

微量要素

(1) 肥効の変動要因と診断

微量要素は作物にとってごくわずかしかなければならないが、呼吸、光合成、窒素代謝、植物ホルモンの生合成など植物の基本的諸代謝過程において、それぞれに重要な役割を演じている。作物体内にはさまざまな代謝反応に関与する酵素の活性作用基（構成原子）として、鉄、マンガン、亜鉛、モリブデン、銅などの微量要素が含まれている。また、構成原子として含まれていなくても、微量要素は酵素の活性化因子として、酵素活性に影響する。鉄、マンガン、亜鉛、銅などは葉緑素の生成に関与したり、葉緑素中に存在したりして光合成に重要な役割を果たしており、これらの要素の欠乏は葉のクロロシスをともなうことが多い。

微量要素は作物の要求量が非常に少ないので、堆肥などの有機物を連続して施用していれば（第1、2、3表）、量として微量要素が不足することはない。それにもかかわらず、微量要素欠乏症がしばしばみられるのは、土壌条件が微量要素の吸収を妨げているためである。とき

第1表 堆肥の養分含量

(橋元・石川)

	平均	最高	最低
水分	75.1	93.2	39.6
pH*	7.9	9.4	5.9
炭素	7.9	13.3	1.4
窒素	0.39	1.07	0.07
炭素率*	20.3	46.0	4.7
リン酸	0.19	0.57	0.03
カリ	0.70	2.22	0.09
石灰	0.45	1.49	0.08
苦土	0.13	0.49	0.02
ソ—ゲ	0.13	0.45	0.01
ケイ酸	4.5	16.4	0.01
マンガン**	248	600	41
ホウ素**	1.9	11.9	0.3

注 *印を除き現物当たりの%を示す
**印はppmを示す

には、線虫など病虫害による根系の障害が微量要素の吸収を妨げるばあいもある。

以下、微量要素の可給性および欠乏症、過剰症の発現に影響する諸要因について述べる。

①pH

pHが7を超えアルカリ性になると、重金属元素の溶解度は一般に減少する。鉄、マンガン、亜鉛、銅はアルカリ側で作物体の養分吸収が低下する（第1図）。モリブデンは酸性土壌で不可給化し、欠乏症は酸性土壌で出やすい。土壌pHが5以下の強酸性になると重金属の溶解度が増し、害作用を呈するようになる。

したがって、酸性土壌でのマンガン、亜鉛、銅などの重金属の過剰対策のひとつとして、石灰質資材の投入が行なわれる。このばあい、石灰の投入量が多すぎて土壌pHが上がりすぎると、マンガン、ホウ素などの欠乏症を生ずることもある。

しかし、土壌pHのちがいによる微量要素の可給性と現場での欠乏症の出かたは必ずしも一

第2表 わら類の養分含量

(橋元・石川)

	稲わら	麦わら	落葉
窒素	0.32	0.33	0.34
リン酸	0.18	0.12	0.15
カリ	0.73	0.51	0.74
石灰	0.34	0.26	0.47
苦土	0.09	0.08	0.11
ソ—ゲ	0.11	0.15	0.12
ケイ酸	5.6	3.6	3.5
マンガン	230	178	320
ホウ素	1.5	1.1	3.1
炭素率	6.2	6.1	7.5
炭素率	19.4	18.5	21.4

注 単位は第1表と同じ

第3表 有機質資材の微量要素含量

(藤沼)

	種類	分析点数	Mn	Fe	Zn	Cu	B	Mo
植資 物質材	油粕類	24	44	359	58	22	18	2
	農産物粕類	18	57	557	38	22	14	2
動資 物質材	干魚・魚粕	7		268	86	11		1
	荒粕	3		391	101	8		1
	骨粉	5		251	111	6		1
	鶏糞	35	395	3,649	300	35		4

注 乾物当たりppm

酸性					アルカリ性							
pH 強	中	弱	微	微	弱	中	強	pH				
4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10
鉄 (Fe)												
マンガン (Mn)												
ホウ素 (B)												
銅 (Cu)および亜鉛 (Zn)												
モリブデン (Mo)												

第1図 土壌の反応と微量要素の溶解利用度

致しない。ホウ素は土壌pHがアルカリ側で不可給態となるが、わが国のように降水量が多いと酸性域で溶脱量が多く、可給態ホウ素が不足するため、土壌pHが酸性に傾いたばあいにはホウ素欠乏症がみられることが知られている。

②土性

土の粘土含量の多少はホウ素の可給性に影響し、粘土含量の少ない砂質の土壌は粘質の土壌にくらべホウ素の吸着力が弱い。そのため、ホウ素は雨水により流亡しやすく、欠乏しやすい反面、過剰に施用されたばあいには過剰症を起こしやすい。マンガン、亜鉛などの可給性も土壌の粘土含量(土性)と関係している。

③有機物

易分解性の有機物が多量にあると土壌の還元化をすすめ、鉄やマンガンの可溶化を促す。極端な腐植質土壌や泥炭土壌ではマンガンや銅が固定され、作物に銅やマンガンの欠乏症があらわれることがある。

④酸化還元電位

いくつかの原子価をとりうる元素は、土壌中で酸化還元をうけて原子価が変わると、それにともない溶解度が変化する。鉄やマンガンは還元されて二価の鉄、二価のマンガンになると溶

解度を増すため、イネは畑作物にくらべてこれらの欠乏症は出にくい、過剰障害は出やすい。

⑤拮抗作用

微量要素間にも拮抗作用があり(第4表)、鉄とマンガンの拮抗はよく知られている。鉄が多いとマンガンの吸収がおさえられ、マンガンが多いと鉄の吸収がおさえられる。マンガン過剰による鉄欠乏のばあいには、鉄/マンガン比(Fe/Mn比)が問題とされることが多い。

また、銅、亜鉛などの重金属元素によって、鉄欠乏によるクロロシスが発生するのも相互の拮抗作用によるものである。重金属元素は錯結合性の強いものほど毒性が強く、鉄欠クロロシスを起こしやすい。その順位は銅>亜鉛>マンガンである。そのほか、ホウ素の吸収をカルシウム、カリウムがおさえ、鉄、マンガン、亜鉛、銅の吸収をカルシウムがおさえることが知られている。亜鉛欠乏対策として硫酸亜鉛を多量に施用したばあい、亜鉛との拮抗によりマンガン欠乏を起こすこともあるので、注意が必要である。

⑥物理性

有効土層が深く、土壌の物理性も良好であれば、作物の根系も大きく、微量要素欠乏も出にくい。しかし、降雨後、過湿圃場を耕うんし、練り状になった通気性不良な土壌で作物を栽培したばあい、根の伸長が悪くなり、微量要素の欠乏症が発生しやすい。気相が少なく、透水性不良で過湿状態になりやすい粘質圃場ではマンガン過剰症が出やすい。

⑦気象要因

微量要素の吸収および欠乏症の発現に影響する気象要因としては、温度、日射量、日長、降水量が考えられる。

直射光の当たらない日陰の木や枝は亜鉛欠乏をまぬかれる。また、短日条件下では亜鉛欠乏は隠ぺいされる。長日・多日照下で

第4表 微量要素の拮抗

元素名	吸収・移動を助ける無機成分	吸収をおさえる(拮抗する)無機成分
鉄 Fe		Ca(HCO ₃), P, Mn, Zn, Cu, Ni, Co, Cd
マンガン Mn	K, N	Ca, Cu, Fe, Zn, P, Mg
亜鉛 Zn		Ca, P, N, K, Mn
銅 Cu	K, Mn, Zn	Ca, N, Fe, P
ホウ素 B	(Ca)	Ca, N, K, Ca
モリブデン Mo	P, K	N(NH ₄ , NO ₃), SO ₄ , Ni, Fe, Mn, Ca, Mg
塩素 Cl		P

調査・分析項目の意味と診断

ホウ素欠乏が出やすい。降雨が少なく、干ばつの年にハクサイ、ダイコンのホウ素欠乏が発生しやすい。

温度も微量元素の吸収に影響し、鉄、マンガンなどは低温下では吸収が低下する。

最近の施設栽培では、土壌塩基、有効リン酸の富化が著しく進行し、塩基やリン酸の過剰が問題となっている。施設土壌にかぎらず、露地野菜畑や樹園地でも同じ傾向を示しており、今後ますます微量元素の欠乏が問題になるものと思われる。外観で欠乏症が認められないばあいでも生育・収量が低下する潜在性欠乏土壌の増加が懸念される。

微量元素は前述のように、根からの吸収阻害や欠乏症、過剰症の発生が、土壌条件、環境条件に左右されるため、土壌診断のほかこれ以外のいくつかの診断法を組み合わせる総合的に診断すべきである。

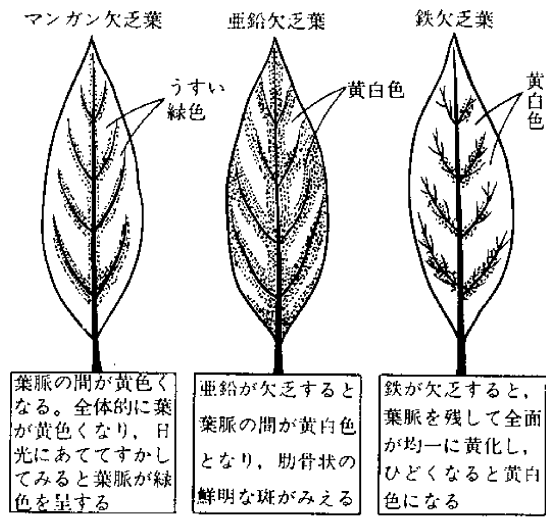
微量元素欠乏対策として最も大切なことは、欠乏症の発生が何に原因しているかを明らかにすることである。微量元素含量が不足しているばあいには微量元素資材を土壌施用する必要がある。しかし量として不足しているのではなく、微量元素の吸収を妨げる土壌条件によることが多いので、微量元素欠乏の対策は、応急対策として葉面散布を実施し、つづいて欠乏症をまねいたと思われる土壌条件の改良を実施する。そのうえで、必要に応じて、適量の微量元素を施用する方法が、適切な微量元素欠乏対策である。また、微量元素の過剰対策としても、原因となっている土壌条件を改良することが大切である。

(2) 欠乏症、過剰症の診断法

作物の微量元素の栄養状態を知るための一般的指標としては、①作物の外観症状、②土壌養分の分析、③作物の養分分析がおもなものであるが、要素欠乏の診断法としては、④養分施用反応による方法、⑤生化学診断法、⑥指標作物検定法（幼植物検定法）、などがある。

①外観による診断

鉄は体内の移行性が小さいため、欠乏すると



第2図 果樹葉の類似した微量元素欠乏症

(前田)

新葉が黄白化（クロロシス）する。ホウ素は明らかな黄化を呈さず、欠乏症状は新葉や生長点付近にあらわれ、組織の壊死をひき起こす。

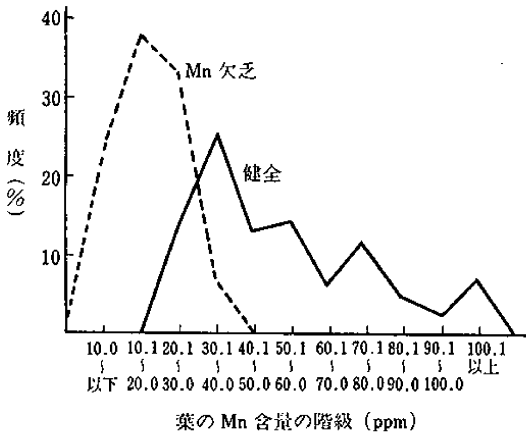
マンガン、亜鉛、銅、モリブデンの欠乏症の特徴を記述することはむずかしい。黄化や種々の褐変現象をとまなうし症状が他の欠乏症と類似しているため、原因を特定することが困難なことも多い（第2図）。

現地ではいくつかの要素欠乏の合併症状があらわれていることが多く、またマンガンのように欠乏症と過剰症が類似した症状を示すばあいもみられる。このような症状は作物の種類、気象条件、土壌条件あるいは作物の生育時期によって異なることも多く、症状からの診断をむずかしくしている。

また、微量元素の欠乏症および過剰症とまぎらわしい病虫害その他が原因する類似症状も圃場ではよくみられ、症状からの診断をいっそう困難にしている（抗生物質農薬による新葉の黄化、ウイルスによる黄化症状、マイコプラズマ様微生物による心止まり症状は、微量元素の欠乏症状と酷似している）。

②土壌養分分析

これは、作物に吸収されやすい可給態養分が土壌に充分あるか不足しているかを知るための分析である。微量元素については可給態とは何

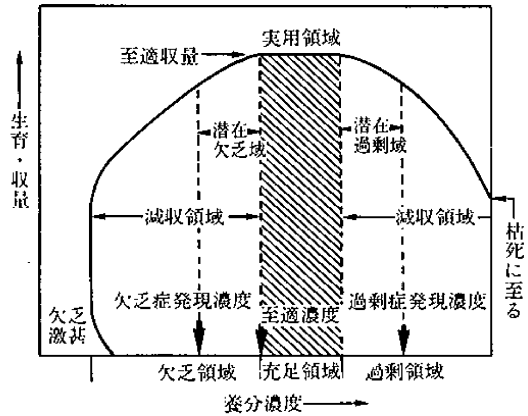


第3図 カンキツの健全葉とマンガン欠乏葉のマンガン含量の分布 (佐藤)

かとか、欠乏限界濃度、有害性指標については、作物の種類・品種間差が大きく、その他気象要因などによっても左右されるため、本質的には未解明である。これに関するデータも集積されつつあり、あるていどの診断には役だつものと思われる。土壌分析値から診断するには、土壌の種類、気象条件、下層土の性質や形状、作土の理化学性や厚さ、栽培作物や前作作物の種類などを考慮する必要がある。

③作物の養分分析

養分分析は、作物の微量要素の栄養状態を知るうえで最も信頼性が高いが、分析試料の採取時期、採取部位などは未解決のところもある。作物の種類により、微量要素の欠乏限界、有害濃度が異なり、欠乏葉と健全葉の養分濃度が重なる部分もあり(第3図)、限界量といっても欠乏(あるいは過剰)と正常をきっぱり分けるものではない。限界量は養分個々の濃度が基準



第4図 作物の養分濃度と生育収量の関係を示す模式図 (チャップマン, 1967, 一部修正)

になるばあいも多いが、2種の養分の比(例; Ca/B比など)が問題とされることもある。

作物の微量要素の養分濃度と生育・収量の関係を第4図に示す。最大収量(至適収量)の5~10%減の含量を限界量とする考え方と、最大収量を示す至適濃度を限界量とする考え方のふたつがある。作物に外観上、欠乏症や過剰症が認められなくても生育・収量が低下する潜在欠乏域、潜在過剰域が認められる。

野菜畑土壌、施設土壌では塩基および有効リン酸の富化が著しくすすんでいることから、現場においてマンガンなどの微量要素の潜在的欠乏がかなりあるものと思われる。この潜在欠乏域の診断には土壌分析あるいは葉分析の結果だけでは不十分で、養分施用法などほかの診断法を併用して総合的に判断すべきである。

④養分施用法

欠乏していると思われる養分を施用して、そ

第5表 微量要素欠乏症対策に用いる化学薬品の特徴と施用基準量 (長谷川)

成分名	化学薬品名	化学式	成分含有率	葉面散布	土壌施用
鉄	硫酸第二鉄	$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 7H_2O$	20%	0.2~1.0% 50 l/10a	5~8kg/10a
マンガン	硫酸マンガン	$MnSO_4 \cdot 4H_2O$	23~28	0.3% 50 l/10a	10~15kg/10a
モリブデン	モリブデン酸アンモン	$(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 2H_2O$	54	0.01% 90 l/10a	30~60g/10a
銅	硫酸銅	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	25	0.2~0.4% 100 l/10a	2~4kg/10a
亜鉛	硫酸亜鉛	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	22	0.5% 100 l/10a	1~2kg/10a
ホウ素	ホウ酸	H_3BO_3	17	0.3% 18 l/10a	300~1,000 g/10a

注 1. 土壌施用のばあいCECの低い砂質土壌では施用量を少なくする
 2. 微量要素の葉面散布濃度、土壌施用量は作物の種類、生育時期によって異なる
 3. 硫酸マンガン、硫酸銅、硫酸亜鉛、ホウ酸を葉面散布するときは生石灰を0.2~0.3%加用する
 4. 葉面散布するときは強風、高温、強日射時をさける。高温時には散布濃度をうすくする

調査・分析項目の意味と診断

れに作物がどのように反応するかによって診断する方法で、はっきりした基準になるものと思われる。微量要素の分析は高度の分析機器、技術が必要であるが、この方法は分析機器も必要とせず、現場でも容易に診断できる。

第一は、欠乏していると思われる要素を土壤に直接施用して作物の反応をみる方法で、ホウ素、モリブデンなどはこれらの養分のうちのひとつが不足しているばあいには速やかに欠乏症が回復する。しかし、マンガン、銅、鉄などでは、これらのうちひとつが不足している養分を土壤に施しても、それほど効果を示さないことも多い。それは根に届いて作物に吸収される前に大部分が土壤に固定され不可給態となるためである。

現場の圃場では、一般に微量要素の欠乏が単独で起こることは少なく、合併症として起こることが多い。このばあいは単一の養分の施用では効果は少なく、欠乏しているすべての養分を同時に施用してはじめて効果があらわれる。そ

のばあいには総合微量要素剤を土壤施用して作物の反応をみればよい。

第二は、直接作物に施用する方法で、葉や若枝に直接散布したり、葉面に塗布したり、幹に穴をあけて直接注入したり（果樹）、切り取った若枝の端を溶液に浸して樹体に注入したりする方法などが考えられる。この直接施用法は結果が早く得られ、きわめて効果的である。この方法は土壤の固定能が強く、根が養分を速やかに吸収するのを妨げるようなばあいに有効である。

マンガン、鉄、銅、亜鉛などは展着剤を加用した0.2~0.5%の硫酸塩溶液（第5表）が用いられている。しかし、現場では微量要素すべてが含まれている総合微量要素剤を用いることが望ましい。作物の反応を観察し、無施用のものに比較して欠乏症がなおり、生育も収量もともによくなれば、微量要素のうちの何か欠乏していることがわかる。それから疑わしい養分を施してどの養分が欠乏しているかを確かめれば

第6表 鉄欠乏に対する作物の種類別耐性

(MORTVEDT, 一部修正)

鉄欠乏に弱い作物	鉄欠乏にやや強い作物	鉄欠乏に強い作物
ミカン、ナシ、インゲン、アマ、サトウキビ、ブドウ、ハッカ、ラッカセイ、ダイズ、ハイドランジア、ペチュニア、プリムラ、スーダングラス、クルミ、クちなシ、アジサイ、ツツジ、バラ、陸稲、チャ	アルファルファ、オオムギ、トウモロコシ、ワタ、エンドウ、エンバク、オーチャードグラス、イネ、ダイズ、コムギ、イチゴ、ナス、トマト、ウリ類	ソルガム、ジャガイモ、テンサイ、キャベツ、ハクサイ、カブ、ホウレンソウ

第7表 マンガン欠乏に対する作物の種類別耐性

マンガン欠乏に弱い作物	マンガン欠乏にやや弱い作物	マンガン欠乏に強い作物
アルファルファ、カキ、ミカン、エンバク、タマネギ、サツマイモ、ジャガイモ、ダイズ、テンサイ、ラッカセイ、コムギ、ホウレンソウ	オオムギ、トウモロコシ、ワタ、インゲン、イネ、ライムギ、ダイズ、コムギ、ブドウ、ナス、トマト、キュウリ	キャベツ、カブ

第8表 モリブデン欠乏に対する作物の種類別耐性

モリブデン欠乏に弱い作物	モリブデン欠乏にやや弱い作物	モリブデン欠乏に強い作物
アルファルファ、クローバ、カウビー、インゲン、エンドウ、ダイズ、ポインセチア、カリフラワー、レタス	テンサイ、トマト、ダイコン、キャベツ、ホウレンソウ、カンキツ類	トウモロコシ、ワタ、アマ、エンバク、イネ、コムギ

第9表 亜鉛欠乏に対する種類別耐性

亜鉛欠乏に弱い作物	亜鉛欠乏にやや強い作物	亜鉛欠乏に強い作物
インゲン、ダイズ、トウモロコシ、エンバク、イネ、ホップ、ブドウ、アマ、ヒマ、カンキツ類、コンニャク	ジャガイモ、トマト、キャベツ、キュウリ、カブ、タマネギ、ラッキョウ、サツマイモ、アルファルファ、ソルガム、テンサイ、スーダングラス、ホクローバ、コムギ、リンゴ、モモ、ナシ	エンドウ、アスパラガス、カラシ、ニンジン、スイートピー、ナス

よい。

直接施用は微量要素の潜在的欠乏の有無も検定することができ、現場では有効な方法である。

⑤生化学的診断法

栄養障害にともなう生ずる生化学的変化をとらえて診断の指標にしようとする方法であるが、まだあまり実用化されておらず、現場での

第10表 ホウ素欠乏に対する作物の種類別耐性

ホウ素欠乏に弱い作物	ホウ素欠乏にやや弱い作物	ホウ素欠乏に強い作物
ハクサイ、ダイコン、カブ、テンサイ、アルファルファー、セルリー、カーネーション、トマト、アスパラガス、ミカン、ブドウ、	タバコ、レタス、タマネギ、ニンジン、サツマイモ、モモ、ナシ、パセリ、カボチャ、キュウリ、スイカ、リンゴ、ソバ、ナス、ピーマン、ラッカセイ	ムギ類、イネ、トウモロコシ、イチゴ、エンドウ、ダイズ、シュンギク

第11表 銅欠乏に対する作物の耐性

(田中、一部修正)

銅欠乏に弱い作物	銅欠乏にやや弱い作物	銅欠乏に強い作物
テンサイ、アズキ、オオムギ、ライムギ、レタス、トウガラシ、ジャガイモ、シュンギク、カンキツ類、スイートピー	エンバク、コムギ、トウモロコシ、トマト、ケール、タマネギ、リンゴ	イネ、ダイズ、キャベツ、ニンジン、エンドウ、ハクサイ

第12表 マンガン過剰に対する抵抗性と作物の種類

敏感なもの	やや敏感なもの	強いもの	非常に強いもの
カラシナ、タイナ、インゲン、スイートクローバ、ルーサン、キュウリ、キャベツ、ミズナ、カブ、キンセンカ、ストック、キンギョソウ、ミカン	オオムギ、ジャガイモ、ダイズ、トマト、ナス、セルリー、ルタバガ、カラシナ、ダイコン、ニンジン、カリフラワー、レタス、ホウレンソウ、イチゴ、スイカ、メロン、ハクサイ	テンサイ、エンバク、コムギ、ライムギ、イネ、シソ、ラッカセイ、トウモロコシ、ミツバ、ハツカダイコン、ネギ、トウガラシ、カーネーション、バラ、ポインセチア	チャ、ツバキ、エンドウ、ソラマメ、ヒエ

診断法としては適用できない。

微量要素の欠乏にともなう代謝産物集積については、モリブデン欠乏による硝酸態窒素の集積、銅欠乏によるプラストシアニンの欠如、鉄欠乏によるアルギニンの集積などが知られている。その他、養分欠乏にともなう酵素活性の変化も生化学診断法の指標とされる。

⑥指標作物検定法(幼植物検定法)

微量要素の欠乏症は特定の作物に発生しやすい特徴があることから、微量要素の欠乏に敏感な指標作物を現場土壌を用いて栽培し、その反応から診断する方法である。反対に、過剰に敏

第13表 亜鉛過剰に対する抵抗性と作物の種類

敏感なもの	やや敏感なもの	強いもの
ホウレンソウ、インゲン、イチゴ、ダイコン、ナス、ダイズ、エンドウ、トウガラシ、レタス、ハッカ、ダイコン	トマト、ピーマン、テンサイ、ソラマメ、キャベツ、ジャガイモ、キュウリ、コンニャク、ニンジン、カブ、キク	サツマイモ、タマネギ、セルリー、ミツバ、ネギ、イネ、コムギ、エンバク、トウモロコシ、果樹、ツバキ

第14表 ホウ素過剰に対する抵抗性と作物の種類

非常に敏感なもの	敏感なもの	強いもの	非常に強いもの
ササゲ、キュウリ、インゲン、ダイズ、カボチャ、ムギ類、イチゴ、イネ、キク、カンキツ類	セルリー、メロン、エンドウ、ジャガイモ、ゴボウ、リンゴ、ブドウ、バラ、ニンジン、スイカ、ナス、トウモロコシ、ネギ	キャベツ、ダイコン、ホウレンソウ、サツマイモ、タマネギ、レタス、オクラ、コショウ、ケール、ピーマン、シュンギク、マスクメロン	テンサイ、カブ、カリフラワー、トマト、ハクサイ、カーネーション

第15表 銅過剰に対する抵抗性と作物の種類

敏感なもの	やや敏感なもの	強いもの
トマト、ジャガイモ、レタス、ハクサイ、キャベツ、トウガラシ、カブ、ミツバ、ホウレンソウ	セルリー、ニンジン、テンサイ、トウモロコシ、アズキ、タマネギ、ネギ、ハツカダイコン、インゲン、キュウリ、ナス、トウガラシ、スイカ	イネ、エンドウ、エンバク、コムギ、シュンギク、ダイズ、果樹

感な作物を指標作物として、微量元素の過剰の有無を診断することも可能である(第6~15表)。鉄欠乏、亜鉛欠乏土壌にはインゲンを、マンガン欠乏土壌にはダイズを指標作物として利用できる。ホウ素過剰やマンガン過剰土壌にはインゲン、キュウリを指標作物として利用できる。銅の過剰のばあいはダイコン種子の発根状況から判断する。根の伸長が阻害され、根がわい曲状となれば銅過剰の可能性は大きい。

栄養診断は、①外観による観察、②土壌養分の分析、③作物の養分分析、および④養分施用法、⑤生化学的診断法、⑥指標作物検定法のうちどれかひとつで行なうものではなく、いくつか実施して判断基準を多くしたほうがよい。現場で①、④および⑥は比較的容易に実施できるが、これだけで、診断をくだせないときは分析機器をもつ関係研究機関へ土壌分析、作物体の微量元素の分析を依頼すればよい。そのさいは異常を示す作物体と土壌のほか、正常に生育している作物体と土壌も同時に持参すべきである。

執筆 加藤俊博(愛知県農業総合試験場)

引用文献

- CHAPMAN, H. D. 1966. Diagnostic Criteria for Plants and soil. Univ. California.
 伊達昇編. 1982. 新版肥料便覧. 農文協.
 EPSTEIN, E. 1971. Effect of Soil temperature on mineral element composition and morphology of the potato plant. Agron.J., 63, 664—666.

- 藤沼善亮. 1969. 微量元素の施用とその過剰害, 農及園. 44, 1201—1204.
 長谷川奎治. 1982. 施肥の基礎と応用. 農文協.
 HEWITT, E. J. and T. A. S. 1975. Plant Mineral Nutrition. English Univ. Press.
 JONES, J. B. Jr. 1970. Soil and plant analysis as methods for diagnosing micronutrient deficiencies. Soil Sci. Plant Anal. 1, 263—272.
 MORTVEDT, J. J. P.M.GIORDANO and W.L.LINDASY. 1972. Micronutrient in Agriculture. Soil Sci. Amer. Inc.
 日本土壌肥料学会編. 1984. 作物の栄養診断—理論と応用. 博友社.
 佐藤公一ら. 1956. 果樹葉分析に関する研究(第13報) 柑橘の苦土, マンガン, 亜鉛欠乏樹の葉分析. 農技研報. E 5, 1—28.
 渋谷政夫ら. 1978. 重金属測定法. 博友社.
 高橋英一ら. 1980. 作物の要素欠乏・過剰症. 農文協.
 高野利康ら. 1961. そ菜類に対する微量元素の葉面散布時期と効果. 農業技術. 16, 311—315.
 田中明. 1975. 重金属適応性の作物種間差(第1報) マンガン適応性. 土肥学雑. 46(10), 425—436.
 ———ら. 1975. 同上(第2報) 亜鉛適応性. 同誌. 46(10), 431—436.
 田中啓文. 1970. ほう素要求における作物間差異の解析. 同誌. 41, 27—30.
 茅野充男. 1977. 植物の栄養診断. 植物の化学調節. 12(2), 90—94.
 WALSH, L.M., and J.D.BEATON. 1973. Soil Testing and Plant Analysis. Soil Sci. Soc. Amer. Inc.
 山内益夫. 1976. ホウ素適応性の作物種間差. 土肥学雑. 47(6), 281—286.