

カーネーションのマンガン過剰症に関する研究(第3報)

培養液のマンガン濃度が生育、開花に及ぼす影響

石田 明・増井正夫・小倉孝保・糠谷 明*

(静岡大学農学部)

Studies of the Manganese Excess of Carnation

III. Effects of Manganese Concentration in Nutrient Solution on Growth and Flowering

Akira ISHIDA, Masao MASUI, Takayasu OGURA and Akira NUKAYA

College of Agriculture, Shizuoka University, Ohya, Shizuoka

Summary

Carnation cv. 'Coral' was grown in sand culture and fertilized with complete nutrient solutions containing 0, 0.5, 5, 10, 20, 30, 60, 90, 150 and 300 ppm Mn. Days from planting to flowering were not influenced by Mn concentrations, but growth was reduced above 30 ppm Mn. Mn was most concentrated in the leaves, less in the stems, and least in the petals, and the content in those parts significantly increased as Mn concentrations raised from 0 to 300 ppm. Tipburn symptoms on the upper leaves of the plants receiving 60, 90, 150 and 300 ppm Mn appeared about 120, 110, 50 and 40 days after treatment, respectively. Thereafter these symptoms, at 150 and 300 ppm Mn, developed toward the middle to the lower leaves. Critical Mn concentration in the nutrient solutions, and Mn content in the leaves causing toxicity symptoms were 60 and approximately 2600 ppm, respectively. These symptoms were highly correlated with Mn content in the leaves above 60 ppm Mn in the nutrient solutions. Mn distribution was slightly lower in the middle leaves. Elements other than Mn were not influenced by Mn concentrations, except that Fe : Mn in the leaves decreased with increase of Mn levels.

緒 言

カーネーションのマンガン (Mn) 過剰症について、White(16) は、えそ斑点を伴う葉先の枯死、葉のねじれ、葉脈間クロロシス、生育抑制などをあげているが、このような症状の発生には Mn 以外に $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ の過剰も関係あると述べている。筆者ら(5) は、さきに Mn を多量に含む土壌を用いた実験において、葉中の Mn 含量が高い場合に、カーネーションの生育抑制や葉先のかつ変枯死症状がおこることを観察した。しかし、これらの症状が Mn 過剰によるものであるかどうかは確かめられていない。そこで Mn 濃度の異なる培養液を用いて砂耕栽培を行ない、カーネーションの Mn 過剰症を確認するとともに、生育、開花に及ぼす影響を明らかにしようとした。

材料及び方法

実験 I 供試品種は 'コーラル' で、1974 年 1 月 8 日にガラス室内の天竜川の砂を詰めた木箱 (38 cm×39 cm×12 cm) に無摘心の苗を 1 箱 9 本ずつ定植した。培養液の Mn 濃度は、0, 0.5, 5, 10, 20, 30, 60 及び 90 ppm の 8 水準で 1 処理 8 反復とした。Mn は MnSO_4 を用い、培養液の pH は、HCl または NaOH で 5.5 に調整した。定植日から 1 月 21 日までは Mn を加えない培養液を、また、その翌日から収穫日までは、所定の Mn を含む培養液を 1 箱当たり毎日平均 0.5 l ずつ施用した。ただし雨天などで砂が乾かない場合には施用しなかつた。なお、培養液の組成は第 1 表に示した。摘心は定植後も行なわなかつた。腋芽は発生次第除去した。完全に開花したものは地上部を切り採つて草たけ及び生体重を測定し、切り花数と開花日を記録した。切り採つた植物体は葉、茎 (葉と茎は上、中、下の 3 部位に等分し

* 現在ワシントン大学農学部
1975 年 11 月 25 日 受理

Table 1. Mn concentrations and nutrient solution used in excess Mn studies with carnation.

	No.	Mn concn (ppm)	Composition of nutrient solution
Expt. 1	1	0	Mn from MnSO ₄ (designated concn)
	2	0.5	Na ₂ HPO ₄ ·12H ₂ O(0.5 mM)
	3	5	K ₂ SO ₄ (3 mM)
	4	10	CaCl ₂ ·2H ₂ O(7 mM)
	5	20	MgSO ₄ ·7H ₂ O(2 mM)
	6	30	NaNO ₃ (15 mM)
	7	60	Fe from FeC ₆ H ₅ O ₇ ·5H ₂ O(1 ppm)
	8	90	B from H ₃ BO ₃ (0.5 ppm)
Expt. 11	1	0	Zn from ZnSO ₄ ·7H ₂ O(0.05 ppm)
	2	150	Cu from CuSO ₄ ·5H ₂ O(0.02 ppm)
	3	300	Mo from Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O(0.05 ppm) pH ≅ 5.5

た)及び花卉に分け、約 70°C で乾燥して分析試料とし、葉については N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe 含量を、茎と花卉については Mn 含量をそれぞれ測定した。これら成分の分析は、Masui ら(9)と同様の方法で行なった。

実験 II 培養液の Mn 濃度を実験 I の場合より高めた場合の影響をみるために行なったもので、品種、栽培方法、Mn 以外の培養液の組成は実験 I と同様にした。定植は 1974 年 3 月 3 日に行なった。培養液の Mn 濃度は、0, 150 及び 300 ppm の 3 水準で、1 処理 7 反復とした。Mn 処理は 3 月 25 日から収穫日までに行なった。

実験結果

実験 I

生育・開花に及ぼす影響 (第 2 表)

切り花の草たけは、培養液の Mn 濃度 30 ppm 以上で、また切り花の生体重は、60 ppm 以上でそれぞれ減少する傾向が認められた。しかし、切り花数と定植から開花までの日数は、Mn 濃度による差が認められなかつ

た。葉先の枯死症状は、Mn 濃度 90 ppm 区で 5 月中旬 (Mn 処理後約 110 日目) から、60 ppm 区では 5 月下旬 (Mn 処理後約 120 日目) からそれぞれ認められた。この症状は、比較的上部の大型の数枚の葉の先端部約 1 cm の部分に現われるだけで、その他の部分には及ばなかつた。症状の程度は、90 ppm 区のほうが 60 ppm 区のものよりも著しかつた。また、30 ppm 以下の区では症状が認められなかつた。

植物体各部の Mn 含量、葉の Fe 含量に及ぼす影響 (第 3 表)

植物体の Mn 含量は葉において最も高く茎、花卉の順で低かつた。葉及び茎の各部位別 (上, 中, 下) の Mn 含量は、培養液の Mn 濃度 10 ppm 以下の区では差が認められなかつたが、20 ppm 以上では、Mn 濃度が高まるにつれて著しく増加した。花卉の Mn 含量は 30 ppm 以上の区で、Mn 濃度が高まるにつれて著しく増加した。各処理区における葉及び茎の部位別 Mn 含量をみると、10 ppm 以上の区においては、上部及び下部位の Mn 含量は中部位の含量より高い傾向が認められた。茎の下部位の Mn 含量は、上, 中部位の含量より低い傾向が認められた。葉の Fe 含量は処理による差がなかつた。各処理区における葉の部位別 Fe 含量は、60 ppm 以上の区では下部位で高く、上部位でやや低かつた。

葉の主要成分含量、Fe : Mn 比に及ぼす影響 (第 4 表)

葉の P 及び Ca 含量は処理区間に著しい差はみられなかつたが、K 及び Mg 含量は Mn 濃度 60 ppm 以上の区においてやや減少する傾向が認められた。葉の Fe : Mn 比は培養液の Mn 濃度が高くなるにつれて低下した。

実験 II

生育・開花に及ぼす影響 (第 5 表)

培養液の Mn 濃度が高まるにつれて、切り花数、草た

Table 2. Growth and flowering of carnation cv. 'Coral' at the different levels of Mn concentration in nutrient solution.

Mn concn (ppm)	Toxicity symptoms*	Total no. of cut flowers ^X	Days from Jan. 8 to flowering	Plant height of cut flower (cm)	Fresh wt of cut flower (g)
0	0	72 ^a	128.8 ^{ab}	56.8 ^a	36.1 ^a
0.5	0	72 ^a	128.5 ^{ab}	54.3 ^{abc}	33.5 ^{abc}
5	0	72 ^a	127.2 ^b	56.8 ^a	34.8 ^{ab}
10	0	72 ^a	128.4 ^{ab}	55.7 ^{ab}	33.4 ^{abc}
20	0	72 ^a	128.4 ^{ab}	53.8 ^{abc}	33.7 ^{abc}
30	0	72 ^a	129.1 ^{ab}	52.2 ^c	33.2 ^{abc}
60	1	72 ^a	130.0 ^a	52.8 ^{bc}	32.4 ^{bc}
90	2	72 ^a	129.2 ^{ab}	52.9 ^{bc}	30.5 ^c

*: Symptoms in the leaf were evaluated from 0 in none to 5 in very severe.

X: Means followed by the same letter within columns are not significantly different at the 5% level, as determined by Duncan's multiple range test.

Table 3. Mn and Fe content in the various plant parts of carnation cv. 'Coral'. (ppm in dry matter)

Mn concn (ppm)	Mn(ppm) ^{X,Y}							Fe (ppm)		
	Leaves			Stems			Petals	Leaves		
	Lower	Middle	Upper	Lower	Middle	Upper		Lower	Middle	Upper
0	A281 ^e	A261 ^e	A267 ^d	A63 ^d	AB38 ^d	B31 ^d	4 ^d	A128 ^c	A113 ^b	A102 ^c
0.5	A301 ^e	A260 ^e	A286 ^d	A51 ^d	B21 ^d	B22 ^d	6 ^d	A178 ^{ab}	A128 ^{ab}	A138 ^{bc}
5	A389 ^e	A361 ^e	A441 ^d	A70 ^d	AB44 ^d	B35 ^d	4 ^d	A192 ^{ab}	A111 ^b	A102 ^c
10	A533 ^e	B445 ^{dc}	AB485 ^d	A90 ^d	B59 ^d	B47 ^d	2 ^d	A175 ^{abc}	A131 ^{ab}	A158 ^b
20	A823 ^d	B602 ^d	AB700 ^{cd}	A152 ^c	B80 ^{cd}	B80 ^{cd}	7 ^d	A200 ^{ab}	A135 ^{ab}	A197 ^a
30	A1118 ^c	A965 ^c	A1168 ^c	A231 ^c	B121 ^c	B136 ^c	25 ^c	A165 ^{bc}	A138 ^{ab}	A114 ^c
60	AB2511 ^b	B2066 ^b	A2854 ^b	A712 ^b	B404 ^b	AB480 ^b	87 ^b	A189 ^{ab}	AB148 ^a	A127 ^{bc}
90	AB4120 ^a	B3178 ^a	A4816 ^a	A1061 ^a	C725 ^a	B916 ^a	181 ^a	A223 ^a	AB143 ^{ab}	B112 ^c

X and Y: Means followed by the same small letter within columns and by the same capital letter within rows are not significantly different at the 5% level, as determined by Duncan's multiple range test, respectively.

Table 4. Main elemental content and Fe : Mn ratio in the leaves of cut flower of carnation cv. 'Coral'. (Dry matter basis)

Mn concn (ppm)	N ^X (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Mn (ppm)	Fe (ppm)	Fe : Mn
0	2.95 ^b	0.18 ^{abc}	2.70 ^{ab}	2.47 ^{bc}	0.75 ^{abc}	289 ^e	163 ^{ab}	0.56 ^a
0.5	3.42 ^a	0.18 ^{abc}	2.71 ^{ab}	2.66 ^{ab}	0.79 ^a	276 ^e	165 ^{ab}	0.60 ^a
5	2.86 ^b	0.20 ^a	2.89 ^a	2.81 ^a	0.80 ^a	444 ^e	163 ^{ab}	0.37 ^b
10	2.80 ^b	0.19 ^{ab}	2.89 ^a	2.58 ^{abc}	0.76 ^{ab}	514 ^{de}	168 ^{ab}	0.33 ^{bc}
20	2.74 ^b	0.16 ^{bc}	2.60 ^{ab}	2.48 ^{bc}	0.75 ^{abc}	776 ^d	188 ^{ab}	0.24 ^c
30	2.91 ^b	0.15 ^c	2.56 ^{abc}	2.53 ^{bc}	0.74 ^{abc}	1151 ^c	138 ^b	0.12 ^d
60	2.81 ^b	0.17 ^{bc}	2.48 ^{bc}	2.51 ^{bc}	0.70 ^{bc}	2604 ^b	158 ^{ab}	0.06 ^d
90	2.87 ^b	0.16 ^{bc}	2.23 ^c	2.33 ^c	0.68 ^c	4161 ^a	222 ^a	0.05 ^d

X: Means followed by the same letter within columns are not significantly different at the 5% level, as determined by Duncan's multiple range test.

Table 5. Growth and flowering of carnation cv. 'Coral' at the different levels of Mn concentration in nutrient solution.

Mn concn (ppm)	Toxicity symptoms*	Total no. of cut flowers ^X	Days from March 3 to flowering	Plant height of cut flower (cm)	Fresh wt of cut flower (g)
0	0	63 ^a	107.2 ^a	40.8 ^a	25.3 ^a
150	4	48 ^{ab}	108.9 ^a	37.6 ^a	22.4 ^a
300	5	31 ^b	105.5 ^a	35.3 ^a	17.0 ^b

*: Symptoms in the leaf were evaluated from 0 in none to 5 in very severe.

X: Means followed by the same letter within columns are not significantly different at the 5% level, as determined by Duncan's multiple range test.

け及び切り花生体重は減少したが、定植から開花までの日数には差がみられなかつた。葉先の枯死症状は、Mn濃度 150 ppm 区では5月中旬 (Mn 処理後約 50 日目) から、また、300 ppm 区では5月上旬 (Mn 処理後約 40 日目) から認められた。この症状は、最初は実験 I と同様に比較的上の大型の数枚の葉先に発生したが、生育が進むにしたがつて下位葉及び先端部の若い葉にまでみられた。さらに症状が著しいものは、枯死が葉先から基部に向つて進行し、葉全体から茎にまで及んだ。その

ため開花しない個体もあつた。このような症状は、300 ppm 区のものが、150 ppm 区のものより著しかつた。なお枯死症状が現われる前に、その部分にクロロシスが観察されたものもあつた。

植物体各部の Mn 含量、葉の Fe 含量に及ぼす影響 (第6表)

植物体の Mn 含量は葉において最も高く、茎、花卉の順で低かつた。葉及び茎の部位別 (上, 中, 下) の Mn 含量並びに花卉の Mn 含量は、培養液の Mn 濃度が高

Table 6. Mn and Fe content in the various plant parts of carnation cv. 'Coral'. (ppm in dry matter)

Mn concn (ppm)	Mn (ppm) ^{X,Y}							Fe (ppm)		
	Leaves			Stems			Petals	Leaves		
	Lower	Middle	Upper	Lower	Middle	Upper		Lower	Middle	Upper
0	A372 ^c	B254 ^c	B232 ^c	A77 ^c	A65 ^c	A63 ^c	3 ^c	A118 ^a	A85 ^a	A130 ^a
150	A9,699 ^b	A9,934 ^b	A11,035 ^b	A1,905 ^b	A2,023 ^b	A2,635 ^b	437 ^b	A114 ^a	A102 ^a	A79 ^a
300	A18,110 ^a	A17,337 ^a	A16,531 ^a	A3,102 ^a	A3,391 ^a	A4,428 ^a	1,197 ^a	A87 ^a	A88 ^a	A88 ^a

X and Y: Means followed by the same small letter within columns and by the same capital letter within rows are not significantly different at the 5% level, as determined by Duncan's multiple range test, respectively.

Table 7. Main elemental content and Fe : Mn ratio in the leaves of cut flower of carnation cv. 'Coral'. (Dry matter basis)

Mn concn (ppm)	N ^X (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Mn (ppm)	Fe (ppm)	Fe : Mn
0	2.63 ^a	0.15 ^a	2.48 ^a	2.37 ^a	0.74 ^a	320 ^c	148 ^a	0.46 ^a
150	2.69 ^a	0.12 ^a	2.15 ^{ab}	2.12 ^a	0.73 ^a	11,316 ^b	130 ^a	0.01 ^b
300	2.06 ^b	0.15 ^a	2.81 ^b	1.63 ^b	0.63 ^b	20,329 ^a	108 ^a	0.005 ^b

X: Means followed by the same letter within columns are not significantly different at the 5% level, as determined by Duncan's multiple range test.

まるにつれてそれぞれ著しく増加した。各処理区における葉及び茎の部位別の Mn 含量は差が認められなかった。また葉の Fe 含量は各処理区間及び上, 中, 下の 3 部位間に差が認められなかった。

葉の主要成分含量, Fe : Mn 比に及ぼす影響 (第 7 表)

葉の N, Ca, Mg 含量は, 300 ppm 区でやや低かったが, P 及び Fe 含量は処理による差が認められなかった。葉の Fe : Mn 比は, 培養液の Mn 濃度が高まるにつれて低下した。

考 察

カーネーションの Mn 過剰症としては, 葉先の枯死 (5, 16), 葉のねじれ (16), 葉脈間クロロシス (16), 若い葉のクロロシス (5), 生育抑制 (5, 6, 13, 16) などがあげられている。White (16) は, これらの症状の発生は Mn 以外に NH₄-N, NO₂-N も関係あると述べており, 上記の諸症状のうち何が典型的な Mn 過剰症であるか不明な点が多い。しかし, 本実験においてみられた葉先の枯死症状並びに草たけ及び生体重の減少などの生育抑制は, 既報 (5, 6) においても認められた現象であり Mn 過剰によるものとする。ことに, 葉先の枯死症状はカーネーションの Mn 過剰症として最初に現われるものであり, 実験 I のように比較的生育後期から発生した場合はこの状態で留まり, 症状は進行しないが, 実験 II の場合のように培養液の Mn 濃度が高く, しかも比較的生育初期から症状が現われた場合には, 葉の Mn 含量も高く, 枯死症状は葉先だけに留まらず葉の全体に及び, 著しい場合に

は茎にまで及ぶものとする。一般に植物の葉先の枯死は種種の原因によつて起こるものであるが, レタス (8) では葉縁枯死が現われた部位の Mn 含量は他の部位に比べ著しく高いことが知られている。本実験では枯死部位だけの Mn 含量は調べていないが, おそらく, 枯死した葉先の部位の含量はより高かつたものと推察される。Mn 過剰症についての研究は, カーネーション以外にメロン (9), キュウリ (3), クローバー, ピーナッツ, ダイズ, カウピー (11), ミカン (1), トマトなど (12) について行なわれている。これらの結果によれば, Mn 過剰症は作物の種類によつて異なり, 症状もまちまちのようである。したがつて, カーネーションにおいても前述以外の症状もないとは言えないが, この点については今後の研究結果にまちたい。なお, 実験 II の一部にみられた葉先のクロロシスは, カーネーションの Mn 過剰症として一般にみられるものとは考えにくい, 第 1 報 (5) においても観察された現象であり, Mn 過剰症と関係ある症状ではなからうかと思われる。

つぎに, Mn 処理開始から葉先の枯死症状が現われた時期までの日数は, 実験 I の場合は実験 II の場合に比べて著しく多かつた。これは実験 I のほうが培養液の Mn 濃度が低かつたことも考えられるが, 過剰症が最初に現われた時期は, いずれも 5 月上旬から下旬であつたことから, Mn 濃度の違いだけでなく, 温度, 光線などの環境要因も関係するように思われる。

カーネーションの Mn 過剰症がみられた葉の最低 Mn 含量について, White (16) は, 品種 'Improved White

Sim' において 2,760 ppm と述べている。また、筆者ら(5)は品種‘コーラル’で約 2,000 ppm の結果を得ているが、本実験において葉先の枯死がみられたのは約 2,600 ppm (第4表)であり、いずれの場合も比較的近似の値を示している。これらの結果は、メロン(9)約 2,000 ppm, キュウリ(3) 1,000 ppm, ツルマメ(11) 1,200 ppm, ベッチ(11) 500~1,117 ppm, ルーサン(11) 477~1,083 ppm, イネ(7) 1,000 ppm, ミカンの老葉(4) 100~150 ppm, ミカンの若葉(4) 50~100 ppm などに比べて、その最低含量は高いことを示している。

つぎに培養液の Mn 濃度と過剰症発現との関係を見ると、生育抑制は 30 ppm 以上で、また葉先の枯死は 60 ppm 以上でみられた(第2表)。Parker(13)はカーネーションのれき耕栽培を行ない、Mn 濃度 50 ppm で生体重は減少したが、25 ppm 以下では差がなかつたと述べており、本実験の結果とよく似ている。この点メロン(9)では 10 ppm, キュウリ(3)では 20 ppm で、カーネーションは過剰症が現われた培養液の濃度が他の作物に比べて高くなっている。このようなことは、カーネーションの養分吸収特性によるものとも考えられるが、Mn に対して比較的強い作物であるとも言えよう。

植物体各部の Mn 含量は、葉が最も高く、ついで茎、花卉の順に低くなっている(第4, 5表)が、このような傾向はすでに第1報(5)においてもみられた。また、各部位別の葉の Mn 含量は、上, 下部位が中部位よりやや高かつた。これは下位葉 Mn 含量が、中, 上位葉より高いと言う一般的な傾向とは異なるが、本実験のように比較的長期間(実験開始時から終了時まで)にわたって常時 Mn が供給されるような条件下では、生育の盛んな上部位葉への Mn の移行が多くなるためではないかと考える。

Sommerら(15)によれば、Fe と Mn との間には拮抗関係があり、Mn の過剰吸収は Fe の吸収を抑制させると言う。しかし、本実験では葉の Mn 含量は、培養液の Mn 濃度が高まるにつれて増加したが、Fe 含量は処理による差が認められなかつた。この理由は明らかでないが、同様なことはメロン(9), キュウリ(3), タバコ(17), トマトなど(12)でも認められている。

培養液の濃度が高い場合に、葉の N, K, Ca, Mg 含量がやや低下する傾向がみられた。しかし、その量はカーネーションの生育にとつて不足するほどのものではないと判断されるので、これらの成分が Mn 過剰症の発生に影響を及ぼしたとは考えられない。

摘 要

カーネーションの品種‘コーラル’を、Mn をそれぞ

れ 0, 0.5, 5, 10, 20, 30, 60, 90, 150, 300 ppm 含む培養液で砂耕栽培した。定植から開花までの日数は、培養液の Mn 濃度によつて影響されなかつたが、生育は Mn 濃度 30 ppm 以上で抑制された。Mn は葉に最も多く含まれ、ついで茎で、花卉が最も少なかつた。これらの部位の Mn 含量は、培養液の Mn 濃度が 0 から 300 ppm と高まるにつれて著しく増加した。葉先の枯死症状は Mn 濃度 60, 90, 150, 300 ppm 区の上位葉に処理後約 120, 110, 50, 40 日目にそれぞれ認められた。その後 150 ppm 及び 300 ppm 区では、この症状は中部位から下部位までの葉に現われた。Mn 過剰症をもたらす培養液の最低濃度と葉の Mn 含量は、それぞれ 60 ppm 及び約 2,600 ppm であつた。

これらの症状は、培養液の Mn 濃度 60 ppm 以上では、葉の Mn 含量と高い関連があつた。Mn の分布は、中位葉でやや少なかつた。Mn 以外の葉の成分は Mn 濃度によつて影響されなかつた。しかし、葉の Fe : Mn 比は培養液の Mn 濃度が高まるにつれて減少した。

引用文献

1. 青木 朗・森田修二. 1969. わが国における異常落葉園の一般的特性について. カンキョの異常落葉(落葉性褐斑病)に関する土壌-植物体の関連的研究. 土肥誌. 40(6) : 228-235.
2. BUKOVAC, M. J. and S. H. WITTWER. 1957. Absorption and mobility of foliar applied nutrients. Plant Physiol. 32 : 428-434.
3. 深津量榮・山本公昭・山本 啓. 1964. キュウリの褐色葉枯病(マンガン過剰症)に関する研究. 高知農試研報. 4 : 1-27.
4. 浜田克巳. 1963. ミカンの異常落葉の原因と対策. 農及園. 38 : 483-487.
5. 石田 明・増井正夫. 1973. カーネーションのマンガン過剰症に関する研究(第1報). 土壌の蒸気消毒と pH について. 園学雑. 42(1) : 40-48.
6. ————. 1975. ————(第2報). 土壌の種類. pH. 窒素の形態がマンガン過剰症に及ぼす影響. 園学雑. 45(3) : 283-288.
7. 石塚喜明・田中 明・藤田 収. 1961. 水稲の要素代謝に関する研究(第6報). 培養液中. 鉄・マンガン及び銅濃度の水稲の生育ならびに要素含有率に及ぼす影響. 土肥誌. 32 : 97-100.
8. JOHN S. BERT, Jr. and S. HONMA. 1975. Effect of soil moisture and irrigation method on tipburn and edgeburn severity in greenhouse lettuce. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 100(3) : 278-282.
9. MASUI, M., A. ISHIDA and E. SUZUKI. 1973. Studies on the manganese excess of muskmelon. II. The manganese concentration and pH in nutrient solution. Jap. Soc. Hort. Sci. 42(1) : 22-26.

10. MORRIS, H. D. and W. H. PIERRE. 1949. Minimum concentrations of manganese necessary for injury to various legumes in culture solution. *Agron. Jour.* 41 : 107—112.
11. MULDER, E. C. and F. C. GERRETSEN. 1952. Soil manganese in relation to plant growth. *Adv. Agron.* 4 : 221—277.
12. 大沢孝也・池田英男. 1974. そ菜の重金属過剰症に関する研究 (第3報). 水耕培養液中のマンガン濃度がそ菜の生育に及ぼす影響. *園学雑.* 43 (3) : 260—266.
13. PARKER, J. 1971. Carnation micronutrition. *Colo. Flow. Grow. Assoc. Bull.* 258.
14. SHIVE, J. W. 1941. Significant roles of trace elements in the nutrition of plant. *Plant Physiol.* 16 : 435—445.
15. SOMMER, I. I. and J. W. SHIVE. 1942. The iron-manganese relation in plant metabolism. *Plant Physiol.* 17 : 582—602.
16. WHITE, J. W. 1971. Interaction of nitrogenous fertilizers and steam on soil chemicals and carnation growth. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 96(2) : 134—137.
17. 安松範郎・高橋達郎. 1963. タバコの微量元素に関する研究 (第5報). タバコによるマンガンの吸収と再移動. *秦野タバコ試報告.* 52(4) : 41—49.