

どうやって見分ける？

植物の生理障害

7

～生理障害の診断・マンガンによる障害～

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

今回は生理障害の出やすい要素・マンガンを取り上げます。マンガンによる障害（欠乏症・過剰症）を事例とともに解説していきますが、マンガンは土壌中での絶対量や溶けやすさの変化が大きいのに比べて植物の適領域がやや狭いため、どちらの症状も出やすいといえるのです。

マンガンという要素

微量元素の一つ

マンガンは植物の生育に必須の要素ですが、チツソやカリウムほど多量には必要としない「微量元素」の一員です。作物に必要な量は種類により異なりますが、乾物当たり20～100ppm程度と考えられます。土壌中にはもつと多くのマンガンが含まれ、全含有率で1000ppm以上あることが普通で、一般的に肥料として施すことは少ないのです。もつとも、すべてのマンガンが植物に吸収されるわけではなく、植物に必要な量は畑状態で交換性マンガンが5～10ppm程度です。

植物体中でのマンガンの働き

マンガンは、植物体内での各種反応時の酸化還元に関わっています。それ以外にも各種の酵素反応を促進します。鉄や銅のように酵素の構成成分とはならず、賦活剤として作用します。

葉中のマンガンの60%程度が葉緑体中にあり、光合成の際の水の分解による酸素発生に関わっています。また、クロロフィル（葉緑素）の生成にも必要と考えられ、マンガンそのものはクロロフィルには含まれませんが、欠乏すると下位葉からクロロシス（白化）が発生します。逆に過剰では下位葉の周辺部が枯れたり、斑点状に黒褐色の枯死斑（マンガン斑）や、鉄の吸収を抑制して上位葉のクロロシスを引き起こします。

障害の出やすい要素

マンガンは生理障害の出やすい要素で、農業生産現場でも多くの障害が見られますが、過剰あるいは欠乏に対する植物の反応から、肥料要素は二つのグループに大別できます（第1図）。一つは、欠乏することで生育低下や障害が見られるものの、過剰害の出にくい要素で、リンやカリウムが挙げられます。これらの要素は過剰害が出にくいので、肥料として安心して施用できます。もつとも油断して施用しすぎると土壌に蓄積し、養分バランスを崩すので注意が必要です。これに対してチツソやマンガン、ホウ素などの要素は、欠乏でも過剰でも問題が出ます。そしてマンガンは、土壌中での絶対量に比べて植物の適領域がやや狭いため、

過剰症も欠乏症も出やすいのです。

土壌中での独特の振るまい

マンガンの障害が発生しやすいもう一つの原因に、土壌中での独特な振るまいがあります。前述の通り土壌中に全マンガンはたくさんあり、その溶けやすさの変化で障害が発生します。もちろん単純な過剰施用による障害も見られますが、多くのマンガン障害はマンガンの施用とは関係なく、土壌中のマンガンの溶解性の変化が原因で起るのです。

これから具体的に事例をご紹介しますが、土壌中でマンガンの溶解性が減少する原因（欠乏症の原因）としては、土壌のアルカリ化、有機質資材の多施用があり、溶解性が増加する原因（過剰症の原因）としては土壌の酸性化、土壌消毒、土壌の過乾燥、過湿などが考えられます。

第1図 土壌中の要素含有率と作物生育の関係
（渡辺和彦 原色生理障害の診断法、農文協 より）

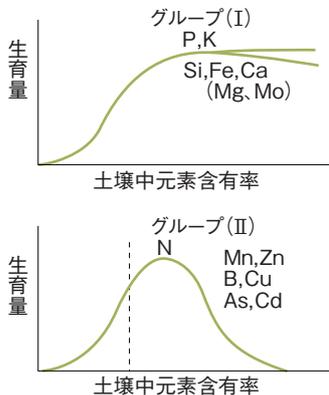


写真1
←下葉を中心に周辺が黄化する「額縁症」と呼ばれたマンガン欠乏症（永井 耕介 原図）。



写真2
←マンガンを欠如した水耕栽培（1/2園試処方）での再現。



症状「下葉を中心に発生し、葉の縁が黄化する」

写真1は兵庫県の永井耕介さんが原因を解明し、本誌でも紹介（2002年野菜9月号）したシュンギクのマンガン欠乏症です。当時は連作の進んだ

施設軟弱野菜でさまざまな生理障害が発生し、その中でもシュンギクに多発して問題となった障害です。下葉の周辺が縁取様に黄化することから、現地では「額縁症」と呼ばれていました。

診断結果「マンガン欠乏症」

土壌調査の結果からは有機質資材の施用や塩類集積の進んだ土壌ほど障害が多発する傾向にありましたが、「風乾土」で測定した交換性マンガンは過不足のない範囲でした。障害発生株と健全株の葉分析の結果からは、カルシウム、マグネシウム、鉄には差がないものの、マンガンは障害発生株でやや低いことが判明しました。さらにマンガン資材の葉面散布、土壌施用によって障害の発生が劇的に低下することから（第2図）、この障害がマンガン欠乏症であることが明らかになりました。筆者もマンガンを欠乏させた水耕栽培で同様の障害が発生することを確認しています（写真2）。

土を乾かして保存する間に増加する交換性マンガン

原因究明が難しかった理由の一つは、「風乾土」を用いた診断では土壌中の

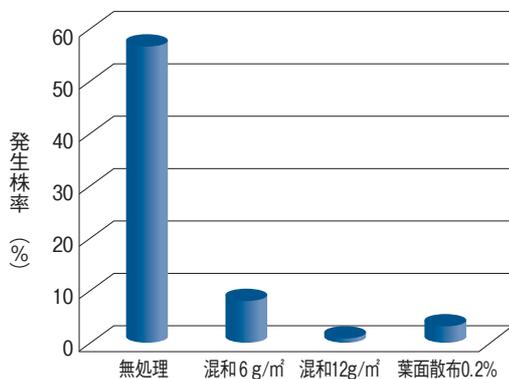
交換性マンガンが十分あるにも関わらず障害が発生しているためでした。これは大阪府環境農林水産総合研究所の内山さんがすでに明らかにしていたことですが、交換性マンガンには土壌を乾かして保存する間に増加する性質があります。そのため、欠乏症の出る土壌を風乾保存して数カ月後に測定した時には、あたかもマンガンが十分あるかのように見えてしまうのです。

筆者もマンガン欠乏症の出る土壌、出ない土壌、過剰症が出やすい土壌を用い、風乾土を保存した時の交換性マンガンの増加を確認しています（第3図）。それではと、生土のままでも保存してみると反対に減少してしまい、マンガンの過不足を診断するためには土を採取後ただちに測定しなければならぬことを知りました。

生土中のマンガンがなぜ欠乏したのか？

交換性マンガンの分析法の問題が解決したので、次に、なぜ土壌中のマンガンが欠乏したかを考えてみましょう。マンガンの土壌での溶解性に影響する要因はいくつかありますが、シュンギク「額縁症」発生のポイントは、有

第2図 マンガン施用による額縁症の軽減
(永井耕介の試験結果より作成)



第3図 風乾土の保存による交換性マンガンの増加

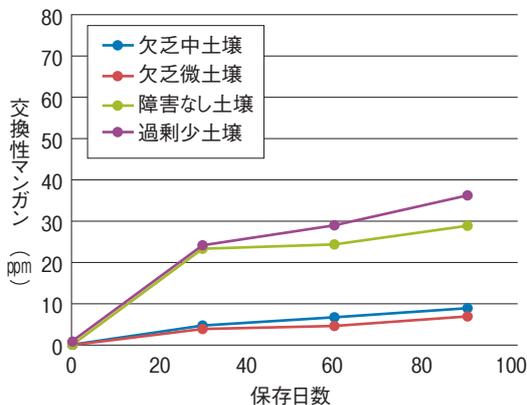


写真3



← 土壤の過乾燥と低pHで発生したマンガン過剰。

植物体マンガン含有率800 ppm程度、土壤中交換性マンガン50 ppm程度

事例その②

播種前の過乾燥と低pHにより発生した「コマツナのマンガン過剰

症状「下葉の周辺が枯死する」

写真3は9月末の施設栽培コマツナに見られた障害で、下葉から発生し、周辺を縁取るように枯死したり、周辺の伸長が止まってカップ状に変形する「カップング症状」が見られました。

診断結果「マンガン過剰症」

土壤調査の結果、pHが5・1と低い土壤中の交換性マンガンも50 ppm

対策「土壌pHの矯正」

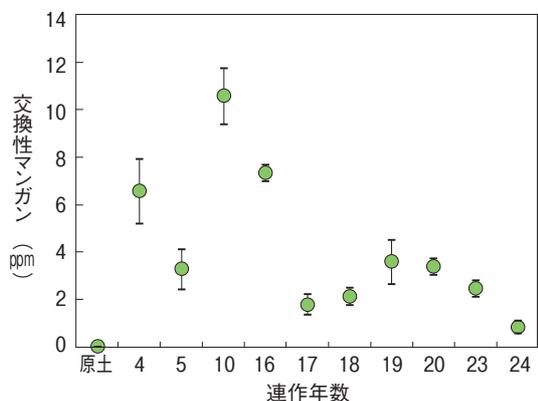
この圃場は特にマンガン資材を施用しているわけではありませんでしたが、マンガン過剰症が発生しました。要因の一つは土壌pHがやや低いことです。

機質資材を多用した土づくりにあります。堆肥など有機質資材は、多量要素・微量要素の補給、土壤の物理性改善とともに、土壤の生物性の向上効果がある優れた資材です。土壤の生物性には有機物の分解による肥料効果の発現、アンモニアの硝酸化成、土壤の団粒化の促進ばかりでなく、病害虫の発生・制御にまで関わる重要な性質です。その土壤の生物性の一つにマンガン酸化能力があります。これは土壤中の水に溶けやすいマンガンが微生物の働きで酸素と結びつき、水に溶けにくくなる現象で、土壤中の多くの微生物がこの能力を持っています。過剰に存在するマ

ンガンが微生物にとっても有害なため、微生物自身が「解毒作用」として行っていると考えられています。
第4図は兵庫県の淡路農業技術センターで行われている試験で、未耕土に毎作カヤ堆肥を入れ、カーネーションを連作した時の土壤中の交換性マンガンの変化を示した図です。この土壤には元々交換性マンガンは少ない反面、有機物と反応して溶け出す易還元性マンガンを豊富にありました。そのためカヤ堆肥の連用により10作あたりまでは交換性マンガンが増加していますが、その後は減少に転じ、17作目以降からはやや欠乏域で推移しており、長期の

有機質資材の連用により交換性マンガンの減少することが示されています。これらのことから、今回のシユンギク「額縁症」も、有機質資材の施用による土壤のマンガン酸化能の増大が原因のマンガン欠乏症であることが分かりました。ちなみに銅や亜鉛などの重金属も、有機質資材の施用で吸収が抑制されることが知られています。詳細は不明な点も多いのですが、これらの重金属は主に有機物と結合して植物に吸収されにくい形態になっていると考えられ、微生物の酸化能により不溶化するマンガンはメカニズムが異なると考えられます。

第4図 カヤ堆肥を連用した土壌での交換性マンガンの推移



マンガンの溶解性は土壤のpHで大きく変化し、酸性時には溶解度が増加して過剰症の危険性が増します。酸性土壌で起こる生理障害にはいくつかの種類があり、単純な酸性障害以外に、アルミニウムの可溶性による障害、マンガンの可溶性による障害などがあります。つまりこの障害の原因は、低pHによる酸性害としての「マンガン過剰」ともいえます。

第5図(57頁)では、この土壤のpH

事例その③

土壌の熱消毒により発生したコマツナのマンガンの過剰

土壌が殺菌されるとマンガ
ンが溶け出すことがある

写真4は写真3(56頁)と同じコマ

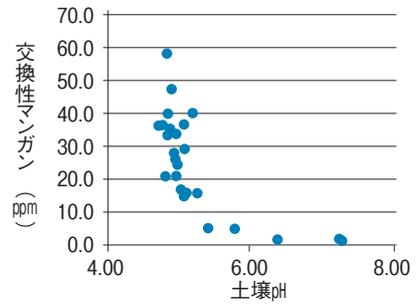
写真4



↑熱水消毒により発生したマンガンの過剰症。

第5図 土壌pH改良と交換性マンガンの関係(生土)

土壌にマンガンを施用しなくても過剰症が発生することもある。この土壌の場合pH5~5.5以下では危険域で、6程度に矯正が必要。



土壌の過乾燥がマンガンの溶解性を高めた

を矯正するために土壌pHと交換性マンガンの関係を見えています。結果、pHが5・5以下では交換性マンガンの過剰に高くなることから、pHを6程度まで高めておくことが安全であると考えられました。

5・1程度の土壌pHは、やや低いこ

とは確かですが、特別低い値ではありません。にもかかわらず、今回は過剰症が発生しました。

マンガンの過剰の誘因の一つに、土壌を乾燥させていたことが考えられました。温暖地の施設軟弱野菜では盛夏の高温期には作付けを休み、秋口から再開する場合があります。このハウスでも1・5カ月ほど栽培を休んだそうである間に土壌が乾燥し、播種前に耕う

んした時には土煙が舞い上がったそうです。土壌にもよりますが、腐植が少なくpHの低い土壌では、乾燥により土壌中の交換性マンガンの増加することがあり、注意が必要です。

微生物量と土壌pHが低い土壌での土壌消毒は要注意

ツナのマンガンの過剰症です。こちらの土壌のpHは特別低いわけではないのですが、熱水消毒の後、比較的激しいマンガンの過剰症が発生しました。これは昔からよく知られた現象であり、土壌消毒に伴うマンガンの過剰症です。熱水消毒に限ったことではなく、蒸気消毒、太陽熱消毒、薬剤消毒によっても発生します。

事例②「土壌の乾燥による交換性マン

ガンの増加」も同じ理由ですが、温度、薬剤、乾燥などにより土壌中の微生物が死滅すると、菌体中の還元糖などが土壌に溶け出し、マンガンの可溶化が進み、マンガンの過剰症が発生すると考えられています。

どのような土壌で消毒後のマンガンの過剰症が発生しやすいのかを調べてみました。表は土壌pHと微生物量(以下、微生物バイオマス)の異なる4カ所の圃場で、熱水消毒後の土壌中の交換性マンガンの変化を見ました。熱水

処理直後はいずれの土壌でも、交換性マンガンは19~48ppmとやや高いのですが、pHと微生物バイオマスがともに低い土壌を除き、3週間後には元の水準に戻っています。つまり、土壌pHと微生物バイオマスがともに低い土壌では、消毒処理後にマンガンの過剰が出やすい

と考えられるのです。一見微生物バイオマスの多い土壌の方が消毒により発生する還元糖も多く、マンガンの可溶化も進みそうに思えますが、このよう

な土壌では微生物の回復も早く、マンガンの酸化能も盛んなため、消毒による過剰症の心配は低いのです。

熱消毒後の土壌微生物による交換性マンガンの低下

圃場試験の結果から、消毒によるマンガンの過剰には土壌微生物と土壌pHの影響が強いことがわかりました。さらに土壌微生物によって交換性マンガンの濃度が変化することを確かめた室内での実験例をご紹介します(第6図)。

マンガン障害発生 リスクの指標

さて、長々とマンガン障害について述べてきましたが、最後に第7図をご紹介し、この稿を終わりたいと思います。これは、土壌のpHと生物性がマンガンのリスクに及ぼす影響について模式的に示した図で、兵庫県に多い「低地水田土」や「黄色土」を念頭に作成しています。

土壌中でのマンガンの溶解性を決め

る一番大きな要因は、土壌のpHだと思えます。そしてもう一つ大きな要因には、微生物による酸化があります。ただし、マンガン酸化能を直接示すことは一般的ではないので、ここでは微生物量と関係の深い腐植含量で示しています。

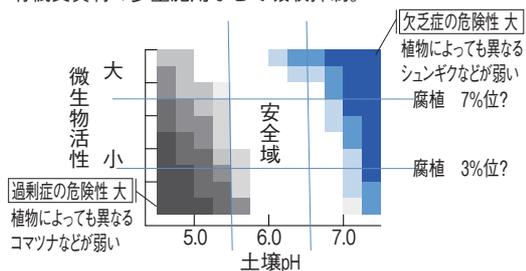
土壌のpHが低いと過剰症の心配があります。いわゆる酸性障害の一つとして、低pHで溶解性が高まるためです。この時、土壌中の腐植が高いと過剰症の危険性は軽減され、土壌消毒や過乾

燥、過湿条件で危険性が助長されます。また、植物体中のケイ素の共存により過剰症が軽減されることも報告されています。

反対に、pHが高いと欠乏症が心配になります。この場合には土壌の腐植が高いほど欠乏症の発生が助長されます。作物によって出やすい障害も異なります。コマツナなどのアブラナ科野菜は過剰症が発生しやすく、反対にシュンギク、ホウレンソウなどでは欠乏症が発生しやすいのです。

第7図 畑地における土壌pH、微生物活性とマンガン過剰、欠乏症の関係（模式図）

低地水田土や黄色土を念頭に作成。土壌中のマンガンの溶解性は土壌pHの影響が大きい。過湿、土壌消毒、過乾燥などで吸収を促進する。植物体中にケイ素が共存することで過剰症が軽減することもある。有機質資材の多量施用などで吸収抑制。



これは、先ほどの現地圃場から持ち帰った風乾土を容器に詰めて水分を調節し、オートクレーブで熱殺菌を行い、その後の交換性マンガンの変化を観察したものです。ここでは次の処理区を設け、殺菌処理の影響と微生物の働きを見ていきます。土壌を殺菌しないまま培養した場合（無処理）、殺菌して無菌状態を保った場合（殺菌処理）、殺菌してから未殺菌土壌を重さで1%加えて土壌微生物を回復させた場合（殺菌後回復）の3試験区です。

この土壌は生土の状態では交換性マンガンは1ppm程度でしたが、風乾処理により10ppm程度まで高まっていました。殺菌せずそのまま培養（静置）すると10日後にはほとんど消失することから、この土壌にマンガン酸化能があることが分かります。そして、土壌を殺菌して無菌状態を保つと、交換性マンガンは80ppm程度まで高まり、40日間低下させませんでした。コマツナであれば過剰障害が発生する水準です。これに対し、消毒後に未殺菌土壌を添加して土壌微生物を回復した試験区では、消毒10日後に交換性マンガンを60ppm程度まで増加しますが、その後は減少し、40日後には障害は出ない水準まで低下しました。この現象は土壌消毒により一時的に増加した交換性マンガンが、

表 土壌消毒処理後の交換性マンガンの変化

土壌pH	※微生物量	pH	腐植%	交換性マンガンの変化 (ppm)					
				直後	1週後	2週後	3週後	4週後	6週後
高い	高い	6.48	9.27	20	11	14	<1	<1	<1
高い	高い	6.72	9.48	19	11	10	6	<1	3
低い	高い	4.86	11.30	36	8	1	<1	<1	<1
低い	低い	4.93	2.56	48	55	73	47	60	53

※微生物量は土壌中のアデノシン三リン酸（ATP）量で判定

土壌微生物の回復に伴い不溶化したことを示しています。

第6図 熱殺菌後の交換性マンガンの変化

風乾土に水を加え、容器内にて闇条件で培養した。オートクレーブを用い120℃15分で滅菌。

