

NÆRINGSSTOFFERNE PÅVIRKER HINANDENS TILGÆNGELIGHED

Kvælstof har en central rolle



Udspring på Clausholm i 2009. Planter i udspring har ofte et stort behov for NO_3 . Behovet for sukker i de nye blade/nåle er meget stort, hvorfor transporten til rødderne er begrænset i denne periode, hvor det er helt nødvendigt for planternes omsætning af NH_4 .

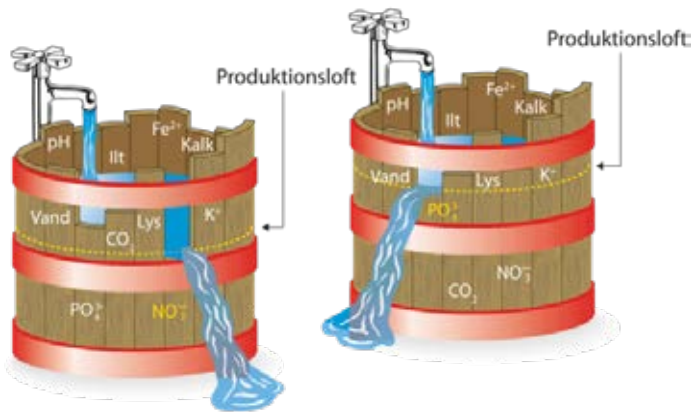
Det enkelte næringsstof kan både fremme og hæmme tilgængeligheden og optagelsen af andre næringsstoffer, men meget afhænger af jordens surhedsgrad, noget som kvælstofoptagelsen i særdeleshed påvirker. Påvirkningen hidrører fra både reaktioner i jordbunden og konkurrencen ved selve rodoptagelsen, men for kvælstofs vedkommende også via vækststimulering. Viden om disse forhold vil i høj grad fremme gødsningens effektivitet.



☰ LARS BO PEDERSEN,
PH.D. I STOFKREDSLØB

Næringsstofferne påvirker hinandens tilgængelighed og planteoptag på flere måder. Nøgleordene er størrelsen og ladningen på de enkelte næringsstoffer, som i stort omfang bestemmer, hvor godt

de enkelte stoffer ligner hinanden, og i hvor høj grad de bindes af jordens negativt ladede partikler. Ligner stofferne hinanden, optages de ofte samme sted på planteroden, og dermed konkurrerer de med hinanden. Næringsstoffer med en enkelt ladning ligner hinanden mere end næringsstoffer med to ladninger. Næringsstoffer med modsat ladning opfører sig radikalt forskelligt. ►



Figur 1. Justus von Liebig's minimumslov illustreres ofte ved en tønde, hvor den korteste stav angiver produktionsloftet og det begrænsende næringsstof. I den venstre delfigur er N (NO_3^-), det begrænsende næringsstof. Tilføres der yderligere mængder af dette ene næringsstof, bliver produktionsloftet løftet, hvorefter fosfor – P (fosfat – PO_4) bliver begrænsende (delfigur t.h.). Loven illustrerer også, hvorfor det er u hensigtsmæssigt af gødske med et enkelt næringsstof ad gangen, og hvorfor gødninger ofte er sammensat af flere næringsstoffer, der fælles løfter produktionsloftet til en langt større højde.

tilgængelig ved lavt pH end ved højt pH. For nitrat (NO_3^-) er det omvendt.

Med en negativ og en positiv ladning er det en helt forskellig måde, hvorpå kvælstofs (N) to mineralske former (NH_4^+ , NO_3^-) påvirker andre næringsstoffers optagelse. N's påvirkning af væksten har i sig selv også en gunstig effekt på optagelsen af andre næringsstoffer.

Mulder's chart

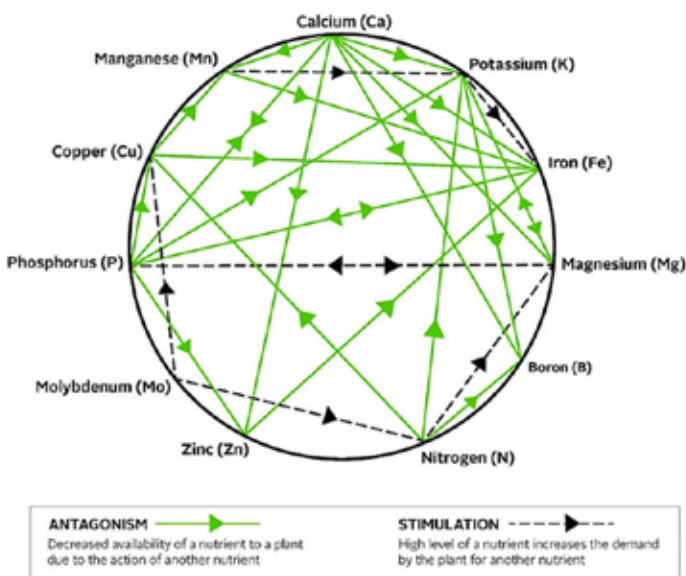
De fleste dyrkere kender til vigtigheden af at tilføre de rigtige mængder næringsstoffer. For mange er det ligefrem en lille videnskab at finde netop den gødning, der giver de bedste træer på bedriftens jorde. Der bruges selvfølgelig årelang dyrknings erfaring, men også systematiske visuelle vurderinger ofte samlet i regneark eller lignende, når gødningen skal bestilles. Indenfor de sidste 15 år har stadig flere suppleret med nåle- og jordbundsanalyser og/eller gødningsmodeller i beslutningsprocessen. Planter skal nemlig have optimal tilgang til alle essentielle næringsstoffer for at sikre den bedste kvalitet og sundhed. Ingen næringsstoffer kommer i anden række. De er alle lige vigtige, men i forskellig mængde. Dette illustrerede Justus von Liebig allerede i 1840'erne i minimumsloven (figur 1).

Ofte viser det sig imidlertid, at mangel på et næringsstof ikke skyldes direkte mangel, men snarere indirekte mangel forårsaget af en u hensigtsmæssig kombination, ubalance, mellem flere næringsstoffer, enten i jorden eller i planten. Altså ikke en absolut mangel, men en induceret (relativ) mangel.

Når plantenæringsstoffernes indbyrdes påvirkning omtales, sker det næsten altid i forbindelse med "Mulder's chart" (figur 2). Det er et hjul, som bruges til at vise 11 essentielle plantenæringsstoffers positive og negative virkning på hinanden. Mulder's chart blev publiceret i "Les elements mineurs en culture fruitière" i 1953, som et af de første studier af næringsstoffernes påvirkning af hinanden. Siden da er der løbet mere vand i åen, men kortet bruges alligevel igen og igen, fordi det giver en simpel og brugbar oversigt over vekselvirkningen mellem næringsstofferne.

Antagonisme og synergi

Næringsstofferne påvirker hinanden på to måder: Antagonisme (hæmning) og synergi (stimulering). Når høje niveauer af et næringsstof hæmmer tilgængeligheden af andre næringsstoffer, er der tale om antagonisme. F.eks. kan høje N-niveauer mindske tilgængeligheden af bor (B), kalium (K) og kobber (Cu). Høje niveauer af fosfor (P) mindsker tilgængeligheden af calcium (Ca), K, Cu, zink (Zn) og jern (Fe), mens høje niveauer af K mindsker tilgængeligheden af magnesium (Mg). Det kan derfor ikke undre, at for høje niveauer af specifikke NPK-gødninger (overgødskning) let kan fremme induceret mangel på andre næringsstoffer. Viden om disse forhold kan være helt afgørende for valg af den rigtige gødningstype.



Figur 2. Mulder's chart giver en let oversigt over, hvordan essentielle næringsstoffer påvirker hinanden. Kortet læses som følger: Høje niveauer af N medfører øget efterspørgsel på Mg. Høje niveauer af N undertrykker optagelsen af K.

Nogle næringsstoffer reagerer med hinanden under dannelsen af letopløselige reaktionsprodukter. Kalciumnitrat ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) er et godt eksempel herpå. Andre reaktionsprodukter er tungtopløselige, f.eks. kalciumfosfat ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$). Sådanne produkter er ikke tilgængelige for planterne.

Jordens surhedsgrad (pH, Rt) har også stor betydning for næringsstoffernes tilgængelighed og indbyrdes konkurrence. Ved højt pH er der stor risiko for, at mangan (Mn)- og jern (Fe)salte samt kalciumkarbonat (CaCO_3) udfældes, mens der ved lavt pH sker en udfældning af f.eks. kalciumfosfat. Ammonium (NH_4) er endvidere mere



Massiv kalkning før kulturstart er langt fra ideel for småplanterne, bl.a. fordi calcium kan hæmme rodoptagelsen af en række andre næringsstoffer.

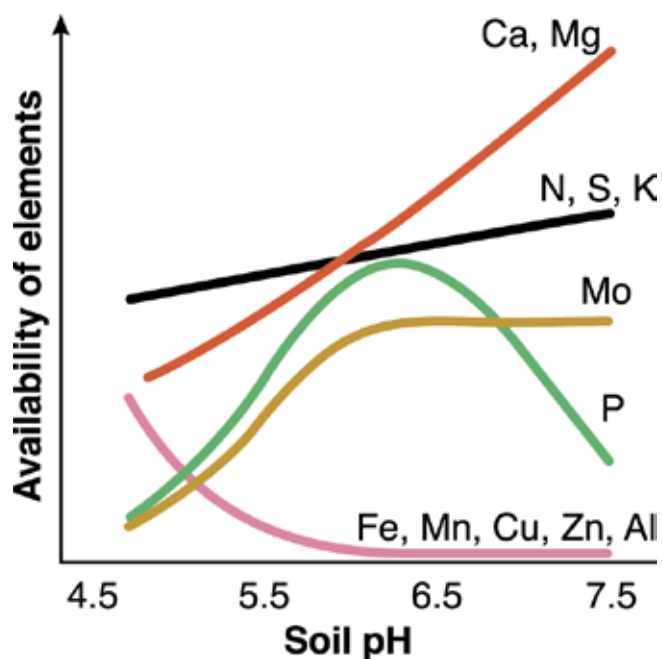
Ca er et næringsstof med udprægede antagonistiske effekter. Juletræerne får meget af deres Ca fra forvitring og mineralisering i jorden, men ofte sker den største tildeling sammen med kalkningen, hvor store mængder kalk (CaCO_3) spredes på jorden. Der er dyrkere, som kalke flere gange i løbet af omdriften, men det almindeligste er desværre at give et kæmpe engangsskud kalk lige før kulturstart. Dette betyder selvfølgelig, at pH let kan blive alt for høj i starten af omdriften og for lav i de salgsklare kulturer. Hertil kommer, at den store dosering i høj grad vil fremme den negative påvirkning fra Ca på rodoptagelsen af f.eks. K, Mg, Zn, Fe m.fl.

Synergi virker ved, at forhøjede niveauer af et næringsstof forøger planternes efterspørgsel på andre næringsstoffer. Forøgede N-niveauer øger f.eks. planternes behov for Mg, som optages, hvis det er tilgængeligt.

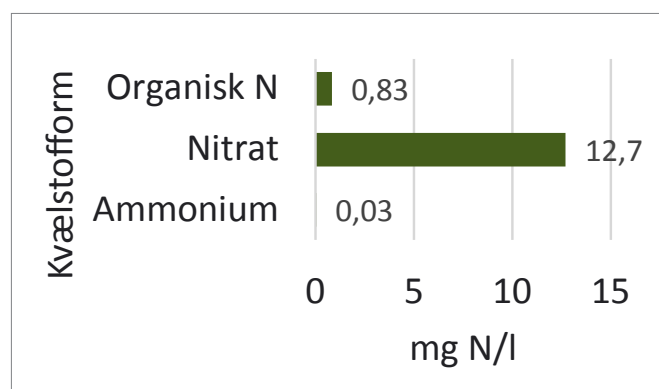
Der findes udprægede synergi-virkninger blandt makro-næringsstofferne (N, P, K, S, Mg). Kun Ca mangler sådanne effekter. Synergi-virkningerne forøger både udbytte og plantekvalitet i jordbruget med en faktor 1-3 mere, end hvad analyser af de individuelle næringsstoffer forudsiger (1). Derfor er identifikation af næringsstofmangel og brug af optimale forhold imellem næringsstofferne vigtig i udvikling af effektive gødninger. Desværre er juletræs- og klippeproduktion for lille til, at de store producenter af kunstgødning udvikler gødninger målrettet hertil. Anderledes stiller sagen sig for de



Antagonistisk virkning fra Ca kan være medvirkende til fremkomst af både Mg-mangel (bare skuldre) (øverst) og Mn-mangel (nederst).



Figur 3. Tilgængeligheden af næringsstoffer i forhold til jordens pH. Efter Department of Primary Industries and Regional Development's Agriculture and Food division is committed to growing and protecting WA's agriculture and food sector (gric.wa.gov.au/soil-acidity/effects-soil-acidity).



Figur 4. N i jordvæsken lige under rodzonen i juletræskulturer. Data fra forskningsprojektet "Agenda" i Ry og på Clausholm.

mindre producenter af organiske gødninger, som har formålet at tilpasse deres gødningstyper til juletræs- og klippegrøntproduktion.

De hæmmende virkninger er ofte imellem næringsstofferne med to ladninger (Ca^{2+} , Mg^{2+} , zink Zn^{2+} , mangan Mn^{2+}), der tit deler samme optagelsesmekanisme hos planterne. Måske kan de hæmmende problemer overvindes ved at opdele gødsningen af disse næringsstoffer mellem traditionel bredgødsning og bladgødsning. Flere undersøgelser i landbruget viser positive effekter af tilførsel af makro-næringsstoffer gennem bredgødsning og tilførsel af mikro-næringsstoffer ved bladgødsning sammen med urea.

Surhedsgraden påvirker

Rodoptagelsen af næringsstofferne afhænger i særlig grad af jordens surhed, navnlig tæt ved rodhårene. Mikronæringsstofferne (Fe , Mn , Cu , Zn) tilgængelighed øges, når det er NH_4^+ der optages (pH sænkes) (figur 3), mens tilgængeligheden og optagelsen af makro-næringsstofferne K , og i særligt grad Mg og Ca , favoriseres, når det er NO_3^- , der optages (pH øges).

Optagelsen af de to N-former har nemlig vidt forskellig betydning for jorden. Når planterne optager det positive NH_4^+ , afgiver de syre (H^+) til omgivelserne for at opretholde laddningsbalancen. Det betyder, at jorden forsures. Det modsatte sker, når planterne optager NO_3^- . Her udskilles nemlig kompenserende base (OH^-), der hæver jordens pH. Begge forhold har stor betydning for tilgængeligheden af alle andre næringsstoffer.

For at dele sol og vand lige består mange gødningstyper af lige dele NH_4^+ og NO_3^- . I praksis giver disse almindelige kunstgødningstyper en svag forsuring omtrent 3 – 3,5 gange mindre (afhængig af jordbund) end svovlsur ammoniak, som er den almindeligst brugte gødning til forsuring.

Kvælstofs kemi er unik

Kredsløbet af N er det mest komplicerede stofkredsløb, fordi N findes i mange forskellige former i både organismer, luft, jord og vand.

Hele 72 pct. af luften består af frit N_2 , som kun er tilgængeligt for kvælstoffikserende organismer, men industrien og landbruget har også tilført diverse kvælstofilter og ammoniak (NH_3).

I jorden findes N både på organisk og uorganisk form. Langt de fleste organiske former er svært tilgængelige for planterne. En form, urea ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$), er dog forholdsvis let tilgængelig, fordi det hurtigt nedbrydes til uorganisk N. Urea tilsættes mange organiske gødninger, dels for at øge N-indholdet i gødningen, dels for at opnå en langstrakt gødningseffekt helt forskellig fra "peakeffekten" ved NO_3^- .

De uorganiske former består af NH_4^+ og NO_3^- . Nogle plantearter optager fortrinsvis NH_4^+ , mens andre foretrækker NO_3^- . Langt de fleste plantearter optager begge N-former. Til denne gruppe hører juletræs- og klippegrøntarterne. Vi ved dog, at rødgran foretrækker NH_4^+ , når den tilbydes begge former (2). Der er også en undersøgelse af, at NO_3^- giver den største vækst i frasergran (3).

I jorden binder den positivt ladede NH_4^+ sig til de negativt ladede jordpartikler og vaskes derfor normalt ikke så let ud af dyrkningssystemet. NO_3^- er derimod letopløseligt og negativt ladet i jordvandet, hvorfor stoffet frastødes af jordpartiklerne. NO_3^- optages derfor let af planterødder, men udvaskes desværre også let sammen med positivt ladede næringsstoffer til grundvand, vandløb og søer. Der er ofte en større ikke helt så let omsættelig pulje af NH_4^+ i jorden. Denne pulje mobiliseres ofte via bakteriernes nitri-

fikationen til NO_3 . Bindningen til jorden og nitrifikationen er begge årsag til, at jordvæsken indeholder store mængder NO_3 og uanseelige mængder NH_4 (figur 4).

Enorm vital betydning

N har enorm vital betydning for planterne. Det er en vigtig byggesten i klorofylmolekylet, som planterne bruger til at danne sukker ud fra sollys, vand og kuldioxid (CO_2). N er også en vigtig del af aminosyrerne, - byggestenene i proteiner, som bl.a. bruges som strukturelementer i plantecellerne, mens andre virker som enzymer i næsten alle stofskifteprocesser. N er også en komponent i det vigtige energioverførselsstof ATP (Adenosin trifosfat), og endelig indgår stoffet, som en vigtig del af kernesyrerne DNA og RNA, det genetiske materiale, der er nødvendigt for vækst og reproduktion.

Kvælstofs interaktioner

Særlig kendt er NH_4 's negative påvirkning af optagelsen af K ved lille NH_4/NO_3 -forhold. Konkurrencen mellem stofferne er vanskelig at forklare, fordi NH_4 så tydeligt undertrykker K, men ikke omvendt. Foruden K, undertrykker NH_4 også optagelsen af Ca og Mg, formentlig via konkurrencen om negative ladninger.

Man skal derfor være særlig varsom med ikke at overgødske med svovlsur ammoniak, fordi det kan medføre, at optagelsen af især K, men også Ca og Mg hæmmes. Ønsker

man at forsure sin jord med svovlsur ammoniak, er det derfor en god idé at sikre sig, via jordanalyser, at jordens Kt ikke er for lav (lerjorde mindre end 4-5, sandjord < 3-4). Er kulturen også eksponeret for bare skuldre (mangel på Mg), er der øget risiko for forværring ved tilførsel af store mængder NH_4 , f.eks. gennem svovlsur ammoniak.

Der findes også en gensidig hæmmende virkning mellem det negativt ladede klorid (Cl^-) og NO_3 . I Danmark er der høje niveauer af Cl både i jord og planter, fordi havet altid er tæt på. Det må dog vurderes, at koncentrationerne af Cl alligevel er så små, at man godt kan negligere en negativ påvirkning af tilgængeligheden af NO_3 . Kun i tilfælde af saltnedslag er risikoen betydeligt forøget, men det er spørgsmålet, om svindningen fra havsaltet ikke har en større negativ effekt i kulturene. Der er ikke sikkerhed for en interaktion mellem det negative NO_3 og sulfat (SO_4^{2-}), selvom mange undersøgelser har påvist, at svovl(S)- og N-indholdet i planter følger hinanden. Dette er også set i juletræer.

Langt de fleste planter gror bedst, når både NH_4 og NO_3 er til stede, men det er ofte set, at NH_4 kan hæmme optagelsen af NO_3 . I hvert fald har høje koncentrationer af NH_4 udenfor planterødderne vist sig at undertrykke optagelsen af NO_3 hos rødgran. Omvendt, vil planter der har en stor produktion af bladmasse (f.eks. spinat) eller planter, der er i færd med at danne mange blade (nåle) ▶

Crapal[®]2 et stærkt valg


ArcelorMittal

Zink+Aluminium legering for aktiv og langtidsvirkende korrosionsbeskyttelse

- Dobbelt så lang levetid uden merpris
- Designet til de mest barske klimaer i Norden
- Spar tid på opsætning: Hegn i 150 og 200 m ruller
- Miljøvenlig - ingen brug af skadelige metaller

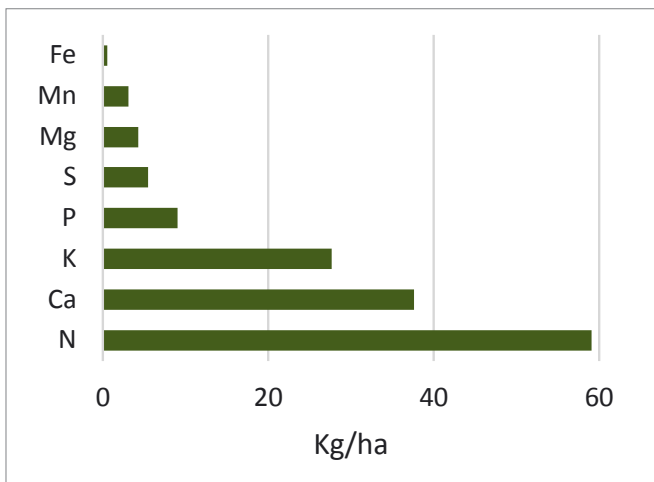


SALTÅGETEST





Gl. Skivevej 91 · 8800 Viborg
T: 87 281 281 · F: 87 281 291
hd2412@hd2412.dk · www.hd2412.dk



Figur 5. Gennemsnitlig optagelse af næringsstoffer over en 10-årig omdrift på sandjord beregnet vha. Danske Juletræers gødningsmodel "Op10mal".

have et stort behov for sukker i de nye blade/nåle. Sukker er helt nødvendigt for omsætningen af NH_4 i planterne. Transporten af sukker til rødderne vil under sådanne omstændigheder være stærkt reduceret. Sådanne planter eller situationer (udspring) vil derfor kræve et lavt NH_4/NO_3 -forhold.

Jordens pH påvirker tilgængeligheden af NH_4 og NO_3 . Under sure forhold (lavt pH) reduceres den bakterielle nitrifikation (omdannelsen af NH_4 til NO_3), hvorved NH_4

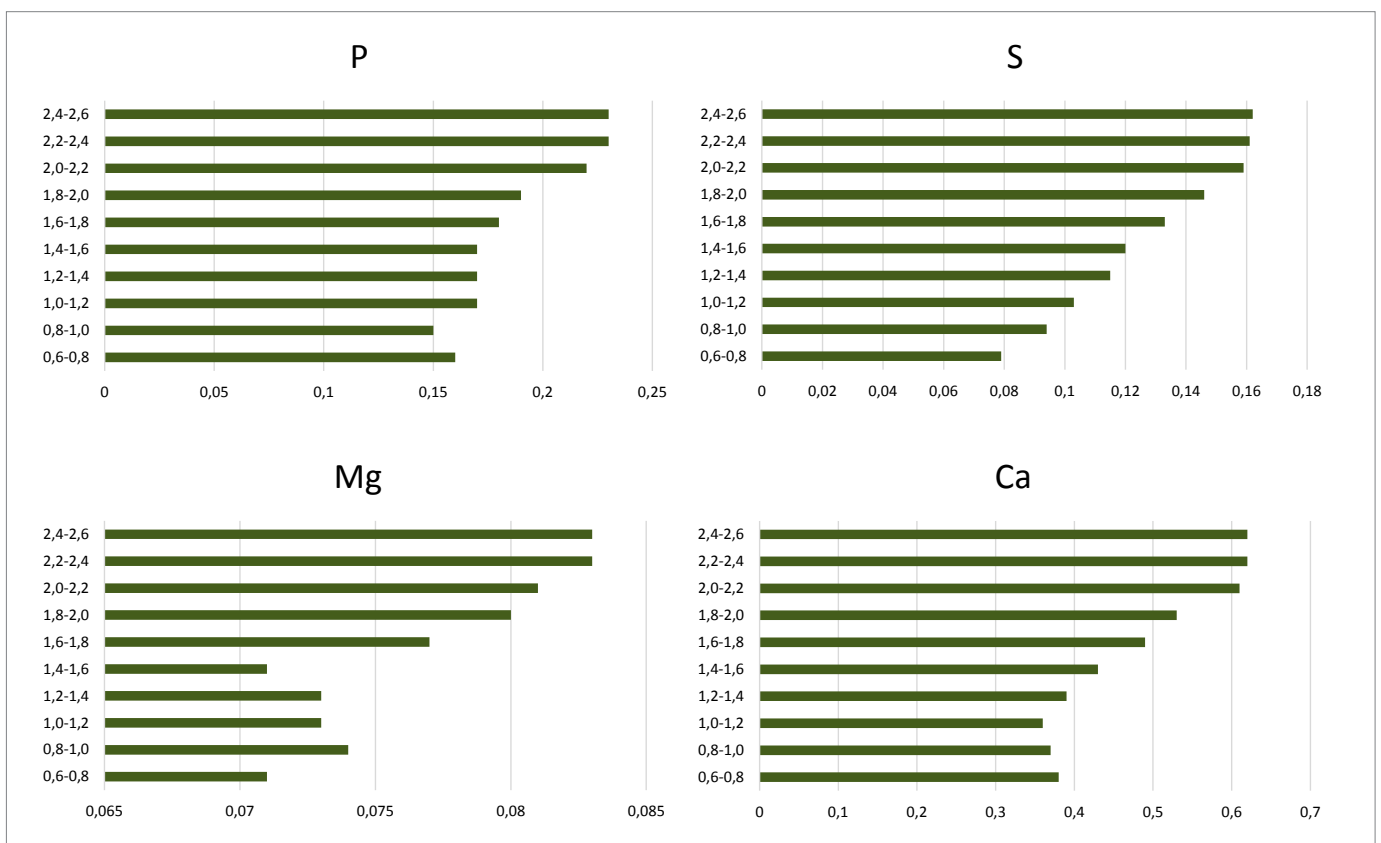
akkumuleres og NO_3 formindskes i jorden. Når jordens pH er høj, vil NH_4 gradvist omdannes til luftarten ammoniak (NH_3). Denne er meget flygtig og fordampes let fra jorden til atmosfæren. Ved pH mellem 6,0 og 6,5 fordampes let 20 pct. af det tilgængelige N. Under sådanne forhold vil tilgængeligheden af NH_4 mindskes.

N stimulerer og hæmmer optagelsen af andre næringsstoffer, hvilket har både positive og negative konsekvenser for juletræs- og klippegrøntdyrkningen. Årsagen til den forskellige påvirkning beror i særlig stor grad på N's kemiske karakteristika.

Kvælstofinduceret vækst øger næringsstofoptagelsen

Høje koncentrationer af N i stort set alt plantevæv vidner om en bred anvendelse af N, men også om en stor rodoptagelse. Sådant er det også med juletræs- og klippegrøntarterne (figur 5). Det er ikke nogen hemmelighed, at øget N-gødsning øger træernes vækst (op til en vis grænse) – mest den overjordiske og mindst den underjordiske biomasse.

Biomasseundersøgelser i nordmannsgran (4) viser, at øget fuldgødsning fører til øget optag af N, men også at øget af N-optag følges af øget optag af andre næringsstoffer (P, K, Mg, S, Ca og Mn) – også hvis de ikke er en del af gødningstildelingen. Som ofte er dette særligt tydeligt i årsnålenes stofpuljer. Dette genspejles i en analyse af fordelingen af næringsstoffer i Danske Juletræers nåle-database (figur 6).



Figur 6. Fordelingen af koncentrationen af udvalgte næringsstoffer i årsnåle i forhold til N-niveau (lodret akse). Også K, Cu, Fe og Mn udviser samme fordeling med stigende koncentration i takt med, at koncentrationen af N øges i årsnåle.

Dette skyldes formodentlig, at optagelsen af næringsstoffer balanceres i forhold til hinanden, – og fordi N ofte er det begrænsende næringsstof, følges et forøget optag heraf også af de andre næringsstoffer (hvis der er nok). Den N-stimulerede ”mervækst” følges således af øget optag af andre næringsstoffer.

Til trods for dette, skal man være opmærksom på, at decideret overgødskning med N kan medføre en helt modsat effekt, at f.eks. mikronæringsstoffer går fra at være marginal til at være utilstrækkelig. Det er således kendt, at stor tilgængelighed af N understøtter øget optag P, Ca, B, Fe og Zn, men at overgødning med N kan fortynde koncentrationen af disse stoffer i plantevævet.

Konklusion

Det er vigtigt at have et indgående kendskab til kulturernes tilstand og vækstmiljø gennem jord- og nåleanalyser, men det er også vigtigt at have et detaljeret kendskab til alle input til kulturernes vækstmiljø, herunder tilførsel af gødningsstoffer, kalk og organiske jordforbedringsmaterialer samt deposition (sidstnævnte fås f.eks. gennem gødningsmodellen Op10mal). Fælles bidrager de nemlig alle med en vis næringsværdi, men det er problematisk, hvis der er negativ påvirkning af optagelse og tilgængelighed imellem næringsstofferne. Det ultimative gødningsmål er derfor at opnå synergi og undgå antagonisme.

For juletræsdyrkeren er det især vigtigt at være opmærksom på de hæmmende virkninger fra NH_4 på tilgængeligheden og optagelsen af K, men også Mg og Ca. Opmærksomheden er især rettet mod dyrkere på god lerjord i de år, hvor de tilfører store mængder svovlsur ammoniak for at forsure jorden i bestræbelserne på at skabe et optimalt pH (Rt).

Mange kunstgødninger indeholder ikke mikronæringsstoffer. Ønsker man at tilføre disse, er der mulighed for

undertrykkende virkning fra de positivt ladede makronæringsstoffer. Måske kan mikronæringsstofferne med fordel tilføres alene som bladgødninger, hvorved en mulig antagonisme kan undgås.

I langt de fleste tilfælde er der heldigvis en rimelig balance i næringsstofoptagelsen. Når doseringen af N øges, øges samtidig tilførslen af de øvrige makronæringsstoffer, når der anvendes fuldgødninger, eller også tilfører forvitringen og mineraliseringen i jorden tilstrækkeligt med næring.

Ca har mange gode egenskaber på jord og planter, men det er også et næringsstof med mange antagonistiske virkninger. Hos de fleste juletræsdyrkere sker langt den største tilførsel af Ca med kalkningen, og i juletræsdyrkingen ofte med store mængder før kulturstart. Det vil således være hos nyplantningerne, der er størst risiko for calciuminduceret mangel på næringsstoffer og dermed nedsat vækst og sundhed.

Litteratur

1. Rietra, R., Heinen, M., Dimkpa, C. og Bindraban P.S. (2017): Effects of Nutrient Antagonism and Synergism on Yield and Fertilizer Use Efficiency, Communications in Soil Science and Plant Analysis 48,1895-1920.
2. Lumme, I. (1994): Nitrogen uptake of Norway spruce (Picea abies Karst.) seedlings from simulated wet deposition, Forest Ecology and Management, 63, 87-96.
3. Rothstein, D.E. & Cregg, B. (2005): Effects of nitrogen form on nutrient uptake and physiology of Fraser fir (Abies fraseri), Forest Ecology and Management, 219:69-80.
4. Christensen, C.J., Ingerslev, M., Pedersen, L.B. & Nielsen U.B. (2001): Gødningsrespons hos nordmannsgranprovenienser Ambrolauri og Langesø afd. 6. Pyntegrøntserien, 17, side 1-64, Skov & Landskab. 📄



Valtec Skov
Ekspert i VALTRA-traktorer og redskaber til skovbruget

Få din næste Valtra med TwinTrac, fabriksmonteret vendbar kabine. Det er billigere, end du tror!

Valtec i Gravens
Bramdrupvej 33
6040 Egtved
Tlf. 75 55 42 66

Valtec Skanderborg
Låsbyvej 5-7
8660 Skanderborg
Tlf. 86 52 11 33