

光を求めて動く葉緑体の運動機構の解明

－青色光受容体フォトトロピンの役割－

加川 貴俊

(岡崎国立共同研究機構・基礎生物学研究所・情報制御部門)

1. 研究のねらい

動き回ることができない植物は、外界の環境を上手に感知し、様々な方法で対応している。特に周りの光を認識し、“もやし”のように伸長したり、光の方向に曲がったりしている。細胞内でも葉緑体の光環境に依存した定位運動が知られている。しかしながら、どんなタンパク質が光を受容しているかは知られていなかった。本研究ではこの葉緑体の位置を決めている光受容体を同定し、これらの光受容体が植物の生存における重要性を明らかにした。

2. 研究成果と考察

光合成装置としての葉緑体は、弱い光環境のもとでは効率よい光合成を行うために、光をできるだけ受容しようと細胞表面に分散していて、この反応は集合反応と呼ばれている。一方強い光環境下では、その光による葉緑体の損傷を防ぐために、葉緑体は光から逃げる位置に移動しており、逃避反応と呼ばれている。また暗黒下ではこれらと異なった場所に位置している。これらを称して葉緑体光定位運動といわれている。

(1) 突然変異体の単離と同定

葉の一部に強光を照射することで、逃避反応を肉眼で確認できる実験系を開発した。この方法を利用して、シロイヌナズナの逃避反応が起きない突然変異体を単離した。しかし、この変異体は集合反応は正常だった。遺伝学的解析を行い、この変異はシロイヌナズナめばえの光屈性の光受容体であるフォトトロピン1遺伝子 (*PHOT1*) のオルソログであるフォトトロピン2 (*PHOT2*) であった。すでに全ゲノムが解読されたシロイヌナズナでは、これらの他にはフォトトロピンはない。そこで、*phot1 phot2*の二重変異体を作成し、葉緑体光定位運動を調べた。この二重変異体では、逃避反応のみならず集合反応も認められなかった。この結果から、集合反応の光受容体は*phot1*および*phot2*であることが明らかになった。*phot2*変異体は野生株と比較して、強光耐性が著しく低いことから、逃避反応は強光ストレスの回避メカニズムとして働いていることが示された。

(2) フォトトロピンの性質

フォトトロピンはN末端側に2つのLOV (light oxygen voltage) ドメイン、C末端側にはキナーゼドメインがある。1つのLOVドメインには、光受容を担う発色団としてFMNが1つ結合していた。LOVドメインだけでも光受容を持っていた。組み換えフォトトロピンを昆虫培養細胞で発現させると、光依存的な自己リン酸化をすることが認められた。(1)で得られた*phot2-2*変異体はキナーゼドメインに変異が起きている突然変異体なので、逃避反応はフォトトロピンのリン酸化活性が必須と思われる。

(3) フォトトロピンの生理学的役割

葉緑体光定位運動において、*phot2*は逃避・集合両反応を、*phot1*は集合反応のみの光受容体とし、役割分担をして機能していた。そこで、フォトトロピンが関与する他のシロイヌナズナの光反応でも役割分担が認められるかを探索した。

暗所で生育した *phot1* 変異体のめばえは、弱光下では光屈性を起こさなかったが、強光下では光屈性が起きた。しかも、*phot2* 変異体のめばえの光屈性は正常ではあったが、二重変異体では強光下でも光屈性は認められなかった。これらの結果は、弱光下では *phot1* が、強光下では *phot1* 及び *phot2* の両者が光受容体として機能していることを示している。明所で生育しているシロイヌナズナの葉柄や花茎も光強度依存的に *phot1* と *phot2* の同様な役割分担があった。

気孔の開口も青色光により誘導されることが知られている。*phot1* や *phot2* 変異体では気孔開口運動は起きるが、二重変異体では起きない。つまり、青色光による気孔開口運動の光受容体はフォトトロピンである *phot1* と *phot2* ではほぼ同等に役割を分担していることが示された。

(4) まとめ

フォトトロピンは葉緑体光定位運動のみならず、光屈性や気孔開口といった生理現象の光受容体であった。光屈性や葉緑体光定位運動は直接より良い光合成を行うために、より多くの光を受容するための反応である。気孔開口運動は、二酸化炭素と酸素のガス交換を行うために気孔を開く運動であり、より多くの光合成産物を作り出すのに重要な反応である。このように、植物が効率よい光合成を調整するために、フォトトロピンは外界の光環境を認識する光受容体として統合的に機能している。

3. 主な論文

1. Kagawa, T., and Wada, M. (2002). Blue light induced chloroplast relocation. *Plant Cell Physiol.* 43, 367-371.
2. Kagawa, T., Sakai, T., Suetsugu, N., Oikawa, K., Ishiguro, S., Kato, T., Tabata, S., Okada, S., and Wada, M. (2001). NPL1, a phototropin homologue, controls the chloroplast high-light avoidance response in *Arabidopsis*. *Science* 291, 2138-2141.
3. Sakai, T., Kagawa, T., Kasahara, M., Swartz, T. E., Christie, J. M., Briggs, W. R., Wada, M., and Okada, K. (2001). *Arabidopsis* nph1 and npl1: Blue light receptors that mediate both phototropism and chloroplast relocation. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 98, 6969-6974.
4. Kinoshita, T., Doi, M., Suetsugu, N., Kagawa, T., Wada, M., and Shimazaki, K. (2001). The *phot1* and *phot2* photoreceptors redundantly mediate blue light regulation of stomatal opening in *Arabidopsis*. *Nature* 414, 656-660.
5. Kagawa, T., and Wada, M. (2000). Blue light-induced chloroplast relocation in *Arabidopsis thaliana* as analyzed by microbeam irradiation. *Plant Cell Physiol.* 41, 84-93.

4. その他

受賞：

日本植物学会奨励賞（2001年10月） 「葉緑体光定位運動機構の解明」

招待講演 4件