

どうやって見分ける？

植物の生理障害

6

～生理障害の診断・カルシウム欠乏症～

兵庫県立農林水産技術総合センター 環境・病害虫部 主任研究員 牧 浩之



筆者略歴

牧 浩之 / 兵庫県立農林水産技術総合センター 主任研究員

主な研究テーマ / 炭化法等による未利用有機資源のリサイクル、野菜の施肥改善、要素障害の診断など

今回は生理障害の中でもよく見られる「カルシウム欠乏症」についてご紹介しましょう。この障害は対策が難しい場合が多く、昔から頻繁に発生し農作物の品質を損ねてきました。

というのは、この症状が植物生理学的には「カルシウム欠乏」であったとしても、単にカルシウムが不足しているだけの事例は少なく、むしろさまざまな環境要因が引き金Ⅱ「誘因」となっている場合が多いからです。例えば温度や水分条件、チッソやリンなどの肥料条件、土壌pH、植物体の蒸散や通風条件など、実にさまざまな環境条件が障害を引き起こす誘因となります。つまり、単純にカルシウムを補給しても十分な効果は得られにくいのです。それよりも、こういった誘因によりカルシウム欠乏が発生したのかを突き止める必要があるのです。

植物体中でのカルシウムの働き

カルシウムは植物体中に最も多く含まれる要素の一つで、乾物中に約0.1～5%ほど含まれ、植物の種類や部位によって大きく異なることが知られています。例えばイネ科の植物はカルシウム含有率が低く、代わりにケイ素が高い「好ケイ酸植物」と呼ばれる種類が多く、反対に双子葉植物の多くはケイ素をあまり吸収せず、カルシウムを多く吸収する「好石灰植物」である、といったことです。

体内でのカルシウムの働きは不明な点も多いのですが、一つには細胞内でのさまざまな刺激に対する伝達作用や染色体・細胞膜の構造維持に関わっています。しかし、細胞質に存在するカルシウムは植物体全体ではほんの一部

分であり、多くは液胞や細胞壁に含まれています。細胞壁ではペクチンと結合して細胞壁構造を安定化させる働きをし、メカニズムは異なりますが、動物の骨と同じく体を支える役割を果たしています。

細胞質中のカルシウム濃度が低いのは理由があり、もし過剰に存在すると植物体内でリン酸やマグネシウムの活性を妨げたり、不溶性物質として沈着し細胞を傷つけてしまいます。植物はエネルギーを使ってカルシウムを細胞外に追い出し、細胞外において水に溶けない形で役立てているのです。つまり、植物体中のカルシウムはほとんどが細胞質外にあり、組織に沈着するような形で存在するため、植物体中の再移動が非常に少ないのです。その結果、欠乏症は決まって生長量の多い、若い葉や果実に発生します。

事例その①

オリエンタル系ユリ類に見られた「葉焼け症」

症状「上位葉の先の方から発生して、かすり状の斑点の発生や、褐色に枯死する」

①上位葉の先の方から発生し、進行が早い

写真1(次頁)は抑制栽培のガラス

ハウスで見られた症状です。蕾に近い「上位葉」の先の方から褐変し、枯死しています。ちょうど蕾付近の葉が枯れるため商品価値を下げ、問題となりました。この障害は8月定植など高温期の作型で多く発生し、高温障害やカルシウム欠乏である可能性が指摘され

ていました。症状の進行は早く、展開中の上位葉の先の方にかすかな萎れが見え始めると、2日後には真っ黒な葉焼け症状となりました(次頁写真2・3)。

②生育の旺盛な株で症状が重い

現地で調査をしていると、莖葉がよ

く茂り、生育のよい株に発生が多いように見えました。そこで再現試験を行いました、植え付ける球根が重いほど生育も旺盛で、症状も重くなることを確認しました(第1図)。

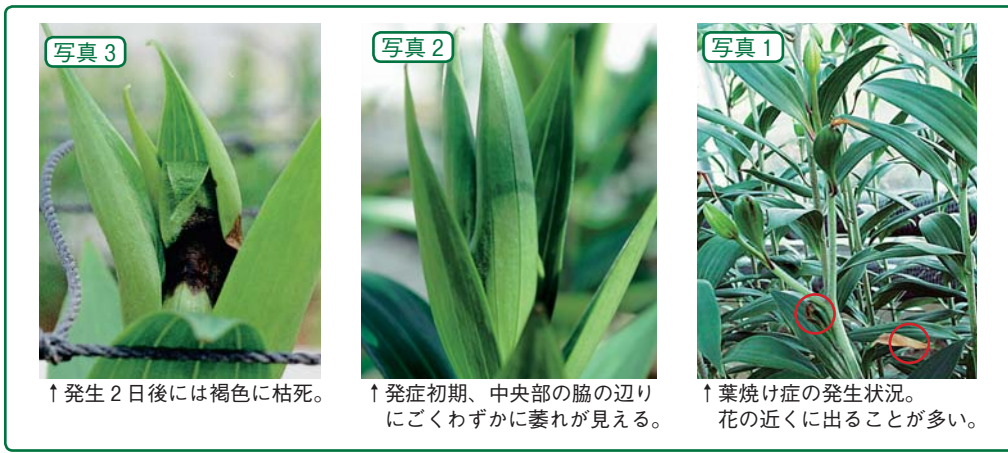


写真3

↑発生2日後には褐色に枯死。

写真2

↑発症初期、中央部の脇の辺りにごくわずかに萎れが見える。

写真1

↑葉焼け症の発生状況。花の近くに出ることが多い。

診断結果「高温と生育過多、根根の未発達によるカルシウム欠乏」

① 症状の有無による

葉中カルシウムの変化

症状の顕著な株と健全な株を選抜し、養分含有率を調べてみました。前述のようにカルシウム濃度は植物体の部位により大きく異なり、植物体全体を一緒に分析しても原因が分からないことが多いため、ここでは葉2枚を1サンプルとして葉別に分析しました。その結果、症状の有無と関係が見られたのはカルシウムとリンで、障害の出ている個体ではカルシウムが低く、リン

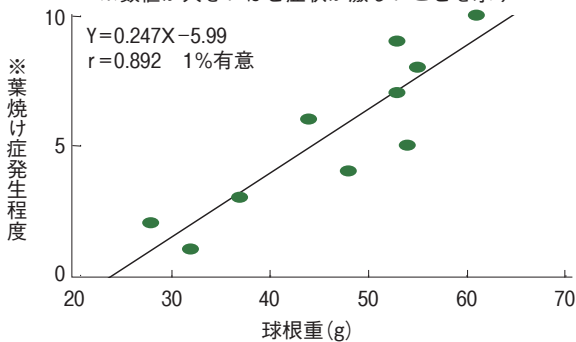


写真4

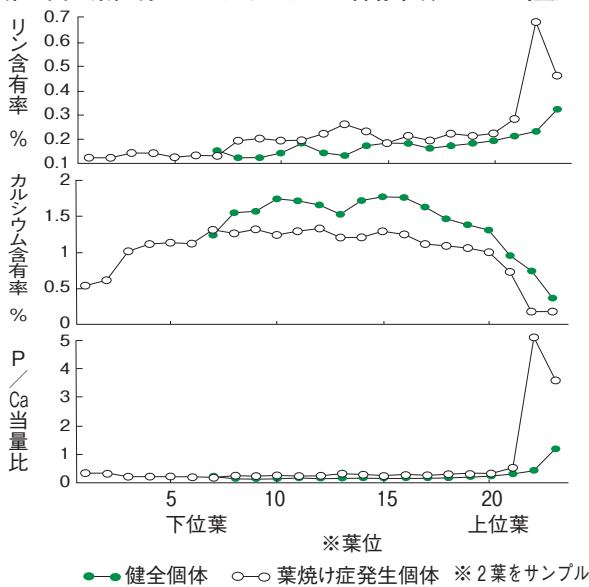
↑シュンギクの芯枯れ症状。葉先が褐色に変色している。カルシウム濃度が低く、リン濃度が高いことが原因。

第1図 葉焼け症の発生程度と球根重の関係

※数値が大きいほど症状が激しいことを示す



第2図 葉別別のカルシウム、リン含有率及びP/Ca当量比



が高い傾向があり、特に最上位葉ではカルシウム含有率は0・5%以下と低くなりました。この傾向はリンとカルシウムの割合を示す当量比を算出すると、よりはっきりしました(第2図)。

カルシウム欠乏と関わりが深い要素としてチッソが挙げられますが、シュンギクの芯枯れ症(写真4)でもリンが高いことが指摘されており、この二つの要素にも何らかの関わりがあることが想像されます。

② 生育が盛んなほど

欠乏症が出やすい理由

次に球根の重さ別に植え付けた試験の結果からは、重い球根ほど生育が旺盛で、上位葉のカルシウム濃度が低い

ことが分かりました。なぜそうなるのかは、カルシウムが体内でほとんど再移動しないことと、根から吸収されたカルシウムが水とともに移動する性質から説明できます。つまり、根から吸収されたカルシウムは単純に水の流れに従い植物体中を移動するので、光合成が盛んで蒸散の激しい成熟した葉にカルシウムが集中します。そのため、生育が盛んなほど生長点付近で欠乏しやすくなるのです。

また、ユリの生育を考えると、定植から2カ月ほどで葉焼け症が出ますが、この時期では根の発達が不十分で、十分なミネラルを吸収できないことも欠乏症の原因の一つと考えられています。

対策「植え付け前に低温貯蔵」

共同研究者の岩井豊道らの試験から、球根を植え付ける前に10℃の低温で4週間ほど球根を貯蔵すると、植え付け後に根の発達がよくなり、カルシウムの吸収が促進され、障害の発生を抑制できることが明らかになりました。また、カルシウムの葉面散布により抑制

できるとの結果も得られていますが、直接散布された葉にしか効果が出にくい場合があります。結果、いつ出るかわからない障害を予防するため、週に1～2回は継続的に葉面散布を続ける必要があります。先ほどから生育旺盛な場合に葉焼け症が出やすいと述べてきましたが、人工的に生育を抑制するとどうなるので

しょう？そこで、球根を植え付ける時に鱗片をはがして定植してみました。その結果2～3枚程度の鱗片剥離であれば生育への影響も少なく、葉焼け症の発生を抑制できることがわかりました。類似した処理に、トマトやハクサイにおいては葉を取り除くことで石灰欠が抑制できることも知られています。ハクサイなら下葉を、トマトなら小葉

を一部取り除くことで症状を軽減できます。これはカルシウムの吸収と植物体内での移行が水の流れに沿って行われるため、蒸散の激しい葉の部分を取り除き、少しでも生長点付近にカルシウムを補給しようという考えです。同様に生長点付近に風を当てることで生長点付近の蒸散を促進し、カルシウムの移行を促すことも知られています。

事例その②

トマトの尻腐れ

写真5



↑トマトの尻腐れ症状。カルシウム欠乏が原因だが、土壤中に十分なカルシウムがあっても発生する。

症状「トマト果実の先端から組織が壊死する」

写真5はカルシウム欠乏症として有名なトマト尻腐れです。果実が肥大する時期から発生し、花落ち部分など先

端部が壊死して黒く変色します。高温期に多く発生し、発生すると商品にはならず、トマトの生産性を阻害する要因の一つといえます。古くから知られ、1950年代には尻

このように古くから知られた障害であるにも関わらず未だに発生し、問題であり続けているのです。これは、尻腐れの発生している果実中の生理現象は「カルシウム欠乏」であっても、それを引き起こす要因が複雑で対策も取りにくいからです。カルシウム欠乏には単純な欠乏症は少なく、土壤中に十分なカルシウムがあるにも関わらず発生する欠乏症が多く、尻腐れはその典型です。

なぜ尻が腐るのか？

「尻腐れのメカニズム」

少したけ、尻腐れのメカニズムにも触れてみましょう。これは植物体内でのカルシウムの働きで説明できます。

カルシウムの大きな働きとして、細胞壁と細胞膜の安定化により植物体を支える、ということがあります。この仕組みは「タイヤとチューブ」に例えることができます。つまり健全な果実であれば、細胞の外にしっかりとタイヤⅡ「細胞壁」があり、その中にいるしなやかで丈夫なチューブⅡ「細胞膜」を膨らますことで植物体を支えている、ということです。ところがカルシウムが不足すると、タイヤⅡ「細胞壁」がやわらかく不安定になり、チューブである「細胞膜」は脆くなります。その結果、細胞の膨れる力「膨圧」により細胞が変形し、脆くなった細胞膜が破れて細胞が崩壊し、組織が壊死します。

カルシウムは体内で再移動が少なく、生長の盛んな組織ほど必要とするので、基本的には組織の先端で欠乏症が出ます。果実の先端とは「尻」の部分に当たるため、この部分から欠乏症が出るのです。葉で見られる欠乏症の場合は少し異なり、先端部というより少し元の「先の方」から障害が出る場合が多

く、これは葉の先端部は蒸散が盛んで、それに伴うカルシウムの供給があるため、先端部から障害が出ることは少なく、次に弱い先の方から障害が出るのだと考えています。

対策「発生すれば早めに除去」

尻腐れが発生した果実が回復するこ

とはありません。早いうちに取り除いて植物体の負担を軽くしましょう。また、発生を完全に抑えることは難しいものの、少しでも減らすためには、敷きわらやマルチなどで土壌の乾燥を避ける、追肥は少量ずつ施用する、チツソ源にはアンモニアを避け硝酸態チツソを施用する、果実肥大期に少量の下

位葉の葉かきを行う、できるだけ果実付近は風通しのよい環境で栽培する、などが考えられます。石灰などのカルシウム資材の施用も行われていますが、これだけでは解決しませんし、過剰なカルシウムの施用は土壌のpHを高め微量要素の吸収バランスを乱すので慎重に行いましょう。

事例その③

チンゲンサイの芯枯れ

症状「上位葉の先の方が水浸状に萎れ、やがて褐色に枯死する」

写真6は夏場の雨よけハウスにおいて、土壌の蒸気消毒を行った後に発生したチンゲンサイの芯枯れ症状です。上位葉の先の方から発生し、水浸状に萎れ、やがて褐色に枯死しました。症状の特徴からカルシウム欠乏が考えられました。

診断結果「高温と高アンモニアによるカルシウム欠乏症」

①土壌中に十分なカルシウムがあるのに発生したカルシウム欠乏症

症状からカルシウム欠乏が疑われ、植物体の分析からもカルシウム欠乏症

と考えられました。ただ土壌中の交換性カルシウムは100g当たり350mg程度あり、通常では十分といえる量です。では、なぜカルシウム欠乏症が発生したのでしょうか？

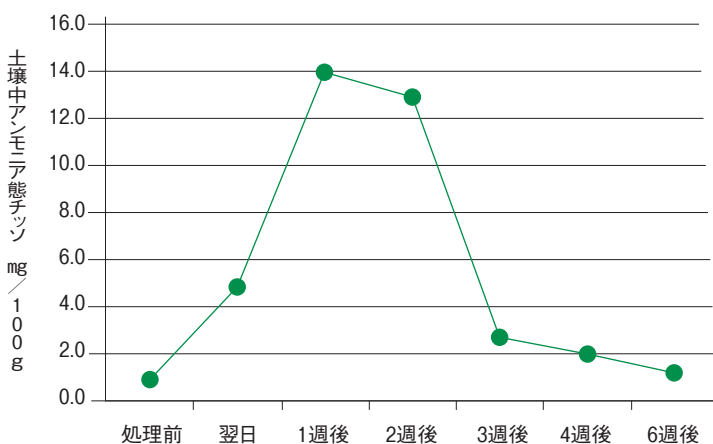
カルシウム欠乏のほか、急激な生長による体内での分配不良、高温、乾燥、日照や肥料成分などの環境要因が挙げられ、実際に見られるカルシウム欠乏症の多くは、このような環境要因により引き起こされることが多いのです。

写真6



↑チンゲンサイの芯枯れ症状。カルシウム欠乏が原因で、上位葉の先の方から発生し褐色に枯死（いずれも八瀬順也 原因図）。

第3図 蒸気消毒後のアンモニア態チツソの変化



事例その④

ハウレンソウの芯枯れ

写真7



↑ハウレンソウの芯枯れ症状。上部葉の先が枯死している。高温、乾燥、塩基成分のバランス不良が原因。

症状「上位葉の先の方が褐色に枯死する」

写真7はちょっと珍しいハウレンソウの芯枯れ症で、夏場の高原雨よけ栽培で見られました。筆者の不注意かも知れませんが、実際に見かけることは少ないように思います。なぜなら、ホ

診断結果「土壌中塩基バランス不良と、高温・乾燥によるカルシウム欠乏」

このハウレンソウを栽培した土壌は「蛇紋岩」と呼ばれる岩石の風化した

生育不良となり、芯枯れ症状をきたすことは少ないのです。

ウレンソウを栽培する時は前もって石灰を施用することが多い点と、日本の土壌の多くは弱酸性で、この場合のハウレンソウはカルシウム欠乏は酸性障害の形で現れるからです。

②誘因は高温とアンモニア
今回は夏場の栽培で地温が高かったのが原因の一つですが、もう一つの原因に蒸気消毒が考えられました。第3図はこの圃場の蒸気消毒処理後の土壌中でのアンモニアの変化を見たものです。通常の畑土壌では無機態チッソは硝酸態が多く、アンモニアはわずかで

す。この圃場でも消毒前にはアンモニア態チッソはほとんど見られませんでした。蒸気消毒後には100g当たり14mg程度まで高まりました。要因は土壌中の有機物中のチッソの一部が熱で可溶化すること、微生物が死滅して微生物中のチッソが無機化し、アンモニアが発生するからです。このよう

に土壌中でアンモニア態チッソが高まると、カルシウム欠乏が出やすくなります。これはアンモニアイオンとカルシウムイオンの化学的な性質が近いので、カルシウムの吸収が妨害されるためと考えられています。トマトの水耕栽培でも、培養液中のアンモニアが高

いほど尻腐れが出やすいことが分かっています。この障害は1作限りでした。土壌中で増えたアンモニアが硝酸化を受けて硝酸に変化したため、次作には障害の発生は見られませんでした。

対策「塩基バランスの改善」

夏場の高温と乾燥、高マグネシウム条件が助長したカルシウム欠乏と診断しました。

土壌でした。蛇紋岩は超塩基性岩の一種に分類され、ケイ素以外の塩基成分を多量に含み、主成分の蛇紋石と呼ばれる鉱物は $(Mg,Fe)_3Si_2O_5(OH)_4$ で表されます。つまり、鉄やマグネシウムを豊富に含む岩石を母材とした土壌です。土壌の分析値を見ると、pHが高く、カルシウム、マグネシウムも高い値でした。元々、蛇紋岩土壌が塩基成分に富みpHの高い土壌であることに加え、石灰の施用で土壌pHを高めていたのです。

ここで気になったのは、カルシウムに比べてもマグネシウムが高いことです。この2元素もお互いの吸収を抑制することが知られ、過剰のマグネシウムの存在がカルシウム吸収を抑制した可能性がります。そこでこの障害を、

蛇紋岩を母材とする土壌は塩基成分が多く、pHも高めです。こうした性質はハウレンソウの原産地の土壌条件に近く、ハウレンソウの栽培には適しているといえますが、塩基バランスの改善が必要になります。このような土壌のため、よく見られる酸性障害の形ではなく、高温による芯枯れ症の形でカルシウム欠乏が出たのでしょうか。pHの高い土壌でカルシウムを補い、塩基バランスを改善するためには、土壌pHを上げにくいリン酸石膏など石膏資材の施用も有望です。