

File No. 63

微量元素の欠乏と過剰

植物の生育に 16 種類元素が必要である。そのうち、鉄 (Fe)、亜鉛 (Zn)、マンガン (Mn)、銅 (Cu)、ホウ素 (B)、モリブデン (Mo) は、多量元素の窒素、りん酸、カリと異なり、植物体内における存在が微量であるため、必要量もわずかだけで済むので、微量元素と呼ばれている。しかし、微量元素と呼ばれても、酵素の活性、植物ホルモンの生成と作用、光合成の進行と合成物質の転流など多くの生理作用に関与して、不足の場合は多量元素と同じ植物の生育阻害など目に見える欠乏症状が現れる。

一方、これらの微量元素は一定の毒性があり、適量を超えた過剰の場合は逆に植物の生育を損なうことになる。これは微量元素の過剰障害と呼ばれている。また、植物生育に限らず、収穫物にこれらの元素が多量含まれている場合は、摂取した人間の健康を損なう恐れもある。

土壤にはこれらの微量元素がある程度存在しているため、外部から施用しなくとも植物の微量元素欠乏症状が出にくく、慣行栽培ではわざわざ微量元素肥料を施用する必要がない。但し、pH5.0 未満の強酸性土壤または pH8.0 以上のアルカリ性土壤では微量元素の溶解性と植物根の吸収能力を強く影響して、微量元素の欠乏症が発生することがある。しかし、元々強酸性土壤やアルカリ性土壤が農作物の生育に適しないので、微量元素欠乏症が現れる前にすでに作物の生育不良や枯死の異常が見られる。慣行栽培では微量元素が問題になるのは欠乏ではなく、過剰による生育障害である。特に鉱山地帯及び金属精錬所など重工業地域では、微量元素の過剰症が発生しやすい。

一方、土壤を使わない養液栽培、特に無培地水耕栽培の場合には養分がすべて培養液から供給されるため、微量元素の添加が必須不可欠である。通常、微量元素の欠乏症が養液栽培にみられることが多い。

以下は、これらの微量元素の欠乏症と過剰症を簡単に紹介する。

1. 鉄 (Fe) の欠乏症と過剰症

鉄は葉緑体のりんタンパク質と結合しクロロフィルの形成に関与することが確認された。ほかに細胞内の酸化還元反応に関与し、植物呼吸の際、酸素の運搬を行っていると推測されている。

鉄が欠乏すると葉が黄白化（クロロシス）を呈する。その症状は葉脈が緑のままで葉身が黄色または淡緑色に変色する。上位葉は全体が白くなることがある。また、タンパク質の合成が阻害され、植物体内に硝酸態窒素が溜まり、軟弱し、病気にかかりやすく、果実の収量と品質が低減する。鉄欠乏による葉の黄白化（クロロシス）症状は図 1 に示す。

鉄が過剰の場合は植物体に明白な過剰症状が見られないが、多量の鉄による土壤のりん酸固定が進み、可溶性りん酸量が減少し、植物のりん酸吸収を減少させる。また、カリ、りん、銅、モリブデンなどと拮抗して、これらの元素の吸収を妨げる。特にカリに対する吸収阻害が著しい。土壤中の可溶性鉄が多すぎると、植物の生育が阻害される。



図 1. ブドウの鉄欠乏症



図 2. トマトの亜鉛欠乏症

2. 亜鉛 (Zn) の欠乏症と過剰症

亜鉛は植物体内の各種酵素の構成成分である。また、植物ホルモンの一種であるオーキシンの代謝、タンパク質の合成に関与する。

亜鉛が不足すると、上位葉の生育が著しく阻害され、地上部の生長点あたりは節間が短縮し、小さい葉が密集したロゼット状を呈する。アルカリ性土壤や土壤中のりん酸が過剰になると、亜鉛の吸収が抑制され、欠乏症が発生することがある。図 2 はトマトの亜鉛欠乏による新梢のロゼット症状である。

亜鉛が過剰になると、鉄、銅、モリブデン等の微量元素と拮抗するため、これらの微量元素の吸収が阻害され、植物は全体的に生育が劣り、下位葉が葉縁部から枯死して、若い葉には鉄欠乏とよく似たクロロシスを生じることもある。過剰症は鉱山地域や精錬所周辺、亜鉛濃度の高い排水を灌漑水に使用する場合はよく発生する。特に水稻では、幼穂分化など生殖成長期に入ってからの亜鉛過剰の被害が著しくなると調査データがある。

3. 銅 (Cu) の欠乏症と過剰症

銅は葉緑体中に多く、光合成や酸化還元に関係する銅酵素に含まれ、鉄と同様に特に呼吸作用に重要な役割を担う。また、外部損傷を修復する酵素との関連もあることが知られている。

銅が不足すると、生長点が白色化して、葉が真っ直ぐに伸長せず、折れ曲がったり、奇形になったりすることや上位葉が葉脈を残して黄化し、枯死することもある。図 3 はミカンの銅欠乏による葉の黄化と奇形の様子である。

銅が過剰になると、鉄などの微量元素と拮抗して、植物の鉄吸収が低下し、クロロシスなど鉄欠乏症状が現れる。また、銅は植物の根、特に生長点付近や中心柱の近傍にタンパク質と結合した形で蓄積し、根の伸長を顕著に阻害し、根が太く、短く有刺鉄線状のような形を呈する。銅の過剰による被害は生育初期に著しいといわれている。図4は水耕栽培実験で確認した高濃度の銅が根に与える影響を示す。



図3. ミカンの銅欠乏症



図4. 過剰の銅による根の生育阻害

4. マンガン (Mn) の欠乏症と過剰症

マンガンは光合成、特に酸化還元反応系の酵素にその働きを促進する。葉に含まれるマンガン総量のうち 60% 近くが葉緑体中に存在している。また、タンパク質の合成を助ける。

マンガンが不足すると、葉緑体の発育が不完全で、葉脈が緑のままで葉が汚れた茶色の黄化や、葉脈間に褐色化した小斑点が多数現れる。障害が深刻な葉は褐色化し、枯死する。また、野菜類では上位葉に、麦類では下位葉に葉脈間クロロシスや褐色斑点、線状のネクロシスが生じることがある。図 5 はマンガン欠乏でジャガイモの葉にネクロシスの褐色斑点が発生する症状を示す。

マンガンが過剰の場合は、リンゴの粗皮病、温州ミカンの異常落葉があり、前者は東北地方のリンゴ栽培地帯で、後者は西日本のミカン栽培地帯に多発した。このほか、キュウリの褐色葉枯病、ナスの鉄サビ様症状も関係するとされている。また、メロン、牧草などについても葉にネクロシスによる褐色斑の発生などが報告されている。図 6 はイチゴのマンガン過剰による葉のネクロシス褐色斑である（住友化学園芸の資料から引用）。



図5. ジャガイモのマンガン欠乏症



図6. イチゴのマンガン過剰症

5. ホウ素 (B) の欠乏症と過剰症

ホウ素は細胞壁生成に重要な役割を有し、細胞膜や通導組織の形成維持に役立つ。また、りん酸と似ており、糖などの有機物の水酸基とエステル結合を作ることにより、糖やカルシウムの吸収、転流、代謝に関係する。

ホウ素が不足すると、生長点や若葉に黄化や白色化が見られ、極端な場合は生長点の枯死と葉の生長停止が発生することもある。また、根の伸張が阻害されて、細根の発生が減少する。大根やサツマイモは地下部の塊茎、塊根、球根などは先端部が黒褐色化した枯死する症状が発生することもある。図7はホウ素欠乏によりカリフラワーの生長点が枯死し、食用の頂花蕾が形成できない写真である。

ホウ素が過剰になると、下位葉の葉縁が枯れ、葉縁部が内側に巻き込むいわゆる落下傘葉となる。植物の生育が遅れる。なお、ホウ素の適量濃度範囲が狭いので、過剰障害が発生しやすい。図8はホウ素過剰によりキュウリの下位葉が落下傘葉になる様子である。



図7. カリフラワーのホウ素欠乏で頂花蕾の不発生



図8. ホウ素過剰でキュウリの落下傘葉

6. モリブデン (Mo) の欠乏症と過剰症

モリブデンは、体内の酸化還元に関わる酵素の構成成分である。また、硫酸還元酵素（硝酸を窒素にする）の構成要素として、窒素代謝に役立つ。根粒菌の窒素固定、硝酸還元に関係する。必須元素の中で最も必要量が少ない元素である。

モリブデンが欠乏すると、広葉植物では下位葉の葉縁が内側に卷いてコップ状葉や鞭状葉になり、イネ科植物では葉がよじれる。葉脈間黄化、植物体が矮化などいろんな症状が発生する。但し、必要量が一番少ない元素なので、養液栽培でも河川水や井戸水中のモリブデンが植物の生育に満たすことができ、わざわざモリブデンを添加しなくても欠乏症が発生しない。図9は栽培実験でモリブデン欠乏によりカリフラワーに発生したコップ状葉（左から1~4番の葉はモリブデン欠乏症、一番右の葉は正常葉）を示す。

モリブデンが過剰の場合は、葉にクロロシスが現れたり、ジャガイモの小枝が赤黄色、トマトが黄金色を呈したりすると言われるが、植物のモリブデン耐性がかなり高いため、

通常の栽培では過剰症が発生しない。



図 9. カリフラワーのモリブデン欠乏で発生したコップ状葉

注意すべきことは、植物に微量元素欠乏症が発生しても、土壤中にこれらの元素が不足していることを限らない。大体養分の拮抗作用または石灰などのアルカリ性肥料の過量施用で、土壤 pH がアルカリに傾けることにより、欠乏症を誘発することが多い。微量元素の用量と濃度、施用方法の把握が非常に難しいので、むやみに微量元素を施用することは逆に過剰症を誘発することになる。

一部の肥料メーカーは肥料生産工程に微量元素を添加し、作った肥料の肥効が高くなると喧伝する。実際に化成肥料の生産工程に微量元素の添加が非常に難しい。まず、添加量が微々たるため、均一に分散することは理論上にできても実際の操作では無理なことである。次いで、添加された微量元素は造粒・乾燥工程において大体りん酸と反応し、植物に吸収できない難溶性化合物を形成する。従って、これらの微量元素入り肥料は微量元素の補充にはならないことが多い。BB 肥料に微量元素粒子を添加する手法は局部の微量元素過剰症、ひいては土壤汚染となり、論外である。