
Flerårige afgrøders rolle i klimakampen

Flerårige afgrøder har et permanent rodnet og en lang vækstsæson. De kan derfor øge kulstoffangsten og reducere tabet af næringsstoffer sammenlignet med enårige afgrødesystemer og er oplagte bidrag til et mere klimavenligt landbrug. Hidtil har kun græs og kløver fyldt i landskabet og kun som foder til drøvtyggere. Men bioraffinering kan bidrage med nye produkter – og hvorfor ikke dyrke flerårigt korn?

UFFE JØRGENSEN, POUL ERIK LÆRKE &
HENRIK BRINCH-PEDERSEN

Det er velkendt, at flerårige afgrøder har positive effekter på klima og miljø i sammenligning med enårige afgrøder /1,2/. Men det har hidtil været svært at finde profitable markeder for produktion af flerårige afgrøder i landbruget i større omfang – ud over de græsmarker, som udnyttes til kvægfodring. Der har heller ikke været noget økonomisk incitament for landmænd til at dyrke afgrøder med positive klima- og miljøeffekter. Derfor var kun ca. 23 % af det danske landbrugsareal (gennemsnit af 2019-21) udnyttet til flerårige afgrøder, når juletræer, frugttræer og brakarealer medregnes. Nu ser markedet for græsmarksafgrøder ud til at kunne ændre sig med udvikling af bioraffinering af grønne afgrøder til proteinfoder, fødevarer, materialer og bioenergi /3/. Kulstofkreditter for klimavenlig landbrugsdrift sælges allerede på det private marked, og der forventes et EU-certificeret kulstofkreditmarked fra 2023.

De første to kommercielle grønne bioraffinaderier er igangsat i 2020 og 2021 på henholdsvis en større økologisk gård, Ausumgaard (www.ausumgaard.dk) og i et samarbejde mellem flere aktører i Biorefine Denmark A/S (www.biorefine.dk). Hovedprodukterne er til at begynde med et proteinkoncentrat med ca. 50% protein, som kan erstatte soja til fodring af enmavede husdyr /3/, samt biogas produceret fra resten af kløvergræsset. Der arbejdes samtidigt intenst både på forskningssiden (www.cbio.au.dk) og hos kommer-

cielle aktører på at udvikle en proteinkvalitet, som kan udnyttes til human ernæring, mens fiberfraktionen forsøges udviklet til emballage, tekstiler, aktivt kul m.m. Endvidere kan den pressede fiberfraktion udnyttes til kvægfoder – i nogle tilfælde med højere foderværdi end det friske græs, formentlig fordi fiberen er ”fortyngt” i bioraffinaderiet /3/.

Bidrag til reduceret drivhusgasudledning

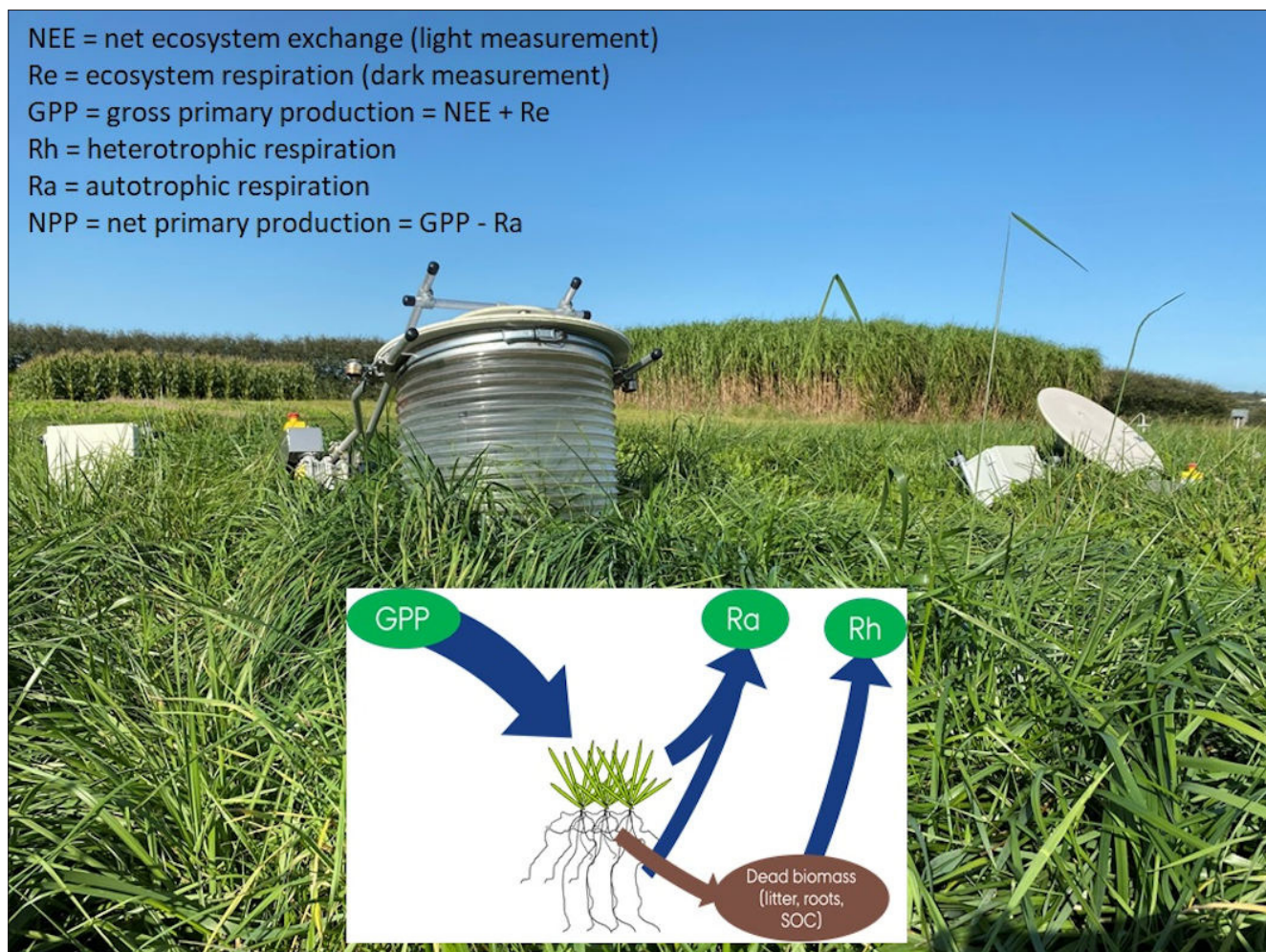
Planter optager CO₂ fra luften via fotosyntese. De fleste forædlede afgrøder har en meget effektiv fotosyntese og derfor høj biomasseproduktion, når de vokser optimalt. Imidlertid udnytter enårige afgrøder kun solens indstråling til fotosyntese i en relativt kort periode af året. Flerårige afgrøder er derimod grønne det meste af året og producerer derfor biomasse i en større del af vækstsæsonen. En stor andel af det kulstof, der fikses via fotosyntesen, afsættes særligt i flerårige afgrøder i underjordisk biomasse i form af rhizomer og rødder.

Det er vanskeligt præcist at kvantificere, hvor meget ekstra kulstof der bliver lagret under flerårige afgrøder sammenlignet med enårige afgrøder. Det skyldes at ændringerne i jordens kulstofindhold er små set i forhold til den store pulje af kulstof, der i forvejen findes i jorden. Derfor tager det typisk 5-10 år før ændringer i jordens kulstofindhold, som følge af ændret dyrkningssystem, kan registreres på baggrund af jordprøver. Dertil kommer, at jorden typisk bliver mere komprimeret, når der dyrkes flerårige afgrøder i sammenligning med systemer, der omfatter enårige afgrøder i et sædskifte. Direkte sammenligninger kræver

derfor udtagning af jordprøver med ækvivalent masse, hvilket er en stor udfordring /4/.

Derfor arbejdes også med direkte målinger af nettoudledning af CO₂ fra afgrøden og jorden ved hjælp af kamre, der dækker et mindre areal. Disse kamre lukker automatisk flere gange i løbet af døgnet i en periode på nogle minutter (figur 1). Herved måles både nettofotosyntese og -respiration, og teoretisk set er det muligt at kvantificere, hvor meget biomasse der produceres under jorden og på længere sigt vil bidrage til kulstofopbygning i jorden. Målingerne bidrager også til at udvikle bedre matematiske modeller, der kan beskrive forskellige dyrkningssystemers biomasseproduktion og respiration på baggrund af meteorologiske data og målinger af fotosynteseaktiv overjordisk vegetation (bladareal).

I projektet GrassTools, der støttes af Innovationsfonden, forsøger vi at blive klogere på spillet mellem de mange faktorer, som påvirker den samlede reduktion i drivhusgasudledningen, og på hvordan græsmarker kan give størst muligt bidrag til reduktion i landbrugets udledninger af klimagasser. Med fokus på at udvikle og realisere ny viden, som kan optimere græsmarksproduktionen, undersøger vi bl.a. mulighederne for at vælge græs- og kløversorter med særligt stor kulstofafsætning i jorden, og for at iblande urter der, ud over bidrag til biodiversitet, måske kan styrke græsmarkens resiliens. Endelig ønsker vi at forbedre gødskningsvejledningen i græsmarker, således at udledning af lattergas samt tab af kvælstof ved denitrifikation og nitratudvaskning minimeres.



Figur 1. Kulstofbalancen for et økosystem består af delelementer, som skal måles særskilt, hvis alle processer skal forstås og kvantificeres. Her måles netto CO_2 udvekslingen fra jord og planter (NEE) med et transparent autokammer (fleksibelt rør), som indeslutter både afgrøde og et veldefineret jordareal i 3 min. Efterfølgende måles respirationen fra jord og planter under mørke forhold (R_e), hvor et ikke-lysgennemtrængeligt kammer omslutter det transparente kammer. Begge type målinger udføres automatisk 4 gange i døgnet for at beskrive døgnvariationen. I baggrunden ses majs og elefantgræs, som er to afgrøder med den særlige C4-fotosyntese, men den ene er enårig, den anden flerårig (Foto Poul Erik Lærke).

Er klimaeffekten ved lagring af kulstof i jorden permanent?

Det stigende kulstofindhold i jorden ved omlægning til flerårige afgrøder fortsætter i en årrække indtil en ny ligevægt indtræder. De første år er stigningen kraftig (specielt ved start fra en kulstoffattig jord), men senere aftager stigningen mod et nyt ligevægtsniveau. Ud over udgangsniveau for jordens kulstofindhold, har afgrødens produktivitet og klimaet formentlig størst indflydelse på raten og tidshorisonten for stigningen, hvortil kommer mindre effekter af forskellig management /5/. Det nye ligevægtsniveau kan indtræde efter 20-100 år, hvilket betyder at vi ved omlægning af sædskifter med enårig afgrøder til flerårige afgrøder kan forvente en reduktion i atmosfærens CO_2 -indhold i de kommende 20-50 år, hvor det netop er vigtigt at opnå hurtige klimaeffekter med billige teknologier. Herefter må vi antage, at nye teknologier til sikring af

negative emissioner bliver udviklet. Men det er vigtigt, at når et nyt ligevægtsniveau er nået, skal det fastholdes ved fortsat dyrkning af flerårige afgrøder. Etablering af en industri til grøn bioraffinering eller andre lokale industrielle udnyttelser af flerårige afgrøder vil kunne bidrage til at fastholde en forretning for landmanden ved kontinuert dyrkning.

Flerårige afgrøders bidrag til klimatilpasning

Det permanente dække af jorden med flerårige afgrøder samt et permanent rodsystem reducerer risikoen for jorderosion drastisk og dermed også risikoen for tab af fosfor ved jorderosion på skrånende arealer /2/. Fraværet af årlig pløjning og stigende indhold af organisk stof i jorden betyder, at der kan dannes og vedligeholdes flere makroporer i jorden under flerårige afgrøder, skov m.m., end under enårig afgrøder. Det betyder, at

jordens infiltrationskapacitet for vand forbedres, og en metaanalyse har fundet i gennemsnit 60% øget kapacitet ved introduktion af flerårige afgrøder /6/. Det kan bidrage til, at fremtidig mere heftig regn kan infiltreres i jorden og sikre grundvandsdannelse i stedet for at strømme af overfladen med risiko for jorderosion. Endelig er flerårige afgrøder oftest ganske tørketolerante, og græsser har vist øget genvækst efter en tørkeperiode /7/.

Muligheder med græs

Det er afgørende at analysere de mere overordnede effekter af en omlægning i dyrkningspraksis på nationale såvel som globale klimabalancer. Hvis nuværende fødevarerproducerende arealer med enårig afgrøder omlægges til flerårige brakmarker eller energiafgrøder, vil der ikke nødvendigvis kunne opnås en netto reduktion i drivhusgasudledningen. Det skyldes risikoen for indirekte arealændrin-



Figur 2 Flerårig byg *Hordeum bulbosum*, første vækstår. (A) Planten stammer fra et enkelt frø. Talrige lange stængler og buskning. (B) Blomstrende aks med støvdragere af *Hordeum bulbosum*, som er selv-inkompatibel og skal bestøves af en anden plante. Fotograf: Claus Krogh Madsen (AU).

ger, idet globale markedsforhold formentlig vil medføre, at andre arealer vil blive udnyttet til at producere de manglende fødevarer, og dette kan føre til skovrydningen eller ompløjning af vedvarende græsarealer, hvorfra store drivhusgasemissioner må forventes. Hvis derimod omlægningen kan sikre øget netto-kulstofbinding som følge af øget udnyttelse af dyrknings sæsonen til fotosyntese, samtidigt med at en del af produktionen udtrækkes i et bioraffinaderi til fødevarerproduktion, kan risikoen for indirekte arealændringer undgås eller reduceres, samtidigt med at andre produkter fra bioraffinaderiet kan bidrage til at fortrænge fossilt baserede produkter. Det er åbenlyst vanskeligt at gennemføre sådanne beregninger, og andre samfundsændringer,

såsom reduceret forbrug af animalske fødevarer eller krav om braklægning eller andre markante tiltag for at reducere nitratudvaskning til sårbare recipienter, kan ændre den referencesituation, man sammenligner med. I de nationale regnskaber for drivhusgasudledning indgår disse indirekte effekter da heller ikke, mens de ændrede dyrkningsformers effekt vil indgå direkte i det nationale regnskab.

Græs, kløver og lucerne er kendte græsmarksafrøder, som kan dyrkes med et større markedspotentiale via de grønne bioraffinaderier. Til foderanvendelse har det typisk været almindelig rajgræs, der har været dyrket. Men strandsvingel og krydsninger mellem de to arter (rajsvingel) kan være betydeligt mere produktive og på den måde sikre større årlig

kulstoffangst og produktion /3/. Kvæg har vanskeligere ved at fordøje strandsvingel end rajgræs, og derfor indgår den kun i begrænset omfang i de mest brugte græsblandinger til foder. Erfaringer fra AU's bioraffinaderi viser dog, at proteinekstraktion fra strandsvingel sker effektivt og giver et produkt med en højt proteinindhold (Morten Ambye-Jensen, pers. medd.), hvilket peger på behovet for ændret fokus på forædling til bioraffinering i forhold til forædling alene til kvægfoder.

Kløver og lucerne har ud over samme fordele som græsserne den egenskab, at de i symbiose med kvælstof-fikserende bakterier optager kvælstof fra luften og dermed ikke behøver tilførsel af kvælstofgødning. Da fremstilling af mineralisk kvælstofgødning har en betydelig energiomkostning er det også en klimafordel – i det mindste så længe fremstillingen sker på basis af fossil energi. Blandinger af græs og bælgplanter (kløvergræs) har en god bufferkapacitet for regulering af kvælstofbalancen i jorden over tid, og kan bidrage til at omsætte husdyrgødning (og evt. næringsstoffer fra spildevand) effektivt, uden at det fører til væsentlige overskud af kvælstof med risiko for dannelse af lattergas.

Andre flerårige afgrøder

Træagtige afgrøder har nogle af de samme klima- og miljømæssige fordele som græsser, selvom kulstofflagringen ser ud til at være lidt lavere under fx energipil og skov end under græs /2/. I skov sker også lagring af kulstof i den vedmasse, som opbygges i stammerne, og det vurderes at skovrejsning på landbrugsjord kan lagre mellem 4 og 21 ton $\text{CO}_2/\text{ha}/\text{år}$ under danske forhold /2/. Her må igen diskuteres effekter af indirekte arealændringer, hvis landbrugsjord udtages til skovdyrkning.

Der er mange andre typer af flerårige afgrøder, som kan bidrage til at øge kulstofbindingen per arealenhed og samtidig øge robustheden over for ændrede klimaforhold.

Potentialet for at udnytte afgrøderne i grønne bioraffinaderier kan skabe et marked for helt nye afgrøder. Fx er brændenælde kendt for at have et højt proteinindhold og kan dyrkes som en afgrøde med forholdsvis store udbytter /8/, selvom der kun har været foretaget meget begrænset selektion fra naturlige populationer. Elefantgræs (*miscanthus*) er kraftigt voksende, da den har C_4 -fotosyntese, som under lunere forhold er mere effektiv end den C_3 -fotosyntese, som de fleste afgrøder i Danmark benytter. Der dyrkes i dag kun ca. 90 ha med elefantgræs primært til tækkemateriale (www.miscanthus.dk), da vi ikke i Danmark er selvforsynende med tagrør.

Endelig kan man spørge sig selv, hvorfor vi

ikke har udviklet flerårige kornafgrøder, som formentligt kunne bidrage med nogle af de samme miljø- og klimafordele, som de andre flerårige afgrøder? Flerårig rug (stauderug) har været kendt længe, men har ry for et noget mindre kerneudbytte, mens halmudbyttet er højt. Svaret er nok primært, at værdien af kulstoflagring og af reduceret nitratudvaskning ikke har indgået i prioriteringen af udvikling af nye afgrøder. Vi har dog ved AU påbegyndt forskning i flerårig byg og deres forædlingspotentiale /9/. Der findes en lang række flerårige arter, og for en del af dem er der dokumenteret genvækst og aksdannelse i op til fire år /10/. *Hordeum bulbosum* er den mest kendte flerårige byg, og det er er også den, der ligger tættest på vores dyrkede enårige byg, *Hordeum vulgare*.

Der er ikke foregået nogen egentlig forædling af flerårige bygsorter, men de vilde genotyper er en vigtig genetisk ressource for udviklingen af en flerårig bygafgrøde, herunder også en byg som kan overleve udfordrende klimabetingelser. Udviklingen af flerårig byg igennem traditionelle teknikker som hybridisering og domesticering er yderst tidskrævende og ikke tillokkende for planteforædleren. De seneste års udvikling af en række nye planteforædlingsteknikker som f. eks CRISPR/Cas har dog sat udviklingen af flerårig byg i et nyt perspektiv /9/. Vigtige egenskaber som fx reduceret strållængde, aksstruktur, kernestørrelse og resistens kan introduceres igennem få generationer.

Herefter vil det være vigtigt at teste effekten af dyrkningen af flerårige kornafgrøder på markens drivhusgasbalance i sammenligning med enårige kornafgrøder for at vurdere, om forbedringen er lige så signifikant som ved et skifte til flerårigt græs eller kløvergræs.

Referencer

- /1/ Harbo L.S., Elsgaard L. og Olesen J.E. 2021: Ændringer i dansk landbrugsjords kulstofindhold. *Vand & Jord* 28, 155-158.
- /2/ Eriksen J., Thomsen I.K., Hoffmann C.C., Hasler B., Jacobsen B.H., Baattrup-Pedersen A., Strandberg B., Christensen B.T., Boelt B., Iversen B.V., Kronvang B., Børgesen C.D., Abolos Rodriguez D., Zak D.H., Hansen E.M., Blicher-Mathiesen G., Rubæk G.H., Ørum J.E., Rasmussen J., Audet J., Olesen J.E., Elsgaard L., Munkholm L.J., Jørgensen L.N., Martinsen L., Bruus M., Carstensen M.V., Pedersen M.F., Nørremark M., Hutchings N., Gundersen P., Kudsk P., Sørensen P., Lærke P.E., Gislum R., van't Veen S.G.M., Larsen S.E., Petersen S.O., Riis T., Jørgensen U. 2020: Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen af vandmiljøet. Aarhus: Aarhus Universitet - DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. 454 s. (DCA rapport; Nr. 174).
- /3/ Jørgensen U., Kristensen T., Jørgensen J.R., Kongsted A.G., De Notaris C., Nielsen C., Mortensen E.Ø., Ambye-Jensen M., Jensen S.K., Stødkilde-Jørgensen L., Dalsgaard T.K., Møller A.H., Sørensen C.G., Asp T., Olsen F.L., Gylling M. 2021: Green biorefining of grassland biomass. DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. 111 s. (DCA rapport; Nr. 193).
- /4/ Chen, J., Lærke, P. E., & Jørgensen, U. 2022: Land conversion from annual to perennial crops: A win-win strategy for biomass yield and soil organic carbon and total nitrogen sequestration. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 330, [107907]. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.107907>.
- /5/ Taghizadeh-Toosi, A., Olesen, J. E., Kristensen, K., Elsgaard, L., Østergaard, H. S., Lægdsmand, M., Greve, M. H., & Christensen, B. T. 2014: Changes in carbon stocks of Danish agricultural mineral soils between 1986 and 2009. *European Journal of Soil Science*, 65(5), 730-740. <https://doi.org/10.1111/ejss.12169>.
- /6/ Basche A.D., DeLonge M.S. 2019: Comparing infiltration rates in soils managed with conventional and alternative farming methods: A meta-analysis. *PLoS ONE* 14(9): e0215702. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215702>
- /7/ Sørensen, K. K., Lærke, P. E., Sørensen, H. B., Andersen, M. N., Kristensen, K., Münnich, C., Didion, T., Jensen, E. S., Mårtensson, L.-M., & Jørgensen, U. 2018: Biomass production and water use efficiency in perennial grasses during and after drought stress. *GCB Bioenergy*, 10, 12-27. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12464>
- /8/ Radman S., Zutic I., Coga L., Fabek S., Benko B., Toth N. 2016: Yield and Mineral Content of Stinging Nettle as Affected by Nitrogen Fertilization. *Journal of Agricultural Science and Technology* 18:1117-1128.
- /9/ Hanak, T., Madsen, C. K., & Brinch-Pedersen, H. 2022: Genome Editing-accelerated Re-Domestication (GEaReD) – a new major direction in plant breeding. *Biotechnology Journal*, e2100545. <https://doi.org/10.1002/biot.202100545>
- /10/ Westerbergh A., Lerceteanu-Köhler E., Sameri M., Bedada G., Lundquist P.-O. 2018: Towards the Development of Perennial Barley for Cold Temperate Climates – Evaluation of Wild Barley Relatives as Genetic Resources. *Sustainability* 2018, 10, 1969; <https://doi.org/10.3390/su10061969>.

Professor UFFE JØRGENSEN (uffe.jorgensen@agro.au.dk), Seniorforsker POUL ERIK LÆRKE (poule.laerke@agro.au.dk) & Professor HENRIK BRINCH-PEDERSEN (hbp@agro.au.dk) arbejder ved Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet.