

BARRTRÄDENS SKYDD

TEXT: Stefan Jansson, professor i växters cell- och molekylärbiologi, och Pushan Bag, fil.dr; båda vid Umeå Plant Science Centre, Umeå universitet, stefan.jansson@umu.se

Så skyddas granar och tallar när vintern sätter stopp för fotosyntesen och klorofyllets ljusinfångning kan få skadliga konsekvenser.

Det är mycket vi tar för givet i naturen, snön på höga fjälltoppar, årstidernas växlingar och sommarens gröna skogar – och att de flesta träd får andra färger på hösten och sedan tappar sina blad. Men granar och tallar behåller sina barr över vintern. Forskare har genom åren försökt få svar på många frågor som berör dessa växter men något man faktiskt inte börjat förstå för när är hur det egentligen kan komma sig att granar och tallar klarar av att vara gröna hela vintern.

Fotosyntes kräver värme

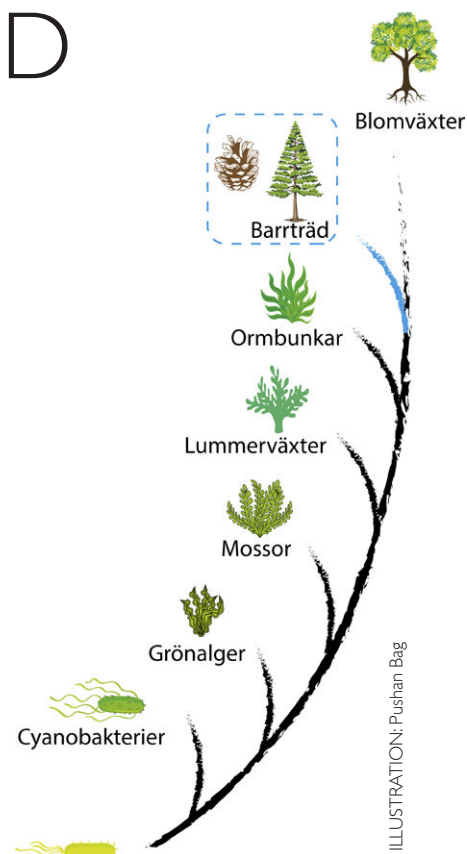
Fotosyntesen, processen i växters gröna delar som gör att de kan leva av endast solljus, koldioxid, vatten och lite näringsämnen, fungerar inte när förhållandena blir för svåra. Om temperaturen kryper under nollstrecket så vatten fryser kan nästan inga biokemiska processer fortgå, däribland fotosyntesen där hundratals olika enzymer och andra proteiner samverkar för att omvandla koldioxid och vatten till syre och kolhydrater. Fotosyntesen fungerar i de flesta växter optimalt vid 20–30 °C, blir det kallare går den långsammare för att helt avstanna om temperaturen blir för låg. Om detta bara skulle leda till minskad tillväxt hade problemet inte varit så stort men klorofyllmolekylerna i bladen slutar inte att absorbera ljus – vilket får negativa konsekvenser för växten om inte fotosyntesen fungerar.

I ett pigment som absorberar en foton exciteras en elektron i

pigmentmolekylen till ett högre energitillstånd. Detta tillstånd är ostabilt, så elektronen återvänder snabbt till sitt grundtillstånd och den absorberade energin avges som värme. Det är därför vi blir varma av solens strålar och varmare om vi har en svart tröja på oss som har mer pigment. Det speciella med pigmentet klorofyll är att det exciterade tillståndet är så stabilt att energin kan överföras till en närliggande pigmentmolekyl för att slutligen hamna i ett så kallat "reaktionscenter" där en elektron lossnar från sin klorofyllmolekyl. Det är dessa elektroner som sedan används i ljusreaktionen för att skapa energibärande ATP och NADPH, som i sin tur används för att fixera koldioxid i ett antal kopplade reaktioner (Calvin-Benson-cykeln).

Två fotosystem

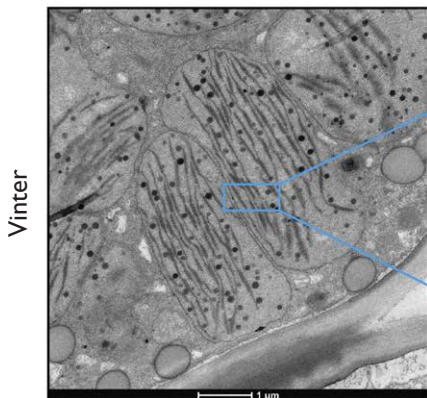
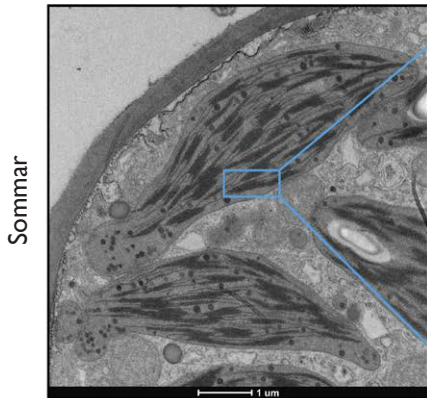
I alla fotosyntetiserande organismer utom de mest primitiva prokaryoterna finns två fotosystem, *fotosystem I* och *fotosystem II*. Båda består av mer än tjugo olika proteiner med olika funktioner. Vissa binder många klorofyllmolekyler, vilket gör att ljusinfångningen blir effektiv, andra tar hand om elektronerna som transporteras med mera. Fotosystemen måste samverka och varje elektron måste "lyftas" i två steg för att ljusreaktionen ska fungera, först i fotosystem II (där vatten oxideras och syrgas bildas) och därefter i fotosystem I. Elektronerna leds från fotosystem II till fotosystem I via



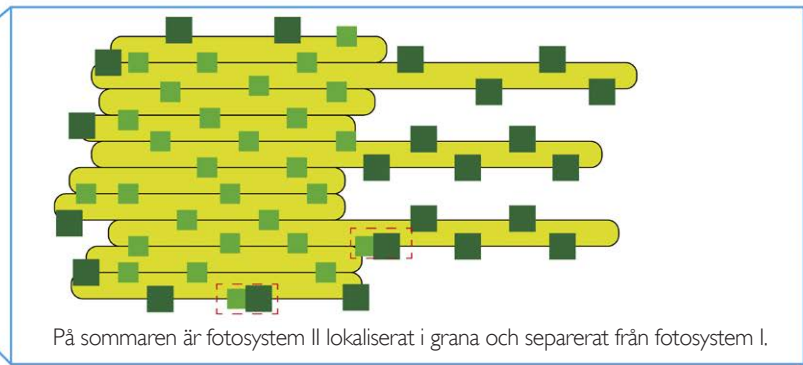
Utvecklingslinjen för barrträd i blått, i relation till andra organismer.

en elektrontransportkedja, men själva fotosystemen hålls isär i kloroplasternas tylakoidmembran – fotosystem II i så kallade "grana stacks", membran som staplats på varandra så de ser ut som mynt-rullar och fotosystem I i platta membran som binder samman olika grana (se figur på nästa sida). Om fotosystemen är i kontakt med varandra blir det svårare att reglera flödet av excitationenergi och elektroner mellan dem.

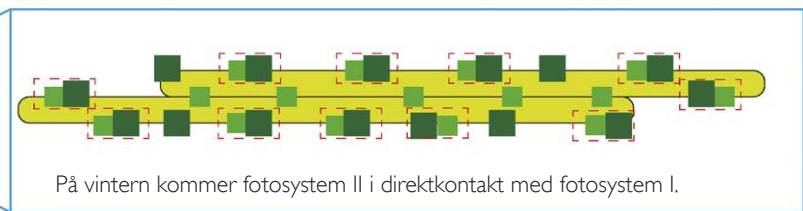
I en kloroplast i minusgrader stoppas alla dessa reaktioner förutom klorofyllets ljusinfångning; ett blad i en frysbox är lika grönt som innan. Då kommer en del av de exciterade klorofyllmolekylerna att överföra sin energi till syre, så att syreradikaler bildas som i sin tur leder till skador på fotosystemen. Men under evolutionens gång har flera olika molekylära skyddsmekanismer utvecklats, som leder till att excitationenergi eller elektroner tas



Elektronmikroskopbilder av kloroplaster



På sommaren är fotosystem II lokaliserat i grana och separerat från fotosystem I.



På vintern kommer fotosystem II i direktkontakt med fotosystem I.

Under sommaren är fotosystem II och I ihopkopplade via en elektrontransportkedja, där elektroner som lyfts till en hög energinivå i fotosystem II förflyttas till fotosystem I. Men fysiskt är systemen skilda åt via olika membran (övre bilden). Under vårvintern försvinner grana vilket gör att fotosystemen kommer i direktkontakt med varandra (nedre bilden) och excitationenergin överförs utan att gå via elektrontransportkedjan.

om hand och neutraliseras innan skada uppstår. Det är dock få av våra växtarter som utsätter sina gröna delar för starkt ljus under vintern – de övervintrar som frön eller rotsystem, några med gröna blad i skydd av snötäcket. Träd och buskar som sticker upp ovanför snön undviker "ljus-vinterskador" genom att fälla sina blad på hösten. Men granar och tallar utsätter sina klorofyllmolekyler för vinterförhållanden.

Enen är också vintergrön men klarar inte av de mest extrema förhållandena. I södra Sverige finns höga enar som står vintergröna men i norra Sverige är dessa inte hårdiga, där klarar sig bara krypande varianter vars barr skyddas av snön. Efter en snöfattig vinter i norr kan man ibland se hur övre delen av enbusken som stuckit upp över snön har bruna barr; deras fotosyntesapparat har inte kunnat hantera all den absorberade ljusenergin utan irreversibla skador har uppstått (se framsidan av tidningen!).

Två skyddsmekanismer

Det vi har visat i vår forskning är att granarna och tallarna verkar

ha två skyddsmekanismer som hittills inte beskrivits hos angiospermer (blomväxter).

Den ena utgörs av att grana försvinner under vårvintern, vilket leder till att fotosystem I och II kan komma i kontakt med varandra och därmed kortslutas (just det som undviks genom att grana bildas). Detta gör att excitationenergi kan överföras från fotosystem II direkt till fotosystem I utan att gå genom elektrontransportkedjan. I fotosystem I kan energin sedan snabbt omvandlas till värme, så att inga skador behövs uppstå.

Den andra mekanismen går ut på att så kallade Flv-proteiner (*Flavodiiron*), som finns i mer primitiva växter och barrträd men inte i angiospermer, effektivt kan ta hand om överskottselektroner och föra över dem till syre – så att syrgas reduceras till vatten och inga syreradikaler bildas. Då avger alltså inte barren syre, som gröna växter annars gör, utan förbrukar istället syre! Och det sker inte genom att "köra fotosyntesen baklänges" utan genom denna speciella mekanism som verkar bidra

till skydd mot överskottsljus.

Granarna och tallarna kan alltså behålla gröna barr under tuffa förhållanden genom att de har skyddsmekanismer som lövträd och andra angiospermer saknar. Barrträden är dock inte ensamma om dessa mekanismer, bägge finns i de fotosyntetiserande organismerna som blomväxterna utvecklats från. Det verkar istället som att utvecklingslinjen för angiospermer förlorat mekanismerna efter att den skildes från barrträds-linjen. Varför är oklart, rimligen måste de ha lett till att fotosyntesen i angiospermer under vissa förhållanden fungerade bättre och exakt vad som skulle vara negativt med mekanismerna vet vi inte. Men nog är det tur att barrträden har dem kvar, våra skogar skulle vara bra mycket fattigare och tråkigare om vi inte kunde se klorofyll även på vintern.

Mer information

Bag, P. m.fl. (2020) Direct energy transfer from photosystem II to photosystem I confers winter sustainability in Scots Pine. *Nature Communications*, 11(6388).