

File No. 61

土壌酸性化と肥料

土壌酸性化とは何かの原因で土が徐々に酸性に傾いていく現象である。原始土壌の pH は元となる母岩の影響が強い。例えば、花崗岩や玄武岩、火山灰から形成した土壌は酸性に偏り、石灰岩から形成した土壌はアルカリ性に偏る傾向がある。しかし、土壌が形成されてから降雨が土壌 pH 変動の主な原因となる。その理由は雨水が二酸化炭素を含んでいるため、pH5.6 前後の弱酸性を呈し、その水素イオンが土壌粒子の表面の塩基を次第に溶脱させる作用がある。従って、長い年月を経て、雨量の多い地域では土壌が酸性を呈し、逆に乾燥地域では土壌表面から水分の過剰蒸発で、地下水に溶けているナトリウムなど陽イオンが地表に集積して、アルカリ性土壌となる。

降雨のほか、植物も土壌 pH に影響を及ぼす。植物生育のために土壌中のカルシウムやマグネシウムを吸収し、根酸の分泌や落葉など残骸の分解過程に於いて有機酸が発生して土壌を酸性に導くこともある。ただし、落葉など植物残骸が分解されれば、吸収されたカルシウムやマグネシウムが再び土壌に戻されるし、好気状態では根酸や有機酸が完全に分解されれば、酸性が消失される。従って、農耕社会が出現するまで自然界では土壌 pH が主に降雨量の多寡により決定される。

通常、自然のままでは土壌 pH を 1 単位変化させるには数万～数 10 万年かかるが、18 世紀半ばのイギリスの産業革命に端を発した工業化に伴い、土壌酸性化のスピードが速くなった。特に近代農業の普及と化学肥料の多量施用などにより、耕作地の土壌 pH を 1 単位下げるのにかかる期間が数年～数 10 年に短縮されることもある。その理由は主に下記の 5 つがある。

1. 化学肥料の不適正施用

化学肥料はその成分により酸性、中性とアルカリ性に分類することができる。一つは肥料の水溶液 pH により、それぞれ化学的酸性肥料、化学的中性肥料、化学的アルカリ性肥料と分類される。

もう一つは生理的な分類方法である。これは施用された肥料の栄養分が植物に吸収された後、残留された成分が土壌にどんな化学的変化をもたらすかによるものである。肥料を施用した後、土壌が酸性に傾くか、酸性にもアルカリ性にも傾かないか、アルカリ性に傾くかにより、それぞれ生理的酸性肥料、生理的中性肥料、生理的アルカリ性肥料と分類される。

肥料によって化学的と生理的な分類は一致する場合があるが、一致しない場合もある。土壌 pH に大きく影響を及ぼすのは生理的酸性肥料に分類される硫安、塩安、塩化加里、硫酸加里などである。これらの肥料を施用した後、アンモニアと加里が植物に吸収され、硫酸イオンと塩素イオンだけが土壌に残り、土壌 pH を下げ、酸性化させる。

生理的酸性化学肥料の多量施用により、土壌中に硫酸イオンと塩素イオンが大量蓄積される。降雨や灌漑が不十分の場合は、土壌に蓄積されている硫酸イオンと塩素イオンが流

されず、酸性化が急速に進むことがある。

2. 未熟な有機質肥料の過量施用

堆肥、家畜糞尿などの有機質肥料は、未熟の状態では施用した場合は、土壌微生物によって活発に分解され、その過程で土中に多量の有機酸が生成し、炭酸ガスも放出される。有機酸と炭酸ガスが土壌 pH を下げて、酸性に傾かせる。特に酸素不足の嫌気環境では有機酸と炭酸ガスの影響がさらに強くなる。一方、完熟な有機肥料は、分解が完了したため、有機酸や炭酸ガスの発生がほとんどなく、原料有機物以外に土壌 pH に影響を及ぼすものが混在しなければ、土壌 pH が変動しない。逆に土壌の酸—アルカリ緩衝機能を増強する効果がある。

3. 窒素養分の形態変化

施用された窒素肥料は硝化作用により短期的とはいえ、土壌を酸性にすることが避けられない。例えば、尿素を施用すると、まず、微生物によるアンモニア化を受け、炭酸アンモニウムあるいは炭酸水素アンモニウムに分解され、さらに硝化作用により硝酸態窒素に酸化されてから作物に吸収利用される。この硝化作用で生成した硝酸イオンが酸性であるうえ、土壌粒子の表面のカルシウムイオンやマグネシウムイオンと交換して、これらのイオンを溶脱させることがある。硫酸などの生理的窒素肥料を施用する場合はアンモニアの硝化作用と重なり、土壌酸性化がさらに加速される。

4. 作物による収奪

生理的酸性肥料を使用せず、尿素やりん安のような生理的中性肥料だけを施用しても、作物の収奪による土壌酸性化を加速させることもある。これは作物が生育のために窒素、りん酸、加里三大養分のほか、カルシウムとマグネシウムなども同時に吸収利用する。収穫により作物に吸収されたカルシウムとマグネシウムなどが耕地から持ち出され、再び土壌に戻されることがない。従って、石灰や苦土を補充しない場合は作物の収量が増えるほど、土壌酸性化への影響が強くなる。

5. 酸性雨の影響

酸性雨は大気中の硫黄酸化物 (SO_x) と窒素酸化物 (NO_x) が雨に溶けて硫酸や硝酸となり、酸性を呈する雨である。石炭などの化石燃料の燃焼や自動車の排気ガスが酸性雨の原因と見ているが、近年には窒素肥料の多量施用で土壌微生物により窒素養分がアンモニアや一酸化二窒素 (N₂O) に還元され大気に放出されることも大きな要因の一つと判明した。中国環境科学院の調査によれば、2016 年中国北京に発生した PM_{2.5} の中に硫酸アンモニウム (硫酸) と硝酸アンモニウム (硝酸) の微粒子が 40~60% も占めている。その発生源は土壌から散逸したアンモニアが大気中の硫黄酸化物と窒素酸化物と結合して、硫酸と硝酸

の二次粒子を生成すると推測している。これらの微粒子が雨水に溶けて地面に降ってくることにより、土壌酸性化がさらに加速される。

図1は土壌酸性化の模式図である。

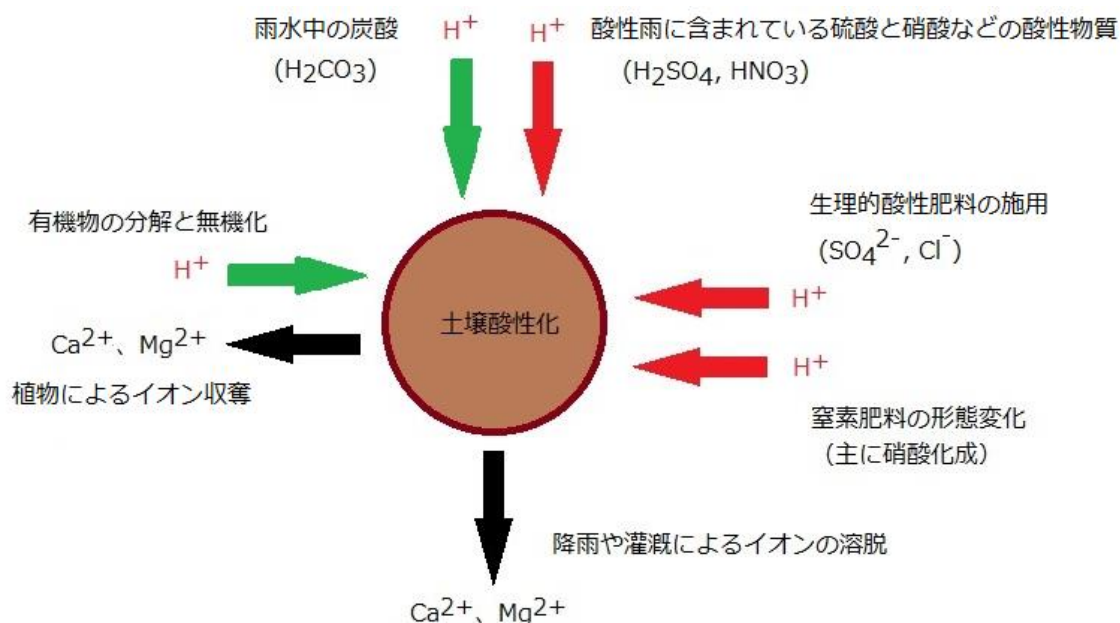


図1. 土壌酸性化の原因

農業生産にとって、土壌酸性化が引き起こす問題は主に次の4つある。

① 作物の生育阻害

作物は一般的に土壌 pH が弱酸性から中性付近 (pH5.5~7.0) で最も生育が良い。pH4.9以下の強酸性土壌では生育不良となり、生育不能の場合もある。主な理由は土壌酸性化によりアルミニウムが活性化され、根に害を与え、養水分の吸収能力が落ちるなど生育障害が顕著に現れる。

② 土壌の養分供給能力の衰退

強酸性の土壌では、活性化したアルミニウムがりん酸と結合して植物に吸収できない形で固定するほか、カルシウムやマグネシウムも溶脱して、不足となる。また、ホウ素やモリブデンのような微量元素の溶解度も落ちて、吸収利用されにくくなり、欠乏症が生じやすい。

③ 作物病害の多発

土壌が酸性に傾くと、土壌微生物群のうち、糸状菌の活動が活発となり、植物病害を引き起こす。主なものは青かび病、赤枯病、いもち病、灰色かび病、萎黄病、萎凋病、うどんこ病、紫かび病、輪紋病などがある。

④ 土壌保肥保水性の喪失

土壌が酸性に傾けると、土壌粒子表面の塩基の溶脱により土壌団粒が崩され、保肥保水

能力が落ちる。

土壌酸性化による植物の生育障害等を回避するため、土壌酸性改良資材の施用が非常に有効である。よく使われているものは消石灰、苦土石灰、炭カル、カキ殻、貝化石など石灰質肥料である。表 1 はよく使われる土壌酸性改良資材の特性を示す。

表 1. 各種土壌酸性改良資材の特性比較

	消石灰	炭カル	苦土石灰	カキ殻	貝化石
酸性改良効果	◎	○	○	△	△
酸性改良効果の持続性	×	○	○	○	○
苦土補給効果	×	×	○	△	△

◎：効果が非常に高い、○：効果高い、△：一定の効果ある、×：効果なし

土壌酸性改良資材の施用効果が図 2 と図 3 に示す。消石灰を施用する前に土壌 pH は 5.6 であるが、消石灰を施用した 2 週間後、土壌 pH が 6.3 に上昇した。



図 2. 消石灰施用前の土壌 pH



図 3. 消石灰施用 2 週間後の土壌 pH