

11

TØR UNDER VAND, MEN HVOR LÆNGE?

Af
DENNIS KONNERUP
POSTDOC, PH.D.
BIOLOGISK INSTITUT,
KØBENHAVNS UNIVERSITET

MODTAGET STØTTE TIL
CARLSBERGFONDETS
POSTDOC-STIPENDIER
I DANMARK:
*TØR UNDER VAND,
MEN HVOR LÆNGE?*

Planter med specielle blade, der forbliver tørre under vand, kan vise sig at være særdeles relevante i fremtidens klima. Carlsbergfondet har støttet et projekt om, hvordan vi kan få planter i regntøjet, så livsvigtige afgrøder som ris og hvede bedre kan klare oversvømmelser.



Figur 1
Hvedeblade med regndråber.
De superhydrofobe egenskaber hos
bladene bevirker, at vanddråber
preller af på overfladen.
Foto: Ole Pedersen.

Figur 2
Neddykket hvedeblad med gasfilm.
Gasfilmen bemærkes som en skin-
nende overflade, når bladet er under
vand. På billedet ses også en boble
af ilt dannet via fotosyntesen.
Foto: Ole Pedersen.

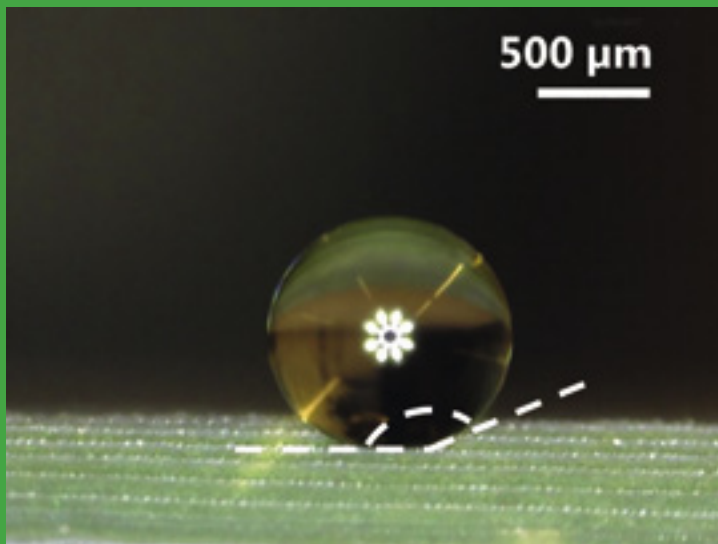
Med klimacændringer vil vi opleve flere tilfælde af kraftige og pludselige regnskyl, der oversvømmer marker med tab af afgrøder til følge. For ligesom hos andre organismer er det en udfordring for planter at opholde sig længe under vand. Især "vejrtrækningen" dvs. udvekslingen af ilt (O_2) og kuldioxid (CO_2) er sværere i vand end i luft. Det skyldes bl.a. at diffusionen af gasser er 10.000 gange langsommere i vand, og oversvømmede planter har derfor brug for særlige tilpasninger. Mens nogle planter har svært ved at opretholde udvekslingen af gasser under vand, har andre planter evnen til at forblive tørre, når de oversvømmes - ligesom vandafvisende tøj, hvor vandet bare preller af (Figur 1). Den vandafvisende mekanisme skyldes en superhydrofob effekt (se faktaboks). Effekten viser sig som en tynd lomme af luft omkring bladet, når det neddykkes (Figur 2): et fænomen, der kaldes en gasfilm og er en stor fordel for planter, som oversvømmes. Det skyldes, at planterne meget bedre kan udveksle ilt og kuldioxid med det omgivende vand og dermed overleve oversvømmelsen¹. Gasfilmen danner en stor overflade, hvorigennem ilt og kuldioxid kan diffundere. Samtidig tillader gasfilmen, at plantens spalteåbninger forbliver åbne og aktive, og dermed opretholdes gasudvekslingen med omgivelserne². Planten har brug for kuldioxid for at udføre fotosyntese, og det effektive optag igennem gasfilmen bevirker, at fotosyn-

“
Et vigtigt område for os er at undersøge, hvorledes gasfilm påvirker fotosyntese under vand i dagtimerne, og hvordan planters interne iltstatus påvirkes om natten, når der ikke er lys til at drive fotosyntesen.
”

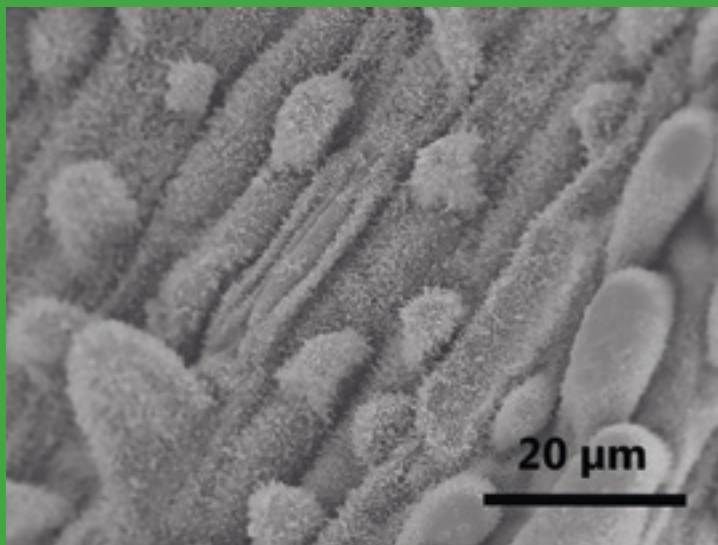


Superhydrofobe overflader

Superhydrofobe overflader skyr vand i en sådan grad, at de omgives af en tynd gasfilm, når de neddykkes i vand. Nogle planter, herunder Manna-Sødgræs, har en superhydrofob bladkutikula, som tilbageholder en tynd gasfilm, når planter oversvømmes. Kontaktvinklen af en lille vanddråbe til den underliggende kutikula kan anvendes til at karakterisere bladets egenskaber. Bladet kan enten karakteriseres som superhydrofilt, hydrofilt, hydrofobt eller superhydrofobt. Når kontaktvinklen er større end 150° , som den kugleformede vanddråbe på billedet, er overfladen superhydrofob. Foto: Dennis Konnerup.



Scanning Electron Microscopy (SEM) af bladoverfladen hos Manna-Sødgræs (*Glyceria fluitans*). Bladet har furer, papiller og vokskrystaller, som alle bidrager til dets superhydrofobe egenskaber. Foto: Dennis Konnerup.



tesen bliver mættet ved betydeligt lavere kuldioxid-koncentrationer i forhold til planter, hvor gasfilmen er blevet fjernet eksperimentelt (Figur 3).

Følsomme hvedesorter

Gasfilm er således en fordel for planter, der bliver midlertidigt oversvømmet, men man kender endnu ikke det mulige potentiale for at danne en velfungerende gasfilm hos de vilde planter, der med jævne mellemrum oversvømmes i naturen. Det har nemlig vist sig, at det er vidt forskelligt fra planteart til planteart, hvor længe gasfilmen opretholdes. Nogle arter mister gasfilmen efter få dage under vand, mens andre kan opretholde den i flere uger.

Vi ved ikke præcist, hvorfor der er denne forskel i evnen til at opretholde en gasfilm. En hypotese er, at det er en speciel struktur i bladoverfladen, der er i stand til at opretholde gasfilmen, og at denne struktur muligvis ændrer sig, når planten er oversvømmet. En anden hypotese er, at forholdene i vandet afgør, hvor længe gasfilmen forbliver på planterne – køligt og iltrigt vand formodes at give de bedste betingelser for gasfilmen.

I forskningsgruppen på Københavns Universitet tager vi bl.a. udgangspunkt i hvede, da oversvømmelse af marker er et stigende problem for landmænd i Danmark og i flere andre lande. I Danmark er hvede den vigtigste afgrøde, mens den på verdensplan er den fjerde mest producerede afgrøde efter sukkerrør, majs og ris. Oversvømmelse af hvedemarker sker ofte, mens planterne er små. Derfor er de meget følsomme og kan ofte kun klare nogle få dage under vand. I et forsøg sammenligner vi forskellige hvedesorter og deres evne til at opretholde gasfilmen og overleve under vand. Vi har fundet, at de danske sorter er ret ens i deres evne til at opretholde gasfilm, og typisk forsvinder gasfilmen efter 2-4 dage, hvilket er forholdsvis kort tid⁴. Til gengæld har vores forsøg vist, at det antal dage, som gasfilmen opretholdes, giver en tilsvarende øget oversvømmelsestolerance med samme antal dage⁵. Det blev gjort ved at fjerne gasfilmen fra nogle af planterne og sammenligne dem med kontrolplanter. Så selvom gasfilmen på hvede kun opretholdes nogle få dage, kan det altså være nok til, at planterne kan overleve en midlertidig oversvømmelse som efter et pludseligt regnskyl. Udfordringen er så at finde ud af, om vi kan få gasfilmen til at vare i længere tid.

Gasfilm og fotosyntese under vand – nat vs. dag

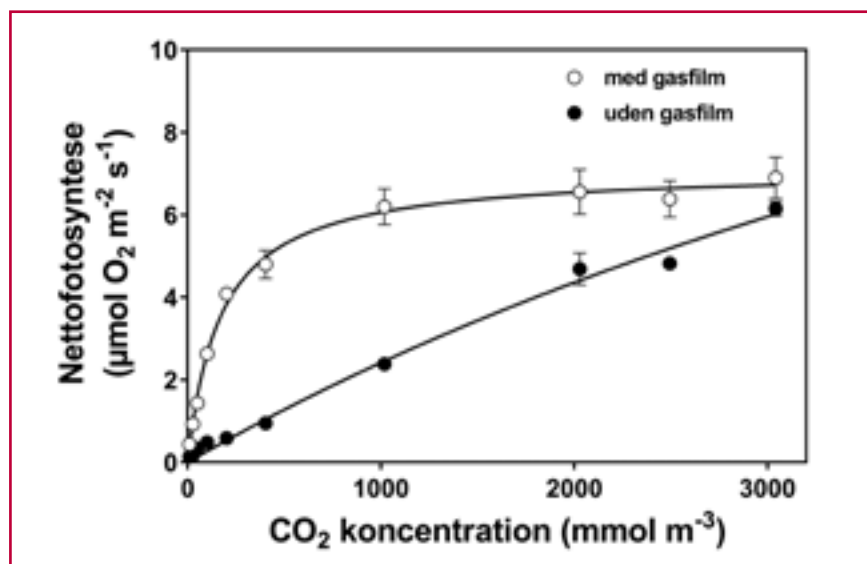
For at undersøge, hvad der styrer gasfilmens levetid, sammenligner vi hvedesorterne med andre medlemmer af græsfamilien såsom ris, som er kendt for at kunne vokse delvist oversvømmet. Vi sammenligner også sorterne med Manna-Sødgræs, der er en

europæisk art, som vokser tæt ved eller i vand og derfor kan opretholde gasfilmen i over dobbelt så lang tid som hvede under samme forhold. Vi har kigget på bladens overflade (kutikula) i et scanning-electron-mikroskop (SEM) for at undersøge, hvilke strukturer der giver grundlag for at have en gasfilm (se faktaboks). Her har vi fundet ud af, at der er visse strukturelle forskelle mellem hvede og Manna-Sødgræs, som kan forklare, hvorfor de to arter har forskellig gasfilmtykkelse og gasfilmlevetid under vand⁴. Begge arter har vokskrystaller på bladoverfladerne, som giver dem superhydrofobe egenskaber og dermed evnen til at danne en gasfilm under vand. Derudover har Manna-Sødgræs også papiller og furer på bladene, hvilket bidrager til at gøre bladene endnu mere hydrofobe og giver dem en tykkere gasfilm med større volumen, da furerne indeholder luft, når bladene er neddykket. Hos ris har vi også observeret denne effekt med papiller og furer på bladene, så det indikerer, at det er en tilpasning til at vokse tæt ved vand. Spørgsmålet er så, om disse egenskaber kan fremavles eller findes i nogle gamle hvedesorter, hvilket vi i øjeblikket undersøger.

Et vigtigt område for os er at undersøge, hvorledes gasfilm påvirker fotosyntese under vand i dagtimerne, og hvordan planter interne iltstatus påvirkes om natten, når der ikke er lys til at drive fotosyntesen. Fotosyntese udvikler ilt, så der om dagen som regel er nok til at forsyne plantens respirationsbehov. Men om natten er oversvømmede planter i fare for at komme til at lide af iltmangel. Bladene kan optage ilt fra vandsøjlen og på den måde opretholde et vist niveau af ilt, men rødderne er derimod begravet i jorden, der er iltfri. Transporten af ilt til rødderne foregår derfor via interne luftkanaler i planten fra skuddet og ned til rødderne. Også i denne sammenhæng er det en stor fordel for planten at have en gasfilm, da den forøger bladets iltoptag og dermed også hvor meget ilt, der kan transporteres ned til rødderne.

Afgrøder med modstandsdygtighed overfor oversvømmelser

Projektet er interessant rent grundvidenskabeligt, da det drejer sig om en nyopdaget mekanisme, men det indeholder også et 'Scientific Social Responsibility'-aspekt, dvs. at forskningen desuden er relevant for samfundet generelt. Det skyldes, at resultaterne potentielt kan anvendes til at fremavle afgrøder, som bedre kan klare at blive midlertidigt oversvømmet, hvilket kan blive en af fremtidens



store udfordringer. I Europa drejer det sig f.eks. om hvede, og i Afrika og Asien er det særdeles relevant for ris. Selvom ris er kendt for at kunne vokse delvist oversvømmet, kan den ikke klare at være helt oversvømmet i længere tid. I Asien, hvor størstedelen af verdens risdyrkning foregår, er omkring 20 million ha rismarker beliggende i områder, der er udsat for oversvømmelse. Alene i Indien og Bangladesh er omkring 5 million ha rismarker oversvømmet det meste af året, og planterne risikerer at blive helt oversvømmet. Det er derfor vigtigt at finde ud af, hvordan gasfilm påvirker overlevelse af både forædlede og vilde rissorter for potentielt at kunne fremavle sorter, som kan dyrkes, hvor der sker midlertidige oversvømmelser.

Noter

1 Colmer, T.D. and Pedersen, O., 2008. Underwater photosynthesis and respiration in leaves of submerged wetland plants: gas films improve CO₂ and O₂ exchange. *New Phytologist*, 177(4): p. 918-926. **2** Verboven, P., et al. 2014. The mechanism of improved aeration due to gas films on leaves of submerged rice. *Plant, Cell & Environment*, 37(10): p. 2433-2452. **3** Konnerup, D. and Pedersen, O., 2017. Flood tolerance of *Glyceria fluitans* - the importance of cuticle hydrophobicity, permeability and leaf gas films for underwater gas exchange. *Annals of Botany*. In press. **4** Konnerup, D., et al., 2017. Leaf gas film retention during submergence of 14 cultivars of wheat (*Triticum aestivum*). *Functional Plant Biology*. In press. **5** Winkel, A., et al., 2017. Flood tolerance of wheat - the importance of leaf gas films during complete submergence. *Functional Plant Biology*. In press.

Figur 3
CO₂ responskurve for Manna-Sødgræs (*Glyceria fluitans*) afbilledet som CO₂ koncentrationen mod nettofotosyntesen. Figuren viser nettofotosyntesen under vand for bladsegmenter med gasfilmen intakt og for bladsegmenter, hvor gasfilmen er fjernet eksperimentelt ved at pensle bladet med et middel, som fjerner overfladespændingen, så bladet ikke mere er superhydrofob. Figuren viser, at nettofotosyntesen allerede mættes af CO₂ ved en koncentration på omkring 1000 mmol m³, mens bladsegmenterne uden gasfilm først mætter omkring 3000 mmol m³. Forsøget demonstrerer hermed, hvor effektivt gasfilmen stimulerer gasudvekslingen med det omgivende vand.³

“
Gasfilmen danner en stor overflade, hvorigennem ilt og kuldioxid kan diffundere.
”