

File No. 71

土壌化学性と施肥

植物の生育に必要な養水分は土壌から吸収する。土壌化学性は植物の生長に必要な養分供給と植物のおかれている化学的な環境条件に関わる最も重要な因子である。

土壌化学性は土壌 pH、EC（電気伝導度）、CEC（陽イオン交換容量）、交換性塩基、可給態りん、全窒素、有機態炭素等から構成される。以下は土壌化学性を構成するこれらの因子について説明する。

1. pH（土壌酸度）

土壌 pH は土壌溶液中及び土壌粒子に吸着している水素イオン(H⁺)の濃度を表し、pH7 が中性であり、それより小さい値は酸性を、大きな値はアルカリ性を示している。表 1 は pH による土壌酸性度の区分である。

表 1. pH による土壌酸性度の区分

| pH (H ₂ O) | 土壌酸性度の区分 |
|-----------------------|----------|
| < 4.4 | 極強酸性土壌 |
| 4.4～4.9 | 強酸性土壌 |
| 5.0～5.4 | 明酸性土壌 |
| 5.5～5.9 | 弱酸性土壌 |
| 6.0～6.5. | 微酸性土壌 |
| 6.6～7.2 | 中性土壌 |
| 7.3～7.5 | 微アルカリ性土壌 |
| 7.6～7.9 | 弱アルカリ性土壌 |
| > 8.0 | 強アルカリ性土壌 |

土壌 pH は土壌形成時の母岩や有機物の種類と量に影響される。母岩の種類によって形成した原始的な土壌の pH が異なる。概して、花崗岩や玄武岩、火山灰から形成した土壌は酸性に、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。有機物の多い土壌では塩基類の吸着保持能力が高いため、弱酸性～中性を示すものが多い。

しかし、土壌 pH を変動させる最も大きな要因は降雨である。雨水に含まれている水素イオン (H⁺) が、土壌粒子に吸着されていた塩基類（カルシウム、マグネシウム、ナトリウム、カリウムなどの陽イオン）とイオン交換を行ういわゆる塩基溶脱作用があり、降雨の多い地域では土壌中の塩基類が溶脱され、水素イオンが増えたため、土壌 pH が下がり、次第に酸性土壌になる。逆に降雨が少ない地域は土壌中の塩基類が多数残り、土壌 pH が上昇する。特に蒸発量が多く、降雨量が少ない地域では地下水の上昇と蒸発により、地下水に溶けているナトリウムやカルシウムが土壌表層に残され、アルカリ土壌になりやすい。

土壌 pH を変動させるもう一つの要因は施用される化学肥料にある。例えば、過りん酸石灰、重過りん酸石灰、硫酸、硫酸加里、塩安などそれ自体が酸性の肥料または肥料成分が吸収された後残された成分が土壌を酸性にする性質のある肥料を長期にわたって施用する場合は、土壌 pH が下がる。石灰窒素や熔燐などアルカリ性肥料を施用すれば、土壌 pH が上がる。また、硫酸、塩安などのアンモニア態窒素肥料を施すと、硝酸菌がアンモニウムを硝酸に変え、その過程で水素イオンが放出され、土壌を酸性にすることもある。

土壌の酸性化またはアルカリ性化による植物の生育障害を回避するため、土壌 pH を調節できる資材の施用が非常に有効である。

pH が強酸性の場合は、即効性のある消石灰を使うと改良効果が早く表す。苦土石灰、炭カルは速効性がないものの、ゆっくり pH を上昇させる効果がある。アルカリ性土壌の改良には、過りん酸石灰や硫酸、硫酸加里など酸性肥料を施用する。また、強アルカリ性土壌の場合は硫黄粉、石膏粉など酸性資材を投入することが有効である。

2. EC (電気伝導度)

EC (電気伝導度、Electro Conductivity of Soil) とは、土壌溶液の導電率 (電気伝導のしやすさ) を表す値である。純水は電気をほとんど通さないが、塩類が溶けた溶液は電気を通すようになる。EC は土壌溶液に溶けている塩類の含有量と正の相関関係があり、土壌肥沃度を表すデータである。

表 2. 土壌 EC と野菜類の生育との関係

| 野菜種類 | 最適 EC 値 (mS/cm) | | | 生育障害発生 EC 値 (mS/cm) | | |
|-----------------------|-----------------|---------|---------|---------------------|---------|---------|
| | 砂質土 | 壤質土 | 粘質土 | 砂質土 | 壤質土 | 粘質土 |
| キャベツ、ダイコン | 0.4~0.8 | 0.5~1.0 | 1.0~2.0 | 1.1~1.6 | 1.6~2.5 | 2.7~4.1 |
| ハウレンソウ、カブ、ハクサイ | 0.3~0.7 | 0.5~1.0 | 0.8~1.5 | 1.0~1.5 | 1.5~2.2 | 2.4~3.6 |
| セロリ | 0.2~0.5 | 0.3~0.8 | 0.5~1.3 | 0.7~1.0 | 1.0~1.6 | 1.8~2.7 |
| ナス、ネギ、レタス、ニンジン、ピーマン | 0.2~0.5 | 0.3~0.7 | 0.5~1.0 | 0.7~1.0 | 1.0~1.5 | 1.7~2.5 |
| トマト | 0.2~0.4 | 0.3~0.6 | 0.4~0.8 | 0.6~0.9 | 0.9~1.3 | 0.8~1.4 |
| トウガラシ、キュウリ、メロン、アスパラガス | 0.2~0.3 | 0.2~0.5 | 0.3~0.8 | 0.4~0.6 | 0.6~0.9 | 1.0~1.5 |
| ソラマメ、タマネギ | 0.1~0.2 | 0.2~0.3 | 0.3~0.5 | 0.3~0.5 | 0.5~0.7 | 0.8~1.2 |
| インゲン、イチゴ | 0.1~0.2 | 0.1~0.3 | 0.2~0.5 | 0.3~0.4 | 0.4~0.6 | 0.7~1.0 |

通常、ナトリウムの多い塩性アルカリ土壌を除き、土壌 EC は土壌中の水溶性肥料成分の含有量、特に硝酸態窒素の含有量との正の比例関係が強いので、土壌中の肥料成分含有量

を推定する手段としてよく利用されている。土壌 EC が最適 EC 値より低い場合は土壌中の肥料成分が不足で、植物の生育が遅れ、収量が減る。EC 値が最適 EC 値の上限を超えた場合は、大体土壌溶液中の塩類濃度が高く、植物に浸透圧ストレスとイオンストレスを与え、その生育を阻害する。また、EC 値の高い土壌は塩類集積現象がよく見られる。但し、ク溶性成分と可溶性成分、緩効性肥料、有機肥料など水に溶けない肥料成分は EC 値に影響しないことに注意が必要である。表 2 は野菜の生育に最適土壌 EC 値と障害発生 EC 値を示したものである。表 3 は EC 値から追肥量の多寡を判断する基準である。

表 3. 土壌 EC から追肥の施用を判断する基準

| 土壌 EC | 追肥の施用 |
|---------------|-----------|
| 最適 EC の下限値未満 | 通常追肥を行う |
| 最適 EC 範囲 | 2～5 割減肥する |
| 最適 EC の上限を超えた | 追肥を行わない |

3. CEC (陽イオン交換容量)

土壌 CEC (陽イオン交換容量、Cation Exchange Capacity) は、一定量の土壌が保持できる陽イオンの量を示すものである。

土壌が陽イオンを吸着する仕組みは土壌コロイドにある。土壌コロイドとは、粘土鉱物、腐植物質および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が構成する直径数 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。土壌コロイド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、ナトリウムなどの塩基類をクローン力で吸着し保持する。

水田や畑に施した肥料成分が土壌コロイドの陽イオン吸着機能の恩恵を受け、土壌に留めておき、植物に吸収利用される。一般的に、CEC 値が大きいほど肥料成分の保持力が大きい、土壌 pH や EC の変動も緩和されるといわれ、保肥力と肥沃度の高い土壌である。表 4 は代表的な土壌の CEC を示すものである。

表 4. 代表的な土壌の CEC

| 土壌種類 | CEC (meq/100g) |
|----------|----------------|
| 砂壤土 | 3～10 |
| 淡色黒ボク土 | 15～25 |
| 腐植質黒ボク土 | 20～30 |
| 多腐植質黒ボク土 | 30～40 |

CEC は土壌コロイドを構成している粘土鉱物の種類と量、腐植量に大きく影響され、特定の粘土鉱物や腐植が多いほど CEC が大きくなり、砂質土壌や腐植の少ない土壌は CEC が小さくなる。

土壌 CEC を大きくする一番の手法は腐植酸を施用することである。土壌中の腐植が 1% 増えると、CEC は約 2meq/100g 大きくなることが実験で確認された。腐植酸、腐植酸苦土、腐植酸加里、腐植酸アンモニウムなど腐植を多量含む肥料や土改材を継続的に施し、土壌の腐植量を上げて保肥力の高い土壌に変えることができる。

4. 交換性塩基

土壌コロイドによって吸着保持され、かつ容易にはほかの陽イオンに置きかわる陽イオンのうち、水素イオン以外のものを交換性塩基 (Exchangeable Cation) と呼ぶ。

CEC に対する交換性塩基が占めている割合を塩基飽和度という。CEC が一定の場合、塩基飽和度が小さいほど水素イオン (H⁺) の割合が多くなり、土壌は酸性が強くなり、大きいほど土壌は中性に近づき、さらに大きくなるとアルカリ性の土壌となる。

交換性塩基は植物にもっとも吸収利用されやすいことから、一般的に塩基飽和度の高い土壌は肥沃度の高い土壌である。但し、塩基類が CEC を超えて蓄積した場合は塩基飽和度 100% を達し、大体カルシウムイオン (Ca²⁺) やマグネシウムイオン (Mg²⁺) が過剰になり、一部の肥料成分を不溶化して、微量元素欠乏症を誘発し、植物生育が阻害される恐れがある。植物のために最適の土壌塩基飽和度に関する試験が多数あったが、作目、作期などで異なり、通常 70~80% がよいといわれている。

また、交換性塩基のバランスも重要である。一般に土壌 pH を適正に保てば、カルシウムもマグネシウムもカリウムも欠乏することはほとんどない。しかしながら、施設栽培で塩類集積がある場合や堆肥の連続施用がある場合、大量の石灰を投入した場合は、塩基間のバランスが大きく崩れることがあるので注意を要する。

表 5 はトマト、ハウレンソウ、レタスの最適塩基飽和度と塩基バランスの 1 例を示す。

表 5. 土壌の最適塩基組成

| 植 物 | 最適塩基飽和度 (%) | 塩基バランス (%) | | |
|--------|-------------|------------|--------|------|
| | | カルシウム | マグネシウム | カリウム |
| ハウレンソウ | 85 | 75 | 20 | 5 |
| レタス | 80 | 65 | 25 | 10 |
| トマト | 75 | 70 | 25 | 5 |

農作物の生長には土壌中の各種養分がバランスの取れた状態であることが望ましい。従って、均衡のとれた施肥、石灰や苦土石灰の適切施用は交換性塩基を最適な状態に維持することに有効である。

5. 可給態りん

肥料として施したりん酸が土壌中に難溶性の化合物に変化し、植物に吸収されない状態になってしまうことは土壌のりん酸固定と呼ばれる。りん酸固定のメカニズムは、土壌溶液中のアルミニウムと鉄の陽イオンがりん酸陰イオンと結合して、難溶性の化合物を生成してしまう。また、カルシウムイオンがりん酸と結合して難溶性りん酸化合物になることもある。土壌のりん酸固定能力はりん酸吸収係数として表している。この係数が高いほど、土壌のりん酸固定能力が強く、可給態りんが少ない。

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。

土壌改良を通じて、りん酸吸収係数を下げ、可給態りんを増やす方法としては、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、固定されたりん酸を可給態に戻すこともある。

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た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。

土壌化学性を構成する因子は全窒素、有機態炭素などもあるが、上述の pH、EC、CEC、交換性塩基、可給態りに比べ、重要度が低いので、その論述を省略する。