

Kan vi øge kulstofindholdet i landbrugsjorden?

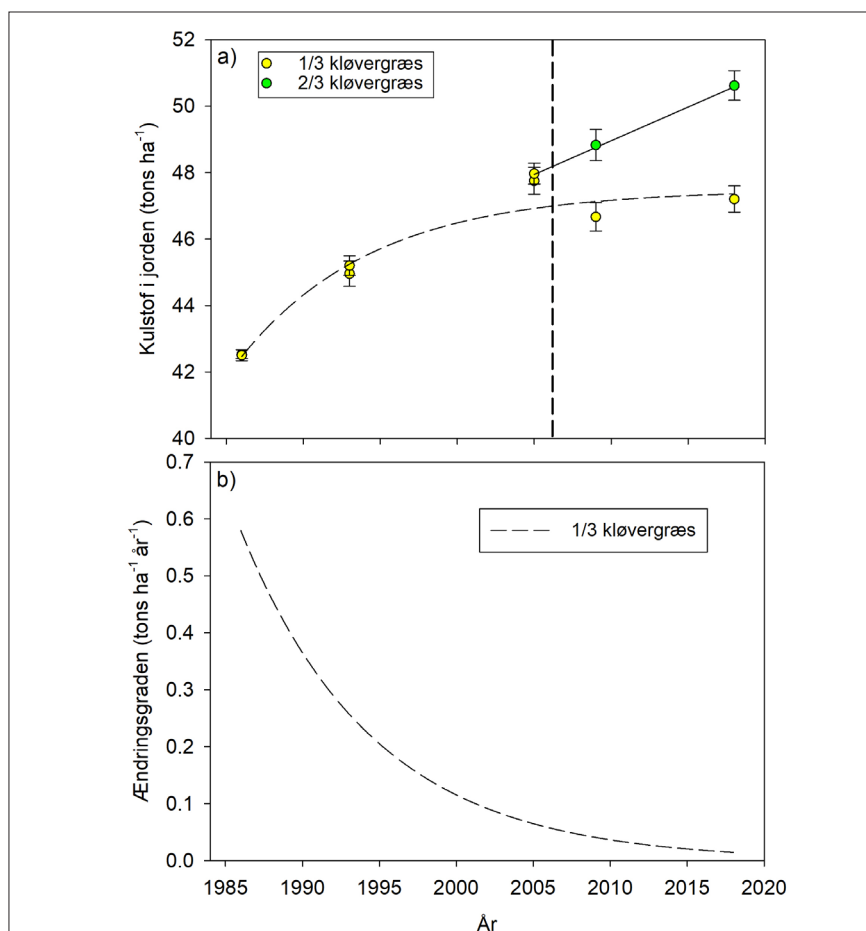
Ifølge Folketingets ”Aftale om grøn omstilling af dansk landbrug” skal landbruget bidrage væsentligt til at nå målet om at reducere udledninger af drivhusgasser i 2030 med 70 % i forhold til niveauet i 1990. En forøgelse i jordens kulstoflager ved ændringer i driften på marken kan reducere den årlige CO₂ udledning, men det er en kompliceret affære at opgøre driftstiltagenes kulstoflagringspotentiale.

JOHANNES L. JENSEN, LARS J.
MUNKHOLM & JØRGEN ERIKSEN

Kulstof i et klimaperspektiv

Klimaforandringer betragtes som et af vor tids mest presserende problemer. I den sammenhæng spiller jord en væsentlig rolle, idet jord både kan lagre CO₂ fra atmosfæren og udlede CO₂ via mikrobiel nedbrydning af organisk materiale. Jord indeholder tre gange så meget kulstof som vegetationen og dobbelt så meget kulstof som atmosfæren. Derfor kan selv små ændringer i jordens kulstofindhold have stor effekt på det globale kulstofkredsløb, hvorfor der i stigende grad er fokus på kulstoflagring i jord med henblik på at afbøde klimaforandringer. F.eks. via ”4 promille initiativet”, som blev lanceret ved COP-21 konferencen i Paris i 2015 /1/. Formålet med dette globale forskningsinitiativ er at øge jordens kulstoflager med 0,4 % i de øverste 40 cm af jorden årligt og dermed reducere den årlige CO₂ udledning betragteligt. Her spiller landbrugsjorden en afgørende rolle, idet cirka 38 procent af det globale areal benyttes til landbrugsproduktion.

Men hvad skal der så til for at øge kulstofindholdet i landbrugsjorden? Det hele starter med fotosyntesen, hvor planterne ved hjælp af sollysets energi omdanner CO₂ og vand til ilt og organisk materiale i form af glukose og andre kulstofforbindelser. Derfor handler det i høj grad om at maksimere produktionen af



Figur 1. (a) Kulstof i jord i 0-20 cm for to sædskifter i perioden 1986 til 2018. Seks-marks sædskiftet bestod af to år med kløvergræs fra 1987 til 2006. I 2006 blev eksperimentet opdelt i to (markeret med den vertikale linje); det ene sædskifte fortsatte med to år med kløvergræs, mens antal år med kløvergræs blev øget til fire i det andet sædskifte. Standardfejlen er angivet ($n=60$). (b) Ændringsgraden i kulstof i jorden for sædskiftet med to år med kløvergræs i hele forsøgsperioden.

plantebiomasse mest muligt. I en landbrugs-sammenhæng peges der især på en større brug af flerårige afgrøder som græs, der opretholder fotosyntesen en større del af året og afsætter mere kulstof i plantedele, som ikke høstes eller fjernes, herunder især i rodsystemet /2/.

Opgørelse af driftstiltagenses kulstoflagringspotentiale

En pålidelig opgørelse af driftstiltagenses kulstoflagringspotentiale kræver mange og gode oplysninger. Først og fremmest er man afhængig af langvarige markforsøg, hvor tiltagene er undersøgt over et langt tidsrum, idet jordens kulstofindhold kun ændrer sig langsomt, dvs. over en længere årrække. Langvarige markforsøg defineres ofte som værende opretholdt i mere end 20 år. Derudover kræves målinger af kulstofindhold og volumenvægt ved etablering af forsøget, dels regelmæssige målinger indtil der opstår en ny balance (eller ligevægt) mellem kulstoftilførsel og -fratørsel. Sådanne forsøg er sjældne og derfor værdifulde. To af disse forsøg er for nyligt blevet benyttet til at opgøre pålidelige kulstoflagringspotentialer for græs i om drift /3/, halmnedmuldning og efterafgrøder /4/.

Det økologiske kvægbrugssædskifte forsøg ved Foulumgård

Forsøget blev anlagt i 1987, hvor et seksmarks sædskifte med to år med kløvergræs blev indført på et areal med korn dyrkning som forhistorie. I 2006 blev eksperimentet opdelt i to; det ene sædskifte fortsatte med to år med kløvergræs, mens antal år med kløvergræs blev øget til fire i det andet sædskifte. Der blev udtaget jordprøver og målt kulstofindhold løbende i 0-20 cm jordlaget, og der blev udtaget uforstyrrede volumenfaste jordprøver til bestemmelse af volumenvægt i 2020. På figur 1a ses kulstof i jord som funktion af år i perioden 1986-2018 for de to sædskifter med forskellig græsandel. For sædskiftet med 1/3 kløvergræs i hele perioden steg kulstof i jord indtil en ny ligevægtstilstand blev opnået. Den nye ligevægtstilstand blev opnået efter 20 år, hvorefter kulstof i jord ikke ændrede sig yderligere. Den gennemsnitlige årlige lagring af kulstof ved at omlægge et areal, som tidligere blev brugt til korn dyrkning, til et sædskifte med 1/3 kløvergræs blev bestemt til 0,25 tons $ha^{-1} \text{år}^{-1}$. Dog er det værd at bemærke, at ændringen i kulstoflagring er størst i starten og aftager med tiden (figur 1b).

Den høje årlige kulstoflagring (ændringsgraden) i de første år er godt nyt i en klimasammenhæng, idet der er brug for virkemidler med en markant og hurtig effekt. Den dårlige



Figur 2. Fjernelse af halm sammenlignet med tilførsel af 12 tons halm ha^{-1} (Foto: Johannes L. Jensen).

nyhed er, at træerne ikke vokser ind i himlen. Efter 20 år har virkemidlet ikke længere en opbyggende effekt, men sædskiftet med 1/3 kløvergræs skal alligevel fastholdes for at opretholde niveauet. Hvis man f.eks. omlægger til korn dyrkning, vil kulstofindholdet i jorden hurtigt falde igen. I 2006 blev græsandelen i sædskiftet øget fra 1/3 til 2/3, hvilket medførte en lineær stigning i kulstof i jord, og der var endnu ikke tegn på en ny ligevægtstilstand (figur 1a). Det svarer til en ændring på 0,20 tons $ha^{-1} \text{år}^{-1}$, når man øger græsandelen i sædskiftet fra 1/3 til 2/3 i den 13 år lange periode.

Halm- og efterafgrødeforsøget ved Askov

En introduktion af flerårige afgrøder i sædskiftet såsom græs kan i mange tilfælde være vanskelig. I kornrige sædskifter kan kulstofindholdet øges ved f.eks. etablering af efterafgrøder eller ved at nedmulde halm fra kornafgrøder i stedet for at fjerne den. Efterafgrøder etableres i eller efter hovedafgrøden, som typisk er korn, og dyrkes primært for at reducere kvælstofudvaskningen i efterår og vinter, men via fotosyntesen bidrager de også med ekstra tilførsel af organisk materiale til jorden.

Halm- og efterafgrødeforsøget ved Askov blev anlagt i 1981 med ensidig vårbyg, som blev tilført 0, 4, 8 eller 12 tons halm $ha^{-1} \text{år}^{-1}$ (figur 2).

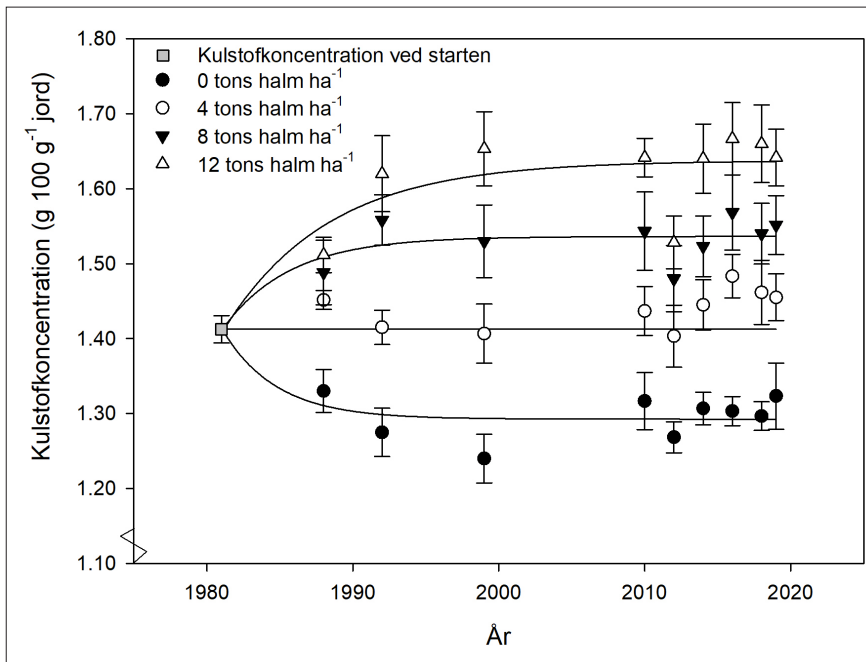
Halmbehandlingerne blev kombineret med dyrkning af efterafgrøder, enten undersøet rajgræs eller ingen efterafgrøde. Der blev udtaget jordprøver og målt kulstofindhold løbende i 0-20 cm jordlaget, og der blev udtaget

jordprøver til bestemmelse af volumenvægt i 2020. På figur 3 ses kulstofkoncentrationen i jord som funktion af år i perioden 1981-2019 for de fire halmmængder. Fjernelse af halm medførte et fald i jordens kulstofindhold, mens nedmuldning af 4 tons halm $ha^{-1} \text{år}^{-1}$ opretholdt kulstofindholdet i jorden. Nedmuldning af 8 eller 12 tons halm $ha^{-1} \text{år}^{-1}$ medførte en stigning i jordens kulstofindhold.

Igen observeres en større ændring i de første år efter indførelse af nye driftsforanstaltninger. I dette tilfælde blev den nye ligevægt allerede opnået efter 10-15 år. Det tog længere tid før en ny ligevægt blev opnået, når 12 tons halm blev nedmuldet sammenlignet med 8 tons halm, hvilket viser, at jo større ændringen er med hensyn til kulstoftilførsel, desto længere tid tager det at opnå den nye ligevægtstilstand. En undersøet rajgræsefterafgrøde i vårbyg øgede den gennemsnitlige årlige lagring med 0,21 tons $ha^{-1} \text{år}^{-1}$ og en ny ligevægt blev opnået efter 16 år. Effekten af en efterafgrøde svarede til nedmuldning af 4 tons halm.

Perspektivering

De ovenstående eksempler tydeliggør, at det fulde kulstoflagringspotentiale af et driftstiltag er bestemt af både den tid, det tager at opnå en ny ligevægt, samt den totale ændring i kulstoflageret. Ydermere er jordens kulstofindhold ved ændring af driftstiltag betydende for potentialet for yderligere lagring. I ovenstående eksempler var kulstofindholdet på omkring 1,5 %, hvilket er det gennemsnitlige indhold i danske mineraljorde. De langvarige gødningsforsøg ved Askov forsøgsstation



Figur 3. Kulstofkoncentration i jord i 0-20 cm for tilførsel af fire halm mængder (0, 4, 8 og 12 tons ha⁻¹ år⁻¹) i perioden 1981 til 2019. Standardfejlen er angivet (n=8 for 1981 og n=6 for 1988-2019).

viser, at selv i et fire-marks sædskifte med græs og tilførsel af gylle, var der et fald i jordens kulstofindhold i perioden 1924-2016 /5/. Dette kan forklares ved et forholdsvis højt kulstofindhold forud for opdyrkningen af marken i 1801. På den anden side kan der findes meget høje potentialer for yderligere lagring i jorde med meget lavt kulstofindhold /6/. Jordtypen har ligeledes en effekt på kulstoflagringspotentialer af et driftstiltag. Mere lerede jorde (stor andel af partikler mindre end 2 μm) kan bedre stabilisere tilført orga-

nisk materiale via interaktioner med jordens fine partikler end sandede jorde.

Slutteligt er det værd at bemærke, at det er mindst lige så vigtigt at beskytte jorde med et stort kulstofindhold snarere end at øge kulstofindholdet yderligere, idet det generelt er hurtigere at tabe kulstof end at opbygge kulstof /7/. Derfor bør fokus i lige så høj grad være på at bibeholde permanente græsmarker, vådlægge lavbunds- og tørvejorde og bevare skov.

Referencer

- /1/ 4p1000.org
 - /2/ Janzen, H. H., van Groenigen, J. K., Powlson, D. S., Schwinghamer, T., van Groenigen, J. W. (2022). Photosynthetic limits on carbon sequestration in croplands. *Geoderma*, 416, 115810.
 - /3/ Jensen, J. L., Beucher, A. M., Eriksen, J. (2022). Soil organic C and N stock changes in grass-clover leys: Effect of grassland proportion and organic fertilizer. *Geoderma*, 424, 116022.
 - /4/ Jensen, J. L., Eriksen, J., Thomsen, I. K., Munkholm, L. J., Christensen, B. T. (2022). Cereal straw incorporation and ryegrass cover crops: The path to equilibrium in soil carbon storage is short. *European Journal of Soil Science*, 73, e13173.
 - /5/ Christensen, B. T., Thomsen, I. K., Eriksen, J. (2022). The Askov long-term field experiment (1894–2021) represents a unique research platform. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 185, 187–201.
 - /6/ Machmuller, M., Kramer, M., Cyle, T., Hill, N., Hancock, D., Thompson, A. (2015). Emerging land use practices rapidly increase soil organic matter. *Nature Communications* 6, 6995.
 - /7/ Jensen, J. L., Schjøning, P., Watts, C. W., Christensen, B. T., Obour, P. B., Munkholm, L. J. (2020). Soil degradation and recovery – Changes in organic matter fractions and structural stability. *Geoderma*, 364, 114181.
- JOHANNES L. JENSEN (jlj@agro.au.dk) er postdoc ved Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet, Blichers Allé 20, 8830 Tjele. LARS J. MUNKHOLM (lars.munkholm@agro.au.dk) og JØRGEN ERIKSEN (jorgen.eriksen@agro.au.dk) er professorer samme sted.