

AFGRØDER SOM TÅLER OVERSVØMMELSER?

Oversvømmet hvedemark, juni 2011 på Sydsjælland.
Foto: Ole Pedersen

Afgrøder som hvede kan ikke tåle at stå for længe med rødderne i vand, og det kan blive et stigende problem i fremtiden med mere nedbør og flere våde marker. Max Herzog gør her status over, hvor langt vi er kommet med at udvikle afgrøder, der er tolerante overfor oversvømmelser.



Forfatteren
Max Herzog er postdoc ved Ferskvandsbiologisk Laboratorium, Københavns Universitet. Han har skrevet ph.d. om oversvømmelsestolerance i ris og hvede. herzogmax@bio.ku.dk

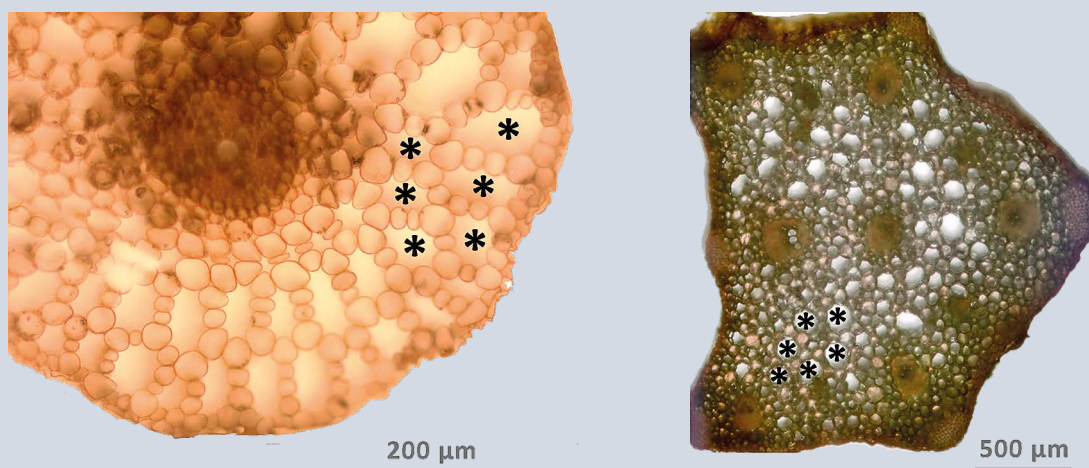
Når efterårets regn siler ned over Danmark, og vandet samler sig på markerne, bliver mange afgrøder gule og sygner hen. I Danmark falder der 10 cm mere nedbør om året end for 150 år siden, og nedbørsmængderne forventes at stige yderligere som følge af klimaforandringer. I mange udviklingslande, hvor antallet af oversvømmelser også forventes at stige drastisk, vil familier miste livsgrundlaget, når afgrøderne på marken drukner. Men hvad nu, hvis vandet på markerne slet ikke var så stort et problem for fødevarereproduktionen, som det er i dag? Hvad nu, hvis landbrugsproduktion og periodevis våde marker kunne gå hånd i hånd? Oversvømmelsestolerance hos afgrøder er faktisk et aktivt forskningsemne flere steder i verden, og jeg har som

led i mit ph.d.-projekt været med til at klarlægge, i hvor høj grad hvede (*Triticum aestivum*) kan tolerere og tilpasse sig oversvømmelsessituationer, samt hvilke mekanismer der betinger oversvømmelsestolerancen i denne vigtige afgrøde. I denne artikel vil jeg sammenfatte, hvor langt vi er med at skabe oversvømmelsestolerante afgrøder i et klima under forandring.

Når jorden bliver vandmættet

En oversvømmelse er et af de mest dramatiske miljøskift, en plante kan opleve. Det skyldes især, at diffusionshastigheden (molekylernes egenbevægelse fra høj til lav koncentration) er cirka 10.000 gange langsommere i vand end i luft. Når jorden bliver vandmættet, går gasudvekslingen mellem jord og atmosfære derfor næsten i stå, og jor-

dens iltindhold falder hurtigt i takt med, at røddernes og mikroorganismernes respiration forbruger ilt. Rødderne i jorden kan derfor blive iltfrie indenfor få timer. Iltmanglen medfører, at røddernes iltkrævende energistofskifte går i stå og dermed også optaget af vand og næringsstoffer. Nogle kender problemet hjemmefra, når de har overvandet deres potteplanter: Kvælstofoptaget reduceres, bladene bliver gule, og hvis jorden efterfølgende bliver tør, kan de få overlevende rødder ikke optage tilstrækkelige mængder vand, og skuddet visner. Stiger vandet på marken yderligere, så det også omslutter de grønne stængler og blade (fuldstændig neddykning af planten), nedsættes plantens forsyning af CO₂ og lys ligeledes – fotosyntesen går i stå. Planten står nu i en situation, hvor der

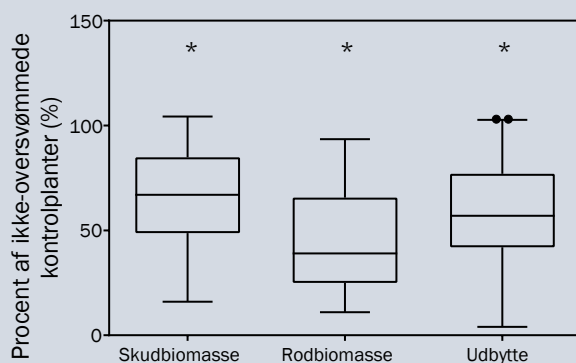


Planters luftvæv

Luftvæv (også kaldet aerenchym) er væv i planters blade, stængler eller rødder med store hulrum mellem cellerne. Hulrummene mellem cellerne er forbundet med hinanden og tillader derfor en hurtigere passage af gasser, end hvis vævet havde været en tæt cellemasse. For eksempel dannes luftvæv i sumpplanters rødder (samt til en vis grad også i hvede, byg og majs), når jor-

den er iltfattig, og tillader derved en øget ilttransport fra skud til rodspids. Roden kan dermed fortsat omsætte kulhydrater ved aerob respiration og danne ATP-energi til cellernes vækst og næringsoptag. På billederne ses luftvæv-hulrum (markeret med *) i tværsnit af rod (tv) og bladstilk (th) hos sumpplanten *Rumex palustris*.

Foto: Max Herzog.



Skudbiomasse, rodbiomasse og udbytte af hvede i vandmættet jord angivet som procent af ikke-oversvømmede kontrolplanter. Midterste streg i boksplottet angiver median-værdien, kassen 50 % af observationerne, halerne 1 og 99 percentiler og punkterne ydre observationer. Medianværdien for skudbiomasse, rodbiomasse og udbytte er henholdsvis 67 %, 38 % og 57 % af kontrolplanter. Figuren er baseret på data fra 39 publicerede studier. * angiver signifikant forskel fra dræned kontrolplanter (100 %).

Kilde: Herzog M., Striker G.G., Colmer T.D. & Pedersen O. (2016).

(1) stort set ikke produceres nye kulhydrater på grund af en nedsat fotosyntese, og (2) omsætningen af kulhydrater til ATP-energi hæmmes af iltmangel. Planten havner altså i en "energikrise" med nedsat vækst, frøsætning og måske endda døden til følge. Således reduceres udbyttet i hvede i vandmættet jord med 43 % i forhold til ikke-oversvømmede kontrolplanter.

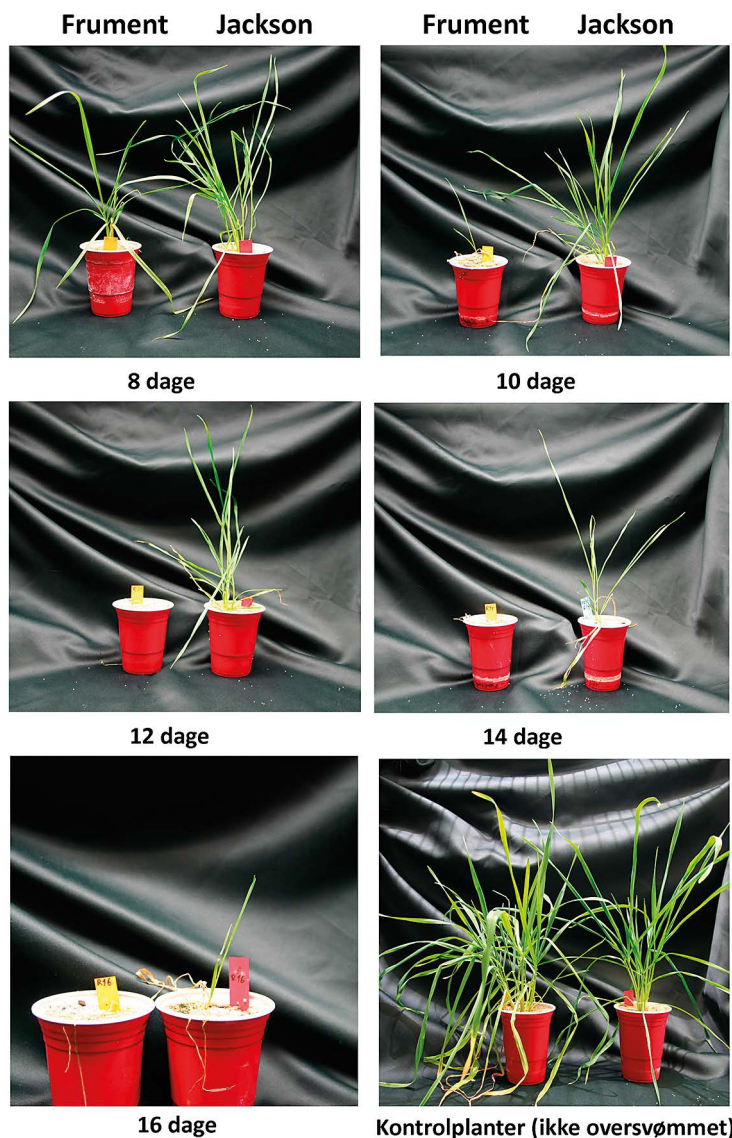
Nogle planter, for eksempel tagrør, elsker dog at stå i vand og kan derfor danne tætte bestande langs søbredder. Jordens højeste rater

af biomasseproduktion (primærproduktion) finder faktisk sted i vådområder på grund af de rigelige mængder vand og næring. Den høje produktion i det våde miljø skyldes tilpasninger, som gør, at iltforsyningen til rødderne kan opretholdes på trods af de iltfrie forhold i jorden. Afgrøder som hvede, byg og majs besidder faktisk også nogle af disse tilpasninger, om end i langt mindre grad end de "ægte" sumpplanter. Den vigtigste tilpasning er dannelsen af luftkanaler i rødderne (såkaldt luftvæv), der tillader iltten at diffundere fra skuddet og ned til

rodspidsen (se faktaboks). Ris, som er en sumpplante, kan danne luftvæv i op til 45 % af rodens tværsnit, mens hvede kun opnår et niveau på 15-20 %.

Oversvømmelsestolerance – et komplekst fænomen

I Mexico har Det Internationale Majs- og Hvedeforædlingscenter (CIMMYT) screenet 1.344 hvedesorter for oversvømmelsestolerance, hvoraf de fleste ikke satte et eneste korn. Man identificerede dog 6 sorter, som havde en højere tolerance. For eksempel viste nogle



Hvedesorterne Frument (tv.) og Jackson (th.) udviser forskellig oversvømmelsestolerance efter 0, 8, 10, 12, 14 og 16 dages komplet neddykning. Efter neddykningen har planterne haft en restitutioneringsperiode (vækst under dræned forhold) på op til 25 dage. Fotos: Max Herzog.

oversvømmede sorter et udbyttetab på kun 7 %, mens andre sorter havde 46 % lavere udbytte. Samtidig har et af Københavns Universitets egne studier vist, at en oversvømmelsestolerant sort overlevede fuldstændig neddykning cirka 7 dage længere end en intolerant sort. Det har dog vist sig, at oversvømmelsestolerance er et komplekst fænomen – sorter, der er oversvømmelsestolerante, når planterne er små, kan vise sig at være følsomme under senere udviklingsstadier. Andre studier har vist, at nogle af de tolerante sorter, man opdagede i Mexico, var

knap så tolerante i Australien, da forhold som jordbund, temperatur og næring i jorden givetvis har været anderledes. Man kan altså ikke “bare” finde en tolerant sort et sted i verden, men skal tilpasse sorterne til lokale forhold via forædlingsarbejde. Det er derfor vigtigt at finde ud af, præcist hvilke mekanismer i planten der betinger tolerancen, og gerne hvilke gener der medfører tolerance.

Videnskabelige studier har fremhævet flere sådanne mekanismer, der betinger oversvømmelsestolerancen i for eksempel hvede. En

rapport fra Australien peger på, at graden af luftvævsdannelse i rødderne er korreleret med oversvømmelsestolerance i marken. I et efterfølgende studie dannede en oversvømmelsestolerant hvedesort ved iltmangel luftvæv i 20 % af rodvævet, mens en intolerant sort kun nåede et niveau på 6 %. Andre studier fra Australien har vist, at røddernes evne til at genoptage væksten efter en kort periode med iltfrie forhold samt sorternes vækst i iltfrit vand ligeledes er relateret til oversvømmelsestolerance i marken. Hvilke mekanismer, der præcist betinger denne tolerance overfor iltfrie forhold, er stadig uafklarede og kalder på yderligere forskning. Endvidere har andre studier peget på, at oversvømmelsestolerance kan være betinget af tolerancen overfor potentielt giftige metaller (mangan, jern og aluminium), som grundet fysisk-kemiske ændringer i den iltfrie jord ophobes omkring rødderne i jordvæsken.

Fortolkning af de nævnte forskningsresultater besværliggøres dog af, at oversvømmelsestolerancen tilsyneladende betinges af forskellige mekanismer alt efter, hvilken slags jord (sandet, leret, sur osv.) afgrøden vokser i, samt om oversvømmelseshændelsen indtræder, mens planterne er unge eller gamle. Denne kompleksitet ser ud til at have lagt en dæmper på udviklingen af oversvømmelsestolerant hvede, majs og byg. Men som erfaringer fra produktionen af tørketolerant majs (ligeledes betegnet som relativt komplekst fænomen) og oversvømmelsestolerant ris har vist, så kan meget nås med den rette portion vilje og ressourcer.

Udvikling af oversvømmelsestolerante sorter

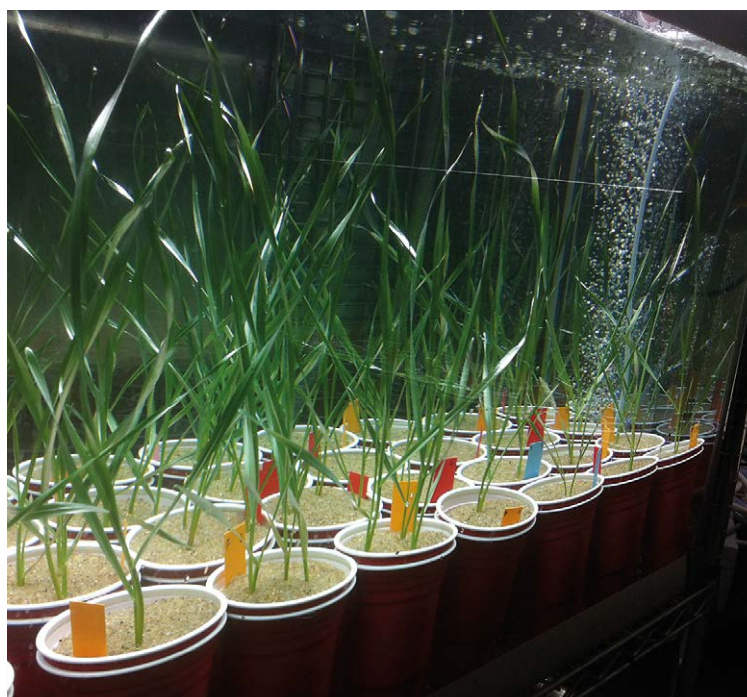
Udover lovende forædlingsarbejde i Australien, som desværre slog fejl grundet indførslen af en ny svampesygdom til landet, som sorterne var intolerante overfor, er man mig bekendt endnu ikke nået særligt langt i forædling af oversvømmelsestolerant hvede, byg eller majs. Dog mener engelske forskere, at man

ved at selektere for vinterfasthed muligvis har selekteret indirekte for oversvømmelsestolerance, da vinterhveden i England ligesom herhjemme kan blive oversvømmet under kolde og våde vintre.

Som blandt andet CIMMYTs forsøg i Mexico viste, råder hvedesorter samlet set over en vis genetisk variation for oversvømmelsestolerance, hvilket er afgørende for fremtidigt forædlingsarbejde. Men er det nok? Selv tolerante sorter kan udvise et fald i udbyttet på 50 %, hvis oversvømmelsen varer længe nok, og temperaturen er høj. Flere studier har derfor undersøgt muligheden for, at oversvømmelsestolerance kan "hentes" fra afgrødernes såkaldte landracer (traditionelle sorter, der er tilpasset lokale forhold) eller endda fra helt andre arter, som er nært beslægtede med vores afgrøder. Eksempelvis er forskere i Japan nået langt med at flytte gener, der betinger oversvømmelsestolerance fra den vilde, oversvømmelsestolerante majs-slægtning *Zea mays* over i kulturplanten majs (*Zea mays*), og i Australien har man forsøgt sig med at flytte en mekanisme, der gør rødderne mere "ilt-tætte" fra sumpplanten *Hordeum marinum* over i hvede. Ved sådanne tilgange risikerer man dog samtidigt at flytte mange gener, der koder for uønskede "vilde" egenskaber med over i de forædlede, højtydende sorter, hvorved udbyttet styrteddykker. Derfor er denne tilgang ikke helt så ligetil, som man kunne tro.

Nødvendigt at tænke langsigtet

Et godt eksempel, som ofte refereres til af forskere, der arbejder med oversvømmelsestolerante afgrøder, er ris. Ris er som udgangspunkt meget tolerant overfor at stå med rødderne i vand, mens hele planten ikke tåler at være fuldstændig neddykket. På det Internationale Risforsknings-institut (IRRI) på Filippinerne har man i årtier forsøgt at producere oversvømmelsestolerante sorter. Men først da man med moderne molekylære metoder



Projektet WheatSub

Forskningsprojektet *WheatSub* er støttet af VILLUM FONDEN for at klarlægge, hvad der betinger oversvømmelsestolerance i hvede, samt hvilken rolle vandafvisende bladoverflader spiller for oversvømmelsestolerancen. Medvirkende er Max Herzog, Ole Pedersen, Dennis Konnerup, Anders Winkel (alle Københavns Universitet) og Tim D. Colmer (University of Western Australia).

kunne lokalisere de DNA-sekvenser, der betingede tolerancen, blev det i 2006 muligt at krydse de ønskede egenskaber ind i lokale, højtydende sorter, som bønderne var tilfredse med. Indenfor 3 år blev disse nye, oversvømmelsestolerante rissorter, der kunne tåle fuldstændig neddykning i op til 14 dage, dyrket af 4 millioner bønder i Indien, Laos, Filippinerne og Bangladesh. Det havde dog taget 30 års forsknings- og forædlingsarbejde at nå dertil, og sammenholder man dette med tidsforbrug og omkostninger bag udviklingen af tørketolerante majssorter i Afrika (40 års arbejde, budget på 76 millioner US\$ fra 2007-2016) tydeliggøres det, at hvis vi vil klimasikre vores afgrøder, må vi være fremskuende og villige til at investere. Det er måske derfor, at danske planteforædlingsfirmaer og landbrugsorganisationer tidligere

har efterlyst støtte til et dansk center for planteforædling, der i højere grad kan foretage langsigtede og strategiske satsninger i et klima under forandring.

Træerne vokser dog som bekendt ikke ind i himlen, og hvede eller byg vil aldrig komme til at trives "med fødderne i vand" som for eksempel ris. Danske landbrugsarealer, som jævnlige oversvømmes i længere perioder, og som det ikke er muligt eller hensigtsmæssigt at dræne effektivt, vil måske yde bedre gavn for samfund og miljø som deciderede vådområder via deres andre positive effekter som næringsstofoptag, tilbageholdelse af vand ved megen nedbør, lagring af atmosfærisk CO₂, som rekreative områder, via naturværdier eller i "paludiculture", hvor man høster sumpplanter som tagrør.

Hvedesorter oversvømmet i et laboratorieforsøg ved Københavns Universitet, 2016. Foto: Max Herzog.

Forslag til yderligere læsning
<https://nextcity.org/daily/entry/scientists-develop-lab-created-scuba-rice-that-can-stand-up-to-climate-change>

Herzog M., Striker G.G., Colmer T.D., Pedersen O. (2016) Mechanisms of waterlogging tolerance in wheat – a review of root and shoot physiology. *Plant, Cell & Environment*, 39, 1068-1086.

Ingeniøren 24/9-2012: Landbruget: Universiteter og politikere har nedprioriteret planteforædling