Plantens liv under jorden

Plantens rødder er helt centrale, når jordens begrænsede ressourcer skal udnyttes optimalt. Derfor studerer forskere ivrigt rodsystemerne på vigtige afgrøder for at udvikle sorter og dyrkningssystemer, som effektivt kan optage vand og de næringsstoffer, der er til rådighed.

Foto: Lennart Søgård-Høyer

Forfatterne

Dorte Bodin Dresbøll er forsker dbdr@life.ku.dk

Rikke Pape Thomsen er kommunikationsmedarbejder rpt@plen.ku.dk

Begge ved Institut for Plante- og Miljøvidenskab, KU-SCIENCE

På en frodig knaldgul dansk rapsmark eller en tør, afrikansk mark, der langtfra bugner af biomasse, er planternes rødder helt centrale for det resultat, landmanden opnår, når han dyrker jorden. Planternes rødder støvsuger nemlig store dele af den jord, de er i kontakt med, for at få livsvigtige næringsstoffer og vand til vækst og frøsætning.

I Danmark er der rigeligt med næringsstoffer, fordi landmanden gøder jorden, og derfor vil den næring, rødderne ikke når at optage, bevæge sig ned gennem jorden med vandet. Her er der en risiko for, at næringen udvasker og belaster den omgivende natur.

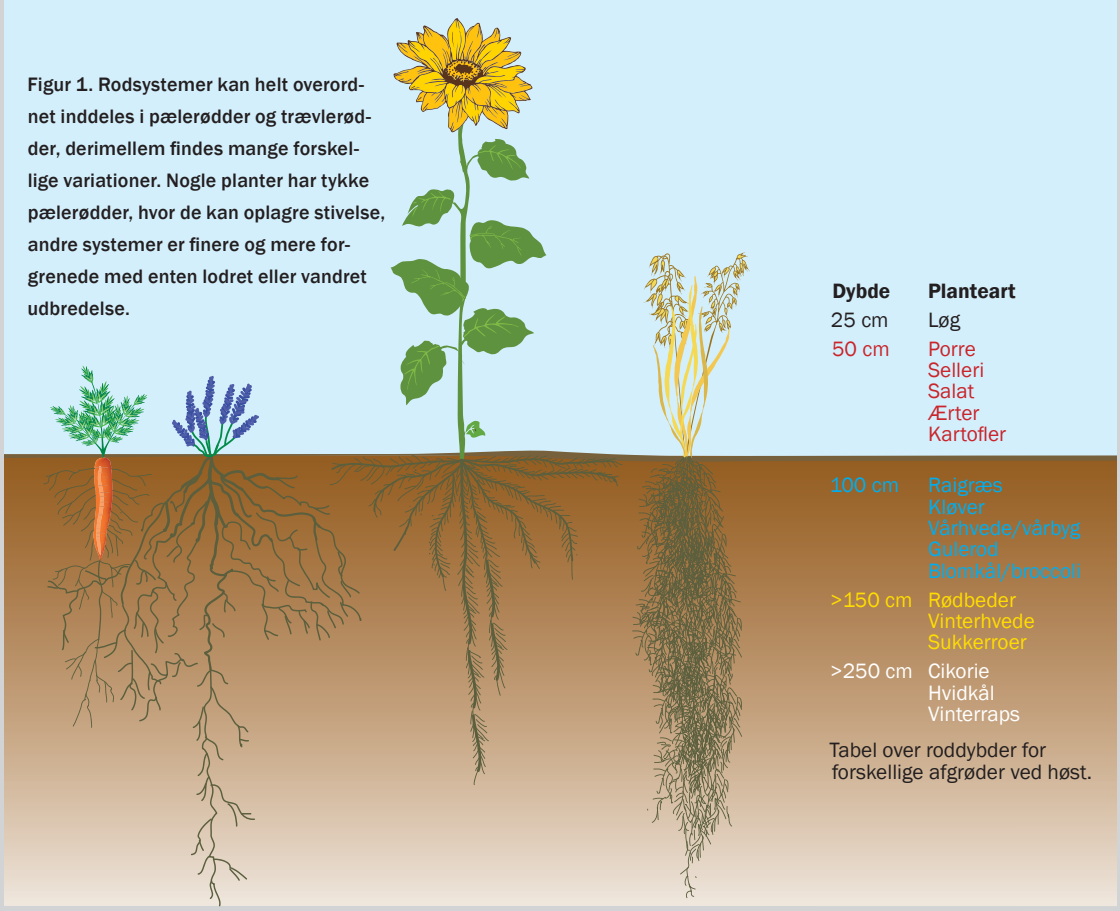
På den afrikanske mark er problemet omvendt, at der ofte ikke er næringsstof og vand nok. I begge scenarier er det altså i landmandens interesse, at planternes rødder fanger så meget næringsstof som overhovedet muligt.

Rodarkitekturen varierer enormt

På Institut for Plante- og Miljøvidenskab på KU-SCIENCE arbejder en række forskere med rødder – på afgrøder som hvede, byg, raps, løg og salat. Vi undersøger røddernes arkitektur, dvs. deres evne til at forgrene sig og nå bredt og dybt ned i jorden (Figur 1), og hvor effektive rødderne er til at udnytte især kvælstof (N) i jorden.

Tror man, at plantens overjordiske dele afspejler, hvad der gemmer sig under jorden, kan man godt tro om igen. Sammenligner man fx to almindelige grøntsager som salat og hvidkål, så har hvidkål rødder helt ned i 2,5 meters dybde, mens salat typisk kun har rødder ned til 0,75 meters dybde.

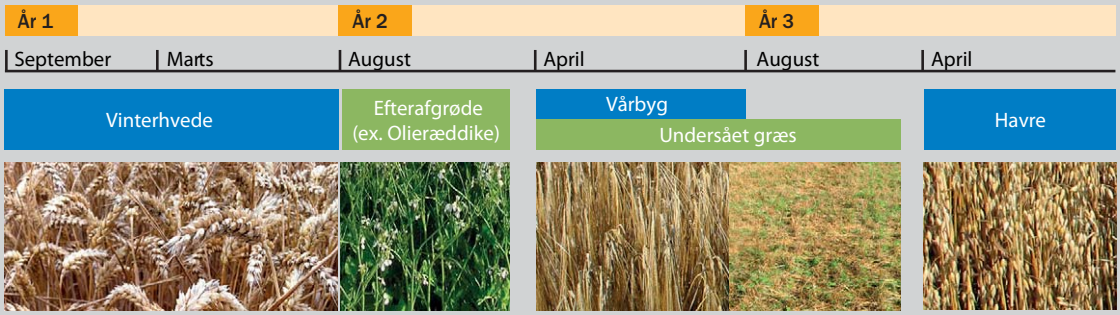
Det er ikke kun imellem plantearterne, der findes forskelle i roddybder. Sorter af den samme planteart kan også variere meget. Ny forskning viser fx, at der er stor forskel selv på de gængse hvedesorters rodsy-



Figur 1. Rodsystemer kan helt overordnet inddeles i pælerødder og trævlerødder, derimellem findes mange forskellige variationer. Nogle planter har tykke pælerødder, hvor de kan oplagre stivelse, andre systemer er finere og mere forgrenede med enten lodret eller vandret udbredelse.

Tabel over roddybder for forskellige afgrøder ved høst.

Afgrøderotation



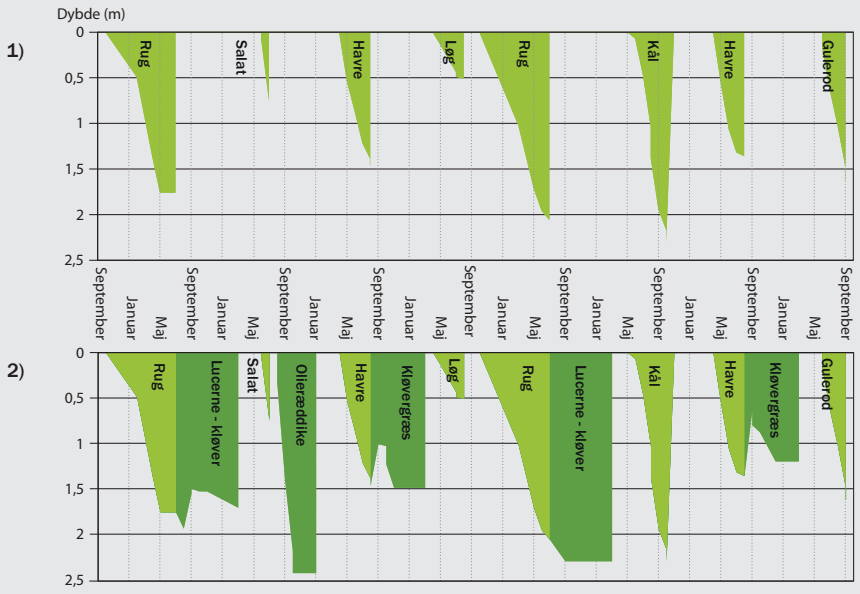
Figur 2. Afgrøderotation på én mark i et dansk dyrkningssystem over flere sæsoner. Vinterhvede (hovedafgrøde) sås i efteråret og høstes den efterfølgende sommer. Lige før høst eller straks efter sås en efterafgrøde. Den pløjes ned i jorden i det sene efterår eller tidlige forår og frigiver kvælstof til vårbyggen (hovedafgrøde), der sås i foråret og høstes den efterfølgende sommer. Vårbyggen er her sået sammen med en græs, der vokser videre efter høst af vårbyggen og fungerer som efterafgrøde. Græsset pløjes ned i jorden i foråret, inden havre (hovedafgrøde) sås.

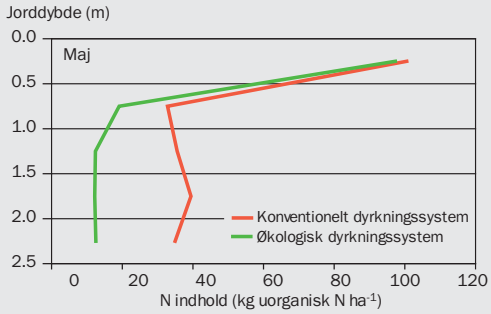
Gødningstyper

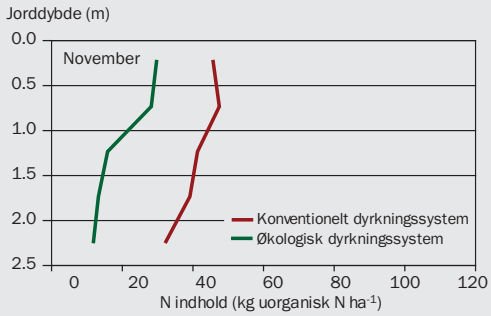
Kvælstof er et makronæringsstof, som afgrøderne typisk skal bruge 100-300 kg af pr. hektar. Bortset fra de kvælstoffikserende bælgplanter kan afgrøderne ikke selv producere kvælstof. Landmanden tilfører derfor kvælstof til sin mark på forskellige måder. Han kan:

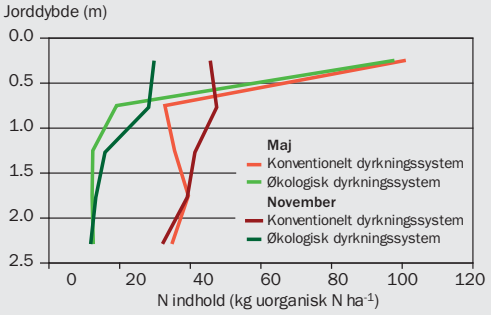
- bruge kunstgødning fx NPK-gødning, der på en gang tilfører de 3 vigtigste makronæringsstoffer: kvælstof (N), fosfor (P) og kalium (K). Kvælstof i kunstgødning bliver fremstillet ad kemisk vej, hvor kvælstof (N_2) og brint (H_2) under højt tryk (200 atm.) og høj temperatur (500 °C) reagerer og danner ammoniak (NH_3). Denne proces er meget energikrævende og udgør en stor del af verdens samlede energiforbrug.
- bruge husdyrgødning, som indeholder store mængder organisk kvælstof
- dyrke grøngødninger, som er afgrøder, der tilfører dyrkningssystemet næring. Det kan enten være kvælstoffikserende bælgplanter eller efterafgrøder, der "holder" på jordens næringsstoffer og ved nedbrydning frigiver dem igen.

Økologiske landmænd må ikke bruge kunstgødning men kun husdyrgødning, kompost og grøngødning.









Røddernes udnyttelse af jordvolumenet over tid

1) Konventionelt dyrkningssystem uden efterafgrøder. Betragter man dette blandede dyrkningssystem over 8 sæsoner vil ca. 22 % af jordvolumen blive udnyttet af rødderne.
2) Økologisk dyrkningssystem med efterafgrøder/grøngødning, her udnytter rødderne ca. 38 % af jordvolumenet i det blandede dyrkningssystem. Y-aksen viser roddybder, mens x-aksen angiver 8 sæsoner.

Kvælstofindhold

Kvælstofindhold i hhv. konventionelt og økologisk dyrkningssystem. I foråret (maj) er der i begge dyrkningssystemer meget kvælstof i de øverste jordlag, da landmanden tilfører gødning til marken. I det økologiske system bliver der også frigivet kvælstof fra omsætningen af efterafgrøderne. I efteråret (nov.) er kvælstofmængden reduceret i de øverste jordlag, men de højeste kvælstofværdier er at finde i det konventionelle jordbrug, da der ikke er afgrøder til at optage kvælstof efter høst. Det kan medføre en større risiko for udvaskning. Det ses desuden, at der er mindre kvælstof i de dybere jordlag i det økologiske system, da efterafgrøderne/grøngødningen er i stand til at optage det meste kvælstof, mens kvælstoffet i det konventionelle system stadig bevæger sig længere ned i jorden.

stemer både mht. roddybde (op til 40 cm forskel på dybeste rod) og udbredelse.

Økosystemer i landbrug og naturen

I naturlige økosystemer er der rødder i en stor del af jorden, og der findes ofte en blanding af både énårige og flerårige planter. Dyrkningssystemerne i landbruget består derimod mest af énårige planter, der kun har en kort vækstsæson. Det betyder, at der en stor del af året er betydelige dele af jorden og dens ressourcer, som ikke bliver udnyttet. Der er derfor en stor risiko for, at ressourcerne bliver tabt ud af systemet, især kvælstof, der er meget mobilt i jorden. Det problem kan til dels løses ved at dyrke efterafgrøder, som er planter, der dyrkes efter hovedafgrøden og inden en forårsafgrøde (Figur 2). Hermed bliver jorden dækket af planter en større del af året, og da mange efterafgrøder har dybe rødder, optager de det kvælstof, der er tilbage i jorden, og holder altså på næringsstofferne. Når planten bliver pløjet ned i jorden, eller visner hen og dør i løbet af vinteren, nedbryder mikroorganismerne planteresterne i jorden, og på den måde frigives der kvælstof i de øverste jordlag klar til at gøde de kommende afgrøder. Det er altså en effektiv måde at reducere tabet fra systemet og mindske brugen af de dyre gødninger. Forsøg har vist, at efterafgrøder kan mindske udvaskningen af kvælstof med 50-80 %.

Design det bedste dyrkningssystem

Viden om planternes rodsystemer er vigtig for at kunne designe de bedst mulige dyrkningssystemer, hvor jordens ressourcer udnyttes optimalt. Det er ikke kun et spørgsmål om at have et plantedække det meste af året, men også om at vælge de rigtige planter i forhold til deres gødningsbehov og roddybde.

Især er det vigtigt i den økologiske planteproduktion at fokusere på at udnytte ressourcerne optimalt, da næringsstofferne her typisk er mere begrænsede end i konventionelle systemer, hvor man tilfører kunstgødning. I et stort samarbejdsprojekt mellem flere danske universiteter sammenlignede vi et konventionelt dyrkningssystem uden efterafgrøder med et økologisk system med brug af efterafgrøder og grøngødninger. Røddernes dybde blev bestemt flere gange i løbet af dyrkningssæsonen i begge systemer. Hvorvidt systemet indeholdt efterafgrøder/grøngødninger eller ej medførte en stor forskel i udnyttelsen af jorden i både tid og rum (Figur 3). Det økologiske system havde således plantedække det meste af året, og 38 % af jordvolumenet indeholdt rødder mod 22 % i det konventionelle system. Ud over at bestemme roddybderne over tid, blev kvælstofindholdet i jorden målt ned til en dybde af 2,5 m (Figur 4). I foråret var kvælstofindholdet højt i det øverste jordlag i begge systemer, da der blev tilført gødning og frigivet kvælstof fra de nedpløjede planterester. Længere nede i jorden var der betydeligt mere kvælstof at finde i det konventionelle system, hvor der ikke havde været efterafgrøder til at optage noget af det efterladte kvælstof. I det økologiske system var kvælstofindholdet lavt i hele jordprofilen, mens niveauet var højere i det konventionelle system uden plantedække, hvor der derfor var risiko for udvaskning.

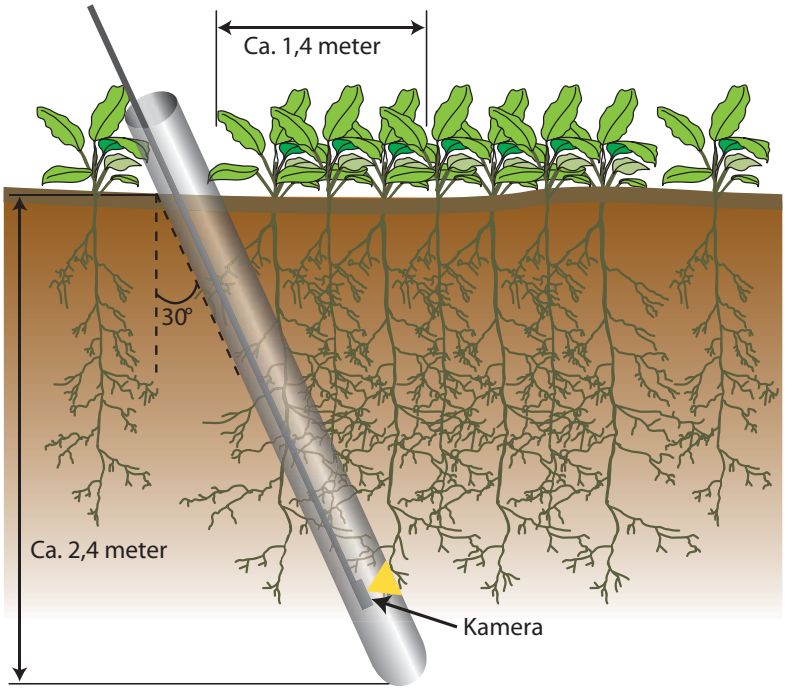
Designet af dyrkningssystemet er altså vigtig, idet jo større et jordvolumen rodsystemerne kan afdække, jo større er mulighederne for, at den næring, der bliver tilført jorden – enten i form af kunstgødning, husdyrgødning eller grøngødning – bliver optaget af planten.

På jagt efter sorter med dybe rødder

En anden mulighed for at mindske brugen af gødning og sikre sig mod tørkeperioder er at udnytte de ressourcer, der allerede ligger i jorden – bare dybere nede end de fleste af vore nuværende afgrøder har rødder. Derfor arbejder vi på at identificere arter og sorter med dybe rødder og undersøge effekten af at så afgrøden tidligere, så rødderne får en længere periode at udvikle sig i. På længere sigt kunne det også være en mulighed at inddrage flerårige planter i dyrkningssystemerne. Mange flerårige planter har mulighed for at sætte dybe rødder alene af den grund, at de har længere tid til det, og er derfor i stand til at udnytte de ressourcer, der findes dybere nede i jorden. Desuden arbejder forskere med at optimere afgrøders rodnet. Fx arbejder en forskergruppe i USA på at optimere majssorter ud fra devisen "steep, cheap and deep". "Steep" i betydningen at mindske vinklen mellem stængel og rod, så rødderne går mere vertikalt ned i jorden, "cheap" i betydningen at rødderne skal indeholde mere luftfyldt væv (aerenkymvæv), der ikke koster planten så mange

Når minirhizotronerne installeres, bores der først 3 m dybe huller i jorden i en vinkel på 30 grader med et bor monteret på en traktor, herefter kan glasrørene skubbes ned i jorden.

Foto: Irene Skovby Rasmussen



Måling af rodvækst under jorden

Det er en udfordring at forske i rødders vækst, fordi det i sagens natur foregår under jorden. Der findes ingen perfekte metoder til at se på rødder, alle metoder vil på den ene eller anden måde påvirke røddernes vækst. Valg af metode afhænger derfor af, hvad man ønsker at vide om rødderne. Hvis forskerne skal indhente data om rodvækst og udbredelse, der på bedste vis afspejler virkeligheden, ja så skal man kigge på rødderne, når de vokser på marken.

Ved hjælp af 3 m lange gennemsigtige rør, såkaldte minirhizotroner, der sættes dybt ned i jorden, kan forskerne føre et kamera ned i røret og filme rodvæksten, som den foregår i naturlige omgivelser. Med kameraet tages der billeder af de rødder der rammer oversiden af røret. Men de transparente rør bruges også over jorden, hvor de fyldes med jord. Når planternes rødder vokser, kan man se dem indeni røret. På denne måde kan man hurtigere sammenligne rodudviklingen i mange forskellige sorter og udvælge hvilke sorter, der kunne være interessante at se på under markforhold.

Rødderne på planter dyrket i lange gennemsigtige rør tælles.
Foto: Lennart Søgård-Høyer

kulhydrater at opbygge og vedligeholde og "deep" i betydningen lange og dybe rødder.

Bedre udnyttelse af kvælstof i planten

En tredje måde at sikre optimal udnyttelse af kvælstof i jorden er ved at forbedre planternes evne til at udnytte kvælstoffet, dvs. deres evne til at optage det kvælstof, der findes i jorden og bruge og genbruge det effektivt i planten. Det har man gjort ved traditionel forædling, hvor sorter med god evne til at udnytte kvælstof er blevet fremmet. De senere år har genteknologiske metoder vundet frem som en mulig vej til at fremelske planter, der giver mere udbytte og kræver færre ressourcer. Mange enzymer er involverede i kvælstofoptagelse og transport i planten. Man har fx forsøgt at øge plantens evne til at udnytte kvælstof ved at øge planternes produktion af enzymerne nitrat reduktase (NR) og glutamin synthetase (GS), men indtil videre uden stor succes. Begge er vigtige enzymer, der indgår i kvælstofassimileringen i planten, hvor det optagede uorganiske kvælstof bindes i organiske forbindelser. Glutamin synthetase er også involveret i genbrug af ammonium i planten.

Overraskende har alanin aminotranferase (AlaAT), der ellers ikke bliver antaget for at være et af de vigtigste enzymer i planternes omsætning af kvælstof, vist gode resultater. Alanin aminotransferase indgår i dannelse og nedbrydning af aminosyren alanin. Et højere indhold af AlaAT i ris og raps, opnået ved at indsætte *AlaAT* cDNA fra byg, har vist sig at have en positiv effekt på evnen til at udnytte kvælstof. Ved markforsøg gav risplanterne således et højere udbytte, og havde et højere indhold af kvælstof, mens rapsplanterne kunne opretholde et stabilt udbytte selv med 40 % mindre kvælstoftilførsel. Der arbejdes nu på at gøre planter med øget AlaAT kommercielt tilgængelige.

Forædling af sorter med stærke rod-egenskaber

De seneste årtier er der rundt omkring i verden blevet arbejdet på at udvikle afgrøder, der klarer sig bedre i ulandenes fosfor-fattige jorde. Fosfor (P) er et immobilt næringsstof, og da det tilføres jorden gennem gødning eller med planterester, vil fosfor især befinde sig i de allerøverste jordlag. Gennem forædling er det lykkedes at skabe bønnesorter, der generelt har flere horisontale rødder i de øverste jordlag, og som har længere rodhår. Begge er egenskaber, der gør planten i stand til bedre at optage fosfor. Resultatet har været en stigning i udbytter på 20-40 %.

I planteforædling er det typisk nødvendigt at screene en hel række planter for at undersøge, hvilke linjer der har de ønskede karakterer. Da det er en udfordring at se på rødder i et naturligt miljø, er det stadig svært at forædle for specifikke rodvækstkarakterer. Der arbejdes derfor fokuseret på at skabe metoder, der gør det muligt at screene et stort antal planter på en realistisk og dog tidseffektiv måde. Udviklingen af nye afgrødesorter og dyrkningssystemer, som kan øge udnyttelsen af jordens ressourcer – vand og næring – er nemlig en vigtig brik i udviklingen af det globale landbrug og skabelsen af en stabil fødevareproduktion. ■

Lav studieretningsprojekt på SCIENCE

Til denne artikel er knyttet en SRP-øvelse: "Undercover" – planternes liv under jorden. Tjek den ud her: www.science.ku.dk/oplev-science/gymnasiet/studieretningsprojekt/srp-oevelser/

Læs mere

Thorup-Kristensen K, Dresbøll DB, Kristensen HL. 2012. Crop yield, root growth, and nutrient dynamics in a conventional and three organic cropping systems with different levels of external inputs and N recycling through fertility building crops. European Journal of Agronomy 37(1): 66-82.

Lynch JP. 2013. Steep, cheap and deep: an ideotype to optimize water and N acquisition by maize root system. Ann. of Botany 112, 347-357.

McAllister CH, Beatty PH, Good AG. 2012. Engineering nitrogen use efficient crop plants: the current status. Plant Biotechnol J. 10(9):1011-25.