

File No. 35

植物根の水分・養分吸収メカニズム

植物が生きるために水分・養分が必要である。ほとんどの場合は、根が水分・養分を吸収する役割を担っている。ただし、根の水分吸収と養分吸収がそれぞれ異なるメカニズムによって行われている。

水分の吸収は、根細胞の内外の溶液濃度差で発生した浸透圧により行われている。浸透圧とは、「半透膜を隔てた溶液が存在した場合、その濃度が薄い方から濃い方へと液体は移動していく」という現象である。即ち、半透膜、すなわち溶媒だけを透す膜で隔てられた2つの室に溶媒・溶質が同じで濃度の異なる2つの溶液があると、溶媒分子が濃度の低い溶液から濃度の高い溶液に移動する現象である。これは、低濃度溶液中の溶媒分子の方が高濃度溶液中の溶媒分子よりも、溶媒自身の密度が高く、拡散の原理に従って、溶媒分子が[高] → [低] へと移動し、2室の溶質濃度が平衡状態に達するまで続く。

浸透圧 π [atm] は次の式で表される（ファンツホッフ式）。

$$\pi = MRT$$

M : モル濃度 [mol / dm³]、 R : 気体定数 [atm·dm³ / K·mol]、 T : 温度 [K]

植物根の細胞膜は一種の半透膜で、正常の場合は、根細胞内のイオンと有機酸などの濃度が外界土壌溶液のそれより高いため、土壌よりも低い水ポテンシャルを保って、浸透圧が発生する。土壌溶液中の水分がその浸透圧により根細胞膜を通過し、根細胞に入る（図1a）。また、同じように根細胞にある水分は浸透圧により根の導管に流入する。茎の導管では根より低い水ポテンシャルになっており、葉では同化産物や無機イオンの蓄積と蒸散によって、さらに大きな負の水ポテンシャルが生じている。水が所在のポテンシャルエネルギーの高い方から低い方へ流れるのであるため、このような植物体内の水ポテンシャル勾配が形成されることで、根が吸収した水分が絶えずに地上部の茎と葉に輸送される（図1b）。これは植物の水分吸収のメカニズムである。

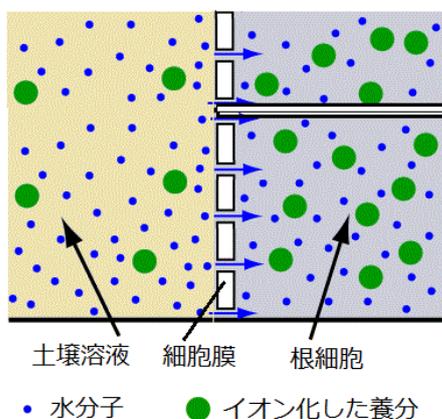


図 1a. 浸透圧による根細胞の水分吸収

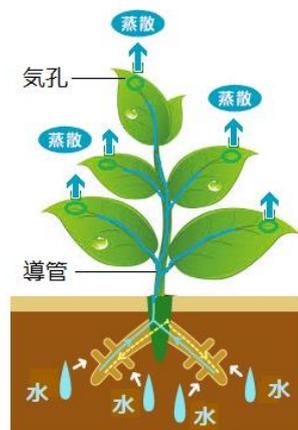


図 1b. 根の水分吸収と地上部への輸送

もし、土壌溶液中のイオン濃度が植物の根細胞のそれよりも高かった場合、浸透圧が根の中→外へと逆に働き、根細胞内の水分が外に吸い出されてしまい、植物が欠水で枯れてしまうといった現象が起こることもある。早魃や塩分集積度の高い土壌ではよく見られる現象である。一度に多量の水溶性肥料を施用した場合には植物が「肥料焼け」というダメージを受けることもこの原因である。土壌の塩分濃度が高い場合には、植物は体内の溶質濃度を高めるように浸透圧調整や根量を増やして水分を吸収する根表面積を増すほか、葉からの水分蒸散を抑制するなどを通じて、土壌からの浸透圧ストレスを軽減する努力をしている。乾燥地や海岸沿いに多く生息する塩生植物は乾燥に強いや塩ストレス耐性が強い理由として、体内に NaCl を高濃度に蓄積しても細胞機能を維持できる耐性メカニズムを有し、また多肉化により蒸散を抑えているなどの生理的特徴を備えている。

一方、トマトなど果菜類の高糖度を目指そうとした栽培方法に於いて、土壌溶液の塩分濃度をわざと高くすることによって、植物は体内水分を流出させないように体内の溶液濃度を高める現象を利用して、果実の味を濃くする試みもある。

植物根による養分吸収は、水分の吸収とは別に独立しているプロセスで行う。根が吸収できるのはイオン態の養分であるが、土壌溶液中の養分元素のイオン濃度が植物の根細胞内の濃度より遥かに低いため、土壌溶液中のイオンが拡散の原理による根細胞内への移動が不可能である。なぜならば、拡散とは濃度の高い所から濃度の低い所へと移動する現象である。また、イオンは水分子と異なり、根細胞膜のような半透膜を通過できない。従って、外部にある濃度の低い養分を濃度の高い細胞内に取り入れるには特別な取り込む装置が必要である。

このイオンを選択的に取り込む装置がイオンチャネル (ion channel) とイオントランスポーター (ion transporter) に大別されるが、共にタンパク質で構成し、根細胞の細胞膜に存在する。電荷を持つイオンは通常、脂質二重層で構成された細胞膜を通過することが出来ないため、膜を横切るイオンの移動には、このようなイオン輸送タンパク質を介する必要がある。

イオンチャネルとは、根の細胞膜にある膜貫通タンパク質の一種で、受動的にイオンを通させるタンパク質の総称である。イオン種ごとに専用のチャネルがある。多くのイオンチャネルはタンパク質の分子内にゲートと呼ばれる構造があり、これが開くと外部のイオンはタンパク質の細孔 (ポア) を通って細胞内に流れる。イオンチャネルを介するイオンの移動には代謝エネルギーは必要でない。移動は受動拡散である (図 2a)。

イオントランスポーターも細胞膜にあるタンパク質の 1 種で、イオン種ごとに専用のトランスポーターがある。イオンを輸送するたびにトランスポーターの基質結合部位の向きを細胞内・外に一回ごとにスイッチ・リセットしながら輸送するとされる。このためトランスポーターの輸送速度 (100~1 万個/秒) はチャネルの輸送速度 (100 万~1 億個/秒) よりも極めて遅くなる。さらにトランスポーターは、チャネルとは異なり、輸送基質としてイオンだけでなく、アミノ酸などの大分子も輸送できる。この「多選択性」の輸送もト

ランスポーターの特徴と言える（図 2b）。なお、トランスポーターによるイオンの移動は代謝エネルギーを消費する能動輸送である。

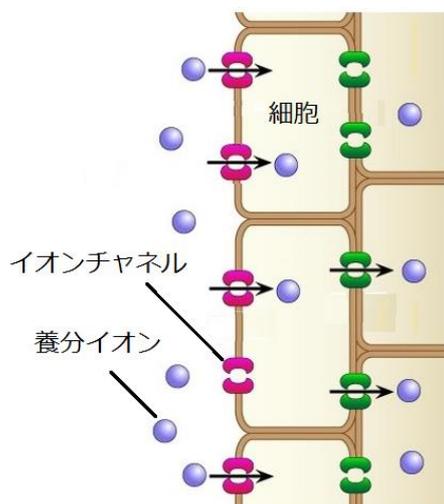


図 2a. イオンチャネルによる養分イオンの取り込み

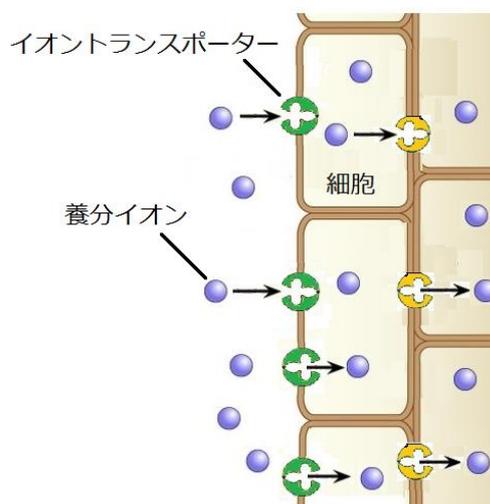


図 2b. イオントランスポーターによる養分イオンの取り込み

細胞膜にはイオンチャネルとイオントランスポーターのほか、イオンの取り込みにエネルギーを提供する ATP の変換装置、取り込みの強さを調節する装置、イオンチャネルのゲートの開閉を調節する装置などもある。

根細胞に取り込まれた養分イオンは根の導管に入り、水と一緒に地上部へ移動し、茎や葉に供給される。

土壌中の養分元素は、イオンの形で植物の根圏に移動して吸収される。イオンの根圏への移動は 2 つのルートがある。一つは植物が土壌中の水を吸収することで、土壌溶液に溶解しているイオンが水と共に根の表面に運ばれるマスフローであり、もう一つは植物の吸収により、根圏のイオン濃度が低くなり、濃度勾配が発生し、イオンの移動が起こる拡散である。イオンの根への移動は土壌溶液中のイオン濃度と根の水分吸収速度によって、拡散かマスフローのどちらかが主導となる。

一方、土壌溶液中の養分イオンの濃度調節には、土壌コロイドが非常に重要な役割を果たす。施肥した養分が土壌溶液に溶けて、過剰の陽イオンが土壌コロイドに吸着され、流亡を免れる。植物の吸収により土壌溶液中のイオン濃度が低くなったとき、土壌コロイドに吸着している養分イオンが水素イオンの置換により再び土壌溶液に遊離して、植物の吸収に供する。

根の水分・養分吸収は、主に根の先端にある根毛 (root hair) により行われる。根毛は根の伸長域にある表皮細胞の一部が外側へ向かって突出して形成したもので、細胞核が根毛の先端部にある（図 3a）。根毛の直径は約 10 μm ほどで、長さはさまざまである。根毛は根と土壌との接触面を増大させ、効率よく水分と養分を吸収する。根毛の寿命はふつう

数日から数週間で、根の伸長に伴って順次枯死していく。図 3b は大根の種が発芽した時に発生した根毛の写真である。

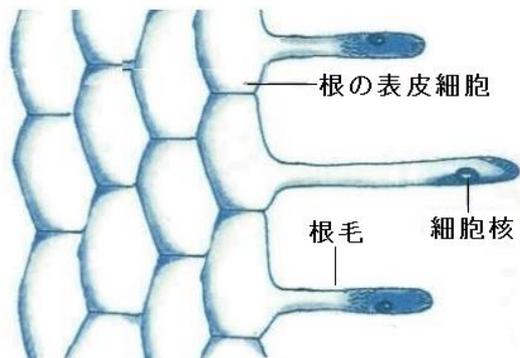


図 3a. 根毛の構造模式図



図 3b. 大根が発芽した時の根毛