

植物の成長を光で操る

福田直也

生命環境科学研究科生物圏資源専攻講師
(ふくだ なおや／蔬菜花卉園芸学)

「光」と高等植物の生育

高等植物にとって「光」とは、光合成のためのエネルギーであると同時に、周囲の環境条件を知るための重要な情報である。植物は、動物のような直接的移動手段を持たないことから、環境の変化に対応する際、光を周辺環境の変化に関する重要な情報として利用し、生存戦略上で必要と思われる形態的变化による対応手段をとるようになったと考えられる。光環境の要因としては、光強度、光周期ならびに波長分布特性（光質）がある。植物は、これらの光環境要素の変化を捉え、自らの生存や繁殖に最も適した形態をとることができる。

植物の生育には、光によって制御されている部分が数多くある。光と関係する植物の形態的形質として、まずは伸長生長を挙げることができる。植物の茎や杯軸、葉柄の伸長については、赤色光の比率が赤外線一種である遠赤色光に対して高い場合、抑制されることが多い。また、葉の形状についても、光質が左右する要因となってお

り、赤色光の比率が高い光環境では、幅が広い葉となることが多い。加えて、生殖成長も遠赤色光や青色光などの光質が影響する形態形成の一つである。

このように、植物も光の「色」を見分ける能力を備えており、現時点では基本的に、「青」、「赤」ならびに「遠赤色光」の三種類の放射が植物の形態形成を制御していると考えられている。

人工光源に対する植物の成長反応

筆者は、蔬菜花卉園芸を専門としているが、実は工学的アプローチが大好きで、この分野に入ったきっかけも、工場のような環境で作物をつくりたい、例えば種子をセットしたら、あとは自動的にトマトの果実が出てくるといった機械を作りたいという動機からである。そのようなシステムで必要不可欠なのが「人工照明」であり、当時の主任教員から勧められたのがこの研究であった。

筆者が研究を始めた当時は、特定の波長

域だけを放射する光源を手に入れるのは難しく、照明メーカーに特注で作ってもらった電球型光源を利用したりして研究を行っていたが、目的の波長以外の「雑波長」が混入した光環境しか得られず、大まかなデータを得るのが精一杯であった。

ところがここ数年で、特定波長域を放射できる蛍光灯やLEDなどの開発が進み、研究に活用できる光源が増えてきている。例えば、近年LEDの進歩はめざましく、高出力化ならびに放射波長域の拡大などが進んでいる。かつては高価であった青色LEDは、量産によりその価格が低下する傾向にあり、各分野で光源としての利用が検討されている。発光ダイオードは、その発光原理により、高圧ナトリウムランプなど他の光源よりも比較的「単色」となる光を放射する。このような特殊な光源下では、植物はその形や性質を劇的に変化させる場合があることが判ってきた。

筆者は、代表的園芸作物であるペチュニアについて、発光ダイオードの青色光が赤色光に比べて大きな開花促進効果を持っており、その反応が実験植物として知られているアラビドプシスと同様であることを発見した。アラビドプシスを使った実験では、青色光が開花促進の重要な鍵を握っていることが示されている。ペチュニアの場合、その反応はスイッチのように明瞭であり、

青色光=花芽分化+開花、赤色光=栄養成長の継続というように、光環境と花成反応を解明するための新たなモデルと成り得るものである。

加えてペチュニアで筆者らは、青色光下では花成が著しく誘導されると同時に、茎伸長も大きく促進されることを確認した(写真)。同様にエキザカムなどでも発光ダイオードの青色光により茎伸長が促進される事例が報告されている。

このように、自然環境下では存在しえない波長分布特性の光環境下では、植物は大変興味深い形態的特性を示す場合があり、筆者は、これらの反応を利用し、光形態形成の生理メカニズムの解明やその作物制御への応用が期待できると考えている。

光が植物の成長を左右する機構

アラビドプシスなどさまざまなモデル植物を使った研究では、光受容体をフィトクロムと考えた場合、開花など花成を制御するシグナル伝達系として、植物の体内時計の一種である概日時計を経由する経路が存在すると考えられている。筆者らが確認したところでは、ペチュニアの場合も、遠赤色光は花成に関して促進的に作用するようであり、アラビドプシスなどと同様に、フィトクロムからのシグナルが開花に影響している可能性を示唆された。加えて、発

光ダイオードを使った実験では、より明瞭にペチュニアの花成に対する光の影響を観察することができた。すなわち、赤色光下では開花がまったく誘導されず葉が増えるだけとなる一方、青色光では早い時期に花芽が分化するとともに開花を誘導することができた。青色光については、クリプトクロムと呼ばれる色素タンパク質を光の受容体として、そのシグナルがアラビドプシスの花成に強く関係していることが示されている。ペチュニアの場合も、青色光により強く花芽分化および開花が誘導されており、クリプトクロムを光受容体として、花成誘導物質である「フロリゲン」の候補として考えられているタンパク質の発現制御を通して花成制御系をもっている可能性がある。

ジベレリンという植物ホルモンがある。このホルモンは、細胞の伸長を促す代表的な植物ホルモンである。筆者の研究により、赤色光の比率が高い環境では、植物体内での活性型ジベレリンが減少し、ペチュニアの茎伸長成長を抑制している可能性が示唆された。アラビドプシスでは、フィトクロムとジベレリン生合成の関係が、フィトクロムが欠損した突然変異体を使った実験で示されており、ペチュニアの場合も、フィトクロムを光受容体としたジベレリン生合成制御システムが存在するものと考えられる。一方、ペチュニアの草姿については、青

色光の影響も大きいことが判明している。通常は茎がほとんど伸びないロゼット形となる品種でも、写真のように青色LED下では茎が伸長することが確認されている。現在、クリプトクロムなど青色光受容体とジベレリンの生合成との関連を示唆する論文は発表されていない。しかしながら、フィトクロムと同様に、青色光のシグナルが、ジベレリン生合成系の促進を通して、主茎を伸長させるモデルも検証する必要があるだろう。これに関して筆者らは、ノルウェー生命科学大学の研究グループと共同で、ペチュニアのジベレリンを生合成する際に鍵となる酵素の遺伝子発現が、青色光下で増加したことを報告した。クリプトクロムからのシグナルがこれらの遺伝子発現を制御しているシグナル伝達系が存在するのかもしれない。

植物生育を「光」で自在に操る

植物の開花時期を自由に制御することは、現時点では困難である。しかしながら、「フロリゲン」がある種のタンパク質であることが明らかになるとともに、その生理機構が解明されつつある。今後、特殊な光源を利用した光環境制御により、このようなタンパク質の発現を調節し、「開花」を自在に制御できるのかもしれない。また筆者らは、植物体の大きさも、植物ホルモン生合成機

構を光によって調節できる可能性も出てきたと考えている。

生理学的な知見は、それ自体で完結してしまう場合が多いが、筆者としてはこういった知見を実用的技術へと適用していきたいと考えている。先に述べたように、新しい人工光源が実用化されつつある。恐らく、今後10年で、LEDなどは現在の蛍光灯のような位置づけとなるだろう。筆者は、こういった新しい光源が作物の成長を制御する新しい技術と成り得るものと期待している。

例えばこんな技術はどうだろう。苗を作る段階で、光制御による成長調節を行い、植えた後に開花する日数を自由に選べる花の苗や、あらかじめ大きくなるサイズが決まった鉢花を生産する技術。温室の中で育つトマトの花が咲く時期を、温室に取り付けた人工照明によって調節し、出荷時期を

生産者が選べる技術・・・光源の進歩により、「量」や「長さ」だけが調節可能であった光環境について、その「質」を調節する技術を加えることが可能になった結果、光制御の応用範囲は劇的に増えるだろう。筆者が偶然興味をもった、「生物学」と「工学」という一見関係のない組み合わせであるが、植物生理学の基礎的知見と照明工学の進歩の組み合わせにより、新しい技術を生み出したいと考えている。



冷白色蛍光灯ならびに各種LED光源下で栽培したペチュニア