutebillen (*Hylobius abietis* L.) ble for første gang observert på 1700- tallet. Det norske navnet gransnutebille kan virke misvisende, da billen i virkeligheten foretrekker furu foran gran og kalles på engelsk «pine weevil» (Långström 1982), men har trolig sin bakgrunn i at billen i Norge gjør mest skade i plantninger av gran.

Tidlig på 1900-tallet gikk skogbruket over fra plukkhogst til bestandsskogbruk. Dette har ført til en økt tilgang til bartrestubber der gransnutebillen kan utvikle seg fra egg til voksent insekt (Hannerz et al. 2002; Von Sydow 1997). Gransnutebillen er dermed blitt et barn av bestandsskogbruket, og konsekvensen er at det er nødvendig å ta forholdsregler mot billeangrep når skogen skal forynges. Når billen angriper små bartrær kan det få alvorlige konsekvenser. Billens gnag på stammen kan resultere i ringbarking helt inn til veden, og den nedadgående vanntransporten blir dermed brutt. Når vanntransporten i veden brytes vil planten etter hvert dø på grunn av uttørking (Skog-og-landskap 2014).

Gransnutebillen finner vi i dag i hele det boreale barskogbeltet, og den er observert i alle deler av Norge. Problemet varierer imidlertid sterkt med hvor en befinner seg i landet. Femten av 17 planteskoler behandlet i 2007-2008 granplantene med insekticid, unntakene var de to nordligste planteskolene (Hanssen 2009). For kystfylkene, spesielt i Møre og Romsdal, er skadeomfanget svært stort og gjennomsnittlig avgang for insekticidbehandlede planter ligger på 34 %, og enkelte steder har det blitt rapportert en avgang på 98 % (Hanssen 2010 a; Hanssen 2010 b).

De økonomiske kostnadene ved snutebilleangrep er ganske selvforklarende og innebærer tap av planter, økt omløpstid, ekstrakostnader ved suppleringsplanting og problemer med gjenvekst av hogstflaten med konkurrerende vegetasjon. Selv med tiltak mot gransnutebillen er skadeomfanget meget stort. Skadene billene påfører skogbruket bare i Sverige er estimert til 140 millioner SEK årlig (Sveriges-lantbruksuniversitet 2011).

Denne oppgaven tar for seg ulike tiltak mot gransnutebillen med det hovedformål å redusere skader og øke overlevelsen hos planter. Faktorer som granplanters induserbare forsvarsevne og utvikling av finrøtter ved påføring av MJ har blitt testet i veksthus. Forskjeller som fysiske egenskaper, gnag og overlevelse for ulike plantetyper har blitt testet i felt over en toårsperiode på Rykkjem i Møre og Romsdal.

Gransnutebillens biologi

Flukt

Billene begynner å fly i siste halvdel av mai, når vind- og temperaturforhold ligger til rette for det (Gyldberg* 1979; Långström 1982). Flyktige terpener og andre dufter fra hogstavfall og stubber på nye hogstflater lokker til seg gransnutebillene (Sveriges-lantbruksuniversitet 2014b). Vindstyrken bør ikke overstige 4 m/s, og lufttemperaturen må være på minimum 16 °C. Billenes flygeaktivitet når sitt maksimum rundt 21-22 °C (Gyldberg* 1979). Ved gunstige værforhold vil hele 90 % av snutebillepopulasjonen ha vært på vingene i løpet av to uker, men flygeperioden varer ut juni (Gyldberg* 1979). Svenske laboratorieforsøk har vist at billene kan forflytte seg så mye som 80 km under fluktperioden, men sjelden mer enn 20 km pr dag (Solbreck 1980). Gransnutebillen flyr distansen i flere etapper og siden vindretningen kan skifte i løpet av flukten kan ruten bli ganske uregelmessig (Butawitsch 1932). Hunnen mister vingene etter flukten og forblir på hogstflaten (Nordenhem 1989).

Egglegging

Når billen flyr over en hogstflate snur den seg mot vinden og lander (Nordenhem 1989). Siden flygemuskulaturen er ferdig utviklet før hunnen har blitt kjønnsmoden (Nordenhem 1989) slår hunnen seg ned i trekronen på et bartre for å spise. Hun spiser frem til hun er kjønnsmoden, noe som tar rundt to uker (Örlander et al. 2000). Eggleggingen starter når hunnen har funnet et egnet foryngelsessubstrat, det vil si døende røtter av bartrær. Hunnen lukter seg frem til egnete røtter ved å orientere seg etter terpener som skilles ut fra røttene (Nordlander 1986).

Eggene blir lagt enten i jorda eller i barken, avhengig av de lokale forholdene.

Gransnutebillen legger mesteparten eggene i jorden mellom 0-5 cm over roten, men dette avhenger av om roten er helt eller delvis eksponert for luft (Örlander et al. 1997). Eggene blir lagt i barken på røttene dersom det er fare for uttørking, siden tilstrekkelig fuktighet er kritisk for overlevelsen for både eggene og larven (Nordlander 1997; Salisbyr 1998). En enkelt hunn legger i snitt 0,8 egg pr dag i løpet av sesongen som varer i rundt 14 uker (Bylund et al. 2007).

Larveutvikling

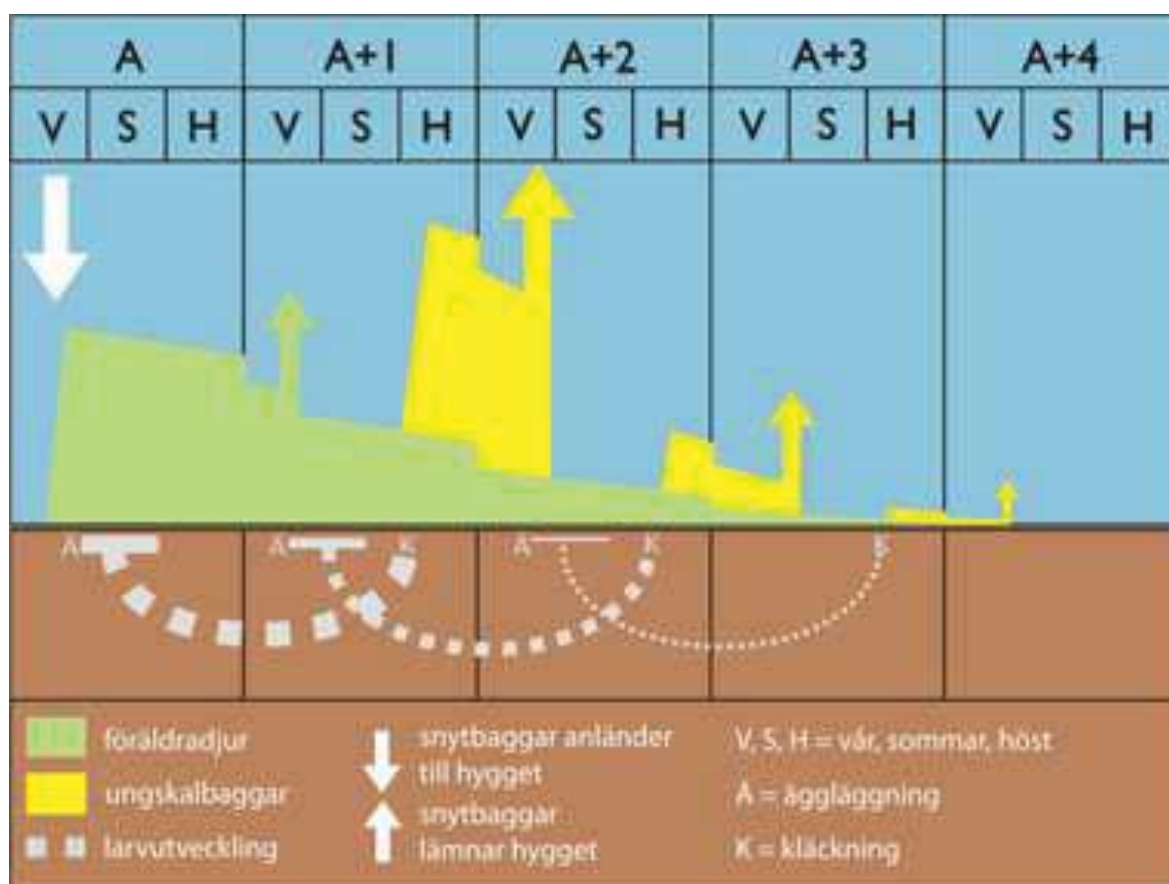
Eggene klekker etter cirka 14 dager dersom temperaturen er 15 °C (Salisbury 1998). Ingen egg klekker dersom temperaturen er under 12 °C (Salisbury 1998). Når larven er klekket forlater den foryngelsessubstratet som er okkupert av flere individer, og søker seg mot nærliggende røtter. Larvene lukter seg frem til røttene ved hjelp av en kombinasjon av terpenier og etanol (Nordlander 1994). Distansen larven kan tilbakelegge under bakken er fra 50 mm for nyklekte larver opp til 100 mm for eldre larver (Nordlander 1994). Under optimale forhold med en jordtemperatur på 23 °C bruker larvene 40 dager fra de klekker til de forpupper seg (Christiansen 1971b; Nordlander 1997), men siden temperaturen i bakken aldri er så høy som dette tar larveutviklingen som regel mye lenger tid (Christiansen 1971b). Larvene overvintrer i røttene før de når det siste stadiet, og

Generasjonstid

Det tar én til fire uker i kammeret før det er blitt en bille, den unge billen blir så én til fire uker i puppekammeret før den kommer ut. Syklusen fra egg til imago har i laboratorieforsøk vist seg å være fra 105-125 dager, under konstante temperaturforhold (Christiansen 1971b). Under feltforhold i sørlige deler av Skandinavia er utviklingstiden fra egg til voksent insekt fra ett til fire år. Den nye generasjonen klekker ofte i løpet av høsten andre året eller våren tredje året etter egglekking. Dette varierer sterkt med forhold som høyde over havet, eksponering og temperatur. Variasjoner forekommer også innad på flaten grunnet ulike skygge- og mikroklimatiske forhold (B.Bejer-Petersen. P 1962).

De nyklekte billene er verken kjønnsmodne eller har utviklet flygemuskulatur når de kommer ut, og blir på hogstflaten og spiser frem til de overvintrer (Nordenhem 1989; Tan et al. 2010). Når de så trekker ut på hogstflaten igjen i april spiser de i cirka to uker fram til flygemuskulaturen er ferdig utviklet (Nordenhem 1989). Foreldregenerasjonen kommer også fram igjen rundt midten av april når lufttemperaturen når 5 °C (Nordenhem 1989; Örlander et al. 1997). Gransnutebillen kan overleve opptil tre vintere, så når både foreldrebiller og avkom trekker ut på hogstflaten (se Figur 1) kan antall individer på hogstflaten bli svært høyt (Nordenhem 1989). Antall gransnutebiller for ett år gamle hogstflater er estimert til mellom 12 860 og 15 100 individer per hektar (ha) (Nordlander et al. 2003a).

Foreldregenerasjonen går i dvale i humuslaget i løpet av seinhøsten, for så å trekke ut til hogstflaten igjen om våren (Nordenhem 1989).



Figur 1: Skjematisk illustrasjon av populasjonsutviklingen på en hogstflate for gransnutebille under forutsetning av to års generasjonstid. A, avvirkningsår; A+1, ett år etter avvirkning; A+2, to år etter avvirkning; A+3, tre år etter avvirkning; A+4, fire år etter avvirkning (Nordlander et al. 2014).

Matkilde

Hver gransnutebille spiser i snitt $0,23\text{cm}^2$ bark per dag under semi-naturelle forhold. På en nyavvirket hogstflate med 14 000 individer pr ha vil $0,32\text{ m}^2$ bark bli konsumert pr dag/ha. Med en barkoverflate på 1000 mm^2 for en pluggplante og med 2500 planter/ha vil matkilden fra pluggplantene utgjøre $2,5\text{ m}^2/\text{ha}$. Plantene vil da kunne mette 14 000 individer i 8 dager, under forutsetning at hele barkoverflaten blir spist (Bylund et al. 2007).

Siden ikke alle plantene på en hogstflate blir spist av billene kan ikke unge bartreplanter utgjøre hovedmatkilden til gransnutebillen. Hovedkilden til mat er trolig de ytterste delene av greiner, røtter, toppler og stubber hvor barken er tynnest (Nordlander et al. 2003; Örlander et al. 2000). Gransnutebillen foretrekker furu, men kan også spise bark av andre treslag om nødvendig hvor preferansen er: Furu >> Hengebjørk >> Gran >> Ask >> Plantanolønn (Simon R. LEATHER 1994).

Under regulerte temperaturforhold ble konsumet av bark fem ganger høyere ved 20 °C, sammenlignet med en temperatur på 10 °C (Simon R. LEATHER 1994). Gnag pr plante kan reduseres med nesten 2/3 om man har tilstrekkelig med andre kilder til mat rundt planten (Örlander et al. 2001). Konsumet av bark er også påvirket av mikro-topografiske forhold siden mesteparten av gnaget foregår under bakken (Nordlander et al. 2005).

Forebyggende tiltak mot angrep

Siden starten av bestandsskogbruket har man forsøkt å beskytte bartreplantene med insekticider, fysisk stammebeskyttelse, brakkperioder, skogskjøtselstiltak og markberedning av hogstflaten.

Skjermstilling

Det er påvist at bruk av skjermstilling kan redusere skadeomfanget av gransnutebillen (Von Sydow 1994; Wallertz 2005; Wallertz et al. 2005; Wallertz 2006). For både gran og furu er skadegraden korrelert med tettheten til skjermen, og en skjerm på mer enn 32 trær per dekar gir signifikant mindre skader enn en glissen skjermstilling med mindre enn 8 trær per dekar (Von Sydow 1994).

Ventetid

Ved å legge hogstflaten brakk for en periode vil de fleste gransnutebillene kunne være klekket før planting (se «Generasjonstid» og Figur 1). Effekten av en brakkperiode er vist i flere studier (Hannerz et al. 2002; Nordlander et al. 2011; Von Sydow 1997; Örlander & Nilsson 1999). Vanlig ventetid i for eksempel Møre og Romsdal vil være fire år. Å vente med å plante etter hogst kan medføre ulemper som gjenvekst av vegetasjon og økt rotasjonstid

Markberedning

Markberedning reduserer skadegraden betraktelig og øker overlevelsen til unge bartreplanter (Nordlander et al. 2011; Von Sydow 1997). Det markberedte området er ikke mindre attraktivt eller gjør planten vanskeligere å finne, men blottlegging av mineraljord gjør gransnutebillen mer eksponert. Den beveger seg derfor raskere over flekken (Oskar Kindvall 2000; Örlander & Nordlander 2003). Ved opparbeiding av en mineraljordfleck vil det være lite til ingen vegetasjon på planteplassen. Økt vegetasjon som følge av gjengroing vil gi mer ly og dermed føre til økt andel skader (Petersson et al. 2006; Örlander & Nordlander 2003). På grunn av dette er det viktig at utplantingen skjer samme år som det er markberedt.

Markberedning er ferskvare og effekten er avtagende med alderen til flekken (Örlander & Nordlander 2003). Topografisk utforming av mineraljordflekken er også viktig, da gransnutebillen har problemer med å ta seg opp en helning med en 27° gradient. Effekten er mindre skader sammenlignet med flatmark (Nordlander et al. 2005).

Kjemisk beskyttelse

Behandling med ulike insekticid har lenge vist til gode resultater for overlevelse (Härilin 2013; Nordlander et al. 2011; Von Sydow 1997; Örlander & Nilsson 1999). I norske planteskoler er behandling med insekticider vanlig standard (Hanssen 2009). EU gikk i 2003 inn for et forbud mot permetrin og har som et overordnet mål å redusere bruken av plantevernmidler i jord- og skogbruk (Sveriges-lantbruksuniversitet 2014a). Skogsertifiseringsordningen Forest Stewardship Council (FSC) har i Sverige siden 2011 ikke godtatt behandling med insekticider, men dispensasjon kan bevilges ved bruk av Imprid Skog, Forester, Hyllobi Forest og Merit Forest WG (Sveriges-lantbruksuniversitet 2014a).

Fysisk beskyttelse

Bruken av fysisk stammebeskyttelse har økt sterkt de siste årene. I dag har man behandlinger som: *Mulitipro*, pappkjegle rundt planten dyppet i parafin (finnes i ulike varianter); *Bugstop*, parafinvoks som sprayes på nederste del av stammen; *Borrkax*, voks bestående av borrkax og lim; *Silverskydd*, et papprør dekket av aluminium; *Cambiguard*, giftfri voks med høy elastisitet; *Coniflex*, lim og sand (Skogsplanter). En studie gjort av Härilin (2013) hvor de nevnte behandlingen ble testet, kunne *Coniflex*-planter, planter som sprayes med lim og sand, vise til like gode eller signifikant bedre resultater enn insekticider, og effekten viste bedre varighet over flere sesonger. Etter tre vekstsesonger hadde over 13 % av plantene en inntakt beskyttelse, som også var høyest sammenlignet med metodene nevnt ovenfor (Härilin 2013).

Ulempen med mekanisk beskyttelse er at man ikke vet om plantens vekst blir hemmet, nedbrytbarhet, og mulige uønskede økologiske konsekvenser av behandlingene på lang sikt (Härlin 2013).

Hva styrker plantens overlevelse ved et angrep

Plantens morfologiske egenskaper

Plantens morfologiske egenskaper som diameter, form og størrelse er helt avgjørende om planten skal ha en god sjanse til å overleve et angrep fra gransnutebillen. En større stammediameter vil være ensbetydende med at arealet av tilgjengelig bark er større. Det må dermed mer gnag til for å svekke planten betydelig. Diameter ved rothals er korrelert med overlevelsessjanse for planten. Ved en diameter på > 8 mm har planten >80 % sjanse for å overleve, og ved > 10 mm er skadene helt neglisjerbare (Thorsen et al. 2001).

Plantetype

Plantematerialet har effekt på både overlevelse og gnag. For ettårige pluggplanter er avgangen høyere enn for toårig pluggplanter (Hanssen 2010 a; Kohmann 1995), og antall planter som blir angrepet er signifikant høyere (Hanssen 2010 a). Det er påvist forskjell avhengig av om pluggplanten er kultivert fra frø eller stikling. Planter som dyrkes fra stiklinger har en signifikant bedre overlevelse etter fem år (Hannerz et al. 2002).

Kohmann (1995) kunne fastslå at toårige M60 pluggplanter viser over 15 % bedre overlevelse mot gransnutebiller enn ettårige M95-planter. Plantens størrelse har innvirkning på veksten (Thorsen et al. 2001), og større planter vil ha et bedre konkurransegrunnlag. En M60 plante vil også være bedre beskyttet mot frostskafer enn en ettårig M95 plante, grunnet at den kan regenerere knopper på eldre stammedeler om årets skudd fryser (Kohmann 1995). Ved kontrollerte vekstforhold synker forsvarevnen for ettårig sitkagranplanter i andre vekstsesong, endringen relateres til produksjon av harpiks og harpikskanaler (Wainhouse et al. 2009).

Grunnleggende forsvarsegenskaper

Selv om små bartreplanter er sårbare for angrep av gransnutebillen er de ikke helt forsvarsløse. I en koevolusjon mellom skadegjørere og bartreplanter har bartreplanter gjennom millioner av år utviklet forsvarsmekanismer mot planteetere og skadedyr. Bartrærs forsvarsmekanismer er delt i kategoriene grunnleggende/passive og induserbare forsvarsstrategier.

Det grunnleggende/passive forsvaret kan deles i to underkategorier; mekanisk og kjemisk forsvar. Mekanisk forsvar består av fibre til vevet som gjør tygging eller avriving vanskelig. Det kjemiske består av utsondring av antibeitestoffer, proteiner, enzymer og reservoarer av kjemiske stoffer slik som kva. Det grunnleggende/passive forsvaret er alltid til stede.

Det induserbare forsvaret aktiveres ved et angrep på treet (Martin et al. 2002; Miller et al. 2005; Moreira et al. 2009; Sampedro et al. 2010). Forsvaret består av en rekke metoder som styrker den overordnede forsvarskapasiteten til bartrær. Dette består eksempelvis av syntetisering av kjemiske stoffer og biokjemiske agenter, samt endringer i vedstrukturen (Franceschi et al. 2005).

Ved et angrep fra for eksempel en plantespisende bille er det første forsvarstrinnet at det passive forsvaret enten stopper eller begrenser angrepet, eksempelvis at fibre gjør det vanskelig å rive av føde og at kva frigjøres. Trinn to i forsvaret er at treet prøver å drepe eller isolere området som er angrepet. Dette området dør grunnet en hypersensitiv respons fremprovosert av treet selv. Ved isoleringen dannes en masse av uorganiserte parenkymceller rundt såret som hindrer videre spredning. Trinn tre er at treet prøver å reparere eller å forsegle det området som er skadet. Siste trinn er at hele treet induserer et forsvar for å stå bedre rustet mot neste angrep (Franceschi et al. 2005).

Påføring av Methyl jasmonat

For å øke unge bartreplanters overlevelsessjanse har det blitt forsket på bruk av methyl-jasmonat MJ som et alternativ for å styrke plantenes forsvarsmekanisme mot planteetere, sopper eller andre parasitter (Franceschi et al. 2005; Krokene et al. 2008; Moreira et al. 2012a; Sampedro et al. 2010; Zas et al. 2014).

MJ er et naturlig plantehormon som avledes sammen med jasmonsyre (Holopainen 2009). MJ blir produsert som en respons på biotisk stress og er en del av den induserbare forsvarsstrategien til bartrær og trolig alle andre planter (Holopainen 2009). Ved påføring av

MJ på barken til barplanter har man oppnådd en forsvarsrespons både i sitkagran (*Picea sitchensis*) (Miller et al. 2005), strandfuru (*Pinus pinaster*) (Heijari et al. 2005) og norsk gran (*Picea abies*) (Martin et al. 2002), noe lik den man får ved gnag, skade eller et angrep på planten (Hudgins et al. 2003). Ved påføring av MJ på granplanter, observerte man etter to måneder en sterk økning i antall traumatiske kvaekanaler (TD) i den nylige utviklede vedveden, og økning i monoterpener (Krokene et al. 2008; Martin et al. 2002). Monoterpener er 10-karbonforbindelser primært brukt i planteforsvar, dette lagres i reservoarer i nåler og bark (Constable 1999). En følge av dette er en signifikant bedre overlevelse mot gransnutebillen i første vekstsesong (Krokene et al. 2008), noe som videre gir en sterk indikasjon på bedre overlevelse også utover i andre vekstsesong (Zas et al. 2014). Moreira et al. (2012a) viser til at man ved påføring av MJ (konsentrasjon 100 mM) for å hemme beiting på strandfuru fikk de samme effektene som ved tidligere studier, men også en dobling av andelen finrøtter der planten hadde full tilgang på fosfor og en 40 % økning der tilgangen på fosfor var lav.

Målsetting

Hovedmålsettingen med denne oppgaven er å frembringe økt kunnskap om hvordan MJ og plantens morfologiske egenskaper kan bidra til å redusere skader av gransnutebillen og senke kostnader i det norske skogbruket. Jeg vil undersøke effekten av plantemateriale (bruk av ettårige M60- og M95-planter) på overlevelse i felt. Jeg vil også kartlegge morfologiske og forsvarsrelaterte endringer i granplanter behandlet med MJ. Kun én tidligere studie har sett på effekten på røtter etter behandling med MJ. Denne ble gjort på furu og det ikke tidligere gjort lignende forskning på gran. En økning i andel finrøtter vil kunne styrke plantens fremtidige kapasitet til å ta opp vann og næring. Dette vil gi bedre etablering av rotsystemet i felt, styrke den fremtidige veksten, samt øke plantens forsvarsevne mot gransnutbillen.

Følgende hypoteser vil bli testet:

Hypotese 1: MJ stimulerer til økt vekst av fine finrøtter og dette kan øke det fremtidige vekstpotensialet til planten.

Hypotese 2: MJ stimulerer til dannelse av traumatiske kvaekanaler.

Hypotese 3: Det er en forskjell i morfologiske egenskaper for de ulike plantetypene M60 og M95, som vil slå signifikant ut på avgang, gnag (cm^2) etter to vekstsesonger.

Material og metode

Effekt av MJ på vekts og rotutvikling

Forsøksdesign

Plantene ble plassert ut 10.01.2014. Det ble brukt vanlige plastpotter, med en utklipt filtduk i bunn for å forhindre at sanden som plantene ble plantet i rant ut ved vanning.

Sanden som ble brukt var vanlig plantesand, med en korning på $< 0,5\text{mm}$. Sanden gjør jobben lettere når man skal vaske plantene for å analysere den eventuelle utviklingen på rotsystemet.

Det ble plantet ut 4 planter i hver potte, til sammen ble det plantet ut 35 potter, $n=140$ pluggplanter.

Plantene som blir brukt er norsk gran (*Picea abies*), M95 (50 cm^3 pottevolum og plantetetthet på 500 planter m^2) toårige pluggplanter. Plantene var kultivert fra frøplantasjefrø med opprinnelse fra Kaupanger, ved Buskerud skogplanteskole.

For å få en kontrollert utvikling ble forsøket foretatt i veksthus, ved Senter for klimaregulert planteforskning, NMBU. Dette ble gjort for å styre temperatursummen, vann- og næringstilgangen. Ingen næring utover det som fulgte med planten fra planteskolen ble tilført. Pottene ble vannet med 48 timers mellomrom og hver potte ble tilført ca to dl vann. Dag- og natt-temperaturer ble satt til henholdsvis 20°C og 18°C i veksthuset.

Potten ble satt ut etter et randomisert blokkdesign (Sampedro et al. 2010). De ble nummerert og fordelt vha. en tilfeldig fordelingskommando i Excel.

Før behandling ble utviklingen av knoppene gradert og registrert etter følgende skala, 0: Hvilende knopper; 1: knoppene er litt svellet; 2: knoppene er svellet, men knoppskjellene dekker de nye nålene; 3: Nye nåler er avdekket, men har ikke strukket seg; 4: Nye nåler har strukket seg inntil 5 mm, men er fortsatt samlet i en "avrundet kost"; 5: Nålene har strukket seg 5-10 mm og nålene spriker; 6: Nålene har strukket seg 10-15 mm og nålene spriker; 7: Nålene har strukket seg 15-20 mm og nålene spriker; 8: Skadd toppknopp, bryter ikke; 9: Død plante. Dette ble gjort fordi det har vist seg at plantenes resistens endrer seg med vekstfasen.

Behandlinger

Hver plante ble behandlet to ganger med 17 dagers mellomrom. Første behandling ble gjort 6.2.2014, behandling to ble gjort 24.2.2014. Da pottene ble behandlet ble de tatt ut av rommet og isolert fra resterende planter. Dette for å forhindre uhell eller eventuell fordamping av MJ. Tween (Tw 20) sørger for at MJ løser seg opp og fordeler seg i vannet. Behandlingen er beskrevet i oversikten nedenfor.

Tabell 1: Behandling med MJ på ettårige M95 pluggplanter av gran. Alle planter ble behandlet to ganger med 17 dagers mellomrom. Plantene stod seks uker etter første påføring før sampling og målinger ble gjort. Tween vanning og Tween pensling er kontrollbehandlinger med to ulike behandlingsmetoder, henholdsvis vanning og pensling. For de resterende behandlingene, MJ vanning, 10mM og 100 mM, går konsentrasjonsgraden fra svakest til høyest. Hver behandling hadde 5 gjentak, fire planter i gjentak.

Behandlings navn	Virkestoff og konsentrasjon	Blanding	Planter pr behandling	Antall gjentak
Tween vanning, A	Tw 20, 0,01 %	Tw20, vann	20	5
Tween pensling, B	Tw 20, 0,1 %	Tw20, vann	20	5
MJ vanning, C	MJ 0,01 %	Tw20 0,01 %, MJ og vann	20	5
MJ 10 mM Pensling, D	MJ, 10 mM.	Tw20 0,1 %, MJ 10 mM, vann	40	10
MJ100 mM Pensling, E	MJ, 100 mM.	Tw20 0,1 %, MJ 100 mM, vann	40	10

MJ vanning ble det blandet 0,01 % (v/v) MJ med 0,1 % Tween 20 i en liters vannbeholder (Huber et al. 2005). Blandingen ble ristet til MJ var løst opp i vannet, noe som tar ca. 10 min (Krokene et al. 2008).

Plantene ble ikke vannet 48 t før vanning med MJ, dette for å sørge for at planten tok til seg mest mulig. Hver enkelt potte fikk 2 dl med MJ-løsning helt nær stammen, og hver potte fikk to doseringer, med 17 dagers mellomrom. For å unngå bortvanning av MJ ble det ikke vannet noe de neste 48 timer.

Tween vanning, som fungerte som kontroll A, ble behandlet som ovenfor. Hver potte ble vannet med 2 dl med Tween 0,1 (v/v).

Ved pensling MJ 10 og 100 mM, ble det blandet MJ i henhold til konsentrasjonsgrad på behandlingen, med 0,1 % Tween 20 i vann (Krokene et al. 2008; Sampedro et al. 2010). Blandingen ble ristet til den var tilstrekkelig oppløst, for å så bli helt på glass (Zas et al. 2014). Blandingen ble påført med pensel (Krokene et al. 2008). Penslene som ble brukt var beregnet for en vannbasertløsning grunnet bedre absorpsjonsevne. Penslingen ble gjort på to sider av planten fra rothalsen og opp til 5 cm fra toppskuddet, penselen ble dyppet i blandingen før hver påføring. Glasset ble også ristet mellom pensling av de ulike pottene.

Tween pensling ble penslet med 0,1 % Tween 20 etter framgangsmåten ovenfor. Alle planter som ikke fikk vann i løpet av behandlingene ble vannet med 2 dl rent vann som kontroll. Dette for å unngå påvirkning på plantens utvikling av finrøtter ved eventuelt tørkestress (Eldhuset et al. 2012).

Merking, registrering og sampling

Merking av plantene ble gjort på følgende måte: første plante ble merket med merkepinne, planten nærmest den grønne merkepinnen ble plante en og nummereringen gikk med klokken. Den 18.3 ble det registrert toppskuddlengde og totallengde for alle planter.

Sampling av toppskudd, sideskudd og rotvekst.

Den 18.3 og 19.3 ble toppskudd og de fire mest representative øverste sideskuddene snittet av for plante én, to og fire, fra hver potte, lagt i pose og merket med behandling, potte- og platanummer. All ny rotvekst for plante én og to ble klippet og lagt i pose. Alt avklipp ble merket med behandling, potte- og plantnummer. Ny rotvekst karakteriseres med en hvit/meget lys, brun farge. Topp, sideskudd, og røtter ble lagt i et lufttørkeskap på 70 °C i 7 dager. Rotpluggen til plante fire ble vasket, pakket, merket og lagt på kjøll.

Tørrvekt

Veiing av topp, sideskudd og røtter ble gjort på Skog og landskap den 26.3 med en Mettler-Toledo XP 105 DR vekt, med en målenøyaktighet på 0,0001 g. Prøvene ble temperert i én

time før veiing etter at de ble tatt ut av tørkeskapet. Dette ble gjort for å hindre oppdrift som en effekt av varme prøver, dette eliminerer en mulig feilkilde ved veiing.

Tversnitt

Det ble snittet en 1 mm tykk skive 7 cm fra rothalsen på planten med kirurgbarberblad, uttaket ble flyttet 1 cm høyere/lavere ved kvist. Endring av hvor uttaket ble gjort var grunnet vanskeligheter med å få ut en hel skive som ga et egnet tversnittbilde.

Tversnittstudiet ble gjort på plante én, to og fire. Det ble tatt bilder av hver enkelt plante vha. mikroskop. To bilder var standard, dette var bilder i målestokk 1.6 og 2.5. Bilde 1.6 var for kryssmåling og 2.5 var for måling av traumatiske kvaekanaler (TD). Ved behov ble det også tatt bilder i målestokk 4 til 6.3 for å se dannelsen av TD, om det ikke var synlig på forstørrelse 2.5. Hvert bilde ble merket med potte- og platenummer, samt målestokk.

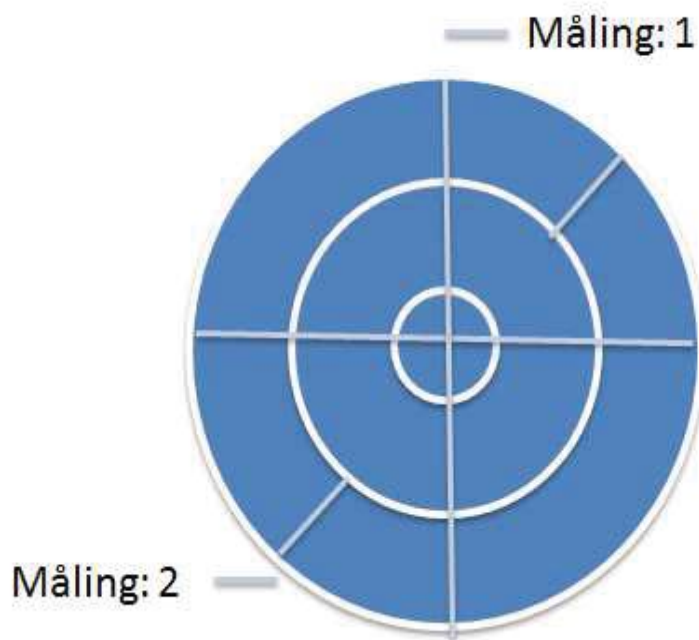
Videre analyse og måling av bildene ble gjort med analyseprogrammet *imageJ*, et gratis bildebehandlingsprogram designet for måling og arealutregning (National-Institutes-of-Health 2014). Bilder ble tatt med en forstørrelse (1.6, 2, 2.5, 5) som viste til en kjent distanse på 1 mm. Distanse 1 mm ble målt i piksler, avstanden mellom de to kjente punktene ble så lagt inn i *imageJ* som skala for alle målinger. Prosessen ble gjentatt hver gang måling av en stammeskive med en bestemt forstørrelse ble gjort.

Måling av TD

Tversnittskiven ble delt i fire 90° vinkler og for hver målte plante ble målingen gjort i en ny vinkel. Dette for å sikre randomisering av valg av målepunkt (eller et annet ord). Bredden av alle TD ble målt og summert, for å se hvor mye av totaldistanse de dekket av ytterkanten av vinkelen.

Måling av diameter og vedtilvekst

Det ble foretatt to målinger; én kryssmåling av diameter og én kryssmåling av årets vedtilvekst (figur 2). Måling 1 ble gjort med målestokk 1.6x og inkluderte ikke bark. Måling 2 ble tatt fra ytterkant av fjorårets synlige årring frem til årets vekst. Kryssmålingene ble foretatt for å få bedre nøyaktighet.



Figur 2: Figuren illustrer en tverrsnittskive av en stamme tatt 7 cm over rothalsen på planten etter seks uker i veksthus. Ringene representere årringer. Måling 1: kryssmåling av diameter gjort på bilder med målestokk 1.6x. Målingene inkluderte ikke bark. Måling 2: Kryssmåling av årets tilvekst av ny ved tatt fra ytterkant av ytterkant av fjorårets synlige årring frem til årets vekst.

Whinrizho-analyse av rotutvikling

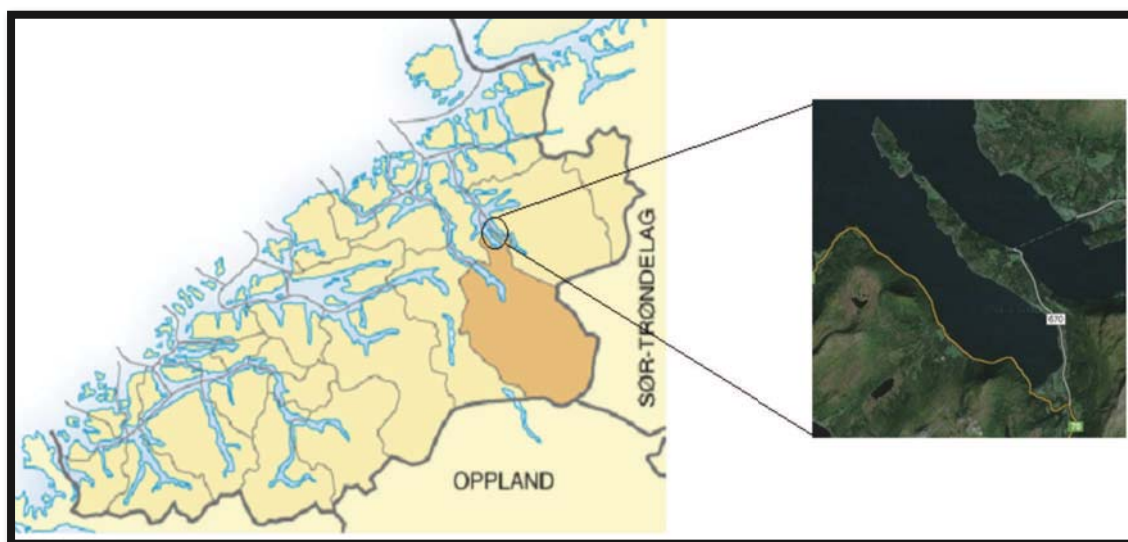
Analyse av rotplugg fra plante fire (N=35)

Rotpluggen til plante nummer fire ble vasket fri fra stein og nåler som kunne hatt en innvirkning på resultatet av analysen. Ny røtter, karakterisert med en hvit/ lys brun farge, ble klippet av. Alle nye røtter for én enkelt plante ble lagt i vannbadet, skannet og så analysert (Eldhuset et al. 2012). Analysen ble gjort med programmet WhinRhizo, produsert av Regent Instruments Inc, Canada (Inc 1991). Programmet måler lengder, areal, spisser, og forgreninger på røttene for de ulike diameterklassene som er: 0-0,5, 0,5-1, 1-1,5, 1,5-2, 2-2,5, 2,5-3 mm. Det ble valgt å klassifisere finrøtter som røtter med en diameter på 1 mm eller mindre, dette er i henhold til nåværende forskning på finrøtter (Hansson et al. 2013; Majdi 2001). Skanneren som ble brukt var en 2003 L Pro.

Feltforsøk, effekt av markberedning og plantetype

Beskrivelse av område og bestand

Felten ble anlagt på Rykkjem i Sunndal kommune.



Figur 3: Rykkjem er Sunndal's nordligste punkt. Bestandene ligger på vest og østside. Middelterperatur fra mai til september ligger mellom 11-14°C. Gjennomsnittlig nedbør mellom mai og september ligger mellom 45-165 mm (Metrologisk institutt 2014b). Koordinater: 62.869171 N, 8.481785 Ø.

Utplantingen var gjort under oppsyn av kommunal skogbrukssjefen og fylkesskogmester i Møre og Romsdal på fire felt. I begge bestandene er det betydelige kjørespor som det har blitt plantet i, noe som kan gi en effekt lignende markberedning.

Bestand A (bestandsnummer 56), avvirket vinter 2012. Det var delt i to gjentak for hver plantetype, hvert gjentak bestod av 40 M60 planter og 40 M95 planter. Halvparten av planten for hver plantetype i hvert gjentak var plantet i kjørespor. Bestandet var sørvestvendt, relativt flatt og hadde hogstflater rundt ytterkantene.

Bestand B (bestandsnummer 140), avvirket vinter 2012. Det var delt i to gjentak for hver plantetype, hvert gjentak bestod av 20 M60 planter og 20 M95 planter. Alle plantene var plantet i kjørespor. Bestandet var nordvendt, flatt, ingen synlige hogstflater nært ytterkanten, men grøftet samme vår så det var plantet i og rundt grøftekastene.

Plantematerialet

Plantene som blir brukt er vanlig norsk gran, ettårige M95 pluggplanter og ettårig M60 pluggplanter, proveniens B2, det vil da si sankeområde B og høydelag 2; 150-249 meter. Plantene ble hentet fra Megarden planteskole.

Datainnsamling

Første registrering ble gjort uke 24, 2012, da ble det registrert utgangshøyde, lengde i cm for hver enkelt plante, og diameter ved rothals i mm for hver enkelt plante. Andre registrering ble gjort i uke 36 2012. Det ble det registrert avgang samt gnag (cm^2) på både levende og døde planter. Alle plantene ble merket på nytt. Tredje registrering ble gjort i uke 20, 2013. Det ble registrert avgang og gnag. Fjerde registrering ble gjort i uke 4, 2014. Det ble det registrert lengde i cm for hver enkelt plante, diameter, gnag og avgang. Ved siste registrering ble plantens vitalitet gradert på en skala fra: 0=uskadd; 1=ubetydelig skadet; 2=noe skadet; 3=svært skadet; 4=livstruende skadet til 5=død.

Dataanalyse

Initialregistrering og forming av datasettet til R-Commander ble gjort med Excel. Alle skadegraderings diagram ble gjort i Excel. Ved sammenligning av flere grupper ble det brukt flerveis ANOVA. For å se på sammenheng mellom forklarende og responsvariabler ble det brukt en generell lineær modell, familie subsett poisson. Alle analyser er gjort i R-Commander.

Normalfordeling

For alle analysene ble det gjort tester for normalfordeling med en *Shapiro-Wilk normalitetstest*. Funksjonen med denne testen var å teste om datasettet var normalfordelt. Dersom p-verdien ble mindre enn det valgte alfa nivå (0,05), ville nullhypotesen bli forkastet, og det er bevis for at de data som ble testet ikke er fra en normalfordelt populasjon.

Test av varians homogenitet

Det ble også kjørt en test av varianshomogenitet for responsvariablene diameter og høyde. Dette ble gjort med Levene's test. Den tester nullhypotesen, som er at populasjonsvariansene er lik (kalt homogenitet av variansen eller homoscedasticity på engelsk).

Hvis den resulterende p-verdi på *Levene's test* er mindre enn kritisk alfa nivå (0,05), er oppnådde forskjeller i utvalgsavvik usannsynlig å ha skjedd basert på tilfeldig utvalg fra en populasjon med lik varians. Dermed er null hypotesen for like varianser avslått, og det konkluderes med at det er en forskjell mellom de variasjoner i populasjonen og variansen er dermed ulik.

Grunnen til at det ikke ble kjørt en *Barlett's test*, men en *Levene's test* er at den er mindre sensitiv ovenfor et datasett som ikke er normalfordelt (NIST/SEMATECH 2012).

Resultat

Effekt av MJ på vekts og rotutvikling

Det var ingen forskjeller i utgangshøyde ved utplanting, dermed var forutsetningene for videre vekst lik (Tabell 2).

Fire uker etter siste behandling var toppskuddlengden for behandling E, 100 mM MJ signifikant lavere enn kontrollbehandling A, TW vanning (Tabell 2, Figur 2). Ingen andre behandlinger kunne vise til signifikante forskjeller, responsen var doseringsavhengig. Tørrvekt for topp og sideskudd ved behandling E, 100 mM MJ, var signifikant forskjellig fra behandling A, Tween vanning. Når det gjelder diameteren og vedtilvekst ga ingen av behandlingene en signifikant forskjell fra behandling A, Tween vanning, fire uker etter påføring (Tabell 2).

Det var ingen signifikant forskjell i total lengde av finrøtter for noen av behandlingene, resultat ikke videre presentert. Det var heller ingen signifikant forskjell i tørrvekt av finrøtter (Tabell 2). Forholdet mellom fine finrøtter og grovere finrøtter var derimot sterkt påvirket av 100 mM MJ, modellen var for seg selv ikke signifikant, men forklarte mye av spredningen i datasettet med en R^2 på 0,75.

Når det kom til effekten av behandlingene på TD, var responen klart doseringsavhengig. Dekningen av TD var økende med økende konsentrasjon av virkestoff MJ, fra svakeste dosering ved behandling C til høyeste dekningsgrad ved sterkeste konsentrasjon, 100 mM MJ. Eneste behandling som ikke var signifikant forskjellig fra Tween vanning var Tween pensling.

Tabell 2: Effekt av de ulike behandlingene (tabell 1): A, TW-Kontroll-Vann; behandling B, TW-Kontroll-Pensling; behandling C, 0,01 % MJ-Vanning; behandling D, 10 m.M-MJ-P; behandling E, 100 m.M-MJ-P, på Toppskuddlengde (cm), Stammediameter (mm), Vedtilvekst (mm), Tørrvekt (g), Tørrvekt topp og sideskudd (g), Forhold mellom lengden av fine og grovere finrøtter (andel), Dekningsgrad av kvaekanaler (%). Bokstaver forskjellig fra *a* ved punktene i tabellen indikerer en signifikant forskjell (alfa verdi < 0,05) fra behandling A, Tween vanning.

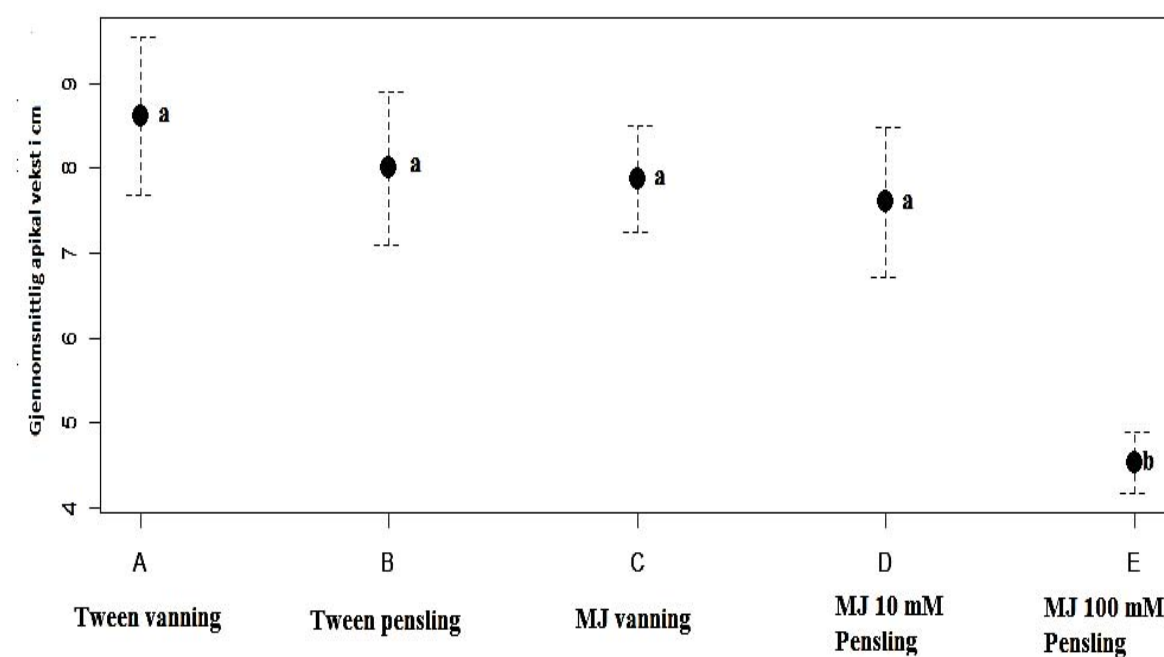
Parametere	Tween vanning (A)	Tween Pensling (B)	MJ vanning (C)	MJ 10 mM Pensling (D)	MJ 100 mM Pensling (E)	P- verdi
Gjennomsnitt utgangshøyde	28,7a	27,4a	28,3a	28a	28,5a	= 0,513
Apikalvekst	8,63a	8,00a	7,88a	7,61a	4,53b	< 0,001
Stammediameter	4,9a	4,53a	5,0a	5,09a	4,15a	< 0,001
Vedtilvekst	0,459a	0,231a	0,41a	0,4075a	0,283a	= 0,01
Tørrvekt topp og sideskudd	1,351a	1,129a	1,264a	1,199a	0,921b	= 0,009
Tørrvekt røtter	0,31a	0,21a	0,24a	0,09a	0,18a	= 0,6
Forhold mellom lengden av fine og grove finrøtter (cm)	6,0a	7,4a	41,4a	6,5a	82,7b	< 0,001
Dekningsgrad av traumatiske kvaekanaler (TD)	8 % a	10 % a	22 % b	27 % c	58 % d	< 0,001

Effekt av MJ på apikalvekst

Toppskuddlengden for de ulike behandlingene ble målt fire uker etter siste påføring.

Behandling ga en negativ signifikant effekt på toppskuddlengde, det var ingen signifikant interaksjon mellom behandling og gjentak, Flerveis ANOVA: $F_{24,11}=4,983$; $R^2=50,9$; $p < 0,001$. Toppskuddlengden for behandling E, MJ 100 mM var i gjennomsnitt $4,56 \pm 2,37b$ cm lavere enn behandling A, Tween vanning (tabell 2).

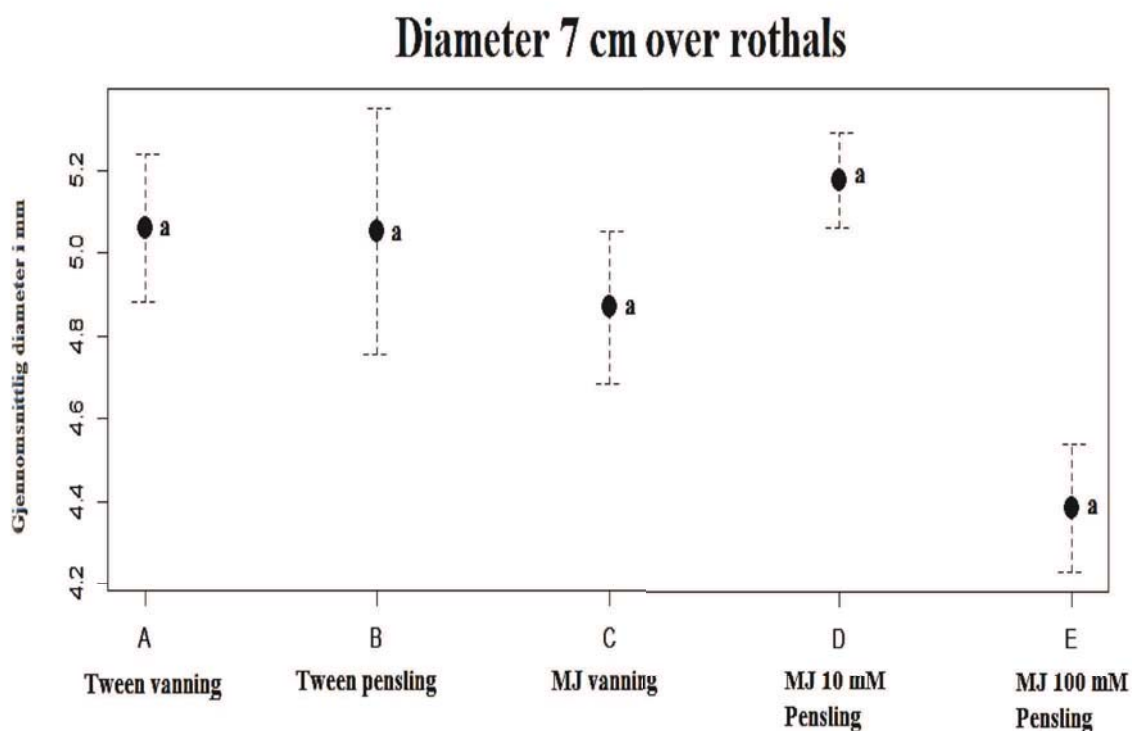
Apikal vekst



Figur 2: Påføring av behandlingene (se tabell 1 for forklaring) ble gjort to ganger med 17 dagers mellomrom. Effekten av MJ på apikal vekst ble målt fire uker etter siste behandling. Dette ble testet på toårige M95 pluggplanter i veksthus. Bokstaver forskjellig fra *a* ved punktene i diagrammet indikerer en signifikant forskjell (alfa verdi $< 0,05$) fra behandling Tween vanning. Gjennomsnittlig apikal vekst (y-akse) er plottet mot de ulike behandlingene (x-akse), stiplet linje representerer en standardfeil.

Stammediameter

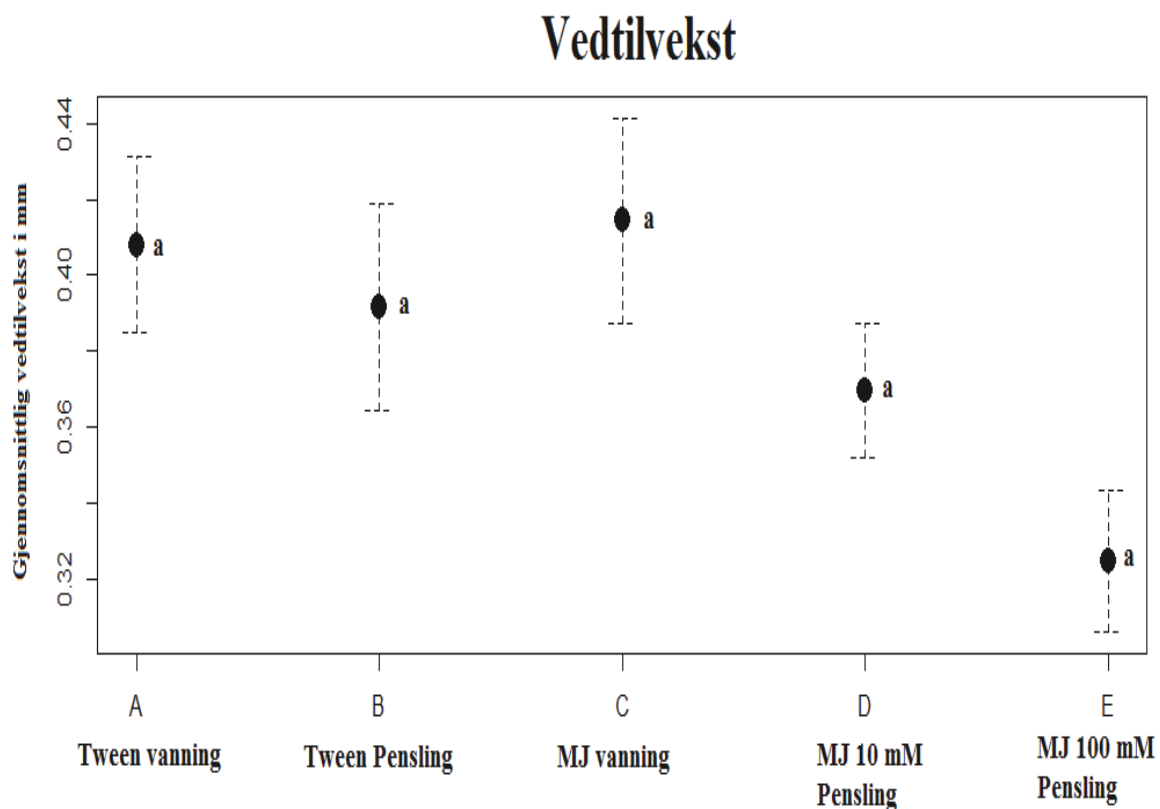
Diameteren for de ulike behandlingene ble målt fire uker etter siste påføring. Behandling ga ingen effekt, det var en signifikant interaksjon mellom gjentak og behandling Tween pensling og MJ vanning, Flerveis ANOVA: $F_{24,79} = 3,28$; $R^2 = 0,49$; $p < 0,001$ (tabell 2). Interaksjon mellom behandling C, MJ vanning og gjentak tre, ga diameter som var $1,59 \pm 0,08$ mm mindre enn gjennomsnitt. Interaksjonen mellom behandling B, Tween pensling og gjentak fire ga en diameter som var $2,6 \pm 1,6$ mm større enn gjennomsnittet.



Figur 4: Påføring av behandlingene (se tabell 1 for forklaring) ble gjort to ganger med 17 dagers mellomrom. Effekten av MJ på diameter 7 cm over rothals ble målt fire uker etter siste behandling. Dette ble testet på toårige M95 pluggplanter i veksthus. Bokstaver forskjellig fra *a* ved punktene i diagrammet indikerer en signifikant forskjell (alfa verdi $< 0,05$) fra behandling Tween vanning. Gjennomsnittlig diameter ved 7 cm over rothals (y-akse) er plottet mot de ulike behandlingene (x-akse), stiplet linje representerer en standardfeil.

Effekt av Methyl jasmonat på vedtilvekst (mm)

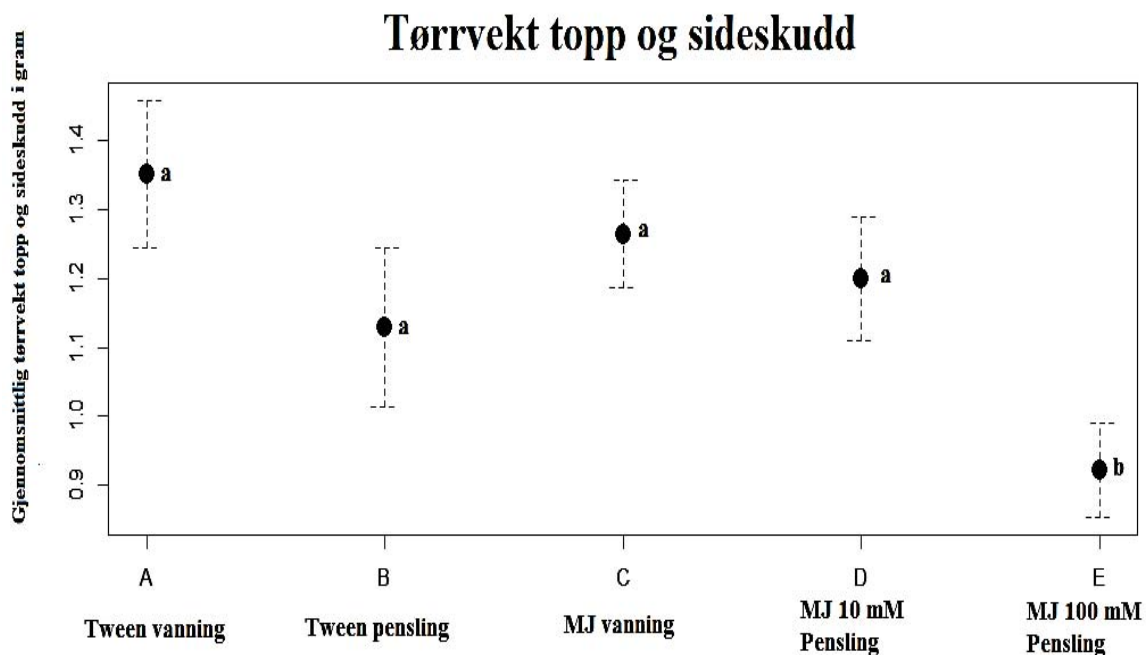
Vedtilveksten ble målt fire uker etter siste påføring. Behandling ga ingen signifikant effekt, det var ingen signifikant interaksjon mellom behandling og gjentak hadde signifikant effekt på vedtilvekst (mm), men behandling A, Tween vanning var signifikant forskjellig fra 0, $p < 0,001$. Flerveis ANOVA: $F_{24,64}=1,99$; $R^2 = 0,43$; $p = 0,01$ (tabell 2).



Figur 5: Påføring av behandlingene (se tabell 1 for forklaring) ble gjort to ganger med 17 dagers mellomrom. Effekten av MJ på diameter 7 cm over rothals ble målt fire uker etter siste behandling. Dette ble testet på toårige M95 pluggplanter i veksthus. Bokstaver forskjellig fra *a* ved punktene i diagrammet indikerer en signifikant forskjell (alfa verdi $< 0,05$) fra behandling Tween vanning. Gjennomsnittlig vedtilvekst i mm (y-akse) er plottet mot de ulike behandlingene (x-akse), stiplet linje representerer en standardfeil.

Effekt av Methyl jasmonat på tørrvekt topp og sideskudd

Topp-skudd og sideskuddene ble snittet av fire uker etter siste påføring. Behandling hadde signifikant effekt på tørrvekten for topp og sideskudd, det var ingen signifikant interaksjon mellom behandling og gjentak, Flerveis ANOVA: $F_{4,99} = 3,515$; $R^2 = 0,124$; $p < 0,01$ (tabell 2). Gjennomsnittlig tørrvekt for behandling E, MJ 100 mM var $0,43 \pm 0,26b$ gram mindre enn behandling A, Tween vanning (tabell 2)

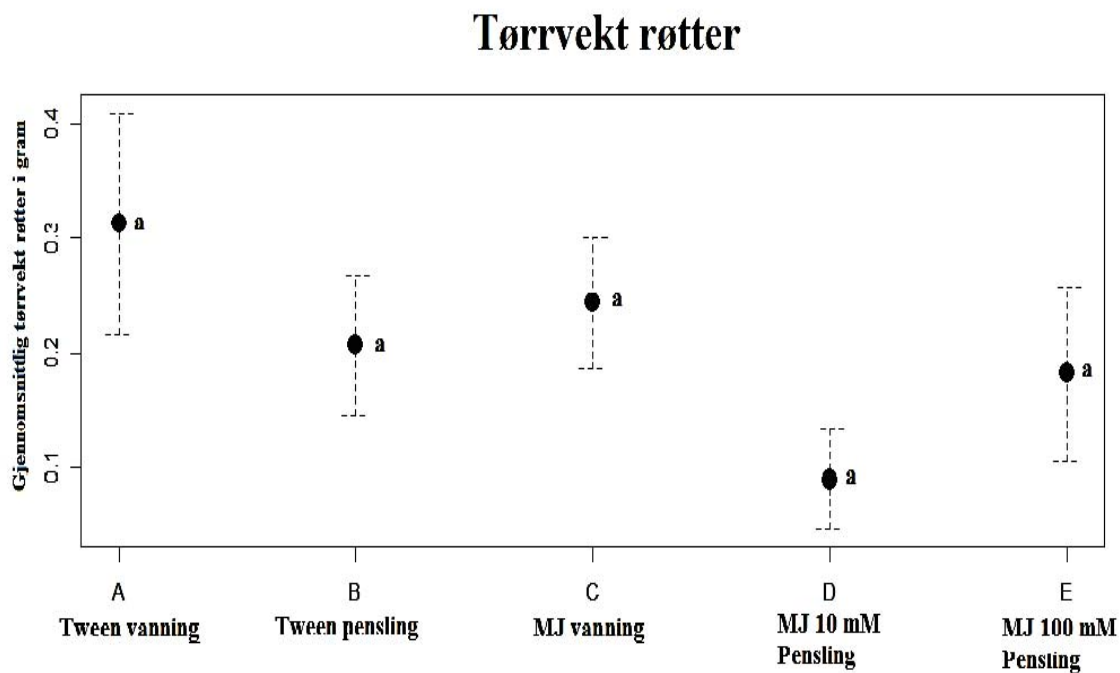


Figur 6: Påføring av behandlingene (se tabell 1 for forklaring) ble gjort to ganger med 17 dagers mellomrom. Fire uker etter siste behandling ble topp og sideskudd snittet av og tørket i et lufttørkeskap på 70 °C i 7 dager. Deretter veid med en nøyaktighet på 0,001 gram. Dette ble testet på toårige M95 pluggplanter i veksthus. Bokstaver forskjellig fra *a* ved punktene i diagrammet indikerer en signifikant forskjell (alfa verdi $< 0,05$) fra behandling Tween vanning. Gjennomsnittlig tørrvekt i gram (y-akse) er plottet mot de ulike behandlingene (x-akse), stiplet linje representerer en standardfeil.

Effekt av Methyl jasmonat på tørrvekt røtter

Ny rotvekst ble klippet av fire uker etter siste påføring. Behandling ga ingen signifikant effekt av behandling, eller interaksjon mellom behandling og gjentak. Generell lineærmodell:

$F_{64}=3,78$; $p = 0,6$ (Tabell 2).

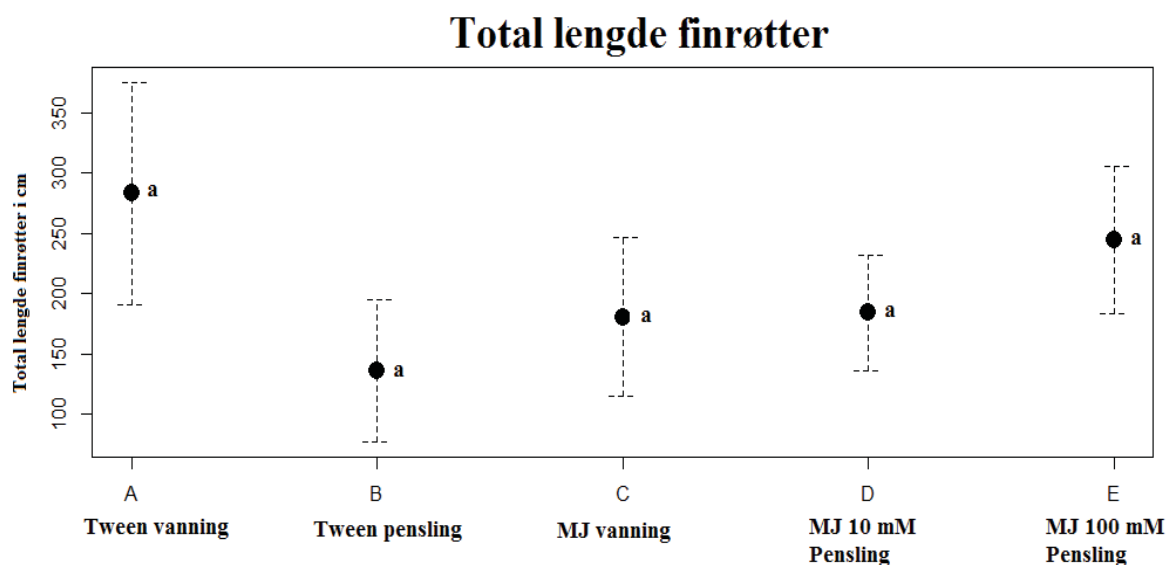


Figur 7: Påføring av behandlingene (se tabell 1 for forklaring) ble gjort to ganger med 17 dagers mellomrom. Fire uker etter siste behandling ble ny røtter klippet av og tørket i et lufttørkeskap på 70 °C i 7 dager. Deretter veid med en nøyaktighet på 0,0001 gram. Dette ble testet på toårige M95 pluggplanter i veksthus. Bokstaver forskjellig fra *a* ved punktene i diagrammet indikerer en signifikant forskjell (alfa verdi < 0,05) fra behandling Tween vanning. Gjennomsnittlig tørrvekt i gram (y-akse) er plottet mot de ulike behandlingene (x-akse), stiplet linje representerer en standardfeil.

Forholdet mellom fine finrøtter og grovere finrøtter

Total lengde av finrøtter

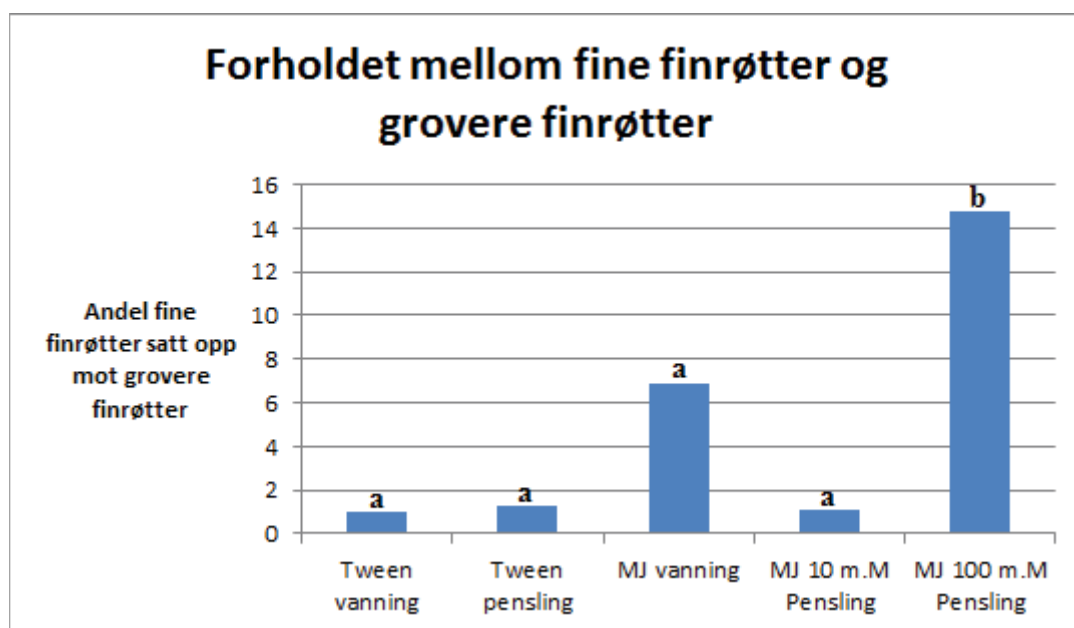
For beregning av gjennomsnittlig total lengde ble alle finrøtter tatt med, dette gjaldt alle diameterklasser til og med 2 mm. Det var ingen signifikant effekt av behandling eller interaksjon mellom gjentak og behandling på total lengde finrøtter, Flerveis ANOVA: $F_{23,10}=1,33$; $R^2=0,75$; $p=0,33$ (tabell 2).



Figur 8: Påføring av behandlingene (se tabell 1 for forklaring) ble gjort to ganger med 17 dagers mellomrom. Fire uker etter siste behandling ble ny rotvekst klippet og skannet og analysert med programmet WinRhizo, programmet målte lengde på røttene for de ulike diameterklassene: 0-0,5, 0,5-1, 1-1,5, 1,5-2, mm. Dette ble testet på toårige M95 pluggplanter i veksthus. Bokstaver forskjellig fra a ved punktene i diagrammet indikerer en signifikant forskjell (alfa verdi < 0,05) fra behandling Tween vanning. Gjennomsnittlig lengde finrøtter i cm (y-akse) er plottet mot de ulike behandlingene (x-akse), stiplet linje representerer en standardfeil.

Forhold mellom lengden av fine og grove finrøtter

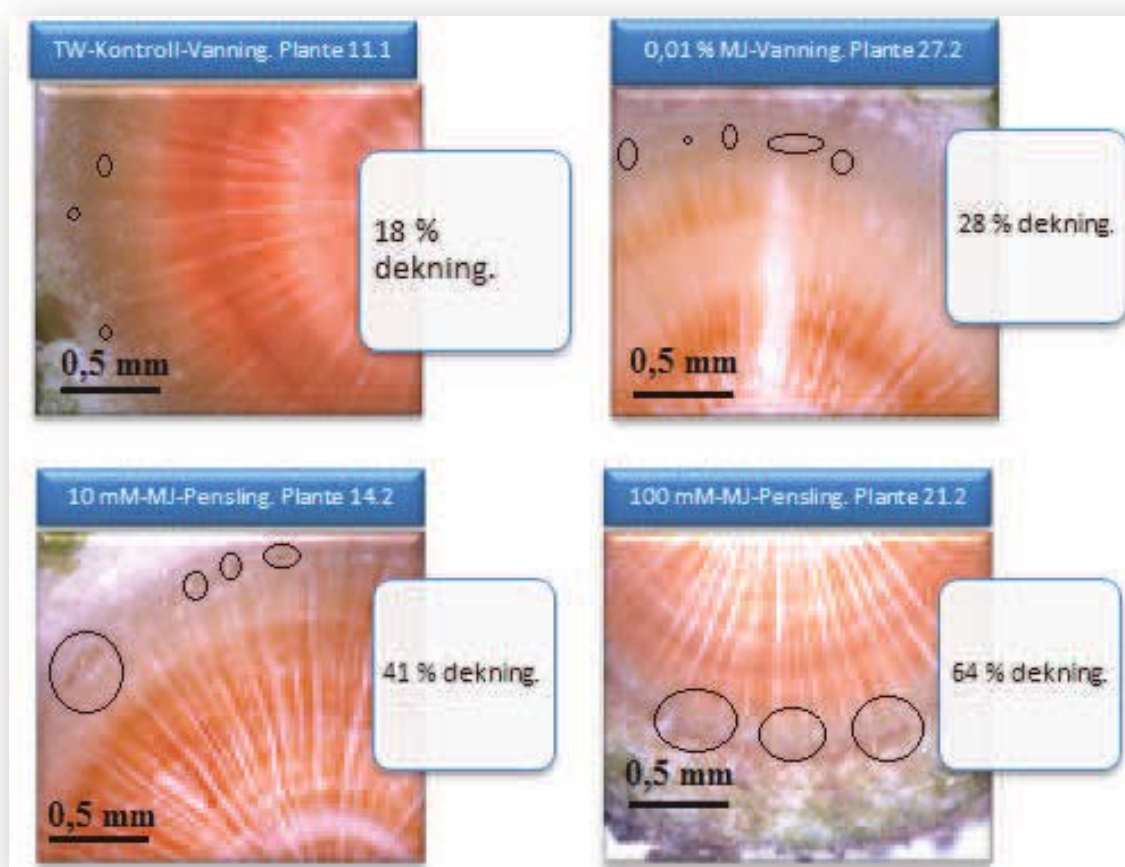
For å beregne forholdet mellom fine og grove finrøtter ble total rotlengde fine finrøtter med diameterklasse, 0-0,5, 0,5-1 delt på total rotlengden for grovere finrøtter fra diameterklasse 0-1, 1-1,5, 1,5-2 mm. Behandling ga en signifikant positiv effekt på forholdet mellom fine finrøtter og grovere finrøtter, Flerveis ANOVA: $F_{23,10}=1,416$; $R^2=0,76$; $p = 0,29$. Forholdet mellom fine og grove finrøtter var for behandling E, MJ 100 mM $82 \pm 69b$ større enn behandling A, Tween vanning, $p = 0,03$ (Tabell 2).



Figur 9: Påføring av behandlingene (se tabell 1 for forklaring) ble gjort to ganger med 17 dagers mellomrom. Fire uker etter siste behandling ble ny rotvekst klippet og skannet og analysert med programmet WhinRhizo, programmet målte lengde på røttene for de ulike diameterklassene: 0-0,5, 0,5-1, 1-1,5, 1,5-2, mm. Dette ble testet på toårige M95 pluggplanter i veksthus. Bokstaver forskjellig fra *a* ved punktene i diagrammet indikerer en signifikant forskjell (alfa verdi $< 0,05$) fra behandling Tween vanning. Forholdstallene ble satt opp mot hverandre, og behandling Tween vanning ble satt til referanseverdi (= 1), andre behandlinger satt opp i forhold til Tween vanning. Forholdet mellom fine finrøtter (0-0,5, 0,5-1) og grove finrøtter (1-1,5, 1,5-2) (y-akse) er plottet mot de ulike behandlingene (x-akse).

Dekningsgrad av traumatiske kvaekanaler (TD)

Behandling hadde signifikant positiv effekt på dekningsgraden av TD fire uker etter siste påføring, Flerveis ANOVA: $F_{4, 97}=47,77$; $R^2=0,663$; $p < 0,01$ (tabell 2). Dekningsgraden av TD for behandling C, D og E var signifikant høyere enn behandling A, Tween vanning. Effekten av behandlingene var størst for 100 mM MJ som også var den sterkeste konsentrasjonsgraden. Deretter fulgte behandling D og C (Tabell 2). TW pensling var ikke signifikant forskjellig fra TW vanning som vist i de andre analysene, $p > 0,1$ (tabell 10).

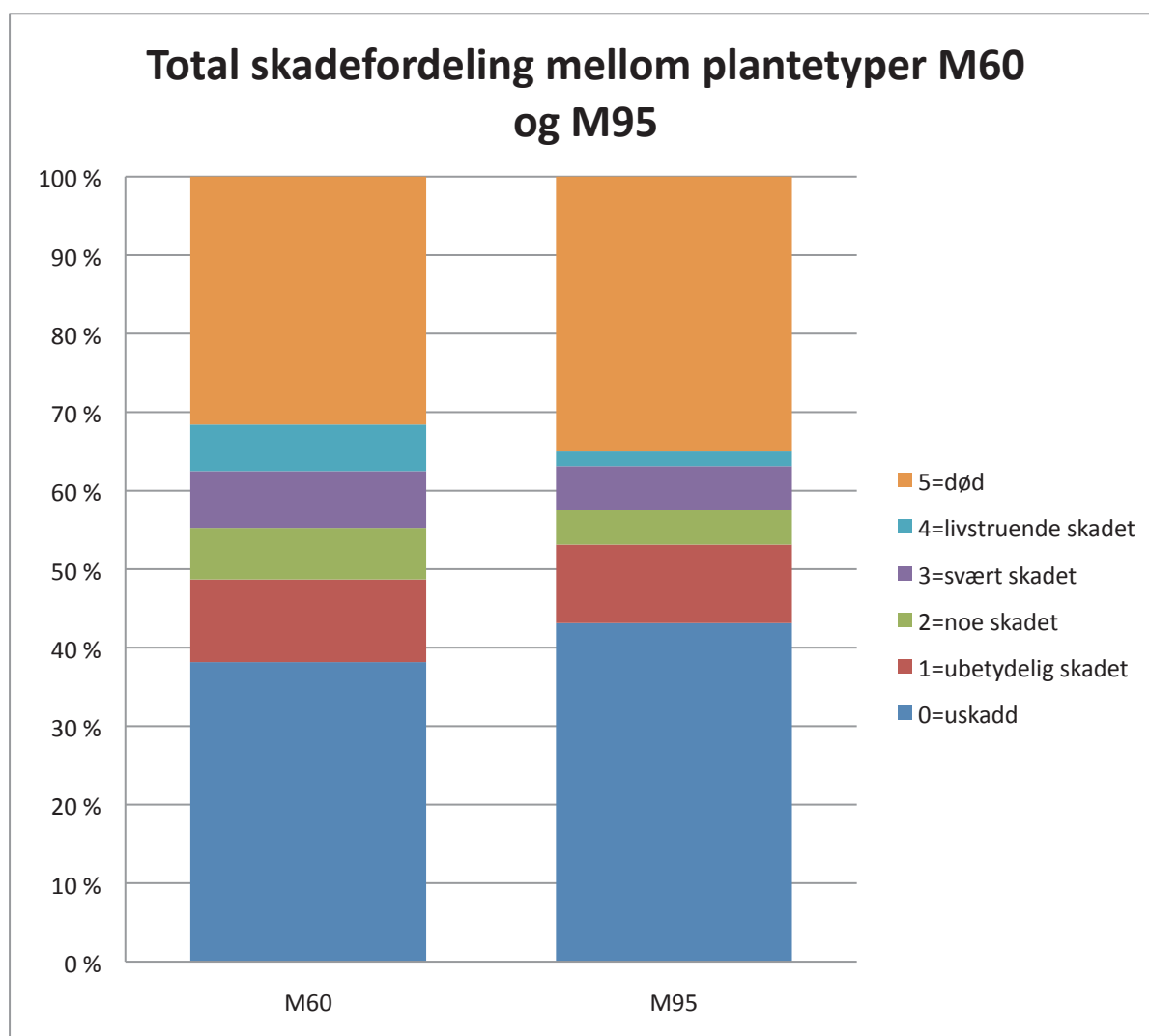


Figur 10: Illustrasjon av dekningsgrad for behandling A, C, D og E, med dekningsgrad på henholdsvis 18, 28, 41 og 64 %.

Effekt av markberedning og plantetype

Avgang i felt

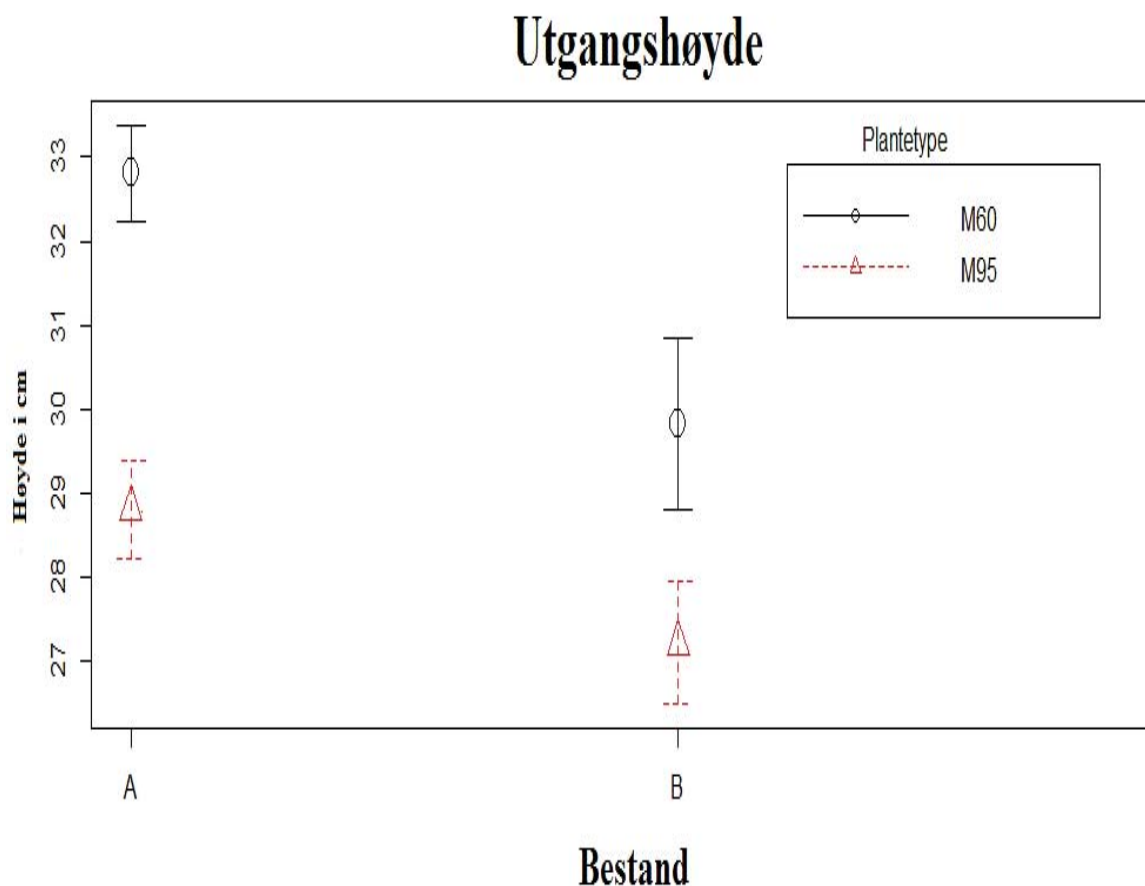
Ved siste registrering ble plantens vitalitet gradert på en skala 0 til 5. Det var ingen signifikant forskjell i avgang mellom M60 og M95 planter etter to vekstsesonger. M60 hadde litt over 31 % avgang, mot 35 % for M95. Det var heller ingen effekt av markberedning, $p=0,8$ (Figur 11).



Figur 11: Ved Rykkjem i Sunndal kommune ble det plantet ut ettårige M95 og M60 pluggplanter sommeren 2012. Skaderegistrering av avgang ble gjort to ganger pr vekstsesong; én på våren og én på høsten. Ved siste registrering ble plantens vitalitet gradert på en skala fra: 0 til 5. Observasjonene er basert på 240 planter. Prosentandel (y-akse) er plottet mot skadegradering for de ulike plantetyperne (x-akse).

Forskjell i utgangshøyde

Utgangshøyde ble registrert innen en uke etter utplantning sommer 2012. Bestand og plantetype hadde signifikant effekt på utgangshøyde og en signifikant interaksjon mellom bestand B og gjentak to, Flerveis ANOVA: $F_{3,2362}=12,46$; $R^2=0,13$; $p < 0,001$. Plantetype M95 hadde i snitt en utgangshøyde som var $3,9 \pm 1,6$ cm lavere enn M60 (Figur 12). Bestand B hadde i snitt for begge plantetyper en lavere utgangshøyde på $2,9 \pm 2$ cm, $p = 0,004$. Interaksjonen mellom bestand B og gjentak to ga en utgangshøyde som var $7,4 \pm 2$ cm høyere.



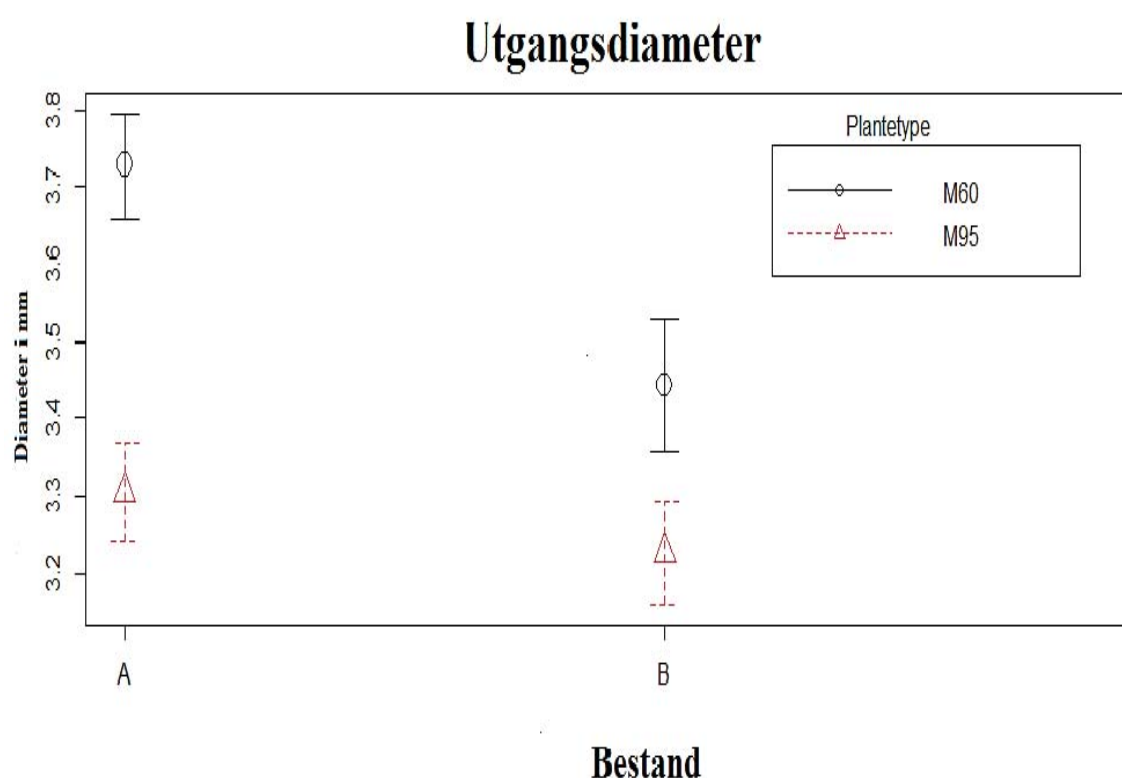
Figur 12: Registrering av utgangshøyde på ettårig M95 og M60 ble gjort mindre enn én uke etter utplantning. Gjennomsnittlig utgangshøyde (y-akse) er plottet mot bestand (x-akse). Sirkel (svart) og trekant (rød) illustrerer gjennomsnittlig utgangshøyde for henholdsvis M60 og M95. Stiplet og heltrukket linje representerer en standardfeil.

Forskjell i utgangsdiameter

Utgangsdiameter ble registret innen en uke etter utplantning sommer 2012. Bestand og plantetype hadde en effekt på utgangsdiameteren, men det var ingen signifikant interaksjon mellom gjentak og plantetype, Flerveis ANOVA: $F_{7,232} = 5,04$; $R^2 = 0,13$; $p < 0,001$.

Plantetypen M60 hadde en diameter ved rothals som var i gjennomsnitt 3,7 mm, dette var $0,37 \pm 0,24$ mm større enn M95, $p = 0,03$ (Figur 13).

Utgangsdiameter for bestand B var i snitt $0,43 \pm 0,3$ mm mindre enn bestand A, $p = 0,05$ (Figur 13).



Figur 13: Registrering av utgangsdiameter på ettårig M95 og M60 ble gjort mindre enn én uke etter utplantning. Gjennomsnittlig utgangsdiameter (y-akse) er plottet mot bestand (x-akse). Sirkel (svart) og trekant (rød) illustrerer gjennomsnittlig utgangsdiameter for henholdsvis M60 og M95. Stiplet og heltrukket linje representerer en standardfeil.

Effekt av markberedning og plantetype på snutebillegnag

Registreringen av gnag ble gjort to ganger pr vekstsesong, vår og høst. Plantetype hadde signifikant effekt på gjennomsnittlig plantegnag pr plante (cm^2) etter to vekstsesonger i felt, Generell lineære modell: $F_{3,236} = 2,738$; $R^2 = 0,03$; $p = 0,04$. Gjennomsnittlig gnag pr plante for de ulike plantetyperne var signifikant forskjellig, M95 hadde i snitt $1,39 \pm 0,7 \text{ cm}^2$, som var $0,78 \text{ cm}^2$ mer enn M60, $p = 0,02$ (Tabell 3). Det var ingen signifikant effekt av planting i kjørespor som skulle gi en effekt lignende markberedning, eller interaksjon mellom plantetype og markberedning. Analysen viser at plantetype M95 er mer utsatt for gnag, når man ser på registrert cm^2 gnag pr plante etter to vekstsesonger.

Tabell 3: Første registrering av gnag og avgang på ettårig M95 og M60 ble gjort mindre enn én uke etter utplanting. Videre registrering ble gjort henholdsvis på høst inneværende år, samt en vår- og høstregistrering i 2013. Estimater (uthevet) for M60 er gjennomsnittlig gnag pr plante etter to vekstsesonger, ikke markberedt. Estimater (uthevet) for M95 er i forhold til M60 og ikke markberedt.

Coefficients:	Estimate	Std, Error	t value	Pr(> t)		2 _{SE}
Plantetype [T,M60]	0,6188	0,2536	2,44	0,0154	*	0,50
Markberedt[T,MKB]	-0,075	0,3106	-0,241	0,8094		
Plantetype[T,M95]	0,7837	0,3586	2,185	0,0298	*	0,70

Diskusjon

Effekt av Methyl jasmonat

Apikalvekst

Behandling E, 100 mM MJ har en klar signifikant negativ effekt på apikalvekst (Tabell 2), dette var også den sterkeste konsentrasjonsgraden av MJ. Det er ingen signifikant effekt ved andre behandlinger. Det er heller ingen effekt av interaksjon mellom gjentak og behandling. Effekt av MJ på apikalveksten er testet ved flere studier (Gould et al. 2008; Heijari et al. 2005; Moreira et al. 2012a; Moreira et al. 2012b; Sampedro et al. 2010; Sampedro et al. 2011; Zas et al. 2014). Hovedtyngden av forsøkene tar primært for seg effekten av MJ på furu. I denne oppgaven er effekten kun testet på norsk gran, og grunnet biologiske og morfologiske forskjeller mellom artene brukt i de ulike studiene, er det ikke gjort en generalisering av resultatene på tvers.

Forskning til Krokene et al. (2008) og Zas et al. (2014) tar for seg effekten av MJ på gran og kunne ikke vise til negativ effekt på ettårig granplanter ved en konsentrasjonsgrad under 100 mM. Krokene et al. (2008) viser til en signifikant negativ effekt av MJ ved en konsentrasjonsgrad på 100 mM, dette samstemmer også med resultatene i denne oppgaven. Plantematerialet, behandlingsmetoden, og vekstforholdene er også identiske, hovedforskjellen er at plantene stod to uker mindre i det nevnte studie.

Forskjellene mellom denne oppgaven og rapporten til Zas et al. (2014) er at de ettårige granplantene ble kultivert ved en planteskole i Sverige under vanlige nordiske vekstforhold. Behandlingsmetoden var spraying. Plantene stod også her i fire uker etter behandling, men effekten av 22 mM MJ på apikalvekst var ikke signifikant forskjellig fra kontrollbehandlingen.

Med grunnlag i resultater fra analyse på TD (Tabell 2) vil påføring av MJ for å simulere gnag fra en angriper føre til en reduksjon i apikalveksten og en styrking av plantens forsvarskapasitet i form av dannelse av TD i nylig dannet vedvev. Som en effekt vil man få en reduksjon i apikalveksten. Effekten av 100 mM MJ stemmer overens med resultatene til Krokene et al. (2008). Tilsvarende effekt er vist på furu i nevnte studier. En kan konkludere med at mine resultater er i henhold til tidligere forskning.

Stammediameter og vedtilvekst

Det var ingen signifikant forskjell i diameter mellom de ulike behandlingene, men en interaksjon mellom gjentak og behandlinger (Tabell 2, Figur 4). For vedtilvekst var verken behandling eller interaksjon mellom behandling og gjentak signifikant (Tabell 2, Figur 5). Mine modeller for stammediameter og vedtilvekst forklarte henholdsvis 49 og 43 % av variasjonen i datasettet.

Tidligere forskning på norsk gran kan vise til at MJ har en signifikant negativ effekt. Zas et al. (2014) viser til at norsk gran behandlet med 22 mM konsentrasjon, hadde en signifikant mindre diameter etter fire uker kultivering.

Dette er etter min kunnskap det eneste studiet som har sett på effekt av MJ på diameterutvikling og for ettårig gran. Studier gjort på furu kan ikke vise til entydige resultater. Enkelte studier har vist til en negativ effekt på vedtilveksten ved en konsentrasjonsgrad på 100 mM MJ (Heijari et al. 2005). Andre studier har ikke funnet denne effekten (Moreira et al. 2009). Resultater fra Moreira et al. (2012a) og Sampedro et al. (2011) viser til en negativ effekt på diameterutveksten for 22 mM MJ. Overførbarheten er lav fra studier gjort på furu og blir ikke mer relevant når det ikke er en klar trend.

Mine resultater stemmer overens med tidligere forskning på effekt av MJ på diameter og vedtilvekst for ettårig norsk gran.

Tørrvekt topp og sideskudd

Behandling hadde signifikant effekt på vekten for topp og fire sideskudd, $p = 0,015$ (Tabell 2, Figur 6). Effekten av MJ var kun signifikant for behandling E, 100 mM. Resultatene stemmer overens med Moreira et al. (2012a) sine studier gjort på tørrvekt for skudd, hvor tørrvekt for furu var rundt 0,8 g ved 22 mM MJ. Denne oppgaven kan vise til et resultat på rundt 0,9 g ved konsentrasjon 100mM, man fikk et resultat som tilsier mindre vekt enn behandling A, Tween vanning.

En annen metode hadde vært å se på vekten/densiteten av 1 cm av toppskuddet. Et resultat som tilsa et mer kompakt skudd ville vært et moment til videre testing.

Tørrvekt røtter

Det var ingen signifikant forskjell i tørrvekt røtter for noen av behandlingene sammenlignet med behandling A, Tween vanning (Tabell 2, Figur 7). Dette i motsetning Moreira et al. (2012a) som kan vise til en signifikant positiv effekt av MJ målt i tørrvekt. Resultatene til Moreira et al. (2012a) er ikke direkte overførbare, men dette er etter min kunnskap den eneste rapporten som tar for seg effekten av MJ på finrøtter. Denne rapporten er derfor likevel brukt som bakgrunn for en sammenligning. Det må tas forbehold om at effekten på MJ er målt på furu og at plantematerial, vekstforhold, metodikk og konsentrasjonsgrad varierer fra denne oppgaven.

Gjennomsnittlig tørrvekt røtter er lavere i rapporten til Moreira et al. (2012a), med et avvik på 1-2 gram avhengig av konsentrasjonsgrad, satt opp mot resultatene i denne oppgaven. Dette kan forklares med de tidligere nevnte variasjonene i forsøkene.

Plantematerialet brukt i forsøket på furu ble behandlet i første vekstsesong. Granplantene brukt i denne oppgaven var inne i sin tredje vekstsesong da de ble behandlet med MJ. Fosfortilgjengelighet ble påvist å ha en signifikant effekt på finrøtter i forsøk utført av Moreira et al. (2012a). Ved lav fosfortilgjengelighet fikk man en 40 % økning av finrøtter, ved høy tilgjengelighet var økningen 90%. Dette ble ikke målt i denne oppgaven, hvor eneste tilgjengelige næring var det planten hadde i rotpluggen fra planteskolen. Alder og fosfortilgjengelighet er derfor to variabler som kan ha hatt en effekt på variasjonen mellom resultatene.

Dag- og nattemperaturene i veksthuset var ulike. Forsøket til Moreira et al. ble gjort under en temperatur på 25/10 °C, mot 20/18 °C. Effekt av temperatur er ikke videre vurdert, men optimal temperatur varierer med art og proveniens.

Det ble i Moreira et al. (2012a) sitt forsøk sprayet med 22 mM MJ i doser på 4 ml. Ingen lignende behandlinger er gjort i denne oppgaven. All påføring av MJ har skjedd enten gjennom vanning eller pensling (se metode 15), og konsentrasjonene var enten mindre eller større. Det ble likevel ikke påvist noen forskjell, og en kan konkludere med at påføring av MJ på gran ikke har noen effekt på tørrvekt røtter, uavhengig av metodikk og konsentrasjon.

Forholdet mellom fine og grove finrøtter

Før analysen av forholdet mellom fine og grove finrøtter ble det gjort en beregning av gjennomsnittlig total lengde. Alle finrøtter ble tatt med, dette gjaldt alle diameterklasser fra 0 til 2 mm. Det var ingen signifikant effekt av behandling eller interaksjon mellom gjentak og behandling på total lengde finrøtter (Figur 8). Grunnlaget for analyse av forholdet mellom fine og grove finrøtter ble dermed likt for alle behandlinger, noe som var en forutsetning for videre gjennomføring.

Analysen viste til at behandling hadde en signifikant positiv effekt på forholdet mellom lengden av fine og grove finrøtter. Behandling E, 100 mM MJ hadde et forholdstall som var $82 \pm 68b$ større en behandling A, Tween vanning (Tabell 2). Sammenlignet med behandling A, Tween vanning var forholdstallet for behandling E, 100 mM MJ, over 14 ganger større (Figur 9). Modellen kjørt med behandling og gjentak som forklaringsvariabler er ikke signifikant med en p-verdi på 0,3 (Tabell 2), men 75 % av variasjonen i datasettet blir forklart av modellen med en $R^2 = 0,75$. Modellen kjørt med kun behandling som forklaringsvariabel førte til at p-verdien falt til 0,14 og R^2 steg med 1 %. Denne modellen ble likevel forkastet da AIC-verdien steg med 2,5 %

Etter min kunnskap finnes det ikke noe sammenligningsgrunnlag, da dette er den eneste studien som tar for seg effekten av MJ på utvikling av fine og grove finrøtter på gran analysert med Whinrizo. Som tidligere nevnt er det kun gjort én studie på effekten av MJ på finrøtter, men da på furu og kun for tørrvekten. Resultatene kunne vise til at forholdet mellom fine og grove finrøtter for MJ-behandlede planter var mellom 3 og 3,5 avhengig av næringstilgang (Moreira et al. 2012a). Resultatene i denne oppgaven viser som nevnt at forholdet mellom fine og grove finrøtter er 14 ganger større med 100 mM MJ behandling fire uker etter siste påføring.

Ved sammenligning med resultatene til Moreira et al. (2012a) må det tas i betraktning at det ble brukt furu og at resultatene blir presentert i tørrvekt og ikke i lengde (cm), som i denne oppgaven. Grunnlaget for at det ble sett på lengde i denne oppgaven er at det er en signifikant korrelasjon mellom lengde, diameter og levetid for finrøtter (Hansson et al. 2013).

Klassifiseringen av finrøtter går i Moreira et al. (2012a) sin rapport opp til 2 mm. Med en diameterklasse som går høyere blir en større andel biomasse inkludert, og forholdstallene blir dermed mindre. Finrøtter er i denne oppgaven er klassifisert som røtter med en diameter på

1 mm eller mindre, dette på grunnlag av annen forskning på finrøtter (Hansson et al. 2013; Majdi 2001).

Gjennom påføring av MJ for å simulere angrep fra eksempelvis gransnutebillen, er det vist at karbonallokering og utvikling av finrøtter er en vesentlig forsvarsstrategi for norsk gran. Finrøttenes evne til å styrke plantens opptak av vann og næring i følge Erb et al. (2009) er en del av plantens forsvarssystem som ikke har blitt tilstrekkelig vektlagt. Rotasjonstiden for finrøtter vil være essensiell for nytteverdien av den påviste økningen av fine finrøtter. En nylige publisert studie av Hansson et al. (2013) kan vise til at rotasjonstiden for finrøtter <1 mm for norsk gran ligger mellom 0,8 og 1,2 år. I et nordisk klima vil effekten av økt finrotandel dermed vedvare gjennom over en hel vekstsesong.

I et forsøk gjort av Zas et al. (2014) i Sverige på ettårige pluggplanter av Montereyfuru (*Pinus radiata*), furu (*Pinus sylvestris*), strandfuru og norsk gran, ble plantene behandlet med 5, 10 og 25 mM MJ. Ved utplanting to til fire uker etter siste behandling var det en signifikant forskjell i høyde fra de ubehandlede plantene for de tre furu-artene, men ikke for norsk gran. Som vist tidligere i denne oppgaven, samt i Krokene et al. (2008), er effekten på apikal vekst for norsk gran kun signifikant ved 100 mM MJ, noe som kan forklare resultatet til Zas et al. (2014) før utplanting. Effekten av MJ på finrøtter var ikke vurdert, men økt opptak av vann og næringsstoffer som en effekt av økt andel av finrøtter, kan være en forklarende faktor på hvorfor det ikke lenger var en signifikant høydeforskjell for samtlige av de nevnte artene etter to vekstsesonger i felt.

Dekningsgrad av traumatiske kvaekanaler (TD)

Behandling med MJ hadde en signifikant effekt i dannelse av TD for behandling C, MJ vanning, behandling D 10 mM MJ og behandling E, 100 mM MJ, fire uker etter siste påføring (Tabell 2). Effekten av MJ på dannelsen av TD er positivt korrelert med konsentrasjon av MJ, noe som resulterte i at behandling E, 100 mM MJ, den sterkeste konsentrasjonen, hadde den høyeste dekningsgraden. Behandling E, 100 mM MJ hadde en dekningsgrad som tilsvarte 58% av målt areal, mot behandling A, Tween vanning som kun hadde en dekningsgrad på 8%. Dette viser at effekten av MJ på TD er konsentrasjonsavhengig.

Påføring av MJ kan vise til tilnærmet lik effekt som mekanisk skade eller angrep fra eksempelvis gransnutebillen; nemlig en dannelse av TD i nytt vedvev (McKay et al. 2003;

Moreira et al. 2012b). Det er tidligere gjort forskning på granplanter i samme alderskategori som i denne oppgaven, gjennomført av Krokene et al. (2008) og Martin et al. (2002). Begge rapporter kan vise til formasjoner av TD i nydannet vedved ved påføring av MJ.

Dannelse av TD i det nydannede vedvevet vil kunne hjelpe planten til og forsvare seg, da mer kvaer kan forflyttes raskere ut til skadeområdet (Alfaro 2002). Kvaer produsert som en respons på et angrep (induserbart forsvar) inneholder for hvitgran (*Picea glauca*) en annen kjemisk sammensetning med høyere andel terpen, og er også mer tyntflytende (Tomlin 2000). Kvaer som er mer tyntflytende vil komme raskere til skadeområdet (Alfaro 2002). Sampedro et al. (2010) kan vise til at ettårige furuplanter får en 40 % økning i kvaer etter påføring av 100 mM MJ. Uten å ta høyde for genetisk variasjon, vil endring i kvalitet og mengde kvaer også kunne gjelde norsk gran.

De nevnte endringene som en følge av påføring av MJ, vil øke transportkapasitet og hastighet, samt mengde og kvalitet på kvaen. Resultatet av dette vil være en vesentlig økning i plantens motstandsevne mot gransnutebiller. Krokene et al. (2008) kunne vise til at norsk gran behandlet med 100 mM MJ hadde 25 % avgang sammenlignet med ubehandlede planter som hadde en avgang på 85%. Dette forsterker teorien om økt motstandsevne.

Feltforsøk

Avgang

Det var ingen signifikant forskjell i avgang mellom M60 og M95 planter etter to vekstsesonger. M60 hadde litt over 31 % avgang, mot 35 % for M95. Gjennomsnittlig avgang for bestand etter to år i felt var overraskende lav; under fylkessnittet på 34 % (Hanssen 2010 a). Både bestand A og B ble avvirket vinter 2012 og det ble plantet samme vår. Etter populasjonsmodellen til Örlander skal det ha vært tilstrekkelig med gransnutebiller på hogstflaten til å gi en høyere avgang (Örlander et al. 1997).

Planteavgang relatert til gransnutebille reduseres som en funksjon av avstand til kant av omliggende skog, effekten er signifikant fra og med 15 meter (Nordlander et al. 2003). Dette er en faktor som kan ha hatt en effekt på resultatet. Lokale værforhold i vekstperioden kan også ha hatt en innvirkning.

Værdata målt 15,6 km utenfor Rykkjem for 2013 viser en gjennomsnittlig døgntemperatur 1-2 °C over normalen i månedene april-oktober. Over en lengre periode for både juli og august hadde man flere døgn med en makstemperatur på over 25 °C (Metrologisk institutt 2014a). At lufttemperaturen også i bestandet var over 25 °C for en periode er rimelig å anta, på bakgrunn av lite vegetasjon og en sørvest-vendt eksponering. Ved høye temperaturer og direkte eksponering ovenfor sollys, kan dagaktiviteten og spisesyklus til gransnutebillen reduseres (Bakke 1971). Dette kan være en faktor som er med på å forklare hvorfor gjennomsnittlig avgang var lavere enn fylkesgjennomsnittet.

Forskjell i utgangshøyde

Det var en signifikant forskjell i utgangshøyden mellom de ulike bestandene, og mellom M60 og M95 plantene, $p < 0,05$ (Figur 12). Høyden for både M60 og M95 er vesentlig høyere enn det som er tidligere registrert (Fløistad 2007). En større plante i seg selv vil kunne slå ut positivt, da mer barmasse kan styrke plantens fremtidig vekstpotensial.

Forskjell i utgangsdiameter

Resultatene viste at bestand B hadde en signifikant mindre utgangsdiameter enn bestand A. Det ble også påvist at plantetypen M60 hadde en diameter ved rothals som var i gjennomsnitt 3,7 mm. Dette var $0,37 \pm 0,24$ mm større enn M95, $p = 0,03$ (Figur 13). Tidligere forskning gjort på diameter for toårig M95 og ettårig M60 kan vise tilnærmet identisk utgangsdiameter (Fløistad 2007). En større rothalsdiameter vil øke plantens toleranse for gnag og det vil kreve mer for at vanntransporten brytes. Forskjellen er ikke vesentlig, men kan være en forklaring på hvorfor M60 planten har 4 % mindre avgang sammenlignet med M95. For videre vekst vil det kreve mindre av planten for å komme over en diameter på 8 mm som gir > 80 % sjanse for overlevelse av et gransnutebilleangrep (Thorsen et al. 2001). En mulig forklaring på forskjeller i utgangsdiameter, sett bort fra ulike kultiveringsmetoder i planteskolen, kan være ulik plantedybde. Dette vil føre til registrert diameter ikke ble gjort i rett høyde på planten.

Forskjell i gnag

Gnag pr plante registrert over to sesonger viste at M95 planter hadde signifikant høyere andel av gnag enn M60 planter $p < 0,05$ (Tabell 3). Kohmann (1995) kunne vise til at toårig M60 og

toårig M95 hadde signifikant høyere overlevelse enn ettårig M95 pluggplanter. Hvilke egenskaper som gjorde overlevelsen dårligere kunne ikke utledes direkte. En forklaring kan være forskjeller i utånding av kjemiske stoffer etter et angrep. Pettersson et al. (2008) sammenlignet hvilke stoffer miniplanter og ettårige granplanter utåndet før og etter et angrep. Gransnutebillen tiltrekkes av stoffet α -pine, og Pettersson et al. (2008) kunne påvise at ettårige pluggplanter av norsk gran utåndet mer α -pine etter angrep eller skade. Utånding av α -pine etter en skade eller angrep vil derfor føre til økt tiltrekning av gransnutebiller og dermed økt risiko for flere angrep (Bjorklund et al. 2005). Sett at M95 frigir mer α -pine enn M60 vil dette kunne være en forklaring på hvorfor det er en forskjell i overlevelse.

En annen faktor er at granplantens forsvarsevne synker i andre vekstsesong, da produksjonen av harpiks og harpikskanaler reduseres (Wainhouse et al. 2009). Over to vekstsesonger vil M95 planter bli mer utsatt enn M60 planter grunnet at de har en signifikant mindre diameter i utgangspunktet (se «Forsøksdesign»).

Planting i kjørespor og grøftekast ga ingen effekt tilnærmet lik markberedning, $p > 0,05$ (Tabell 3). Denne metoden som et alternativ til markberedning gir dermed ikke et tilstrekkelig resultat, sammenlignet med effekt av markberedning påvist i tidligere studier (Fløistad 2007; Nordlander et al. 2011; Von Sydow 1997; Örlander & Nilsson 1999; Örlander & Nordlander 2003). Noe som kan ha hatt en innvirkning på resultatet er gjengroing, da økt vegetasjon i nærhet av plantested vil kunne gi gransnutebillen mer gunstige forhold i form av dekning mot predatorer og ekstremtemperaturer som fører til overoppheting (Pettersson et al. 2006). Bestand A hadde en god del vegetasjon, mens vegetasjonsandel for bestand B var begrenset. Begge bestand hadde et økende andel uønsket vegetasjon etter to år.

Mulige feilkilder i material og metode

Plantemateriell

Genetisk variasjon er i denne oppgaven ikke videre vurdert. Sampedro et al. (2011) kunne vise til at effekten av MJ varierte sterkt med fosfortilgjengelighet og genetisk variasjon, men dette var for furu (Sampedro et al. 2011). Genetisk variasjon innenfor gran kan potensielt ha hatt en effekt som slår ut forskjellig på det induserbare forsvaret avhengig av art. Ved videre forskning på finrøtter bør den faktoren tas med i vurderingen

Temperatur

Optimale temperaturinnstillinger for proveniens Kaupanger er ikke videre vurdert. Kontroll og loggføring ble gjort av veksthusets ansatte minst fire ganger i løpet av tidsperioden. Ingen avvik var registrert ved noen av kontrollmålingene. En forutsetter derfor at temperatur ikke har variert utover innstillingen.

Blokkoppsett

Valg av forsøksdesign var ikke videre vurdert utover randomisert blokk. Designet sørget for at pottene ble trukket ut tilfeldig. Dette ble gjort for å unngå systematiske feil, som at planter av svakere vitalitet ble allokert til eksempelvis kontrollbehandlingen. Dette sørger for at effekten av behandling er likt fordelt og at effekten ikke slår ”dobbel ut”, eksempelvis som et resultat av at alle de beste plantene ble allokert til 100 mM MJ.

Konsentrasjonsgrad

Valg av de spesifikke konsentrasjonsgrader i denne oppgaven (se «Behandlinger») ble gjort for å se om en eventuell respons på finrøtter var positivt korrelert med konsentrasjonen. Videre vurdering av dette er ikke gjort, men kan ha en effekt utover denne oppgavens vurderingsområde. Effekten av MJ omfatter fysiologiske egenskaper og endringer i disse vil være avhengig av type plantedel; rot, stamme og nåler (Moreira et al. 2012b).

Forskjeller i monoterpen-produksjonen ved ulike konsentrasjoner er også en faktor man må ta i betraktning. Monoterpenene utgjør den giftige terpentinfraksjonen i kvaen hos bartrær og er dermed en del av forsvarssystemet. Studier har vist at man ved en konsentrasjonsgrad på <100 mM MJ, kan få en økning på opptil 20 ganger i monoterpener. Ved en konsentrasjonsgrad på 100 mM MJ vil man kunne få en økningen på syv ganger i forhold til kontroll (Martin et al. 2002). En høy produksjon av antibiotestoffer vil hjelpe planten i å motstå og redusere eksisterende angrep på planten.

Den sterkeste konsentrasjonsgraden, 100 mM MJ, førte i denne oppgaven til brune nåler på topp og sideskudd, og kvaeutsondring langs stammen på en del av plantene etter to uker. Dette var også observert av både Heijari et al. (2005) og (Hudgins et al. 2004). Observasjonen kan tyde på at en MJ-konsentrasjon omkring 100 mM MJ for ettårige granplanter har en viss gifteffekt. Effekten avtok i løpet av fire uker etter siste påføring frem mot høsting.

Ved videre forskning bør valg av konsentrasjonsgrad vurderes med tanke på hvilken effekt man ønsker å oppnå i studiet.

Påføringsmåte

Valg av behandlingsmetodene pensling og vanning ble gjort med bakgrunn i tidligere studier som tar for seg effekt av MJ på bartreplanter (Huber et al. 2005; Krokene et al. 2008).

Påføring ved pensling er gjort i flere forsøk og er enkel å utføre. Påføring av MJ i form av vanning er etter min kunnskap kun testet en gang tidligere, og da på douglasgran (Huber et al. 2005). Test av overførbarhet av metodikk til andre treslag som norsk gran, er derfor interessant.

Resultatet til Huber et al. (2005) ga en spredt dannelse av TD i det nydannede vedvevet. Dette stemmer overens med den gjennomsnittlige dekningsgraden på 22 % til MJ vanning i denne oppgaven. Metoden den er enkleste å anvende sammenlignet med pensling, selve påføringen av MJ ved vanning tar 1 minutt pr potte sammenlignet med 1 minutt pr plante for pensling.

Behandlingsmetoden kan implementeres relativt enkelt i norske planteskoler.

Måling av tørrvekt

Feil i målingene ved bruk av vekt kan gi utslag på analysen og nøyaktigheten av målingene er derfor viktig for resultatet. Har det fulgt steinkorn eller andre elementer røttene under måling av tørrvekt, kan dette ha gitt utslag på målt vekt. For at dette skal ha gitt et signifikant utslag på resultatet må det ha fulgt med en vesentlig mengde av ukjente elementer under måling, noe som ikke er observert. Det forutsettes derfor i denne oppgaven at måleresultatene er riktige.

Statistikk

Alle responsvariablene for effekt av MJ (Tabell 1) ble testet opp mot behandling. Resultatet var at variablene tørrvekt topp og sideskudd, utgangshøyde, tørrvekt røtter, dekning TD og vedtilvekst var over kritisk alfanivå på 0,05, variansen var dermed lik. Eneste unntaket var resultatet fra toppskuddlengde, $p < 0,05$.

Det ble gjort en analyse på variablene toppskuddlengde og forholdet mellom fine og grove finrøtter. Disse var verken normalfordelt eller hadde varianshomogenitet, $p < 0,05$. En

korreksjon måtte dermed gjøres. Dette gjøres enten ved en transformasjon av datasettet eller korrigerer forutsetningen til modellen, som vanligvis er variansen = 1. En korrigerer av variansen gjøres i **R** med kommandoen `subset model (formula, data, subset, na.action, var.equal = FALSE)`. Det ble ikke påvist noen forskjeller i resultatet ved bruk av denne kommandoen. Mulige forklaringer kan være at ulik varians var satt automatisk av **R**, at analysen ikke fungerte som forventet, eller menneskelige feil. Resultatene er presentert under den forutsetning at variansen var satt ulik.

Feltforsøk

For feltforsøket ble variablene utgangshøyde og diameter testet for både normalfordeling og varianshomogenitet. Begge datasettene var normalfordelt, men resultatet for Levene's test for diameter viste $p=0,039$. Det ble videre ikke tatt høyde for ulik varians grunnet at datasettet var normalfordelt og at p -verdi ikke var langt unna α -verdi = 0,05.

Selve forsøksdesignet kunne ha vært utført bedre. Hvert enkelt bestand burde hatt et likt antall gjentak, planter, og vært både med og uten markberedning.

Siste registrering 2014 ble gjort vinterstid. Fordelen med dette var at merkelappene på plantene var lett synlig i den brune undervegetasjonen. En ulempe var at mindre gnag muligens kan ha blitt skjult av ny vekst som har oppstått siden forrige registrering. Denne ulempen regnes som så stor at vinterregistrering senere bør unngås.

Konklusjon

Resultatene fra forsøket tyder på at MJ hovedsakelig virker ved å øke plantens produksjon av kvaekanaler. Sammenliknet med kontrollene var det en signifikant økning i dekningsgrad av kvaekanaler med økende MJ-konsentrasjon. Den høyeste konsentrasjonen av MJ ga høyest dekningsgrad av kvaekanaler og høyest forhold mellom de fineste og de groveste finrøttene, men førte til at apikalvekst og tørrvekt av skuddene avtok. Hypotese 1 blir dermed bekreftet, MJ stimulerer til dannelsen av traumatiske kvaekanaler. Hypotese 2 blir også bekreftet, MJ stimulerer til økt vekst av fine finrøtter og dette kan øke det fremtidige vekstpotensialet til planten.

Den negative effekten på overjordisk tilvekst tyder på at en behandling med en så høy konsentrasjon som 100 mM MJ bør overveies sett i forhold til hvilken effekt man vil oppnå. Videre forskning på effekten av MJ på fine finrøtter, bør undersøke effekt av andre konsentrasjonsgrader enn det som er testet i denne oppgaven. Dette gjelder spesielt for metodikken med vanning av MJ som ikke er tilstrekkelig belyst.

Resultatene fra feltforsøket viste at det ikke var en signifikant forskjell i avgang mellom ettårig M60 og M95 planter etter to vekstsesonger. Avgangen på feltene var overraskende lav sammenlignet med fylkesgjennomsnittet. Dette var ikke forklart av kjørespor og grøftekast, som heller ikke ga en effekt lik markberedning. Heller ikke morfologiske egenskaper, som var signifikant forskjellig for både høyde og diameter i forhold til plantetype, kunne forklare forskjellen.

Det totalet gnaget pr plante var derimot signifikant forskjellig mellom plantetypene, hvorav M95 hadde høyere andel gnag enn M60. Hypotese 3 kan dermed delvis bekreftes, det er en forskjell i morfologiske egenskaper mellom de ulike plantetypene, men dette gir ingen forskjell på avgang i dette forsøket. Videre forskning relatert til ulike plantetyper bør fokusere på å kartlegge hvorfor ettårig M95 pluggplanter har en klart høyere andel gnag enn M60.

Litteratur

- Alfaro, R. I., Borden, J.H., King, J.N., Tomlin, E.S., McIntosh, R.L., and Bohlmann, J. . (2002). Mechanisms of resistance in conifers against shoot infesting insects. The case of the white pine weevil *Pissodes strobi* (Peck)(Coleoptera: Curculionidae). . *Mechanisms and Deployment of Resistance to Insects*.
- B.Bejer-Petersen. P, P. J., E. Kangas, A. Bakke, V. Butovitsch, H. Eidmann, K. J. Heqvist, B. Lekander. (1962). Studies on *Hylobius Abietis* L. Development and life cycle in the Nordic countries. *Acta Entomologica Fennica*, 17: 1-106.
- Bakke, E. C. A. (1971). Feeding Activity of the Pine Weevil, *Hylobius abietis* L. (Col., Curculionidae), During a Hot Period. *Norsk Entomologisk Tidsskrift*, 18 (2).
- Bjorklund, N., Nordlander, G. & Bylund, H. (2005). Olfactory and visual stimuli used in orientation to conifer seedlings by the pine weevil, *Hylobius abietis*. *Physiological Entomology*, 30 (3): 225-231.
- Butawitsch, V. (1932). Das Flugvermogen des grossen braunen Russek Jafer. *Forstwiss. Zen Bi.*, 54: 446-460.
- Bylund, H., Nordlander, G. & Nordenhem, H. (2007). Feeding and oviposition rates in the pine weevil *Hylobius abietis* (Coleoptera: Curculionidae). *Bulletin of Entomological Research*, 94 (04).
- Christiansen, E. (1971b). Laboratory study on factors influencing preimaginal development in *Hylobius abietis* L. (Col., Curculionidae). *Norsk Entomologisk Tidsskrift*, 18: 1-8.
- Constable, J. V. H., Marcy E. Litvak, James P. GreenBerg and Russel K. Monson*. (1999). Monoterpene emission from coniferous trees in response to elevated CO2 concentration and climate warming *Global Change Biology*, 5: 255-267.
- Eldhuset, T. D., Nagy, N. E., Volařík, D., Børja, I., Gebauer, R., Yakovlev, I. A. & Krokene, P. (2012). Drought affects tracheid structure, dehydrin expression, and above- and belowground growth in 5-year-old Norway spruce. *Plant and Soil*, 366 (1-2): 305-320.
- Erb, M., Lenk, C., Degenhardt, J. & Turlings, T. C. (2009). The underestimated role of roots in defense against leaf attackers. *Trends Plant Sci*, 14 (12): 653-9.
- Fløistad, I. S. G., Aksel; Lindström, Anders. . (2007). EFFEKT AV MARKBEREDNING VED BRUK AV
MINIPLANTER OG KONVENSJONELLE PLUGGPLANTER.
- Franceschi, V. R., Krokene, P., Christiansen, E. & Krekling, T. (2005). Anatomical and chemical defenses of conifer bark against bark beetles and other pests. *New Phytol*, 167 (2): 353-75.
- Gould, N., Reglinski, T., Spiers, M. & Taylor, J. T. (2008). Physiological trade-offs associated with methyl jasmonate - induced resistance in *Pinus radiata*. *Canadian Journal of Forest Research*, 38 (4): 677-684.
- Gyldberg*, C. S. a. (1979). Temporal flight pattern of the large pine weevil, *Hylobius abietis* L. (Coleoptera, Curculionidae), with special reference to the influence of weather. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie*, 88 (1-5): 532-536.
- Hannerz, M., Thorsen, A., Mattsson, S. & Weslien, J. (2002). Pine weevil (*Hylobius abietis*) damage to cuttings and seedlings of Norway spruce. *Forest Ecology and Management*, 160 (1-3): 11-17.
- Hanssen, K. H. (2009: 2-2009). *BRUK AV SNUTEBILLEMIDLER I
NORSKE SKOGLANTESKOLER*: Norsk Institutt for Skog og Landskap.

- Hanssen, K. H. (2010 a). SNUTEBILLESKADER PÅ VESTLANDET OG I TRØNDELAGE. 2009. *Rapport fra Skog og landskap*. Norsk Institutt for Skog og Landskap.
- Hanssen, K. H. (2010 b). Snutebillene er et problem i kystfylkene. (3-2010).
- Hansson, K., Helmisaari, H.-S., Sah, S. P. & Lange, H. (2013). Fine root production and turnover of tree and understorey vegetation in Scots pine, silver birch and Norway spruce stands in SW Sweden. *Forest Ecology and Management*, 309 (0): 58-65.
- Heijari, J., Nerg, A. M., Kainulainen, P., Viiri, H., Vuorinen, M. & Holopainen, J. K. (2005). Application of methyl jasmonate reduces growth but increases chemical defence and resistance against *Hylobius abietis* in Scots pine seedlings. *Entomologia Experimentalis Et Applicata*, 115 (1): 117-124.
- Holopainen, J. K., J. Heijari, A.M, Nerg, M.Vuorinen, P. Kainulainen. (2009). Potential for the Use of Exogenous Chemical Elicitors in Disease and Insect Pest Management of Conifer Seedling Production. *The Open Forest Science Journal*, 2.
- Huber, D. P. W., Philippe, R. N., Madilao, L. L., Sturrock, R. N. & Bohlmann, J. (2005). Changes in anatomy and terpene chemistry in roots of Douglas-fir seedlings following treatment with methyl jasmonate. *Tree Physiology*, 25 (8): 1075-1083.
- Hudgins, J. W., Christiansen, E. & Franceschi, V. R. (2003). Methyl jasmonate induces changes mimicking anatomical defenses in diverse members of the Pinaceae. *Tree Physiology*, 23 (6): 361-371.
- Hudgins, J. W., Christiansen, E. & Franceschi, V. R. (2004). Induction of anatomically based defense responses in stems of diverse conifers by methyl jasmonate: a phylogenetic perspective. *Tree Physiology*, 24 (3): 251-264.
- Härlin, C., Stefan Eriksson. (2013). Test av mekaniska plantskydd och insekticider mot snytbagg, anlagt våren 2010.
- Inc, R. I. (1991). *WinRHIZO*. Tilgjengelig fra: http://www.regentstruments.com/assets/winrhizo_about.html.
- Kohmann, K. (1995). Høydeutvikling og overlevelse hos ulike plantetyper av gran. Ås: Norsk institutt for skogforskning.
- Krokene, P., Nagy, N. E. & Solheim, H. (2008). *Methyl jasmonate and oxalic acid treatment of Norway spruce: anatomically based defense responses and increased resistance against fungal infection*. 29-35 s. Upublisert manuskript.
- Långström, B. (1982). Abundance and seasonal activity of adult *Hylobius*-weevils in reforestation areas during first years following final felling.: The Finnish forest research institute.
- Majdi, H. (2001). Changes in fine root production and longevity in relation to water and nutrient availability in a Norway spruce stand in northern Sweden. *Tree Physiology*, 21: 1057-1061.
- Martin, D., Tholl, D., Gershenzon, J. & Bohlmann, J. (2002). Methyl jasmonate induces traumatic resin ducts, terpenoid resin biosynthesis, and terpenoid accumulation in developing xylem of Norway spruce stems. *Plant Physiol*, 129 (3): 1003-18.
- McKay, S. A. B., Hunter, W. L., Godard, K.-A., Wang, S. X., Martin, D. M., Bohlmann, J. & Plant, A. L. (2003). Insect Attack and Wounding Induce Traumatic Resin Duct Development and Gene Expression of (—)-Pinene Synthase in Sitka Spruce. *Plant Physiology*, 133 (1): 368-378.
- Metrologisk institutt. (2014a). Tilgjengelig fra: http://www.yr.no/sted/Norge/M%C3%B8re_og_Romsdal/Sunndal/Rykkjem/statistikk.html.
- Metrologisk institutt. (2014b). Rykkjem, Sunndal (Møre og Romsdal).

- Miller, B., Madilao, L. L., Ralph, S. & Bohlmann, J. (2005). Insect-induced conifer defense. White pine weevil and methyl jasmonate induce traumatic resinosis, de novo formed volatile emissions, and accumulation of terpenoid synthase and putative octadecanoid pathway transcripts in Sitka spruce. *Plant Physiol*, 137 (1): 369-82.
- Moreira, X., Sampedro, L. & Zas, R. (2009). Defensive responses of *Pinus pinaster* seedlings to exogenous application of methyl jasmonate: Concentration effect and systemic response. *Environmental and Experimental Botany*, 67 (1): 94-100.
- Moreira, X., Zas, R. & Sampedro, L. (2012a). Genetic variation and phenotypic plasticity of nutrient re-allocation and increased fine root production as putative tolerance mechanisms inducible by methyl jasmonate in pine trees. *Journal of Ecology*, 100 (3): 810-820.
- Moreira, X., Zas, R. & Sampedro, L. (2012b). Methyl Jasmonate as Chemical Elicitor of Induced Responses and Anti-Herbivory Resistance in Young Conifer Trees. 345-362.
- National-Institutes-of-Health. (2014). *ImageJ*. <http://imagej.nih.gov/ij/index.html>.
Tilgjengelig fra: <http://imagej.nih.gov/ij/index.html>.
- NIST/SEMATECH. (2012). *Engineering Statistics Handbook*. NIST/SEMATECH. Upublisert manuskript.
- Nordenhem, H. (1989). Age, sexual development, and seasonal occurrence of the pine weevil *Hylobius Abietis* (L.). *Journal of Applied Entomologi*, 108: 260-270.
- Nordlander, G., Örlander, G. & Langvall, O. (2003). Feeding by the pine weevil *Hylobius abietis* in relation to sun exposure and distance to forest edges. *Agricultural and Forest Entomology*, 5 (3): 191-198.
- Nordlander, G., Bylund, H., Örlander, G. & Wallertz, K. (2003a). Pine Weevil Population Density and Damage to Coniferous Seedlings in a Regeneration Area With and Without Shelterwood. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 18 (5): 438-448.
- Nordlander, G., Bylund, H. & Bjorklund, N. (2005). Soil type and microtopography influencing feeding above and below ground by the pine weevil *Hylobius abietis*. *Agricultural and Forest Entomology*, 7 (2): 107-113.
- Nordlander, G., Hellqvist, C., Johansson, K. & Nordenhem, H. (2011). Regeneration of European boreal forests: Effectiveness of measures against seedling mortality caused by the pine weevil *Hylobius abietis*. *Forest Ecology and Management*, 262 (12): 2354-2363.
- Nordlander, G., Göran Örlander, Magnus Petersson & Hellqvist., C. (2014). *Skogsskötselåtgärder mot snytbagge*. 1.2 utg.: SLU, Woxjö universitet. 43 s.
- Nordlander, G., Henrik Nordenhem & Helena Bylund. (1997). Oviposition patterns of the pine weevil *Hylobius abietis*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 85 (1-9).
- Nordlander, G., Hubertus, H. Eidmann, Ulla, Jacobsson, Henrik, Nordenhe and Kristina Sjödin. (1986). Orientation of the pine weevil *Hylobius abietis* to underground sources of host volatiles. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 41: 91-100.
- Nordlander, N. H. a. G. (1994). Olfactory oriented migration through soil by root-living *Hylobius abietis* (L.) larvae (Col., Curculionidae). *Journal of Applied Entomologi*, 117 (1-5): 457-462.
- Oskar Kindvall, G. N., Henrik Nordenhem. (2000). Movement behaviour of the pine weevil *Hylobius abietis* in relation to soil type, an arena experiment., 95 (1): 53-61.
- Petersson, M., Nordlander, G. & Örlander, G. (2006). Why vegetation increases pine weevil damage: Bridge or shelter? *Forest Ecology and Management*, 225 (1-3): 368-377.
- Pettersson, M., Kännaste, A., Lindström, A., Hellqvist, C., Stattin, E., Långström, B. & Borg-Karlson, A.-K. (2008). Mini-seedlings of *Picea abies* are less attacked by *Hylobius abietis* than conventional ones: Is plant chemistry the explanation? *Scandinavian Journal of Forest Research*, 23 (4): 299-306.

- Salisbury, A. N., Leather, S.R. (1998). Migration of larvae of the large Pine Weevil, *Hylobius abietis* L.(Col., Curculionidae) Possible predation a lesser risk than death by starvation. *Journal of Applied Entomologi*, 122: 295-299.
- Salisbyr, A. N., Leather, S.R. (1998). Migration of larvae of the large Pine Weevil, *Hylobius abietis* L. (Col., Curculionidae). Possible predation a lesser risk than death by starvation. *Journal of Applied Entomologi*.
- Sampedro, L., Moreira, X. & Zas, R. (2010). Resistance and response of *Pinus pinaster* seedlings to *Hylobius abietis* after induction with methyl jasmonate. *Plant Ecology*, 212 (3): 397-401.
- Sampedro, L., Moreira, X. & Zas, R. (2011). Costs of constitutive and herbivore-induced chemical defences in pine trees emerge only under low nutrient availability. *Journal of Ecology*, 99 (3): 818-827.
- Simon R. LEATHER, S. I. A., Louise HOGAN. (1994). Adult feeding preferences of large pine weevil, *Hylobius Abietis* *European Journal of Entomologi*, 91: 385-389.
- Skog-og-landskap. (2014). *Gransnutebille*. Skadeinsekter i skogen. Tilgjengelig fra: <http://www.skogforsk.no/skadeinsekter/diagnosis.cfm?dia=131>.
- Skogsplantor, S. (2014). Mekaniska plantskydd: effektiva och giftfria skydd Mot snytbagge.
- Solbreck, C. (1980). Dispersal distance of migrating pine weevils, *Hylobius Abietis*, Coleoptera : Curculionidae. *Ned. Entomol. Ver. Amsterdam*, 28: 123-131.
- Sveriges-lantbruksuniversitet. (2011). *Skador*. Snytbaggen - biologi och aktuell forskning: Institutionen för ekologi. Tilgjengelig fra: <http://www2.ekol.slu.se/snytbagge/skador.php>.
- Sveriges-lantbruksuniversitet. (2014a). *Kemisk bekämpning*. Tilgjengelig fra: <http://www2.ekol.slu.se/snytbagge/kemisk.php>.
- Sveriges-lantbruksuniversitet. (2014b). *Svärmning*. Snytbaggen - biologi och aktuell forskning. Tilgjengelig fra: <http://www2.ekol.slu.se/snytbagge/svarmning.php>.
- Tan, J. Y., Wainhouse, D., Day, K. R. & Morgan, G. (2010). Flight ability and reproductive development in newly-emerged pine weevil *Hylobius abietis* and the potential effects of climate change. *Agricultural and Forest Entomology*, 12 (4): 427-434.
- Thorsen, Å. A., Mattsson, S. & Weslien, J. (2001). Influence of Stem Diameter on the Survival and Growth of Containerized Norway Spruce Seedlings Attacked by Pine Weevils (*Hylobius* spp.). *Scandinavian Journal of Forest Research*, 16 (1): 54-66.
- Tomlin, E., S. (2000). Changes in volatile terpene and diterpene resin acid composition of resistant and susceptible white spruce leaders exposed to simulated white pine weevil damage. *Tree Physiology*, 20: 1087-1095.
- Von Sydow, F. (1997). Abundance of pine weevils (*Hylobius abietis*) and damage to conifer seedlings in relation to silvicultural practices. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 12 (2): 157-167.
- Von Sydow, F., Örlander G. (1994). The Influence of Shelterwood Density on *Hylobius abietis* (L.) Occurrence and Feeding on Planted Conifers. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 9.
- Wainhouse, D., Staley, J. T., Jinks, R. & Morgan, G. (2009). Growth and defence in young pine and spruce and the expression of resistance to a stem-feeding weevil. *Oecologia*, 158 (4): 641-50.
- Wallertz, K. (2005). Pine weevil *Hylobius abietis* feeding in shelterwood systems.
- Wallertz, K., Örlander, G. & Luoranen, J. (2005). Damage by pine weevil *Hylobius abietis* to conifer seedlings after shelterwood removal. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 20 (5): 412-420.
- Wallertz, K. (2006). Feeding on roots in the humus layer by adult pine weevil, *Hylobius abietis*.

- Zas, R., Björklund, N., Nordlander, G., Cendán, C., Hellqvist, C. & Sampedro, L. (2014). Exploiting jasmonate-induced responses for field protection of conifer seedlings against a major forest pest, *Hylobius abietis*. *Forest Ecology and Management*, 313: 212-223.
- Örlander, G., Nilsson, U. & Nordlander, G. (1997). Pine weevil abundance on clear-cuttings of different ages: A 6-year study using pitfall traps. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 12 (3): 225-240.
- Örlander, G. & Nilsson, U. (1999). Effect of Reforestation Methods on Pine Weevil (*Hylobius abietis*) Damage and Seedling Survival. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 14 (4): 341-354.
- Örlander, G., Nordlander, G., Wallertz, K. & Nordenhem, H. (2000). Feeding in the Crowns of Scots Pine Trees by the Pine Weevil *Hylobius abietis*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 15 (2): 194-201.
- Örlander, G., Nordlander, G. & Wallertz, K. (2001). Extra Food Supply Decreases Damage by the Pine Weevil *Hylobius abietis*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 16 (5): 450-454.
- Örlander, G. & Nordlander, G. (2003). Effects of field vegetation control on pine weevil (*Hylobius abietis*) damage to newly planted Norway spruce seedlings. *Annals of Forest Science*, 60 (7): 667-671.



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Postboks 5003
NO-1432 Ås
67 23 00 00
www.nmbu.no