RODOPTAGELSE AF NÆRINGSSTOFFER

Demoforsøg med plugplanter og barrodsplanter

Igennem de seneste år har der været en del debat, om vi gødsker rigtigt. Er det om foråret, at træerne har det største behov, eller er det på andre tidspunkter, og foretrækker de ammonium eller nitrat? Til at belyse dette har Danske Juletræer igangsat flere forsøg, senest et på Gisselfeld, der blev omtalt i Nåledrys nr. 109. I år er der etableret et supplerende forsøg af Steen Sørensen bistået af Danske Juletræer med en helt anden indgangsvinkel, som omtales her: Test af småplanters optag af næringsstoffer gennem forårsdosering af de to kvælstofformer og tilførsel af kalcium og magnesium i sensommeren.

LARS BO PEDERSEN, STEEN SØRENSEN OG KENNETH KLAUSEN

Kvælstof er en vigtig byggesten i aminosyrer, proteiner og klorofyl. Sidstnævnte giver træerne deres grønne farve og er også ansvarlig for deres fotosyntese og produktionen af sukker. Træerne får især deres kvælstof som nitrat (NO_3^-) eller ammonium (NH_4^+) eller en kombination heraf. Forholdet mellem disse to kvælstofformer har meget stor betydning, - både for planten og for voksemediet. Forholdet mellem de to kvælstofformer varierer også stærkt med temperatur, pH i rodzonen, jordens egenskaber og formodentligt træernes alder.

Ammonium omsættes i rødderne, hvor det reagerer med sukker, som leveres fra træernes nåle. Nitrat transporteres derimod op til nålene, hvor det omdannes til ammonium og reagerer med sukker. Ved højere temperaturer er træernes respiration forøget, som bl.a. indebærer et øget forbrug af sukker i nålene. Dette betyder, at sukker ikke er så tilgængelig for ammoniumomsætningen i rødderne. I processen bruges yderligere ilt, hvis opløselighed falder med temperaturen. Alt andet lige bør ammonium/nitrat-forholdet derfor være lavt ved højere temperaturer - eller sagt på en anden måde, så skal ammonium prioriteres ved lavere temperaturer og nitrat ved højere temperaturer.

Når træerne optager det positivt ladede ammonium, frigives der protoner (H^+), som er det samme som syre. Det gør træerne for at opretholde en ladningsbalance. Det er det samme, der sker ved optagelsen af andre positivt ladede næringsstoffer som kalium, kalcium og magnesium. Når træerne derimod optager det negativt ladede nitrat, frigiver træerne bikarbonat (HCO_3^-) for at opretholde ladningsbalancen. Ammoniumbaseret ernæring forsurer derfor jorden, mens nitratbaseret ernæring øger jordens pH[1].

Det er også kendt, at ammonium konkurrerer og undertrykker optagelsen af især magnesium og kalcium, mens nitrat generelt har en fremmende påvirkning af næringsstofoptagelsen.

Plantearter er tilpasset deres vækstmiljø og kan også til en vis grad tilpasse sig, når vækstmiljøet ændres - også hvis der sker en ændring i ammonium/nitrat-forholdet. Dybest set ved vi ikke om nordmannsgranen er tilpasset ammonium- eller nitratbaseret ernæring, selvom flere undersøgelser af nordmannsgran peger på nitrat. Ofte er disse undersøgelser og andre undersøgelser af nærtbeslægtede træarter dog baseret på øget respons af biomasse og næringsstofoptag, som jo på ingen måde er hele hemmeligheden bag et kvalitetsjuletræ. Selvom halvdelen af kvælstoftildelingen ofte sker som ammonium vil meget af denne kvælstofform, selv på sandede jordbundstyper, hurtigt binde sig til jordpartiklerne eller blive bakterielt omdannet til nitrat, hvorfor det må antages, at træerne for en stor dels vedkommende ernærer sig med nitrat (Nåledrys 62).

Forsøg

Gødningsundersøgelsen blev startet den 15. maj med plantning af to plantetyper, henholdsvis 15 planter som 2/0 plugplanter og 15 planter som 2/2 barrodsplanter. Planterne blev etableret i plastikcontainere (10 L), som forinden var vædet op med 2 ‰ gødningsopløsning. Den ene gruppe blev tilført en gødningsopløsning med svovlsur ammoniak (ammoniumbehandlingen), mens den anden gruppe blev tilført en opløsning med borkalksalpeter (nitratbehandlingen) (tabel 1)[2]. Der blev også etableret en gruppe af kontrolplanter, hvis spagnum kun fik tilført postevand. Den anvendte sphagnum var ikke næringsberiget. Ovenstående behandling blev gentaget den 20/7.

Den 3. september blev de tre grupper hver især opdelt i endnu tre grupper; en kontrolbehandling, en behandling med tilførsel af magnesium (bittersalt 2 ‰) og en behandling med tilførsel

1 På vægtbasis indeholder mange gødninger lige andele af ammonium og nitrat, men antallet af molekyler ammonium er på grund af at denne kvælstofforms lille vægt meget stort. Derfor forsurer de almindelige gødninger. Se også fodnote 2.

2 I praksis regnes gødningstilførsler altid ud fra mængder som her, men da nitratmolekylet vejer ca. 3,5 gange så meget som ammonium, er der reelt 3,5 gange flere ammoniummolekyler.

Figur 1. Plante fra kontrolbehandling uden tilsætning af gødning med tydelig rodvækst med masser af hvide rodspidser i bunden af potten.

Figur 2. Halvdelen af forsøget blev udført med plugplanter. Øverst ses kontrolplanter, i midten nitratplanter og nederst ammoniumplanter.

af kalcium (bladkalcium 2 ‰) (tabel 1). I alle tre tilfælde blev containerne tilført gødningen opløst i 2 liter væske. Den 17. september blev der udtaget nåleprøver til kemisk analyse, bedømt nålefarve på en skala fra 0 til 7[3] og containerne tømt for at studere rodudviklingen.

Planternes udseende

Plugplanternes udseende var rimeligt ensartet (figur 2), formentlig fordi den "medbragte madpakke" indeholdt tilstrækkelig med næringsstoffer. Nålefarven var generelt god, omkring 3, men med en tendens til ringere farve på kontrolplanterne.

Hos barrodsplanterne havde både kontrolplanterne og planterne, der var tilført nitratgødning, et klart sundere udseende end de ammoniumgødskede planter, hvor mange planter led af misfarvning og nåletab (figur 3). Årsagen kendes ikke, men der kan være tale om giftvirkning fra ammonium f.eks. ved næringsstofubalance eller syrestress, som følge af ombytning mellem den positivt ladede syre på den sure sphagnum med det positivt ladede ammonium fra vandingsvandet (det negativt ladede nitrat holdes ikke tilbage på spagnum). Da ammonium er giftigt i planterne, bliver det som indledningsvist beskrevet, hurtigt omdannet i rødderne under omsætning med sukker. Måske kan en mindsket omdannelseskapacitet i forhold til den tilførte mængde ammonium også være en forklaring.

Tabel 1. Forsøgssetup og dosering i 9 behandlinger.

Forårsgødskning	Tilsætning 3. september		
Kontrol:	Kontrol	Magnesium	Kalcium
Ammonium:	Kontrol	Magnesium	Kalcium
Nitrat:	Kontrol	Magnesium	Kalcium

		Dosering (g)					
Behandling	Tilsætning	NO_3-N	NH_4-N	Ca	B	S	Mg
Kontrol	Vand	0	0	0	0	0	0
Kontrol	Bittersalt[3)]	0	0	0	0	0,52	0,49
Kontrol	Bladkalcium[4)]	0	0	1,48	0	0	0
Svovlsur ammoniak[1)]	Vand	0	1,68	0	0	1,92	0
Svovlsur ammoniak[1)]	Bittersalt[3)]	0	1,68	0	0	0,52	0,49
Svovlsur ammoniak[1)]	Bladkalcium[4)]	0	1,68	1,48	0	0	0
Borkalksalpeter[2)]	Vand	1,12	0,10	0	0	0	0
Borkalksalpeter[2)]	Bittersalt[3)]	1,12	0,10	0	0	0	0
Borkalksalpeter[2)]	Bladkalcium[4)]	1,12	0,10	1,48+1,26	0,02	0	0,04

1) Svovlsur ammoniak: NH_4-N 21 %, S 24 %). 2) Borkalksalpeter: NO_3^-N 14,1 %, NH_4^-N 1,3 %, Ca 18,5 %, B 0,3 %. 3) Bittersalt: Mg 9,8 %, svovl 13 %. 4) Bladkalcium: Ca 31,6 %, Mg 1,1 %.

Kontrolbehandlingen hos barrodsplanterne gav en lysegrøn nålefarve med en gennemsnitlig farvescore på 2,5, mens ammoniumbehandlingen derimod førte til en næsten gul farve med en score på 1. Barrodsplanterne i nitratbehandlingen var klart de mest velfarvede med en farvescore på 4 helt i overensstemmelse med nålenes kvælstofkoncentration.

Rødderne

Rodsystemet hos plugplanterne fremstod tydeligt mindre ved opgørelsen i medio september, men noget mere ensartet end hos barrodsplanterne. Det mindre tydelige rodsystem kan tolkes som, at planterne i pluggen har været velforsynet med næringsstoffer, hvorfor behovet for rodvækst er betydeligt mindre end hos barrodsplanterne.

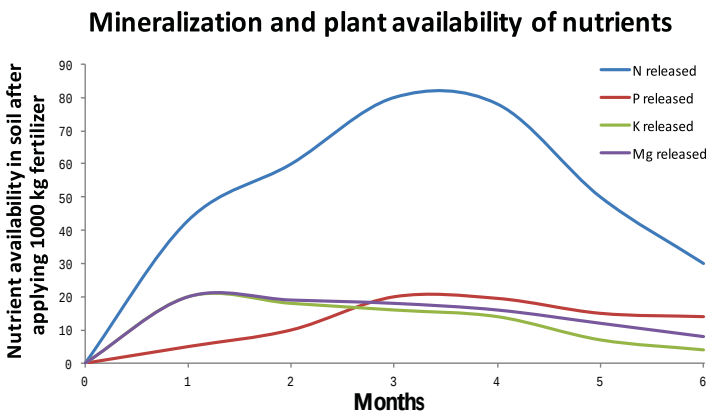
Barrodsplanterne, der ikke havde fået tilført gødning, havde et veludviklet rodsystem med mange finrødder, der tydeligt løb rundt i containerens bund (figur 1). Planterne tilført nitrat havde også et veludviklet rodsystem, dog med knap så mange finrødder, som kontrolplanterne. Planterne tilsat ammoniumgødning havde tydeligvis et dårligt udviklet rodsystem med få finrødder.

Den kraftige rodudvikling hos kontrolplanterne kan ses som en konsekvens af, at planterne investerer meget i søgningen efter kvælstof. Nitrat anses for et betydende signalstof i denne

3 0 = rød, misfarvet. 1 = Mere gul end gulgrøn referencekvist. 2. Som gulgrøn referencekvist. 3. Mellem gulgrøn og grøn referencekvist. 4. Gennemsnitlig grøn 5. Mellem gennemsnitlig og mørkegrøn referencekvist. 6. Mørkegrøn. 7. Mere mørkegrøn end mørkegrøn referencekvist.

ORGANISK-GOEDNING.DK

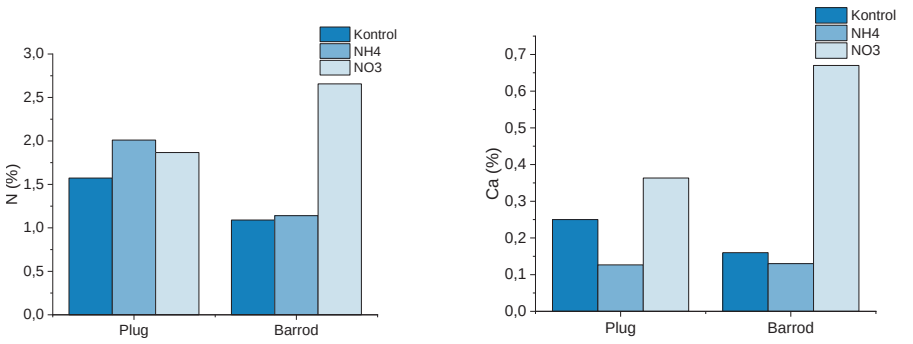
- Flere prima træer
- Mindre nåletab
- Færre overkørsler



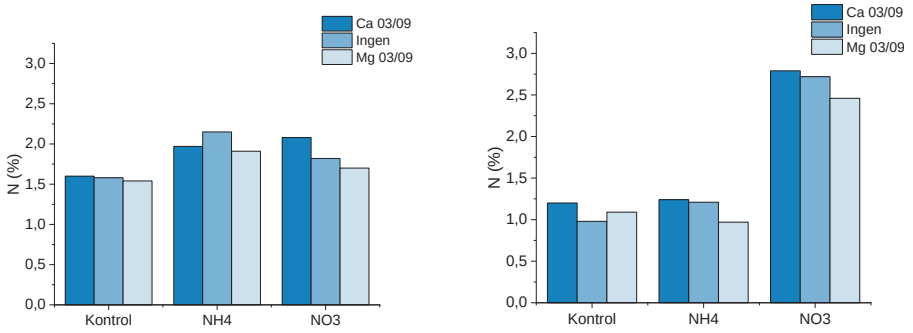
LØNDAL SKOVBRUG har sammen med gødnings firmaet Fertikal udviklet "slow release" gødninger baseret på kyllingemøg, der er tilpasset et juletræs naturlige optag af makro- og mikronærringsstoffer.

LØNDAL SKOVBRUG: Ring uforpligtende til Christian Bruun på 5117 4131

Figur 3. Den anden halvdel af forsøget blev udført med barrodsplanter. Øverst planter fra kontrolbehandlingen. I midten planter fra nitratbehandlingen og nederst planter fra ammoniumbehandlingen. Bemærk de tydelige forskelle i rodvikling, men også forskellene i træernes generelle habitus.



Figur 4. Koncentrationen af kvælstof (tv.) og kalcium (th.) i nålene fordelt til plantetype og kvælstoftypen i forårstildelingen.



Figur 5. Kvælstofkoncentrationen i træernes årsnåle i henholdsvis plugplanter (tv) og barrodsplante (th).

proces. Der er flere undersøgelser, der peger på, at lave koncentrationer af ammonium kan stimulere rodvækst, men også at forhøjede koncentrationer kan føre til omtalte giftvirkning.

Nåleanalyser

Plantetyper

For en overordnet betragtning gav gødningsbehandlingerne af de to plantetyper ikke anledning til afgørende forskelle i stofkoncentrationerne i nålene, når der ses bort fra kvælstof (tabel 2).

Selvom om plugplanterne havde den højeste gennemsnitskoncentration af kvælstof i nålene, så gav nitratbehandlingen hos barrodsplanterne den suverænt højeste koncentration af kvælstof. Det samme gjaldt for kalcium og de fleste andre næringsstoffer (figur 4). Disse forskelle kan for en stor dels vedkommende forklares af det ensartede rodsystem hos plugplanterne og et særdeles veludviklet rodsystem hos barrodsplanterne i kontrol- og nitratbehandlingerne. Ammoniumbehandlingens lille indhold af kvælstof hos barrodsplanterne er også helt i overensstemmelse med det dårligt udviklede rodsystem med kun få rodspidser (figur 3). Det høje indhold af kalcium i nitratbehandlingen stammer givetvis fra det kalcium som borkalksalpetergødningen indeholder.

Forårsgødskningen

Forårsgødskningen førte til forhøjede koncentrationer i både ammonium- og nitratbehandlingerne hos begge plantetyper, men klart mest i nitratbehandlingen hos barrodsplanterne. Kontrolbehandlingens manglende kvælstoftildeling førte til de laveste kvælstofkoncentrationer (figur 4). Det er bemærkelsesværdigt, at nitratbehandlingen hos barrodsplanterne gav så høje kvælstofkoncentrationer i nålene, når tilførslen af kvælstof regnet som molekyler, var 3,5 gange mindre end ammoniumbehandlingen.

Nitratbehandlingerne førte generelt også til en forøget koncentration af de positive næringsstoffer (tabel 3), hvor især forøgelsen af kalcium var meget betydelig (4 gange så høj som i ammoniumbehandlingen og dobbelt så høj som i kontrolbehandlingen). Forøgelse kan forklares af det tilførte kalcium sammen med borkalksalpeteren. Nitrat er kendt for at stimulere optagelsen af positive næringsstoffer, som f.eks. kalcium og magnesium. Derimod kan nitrat hæmme optagelsen af lignende negativt ladede næringsstoffer, som f.eks. fosfor, svovl og bor. Koncentrationerne af bor i årsnålene afspejler ikke tildelingen med borkalksalpeter. Optagelsen af bor er meget kompliceret, fordi dette næringsstof ændrer ladning alt efter pH. Langt det meste bor optages på en form uden ladninger. Det betyder, at optagelsen af bor ved lavt pH i høj grad er styret af fordampningen fra træet.

Det laveste indhold af positive næringsstoffer blev også fundet i ammoniumbehandlingen, når der ses bort fra et meget ens indhold af kalium. Årsagen til det forringede optag i denne behandling kan formentlig tillægges, at ammonium ganske effektivt hæmmer optagelsen af en række andre positivt ladede næringsstoffer (bortset fra kalium), men også en forringet rodudvikling. F.eks. bliver nitrat optaget langs hele længden af rodhårene, mens ammonium fortrinsvis optages på spidsen.

Kvælstof

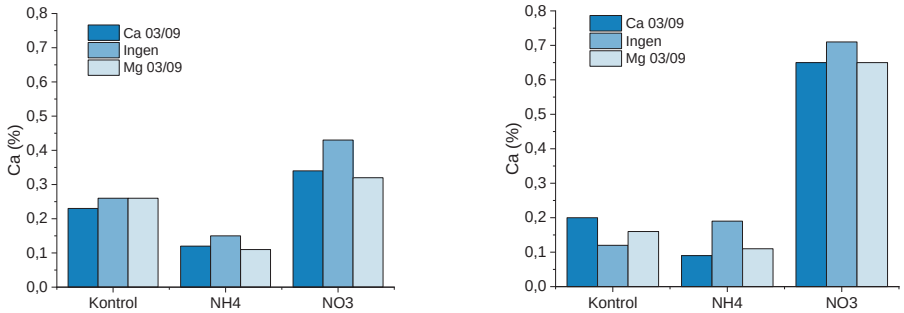
Behandlingerne gav ikke de store forskelle i kvælstofkoncentrationen hos plugplanterne. Dog synes der at være lidt højere kvælstofkoncentrationer i både ammonium- og nitratbehandlingen (figur 5). Helt anderledes så det ud hos barrodsplanterne, hvor nålenes

Tabel 2. Gennemsnit af stofkoncentrationer i årsnåle i forsøgets to plantetyper.

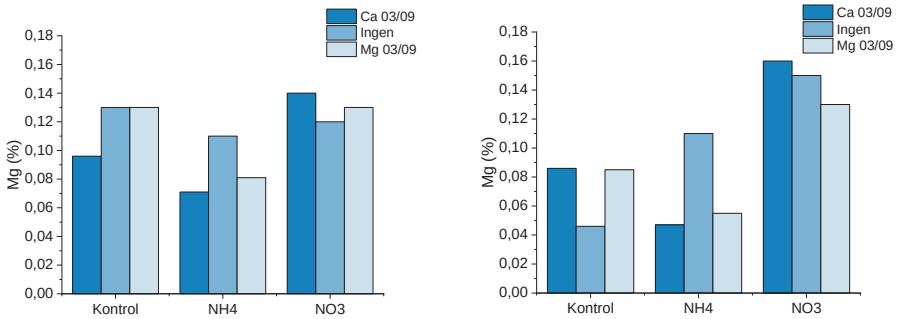
Behandling	N %	Ca %	P %	K %	Mg %	S %	Fe mg/kg	Mn mg/kg	Zn mg/kg	Cu mg/kg	B mg/kg
Plugplanter 2/0	1,82	0,25	0,17	0,43	0,11	0,12	59	114	18	2,2	58
Barrod 2/2	1,63	0,32	0,12	0,50	0,10	0,14	50	91	14	2,7	40

Tabel 3. Gennemsnit af stofkoncentrationen i forsøgets planter fordelt til foråret gødningsbehandlinger.

Behandling	N (%)	Ca (%)	P (%)	K (%)	Mg (%)	S (%)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	B (mg/kg)
kontrol	1,33	0,21	0,13	0,47	0,10	0,10	53	96	17	2,6	71
NH4	1,58	0,13	0,16	0,45	0,08	0,16	48	68	13	2,2	34
NO3	2,26	0,52	0,15	0,48	0,14	0,13	63	145	19	2,6	41



Figur 6. Kalciumkoncentrationen i træernes årsnåle i henholdsvis plugplanter (tv) og barrodsplanter (th).



Figur 7. Magnesiumkoncentrationen i træernes årsnåle i henholdsvis plugplanter (tv) og barrodsplanter (th).

kvælstofkoncentration, som beskrevet, helt stak af i nitratbehandlingen med dobbelt så høje koncentrationer som i de to andre behandlinger. Forskellene i kvælstofkoncentrationerne imellem de enkelte sensommerbehandlinger er givetvis behæftet med så stor usikkerhed, at de ikke er sikre. Sensommerbehandlingen med bladkalcium og bittersalt (begge opløst i vandingsvand) tilførte da heller ikke noget kvælstof. Det kan dog ikke udelukkes, at kalcium kan have haft en vis positiv indflydelse på optagelsen af nitrat.

Kalcium

At dømme ud fra nålekoncentrationerne, var optagelsen af kalcium størst i nitratbehandlingerne og mindst i ammoniumbehandlingerne (figur 6). Dette var som for kvælstofs vedkommende særligt tydeligt hos barrodsplanterne.

Tilsyneladende havde tilførslen af kalcium med bladkalcium (opløst i vandingsvand) primo september ingen betydning for kalciumkoncentrationen i nålene i forhold til det kalcium, der blev tilført i foråret i forbindelse med kalksalpetergødningen. Kontrolbehandlingen havde det samme indhold af kalcium uanset manglende tilførsel (Ingen), tilførsel af kalcium eller tilførsel af magnesium primo september.

Magnesium

I plugplanterne skilte ammoniumbehandlingerne sig ud med de mindste magnesiumkoncentrationer. I barrodsplanterne skilte nitratbehandlingerne sig ud med de højeste koncentrationer. De mindste koncentrationerne blev generelt fundet i forårets ammoniumbehandlinger.

Umiddelbart ser det ikke ud som om, at tilførslen af magnesium i september førte til forhøjede koncentrationer i nålene snarere tværtimod. Derimod ser det ud som om, at magnesiumkoncentrationerne var størst i behandlingerne med efterårstilførsel af kalcium, selvom forskellene var mindre. Sådan en positiv påvirkning fra kalcium på optagelsen af andre næringsstoffer er også set i andre forsøg udført ved lavt pH. Årsagen tillægges her kalciums store signalrolle internt i planterne og store betydning for opretholdelsen af plasmamembranens integritet i rødderne og dermed også kalciums rolle på effektiviteten af røddernes proton/syre-pumpe.

Magnesium opfører sig anderledes i træerne end kalcium. Kalcium er immobil og transporteres med vandstrømmen til nålene. Magnesium derimod er mobilt i planten, hvorfor forskelle i magnesiumkoncentrationen i årsnålene også er afhængige af flytning fra andre plantedele.

Konklusion

Plugplanterne har i pluggen haft en madpakke med, som har udvisket behandlingsforskellene. Reaktionen er dog alligevel tydelig med bedre farve og større optag af kvælstof i nitratbehandlingen. Plugplanterne optog tilsyneladende ikke den tilsatte kalcium og magnesium i september.

Barrodsplanterne reagerede anderledes gennem et markant udviklet rodsystem med mange hvide rodspidser, når der ses bort fra forårets ammoniumtildeling. Rodsystemet med de fleste hvide rodspidser forekom i kontrolbehandlingen, formentlig fordi planterne her investerede i en stor rodudvikling for at sikre en god kvælstofoptagelse. Nitrattildelingen gav barrodsplanterne klart den bedste farve helt i overensstemmelse med et stort kvælstofoptag. Tildelingen af ammonium gav den ringeste nålefarve formentlig pga. forgiftning.

Tildelingen af ammonium pegede på, at denne kvælstofform kan hæmme optagelsen af bl.a. kalcium og magnesium. Sensommerbehandlingen med kalcium og magnesium førte heller ikke i barrodsplanterne til et sikkert meroptag.

Det skal understreges, at undersøgelsen ikke er et videnskabeligt forsøg, men resultaterne har alligevel en interessant retning. Således peges der på, at gødningsvalget måske ikke er så afgørende for plugplanter som for barrodsplanter, fordi førstnævnte er velforsynet med en "madpakke". Undersøgelsen peger også på et begrænset optag af både kalcium og magnesium i sensommeren sammenlignet med det sene forår, et resultat der bestemt er relevant, når der tænkes på røde nåle og bare skuldre.

Undersøgelsen peger desuden på en meget effektiv optagelse af nitrat henover sommeren, og at denne kvælstofform stimulerer optagelsen af andre næringsstoffer, men også at ammonium kan virke hæmmende på optagelsen af magnesium og kalcium. Selvom resultatet trækker i retning af mere nitrat fremfor ammonium, så skal vi huske på, at kvælstof ikke bare kan føre til bedre nålefarve, men også til øget vækst og tungere træer.

Det er bemærkelsesværdigt, at rodsystemet i barrodsplanterne udvikler sig så positivt, når der ikke gives kvælstof. Måske er det et signal om at begrænse kvælstofgødskningen, så den tilgængelige kvælstofpulje i jorden er så godt som udtømt før rodudviklingen starter i foråret. Dette kan indebære en nedjustering af den traditionelle farvegødskning.

Der er fortsat et stort behov for forsøg, der viser, på hvilket tidspunkt gødskningen er optimal, og hvordan forholdet mellem ammonium og nitrat bør være.