

どうやって見分ける？

植物の生理障害

4

（第一期最終回）

～診断の実際「主に上位葉から発生する障害」～

兵庫県立農林水産技術総合センター 環境部 主任研究員

まき ひろ ゆき
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

前回は「主に下位葉から発生する障害」を4事例紹介しました。

今回は、主に上位葉から発生した要素障害の事例を

紹介し、“なぜ障害が発生したのか” “その要素は植物体でどのような役割を持っているのか”を考えてみたいと思います。

写真2



←キレート灌注処理2カ月後。



←キレート灌注処理1週間後。

写真1



←エダマメに出た鉄欠乏症。

事例その①

エダマメの鉄欠乏

症状「上位葉周辺部からのクロロシス」

写真1はエダマメに現れた鉄欠乏症です。上位葉に現れ、周辺部から白くなっています。見方によってはきれいな斑入りの観葉植物のようにも見えますが、これは典型的な鉄欠乏によるクロロシス症状です。経験的には鉄欠乏の場合、葉の斑点や枯死などには至りなく、単に緑色が薄く白っぽくなります。赤や茶色などに変色することもし少ないように思います。

鉄欠乏の発生する土壌条件

鉄は地殻中で酸素、ケイ素、アルミニウムに次いで多く、土の中に5%ほど含まれます。これに対し、植物に含まれる鉄の量は乾物でわずか数百ppm（ピーエム）程度です。つまり、土の中で鉄の絶対量が足りずに鉄欠乏になることはまずありません。しかし、鉄欠乏は現場でよく見られる要素障害の一つです。

一体、なぜ鉄欠乏症が発生するのでしょうか？
最大の原因は土のアルカリ化です。

世界の農耕地の約30%は、潜在的な鉄欠乏地帯といわれており、半乾燥地域の石灰質土壌では、毛管現象により母材から溶出した石灰質成分が地表に集積し、アルカリ土壌となります。このような土壌では土壌中の鉄が $Fe(OH)_3$ の形で存在し、溶解度が極めて低い鉄欠乏症が発生します。

日本は雨が多く土壌のアルカリ分が流亡するため、多くの場合で土壌は酸性ですが、温室など施設栽培では比較的多くのアルカリ資材を施用し、雨を遮るため、土壌のアルカリ化が進むことがあります。

また後ほど述べますが、マンガンなど鉄と性質のよく似た元素が過剰に存在すると鉄欠乏症状が現れる場合があります。

対策「土壌pHを抑える」「キレート物質の施用」

土壌のアルカリ化が原因の場合は、土壌pHを下げるのが第一の対策になります。とはいえ、pHを上げるのに比べて下げることは非常に難しく、一気に下げるには多量の酸が必要になります。現実的には土壌のpHが上がるよう

※ $Fe(OH)_3$: 水酸化鉄(Ⅲ)

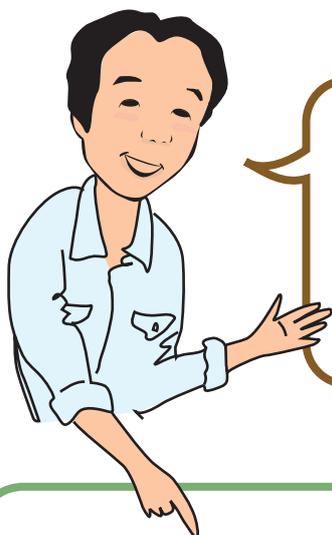
な処理を控え、徐々にpHが下がることを待つこととなりますが、即効的な効果は期待できません。速やかに効果を上げる方法として、EDTAやEDDHAなどのキレート鉄の施用があります。ここではEDDHA鉄の2%水溶液を土壌に灌注してみました。

写真2は処理後の様子です。処理1週間後では下位葉から、また葉脈に近いところから回復してきています。そして処理2カ月後で、ほぼ完全に回復しています。このようにキレート鉄の施用は効果が高いものの、資材費が高いことが難点となります。安価な資材として、牛ふん堆肥などの有機質資材中には自然のキレート物質が含まれているため、施用することにより鉄欠乏を緩和することができます。東京農業大学の樋口らは、コマツナに牛ふん堆肥を施用することで土壌中や植物体の鉄含有率が上がることを報告しています。また最近、植物に吸収されやすい二価鉄イオンを長期間供給できる新しい鉄肥料が開発され、これを施用することで、pHの高い土壌でも鉄欠乏症を抑制できるという研究結果が示され、注目されています。

植物体での鉄の働き

鉄は植物体内で主に二価鉄イオン、

ヘム鉄含有タンパク、鉄-硫黄タンパクとして存在します。二価鉄イオンはさまざまな酵素の活性化に関与し、ヘムという形になった鉄は酵素の活性中心に存在し、酸化還元反応、電子伝達、酸素運搬などに関与しています。その働きの一つに葉緑素の合成があります。葉緑素そのものには鉄は含まれませんが、鉄がないと葉緑素の前駆物質の合成ができず、その結果クロロシスが発生します。また、鉄は体内で再移動しにくい元素なので、鉄欠乏によるクロロシスは決まって上位葉から発生が見られます。



鉄を吸収するため、植物には大きく二つの吸収パターンが見られますが、いずれにしる根から分泌物を出し、その分泌物によって鉄を効率よく吸収する仕組みを持っています。

植物の鉄吸収戦略

植物は根から、水と一緒に養分を吸収します。この時は単に吸収しているだけではありません。根に吸収された養分濃度を調べると、土壌水より高い濃度で養分が含まれています。つまり、植物は養分を効率よく吸収することができるのです。

鉄を吸収するためにも、植物はユニークな仕組みを持っています。少し脱線しますが簡単にご紹介しましょう。

鉄を吸収するための戦略は、大きく二つに分けられます。一つはイネ科以外の大部分の陸上植物が持つもので、根から有機酸やプロトンを放出し、周辺土壌のpHを下げて鉄を可溶化し、根から吸収します。この働きは鉄が欠乏すると強くなることが知られ、この時には根毛の増加や、根表面での三価鉄還元酵素

の働きが強くなるなど、鉄吸収を有利にする変化が起こることも知られています。今回のエダマメもこのグループの植物ですが、鉄欠乏に比較的弱いとされる作物です。アメリカではダイズを栽培すると「鉄欠乏クロロシス」の発生が多くのもので見られ、問題となっています。

もう一つは、イネ科植物特有の鉄獲得方法があります。ムギネ酸類と呼ばれるアミノ酸の一種を土壌に放出します。この物質は不溶性の鉄と結びついて可溶化するキレート物質で、pH5~8の広い領域で働き、ムギネ酸と鉄が結びついた形のまま植物に吸収されます。このムギネ酸の合成と放出力の大小により、イネ科植物の鉄欠乏耐性が決まると考えられています。

症状「上位葉からクロロシス症状」

写真3は養液栽培のトマトで発生した症状で、生育が劣り、上位葉からクロロシス症状が見られ、やがて全身に症状が及びます。単純な鉄欠乏症とは少し印象が異なるもので、この症状が数年続けて発生し、生産量が激減しました。症状は夏場に激しくなり、その時には養液のpHが高く、しばしば8以上を示しました。

分析結果と診断

そこで植物体と培養液、源水を持ち帰り、障害の原因を探りました。植物体の採取は、健全な個体と障害個体を数株ずつ持ち帰り各部位ごとに比較することが理想ですが、トマトのような作物はあまりたくさんを引抜きと収量面に影響します。また今回、障害の発生は上位葉からだったので、障害の出ている個体と健全な個体のほぼ同じ場所の上位葉のみを採取し、養分含有率を測定しました。その結果、障害葉では健全葉に比べ、カルシウム、マグネシウム、鉄、マンガンなど多くの養分の吸収が抑制されていることが

分かりました(第1表)。

次いで、培養液の作製に用いていた地下水を調べた結果を第2表に示します。pHは7.2とやや高く、電気伝導度も高い水です。これらの値が高い水では一般的にカルシウムやマグネシウムの値も高いのですが、この水の場合特に異常のない値です。ここでもう少し測定範囲を広げ、アルカリ度という項目を調べました。これは地下水に現れやすい性質ですが、水の中に炭酸イオンが含まれ、pHや電気伝導度が高くなる場合があります。この地下水の場合1ℓ当たり410mgで、法律に照らし合わせると立派に「温泉」と名乗れるほどの濃度です。

これらのことから今回のトマトの生理障害は、アルカリ度が高い水を使用したために培養液のpHが高くなり、いろいろな養分吸収に影響して発生した障害と判断しました。

余談ですが、このハウスのトマトは「甘くておいしい」と人気のものでした。トマトの糖度を高める方法として、水を控えたり、塩類を多く施用して植物にストレスを与える方法がありますが、今回の場合は図らずも「不良源水によるストレス」が掛かり、おいしい

写真3



←養液栽培トマトでの黄化症状。

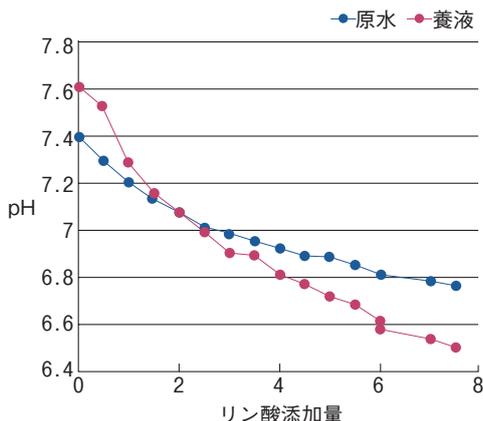
対策「培養液のpHをリン酸で下げる」

トマトがとれていたのかもしれませんが。

水耕栽培に用いる源水の水質に問題がある場合、根本的な解決のためには良質な別の源水を確認することが第一です。しかし、今回はほかの水源を確保する目処が立たなかったため、培養液のpHを下げる方法を検討しました。

つまり酸を用いて培養液のpHを下げる訳ですが、養分の補給も考慮し、リン酸を用いて培養液のpHを下げることにしました。図のように前もって緩衝曲線を作成して投入量を決め、pH7を目標に管理することにより今回の症状は大幅に軽減しました。

図 培養液、源水のpH緩衝曲線



第1表 養液栽培トマト 上位葉の養分含有率

	P	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	B	Cu
	%			ppm				
正常葉	0.63	3.52	1.00	135	64	41	82	3
黄化葉	0.55	1.67	0.73	76	35	23	25	3

第2表 源水の分析

pH	EC (mS/cm)	アルカリ度 (pH4.8) (mg/ℓ)	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	B	Cu	Zn
			ppm								
7.2	0.643	410	0.3	5.5	9.7	1.9	0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1

※表中、P=リン、Ca=カルシウム、Mg=マグネシウム、Fe=鉄、Mn=マンガン、Zn=亜鉛、B=ホウ素、Cu=銅、K=カリウムを示す。

症状「黄化と斑点が全体に出る、または上位葉のクロロシス」

マンガンの過剰症は、上位葉から出るとは決まっています。写真4は花苗に発生したマンガンの過剰症で、症状は二つのパターンに分けられます。ハボタンやストックは全身に黄化と斑点が出る激しい障害が、オステオスペル

写真4



↑オステオスペルマムで見られたマンガンの過剰症。



↑ストックで見られたマンガンの過剰症。

マムやパンジーには上位葉のクロロシスが見られました。

分析結果と診断

当初問題になったのは、全身に激しい障害の出るハボタンやストックです。予備調査ではハウスのビニールについた水滴からアンモニアが多く検出され、アンモニアガスによるガス障害と考えられていました。しかし、アンモニアガス障害であれば一過性の場合が多く、時間がたてば回復するものの、この障害は一向に回復の兆しを見せません。そこで植物体を上位葉と下位葉に分け、精密な養分分析を行いました。

その結果、ストックで3430~4460ppm、オステオスペルマムで5818~9895ppmのマンガンの検出され、障害の程度が重い場合に含有率も高まりました。植物体内のマンガンの含有率は通常数十~数百ppm程度で、今回の植物体は明らかに高く、この障害がマンガンの過剰症であることが判明しました。原因はマンガンを多量に含んだ資材を知らずに施用したため、資材の見直しにより障害は出なくなりました。

マンガンの過剰による二つの症状

マンガンの過剰による障害には、①下位葉から発生し全身に及ぶ斑点、②上位葉のクロロシスの二つの症状があり、いずれの症状が出るかは、マンガンの過剰への耐性の強弱により決まります。つまり植物によって異なる症状が発生し、マンガンの過剰に弱いアブラナ科植物などは①の症状を示します。これはマンガンによる直接の障害といわれ、斑点は褐色の場合が多く、細胞壁に付着した酸化マンガンの濃度が数百ppm程度の着色と考えられています。このような障害は植物体の濃度が数百ppm程度から発生します。

マンガンの過剰に強い植物は、数百ppm程度の濃度では斑点などの障害は出にくいのですが、さらにマンガンの濃度が高まると鉄欠乏とよく似たクロロシスが発生します。今回のオステオスペルマムのような場合で、場合によっては植物体のマンガンの含有率は1万ppmを超えることもあり、茶などもマンガンの過剰に強いことが知られています。マンガンの過剰によりなげクロロ

シスが起るのかは異論もありますが、一般的にはマンガンの化学的性質が近いことから、マンガンの過剰に存在すると鉄の植物体への吸収や体内での代謝が妨げられ、鉄欠乏症状が出ると思われる場合があります。銅やニッケルなどの重金属元素の過剰でも見られることから「重金属誘導クロロシス」とも呼ばれ、この説を裏付けるように、マンガンの過剰によるクロロシスを起こした植物体では、鉄含有率が低下していることが観察されています。

今まで4回にわたり、「分かりやすい生理障害の診断」をテーマにお話ししてきましたが、ここで一旦筆を置こうと思います。いずれ「もう少し複雑な診断例」などの続編でお会いしたいと思います。

