

植物の生産能のシンクによる制御

文・藤田 耕之輔
(生物生産学部教授)

わが国では、円高を背景に野菜をはじめ農産物輸入は増加し、人類の歴史上まれに見る「飽食の時代」を迎えている。一方、従来食糧自給国であったアジア諸国でも、急速な工業化に伴い食糧輸入国に転落していつている。
日本経済新聞でも報じられたとおり、中国、東南アジアの経済発展による食生活の変化が国際価格を吊り上げ、二十一世紀に不安を投影している。このような不安に対して、生物学は何をなすことができるのか。
今回の「開かれた学問」では、食糧増産に欠かせない植物の光合成と窒素代謝を制御する機構について述べてもらう。

植物における光合成や窒素固定・硝酸還元の場合(ソース)と生長・貯蔵の場(シンク)

植物個体は、葉、茎、根、子実(果実)などの性格を異にする多数の器官から成り立っている(図1)。葉の光合成によって生成された光合成産物は、そのほとんどが葉に貯蔵されるのではなく、莢、子実などへ移動し貯蔵され、莢自体の光合成能力は極めて弱い場合が多い。すなわち、植物生産は特定の器官の機能のみによって行われるのではなく、性格を異にする器官間相互における物質、情報の交換を通じて行われている(図2)。

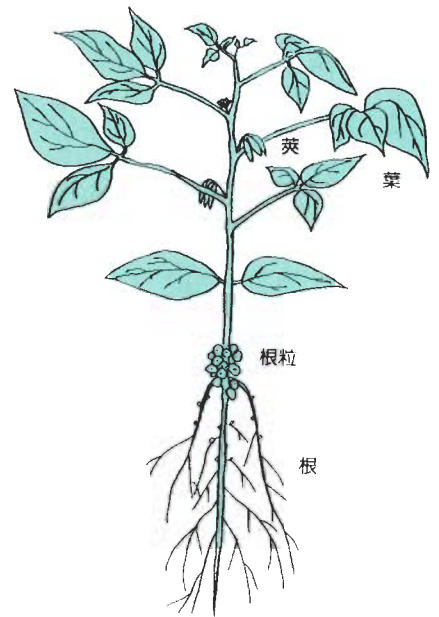


図1 ダイズ植物体

野菜、家畜の飼料として利用される牧草などの一部の植物を除き、イネ、コムギ、ダイズ(図3)、トウモロコシ(図4)などの世界の主要食糧を生産する多くの植物では、葉ではなく子実を食するのが一般的である。植物の子実生産の大部分は葉の光合成に依存している場合が多く、そのため葉の生理状態と光合成との関係が盛んに研究されている。しかしながら、この関係からのみでは、植物の子実生産能の支配要因を必ずしも十分に理解し得ない場合がある。

そこで、光合成の場(主に葉)をソース、光合成産物を材料として生長もしくは貯蔵が行われる場(生長点、子実など)をシンクと考え、ソースの光合成能

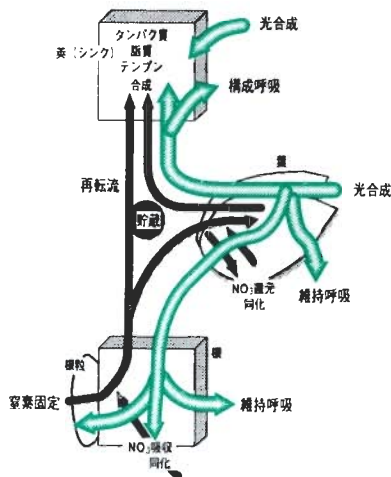


図2 植物における炭素・窒素の循環

は葉自体の生理状態のみでなく、シンクによるソースから光合成産物を取り去る能力によっても支配されるといふ、いわゆるソース・シンク説の考え方に基づいて、植物の生産能の支配要因が調べられている。

すなわち、植物生産はさまざまな環境要因によって強く制御され、その意味では環境の産物と言える一面を持っているのに対して、植物生産能は内的要因によっても制御され、この制御機構は主に器官相互間(例えば、葉と子



図3 ダイズの栽培風景

実、子実と根粒)において発現し環境の影響をあまり受けない良好な栽培条件下で顕在化するのである。

一方、植物の子実生産量の九五%が葉の光合成に由来し、通常肥料として補給される窒素、リンなどのミネラルはわずか5%に過ぎない。それにもかかわらず、ミネラル類なかでも窒素は、葉を構成する酵素・クロロプラストなどの成分として必須である一方、子実の貯蔵タンパク質として大量に必要とされ、ダイズ子実ではタンパク質が水分以外の成分の約半分に達する品種もある。すなわち、窒素はソースとシンクの双方の形成・機能発現に関わっている。

そこで本稿では、植物における光合成と窒素の吸収・利用の制御機構についてソース・シンク説の考え方に就いて解説してみよう。ここでソースまたはシンクと呼ぶ場合、光合成産物(炭素)または窒素のどちらかに対するものとする。



図4 トウモロコシの栽培風景

光合成とソース・シンク関係

植物の光合成は光合成産物に対するソースとシンクのバランスによってさまざまに変動する(図5A)。

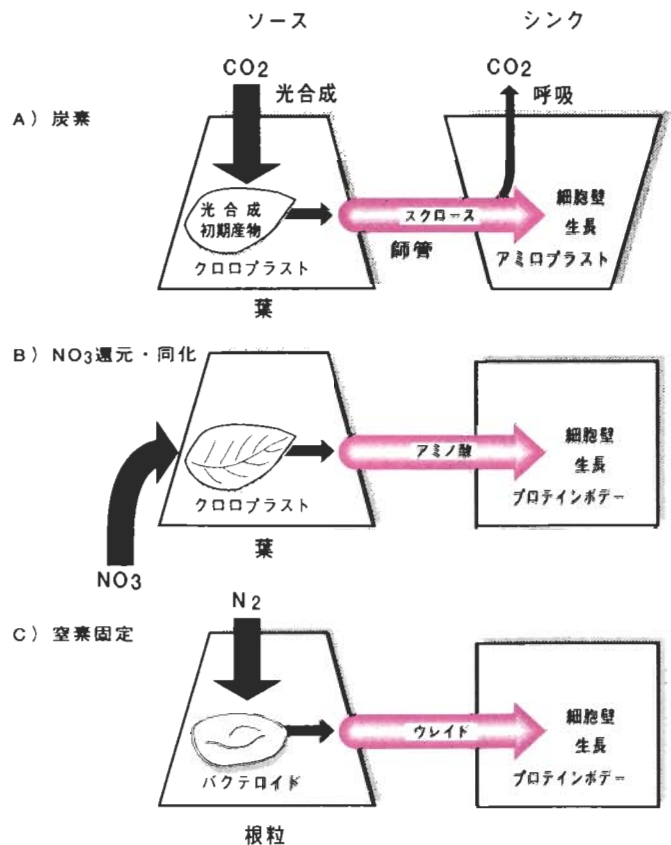


図5 ソース・シンク関係の模式図

例えば、(1)ソース能に比較しシンク能が相対的に低く生産能の制限要因として働く場合には、ソースで生産された光合成産物をシンクへ移動させ貯蔵させることは難しく、光合成産物が葉に集積していき、このことが引き金になって光合成能がやがて低下する。

(2)一方、逆にシンク能よりもソース能が制限要因となる場合は、葉から他器官への光合成産物の転流が盛んに行われ、その結果光合成能が一時的に高まるが、ソースを構成する光合成タンパク質までもがシンクによって取り去られるため、光合成能はやがて低下する。

これらの例はいずれもシンクによって光合成が制御されることを示している。なぜ、どのような仕組みでシンクによってソースの光合成が制御されるのであろうか。

この制御機構は植物の環境因子、光、CO₂濃度などの変動による光合成の変化とは異なっている。シンク能が十分高くないと、ソースから光合成産物(多くの植物で主にスクロース)が転流できずそのまま集積する。このスクロースの集積に伴って、スクロースが造られる前の段階(光合成で造られた糖リン酸化化合物がリンを引き離してスク

ロースに造り替えられる)で足踏み状態に陥る。そのため糖ーリン酸化化合物が集積しリンの不足が引き起こされ、そのためエネルギー不足や光合成酵素の働きが鈍化し、最終的には光合成能力が低下するのである。

シンク能が低下すると、その情報を捉えてソースへ伝え光合成を制御する機構はどのようなものか。この明快な回答は得られていない。

しかし、ソースとシンク間を繋ぐパイプである篩管内をスクロースやアミノ酸だけでなく、植物ホルモン、各種タンパク質などが移動し、情報伝達に関わると目される各種の反応も起こっていることが少しずつわかって始めている。

なお、図1からわかるように、植物は多数のソースとしての葉と一ないし数か所にシンクとなる莢を着生しており、ソースとシンクのより緊密な関係は、あるソースに対して最も近接して着生するシンクとの間でみられる。

窒素の利用とソース・シンク関係

窒素は光合成、呼吸、などきわめて多くの代謝系を通じて植物生産に深く関わっている。この窒素の利用、すなわち窒素の吸収・同化もシンク能によって制御されるのであろうか。

この問題を解明するため、莢(子実を含む)が窒素の主要なシンクとして働くダイズを対象に、窒素栄養を獲得

するための主要戦略である、根粒の窒素固定および葉の硝酸還元について調べた例を述べる。

まず、窒素固定については、多くの実験結果からつぎのように考えられている(図5B)。すなわち、窒素固定産物が根粒(窒素のソース)から莢(窒素のシンク)へスムーズに取り去られることによって、根粒の窒素固定能は高く保たれる。

一方、莢の窒素シンク能が低いと、根粒からの窒素固定産物の取り去り速度も低下し、それらが根粒に集積するに伴い窒素固定は抑制される。たとえば、ダイズの莢切除によってシンク能を低下させると、ウレイド(アラントイン)などの窒素固定産物の根粒から宿主植物への転流が抑制され、根粒へ集積し、これと平行して窒素固定能が低下することが明らかにされている。しかし、なぜ窒素固定が低下するのかは現在までのところほとんど明らかにされていない。

この例に見られるように、根粒の窒素固定能は、それより遠く離れた位置に着生する莢のシンク能によって制御されており、このことはソース・シンク関係が位置的により近い器官同士で密接であるという光合成の例からみて、必ずしも有利であるとは考えられない。

窒素固定とほぼ同様の現象が、植物による肥料窒素(硝酸態窒素)の獲得・

利用にも見ることができ(図5C)。すなわち、硝酸態窒素の根による吸収、それに引き続いて起こる葉における硝酸還元・同化は、シンクによって制御されている。硝酸還元酵素自体の働きは、光、硝酸濃度、スクロース濃度、植物ホルモンなどの要因によって制御されることが知られている。しかし、シンクによる硝酸還元・同化の制御機構の実体がどのようなものなのかは明らかには至っていない。

以上のように、光合成をはじめとして窒素固定、硝酸還元などの窒素利用に関わる機構がシンクによって制御されている。これらの現象は、植物が備えるさらに多くの機能、たとえば、ミネラルの根による吸収、地上部におけるそれらの利用なども、シンクによって制御されている可能性を示唆している。シンクは植物個体の中枢として、さまざまな器官とお互いにコミュニケーションを交わしながら、個々の器官が備えた機能の発現を調節しているかのように考えられる。



プロフィール

(ふじた・こうのすけ)

◆一九四五年生まれ

◆一九七三年北海道大学大学院農学研究科博士課程修了(農学博士)

◆一九八一年十月から本学勤務

◆所属 生物生産学部生産基礎学講座

◆専門 植物栄養生理学、特に光合成、窒素固定、硝酸還元など生産能の関係について検討し、高収性の理想型植物を解明する。

