



Olika oorganiska kvävekällors effekt på blåbärsplantors tillväxt

Different inorganic nitrogen sources effect on blueberry plant growth

Ella Lynander

Självständigt arbete • 15 hp

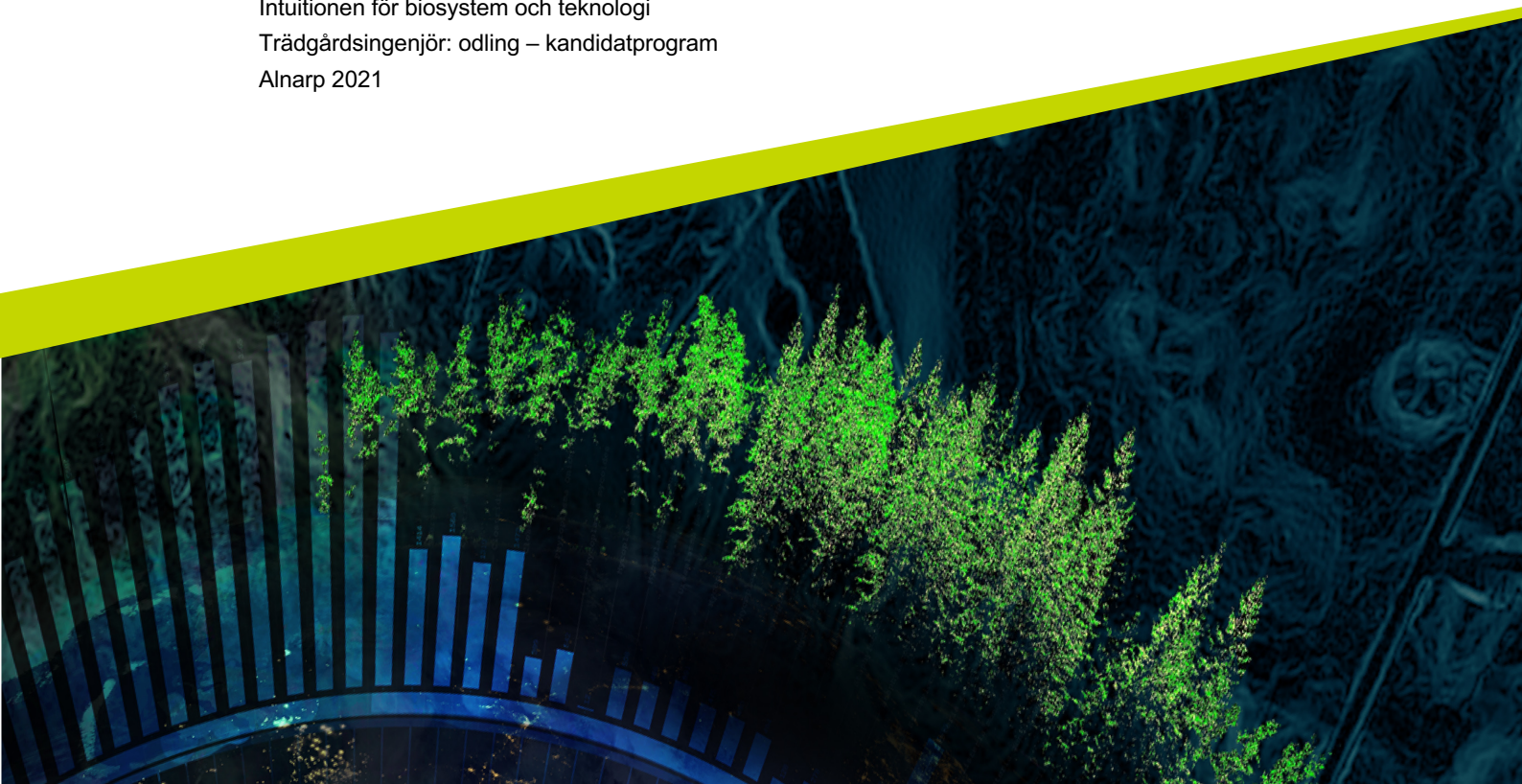
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgård- och växtproduktionsvetenskap

Intuitionen för biosystem och teknologi

Trädgårdsingenjör: odling – kandidatprogram

Alnarp 2021



Olika oorganiska kvävekällors effekt på blåbärsplantors tillväxt

Different inorganic nitrogen sources effect on blueberry plant growth

Ella Lynander

Handledare: Siri Caspersen, Sveriges Lantbruksuniversitet, institutionen för biosystem och teknologi
Examinator: Lotta Nordmark, Sveriges Lantbruksuniversitet, institutionen för biosystem och teknologi

Omfattning: 15 hp
Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E
Kurstitel: Självständigt arbete i trädgårdsvetenskap
Kurskod: EX0844
Program/utbildning: Trädgårdsingenjör: odling - kandidatprogram
Kursansvarig inst.: Institutionen för biosystem och teknologi

Utgivningsort: Alnarp
Utgivningsår: 2021

Nyckelord: Kväve, ammonium, nitrat, saltstress, ledningstal, blåbär, *Vaccinium*, tillväxt

Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för landskapsarkitektur,
trädgård- och växtproduktionsvetenskap
Intuitionen för biosystem och teknologi

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.

Sammanfattning

Blåbärsproduktion har ökat i Sverige under 2010-talet, och av de många olika arter av blåbär som finns är det främst *Vaccinium corymbosum* som odlas. Odlingen kräver näringstillförsel, där kvävet har en viktig roll att spela. Eftersom blåbär är en surjordsväxt är det oftast lämpligare att använda ammoniumbaserade gödselmedel än nitratbaserade eftersom nitrat kan ge en oönskad höjning av pH-värdet. Blåbär är också känsliga för höga salthalter i jorden, och det är viktigt att förstå hur olika gödselmedel påverkar salthalter och näringstillgången och pH i substratet. Målet med detta arbete är att undersöka hur oorganiska kvävekällor påverkar tillväxt, salthalt, eventuella skador av saltstress och pH hos blåbär. Data från ett försök på SLU med blåbäret *Vaccinium corymbosum* användes för att göra olika statistiska beräkningar kring sju olika behandlingars effekt på blåbärsplantors tillväxt. Behandlingarna bestod av fyra olika ammoniumbaserade gödselmedel (ammoniumsulfat, ammoniumcitrat, ammoniumnitrat, ammoniumklorid) med en kvävekoncentration på 50 mM, samt kaliumsulfat och natriumsulfat med en kvävekoncentration på 10 mM. Resultatet visade att högre kvävekoncentration gav en ökad torrsvikt, men lägre procentuell torrsubstans. Bland behandlingarna med hög kvävekoncentration gav ammoniumnitrat högst tillväxt, vilket var signifikant högre än ammoniumsulfat och ammoniumklorid men inte högre än ammoniumcitrat. Med andra ord kan den medföljande jonen till ammonium i vissa fall ha en betydande effekt på tillväxten. Behandlingen med ammoniumklorid orsakade kloridtoxicitet vilket resulterade i allvarliga skador på plantorna, och det kan konstateras att *V. corymbosum* är känslig för klorid även vid låga ledningstal. Vid ledningstal i substratet under 1130 $\mu\text{S}/\text{cm}$ finns det ingen korrelation mellan ledningstalet och tillväxten för blåbär, men det skulle eventuellt kunna finnas ett samband vid högre ledningstal när salthalten orsakar stress.

Nyckelord: kväve, ammonium, nitrat, saltstress, ledningstal, blåbär, *Vaccinium*, tillväxt

Abstract

Blueberry production in Sweden has increased during the 2010's. Of the many species of blueberry, *Vaccinium corymbosum* is the most common one in the Swedish production. The growing of blueberry requires added nutrients, of which nitrogen is a major component. Blueberry is a crop adapted to acidic soils and thus ammonium-based nitrogen fertilizers are used rather than nitrates, as nitrates may negatively increase the soil pH. Blueberry is also sensitive to high salinity in the soil, and it is therefore important to understand how different fertilizers affect salinity, nutrient availability and pH in the soil. This paper aims at researching how inorganic nitrogen sources effect growth, salinity, potential damaging effect of high salinity and pH in blueberry production. Data from an experiment at SLU growing *Vaccinium corymbosum* was used to make statistical analysis of seven

different nutrient treatments effect on blueberry growth. The treatments were four different ammonium sources (ammonium sulphate, ammonium nitrate, ammonium chloride, and ammonium citrate) with a nitrogen concentration of 50 mM, as well as potassium sulphate and sodium sulphate with a nitrogen concentration of 10 mM. The results showed that an increased nitrogen concentration was associated with higher dry weight, but a lower relative dry matter. Amongst the treatments with ammonium, ammonium nitrate gave the highest growth, which was significantly higher than ammonium chloride and ammonium sulphate, but not higher than ammonium citrate. Hence, the associated ion to the ammonium seems to have an effect on blueberry growth in some cases. The plants treated with ammonium chloride showed significant damage due to chloride toxicity, and it is evident that chloride is harmful to *V. corymbosum* even at low electrical conductivity in the soil. At conductivity in the soil below 1130 $\mu\text{S}/\text{cm}$ there was no correlation between conductivity and growth, but it is possible that a higher conductivity would correlate with a decrease in growth at high salinity levels.

Keywords: nitrogen, ammonium, nitrate, salt stress, conductivity, blueberry, *Vaccinium*, growth

Innehållsförteckning

Figur- och tabellförteckning	8
Förkortningar	9
1. Introduktion	11
1.1. Bakgrund.....	11
1.2. Mål och frågeställningar	12
1.3. Forskningsöversikt	13
1.3.1. Kväveformer och tillväxt.....	13
1.3.2. Höga salthalter.....	15
2. Material och metod	19
2.1. Material	19
2.2. Metod	20
2.2.1. Dataanalys.....	20
3. Resultat	22
3.1. Plantornas tillväxt.....	22
3.2. Plantornas procentuella torrsubstans	23
3.3. Substratets ledningstal.....	24
3.4. Korrelation mellan ledningstal och torrsvikt	25
3.5. Substratets pH	26
4. Diskussion	27
4.1. Tolkning av resultaten.....	27
4.1.1. Tillväxt.....	27
4.1.2. Procentuell torrsubstans	29
4.1.3. Ledningstal	30
4.1.4. Korrelation mellan ledningstal och torrsvikt	31
4.1.5. pH	32
4.2. Slutsats	33
Referenser	35
Tack	39

Figur- och tabellförteckning

Figur 1. Intervalldiagram för torrsvikt kontra behandling..	22
Figur 2. Intervalldiagram för torrsubstans i procent kontra behandling..	23
Figur 3. Intervalldiagram för ledningstal ($\mu\text{S}/\text{cm}$) i substratet kontra behandling.	24
Figur 4 Korrelationsdiagram för ledningstal i substratet och torrsvikt..	25
Tabell 1. Behandlingarna, dess kemiska formel samt behandlingskoncentration.	20
Tabell 2. intervallvärden för korrelationskoefficienten (r) för olika korrelationsgrader.	21
Tabell 3. Grupperingsinformation för pH i substratet mellan de olika behandlingarna.	26

Förkortningar

Ca	Kalcium
CaCO ₃	Kalciumkarbonat
Ca(NO ₃) ₂	Kalciumnitrat
Cl	Klorid
Fe	Järn
K	Kalium
K ₂ SO ₄	Kaliumsulfat
Lt	Ledningstal
N	Kväve
Na ₂ SO ₄	Natriumsulfat
NH ₄ ⁺	Ammonium
NH ₄ Cl	Ammoniumklorid
NH ₄ NO ₃	Ammoniumnitrat
NO ₃ ⁻	Nitrat
(NH ₄) ₂ -citrat	Diammoniumcitrat
(NH ₄) ₂ SO ₄	Ammoniumsulfat
Mg	Magnesium
Mn	Mangan
P	Fosfor

1. Introduktion

1.1. Bakgrund

Odlingen av blåbär i Sverige har under 2010-talet ökat kraftigt både till yta och mängd. Jordbruksverket (SCB 2020) rapporterade en blåbärproduktionen på 32 ha, och en skörd på 66 ton i Sverige 2017 – en ökning från 12,3 ha år 2011 (SCB 2012). För 2019 beräknade Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO) att Europas produktion av blåbär var 99 847 ton och världens produktion till 608 902 ton (FAOSTAT 2021). Blåbären har också på senare tid uppmärksamats och undersökts för dess potentiella hälsofördelar och höga halter av antioxidanter (Wang et al. 2017; Bharat et al. 2018).

De bär som i dagligt tal kallas blåbär inkluderar flera olika arter inom släktet *Vaccinium* som tillhör familjen Ericaceae. Det är främst tre olika arter av blåbär som odlas kommersiellt; *Vaccinium corymbosum* som brukar kallas för amerikanska blåbär, *Vaccinium virgatum* och *Vaccinium angustifolium* som på engelska refereras till som highbush blueberry, rabbiteye blueberry och lowbush blueberry (Retamales & Hancock 2018). Det finns även korsningar mellan *V. corymbosum* och *V. angustifolium* som brukar kallas hybridblåbär. Inom arten *V. corymbosum*, alltså amerikanska blåbär som är den mest förekommande arten för odling, finns det ett stort utbud av olika sorter. Den blåbärsart som växer vilt i de svenska skogarna är *Vaccinium myrtillus* L, men det är inte en art som vanligtvis odlas. Det amerikanska blåbäret skiljer sig från det svenska med sitt vanligen vita fruktkött, stora bär och högre växtsätt (LRF trädgård). Med den stora variationen i arter och sorter kan blåbären odlas i en mängd olika klimat, och odlingar finns många ställen i världen (Retamales & Hancock 2018). I Sverige finns det sorter som kan odlas i zon 5 (Nilsson 2011).

Precis som de vilda blåbären är odlade blåbär anpassade till förhållanden med låga pH-värden och växtplatsen behöver därför göras i ordning om inte jorden är sur nog (Nilsson 2011). Substrat som kan användas är flis och spån från barrträd, eller grov torv. För optimal tillväxt rekommenderas ett pH-värde på 4,2-5,5 (Rosen et al. 1990; Retamales & Hancock 2018). Men det finns även rekommendationer som ligger lägre, ända ner till pH 4,0 (Caspersen et al. 2013) Det är välkänt att förekomsten eller gödsling av olika former av kväve kan påverka förändringar i pH-värdet i rhizosfären, alltså rotzonen. Upptag av kväve i ammoniumform leder till en försurning av rhizosfären, medan upptag av kväve i

nitratform kan skapa en alkalisering av rhizosfären (Imler et al. 2019). Blåbär har ett relativt lågt näringsbehov jämfört med andra grödor och ofta anges ammonium som den mest fördelaktiga kväveformen att gödsla med (Retamales & Hancock 2018). Anledningen till att man bör gödsla med ammoniumkväve istället för nitratkväve är att ammoniumet bidrar till att sänka och hålla en låg pH-nivå i substratet. Vid gödning med kväve finns det en risk för tillväxtreduktion vid för höga kvävegivor då blåbär är känsliga för höga halter, speciellt när plantorna är unga (Håkansson et al. 2013).

På Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU) har forskning bedrivits under 2010-talet kring odling av blåbär i det svenska klimatet, ekologisk odling av blåbär, blåbärets näringsbehov och gödning, blåbär i symbios med ericoid mykorrhiza samt andra odlingsfaktorer för blåbär (Caspersen et al. 2013, 2016; Asp et al. 2017). Genom kontakt med forskare vid SLU har data från ett försök kring ammonium- och saltkänslighet hos *V. corymbosum* vid höga kvävegivor gjorts tillgänglig för analys i det här arbetet. Saltstress kan nämligen bli ett problem vid odling av blåbär och leda till tillväxtreduktion och skador på plantorna.

Genom att bättre förstå hur kvävekällan påverkar tillväxten kan kunskapen bidra till att bättre kunna optimera tillväxten, och minska risken för skador vid odling av blåbär genom en mer anpassad gödning.

1.2. Mål och frågeställningar

Målet med det här arbetet är att jämföra vilken effekt olika oorganiska kvävekällor har på blåbärplantors tillväxt och diskutera hur kväveformen samspelar med och påverkar ledningstal och pH. Genom att analysera data från ett försök som utförts på SLU inom institutionen för biosystem och teknologi kommer sju behandlingar med olika källor av ammonium, kaliumsulfat och natriumsulfat och deras inverkan på blåbärplantors tillväxt att undersökas. Behandlingarna tillsattes i relativt höga koncentrationer och därför kommer även saltstress, ledningstal i substratet och ammoniumtoxicitets eventuella inverkan på resultatet i försöket att diskuteras. De frågeställningar som ställs upp för arbetet är följande;

1. Hur påverkar olika oorganiska kvävekällor tillväxten hos blåbär?
2. Vilken roll spelar saltstress, ledningstal och ammoniumtoxicitet på blåbärplantor vid höga koncentrationer av oorganisk kvävegödning med ammoniumsulfat, diammoniumcitrat, ammoniumklorid och ammoniumnitrat, samt höga koncentrationer av kaliumsulfat och natriumsulfat?

En forskningsöversikt gjordes för att undersöka det nuvarande forskningsläget i ämnet. Databaser som användes för att ta fram litteratur var Web of Science, Primo och Google Scholar. Vid sökningen användes bland annat termerna;

nitrogen, ammonium, nitrate, blueberry, Vaccinium, salt stress, ammonium toxicity, growth, conductivity, pH. Litteraturen som används begränsades till de artiklar som var tillgängliga online.

Det finns flera olika arter och sorter av blåbär som odlas i världen och ytterligare fler vilda arter (Retamales & Hancock 2018). I forskningsöversikten har främst de olika odlade blåbärsarterna varit i fokus men i vissa jämförande fall har även andra arter tagits upp.

De kväveformer som berörs i detta arbete är de oorganiska formerna nitrat och ammonium. Effekterna av nitrat och ammonium kommer att diskuteras generellt, men ammonium kommer även att till viss del diskuteras utifrån de källor som inkluderas i försökets behandlingar, (ammoniumsulfat, diammoniumcitrat, ammoniumklorid och ammoniumnitrat). I forskningsöversikten har kväve i oorganiska former undersökts. Även om organiska kvävekällor tagits upp i litteraturen som refereras till i det är arbetet har detta inte inkluderats här för att begränsa omfånget av arbetet. Då saltstress är en del av arbetet kommer detta inkluderas med fokus på saltstress och känslighet för de ämnen som ingår i försökets behandlingar, klorid, natrium, sulfat, ammonium och kalium.

För att begränsa arbetets omfång ligger blåbärsplantors vegetativa tillväxt i fokus, därför kommer skörd och fruktkvalitet, som naturligtvis är av stor vikt vid odling av blåbär, inte att diskuteras i detta arbete.

1.3. Forskningsöversikt

1.3.1. Kväveformer och tillväxt

Kväve är ett essentiellt näringsämne för växter, och utgör byggnadsstenen i olika molekyler som aminosyror, proteiner, klorofyll, nukleotider och coenzymer (Evert & Eichhorn 2013). Atmosfären består till ca 80% av kvävgas, men detta är inte en kväveform som växter kan tillgodogöra sig direkt. Kväve görs tillgängligt för växter genom antingen biologisk fixering med hjälp av jordbakterier som lever i symbios med vissa växtrotter eller fritt levande i jorden (Retamales & Hancock 2018). Blåbär bildar inte kvävefixerande symbioser med bakterier, utan tar istället upp kväve som blivit tillgängligt genom de frilevande bakteriernas kvävefixering eller kväve från nedbrutet organiskt material. Dessutom bildar ofta blåbär en symbios med mykorrhiza som underlättar upptaget av kväve. Ericaceae, som är familjen som blåbär ingår i, bildar en symbios med ericoid mykorrhiza som har förmågan att bryta ner proteiner i organiskt material, för att sedan förse växten med kväve i form av aminosyror (Evert & Eichhorn 2013). I princip alla odlade blåbär får sitt kväve tillfört antingen i form av organiskt material, eller från kemiskt framställt kväve från den så kallade Haber-Bosch-metoden. Kvävecykeln består av tre huvudsakliga stadier, som är ammonifikation, nitrifikation och assimilering (Evert & Eichhorn 2013). Ammonifikation är nedbrytningen av organiskt material till ammonium. Ammonium oxideras av bakterier genom processen nitrifikation som bildar nitrater. Assimilering sker när växterna tar upp

oorganiskt kväve och använder det som byggstenar i nya organiska molekyler, som till exempel proteiner. Blåbär, som är en surjordsväxt, är effektivare på att ta upp ammonium än många andra växter, och har bäst tillväxt vid ett förhållande mellan ammonium och nitrat som är 5:1 (Yuan-Yuan et al. 2021). I substrat med lågt pH är det få aktiva mikrober som kan utföra nitrifikation, och nitrifikationen av ammonium är således mycket långsam, vilket leder till att det ofta är större andel ammonium än nitrat i dessa jordar (Retamales & Hancock 2018).

De två huvudsakliga formerna av kväve som växter tar upp från marken är ammonium (NH_4^+) och nitrat (NO_3^-). Fördelningen mellan de båda formerna kan ha en betydande effekt på tillväxt, fotosyntes och fysiologiska egenskaper hos blåbär (Yuan-Yuan et al. 2021). Yuan-Yuan et al. (2021) undersökte sju olika näringsfördelningars mellan NH_4^+ och NO_3^- , med den totala koncentrationen av kväve på 3 mM, och effekten av näringsfördelningarna på småplantor av hybridblåbäret (*Vaccinium corymbosum* x *Vaccinium angustifolium* 'Northsky'). Tillväxten mättes genom skottlängd, rotläng och antal blad, där fördelningen 5:1 ($\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$) visade ett signifikant högre resultat för alla tre parametrar. Med ökande andel av nitrat minskade samtidigt antal blad, skottlängden och rotlängden, vilket innebär att en högre andel ammonium i förhållande till nitrat främjar tillväxten hos blåbär.

Växtens förmåga att utnyttja och använda kväve beror på formen av kvävet, och vidare växtens förmåga att assimilera, förflytta, lagra och omfördela kvävet (Alt et al. 2017). Blåbär är bättre på att ta upp kväve i form av ammonium än nitrat (Imler et al. 2019), men förmågan att ta upp NO_3^- kan variera mellan olika arter (Poonnachat & Darnell 2004). Hos *Vaccinium corymbosum* togs ammonium upp bättre än nitrat, vilket visades av en högre torrsvikt hos plantorna. Samma förhållande kunde inte påvisas för *Vaccinium arboreum* där plantornas torrsvikt var högre vid NO_3^- behandlade plantor även om skillnaden inte var signifikant. För båda arterna vid båda behandlingarna (ammonium eller nitrat) fanns det ingen signifikant skillnad för rotvikten, varken i torrsvikt eller färsksvikt (Poonnachat & Darnell 2004). Gödsling med endast ammoniumkväve med koncentrationen 6 millimolar (mM) gav en högre nettofotosyntes och högre torrsviktsproduktion hos blåbär (*V. corymbosum*) jämfört med gödsling med endast nitratkväve i samma mängd (Claussen & Lenz 1999). I samma studie gjordes en behandling med 1% kalciumkarbonat (CaCO_3 , kalk) i substratet för att stabilisera pH-värdet till pH 6,8–6,9 vid gödsling med endast ammoniumkväve. Detta gav en lägre torrsvikt än när CaCO_3 inte tillfördes, men torrvikten var ändå högre än vid gödsling med endast nitratkväve. När pH-värdet i de ammoniumbehandlade plantorna stabiliserades till 6,8–6,9, blev tillväxten sämre jämfört med de okalkade ammoniumbehandlade plantorna som hade ett pH-värde runt 3,5–4,2. Plantorna som endast fått nitratkväve hade ännu lägre tillväxt än de kalkade ammoniumbehandlade plantorna. Detta visar också att pH-värdet har en betydelse för tillväxten, men i den här studien visade sig kväveformen ha en större betydelse för blåbärplantornas tillväxt än vad pH-värdet hade (Claussen & Lenz 1999). Rosen et al. (1990) såg däremot ingen signifikant skillnad i tillväxten för *V. corymbosum* behandlade med olika kväveformer ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ och NH_4NO_3), däremot ledde ammoniumbehandlingen till en signifikant högre

koncentration av kväve i bladen. En ökad kvävekoncentration i bladen hos blåbär behöver alltså inte korrelera med en ökad vegetativ tillväxt (Rosen et al. 1990; Merhaut & Darnell 1996). Merhaut & Darnell (1996) visade att tillväxten hos blåbär behandlade med nitrat eller ammonium var högre vid nitratbehandling än ammoniumbehandling, detta trots att kväveupptaget i rötterna var lägre för plantorna behandlade med nitrat. Det är oklart vad som ligger bakom detta resultat, men författarna föreslår att så länge pH är under 6,0 är nitrat en effektiv kvävekälla.

Varken blåbärsplantor av *Vaccinium ashei* eller *Vaccinium corymbosum* visade någon signifikant skillnad i rotupptag och assimilering i rötterna mellan nitrat och ammonium (Alt et al. 2017). Däremot påverkade inte nitrattillgången i rötterna tillgången på NO_3^- i skotten eller förekomsten av NO_3^- i xylemsaften. När skotten fick tillgång till NO_3^- genom applicering av NO_3^- på avklippta stammar reagerade plantorna med en ökning av nitratreduktasaktivitet. Nitratreduktasaktivitet innebär att nitrat assimileras av växten genom att först reduceras till nitrit (NO_2^-) som sedan reduceras vidare till ammonium (NH_4^+). Även aktiviteten hos de gener som kodar för enzymerna som katalyserar dessa processer ökade. Detta indikerar att det finns en begränsad förmåga hos blåbärsplantor att förflytta NO_3^- från rötter till skott, men visar också att blåbärskott har förmågan att reagera på, och assimilera NO_3^- om det görs tillgängligt, i det här fallet genom att helt enkelt ge nitrat direkt till skotten, utan att nitrat behöver förflyttas från rötterna genom växten. Anledning till att ammonium fungerar bättre för blåbärsplantor än nitrat behöver alltså inte bero på att blåbären inte kan ta upp nitrat, utan på att blåbär är ineffektiva på att förflytta nitrat till de växtdelar som behöver kvävet (Alt et al. 2017).

Nettoinflödet av kväve via rötterna består av det totala kväveinflödet och det totala kväveutflödet (Hachiya & Sakakibara 2017). När ammonium och nitrat förekommer tillsammans har nitrat en positiv inverkan på ammoniumupptaget, där både det totala ammoniuminflödet samt minskat ammoniumutflöde bidrar till ett ökat upptag (Kronzucker et al. 1999; Hachiya & Sakakibara 2017). Det motsatta förhållandet har påvisats i ett försök med ris (*Oryza sativa L.*), där ammonium nedreglerar upptaget av nitrat samt minskar både metabolismen och ackumulering av nitrat i cytosolen (Kronzucker et al. 1999). Trots detta var det totala upptaget av kväve större när de båda formerna tillfördes tillsammans än när de tillfördes enskilt. Samma mekanismer skulle kunna förklara varför Yuan-Yuan et al. (2021) såg en förbättrad tillväxt när nitrat fanns tillgängligt samtidigt som ammonium än när endast ammonium tillfördes.

1.3.2. Höga salthalter

Det är viktigt att förstå att för mycket kväve kan vara negativt för växter. Det har visats att blåbärsplantor som gödslats med höga doser kväve har fått negativa effekter på tillväxten (Smolarz & Mercik 1989; Banados et al. 2006; Bryla et al. 2010). Gödsling med ammoniumsulfat i fyra olika doser av 0, 50, 100 och 150 kg/ha visade att doserna 150, 50 och 0 kg/ha gav en lägre tillväxt än vad 100 kg/ha gjorde (Smolarz & Mercik 1989). Med andra ord kan både brist på kväve och överdriven kvävegödsling med ammoniumsulfat hämma tillväxten. Den höga

dosen på 150 kg/ha hade också en negativ effekt på frostresistensen hos plantorna. I likhet visade Bryla et al. (2010) att gödsling med 150 kg/ha kväve i form av ammoniumsulfat orsakade stora skador i form av bladkantsnekros, samt en förlust av 44–50% av plantorna. Ett tredje studie av Banados et al. (2006) med nyetablerade blåbärsplantor visade att 150 kg/ha N från ammoniumsulfat som delades upp på 3 givor under växtsäsongen, gav en minskad torrsvikt både jämfört med 0, 50 och 100 kg/ha. Skillnaden i torrsvikten kunde ses redan i juli, men var som störst i slutet av växtsäsongen i oktober.

Problem vid höga doser av ammonium eller andra ämnen kan bero på flera olika orsaker. Både ammoniumtoxicitet, saltstress och toxicitet från andra ämnen som ackumuleras kan bidra till skador och försämrad tillväxt (Muralitharan et al. 1992; Banados et al. 2006; Machado et al. 2014; Tang et al. 2017).

Ammoniumtoxicitet

Mekanismerna bakom ammoniumtoxicitet är omdiskuterade men en av de viktiga drivkrafterna är ackumuleringen av NH_4^+ i cellerna samt att NH_4^+ kan skapa en obalans i näringsinnehållet i växten där koncentrationen av katjonerna Ca, Mg och K minskar (Esteban et al. 2016). Utöver minskningen av katjoner kan det också ske en ökning av koncentrationerna av anjoner som klorid, sulfat och fosfat (Britto & Kronzucker 2002). Ackumuleringen och transport av ammonium in i cellerna som ger toxiska effekter sker på två olika sätt när NH_4^+ -koncentrationen är hög (Esteban et al. 2016). Det första genom diffusion (passiv transport) genom plasmamembranet som förmodligen sker med hjälp av transportproteinet ”aquaporin” där kvävet transporteras som ammoniak (NH_3) i gasform för att sedan ombildas till ammonium igen när det kommer in i cellen. Det andra alternativet är genom aktiv transport av NH_4^+ som förmodligen sker genom katjontransportproteiner.

Ammoniumtoxicitetssymtom varierar mellan arter men inkluderar bland annat tillväxtreduktion, bladkloros, förändringar i rotstrukturer och förändringar i rot:skottförhållandet (Esteban et al. 2016). Generellt så har arterna inom familjen Ericaceae en hög tolerans för ammonium, men det innebär inte att toxicitet inte kan uppstå vid tillräckligt höga koncentrationer (Britto & Kronzucker 2002). Hos blåbär har bland annat tillväxtreduktion, bladkloros och döda plantor rapporterats vid höga doser av ammoniumgödsling (Banados et al. 2006; Tang et al. 2017).

För *in vitro*-odlade blåbärsplantor av *V. corymbosum* har signifikant minskad tillväxt konstaterats hos plantor behandlade med 0,02 molar (M) NH_4^+ (i form av $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) (Tang et al. 2017). Behandlingen med 0,01 M NH_4^+ gav signifikant högst tillväxt för både höjd, torrsvikt och klorofyllinnehåll. En tredje behandling med 0,02 M NH_4^+ tillsammans med 0,01 M Ca^{2+} kunde till viss del motverka tillväxtreduktionen från ammoniumstressen. Detta förklarades genom att kalciumet påverkade näringsammansättningen i plantan med ökat innehåll av K, Ca, Mg och Mn samtidigt som N, P och Fe minskade. I de ammoniumstressade plantorna var förhållandena motsatta med lågt innehåll av K, Ca, Mg och Mn men högt innehåll av N, P och Fe. Författarna konkluderar att ammoniumstress påverkar både näringskompositionen och anti-oxidantaktivitet som är korrelerat

med kalciums ”signaling pathways” (Tang et al. 2017). Banados et al. (2006) såg allvarliga skador när nyetablerade blåbärsplantor gödslades med både 100 kg/ha och 150 kg/ha ammoniumsulfat, vilket orsakade att 17% respektive 55% av plantorna dog. Ammoniumtoxicitet föreslogs som orsaken till skadorna eftersom de plantor som hade symtom också hade högre halter av NH_4^+ i skotten (Banados et al. 2006).

Saltstress

En aspekt att ta hänsyn till vid odling av blåbär är saltstress. Blåbär har relativt låga näringskrav i förhållande till andra frukter (Retamales & Hancock 2018). Det finns flera artiklar som rapporterar att blåbär är saltkänsliga och lätt får skador vid för höga halter (Caspersen et al. 2016). Saltstress kan uppkomma både genom bevattning med vatten som har för höga ledningstal och genom för höga näringsgivor vid gödsling (Machado et al. 2014; Smith et al. 2016). Mekanismerna bakom saltstress kan delas in i två delar; osmotisk stress och jontoxicitet (Munns & Tester 2008). Munns & Tester (2008) menar att den första delen som uppstår är osmotisk stress vilket sker direkt när koncentrationerna av salter i substratet ökar vilket försämrar vattenupptaget och generellt ger en minskad tillväxt av nya skott. Den andra delen som kan uppstå är jontoxicitet vilket innebär att specifika joner som tex Na^+ och Cl^- ackumuleras i äldre blad och når toxiska koncentrationer. Det tar längre tid för jontoxicitet att uppstå än den osmotiska stressen och jontoxiciteten försämrar tillväxten genom att påskynda åldrandet i de äldre bladen som till slut dör (Munns & Tester 2008).

De funktioner i växten som påverkas mest vid saltstress är fotosyntes och celltillväxt (Chaves et al. 2009). Blåbär som utsätts för saltstress kan uppvisa nekrotiska skador på bladkanterna och vid extrem stress kan plantorna även dö (Bryla et al. 2010). Saltkänsligheten kan däremot varieras mellan olika sorter och arter (Patten et al. 1989; Wright et al. 1993)

En mekanism för att hantera saltstress är osmotisk justering vilket induceras hos växter som en respons på saltstress som gör att växten kan fortsätta ta upp vatten och behålla turgotrycket i cellerna (Chaves et al. 2009). Mekanismer för att hantera jontoxiciteten kan dels vara att kan exkludera upptag av vissa joner, så att jonerna inte ackumuleras i bladen, dels genom olika processer öka toleransen för höga koncentrationer av specifika joner (Munns & Tester 2008). I en studie av Muralitharan et al. (1992) kunde det konstateras att blåbär var dåliga på att exkludera både Na^+ och Cl^- vilket orsakade en snabb ackumulering till toxiska koncentrationer av dessa joner.

Att mäta ledningstalet både i substrat och bevattningsvatten är en bra metod för att få reda på mängden lösta näringsämnen i vattnet eller substratet vilket också kan användas till att avgöra om det finns risk för saltstress i odlingen (Retamales & Hancock 2018). Ledningstal är ett mått på ett substrats eller en vätskas elektriska ledningsförmåga, och den förmågan beror på mängden joner som finns lösta (USDA & NRCS). Ledningstalet mäts oftast som mikrosiemens per centimeter ($\mu\text{S}/\text{cm}$) eller decisiemens per meter (dS/m), där siemens är SI-enheten för konduktans.

Vid bevattning av blåbär kan vattenkvaliteten ha stor betydelse, och det rekommenderade högsta ledningstalet för att behålla en hög vattenkvaliteten är 0,45-1,0 dS/m (Smith et al. 2016). Är salthalten för hög i vattnet finns det risk för att salter ackumuleras i rotzonen och försvårar vattenupptaget (Retamales & Hancock 2018).

V. corymbosum som vattnas med näringslösning med 0,75 eller 1,5 g/L ammoniumsulfat 2-3 gånger i veckan tendera att få nekrotiska blad som faller av, vilket är en indikator på saltstress hos blåbär (Machado et al. 2014). Försöket visade även ett linjärt samband mellan ökade näringsdoser och ökat ledningstal och konstaterar att rot-och skotttillväxten hos blåbär är känsliga för ledningstal över 1,5 dS/m. Aspekter att ta hänsyn till utöver den totala mängden kväve som tillförs är både hur ofta kväve tillförs, om kvävet tillförs som en näringslösning eller granulat samt appliceringsmetoden (Bryla et al. 2010; Machado et al. 2014).

Som tidigare nämnt ackumuleras natrium (Na^+) och klorid (Cl^-) lätt i blåbärsblad och kan få en toxisk effekt eftersom blåbär har en dålig förmåga att exkludera dessa ämnen (Muralitharan et al. 1992). För natriumsulfat (Na_2SO_4) och natriumklorid (NaCl) kan allvarliga skador uppstå hos *V. corymbosum* vid koncentrationer över 50 mM respektive 75 mM när rotade sticklingar odlades hydroniskt i en näringslösning (Muralitharan et al. 1992). Vid 40 mM NaCl uppstod kloros på bladkanterna för äldre blad och en mörkbrun nekros på de mellersta bladen på skotten. Nekrosskadorna resulterade också i uttorkade blad. Vid 150 mM NaCl dog sticklingarna och 100% av bladarean drabbades av nekros. I samband med upptag av Na^+ och Cl^- uppstod samtidigt förlust av kalium (K^+) både i blad, stam och rötter. Orsakerna till skadorna angavs som en kombination av natrium- och kloridtoxicitet och en reduktion av K^+ . Försöket visade också att vid en ekvimolär koncentration Na^+ så uppstod högre förluster av K^+ vid behandling med NaCl än med Na_2SO_4 . Men inledningsvis ökade torrvikten av bladen proportionerligt med ökad salthalt för både NaCl och Na_2SO_4 upp till 20 mM respektive 25 mM (Muralitharan et al. 1992).

Na^+ tillfört som Na_2SO_4 hade en tydlig negativ effekt på blåbärsplantor tillväxt efter 2,5 månader (Wright et al. 1992). De konstaterade att tillväxten var tydligt lägre för både rötter och skott för behandlingen med koncentrationen 100 mM Na^+ än för kontrollbehandlingen med 0 mM. Med 25 mM var det bara en liten reduktion, och ett linjärt samband kunde ses mellan reducerad tillväxt och ökad koncentration Na^+ (Wright et al. 1992).

För tranbär som ingår i samma familj som blåbär är saltkänsligheten hög, och Samson et al. (2017) undersökte specifikt känsligheten för kaliumsulfat (K_2SO_4). Tranbärsplantorna visade vid en ökad mängd K_2SO_4 (125, 2500, 5000, 7500 K_2O kg/ha) ett linjärt samband med ökat ledningstal i substratet samtidigt som den relativa fotosynteshastigheten minskade linjärt med ökad kaliumtillförsel. Även bladarean minskade med ökad kaliumtillförsel. Det konstaterade i försöket att både tillväxten och skörden minskade med ökad salthalt och med ett ledningstal i medel på 3,2 dS/m orsakades en 22 procentig minskning i fotosynteshastigheten och en 56 procentig minskning av skörden (Samson et al. 2017).

2. Material och metod

2.1. Material

Datamaterialet i arbetet kommer från ett försök som utfördes på SLU av Siri Caspersen på institutionen för biosystem och teknologi.

I försöket undersöktes huruvida höga ledningstal, höga halter av natrium och klorid eller höga ammoniumhalter orsakar störst problem vid gödsling av trädgårdsblåbär.

Försöket utfördes genom odling av två år gamla plantor av blåbäret (*Vaccinium corymbosum* cv. 'Bluejay') och sju olika gödselbehandlingar. Plantorna odlades i 1,5 liters krukor, med ett torvbaserat substrat och förvarades i en dagljuskammare. Temperaturen under försöket var 20°C under dagtid och 15°C under nätterna. Behandlingarna tillfördes som en näringslösning med bevattningen under 7 veckor. Behandlingarna bestod av; ammoniumsulfat, kaliumsulfat, natriumsulfat, diammoniumcitrat, ammoniumnitrat, ammoniumklorid, samt en kontrollbehandling. För alla ammoniumbaserade behandlingar var N-koncentrationen i näringslösningen 50 mM. För övriga behandlingar var N-koncentrationen i näringslösningen 10 mM. I behandling ett, tre och fyra som gavs en lägre koncentration N tillfördes kvävet som ammoniumsulfat. Koncentrationen av K i kaliumsulfatbehandlingen var 25 mM och koncentrationen Na i natriumsulfatbehandlingen var 50 mM.

Färskvikten och torrvikten av skotten mättes och därefter beräknades torrsubstansen i procent ut för varje planta (torrvikt/färskvikt * 100). pH och ledningstalet i substratet mättes i samband med skörden av skotten, när försöket avslutades. För att mäta ledningstalet togs först 1 del substrat och 2 delar avjoniserat vatten som skakades i 1 timme innan ledningstalet mättes. För behandlingen med ammoniumklorid kunde färskvikten inte mätas representativt eftersom det skett ett stort bladfall innan mättillfället. Torrvikten för plantorna behandlade med ammoniumklorid kunde däremot mätas genom insamling av de tappade bladen och inkluderades i mätningen av plantorna.

Tabell 1. Behandlingarna, dess kemiska formel samt behandlingskoncentration. * 10 mM N tillfört som ammoniumsulfat.

	Behandling	Kemisk formel	Koncentration (millimolar)
1	Kontroll	-	- *
2	Ammoniumsulfat	(NH ₄) ₂ SO ₄	50 mM N
3	Kaliumsulfat	K ₂ SO ₄	25 mM K *
4	Natriumsulfat	Na ₂ SO ₄	50 mM Na *
5	Diammoniumcitrat	(NH ₄) ₂ -citrat	50 mM N
6	Ammoniumnitrat	NH ₄ NO ₃	50 mM N
7	Ammoniumklorid	NH ₄ Cl	50 mM N

2.2. Metod

2.2.1. Dataanalys

Data från försöket på SLU, som beskrivs i kapitel 2.1, användes för att göra olika statistiska analyser. Beräkningar och figurer gjordes i programmet Minitab.

ANOVA

Envägs ANOVA-analys är en variansanalys som beräknar om medelvärden från olika behandlingar skiljer sig åt. Nollhypotesen som ställs upp är: alla medelvärden är likvärdiga. Mothypotesen som ställs upp är därav: alla medelvärdena är *inte* likvärdiga. Signifikansnivån $\alpha=0,05$ användes. Om sannolikheten (P) $P>0,05$ förkastas nollhypotesen och mothypotesen bekräftas, men om $P<0,05$ kan mothypotesen inte bekräftas. I ANOVA-analysen antas lika varians mellan behandlingarna och en poolad standardavvikelse där alla behandlingars standardavvikelse vägs samman används för att beräkna konfidensintervallerna.

För att ANOVA-analysen ska vara applicerbar och robust bör observationerna vara; normalfördelade kring ett gruppsspecifikt medelvärde, variansen (standardavvikelsen i kvadrat) ska vara lika mellan de olika behandlingarna, samt observationerna ska vara oberoende av varandra. För att kontrollera att all data uppfyller de antaganden som görs vid ANOVA-analysen kontrollerades försökets data i tre steg. I första steget skapades residualplottar, där plottarna ger en översiktsbild för residualernas; normalfördelning, spridning och lika varians, samt oberoende, där man kan avgöra ifall det finns avvikande värden eller skeva förhållanden. I andra steget gjordes ett test för lika varians med "Levene's test" med signifikansnivån $\alpha=0,05$. Ett P-värde större än 0,05 visar att det är rimligt att anta lika varians. Är P-värdet mindre än 0,05 bör lika varians inte antas eftersom

ANOVA-analysen då skulle bli mindre robust. Den tredje och sista kontrollen var att konstatera att även om normalfördelningen skulle vara skev så är antalet observationer i det här arbetet fler än 30 vilket ofta kompenserar för bristande normalfördelning och gör ANOVA-analysen applicerbar ändå (Krithikadatta 2014).

Signifikans

För att kunna beräkna vilket eller vilka medelvärden i ANOVA-analysen som var signifikant skilda från varandra utfördes ett signifikanstest med Tukey-metoden under förutsättning att variansen kunde antas vara lika. Testet resulterar i en gruppering med bokstäver för de olika behandlingarnas medelvärde. De medelvärden som delar en bokstav är inte signifikant skilda från varandra. Signifikansnivån $\alpha=0,05$ användes.

Korrelation

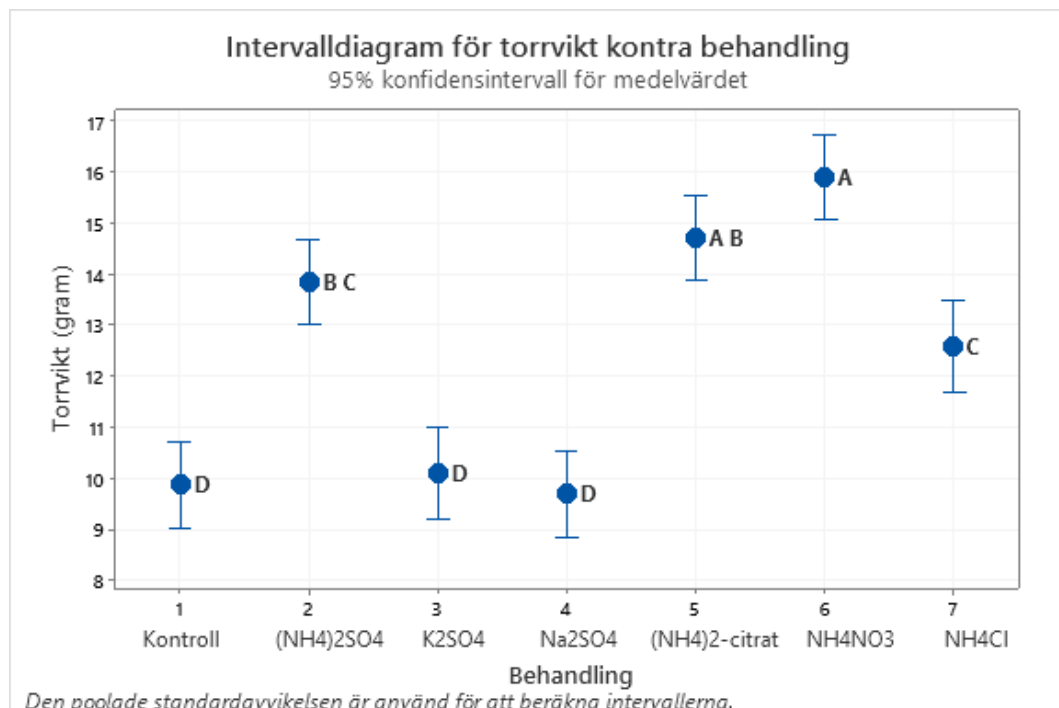
Korrelationstester utfördes med "pairwise Pearson correlation". Om $P>0,05$ är korrelationen inte signifikant. Testet tolkas genom korrelationskoefficienten r som anger graden av korrelation. Inom de intervallvärden som presenteras i tabell 2 anses korrelationen vara antingen perfekt, hög, medel, låg eller ingen (Kent State University Libraries 2021).

Tabell 2. intervallvärden för korrelationskoefficienten r för olika korrelationsgrader (Kent State University Libraries 2021).

Korrelationsgrad	Intervallvärden
Perfekt	± 1
Hög	$\pm 0,5 < r $
Medel	$\pm 0,3 < r < \pm 0,5$
Låg	$\pm 0,1 < r < \pm 0,3$
Ingen	0

3. Resultat

3.1. Plantornas tillväxt

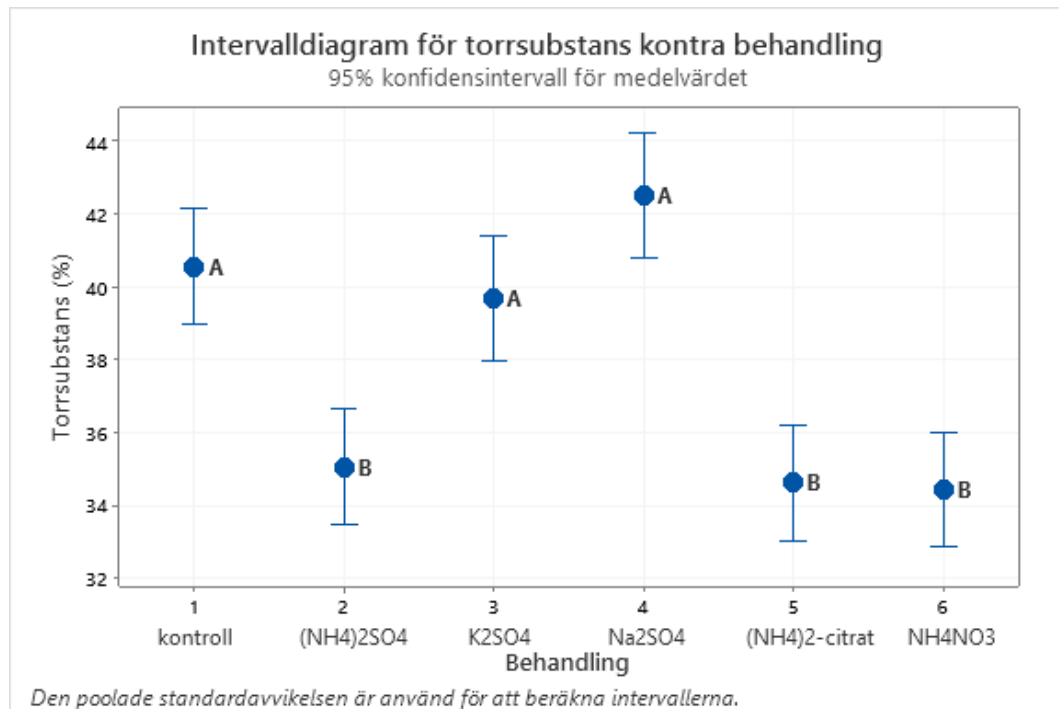


Figur 1. Intervalldiagram för torrsvikt kontra behandling. Grupperingsinformation baserat på Tukey-metoden och 95% konfidens ($\alpha=0,05$). Medelvärden som inte delar en bokstav är signifikant skilda.

Tillväxten hos blåbärsplantorna mättes genom att både mäta färskvikten och torrsvikten av skotten. Medelvärdena för torrsvikten i gram hos plantorna efter respektive behandling presenteras i figur 1, där stolparna visar den poolade standardavvikelsen som användes i ANOVA-analysen. För både färskvikten ($P<0,0001$) och torrsvikten ($P<0,0001$) kunde nollhypotesen att alla medelvärden är lika förkastas, eftersom det var en stor skillnad i torrsvikten mellan de olika behandlingarna. Resultatet för torrsvikten visade att behandlingarna som fick en lägre koncentration av kväve (10 mM) hade en sämre tillväxt, med andra ord gav behandlingarna med K_2SO_4 , Na_2SO_4 och kontrollbehandlingen signifikant lägre torrsvikt än övriga behandlingar. NH_4NO_3 gav den högsta torrsvikten och var

signifikant högre än behandlingen med $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ och NH_4Cl , men inte signifikant högre än $(\text{NH}_4)_2$ -citratbehandlingen. Även om NH_4Cl resulterade i en högre torrsvikt än behandling, 1, 3 och 4 var plantorna i dåligt skick och drabbades av bladavfall.

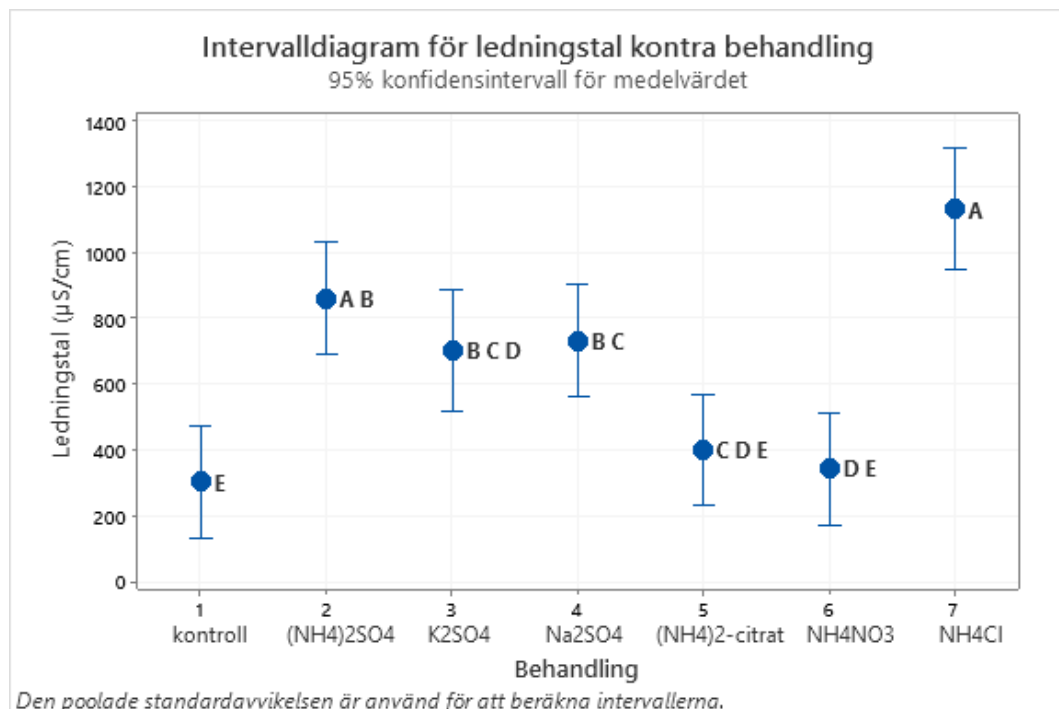
3.2. Plantornas procentuella torrsubstans



Figur 2. Intervalldiagram för torrsubstans i procent kontra behandling. Mätningar för behandling 7 (NH_4Cl) kunde inte utföras. Grupperingsinformation baserat på Tukey-metoden och 95% konfidens ($\alpha=0,05$). Medelvärden som inte delar en bokstav är signifikant skilda.

I figur 2 ovan visas behandlingarnas medelvärde för torrsubstans i procent (torrsvikt/färsksvikt * 100). Stolparna representerar den poolade standardavvikelsen som användes för ANOVA-analysen. Med P-värdet ($P < 0,0001$) accepterades mothypotesens om att alla medelvärdena inte är lika. Bokstäverna visar att blåbärsplantorna behandlade med K_2SO_4 , Na_2SO_4 och kontrollbehandlingen, hade signifikant högre procentuell torrsubstans än vad behandlingarna med $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $(\text{NH}_4)_2$ -citrat och NH_4NO_3 hade. Behandling 7 med NH_4Cl är inte inkluderad i beräkningen då färskvikten inte kunde mätas och därav kunde inte torrsubstansen räknas ut. Trots procentuellt högre torrsubstans för K_2SO_4 , Na_2SO_4 och kontrollbehandlingen hade alla tre behandlingarna både en signifikant lägre torrsvikt och signifikant lägre färsksvikt. Det procentuella vatteninnehållet var signifikant lägre för K_2SO_4 , Na_2SO_4 och konrollbehandlingen än $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $(\text{NH}_4)_2$ -citrat och NH_4NO_3 .

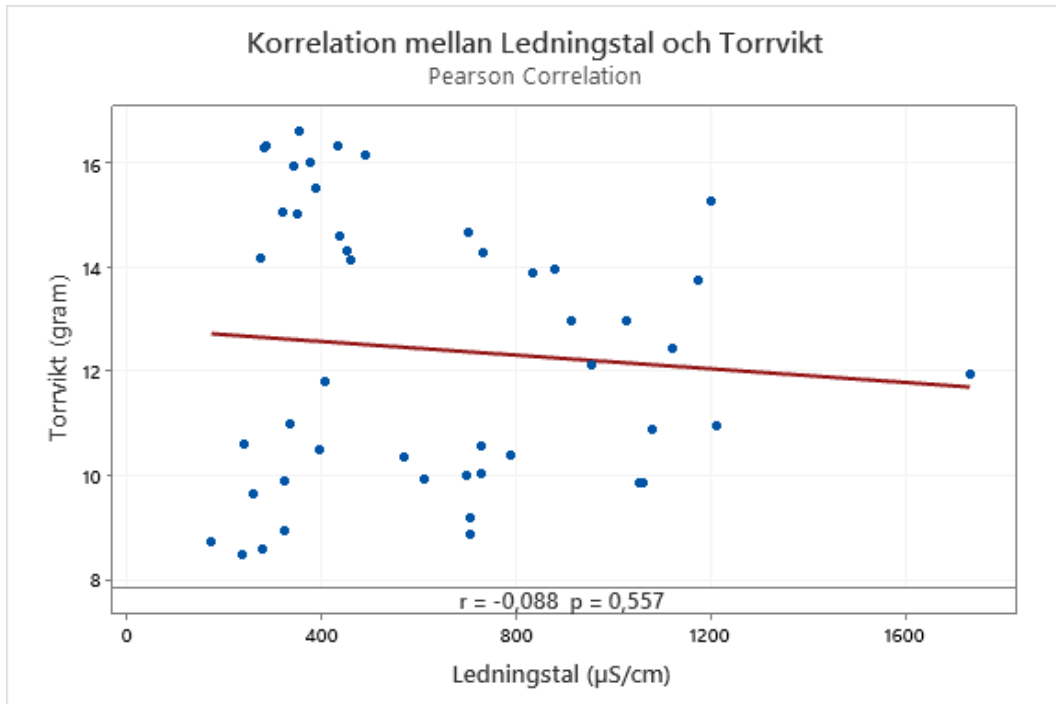
3.3. Substratets ledningstal



Figur 3. Intervalldiagram för ledningstal ($\mu\text{S}/\text{cm}$) i substratet kontra behandling. Grupperingsinformation baserat på Tukey-metoden och 95% konfidens ($\alpha=0,05$). Medelvärden som inte delar en bokstav är signifikant skilda.

Residualernas varians för ledningstalen såg relativt stor ut mellan behandlingarna när residualplottar skapades, men med Levene's test ($P=0,145$) kunde lika varians ändå antas för ANOVA-analysen. Ledningstalens medelvärde för de olika behandlingarna skilde sig signifikant åt ($P<0,0001$). I figur 3 ovan visas de olika behandlingarnas medelvärde och signifikansbokstäver, där de behandlingar som delar en bokstav inte är signifikant skilda åt. Stolparna i figurerna är den poolade standardavvikelsen som användes för att beräkna konfidensintervaller, och visar inte den faktiska standardavvikelsen inom de enskilda behandlingarna. NH_4Cl hade högst ledningstal och var signifikant högre än alla behandlingar förutom $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Kontrollbehandlingen var den behandling som gav lägst ledningstal men detta skiljer sig inte signifikant åt från behandlingarna med $(\text{NH}_4)_2\text{-citrat}$ eller NH_4NO_3 .

3.4. Korrelation mellan ledningstal och torrsvikt



Figur 4 Korrelationsdiagram för ledningstal i substratet och torrsvikt. Ingen signifikant korrelation fanns ($P=0,557$).

Ledningstalet i sig visade ingen signifikant korrelation med varken färsksvikt, torrsvikt eller %torrsubstans. I figur 4 ovan visas korrelationen mellan torrsvikt och ledningstalet i substratet och visar tydlig att det inte fanns något samband mellan torrsvikten och ledningstalet i det här försöket ($r=0,088$).

3.5. Substratets pH

pH i substratet mättes vid försökets slut för alla plantor. Med en ANOVA-analys och signifikanstest kunde det konstateras att behandling 3 och 4 hade signifikant högre pH än behandling 2 och 7 (tabell 3). Medelvärdena mellan behandlingarna varierade mellan 3,86 och 4,36 pH.

Tabell 3. Grupperingsinformation baserat på Tukey-metoden för pH i substratet mellan de olika behandlingarna. Behandlingar som delar samma bokstav är inte signifikant skilda. 95% konfidens ($\alpha=0,05$).

Behandling	Medelvärde (pH)	Gruppering
4: Na ₂ SO ₄	4,36	A
3: K ₂ SO ₄	4,34	A
6: NH ₄ NO ₃	4,16	A B
1: Kontroll	4,12	A B
5: (NH ₄) ₂ -citrat	4,09	A B
2: (NH ₄) ₂ SO ₄	3,92	B
7: NH ₄ Cl	3,86	B

4. Diskussion

4.1. Tolkning av resultaten

4.1.1. Tillväxt

Resultaten visade att blåbärsplantorna som gavs en högre koncentration kväve på 50 mM (behandling 2, 5, 6, och 7) hade en högre torrsvikt och färsksvikt än kontrollbehandlingen, natriumsulfatbehandlingen och kaliumsulfatbehandlingen som alla gavs 10 mM kväve, vilket indikerar en bättre tillväxt. Det är välkänt att kväve har en stor påverkan på tillväxten (Evert & Eichhorn 2013) och att tillväxtreduktion kan orsakas både av kvävebrist och kvävetoxicitet hos blåbär (Smolarz & Mercik 1989). Av de fyra behandlingar (2, 5, 6, och 7) som gav höga kvävekoncentrationer (50 mM) var det bara behandling sju med ammoniumklorid (NH_4Cl) som ledde till synliga skador eller symptom efter försökets sju veckor. Plantorna från de övriga tre behandlingarna med högre N-koncentration klarade sig fint, vilket därmed tyder på att plantorna behandlade med ammoniumklorid drabbades av kloridtoxicitet, inte ammoniumtoxicitet. Kontrollbehandlingen samt behandlingarna med natriumsulfat och kaliumsulfat (10 mM N) visade visserligen en sämre tillväxt än de plantor behandlade med en högre N-koncentration, men i övrigt var plantorna friska, vilket tyder på att de inte fått en så låg kvävegiva att de drabbats av allvarlig kvävebrist. Men den reducerade tillväxten skulle kunna vara ett tecken på för låga kvävehalter och även om inga symptom uppkom på grund av kvävebrist, skulle den reducerade tillväxten eventuellt ändå kunna tillskrivas kvävebrist. Resultat i denna studie tycks därmed demonstrera att en högre kvävegiva med koncentrationen 50 mM ger en bättre tillväxt än en låg kvävegiva med en koncentration på 10 mM.

Vid jämförelse av torrsvikten för de fyra olika behandlingarna med hög kvävekoncentration fanns det signifikanta skillnader, där behandling med ammoniumnitrat gav högst tillväxt vilket var signifikant högre än både behandling med ammoniumsulfat och ammoniumklorid, men inte signifikant högre än behandling med diammoniumcitrat (figur 1). Resultatet för det här försöket indikerar att ammoniumets medföljande jon vid kvävegödsling, det vill säga sulfat, nitrat, citrat eller klorid har en betydande effekt på tillväxten.

Caspersen et al. (2013) drar slutsatsen att ammonium som enskild kvävekälla eller ammonium i kombination med nitrat är en bättre kvävekälla för blåbär än vad

nitrat som enskild kvävekälla är. Anledningen till detta menar Caspersen et al. (2013) kan förklaras med flera olika mekanismer; långsammare upptag och assimilering av nitrat än ammonium, nitrats förmåga att höja pH som kan leda till järnbrist samt nitrats medföljande katjon kan i höga koncentrationer eventuellt hämma tillväxten. Alt et al. (2017) menar även att blåbär har en begränsad förmåga att förflytta nitrat från rötterna till skotten, vilket kan vara ytterligare en bidragande faktor till blåbärs preferens av ammonium. Britto & Kronzucker (2013) diskuterar komplexiteten bakom vad som tycks vara växters preferens för olika kvävekällor (ammonium och nitrat), och menar att det finns många fysiologiska faktorer och miljöfaktorer som man behöver ta hänsyn till för att förstå och kunna förutspå hur växter reagerar på olika kvävekällor i olika sammanhang. Blåbär är en av de arter som ofta anses ha en ganska tydlig preferens för ammonium (Claussen & Lenz 1999; Britto & Kronzucker 2002) men det har också visat sig att det ibland är en kombination av ammonium och nitrat som fungerar bäst (Caspersen et al. 2013; Yuan-Yuan et al. 2021) och i vissa fall ger ammonium och nitrat när de tillförs enskilt likvärdig skott- och rottillväxt (Rosen et al. 1990). Det finns även exempel på när nitrat har resulterat i signifikant bättre tillväxt i jämförelse med ammonium (Merhaut & Darnell 1996). I det här försöket på SLU var ammoniumnitrat och diammoniumcitrat de två kvävekällor som fungerade bäst, medan samma koncentration kväve från ammoniumsulfat fungerade sämre. Med så varierande resultat från olika studier är det kanske rimligt att anta en komplexitet bakom kvävepreferens precis som Britto & Kronzucker (2013) argumenterar för.

Plantor behandlade med ammoniumklorid uppmätte en relativt hög torrsvikt trots mycket skador på plantorna. Detta berodde på att plantorna initialt hade en hög tillväxt jämfört med kontrollplantorna, men vid försökets slut hade det skett ett stort bladavfall sannolikt på grund av kloridtoxicitet. De fallna bladen inkluderades i mätningen av torrsvikten för att beräkna den totala biomassaproduktionen under försöket, men det innebär också att torrsviktresultaten inte representerar plantornas skick vid försökets avslut. Symptom på kloridtoxicitet har visats även i Muralitharan et al. (1992) försök redan efter tre veckor, där ackumulering av natriumjoner, kloridjoner och/eller reduktion av kaliumjoner i bladen antas vara orsaken till bladskador i försöket vid olika koncentrationer av natriumklorid (NaCl) eller natriumsulfat (Na₂SO₄). Reduktion av kaliumjoner i plantan var associerat med höga av halter klorid och natrium. Det påpekas också att blåbär är dåliga på att exkludera klorid, varför det snabbt ackumuleras höga halter i bladen och blir toxiskt. Tillväxten var inledningsvis god, men efter en tid uppstod skadorna på grund av de toxiska effekterna. I försöket hade natriumklorid större negativ effekt på plantorna jämfört med natriumsulfat, vilket tyder på att klorid i sig var dåligt för plantorna (Muralitharan et al. 1992). Det är sannolikt att samma orsaker ligger bakom skadorna på plantor behandlade med ammoniumklorid i det här försöket, där en bra tillväxt skedde i början av försöket innan ackumuleringen av klorid i bladen kom upp i toxiska nivåer. Här hade behandlingen med natriumsulfat ingen effekt på plantornas tillväxt jämfört med kontrollbehandlingen. Det är sannolikt att givan var för låg för att ge effekt inom sju veckor. Ledningstalet hade dock stigit vid försökets slut, vilket diskuteras vidare under avsnittet 4.1.3.

Muralitharan et al. (1992) såg skador av Na^+ och Cl^- redan efter tre veckor, och allvarliga skador vid försökets slut efter fem veckor. Det vill säga, det skulle vara rimligt att förvänta sig stressymptom inom den tidsram som SLU-försöket utfördes på under förutsättning att doserna var tillräckligt höga för att framkalla stress hos plantorna. Då inge stress har kunnat registreras hos behandlingarna, förutom behandling sju med ammoniumklorid kan slutsatsen dras att de ammoniumgivor som tillförts i detta försöket inte var tillräckligt höga för att framkalla ammoniumtoxicitet. Då ammoniumtoxicitet är associerat med höga koncentrationer av NH_4^+ i bladen (Esteban et al. 2016) hade det varit intressant att mäta även detta för att kunna analysera ackumuleringen av ammonium vid olika doser.

Kaliumsulfatbehandling och natriumsulfatbehandlingen gav ingen signifikant skillnad i torrvikten hos plantorna i jämförelse med kontrollbehandlingen. Därför kan man baserat på SLU-försöket anta att behandlingen med dessa ämnen inte har haft någon effekt på blåbärsplantornas tillväxt, varken positiv eller negativ. Detta är dock i motsats till Muralitharan et al. (1992) som initialt såg en ökad tillväxt (ökad torr och färskvikt) för blåbärssticklingar i näringslösning med låga koncentrationer på 10, 20, 30 och 40 mM av natriumsulfat. Skador uppstod först efter tre veckor och var allvarliga vid koncentrationer på 50 mM och mer.

Koncentrationen av Na^+ kan ha varit för låg för att inducera saltstress och allvarliga symptom. Koncentrationen av Na^+ i behandlingen med Na_2SO_4 var 50 mM och tillfördes vid bevattningen och gav varken någon signifikant positiv eller negativ inverkan på tillväxten. I ett försök av Wright et al. (1992) kring saltstress användes koncentrationerna 0, 25 och 100 mM Na^+ som vattnades ut varje dag till krukodlade blåbär (*V. ashei*). För behandling med 100 mM Na^+ blev tillväxten hos blåbärsplantorna signifikant lägre, men vid 25 mM Na^+ var det endast en liten tillväxtreduktion (Wright et al. 1992). Skillnaden mellan SLU-försöket och försöket av Wright et al. (1992) är både en skillnad i koncentration Na^+ , hur ofta behandlingen tillfördes och olika arter av blåbär. Därför kan det antas att koncentrationen av Na_2SO_4 var för låg eller tillfördes för sällan för att ge någon tillväxtreduktion, eller att olika arter är olika känsliga höga halter av natrium.

4.1.2. Procentuell torrsubstans

Den procentuella torrsubstansen (torrvikt/färskvikt x 100) var signifikant lägre för plantorna som gavs en högre koncentration av kväve (behandling med ammoniumsulfat, ammoniumnitrat och ammoniumcitrat) än för kontrollgruppen och plantorna som behandlades med kaliumsulfat och natriumsulfat (figur 2). Det innebär att de plantor som gavs en högre kvävekoncentration också innehöll procentuellt mer vatten, och samma plantor hade även högst tillväxt.

Det kan vara svårt avgöra vilken procentuell torrsubstans som är lämpligt för blåbär då det kan variera mellan ålder på plantorna och mellan olika arter (Retamales & Hancock 2018). Den procentuella torrsubstansen står i relation till det procentuella vatteninnehållet, där normala värden för blad ligger mellan 98% i saftspända transpirerande blad till endast 40% i vissnande blad. Vatteninnehållet i hela plantan påverkas också mycket av hur stor andel av plantan som består av

vedartat material som stammar respektive örtartat material som blad. Blad innehåller förhållandevis mer vatten än stammar och grenar, så beroende på om man inkluderar vedartade delar eller bara bladen när den procentuella torrsubstansen beräknas kan det bli en stor skillnad på resultatet. Eftersom behandlingarna med hög kvävekoncentration (ammoniumsulfat, ammoniumnitrat och ammoniumcitrat) gav en högre tillväxt av nya blad är det också troligt att detta har bidragit till ett högre procentuellt vatteninnehåll i plantorna och därav lägre procentuell torrsubstans. Alltså hade plantorna med högre tillväxt som behandlats med ammoniumsulfat, ammoniumnitrat och diammoniumcitrat också högre andel blad vilket förklarar att de också hade lägre torrsubstans eftersom blad innehåller mer vatten. Även om det inte var någon signifikant skillnad mellan behandling 3, 5 och 6 så hade ammoniumnitrat av de tre behandlingarna lägst torrsubstans, ammoniumcitrat näst lägst och ammoniumsulfat tredje lägst, vilket är samma trend som syns i torrvikten fast omvänt.

Behandling sju kunde inte inkluderas i jämförelsen mellan behandlingarnas påverkan på torrsubstansen eftersom färskvikten för plantorna behandlade med ammoniumklorid inte kunde mätas och därav kunde torrsubstansen inte beräknas. Detta på grund av bladavfall innan mättillfället, se avsnitt 2.1.

4.1.3. Ledningstal

De olika behandlingarna har resulterat i olika värden för ledningstal i slutet av försöket, där ammoniumklorid gav signifikant högre ledningstal än övriga behandlingar förutom ammoniumsulfat. I det här försöket skulle det kunna innebära att blåbärsplantorna har haft ett lägre upptag av joner i förhållande till mängden joner som tillfördes genom gödslingen varje vecka. Det i sin tur skulle kunna leda till en ackumulering av joner i substratet vilket ger ett högre ledningstal. Eftersom plantorna som behandlades med ammoniumklorid tappade blad under behandlingen är det sannolikt att upptaget av näringsämnen blev lägre hos dessa plantor, vilket i sin tur skulle innebära en högre näringskoncentration, det vill säga en högre andel lösta joner i substratet vid behandlingens slut som förklarar det höga ledningstalet. Kontrollbehandlingen hade ett lågt ledningstal, sannolikt eftersom kontrollplantorna inte tillfördes någon extra näringsbehandling, vilket resulterade i färre lösta joner. Plantor behandlade med ammoniumnitrat hade högst tillväxt och också lika lågt ledningstal som kontrollgruppen, vilket kan bero på att växten lätt tog upp ammoniumnitrat, så att det inte ackumulerades joner i substratet. Detsamma gäller för plantor behandlade med diammoniumcitrat. De plantorna hade hög tillväxt, men lågt ledningstal. För dessa båda behandlingsgrupper tycks upptaget av joner vara högt eftersom en högre tillförsel av behandlingsämnet ändå inte resulterade i ett högre ledningstal än kontrollgruppen.

I behandlingarna med natriumsulfat, kaliumsulfat och ammoniumsulfat tycks det ha skett en ackumulering av joner i substratet vilket demonstreras av de högre ledningstalen. Kanske kan den ackumuleringen ha berott på ett lägre upptag av joner av växten eftersom tillväxten hos dessa behandlingar var lägre. Det tycks inte ha skett någon saltstress under perioden för det här försöket men om en fortsatt ackumulering av joner i substratet skett och ledningstalen blivit högre

hade det kanske till slut resulterat i saltstress. En annan förklaring skulle kunna vara att nitrat och citrat läckt ut ur substratet i högre utsträckning och därav inte bidrar till ett ökat ledningstal. Nitrat är känt för att lätt läcka ut och sköljas bort från rotzonen när vatten rör sig ner genom markprofilen (Evert & Eichhorn 2013).

Gemensamt för behandlingarna 2, 3 och 4, som alla hade högre ledningstal i substratet vid försökets slut, är att de alla tre innehåller sulfat. Olika näringsämnen bidrar olika mycket till ledningstalet där bland annat sulfat, klorid och nitrat har en hög påverkan medan kalium har en lägre inverkan (Båth 2007). Skillnaden i ledningstalet i det här försöket skulle därav också kunna bero på de olika ämnenas olika bidrag till ledningstalet. Ledningstalet för alla behandlingar var relativt lågt. När Bryla et al. (2010) gjorde ett försök på nyetablerade *V. corymbosum* som gödslades med 150 kg/ha N i form av $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ visade plantorna tydliga symptom av saltstress i form av nekros i bladkanterna och 44-50% av plantorna dog. När Bryla et al. (2010) mätte ledningstalet i jorden för behandlingen var det i medel 5,5 dS/m, vilket motsvarar 5500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Detta är betydligt högre ledningstal än vad som uppstod i detta arbetes försöksdata från SLU, där ammoniumkloridbehandlingen uppmätte högst ledningstal på 1130 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Det skulle kunna vara så att mängden lösta salter i substratet och därav ledningstalet inte blev tillräckligt högt för att skapa stress hos plantorna. Möjligtvis hade resultatet blivit annorlunda ifall ledningstalen varit högre. Patten et al. (1989) föreslår en maxnivå på ledningstalet i jorden för blåbär (*Vaccinium ashei*) på 1,5 dS/m (1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) och att skador eller reducerad tillväxt som uppstår när ledningstalet är lägre än så kan beror på toxicitet från tex Na^+ . Detta stämmer överens med resultaten från SLU som presenteras här, där alla ledningstalen var under den rekommenderade maxgränsen och de skador som uppstod hos ammoniumkloridbehandlingen eventuellt kan förklaras av kloridtoxicitet. Med andra ord uppstår kloridtoxicitet redan vid relativt låga ledningstal.

4.1.4. Korrelation mellan ledningstal och torrsvikt

Resultatet visade att det inte fanns någon korrelation mellan ledningstal och torrsvikt (figur 4). Med andra ord berodde skillnaderna i torrsvikt mellan behandlingarna inte på vilket ledningstal som fanns i substratet. Höga ledningstal har visats associerat med skador och döda plantor för både blåbär och det besläktade bäret tranbär (Bryla et al. 2010; Samson et al. 2017). Det skulle vara möjligt att ifall detta försök hade uppmätt ledningstal på en nivå som i andra studier visats skadligt så hade kanske en korrelation till torrsvikt visats, där ett högre ledningstal leder till minskad tillväxt och/eller skador. Men det kan nämnas att hade en sådan korrelation faktiskt påvisats med denna data hade det resultatet kunnat ifrågasättas, då både torrvikten och ledningstalet har påverkats av de olika behandlingarna i försöket. Korrelationen skulle alltså ha kunnat vara en effekt av behandlingarnas inverkan och inte ett faktiskt orsakssamband. För att testa korrelationen mellan ledningstalet i substratet och blåbärsplantors tillväxt hade det varit bättre att utforma ett försök där inga andra faktorer, som tex olika gödselbehandlingar, kan påverka resultatet.

Vid de här värdena av ledningstal ($lt < 1130 \mu\text{S}/\text{cm}$) som är inom rimliga värden för blåbär ($lt < 1500 \mu\text{S}/\text{cm}$) (Patten et al. 1989) finns det ingen korrelation med tillväxt. Eventuellt har ledningstalet en större påverkan på tillväxten när värdena ökar till stressinducerande nivåer (Patten et al. 1989; Samson et al. 2017).

4.1.5. pH

Medelvärdena för pH för de olika behandlingarna låg mellan 3,86 och 4,36 där behandlingen med 3 och 4 hade signifikant högre pH än 2 och 7 (tabell 2). Det rekommenderade pH-värdet för blåbär ligger mellan 4,2 och 5,5 (Rosen et al. 1990; Retamales & Hancock 2018) vilket innebär alla behandlingar förutom 3 och 4 hade något lägre pH än vad som skulle vara optimalt. Däremot hänvisar (Caspersen et al. 2013) till lägsta rekommenderade pH-värden till 4,0. Sätter man 4,0 som lägsta gräns för optimal tillväxt är det bara ammoniumsulfat och ammoniumklorid som ligger under, och deras värden är bara 0,08 respektive 0,14 under. Två faktorer är viktiga att ta upp; 1) behandlingarnas effekt på pH och 2) hur skillnaden i pH mellan de olika behandlingarna eventuellt kan ha inverkat på resultatet (tillväxten).

1)

Olika gödselmedel har olika effekt på pH. Generellt har ammoniumkvävegödselmedel en försurande effekt på substratet, eftersom växten släpper ut en väteproton när ammoniumjonen tas upp, vilket sänker pH-värdet (Imler et al. 2019). Det motsatta gäller för nitrat, där upptaget av nitrat leder till ett ökat pH-värde. Håkansson et al. (2013) anger att gödsling med kaliumsulfat inte har någon nämnvärd effekt på pH medan ammoniumsulfat har en försurande effekt och rekommenderar att inte enbart använda ammoniumsulfat när pH värdet är lågt för att förhindra ytterligare försurning. Håkansson et al. (2013) menar att ammoniumnitrat har en mindre försurande effekt än ammoniumsulfat, vilket också är en tendens som syns i SLU-försöket som här analyseras avseende behandlingarnas pH-värde, där plantorna behandlade med ammoniumnitrat har högre pH än plantorna behandlade med ammoniumsulfat men den skillnaden är inte signifikant. Imler et al. (2019) menar att ammoniumupptaget hos blåbärsplantor är den huvudsakliga drivkraften bakom pH-värdet i rotzonen. Härav skulle man kunna anta att behandlingarna i SLU-försöket med högre koncentration kväve i ammoniumform (behandling 2, 5 och 7) skulle resultera i lägre pH än kontroll, 3 och 4 som hade lägre koncentration ammonium. En sådan trend finns, där 2, 5 och 7 hade lägre pH än kontroll, 3, och 4. Men inte heller denna trend var signifikant.

2)

Vid låga pH-värden under 3,8 är det oftast mangan- eller aluminiumtoxicitet som orsakar minskad tillväxt eller skador (Caspersen et al. 2013). Denna gräns kan däremot variera beroende på jorden som blåbären odlas i (ibid). Då ingen av behandlingarna i SLU-försöket hade lägre än 3,8 pH i substratet är det mindre troligt att aluminium eller mangantoxicitet har uppstått och därav inte heller påverkat resultatet nämnvärt. Olika arter och sorter har olika toleranser för höga halter av aluminium, där till exempel *V. ashei* 'Brightwell' har en högre tolerans än *V. corymbosum* 'Brigitta' (Zeng et al. 2020). Närvaro av ammonium kan

motverka aluminiumtoxicitet (Zhao et al. 2014). Även toleransen för mangan varierar mellan olika genotyper (Caspersen et al. 2013). Även om försöket i behandling med ammoniumklorid orsakade skador och bladavfall hos plantorna, som tidigare i avsnittet 4.1.1 diskuterades bero på kloridtoxicitet, men det skulle inte vara omöjligt att aluminium eller mangantoxicitet på grund av det låga pH-värdet också i viss mån har varit en bidragande faktor.

4.2. Slutsats

Som svar på fråga; *hur påverkar olika oorganiska kvävekällor tillväxten hos blåbär?* kan det konstateras från det här arbetet att kväve gynnade tillväxten vid en dosering av 50 mM kväve som tillfördes med bevattningen för samtliga behandlingar med hög kvävekoncentration. Även ammoniumklorid gynnade tillväxten inledningsvis, men plantorna hade vid försökets slut drabbats av kloridtoxicitet och skadats och tappat blad. Vilken medföljande jon som ammoniumkväve tillförs vid kvävegödsling har i vissa fall betydelse för tillväxten hos *V. corymbosum* där ammoniumnitrat gav bättre tillväxt än ammoniumsulfat, medan diammoniumcitrat gav likvärdig tillväxt jämfört med både ammoniumnitrat och ammoniumsulfat.

På frågan; *vilken roll spelar saltstress, ledningstal och ammoniumtoxicitet på blåbärsplantor vid höga koncentrationer av oorganisk kvävegödsling med ammoniumsulfat, diammoniumcitrat, ammoniumklorid och ammoniumnitrat, samt höga koncentrationer av kaliumsulfat och natriumsulfat?* kan det konstateras att saltstress i SLU-försöket som analyseras här endast uppstod i form av jontoxicitet från klorid för behandling sju. Det fanns heller ingen korrelation mellan ledningstalet i substratet vid skörd och tillväxten hos blåbärsplantorna, vilket sannolikt berodde på att värdena för ledningstalet var inom angivna toleransnivåer ($lt < 1500 \mu\text{S}/\text{cm}$) (Patten et al. 1989). Vid högre ledningstal är det däremot rimligt att anta att stressinducerade skador skulle uppstå. Även om ammoniumtoxicitet kan vara ett problem vid höga kvävegivor i blåbärsodling (Banados et al. 2006; Tang et al. 2017) så visade behandlingar med dessa doser ingen tendens till toxicitet av ammonium trots den relativt höga kvävekoncentrationen. Ammoniumnitrat var den behandling som gav bäst tillväxt och gav inte upphov till ett ökande ledningstal, vilket antas bero på att plantorna kunde tillgodogöra sig den näring som gavs, utan att joner ackumulerade i substratet. Klorid tycks enligt denna studie vara toxiskt i högre grad än natrium, och därför kan det vara viktigt att hålla uppsikt över kloridstatusen i blåbärsodlingar. Tillväxten påverkades varken positivt eller negativt av behandling med natriumsulfat eller kaliumsulfat under försökets sju veckor och gav heller inga tydliga symtom för saltstress.

De olika behandlingarna påverkade pH-värdet i substratet på olika sätt. Ammoniumsulfat och ammoniumklorid hade vid slutet av försöket pH-värden som låg under de optimala värdena enligt tidigare forskning (4,0-5,5) (Caspersen et al. 2013) men även om pH är väldigt viktigt i blåbärsodling verkar skillnaderna i pH mellan behandlingarna inte haft någon tydlig effekt.

Denna studie visar tydligt att ammonium gynnar tillväxt, men ammoniumklorid blir snabbt toxiskt för blåbärsplantor även vid låga ledningstal. Det finns många aspekter att ta hänsyn till vid kvävegödsling av blåbär, och responsen av olika kvävekällor kan bli olika beroende på sammanhang, art, sort och andra odlingsförhållanden, vilket gör det svårt att förutse hur plantorna kommer reagera.

Referenser

- Alt, D.S., Doyle, J.W. & Malladi, A. (2017). Nitrogen-source preference in blueberry (*Vaccinium sp.*): Enhanced shoot nitrogen assimilation in response to direct supply of nitrate. *Journal of Plant Physiology*, 216, 79–87. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2017.05.014>
- Asp, H., Svensson, B., Caspersen, S., Khalil, S., Olsson, M. & Gustavsson, K.-E. (2017). *Slutrapport SLU-Ekoforsk projekt*. Alnarp: Sveriges lantbruksuniversitet.
- Banados, P., Strik, B. & Righetti, T. (2006). The uptake and use of ¹⁵N-nitrogen in young and mature field-grown highbush blueberries. *Acta Horticulturae*, (715), 357–364. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.715.53>
- Bharat, D., Cavalcanti, R.R.M., Petersen, C., Begaye, N., Cutler, B.R., Costa, M.M.A., Ramos, R.K.L.G., Ferreira, M.R., Li, Y., Bharath, L.P., Toolson, E., Sebahar, P., Looper, R.E., Jalili, T., Rajasekaran, N.S., Jia, Z., Symons, J.D. & Babu, P.V.A. (2018). Blueberry metabolites attenuate lipotoxicity-induced endothelial dysfunction. *Molecular Nutrition & Food Research*, 62 (2), 1700601. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201700601>
- Britto, D.T. & Kronzucker, H.J. (2002). NH₄⁺ toxicity in higher plants: a critical review. *Journal of Plant Physiology*, 159 (6), 567–584. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-0774>
- Britto, D.T. & Kronzucker, H.J. (2013). Ecological significance and complexity of N-source preference in plants. *Annals of Botany*, 112 (6), 957–963. <https://doi.org/10.1093/aob/mct157>
- Bryla, D.R., Shireman, A.D. & Machado, R.M.A. (2010). Effects of method and level of nitrogen fertilizer application on soil pH, electrical conductivity, and availability of ammonium and nitrate in blueberry. (Pestana, M. & Correia, P. J., red.) *Acta Horticulturae*, 868, 95–101
- Båth, B. (2007). *Växtnäringsstyrning*. (Ekologisk odling i växthus 2007/2008.). Jönköping: Jordbruksverket.
- Caspersen, S., Håkansson, T. & Winter, C. (2013). *Trädgårdsblåbär - Växtnäringsbehov och gödsling*. (LTJ Rapport, 2013:10). Alnarp: Sveriges lantbruksuniversitet.
- Caspersen, S., Svensson, B., Håkansson, T., Winter, C., Khalil, S. & Asp, H. (2016). Blueberry—Soil interactions from an organic perspective. *Scientia Horticulturae*, 208, 78–91. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.04.002>

- Chaves, M.M., Flexas, J. & Pinheiro, C. (2009). Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*, 103 (4), 551–560. <https://doi.org/10.1093/aob/mcn125>
- Claussen, W. & Lenz, F. (1999). Effect of ammonium or nitrate nutrition on net photosynthesis, growth, and activity of the enzymes nitrate reductase and glutamine synthetase in blueberry, raspberry and strawberry. *Plant and Soil*, 208 (1), 95–102. <https://doi.org/10.1023/A:1004543128899>
- Esteban, R., Ariz, I., Cruz, C. & Moran, J.F. (2016). Review: Mechanisms of ammonium toxicity and the quest for tolerance. *Plant Science*, 248, 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.04.008>
- Evert, R.F. & Eichhorn, S.E. (2013). *Raven biology of plants*. 8. uppl. New York: W. H. Freeman and Company.
- FAOSTAT (2021). *Blueberries*. <http://www.fao.org/faostat/en/#search/Blueberries> [2021-03-31]
- Hachiya, T. & Sakakibara, H. (2017). Interactions between nitrate and ammonium in their uptake, allocation, assimilation, and signaling in plants. *Journal of Experimental Botany*, 68 (10), 2501–2512. <https://doi.org/10.1093/jxb/erw449>
- Håkansson, T., Winter, C. & Caspersen, S. (2013). *Trädgårdsblåbär – växtnäringsbehov och gödsling*. (LTJ-fakultetens faktablad, 2013:7)
- Imler, C.S., Arzola, C. & Nunez, G.H. (2019). Ammonium uptake is the main driver of rhizosphere pH in southern highbush blueberry. *Hortscience*, 54 (5), 955–959. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI13764-18>
- Kent State University Libraries (2021). *SPSS Tutorials: Pearson correlation*. <https://libguides.library.kent.edu/SPSS/PearsonCorr> [2021-04-27]
- Krithikadatta, J. (2014). Normal distribution. *Journal of Conservative Dentistry: JCD*, 17 (1), 96–97. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.124171>
- Kronzucker, H.J., Siddiqi, M.Y., Glass, A.D.M. & Kirk, G.J.D. (1999). Nitrate-ammonium synergism in rice - a subcellular flux analysis. *Plant Physiology*, 119 (3), 1041–1046. <https://doi.org/10.1104/pp.119.3.1041>
- LRF trädgård Blåbär | Bärfrämjandet. <https://barframjandet.se/svenska-bar/blabar/> [2021-05-18]
- Machado, R.M.A., Bryla, D.R. & Vargas, O. (2014). Effects of salinity induced by ammonium sulfate fertilizer on root and shoot growth of highbush blueberry. *Acta Horticulturae*, (1017), 407–414. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1017.49>
- Merhaut, D.J. & Darnell, R.L. (1996). Vegetative growth and nitrogen/carbon partitioning in blueberry as influenced by nitrogen fertilization. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 121 (5), 875–879. <https://doi.org/10.21273/JASHS.121.5.875>
- Munns, R. & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59 (1), 651–681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>

- Muralitharan, M.S., Chandler, S. & Van, S.R. (1992). Effects of NaCl and Na₂SO₄ on growth and solute composition of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum*). *Functional Plant Biology*, 19 (2), 155–164.
<https://doi.org/10.1071/pp9920155>
- Nilsson, T. (2011). *Odling av blåbär*. (LTJ-fakultetens faktablad, 2011:11)
- Patten, K., Neuendorff, E., Haby, V. & Wright, G. (1989). Cultural practices to reduce salinity/sodium damage of rabbiteye blueberry plants (*Vaccinium ashei* reade). *Acta Horticulturae*, (241), 207–212.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1989.241.33>
- Poornachit, U. & Darnell, R. (2004). Effect of ammonium and nitrate on ferric chelate reductase and nitrate reductase in *Vaccinium* species. *Annals of Botany*, 93 (4), 399–405. <https://doi.org/10.1093/aob/mch053>
- Retamales, J.B. & Hancock, J.F. (red.) (2018). *Blueberries*. 2. uppl. Wallingford: CABI. <https://doi.org/10.1079/9781780647265.0000>
- Rosen, C.J., Allan, D.L. & Luby, J.J. (1990). Nitrogen form and solution pH influence growth and nutrition of two *Vaccinium* clones. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 115 (1), 83–89.
<https://doi.org/10.21273/JASHS.115.1.83>
- Samson, M.-E., Fortin, J., Pepin, S. & Caron, J. (2017). Impact of potassium sulfate salinity on growth and development of cranberry plants subjected to overhead and subirrigation. *Canadian Journal of Soil Science*, 97 (1), 20–30. <https://doi.org/10.1139/cjss-2015-0111>
- SCB (2012). *Trädgårdsproduktion 2011*. (JO 33 SM 1201, korrigerad version 2012-09-03)
- SCB (2020). *Jordbruksstatistisk sammanställning 2020*. (JO1901).
https://jordbruksverket.se/download/18.78dd5d7d173e2fbbcd98893/1597390150166/JS_2020.pdf [2021-03-31]
- Smith, E., Porter, W., Hawkins, G. & Harris, G. (2016). *Blueberry irrigation water quality*. (UGA Cooperative Extension Bulletin C1105)
- Smolarz, K. & Mercik, S. (1989). Growth and yield of highbush blueberry bluecrop cv. (*Vaccinium corymbosum* L.) in relation to the level of nitrogen fertilization. *Acta Horticulturae*, (241), 171–174.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1989.241.27>
- Tang, Y., Xu, P. & An, L. (2017). Ammonium stress and supplemental calcium influence growth of *in vitro* cultured blueberry plantlets. *European Journal of Horticultural Science*, 82 (4), 180–189.
<https://doi.org/10.17660/eJHS.2017/82.4.3>
- USDA & NRCSSoil electrical conductivity. (Soil Quality Kit. Guides for Educators). United States Department of Agriculture - Natural Resources Conservation Science.
https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_053280.pdf [2021-05-24]
- Wang, Z., Pang, W., He, C., Li, Y., Jiang, Y. & Guo, C. (2017). Blueberry anthocyanin-enriched extracts attenuate fine particulate matter (pm2.5)-

- induced cardiovascular dysfunction. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65 (1), 87–94. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b04603>
- Wright, G., Patten, K. & Drew, M. (1992). Salinity and supplemental calcium influence growth of rabbiteye and southern highbush blueberry. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 117 (5), 749–756. <https://doi.org/10.21273/JASHS.117.5.749>
- Wright, G.C., Patten, K.D. & Drew, M.C. (1993). Gas exchange and chlorophyll content of `Tifblue` rabbiteye and `Sharpblue` southern highbush blueberry exposed to salinity and supplemental calcium. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 118 (4), 456–463. <https://doi.org/10.21273/JASHS.118.4.456>
- Yuan-Yuan, Z., Jun-Ping, T., Jun, C., Yu-Hui, H. & Yu-Shi, L. (2021). Effects of different $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ratios on the photosynthetic and physiology responses of blueberry (*Vaccinium spp.*) seedlings growth. *Journal of Plant Nutrition*, 44 (6), 854–864. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1871754>
- Zeng, Q., Jiang, Y., Dong, G., Wei, J., Jiang, J., Tian, L. & Yu, H. (2020). Effect of Al on the growth and nutrients uptake of blueberries (*Vaccinium spp.*). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 48 (2), 656–665. <https://doi.org/10.15835/nbha48211643>
- Zhao, X.Q., Chen, R.F. & Shen, R.F. (2014). Coadaptation of plants to multiple stresses in acidic soils. *Soil Science*, 179 (10–11), 503–513. <https://doi.org/10.1097/SS.0000000000000086>

Tack

Jag vill börja med att tacka min handledare Siri för möjligheten att ta del av hennes arbete. Det har varit mycket lärande och intressant. Jag vill också tacka min handledare för stort engagemang och stöd under det här arbetet.

Tack till Ingela och Jacqueline för konstruktiv feedback, hjälpande tips och uppmuntran från början till slut.

Till sist vill jag rikta ett stort tack till Hugo för ett otroligt stöd och mycket uppmuntran, det har varit ovärderligt!