

File No. 68

植物生育の基本要素

生き物は成長と増殖のために外部から必要なエネルギーと栄養を取り入れる必要がある。そのエネルギーと栄養の種類と取り込み方によって、生物は独立栄養生物と従属栄養生物の二つのグループに大別される。

独立栄養生物 (autotroph) とは生育と増殖に必要な栄養源をすべて無機化合物でまかなうことができ、有機物が全く要らない生物である。代謝に必要なエネルギーは光エネルギーまたは無機物の酸化還元反応で発生した化学エネルギーを利用する。植物は光エネルギーを利用して無機物から生育に必要な物質を合成し、独立栄養生物の典型ではあるが、一部の細菌は光の代わりに水素、アンモニア、硫化物、2 価鉄など無機物の酸化還元反応をエネルギー源にして無機栄養条件下で生育することができる。

一方、従属栄養生物 (heterotroph) とは代謝および生育、増殖の栄養源として有機物が必要である。取り込んだ有機物の消化分解過程に発生したエネルギーを利用して、生育と増殖を行う。従って、他の生物がいなければ生きていくことができない。動物は全て従属栄養生物に属して、微生物も一部を除きそれに該当する。

植物は独立栄養生物に属し、無機化合物の二酸化炭素を炭素源として、太陽光をエネルギー源に炭水化物を合成して、窒素、りん、カリウムなどの無機元素を取り込み、いろいろな有機物質を生成する。

植物の生育にはいろいろな要因がかかわっている。例えば、太陽光、水分、肥料などである。植物生育に必要な不可欠の要素は、光、温度、空気、水分、養分の 5 つである (図 1)。

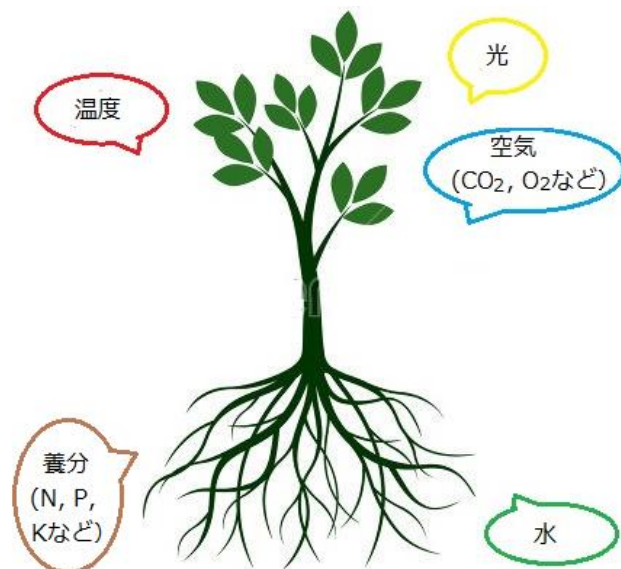


図 1. 植物の生育に必要な基本要素

1. 光

光は電磁波の 1 種で、波長 $0.4\mu\text{m}$ ~ $0.8\mu\text{m}$ の間にあり、人間の目を刺激して明るさを感じ

じさせられるもの、可視光線とも呼ばれる。その波長により、光の色が短波長側の紫から長波長の赤まで連続的に変化し、性質も異なる。

植物に対し光は、光合成と成長を支配する光信号の二つに作用している。植物は根から吸収した無機養分と水、さらに大気中の二酸化炭素 (CO₂) を原料にして、光合成を通して、植物体を構成している全ての成分を合成する。

植物の光受容体は大きく光合成の光受容体であるクロロフィル (葉緑素) と光情報利用の光受容体 (フィトクロム、クリプトクロム、フォトトロピンなど) に分けられる。

クロロフィルは直接に光エネルギーを吸収し、光合成反応を担う。ほかに光合成の補助色素としてキサントフィルとフィコビリリンがあり、光を吸収し、その光エネルギーをクロロフィルに渡すいわゆる光捕集機能を持つほか、強光による傷害を防ぐ光阻害防御機能をも有する。クロロフィルはその構造により 6 種類に分けられる。但し、植物にはクロロフィル α とクロロフィル β の 2 種類しか存在せず、ほかの 4 種類は藻類や藍藻に発見された。植物のクロロフィルの光エネルギー吸収ピーク及び形態形成と成長に与える影響は図 2 と図 3 に示す。

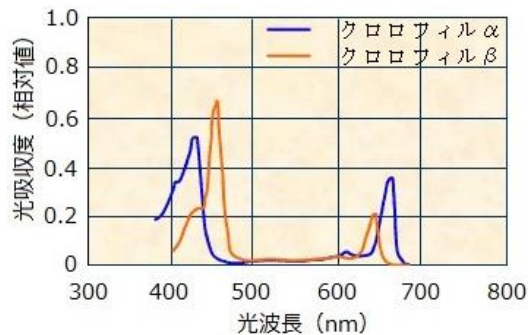


図 2. クロロフィルの光エネルギー吸収

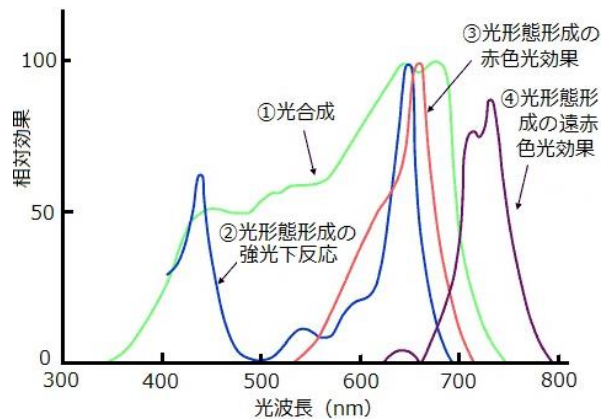


図 3. 光波長が植物形態形成と成長に及ぼす影響

概して、波長 400~700nm 光は植物の光合成に利用されるが、600~700nm の橙~赤光が光合成の効果が一番顕著である。一方、420nm 周辺の青光がクリプトクロムとフォトトロピン、660nm 周辺の赤光と 730nm 周辺の遠赤外線がフィトクロムを活性化させ、植物の形態形成と成長を促進する。

今まで光といえば太陽光を指すが、科学技術の進歩により、これからは蛍光灯や LED の人工光が植物栽培に大きな役割を果たすだろう。

2. 温度

植物の生育に一定の温度が必要である。その理由は生物体内の化学反応がすべて酵素を触媒にして行われているため、反応速度が酵素の活性に依存する。植物体内の酵素は 0℃ 以下では活性がほとんど現れないが、0℃ を超えて大体 30℃ までは温度が高いほど高くなり、

活性が高くなり、生化学反応を速く進行させる。この温度範囲に於いて、温度が 10 度上昇するごとに、反応速度は約 2 倍ずつ速くなる。但し、一定温度を超えると、酵素に熱変性が発生し、逆に活性が下がる。ある温度を超えると、熱変性が不可逆となり、酵素の活性が永久に失う。

普通、植物が耐えられる温度範囲は -30°C から 45°C までといわれている。但し、 5°C 以下と 35°C 以上の温度に於いて、植物が低温または高温によるダメージを軽減するため、新陳代謝を最小限に抑え、休眠に入ってしまう。当然生長が停止する。

このように、植物がダメージを受けながら耐えられる温度を「生存温度」、正常に生育できる温度を「生育温度」、生育に最も適した温度を「生育適温」と呼ばれる。

生存温度は植物種の違いにより大きく異なる。寒帯に生育する針葉樹は -30°C 、極短期間では -40°C までの低温を耐えられるが、バナナやパパイヤなど熱帯植物では 0°C 以下になると死んでしまうものもある。砂漠に生育している植物が 50°C 近く高温で生き延びることもある。

一方、生育温度は大体 5°C ~ 33°C で、生育適温はおおむね 15°C ~ 28°C といわれている。生育適温範囲内に於いて、温度が高くなると、生長もそれだけ早くなる。植物の生存温度、生育温度及び生育適温の模式を図 4 に示す。

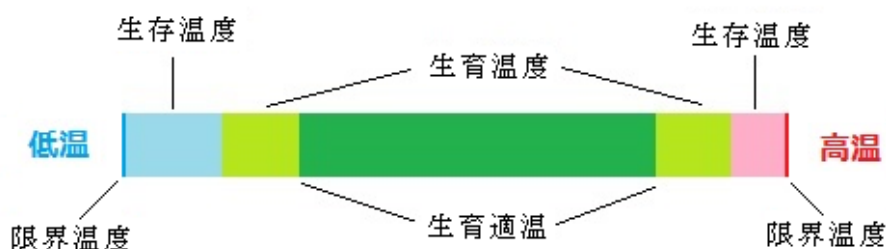


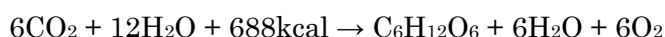
図 4. 植物の生育と温度

地球表面の温度は大きく見れば太陽からの放射エネルギーと地球からの放射エネルギーが釣り合うところで決まる。従って、太陽のエネルギーを一杯受け取る熱帯地域では温度が高く、植物生育が速く、水分さえあれば、熱帯雨林を形成する。高緯度地域では太陽エネルギー量が少なく、温度が低く、植物の生長が遅く、冬季が来る前に休眠に入る。北極や南極では温度が低すぎて植物が全く生育できない。従って、作物の栽培適合地域が熱帯と温帯に限定される。

植物工場などは外部温度の影響を全く受けず、人工で植物を生育最適温度に恒常に保つことができる。従って、寒冷地域の冬季でも野菜を収穫することができる。

3. 空気（二酸化炭素、酸素）

光合成は二酸化炭素と水を原料にして炭水化物（ブドウ糖）を合成する。その反応式は、



すなわち、植物は 688 キロカロリーの光エネルギーを使って、6 分子の二酸化炭素と 6 分子の水を 1 分子のブドウ糖を合成し、6 分子の酸素を放出する。この反応は CO₂ 固定とも呼ばれる。

有機物を構成する有機態炭素はこのようにすべて二酸化炭素から由来する。二酸化炭素がなければ、有機物が合成されない。

一方、植物は動物と同じように、酸素を吸って二酸化炭素を出す、いわゆる呼吸もしている。これは体内の新陳代謝及び養分吸収と物質合成に必要なエネルギーを得るためである。呼吸は細胞内のミトコンドリアで行われ、酸素を消費し二酸化炭素を生成する。なお、植物の呼吸は光があってもなくても絶えずに行っているが、光合成を行っている間に呼吸による酸素の消費と二酸化炭素の放出が隠され、二酸化炭素の取り込みと酸素の放出しか観察されない。(図 5)

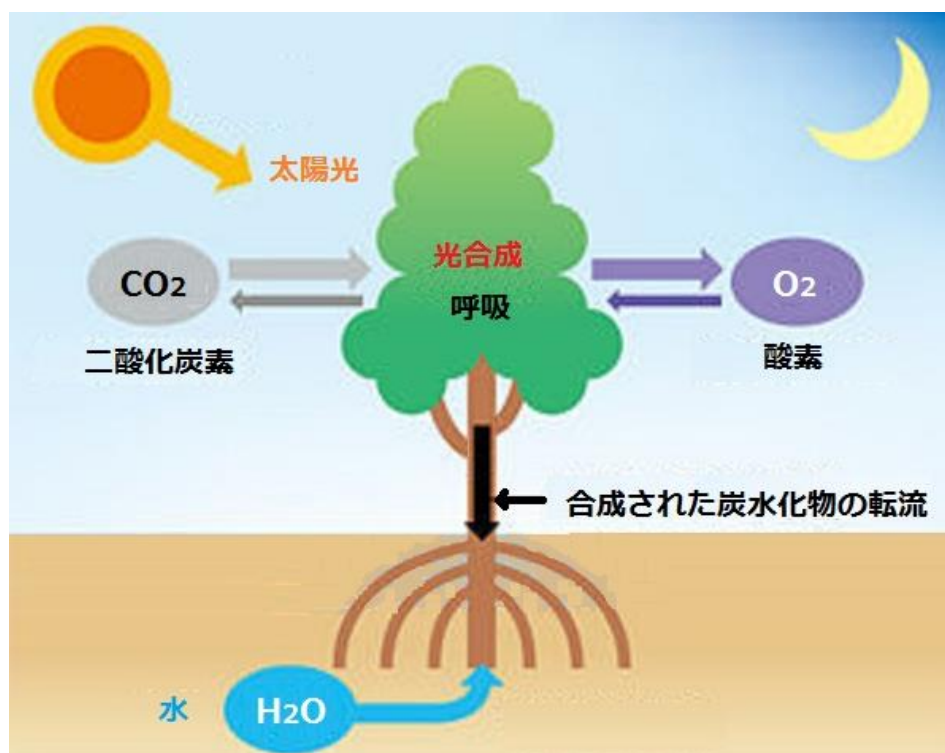


図 5. 植物の光合成と呼吸

大気中の二酸化炭素濃度が約 380 ~ 400ppm であるが、それを上昇させれば、光合成で合成した有機物の量が増え、植物生育が早くなり、収量が多くなる論述が多く見られる。これは部分的に正しい。植物はその光合成回路の相違により C₃ 植物と C₄ 植物に分けられる。C₃ 植物は最初の光合成固定産物が三炭素化合物(3-ホスホグリセリン酸)であること、C₄ 植物は光合成の CO₂ 初期固定を C₄ ジカルボン酸回路により行うものであることから、そう呼ばれる。

C₄ 植物は葉の葉緑体に二酸化炭素を濃縮する機構を備えているため、二酸化炭素濃度が

低くても CO₂ 固定ができる。また、太陽光の下では C₄ 植物の CO₂ 固定量の飽和値が大体二酸化炭素濃度 300 ppm 程度で、大気中の二酸化炭素濃度を増やしても、CO₂ 固定量の増加は期待できない。一方、植物種の大部分を占める C₃ 植物では、大気中の二酸化炭素濃度では CO₂ 固定量は飽和していないため、二酸化炭素濃度の上昇によって、光合成による CO₂ 固定の増加が期待できる。ハウス栽培ではわざわざ二酸化炭素を発生させ、その濃度を高めることで光合成を盛んにさせ、生長促進と収量増を狙うところがある。

4. 水

植物にとって水の役割は、① 植物を構成する主成分。植物体の 60~90% は水で、水が少しでも減ってしまえば、生命活動の維持が困難となり、植物がしおれ、ひどい場合は枯れてしまう。② 炭水化物を合成する原料。水がなければ、光合成ができず、炭水化物が合成されない。③ 植物根の養分吸収と体内の養分輸送などの溶媒。根から吸収された水は導管を通り、地上部に上昇し、周囲の組織を潤いながら葉から蒸散する。この水の動きは根の養分吸収と体内へ輸送する動力にもなる。また、光合成で合成した炭水化物及び新陳代謝で合成したその他の物質も水溶液の状態では体内に転流する。ほかに水の蒸散を通して光照射による葉温度の上昇を抑え、光合成を良い条件で行う役割もある。従って、水がなければ、植物が生育することができない。

5. 養分 (N、P、K など)

植物は養分をイオン形で吸収利用する。養分は植物体を構成するものと生理活動に必要なものに分けられる。植物の生育に必要な不可欠の元素は、窒素、りん、カリウム、カルシウム、酸素、水素、炭素、マグネシウム、硫黄、鉄、マンガン、ホウ素、亜鉛、モリブデン、銅、塩素の 16 種類である。その中には窒素、りん、酸素、水素、炭素、マグネシウム、カルシウム、硫黄は植物体を構成するうえ、生理活動にも携わる。カリウム、鉄、マンガン、ホウ素、亜鉛、モリブデン、銅、塩素は植物体内の酵素の活性、生化学反応と反応生成物の転流などに関わる。これらの元素は必須元素と呼ばれ、そのうち一つでも欠けると植物体が完成できない。

必須元素の役割などについて、本書の「植物の生育と肥料」編をご参考ください。

必須元素のうち、水素と酸素は水から、炭素は空気中の二酸化炭素から取得するが、残りの元素は植物根の吸収に依存する。葉面吸収もあるが、植物の需要に比べ僅かしか供給できない。

土壌について、植物生育に重要な要素ではあるが、養液栽培や植物工場のように光、空気、水と養分があり、適切な温度を保つことで、土壌がなくでも植物生育ができる。従って、土壌は必要な基本要素に入らない訳である。