

KULSTOFLAGRING VED HJÆLP AF DYBE RØDDER

Kulstoflagring i landbrugsjord anses som en måde at mindske landbrugets klimabelastning. I den forbindelse kan afgrøder med dybe rødder spille en særlig rolle.

I 2015 indgik de 196 lande under FN's klimakonvention en aftale i Paris om en grøn omstilling, der skal holde de globale temperaturstigninger under to grader. Paris-aftalens ambitioner kræver i praksis, at en del af atmosfærens CO_2 kan opsamles og lagres. Her spiller planter og jord en stor rolle. Indholdet af kulstof i jorden er globalt det dobbelte af atmosfærens indhold af CO_2 . Mange landbrugsjorde taber dog kulstof i form af CO_2 til atmosfæren. Hvis Danmark skal nå målet om en netto-udledning på nul fra landbruget i 2050, skal vi vende processen, så landbrugsjorden i stedet trækker CO_2 ud af atmosfæren. De fleste nuværende landbrugsafgrøder er etårige, hvilket gør det svært at opbygge kulstof i jorden, da hovedparten af CO_2 bundet i fotosyntesen fjernes med afgrøderne. En løsning kan være at udskifte nogle af de etårige afgrøder med flerårige afgrøder med særligt dybe rødder. Sådanne afgrøder med dybe rødder bringer kulstoffet ned i jordlag, hvor det måske er bedre beskyttet og dermed lagres i længere tid.



Ved hjælp af specialudstyr henter forskerne jordprøver op fra underjorden.
Foto: Aarhus Universitet

Kulstof i overjord og underjord

I Danmark indeholder dyrket mineraljord typisk 1-2% organisk bundet kulstof i det øverste jordlag, pløjelaget (0-25 cm). Dette svarer i gennemsnit til et indhold på 63 ton kulstof per hektar. Under det øverste jordlag falder kulstofkoncentrationen hurtigt med dybden, men til gengæld er underjorden mange meter dyb. Derfor findes der typisk mere kulstof i underjorden end i overjorden. Alene i jordlaget fra 25-100 cm findes omkring 79 ton kulstof per hektar i

danske dyrkede jorde. Indlejringen af kulstof i overjord og underjord styres af mekanismer, der omfatter mikrobiel omsætning af kulstof og samspil mellem kulstof og jordens mineralske partikler. Planter tilfører mest kulstof til overjorden, hvor den mikrobielle nedbrydning af det organiske materiale til gengæld sker hurtigt. I underjord er den mikrobielle omsætning af kulstof langsommere, da processerne kan være begrænset af mangel på næringsstoffer, ilt og gunstige temperaturer.

Forfatterne



Jørgen E. Olesen er professor og institutleder,
jeo@agro.au.dk



Lars Elsgaard er lektor,
lars.elsgaard@agro.au.dk



Jim Rasmussen er seniorforsker,
jim.rasmussen@agro.au.dk



Zhi Liang er postdoc,
zhi.liang@agro.au.dk

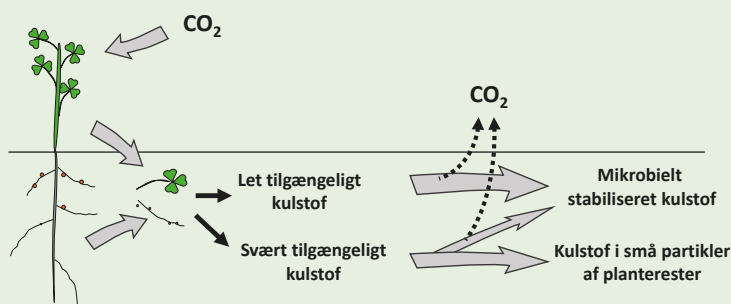


Leanne Peixoto er ph.d.-studerende,
leanne.peixoto@agro.au.dk

Alle ved Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet

Stabilisering af kulstof i jorden

Planter optager CO_2 gennem fotosyntesen og afgiver organisk bundet kulstof til jorden i form af planterester i blade, stængler og rødder, samt såkaldte eksudater fra især rødderne. Disse stoffer nedbrydes af mikroorganismer (bakterier og svampe), hvorved en del kulstof returneres til atmosfæren, mens andet indbygges i mikrobiel biomasse og stabiliseres. Kulstof fra planter kan groft opdeles i let tilgængeligt og svært tilgængeligt. Det let tilgængelige kulstof, som sukkerstoffer, giver et relativt større bidrag til opbygning af mikrobiel biomasse. Mikroorganismer er typisk bundet til jordens ler-mineraler, hvor både levende og død biomasse er

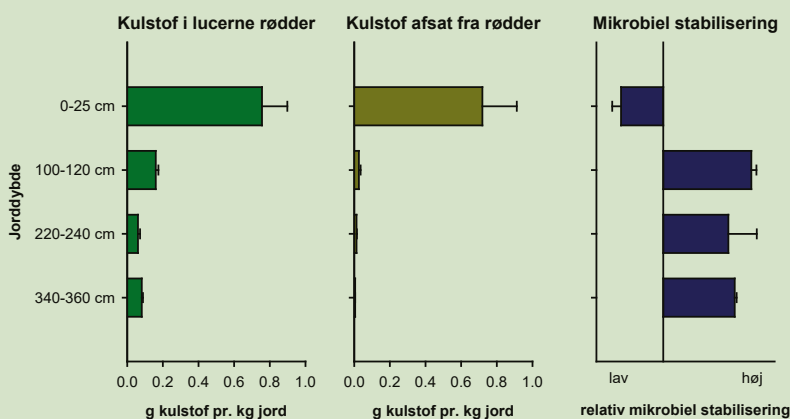


godt beskyttet mod nedbrydning. Denne form for stabilisering af plante-afledt kulstof i levende og død mikrobiel biomasse kaldes den mikrobielle kulstofpumpe. Det svært tilgængelige kulstof, for eksempel de strukturelle dele af plantestænglen,

nedbrydes også af mikroorganismerne – dog langsommere. En del af det svært tilgængelige kulstof fra planterne nedbrydes til små partikler, som beskyttes i jordaggregater (de mindste jordklumper) og derved bidrager til lagring af kulstof.

Isotoper viser kulstoffets vej i plante-jord systemet

I atmosfæren indeholder CO_2 primært den stabile kulstof-isotop ^{12}C , men en lille del (1,1%) findes som den stabile ^{13}C -isotop. Derfor kan man ved at berige CO_2 i atmosfæren med ^{13}C følge kulstoffets vej ind i planten via fotosyntesen og videre ud i jorden. I markforsøg beriges atmosfæren med ^{13}C et par gange om ugen ved at lave et lille drivhus i et afgrænset område af marken. Efter en periode med ^{13}C -mærkning tages der prøver af planterne og jorden. I laboratoriet bestemmes indholdet af ^{13}C i plantens blade og rødder, og i jorden undersøges indholdet af ^{13}C i biomolekyler, der er specifikke for blandt andet svampe og bakterier.



Den tunge kulstof-isotop ^{13}C bruges til at bestemme den relative betydning af kulstof i selve rødderne og det, der er afsat til den omgivende jord. I topjorden udgjorde kulstof i rødderne cirka halvdelen af det tilførte kulstof, mens andelen af kulstof i rødderne steg med jorddybden. ^{13}C i de specifikke biomolekyler viste, at det rodafsatte kulstof i høj grad var blevet mikrobielt stabiliseret i de dybe jordlag.

Potentiale for lagring af kulstof i dybe jordlag

Det har vist sig vanskeligt at øge kulstoflagringen i topjorden i dyrket jord, hvor der oftest tilføres mindre kulstof i planterester og rødder end i naturlige økosystemer. Det har ført til spekulationer om, hvorvidt det er muligt at øge kulstoflagringen i dybe jordlag (typisk dybere end 1 meter), hvor betingelser for stabilisering af kulstof er anderledes end i topjorden. Lagring af kulstof i dybe jordlag kræver i første række, at der afsættes kulstof

med rødder i disse jordlag. Her er der stor variation mellem plantearter, og det er typisk kun flerårige afgrøder, der når at sætte meget dybe rødder. Langvarig lagring af kulstof kræver yderligere, at det stabiliseres via mikrobiel omsætning. Der findes kun meget få studier af begge disse processer, og potentialet for kulstoflagring i dybe jordlag er stort set ukendt. I DeepFrontier-projektet undersøgte vi, hvor meget kulstof, der blev afsat fra dybe rødder, og hvor godt dette kulstof blev stabiliseret i dybe jordlag.

Kulstof i dybe jordlag

Planter med dyb rodvækst, for eksempel lucerne (*medicago sativa*), kan afsætte kulstof i dybder ned til flere meter. For at følge kulstofoptaget via fotosyntesen dyrkes planten i en atmosfære, hvor CO_2 er beriget med den tungere kulstofisotop ^{13}C . Mængden af ^{13}C , der transporteres til dybe rødder, kan derefter bestemmes, ligesom man kan bestemme mængden af ^{13}C , der har forladt rødderne og findes ude i jorden. For at forstå, om kulstoffet i de dybe

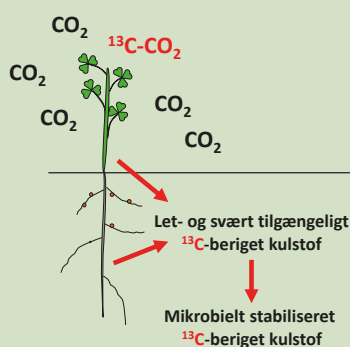
jordlag er beskyttet, skal omsætningen og indbygningen af kulstof i mikroorganismene bestemmes. Dette gøres ved at følge indbygningen af ^{13}C i specifikke biomolekyler, der kan henføres til henholdsvis levende mikrobiel biomasse (fosfolipider i cellemembranen) og til levende og dødt mikrobiel biomasse (amino-sukre i cellevæggen). Ved brug af disse specifikke biomolekyler har vi udviklet en ny beregningsmetode, som fortæller i hvor høj grad kulstof er blevet mikrobielt stabiliseret.

Lucerne har stort potentiale

I projektet undersøgte vi tre fler-årige plantearter for potentialet til at danne dybe rødder ned til fire meters dybde. Ud over lucerne var det skålplante (*silphium integrifolium*) og kernza (*thinopyrum intermedium*). Rodmængden faldt som ventet med jorddybden for alle tre plantearter. Og for alle tre plantearter faldt betydningen af kulstof afsat fra roden med jorddybden. Lucerne havde generelt den største mængde kulstof både i de dybe rødder og afsat til den omgivende jord. Lucerne havde samtidig den højeste opbygning af kulstof i de specifikke biomolekyler og dermed det højeste potentiale for mikrobiel stabilisering af kulstof i jorden. Resultaterne viste således, at den mikrobielle stabilisering af kulstof stiger med dybden for alle tre plantearter. Studiet understøtter, at det er muligt via valg af afgrøder med særligt dybe rødder at bringe kulstof ned i jordlag, hvor det har en lang opholdstid. Afgrøder med dybe rødder kan derfor være et vigtigt værktøj til at reducere atmosfærens indhold af CO_2 og dermed mindske landbrugets klimapåvirkning.

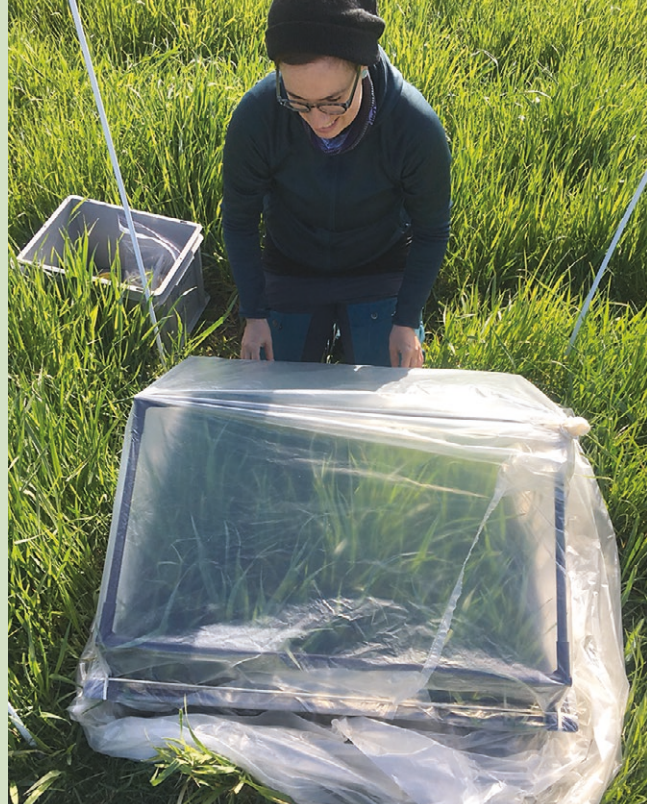
Øget kulstoflagring er udfordrende

Den globale opvarmning er i gang og har også ført til stigende temperatur i Danmark. Med stigende temperatur øges nedbrydningen af jordens pulje af organisk stof, også i danske landbrugsjorde. Dette kan i sig selv udgøre en selvforstærkende effekt i klimasystemet. Noget af dette kan modvirkes, hvis mere



Den nye metode til undersøgelse af kulstof i de dybe jordlag bygger på tilsætning af ^{13}C -isotoper – her i et lille drivhus. Denne berigelse med isotoper gør det muligt at følge kulstoffet ned i jorden og se, hvor det ender.

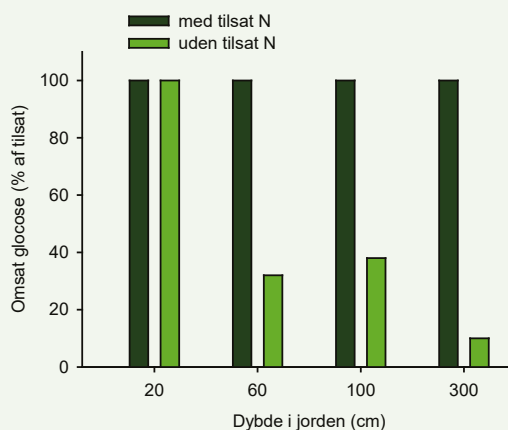
Foto: Aarhus Universitet



Omsætning af glucose

Næringsstoffer som kvælstof og fosfor er vigtige byggesten i levende organismer som bakterier, der har et mængdemæssigt forhold mellem kulstof og kvælstof på omkring 5 til 1 i deres biomasse. Det betyder, at mangel på kvælstof kan begrænse den mikrobielle biomasse og aktivitet og dermed omsætningen af kulstof. Glucose ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) er sukkerstof, som er let nedbrydeligt, og omsættes til CO_2 og mikrobiel biomasse i løbet af timer til døgn i en almindelig overjord. I forsøg med tilsætning af glucose til underjord var omsætningen kraftigt reduceret, og selv efter 40 dage kunne det meste af den tilsatte glucose genfindes i jorden. I den samme underjord, hvor der samtidigt blev tilsat kvælstof, blev glucose omsat lige så godt som i overjorden. Det betyder, at det mikrobielle potentiale var tilstede, men begrænset af mangel på kvælstof.

Omsætning af glucose i overjord (20 cm) og underjord (60, 100 og 300 cm). Kun 10-30% af den tilsatte glucose blev omsat i underjorden, når der ikke samtidig blev tilført kvælstof (N). Ved tilsætning af N blev glucose omsat lige godt (100%) i overjord og underjord.



Videre læsning

projects.au.dk/deepfrontier

Liang, C., Schimel, J.P., Jastrow, J.D., 2017. The importance of anabolism in microbial control over soil carbon storage. *Nature Microbiology* 2, 17105.

Liang, Z., Olesen, J.E., Jensen, J.L., Elsgaard, L., 2019. Nutrient availability affect carbon turnover and microbial physiology differently in topsoil and subsoil under a temperate grassland. *Geoderma* 336, 22-30.

Thorup-Kristensen, K. et al., (2020). Digging deeper for agricultural resources, the value of deep rooting. *Trends in Plant Science* 25, 406-417.

Wordell-Dietrich, P., Don, A., Helfrich, M., 2017. Controlling factors for the stability of subsoil carbon in a Dystric Cambisol. *Geoderma* 304, 40-48.

kulstof lagres i dybe jordlag, hvor de globale temperaturstigninger slår langsommere igennem. Det forudsætter dog, at landbrugets dyrkningssystemer inkluderer afgrøder med dybe rødder, og at disse rødder faktisk afsætter betydende mængder kulstof i underjorden. Det kan nok kun lade sig gøre, hvis

landbruget i højere grad dyrker fler-årige afgrøder, men selv blandt fler-årige afgrøder er der stor variation. Vi kender alt for lidt til betydningen af artsvalg og genetisk variation for mulighederne for kulstoflagring i underjorden, men det vil mere forskning indenfor området kunne afklare.