



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2019 30 stp
Fakultet for biovitenskap

Effekt av bor- og kalsiumgjødsling på rotfysiologi og cellevegg hos gulrot (*Daucus carota* ssp. *sativus*)

Effect of boron and calcium fertilization on root
physiology and cell wall in carrot (*Daucus carota*
ssp. *Sativus*)

Marte Grøftrem Henriksen
Lektorutdanning i realfag

Forord

Denne masteroppgaven ble gjennomført ved fakultet for biovitenskap ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU), og markerer slutten på fem års lektorstudie i realfag.

Bakgrunnen for valget om å skrive masteroppgave i et plantevitenskapelig tema er min sterke interesse for norsk landbruk og matproduksjon, og et ønske om at oppgaven skulle ha nytteverdi.

Jeg vil gjerne rette en stor takk til hovedveileder førsteamanuensis Anne-Berit Wold, for oppgaven, oppmuntring og veiledning. Forsker Aruppillai Suthaparan og professor Trine A. Sogn fortjener også en stor takk, for hjelp med gjennomføring av eksperimentet, statistikk og veiledning under skriveprosessen. Videre vil jeg takke hele gjengen ved senter for klimaregulert planteforskning (SKP) for bestilling av utstyr, oppsett og hjelp underveis i forsøket. Mange flotte folk har hjulpet til ved avslutning av forsøket og analysering av materiale, tusen takk til dere alle.

Tusen takk også til Norsk gartnerforbund, for støtte gjennom deres forsknings- og utviklingsfond.

Jeg vil også takke venner og medstudenter for støtte, motivasjon og fine stunder. En spesiell takk til Ingrid for utallige løpeturer med lufting av frustrasjon og latter, og Guro for fire fine år i femte etasje. Helt til slutt vil jeg takke familien for støtte og korrekturlesing av oppgaven.

Ås, 11.05.2019

Marte Grøftrem Henriksen

Sammendrag

Gulrot er en mye brukt grønnsak, og for å oppnå best mulig lagringsevne og en høy norskandel på markedet er det avgjørende at den ikke har svakheter. Svakheter i cellevegg kan føre til lavere kvalitet og økt smitte av sykdommer ved innlagring og på lager, og dermed større matsvinn.

Patogener fører til stort svinn under lagring, og tuppråte er et økende problem. En hypotese er at tuppråte kommer av svakheter i cellevegg, der bor (B) og kalsium (Ca) spiller en viktig strukturell rolle.

Hovedmålet med denne oppgaven var å se på hvordan ulike nivåer av B- og Ca-gjødsling påvirker fysiologiske egenskaper hos gulrot (*Daucus carota ssp sativus*), med hovedfokus på cellevegg.

Gjødslingsforsøk med seks ulike kombinasjoner av (B) og (Ca) ble gjennomført under kontrollerte forhold. Lengde, diameter (topp og spiss), tørrstoffprosent (topp og spiss), bladareal, tørrstoffprosent bladverk, spenning (topp og spiss), B-innhold (topp og spiss) og Ca-innhold (topp og spiss) ble undersøkt. I tillegg ble antall løse/separerte cellevegger undersøkt i konfokalmikroskop.

Det ble ikke funnet signifikante forskjeller på lengde, diameter, tørrstoffprosent bladverk, bladareal eller spenning mellom de ulike B- og Ca-nivåene. B-innholdet i røttene var som ventet høyere i røttene ved høy B-gjødsling, både i toppen og spissen. I toppen ble høyest B-innhold funnet ved høy B og lav Ca, og i spissen ved høy B og middels Ca. Variasjonen mellom B-innhold ved høy B-tilførsel og lav, middels og høy Ca kan tyde på at Ca har en begrensende rolle hva gjelder gulrotas opptak av B.

Ca-innholdet i gulrøttene varierte noe, men ikke i så stor grad som B-innholdet. Det samme gjelder tørrstoffprosenten til gulrøttene. Denne var høyest ved høy B og høy Ca, både i toppen og spissen.

Andelen løse/separerte cellevegger varierte stort mellom B- og Ca-nivåene. Det var tydelig lavere andel løse/separerte cellevegger ved røttene ved høy B. Aller lavest var det ved høy B og middels Ca, både i topp og spiss.

Ut fra forsøket er det tydelig at B- og Ca-gjødsling har effekt på kvaliteten til gulrot, særlig på andel løse/separerte cellevegger.

Lignende forsøk bør gjennomføres i større skala, muligens med større forskjell i B- og Ca-nivå for å se om andre forskjeller kommer tydeligere frem.

Abstract

Carrot is a popular vegetable, known for its good storability. The storability is reduced when carrot has physiological weaknesses and poor quality at harvest. Weakness in the cell wall leads to poor quality and increase in pathogen infections, reduction in storability and an increase in food loss. Tip rot is an increasing problem in carrot storage. A hypothesis is that tip rot is related to weakness in cell walls, where boron (B) and calcium (Ca) have important structural roles.

The aim of this master thesis was to investigate how different levels of Boron and Calcium fertilization influence physiological properties in carrot (*Daucus carota ssp sativus*), with main focus on cell walls.

A fertilizer experiment with six different combinations of boron and calcium was conducted under controlled conditions. The length of the roots, the diameter (top and tip), dry matter content (top and tip), leaf area index, dry matter content of the leaves, compression strength (top and tip), B-content (top and tip) and Ca-content (top and tip) was registered. In addition, the number of loose/separated cell walls studied using a laser confocal microscope.

There were no significant differences in length, diameter, dry matter content of the leaves, leaf area index or compression strength between the different B- and Ca-levels used. The B-content of the roots was higher in the roots with the high B fertilizer levels, both in the top and tip. In the top of the root the highest B-content was found in roots fertilized with high levels of B and low Ca levels, whereas in the tip of the roots the highest B-content was found in roots receiving high B and medium Ca levels. The variation in B-content in roots fertilized with high B and low, medium and high Ca levels suggest that Ca has a restricting role in B uptake. There were also differences in Ca-content, but not as significant as the B-content. Dry matter of the roots also varied but was higher in carrots fertilized with high B levels combined with high Ca levels.

The number of loose/separated cell walls varied between the different B- and Ca- fertilizer levels. Lowest number was found when using the high B levels, whereas the absolute lowest number of loose/separated cell walls was found for high B combined with medium Ca levels both in the top and tip of the root.

From this experiment it is clear that B- and Ca-fertilizer affects carrots, especially regarding the amount of loose/separated cell walls.

Similar experiments should be done in a larger scale and include higher levels of B- and Ca fertilization, to see if more or larger differences appear.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	ii
Sammendrag.....	iii
Abstract	iv
Innledning.....	1
1. Bakgrunnskunnskap.....	2
1.1. Biologi	2
1.2. Vekstforhold.....	2
<i>Temperatur</i>	2
<i>Vann</i>	3
<i>Jord</i>	3
1.3 Gjødning og pH	3
<i>Bor</i>	4
<i>Kalsium</i>	6
1.4 Patogener og tuppråte	7
1.5 Oppbygging av cellevegg	9
2. Material og metode.....	12
2.1 Fytotron	12
<i>Forsøksoppsett</i>	12
<i>Vekstforhold</i>	14
<i>Vekstmedium og vanningsystem</i>	14
<i>Gjødseltilførsel</i>	15
2.2 Høsting og analyse.....	16
<i>Bladareal</i>	16
<i>Fysiske registreringer</i>	16
<i>Tørrstoff</i>	16
<i>Spenningsmålinger</i>	16
<i>Mikroskopi</i>	17
<i>Analyse av tørket materiale</i>	17
<i>Statistikk</i>	17
3. Resultater.....	18
3.1 Rotlengde.....	18
3.2 Diameter	19
3.3 Tørrstoffprosent bladverk.....	21

3.4 Bladareal	22
3.5 Spenning	23
3.6 B-innhold	26
3.7 Ca-innhold	26
3.8 Tørrstoffprosent	26
3.9 Løse/separerte cellevegger.....	27
4. Diskusjon	30
4.1 Lengde og diameter.....	30
4.2 Spenning	30
4.3 Bladareal	30
4.4 Tørrstoffprosent	31
4.5 Bor- og kalsiuminnhold	32
4.6 Løse/separerte cellevegger.....	33
5. Konklusjon	34
Referanseliste	36
Vedlegg 1	41

Innledning

Gulrot er en allsidig rotgrønnsak som er mye brukt i Norge, og i verden for øvrig. Norsk produksjon har vært på et jevnt nivå i mange år, og i 2017 ble det produsert 46975 tonn (Statistisk sentralbyrå, 2018). Norsk klima og jordsmonn er godt egna for gulrot dyrking, og vi har hatt en relativt stabil norsk andel (80-90%) av markedet de siste ti årene (Mittenzwei mfl., 2017). I 2017 var selvforsyningsgraden 87,6% (Opplysningskontoret for frukt og grønt (OFG), 2017).

I tillegg til at det er en smakfull og allsidig grønnsak, har gulrot også god lagringsevne. Dette gjør at den holder seg godt gjennom de lange, nordiske vintrene, dersom den lagres riktig.

For at gulrota skal ha god kvalitet og god lagringsevne må kvalitetsgrunnlaget legges allerede i vekstperioden. Fuktighet, temperatur, næringstilgang og angrep av plantepatogener er faktorer som spiller inn på kvaliteten til det ferdige produktet. Ved god innlagringskvalitet skal gulrota ved optimal lagring (0-2°C) (Hermansen mfl., 2012) kunne lagres i opptil 8 mnd (Asalf mfl., 2018).

På tross av god lagringsevne er det en betydelig andel av røttene som går tapt på lager. Det har blitt innrapportert et lagersvinn mellom 10 og 40%, med et snitt på 25%, der råte er hovedårsak (Franke mfl., 2013). Ca 50% av gulrøttene frasortert på lager i Norge er angrepet av patogener (Bond, 2016), og det er et økende problem. Røtter angrepet av tuppråte vil utvikle svart eller brun tupp, og man kan se at vevet i tuppen er skadet og råttent (Guren, 2016). Tidligere forskningsprosjekter gjennomført av NIBIO (Norsk institutt for bioøkonomi) har påvist at tuppråte består av flere ulike patogener, men det var ikke mulig å finne hvilken som eventuelt var hovedårsaken. Problemet med tuppråte er spesielt for Norge, og er ikke en kjent problemstilling i verken England eller Danmark (Grofondet.no u.å.)

En hypotese er at en fysiologisk svakhet (endringer i cellevegg) kan være årsaken til tuppråte, og at denne svakheten har sammenheng med tilgangen på grunnstoffet bor (B) og kalsium (Ca) i vekstperioden. Formålet med denne oppgaven er å undersøke om B-tilgang i vekstperioden fører til en fysiologisk svakhet.

1. Bakgrunnskunnskap

1.1. Biologi

Gulrot er en toårig rotvekst, der en vertikalt voksende hovedrot fungerer som lagringsorgan over vinteren, før den neste år setter blomster og frø. I gulrotproduksjon er det denne pålerota vi ønsker, og den høstes derfor som en ettårig grønnsak. Dagens sorter er avlet slik at det ikke skal gå i stakk like lett som tidlige sorter (Dypedal, 1996). Ulike



Figur 1: Tverrsnitt av en typisk gulrot, som viser forholdet mellom silvev og vedvev. Vedvevet er sentralsylinderen i midten, mens silvevet er det tykke laget rundt denne sentralsylinderen.

gulrotsorter kan variere i farge (gul, lilla, oransje) og fasong (spisse, butte, rundere). Grad av farge og fasong kan også variere avhengig vekstforhold (Solberg, 2016a).

Selve pålerota består i hovedsak av to vevstyper. Ytterst er det et tykt lag floem (silvev) som dekker sentralsylinderen bestående av xylem (vedvev), se Figur 1. Silvevet inneholder mer tørrstoff og sukker enn vedvevet, og utgjør størstedelen av lagringsvevet i gulrota (Baranska mfl., 2006).

1.2. Vekstforhold

Temperatur

Gulrøtter kan spire i et vidt temperaturområde, men spiringen går langsomt ved tidlig såing ved lave temperaturer. Ved å så frøene grunt i jorda fremskyndes spiringsprosessen (Solberg, 2016b). På våren har frøene en viss frosttoleranse, så de kan såes så fort det er mulig å komme seg ut på åkeren. Etter spiring kan gulrot utvikle seg og vokse normalt innenfor et stort temperaturområde, men oppnår best vekst og utvikling mellom 15 og 18 °C. Ved temperaturer over dette vil bladverket dominere over pålerotveksten. Dog har det vist seg at lavere temperaturer med lenger vekstperiode gir en søtere og mer smakelig gulrot (Seljåsen mfl., 2013)

På høsten er gulrot mer sårbar for frost, særlig de delene som stikker opp av jorda. Bladverket beskytter mot svak nattefrost, men ved langvarig frost vil gulrota være utsatt for sprekkdannelse og misfarging (Balvoll, 1999).

Vann

I spirefasen er det viktig at jorda er jevnt fuktig, og at det vannes jevnlig dersom jordarten har lav vannlagringsevne (Dypedal, 1996). Etter at rota er etablert kan det være en fordel med en relativt tørr periode (Balvoll, 1999). På hvilken måte, og om det i det hele tatt er behov for vanning, avhenger også av jordarten og dens evne til å holde på vann. Både tørke og vannmetning kan føre til deformerte røtter, redusert næringsopptak og produksjon av ufordelaktige stoffer, deriblant etylen (Seljåsen mfl., 2013).

Jord

Jordart og grad av, eller type jordarbeiding er viktige faktorer som påvirker gulrot dyrking. At jorda har lavt steininnhold er avgjørende for å få rette røtter med fin form, og matjordlaget bør være relativt dypt. Eksempler på jordarter som egner for gulrot dyrking er myrjord eller godt drenert matjord med lite stein og lavt leirinnhold (Dypedal, 1996). Jordarter som er utsatt for skorpe- og klumpdannelse er lite egna. Skorpe- og klumpdannelse unngås generelt ved hjelp av jordarbeiding.

1.3 Gjødning og pH

Essensielle næringsstoffer for gulrøtter er blant annet nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), kalsium (Ca), svovel (S), bor (B), kobber (-Cu), jern (-Fe) og mangan (Mn). Disse kan igjen deles inn i makronæringsstoffer (N, P, K, Ca og S), og mikronæringsstoffer (B, Cu, Fe og Mn). Mikronæringsstoffene er like nødvendige som makronæringsstoffene, men de er nødvendige i lavere konsentrasjoner enn makronæringsstoffene. Gulrot krever forholdsvis lite næringstilførsel, men er særlig utsatt for B-mangel (Solberg og Bysveen, 2015).

Nitrogenbehovet er relativt lavt, men for lite vil føre til dårlig vekst, bleke/rødlige blader, tynne stilker og tidligere bladfall. Dersom det tilføres for mye N er det fare for sprekkning (Balvoll, 1999; Yara.no a) og nedsatt tørrstoffinnhold (Tajet, u.å.). Sur jord kan være et problem, da gulrota har best vekst ved en pH mellom 5,5 og 6,5.

En annen utfordring ved dyrking og gjødning av gulrot er klor (Cl) (Balvoll, 1999), der for mye klor kan føre til spireskader hos gulrot og andre vekster som salat, purre og kepaløk. Synlige symptomer på

for mye klor i planter i vekst er svidde bladkanter og bladspisser, i tillegg til tidlig bladavfall (Aasen, 1997). Klor tas opp i røttene som negativt ladet Cl, og høye konsentrasjoner kan hemme opptaket av andre næringsstoffer som tas opp i anionform, derav spesielt S, som SO_4^{2-} og N, som NO_3^- . Overskudd av Cl fører til dårligere kvalitet på lagringsorganer, og det er målt lavere sukkerinnhold i betær, samt lavere stivelsesinnhold i potet (Aasen, 1997) ved høyt Cl-innhold i jord. Overskudd er typisk et problem i jord med høyt saltinnhold, for eksempel i kystnære områder, ved veier som saltes, og dersom det vannes med vann med høyt saltinnhold.

Gjødslingsnormen når forventet avling er 5000 kg er 9 kg N, 3 kg P og 14 kg K per dekar (NIBIO, u.å.) For mye næring kan føre til lavere kvalitet, for eksempel kan for mye N føre til sprekkning. Saltskader kan oppstå, det er derfor ofte anbefalt å delgjødse i flere omganger (Yara.no a). Ettersom gulrot er en B-krevende vekst, er ofte en ekstra B-gjødsling gunstig.

Bor

Grunnstoffet B er et essensielt mikronæringsstoff for planter, og planter kan ikke vokse normalt uten. Dog er behovet for disse lavere for makronæringsstoffene (Aarnes, 2002). B har stor betydning for blant annet karbohydratmetabolisme, aminosyresyntese, celleveggutvikling og rotvekst (Goldbach og Wimmer, 2007; Camacho-Cristóbal mfl., 2008). B-mangel er relativt utbredt i planteproduksjon generelt på verdensbasis, og gir global avlingsreduksjon grunnet sine mange og viktige egenskaper (Brown mfl., 2002). Opptak av B er tett knyttet til pH i vekstmediet. Ved pH over 6 dannes det borsyre-ioner, og B vil i den formen kunne binde seg til organisk materiale og leirminerale. I følge Govasmark (2008) er høy pH ($pH > 6,5$) i jord en av de viktigste årsakene til B-mangel i grønnsaksproduksjon. Ved lav pH ($pH < 6,0$) i jorda vil B opptre som udisosiert borsyre ($B(OH)_3$) som lett kan tas opp av planter, men samtidig er utsatt for utvasking.

For B er tre opptaksmekanismer kjent, og hvilken som dominerer avhenger av B-tilgangen i jorda (Camacho-Cristóbal mfl. 2008). Disse er ifølge Tanaka og Fujiwara (2008) følgende: 1) Passiv diffusjon (ved massestrøm), 2) fasilitert transport gjennom proteinkanaler (MIP), og 3) aktiv transport via BOR-transportører. Passiv diffusjon har vist seg å være den dominerende mekanismen ved tilstrekkelig eller overskudd av bor i jorda, mens det ved bormangel vil være aktiv transport (Brown mfl. 2002).

Ved god B-tilgang følger B vanligvis vannstrømmen. Plantenes B-opptak er da relatert til vanninnholdet i jorda og plantenes vannopptak, og vil begrenses av for lavt vanninnhold og tørre forhold (Marschner, 2012; Shorrox, 1997). Ved tørke kan B også akkumuleres i jorda til nivåer som er

giftige for planten (Princi mfl., 2016), og på den måten begrense veksten (Nable mfl., 1997). Borinnholdet i norsk jord er vanligvis så lavt at det er liten fare for giftige nivåer, med unntak av steder med overdreven bruk av B-rik gjødsel (Aasen, 1997).

Etter å ha blitt tatt opp i planten fraktes B via xylemet (vedvevet) i planten. Denne transporten følger vannstrømmen i planten (i vedvevet) og er avhengig av transpirasjon. Planter med B-mangel er derfor utsatt for skade ved tørke, og påfølgende lav transpirasjon (Shorrox, 1997). Det ble lenge antatt at B var immobil i plantenes silvev, men det kan transporteres også der, og ut til reproduktive og vegetative vev i planten (Matoh og Ochiai, 2005). Brown og Shelp (1997) påpeker at B er et unikt næringsstoff hva gjelder mobilitet i plantene, da denne varierer i stor grad mellom ulike plantearter. Hva gjelder gulrot er det vist at B kan være mobilt også i silvevet, og NLR (Norsk landbruksrådgiving) anbefaler derfor bladgjødsling underveis i vekstsesongen dersom det er lite B i jorda (Tajet u.å.). Grunnet gulrotas evne til å translokere B innad i planten, fra eldre til yngre plantedeler, vil symptomer på mangel først og fremst vises på de eldre bladene.

I flere vekster viser B-mangel seg som redusert mekanisk styrke og unormal celleveggutvikling (Ryden mfl. 2003), mens optimal B-mengde har vist seg å kunne redusere alvorlighetsgraden av flere i sykdommer, deriblant sykdommer forårsaket av *Gaeumannomyces graminis* og *Blumeria graminis* hos hvete, og *Fusarium solani* hos bønner. Bor har positiv virkning på celleveggen grunnet dens effekt på celleveggstruktur, metabolisme og membraner (Dordas, 2008).

Et lett synlig symptom på B-mangel i jord ved såing av gulrot er mangelfull eller redusert spiring (Yara.no b). Sprekking (Figur 2) av rota inn til sentralsylinderen har lenge i blitt sett på som en konsekvens av B-mangel i gulrotproduksjon (Aasen, 1997; Gronnsmaak u.å.), men denne sprekkingen kan også komme av andre vekstforhold. Høsten 2017 diskuterte nord-europeiske rådgivere symptomer på B-mangel i gulrot, og fant at symptomene var beskrevet veldig variert og ulikt (Tajet mfl., 2019).

At en mangel på et spesifikt næringsstoff på samme vekst skal kunne gi utslag i så mange ulike symptomer virket lite sannsynlig. Det ble da blant annet satt i gang et forsøk ved fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning, MINA-NMBU: Her ble det funnet at symptom på B-mangel var



Figur 2: Sprekking inn til sentralsylinderen. Ble lenge ansett som et hovedsymptom på bormangel i gulrot i Norge (Aasen, 1997)

skyggegrå, gråbrune røtter med synlig fargeendring 1-5 mm inn i rota. Misfargingen starter som en brunaktig farge som blir mattere nedover på rota, og en nedgang i saftspenningen i røttene ble målt. Bløte områder og mykere kjerne er funnet tidligere (Pandey og Verma, 2017). Margen i røttene ble også funnet å være lysere enn hos røtter uten B-mangel, samtidig som at vevet mot margin ble hvitaktig. Disse resultatene stemmer med funn fra England, Holland og Danmark, samt at det bekrefter observasjoner i Rogaland (Tajet mfl., 2019). Hvitfarge mot midten hos gulrøtter dyrket med bormangel har blitt funnet tidligere, blant annet ved frilandsforsøk i Canada (Gupta og Cutcliffe, 1985). I disse undersøkelsene ble et par røtter med lav B-innhold funnet å ha sprekker, det som tidligere har vært det antatte hovedsymptomet på B-mangel. Det kan derfor ikke helt utelukkes at sprekking har noe med B-mangel å gjøre, men det ser da ikke ut som det er det mest typiske symptomet på B-mangel, slik den skyggegrå og gråbrune misfargingen trolig er (Tajet mfl., 2019).

Kalsium

Kalsium (Ca) er et essensielt makronæringsstoff for planter og tas opp som positivt ion, Ca^{2+} (Aasen, 1997; White and Broadley, 2003). Det har to hovedroller i planter: en strukturell rolle der det er med på å bygge opp cellevegg og plantemembraner, samt holde strukturen oppe, og en signalrolle der Ca^{2+} fungerer som en sekundær budbringer (Clapham, 1995; Gilliam mfl., 2011; White og Broadley, 2003), som responderer på ytre stimuli (Taiz mfl., 2015). Denne responsen på stimuli er med på å øke plantens toleranse for både abiotisk og biotisk stress da den kan regulere en rekke cellulære prosesser, alt fra transkripsjonskontroll til aktivering av kjemiske signaler (Siddiqui mfl., 2010) og celleoverlevelse. Grunnet nevnte egenskaper er Ca, i likhet med B, med på å påvirke plantens motstandsdyktighet mot sykdomsangrep.

Ved Ca-mangel vil sukker og aminosyrer lekke ut fra cytoplasma. Kombinert med svekket cellevegg vil dette føre til at planten lettere blir utsatt for sykdomsangrep, både under dyrking og ved lagring over lengre tid (Dordas, 2008). Høyt innhold av Ca i cellevegger har vist seg å kunne redusere skade fra sopp (for eksempel gråskimmel), i tillegg til at det kan redusere planters produksjon av aldringshormonet etylen (Strøm, 2013).

Ca-transport forbindes med, og er avhengig av plantenes av transpirasjon, og hos vekster som gulrot er det derfor ofte høyest Ca-innhold i bladverket (Gilliam mfl., 2011). Ca er immobilt i silvevet, og vil derfor ikke transporteres fra plantenes eldre deler til yngre. Eldre plantedeler har dermed høy konsentrasjon, mens yngre deler har lav konsentrasjon. Grunnet denne immobiliteten vil mangelsymptomer først komme til syne på yngre plantedeler, og da særlig deler med lav

transpirasjon (Khan mfl., 2017). For gulrot vil typiske tegn på Ca-mangel være at rota er mye kortere sammenlignet med røtter som har fått tilstrekkelig med Ca i vekstperioden (Yara.no c).

Da Ca-transporten i planten er avhengig av transpirasjon, kan mangel lett oppstå ved tørke og/eller ujevn vanntilgang. Høy relativ luftfuktighet fører også til lavere transpirasjon og dermed redusert Ca-opptak og translokasjon. Andre årsaker til Ca-mangel kan være jordas aluminium (Al)- eller natrium (Na)-innhold. Disse stoffene konkurrerer med Ca i opptak i plantene (Jones, 2003). For høy tilførsel av N-holdig gjødsel vil også redusere Ca-opptak og dermed kunne gi til mangel (Dordas, 2008).

1.4 Patogener og tuppråte

Patogener defineres som sykdomsfremkallende organismer (Evert og Eichorn, 2013), og kan være sopp, bakterier, virus, nematoder og andre mikroorganismer. Både bakterie- og soppsykdommer kan forårsake visning, flekker på blader, døde plantedeler og ikke minst råte (Heggen mfl., 2003). Soppsykdommer dominerer når det kommer til skade og økonomisk tap, selv om også bakterier gjør stor skade i grønnsaksproduksjonen. Hele 70% av alle store avlingssykdommer kommer av patogene sopparter eller den sopplignende Oomycota (Deacon, 2006). Grønnsaker er utsatt for mange ulike sopper og mikroorganismer, ofte overført via jord i vekstsesongen

Sopper er stort sett multicellulære organismer med cellevegg og DNA, men de mangler klorofyll (Koike mfl., 2007). Dermed kan de ikke lage egen næring, og er derfor avhengig av dødt organisk materiale, eller en levende vert. Soppene danner hyfer og kan spre seg til ulike deler av samme plante, eller vandre mellom naboplanter. De kan også spre seg via sporer som følger med luft, jord eller vann. Patogene sopper hos planter kan penetrere vertsplanten via sår og skader/svakheter i vevet, mens andre kan penetrere friskt vev direkte (Koike mfl., 2007). Soppene kan overvintre både på dødt organisk materiale og som sporer i jord, avhengig av arten. Grunnet denne overvintringsevnen er vekstskifte et viktig tiltak for å begrense soppangrep i mange grønnsaker, deriblant gulrot (Holz, u.å). For arter i skjermplantefamilien anbefales det et vekstskifte på 4-5 år (Holz, u.å).

Forsøk har vist at tuppråte forårsakes av mange forskjellige patogener (Nærstad og Le, u.å.). I et samarbeidsprosjekt mellom flere store aktører i landbruket (Statens landbruksforvaltning, Bioforsk

plantehelse, NLR og enkelte gulrotprodusenter), fant de fem ulike patogener som alle forårsaket tuppråte, enten enkeltvis eller sammen. I våte tuppråtefelt ble de kjente patogenene *Botrytis cinerea* (forårsaker gråskimmel) og *Mycocentrospora acerina* (forårsaker klosopp) funnet. I tillegg til disse ble *Fusarium avenaceum*, *Neonectria ramularie* og *Ilyonectria radicola* isolert fra våte deler av tuppråten.

Gråskimmel (*B. cinerea*) kan angripe de fleste plantetyper (Hermansen mfl., 2018). Denne soppen følger som regel med produktene inn på lager, selv om de ser friske og fine ut. Gråskimmel er luftbåren og har mange vertsplanter, og er dermed svært vanskelig å bli kvitt, selv ved lange vekstskifter (Williamson mfl., 2007). Utover vinteren finner man ofte angrep av gråskimmel i gulrot, der den angriper svakt vev (for eksempel fra høsteskader). Den vil spre seg via kontakt mellom planter eller som sporer i lufta. I plantene danner soppen en noe fast, lysebrun råte som ofte dekkes av ett grått soppbelegg. Hvileknoller dannes ofte på gulrot og kålrot.

Klosopp (*M. acerina*) er ifølge Hermansen (Plantevernleksikonet, 2011) den viktigste lagringssykdommen hos gulrot i Norge. Den danner en mørk, saftig og porøs råte som ofte går langt inn i rota. Det er vanlig med angrep i bladfeste og rotspissen, og i disse råteflekkene danner de store mengder hvilesporer. Soppen følger med jorda inn på lager, og angriper skadet gulrotvev. Hvilesporene kan overleve i jorda eller på gamle planterester i over 5 år, og et romslig vekstskifte er derfor viktig i områder med klosoppangrep (Solberg, 2016c).

F. avenaceum har flere vertsplanter, deriblant hvete, bygg, belgvekster og grønnsaker som gulrot (Aoki mfl., 2014; Pollard og Okubara, 2018), og anses som et aggressivt patogen. Symptomer på angrep av *F. avenaceum* kan være en tørr og mørk rotråte, fruktråte og stilkråte (Aoki mfl., 2014; Nalim mfl., 2011), i tillegg til at spiring og utvikling kan hemmes dersom frø blir angrepet (Ismaiel og Papenbrock, 2015). På gulrot kan den gå på bladverk og på rota, og symptomer er oftest synlige ved opptak (Tadesse og Nordskog, 2017) slik at man kan sortere ut røttene som er angrepet før lagring. Ved lav temperatur vil den imidlertid utvikle seg sakte. Soppen produserer mange ulike mykotoksiner (sekundære metabolitter med potensielt skadelig effekt på planten, mennesker og dyr som spiser den) (Ismaiel og Papenbrock, 2015). Produksjon av slike toksiner avhenger av temperatur, fuktighet og tilgang på næringsstoffer (Abbas mfl., 1988). Tiltak for å begrense angrep er vekstskifte, og rask opptørring av fuktige røtter ved innlagring (Tadesse og Nordskog, 2017).

I tillegg til *F. avenaceum* ble *N. ramulariae* og *I. radicola/Cylindrocarpon destructans* funnet. *I. radicola/C. destructans* har ved flere anledninger blitt funnet ved rotråte i flere arter, deriblant vindrueplanter og ingefær (Halleen mfl., 2004; Jang mfl., 2010). Det er en jordbåren, saktevoksende sopp (Rahman og Punja, 2005). Hvor omfattende soppangrepet på planten blir avhenger av sopptettheten i jorda, antall svake punkter/sår på røttene samt temperatur, fuktighet, næringstilgang og pH (Farh mfl., 2017). Høy fuktighet er fordelaktig for utvikling av råte i ingefær, og middels temperatur (13-23°C) gir oftere mer råte enn høy (28°C). Forsøk har også vist at soppen trives bedre i områder med sur jord, enn områder med basisk jord (Farh mfl., 2017). På forprosjektet om tuppråte ble soppen funnet i tørr, mørk råte.

1.5 Oppbygging av cellevegg

Noe av det som skiller planteceller fra dyreceller er at de har en rigid, fast cellevegg. Denne veggen er spesiell for plantene, og uten den ville de ikke hatt den mekaniske styrken som er nødvendig for å kunne vokse i høyden slik de gjør. Plantens rigide, faste cellevegg er også viktig ved at (Taiz mfl., 2015; Evert og Eichorn, 2013):

- Den fungerer som et ytre skjelett som gjør at cellene tåler høyere turgortrykk enn de ville gjort uten. I tillegg vil cella bedre kunne tåle endringer i trykk, og negativt trykk bedre. Defekter i cellevegger fører ofte til at cella kollapser fordi den ikke tåler trykket eller trykkendringen.
- Den fungerer som en barriere mot angrep fra patogener og parasitter (Somerville mfl., 2004), samt øker motstandsdyktigheten mot herbivorer og mekanisk skade.
- Den kan frigi oligosakkarider som en respons på mikrobeangrep. Oligosakkarider er viktige signalmolekyler for forsvarsresponser mot angrep.
- Den fungerer også som en diffusjonsbarriere mellom celleveggene, og begrenser dermed hvilke molekyler, og størrelsen på molekylene som når plasmamembranen.

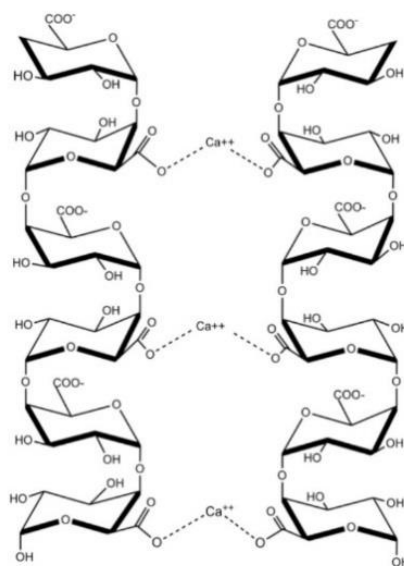
Celleveggenes molekylære oppbygging og morfologiske struktur har viktige roller når det kommer til dens mekaniske egenskaper (Singh mfl., 2010; Waldron mfl., 2006). Veggen har en dynamisk, heterogen struktur sammensatt av nettverk bestående av cellulose-mikrofibriller i en kompleks matriks bestående av pektiner, strukturelle proteiner og hemicellulose.

Nøyaktig utforming (tykkelse, bestanddeler, fasong) og funksjon varierer mellom arter, men celleveggtypen deles vanligvis inn i to hovedkategorier. Denne inndelingen baserer seg på utviklingsstadiet den aktuelle cella er på, ikke kjemiske eller strukturelle ulikheter.

Alle planteceller har primære cellevegger, og disse defineres som vegger dannet under cellas vekstfase (Taiz mfl., 2015). Disse primære celleveggene er ikke like tykke overalt, men har små tynne områder i veggen (pit fields) (Evert og Eichhorn, 2013). Veggene består av pektiner, proteiner, cellulose og hemicellulose (i hovedsak xyloglucan og arabinoxylan), samt at noen kan inneholde ligning, cutin eller suberin. Pektinene deles inn i homogalcturonan (HG), rhamnogalacturonan I (RG-I) og rhamnogalacturonan II (RG-II) (Zamil og Geitmann, 2017). Grunnet det høye pektininnholdet har de relativt høyt vanninnhold, noe som er viktig for evnen den primære celleveggen har til å utvide seg. Celler som aktivt deler seg har bare primær cellevegg, og det samme gjelder de fleste cellene som er aktive i metabolske prosesser.

Sekundære cellevegger dannes etter at cellen og den primære celleveggen har sluttet å vokse i overflate, og dannes da mellom den primære celleveggen og plasmodesmata. De sekundære celleveggene er særlig viktig i celler som er involvert i vanntransport, styrke og struktur. I vev som transporterer vann (vedev/xylem), er de sekundære celleveggene ofte forsterket og vanntette da de er dekket med lignin (Taiz mfl., 2015). Dette ligninet bidrar til ytterligere styrke og rigiditet. Cellulose utgjør en større andel i den sekundære celleveggen (Caffal og Mohnen, 2009), mens pektin kan være fraværende. Lavt pektininnhold gjør at den sekundære celleveggen inneholder mindre vann enn den primære, og dermed er mindre fleksibel. Matriksen i sekundær cellevegg består av hemicellulose, og mangler strukturelle enzymer og proteiner som er tilstede i den primære. I flere planter dør celler i den sekundære veggen etter dannelse, og danner dødt vev. Også i den sekundære veggen finnes små tynne områder (pits eller pit fields) (Evert og Eichhorn, 2013).

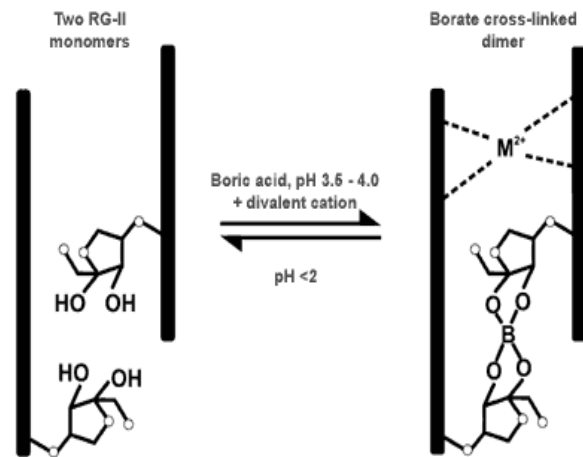
Plantecellene er ikke mobile, og er «limt» sammen av et tynt lag, kalt midtlamell. Dette laget består i hovedsak av pektin (Singh mfl., 2010), som er avgjørende for intercellulær adhesjon (Houben mfl., 2011). Pektiner består av en sur (acidic) hovedkjede og en nøytral sidekjede. Ca danner kalsiumbroer ved at det danens ioniske bånd mellom Ca^{2+} og karboksylgrupper (Figur 3), og styrken pektinet har til å holde



Figur 3: Ochoa-Villarreal mfl., (2012). Plant cell wall polymers: Function, structure and biological activity of their derivatives. I: Gomes, A.D.S. (red.) Polymerization. IntechOpen.

sammen cellene er tenkt å være direkte koblet opp mot mengden kalsiumbroer (Sato, 1998).

B binder sammen (cross-links) sidekjerder av rhamnogalacturonan II (RG-II), slik at det dannes dimeriske komplekser (Fleischer mfl., 1998). Figur 4 illustrerer hvordan bor binder sammen sidekjerder.



Figur 4: O'Neill mfl., (u.å). Rhamnogalacturonan. Hentet fra: <https://www.ccruc.uga.edu/~mao/rq2/intro.htm> [Lest 01.05.2019]

Ved mangel på viktige næringsstoffer, og her særlig B og Ca, kan svakhet i celleveggene oppstå. På cellenivå vil dette kunne føre til nedsatt adhesjon mellom cellene, og dårlig binding av de pektinrike polysakkaridene (HG, RG-I og RG-II). Dette vil i mikroskop kunne sees som separerte cellevegger, eller som cellevegger med løse punkter i for eksempel hjørnene (Singh mfl., 2010).

Strukturelle endringer vil også skje under modning, lagring og prosessering, og det er særlig pektinet dette påvirker (Houben mfl., 2011). Disse endringene har stor betydning for tekstur og egenskaper i grønnsaksbaserte produkter, og vi vil derfor dyrke produkter med best mulig cellestruktur.

2. Material og metode

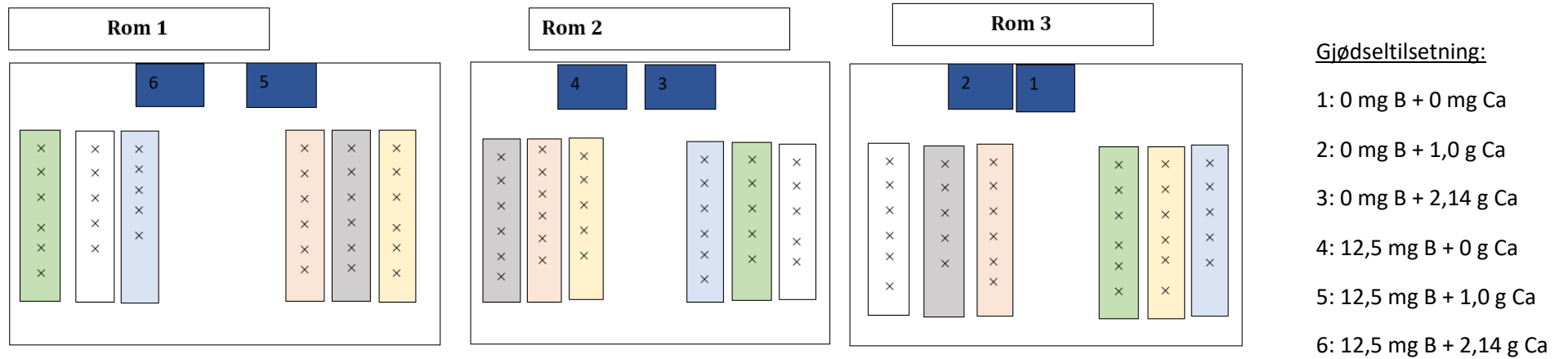
Gulrot ble dyrket i veksttorv fylt i potter, plassert i fytotron for stabile vekstforhold, og tilført ulike mengder B og Ca i tillegg til vanlig gjødsling. Ved avslutning av forsøket ble bladarealet målt, røttene veid og rotlengde og diameter målt. Diameteren ble målt ved to punkter på rota: 2 cm fra toppen, og 1 cm fra rotspissen. Videre ble rotas tørrstoff og spenning målt, samt at det ble tatt bilder i konfokalmikroskop I tillegg ble det gjennomført kjemisk analyse av B- og Ca-innholdet i det tørka gulrotmaterialet. Gulrotsorten Romance ble brukt. Den er kjent som en middels til sein rot, med god lagringsevne og jevn, god farge (LOG.no, 2013).

2.1 Fytotron

Forsøksoppsett

I forsøket ble det brukt tre fytotronrom plassert ved siden av hverandre (Figur 5) Hvert rom regnes som et gjentak.

I figur 5 tilsvarer hvert kryss en potte med en gulrotplante. De mørkeblå feltene er vanningsdunkene, som er forbundet med hverandre mellom de ulike rommene. De ulike gjødseltilsetningene er markert med ulik farge (Figur 5), og antall planter per bord varierer mellom 5 og 6.



Figur 5: Oppsett for forsøket i fytotronene. Gjødselkombinasjonene er her symbolisert med ulike farger, og hvert kryss står for en potte med en gulrotplante i. Alle gjødselkombinasjonene ble brukt i alle tre rommene ved hjelp av et dryppslangesystem.

Vekstforhold

Temperaturen i fytotronrommene ble satt til 15 ± 1 °C, med en relativ luftfuktighet $75 \pm 5\%$. Daglengden ble satt til 16 timer, med ekstra lamper for å sikre en minimumsirradians på $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Disse innstillingene ble holdt konstant gjennom hele vekstperioden.

Vekstmedium og vanningsystem

Vekstmediet som ble brukt var veksttorv (GoTorv, Degernes torvstrøfabrikk AS), som har pH mellom 5 og 6. Veksttorven bestod av 60% klumpetorv og 40% sugetorv, tilsatt 1,1 kg multimix 12-6-20 (N+P+K) + Mg + mikronæringsstoffer og 6 kg kalk per m^3 . Pottene rommet 4 liter, og i hver potte ble det sådd 5-6 gulrotfrø. Tre dager etter frøspiring ble det tynnet slik at det stod en gulrotplante i hver av pottene. I perioden frem til spiring ble det vannet med vanlig vann uten tilsatt gjødsel. Etter spiring ble et dryppvanningsystem med 6 ulike kombinasjoner av bor- og kalsiumgjødsling tatt i bruk.

I forsøket ble det brukt en vandunk på 50 liter for hver av de seks gjødselblandingene. Fra disse dunkene ble det lagt opp rør med dryppvanning, med ett drypp i hver av pottene. Som grunnjødsling ble det benyttet en løsning som ofte brukes ved senter for klimaregulert planteforskning (SKP). Denne grunnjødslingen består av 50% stamløsning A (25 deler Kalksalpeter og en del Ammoniumnitrat) og 50% stamløsning B (25 deler Kristalon, Yara 9-11-30+7MgO+ mikronæringsstoffer). Til denne grunnløsningen ble det tilsatt ulike mengder B og Ca i hver av de seks vandunkene, se Figur 5. For å sikre jevn sirkulasjon i dunkene tilsatt Ca og B ble det satt inn små pumper som gikk kontinuerlig, i tillegg til de tidsinnstilte pumpene som regulerte vanningen. Vanningen ble økt etter hvert som gulrøttene vokste og fikk større vannbehov. Den første uken fikk de 33 ml vann en gang om dagen, før det ble økt til $2 \cdot 33$ ml med 12 timers intervall. Etter 4 uker ble det økt til $3 \cdot 33$ ml altså 33 ml hver 8. time.

Gjødseltilførsel

Tabell 1: Viser mengde tilsatt B-tetraborax og kalsiumkarbonat per potte.

Behandlingsnummer	Tilsatt B-tetraborax pr potte (mg)	Tilsatt kalsiumkarbonat pr potte (g)
1	0	0
2	0	1,0 g
3	0	2,14 g
4	12,5 mg	0
5	12,5 mg	1,0 g
6	12,5 mg	2,14 g

For å regulere pH i gjødselvannet ble det tilsatt svovelsyre (72 % H₂SO₄), fortynna til 3%. Da vandunkene ikke var store nok til å romme vannet som var nødvendig for hele perioden, ble gjødsla blandet ut i to omganger, en i starten av forsøket og en etter 3,5 uker (midt i forsøket). I begge disse blanderundene ble det tilsatt lik mengde syre. Syren ble tilsatt da pH i gjødselløsningene ble over 6, noe som er i høyeste laget med tanke på B-opptak. Etter å ha blandet gjødsel og tilsatt syre hadde dunkene et ledetall på 1,3 mS/cm og pH mellom 5,6 og 5,78 (Tabell 2).

Tabell 2: Viser mengde tilsatt svovelsyre i dunkene ved hver av de to blanderundene, med påfølgende pH.

Blandingsnummer	Tilsatt svovelsyre	pH etter tilsetning av syre
1	1 ml	5,6
2	6 ml	5,74
3	22 ml	5,78
4	2 ml	5,5
5	10 ml	5,7
6	22 ml	5,78

2.2 Høsting og analyse

Fra såing til opptak gikk det 7 uker, og opptaket ble fordelt på tre dager (ett rom per dag). 3 eller 4 gulrøtter fra hver behandling i hvert rom ble tatt ut til fysiske målinger (vekt og geometri), tørrstoff, og fasthet. De 2 resterende røttene fra hver behandling i hvert rom ble brukt til mikroskopi, for å se etter løse/separerte cellevegger.

Bladareal

Før røttene ble tatt ut av pottene ble bladverket kuttet 1 cm over selve rota. Bladverket til hver enkelt gulrot ble så kjørt gjennom en stasjonær bladarealmåler (Li-cor LI-3100C Area meter). Bladarealet ble målt i cm².

Fysiske registreringer

Etter at bladverket var kuttet av, ble røttene grovt vasket og tørket rene. De rene røttene ble veid, i tillegg til at lengde og diameter ble målt. Diameteren ble målt 2 cm fra toppen av rota, og 1 cm fra rotspissen. Ved måling av diameter ble det brukt et digitalt skyvelær, og lengden ble målt med en bøyelig linjal.

Tørrstoff

Det ble målt tørrstoffprosent av det grønne riset, og av skiver fra topp og spiss av røttene. Det ferske riset ble veid og tørket ved 70°C i 10 dager før det ble veid igjen.

Skiver fra toppen og spissen av røttene ble tørket ved 55 °C i 14 dager før de ble tatt ut og veid. Grunnen til at disse prøvene ble tørket ved lavere temperatur var at de også skulle brukes til å analysere innholdet av bor- og kalsiuminnholdet i gulrøttene.

Spenningsmålinger

Etter å ha tatt prøver til tørrstoffanalysen ble det gjennomført en spenningsmåling. En centimeter tykke skiver fra toppen og spissen av gulrøttene ble benyttet til spenningsmålingene. I hver av disse bitene ble det stukket ut fire prøver ved hjelp av et korkborr med diameter 5mm. Tre prøver ble stukket ut fra silvevet, og en fra sentralsylinderen.

Apparatet som ble brukt i målingene var en TA.HDplus texture analyzer (stable micro systems). En load cell på 30 kg ble benyttet, og hastighet ble stilt til 1 mm/sekund. Skjørheten (fracturability)

defineres som kraften ved første tegn til struktursvikt i materialet. Ut fra målingene ble spenningen i materialet beregnet ved bruk av formelen $Spennning = \frac{F}{A}$, der F= kraft (force) og A= areal.

Mikroskopi

Til mikroskopien ble det benyttet 2 gulrøtter fra hver behandling, og hvert rom. Så tynne snitt som mulig ble kuttet fra toppen og tuppen av rota ved hjelp av et barberblad. Snittene ble lagt i en løsning 0,1% Congo red i fem minutter før overskudd av løsningen ble tørket av. Deretter ble de lagt på glass og sett på i lasermikroskop (Leica TCS SP5 confocal laser scanning mikroskop), innstilt på eksitering av en argon 488 nm laser og lysoppsamling mellom 544 og 663 nm (Singh mfl., 2010).

Bildene brukt i analysen ble tatt ved målestokk 25µm.

Etter mikroskopering av alle gulrøttene ble totalt antall synlige celler, og antall med løse hjørner og skilte cellevegger registrert. Prosentandel løse hjørner/skilte cellevegger ble beregnet i Microsoft excel.

Analyse av tørket materiale

Først ble plantematerialet benyttet til tørrstoffmålingene, deretter ble det malt opp i en morter. Selve analysen ble gjennomført av ingeniører ved fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning (MINA), NMBU.

For dekomponering ble det brukt en standardmetode. Denne gikk ut på å veie inn 0,2-0,25 gram plantemateriale som ble dekomponert i Ultraclave med 10% dobbeltdestillert salpetersyre opp til 260 °C og trykk opp til 50 bar.

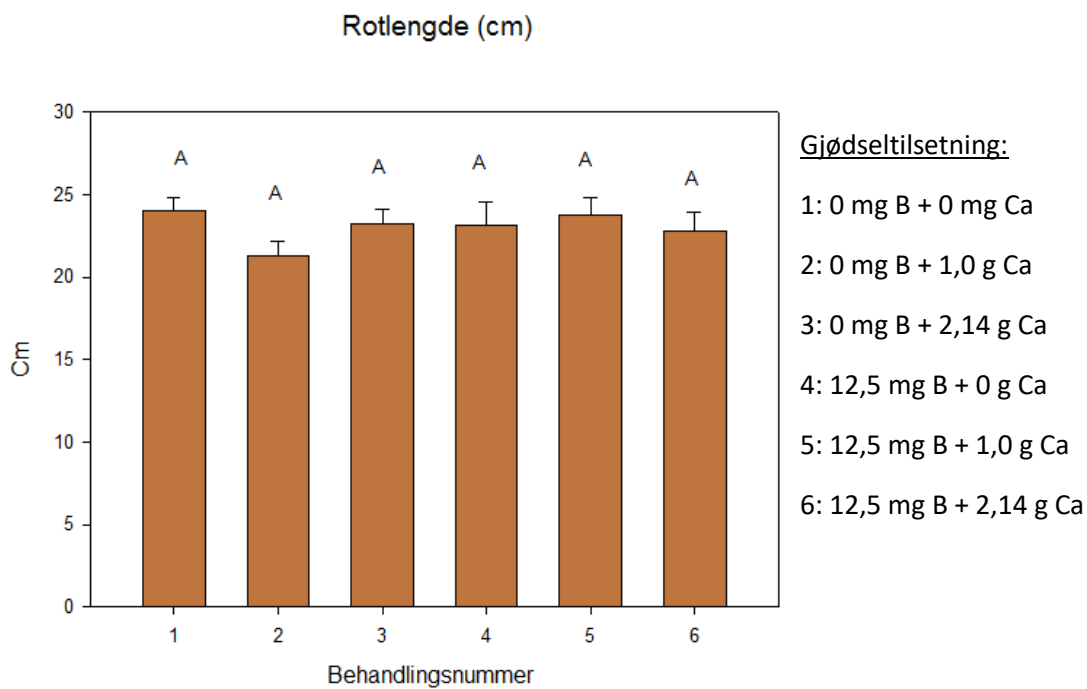
Etter dekomponeringen ble prøvene fortynnet til 50 mL ved bruk av deionisert vann, og analysert i et ICP-OES Agilent 5110 dual view for å måle konsentrasjonen av B og Ca i prøvene. Som referansemateriell i samme prøveserie og ved de samme forhold ble det brukt en sertifisert planteprøve dekomponert med samme metode (Valentina Zivanovic, Senioringeniør v fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning (e-post, 27.02.2019).

Statistikk

Minitab 18 ble brukt til analyse av registrert data, og det ble brukt ANOVA (general linear model) og Tukey test. Signifikansnivået i analysene ble satt til 0,05. Figurene ble utarbeidet i SigmaPlot 14,0.

3. Resultater

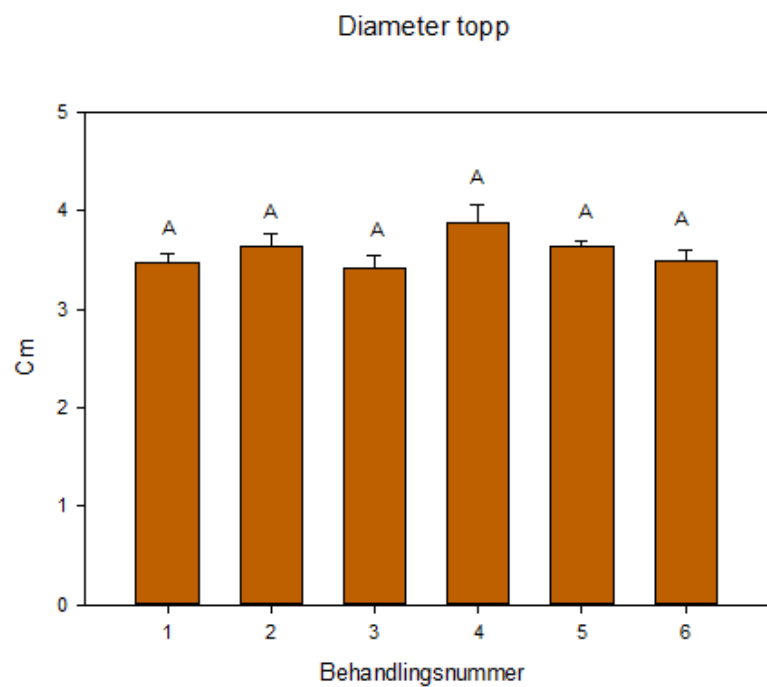
3.1 Rotlengde



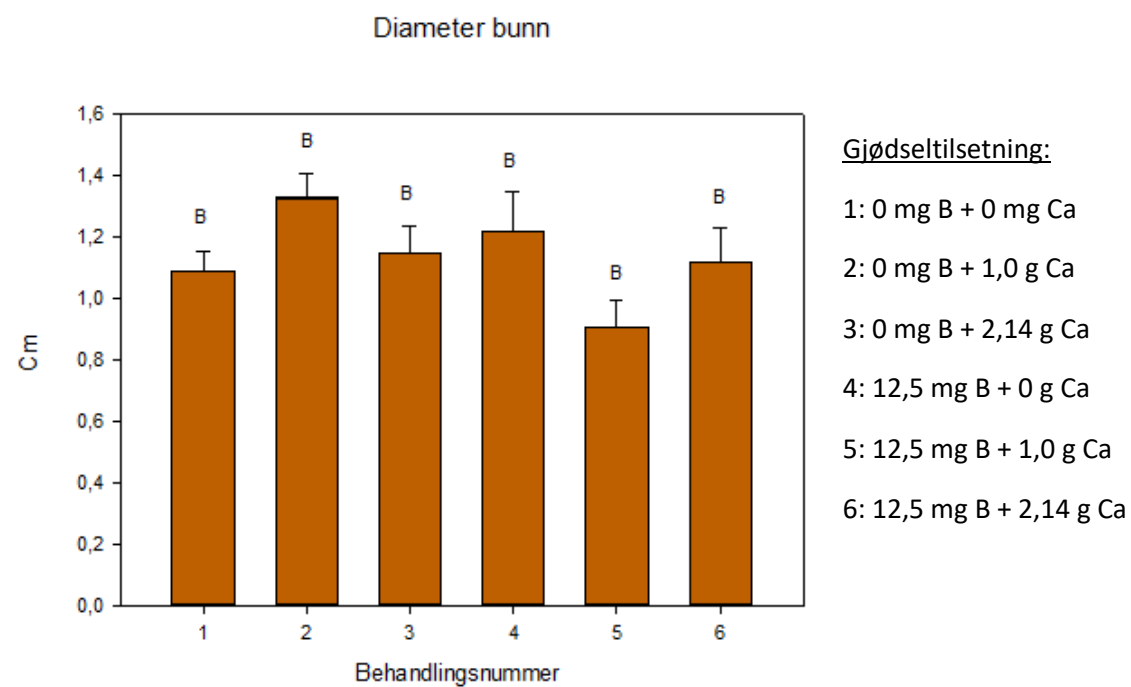
Figur 6: Diagrammet viser rotlengden i cm ved de ulike gjødselbehandlingene (1-6). Søyler som deler bokstav er ikke signifikant forskjellige på 95%-nivå.

Det var ingen signifikante forskjeller mellom de ulike B- og Ca-nivåene for rotlengde (Figur 6), selv om det er noen små forskjeller. Røttene ved lav B, lav Ca (1) var lengst, med et snitt på 24 cm, mens lav B og middels Ca (2) gav de korteste røttene, med snitt på 21,3 cm. Variansanalysen for rotlengde (vedlegg 1) viser at ingen av faktorene i modellen hadde signifikant betydning på rotlengden ($P > 0,05$)

3.2 Diameter



Figur 7: Diagrammet viser diameteren 2 cm fra toppen av gulrota ved de ulike gjødselbehandlingene (1-6). Søyler som deler bokstav er ikke signifikant forskjellige på 95%-nivå.

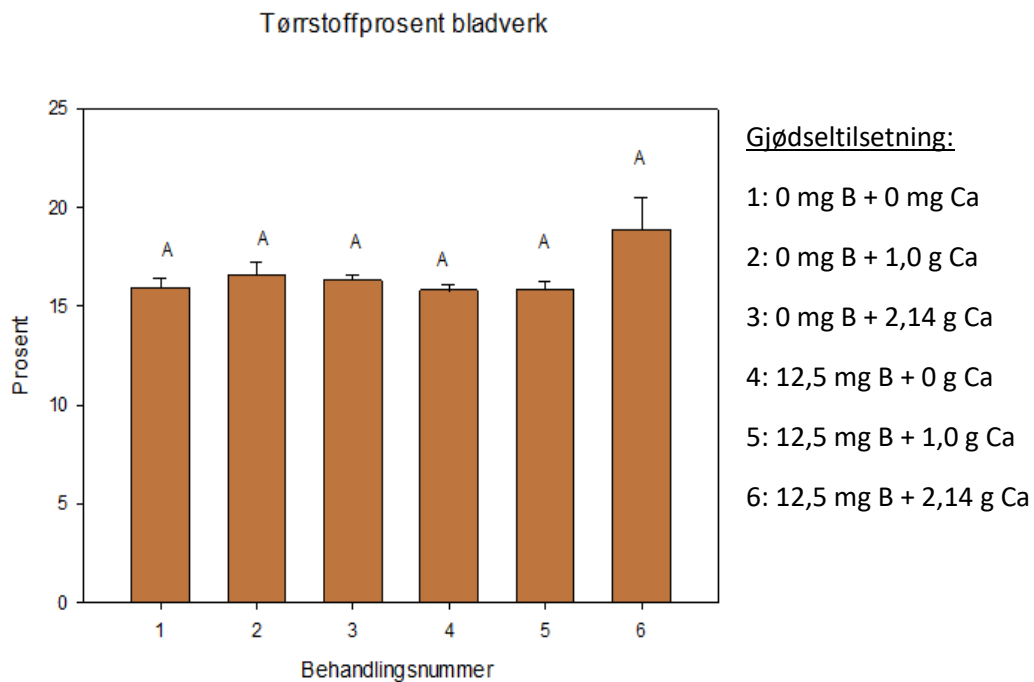


Figur 8: Diagrammet viser diameteren 1 cm fra spissen av gulrota ved de forskjellige gjødselbehandlingene (1-6). Søyler som deler bokstav er ikke signifikant forskjellige på 95%-nivå.

Av figur 7 ser vi at det ikke er noen signifikant forskjell på diameteren i toppen av røttene, selv om det er noe variasjon mellom behandlingene. Den største diameteren (3,88 cm) finner vi hos røttene ved høy B og lav Ca (4), og den laveste ligger på 3,41 cm hos røttene ved tilsatt lav B og høy Ca (3). Variasjonene i diameter i spissen av røttene (Figur 8) viser en mye større variasjon, selv om det heller ikke her er signifikant forskjell mellom de ulike gjødseltilsetningene. Her ser vi at den største diameteren ble målt ved lav B og middels Ca (2), med 1,33 cm. Den minste diameteren, 0,91 cm ble funnet ved høy B og middels Ca (5). Av behandlingene med høy bor hadde høy B og lav Ca (4) størst diameter, med 1,21 cm.

Variansanalysen for diameter (Vedlegg 1) viser at flere av faktorene i modellen hadde signifikant effekt på diameteren på 95% signifikansnivå. Av Figur 7 og 8 ser vi at diameterene i topp og spiss er signifikant ulike (A og B), noe også variansanalysen viser da posisjon har en P-verdi= 0,00. I tillegg til posisjon har Bornivået (P=0,001), Posisjon*Bornivå (P=0,034) og Bornivå*Kalsiumnivå (P=0,012) signifikant effekt på diameteren av gulrøttene.

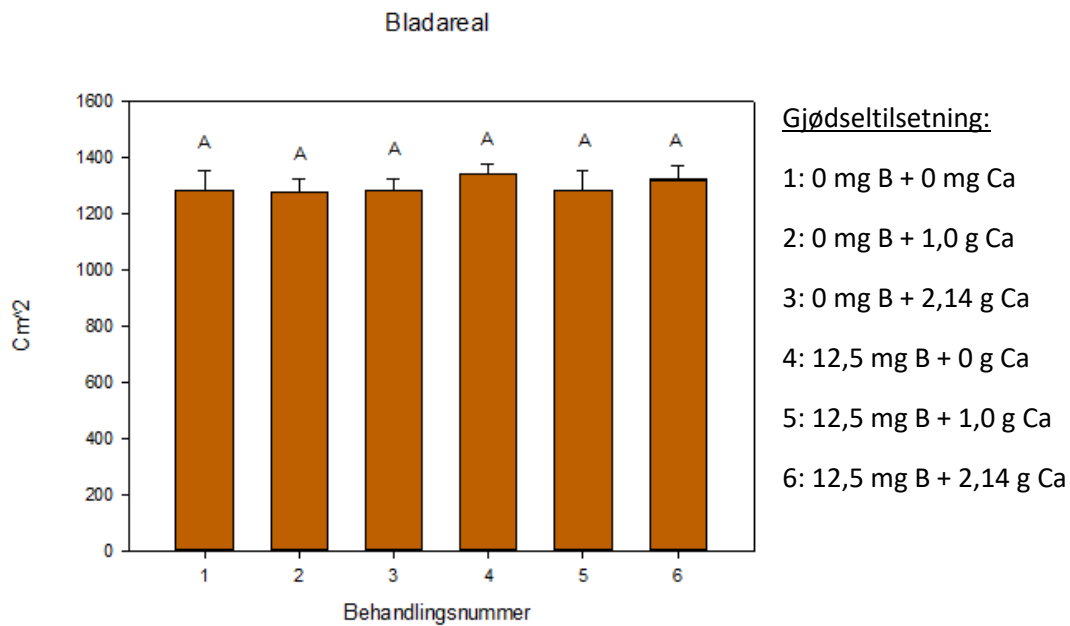
3.3 Tørrstoffprosent bladverk



Figur 9: Diagrammet viser tørrstoffprosenten til bladverket ved de ulike gjødselbehandlingene (1-6). Søyler som deler bokstav er ikke signifikant forskjellige på 95%-nivå.

Heller ikke for tørrstoffprosenten til bladverket (Figur 9) var det noen signifikante forskjeller mellom gjødselkonsentrasjonene 1-6. Dog er det tydelig at den var høyest ved tilsetning høy B og høy Ca (6), med hele 18,9% i snitt. Ellers viser det seg at røttene ved lavest Ca (1 og 4) hadde noe lavere tørrstoffprosent ved både lav og høy B enn ved behandlingene middels og høy Ca. Ut fra variansanalysen for tørrstoffprosent (Vedlegg 1) ser vi at det eneste faktoren som hadde signifikant påvirkning på tørrstoffprosenten på 95%-nivå var bornivå*kalsiumnivå, med P-verdi =0,014.

3.4 Bladareal



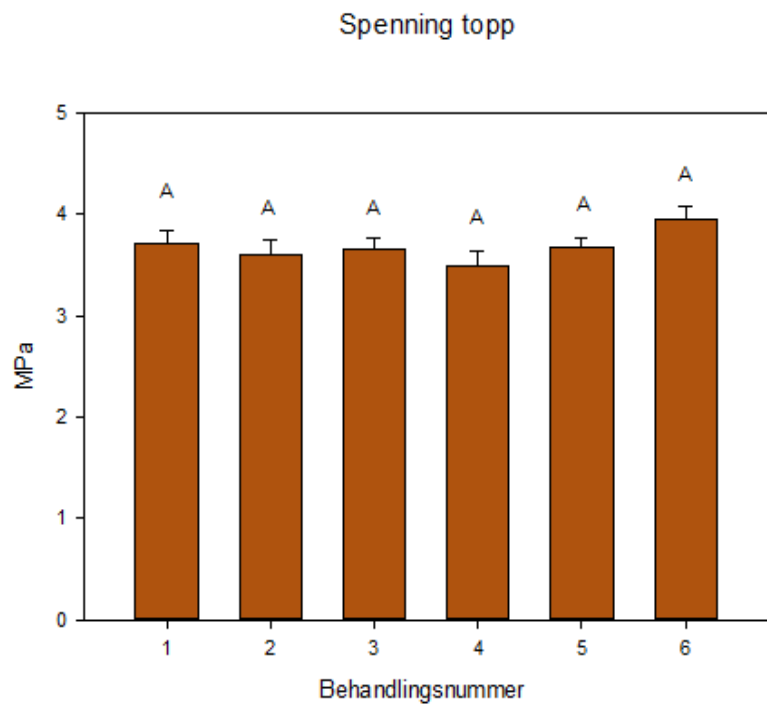
Figur 10: Diagrammet viser bladarealet i cm² ved de ulike gjødselbehandlingene. Søylor som deler bokstav er ikke signifikant forskjellige på 95%-nivå.

Det var ingen signifikante forskjeller i bladareal mellom de ulike nivåene av B og Ca (Figur 10). Av behandlingene med lav bor er bladarealet størst ved lav Ca, med 1281,5 cm², sammenlignet med lav B og middels Ca (2), og lav B og høy Ca (3) som hadde hhv. 1278 og 1278,7 cm² i snitt.

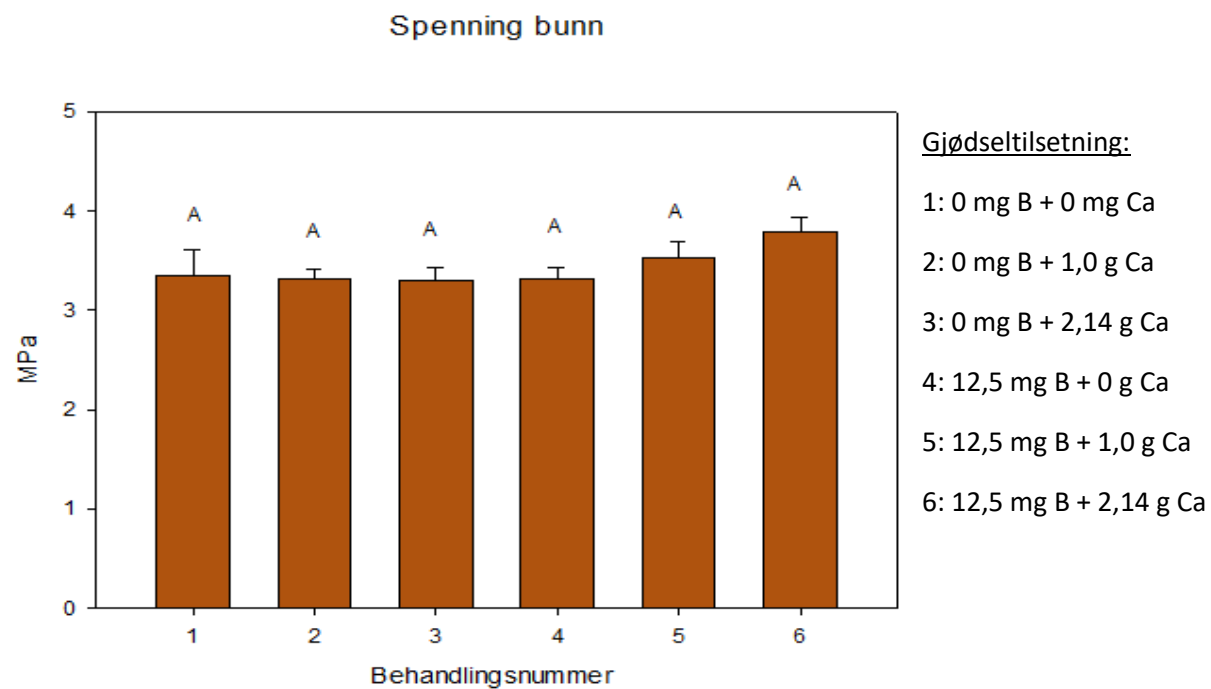
Også ved høy B (4-6) var det røttene ved lavest Ca-nivå (4) som hadde høyest snitt, med 1339,1 cm². Til sammenligning hadde høy B og middels Ca (5) 1278,9 cm² og høy B, høy Ca (6) 1319,2 cm²

Variansanalysen (Vedlegg 1) viser at ingen av faktorene i analysen hadde signifikant effekt på bladarealet.

3.5 Spenning



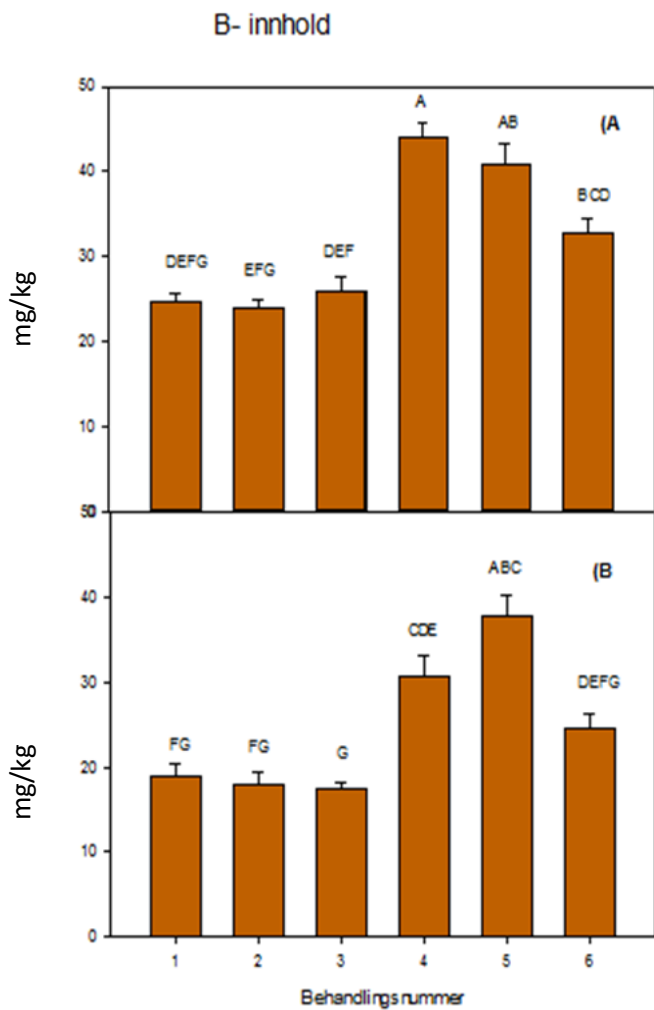
Figur 11: Diagrammet viser spenningen angitt i MPa i øvre del av gulrøttene ved de ulike gjødselbehandlingene. Søyler som deler bokstav er ikke signifikant forskjellige på 95%-nivå.



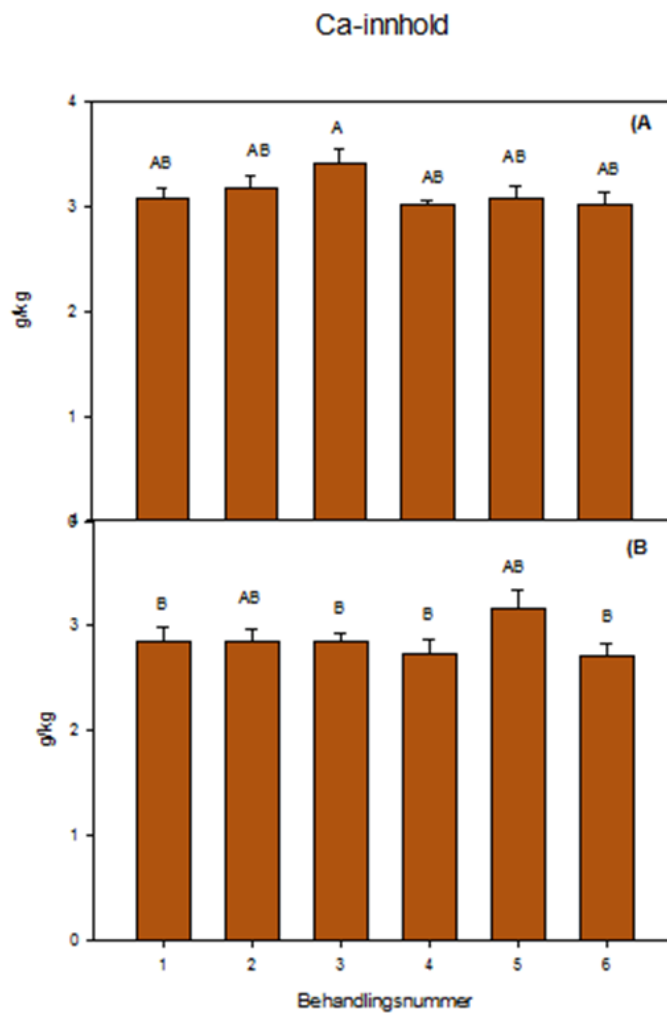
Figur 12: Diagrammet viser spenningen angitt i MPa i nedre del av gulrøttene ved de ulike gjødselbehandlingene. Søyler som deler bokstav er ikke signifikant forskjellige på 95%-nivå.

Heller ikke ved spenningsmålingene (Figur 11 og 12) kom det frem noen signifikante forskjeller, men det var likevel noe variasjon både i topp og spiss. I toppen (Figur 11) ble den største gjennomsnittlige spenningen målt til 3,94 MPa, hos røttene som hadde fått tilført høy B og høy Ca (6). Lavest spenning ble funnet ved høy B og lav Ca (4), som hadde 3,495 MPa. For røttene ved lav B og lav Ca (1), middels (2) og høy Ca (3) lå spenningen mellom 3,59 og 3,71 MPa.

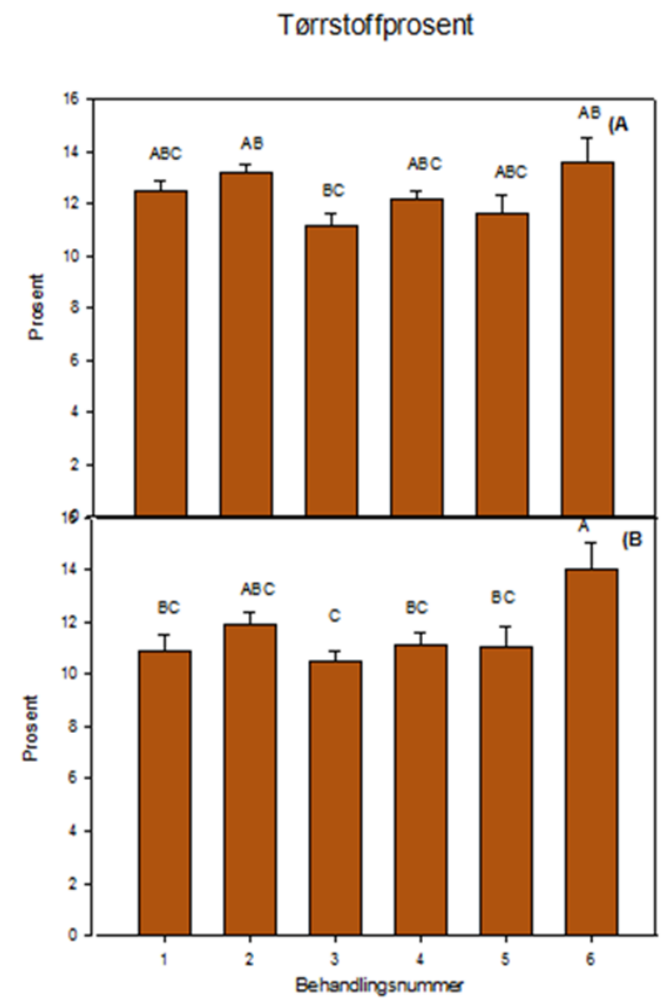
I likhet med spenningen i toppen av røttene var også spenningen i spissen (Figur 12) høyest ved tilførsel av høy B og høy Ca (6), med 3,79 MPa. Nest høyest spenning hadde røttene ved høy B og middels Ca (5), mens røttene ved gjødseltilsetning 1-4 lå jevnt mellom 3,35 MPa og 3,31 MPa. Variansanalysen for spenningen (Vedlegg 1) viser at ingen av faktorene i seg selv har signifikant effekt på spenningen ved 95% signifikansnivå ($P\text{-verdi} > 0,05$).



Figur 13: Diagrammet viser B-innholdet i gulrøttene angitt i mg/kg. Del A er verdiene for toppen av røttene, mens B er tuppen. Søylar som ikke deler bokstav er signifikant ulike.



Figur 14: Diagrammet viser Ca-innholdet i gulrøttene angitt i g/kg. Del A er verdiene for toppen av røttene, mens B er tuppen. Søylar som ikke deler bokstav er signifikant ulike.



Figur 15: Diagrammet viser tørrstoffprosent. A er verdiene for toppen av røttene, mens B er tuppen. Søylar som ikke deler bokstav er signifikant ulike.

3.6 B-innhold

Av figur 13A ser vi at det er store forskjeller på B-innholdet i toppen av røttene, mellom røttene med tilsatt lav B (1-3) og høy B (4-6). B-innholdet i røttene ved lav B (1-3) ligger mellom 24-26 mg/kg tørrstoff, mens det ved høy B (4-6) ligger mellom 32 og 44,09 mg/kg. Gulrøttene tilsatt høy B, lav Ca (4) og høy B, middels Ca (5) er signifikant forskjellige fra behandling 1-3.

Gjødseltilsetning:

1: 0 mg B + 0 mg Ca

2: 0 mg B + 1,0 g Ca

3: 0 mg B + 2,14 g Ca

4: 12,5 mg B + 0 g Ca

5: 12,5 mg B + 1,0 g Ca

6: 12,5 mg B + 2,14 g Ca

Figur 13B viser at det samme mønsteret følges også i spissen av røttene.

Verdiene her er noe lavere enn i toppen (13A), og her er det gjødseltilsetning høy B, middels Ca (5) som har høyest verdi (38 mg/kg). 13A og B viser begge at av de gjødselblandingene med høy B er det høy B og høy Ca (6) som har lavest verdi. Fra variansanalysen (Vedlegg 1) ser vi at faktorene posisjon, bornivå, kalsiumnivå og interaksjonen bornivå*kalsiumnivå har signifikante effekter på borinnholdet (P-verdier <0,05).

3.7 Ca-innhold

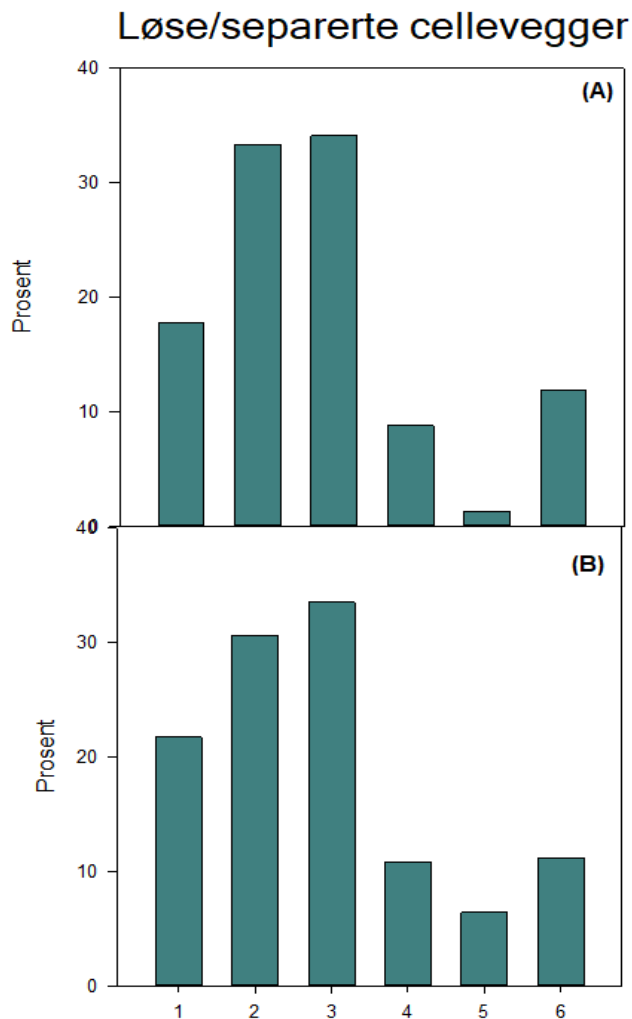
Figur 14 viser Ca-innholdet ved gjødselblanding 1-6 i toppen av røttene (A) og spissen (B), i gram/kg tørrstoff. Variasjonen i innhold er ikke like stor for Ca (Figur 14) som for B (Figur 13), og følger ikke samme mønster. I toppen varierte Ca-innholdet mellom 3,01 g/kg-3,41 g/kg, mens det i spissen lå mellom 2,7 og 3,164 g/kg. De eneste røttene som hadde over 2,85 g/kg var de med høy B og middels Ca (5), som lå på 3,16 g/kg Ca. Resultatene fra variansanalyse for Ca-nivå (Vedlegg 1) viser at ingen av faktorene i analysen hadde signifikant betydning basert på P-verdiene (P>0,05).

3.8 Tørrstoffprosent

Tørrstoffprosenten (Figur 15 A og B) viser noe variasjon, både innad i topp og spiss, og mellom de to posisjonene. Fra figuren (15) ser vi at det er høyest tørrstoffprosent ved høy B og høy Ca (6) både i topp og spiss. I spissen av rota (Figur 15B) er tørrstoffprosenten signifikant høyere ved gjødseltilsetning høy B, høy Ca (6) sammenlignet med tilsetning 1,3, 4 og 5. I toppen (15A) er det derimot ingen signifikante forskjeller mellom B- og Ca-nivåene selv om tørrstoffprosenten varierer mellom 11,13-13,52%. Variansanalysen (Vedlegg 1) viser at posisjon har signifikant effekt (P-verdi =

0,037). I tillegg til at posisjonen har effekt påvirker også kalsiumnivå og kalsiumnivå*bornivå tørrstoffprosenten, med P-verier på henholdsvis 0,027 og 0,002.

3.9 Løse/separerte cellevegger



Figur 16: A) Prosentandel løse/separerte cellevegger i øvre del av gulrøttene. B) Prosentandel løse/separerte cellevegger i nedre del av gulrøttene. Basert på bilder tatt i konfokalmikroskop.

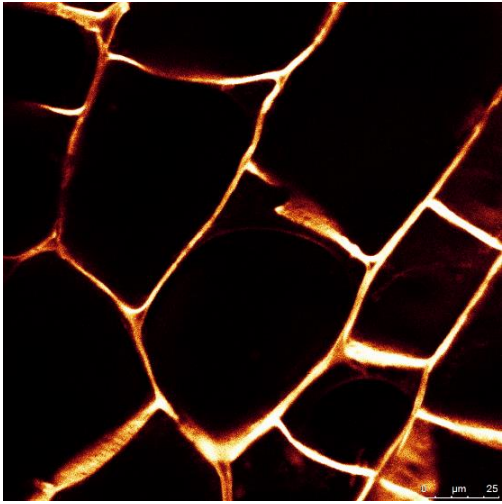
(10,8-11,2%), med 6,4% som laveste verdi.

Figur 16A viser at det er stor forskjell i prosentandelen løse/separerte cellevegger ved de ulike B- og Ca-nivåene i øvre del av røttene. Andelen er stigende fra gjødseltilsetning 1-3, som er lav B. Gjødseltilsetning 1: lav B og lav Ca hadde 17,8% løse/separerte cellevegger, mens lav B, middels Ca (2) og lav B, høy Ca (3) hadde 33 og 34%. Det samme mønsteret gjelder spissen av røttene (fig 16B).

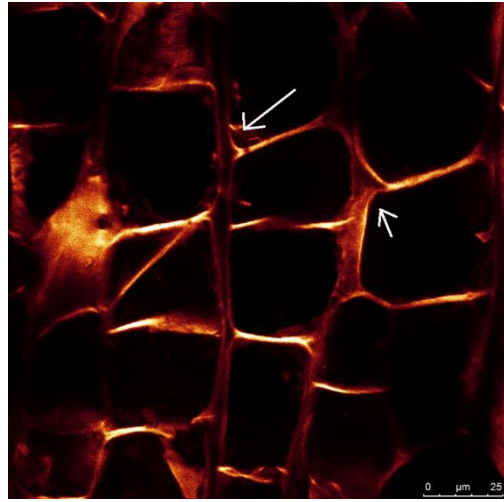
Ved nivåene med høy tilsatt B (4-6) er det tydelig lavere andel løse/separerte cellevegger enn ved lav B (1-3). 16A viser at prosentandelen ved høy B (4-6) ligger mellom 8,8% og 11,9%, der gjødselnivå 5 (høy B, middels Ca) har desidert lavest andel (1,3%). Dette mønsteret kan også sees i figur 16B. Her er dog prosentandelen noe høyere

Figur 16 A og B er basert på analysene av mikroskopbildene Figur 17-20 er typiske eksempler på. Figur 17 viser et typisk bilde uten synlig separerte cellevegger eller løse hjørner, slik man ønsker at celler skal se ut. Dette bildet er tatt fra en rot tilsatt høy B og middels Ca (5), som tydelig hadde lavest prosentandel i forhold til de andre B- og Ca-tilsetningene (fig 16).

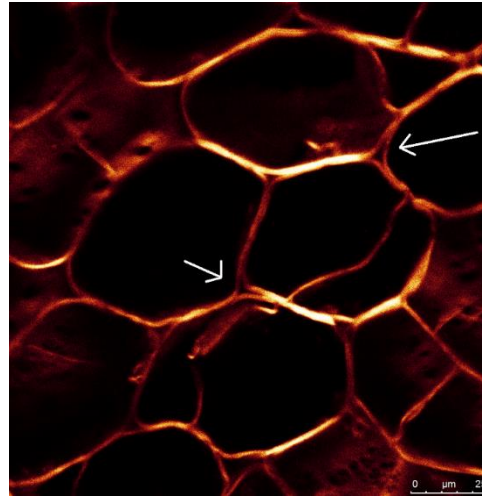
Figur 18 viser, som pilene peker på, separerte cellevegger og løse hjørner. Rota dette bildet er tatt fra fikk tilført lav B og lav Ca (1). Figur 19 og 20 viser hhv. bilder av røtter ved behandling lav B og middels Ca (2), og lav B og høy Ca (3), med løse hjørner og separerte cellevegger. Som figur 16 viser var det disse behandlingene som hadde flest løse hjørner og separerte cellevegger.



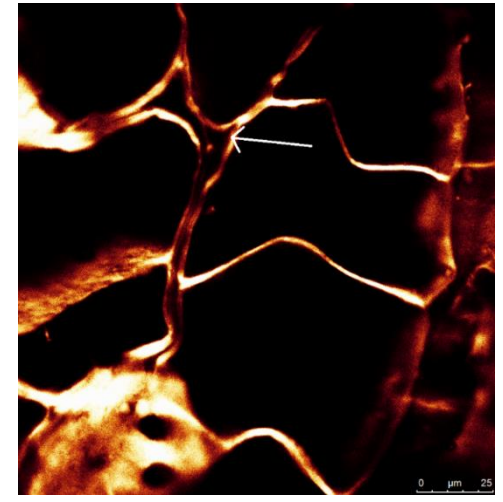
Figur 17: Bilde av snitt fra gjødselnivå 5 (høy B og middels Ca). Dette bildet har ikke løse/separerte cellevegger.



Figur 18: Bilde av snitt fra gjødselnivå 1 (lav B og lav Ca). Pilene peker på både løse hjørner og separerte cellevegger.



Figur 19: Bilde av snitt fra gjødselnivå 2 (lav B og middels Ca) Pilene peker på løse koblinger i hjørnene.



Figur 20: Bilde av snitt fra gjødselnivå 3 (lav B og høy Ca). Pilen peker på typisk separerte cellevegger.

4. Diskusjon

4.1 Lengde og diameter

Verken lengde (Figur 6) eller diameter (Figur 7-8) hadde signifikante forskjeller basert på Ca- og B-tilførselen. Størst variasjon på diameter var det i rotspissen (Figur 8), men her var det minst diameter i snitt ved røttene tilført høy B (1-6). Dette står i kontrast til forsøk gjennomført av Subba mfl (2017), da de fant at tilført B gav en liten økning i både lengde og diameter på gulrot. Også forsøk gjennomført av Singh mfl (2010) viste at det var en signifikant økning i diameter og lengde ved tilsetning av B/Ca eller både B og Ca.

4.2 Spenning

Spenningsmålingene viste ingen signifikante forskjeller basert på Ca- og B-tilsetningene, men det var noe høyere spenning i røttene ved høy B og høy Ca (6) både i toppen og spissen (Figur 11 og 12) med hhv 3,94 MPa og 3,79 MPa. I toppen var laveste spenning 3,49 MPa, da ved høy B og lav Ca (4), mens det i spissen var lik ved lav B, høy Ca (3) og høy B, lav Ca (4) med 3,31 MPa.

Forsøk gjennomført av Singh mfl (2010) viste at motstanden mot brudd ble forsterka ved økt B-nivå, og dette ble relatert til «cross-linkingen av RG-II». Det samme forsøket fant ikke signifikante mekaniske effekter ved høyere Ca-nivåer. Selv om forsøket denne oppgaven bygger på viste noe høyere spenning ved høy B og høy Ca rotas i topp og bunn var den ikke signifikant, og vi kan ikke konkludere med at det var økte nivåer av Ca som forårsaket denne lille økningen.

4.3 Bladareal

Forsøket viste små forskjeller i bladarealet (Figur 10). Bladarealet var høyere i gulrøttene som hadde fått høy B og lav Ca-tilførsel, men ikke betydelig. Til forskjell har det for eksempel hos melon vist seg at høy B-tilførsel har gitt lavere bladareal (Goldberg mfl., 2003). Forsøk på gulrot har vist at det ble et noe høyere bladantall hos gulrot med tilsatt bor (Subba mfl., 2017). Bladareal ble ikke målt direkte i dette studiet, men når bladantallet økte er det naturlig å anta at bladarealet også var høyere. Det er også mulig at det bare var flere, men små blader.

4.4 Tørrstoffprosent

Ved å sammenligne tørrstoffprosenten i bladverket (Figur 9) og tørrstoffprosentene i toppen og spissen av røttene (Figur 15) ser vi at det er høyere tørrstoffprosent i bladverket enn i selve røttene. I bladverket varierte tørrstoffprosenten fra 15,81-18,91%, mens den i toppen av rota var mellom 11,13-13,56%, og i spissen 10,49-14,02%. Dette stemmer overens med resultater fra forsøk utført av Evers (1988), som også fant at tørrstoffprosenten i bladverket var høyere enn i selve rota. Tørrstoffprosenten fra deres forsøk var for bladverket 11-14,4%, og for selve rota 9,8-10,2%, noe lavere enn fra forsøket i denne oppgaven

Tilførsel av B har vist seg å ha positiv effekt på tørrstoffinnholdet i flere vekster som gulrot, bomull, peanøtter m.m (Ahmed mfl., 2010; Subba mfl., 2017). I forsøket gjennomført av Ahmed mfl (2010) ble det påvist at tørrstoffinnholdet i bomull økte lineært med økt B-tilgang opptil 2 kg B pr dekar. Den største forskjellen vi kan se i vårt forsøk er vist i Figur 15, og er at det både i toppen og spissen av røttene er høyest tørrstoffprosent ved høy B og høy Ca (6). Forskjellen er størst i spissen (15A). Siden tørrstoffprosenten er høyest ved denne Ca- og B-tilførselen er det grunn til å tro at Ca også spiller en viktig rolle for tørrstoff. At Ca virker positivt på tørrstoff er tidligere vist i planteforsøk (F.eks Favaro mfl., 2007), og dette kan komme av at Ca bidrar til opptak av andre næringsstoffer (deriblant B) i rett mengde. Singh mfl (2010) fant at en økning i B og/eller Ca-tilførselen førte til økning i tørrstoffprosenten.

Som tidligere nevnt, ble sprekkdannelse inn til sentralsylinderen i gulrota lenge antatt å være et symptom på B-mangel (Aasen, 1997). Imidlertid, er nå, B-mangel sett på som en lite sannsynlig årsak til oppsprekkingen (Tajet mfl., 2019). Det er kjent at sprekking kan komme av ujevn vanntilførsel og fuktighetsforhold, som igjen påvirker tørrstoffprosenten. Forsøk har vist at gulrøtter er mest utsatt for sprekking nattetid, særlig ved daggry (Gracie mfl., 2004). Redusert veksthastighet som følge av perioder med vannmangel fulgt av en umiddelbar, høy utvidelse av cellene og vekst etter vanning er registrert. Hos frukt har tørke etterfulgt av vanning, og dermed plutselig rask vekst vist seg å være en utløsende faktor for sprekking (Gracie mfl., 2004).

4.5 Bor- og kalsiuminnhold

B-innholdet i gulrøttene fra dette forsøket varierte mellom 17,3 og 44 mg/kg tørrstoff (Figur 13). Dette er i det lavere sjiktet for hva som regnes som normalt B-innhold i gulrot, som er 30-80 mg/kg tørrstoff (Aasen, 1997). At verdiene ligger i det lavere sjiktet kan tyde på at det burde vært tilsatt mer B i gjødselløsningene uten at det ville ført til forgiftningssymptomer. Resultater fra andre forsøk (Subba mfl., 2017) har vist at sterk B-tilførsel kan gi økt andel sprukne røtter, særlig ved lav K-tilførsel. Et symptom på B-forgiftning er kan være hemming av celleveggutvidelse (Loomis og Durst, 1992), og sprukne røtter kan da skyldes denne forstyrrelsen.

Det er tydelig at B-innholdet i røttene er høyere i behandlingene som ble tilført B (4-6), noe som var forventet. Selv om forskjellen mellom topp og spiss ikke ofte var signifikant var det en ganske tydelig forskjell på innholdet, med gjennomgående høyere verdier i toppen av rota for alle behandlingene. At det er en forskjell, selv om den er liten kan forstås ved at B i hovedsak følger vannstrømmen i planten, og at det er mobilt innad i planten. Denne mobiliteten innad i floemet avhenger av sukker- eller polyoltransportmolekylene i den spesifikke planten (Blevins og Lukaszewski, 1998). I gulrot er mannitol et slikt sukkeralkohol (polyol).

Både i topp og spiss gikk B-innholdet ned ved høy B og høyest tilsatt Ca (6). Ca sees på som en faktor som påvirker B-tilgjengelighet for planter (Kanwal mfl., 2008). I tillegg til å kunne endre pH i jorda fungerer det som en B-adsorbent, og kan dermed hemme plantenes opptak av bor. Forsøk på blant annet mais har vist at det tas opp mindre B der det har blitt tilført store mengder Ca (Kanwal mfl., 2008; Gupta mfl., 1985), og det vi ser ut fra B-innholdet i fig 13 A og B kan stemme med disse funnene. B-mangel vil videre kunne påvirke lokaliseringen av Ca i planten, og man kan derfor si at det er viktig med en balansert tilførsel av B og Ca ved dyrking. Forsøk viser at B-mangel fører til en økning i Ca^{2+} i cytosol, samt uttrykkning av gener involvert i Ca^{2+} - signaler i røttene hos *Arabidopsis thaliana* (Quiles-Pando mfl., 2013).

Kalsiuminnholdet var generelt litt høyere i toppen av røttene enn i spissen (Figur 14). Dette stemmer overens med resultater fra tidligere forsøk som har vist at Ca følger, og er avhengig av vanntransporten i planten (Gilliam mfl., 2011). Ved kjemisk analyse av bladverket er det derfor være rimelig å anta at Ca-innholdet ville vært enda høyere her enn i selve rota.

Noe overraskende var det at i spissen av røttene, ved høy B og høy Ca (6) var et tydelig lavere Ca-innhold enn ved høy B og middels Ca (5). Ved gulrot dyrking uten ideelt regulert klima kan for høy luftfuktighet spille negativt inn på opptak av Ca grunnet dets avhengighet av transpirasjon for å transporteres med vannstrømmen i planten. Dette forsøket ble dog gjennomført i fytotronrom med helt kontrollerte forhold, så variasjon i luftfuktighet er lite trolig en forklaring på denne forskjellen. Ujevn vanntilgang, sur jord, overdreven nitrogen gjødsling eller konkurranse med andre stoffer (natrium, aluminium) som det kan være mye av i jord, er faktorer som kan påvirke Ca-opptaket ved dyrking på friland. Heller ikke disse faktorene kan forklare denne forskjellen da alle røttene hadde samme vekstmedium, samme vannmengde gjennom hele forsøksperioden og næringsløsningene hadde samme pH. Det kan derimot tenkes at utfelling av Ca i gjødselblandingen (dunk 6) har ført til at mindre Ca har kommet frem til planten gjennom dryppslangesystemet. For å unngå stor grad av utfelling ble det benyttet pumper for å opprettholde god sirkulasjon i dunkene med næringsløsning, men det ble likevel noe utfelling i dunkene med høy Ca-konsentrasjon.

4.6 Løse/separerte cellevegger

Det var stor forskjell på mengde løse eller separerte cellevegger mellom de ulike Ca- og B-nivåene (Figur 16). Færrest var det ved toppen av røttene ved høy B og middels Ca (5), og forskjellen var stort mellom lav B (1-3) og høy B (4-6).

Det var samme mønster i rotspissen, men prosentandelen var generelt noe høyere (16B). At det for både topp og spiss var tydelig lavere andel løse/separerte cellevegger ved høy B (4-6) stemmer overens med teori om bors rolle i dannelse av dimeriske komplekser i celleveggen (Fleischer mfl., 1998) og resultater fra forsøk utført av Singh mfl (2010).

I toppen av gulrøttene var det høyest B-innhold (Figur 13A) ved høy B og lav Ca-gjødsling (4), samtidig som det var nest minst løse/separerte cellevegger. I rotspissen (Figur 13A) var det høyest B-innhold ved høy B og middels Ca (5), og det var minst andel løse/separerte cellevegger ved samme gjødseltilførsel. Av røttene som fikk tilsatt høy B (4-6) var det størst andel løse/separerte cellevegger ved høy Ca-tilførsel (6), som også er den gjødseltilsetningen som hadde lavest B-innhold (Figur 13) av røttene med høy B (4-6). Dette kan være en bekreftelse på at for høyt Ca-innhold er negativt, da det kan hemme B-opptak og dermed føre til en større andel løse/separerte cellevegger.

5. Konklusjon

Det ble ikke funnet signifikante forskjeller på lengde, tørrstoffprosent i bladverket, diameter, bladareal eller spenning mellom de ulike B- og Ca-nivåene. Det var noe variasjon også i Ca-innhold, men ikke i like stor grad, og med et så tydelig mønster som B-innholdet. Det ble funnet signifikante forskjeller i B-innhold i røttene, med tydelig høyere innhold i røttene som hadde fått tilført høy B. Variasjonen i B-innhold ved lav, middels og høy Ca tyder på at Ca har en rolle når det kommer til opptak av B.

Andelen separerte/løse cellevegger var tydelig lavere i røttene tilført høy B, og aller lavest ved høy B og middels Ca, både i toppen og spissen. Ut fra forsøket er det en tydelig effekt av B- og Ca-gjødsling i gulrot, og da særlig på løse/separerte cellevegger.

For å øke sikkerheten i resultatene kan det gjennomføres nye og større forsøk, med flere røtter og gjentak. Dersom det skulle gjennomføres liknende forsøk ville det være interessant å øke B- og Ca-nivåene, og se om det fører til større forskjeller i spenning. Større differanse mellom B- og Ca-nivåene vil også muligens føre til større forskjeller. Å utvide et lignende forsøk til å gjelde lagring over lengre perioder hadde også vært interessant, for å direkte se på hvordan B- og Ca-gjødsling påvirker lagringskvalitet og forekomst av tuppråte.

Analysemessig hadde det vært interessant å måle andre næringsstoffer i tillegg til B og Ca, for eksempel Kalium, Magnesium og Fosfor. Dette for å se nærmere på om/hvordan opptak av disse påvirkes av B og Ca, og omvendt, og hvilken sammenheng disse næringsstoffene har hva gjelder cellevegg hos gulrot. Forsøk gjennomført av Singh mfl., (2010) viste at særlig B hadde effekt på opptak og akkumulering av disse mineralene. En slik forstyrrelse i mineralbalansen kan føre til at gulrøttene blir mer utsatt for osmotiske skader, samt direkte mangelsykdommer. Mangelsykdommer og osmotiske skader kan gjøre røttene svakere, og føre til lettere angrep av råter, samt svekket lagringsevne.

Referanseliste

- Aarnes, H (2002). *Plantefysiologi- plantenes stoffomsetning, vekst og utvikling* [Internett]. Oppdatert 2006. Tilgjengelig fra: < <https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/plfys/plantefys.pdf> > [Lest 16.03.2019]
- Aasen, I (1997). *Mangelsjukdommar*. s. 35-51. Oslo: Landbruksforlaget
- Abbas, H. K., Mirocha, C. J., Gunther, R. (1988). *Mycotoxins produced by toxic Fusarium isolates obtained from agricultural and nonagricultural areas (Arctic) in Norway. Mycopathologica*, 105(3); 143-151.
- Ahmed, N., Abid, M., Ahmad, F., Ullah, M.A., Javaid, Q., Ali, M.A. (2010). *Impact of boron fertilization on dry matter production and mineral constitution of irrigated cotton. Pakistan journal of botany*, 43(6): 2903-2910.
- Aoki, T., O'Donnell, K., Geiser, D. M. (2014). *Systematics of key phytopathogenic Fusarium species: current status and future challenges. Journal of general plant pathology*, 80(3); 189-201.
- Asalf, B., Nordskog, B., Indergård, E., Heltoft, P., Guren, G., Thomsen, M. (2018). *The 12th international epidemiology workshop (IEW12)*. Juni 10-14, Lillehammer, Norge. NIBIO 4 (9), 50
- Balvoll, G. (1999). *Grønnsakdyrking på friland*. 6. utg. s. 36-229. Oslo: Landbruksforlaget
- Baranska, M., Baranski, R., Schulz, H., Nothnagel, T. (2006). *Tissue-specific accumulation of carotenoids in carrot roots. Planta* 224 (5) 1028-1037.
- Blevins, D.G., Lukaszewski, K.M. (1998). *Boron in plant structure and function. Annual review of plant physiology and plant molecular biology*, 49; 481-500.
- Bond, R. (2016). *Carrot loss during primary production* [Masteroppgave]. Sted: Hedmark university of applied sciences
- Brown, P. H., Shelp, B. J. (1997). *Boron mobility in plants. Plant and soil*, 19: 85-101.
- Brown, P. H., Bellaloi, N., Wimmer, M. A., Bassil, E. S., Ruiz, J., Hu, H., Pfeffer, H., Dannel, F., Römheld, V. (2002). *Boron in plant biology. Plant biology*, 4(2) 205-223.
- Caffal, K.M., Mohnen, D. (2009). *The structure, function, and biosynthesis of plant cell wall pectic polysaccharides. Carbohydrate research* 344; 1879-1900.
- Camacho-Cristóbal, J. J., Rexach, J., González-Fontes, A. (2008). *Boron in plants: deficiency and toxicity. Journal of integrative plant biology*, 50 (12) 1247-1255.
- Clapham, D. E. (1995). *Calcium signaling*. Cell press, 80 (2), 159-268.
- Deacon, J. (2006). *Fungal biology*. 4 utgave. Blackwell publishing, Oxford
- Dordas, C. (2008). *Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture. A review. Agronomy for sustainable development*, 28 (1), 33-46.
- Dypedal, H. (1996). *Grønnsaker på friland*. s. 52-54 Oslo: Landbruksforlaget
- Evers, A-M. (1988). *Effects of different fertilization practices on the growth, yield and dry matter content of carrot. Journal of agricultural science in Finland*, 60(2): 135-152.
- Evert, R. F., Eichorn, S. E. (2013). *Raven biology of plants*. 8. utg. New York: W. H. Freeman and company.

- Farh, M. E-A., Kim, Y-J., Kim, Y-J., Yang, D-C. (2017). *Cylindrocarpon destructans/Ilyonectria radicola-species complex: Causative agent of ginseng root-rot disease and rusty symptoms*. **Journal of ginseng research**, 42; 9-15.
- Favaro, S.P., Neto, J.A.B., Takahashi, H.W., Miglioranza, E., Ida, E.I. (2007). *Rates of calcium, yield and quality of snap bean*. **Scientia Agricola**, 64(6); 616-620.
- Fleischer, A., Titel, C., Ehwald, R. (1998). *The boron requirement and cell wall properties of growing and stationary suspension-cultured Chenopodium album L. cells*. **Plant physiology**, 117(4); 1401-1410.
- Franke, U., Einarson, E., Andrésen, N., Svanes, E., Hartikainen, H., Mogensen, L. (2013). *Kartläggning av matsvinnet i primärproduktionen*. Nordiska ministerrådet 2013
- Gilliam, M., Dayod, M., Hocking, B.J., Xu, B., Conn, S.J., Kaiser, B.N., Leigh, R.A., Tyerman, S.D. (2011). *Calcium delivery and storage in plant leaves: exploring the link with water flow*. **Journal of experimental botany**, 62(7) 2233-2250.
- Govasmark, E. (2008). *Bedre tilgang av mikronæringsstoff til grønnsaker ved økologisk dyrking på jord med høy pH*. Bioforsk rapport 3 (85)
- Goldbach, H. E., Wimmer, M. A. (2007). *Review article: Boron in plants and animals: Is there a role beyond cell-wall structure?* **Journal of plant nutrition and soil science**, 170; 39-48.
- Goldberg, S., Shouse, P.J., Lesch, S.M., Grieve, C.M., Poss, J.A., Forster, H.S., Suarez, D.L. (2003). *Effect of high boron application on boron content and growth of melons*. **Plant and soil**, 256; 403-411
- Gracie, A.J., Brown, P.H. (2004). *Effects of climatic factors, fluctuating water availability and partial defoliation on the diurnal radial growth pattern of carrot (Daucus carota) taproots*. **Australian journal of experimental agriculture**, 44(12); 1231-1240.
- Grofondet.no. (u.å). *Forskning skal gi bedre gulrotkvalitet*. [Internett]. Tilgjengelig fra: <<http://www.grofondet.no/aktuelle-prosjekter/forskning-skal-gi-bedre-gulrotkvalitet/>> [Lest 07.04.2019]
- Gronnsmak. (u.å). *Dyrking av gulrot*. [Internett]. Tilgjengelig fra: <<http://gronnsmak.blogspot.com/p/dyrking-av-gulrot.html>> [Lest 28.01.2019]
- Gupta, U.C., Jame, Y.W., Campbell, C.A., Leyshon, A.J., Nicholaichuk. (1985). *Boron toxicity and deficiency: A review*. **Canadian journal of soil science**, 65(3); 381-409.
- Gupta, U.C., Cutcliffe, J.A. (1985). *Boron nutrition of carrots and table beets grown in a boron deficient soil*. **Communications in soil science and plant analysis**, 16(5); 509-516.
- Guren, G. (2016). *Kartlegging av «tuppråte» og andre lagersjukdommer i gulrot*. [Internett]. Norsk landbruksrådgivning. Tilgjengelig fra <<https://www.nlr.no/sok?s=kartlegging+av+tuppr%C3%A5te>> [Lest 07.04.2019].
- Halleen, F., Schroers, H. J., Groenwald, J. Z., Crous, P. (2004). *Novel species of Cylindrocarpon (Neonectria) and Camylocarpon gen. nov. associated with black foot disease of grapevines (Vitis ssp.)*. **Studies in mycology**. 50(2); 431-455.
- Heggen, H.E., Hofsvang, T., Ørpen, H.M. (2003). *Plantevern i grønnsaker. Integrert bekjempelse*. Oslo: Landbruksforlaget.
- Hermansen, A., Wanner, L., Nærstad, R., Klemsdal, S. (2012). *Detection and prediction of post harvest carrot diseases*. **European Journal of Plant Pathology** 133 (1);211-228.
- Hermansen, A. (15. april 2011). *Klosopp*, i: NIBIO Plantevernleksikonet [Internett]. NIBIO. Tilgjengelig fra: <<https://www.plantevernleksikonet.no/l/oppslag/1270/>> [Lest 30.03.2019]
- Hermansen, A., Stensvand, A., Bøvre, J. (22 Februar 2018). *Gråskimmel*, i: NIBIO Plantevernleksikonet [Internett]. NIBIO. Tilgjengelig fra: <<https://www.plantevernleksikonet.no/l/oppslag/466/>> [Lest 30.03.2019]

- Holz, T. (u.å). *Vekstskifte i økologiske grønnsaker*. Norsk landbruksrådgivning. Tilgjengelig fra: <https://www.nlr.no/media/2993488/ffvekstskifte-2016.pdf> > [Lest 08.04.2019]
- Houben, K., Jolie, R.P., Fraeye, I., Van Loey, A.M., Hendrickx, M.E. (2011). *Comparative study of the cell wall composition of broccoli, carrot and tomato: structural characterization of the extractable pectins and hemicelluloses*. **Carbohydrate research** 346(9); 1105-1111.
- Ismaiel, A. A., Papenbrock, J. (2015). *Mycotoxins: Producing fungi and mechanisms of phytotoxicity*. **Agriculture**, 5(3); 492-537.
- Jang, C. S., Lim, J. H., Seo, M. W., Song, J. Y., Kim, H. G. (2010). *Direct detection of *Cylindrocarpon destructans*, root rot pathogen of ginseng by nested PCR from soil samples*. **Mycobiology**, 38(1); 33-38.
- Jones Jr, J. B. (2003). *Agronomic handbook. Management of Crops, Soils and their Fertility*. S. 320-326. CRC press: Florida.
- Kanwal, S., Rahmatullah, T.A., Maqsood, M.A., Abbas, N. (2008). *Critical ratio of calcium and boron / maize shoot for optimum growth*. **Journal of plant nutrition**, 31(9); 1535-1542.
- Khan, F. A., Narayan, S., Prajapati, M. K., Narayan, R. (2017). *Calcium deficiency disorders and their management in vegetables*.
- Koike, S.T., Gladders, P., Paulus, A.O. (2007). *Vegetable diseases*. Manson publishing Ltd, London
- LOG.no. (2013). *Gulrot romance piller*. [Internett]. Tilgjengelig fra: <https://www.log.no/produkt/gulrot-romance-piller/> [Lest 17.01.2019].
- Loomis, W.D., Durst, R.W. (1992). *Chemistry and biology of boron*. **BioFactors** 3; 229–239.
- Marschner, P. (2012). *Marschners mineral nutrition of higher plants*. 3. utg. London: Elsevier press
- Matoh, T., Ochiai, K. (2005). *Distribution and partitioning of newly taken-up boron in sunflower*. **Plant and soil**, 278; 351-360.
- Mittenzwei, K., Milford, A.B., Grønlund, A. (2017). *Notat: Status og potensial for økt produksjon og forbruk av vegetabilske matvarer i Norge*. NIBIO 6. april 2017. Tilgjengelig fra: < https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/bitstream/handle/11250/2451799/NOTAT_20170406-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [Lest 23.02.2019]
- Nable, R.O., Bañuelos, G.S., Paull, J.G. (1997). *Boron toxicity*. **Plant and soil**, 193(2); 181-198.
- Nalim, F. A., Samuels, G. J., Wijesundera, R. L., Geiser, D. M. (2011). *New species from the *fusarium solani* species complex derived from perithecia and soil in the old world tropics*. **Mycologica** 103(6); 1302-1330.
- Nibio (u.å.). *Gjødslingshåndbok*. [Internett]. Nibio: Apelsvoll. Tilgjengelig fra: < http://www.bioforsk.no/ikbViewer/page/prosjekt/tema/artikkel?p_dimension_id=19190&p_menm_id=19211&p_sub_id=19191&p_document_id=47256&p_dim2=1960 > [Lest 21.03.2019].
- Nærstad, R., Le, V.H. (u.å.) *Tuppråte*. [Internett]. Tilgjengelig fra: < <https://docplayer.me/52694509-Tupprate-ragnhild-naerstad-og-vinh-hong-le.html> > [Lest 21.03.2019]
- Opplysningskontoret for frukt og grønt. (2017). *Totaloversikten 2017*. Langhus: Opplysningskontoret for frukt og grønt. Tilgjengelig fra < <https://www.frukt.no/globalassets/materiell/totaloversikten/totaloversikten2017-hyperlenker-korr2.pdf> >

- Pandey A.N, Verma, P. (2017). *Boron deficiency and toxicity and their tolerance in plants: A review*. **Journal of global biosciences**, 6(4); 4958-4965.
- Pollard, A. T., Okubara, P. A. (2018). *Real-time PCR quantification of *Fusarium avenaceum* in soil and seeds*. **Journal of microbiological methods**, 157; 21-30.
- Princi, M. P., Lupini, A., Arantini, F., Longo, C., Mauceri, A., Sunseri, F., Abenavoli, M. R. (2016) *Boron toxicity and tolerance in plants*. I: Ahmad, P. red. Plant metal interaction. Elsevier inc, s. 115-147.
- Quiles-Pando, C., Rexach, J., Navarro-Cochicoa, M.T., Camacho-Cristóbal, J.J., Herrera- Rodríguez, M.B., González-Fontes. (2013). *Boron deficiency increases the levels of cytosolic Ca^{2+} and expression of Ca^{2+} - related genes in *Arabidopsis thaliana* roots*. **Plant physiology and biochemistry** 65; 55-60.
- Rahman, M., Punja, z. K. (2005). *Factors influencing development of root rot on ginseng caused by *cylindrocarpon destructans**. **Phytopathology** 95(12); 1381-1390.
- Ryden, P., Sugimoto-Shirasu, K., Smith, A. C, Findlay, K., Reiter, WD., McCann, M. C. (2003). *Tensile properties of *Arabidopsis* cell walls depend on both a Xyloglucan cross-linked microfibrillar network and Ranamnogalacturonan II-Borate complexes*. **Plant Physiology** , 132 (2); 1033-1040.
- Satoh, S. (1998). *Functions of the cell wall in the interactions of plant cells: analysis using carrot cultured cells*. **Plant cell physiology**, 39(4); 361-368.
- Seljåsen, R., Kristensen, H.L., Lauridsen, C., Wyss, G.S., Kretzschmar, U., Birlouez-Aragone, I., Kahl, J. (2013). *Quality of carrots as affected by pre- and postharvest factors and processing*. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 93; 2611-2626.
- Shorrocks, V.M. (1997). *The occurrence and correction of boron deficiency*. **Plant and soil**. 193; 121-148.
- Singh, D.P., Liu, L.H., Øiseth, S.K., Beloy, L.L., Gidley, M.J., Day, Li. (2010). *Influence of boron on carrot cell wall structure and its resistance to fracture*. **Journal of agricultural and food chemistry**, 58; 9181-9189.
- Siddiqui, M.H., Mohammas, F., Khan, M.N., Al-Wahaibi, M.H., Bahkali, A.H.A. (2010). *Nitrogen in relation to photosynthetic capacity and accumulation of osmoprotectant and nutrients in *Brassica* genotypes grown under salt stress*. **Agricultural sciences in China**, 9(5); 671-680.
- Solberg, S. Ø. (2016a). *Gulrot*. [Internett] Utgivelsessted: Agropub. Tilgjengelig fra <<https://www.agropub.no/fagartikler/gulrot>> [Lest 24.01.2019].
- Solberg, S. Ø. (2016b). *Jordarbeiding, såing og dyrkingsopplegg for gulrot*. [Internett] Utgivelsessted: Agropub. Tilgjengelig fra: <<https://www.agropub.no/fagartikler/jordarbeiding-saing-og-dyrkingsopplegg-for-gulrot>> [Lest 24.01.2019.9].
- Solberg, S.Ø (2016c). *Hvordan gulrot blir påvirka av vekstskifte*. [Internett] Oppdatert 05.07.2017. Agropub. Tilgjengelig fra: <https://www.agropub.no/fagartikler/gulrot-og-hvordan-de-blir-pavirka-av-vekstskifte> > [Lest 08.04.2019].
- Solberg, S., Bysveen K. (2015). *Gulrot*. [Internett]. Norsk landbruksrådgivning Viken. Tilgjengelig fra: <<https://www.nlr.no/media/2993476/gulrot.pdf>> [Lest 28.01.2019].
- Somerville, C., Bauer, S., Brininstool, G., Facette, M., Hamann, T., Milne, J., Osborne, E., Paredez, A., Persson, S., Raab, T., Vorwerk, S., Youngs, H. (2004). *Toward a systems approach to understanding plant cell walls*. **Science**, 306(5705); 2206-2211.

- Statistisk sentralbyrå. (2018). *10507: Avling og areal, etter hagebruksvekst, statistikkvariabel og år*. [Internett]. Oslo: Statistisk sentralbyrå. Tilgjengelig fra: <<https://www.ssb.no/statbank/table/10507/tableViewLayout1/>> [Lest 24.01.2019].
- Strøm, M. (2013). *Betydning av kalsium for plantekvaliteten*. [Internett]. Oppdatert 04.03.2015). NLR viken. Tilgjengelig fra: < <https://veksthus.nlr.no/fagartikler/18874/> > [Lest 06.04.2019].
- Subba, K.S., Chattopadhyay, S.B., Mondal, R., Dukpa, P. (2017). *Carrot root production as influenced by potassium and boron*. **Crop res.**, 52; 41-44.
- Tadesse, B.A., Nordskog, B. (19. desember 2017). *Fusariumrøte i gulrot*, i NIBIO Plantevernleksikonet [Internett]. NIBIO. Tilgjengelig fra: < <https://www.plantevernleksikonet.no/l/oppslag/1880/> > [Lest 30.03.2019]
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., Murphy, A. (2015). *Plant physiology and development*. 6. utg. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, Inc.
- Tajet, T., Krogstad, T., Johansen, K., Guren, G. (2019). *Bormangel i gulrot*. **Gartneryrket**, 4; 22-27.
- Tajet, T (u.å.). *Gjødsling til gulrot*. [Internett]. Norsk landbruksrådgivning viken. Tilgjengelig fra: <<https://trondelag.nlr.no/media/ring/1228/Gulrot%20gjødling.pdf>> [Lest 28.01.2019].
- Tanaka, M., Fujiwara, T. (2008). *Physiological roles and transport mechanisms of boron: perspectives from plants*. **Pflügers Archiv- European Journal of physiology**. 456(4); 671-677.
- Waldron, K.W., Parker, M.L., Smith, A.C. (2006). *Plant cell walls and food quality*. **Comprehensive reviews in food science and food safety**, 2(4); 128-146.
- White, P. J., Broadley, M. R. (2003). *Review article: Calcium in plants*. **Annals of botany** 92; 487-511.
- Williamson, B., Tudzynski, B., Tudzynski, P., Van Kan, J.A.L. (2007). *Botrytis cinerea: the cause of grey mould disease*. **Molecular, plant pathology**. 8(5); 561-580.
- Yara.no (u.å. a) *Gulrot* [Internett] Yara. Tilgjengelig fra: <<https://www.yara.no/gjoedsel/gronnsaker/gulrot/>> [Lest 28.01.2019].
- Yara.no (u.å. b). *Boron deficiency-Carrots*. [Internett]. Tilgjengelig fra: < <https://www.yara.co.uk/crop-nutrition/carrots/nutrient-deficiencies-carrots/boron-deficiency-carrots/> > [Lest 20.03.2019]
- Yara.no (u.å. c). *Nutrient deficiencies- carrot*. [Internett]. Tilgjengelig fra: < <https://www.yara.co.uk/crop-nutrition/carrots/nutrient-deficiencies-carrots/> > [Lest 31.03.2019]
- Zamil, M.S., Geitmann, A. (2017). *The middle lamella- more than a glue*. **Physical biology**, 14(1); 1-10.

Vedlegg 1

Variansanalyse for rotlengde (cm). Faktorer som ikke har signifikant betydning ut fra P-verdi er satt i kursiv, mens signifikante faktorer har fet skrift.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Replicate (block)	2	28,627	14,313	1,16	<i>0,322</i>
Calcium level	2	10,779	5,389	0,44	<i>0,649</i>
Boron level	1	3,983	3,983	0,32	<i>0,572</i>
Replicate (block)*Calcium level	4	8,073	2,018	0,16	<i>0,956</i>
Replicate (block)*Boron level	2	23,222	11,611	0,94	<i>0,397</i>
Calcium level*Boron level	2	35,928	17,964	1,46	<i>0,243</i>
Error	52	641,767	12,342		
Lack-of-Fit	4	34,126	8,531	0,67	<i>0,613</i>
Pure Error	48	607,641	12,659		
Total	65	747,424			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
3,51307	14,14%	0,00%	0,00%

Gjødselbehandling	Rotlengde (cm)	SE av snit
1	24,03	0,822
2	21,3	0,826
3	23,258	0,864
4	23,14	1,4
5	23,782	0,994
6	22,8	1,14

Variansanalyse diameter. Faktorer som ikke har signifikant betydning ut fra P-verdi er satt i kursiv, mens signifikante faktorer har fet skrift.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Position	1	88,902	88,9024	687,33	0.000
Boron level	1	1,378	1,3779	10,65	0.001
Calcium level	2	0,528	0,2640	2,04	<i>0.134</i>
Replicate (block)	2	0,372	0,1862	1,44	<i>0.241</i>
Position*Boron level	1	0.593	0.5934	4,59	0.034
Boron level*Calcium level	2	1,193	0,5966	4,61	0.012
Error	122	15,780	0,1293		
Lack-of-Fit	26	4,443	0,1709	1.45	<i>0.101</i>
Pure Error	96	11,337	0,1181		
Total	131	217,266			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,359645	92,74%	92,20%	91,51%

Gjødselbehandling	Diameter topp	SE av snitt
1	3,4773	0,0862
2	3,635	0,125
3	3,412	0,128
4	3,877	0,179
5	3,6364	0,626
6	3,491	0,107

Gjødselbehandling	Diameter bunn	SE av snitt
1	1,0864	0,0657
2	1,325	0,0768
3	1,1458	0,0893
4	1,214	0,132
5	0,9045	0,089
6	1,118	0,108

Variansanalyse for tørrstoffprosent i bladverket. Faktorer som ikke har signifikant betydning ut fra P-verdien er satt i kursiv, mens signifikante faktorer har fet skrift.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Boron level	1	0.485	0.4846	0.09	<i>0.764</i>
Calcium level	2	0.739	0.3695	0.07	<i>0.933</i>
Replicate (block)	2	1.123	0.5614	0.11	<i>0.900</i>
Boron level*Calcium level	2	49.741	24.8705	4.69	0.014
Boron level*Replicate (block)	2	1.708	0.8541	0.16	<i>0.852</i>
Calcium level*Replicate (block)	4	0.865	0.2162	0.04	<i>0.997</i>
Boron level*Calcium level*Replicate (block)	4	29.133	7.2832	1.37	<i>0.257</i>
Error	48	254.339	5.2987		
Total	65	449.059			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
2.30190	43.36%	23.30%	0.00%

Gjødeselbehandling	Tørrstoffprosent bladverk	SE av snitt
1	15,929	0,511
2	16,612	0,597
3	16,304	0,296
4	15,812	0,307
5	15,879	0,398
6	18,91	1,58

Variansanalyse bladareal. Faktorer som ikke har signifikant betydning ut fra P-verdi er satt i kursiv, mens signifikante faktorer har fet skrift.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Boron level	1	44209	44209,2	1,82	<i>0,196</i>
Calcium level	2	857	428,7	0,02	<i>0,983</i>
Ca (g/kg)	16	642756	40172,2	1,65	<i>0,162</i>
B (g/kg)	28	563128	20111,7	0,83	<i>0,679</i>
Boron level*Calcium level	2	31542	15770,9	0,65	<i>0,536</i>
Error	16	388818	24301,2		
Total	65	2028085			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
155,888	80,83%	22,11%	*

Gjødselbehandling	Bladareal (cm ²)	SE av snit
1	1281,5	69,8
2	1278,0	42,8
3	1278,7	45,2
4	1339,1	37,2
5	1278,9	74,7
6	1319,2	48,0

Variansanalyse for spenning (MPa) i røttene. Faktorer som ikke har signifikant betydning ut fra P-verdi er satt i kursiv, mens signifikante faktorer har fet skrift.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Position	1	0,0811	0,081095	0,78	<i>0,470</i>
Boron level	1	0,0007	0,000677	0,01	<i>0,943</i>
Calcium level	2	0,1999	0,099968	0,96	<i>0,510</i>
Replicate (block)	2	0,1481	0,074072	0,71	<i>0,584</i>
Tørrstoff (%)	116	23,3957	0,201687	1,94	<i>0,402</i>
Position*Boron level	1	0,0566	0,056600	0,54	<i>0,538</i>
Position*Calcium level	2	0,0559	0,027941	0,27	<i>0,788</i>
Boron level*Calcium level	2	0,2515	0,125770	1,21	<i>0,453</i>
Error	2	0,2080	0,104024		
Lack-of-Fit	1	0,1831	0,183125	7,35	<i>0,225</i>
Pure Error	1	0,0249	0,024923		
Total	129	30,4904			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,322528	99,32%	55,99%	*

Gjødselbehandling	Spenning topp	SE av snitt
1	3,71	0,127
2	3,597	0,149
3	3,663	0,105
4	3,495	0,14
5	3,6755	0,0909
6	3,943	0,135

Gjødselbehandling	Spenning bunn	SE av snitt
1	3,351	0,254
2	3,3239	0,0993
3	3,308	0,12
4	3,31	0,125
5	3,528	0,159
6	3,795	0,14

Variansanalyse for B-innhold i røttene. Faktorer som ikke har signifikant betydning ut fra P-verdi er satt i kursiv, mens signifikante faktorer har fet skrift.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Position	1	0,001854	0,001854	55,64	0,000
Boron level	1	0,006139	0,006139	184,23	0,000
Calcium level	2	0,000683	0,000342	10,25	0,000
Position*Boron level	1	0,000015	0,000015	0,45	<i>0,503</i>
Position*Calcium level	2	0,000153	0,000077	2,30	<i>0,105</i>
Boron level*Calcium level	2	0,000800	0,000400	12,01	0,000
Position*Boron level*Calcium level	2	0,000161	0,000080	2,41	<i>0,094</i>
Error	120	0,003999	0,000033		
Total	131	0,013812			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,0057727	71,05%	68,39%	64,98%

Gjødselbehandling	B-innhold topp (mg/kg)	SE av snitt
1	0,024727	8,43E-04
2	0,0239	1,05E-03
3	0,02592	1,56E-03
4	0,04409	1,70E-03
5	0,04082	2,36E-03
6	0,03264	1,76E-03

Gjødselbehandling	B-innhold bunn (mg/kg)	SE av snitt
1	0,01882	1,40E-03
2	0,0179	1,39E-03
3	0,017333	8,56E-04
4	0,03073	2,41E-03
5	0,03782	2,48E-03
6	0,02445	1,92E-03

Variansanalyse for Ca-innhold i røttene. Faktorer som ikke har signifikant betydning ut fra P-verdi er satt i kursiv, mens signifikante faktorer har fet skrift.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Position	1	0,0658	0,065830	2,39	<i>0,262</i>
Boron level	1	0,0783	0,078289	2,85	<i>0,234</i>
Calcium level	2	0,1707	0,085355	3,10	<i>0,244</i>
Replicate (block)	2	0,0906	0,045316	1,65	<i>0,378</i>
Tørrstoff (%)	118	12,5879	0,106677	3,88	<i>0,227</i>
Position*Boron level	1	0,0085	0,008526	0,31	<i>0,634</i>
Position*Calcium level	2	0,0598	0,029907	1,09	<i>0,479</i>
Position*Replicate (block)	2	0,2384	0,119187	4,33	<i>0,187</i>
Error	2	0,0550	0,027500		
Lack-of-Fit	1	0,0100	0,010000	0,22	<i>0,720</i>
Pure Error	1	0,0450	0,045000		
Total	131	23,9552			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,165831	99,77%	84,96%	*

Gjødselbehandling	Ca-innhold topp (g/kg)	SE av snitt
1	3,0818	0,0942
2	3,18	0,105
3	3,408	0,141
4	3,0091	0,053
5	3,073	0,109
6	3,018	0,106

Gjødselbehandling	Ca-innhold (g/kg)	SE av snitt
1	2,855	0,118
2	2,85	0,115
3	2,8417	0,0857
4	2,727	0,138
5	3,164	0,18
6	2,7	0,13

Variansanalyse for tørrstoffprosent i røttene. Faktorer som ikke har signifikant betydning ut fra P-verdi er satt i kursiv, mens signifikante faktorer har fet skrift.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Position	1	15.156	15.1558	4.47	0.037
Boron level	1	1.144	1.1441	0.34	<i>0.562</i>
Calcium level	2	25.277	12.6384	3.73	0.027
Replicate (block)	2	130.102	65.0511	19.19	0.000
Position*Boron level	1	0.978	0.9780	0.29	<i>0.592</i>
Position*Calcium level	2	3.062	1.5311	0.45	<i>0.638</i>
Boron level*Calcium level	2	43.234	21.6171	6.38	0.002
Position*Boron level*Calcium level	2	0.395	0.1976	0.06	<i>0.943</i>
Error	118	400.095	3.3906		
Lack-of-Fit	22	101.138	4.5972	1.48	<i>0.101</i>
Pure Error	96	298.957	3.1141		
Total	131	688.147			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
1.84137	41.86%	35.45%	27.27%

Gjødselbehandling	Tørrstoffprosent topp	SE av snitt
1	12,535	0,335
2	13,18	0,297
3	11,134	0,528
4	12,188	0,34
5	11,67	0,667
6	13,561	0,974

Gjødselbehandling	Tørrstoffprosent bunn	SE av snitt
1	10,875	0,668
2	11,889	0,507
3	10,492	0,421
4	11,125	0,448
5	11,09	0,781
6	14,02	1,05



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway