

File No. 15

根酸と肥料成分の吸収

植物根の役割は土壌の中にしっかり張り、地上部を支えるとともに必要な水分や養分を土壌から吸収することである。根は土壌から水分や養分を吸収する一方で、炭水化物、アミノ酸、有機酸、酵素など植物体内に合成された様々な有機物質を土壌にも放出する。これらの物質の中には、根から放出した有機酸類は根酸と呼ばれ、土壌の中で吸収しにくい形態で存在しているりん酸や鉄、苦土などの必須元素を吸収しやすい形態に変えたり、有害な金属元素の毒性を軽減したりする働きがあることが知られている。

植物は多様な土壌環境に適応するために、根から有機酸類を積極的に放出している。今までの研究では図 1 に示すように多種類の有機酸が検出された。なお、植物は図 1 に示すすべての有機酸を漏れずに放出するのではなく、植物種や土壌タイプにより必要なものだけを合成・放出することが定説である。

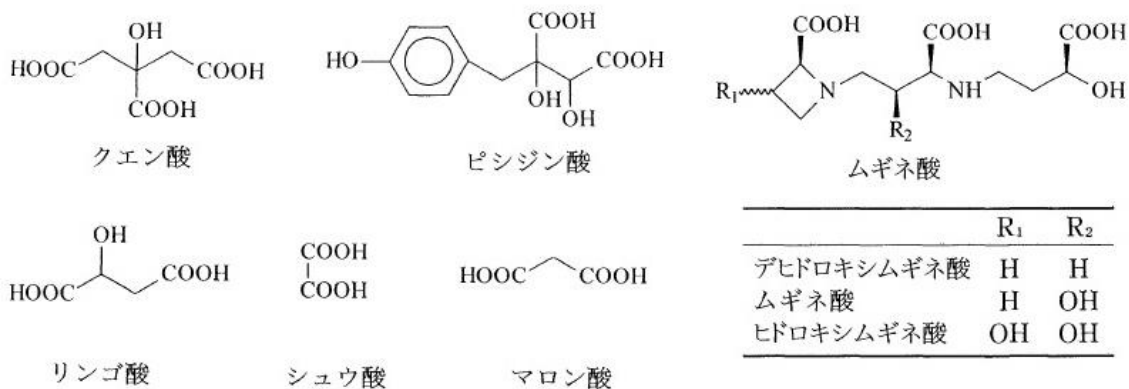


図 1. 根から土壌に放出する根酸の種類

根酸役割の一つは不溶性の養分と反応して溶解させ、植物に吸収できる状態に変えることである。根酸がイオン交換反応、酸の溶解作用、配位子交換反応を通して土壌中の養分を根に吸収利用できる形態に転換する。

一、根酸のイオン交換反応

根酸のイオン交換反応とは、有機酸のカルボキシル基(-COOH)が解離してプロトン(H⁺)を放出し、土壌粒子表面に吸着している陽イオンとの間に交換を行い、陽イオンを離解させて土壌溶液に溶けることである(図 2)。

土壌粒子は全体として一種の正と負の電荷を有する両性コロイドであるが、通常は表面に負電荷が優勢で、正の荷電をもつカルシウム、マグネシウム、カリウム、ナトリウムなどの陽イオンをクローン力で吸着し保持する。根酸はカルボキシル基から解離した H⁺を使って、土壌粒子の表面に吸着している陽イオンと交換することができる。このイオン交換反応は迅速かつ可逆的であり、交換された陽イオンは土壌溶液と土壌粒子との間を迅速に行き来す。このように交換された陽イオンは植物にとっては利用しやすい形態である。但

し、このイオン交換反応は土壌粒子と土壌溶液の間によく起きるもので、根酸の果たす役割が重要ではない。

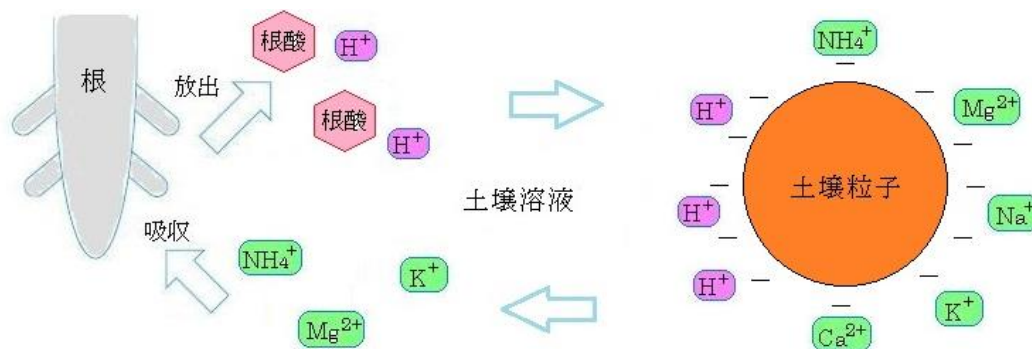


図 2. 根酸のイオン交換反応

二、 酸による溶解

根酸は有機酸であるため、溶液中に解離してプロトン (H⁺) を放出する。溶液中の H⁺ 濃度が高くなれば、水に不溶の化合物でも溶解するいわゆる酸による溶解となる。

ク溶性や可溶性肥料成分の多くは塩基性の弱電解質である。土壌溶液中の H⁺が増えると、電子を放出して、イオンの形となり、溶解する (図 3)。塩基性化合物の電子放出に必要な H⁺濃度は化合物によって異なるが、根酸の平均 pH が 2~3 であり、ク溶性成分を溶かすには充分である。カルシウム、マグネシウム、けい酸など可溶性成分を溶解するにはさらに強い酸性が必要であるが、一部の強い有機酸がそれらを溶解させる pH を有するので、ゆっくり溶かすことができる。特にク溶性肥料成分は根酸の存在によりはじめて植物に吸収・利用されるようになる。

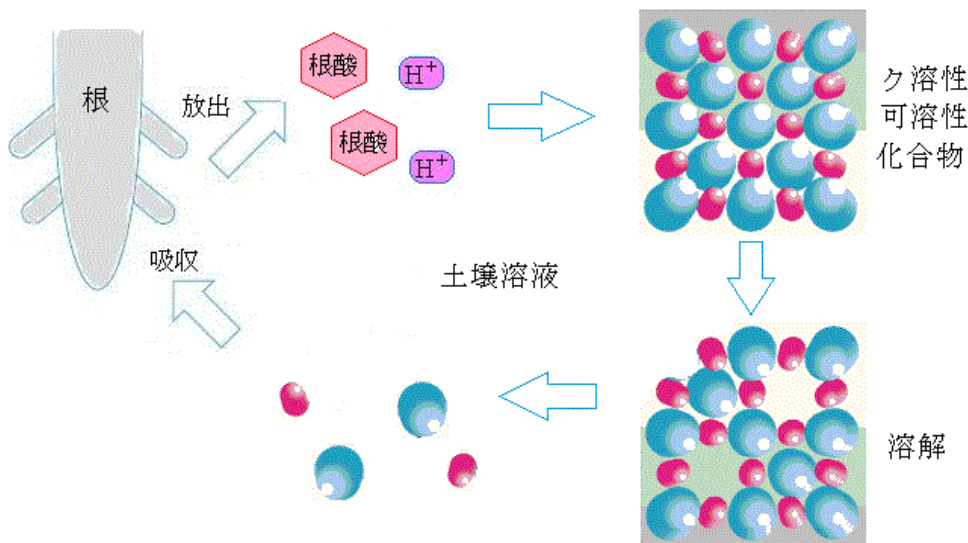


図 3. 根酸の溶解作用

三、配位子交換反応

配位子とは、金属に配位する化合物をいう。配位子は孤立電子対を持つ基を有しており、この基が金属と配位結合し、錯体を形成する。これはキレート作用という。根酸の配位子交換反応とは、金属原子の配位座に結合している配位子が根酸により配位結合が切れて、根酸のカルボキシル基などの置換基と配位座を交換する反応である（図4）。

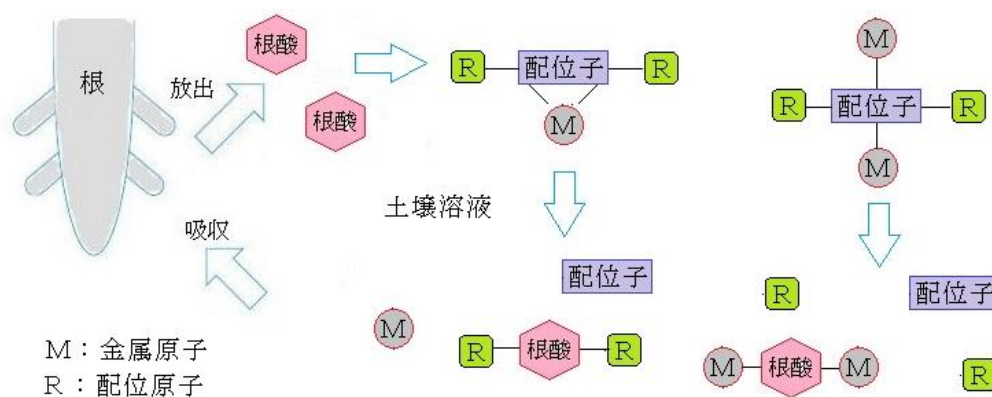


図4. 根酸の配位子交換反応

土壤に存在している鉄やアルミニウム原子を中心となる配位結合している粘土鉱物は表面水酸基が土壤中のイオンや分子を強く吸着して結合する。その吸着力は非常に強く、またしばしばこの吸着反応は不可逆的となる。したがって、配位子によって土壤に吸着されたイオンや分子が容易に土壤溶液中に供給されなくなり、植物にとっては利用しにくい形態となる。火山灰土壤などに施肥されたりん酸が植物に吸収されにくいのは配位子による吸着反応が起こるためである。

根酸は土壤中で配位子交換反応によって吸着された後、さらに後続の反応において溶解度の高い有機酸・金属のキレート錯体が形成されるケースが多くみられる。この有機酸・金属キレート錯体では、金属原子上の配位座および有機酸上のカルボキシル基などがお互いに結合し合っているため、再び土壤中の粘土鉱物との配位子交換反応を起こしにくくなり、結果として金属イオンの溶解あるいは分子の脱着を引き起す。このように、配位子交換反応により吸着されたイオンや分子が溶解度の高いキレート錯体を形成する反応などが起きれば、土壤溶液中へと容易に放出されるようになり、植物にとっても吸収できる形態になると考えられる。土壤中難溶性りん酸の溶解作用、鉄の溶解作用、アルミニウムの解毒作用のいずれもがキレート錯体形成反応あるいは配位子交換反応を基幹とするものと考えられる。

根酸の存在により、水溶性や可溶性肥料成分も溶解して吸収利用されるようになる。これらの成分は水溶性成分と異なり、土壤溶液に溶けないため、過量施肥による肥料焼けが生じず、降雨や灌漑による流亡も起きにくく、長期間にわたって肥効を発揮するいわゆる緩効性を表す。但し、根酸の働き範囲は根圏に限られ、また、植物種により放出された根

酸種類や量も異なるので、ク溶性や可溶性肥料を施用する際に注意が必要である。

根酸と養分吸収との関係を数例挙げる。

1. 難溶性のりん酸の吸収： マメ科植物のルーピンは根からクエン酸を放出することによって、これらの難溶性りん酸をりん酸-鉄-クエン酸複合体として溶解し、根に吸収される。またキマメは土壤中で鉄に結合した難溶性りん酸を根から放出したピシジン酸により離脱させ、その結果、溶解してきたりん酸を吸収する。これ以外にも根から放出されたシュウ酸やマロン酸などりん酸の溶解活性をもっている。

根から放出される有機酸の種類や量は植物種によって異なるが、それに伴ってりん酸を可溶化する効率も変化することが知られており、上記の有機酸類の中ではトリカルボン酸であるクエン酸が最も高いりん酸溶解活性を有するとされている。

2. 難溶性鉄の吸収： イネ科植物は体内の鉄栄養が欠乏すると有機酸の一種であるムギネ酸やその誘導体を体内で合成し、根から放出する。根から放出されたムギネ酸は土壤中の鉄と反応して、中性～アルカリ性でも溶解性の高いムギネ酸と鉄の錯体を生成させる。植物はこの錯体を複合体のまま根から体内に取り込むことができる。

一方、双子葉植物はムギネ酸を分泌しないが、他の根酸による根圏の酸性化および鉄の還元反応で鉄をイオン化してから吸収する。

3. アルミニウムの解毒： 強酸性の環境では土壤から溶出してくるアルミニウムの植物生育阻害作用によって多くの植物はダメージを受ける。しかし、一部の植物は根から有機酸類を放出して、有害なアルミニウムをキレートして解毒することが知られている。たとえば、アルミニウム耐性のインゲンマメやエビビスグサはクエン酸を、アルミニウム耐性のコムギはリンゴ酸を、またソバはシュウ酸を根圏に放出してアルミニウムを解毒していることが報告されている。