

Måling af kulstoflagring i jorden under græsarter og sorter

Kristian Thorup-Kristensen, Qiaoyan Li og Kyriaki Boulata

Københavns Universitet, Institut for Plante og Miljøvidenskab, januar 2026

Der er stor interesse i at lagre mere kulstof (C) i jorden i landbruget, som bidrag til at reducere landbrugets samlede udledning af drivhusgasser. Blandt vores almindelige afgrøder, er græsmarksafgrøderne særligt effektive til at tilføre jorden kulstof, fordi de er flerårige og fordi de udvikler en stor rodmasse. Men selvom det er velkendt at græsmarksafgrøder generelt har en god effekt på jordens kulstofindhold, så ved vi ikke meget om forskellen imellem græsmarksafgrøderne, kan vi øge indlejringen yderligere ved valg af arter, sorter eller management? Kan vi forædle græssorter som tilfører jorden mere kulstof?

Den vigtigste grund til at vi mangler den viden er, at metoder til at måle indlejring af C i jorden er meget dyre og tidskrævende at arbejde med. Ofte kræver de også målinger over en årrække for at give sikre resultater. Det betyder at der gennemføres alt for få målinger, og at det med de eksisterende metoder, ikke er realistisk at gennemføre forædling for sorter der tilfører jorden mere kulstof.

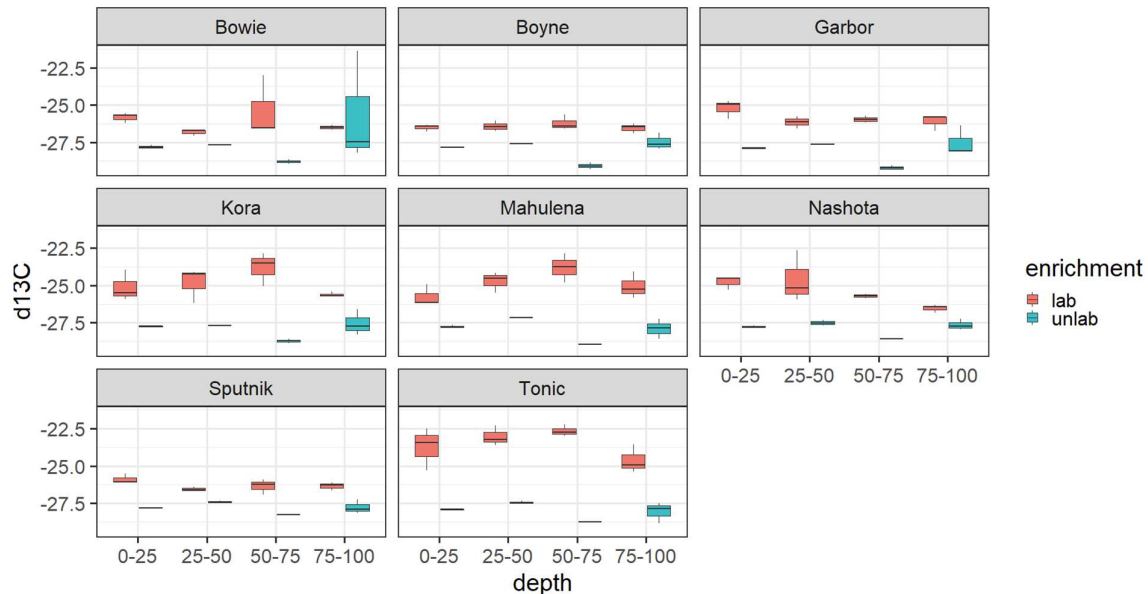
I projektet her, har vi arbejdet med udvikling af metoder som kan gøre det lettere at måle forskelle i kulstoflagringen i jorden under græsafgrøder, sådan at der kan udføres flere målinger, f.eks. i forbindelse med planteforædling eller studier af artsvalg, management m.v.. Vi har opnået nogen gode fremskridt i projektet, men kan også lige så godt afsløre, at selvom vi er nået et stykke ad vejen, er det stadig krævende målemetoder.

Vi har undersøgt forskellige muligheder der kan gøre målingerne lettere at gennemføre, men har især arbejdet med 3 muligheder: 1) ^{13}C mærkning af fotosyntesen, og efterfølgende måling af ^{13}C i jorden, 2) billedanalyse hvor vi på baggrund af billeder taget i minirhizotroner estimerer rodbiomasse, og 3) en "ingrowth-core" metode hvor vi følger rodtilvæksten over kort tid i marken.

^{13}C mærkning af fotosyntesen

Den mest almindelige metode er, at udtage jordprøver i marken, udvaske rødderne af jordprøverne og måle mængden. Den metode har flere ulemper, ikke mindst at udvaskningen af rødderne er utroligt tidskrævende, og måling af den samlede rodmasse er ikke et godt udtryk for den løbende rodproduktion. Vi har så lavet en tilførsel af ^{13}C isotopen til afgrødens fotosyntese, for at måle hvor meget kulstof der transporteres ned i jorden. Tilførslen gennemføres ved at placere et gennemsigtigt telt over en lille del af afgrøden, tilføre ^{13}C til atmosfæren derinde, og give et par timer til at optage det tilførte ^{13}C med fotosyntesen. Nogle dage senere måles der så hvor meget ^{13}C der er opfanget i afgrøden og i rødderne og jorden. Dette giver et mere direkte mål for hvor meget af det C

fra fotosyntesen der ender i rødder og jord. Det giver også mulighed for at spare tid, ved at måle direkte på en formalet jordprøve, med rødder, frem for først at skulle vaske rødderne ud af jorden. Vi har sammenlignet disse metoder, og fundet at ^{13}C mærkning kan vise forskelle imellem tilførsel af kulstof til jorden med forskellige arter og sorter af græsmarksplanter, og kan vise effekten også ned i dybere jordlag som illustreret i figur 1. Resultaterne i figur 1 er opnået uden udvaskning af rødder, hvilket er meget lovende.



Figur 1: Måling af ^{13}C i prøver fra 2025 af jord formalet med deres indhold af rødder. Der er især målt på sorter af alm. rajgræs, sammen med nogle andre arter. Sorterne Kora=strandsvingel, Mahulena=festulolium og Tonic=vejbred. De røde søjler viser ^{13}C hvor planterne er blevet mærket med ^{13}C , mens de blå viser umærkede prøver. Det er tydeligt i resultaterne at alm. rajgræs generelt ligger lavere end de 3 andre arter, men der ser også ud til at være forskelle imellem sorterne af alm. rajgræs, sådan at Nashota ser ud til at have tilført jorden mere ^{13}C end de andre.

Billedanalyse

Fra rodstudier med græsmarksplanter som vi har lavet i marken eller i stort omfang i RadiMax faciliteten med minirhizotronteknikken, opnår vi en meget stor mængde billeder der viser rodvæksten. Disse billeder har vi især brugt til at måle rodlængde, som er den vigtigste parameter for rodsystemets evne til at optage vand og næringsstoffer. Det vil være meget værdifuldt hvis vi kan bruge de samme billeder til at estimere rodbiomasse og rod-C tilført til jorden. Denne løsning er udfordret af to problemer: 1) sammenhængen imellem de rødder vi ser på billederne og den "rigtige" rodlængde i jorden er ikke klar, og 2) billedanalysen er bedre til at måle rodlængde end roddiameter, men måling af roddiameteren er afgørende for at kunne estimere biomasse.

I projektets første år arbejdede vi med græsplanter dyrket i rodrør, hvor vi kunne tage rodbilleder undervejs, og måle rodbiomasse til slut, og derved lave en direkte sammenligning. Resultaterne viste at vi kunne finde en god sammenhæng hvor jordlaget var ved at blive koloniseret med rødder, men ikke senere når der havde været rødder i et jordlag i længere tid. Vi vurderer at en videreudvikling vil kræve at man måler over kortere perioder og fokuserer på unge lyse rødder, som illustreret i figur 2.

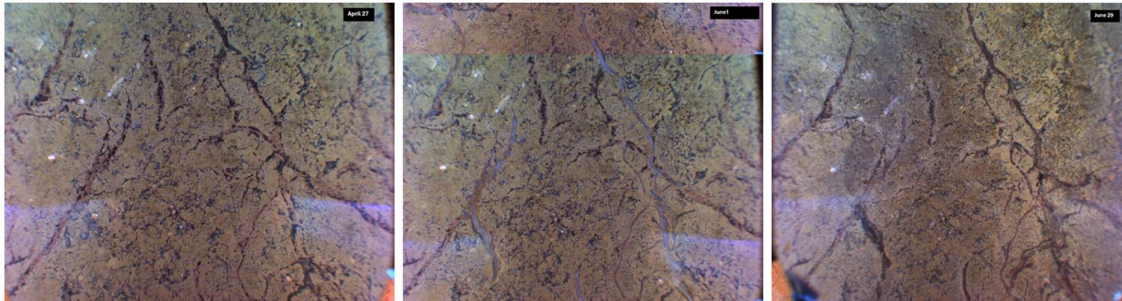


Figure 2: Billedserie over tid der viser jordstruktur og rødder. På det første billede fra 27. april kan man tydeligt se hvor der har været rødder året før, men ikke om der stadig er levende rødder. På billedet fra 1. juni er der mange nye og tydeligt levende lyse rødder. På det sidste billede fra 29. juni er det igen svært at se levende rødder, og en billedanalyse vil vise meget få rødder. Dette peger på at en billedanalyse bedst kan laves ved at sammenligne rodtilvækst på billederne over en kort periode med aktiv rodvækst.

Vi har også arbejdet med selve billedanalysen, for at forbedre estimerne af roddiameter. Billedanalysen foregår med et AI baseret billedanalyseprogram, RootPainter, som kan trænes til at genkende rødderne på rodbillederne. Vi har sammenlignet resultaterne med en manuel analyse på et antal billeder, og vist at vi kan optimere måden vi træner modellen på, sådan at vi opnår klart bedre estimer for diameter af rødderne og ikke kun deres længde. Samlet set, vil metoden dog stadig kræve betydeligt arbejde, før den er udviklet og dokumenteret til brug i større omfang.

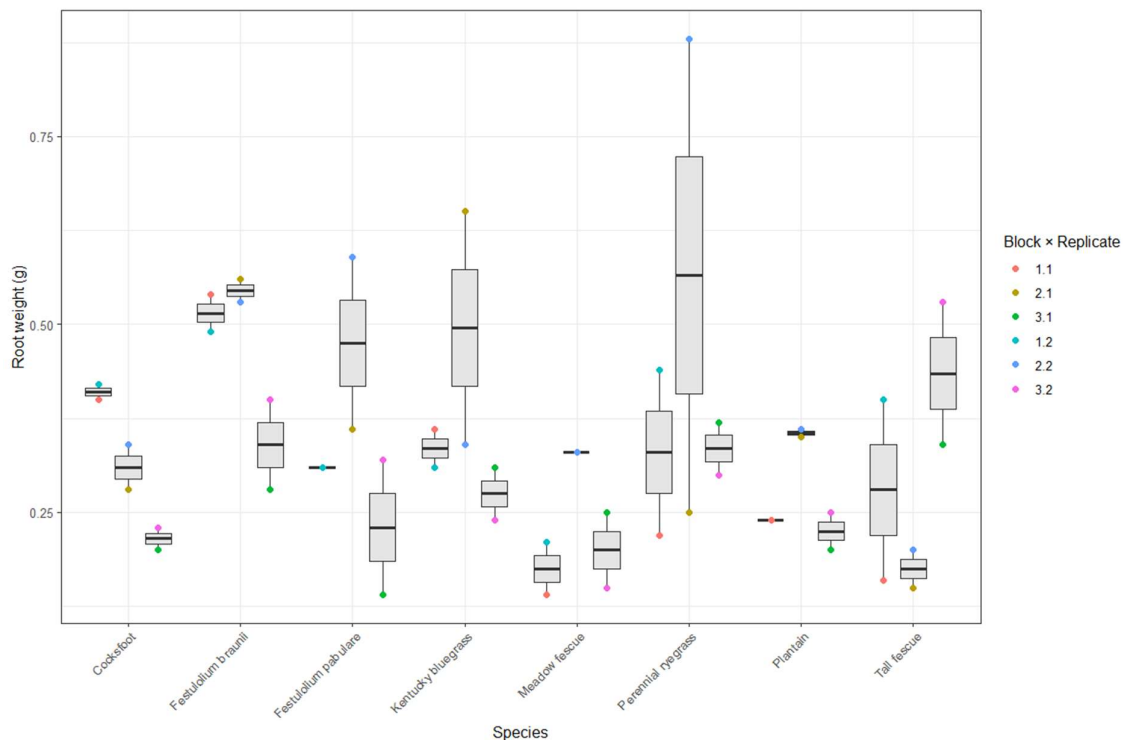
Ingrowth core metode

Vi har studeret flere metoder, for at finde lettere målemetoder til måling af rod-C produktion, men især fokuseret på ”ingrowth core” metoden, som vi brugte i markforsøg i 2025. Med metoden fylder man et rør lavet af åbent net med sandet og ren jord (figur 3) og placerer det i jorden i parcellen, så rødderne kan vokse ind i jordprøven. Når prøverne tages op igen, er det let at udvaske rødderne, og måle rodvæksten direkte. I forsøget satte placerede vi ingrowth cores i jorden i starten af april, og tog dem op samtidig med første slet, og målte de rødder der var vokset ind i jordprøven i den periode, der har den mest aktive rodvækst hos de fleste græsser.



Figur 3: Ingrowth core fyldt med jord og klar til at blive sat ned i en græsparcel

Resultaterne viser en del målevariation i nogen tilfælde, men i rigtig mange af målingerne gav 2 ingrowth cores i samme plot meget ens værdier. Vi vurderer ud fra dette første studie at metoden er lovende til en relativt simpel måling af rod-C produktion over en afgrænset periode, og vil allerede i 2026 anvende den i et andet projekt.



Figur 4: Resultater af første studie med ingrowth cores til rod-C måling. Målingerne blev lavet i 3 gentagelser med 2 ingrowth cores for hver parcel. På trods af nogen variation, ser det ud til at metoden kunne vise forskelle imellem arterne.