そ菜の重金属過剰障害に関する研究 第3報

誌名	園藝學會雑誌
ISSN	00137626
著者名	大沢,孝也 池田,英男
発行元	園藝學會
巻/号	43巻3号
掲載ページ	p. 260-266
発行年月	1974年12月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat

園学雑. (J. Japan. Soc. Hort. Sci.) 43(3) : 260—266. 1974.

そ菜の重金属過剰障害に関する研究(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

大沢孝也・池田英男
(大阪府立大学農学部)

Heavy Metal Toxicities in Vegetable Crops
III. The Effect of Manganese Concentration in the Nutrient Solution on the Growth of Vegetable Crops

Takaya OSAWA and Hideo IKEDA
College of Agriculture, University of Osaka Prefecture, Sakai, Osaka

Summary

Fourteen species of vegetable crops were grown in solution culture in order to evaluate the relative tolerance of the vegetable crops to manganese. Hoagland's No. 1 solution was used as the basic nutrient solution. Iron, in the form of Fe-EDTA, was supplied at the rate of 3 ppm. Manganese was added at levels of 0.5 (control), 3, 10, 30, and 100 ppm. The pH of the solution was adjusted to 6.0. The plants were grown under differential treatment for four weeks.

1. The relative tolerance of the vegetable crops to manganese was evaluated in terms of the concentration of manganese in the nutrient solution which corresponded to a 50 per cent reduction in top dry weight. This point was not reached even at the highest manganese level, 100 ppm, in radish, Welsh onion, pepper, and Japanese honewort (*Cryptotaenia japonica* HASSK.); it was reached between 30 and 100 ppm in lettuce, spinach, carrot, eggplant, and cabbage, between 10 and 30 ppm in celery and tomato, and between 3 and 10 ppm in turnip, kidney bean, and cucumber.

2. Symptoms of manganese toxicity in various species showed considerable variety. Brown necrotic spots and chlorosis were observed in many species; in general both of these symptoms were developed at lower manganese levels in less tolerant species than in more tolerant species. Brown necrotic spots occurred in the marginal area of older leaves or along the lower portion of stems. At least part of the chlorosis resembled iron deficiency symptom, but most chlorosis occurred as marginal chlorosis which was not identical with iron deficiency. Excess of manganese induced no serious abnormality in roots except a brownish discoloration in some species.

3. In most crops the concentration of manganese in leaves was less than 200 ppm on a dry weight basis in the control and markedly increased with the increase of manganese in the nutrient solution. The more the species was tolerant to manganese, the more the accumulation of the element in leaves corresponding to the 50 per cent yield reduction increased. The threshold value of manganese concentration in leaves associated with the occurrence of brown necrotic spots was generally lower in less tolerant species than in more tolerant species.

4. The effect of excessive manganese on the iron concentration in leaves varied with the species. No clear relationship was found between the occurrence of chlorosis and the iron concentration in leaves.

5. The concentration of copper, zinc, nitrogen, phosphorus, and potassium in leaves had no relationship to the manganese toxicity, while the concentration of calcium and magnesium in leaves in some species was considerably decreased by the excess of manganese.

1974 年 5 月 12 日受理

緒　言

近年，産業廃棄物や農業資材などに由来する環境の重金属汚染に関して注意が喚起されており，今後，重金属によるそ菜の汚染あるいは過剰障害が問題になるおそれも充分考えられる．著者はさきに大阪府南部地方における重金属汚染の問題に端を発して，そ菜の Zn 過剰障害に関して水耕試験を行ない，Zn に対する各種そ菜の比較耐性(8)，および Zn 過剰障害に対する Fe 施用の効果 (9) について検討した結果を報告した．本報は引き続き，14 種類のそ菜を供試した水耕試験によつて，Zn と同様に必須微量重金属である Mn の過剰に対する各種そ菜の比較耐性を検討し，あわせて Mn 耐性ならびに Mn 過剰障害に関与する要因について，主として無機栄養の面から考察を加えたものである．

材料および方法

供試材料は第1表に示すとおりで，ネギは土耕苗を用いたが，他のそ菜はすべて養液育苗した．

第1表　供試材料と処理時期

種類	品種	水耕処理開始年月日	処理開始時本葉枚数
キュウリ	金剛	1971. 4.13	2
ナス	千両	1971. 5.12	5
トマト	福寿2号	1971. 4.13	3
トウガラシ	カリフォルニアワンダー	1971. 5.12	4
インゲン	つるなし丸さや三度豆	1971. 9.27	2
キャベツ	長岡交配四季穫	1972. 3.13	2
ホウレンソウ	ニューアジア	1972. 1.10	5
レタス	グレートレークス 366	1971.11. 6	5
セルリー	コーネル 619	1971.11. 6	5
ミツバ	関東系	1973. 1.12	2
ネギ	九条	1971. 9.29	—
ハツカダイコン	サクサ	1972. 3.18	2
カブ	寄居白カブ	1972. 3.13	3
ニンジン	三寸	1972. 2. 7	5

水耕はガラス室内で既報 (9) と全く同様に，15 l 容のプラスチック製容器を用いて行なつた．1容器あたりの株数はネギ，ホウレンソウ，ニンジン，ハツカダイコン，カブは8株で，他は4株とした．なお1区1容器とした．

基本培養液には Hoagland 培養液（第1液）を用い，Fe は鉄キレート (Fe-EDTA) により 3ppm を与え，他の微量要素は B：0.5，Zn：0.05，Cu：0.02，Mo：0.01ppm の濃度とした．Mn は $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ により，標準として 0.5ppm を与えたほか，3，10，30，100 ppm の約 $\sqrt{10}$ 倍比の各処理区を設けた．培養液の作成や蒸発散による減量分の補給には，比抵抗 $10^6\Omega$/cm 以上の脱塩水を用い，培養液の pH は6に調節した．処理期間は4週間（ハツカダイコンのみ2週間）とし，培養液の更新はそ菜の生育状況に応じて途中で2回行なつた．

収穫した植物体は生育調査ののち，熱風乾燥して乾物重を求めた．乾物試料は粉砕し，既報 (9) と同様の分析方法によつて N，P，K，Ca，Mg，Mn，Cu，Zn，Fe を定量した．

実験結果

生　育

Mn 処理が各種そ菜の地上部乾物収量に及ぼす影響を第2表によつてみると，若干のそ菜では Mn 3 ないし 10ppm 区で，標準区 (Mn 0.5ppm) を上回る生育を示したが，過剰の Mn によつて各種そ菜の生育は阻害された．なお第2表では，地上部乾物重が標準区に比べて半減をきたした培養液中 Mn 濃度によつて，各種そ菜の Mn 耐性を比較することとし，上方ほど強い順位にグループ分けして配列してある．すなわち最も強いAグループのそ菜は Mn 100ppm でも半減しなかつたのに対して，最も弱いDグループのそ菜は Mn 3～10ppm の間で半減し，Mn 耐性の種間差異はかなり大きかつた．

第2表　培養液中の Mn 処理濃度と各種そ菜の標準区を 100 とした地上部乾物重の比率

	種類*	Mn 処理濃度 (ppm) 0.5	3	10	30	100
A	ハツカダイコン	100	71	81	80	88
	ネギ	100	113	114	95	81
	トウガラシ	100	96	95	91	61
	ミツバ	100	102	88	77	56
B	レタス	100	100	89	90	33
	ホウレンソウ	100	98	93	70	22
	ニンジン	100	114	95	59	27
	ナス	100	110	85	57	23
	キャベツ	100	147	135	50	13
C	セルリー	100	82	105	48	15
	トマト	100	93	92	46	11
D	カブ	100	65	43	17	3
	インゲン	100	73	29	20	9
	キュウリ	100	83	13	6	2

* 地上部乾物重が標準区に比べて半減をきたした培養液中 Mn 濃度が A：100ppm 以上，B：30～100ppm，C：10～30ppm，D：3～10ppm の間となっている．以下各表について同様．

外観症状

地上部に発生した Mn 害症状のおもなものを第3表に示す．

かつ色の斑点あるいは斑紋 (brown necrotic spot) は

Aグループを除く大多数のそ菜において，下位葉の先端や葉縁ぞいに，しばしばクロロシスに伴つて発生した．トマト，インゲン，キュウリではこのほかに下位葉の葉脈や茎の下部にも発生し，著しい場合には葉脈や茎が茶かつ色を呈した．

クロロシス (chlorosis) も多数のそ菜で観察された．トウガラシ，ホウレンソウ，インゲンにおける症状は，Fe欠乏に類似の葉脈間クロロシス (interveinal chlorosis) であつたが，他のそ菜における症状はそれとはかなり異なつた．すなわち個々の種類について多少の相違はあつたが，ハツカダイコン，レタス，キャベツ，セルリー，カブでは葉縁クロロシス (marginal chlorosis) として現われ始め，葉脈間にひろがつた．ミツバやニンジンもほぼ同様であつた．これらのクロロシス部位にはしばしば葉焼け状斑点を生じた．またキャベツやカブでは葉縁クロロシスとともに，葉縁が上方にわん曲してカップ状 (cupping) を呈した．第3表から伺われるように，上記の各種 Mn 害症状は，Mn 耐性の弱いそ菜におけるほど低濃度の Mn 処理区から発生する傾向がみられた．

第3表に示した以外の Mn 害症状は次のとおりであつた．すなわちインゲンでは葉が Mn 処理によつてチリメン状となり，キュウリは Mn 30ppm 以上で植物体がもろく折れやすくなつた．ホウレンソウ，トマト，カブ，キュウリなどでは，Mn 高濃度区において下葉からの枯れ上がりがみられたが，枯死株を生じたそ菜はなかつた．ネギのみは明りような Mn 害症状を現わさなかつた．

第3表　培養液中の Mn 処理濃度と各種そ菜の Mn 害症状*

	種類	Mn 処理濃度 (ppm) 3	10	30	100
A	ハツカダイコン				C
	ネギ				
	トウガラシ			C	C
	ミツバ				C
B	レタス		C	C	Br C
	ホウレンソウ			C	Br C
	ニンジン			Br C	Br C
	ナス			Br	Br
	キャベツ			Br C Cp	Br C Cp
C	セルリー		C	Br C	Br C
	トマト			Br	Br
D	カブ	Cp	C Cp	C Cp	C Cp
	インゲン	Br C	Br C	Br C	Br C
	キュウリ		Br	Br	Br

* Br：かつ斑 (Brown necrotic spot)，C：クロロシス (Chlorosis)，Cp：カッピング (Cupping)．

根については，トウガラシ (Mn 30ppm 以上)，ホウレンソウ (Mn 100ppm)，ナス (Mn 30ppm 以上)，キャベツ (Mn 100ppm)，トマト (Mn 10ppm 以上)，カブ (Mn 100ppm)，インゲン (Mn 3ppm 以上) でかつ色に着色した以外には，著しい障害は観察されなかつた．

植物体の分析結果

各種そ菜の葉中の Mn 含有率を第4表によつてみると，標準区ではおおむね乾物中 200ppm 以下であつたが，Mn 処理濃度の高まりにつれて著しく増大した．任意の濃度処理区における葉中 Mn 集積と Mn 耐性との間には関連が認められない．また同表は全葉混合試料の分析結果であるが，かつ斑の発生をもたらした葉中 Mn 含有率の下限値はそ菜の種類によつてかなり異なり，Mn 耐性の弱いそ菜のほうが強いものよりもおおむね低い．

第4表　培養液中の Mn 処理濃度と各種そ菜葉中の Mn 含有率（乾物中 ppm）

	種類	Mn 処理濃度 (ppm) 0.5	3	10	30	100
A	ハツカダイコン	212	616	3,212	8,108	22,800
	ネギ	72	203	491	1,560	4,120
	トウガラシ	106	367	1,200	2,700	6,300
	ミツバ	154	302	431	1,310	4,010
B	レタス	171	411	872	1,560	5,240*
	ホウレンソウ	167	390	1,176	3,244	9,740*
	ニンジン	148	364	1,260	3,256*	10,080*
	ナス	93	350	1,400	2,800*	6,760*
	キャベツ	162	449	1,470	3,886*	11,000*
C	セルリー	79	266	1,020	2,940*	8,220*
	トマト	96	367	1,440	3,200*	6,800*
D	カブ	164	454	1,470	3,466	17,000
	インゲン	158	636*	1,232*	2,280*	12,760*
	キュウリ	118	390	1,260*	3,000*	6,100*

* かつ斑の発生を認めた区．

第5表は地上部乾物重の半減に対応する，おおよその葉中 Mn 含有率を示したものであるが，Mn 耐性の強い種類ほど高い傾向がある．また最低値の 800ppm（キュウリ）に対して，最高値は 22,800ppm 以上（ハツカダイコン）に達し，種間で著しい差がみられる．

根中 Mn 含有率も Mn 処理濃度の高まりにつれて増大したが，Mn 含有率の葉/根比を求めたのが第6表である．これをみると，全般に 1.00 より小さい値であり，根の Mn 含有率のほうが葉のそれよりも高い．ま

第5表　地上部乾物重の半減に対応するそ菜葉中 Mn 含有率（乾物中 ppm）

種類		Mn 含有率
A*	ハツカダイコン	>22,800
	ネギ	> 4,120
	トウガラシ	> 6,300
	ミツバ	> 4,010
B	レタス	4,300
	ホウレンソウ	6,000
	ニンジン	5,000
	ナス	3,500
	キャベツ	3,886
C	セルリー	2,800
	トマト	3,000
D	カブ	1,150
	インゲン	950
	キュウリ	800

* Aグループのそ菜については Mn 100ppm 区の分析値を示した．収量半減に対応する Mn 含有率値はこれを上回ると推定される．

第6表　培養液中の Mn 処理濃度と各種そ菜の葉中 Mn 含有率/根中 Mn 含有率

種類		Mn 処理濃度（ppm）				
		0.5	3	10	30	100
A	ハツカダイコン	—	—	—	—	—
	ネギ	0.22	0.17	0.11	0.20	0.19
	トウガラシ	0.13	0.11	0.35	0.30	0.38
	ミツバ	0.13	0.08	0.08	0.16	0.30
B	レタス	0.16	0.05	0.06	0.07	0.20
	ホウレンソウ	0.04	0.11	0.29	0.75	0.65
	ニンジン	—	—	—	—	—
	ナス	0.07	0.06	0.13	0.16	0.11
	キャベツ	0.05	0.12	0.29	—	—
C	セルリー	0.04	0.08	0.15	0.28	0.15
	トマト	0.09	0.17	0.32	0.26	0.28
D	カブ	—	—	—	—	—
	インゲン	0.23	0.29	0.09	0.26	0.53
	キュウリ	0.69	0.36	0.60	0.36	0.85

た比較的低濃度の Mn 処理区における同比の値は，標準区をやや下回る場合もみられるが，Mn 高濃度区では一般に増大して標準区を上回るものが多い．すなわち培地中の Mn が著しく過剰になると，一般に葉中 Mn 含有率は根中 Mn 含有率よりも高まりかたが大きいといえる．しかし上述のように葉中 Mn 含有率は根中 Mn 含有率よりも高くはならなかつた．また同比の値と Mn 耐性との間には関連が認められない．なお3種根葉については細根の分析を行なわなかつたため，ここでは省略した．

次に葉中 Fe 含有率を第7表によつてみると，Mn 処理によつてネギ，トウガラシ，ミツバ，ホウレンソウ，ナス，トマト，キュウリなどでは低下したが，他のそ菜ではあまり大きく変動しないか，むしろ増加したものもあつた．とくにクロロシス発生区の Fe 含有率についてみると，外観正常区より低い値を示すそ菜もあるが，その逆のものも認められる．一方，葉中の Fe/Mn 比は第8表に示すように，標準区（Fe 3ppm，Mn 0.5ppm，

第7表　培養液中の Mn 処理濃度と各種そ菜葉中の Fe 含有率（乾物中 ppm）

種類		Mn 処理濃度（ppm）				
		0.5	3	10	30	100
A	ハツカダイコン	232	300	297	293	255*
	ネギ	275	163	160	153	142
	トウガラシ	440	320	302	245*	206*
	ミツバ	204	200	148	152	120*
B	レタス	175	153	137*	137*	153*
	ホウレンソウ	179	114	105	108*	91*
	ニンジン	128	116	139	142*	117*
	ナス	270	210	210	170	206
	キャベツ	122	102	115	128*	166*
C	セルリー	122	153	183*	130*	183*
	トマト	256	190	200	170	170
D	カブ	147	151	154*	151*	174*
	インゲン	229	229*	194*	238*	222*
	キュウリ	250	186	228	180	180

* クロロシスの発生を認めた区．

第8表　培養液中の Mn 処理濃度と各種そ菜葉中の Fe 含有率/Mn 含有率

種類		Mn 処理濃度（ppm）				
		0.5	3	10	30	100
A	ハツカダイコン	1.09	0.49	0.09	0.04	0.01*
	ネギ	3.82	0.80	0.33	0.10	0.03
	トウガラシ	4.15	0.87	0.25	0.09*	0.03*
	ミツバ	1.32	0.66	0.34	0.12	0.03*
B	レタス	1.02	0.37	0.16*	0.09*	0.03*
	ホウレンソウ	1.07	0.29	0.09	0.03*	0.01*
	ニンジン	0.86	0.32	0.11	0.04*	0.01*
	ナス	2.90	0.60	0.15	0.06	0.03
	キャベツ	0.75	0.23	0.08	0.03*	0.02*
C	セルリー	1.54	0.58	0.18*	0.04*	0.02*
	トマト	2.67	0.52	0.14	0.05	0.03
D	カブ	0.90	0.33	0.10*	0.04*	0.01*
	インゲン	1.45	0.36*	0.16*	0.10*	0.02*
	キュウリ	2.12	0.48	0.18	0.06	0.03

* クロロシスの発生を認めた区．

Fe/Mn=6.0）では 0.75（キャベツ）～4.15（トウガラシ）の間に分布したが，Mn 処理濃度の高まりにつれて著しく低下した．しかし Mn 処理による生育阻害程度（第2表参照）ないしはクロロシス発生（第8表の注を参照）と，同比との量的関係は，そ菜の種類によつてかなり異なつており，一般的結論は下しがたい．

Fe 含有率の葉/根比を求めた結果は第9表のとおりで，全般に 1.00 より小さい値であり，根の Fe 含有率のほうが葉のそれよりも高い．なお同比の値は Mn 処理濃度の高まりに伴つて大多数のそ菜で低下した．すなわち過剰の Mn によつて，一般に Fe の根から地上部への移行が阻害されることが示唆される．

第9表　培養液中の Mn 処理濃度と各種そ菜の葉中 Fe 含有率/根中 Fe 含有率

種類		Mn 処理濃度（ppm）				
		0.5	3	10	30	100
A	ハツカダイコン	—	—	—	—	—
	ネギ	0.22	0.13	0.14	0.11	0.11
	トウガラシ	0.47	0.14	0.14	0.10*	0.09*
	ミツバ	0.07	0.07	0.04	0.05	0.06*
B	レタス	0.06	0.05	0.05*	0.05*	0.03*
	ホウレンソウ	0.14	0.09	0.07	0.08*	0.04*
	ニンジン	—	—	—	—	—
	ナス	0.14	0.08	0.06	0.04	0.04
	キャベツ	0.02	0.03	0.03	—	—
C	セルリー	0.05	0.07	0.09*	0.07*	0.06*
	トマト	0.11	0.06	0.07	0.06	0.06
D	カブ	—	—	—	—	—
	インゲン	0.11	0.06*	0.05*	0.05*	0.03*
	キュウリ	0.28	0.07	0.13	0.03	0.04

* クロロシスの発生を認めた区．

ここでは分析結果を省略したが，Mn 処理濃度の高まりに伴う Mn，Fe 以外の各種無機要素の葉中含有率の変化は次のとおりであつた．すなわち Cu はあまり変動しないか，もしくは増加した．Zn は大多数のそ菜で増加した．三要素の N，P および K の含量にはあまり著しい変動は認められなかつた．しかし Ca および Mg は大多数のそ菜で減少し，とくにキュウリにおける Ca の減少は最も著しい例であつた．

考　察

農作物の Mn 過剰害に関する研究は，従来主として酸性土壌の害に関連して数多く行なわれてきた．Hewitt (3)は各種農作物について Mn 耐性にかなりの種間差異があることを報告し，また Löhnis (2)は植物の Mn 抵抗性が，弱い Mn 吸収に基づくものと，植物体内における強い Mn 抵抗性によるものとがあることを指摘した．本実験においては，14 種類の供試そ菜の Mn 耐性にかなり著しい種間差異のあることが認められ，また Mn 耐性の強いそ菜ほど収量半減に対応する葉中 Mn 含有率が高く，かつその最低値と最高値の間には著しい差があつた．この結果は Mn 耐性そ菜が組織中に過剰に集積する Mn の害作用に耐える特性，いわゆる true tolerance (13) を有することを示唆するものと思われる．このことはまた，Mn 耐性の強いそ菜ほどネクロシスのかつ斑を発生しにくかつたことからも裏付けされよう．なお上述のようなそ菜の Mn 耐性と Mn 集積との関係は，Zn 耐性と Zn 集積との関係 (8) よりもはるかに明りようであつた．Mn と Zn (8) の毒性を比較すると，一般に前者のほうが弱い．またこれら異種の元素に対する各種そ菜の耐性順位には，必ずしも一定の傾向が認められないが，同様のことは Turner (13) も述べている．

本研究によつて得られたそ菜の Mn 耐性順位（第2表），Mn 害症状（第3表），植物体の Mn 含有率（第4表および第5表）などの結果は，そ菜の Mn 過剰障害の診断に際して参考になると思われる．ただし同一そ菜でも Mn 耐性あるいは Mn 害症状は，品種，生育段階，培地組成，気象条件など種々の要因によつて異なることは充分考えられる．そ菜葉中の Mn 含有率は，標準の場合にはおおむね乾物中 200 ppm 程度あるいはそれ以下とみてよいと思われるが，Mn の有害限界含有率は第5表の結果から示唆されるように，そ菜の種類によつて著しい差があると考えられるので，一概にはいえない．

Mn 害症状は根よりも地上部に顕著に現われたが，そのおもなものはかつ斑とクロロシスであつた．Mn 害症状は Hewitt (5) や Mulder ら (6) によつても若干の農作物について抄録されている．本実験においてかつ斑は植物体の古い部位から発生し，また Mn 耐性の弱いそ菜におけるほど低濃度の処理区から発生する傾向がみられた．同症状は Mn の局部的な過剰集積に原因するネクロシスと思われるが，その発生をもたらした葉中 Mn 含有率の下限値はそ菜の種類によつてかなり異なり，一般に Mn 耐性の弱いそ菜のほうが強いものよりも低かつた．すなわち弱いそ菜は強いものよりも低い Mn 集積によつて同症状を発生するものと考えられる．ただし今回の分析は全葉混合試料によるものであり，発症と Mn 集積の関係を厳密に検討するためには，とくに発症葉についての分析を行なう必要がある．

クロロシスも多くのそ菜で観察され，これもかつ斑と同様に Mn 耐性の弱いそ菜におけるほど低濃度の処

理区から発生する傾向がみられた．同症状の一部は Fe 欠乏に類似の葉脈間クロロシスであつたが，大多数のものは葉縁クロロシスとして始まり，葉身内に進行するもので，しばしば黄化部位内にかつ斑の発生を伴い，Fe 欠乏症状とは異なつていた．このことは Zn 誘導クロロシス (8, 9) がおおむね Fe 欠乏に類似の症状であつたのとは相違した．Hewitt (5) も Mn 害症状はしばしば Fe 欠乏症状とは全く異なると述べており，また Mulder ら(6)も Mn 過剰によるクロロシスについて，Fe 欠乏であることを示す報告もあるが，そうでない報告もあることを紹介している．

Mn を含めて各種重金属により誘導されるクロロシスの発生機作については，研究者によつて意見の対立がみられる．Shive (10)，Somers，Gilbert および Shive (11)，Somers および Shive (12) はダイズを供試して Fe と Mn の相互関係について研究し，正常な生育は培地中の Fe/Mn 比および植物体中の可溶性 Fe/可溶性 Mn 比が 2.0 前後のある幅の間で得られ，同比の低下は Mn 害すなわち Fe 欠乏を生ずるとした．さらに Somers および Shive (12) はクロロシスの発生原因について，Mn により Fe^{2+} が Fe^{3+} に酸化されて不活性化ないしは不溶化することによると考えた．このような考えに対して Hewitt (4) は重金属の錯結合力による Fe との拮抗を提唱した．また Oertli および Jacobson (7) はヒマワリとトウモロコシを供試した水耕試験で，Mn と Fe の比のみがクロロシスの発生を支配するのではないこと，また Mn 誘導クロロシスは Mn による葉中 Fe の不溶化では説明しがたいことを述べている．茅野および三井(1)は Mn によるアルファルファの葉縁クロロシス部位に Mn の集積が多く，Fe が少ないことを見出した．前述のように，本実験における Mn 誘導クロロシスには Fe 欠乏類似の症状も一部含まれたが，大多数のものはこれとは異なる葉縁クロロシスで，しばしば発症部位内に Mn 集積によると思われるかつ斑を伴つた．このことは葉縁クロロシスが Mn の集積と密接な関連があることを示唆するように思われる．なおクロロシス発生区の葉中全 Fe 含有率は，必ずしも外観正常区と比較して低くなかつたが，茅野および三井が指摘したように発症部位の Fe 含有率が問題であるかもしれない．なお葉中 Fe/Mn 比は Mn 処理濃度の高まりにつれて著しく低下したが，そ菜の正常な生育にとつて好適な同比の存在の有無，あるいはクロロシス発生と同比との関係については，今回の試験からは充分検討することができない．上述の種々の問題点を含めて，Mn 誘導クロロシスについては今後さらに検討する予定である．

微量要素の Cu，Zn あるいは三要素の N，P，K の葉中含有率と Mn 過剰害との間には，とくに関連は認められなかつた．しかし Mn の集積と拮抗する Ca や Mg の葉中含有率の低下は，Mn 害に関与する可能性も考えられ，興味ある問題と思われる．

摘　　要

Mn 過剰に対する各種そ菜の比較耐性を比較するため，14 種類のそ菜を供試して水耕試験を行なつた．基本培養液には Hoagland 第1液を用い，Fe は Fe-EDTA により 3ppm を与えた．Mn 処理濃度は 0.5（標準），3，10，30，100ppm とした．培養液の pH は6に調節し，処理期間は4週間とした．

1. 地上部乾物収量が標準区に比べて半減した培養液中の Mn 濃度によつて評価したそ菜の Mn 耐性には，かなりの種間差異が認められた．最も強いグループに属するハツカダイコン，ネギ，トウガラシ，ミツバは 100 ppm でも収量が半減しなかつた．ついでレタス，ホウレンソウ，ニンジン，ナス，キャベツは 30～100ppm 間で，またセルリー，トマトは 10～30ppm 間でそれぞれ収量半減をきたした．最も弱いカブ，インゲン，キュウリにおける収量半減濃度は 3～10ppm 間であつた．

2. Mn 害症状は多様であつたが，最も多くみられたのはかつ斑とクロロシスで，いずれも Mn 耐性の弱いそ菜におけるほど低濃度の処理区から発生する傾向があつた．かつ斑は下位葉の葉縁ぞい，茎の下部など古い部位から発生した．クロロシスの一部は Fe 欠乏に類似の葉脈間クロロシスであつたが，大多数のものは Fe 欠乏症状とは異なる葉縁クロロシスであつた．一方，根については，若干のそ菜で Mn 処理によりかつ色に着色した以外には著しい障害は認められなかつた．

3. 葉中 Mn 含有率は標準区ではおおむね乾物中 200ppm 以下であつたが，Mn 処理濃度の高まりにつれて著しく増大した．収量半減に対応する葉中 Mn 含有率は Mn 耐性の強い種類ほど高い傾向が認められ，種間で著しい差があつた．かつ斑の発生をもたらした葉中 Mn 含有率の下限値はそ菜の種類によつてかなり異なり，一般に Mn 耐性の弱いそ菜のほうが強いものよりも低かつた．

4. 過剰の Mn が葉中 Fe 含有率に及ぼす影響はそ菜の種類によつて異なつた．クロロシスの発生と葉中 Fe 含有率との間には明らかな関連が認められなかつた．

5. Cu，Zn あるいは N，P，K の葉中含有率と Mn 過剰害との間には，とくに関連は認められなかつた．しかし Ca や Mg の含有率は Mn 処理によつてかなり低

下したそ菜がみられた.

引用文献

1. 茅野充男・三井進午. 1967. アルファルファにおける重金属誘導クロロシスの発生と ^{59}Fe, ^{60}Co および ^{54}Mn の分布. 重金属誘導鉄クロロシスの発生に関する研究（第3報）. 土肥誌. 38 : 280—286.
2. LÖHNIS, M. P. 1951. Manganese toxicity in field and market garden crops. Plant and Soil. 3 : 193—222.
3. HEWITT, E. J. 1948. The resolution of the factors in soil acidity. IV. The relative effects of alminium and manganese toxicities on some farm and market garden crops. Long Ashton Res. Sta. Ann. Rep. 1947. 58—65.
4. ———. 1951. The role of the mineral elements in plant nutrition. Ann. Rev. Plant Physiol. 2 : 25—52.
5. ———. 1963. The essential nutrient elements : Requirements and interactions in plants. In : Plant Physiology. F. C. STEWARD, ed. Academic Press, New York and London. Vol. 3, pp. 137—360.
6. MULDER, E. G., and F. C. GERRETSEN. 1952. Soil manganese in relation to plant growth. Adv. Agron. 4 : 221—277.
7. OERTLI, J. J., and L. JACOBSON. 1960. Some quantitative considerations in iron nutrition of higher plants. Plant Physiol. 35 : 683—688.
8. 大沢孝也. 1971. そ菜の重金属過剰障害に関する研究（第1報）水耕培養液中の亜鉛濃度がそ菜の生育に及ぼす影響. 園学雑. 40 : 389—394.
9. ———. 1973. ———（第2報）. 水耕培養液中の鉄濃度がそ菜の亜鉛過剰障害に及ぼす影響. 園学雑. 42 : 259—263.
10. SHIVE, J. W. 1941. Significant roles of trace elements in the nutrition of plants. Plant Physiol. 16 : 435—445.
11. SOMERS, I. I., S. G. GILBERT, and J. W. SHIVE. 1942. The iron-manganese ratio in relation to the respiratory CO_2 and deficiency toxicity symptoms in soybeans. Plant Physiol. 17 : 317—320.
12. ———. and J. W. SHIVE. 1942. The iron-manganese relation in plant metabolism. Plant Physiol. 17 : 582—602.
13. TURNER, R. G. 1969. Heavy metal tolerance in plants. In : Ecological Aspects of the mineral nutrition of plants. I. H. RORISON, ed. Blackwell Scientific Publications, Oxford and Edinburgh. pp. 399—410.