

野菜の収量と栽培環境

～光合成を知れば管理も変わる～

第5回

野菜の収量と光合成産物の転流と分配



ししど よしひろ
穴戸 良洋

明治大学 植物工場基盤技術研究センター 特任教授
農学博士

[略歴]

昭和47年東北大学農学部園芸学研究室助手、昭和59年農水省野菜試験場栽培部主任研究官、各職を経て、平成13年独立行政法人東北農業研究センター野菜花き部長、平成15年独立行政法人野菜茶業研究所野菜研究官など歴任、平成17年退官後、平成18年山形大学農学部客員教授、平成23年4月～現在に至る。

平成7年「トマトにおける光合成産物の動態と収支に関する研究」で日本園芸学会賞学術賞受賞。

これまでは、葉の光合成が収量の基本であり、光合成が順調に滞りなく

行われることが正常な野菜の生育と収穫をもたらすものであるということから、

光合成の効率や量を決定する環境要因などについて解説してきました。

今回は、光合成産物が果実・茎葉・根などの行き先へ向かう

転流と分配の関係を見ていきましょう。

収量増加の基本は光合成量の増加が必須条件なのは言（げん）俟たないことです。しかし、わたしたちが必要とする作物の中で、実際に食料となる部分の多くは実や果実です。特に果菜類においては、果実の生産、新葉の伸長、花芽の分化と、いわゆる、栄養生長と生殖生長とが同時に多層多段階に繰り広げられていて、その様相は複雑多岐になっています。

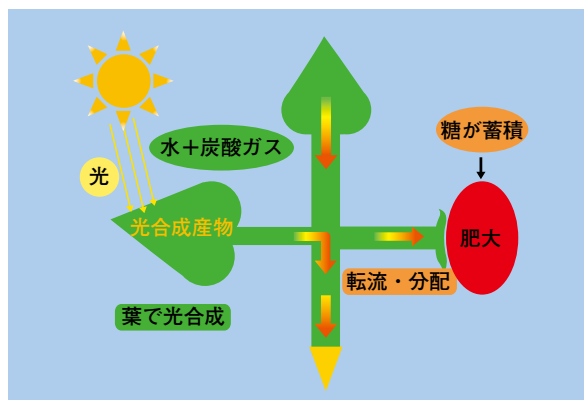
野菜栽培では光合成量は生産量に大きな影響を与えますが、野菜の種類や生育段階、栽培環境および栽培法によって、必ずしも最良の収量と効率的果実生産になっていない場合があるのは、

しばしば経験していることと思います。

このような時、光合成産物の動態、すなわち光合成された同化産物（糖分）がどのように動き、どのように分配されるかを知ることが重要になってくるのです。

野菜における生産性の維持は、光合成産物が果実に分配されるだけでよいのか、将来果実になる花芽の充実した分化や将来の果実生産を担う新たな葉の生産をどのように維持するのか、それらの生産をどの葉が受けもつのかなど、多くの課題を解析することが、生殖生長と栄養生長を周期的に次々と繰り返す野菜の生産性を解析する鍵にな

第1図 光合成産物の転流と分配



ると考えられます。

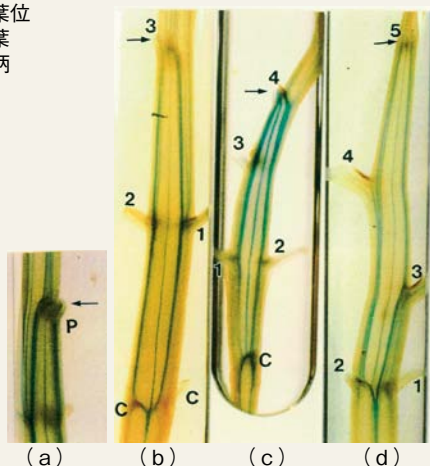
今回から、光合成産物の転流および分配を、実際の栽培条件にできるだけ対応している形を作り出して得られたデータを中心に述べ、栽培を支える技術の基礎やヒントとして利用されることが期待しながら書き進めたいと思っています。

光合成産物の転流・分配と生産とのかかわり

作物の生産は、第1図に示すように葉で光合成された光合成産物が葉から転流して、果実や根や茎や若い葉など

第3図 色素で染められたトマトの維管束の走行

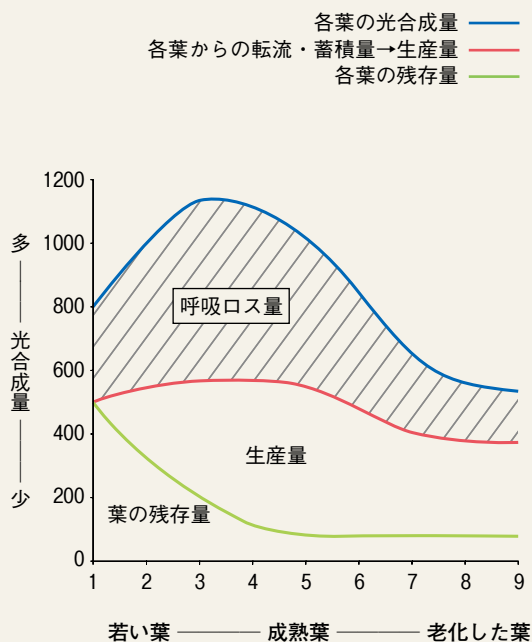
→=色素を吸わせた葉
数字=葉位
C=子葉
P=葉柄



- (a) 葉柄基部の維管束の走行。
(b) 第3葉からの維管束、第1葉の右側と第2葉の左側とつながっている。子葉とは維管束2本+1本でつながっている。
(c) 第4葉からの維管束、第1葉の左側と第2葉の右側とつながっている。子葉(第3葉とつながっている子葉と反対側)とは2本+1本でつながっている。第3葉とは反対側で直接つながっていない。
(d) 第5葉からの維管束、第3葉の右側と第4葉の左側とつながっている。第2葉とは2本+1本でつながっている。第1葉とは直接つながっていない。

第2図 トマト葉の生産性の模式図

光合成量、呼吸量、転流・蓄積量および残存量の葉位による違い。



に分配されることで成り立っています。すなわち、葉から光合成産物が転流しなければ、わたしたちにとっての生産にはなりません。第2図はそのことを模式的に表したものです。

前回で解説したように、若い葉から老化した葉では光合成量に違いがあり、さらに、実際には葉で呼吸した分を差し引かなければなりません。昼間は光合成が呼吸量より多いため、見かけ上は葉の呼吸が差し引かれて光合成速度として観測されるわけですが、夜になると光合成はストップして、呼吸だけが続きます。そのため、光合成量から呼吸量を差し引いた分が生産量になるのです。そして、葉の老若によって生産に寄与する光合成産物の割合も変わってきます(第2図)。

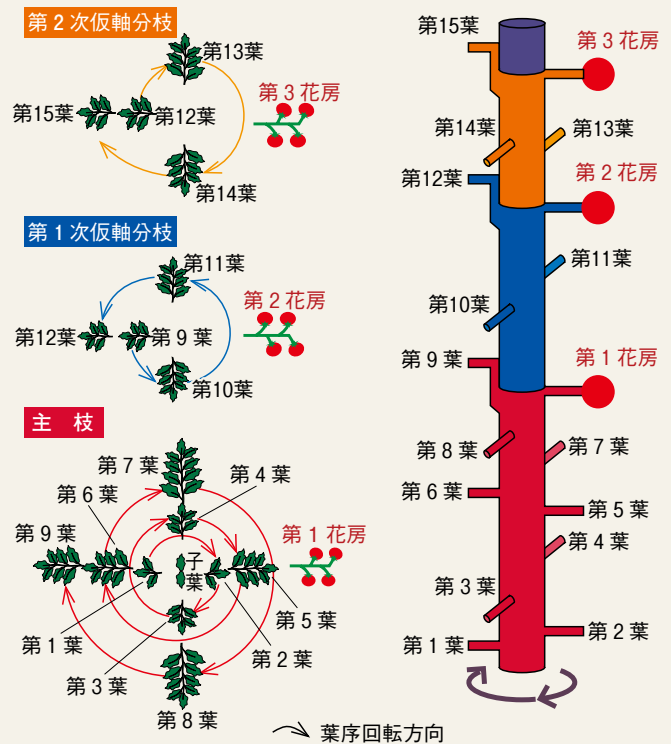
若くて小さな葉では自分自身の生育のため転流割合は小さく、もっと若く小さい葉ではほかの葉から光合成産物を受け入れています。そして、葉が大きくなって成葉になると光合成量が多く、呼吸も増加しますが、差し引き量としては生産に寄与する量が多くなっていくのです。その後老化すると、光合成量の低下が生産性に寄与する割合低下の原因となっていくます。

光合成産物の通り道・経路と転流・分配

それでは、光合成産物は葉からどこを通過して転流するのか、どのような経路を通過して動くのかを知っておく必要があります。植物の葉を見ると葉の表面に人間の血管と同様な脈のようなものがあり、茎や葉柄の中にはそれらの脈(維管束)が通っています。その様子を第3図a、b、c、dに示しました。これは葉を切り取り、茎に青い色素を吸わせ、茎や葉柄に種々の処理をすると、茎の成分が溶け出して透明になります。そして、その青い色素が通った維管束の部分が浮き出てくるようにしたものです。まず、第3図のaでは葉柄の左右両側から1本ずつ維管束が走っていて、もう1本の維管束が葉柄の中央下側に走っています。この青い色素で染まったところを光合成産物がスクロース(糖の一種)の形で移動(転流)していきます。このことは葉の付き方出方によって維管束の走行が決まっていくことを示しています。

第3図b、c、dを見ると、第3葉からは第1、第2葉片側の維管束とつながっています(b)。しかし第3葉

第4図 トマトの葉序と花房の出方



- ・花房ができるとその直下の葉のわき芽が伸び出して次の花房ができてくる。
- ・次の花房は葉が3枚分化してから花芽分化する。
- ・葉は4列縦性で180°-90°-180°-90°で展開する。

物が移動しやすくなります。逆に反対軸の場合は、光合成産物の分配率が低くなります。

また、トマトの茎の出方にも特徴があり、第1花房ができた後に第2花房が出てきますが、その茎は花房のすぐ上の葉（花房直上葉）の側枝に当たります。それで3枚の葉が出てから第2花房が出てきます。第4図の場合、第9葉が直上葉といわれ、第8葉が直下葉といわれています。第10葉から第12葉と第2花房は第9葉の側枝になり、第9葉がそれらの葉と第2花房の初期生育を支えているのです。そして、第12葉の側枝が第3花房となっています。こうした茎の出方を仮軸分枝といいます。

ソースとシンク関係

このような葉の出方や花房のでき方は光合成産物の分配にいろいろと影響を与えます。そのほか、ここに示したように、ソース（葉）とシンク（光合成産物を受け取る果実、茎、根、若い葉や成長点部）との関係は、それぞれの葉ごとに決まるようになります。さらに、シンク間での競合関係で分配パターンが変わってきます。

17葉期のトマト苗を用い、各葉位別の光合成産物の転流分配を見ると第5図のようになります。トマトは第1花房下葉数8枚の苗を選び、第3花房が開花中で、第1花房は開花3週間前後の状態です。放射性同位元素¹⁴C¹⁴CO₂を施与した葉は第5、第8（第1花房直下葉）、第9（第1花房直上葉）、第11（第2花房直下葉）、第12（第2花房直上葉）、第14葉（第3花房直下葉）に一斉に施与しました。

第5葉から第14葉までの転流率は47〜61%ですが、明確な傾向はありませんでした。

しかし、分配パターンを見ると第5および第8葉では、第1花房への分配が高く、第2花房へはほとんど分配しませんでした。第1花房の直上葉となる第9葉では、第1花房と第2花房の両方へ分配しますが、第2花房への分配の方が多く、第2花房は第9葉の側枝ということが推測されました。

一方、第2花房の直下葉の第11葉では、まだ、第1〜第2花房への分配は第9葉とは異なって、果実肥大最盛期の第1花房への分配が高まり、第1花房と第2花房の果実肥大状況に比例した形となっています。

トマトの葉序と花房の出方

トマトの葉序は4列縦性といわれ、角度は180°・90°・180°・90度で展開する葉序となっています（第4図）。

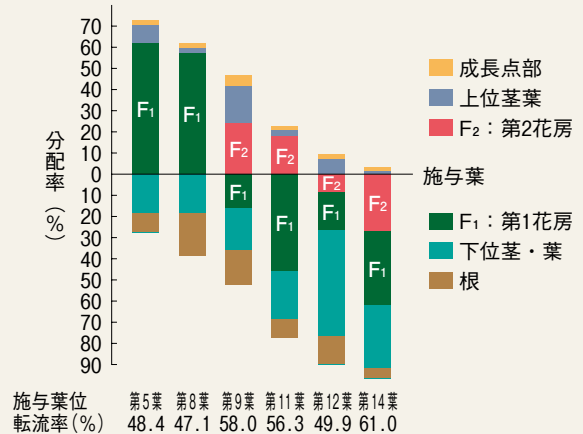
の反対側に付いている第4葉とは直接つながっていません。逆に、第4葉側でも第3葉の維管束とは直接つながっていません（c）。第5葉からは第4葉と第3葉のそれぞれ片側の維管束とつながっていることが見られます（d）。

こうした維管束のつながり方が、光合成産物の分配にも影響を与えるのです。

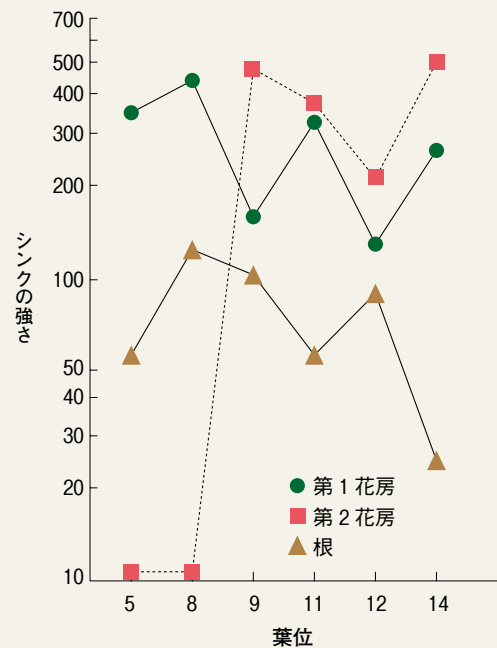
そうすると第3、第7葉と第4、第8葉は反対側に位置するようになります。このように、葉は同軸側と横軸側と反対軸側になります。

同軸側同士の葉は2列の維管束が直接連絡しており、横軸同士では1列ずつの連絡があります。反対軸の場合は、維管束が直接連絡しあうことはなく、別な横軸の維管束を介して連絡ができるようになっていきます。このことは、光合成産物の分配率に影響をおよぼし、維管束の連絡は、葉の出方が同軸であると連絡が密になり、多くの光合成産

第5図 光合成産物の分配パターンにおよぼす葉位の影響



第6図 花房および根のRSS (相対的シンク強度) におよぼす各葉位の影響



また、第2花房直上葉の第12葉に対しては相対的に弱いシンクとなっていますが、第1花房よりも強いシンクであることが認められました。第2花房より上の花房では、第1花房より下の葉からの光合成産物の分配は少なくなります。これは下の花房が先に肥大を開始しているため、維管束の配列上の理由や強いシンクを乗り越えることができないためと考えられます。

また、花房の反対列に位置する葉からの花房への分配は低くなること、花房直上葉から直下花房への分配は低くなるということが認められました。このことは、基本的な光合成産物の転流分配が、維管束走行とシンクのその葉に対する相対的なシンク強度によって決められていくものと認められました。

さらに、花房直上葉はつねに周囲の葉と比べ葉長や葉重が低くなることから観察されているのですが、これは仮軸分枝である直上葉が側枝の初期生育を支えるために葉の生長量が少なくなるものと考えられます。その際、仮軸の発達にともなう維管束の割り込みが維管束の配列に変化をおよぼし、分配パターンにも変化を起しているものと考えられます。

方などで、光合成産物の分配パターンは異なることが明らかになりました。

シンク同士で引き合う 光合成産物

光合成産物が移動する先、すなわちシンクと葉の関係は、葉の老若で量的に変化し、葉の位置と維管束とのつながりを通じた分配パターンの変化と、葉とシンクとの距離や位置関係による分配パターンの変化があります。さらに、シンク間での光合成産物の引っ張り合いが存在することもすぐ理解できるものと思われれます。このように、それぞれ1枚の葉に対し、各花房や根な