

File No. 31

養分の拮抗作用と相乗作用

植物は生長のために外部から養分を吸収しなければならない。植物が根から養分を吸収する場合は、すべてイオンの形で行われる。主な必須成分の中、カリウムとカルシウム、マグネシウムなどは陽イオンの形で、りんはりん酸の陰イオンの形で、窒素はアンモニア態の陽イオンまたは硝酸態の陰イオンの形で吸収される。根が養分を吸収するとき、共存するほかの養分がその吸収を阻害するまたは促進する現象がよく見られる。これは養分吸収の拮抗作用または相乗作用と呼ばれる。

一、 養分の拮抗作用 (Antagonism of nutrients)

養分の拮抗作用とは、ある養分が過剰に存在する場合は共存のほかの養分の吸収を抑制または阻害する現象である。注意すべきなのは、拮抗作用はその養分が過剰に存在する場合のみ起こる現象で、適量または欠乏の際に拮抗作用が発生しない。主な養分の間には発生し得る拮抗現象は表 1 に示す。

表 1. 養分間の拮抗関係

養分	拮抗対象の養分
窒素	カリウム、ホウ素
りん酸	カリウム、鉄、亜鉛、銅
カリウム	アンモニア態窒素、りん酸、カルシウム、マグネシウム、ホウ素
カルシウム	アンモニア態窒素、カリウム、マグネシウム、鉄、銅、亜鉛、ホウ素
マグネシウム	カリウム、カルシウム
ホウ素	窒素、カリウム、カルシウム
マンガン	カルシウム、銅、鉄、亜鉛、りん酸
亜鉛	アンモニア態窒素、カリウム、鉄、マンガン
鉄	カルシウム、りん酸、マンガン、亜鉛、銅
銅	りん酸、鉄、亜鉛
塩素	窒素

養分ではないが、土壌中のアルミニウムが過剰の場合はりん酸、鉄、カルシウム、マグネシウム、マンガンなどの吸収を強く抑制する。

表 1 に示すように、拮抗作用は一般には同じ荷電同士の間で強く起こるが、荷電が異なったものの間でも認められている。即ち、陽イオン相互間、陰イオン相互間だけではなく、陽イオンと陰イオンの間にも起こる可能性がある。また、よく見られるのは陽イオン間の拮抗作用で、特に一価の陽イオン（カリウム）と二価の陽イオン（マグネシウム、カルシウムなど）の間でこの拮抗作用が顕著である。カリウム過剰ではマグネシウムとカルシウム欠乏症の発生が典型的である。但し、この拮抗作用は一価の陽イオンの影響が大きく、

逆に二価の陽イオンの影響があまり顕著ではない。例えば、カルシウム過剰ではカリウムへの吸収抑制に及ぼす影響は小さい。

養分間の拮抗作用が発生するメカニズムがまだ完全に究明されていないが、下記の仮説が有力である。

1. 根の細胞膜受容体に於ける性質の近い陽イオン間の競争

根の養分吸収はすべてイオンの形で行う。土壤溶液中のイオンは根の細胞膜にある特定の受容体に結合してからイオンチャンネルを通して根細胞内に取り込まれる。この受容体に対する競争が拮抗現象を引き起こす。例えば、カルシウムとマグネシウムは同じアルカリ土類金属で、その陽イオンが共に二価である。性質が近いため、根の細胞膜にある特定の受容体に結合するために競争関係が発生し、片方が過剰の場合は、その相手の結合を阻害する。マンガン、亜鉛、銅と鉄は同じ二価陽イオンの金属元素なので、競争関係にあり、互いに拮抗している。

2. 根細胞内のイオンチャンネルの争奪競争

細胞膜にタンパク質から出来たイオンの通り道であるイオンチャンネルが存在する。このイオンチャンネルに対する競争が拮抗現象を生じる。特に陽イオンのイオンチャンネルがカリウムイオンを優先的に通る特異的な特徴がある。従って、カリウムが過剰に存在する場合は、陽イオンチャンネルがカリウムイオンに占拠され、カルシウム、マグネシウムなど他の陽イオンの通過が妨害される結果、これらの養分の吸収阻害を誘発する。

陽イオンだけではなく、陰イオンの間もこのイオンチャンネルの争奪競争が見られる。塩素イオンが過剰の場合は硝酸態窒素の吸収を阻害するのもこの原因である。

3. 根細胞内の陽イオンがプロトン (H⁺) の放出抑制

根が多量の一価陽イオン、特にカリウムイオンを吸収した場合は、根細胞内に陽イオンが飽和状態になり、プロトン (H⁺) の生成と放出を減らす傾向がある。根細胞膜と細胞壁のプロトン量が減ると、外部の陰イオンと結合して、根に取り込む効率が悪くなる。カリウムの過剰による硝酸態窒素とりん酸の吸収阻害はこのメカニズムが働いていると言われる。

4. 過剰の養分がほかの養分と結合して不溶化させる

典型的な例は、土壤中に過剰のりん酸が鉄、亜鉛、銅と結合して、不溶性のりん酸鉄、りん酸亜鉛、りん酸銅を生成して、これらの養分吸収を阻害する。土壤中の鉄やアルミニウムが多く存在すると、りん酸の不溶化が進むのもこの原因である。

5. 土壌コロイドの交換性塩基の寡占現象

石灰または苦土石灰の過剰施用により、土壌コロイドに吸着保持されている交換性塩基がカルシウムまたはマグネシウムイオンに独占され、他の陽イオンが保持されず、流亡してしまう場合もある。

6. 土壌 pH の影響

石灰または苦土石灰、熔りんなどアルカリ性肥料の過剰施用が土壌 pH をアルカリ性に傾

け、養分の溶解度を抑制することにより、拮抗現象が現れる。例えば、アルカリ性環境に於いて、鉄は吸収されやすい二価鉄から吸収されにくい三価鉄に転換される。

通常、鉱山跡、産業廃棄物置き場など特別の場合を除き、土壌には微量元素の過剰現象が発生しないので、養分の拮抗作用は大体加里や石灰、苦土の過剰施用により起こる現象である。但し、拮抗作用がすべて悪いものではなく、うまく利用すれば、有害金属の吸収抑制に役立つ。例えば、石灰の施用が過剰なアルミニウム、銅、マンガン、カドミウムの害を軽減することができるし、カリウムの過剰施用が放射性物質のセシウムの吸収を抑制することができる。

二、 養分の相乗作用（相助作用、synergism of nutrients）

養分の相乗作用とは、植物による養分吸収がほかの養分によって促進されることを指す。相乗作用はりん酸と窒素、マグネシウムとりん酸などとの間で認められている。りん酸があると窒素の吸収がよく、マグネシウムがあるとリン酸の吸収がよくなり、カリウムは鉄やマンガンがあると、その吸収が促進されると言われている。但し、相乗作用は養分が適量に存在する場合のみ見られる現象で、過剰の場合に逆に拮抗作用に転じることがある。表2は主な養分間の相乗関係を纏めたものである。

表2. 養分間の相乗関係

養分	吸収促進の対象養分
窒素	りん酸、マグネシウム、マンガン
りん酸	窒素、マグネシウム
カリウム	鉄、マンガン、硝酸態窒素
カルシウム	りん酸、硝酸態窒素
マグネシウム	りん酸
ホウ素	カルシウム（植物体内の転流促進）
塩素	カリウム、カルシウム、マグネシウム、シリカ

通常、多くの養分が適切な濃度で存在する場合は、ほかの養分の吸収を促進させる効果がみられる。その相乗作用は双方向の場合が多い。また、多価イオンが一価イオンの吸収促進に及ぼす影響が強い。

養分吸収の相乗関係のメカニズムはまだ完全に究明されていないが、下記の仮説が有力である。

1. 荷電の異なるイオン間の電界平衡

陽イオンと陰イオンが根の細胞膜の電界平衡関係を維持し、イオンチャンネルをうまく稼働させて、養分を効率的に取り込む。カリウムが硝酸態窒素、カルシウムがりん酸と硝酸態窒素の吸収を促進するのはこのメカニズムが作用すると言われる。

2. ヴィエズ影響 (Viets effect)

アメリカ農学者 F. G. Viets 氏が 1944 年に提出した理論である。溶液中のカルシウム、マグネシウムなどの二価陽イオン、特にカルシウム陽イオンがある濃度の範囲内にほかの陽イオンの吸収を促進する。但し、高濃度のカルシウムイオンの存在は逆にほかの陽イオンの吸収を阻害する。

3. 植物の生長バランス要求

ある養分が適量に存在して、植物に積極的に吸収された場合は、植物が体内の生長バランスを維持するためにほかの養分も合わせて積極的に吸収する。りん酸があると窒素の吸収がよく、マグネシウムがあるとりん酸の吸収がよくなり、カリウムは鉄やマンガンがあると、その吸収が促進されるのはこのメカニズムと言われる。

植物の窒素吸収量が不足する場合は、葉の色つやが悪かったり、茎が太くならなかったりなどの欠乏症状が出やすい。りん酸の少ない土壌では、窒素肥料を施用する同時にある程度のりん酸を合わせて施用して効かせると、相乗作用により窒素の吸収効率が上がることがよく見られる。逆にりん酸が多く、窒素が少ない土壌では、窒素肥料を施用するとりん酸の吸収量が増加する現象も多く見られる。

植物が養分を必要以上に吸収する場合がある。土壌中の養分濃度が増すと、植物の必要量を超えた量が吸収されてしまうことである。これを過剰吸収（ぜいたく吸収）と呼んでいる。特にカリウムには必要以上に吸収する傾向がある。植物のカリウム要求量は、一般に窒素ほどは多くないが、その場合でも、必要以上に施用する傾向もあり、過剰吸収を起こすことがある。

窒素、りん酸、カリウムは、植物体にとって過剰吸収が可能であり、肥料の供給が不足したときには、これらの養分が植物体内を移動して不足部分を補うこともできる。但し、過剰吸収により植物体内のカリウムが多くなると、拮抗作用とも関係し合い、カルシウムやマグネシウム、りん酸、ホウ素などの吸収が低下し、ひどい場合にはそれらの成分の欠乏症を起こすこともある。家畜ふん堆肥にはカリウムが多く含まれて、化学肥料と家畜ふん堆肥を併用すると、カリウム過剰になりやすく、他の養分にも影響してくるので、施用に当たっては注意が求められる。