

File No. 19

土壌のりん酸固定とその対策

土壌のりん酸固定とは、施した肥料中のりん酸が土壌中に難溶性の化合物に変化し固定され、植物に吸収利用できない形態になってしまうことである。土のりん酸吸収とも呼ばれる。土壌分析ではりん酸吸収係数として表している。これは土壌に一定量のりん酸液を与え、その土壌が吸収固定したりん酸の量を示したものである。単位は $\text{mg}/100\text{g}$ 乾土である。この係数が高いほど、土壌のりん酸固定能力が強く、りん酸成分を不可給化にしてしまう力が強い。

りん酸固定に土壌コロイドが非常に重要な役割を果たしている。土壌コロイドは粘土鉱物、腐植物質、土壌溶液から析出した鉄、アルミニウム、マンガン、シリカなどの不溶性の酸化物や水酸化化合物などの直径数 nm ～数 μm の微細な粒子状物質で、主に粘土鉱物と腐植、およびこれらが結合した複合体である。粘土鉱物は層状ケイ酸塩鉱物で、ケイ酸とアルミニウムが結晶化したもので、鉄も一部骨格をなしている。

粘土鉱物中のアルミニウムと鉄は、土壌 pH が酸性に傾くと土壌溶液に溶けていく特性がある。これはアルミニウムと鉄の活性化と呼ばれる。また、水溶性りん酸も土壌 pH により異なるりん酸イオンに解離される。 $\text{pH} < 2$ の場合はほとんど解離せずりん酸 (H_3PO_4) のままで存在する。 $\text{pH} 2\sim 7$ の場合は1つの H^+ が解離して、 H_2PO_4^- イオンとして存在する。 $\text{pH} 7\sim 12$ の場合は2つの H^+ が解離して、 HPO_4^{2-} イオンとなる。 $\text{pH} > 12$ の場合はすべての H^+ が解離して、 PO_4^{3-} となる。図1はその解離の様子を示す。

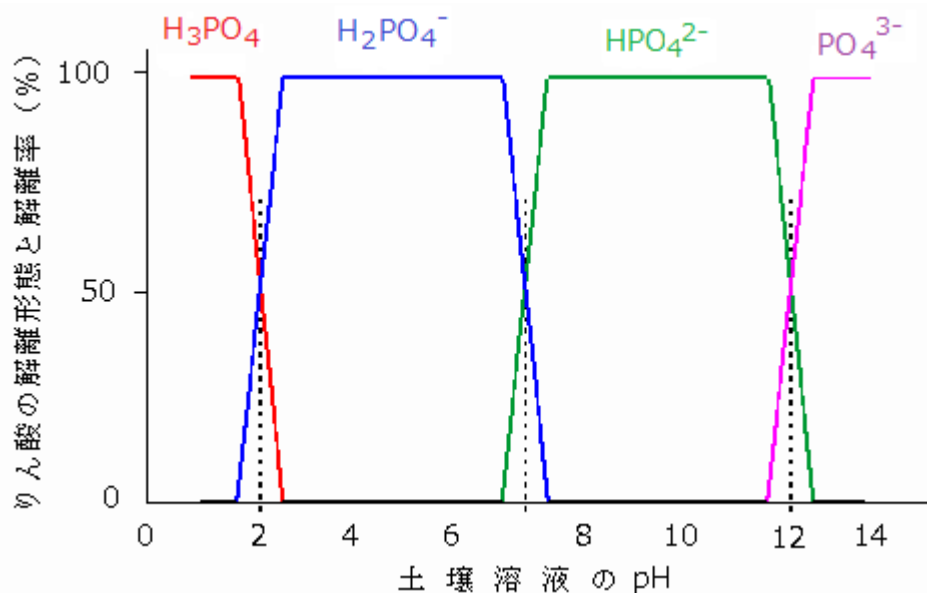


図1. 土壌 pH がりん酸の解離に及ぼす影響

土壌溶液に溶出してきたアルミニウムと鉄の陽イオンが解離されたりん酸陰イオンと結合して、難溶性の化合物を生成して、植物に吸収されない形態になってしまうことはりん

酸固定のメカニズムである。その反応式は、



アルミニウムと結合したものはりん酸アルミニウム、鉄と結合したものはりん酸第二鉄である。アルミニウムと鉄の溶出は pH が低いほど多くなるため、土壌 pH が低いほど（酸性が強いほど）、りん酸吸収係数が大きくなる。図 2 はアルミニウムと鉄によるりん酸固定の概念図である。

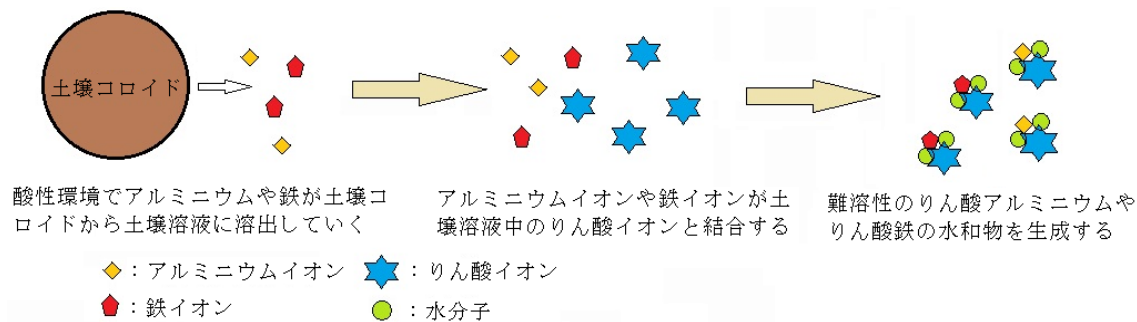
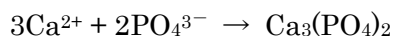


図 2. アルミニウムや鉄によるりん酸固定の模式図

一方、カルシウムもりん酸と結合して難溶性りん酸化合物にすることもある。土壌 pH によりりん酸一カルシウム ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$)、りん酸二カルシウム (CaHPO_4)、りん酸三カルシウム ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) の異なる化合物を生成する。りん酸一カルシウムは水溶性、りん酸二カルシウムが可溶性であるため、りん酸固定とならないが、りん酸三カルシウムが難溶性で、植物に吸収利用されない状態となってしまう。その反応式は、



従って、石灰の過剰施用で、pH が 8.5 を超えた強アルカリ性土壌では、カルシウムによるりん酸固定が多く見られる。

土壌の種類によりりん酸吸収係数が大きく異なる。沖積土や砂壤土は粘土鉱物が少ないので、りん酸吸収係数が低い。火山性土壌、特に黒ぼく土は粘土鉱物が多く、酸性環境では溶出してくる活性アルミニウムが多く、りん酸吸収係数が高い。りん酸吸収係数は土壌元来の基本的な特性でほとんど決まってしまう値なので、改良するのは非常な困難である。

代表的な土壌のりん酸吸収係数は表 1 に示す。

表 1. 日本の代表的な土壌のりん酸吸収係数

土壌種類	腐植質火山灰土壌	火山灰土壌	洪積土壌	沖積土壌
りん酸吸収係数	>2000	1500~2000	700~1500	<700

土壌のりん酸固定対策は、次のような手法が用いられる。

土壌改良を通じて、りん酸吸収係数を下げる方法としては、堆肥や腐植酸資材を施用することが効果的である。堆肥などの有機物がりん酸を囲み、土壌コロイドとの接触を少なくするためである。また、堆肥分解の際に土壌微生物が大量に増殖して、りん酸は微生物の増殖により取り込まれ、有機態りん酸となるが、微生物の死亡に伴ってゆっくり分解され再び無機化して植物に吸収利用される。

腐植酸は鉄、アルミニウム、カルシウムと安定な化合物を生成し、これらの陽イオンとりん酸との結合を妨げ、固定化を軽減すると考えられている。また、難溶性のりん酸化合物に腐植酸を添加すると、腐植酸が鉄、アルミニウム、カルシウムと錯体を生成し、吸着されていたりん酸を吸収利用可能な状態に戻すことも考えられる。

また、土壌 pH を 5.5~6.5 の弱酸性に調整して、粘土鉱物から活性アルミニウムと鉄の溶出を抑えることでりん酸吸収係数を下げることができる。

植物から分泌される根酸は、アルミニウムや鉄と結合した難溶性りん酸化合物との間に配位子交換反応によって溶解度の高い有機酸・金属のキレート錯体が形成され、りん酸を吸収利用可能な状態に戻す。その例としては、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、難溶性りん酸をりん酸-鉄-クエン酸複合体として溶解し、吸収する。またキマメは土壌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もりん酸化合物の溶解活性をもっている。

難溶性りん酸の利用方法としては、これら難溶性りん酸の吸収力が強い植物を栽培し、りん酸を吸収させた後に緑肥としてすき込む方法もある。

水田では湛水により土壌が還元状態となるため、難溶性のりん酸第二鉄は鉄が還元されることにより、りん酸が再び可給態となる。同じ土壌でも湛水で還元状態になったことで、可給態りん酸の量は畑状態のときの約 1.6~6.5 倍増加することが実験で確認された。土壌別では黒ボク土が約 1.6~3.6 倍、その他の土壌では約 4.0 倍以上ある。黒ボク土はアルミニウムによる固定が多いため、酸化還元による影響が少なく、差が開きにくい。水田の冬期湛水によるりん酸固定を軽減する耕作法はすでに実用された。

施肥方式の改善によるりん酸固定を避ける手法もある。りん酸吸着係数の高い黒ぼく土では、土壌中の有効可給態りん酸含量のほかにもりん酸吸収係数も参考にしてりん酸の施肥量を決めるのがよい。過りん酸石灰や重過りん酸石灰は腐植酸や堆肥と混ぜて施用することはりん酸固定を軽減できる。りん酸肥料の種類については、熔りんなどク溶性りん酸肥料が固定されにくく、肥効が高い。また、寒冷期や植物の生育初期では、熔りんと過りん酸石灰を半々にするかまたは水溶性りん酸とク溶性りん酸両方を含む重焼りんが良いと言われる。