マンガンおよびカルシウムの施用濃度と 温州ミカンの異常落葉

神吉 久遠・矢島 邦康
(長崎県総合農林センター果樹部)

Effect of manganese and calcium in sand culture on the
occurrence of "Abnormal defoliation" of Satsuma orange

Hisato KANKI and Kuniyasu YAJIMA

Division of Fruit Tree, Nagasaki Agricultural and Forestry
Experiment Station, Omura, Nagasaki

Summary

So called "Abnormal defoliation" of Satsuma orange was studied by sand culture method under the different levels of manganese and calcium in the nutrient solution.

The growth of young tree correlated negatively to the concentration of manganese. In these cases, it appeared that the inhibition of growth going to remarkable as the concentration of calcium become lower.

When the concentration of manganese more increased, the more roots fall into decay, and the brown spots and chlorosis were observed in leaves. At the same time, the negative correlation was found between the concentration of calcium and the occurrence of these symptoms.

In the plant body, it was observed that the ma-

nganese content in fibrous roots and leaves become higher than the other parts, it seemed to accumulate in fibrous roots.

Manganese content in plant correlated with the concentration of manganese in nutrient solution. It seemed that the absorption of manganese was carried independently of the needs of plant life.

When the high level of manganese in nutrient solution, the manganese content in plant correlated negatively with the concentration of calcium in nutrient solution.

From the results mentioned above, it was concluded that the "Abnormal defoliation" of Satsuma orange may be due to the excessive absorption of manganese. And it is affected by the concentration of soluble manganese in the culture media.

I. 緒 言

筆者らはさきに行なつた現地調査の結果から、温州ミカンのいわゆる異常落葉はおもにマンガンの過剰吸収によつておこり、その原因が土壌の酸性化に伴うマンガンの可給化、とくに水溶性マンガンの増加にあると考えた⁽⁹⁾。ところで、この異常落葉におけるような高濃度の状態での、培地中のマンガンとカンキツのマンガン吸収、あるいはマンガン過剰症の発現については、オレンジ、レモンなどで若干の報告^(5,13,14)があるが、温州ミカンではまったくみられない。また、植物のマンガン吸収、あるいはマンガン過剰症の発現については、たんにマンガンだけではなく他の要素、たとえばカルシウム、マグネシウム^(10,16)、鉄^(11,13)、リン^(1,11)などの影響も認められている。このうち、カルシウム栄養の影響につい

ては、研究者により、また、植物の種類によつて、相反するような結果が得られている^(10,11,16)。

以上のようなことから、温州ミカンの幼木に対するマンガンおよびカルシウムの影響を砂耕試験によつて調べたので、その結果を報告する。

本研究を行なうにあたり、指導と助言をいただいた当果樹部前部長浜口克己氏に深く感謝の意を表する。なお、本研究の一部は農林省総合助成試験研究費によるものである。

II. 試験方法

1962年4月、1/2000 a ワグナーポットにカラタチ台林系温州の一年苗を植え付け、ガラス室内において管理した。

処理は Mn について 0.5, 50, 100 ppm, Ca について 10, 50, 100 ppm を組み合わせた 18 区で 1 区に 4 鉢を用いた。

培養液の組成は $\text{NH}_4\text{-N}$ 35 ppm, $\text{NO}_3\text{-N}$ 105 ppm,

本論文の要旨は昭和 39 年園芸学会秋季大会において発表

1968 年 10 月 31 日受理

P 15 ppm, K 117 ppm, Mg 36 ppm で微量要素は Hoagland らの方法にしたがつて添加した。

培養液の pH は毎日 3.8 に調整し、1 日 2 回灌注し、1 週間ごとに更新を行なつた。なお、培養液の調製には水道水を用いた。

1963 年 3 月に抜き取り、調査と分析を行なつた。分析の方法は、それぞれ常法にしたがつたが、キレート滴定によるカルシウムとマグネシウムの定量にさいしては、過剰のマンガンの妨害をさけるため、硫化ナトリウムによる前処理を行なつた。

III. 成 績

生 育 植物体各部の重量は培養液中のマンガン濃度が高いほど小さい。カルシウムの生育に対する影響はマンガンの施用濃度が高い場合に著しく、マンガンの施用濃度が低い場合にはカルシウムの影響はほとんどみられない (第 1 表)。

マンガンの生育に対する影響は細根、夏秋梢など樹の末端部において大きく、幹根、主幹など樹の中心部においては小さい。

症 状 地下部について処理の影響の最も著しいのは細根の腐敗であり、細根の腐敗はマンガンの施用濃度が高いほど激しい。細根の腐敗に対するカルシウムの影響はマンガンの施用濃度が高い場合に明らかで、Ca 10-Mn 100 ppm 区ではほとんど全部の細根が腐敗していた (第 1 図)。なお、細根の腐敗の激しい区では新根の発生もよくない。

地上部にあらわれた処理の影響のうち著しいのは落葉とクロロシスの発生である。これらの症状は細根の腐敗と並行しており、マンガンの施用濃度が高いほど、また、カルシウムの施用濃度が低いほど激しい。

温州ミカンのいわゆる異常落葉に特有な“褐色斑点”と“赤褐色斑点”に類似する斑点は冬季、春葉に多く発生した (第 2, 3 図)。これらの斑点はマンガンの施用

Ca 100 ppm 系列左から Mn 0.5, 50, 100 ppm

Ca 50 ppm 系列左から Mn 0.5, 50, 100 ppm

Ca 10 ppm 系列左から Mn 0.5, 50, 100 ppm

第 1 図 マンガンおよびカルシウムの施用濃度と根の状態

第 1 表 マンガンおよびカルシウムの施用濃度と植物体各部の重量 (株当, 乾物重 g)

施用濃度		地 下 部					主幹	枝				葉				合計
Ca	Mn	細根	中根	太根	幹根	計		春枝	夏枝	秋枝	計	春葉	夏葉	秋葉	計	
ppm	ppm															
100	0.5	43	7	32	54	136	41	32	28	27	87	27	53	57	137	401
	50	51	5	27	44	127	38	26	21	29	76	22	40	48	110	351
	100	27	6	15	45	93	33	22	11	14	47	26	43	9	78	251
50	0.5	41	7	23	46	117	37	25	20	30	75	20	42	57	119	348
	50	39	9	24	50	122	37	23	20	19	62	25	48	36	109	330
	100	21	5	19	43	88	32	19	19	—	38	24	30	—	54	212
10	0.5	43	9	24	49	125	34	30	24	84	138	26	50	55	131	428
	50	26	6	21	45	98	31	11	10	3	24	31	25	—	56	209
	100	8	3	19	42	72	29	9	9	—	18	6	1	—	7	126

第2図 “褐色斑点”に類似の斑点

濃度が高いほど、また、カルシウムの施用濃度が低いほど発生が多い(第2表)。なお、クロロシスのはなはだしい葉に“赤褐色斑点”に類似した斑点の発生している例がかなりみられた(第4図)。

マンガン含量 植物体のマンガン含量はマンガンの施用濃度と密接な関係が認められる。また、マンガンの施用濃度が高い場合には、カルシウムの施用濃度とも

第3図 “赤褐色斑点”に類似の斑点

ある程度の関連がみられる(第3表)。なお、植物体のマンガン含量は各部分によつて異なり、細根および葉のように末端の部分では高く、幹根、主幹のような中心部では低い。

マンガン以外の成分については葉中のカリ、カルシウム、マグネシウムなど塩基成分の含量についてカルシウムの施用濃度の影響がみられるがそれほど顕著なものではない。また、これらの要素に対するマンガンの施用濃

第2表 マンガンおよびカルシウムの施用濃度と各種症状の発現

施用濃度		細根 ^{a)} の腐敗	新根 ^{b)} の発生	クロロシスの程度 ^{c)}			斑 点 葉 の 割 合 (%)						落葉率
Ca	Mn			春 葉	夏 葉	秋 葉	着 生 葉				落 葉	合 計	
							春 葉	夏 葉	秋 葉	計			
ppm	ppm												
100	0.5	1.5	1.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.9
	50	0.6	3.3	0.5	0.5	1.5	20.5	9.4	3.5	10.3	17.1	10.8	6.1
	100	6.0	0.8	0.5	2.7	4.0	11.3	3.8	6.6	6.9	5.2	6.7	9.2
50	0.5	2.1	1.3	0	0	0	0	0	0	0	8.0	0.3	4.0
	50	1.7	1.5	0.5	2.5	3.5	19.2	15.9	8.0	14.7	6.7	14.1	7.5
	100	7.7	0.5	0.5	4.0	—	24.6	6.4	0	15.2	2.3	12.9	24.9
10	0.5	0.8	2.0	0.5	1.0	2.0	0	0	0	0	6.0	0.4	7.5
	50	5.0	0.1	1.5	4.0	—	16.6	8.8	0	12.7	9.9	12.1	22.4
	100	10.0	0	2.0	4.0	—	16.3	5.0	0	14.7	23.6	16.9	37.6

a) 10…全部の根が変色し、表皮が腐敗、5…約1/2の根が変色し表皮が腐敗、0…健全

b) 0…全くなし、1…僅かにあり、5…良好

c) 4…葉脈のみを残して黄化、2…葉面全体がやや黄化、0…健全

第3表 マンガンおよびカルシウムの施用濃度と植物体各部のマンガン含量(対乾物 ppm)

施用濃度		細 根	中 根	太 根	幹 根	主 幹	春 枝	夏 枝	秋 枝	春 葉		夏 葉		秋 葉	
Ca	Mn									健全葉	斑点葉	健全葉	斑点葉	健全葉	斑点葉
ppm	ppm														
100	0.5	1,710	87	85	23	20	38	24	25	37	—	42	—	32	—
	50	17,525	943	355	317	312	390	426	416	469	467	648	662	604	712
	100	15,350	1,265	974	684	783	914	1,164	970	1,242	1,322	1,692	1,632	1,906	1,648
50	0.5	2,355	76	41	30	23	32	34	32	36	—	43	—	37	—
	50	16,625	858	501	409	467	520	533	524	491	504	685	699	703	711
	100	13,775	1,755	1,096	831	1,107	1,260	1,486	—	1,180	1,078	1,728	2,024	—	—
10	0.5	2,730	87	52	32	44	34	46	46	45	—	41	—	31	—
	50	17,800	1,413	781	604	801	750	727	—	638	624	932	1,026	—	—
	100	2,325	3,250	1,270	1,008	1,052	1,202	1,436	—	1,058	709	2,024	—	—	—

第4表 マンガンおよびカルシウムの施用濃度と葉分析値

濃度	用度	N			P			K			Ca			Mg			Mn			Fe			
		Ca	Mg	春葉	夏葉	秋葉	春葉	夏葉	秋葉	春葉	夏葉	秋葉	春葉	夏葉	秋葉	春葉	夏葉	秋葉	春葉	夏葉	秋葉		
100	ppm	0.53	82.3	22.2	95.0	197.0	203.0	170.1	44.1	71.1	71.1	0.30	0.79	0.74	0.15	0.26	0.16	37	42	32	202	237	247
		50.3	85.3	16.3	38.0	209.0	201.0	150.1	17.1	41.1	57.0	0.89	0.80	0.78	0.16	0.14	0.18	468	648	608	204	170	189
		100.3	51.2	89.3	58.0	201.0	187.0	220.0	98.1	38.1	93.0	0.88	0.96	0.62	0.18	0.16	0.17	1,250	1,688	1,354	239	222	170
50		0.54	0.63	5.63	28.0	197.0	199.0	173.1	52.1	66.1	75.0	0.87	0.52	0.61	0.17	0.18	0.19	36	43	37	222	234	204
		50.3	86.3	68.3	85.0	194.0	208.0	222.1	26.1	50.2	17.0	0.82	0.80	0.63	0.19	0.18	0.20	496	687	703	289	247	216
		100.3	48.3	15.1	—	197.0	222.1	—	1.38	1.72	—	0.63	0.53	—	0.25	0.28	—	1,149	1,752	—	296	180	—
10		0.53	92.3	15.2	82.0	168.0	188.0	173.1	63.1	92.2	0.50	0.56	0.39	0.30	0.25	0.29	0.29	45	41	31	261	217	185
		50.4	22.4	7.0	—	199.0	245.1	—	1.36	1.96	—	0.51	0.48	—	0.29	0.15	—	636	941	—	254	247	—
		100.2	55.2	6.0	—	170.0	242.1	—	1.31	2.00	—	0.58	—	—	0.29	—	—	965	2,024	—	204	—	—

第4図 クロロシ葉に発生した“赤褐色斑点”に類似の斑点

度の影響も明らかではない。なお、葉中の鉄含量についても各区の間に大きい差はみとめられない(第4表)。

IV. 考 察

カンキツの銅、亜鉛、鉄、マンガンなど重金属イオンの吸収について SMITH⁽¹²⁾はスィートオレンジの実生で、生きている根と死んだ根における吸収速度や吸収量に差のないことから、これらの重金属イオンの吸収は生活作用以外の過程によって行なわれるとしている。

本実験においては、培養液中のマンガン濃度が高くなるほど植物体のマンガン含量も高まり、それに伴って細根の腐敗、生育の障害が激しくなった。このようなことから、カンキツのマンガン吸収は生活作用にあまり関係のない機作によって、植物の生理作用を阻害し、また、組織の壊死をまねくにいたるまで続けられるのではないかと考えられる。もちろん、このような受動的な吸収だけではなく、土器屋⁽⁴⁾がイネ、オオムギについて明らかにしたように呼吸の関与する吸収の可能性もある。しかし、温州ミカンのいわゆる異常落葉におけるように、培地中のマンガン濃度がかなり長い期間にわたって高い状態にあつたとみられる場合には、生活作用によらないマンガンの吸収がより大きく関与しているようにも思わ

れる。

マンガンの過剰吸収がカンキツの根の發育を阻害することは、すでに SMITH ら⁽¹⁴⁾も認めているが、さらに細根の腐敗をまねくことが本実験で明らかになった。いわゆる異常落葉においては、根の腐敗がその特徴的な症状の一つにあげられているが、この結果から、その原因がマンガンの過剰吸収にあるとも考えられる。しかし根の腐敗には、これ以外にも多くの原因が考えられ、また、異常落葉の発生が多かつた 1960 年ごろ、細根の分析を行なつた例はほとんどなく、異常落葉園における細根の腐敗の原因をマンガンの過剰吸収だけに帰することはむづかしい。

植物が鉄以外の重金属イオンの吸収によつて鉄クロロシスをおこすことはよく知られており、カンキツについてもマンガンの過剰吸収によつて鉄クロロシスをおこした例が報告されている⁽¹³⁾。本実験においてマンガンの施用濃度の高い区に発生したクロロシスは、その症状から鉄クロロシスとみられた。しかし、葉分析の結果はクロロシスの発生が多い区において鉄含量が低いという傾向は認められない。このことについて CHAPMAN ら⁽²⁾はクロロシス植物の鉄含量が健全植物と同等に高かつたという報告の多いことを指摘している。また、最近、茅野ら⁽³⁾はアルファルファについて、マンガンの過剰吸収によつておこるクロロシスはマンガン誘導クロロシスであつて鉄クロロシスではない可能性が多いと述べている。なお、マンガンの過剰吸収によつておこるクロロシスの原因には諸説があり、本実験におけるクロロシスがそのいずれによるかは明らかではない。異常落葉園においてはこのようなクロロシスの発生は少なく、また症状もこれとはいくらか異なるようである(第5図)。

落葉はいわゆる異常落葉の最も大きな特徴とされ、異常落葉の名もここに由来している。しかし、落葉についても細根の腐敗と同様に各種の原因が考えられ、さらに

第5図 “異常落葉” 樹の葉に発生したクロロシスと“赤褐色斑点”

は細根の腐敗そのことが落葉の大きな原因ともなりうる。

以上のような症状にくらべて、葉に発生する褐色の斑点は本実験の結果のほか、それがマンガン含量の高い葉に発生すること⁽⁶⁾、斑点の部分が他の部分にくらべてマンガン含量が高いこと⁽⁷⁾、あるいはマンガン塩の希薄溶液の葉面散布⁽⁷⁾、濃厚溶液の葉面塗布⁽⁸⁾などによつて発現することなどから最も初期的なマンガン過剰症と考えられる。カンキツでマンガンの過剰吸収によつてこのような褐色斑点の発生することはパレンシアオレンジ、グレープフルーツなどについての HASS⁽⁵⁾の報告中にみられ、また SMITH⁽¹³⁾はマンガンの過剰吸収によつて黄褐色の斑点の発生したことを報告している。

マンガンの吸収、あるいは過剰症の発現に対するカルシウムの影響については、前記のように研究者や植物の種類によつて異なつた結果が報告されている。たとえば、MORRIS ら⁽¹¹⁾はウマゴヤシについて培養液中のカルシウム濃度の増加はマンガンの毒性を軽減せず、むしろ高濃度のカルシウムによつてマンガンの毒性がよくなる傾向がみられたと述べている。しかし、WILLIAMS ら⁽¹⁶⁾はオオムギについてカルシウムはマンガンに対して拮抗作用があり、カルシウムの増施は葉中のマンガン含量を低下せたと報告している。また、LÖHNI⁽¹⁰⁾はインゲン、ウマゴヤシ、アブラナについてはカルシウムの施用濃度の低下はマンガン吸収の増加、あるいは被害の激化をまねいたが、マンゴールド (mangold) では影響がなく、アマではカルシウムの施用濃度の低下によつてマンガンの吸収が減少したと述べている。本実験の結果ではマンガンの施用濃度の高い場合にマンガンの吸収、あるいは害作用の発現に対するカルシウムの抑制効果が認められる。なお、細根および春葉のマンガン含量において、一部にこれとは逆の傾向がみられるが、これはカルシウム

の施用濃度が低くなるにしたがつて細根の腐敗と春葉の落葉が激しくなり、分析値がほんらいの(症状発現前)の含量を示さなくなるためと考えられる。以上のように、本実験においては一部をのぞいてマンガンの吸収、害作用の発現に対するカルシウムの抑制効果が認められる。しかし、これは葉中のカルシウム含量が園におけるそれよりもかなり低い状態においての成績であり、異常落葉園においてこのように葉中のカルシウム含量が低い例はあまりないので、カルシウム栄養がこの異常落葉の発現にどの程度関与しているかは明らかでない。ただ、筆者らは現地での異常落葉対策試験において、葉中のカルシウム含量がマンガン含量に影響するような結果を得ており、いわゆる異常落葉の発現、あるいは治ゆにおよぼすカルシウムの影響を無視することはできない。

なお、本実験におけるように、溶液栽培においては園におけるよりも低いカルシウム含量で正常な生育を示した例が、ウマゴヤシについての MORRIS⁽¹¹⁾、また、温州ミカンについての傍島ら⁽¹⁵⁾の報告にみられることに注目したい。

V. 摘 要

温州ミカンのいわゆる異常落葉の原因を明らかにするため、カラタチ台温州ミカンの幼木を用い、培養液中のマンガンとカルシウムの濃度をかえて砂耕試験を行ない、つぎのような結果を得た。

1. 植物体の生育はマンガンの施用濃度が高くなるほどわるくなり、この場合、カルシウムの施用濃度が低くなるほどマンガンの生育阻害が顕著となつた。

2. マンガンの施用濃度が高まるにつれて細根の腐敗と落葉が激しくなり、また、葉に褐色の斑点とクロロシスの発現が著しくなつた。この場合にも、カルシウムの施用濃度が低くなるほどこれらの症状の発現が顕著になつた。

3. 植物体のマンガン含量は細根、葉など末端部ほど高く、とくに細根に著しい集積がみられた。

4. 植物体各部のマンガン含量はマンガンの施用濃度と密接な関係があり、培養液中のマンガン濃度が高い場合には生活作用の関与しない吸収が行なわれることが考えられる。

5. 培養液中のマンガン濃度が高い場合にはカルシウムの施用濃度が低くなるほど植物のマンガン含量が高くなつた。

6. 以上のような結果から、温州ミカンのいわゆる異常落葉は一種のマンガン過剰症であり、その発現には培地中の可給態マンガン濃度が大きく関与すると考えられる。

引用文献

1. BOTNER, C.E. 1935. Soil Sci. 39 : 15—25.
2. CHAPMAN, H.D. and W.P. KELLEY. 1948. The Citrus Industry Vol. I : 719—766.
3. 茅野充男・三井進午, 1967. 土肥誌. 38 (8) : 280—286.
4. 土器屋由紀子・熊沢喜久雄・三井進午, 1964. 土肥誌. 35 (10) : 367—372.
5. HAAS, A.R.C. 1932. Hilgardia 6 (15) : 545—554.
6. 浜口克己・矢島邦康, 1962. 九州農業研究. 第24号 : 140—141.
7. 岩本数人・大津量男・内堀弘治・平方康夫・宮崎久哉, 1965. 熊本果試研究報告. 第2号 : 45—71.
8. 神吉久遠・今村俊清, 1966. 九州農業研究. 第28号 : 191—192.
9. ———・矢島邦康・浜口克己, 1968. 園学雑誌. 37 (1) : 51—56.
10. LÖHNIS, M.P. 1961. Plant and Soil. 12 : 339—376.
11. MORRIS, H.D. and W. H. PIERRE. 1947. Soil Soc. Amer. Proc. 12 : 382—386.
12. SMITH, P.F. 1953. Bot. Gaz. 114 : 426—436.
13. ———. and A. W. SPECHT. 1953. Plant Physiol. 28 : 371—382.
14. ———. 1956. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 67 : 202—209.
15. 傍島善次・石田雅士・山本喜啓, 1967. 園芸学会昭和42年春季大会研究発表要旨 22—25.
16. WILLIAMS, D.E. and J. VLAMIS. 1957. Soil Sci. Amer. Proc. 21 : 205—209.