

Planter skal det samme som os. De skal have mad og drikke, de skal beskytte sig mod vind og vejr, de skal finde en mage, formere sig og sikre deres afkom. De skal have solfaktor på mod solens UV-lys, overkomme sygdomme og være i konstant alarmberedskab mod planteædere. Alt det og mere til skal de, mens de er rodfæstet i jorden uden mulighed for at flytte sig og uden vores sanser og hjerne til at observere og reagere på deres omgivelser. Så hvordan i alverden gør planter det, de gør?

---

**HUSSAM NOUR-ELDIN**LEKTOR VED INSTITUT FOR PLANTE- OG MILJØVIDENSKAB, KØBENHAVNS UNIVERSITET

---

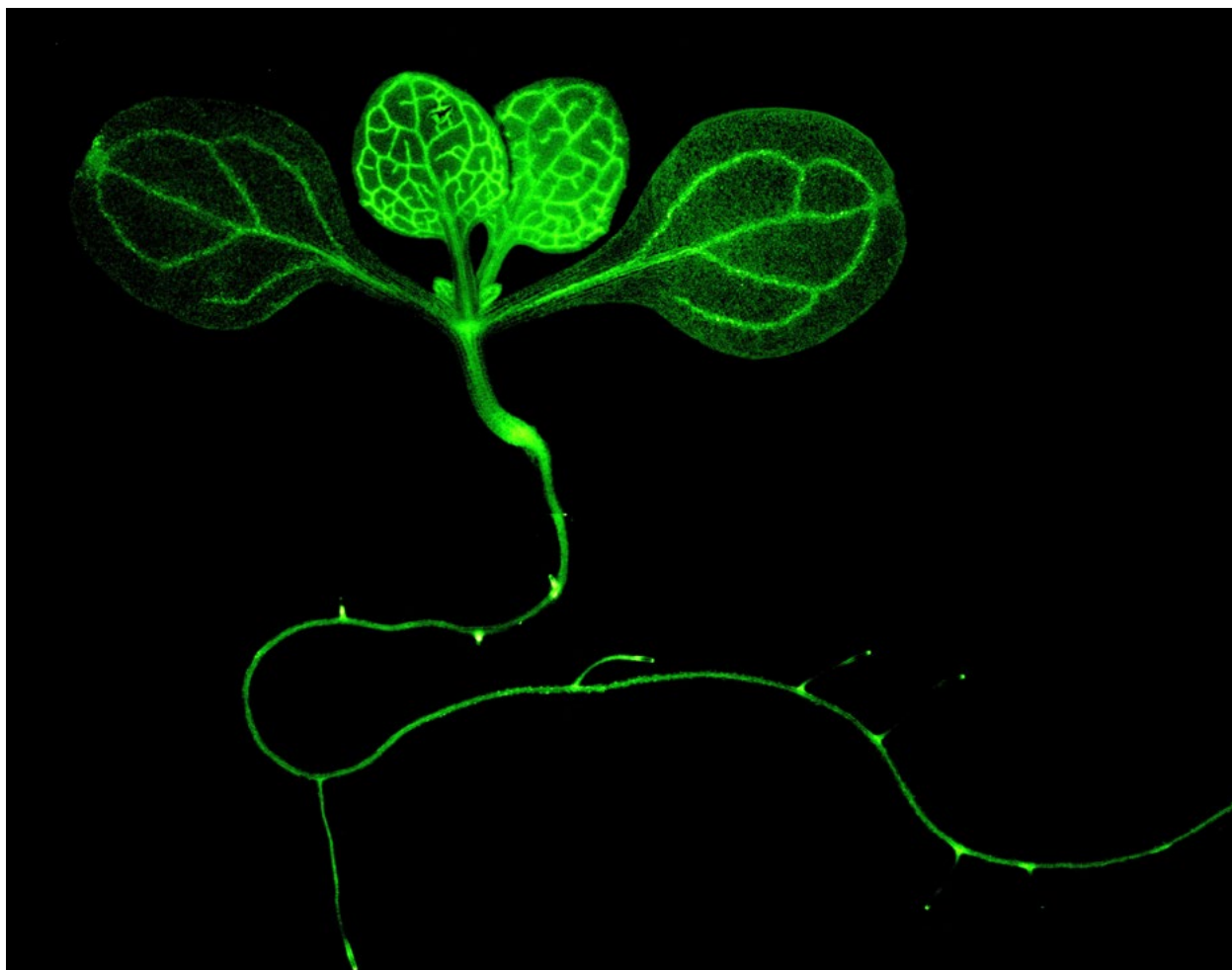
# PLANTERS KOMMUNIKATIONS- NETVÆRK

---

## PLANTER KOMMUNIKERER

En del af forklaringen på planters utrolige evner kan findes i deres kommunikative formåen. Planters forskellige organer "taler" rent faktisk med hinanden og omgivelserne ved at sende såkaldte signalmolekyler over lange afstande. Planters dele taler altså med hinanden ved at sende kemiske forbindelser til hinanden, som registreres og udløser en re-

spons i de modtagende organer. Den samlede betegnelse for planters signalmolekyler er phytohormoner, og deres transport igennem planten udgør en essentiel forudsætning for deres funktion. Det første phytohormon, der blev identificeret, eksemplificerer dette på elegant vis. Det skete allerede i perioden fra 1881-1937, hvor en række berømte eksperimenter viste, at små græs-kimplanter bøjer



FIGUR 4

Ledningsstrengene i en lille gåsemadsspire er her fremhævet via det fluorescerende protein GFP. (Billede produceret af Sebastian Nintemann, ph.d.)

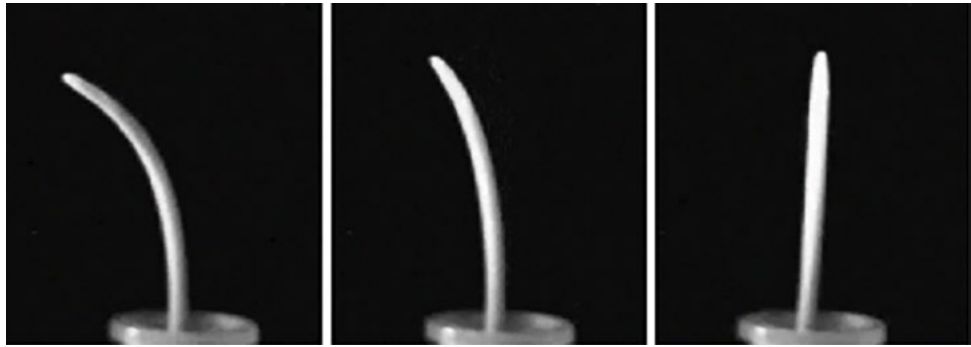
sig hen imod lyset via et signal, der sendes fra kimplantens spids. Dvs. kimplantens spids detekterer, hvor lyset kommer fra, og sender et signal nedad til resten af kimplanten, for at den skal bøje sig i den rigtige retning. Dette signal viste sig at være en lille organisk forbindelse, som fik navnet Auxin (af det græske ord for vækst). Auxin fungerer ved at aktivere en masse andre gener, som leder til plantevækst.

I ovenstående tilfælde opdagede man, at kimplantens spids sendte Auxin nedad i kimplanten på en asymmetrisk facon, der fik den ene side af kimplanten til at vokse hurtigere end den anden side. Det får i sidste ende kimplanten til at bøje sig hen mod lyset (Fig. 1).

Der findes lidt over en håndfuld phytohormoner, som tilsammen kontrollerer næsten alle

FIGUR 1

En spire bøjer sig mod lyset. Efter 3 dages vækst i mørke eksponeres spiren til lys fra venstre side. Efter ni timer ses det, hvordan den begynder at bøje sig og vokse henimod lyset (længst til højre). Bøjningen skyldes den assymetriske transport af auxin fra spidsen og ned i resten af spiren. Det får den side, der vender væk fra lyset, til at vokse hurtigere end den side af spiren, der vender mod lyset. Effekten bliver, at spiren bøjer sig henimod lyset.



aspekter af planters vækst og udvikling. F.eks. hvis der opstår mangel på vand i jorden, vil et andet phytohormon forårsage, at bladene lukker de mikroskopiske porer i bladenes overflade, hvorfra vand hele tiden fordamper (Fig. 2). På den måde kan planten holde længere på det vand, der allerede er inde i den, mens den venter på næste regn.

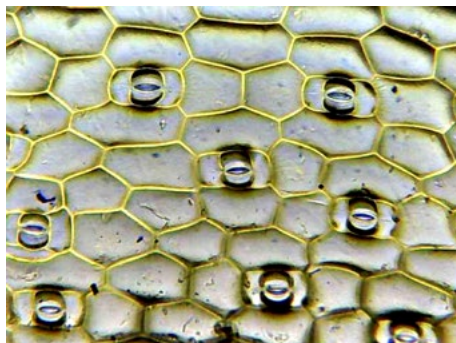
#### PLANTERS INDRE TRANSPORTNETVÆRK

Selvom planter står stille, så foregår der altså en heftig molekylær trafik imellem planters forskellige dele. Ud over de kommunikerende phytohormoner er der et utal af andre molekyler, der transporteres rundt i planten. I nogle tilfælde over lange afstande og i andre tilfælde over ganske små afstande mellem naboceller. De fleste er bekendte med, at planter suger vand op fra jorden, og at vandet fordeles til resten af planten. Transporten af vand foregår gennem såkaldte ledningsstrengene, som er tydelige i ethvert blad (Fig. 3). Ledningsstrengene kan godt sammenlignes med vores blodårer, men i modsætning til dyr har planter to parallelle transportsystemer, og i stedet for blod er det vand, der flyder igennem dem. Det ene transportsystem hedder "Xylem" og

transporterer vand og næringsstoffer i opadgående retning. Det andet hedder "Phloem" og transporterer organiske molekyler fra, "hvor de bliver lavet", til "hvor de skal bruges". Det kan fx være sukker, der bliver lavet i bladene og transporteres ned til rødderne eller op til frøene. Det er også igennem ledningsstrengene, at phytohormonerne bevæger sig. Ledningsstrengene fungerer lidt som rør, i hvad der kan betragtes som planters indre transportnetværk (Fig. 4). Hvis et stof kommer ind i røret, vil det flyde med strømmen hen til dets destination. For at komme ind i "røret" skal stoffet først igennem såkaldte transportproteiner, som fungerer som små molekylære gatekeepers, og som sidder i de membraner, som omgiver alle celler. Et transportprotein er som en specialdesignet dør, der kun tillader et bestemt molekyle med en bestemt kemisk struktur at passere membranen. Man får altså hurtigt en idé om, hvor mange forskellige molekyler, der må transporteres i en plante, ved at tælle hvor mange forskellige transportproteiner, den indeholder. I ukrudtsplanten gåsemad, som studeres bredt som modelplante, findes der mellem 500-700 formodede transportproteiner, men vi kender på nuværende tidspunkt kun funktionen af en brøkdel af dem. At forstå hvilken rolle, disse mange transportproteiner tjener, og hvilke fordele, vi kunne drage af at styre dem, udgør min forskningsgruppes hovedinteresse.

FIGUR 2

Læbeceller kan åbnes og lukkes som respons på signaler fra andre dele af planten. F.eks. hvis roden mærker, at der er vandmangel.



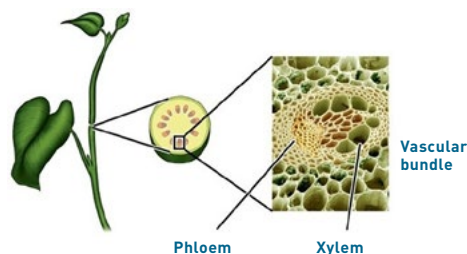
#### EN NY OLIEAFGRØDE

Som et eksempel på, hvad kendskab til, transportproteiner kan bruges til har vi i lang tid interesseret os for, hvorfor sennepsfrø egentlig smager af sennep. Sennepsmagen stammer fra et stof, der hedder glucosinolater, som sennepsplanten laver for at forsvare sig mod planteædere. Glucosinolater hober sig op til meget høje koncentrationer i frøene.

Men til vores overraskelse bliver glucosinolater ikke lavet inde i selve frøet. Ergo må der være et transportprotein, som er i stand til at flytte glucosinolater over cellemembraner, så de kan få adgang til ledningstrengene, som fører glucosinolaterne ind i frøet. I sennepsplanten fungerer de sennepssmagende glucosinolater som et giftstof, planten producerer i bladene som forsvar mod insekter. Når bladene på sennepsplanten begynder at visne, og den begynder at sætte frø, transporterer den de giftige glucosinolater til frøene, hvor de bliver lagret i høje koncentrationer for at forsvare spiren mod angreb. Sennepsplanten har imidlertid potentiale til at blive en af fremtidens nye oliefrøafgrøder pga. dens evne til at gro i varme og tørre områder. Dens næringsværdi er dog hæmmet af den stærke smag af sennep i frøene. Derfor dyrkes planten kun for at producere sennep og ikke til produktion af vegetabilsk olie og protein til dyrefoder. Plantens forsvarsstoffer præsenterer altså et dilemma. På den ene side ville det være gavnligt at fjerne sennepsmagen fra sennepsplantens frø og dermed øge dens næringsværdi. På den anden side kan planten ikke undvære stoffet i bladene, da dette ville gøre den forsvarsløs mod insekter. Men hvis vi kunne fjerne transportproteinerne, kunne vi måske frembringe en sennepsplante, som fortsat kan producere glucosinolater i bladene og forsvare sig mod insekter, men som ville være ude af stand til at transportere glucosinolaterne til frøene.

### SOM AT FINDE EN NÅL I EN HØSTAK

På forhånd kendtes der ikke noget transportprotein, der transporterer de sennepssmagende glucosinolater. Det eneste, vi vidste, var, at de måtte eksistere i de planter, som producerer glucosinolater. For at finde proteinerne vendte vi os mod gåsemaden, da den er i familie med sennepsplanten og laver et lignende stof, som den også deponerer i sine frø. Gåsemadsplanten er oprindeligt en ukrudtsplante, som er meget nemmere



© 2006 W.W.NORTON & COMPANY, INC.

FIGUR 3

Ledningstrengene transporterer vand og uorganiske og organiske stoffer rundt i planten. Xylemet transporterer i opadgående retning mens phloemet transporterer i forskellige retninger alt efter behov.

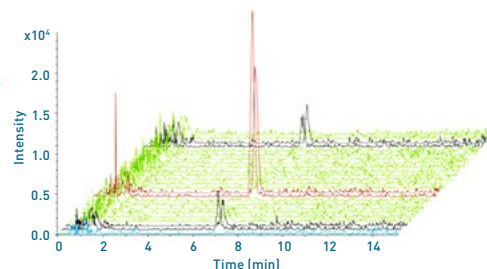
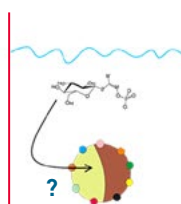
at arbejde med end afgrøder. Derfor bruger vi den som modelplante til at lave opdagelser, som vi efterfølgende søger at udnytte i afgrødeplanter. Som nævnt tidligere er der ca. 500-700 transportproteiner i gåsemad, og vores hypotese var, at vi ville kunne finde de, der transporterer glucosinolater, ved at teste dem én for én.

For at teste transporterne brugte vi æg fra den sydafrikanske frø, *Xenopus laevis*, hvori vi injicerede generne for plantetransportproteinerne. Æggene er formidable til at konstruere proteinerne og kan ikke kende forskel på, om det er en af deres egne eller et plantetransportprotein, de er i gang med at konstruere. Så ideen var relativt simpel, men arbejdskrævende. Vi byggede et genetisk bibliotek, der indeholder hundredvis af plantetransportproteiner. Derefter testede vi hvert eneste gen i frøæggene ved først at få dem til at konstruere det pågældende protein og placere det i dens membran og derefter at dumpe de 1 mm store æg ned i en opløsning, der indeholder glucosinolater. Efter en times tid målte vi, om glucosinolater var blevet importeret ind i æggene. Ved at tage gåsemadens transportproteiner fra en ende af fandt vi til sidst et, der kunne.

Gennembruddet tillod os at tage et vigtigt skridt henimod udviklingen af sennepsplanten som en ny olieafgrøde, som kan gro i varme, regnfattige egne. Den spændende udfordring

FIGUR 5

En af vores spidskompetencer ligger i vores evne til at identificere nye transportproteiner vha. æg fra den sydafrikanske frø, *Xenopus laevis*. Gener for plantetransportproteiner introduceres i æggene via mikroinjektion, og æggene konstruerer derefter proteinerne og placerer dem i membranen. Via et simpelt "uptake"-forsøg kan vi se, om glucosinolater kommer ind i æggene, ved at analysere deres indhold.





FIGUR 6

Overførslen af vores opdagelse fra gåsemad til sennepsplanter kræver analyse af tusindevis af planter, før vi finder den rigtige kombination. På billedet ses vores vækstfacilitet, hvor vi har de endnu små sennepsplanter groende. De små cirkler på hvert blad viser den prøve, der er blevet taget til analyse.



ligger nu i at overføre vores opdagelse fra gåsemaden til sennepsplanten. Det er et arbejde, vi har udført i samarbejde med Bayer CropScience, og som indtil videre viser, at vores idé virker overordentligt godt. Det er således lykkedes os at nedbringe indholdet af glucosinolater i sennepsfrø med hele 60 % kun ved at fjerne de proteiner, der transporterer dem. I løbet af de næste par år håber vi at kunne nedbringe mængden med yderligere

20 %. Derefter vil vejen måske være banet for, at sennepsolie kan købes på lige fod med rapsolie i supermarkedet.

#### AFLURER PLANTERS KOMMUNIKATION

For at vende tilbage til udgangspunktet, bruger vi nu vores transportidentifikationsmetode til at søge efter transportproteiner for planters phytohormoner. Vi håber at aflure deres kemiske kommunikation ved at identificere de involverede transportproteiner og studere, hvad de transporterer, hvorfra og hvorhen og selvfølgelig hvornår. Kort fortalt mener vi, at hvis vi forstår transportproteinernes funktion bedre, vil vi kunne bidrage med svar til at forstå, hvordan planter gør det, de gør. Den viden vil vi kunne bruge til at styre, hvad der transporteres og kommunikeres mellem de forskellige plantedele, og vi vil kunne forbedre vores afgrøders egenskaber, så vi bedre kan brødføde verdens voksende befolkning.

**Selvom planter står stille, foregår der en heftig molekylær trafik imellem planters forskellige dele.**