

強者の戦略

【生物：第21章：「分子レベルから個体レベルを
考える」 2015年 京都大学 前期試験 より】

思いっきり季節外れですが、【紅葉】は
どのようなメカニズムでおこるのでしょうか？

秋になり気温が低下すると、光合成量が減少するので、植物は休眠します。その準備としてまず落葉させて、栄養分の無駄な消費を防ぎます。

気温の低下と蒸散量の低下、さらに光量の低下も伴って光合成速度が低下してくると、タンパク質分解作用によるクロロフィルの破壊がおこります。これはある意味、葉の老化現象と言えるでしょう。クロロフィルの破壊により生じた窒素化合物は、師管を通して幹へ回収されます。回収された窒素化合物は、来年度に再使用されます。その後、植物ホルモンのエチレンが分泌され、葉の付け根に離層が形成されます。離層は葉への道管と師管を遮断するので、葉に水が行かなくなります。そのため、葉は、ある意味、枯死して落ちていきます。

葉には、カロテノイド色素が多く含まれています。これは、クロロフィルを補完して光を吸収する働きと同時に、光によって葉緑体でどうしても生ずる活性酸素を消却して、葉を守る働きを併せ持ちます。秋になりクロロフィルが多く分解されるようになると、クロロフィルの『緑色』は失せ、カロテノイドの『黄系色』が現れます。

これとは別に、葉の中でアントシアンが合成されると『赤系色』が現れます。アントシアンは夏までは葉の中に存在しないので、秋になって新たに合成されたと考えられます。アントシアンの役割は、紫外線の遮断で、クロロフィルも同じく紫外線の遮断の役割をしていたのに、秋になって分解されて減少したので、新たに葉を守るしくみとしてアントシアンを合成した、と考えられます。

さてここで、何かしらの“グレー”.or.“ダーク”を感じませんか？ 紫外線の遮断の役も担っていたクロロフィルを分解してしまったので、新たに紫外線遮断の役を担うアントシアンを新たに合成する。何か無駄なことしているように思いませんか？

どうしてもクロロフィルを分解しないといけない理由があったので、やむをえずクロロフィルを分解してしまった。そのため、クロロフィルが別れていた役割も消失したので、別途新たな物質を合成した。こう考えるのが自然ではないでしょうか？

植物では、チラコイド膜上に光化学系Iと光化学系IIの2種類の光エネルギーを吸収する反応系が存在します。これらの反応系の中心部（反応中心）にはクロロフィルがあり、ほかの色素が吸収した光エネルギーを吸収して励起すると、励起エネルギーはこの反応中心のクロロフィルに集められるしくみになっています。このクロロフィルがエネルギーを受け取ると、反応中心から電子の受容体に電子が渡されます（=電子の放出）。

光化学系IIでは、電子を失った（=酸化された）反応中心のクロロフィルは、水の分解によって生じた電子を受け取って、還元された状態にもどります。ちなみに水が分解されると酸素が発生します。

一方、光化学系Iでは、電子の受容体に渡された電子は、 NADP^+ に渡り、 NADPH が作られます。電子を失った（=酸化された）光化学系Iの反応中心のクロロフィルは、光化学系IIから流れてくる電子を受け取って還元された状態にもどります。

水の分解によって生じた電子が、光化学系II、光化学系Iを通して NADP^+ まで伝達される反応系を「電子伝達系」と呼びます。電子伝達系には複数の電子伝達物質がかかわっていて、電子が電子伝達系

強者の戦略

を通ると、水素イオン (H^+) がストロマ側からチラコイドの内側へ 輸送されます。つまり、チラコイド膜の内外で水素イオンの濃度差が作られるのです。

この水素イオンは、チラコイド膜にあるATP合成酵素を通してストロマ側にもどってきますが、このとき、ATP合成酵素によってATPが合成されます。光エネルギーに依存してATPが合成される反応なので「光リン酸化」と呼びます。

この光リン酸化のしくみは、ミトコンドリアで酸化的リン酸化によってATPが合成されるのと同じようなしくみであり、呼吸や光合成にはたらく電子の伝達物質やATP合成酵素も、呼吸と光合成とでよく似ています。

葉緑体のストロマの部分では、チラコイド膜でつくられたATPとNADPHを用いて、二酸化炭素を還元して有機物を合成する反応「カルビン・ベンソン回路」がおこります。

さて、光化学系とカルビン・ベンソン回路の速度が不均衡になったらどのようなことになるでしょうか？ カルビン・ベンソン回路の方が遅い場合は、NADPHが滞留してしまいます（光の吸収の部分だけは物理反応なので、いくらでもNADPHが作成されます）。その結果、活性酸素が生成されて、葉緑体がダメージを受けます。そのため、何らかの理由で「光化学系の速度>カルビンベンソン回路の速度」になった場合は、光化学系の速度を低下させるなどの危機回避策が実行されます。

例えば、強光下では、クチクラ層の発達（光反射率の上昇）やアントシアンの作成（光透過率の低下）による物理的な吸光量の減少がおこります。クロロフィルを分解してクロロフィルの含有量を減らす方法もあります。しかし、これらの方法は永続的な作用効果ももたらし、一時的な調節という観点では不

向きです。そこ、一般的には、光化学系Iの吸光効率を一時的に下げる（アンテナの角度を変化させる）方法や、励起エネルギーが反応中心に集まる効率を低下させて、この余剰な励起エネルギーを熱に変換して排出する方法がとられます。また、活性酸素の消去系によって発生した活性酸素の分解を行います。

これらの事実は、速度アンバランスに伴うNADPHの滞留による活性酸素の発生が、いかに植物にとって不都合であるかを示しているのです。

解答例

問1

ア：NADPH

イ：水素イオン

ウ：カルビン・ベンソン

問2

吸収された光のエネルギーが光化学系IIの反応中心に集められ、水を水素イオンと酸素分子と電子に分解する。

問3

低温

問4

クロロフィルの量を減らすと、過度な強光でない光条件の時に十分な光合成を行えないから。

問5

紅葉の頃は、光はまだ強いのに気温が低下してくるので、光化学系に比べて酵素系が十分に機能せず、還元力が過剰になりやすい。紅葉の時期のクロロフィル分解には、このような条件下での還元力の過剰な生成を抑えて、細胞の生理的な機能を正常に維持するような意義がある。