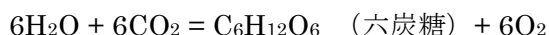


ふつう栄養といえばヒトの栄養のことを指すわけですが、ヒト以外の動物や植物にも栄養（現象）がなければそれらは生存できません。そして、ヒトを含む動物の栄養（つまり生活）は植物がなければ成立しません。それは、動物が自らは有機物質を生産できないためです。他方植物は栄養により無機物から有機物質を生産できます。と同時にあらゆる（好氣的）生物が呼吸を営むために不可欠な分子である酸素を放出しているのです。これは、化学反応式では次のように書くことができます。



この反応は、必要なエネルギーを光（自然界では太陽光）に求める**光合成**とよばれる複雑な経路をへて進みます。植物栄養が**無機栄養**であることが第一の特徴であると言えます。植物の光合成と無機栄養は動物と明確に異なる点です。したがって植物は有機物に頼らなくても、生存に必要な全ての物質を無機物から得ることができるのです。現在のところ（将来必須性が証明されるかもしれない元素があるから）、**植物の必須元素**は、17 元素とされています。多量必須元素は炭素、酸素、水素、窒素、リン、カリウム、カルシウム、マグネシウム、硫黄の 9 元素であり、微量必須元素は鉄、マンガン、銅、亜鉛、ホウ素、塩素、モリブデン、ニッケルの 8 元素であり、これらが必須栄養素とよばれます。植物が正常な成育を遂げるためには、それぞれの栄養素がその必要濃度に応じ過不足なく摂り込まれることが必要です。植物の生育は、最も不足する（必要濃度に到達されない割合の大きい）栄養素によって決まり、このことは**スプレングル・リービヒの最小（養分）律**とよばれます。これらの栄養素は、基本的に炭素と酸素は空気から、その他の元素は水を含め土壌から摂取されるため、植物栄養は土壌からの栄養素供給に強く左右されるわけです。

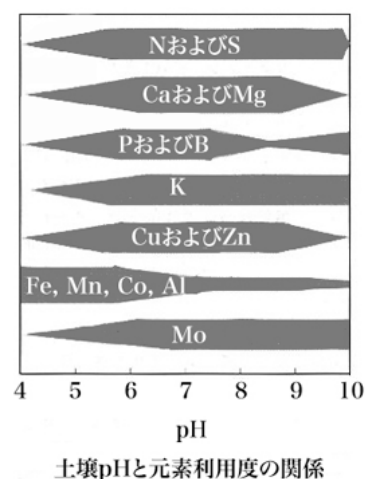


多量必須元素のうち、**肥料**として重要な元素は窒素、リン、カリウムであり、これらを**肥料の三要素**と呼びます。さらにカルシウムを加えて四要素と言う場合もあります。これらの元素の植物体内での機能を簡単に説明しよう。植物栄養素として最も重要な元素の一つ、窒素は、その供給が植物の生育、収量に大きく影響します。動物と違って植物は無機窒素（硝酸態やアンモニウム態窒素）から全てのタンパク質構成アミノ酸を合成できる（窒素の有機化）ので、この点でも動物の栄養は植物に依存しているといえます。窒素は、アミノ酸を出発物質とする核酸、クロロフィル、補酵素、植物ホルモンなど多くの生体成分に変化し、生体反応に重要な役割を果たしています。リンは核酸やリン脂質として、原形質の重要な構成元素であると共に糖リン酸エステルや ATP の成分であり、光合成やエネルギー代謝および代謝制御に重要な役割を担っています。カリウムは他の元素と大きく異なり、生体内で化合物の形態で存在せずイオンとして細胞の浸透圧調節や pH 安定化に重要な役割を担っています。カルシウムは細胞壁の構造維持と機能に関わっています。ほとんどの多量必須元素が植物体内で容易に移動し、欠乏症状が古い組織から現れるのに対し、カ

ルシウムは細胞壁に結合しているため植物体内での移動性が低く、その欠乏症状は新しい組織から現れます。天然から充分量供給される栄養素を除き、肥料として重要なこれらの栄養素を適量だけ供給することが農業生産上で重要です。

農業における作物栽培では、植物の生長が最大で、同時に産物の品質が最高となることを目指して**植物の栄養管理**を行います。多くの土壌では微量栄養素の供給は十分ですが、多量栄養素は生産量（収穫）が大きくなると十分には供給されません。そこで土壌からの供給が不足する栄養素が肥料として施用されるわけです。植物栄養が無機栄養であることから、肥料は全て**無機質（化学）肥料**で与えられても差し支えありませんが、有機質肥料も施用されます。**有機質肥料**の大部分は土壌中で分解（無機化）されてからその栄養素が摂取されます。有機質肥料は、その原料は全て植物・動物質由来であることから多くの種類の栄養素を含むので好ましい面がありますが、性質上その供給量には限界があります。つまり有機質肥料の原料を獲得するためには植物や動物を生産する必要があるのです。人口が少なく、食事内容も贅沢でなかった時代には、天然の原料供給と循環で足りたのですが、現在の人類の食状況では化学肥料を使用せねば必要な食料を確保することはできません。地球上に飢餓にあえいでいる国が少なからず存在するのは、食料の偏在と政情不安定が原因とされていますが、その国の作物栽培上、困難な気候や肥沃でない土壌を抱えていることも、また原因の一部をなしています。

作物栽培を継続すると土壌の栄養素量の減少とともにその性質も変化します。例えば、無機、有機に関係なく窒素質肥料の施用は土壌の酸性化を促進しますし、乾燥地帯における灌漑農業では、誤った水管理がなされると水に溶けていた物質が土壌に貯まります（塩類化）。酸性や高濃度塩類（アルカリ化を伴うことが多い）は、それ自体植物の成育に強く影響するとともに土壌中の栄養素である元素を植物による利用の難しい形態（不可給態）に変えてしまいます。このことから、土壌の栄養素状態（肥沃度）を良好に維持するほかに、土壌の性質を良好にするために、石灰や有機物などの資材（**土壌改良資材**）の施用も必要です。



植物の栄養を対象にした学問分野が「**植物栄養学**」です。植物栄養学は大きく二つに分けられます。第一は基礎科学である「**栄養生理化学**」です。第二は応用科学である「**栄養管理学**」です。前者は植物における栄養素の吸収・獲得、移動、物質変化（代謝）、はたらき（作用）などを究明するものであり、これまでの150年余の研究で植物の栄養生理では多くのことが判ってきました。今日では、植物の栄養状態と遺伝子の発現との関わりについての研究はひとつの大きな研究課題です。栄養管理学では、究極的に人類の食料が植物生産にほとんど全て依存することから、植物の栄養状態の適正な管理による生産増進、品質向上、**環境保全・修復**を目標として栄養生理化学、土壌学および土壌微生物学の成果を基にしてこの分野を一層進展させる必要があります。

現時点で作物を栽培できない問題土壌の面積は大きく、したがって問題土壌の生育阻害要因を克服できるような（例えばアルカリ性土壌で微量元素の摂取が可能な、酸性土壌では強アルミニウム耐性を保有する）**新植物**を遺伝子工学などの利用により作製することは

将来のために必要であると言えます。特に昨今注目を浴びつつある、化石燃料を代替するエタノール製造原料用バイオマス（バイオエタノール）の生産に応用することは食料とは切り離されるので、有望作物の育種とその栄養管理における研究が急がれます。

ある量の植物を生産するためには必要な栄養素の量が植物に集積されなければなりません。つまり、栄養素ごとの生産効率（単位集積栄養素量当りの生産(収)量）があるわけですが、この生産効率を向上させた作物では生産に要する肥料の使用量を少なくすることができることから、特に多量必須元素について**栄養素生産効率**を高めることに力を注がねばなりません。

化石燃料の供給が有限であるように、栄養素を補給するための肥料の原料である資源も有限です。多くの種類の窒素質肥料の窒素は合成アンモニアに由来します。アンモニア合成では、窒素ガスは大気中に無尽蔵に存在しますが、その水素源を現在では化石燃料（天然ガス・ナフサ・石炭ガスなど）から得ています。ですから固定窒素の原料も有限であるといえますし、アンモニアを製造すれば温室効果ガスである二酸化炭素の発生も起こります。このようなことから**生物的窒素固定**活用の重要性が再認識されています。生物的窒素固定に必要なエネルギーは、太陽光線を利用する光合成から得られるので無限と言ってよいわけですから、マメ科以外の植物種にも窒素固定能力を付加できれば、窒素質肥料の使用量を削減することができます。一方で土壌中のアンモニウム態窒素は一般的な土壌中では速やかに硝酸態窒素に酸化されて陰イオンの形で存在するので、土壌の陰荷電に保持されず降水などによる土壌水の流れに従い流亡しやすくなります。これは環境水の窒素汚染をもたらしますし、同時に作物による施用窒素利用率の低下をもたらすので、継続した研究がなされています。

多量栄養素の中でカリウムは最も長期に（数千年）供給できると予測されていますが、リンは現在の技術では 100 年（推定存在量でも数百年）以内に枯渇すると予測されています。このことは化石燃料の枯渇以上に大問題であるのに、人々はほとんど認識していないのが現状です。最初に開発された肥料の成分であるリン酸の資源量が小さいのに加えて、土壌に存在するリン酸は不溶性の形態のものが大部分であり、施用したリン酸も土壌で固定（不可給化）され易い性質をもち、作物が吸収する割合がすこぶる低いいため、上記した作物のリン生産効率を向上させることが重要です。それと同時に施用リン酸質肥料のリンの利用率を高めることおよび蓄積した土壌リン酸の有効性を向上させることが重要です。この**リン酸問題**は長年にわたって研究されてきていますが、緩効性リン酸質肥料の発明を除くと大きな進展はないのです。そこで菌根を活用した効果の高い微生物資材の開発など画期的成果の出現が望まれるところです。

植物が必要とするときに、必要な量だけ植物が栄養素を摂取するようにできることが理想的です。近年肥効調節型肥料が開発されて一歩理想に近づいてきました。当初は施用回数を減らして施肥労力を軽減するためにこの型の肥料は要請されたものだったのですが、この導入により植物による成分利用率が上昇するために無駄になる肥料成分を少なくすることができます。費用の節減に加えて、農地から水環境への肥料成分（窒素化合物）の流出による環境悪化を軽減できます。不可欠な食料を生産するのであるからやむをえない面もありますが、環境保全は可能な限り配慮されるべきです。また付加価値を高めた肥料は当然に高価になるし、資源も必要となります。さらなる改良を目指した研究が期待されます。