



# Effekter av arginintillförsel vid plantering av *Pinus sylvestris* efter två tillväxtsåsonger

BJÖRN NORDBERG

NILS NORD



Examensarbete i skogshushållning, 15 hp

Serienamn: Examensarbete /SLU, Skogsmästarprogrammet 2024:04

SLU-Skogsmästarskolan

Box 43

739 21 SKINNSKATTEBERG

Tel: 0222-349 50

# Effekter av arginintillförsel vid plantering av *Pinus sylvestris* efter två tillväxtsäsonger

Effects of Arginine addition on *Pinus sylvestris* seedlings after two growing seasons.

Björn Nordberg

Nils Nord

**Handledare:** Elisabeth Wallin, Anders Lindström, 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:** 2024

**Omslagsbild:** Bilden föreställer försökslokalens utbredning. Foto: Arevo

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

**Serietitel:** Examensarbete/SLU, Skogsmästarprogrammet

**Delnummer i serien:** 2024:04

**Nyckelord:** tall, arGrow, biostimulant



Sveriges lantbruksuniversitet  
Skogsvetenskapliga fakulteten  
Skogsmästarskolan

## Sammanfattning

I boreala skogar är kväve det näringsämne som mest begränsar trädens tillväxt. Inom skogsbruket i Sverige har det därför i plantskolor varit vanligt att tillföra kväve i någon form, vanligtvis via gödselgivor av oorganiskt kväve såsom ammoniumnitrat. På senare år har det tillkommit en alternativ produkt, en biostimulant baserad på aminosyran arginin som har vissa fördelar jämfört med konventionella gödselmedel såsom minskad risk för utlakning vid användning i plantskola och i fält.

Syftet med denna studie var att undersöka eventuella tillväxteffekter vid tillförsel av arginin i samband med plantering av *Pinus sylvestris*. Undersökningen gjordes efter två tillväxtsånger. Försökslokalen är belägen strax norr om Falun och består av två block, det ena på fuktig mark, det andra på frisk marktyp. Den argininbaserade biostimulanten som undersökts i studien kallas arGrow<sup>®</sup> Granulat och är avsett att ge effekt under flera tillväxtsånger och således avsett att utsöndras långsamt.

Studiens resultat tyder på att tillförsel av arGrow<sup>®</sup> Granulat har medfört en signifikant bättre utveckling av höjd på behandlade plantor jämfört med obehandlade kontrollplantor. Resultatet avseende plantornas diameter var dock endast signifikant på blocket med fuktig marktyp. Plantorna från blocket på fuktig mark uppvisade generellt en tydligare positiv tillväxteffekt av behandlingen jämfört med plantor på blocket beläget på frisk marktyp. Behandlingen har även medfört att andelen plantor som uppnått en diameter på över 10 mm var ca 4 procentenheter större än för kontrollplantorna, vilket är värdefullt för plantornas överlevnad vid angrepp av snytbagge.

Inga statistiska skillnader avseende mortalitet, vitalitet eller rotsystemens utveckling kunde konstateras. Varken vid en okulär bedömning av plantornas rotsystem eller vid beräkningen av rot/skott-kvoten kunde något mönster urskiljas som tyder på att de behandlade plantornas rotsystem skulle vara mer utvecklade än kontrollplantornas. Plantorna tycks således ha koncentrerat tillväxten till sin gröndel, snarare än att utveckla rotsystemen eftersom rot/skott-kvoten inte skiljde sig signifikant åt mellan behandlade och obehandlade plantor. På försöksblocket anlagt på frisk mark hade behandlingen dock en viss effekt på såväl rotsystem som gröndel.

I framtida studier skulle det kunna vara intressant att klargöra sambandet mellan marktyp och behandlingseffekt vid tillförsel av arginin. Det skulle även vara intressant att undersöka vid vilken bonitet som effekten av arGrow<sup>®</sup> har störst påverkan och således inom vilket bonitetsspann som preparatet lämpar sig bäst.

Nyckelord: tall, arGrow<sup>®</sup>, biostimulant

## Abstract

The availability of nitrogen often limits tree growth in boreal forests. During seedling cultivation in forest nurseries, an inorganic nitrogen source such as ammonium nitrate is usually utilized. New alternatives to this practice have in recent years gained attention such as the amino acid arginine, which has advantages such as less leakage.

The aim of this study was to evaluate possible growth effects of a small addition of arginine during planting of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) after two growing seasons. The field trial is located north of Falun and consists of two different blocks. The arginine-based product evaluated in this study is called arGrow® Granulate and is intended to yield positive long-term effects partly due to its slow-release properties.

The study concluded that the addition of arGrow® resulted in statistically significant increases in height growth, in comparison to non-treated control seedlings. The results regarding diameter were only significant on the block with a more wet soil type. Furthermore, the seedlings in the block with a moister soil type exhibited greater effects of the treatment, compared to the other block. Furthermore, 4 percent points more of the arGrow® treated seedlings reached a diameter larger than 10 mm, compared to the control seedlings. The greater diameter helps the seedlings to survive in case of bark beetle attacks.

No conclusions could be drawn regarding possible differences in the mortality, vitality and development of root systems among the treated seedlings. There were no effects on the root/shoot-ratio and no visible differences in the root systems between the treated and the control seedlings. A subject for further studies could be to investigate the connection between soil type and the arginine treatment effects on seedlings growth. Furthermore, it would be interesting to investigate at which site index the effects of arGrow® are more expressed.

Keywords: Scots pine, arGrow®, bio-stimulant

## Förord

Vi vill börja med att tacka våra handledare Elisabeth Wallin och Anders Lindström för hjälpen under detta arbete. Vidare vill tacka Daniel Gräns och Staffan Stenhag på Skogsmästarskolan, SLU. Vi vill även tacka Eva Stattin på Stora Enso som har bidragit med idén till detta examensarbete och att vi har kunnat utföra detta försök på Stora Enso:s mark. Tack även till Mattias Holmlund på Arevo som tillhandahöll resultatet från första årets mätning och var hjälpsam vid frågor som uppstod.

*Björn Nordberg*

*Nils Nord*

*Skinnskatteberg*

# Innehåll

<b>1. INLEDNING</b> .....	<b>1</b>
1.1 KVÄVE.....	1
1.2 ARGININ .....	2
1.3 ARGROW® .....	2
1.4 SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNINGAR .....	2
<b>2. MATERIAL OCH METODER</b> .....	<b>4</b>
2.1 FÖRSÖKET .....	4
2.2 FÄLTARBETE .....	5
2.3 PLANTANALYSER.....	6
2.4 STATISTISKA BERÄKNINGAR .....	7
<b>3. RESULTAT</b> .....	<b>9</b>
3.1 BERÄKNINGAR.....	9
3.2 STAMBASDIAMETER.....	9
3.3 HÖJD .....	10
3.4 HÖJDTILLVÄXT.....	11
3.5 MORTALITET.....	12
3.6 VITALITET.....	12
3.7 SNYTBAGGESÄKER DIAMETER.....	13
3.8 ROT/SKOTT-KVOT .....	13
3.9 BIOMASSA .....	14
3.10 ROTSYSTEMENS UTFORMNING.....	15
<b>4. DISKUSSION</b> .....	<b>16</b>
4.1 JÄMFÖRELSE MED TIDIGARE STUDIER .....	16
4.2 SVAGHETER MED STUDIEN / FELKÄLLOR .....	17
4.3 SLUTSATSER.....	18
<b>REFERENSLISTA</b> .....	<b>19</b>
<b>BILAGA 1</b> .....	<b>21</b>
UPPSTÄLLNING VID HYPOTESPRÖVNING FÖR TOTAL HÖJD .....	21
<b>BILAGA 2</b> .....	<b>22</b>
UPPSTÄLLNING VID HYPOTESPRÖVNING FÖR DIAMETER .....	22
<b>BILAGA 3</b> .....	<b>23</b>
UPPSTÄLLNING VID HYPOTESPRÖVNING FÖR ROT/SKOTT-KVOT .....	23
<b>BILAGA 4</b> .....	<b>24</b>
UPPSTÄLLNING VID HYPOTESPRÖVNING FÖR TOTAL BIOMASSA .....	24

# 1. Inledning

## 1.1 Kväve

Det är allmänt känt att kväve (N) är en nyckelkomponent för trädens tillväxt, och för boreala skogar är det också den mest begränsande faktorn (Tamm 1991). Även om kväve är ett av de vanligast förekommande grundämnena i luften, ca 78 procent av volymen i atmosfären, kan inte växterna själva utan hjälp från bakterier tillgodogöra sig kvävet (Andersson et al. 2017). Skogsmark kan innehålla flera ton kväve per hektar, men detta kväve är inte en produkt av vittringen från den underliggande berggrunden, utan har sitt ursprung i cyanobakterier som har förmågan att fixera luftens kväve (Andersson et al. 2017). Det finns även andra bakteriesläkten som lever i symbios med växter, framför allt med växtens rötter där bakterierna bildar knölar. Bakterierna får i dessa knölar en skyddad miljö och tillgång till näringsämnen som är ett resultat av växtens fotosyntes, och ger i utbyte organiskt kväve tillbaka i form av aminosyror. Dessa bakterier är dock av ringa betydelse för den här studien av unga nyplanterade tallplantor (*Pinus sylvestris* L.) då de inte lever i symbios med barrträd (Andersson et al. 2017). Processen där bakterier och andra markorganismer bryter ner organiskt material kallas mineralisering och det är genom denna process som ammoniumjoner och nitratjoner blir tillgängliga för växterna via markkvätskan (Andersson et al. 2017).

Den kvävefattiga jorden antas till stor del bero på en låg grad av mineralisering i marken (Marshall et al. 2021). Det naturligt förekommande oorganiska kvävet i skogsmark som är upptagbart för växter existerar i två former: ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) samt nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ). På grund av den för växterna begränsade tillgången på kväve i marken, har gödning av skogsmark varit en förekommande åtgärd inom skogsbruket.

Om marken innehåller för höga doser av oorganiskt kväve i form av ammonium kan det resultera i försurning samt att upptaget av andra näringsämnen begränsas, vilket leder till obalans (Oren et al. 1988). Försurningen beror på att när växter tar upp positivt laddade ammoniumjoner ( $\text{NH}_4^+$ ) avges motsvarande mängd vätejoner ( $\text{H}^+$ ), vilket innebär att marken succesivt försuras (Andersson et al. 2017). Studier har dock visat att barrträdsplantor föredrar ammonium framför nitrat, och att ammonium kraftigt hämmar växters förmåga att ta upp nitrat (Oren et al. 1988). Markens lagringsförmåga av nitrat är begränsad i de flesta jordtyper, vilket sammantaget leder till att kväveläckaget i marken blir förhållandevis stort när man gödslar med oorganiska kvävekällor såsom ammoniumnitrat (Oren et al. 1988).

Samspelet mellan organiska och oorganiska kvävekällor är en komplicerad och ännu inte helt utredd fråga (Gruffman et al. 2014). I boreala skogar domineras markens kväveinnehåll av organiskt kväve, vilket troligtvis innebär att denna kvävetyp utgör en signifikant andel av det kväve som träden kan tillgodogöra sig (Inselbacher and Näsholm 2012). I boreala skogar kan det därför vara missvisande att endast utgå från markens mineraliseringsgrad när man försöker mäta markens kväveinnehåll. Flera studier indikerar i stället att en annan faktor av stor betydelse är takten av depolymerisation. Detta innebär att organiska ämnen med hög molekylvikt förändras till en organisk sammansättning med en låg molekylvikt,

såsom aminosyror (Gruffman et al. 2013; Jones & Kielland 2012). Aminosyrornas snabba omsättning antyder att de kan utgöra en betydande källa av kväve i jorden vid relativt låga koncentrationer (Kielland et al. 2007).

## 1.2 Arginin

Arginin är en basisk aminosyra som finns naturligt i växternas celler och som bland aminosyrorna har den högsta koncentrationen av kväve (Häggström et al. 2021). När barrträd har byggt upp ett internt lager av kväve tenderar upptaget av oorganiskt kväve att minska. Öhlund och Näsholm (2001) har visat att genom att gödsla med organiska aminosyror såsom arginin kan man förmå växterna att bibehålla ett högt kväveupptag, även när trädets interna lager av kväve är tillräcklig för en bra tillväxt. Om tillgången på kväve är god bygger barrträden upp ett eget kvävelager i barren, bestående av arginin (Nordin et al. 2001).

## 1.3 arGrow<sup>®</sup>

Flera företag skapar nu växtnäringspreparat baserade på arginin som alternativ till traditionell gödning av plantor. Preparatet som använts i denna studie är avsett att vara långtidsverkande och används vid plantering av gran- och tallplantor. Preparatet som är framtaget av Arevo AB heter arGrow<sup>®</sup> Granulat och är tillverkat i en process där man binder samman arginin och fosfor, vilket bildar en kristallstruktur med långtidsverkande egenskaper (Arevo u.å.). Kväveläckaget blir mycket lågt då argininets katjoner binder hårt till markpartiklarna vilket förhindrar att ämnet läcker ut till den omgivande miljön (Öhlund och Näsholm 2002). Flera försök där forskare och skogsbolag varit inblandade visar på att man genom att tillsätta arGrow<sup>®</sup> hjälper plantan att bilda ett robust rotsystem redan under den första tillväxtsåongen (Öhlund och Näsholm 2001). Detta innebär att plantan kan ta upp mer vatten och växtnäring vilket ytterligare förbättrar dess tillväxt. Arevo hävdar även att plantornas överlevnadsförmåga förbättras vid tillförsel av arGrow<sup>®</sup>.

## 1.4 Syfte och frågeställningar

Syftet med detta examensarbete var att utvärdera eventuella effekter av behandling med arGrow<sup>®</sup> Granulat avseende tallplantors överlevnad och tillväxt efter två säsonger.

De frågeställningar som studien ska försöka besvara är följande:

1: Kan man påvisa statistiska skillnader i diameter, höjd och rotstorlek mellan tallplantor behandlade med arGrow<sup>®</sup> och obehandlade kontrollplantor efter två tillväxtsåonger?

2: Finns det några skillnader i mortalitet och vitalitet mellan tallplantor behandlade med arGrow<sup>®</sup> och obehandlade kontrollplantor av tall?

3: Har det uppstått några morfologiska skillnader i rotsystemen mellan arGrow<sup>®</sup>-behandlade plantor och obehandlade kontrollplantor?



4: Har en större andel arGrow®- behandlade tallplantor uppnått en snytbaggssäker diameter jämfört med kontrollplantorna?

## 2. Material och metoder

### 2.1 Försöket

Studien bygger vidare på ett försök som Arevo i samarbete med Stora Enso anlagt under våren 2022 vid Middagsboberget, strax norr om Falun i Dalarna (60°43'24"N, 15°39'27"E). Försöket delades in i två block på grund av varierande fuktighetsklass där block 1 har klassificerats som friskt och block 2 som fuktigt. De båda försöksblocken har ståndortsindex T25. Försöket består av 897 tallplantor där hälften av plantorna är behandlade med arGrow® Granulat i samband med plantering, och den andra hälften är obehandlad och ska fungera som kontroll. Försöket planterades våren 2022 med 1,5-åriga täckrotsplantor av typ P85 med proveniensen FP-31 Högseröd och samtliga plantor var Conniflexbehandlade. Conniflexbehandling består i att med ett vattenlösligt lim fästa sandkorn på plantan och behandlingen är tänkt att utgöra ett skydd mot snytbaggeangrepp (Svenska Skogsplantor). Plantorna i försöket kontrollerades efter den första säsongen med avseende på vitalitet och mortalitet av personal från Arevo under hösten 2022. Det gjordes även mätningar och beräkningar av diameter samt höjdutveckling.



**Figur 1.** Visar en bild på försökslokalernas utbredning.

Stora Enso uttryckte därefter önskemål om att få ett examensarbete utfört som skulle fortsätta följa upp försöket efter plantornas andra tillväxtsäsong. Stora Enso

önskade även få svar på frågan om hur många av dessa plantor som efter två tillväxtsåsonger uppnått en s.k. snytbaggssäker diameter på över 10 mm.

När försöket anlades sattes plantorna på tre olika typer av planteringspunkter; omvänd torva, blottlagd mineraljord i fåran och i ”gångjärnet”. Tillgången på kväve för plantan tenderar att vara bäst vid plantering i omvänd torva i och med att humusen successivt förmultnar (Häggström et al. 2021). Denna planteringspunkt innebär dock en risk att plantan dör av torka då det är svårt att säkerställa att den kommer i kontakt med mineraljord under humustäcket.

**Tabell 1.** Data kring försökslokalen, antal plantor exklusive döda.

<i>Försöksblock</i>	<i>Försöksled</i>	<i>Marfuktighetsklass</i>	<i>Antal plantor (n)</i>
2	1	Frisk	198
2	2	Frisk	203
1	3	Fuktig	245
1	4	Fuktig	228

## 2.2 Fältarbete

Vid fältarbetets början visade det sig att det på ca 10 – 15 procent av plantorna var svårt att säkerställa vilken av de tre planteringspunkterna som använts vid planteringen. Eftersom studiens huvudsakliga frågeställning var inriktad på att mäta effekten av arGrow®, snarare än på att bedöma fördelar med varierande planteringspunkter, togs beslutet att ett större sammanslaget sampel var den bästa lösningen på dilemman. Samplet utökades med ca 50 procent, vilket innebar att det sampel som inledningsvis skulle bestå av 600 plantor utökades till 897 st. Det förväntade resultatet av detta beslut var att det skulle resultera i att medelvärdena skulle vara mindre varierande, i enlighet med den så kallade centrala gränsvärdeessatsen inom statistik (Stenhag 2021). Studien baseras på fyra försöksled, behandlade- och kontrollplantor på två block. Utökningen av samplet gjorde även att antalet uppgrävda plantor ökade från 120 till 154.

Innan fältarbetet påbörjades besöktes fältförsöket för att med snitslar markera de plantor som senare skulle grävas upp. Besöket ägde rum 2023-06-23, ca två månader innan det ordinarie fältarbetet påbörjades. Fältarbetet inleddes sedan 2023-08-07 och pågick under fem dagar. Diametern mättes vid stambasen under det nedersta grenvarvet, i medeltal ca 8 cm ovan jord, på samtliga plantor med hjälp av ett skjutmått. Därefter mättes plantornas höjd dvs avståndet från marknivå upp till toppskottets knopp. Höjdmätningarna gjordes med hjälp av en tumstock.

I fält gjordes även en bedömning av vitaliteten för varje enskild planta enligt de fyra vitalitetsklasserna som används av bland annat Jörgen Hajek (Hajek och Svennerstam 2021b). Klassificeringen bygger på en fyrgradig skala, se Tabell 2 nedan.

**Tabell 2.** Vitalitetsklasser vid bedömning av plantornas vitalitet enligt Hajek och Svennerstam (2021b)

<b>Vitalitetsklass</b>	<b>Definition av respektive vitalitetsklass</b>
3	Ingen eller obetydlig nedsättning av vitaliteten, ska ha ett toppskott utan skador.
2	Betydande nedsättning av vitaliteten, nedsättning av skador och/eller skadat toppskott.
1	Svår nedsättning av vitaliteten, stor risk att plantan kommer att dö inom en kort tid.
0	Död eller döende.

Bilderna i Figur 2 visar exempel på plantor som vid inventeringen bedömdes tillhöra de fyra olika vitalitetsklasserna (Tabell 2).



**Figur 2.** Bilder som visar exempel på plantornas olika vitalitetsklasser. Bild 3 visar en fullt vital planta. Bild 2 visar en planta som är ljusare i färgen och tycks lida av näringsbrist, den klassas som att ha ”nedsatt vitalitet”. Bild 1 visar en planta med betesskador vilket klassas som ”döende planta” och bild 0 visar en död planta med vitalitetsklass 0.

Ett moment i fältarbetet bestod i att gräva upp ett antal plantor för vidare analys i laboratorium. Vid urvalet av de plantor som skulle grävas upp togs var femte planta med start vid den första plantan i den första raden. För att säkerställa att likvärdiga och jämförbara jordklumpar grävdes upp användes en mall i plåt med måtten 15 cm × 15 cm × 15 cm.

Plantorna paketerades om i enskilda kompostpåsar samt märktes med klisterlappar där block, försöksled och plantnummer noterades. Fem dagar efter att uppgrävningen påbörjades transporterades plantorna med bil till Skinnskatteberg för vidare undersökningar vid Skogsmästarskolans laboratorium.

## 2.3 Plantanalyser

I laboratoriet frilades rotsystemen genom att med hjälp av vatten tvätta bort torv, sten, jord och dylikt. Rotsystemen tvättades enskilt i plastbackar för att eventuella lösa rötter skulle kunna fångas upp. I samband med friläggningen av rotsystemen lades plantorna upp bredvid varandra för att se hur rotsystemen skilde sig inom och mellan försöksleden. Jämförelsen mellan rotsystemen gjordes genom en okulär bedömning. Med hjälp av en sekator skildes sedan plantornas gröndel från



**Figur 3.** Bilden visar positionen för snittet där plantorna delades.

rottdelen vid markbandet, det vill säga det ställe på stamdelen som visar markytans nivå (Figur 3). Rotsystemet lades i ett öppet papperskuvert varefter kuvertet märktes med försöksled och plantnummer. Ovanjordsdelen av plantorna klipptes i mindre, hanterbara bitar och packades i kompostpåsar med märkning som överensstämde med tillhörande kuvert innehållande rottdelen. Det första försöksledet torkades i en torkugn (105° C) under 24 timmar, varefter ett sampel på fem slumpvis utvalda påsar med gröndelar vägdes. Påsarna återfördes sedan till torkugnen varefter de torkades i ytterligare 12 timmar. Detta moment genomfördes för att undersöka om torrvikten av ovanjordsdelarna skilde sig åt efter 24 respektive 36 timmars torkning. Enligt standardprotokollet ska

plantornas ovanjordsdelar torkas under 24 timmar, men då avses 1 – 1,5-åriga plantor, och i detta försök var plantornas ovanjordsdelar mycket större eftersom de grävts upp efter två säsonger i fält. Inga skillnader i torrsvikt förekom efter torkning i ytterligare 12 timmar, varför de övriga tre försöksleden endast torkades i 24 timmar. Luftfuktigheten under dessa fyra dygn varierade mellan 25 – 29 procent, och temperaturen varierade mellan 20,3 – 21,3° C.

Påsarna med torkade plantdelar ställdes att svalna under ca 12 timmar inne på bänkarna i laboratoriet. Luftfuktighet och temperatur noterades i samband med detta. Samplets storlek omöjliggjorde användandet av exsickatorer i samband med avsvälning vilket annars är en normal rutin. Därefter vägdes samtliga kompostpåsar och kuvert, och torrsviktarna noterades. Resultatet exporterades därefter till kalkylprogrammet Excel för sammanställning.



**Figur 4.** Till vänster visas plåtmallen som användes vid uppgrävning av plantorna, och till höger hur uppgrävda plantor packades i plastlådor för transport ut till närmsta väg.

## 2.4 Statistiska beräkningar

Efter att fältarbetet avslutats fördes all insamlad data in i Microsoft Excel för bearbetning och sammanställning. Sammanställningen gjordes i två olika

Exceldokument, ett för mätresultaten i fält och ett för mätresultaten från laboratoriet. För respektive försöksled beräknades medelvärden av höjd, diameter, rot/skott-kvot, biomassa samt det statistiska underlaget som var nödvändigt för att utföra en hypotesprövning. Vid beräkningen av biomassa har torrvikten av rotsystem och gröndel bestämts. Det statistiska underlaget innefattade standardavvikelser, medelvärden och sampelstorlek för de fyra försöksleden som presenterats i Tabell 1.

När resultatet sammanställts gjordes jämförelser mellan de behandlade försöksleden och obehandlade kontroller, samt mellan respektive försöksblock för att undersöka om eventuella skillnader primärt tycktes bero på en variation mellan dessa block.

Hypotesprövningen bestod av en nollhypotes och mothypotes. Nollhypotesen utgick från att det statistiskt inte kunde fastställas några skillnader mellan de försöksled som behandlats med arGrow® och försöksleden som fungerade som obehandlad kontroll. Mothypotesen var att de plantor som behandlats med arGrow® var högre, grövre och hade ett mer välutvecklat rotsystem.

För att kunna undersöka om det uppstått några morfologiska skillnader mellan de behandlade plantorna och kontrollplantorna genomfördes en okulär bedömning av rotsystemen. Genom att ta ett stickprov bland de uppgrävda plantorna från varje försöksled kunde rotsystemens morfologi efter friläggning okulärt studeras.

Den statistiska formel som användes för prövning av hypoteser var formel 6.2.3, se Bilaga 1, då rekvisiten för att använda denna bestod i att försöksledens sampelstorlek skulle överstiga 30.

## 3. Resultat

### 3.1 Beräkningar

I beräkningarna har det förutsatts att kontrollplantor och behandlade plantor var normalfördelade höjdmässigt vid planteringstillfället. Den höjd som redovisas är sluthöjd efter två tillväxtsåonger. Höjdtillväxten mellan den första och andra tillväxtsåongen har beräknats med hjälp av medelvärden från Arevos mätningar efter den första tillväxtsåongen.

### 3.2 Stambasdiameter

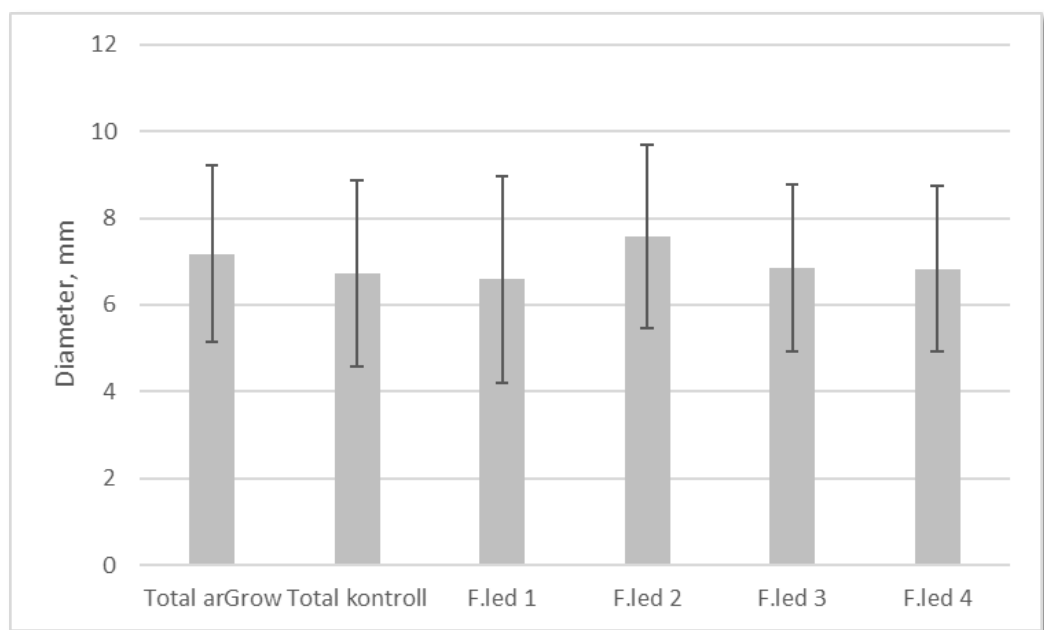
Efter att försöket mättes in för första gången hösten 2022 konstaterades det att effekten av arGrow® var störst på block 2 (fuktig mark), vilket innefattade försöksled 1 och 2 (resultat från inventering utförd av Arevo AB).

I resultaten för hela försöket hade de plantor som behandlats med arGrow® en medeldiameter på 7,2 mm. De obehandlade plantorna i de två blocken hade en medeldiameter på 6,7 mm (Figur 5). Samtliga arGrow®-behandlade plantor hade efter två år i fält i medeltal en diameter som var 6,3 procent högre (ca 0,5 mm) än för de obehandlade plantorna. Vid hypotesprövningen avseende eventuella signifikanta skillnader i diameter mellan de behandlade plantorna och kontrollplantorna noterades signifikanta skillnader sett till hela försöket ( $p < 0,001$ ). Detta innebär att hypotesen bekräftades och att arGrow®-behandlade plantor med 99,9 procents säkerhet efter två år har en grövre diameter än obehandlad kontroll.

På block 1 (frisk mark) hade de behandlade plantorna (f.led 4) en medeldiameter på 6,8 mm, jämfört med kontrollplantornas (f.led 3) medeldiameter på 6,9 mm. På block 2 (fuktig mark) hade de plantor som behandlats med arGrow® (f.led 2) en medeldiameter på 7,6 mm, jämfört med kontrollplantornas (f.led 1) medeldiameter på 6,6 mm. Effekterna av arGrow® avseende diametertillväxten var endast signifikanta på block 2. Skillnaderna avseende stambasdiameter mellan de behandlade plantorna och de obehandlade kontrollplantorna var alltså större på den fuktiga marken (block 2) än på den friska marken (block 1).

**Tabell 3.** Tabellen visar medeldiameter (mm) för plantorna från de olika behandlingarna på försöksblocken. För antal se Tabell 1.

<b>Block</b>	<b>arGrow®</b>	<b>Kontroll</b>
1= friskt	6,8	6,9
2= fuktig	7,6	6,6
Totalt	7,2	6,7



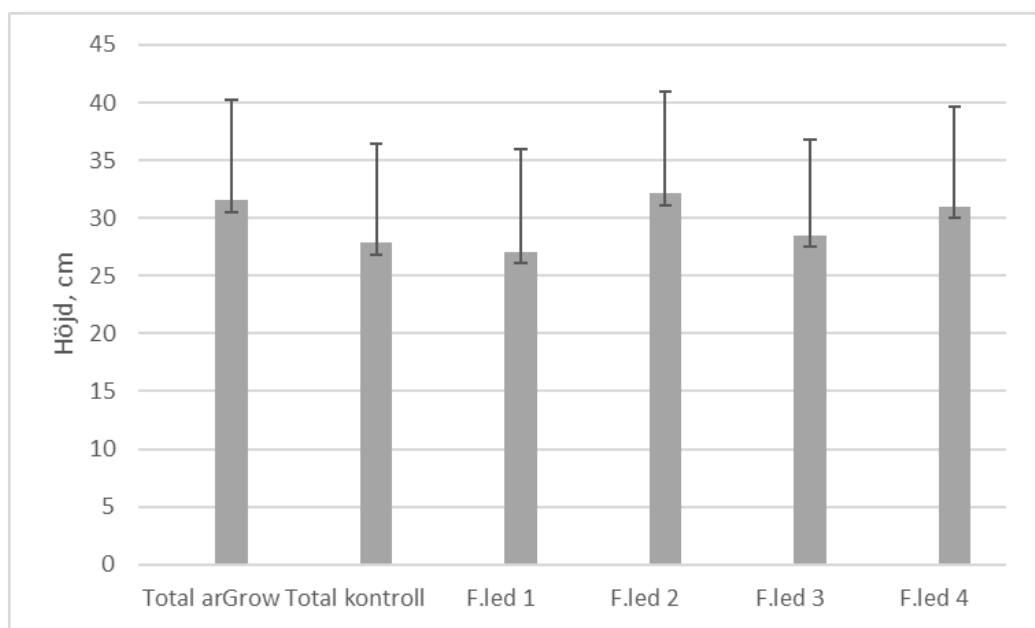
**Figur 5.** Diameter för tallplantor som behandlats med arGrow® och för obehandlade plantor efter ett års tillväxt i fält. För antal se Tabell 1. Staplarna föreställer medelvärden och de vertikala strecken visar standardavvikelsen.

### 3.3 Höjd

De behandlade plantorna (f.led 2 och 4) uppvisade en genomsnittlig total höjd på 31,5 cm, vilket var 11,6 procent högre än medeltalet för de obehandlade plantorna (f.led 1 och 3) som hade en genomsnittlig höjd om 27,9 cm. Behandlingseffekten var något högre på block 2 jämfört med block 1. Differensen i planthöjd mellan behandlade och obehandlade plantor var ca 5 cm för block 2 och ca 2,5 cm för block 1. Vid hypotesprövningen avseende eventuella skillnader i höjd mellan de behandlade plantorna och kontrollplantorna uppnåddes signifikanta skillnader sett till hela försöket ( $p < 0,001$ ). Hypotesen bekräftades därmed och resultatet innebär att arGrow®-behandlade plantor med 99,9 procents säkerhet har en högre total höjd än obehandlad kontroll efter två säsonger i fält.

Total höjd efter två år var störst för de arGrow®-behandlade plantorna (f.led 2) på den fuktiga försökslokalen (block 2) och uppgick till ca 32 cm (Figur 6). Jämfört med de obehandlade kontrollplantorna (f.led 1) på samma block, var denna tillväxt 15,7 procent högre. Även på block 1 kunde man observera en skillnad i höjd, då de behandlade plantorna var ca 8 procent högre än kontrollplantorna.

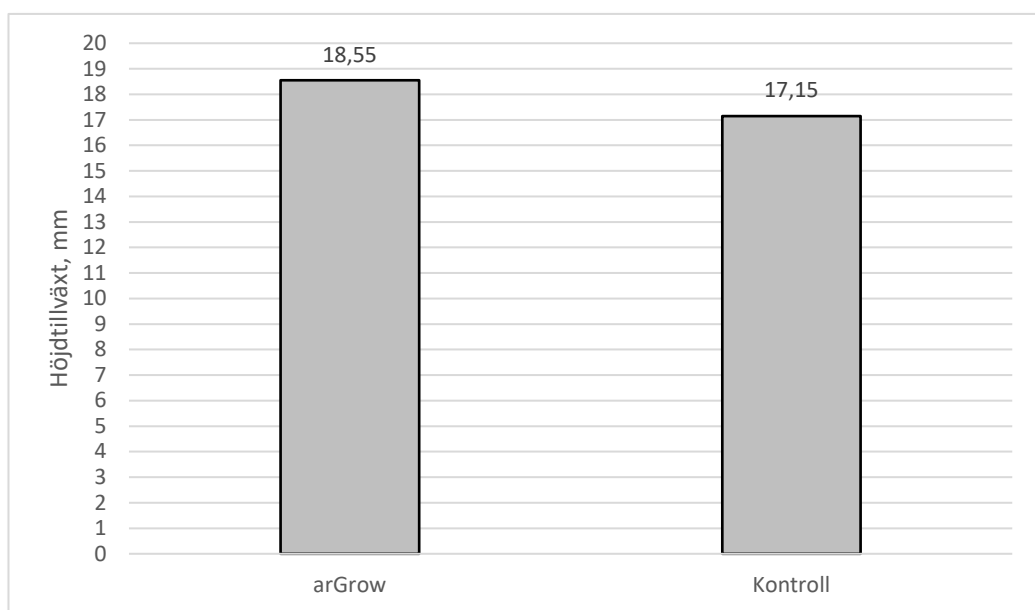




**Figur 6.** Total planthöjd 2023 på de båda försöksblocken för arGrow<sup>®</sup>-behandlade plantor och obehandlade plantor. För antal plantor se Tabell 1. Staplarna föreställer medelvärden och de vertikala strecken visar standardavvikelsen.

### 3.4 Höjdtillväxt

Enligt de mätningar och beräkningar som genomfördes under 2022 av Arevo var medelhöjden efter en tillväxtsäsong för de arGrow<sup>®</sup>-behandlade plantorna 13 cm jämfört med en medelhöjd på 10,7 cm för kontrollplantorna. Den totala höjden efter två tillväxtsäsonger har subtraherats med dessa värden för att beräkna tillväxten mellan år 1 och 2.



**Figur 7.** Höjdtillväxt för arGrow<sup>®</sup>-behandlade plantor och obehandlad kontroll mellan tillväxtsäsong 1 och 2. År 1: n = 287 arGrow<sup>®</sup>. n = 290 kontroll. År 2: n = 431 arGrow<sup>®</sup>. n = 443 kontroll.

Höjdtillväxten mellan tillväxtsäsong 1 och 2 för de plantor som behandlats med arGrow® var i medeltal för hela försöket ca 8,2 procent högre än kontrollplantornas tillväxt. Differensen i höjdtillväxt mellan de plantor som behandlats med arGrow® och obehandlade kontrollplantor var efter Arevos mätningar hösten 2022 ca 17,5 procent. I denna studie noteras en differens på 11,3 procent (Figur 6). Försprånget i höjdtillväxt för de plantor som vid planteringen behandlats med arGrow® har alltså minskat efter första tillväxtsäsongen.

### 3.5 Mortalitet

Mortaliteten efter två år i fält för de fyra försöksleden har sammanställts i Tabell 4. Mortaliteten är genomgående låg och skillnaderna mellan behandlingarna är små och det går inte att påvisa några statistiska skillnader med avseende på överlevnaden mellan plantor som behandlats med arGrow® och kontrollplantorna. Hypotesen att de plantor som behandlats med arGrow® skulle uppvisa en lägre mortalitet gick inte att fastslå.

**Tabell 4.** Andel döda plantor F1, n = 203. F2, n = 211. F3, n = 250. F4, n = 233.

<b>Försöksled</b>	<b>Antal plantor</b>	<b>Avgång (antal)</b>	<b>Avgång (%)</b>
F.led 1, Kontroll, block 2	203	5	2,5
F.led 2, arGrow®, block 2	211	8	3,8
F.led 3, Kontroll, block 1	250	5	2,0
F.led 4, arGrow®, block 1	233	5	2,2
<b>Summa</b>	<b>897</b>	<b>23</b>	<b>2,6</b>

### 3.6 Vitalitet

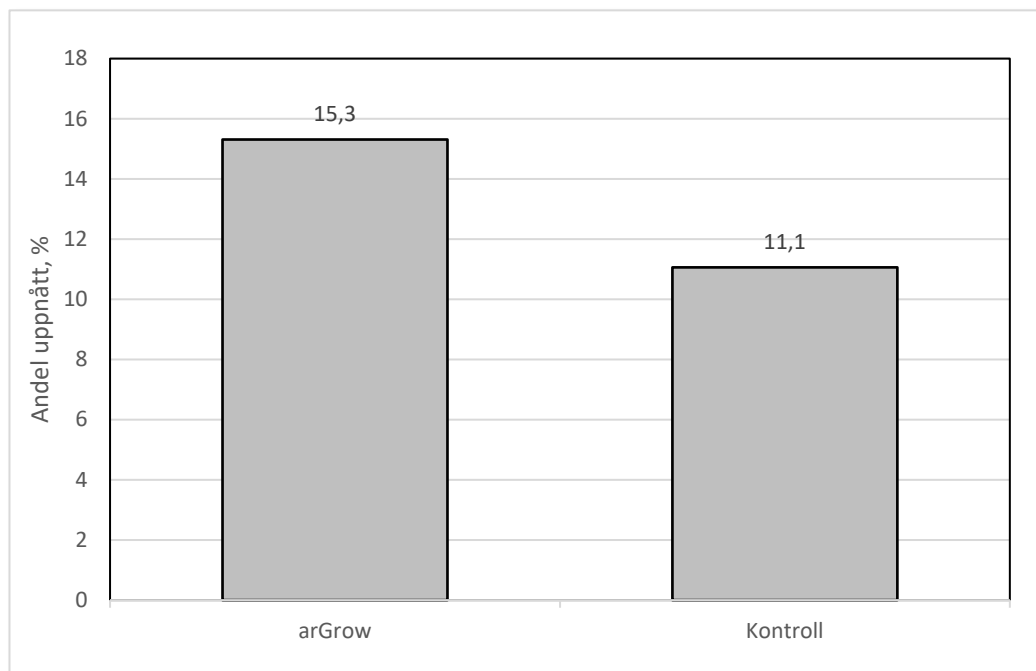
Skadefrekvensen var på en övergripande nivå låg för samtliga försöksled. Plantorna på block 1 tycks ha betats i en marginellt högre utsträckning och hade en generellt sett högre andel plantor med nedsatt vitalitet. De primära orsakerna till en nedsatt vitalitet var torkskador och betade toppskott. Inga statistiska skillnader i vitaliteten mellan behandlade och obehandlade plantor kunde fastställas. Hypotesen att de plantor som behandlats med arGrow® skulle uppvisa en lägre andel plantor med nedsatt vitalitet gick inte att fastslå.

**Tabell 5.** Tabellen visar hur många procent av plantorna från de olika försöksleden som blivit betade eller av okänd anledning nedsatt vitalitet, n = 431 arGrow®, n = 443 kontroll.

<b>Försöksled</b>	<b>Betade</b>	<b>Nedsatt vitalitet, annan anledning</b>
F.led 1, Kontroll, block 2	4,0%	1,5%
F.led 2, arGrow, block 2	4,3%	1,0%
F.led 3, Kontroll, block 1	10,4%	2,0%
F.led 4 arGrow, block 1	6,4%	3,4%

### 3.7 Snytbaggensäker diameter

För de behandlade plantorna observerades efter två år i fält en markant skillnad i diameter sett till hela försöket. Andelen behandlade plantor som uppnått en diameter på minst 10 mm var ca 4,2 procentenheter större än andelen för kontrollplantorna (Figur 8).



**Figur 8.** Andel arGrow<sup>®</sup>-behandlade plantor och kontrollplantor som efter två tillväxtsåsonger uppnått en snytbaggensäker diameter (Thorsén et al. 2001) på minst 10 mm. n = 431 behandlade plantor, n = 443 kontrollplantor

Andelen behandlade plantor med en diameter på minst 10 mm på block 1 uppgick till ca 10,1 procent, jämfört med andelen kontrollplantor som var ca 9,8 procent. På block 2 observerades att ca 21,2 procent av de behandlade plantorna hade uppnått en diameter om minst 10 mm, jämfört med kontrollplantornas andel, ca 12,6 procent. Även här noterades alltså en avsevärd skillnad mellan blocken.

### 3.8 Rot/skott-kvot

Variationen är relativt stor för kvoten rot/skott för de olika försöksleden. Störst variation noterades för plantor tillhörande block 2 där samtliga plantor som behandlats med arGrow<sup>®</sup> hade en rot/skott-kvot på 0,25, jämfört med samtliga kontrollplantor där kvoten var 0,27. Ingen signifikans uppnåddes avseende skillnader i rot/skott-kvot.

**Tabell 6.** Torr vikter för rot- och skott med tillhörande standardavvikelser för torr vikterna samt rott/skott-kvot för arGrow®-behandlade och obehandlade planter i försöket. n = 74 kontrollplanter, n = 80 arGrow® planter.

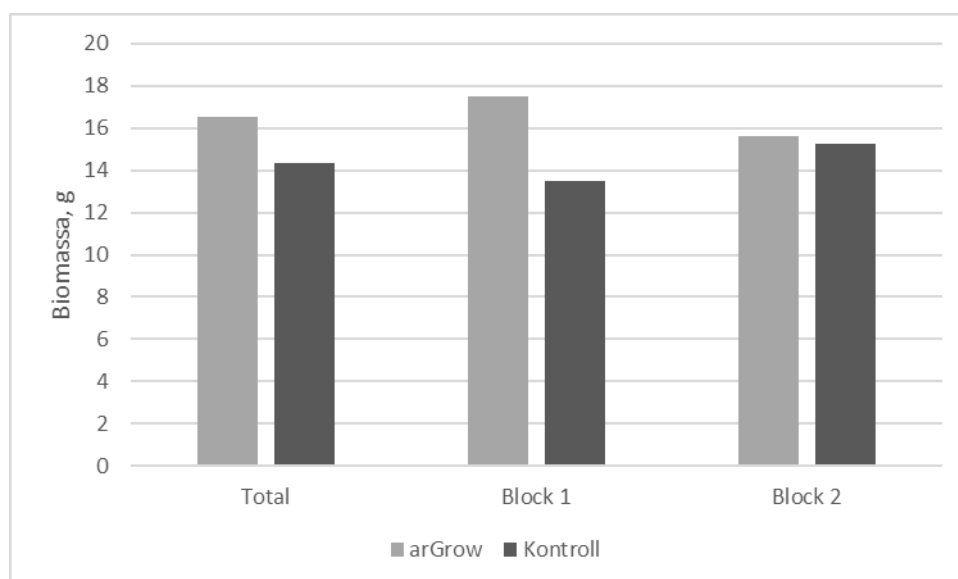
<i>Försöksled</i>	<i>Skott, gram</i>	<i>Rot, gram</i>	<i>Rot/skott-kvot</i>	<i>Standardavv., skott</i>	<i>Standardavv., rot</i>
Total arGrow	13,5	3,1	0,25	6,7786	1,4350
Total Kontroll	11,5	2,8	0,27	7,3479	1,7122
F1- obehandlad	12,3	3,0	0,27	5,9164	1,2855
F2 - behandlad	12,5	3,1	0,28	6,1812	1,2891
F3- obehandlad	10,9	2,7	0,27	8,4501	2,0237
F4 - behandlad	14,5	3,0	0,22	7,2739	1,5836

För kontrollplantorna, försöksled 1 och 3, noterades en identisk rot/skott-kvot (0,27) för båda blocken vilket antyder att de varierande markfuktighetsklasserna inte hade någon inverkan på denna (Tabell 5).

För de behandlade plantorna på block 2 (f.led 2) var rot/skott-kvoten ungefär lika som kontrollplantorna (0,28). Däremot uppvisade behandlade planter på block 1 (f.led 4) ett större skott i förhållande till roten (rot/skott-kvot 0,22) jämfört med obehandlad kontroll (f.led 3, rot/skott-kvot 0,27).

### 3.9 Biomassa

Vid beräkningen av plantornas biomassa noterades en stor skillnad mellan blocken. På block 1 (frisk marktyp) var differensen i biomassa mellan de planter som behandlats med arGrow® och obehandlade kontrollplanter ca 13 procent. Skillnaderna mellan försöksleden på block 2 (fuktig marktyp) uppgick endast till 1 procent.



**Figur 9.** Skillnader i biomassa (torrvikt) mellan arGrow®-behandlade planter och obehandlade kontrollplanter. n = 80 arGrow®, n = 74 kontroll.

För hela försöket kunde inga signifikanta skillnader påvisas avseende att behandlade planter skulle ha en högre biomassa, jämfört med obehandlad

kontroll. Differensen avseende biomassa mellan behandlade plantor och obehandlad kontroll inom block 1 (f.led 3 och 4) gick dock att statistiskt fastställa ( $p < 0,01$ ).

### 3.10 Rotsystemens utformning

Vid en okulär bedömning av eventuella morfologiska skillnader i rotsystemen mellan de plantor som behandlats med arGrow® och kontrollplantorna kunde inga skillnader noteras. Det visade sig att det fanns stora variationer inom respektive försöksled, men dessa bedömdes vara ungefär lika stora mellan försöksleden.



**Figur 10.** Figuren visar exempel på rotsystem från de fyra försöksleden.

## 4. Diskussion

Tillförsel av arginin är ett väldigt aktuellt debattämne inom skogsbruket idag. De traditionella metoderna som innefattat att man gödslat med oorganiskt kväve såsom en blandning av ammonium och nitrat medför en risk för att plantornas sammansättning av näringsämnen rubbas och att den omgivande miljön påverkas. Forskning har visat att gödsel med en hög andel nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) är svårt för plantorna att ta upp, vilket kan förorsaka ett betydande kväveläckage. Ett medel som innehåller mycket ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) leder å sin sida till en begränsad tillväxt och en högre mortalitet (Öhlund & Näsholm 2001). Det är därför angeläget att utreda vilka effekter som uppnås vid tillförsel av alternativa kvävekällor såsom arginin eftersom kväveläckaget blir betydligt lägre, och plantornas förmåga att ta upp andra näringsämnen inte påverkas i lika hög utsträckning.

### 4.1 Jämförelse med tidigare studier

I en omfattande studie som utfördes av Häggström et al. (2021) där man på 11 olika försökslokaler undersökte effekten av arginin på *Pinus sylvestris* konstaterades en positiv effekt på årsskottens längd. Effekterna var större på försökslokaler med längre tillväxtsäsong än de med kortare. Studien visade även på att behandlingseffekten avseende höjdtillväxt tilltog med ett stigande ståndortsindex på mark som inte markberetts. Detta samband verkar dock inte vara lika starkt på markberedd mark där det snarare är växtsäsongens längd som väger tungt. Eftersom de två försökslokalerna som ingått i denna studie är belägna intill varandra är det sannolikt att behandlingseffekten istället beror på något annat än en differens i växtsäsongens längd.

I ett examensarbete som genomfördes på en försökslokal i norra Sverige av Erik Wickberg (2023) studerades plantor som vid planteringstillfället behandlats med arGrow® eller agroblen, och dessa jämfördes med obehandlade kontrollplantor. I studien noterades att tillsats av arGrow® inte hade resulterat i någon positiv inverkan på tallplantornas höjdtillväxt, jämfört med obehandlad kontroll. Dessa resultat återspeglas inte i vår studie, vilket skulle kunna bero på att försökslokalen är belägen längre söderut i landet.

På block 1 (frisk marktyp) tycks de behandlade plantorna ha erhållit en större effekt vid jämförelse med kontrollen vad avser både rotsystemen (+12,8 %) och deras gröndel, mätt i biomassa (+24,9 %). Det kunde dock inte påvisas någon skillnad i diameter mellan de plantor som behandlats med arGrow® och obehandlad kontroll; behandlingseffekten var ovan jord begränsad till höjdtutveckling. Diametern efter två tillväxtsäsonger var för de obehandlade kontrollplantorna (f.led 3) på block 1 (frisk mark) densamma som diametern för de plantor som behandlats med arGrow® (f.led 4), vilket är förbryllande. Försöksled 4 tycks alltså ha koncentrerat tillväxten till utveckling av höjd och rotsystem, snarare än diameter.

I en studie genomförd av Gruffman et al. (2012), där man jämförde effekterna av en oorganisk kvävegiva med en organisk sådan, noterades att organiskt kväve tenderar att ha störst effekt på rotsystemen, vilket resulterade i en högre rot/skottkvot. I denna studie noterades att de behandlade plantornas rotsystem i medeltal

var ca 8,5 procent större jämfört med obehandlad kontroll, vilket indikerar att behandlingen hade en positiv effekt avseende plantornas rotsystem. Skillnaden var dock inte statistiskt signifikant. Effekten var dock mer påtaglig vad avser plantornas skottskjutning, vilket möjligen skulle kunna bero på att rotsystemen var större för de behandlade plantorna. En annan möjlig förklaring skulle kunna vara att arGrow®-behandlingen i detta försök resulterade i att plantorna primärt allokerade resurser till tillväxt av gröndel, snarare än rotsystem. Tillförseln av organiskt kväve har då resulterat i effekter som mer liknar de som uppstår vid tillförsel av oorganiskt kväve; plantorna fokuserar sin tillväxt ovan jord. (Gruffman et al. 2012)

Våra ursprungliga antaganden var dock att biostimulanten arGrow® snarare skulle ha en större inverkan på plantornas rotsystem än på deras gröndel. Det har i forskning tidigare konstaterats att plantor generellt sett koncentrerar tillväxten till ovanjordsdelen när tillgången på kväve är god, och till rotsystemen när tillgången är mer begränsad (Kaakinen et al. 2004, Hermans et al. 2006). När vi på block 2 (fuktig marktyp) jämförde plantornas rotsystem för att utröna om det bildats några morfologiska skillnader mellan behandlade plantor och kontroll fann vi att detta inte var fallet. I enlighet med ovan nämnda studier är det då rimligt att anta att ett extra tillskott av kväve möjliggör en ökad tillväxt på ovanjordsdelen.

Behandlingseffekten avseende total biomassa på block 2 tycks dock ha uteblivit då skillnaden mellan behandlade plantor och obehandlad kontroll endast uppgick till 1 procent (Figur 9). Att kontrollplantorna är lika stora som de behandlade på block 2 skulle kunna bero på att kvävetillgången på lokalen är relativt god.

De behandlade plantorna på block 1 (f.led 4) uppvisade ungefär dubbelt så stor behandlingseffekt på gröndelen (+25,9 %) jämfört med dess rotsystem (+12,8 %), se Tabell 6, vilket alltså inte är i linje med tidigare studier om hur plantor optimerar rötternas morfologi främst vid ett underskott av kväve (Hermans et al. 2006). Det gick inte att för hela försöket statistiskt fastställa att plantor behandlade med arGrow hade mer välutvecklade rotsystem än de obehandlade kontrollplantorna.

På block 2 (fuktig marktyp) kunde ingen behandlingseffekt noteras avseende behandlade plantors torrsvikt (Figur 6). Differensen i höjd mellan behandlade plantor (f.led 2) och obehandlad kontroll (f.led 1) var dock ca 5 cm. Vi antar att den goda effekten på höjdtillväxten skulle kunna bero på att markens sammansättning av näringsämnen är annorlunda, jämfört med block 1 (frisk marktyp). Biostimulanten hade här en tydlig effekt på plantornas medeldiameter (+15 %) jämfört med kontrollen. Att ingen differens i torrsvikt mellan behandlade och obehandlade plantor förelåg skulle kunna bero på att de behandlade plantornas årsskott "dragit iväg" och ännu inte förvedats.

## 4.2 Svagheter med studien / felkällor

Som andra kvantitativa studier bygger denna studie i hög utsträckning på ett objektivet insamlat datamaterial, vilket är positivt då det minskar risken för subjektiva bedömningar. De två huvudsakliga momenten som dock hade

subjektiva inslag var momentet att gräva upp de plantor som skulle undersökas vidare i laboratoriet och momentet att bedöma de morfologiska skillnaderna mellan rotsystemen. Genom att använda en mall och vara noggrann vid uppgrävningen bör dock subjektiviteten ha minimerats. Vid undersökningen av rotsystemen var det större variationer inom försöksleden än mellan dessa. Vi bedömde att en mer noggrann undersökning av huruvida det förelåg några morfologiska skillnader mellan rotsystemen hade varit alltför tidskrävande för en studie på kandidatnivå.

Vi har i beräkningarna utgått från att plantorna i medeltal var lika stora vid planteringstillfället, oavsett om de var kontroll eller behandlade då de härstammar från samma plantparti. Den enda skillnaden är att två av försöksleden har fått en dos arGrow® Granulat vid planteringstillfället.

### 4.3 Slutsatser

Studien uppnådde signifikanta resultat vad avser de två frågeställningarna om arginins effekt på total höjd och diameter. Hypotesen att arGrow® har en positiv effekt på dessa två parametrar kunde fastställas med 99,9 procent säkerhet ( $p < 0,001$ ). Vid beräkning av höjdtillväxten mellan tillväxtsång 1 och 2 konstaterades det att de behandlade plantorna haft ca 8,2 procent högre höjdtillväxt, jämfört med obehandlade kontrollplantor.

Andelen behandlade plantor som uppnått snytbaggssäker diameter var 4,2 procentenheter större jämfört med kontrollplantorna (Figur 8). Innebörden av detta är att arGrow®-behandlade plantor har en större sannolikhet att överleva snytbaggeangrepp efter två tillväxtsångar. Mortaliteteten i de olika försöksleden var övergripande låg (2,5%) och jämnt fördelad. Den primära avgångsorsaken bedömdes vara torka. Eftersom antalet döda plantor var så få i hela försöket kan man inte dra några slutsatser om huruvida behandlingen haft någon inverkan. Vitaliteten var god för majoriteten av plantorna och som nämnts tidigare var betesskador den vanligaste orsaken till nedsatt vitalitet.

Ett ämne för vidare studier skulle kunna vara att ytterligare utreda sambandet mellan bördigheten på en lokal och effekten av arginintillförsel. Det skulle även vara intressant att undersöka i vilket spektrum av boniteter som effekten av arGrow® har bäst verkan. Detta för att möjliggöra en kostnadskalkyl huruvida det lönar sig att tillföra arGrow® i samband med plantering eller inte.



## Referenslista

- Andersson, R. Bergqvist, J. & Näslund, B.Å. (2017). *Skoglig produktionsekologi*. 2000 EX, Skogsstyrelsen.
- Arevo (u.å). Få din skog att växa snabbare. [Produktinformation – Arevo](#) [2023-12-22]
- Gruffman, L., Ishida, T., Nordin, A. & Näsholm, T. (2012). Cultivation of Norway spruce and Scots pine on organic nitrogen improves seedling morphology and field performance. *Forest Ecology and Management*. 276, 118 – 124.  
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.03.030>
- Gruffman, L., Jämtgård, S. & Näsholm, T. (2014). Plant nitrogen status and co-occurrence of organic and inorganic nitrogen sources influence root uptake by Scots pine seedlings. *Tree Physiology*, 34 (2), 205-213.
- Gruffman, L., Palmroth, S. & Näsholm, T. (2013). Organic nitrogen uptake of Scots pine seedlings is independent of current carbohydrate supply. *Tree physiology*, 33 (6), 590–600.  
<https://doi.org/10.1093/treephys/tpt041>
- Hajek, J. & Svennerstam, H. (2021b). Instruktion för inventering av de fasta provytorna i PlantmaX projektet hösten 2021. [Opublicerat material]. Skogforsk.
- Hermans, C., Hammond, J.P., White, P.J. & Verbruggen, N. (2006). How do plants respond to nutrient shortage by biomass allocation? *Trends in plant science*, 11 (12), 610.  
<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2006.10.007>
- Häggström, B., Domevscik, M., Öhlund, J. & Nordin, A. (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.  
<https://doi.org/10.1080/02827581.2021.1957999>
- Inselbacher, E. & Näsholm, T. (2012). The below-ground perspective of forest plants: soil provides mainly organic nitrogen for plants and mycorrhizal fungi. *New Phytol* 195:329–334.
- Jones, D.L. & Kielland, K. (2012). Amino acid, peptide and protein mineralization dynamics in a taiga forest soil. *Soil biology & biochemistry*, 55, 60–69.  
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.06.005>
- Kaakinen, S., Jolkkonen, A., Iivonen, S. & Vapaavuori, E. (2004). Growth, allocation and tissue chemistry of *Picea abies* seedlings affected by nutrient supply during the second growing season. *Tree physiology*, 24 (6), 707–719. <https://doi.org/10.1093/treephys/24.6.707>
- Kielland, K., McFarland, J.W., Ruess, R.W. & Olson, K. (2007). Rapid Cycling of Organic Nitrogen in Taiga Forest Ecosystems. *Ecosystems (New York)*, 10 (3), 360–368. <https://doi.org/10.1007/s10021-007-9037-8>

- Marshall, J.D., Peichl, M., Tarvainen, L., Lim, H., Lundmark, T., Näsholm, T., Öquist, M. & Linder, S. (2021). A carbon-budget approach shows that reduced decomposition causes the nitrogen-induced increase in soil carbon in a boreal forest. *Forest ecology and management*, 502, 119750-. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119750>
- Nordin, A., Uggla, C. & Näsholm, T. (2001). Nitrogen forms in bark, wood and foliage of nitrogen-fertilized *Pinus sylvestris*. *Tree physiology*, 21 (1), 59–64. <https://doi.org/10.1093/treephys/21.1.59>
- Oren, R., Schulze, E.D., Werk, K.S. & Meyer, J. (1988). Performance of two *Picea abies* (L.) Karst. stands at different stages of decline. VII. Nutrient relations and growth. *Oecologia*, 77 (2), 163–173. <https://doi.org/10.1007/BF00379182>
- Stenhag, S. (2021). *Åt skogen med statistik*. Skogsmästarskolan, Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Svenska skogsplantor (u.å). *Conniflex*. [Conniflex - miljövänligt skydd mot snytbagge \(skogsplantor.se\)](https://www.conniflex.se) [2024-01-21]
- Tamm, C.O. (1991). *Nitrogen in terrestrial ecosystems : questions of productivity, vegetational changes, and ecosystem stability*. Berlin ; Springer-Vlg.
- Thorsén, Å., 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.)*. *Influence of stem diameter on the survival and growth of containerized Norway spruce seedlings attacked by pine weevils (Hylobius spp.)* Scand J For Res 16(1):54-66.
- Wickberg, E. (2023). *Effekten av växtnäring på överlevnad, tillväxt och vitalitet på planterade tall- och granplantor : en studie gjord på ett kontrollerat försök på en lokal i Västerbotten*. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet.
- Öhlund, J. & Näsholm, T. (2001). Growth of conifer seedlings on organic and inorganic nitrogen sources. *Tree physiology*, 21 (18), 1319–1326. <https://doi.org/10.1093/treephys/21.18.1319>
- Öhlund, J. & Näsholm, T. (2002). Low nitrogen losses with a new source of nitrogen for cultivation of conifer seedlings. *Environ. Sci. Technol*, 36, 4854–4859.

## Uppställning vid hypotesprövning för total höjd

$\mu_A$  = medelvärden i total höjd för arGrow<sup>®</sup>-behandlade plantor

$\mu_B$  = medelvärden i total höjd för kontrollplantorna

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0 : \mu_A = \mu_B \Leftrightarrow \mu_A - \mu_B = 0 \\ H_1 : \mu_A > \mu_B \Leftrightarrow \mu_A - \mu_B > 0 \end{array} \right. \begin{array}{l} \text{arGrow}^{\text{®}}\text{-behandlade och kontrollplantorna har} \\ \text{samma medelvärde} \\ \text{arGrow}^{\text{®}}\text{-behandlade har högre medelvärde än} \\ \text{kontrollplantorna,} \end{array}$$

Vi antar  $H_0$  är sann.

ArGrow<sup>®</sup>plantor:  $\bar{x} = 31,52$                        $s = 8,7517$      $n = 431$

Kontrollplantor:  $\bar{x} = 27,87$                        $s = 8,5969$      $n = 443$

Formel 6.2.3 väljs ty samplen stora ( $n > 30$ ).

$$Z = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\left(\frac{S_1^2}{n_1}\right) + \left(\frac{S_2^2}{n_2}\right)}}$$

$$Z = \frac{(31,52 - 27,87) - (0 - 0)}{\sqrt{\left(\frac{8,7517^2}{431}\right) + \left(\frac{8,5969^2}{443}\right)}} = 6,2139$$

5 % nivå test, 1,64.  $H_0$  förkastas.

1 % nivå test, 2,33.  $H_0$  förkastas.

0,01 % nivå test, 3,09.  $H_0$  förkastas.

Det beräknade testvärdet (6,2139) klarar här att slå tabellvärdet (3,09) på signifikansnivån 0,01 %. Med 99,9 % säkerhet kan därmed  $H_1$  bevisas. ArGrow<sup>®</sup>-behandlade plantor har i medeltal en större höjd än obehandlade plantor efter två år i fält.

## Uppställning vid hypotesprövning för diameter

$\mu_A$  = medelvärden i diameter för arGrow<sup>®</sup>-behandlade plantor

$\mu_B$  = medelvärden i diameter för kontrollplantorna

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0 : \mu_A = \mu_B \Leftrightarrow \mu_A - \mu_B = 0 \\ H_1 : \mu_A > \mu_B \Leftrightarrow \mu_A - \mu_B > 0 \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{arGrow}^{\text{®}}\text{-behandlade och kontrollplantorna har} \\ \text{samma medelvärde} \\ \text{arGrow}^{\text{®}}\text{-behandlade har högre medelvärde än} \\ \text{kontrollplantorna,} \end{array}$$

Vi antar  $H_0$  är sann.

ArGrow<sup>®</sup>plantor:  $\bar{x} = 7,18$                        $s = 2,0340$      $n = 431$

Kontrollplantor:  $\bar{x} = 6,73$                        $s = 2,1441$      $n = 443$

Formel 6.2.3 väljs ty samplen stora ( $n > 30$ ).

$$Z = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\left(\frac{S_1^2}{n_1}\right) + \left(\frac{S_2^2}{n_2}\right)}}$$

$$Z = \frac{(7,18 - 6,73) - (0 - 0)}{\sqrt{\left(\frac{(2,0340)^2}{431}\right) + \left(\frac{(2,1441)^2}{443}\right)}} = 3,1867$$

5 % nivå test, 1,64.  $H_0$  förkastas.

1 % nivå test, 2,33.  $H_0$  förkastas.

0,01 % nivå test, 3,09.  $H_0$  förkastas.

Det beräknade testvärdet (3,1867) klarar här att slå tabellvärdet (3,09) på signifikansnivån 0,01 %. Med 99,9 % säkerhet kan därmed  $H_1$  bevisas. ArGrow<sup>®</sup>-behandlade plantor har en större medeldiameter än obehandlade plantor efter två år i fält.

## Uppställning vid hypotesprövning för rot/skott-kvot

$\mu_A$  = medelvärden i rot/skott-kvot för arGrow<sup>®</sup>-behandlade plantor

$\mu_B$  = medelvärden i rot/skott-kvot för kontrollplantorna

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0 : \mu_A = \mu_B \Leftrightarrow \mu_A - \mu_B = 0 \\ H_1 : \mu_A > \mu_B \Leftrightarrow \mu_A - \mu_B > 0 \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{arGrow}^{\text{®}}\text{-behandlade och kontrollplantorna har} \\ \text{samma medelvärde} \\ \text{arGrow}^{\text{®}}\text{-behandlade har högre medelvärde än} \\ \text{kontrollplantorna,} \end{array}$$

Vi antar  $H_0$  är sann.

ArGrow<sup>®</sup>plantor:  $\bar{x} = 0,25$                        $s = 0,1024$      $n = 80$

Kontrollplantor:  $\bar{x} = 0,27$                        $s = 0,0985$      $n = 74$

Formel 6.2.3 väljs ty sampelnen stora ( $n > 30$ ).

$$Z = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\left(\frac{S_1^2}{n_1}\right) + \left(\frac{S_2^2}{n_2}\right)}}$$

$$Z = \frac{(0,25 - 0,27) - (0 - 0)}{\sqrt{\left(\frac{0,1024^2}{80}\right) + \left(\frac{0,0985^2}{74}\right)}} = 1,3654$$

5 % nivå test, 1,64.  $H_0$  accepteras.

Det beräknade testvärdet (1,3654) klarar inte att slå tabellvärdet (1,64) på signifikansnivån 0,1 %. Man kan därför inte dra några statistiska slutsatser om rot/skott-kvoten mellan arGrow<sup>®</sup>-behandlade och kontrollplantor efter två år i fält.

## Uppställning vid hypotesprövning för total biomassa

$\mu_A$  = medelvärden i biomassa för arGrow<sup>®</sup>-behandlade plantor

$\mu_B$  = medelvärden i biomassa för kontrollplantorna

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0 : \mu_A = \mu_B \Leftrightarrow \mu_A - \mu_B = 0 \\ H_1 : \mu_A > \mu_B \Leftrightarrow \mu_A - \mu_B > 0 \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{arGrow}^{\text{®}}\text{-behandlade och kontrollplantorna har} \\ \text{ samma medelvärde} \\ \text{arGrow}^{\text{®}}\text{-behandlade har högre medelvärde än} \\ \text{ kontrollplantorna,} \end{array}$$

Vi antar  $H_0$  är sann.

ArGrow<sup>®</sup>plantor:  $\bar{x} = 16,54$                        $s = 7,9578$      $n = 80$

Kontrollplantor:  $\bar{x} = 14,34$                        $s = 8,8413$      $n = 74$

Formel 6.2.3 väljs ty sampelnen stora ( $n > 30$ ).

$$Z = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\left(\frac{S_1^2}{n_1}\right) + \left(\frac{S_2^2}{n_2}\right)}}$$

$$Z = \frac{(16,54 - 14,34) - (0 - 0)}{\sqrt{\left(\frac{7,9578^2}{80}\right) + \left(\frac{8,8413^2}{74}\right)}} = 1,6184$$

5 % nivå test, 1,64.  $H_0$  accepteras.

Det beräknade testvärdet (1,6184) klarar inte att slå tabellvärdet (1,64) på signifikansnivån 0,1 %. Man kan därför inte dra några statistiska slutsatser om den totala biomassan mellan arGrow<sup>®</sup>-behandlade och kontrollplantor efter två år i fält.

Det beräknade testvärdet (1,6184) klarar här inte att slå tabellvärdet (1,64). Man kan därför inte dra några statistiska slutsatser.

## 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.