



Effekten av gödsling med arGrow[®] granulat på barrplantors tillväxt efter de första två växtsäsongerna

*The effect of fertilization with arGrow[®] granulat on coniferous
plants after the two first growth seasons*

KARL ANDERS WICKBERG

MATTIAS ELIASSON



Examensarbete i skogshushållning, 15 hp

Serienamn: Examensarbete /SLU, Skogsmästarprogrammet 2023:06

SLU-Skogsmästarskolan

Box 43

739 21 SKINNSKATTEBERG

Tel: 0222-349 50

Effekten av gödsling med arGrow® granulat på barrplantors tillväxt efter de första två växtsäsongerna

The effect of fertilization with arGrow® granulat on coniferous plants after the two first growth seasons

Karl Anders Wickberg

Mattias Eliasson

Handledare: Staffan Stenhag och Elisabeth Wallin, SLU Skogsmästarskolan

Examinator: Johan Törnblom, SLU Skogsmästarskolan

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: Självständigt arbete (examensarbete) med nivå och fördjupning G2E med möjlighet att erhålla kandidat- och yrkesexamen

Kurstitel: Kandidatarbete i Skogshushållning

Kursansvarig institution: Skogsmästarskolan

Kurskod: EX0938

Program/utbildning: Skogsmästarprogrammet

Utgivningsort: Skinnskatteberg

Utgivningsår: 2023

Omslagsbild: Bild ifrån uppgrävningen utav plantorna. Foto: Mattias Eliasson

Elektronisk publicering: <https://stud.epsilon.slu.se>

Serietitel: Examensarbete/SLU, Skogsmästarprogrammet

Delnummer i serien: 2023:06

Nyckelord: arginin, plantgödsling, aminosyror



Sveriges lantbruksuniversitet
Skogsvetenskapliga fakulteten
Skogsmästarskolan

Sammanfattning

Tillgången på näringsämnen i marken är mycket stort i förhållande till växternas behov, men ändå är näringsstillförseln ofta en tillväxtbegränsande faktor för växterna. De näringsämnen som behövs i störst mängd är kväve, som ofta är hårt bundet i svårösliga kemiska föreningar. Längre troddes mineralisering vara en förutsättning för att växterna skulle kunna tillgodogöra sig det bundna kvävet. Under 1940-talet påvisade studier att växter också kan tillgodogöra sig organiskt kväve i form av aminosyror. Idag finns en del studier som pekar mot att större delar utav markens kväveförråd består av aminosyror och att organiskt kväve är en viktig del av kvävet kretslopp i boreala skogar.

arGrow® Granulat är ett långtidsverkande organiskt gödselmedel i kristallform som består utav aminosyran arginin. Medlet har tagits fram av det svenska företaget SweTree Technologies i samarbete med olika skogsbolag och används nu i kommersiell plantering främst i Norden. Effekten av arGrow® Granulat går ut på att stimulera plantornas egna tillväxtprocesser genom att tillföra en liten mängd argininfosfat vid utplantering i fält.

Huvudsyftet med detta försök var att studera rottillväxten hos gran och tallplantor gödslade med arGrow® Granulat och jämföra med ogödslade kontrollplantor efter de första två växtsäsongerna i fält. Även data om plantornas höjdtillväxt, diametertillväxt, skador, rot/toppkvot samt barrrens kväveinnehåll samlades in och analyserades.

På grund av undermålig uppmärkning av det två år tidigare anlagda försöket kunde endast fyra av totalt 18 block återfinnas, vilket gav ett möjligt sampel om 20 plantor per försöksled. Resultaten visade endast marginella skillnader mellan de gödslade och de ogödslade försöksleden och inga skillnader i de tillväxtparametrar som undersöktes kunde statistiskt säkerställas. Något som troligtvis härleddes till den lilla sampelstorleken. Dock framträdde vissa tendenser som pekar på att gödslingen ändå haft någon form av påverkan på de undersökta tillväxtparametrarna. De gödslade tallplantorna hade en torrsvikt som var 16 procent högre än de ogödslade tallplantorna. De gödslade granplantornas rotsvikt var 28 procent högre än kontrollplantorna.

Den markanta skillnaden som förväntades mellan de gödslade och de ogödslade plantorna uteblev men det är viktigt att poängtera att vi inte kan dra några långtgående slutsatser eftersom dataunderlaget för studien är litet. I framtida studier skulle fokus kunna vara på att undersöka på vilka marker där gödsling med arGrow® Granulat lämpar sig, samt att studera om gödslingseffekten avtar med ökande bonitet.

Nyckelord: arginin, plantgödsling, aminosyror

Abstract

The availability of nutrients in the soil is exceedingly high in relation to plant needs, yet nutrient supply is often a limiting factor for plant growth. The nutrient most needed is nitrogen, which is often tightly bound in insoluble chemical compounds. For a long time, mineralization was believed to be a prerequisite for plants to use the bound nitrogen. In the 1940s, studies showed that plants can also utilize organic nitrogen in the form of amino acids. Today there are studies that indicate that larger parts of the soil's nitrogen supply consist of amino acids and that organic nitrogen is an important part of the nitrogen cycle in boreal forests.

ArGrow Granules® is a long-acting organic fertilizer in crystal form consisting of the amino acid arginine. The agent has been developed by the Swedish company SweTree Technologies in collaboration with various forestry companies and is now used in commercial planting in the Nordic countries. The effect of arGrow® Granules is to stimulate the plants' own growth processes by adding a small amount of arginine phosphate when planting in the field.

The main objective of this trial was to compare the root growth of spruce and pine seedlings fertilized with arGrow® Granules with unfertilized control seedlings after the first two growing seasons in the field. Data on plant height growth, diameter growth, damage, root/top ratio, and nitrogen content in needles were also collected and analysed.

Due to inadequate marking of the two-year-old trial, only four of the 18 blocks could be found, resulting in a possible sample size of 20 plants per trial. The results showed only marginal differences between the fertilized and unfertilized trials and no differences in the growth parameters investigated could be statistically confirmed. This is probably due to the small sample size. However, certain tendencies emerged that indicate that fertilization still had some kind of influence on the growth parameters investigated. The fertilized pine plants had a dry weight that was 16 percent higher than the unfertilized pine plants. The root weight of the fertilized spruce plants was 28 percent higher than the control plants.

The significant difference that was expected between the fertilized and the unfertilized plants did not occur, but it is important to point out that we cannot draw any far-reaching conclusions because the data base for the study is small. In future studies, the focus could be on investigating on which soils where fertilization with arGrow® Granules is suitable, and to study whether the fertilization effect decreases with increasing quality.

Keywords: arginine, plant fertilization, amino acids

Förord

Vi skulle vilja tacka våra handledare Elisabeth Wallin och Staffan Stenhag vid SLU Skogsmästarskolan för deras stöttning och ovärderliga hjälp när inte saker gick som planerat. Stort tack skall även riktas till Anders Lindström som lät oss ta del av hans gedigna erfarenhet inom ämnet under analyseringen av resultatet.

Mattias Eliasson
Karl-Anders Wickberg

Skinnskatteberg 2023

Innehåll

1. INLEDNING	1
1.1 SKOGEN OCH KVÄVET	1
1.2 PLANTGÖDSLING OCH ARGROW®	3
1.2.1 TIDIGARE FÄLTFÖRSÖK MED ARGROW® GRANULAT	4
1.3 SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNINGAR	4
2. MATERIAL OCH METODER	5
2.1 FÖRSÖKETS UTFORMNING	5
2.2 ARGROW®	5
2.3 MÄTNINGAR OCH GENOMFÖRANDE.....	6
2.3.1 HÖJD OCH STAMDIAMETER.....	6
2.3.2 ROTTILLVÄXT.....	6
2.3.3 ROT/SKOTT-KVOT	7
2.4 STATISTISKA ANALYSER.....	7
3. RESULTAT	8
3.1 MEDELHÖJD OCH MEDELDIAMETER	8
3.2 ROTMÄTNINGAR.....	10
3.2.1 TORRVIKT SKOTT OCH RÖTTER	10
3.2.2 ROT/SKOTTKVOT	11
4. DISKUSSION	12
4.1 SLUTSATSER OCH VIDARE STUDIER	14
REFERENSER	16
BILAGOR	18
BILAGA 1. HYPOTESPRÖVNING OSKADDA TALLPLANTORS ROTVIKT	19
BILAGA 2. EXEMPEL PÅ ARGROW® GRANULAT FRÅN PLANTORNAS ROTSYS-TEM.....	20
BILAGA 3. EXEMPELBILDER PÅ ROTSYS-TEM EFTER TVÄTT OCH TORKNING. SLUMPMÄSSIGT URVAL.....	21

1. Inledning

Tillgången av olika näringsämnen i marken är mycket stort i förhållande till växternas behov, men ändå är tillgången på näring ofta en tillväxtbegränsande faktor för växterna. Detta beror på att merparten av näringen i marken är bundet till svårslösliga kemiska föreningar. Endast en mindre del är direkt upptagbart av växterna (Andersson et al. 2017).

En del växter behöver tillgång till ett 20-tal olika grundämnen för att kunna utvecklas. De ämnen som behövs i större mängd benämns makronäringsämnen och till dessa räknas kväve (N), fosfor (P), kalium (K), kalcium (Ca), magnesium (Mg) och svavel (S). De grundämnen som tillgodoser växternas behov i mycket små mängder benämns mikronäringsämnen och innefattar bland annat järn (Fe), mangan (Mn), koppar (Cu), zink (Zn), bor (B) och molybden (Mo). Balansen mellan de olika näringsämnena är viktig och bristen på tillgängligt kväve är den vanligaste orsaken till begränsad tillväxt på fastmark. På torvmark kan det i stället vara bristande tillgång på kalium och fosfor som hämmar växternas tillväxt (ibid.)

Kväve är ett av våra vanligaste grundämnen och det finns stora mängder av det både i luften i form utav kvävgas (N_2) och i marken bundet till organiska material. Växterna kan inte utnyttja kvävgasen i atmosfären utan i stället kommer kvävet i marken ifrån marklevande bakterier som har förmåga att fixera luftens kväve och därigenom öka markens kväveinnehåll. Huvuddelen av kvävet som växterna tar upp kommer dock ifrån nedbrytningen och mineraliseringen av markens organiska material som frigör upptagbara organiska föreningar av kväve. (ibid.)

1.1 Skogen och kvävet

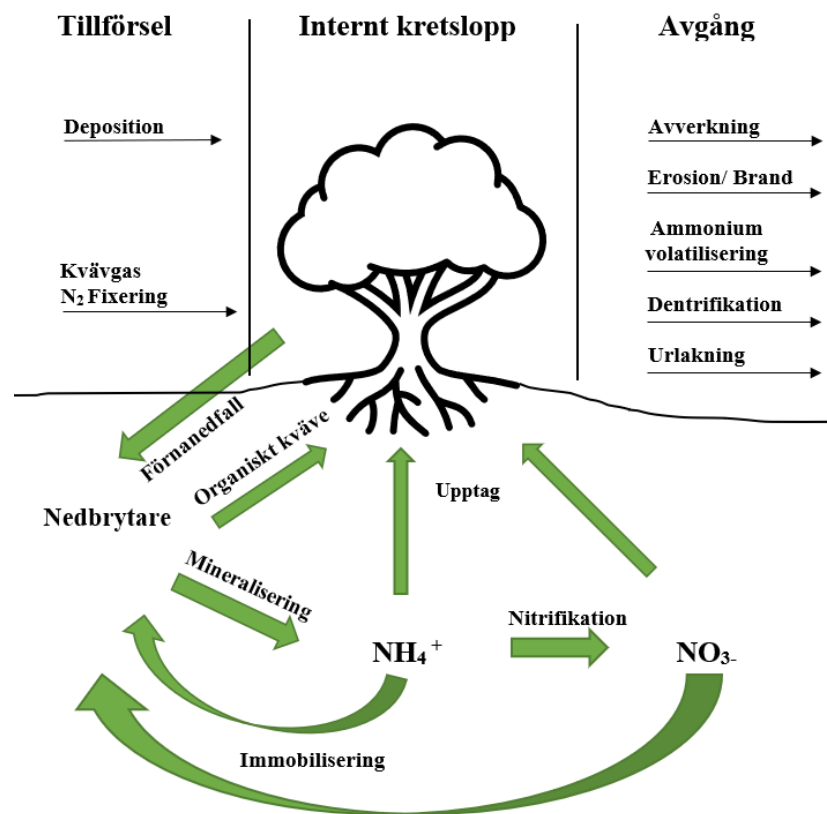
Det skogliga kvävekretsloppet kan i en förenklad modell beskrivas som ett internt kretslopp som interagerar med omgivningen genom flera processer (Figur 1). Huvudprocesserna i det interna kretsloppet är mineralisering, nitrifikation, immobilisering av mikroorganismer, växtupptag och tillförsel av växtrester. Under naturliga förhållanden, dvs utan kvävedeposition ifrån mänsklig aktivitet, sker mer än 90 procent utav växternas kväveupptag genom det interna kretsloppet (Gundersen 1991).

Tillförsel av kväve till det interna kretsloppet sker främst genom kvävgasfixering via bakterier i marken. Enligt Luca et al. (2002) har cyanobakterier utvecklat symbios med arter av mossor och tillsammans står de för en stor del av kvävefixeringen i de boreala skogarna. Det handlar om mellan $1 - 3 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ i de svenska skogarna (Sponseller et al. 2016). En del av det tillförda kväve som når marken via regnvattnet kommer ifrån luftföroreningar och en liten mängd från oxidering av kvävgas vid blixurladdningar (Andersson et al. 2017).

Vid nedbrytningen av organiskt material (mineralisering) blir ammoniumjoner (NH_4^+) och nitratjoner (NO_3^-) frigjorda i markvätskan. Hur mycket kväve som frigörs vid mineraliseringen beror på aktiviteten hos makroorganismerna och på kvoten kol/kväve i marken. Vid god syretillgång i marken kan ammoniumjonerna oxideras till nitratjoner, processen kallas nitrifikation. De negativt laddade

nitratjonerna är mer lättlösliga än de positivt laddade ammoniumjonerna, och om dessa joner inte tas upp av växter eller mikroorganismer kan de urlakas ur jorden. I syrefattiga miljöer med god tillgång till organiskt material kan nitratjonerna i stället reduceras till kväveoxid (NO) eller kvävgas (N₂). Processen innebär att markkväve förloras till atmosfären och kallas denitrifikation.

Är marken och förmanedfallet kvävefattigt kan immobilisering av mikroorganismerna förekomma. När markorganismerna inte får tillräckligt med kväve för att både försörja sig själva och tillföra marklösningen kväve så kan mineraliseringen avstanna till förmån för det egna behovet. Detta ger en stark konkurrens om den redan knappa kvävetillgången i marken (Robertson & Groffman 2007).



Figur 1. Förenklad modell över kvävetts kretslopp i skogen uppdelat på ingångarna av kväve, det inre kretsloppet och utgångarna av kväve. (Illustration: Mattias Eliasson)

Länge troddes mineraliseringen av organiskt material vara en förutsättning för att växterna skulle kunna tillgodogöra sig kvävet, men studier från 1940-talet (Virtanen & Linkola 1946) visade att växter också kan tillgodogöra sig kväve i organisk form, i det här fallet aminosyror. Inselbacher & Näsholm (2012) visade i en studie omfattande 15 olika boreala skogsjordar att ca 80 procent av markens kväveförråd bestod av aminosyror och bara ca tio procent vardera av ammonium och nitrat. Denna studie genomfördes med hjälp av en ny dialysmetod som används direkt ute i fält i stället för att jordprover insamlas och analyseras på laboratorium enligt tidigare praxis.

Det är fortfarande omdiskuterat hur stor del av växternas kväveupptag som det organiska kvävet står för. Näsholm et al. (2012) konstaterade att det fortfarande saknas direkta bevis för att organiskt kväve står för en signifikant del av det kväve som växterna tillgodogör sig i något ekosystem. Flertalet studier pekar dock på att växter i olika ekosystem brukar organiskt kväve som en viktig kvävekälla (Kielland 1994; Lipson et al. 2001). Bland annat så finns en stark avvikelse mellan uppmätt producerad mängd oorganiska kväveformer och växternas årliga kväveupptag, vilket tyder på att växterna måste få kväve ifrån andra källor än de oorganiska (Näsholm et al. 2012).

1.2 Plantgödsling och arGrow[®]

Under tidigt 1970-tal började svenskt skogsbruk använda sig av täckrotsplantor odlade på plantskolor (Wennström et al. 2016). Till en början användes gödselmedel i form av pulver eller korn och man gödslade ofta med samma dos under hela odlingssäsongen. Numera används nästan enbart flytande gödselmedel i plantskolorna och gödselgivan anpassas till plantornas behov för att uppnå god tillväxt (Rytter 2007). Dock har näringsläckage i anslutning till plantskolor fortsatt vara ett miljöproblem (Hannerz & Rosenberg 2001). Öhlund & Näsholm (2002) kunde i ett försök påvisa att endast 50 procent av ammoniumet och 30 procent av nitraten som tillförts tallplantor i ett växthus hade tagits upp av plantorna. I samma försök prövade man också att tillföra arginin som en organisk kvävekälla och resultatet blev att ca 80 procent av gödselgivan hade omsatts.

Framsteg inom utvecklingen av organiska gödselmedel gjordes i början av 2000-talet i och med ett miljöprojekt på en plantskola där man använde arginin som gödselmedel. Holmens plantskolor har helt övergått till argininbaserat gödselmedel i form utav arGrow[®] Complete och arGrow[®] Mix framtaget av innovationsföretaget SweTree Technologies AB i samarbete med olika skogsbolag. Under 2015 började man fundera på om gödslingen kunde fortsättas ute i fält och företaget Arevo AB startades för att fortsatt driva varumärket arGrow[®]. Man utvecklade då arGrow[®] Granulat genom att låta arginin reagera med fosfat och fick då ett långtidsverkande gödselmedel i kristallform. Sedan 2016 har tester tillsammans med flera skogsbolag pågått och sedan 2019 används medlet i kommersiell plantering. Sedan 2016 har över 70 miljoner träd fördelat över ca 30 000 hektar planterats och gödslats med arGrow[®]. Arevos produkter har sin utgångspunkt i professor Torgny Näsholms forskning om hur växter använder sig av aminosyran arginin som organisk kvävekälla. Torgny Näsholm är också grundare och utvecklingschef på Arevo (Arevo 2023).

Effekten av arGrow[®] Granulat går ut på att stimulera plantornas egna tillväxtprocesser genom att tillföra en liten mängd argininfosfat. Enligt tillverkaren uppnås positiva effekter både på tillväxt och överlevnad och i sin tur ett snabbare bidrag till att binda koldioxid och en minskad urlakning av näringsämnen till omgivande miljö. Arginin är positivt laddat vilket gör att det binder till jordpartiklarna i marken och inte urlakas i samma grad som till exempel nitrat som ligger fritt bland jordpartiklarna. Gödselmedlet ska främst stimulera rottillväxt vilket gör att plantorna får ett större rotsystem som kan ta upp näring

och vatten i högre grad, samt att plantorna också klarar omställningen från plantskola till hygge bättre, vilket leder till högre överlevnad. Ett större rotsystem leder till utveckling av många finrötter som i sin tur ger möjlighet till mer mykorrhiza (Arevo 2023).

1.2.1 Tidigare fältförsök med arGrow® Granulat

Forskningen kring organiska kvävekällor i boreal skog har pågått under mer än 70 år men arGrow® Granulat som produkt har inte testats i fält i större skala i mer än ungefär sex år. Trots det har man hunnit med att anlägga flertalet fältförsök både i Norden, Baltikum och på enstaka lokaler i tropiskt klimat (Arevo 2022).

Häggström et al. (2021) undersökte överlevnad och tillväxt hos tallplantor planterade i norra Sverige gödslade med arGrow® och planterade på olika planteringspunkter. Man undersökte elva planterade lokaler mellan 61:a och 67:e breddgraden efter två växtsäsonger och fann att gödsling med arGrow® ledde till högre överlevnad hos plantorna som planterats i markberedd mineraljord. Hos planterade i icke markberedd jord sågs ingen signifikant effekt av gödslingen. Positiva tillväxteffekter av gödslingen sågs främst på de bördigare lokalerna och där växtsäsongen var längre. Noterbart är att försöken anlades under våren 2018, precis innan extremtorkan följande sommar.

I de flesta andra försök som finns publicerade har Arevo på ett eller annat sätt varit inblandade, något som diskuteras mer i senare avsnitt.

1.3 Syfte och frågeställningar

Syftet med arbetet var att utreda om gödsling med arGrow® Granulat har påverkat olika tillväxtparametrar hos barrplantor (*Picea abies* & *Pinus sylvestris*) efter de två första växtsäsongerna i fält.

Frågeställningarna som arbetet utgår ifrån är:

1. Har gödsling med arGrow® Granulat ökat plantornas rottillväxt efter de två första växtsäsongerna, jämfört med ogödslade kontrollplantor?
2. Har gödsling med arGrow® Granulat ökat plantornas höjdtillväxt efter de två första växtsäsongerna, jämfört med ogödslade kontrollplantor?
3. Har gödsling med arGrow® Granulat ökat plantornas diametertillväxt efter de första två växtsäsongerna, jämfört med ogödslade kontrollplantor?
4. Skiljer sig rot/skottkvoten mellan plantor gödslade med arGrow® Granulat och ogödslade kontrollplantor efter de två första växtsäsongerna?

2. Material och metoder

2.1 Försökets utformning

Denna studie baseras på ett tidigare försök som etablerades av Skogsmästarskolan under våren 2021, där plantornas vitalitet och tillväxt undersöktes efter en tillväxtsång. Försöket är lokaliserat i norra Västmanland, Skinnskattebergs kommun, 179 meter över havet. Lokalen bedöms vara en tallmark av bördigare karaktär med sandig moig morän som jordart och med en bonitet uppskattad till T 29 med övrehöjdsbonitering på kvarlämnade träd på hygget. År 2021 hade Skinnskatteberg en årsmedelnederbörd på 600 – 800 mm samt en medeltemperatur på 6 °C. Lokalen var markberedd med harv, vilket är branschnorm på denna typ av mark (Hallsby 2013). Plantorna som planterades var industriodlade plantor av gran (*Picea abies*) och tall (*Pinus Sylvestris*) för lokalen anpassad proveniens från företaget Svenska skogsplantor. Samtliga plantor var behandlade med snytbaggesskyddet Conniflex[®]. Dessa plantor är att anse som representativa för vad som används i storskogsbruket idag.

Plantorna planterades enligt branschpraxis med planteringsrör samt en handhållen arGrow[®] -applikator som applicerade en given dos arGrow[®] Granulat under varje planta.

Försöket utgörs av 18 block bestående av fyra försöksled med fem plantor i varje rad (Tabell 1).

Tabell 1. Tabell över de olika försöksleden med ett gödslat och ett ogödslat försöksled för vardera trädslaget.

<i>Försöksidentitet</i>	<i>Åtgärd</i>	<i>Block</i>	<i>Plantantal totalt</i>
Tall			
<i>Försöksled 1</i>	Kontroll, ogödslad tall	18	90
<i>Försöksled 2</i>	Gödslad tall	18	90
Gran			
<i>Försöksled 1</i>	Kontroll, ogödslad gran	18	90
<i>Försöksled 2</i>	Gödslad gran	18	90

2.2 ArGrow[®]

arGrow[®] är handelsnamnet för ett ämne som består av L-argininfosfat. Detta är ett organiskt kväve baserat på aminosyran arginin. Den handhållna granulat doseraren som användes vid planteringen applicerar enligt tillverkaren i snitt 40

korn granulat till varje planta. Detta resulterar i en medelgiva av kväve på 40 mg per planta.

2.3 Mätningar och genomförande

2.3.1 Höjd och stamdiameter

Innan plantorna grävdes upp gjordes mätningar av plantornas höjd samt stamdiameter. Plantornas höjd mättes från markens högsta punkt invid stammen nertill, upp till toppknoppen, på samma sätt som höjden mättes direkt efter planteringen. Stamdiametern uppmättes precis under första grenvarvet på varje planta med ett digitalt skjutmått.

2.3.2 Rottillväxt

För att kunna mäta rötternas relativa tillväxt gentemot varandra var ambitionen att minst sex block med fem plantor i varje försöksled grävdes upp med så mycket som möjligt av rötterna intakta. På grund av tidigare bristfällig uppmärkning i fält kunde bara fyra block identifieras, vilket resulterade i ett möjligt sampel av 20 plantor per försöksled. I och med att alla plantor inte överlevt eller återfanns krymptes sampelstorleken ytterligare något. Återstående plantor grävdes upp genom att en rund mall med 30 cm i diameter sattes runt plantan, och därefter grävdes plantan upp utefter denna mall med ett djup på cirka 25 cm (ett spaddjup). På detta sätt minimerades eventuella systematiska fel i uppgrävningen samtidigt som det säkerställdes att vi fick med så mycket som möjligt av plantans rötter (Figur 1).

I syfte att minska risken för att rötter försvann mellan försöksplatsen i fält och laboratoriet förvarades varje planta enskilt i en kompostpåse av papper med individmärkning för den specifika plantan.

Vid laboratoriet avlägsnades jord, främmande objekt och torv försiktigt kring plantan med hjälp av vatten. För att eventuella lösa rötter skulle fångas upp tvättades varje planta i en enskild plastback som sedan genomsöktes efter lösa rötter. Rotklumpen klipptes sedan av ovanför rötternas början vid den punkt på stammen som jordytan uppgått till. Gröndelen av plantan klipptes i mindre bitar och packades i en egen kompostpåse med samma märkning som rotklumpens påse. Sedan torkades plantorna i 105 °C under 36 h. Därefter läts rötterna svalna av rumstemperatur i 45 procents luftfuktighet i 22 °C tills de var svala.



Figur 1. Bild tagen vid uppgrävningen utav plantorna. Det vita är mallen som användes.

Slutligen vägdes varje plantas rötter och gröndel enskilt på en våg med 0,01 grams noggrannhet. Både våg och skjutmått kalibrerades innan mätning i syfte att eliminera eventuella systematiska fel i mätningarna. (Stenhag 2021)

2.3.3 Rot/skott-kvot.

För att identifiera huruvida plantan har ett bra förhållande mellan rot och gröndel separerade vi roten från den övriga grönmassan för att sedan väga dessa individuellt. Därefter dividerades rotvikten med skottvikten vilket gav oss ett värde som kan indikera om plantan har en bra rotstorlek i förhållande till skott. Ett eftersträvansvärt värde är en kvot på 0,5. För mycket grönmassa i förhållande till rot kan göra att roten inte klarar att försörja plantan med tillräckliga näringsämnen (Wennström 2016).

2.4 Statistiska analyser

Samtliga data som samlades in på blanketter i fält och laboratoriet fördes in i Microsoft Excel i syfte att genomföra statistiska beräkningar och generera diagram över resultaten. Beräkningar av medelvärden för varje block gjordes både på samtliga inmätta plantor samt med ett urval bestående av enbart oskadade plantor. Medelvärdena för varje block gav sedan ett medelvärde för de olika försöksleden.

Därefter gjordes enkelsidiga signifikanstest som baserades på två hypoteser:

- Nollhypotes
- Mothypotes

Nollhypotesen var att det inte var någon skillnad mellan behandlade och obehandlade plantor. Mothypotesen är att det finns en signifikant ökning i rottillväxt för plantor behandlade med arGrow[®] i förhållande till de obehandlade plantorna. För att genomföra hypotesprövning nyttjades följande formler.

$\sigma_1 \approx \sigma_2$ men okända

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{s_p^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

$$s_p^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

3. Resultat

Av det möjliga samplet på 80 plantor återfanns 71 av dessa, det ger en total plantöverlevnad på 89 procent efter två växtsäsonger för de inmätta blocken. De nio saknade plantorna tillhörde försöksleden med tall. Av de återstående 71 plantorna uppvisade 24 någon form utav skada varav majoriteten av dessa återfanns i försöksled fyra, se Tabell 2.

Tabell 2. Andelen skadade plantor och vilken typ av skada som observerats för respektive träslag och behandling (försöksled). När det inte gick att säkerställa skadans ursprung angavs denna som okänd.

F1 - obehandlad tall n= 20		
Skada	Antal	Andelen skadade eller saknade
1= snytbagge		0%
2= torka		0%
3= bete	1	5%
4= okänd	2	10%
5= saknas	4	20%
<i>Totalt</i>	<i>7</i>	<i>35%</i>

F2 - gödslad tall n= 20		
Skada	Antal	Andelen skadade eller saknade
1= snytbagge		0%
2= torka		0%
3= bete		0%
4= okänd	2	10%
5= saknas	5	25%
<i>Totalt</i>	<i>7</i>	<i>35%</i>

F3 - obehandlad gran n= 20		
Skada	Antal	Andelen skadade eller saknade
1= snytbagge		0%
2= torka		0%
3= bete	3	15%
4= okänd	2	10%
5= saknas		0%
<i>Totalt</i>	<i>5</i>	<i>25%</i>

F4 - gödslad gran n= 20		
Skada	Antal	Andelen skadade eller saknade
1= snytbagge		0%
2= torka		0%
3= bete	3	15%
4= okänd	11	55%
5= saknas		0%
<i>Totalt</i>	<i>14</i>	<i>70%</i>

Eftersom samplet är litet och skadorna får betydande påverkan på resultatet redovisas nedan data för alla inmätta plantor men också ett urval där endast oskadade plantor ingår. Detta för att kunna studera gödslets eventuella effekt på tillväxten.

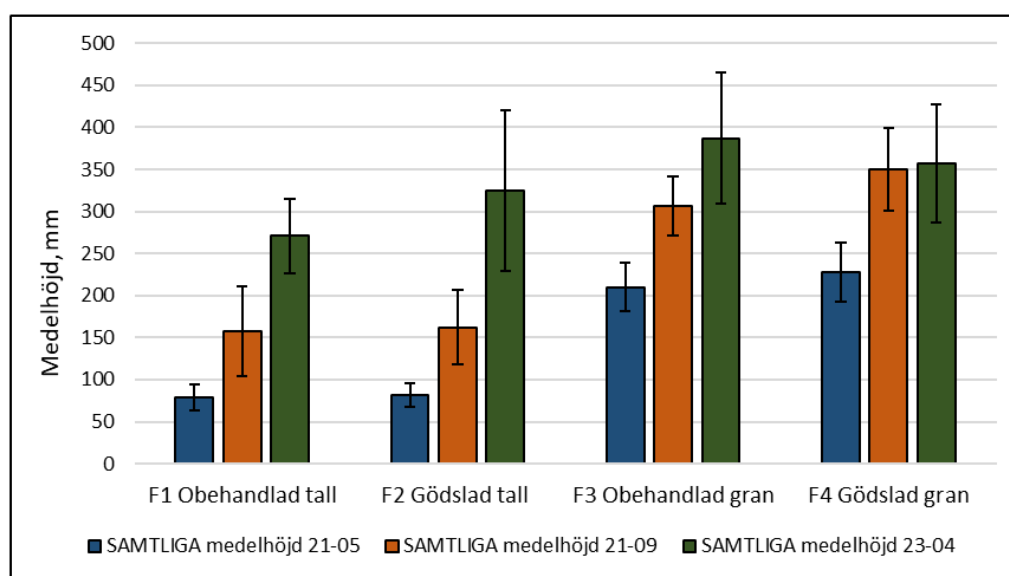
3.1 Medelhöjd och medeldiameter

Medelhöjden för samtliga gödslade tallplantor var 13 procent högre jämfört med de ogödslade tallplantorna, medan medelvärdet för samtliga gödslade granplantorna var tre procent lägre jämfört med kontrollplantorna.

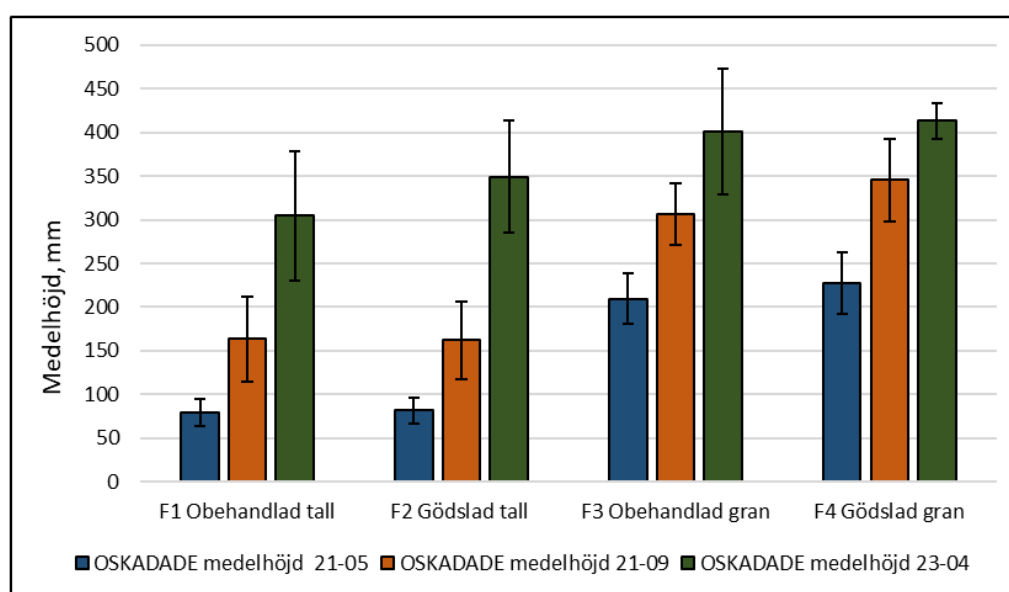
Vid utsällning av de oskadade plantorna uppvisade de gödslade tallplantorna en medelhöjd som var 15 procent högre, samt de oskadade gödslade granplantornas medelhöjd var tre procent högre. Efter genomförd hypotesprövning kunde varken höjden på tall eller gran säkerställas bero på tillförseln av gödsel.

Av Figur 2 och 3 framgår medelhöjden för de olika försöksleden samt vilken påverkan skadorna har fått på resultatet. Försöksled fyra med gödslad gran ser inte ut att ha växt någonting mellan mätningen i september 2021 och mätningen i april 2023. Exkluderar man de skadade plantorna ses att medelhöjden har ökat men fortfarande inte signifikant mer än för det ogödslade plantorna i försöksled tre.

Den största totala tillväxten har skett i försöksled två med gödslad tall. Tallplantornas medeltillväxt var 240 mm i samplet med alla plantor och 268 mm i samplet med enbart oskadade plantor. Den lägsta tillväxten har skett i försöksled fyra med gödslade granplantor. Granplantornas medeltillväxt var 129 mm i samplet med alla plantor och 186 mm i samplet med enbart oskadade plantor. Medeldimetern hos de oskadade gödslade tallarna var fem procent (0,5 mm) grövre än de ogödslade. De oskadade gödslade granplantorna hade i medel 3 procent (0,3 mm) grövre diameter än kontrollplantorna. Inte heller de skillnaderna kunde statistiskt säkerställas.



Figur 2. Medelhöjden (mm) och standardavvikelse (mm) för de tre mättillfällena maj 2021, september 2021 och april 2023, för samtliga plantor i samplet.



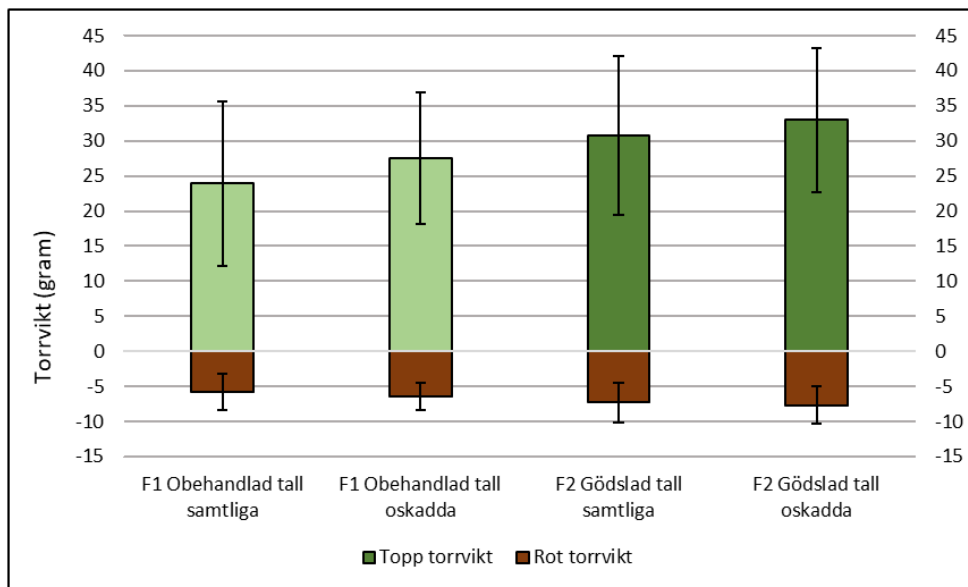
Figur 3. Medelhöjden (mm) och standardavvikelsen (mm) för de tre mättillfällena maj 2021, september 2021 och april 2023, för enbart de oskadade plantorna i samplet.

3.2 Rotmätningar

3.2.1 Torrsvikt skott och rötter

Viss skillnad på rotsvikt kunde observeras på de gödslade och ogödslade tallplantorna. De oskadade gödslade tallplantorna hade 19 procent högre rotsvikt än de ogödslade. Efter hypotesprövningen där huvudhypotes att gödslade tallplantor skulle ha högre rotsvikt än de ogödslade plantorna testades gick det inte att statistiskt säkerställa skillnaden. Hypotesprövningen gav t-värdet 1,087 för tall. Av Figur 4 utläses att de båda oskadade samplerna hade något högre medelvärden än de skadade.

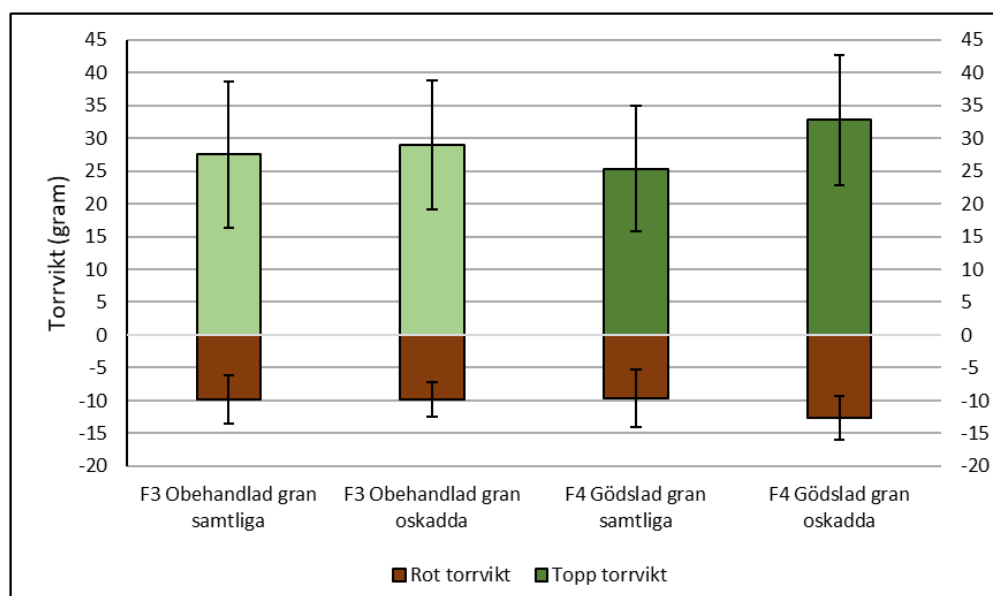
I medeltal var skottsviktarna i det gödslade försöksledet för tall (F2) 28 procent högre för samtliga plantor och 20 procent högre för de oskadade tallplantorna. Eftersom standardavvikelseerna är så stora så går inte skillnaden att statistiskt bevisa.



Figur 4. Medeltorrsvikt för skott och rötter för de två tallförsöksleden. Redovisat dels för samtliga plantor och enbart oskadade. I pedagogiskt syfte presenteras rotsvikten som ett negativt värde.

I försöksled tre och fyra som bestod av obehandlad gran och gödslad gran uppvisade den gödslade granen 28 procent högre rotsvikt än den obehandlade i samplet med de oskadade plantorna. Hypotesprövningen resulterade i t-värde 0,7 för samtliga granplantor. En exkludering av skadade plantor resulterade i t-värdet 1,4811, inte heller där kunde det bevisas att den observerade skillnaden berodde på gödningen.

I medeltal var skottsviktarna på de oskadade gödslade granplantorna (F4) 13 procent högre än kontrollledet (F3). På samtliga granplantor hade de gödslade granplantorna (F4) i medeltal åtta procent lägre skottsvikt än kontrollledet (F3).



Figur 5. Medeltorrsvikt för skott och rötter för de två granförsöksleden. Redovisat för samtliga plantor och enbart oskadade. I pedagogiskt syfte presenteras rotvikten som ett negativt värde.

3.2.2 Rot/skottkvot

Rot/skott-kvoten skiljde sig marginellt mellan de olika försöksleden. Den obehandlade tallen hade en kvot på 0,25, vilket är identiskt med de gödslade plantorna som också hade kvotvärdet 0,25. Den obehandlade granen hade en kvot på 0,37 och den gran som var gödslad hade en kvot på 0,39 (Tabell 3). Inte heller några av dessa observationer kunde bevisas med någon statistisk signifikans.

Tabell 3. Medeltorrsvikt för rot och skottsvikt samt rot/skottkvot för varje försöksled för alla plantor och enbart oskadade. Standardavvikelser inom parentes.

Försöksled	Medeltorrsvikt rötter, g samtliga	Medeltorrsvikt rötter, g oskadade	Medeltorrsvikt gröndel, g samtliga	Medeltorrsvikt gröndel, g oskadade	Rot/ toppkvot samtliga	Rot/ toppkvot oskadade
Tall						
F1- Ogödslad	5,72 (2,59)	6,44 (1,93)	23,92 (11,71)	27,51 (9,39)	0,28 (0,08)	0,25 (0,04)
F2- Gödslad	7,66 (2,64)	7,66 (2,64)	30,79 (11,33)	32,99 (10,28)	0,26 (0,08)	0,25 (0,05)
Gran						
F3- Ogödslad	9,92 (3,67)	9,79 (2,59)	27,45 (11,18)	28,94 (9,86)	0,39 (0,10)	0,37 (0,08)
F4- Gödslad	9,70 (4,35)	12,56 (3,33)	25,33 (9,58)	32,78 (9,93)	0,37 (0,06)	0,39 (0,02)

4. Diskussion

I resultaten kunde det observeras en skillnad i medelvärden för tillväxt i både tall och gran, där tallplantorna såg ut att ha dragit mest nytta av behandlingen. Dock har inte några statistiska skillnader i tillväxtparametrarna kunnat fastställas för de olika försöksleden.

Observationer gällande rotvikt och skottvikt indikerar att gödslet gynnade tallplantornas skotttillväxt mest, med en ökning på 20 procent (gödslad gran: 13 procent), medan gödslet gynnat granplantornas rottillväxt mer med en ökning på 28 procent (gödslad tall: 19 procent). Detta indikerar att gödset främjat tallplantornas gröndel mer och hos granplantorna har i stället rottillväxten dragit störst nytta utav behandlingen.

Den ogödslade granen såg i våra resultat ut att ha haft lägre tillväxt än den gödslade. Detta beror på den höga skadefrekvensen (Tabell 1). De flesta skadorna som observerades i detta fall lämnades odefinierade då det ofta inte fanns någon tydlig orsak till skadan. Ofta var det förgående års toppskott som hade dött (Figur 6). Vid en utsällning av de skadade granplantorna, kunde det observeras att de gödslade plantorna hade en marginellt högre medelhöjd. Samma sak observerades gällande rottillväxten. Inte heller denna skillnad var signifikant.

Denna studie är relativt lik ett tidigare försök genomfört av Skogforsk på två-åriga plantor (Hajek 2019). Dock framgår inte om resultaten ifrån den studien är statistiskt säkerställda, vilket gör att vi inte drar samma slutsatser om gödslingens effekt. I studien kunde man se en tydlig skillnad i diameter (2 mm) till fördel för de gödslade plantorna men inte någon avsevärd skillnad i höjd. Studien skiljer sig som mest mot vår undersökning när det kommer till torrvikter på skott och rötter. På en försökslokal i studien uppmättes två gånger högre biomassa på skotten och tre gånger högre torrsbstansvikt på rötterna hos de gödslade plantorna jämfört med kontrollplantorna. Alltså skillnader på flera hundra procent. Jämfört med våra resultat där till exempel försöksleden med tall visade på skillnader i toppskottstorrsvikt på 20 till 30 procent och granförsöksleden 5 till 15 procent. Skogforsk-studien hade precis som vår ett litet sampel som underlag och man undersökte plantor som fått två tillväxtsåsönger i fält. Eventuella skillnader gällande växtplatsernas karaktär är svåra att resonera om eftersom det saknas en tydlig beskrivning i Skogforskrapporten.

Häggström et al. (2021) fann i sin mer omfattande studie att gödsling med arGrow® Granulat hade en positiv effekt på både tillväxt och överlevnad hos de undersökta tallplantorna. Effekterna sågs dock endast när det var markberett och ju bördigare lokalen var desto större effekt hade gödslingen. Lokalen för vårt



Figur 6. Exempel på den vanligast förekommande skadan i granförsöksleden.

försök var både bördig och markberedd men vi såg inte några tendenser till liknande resultat. Lokalerna Häggström et al. (2021) undersökte varierade ifrån T16 – T22 i uppskattad bonitet och vår lokal bedömdes till T29 i ståndort. Kanske är vår undersökta lokal för bördig så att effekten utav gödslet uteblir eftersom plantorna redan har god näringstillgång i marken. Företaget Arevo (2023) skriver på sin hemsida att de största effekterna har observerats på näringsfattiga marker och att tillväxten ibland varit flera hundra procent bättre. Det vore av intresse med en mer heltäckande studie som vidare undersökte sambandet mellan odlingsplatsens attribut och effekten utav gödsling. arGrow® Granulat lämpar sig möjligen bäst på medelgoda marker och effekten på svaga och/eller höga boniteter är så pass liten att det verkar tveksamt om den är värd den extra kostnaden.

Som tidigare nämnt i material och metoder så finns det relativt få rapporter på arGrow® Granulat publicerade. Produkten är visserligen relativt ung på marknaden och möjligen tar det en tid innan anlagda försök har mätts in. Att undersöka rottillväxt så som vi och Hajek (2019) har gjort är också relativt tidskrävande och ska man få ihop ett rimligt antal observationer med god tillförlitlighet krävs en del tid och kapital. Mycket av de försöksresultat som finns att tillgå är publicerade utav Arevo själva och då endast på deras hemsida som i nyhetsformat. För att öka trovärdigheten för produkten skulle en sammanställande rapport över flertalet försök behöva publiceras utav en oberoende skribent.

Vid uppgrävningen av plantorna i fält kan det inte uteslutas att viss andel av rötterna gick förlorade under uppgrävningprocessen på grund av växtplatsens beskaffenhet gällande rötter, stenar och andra hinder runt plantan. Dock grävdes samtliga plantor upp på samma sätt vilket bör ha minskat risken för systematiska fel.

En annan faktor som kan ha påverkat resultatet av plantans rotvikt är var på plantan vi valde att klippa av roten. Enligt rekommendation ifrån handledare klippte vi av plantan vid jordbandet, d.v.s. den punkt där jorden började på plantan. Beroende på hur djupt plantan sattes vid planteringstillfället så fick rotdelarna olika mycket stamved medräknat i rotvikten. Hur väl rötterna rengjordes från torv och andra främmande objekt är också en faktor som kan ha påverkat resultatet. Vår bedömning är dock att detta inte hade någon större effekt på slutresultatet eftersom vi behandlade alla plantor på ett liknande sätt. Rent visuellt kunde inte heller några entydiga tendenser i rottillväxt observeras. Figur 7 visar ett exempel där den gödslade granen (F4) har en större mängd finrötter än den ogödslade (F3). Detta var dock inget som upprepade sig med någon tydlig frekvens på resterande plantor.



Figur 7. Exempel på hur granrötterna såg ut efter tvättning och torkning. I detta specifika fall hade den gödslade granen (F4) betydligt större mängd finrötter än den ogödslade granen (F3). Detta var ingen trend som tydligt upprepade sig på övriga sampel.

Skadefrekvensen var mycket hög bland de gödslade granplantorna, nästan tre gånger så hög som i det ogödslade försöket. På grund av de få upprepningar som gjordes så är det ett för litet sampel för att med säkerhet säga någonting om hur vida skadefrekvensen ökar hos gödslade plantor. Dock kan detta vara ett ämne för framtida studier.

Den begränsade sampelstorleken är förmodligen den parameter som påverkade detta försök mest. På grund av bristande dokumentering och markering fält kunde endast fyra block identifieras vilket resulterade i ett sampel bestående av endast 16 – 20 plantor per försöksled. Målet för denna typ av försök bör vara att nå ett sampel som åtminstone består av mer än 30 individer. Detta kan i framtiden förbättras genom att markera försöket i fält med bra utrustning, samt göra en översiktskarta över försöket i sin helhet.

Under processen med att tvätta rent rötterna från torv upptäcktes det att en betydande mängd arGrow[®] granulät fortfarande fanns invid rötterna. Dessa var fortfarande rent visuellt relativt intakta, men med viss deformation. Vi saknade utrustning för att göra några relevanta analyser av dessa (Bilaga 2). Granulatet ska upplösas långsamt under flera år enligt tillverkaren så det är inte något konstigt, men värt att notera.

4.1 Slutsatser och vidare studier

Sammanfattningsvis kan vi konstatera att det utifrån studien inte går att dra några övergripande slutsatser om gödslingens effekt på barrplantorna.

Gällande gödslets effekt på rottillväxten hos gran och tallplantorna kunde inga definitiva slutsatser dras. Vissa tendenser kunde observeras där granplantorna verkar ha dragit störst nytta av gödslet i underjordsdelarna medan tallplantorna ökade sin tillväxt främst ovanjord. Höjdtillväxten var något högre hos de gödslade plantorna, där den största skillnaden kunde observeras hos tallplantorna. Skillnaden i diametertillväxt var obetydlig. Liknande resultat kunde observeras på rot/skottkvoten, där det inte skiljde någonting på de gödslade och ogödslade

tallplantorna, och endast en marginell ökning av kvoten hos de gödslade granplantorna.

Framtida studier kan undersöka gödslets effekt på olika marktyper i olika geografier i syfte att utreda huruvida effekten avtar med ökande bonitet. Kanske finns flertalet genomförda studier som kan användas i en översiktsstudie i syfte att observera tendenser i var och när gödsling med arGrow[®] Granulat lämpar sig.

Även den ekonomiska aspekten är intressant när gödsling diskuteras. Klarar vår nuvarande skogsbruksmetod att ännu en kostnad adderas i kalkylen? Ger gödslingen i längden stabilare skogar som klarar klimatförändringarna bättre?

Den stora och tydliga skillnaden som vi hade förväntat oss i det här försöket uteblev. Dock så noterade vi tendenser som möjligen kan bekräftas i mer omfattande studier.

Referenser

- Andersson, R., Bergqvist, J. & Näslund, B-Å. (2017). *Skoglig produktionsekologi - ståndortsanpassning i skogsbruket*. Jönköping: Skogsstyrelsen.
- Bodil Häggström, Matej Domevcik, Jonas Öhlund & Annika Nordin (2021), *Survival and growth of Scots pine (Pinus sylvestris) seedlings in north Sweden: effects of planting position and arginine phosphate addition*, Scandinavian Journal of Forest Research, 36:6, 423-433.
- DeLuca, T., Zackrisson, O., Nilsson, MC. et al. (2002). *Quantifying nitrogen-fixation in feather moss carpets of boreal forests*. Nature 419, 917–920.
- Gundersen, P. (1991). *Nitrogen deposition and the forest nitrogen cycle: role of denitrification*. For. Ecol. Manage., 44:15-28.
- Hajek, J. (2019) *Rapport från analys av 2-åriga plantor som gödslades i samband med plantering*. Skogforsk
- Hallsby, G. (2013) *Skogsskötselserien nr 3 Plantering av barrträd.*, Jönköping: Skogsstyrelsen.
- Hannerz, M & Rosenberg, O. (2001) *Näringsutnyttjande och läckage vid praktisk plantodling*. Arbetsrapport. Nr 480. Uppsala Science Park, Skogforsk.
- Inselsbacher E, Näsholm T. (2012). *The below-ground perspective of forest plants: soil provides mainly organic nitrogen for plants and mycorrhizal fungi*. The New phytologist, Vol.195 (2), p.329-334
- Kielland K. (1994). *Amino acid absorption by arctic plants: implications for plant nutrition and nitrogen cycling*. Ecology 75: 2373–2383.
- Lipson D, Näsholm T. (2001). *The unexpected versatility of plants: Organic nitrogen use and availability in terrestrial ecosystems*. Oecologia 128: 305–316.
- Näsholm, T., Ekblad, A., Högberg, M., Nordin, A., Giesler, R. & Högberg, P. (1998). *Boreal forest plants take up organic nitrogen*. Nature (London), vol. 392 (6679), pp. 914–916 London: Nature Publishing.
- Robertson, G. P. Groffman, P. M. (2007). *Nitrogen transformations*. I: Paul, E. A. (red) 2007. Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry. Third edition. Burlington, USA. Elsevier. 341–364.
- Rytter, L. (2007). *Gödsling av täckrotsplantor*. PLANTaktuellt. 2, 7 – 9.

Stenhag, S. (2021). *Åt skogen med statistik*. Skinnskatteberg: Skogsmästarskolan

Sponseller, R.A., Gundale, M.J., Futter, M. et al. (2016). *Nitrogen dynamics in managed boreal forests: Recent advances and future research directions*. *Ambio* 45 (Suppl 2), 175–187.

Virtanen, A.I. & Linkola, H. (1946). *Organic nitrogen compounds as nitrogen nutrition for higher plants*. *Nature* 157, 515.

Wennström, U., Hjelm, K., Lindström A., Stattin, E. (2016) *Skogsskötselserien nr 2, Produktion av frö och plantor*. Jönköping: Skogsstyrelsen.

Bilagor

Bilaga 1. Hypotesprövning oskadda tallplantors rotvikt.

Bilaga 2. Bilder på arGrow[®] granulat som hittades efter 2 tillväxtsäsonger i fält.

Bilaga 3. Exempelbilder på hur rotsystemen såg ut efter tvätt och torkning.

Bilaga 1. Hypotesprövning oskadda tallplantors rotvikt

Hypotes: De gödslade tallplantorna har samma rotvikt som de ogödslade plantorna

Mothypotes: De gödslade tallplantorna har högre rotvikt än de ogödslade plantorna.

μ_o = Medelvikten för de ogödslade plantorna.

μ_G = Medelvikten för de gödslade plantorna.

$H_0: \mu_G = \mu_o$

$H_1: \mu_G > \mu_o$

$\mu_o = 6,24, n_o = 4, \mu_G = 7,66, n_G = 4$

$S_p^2 = 5,34725$

Formel:

$\sigma_1 \approx \sigma_2$ men okända

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{S_p^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

$t = 0,868$

Frihetsgrader: 6

Enkelsidigt test

T %	t
5 %	1,943
1 %	3,143
0,1 %	5,208

Slutsats

H_0 kan ej förkastas på 5 % signifikantsnivå. Detta betyder att skillnaden i rottillväxt ej kan bevisas bero på det tillförda gödslet.

Bilaga 2. Exempel på arGrow[®]granulat från plantornas rotsystem.



Bilaga 3. Exempelbilder på rotsystem efter tvätt och torkning. Slumpmässigt urval.



Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Fulltexten kommer dock i samband med att dokumentet laddas upp arkiveras digitalt.

Om ni är fler än en person som skrivit arbetet så gäller krysset för alla författare, ni behöver alltså vara överens. Läs om SLU:s publiceringsavtal här: <https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>.

JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.