

鳥取県八頭郡河原町における梨葉黄化症の 発生原因とその対策に関する研究

Ⅲ. 砂耕および土耕培地中の銅が果樹による無機 要素の吸収とクロロシスの発現に及ぼす影響

長井武雄*

昭和50年9月22日受付

Studies on the Chlorotic Disorder of Japanese Pear Trees at Old Orchards in Kawabara, Tottori Prefecture

Ⅲ. The Effects of Copper on the Leaf Composition and the Chlorosis of Young Fruit Trees by Sand and Soil Cultures

Takeo NAGAI

Leaf chlorosis has been a great problem for many years in Japanese pear orchards in Kawabara, Tottori Prefecture. According to the previous report, the soil in this affected orchard contained excess-copper originated from fungicides. In this paper, young fruit trees were grown by sand culture to clarify the effects of copper application on the occurrence of leaf chlorosis and the uptake of mineral nutrients. Then, the results thus obtained were compared with those from the young fruit trees which were grown on the affected orchard soil by pot experiment.

An excessive supply of copper, such as 20 or 40 ppm, caused chlorosis to appear on the leaves of the sprouts. In severe cases, the whole leaf became yellow-white. The chlorotic leaves were higher in P, K, Mg, Mn and Cu contents, but lower in Ca and Fe contents as compared with the healthy leaves.

In the pot experiment, leaf chlorosis appeared in plots without such amendments as lime and fused phosphate. The results of leaf analysis were similar to those obtained from the sand culture. The more the Cu contents of leaves increased, the more Fe/P ratios decreased. When the fruit trees suffering from chlorosis were supplied with 0.2% solution of ferrous sulfate by foliar spray, the trees recovered completely from the chlorosis. Therefore, it was considered that the chlorotic leaves were deficient in iron, and also that a high concentration of phosphorus had important influences upon the activity of iron in the chlorotic leaves.

* 鳥取大学農学部農芸化学科作物栄養学研究室

第1表 標準培養液の組成

要素	濃度 (ppm)	塩類
NH ₄ -N	40	NH ₄ NO ₃
NO ₃ -N	40	〃
P ₂ O ₅	20	KH ₂ PO ₄
K ₂ O	80	KCℓ, KH ₂ PO ₄
CaO	10	CaCℓ ₂ ·2H ₂ O
MgO	10	MgSO ₄ ·H ₂ O
Fe	1.0	FeSO ₄ ·7H ₂ O
Mn	0.5	MnCℓ ₂ ·4H ₂ O
Cu	0.025	CuSO ₄ ·5H ₂ O
B	0.5	H ₃ BO ₃
Zn	0.5	ZnSO ₄ ·7H ₂ O
Mo	0.025	Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O

(pH 6.0, 水道水 (CaO 5ppm) で調整)

結 言

鳥取県八頭郡河原町の梨園 (二十世紀) で4~5月頃の新梢伸長期に発生するクロロシスについて、これまでに行った研究の結果^{1,2)}によると、障害の著しい果樹ではその根圏土壤中に多量のCuが集積している。そして、この樹園地土壤にCu溶解度の低下に効果のある改良対策すなわち、石灰施用^{3,4)}、粗大有機物の施用⁴⁾、燐酸質肥料の多用⁵⁾等の措置を講じて、これが畑作物の生育に及ぼす影響をみると、無処理土壤では過剰のCuによって生育は著しく抑制され、かつ萎黄症状を呈したが、改良処理によって最小限pH 5.0に土壤酸度が矯正された区では、土壤中の水溶性および置換性のCuが顕著に減少し生育は順調に進展した。このような結果から、上記果樹園におけるクロロシスには、根圏土壤中に集積している多量のCuが土壌的要因として、無視できない影響を与えていると考えられる。しかし、現地果樹についての葉分析からは必ずしもこれを明らかにする結果が得られていない。

そこで、本研究では障害要因としてのCuの役割を明らかにするため、まず砂耕法によって梨の苗木 (二十世紀) を培養し、培地のCu濃度の増加がもたらすクロロシス発生状況や葉中無機要素含有率にみられる特徴を明らかにしようとした。ついでポット試験により、上記の障害を示す樹園地土壤にCu溶解度に影響する2、3の土壌改良の措置を施し、これによる果樹のクロロシス発生状況および葉分析の結果を、砂耕法の場合と比較検討することにした。

実 験

1. 砂耕法による培地Cu濃度の増加が、苗木のクロロシス発生状況と無機要素の吸収に及ぼす影響

(1) 試験法

i) 標準培養液の組成および砂耕培養法

本試験に供試した標準培養液の組成を第1表に示した。培養を開始して最初の1ヶ月間は各試験区共通に、表示のごとく、CaO 10ppm、Cu 0.025ppmを含む標準培養液 (pH 6.0) を水道水で調製して与えた。まず5mmの篩を通した河砂を充分に水洗して2千分の1アール・ポットに詰め、これに4月中旬高さ30cmほどに先端を切りそろえた2年生の苗木 (二十世紀) を移植した。苗木は頂芽3個を残して他はかきとり、主枝を3本仕立てとした。

培養液は通常1日に1ℓを掛け流したが、7~9月の3ヶ月間は10時から15時までの日中5時間だけ、ポットの底から10cmの高さまで水がたまっているように随時灌水した。これらの時間外はポットの排水口を開け、排水を計った。178日間の培養をもって試験を終了した。

ii) 試験区の構成

試験区の内容は第2表に示したとおりで、5月下旬から第1表に示した標準培養液を水道水で調製する区 (水道水のCaO濃度約5ppm、したがってCaO供給濃度は15ppm、これをCa多量区と称す) と、標準組成からCaOを除いたものを脱塩水で調製する区 (CaO少量区と称す) に分け、さらにそれぞれをpH 6.0と4.5にする区に細分した。Cuの供給濃度は当初20ppmと40ppmであったが、8月以降40ppm区は60ppmに増加した。

本研究ではpH 6.0、Cu 0.025ppm、Ca多量区をもって対照区とした。また、Cu増量の影響と比較するために、Mn増量区 (pH 6.0、Cu 0.025ppm、Mn 60ppm、Ca多量) を設けた。

iii) 収穫物の分析法

生育の期間中、葉分析のために随時に採取した試料は直ちに2%酢酸、脱塩水で逐次洗い、さらに60℃で乾燥

したのち粉碎した。乾燥粉末を濃硝酸で予備分解したのち、硝酸・過塩素酸・硫酸の混合液（5：4：1）で湿式灰化する。分解液をほとんど乾固するに至らせ、これを1NHClに溶解して分析に供する。Ca、Mg、Fe、Mn、Cuの定量は原子吸光法による。

(2) 試験結果

i) 苗木の生育およびクロロシス発生の状況

生育期間中の分析用に採取した枝葉、あるいは剪定した枝葉を含めて、培養期間中（178日間）の新鮮重の増加量を第2表に示した。

第2表 試験期間(178日)における苗木の増加量
(2ポット平均)

培養液		新鮮重(g)	
pH	Cu (ppm)	Ca 多量区	Ca 少量区
6.0	0.025	6 5 0	—
	20	6 7 0 *	5 3 3 **
	40	7 6 0	4 0 8 **
4.5	20	7 7 3 *	6 1 0 **
	40	5 2 0 *	4 5 3 **

* クロロシス重症, ** クロロシス軽症

Ca多量区はCa少量区より生育量が大きく、とくに pH 6.0、Cu40ppm区およびpH4.5、Cu20ppm区では対照区をこえる値を示している。これは、生育の前半5～6月における主幹などの生長が良好であったことが影響していると考えられるが、これらの区も生育が進むにつれてCuの悪影響を受け、生育後半の生育は著しい停滞を示した。

8月中旬に主枝先端部を30～50cmほど剪定して、側芽の生長を促したところ、8月下旬になって伸長した枝の先端葉にクロロシスが発現したが、その程度はCa少量区が多量区より軽く、葉脈に緑色を残し、葉身部は一様に黄色または黄緑色を呈した。これらは後になって、多少緑色を回復する場合があった。一方、Ca多量区は症状がはげしく、展葉時にすでに黄化しており、その後、漸次葉脈からも緑色が失われて、全体に黄白色となる場合が多くみられた。pH6.0、Cu40ppmのCa多量区は主枝先端部の剪定後、側芽の充分な伸長が認められなかったので、

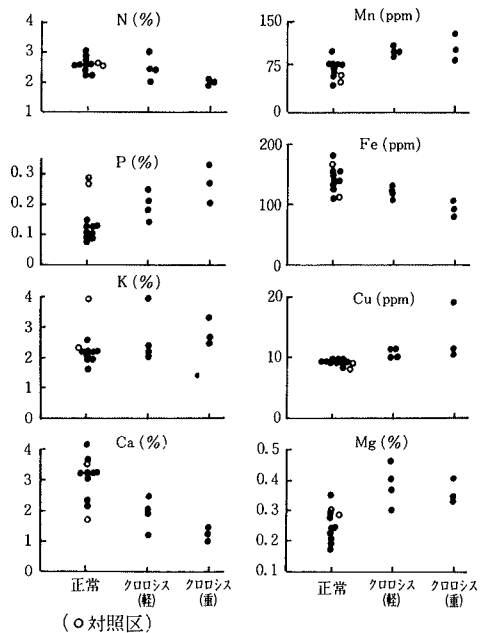
結局クロロシスを発現していない。

軽症および重症のクロロシスの例を第4図に示す。

ii) Cu増量区における無機要素含有率

培養を終了した10月中旬に、対照区および各Cu増量区から主枝葉および側枝（主枝先端を剪定したのちに側芽から生長した枝）葉を採取し、これらを緑色を呈して見掛上正常なもの、クロロシス軽症のもの（葉脈は緑色をとどめる）、および重症のもの（葉脈も黄色または黄白色を呈す）の3種に分別し、それぞれの無機要素含有率を求めた。

これらの結果を示すと、第1図のとおりである。



第1図 葉の無機要素含有率

正常葉はCa含有率（1.67～4.02%）の変動が大きく、Cu含有率（7.3～9.2ppm）の変動は著しく小さい。Cu増量区のみについてみれば、一般的にクロロシス葉は正常葉に比べてPおよびCu含有率の高いものが多い、CaおよびFe含有率の低いものが多い。

Cu、FeおよびCaについて根・枝および葉における含有率を示すと第3表のとおりである。

第3表 根、枝、葉のCu、FeおよびCa含有率

pH	Cu供給濃度 (ppm)	Ca 多量区					Ca 少量区				
		根	枝		葉		根	枝		葉	
			主枝	側枝	主枝	側枝		主枝	側枝	主枝	側枝
(Cu 含有率, ppm)											
			%					%			
6.0	0.025	0.004	6.3	6.2	7.3	8.2	—	—	—	—	—
	20	0.296	9.0	12.3	9.1	10.3 *	0.382	9.3	11.0	9.2	12.7 *
	40	0.997	10.1	9.1	7.7	8.1	1.200	10.6	8.5	8.5	9.9 *
4.5	20	0.698	8.8	11.0	9.2	18.0 *	0.557	8.3	8.3	7.6	12.0 *
	40	0.870	9.6	9.6	8.7	11.5 *	0.615	9.7	10.9	8.2	9.8 *
(Fe 含有率, ppm)											
			%					%			
6.0	0.025	0.172	38	30	169	111	—	—	—	—	—
	20	0.270	45	44	154	81 *	0.171	48	23	156	117 *
	40	0.310	30	32	145	110	0.164	42	19	147	119 *
4.5	20	0.145	46	24	181	91 *	0.234	35	25	125	128 *
	40	0.270	52	18	144	103 *	0.187	46	27	135	103 *
(Ca 含有率, %)											
			%					%			
6.0	0.025	1.14	1.04	0.96	3.61	1.67	—	—	—	—	—
	20	1.49	0.84	0.91	3.18	1.18 *	1.08	0.89	1.03	3.23	1.83 *
	40	1.63	0.61	0.74	3.25	2.23	1.39	0.86	0.81	2.28	1.13 *
4.5	20	1.26	0.74	0.66	3.61	0.94 *	1.34	0.92	0.66	3.16	2.45 *
	40	1.54	0.79	0.86	4.02	1.44 *	1.66	0.94	1.19	3.10	1.86 *

* クロロシス葉

Cu供給濃度が高くなると、根のCu含有率は増大するが、地上部では主枝を除き必ずしも増大していない。とくに葉についてみると、正常葉 (7.3~9.2ppm) に比べ、クロロシス葉 (9.8~18.0ppm) は明らかに高いCu含有率を示す。根のFe含有率はCu濃度が増大すると、Ca多量区では高くなっているが、Ca少量区では必ずしも高くない。葉のFe含有率は主枝葉ではCu濃度の増加によって、多少減少する傾向を示すが、側枝葉ではむしろ増大している場合がある。つぎにCa含有率をみると、Ca多量区では培地のCu濃度が増加すると根の含有率が高くなり、逆に枝における含有率は低下している。Ca少量区の場合でも、第2表に示した生育量からみて、地上部へのCaの吸収移行がCu供給の増加によって抑制されていることが判る。

以上の諸結果により、培地のCu濃度が増大すると、葉中のPおよびCuの含有率が増大する反面、Ca、場合によってはFeなどの含有率は減少する傾向のあることを指摘することができる。

iii) クロロシス葉に対する FeSO₄ のスプレー効果

pH4.5、Cu20ppm、Ca多量区のクロロシス葉に0.1% FeSO₄・2H₂O溶液を1日1回、7日間連続してスプレーしたところ、スプレー開始後3日目に葉身の中央部分に斑点状に緑色の回復が認められた。その後、このスプレーを継続すると、日を追って緑色域が増大した。このスプレー効果は先端葉ほど早く現われる傾向がある。緑色が回復する状況を第4図に示す。

この試験区のクロロシス葉はFe含有率が対照区 (111ppm) に比べ、とくに低い値 (91ppm) といえないが、P含有率 (0.33%) が高く、このため、いわゆるFeの活性が低下してFe欠乏を生じていると考えられる。

iv) Mn増量区における生育状況

標準培養液のMn濃度を60ppmに高めたMn増量区においても、側芽から生長した新梢にクロロシス葉を生じた。しかし、Cu増量供給区の場合と異なって、比較的初期の

軽度クロロシスの段階では、はじめ緑色であっても、葉の展開が完了すると、周縁部から緑色の葉脈を残し、いわばモザイク状に黄化が始まる場合が多い。この段階にある黄化葉のMn含有率は500~600 ppm、Fe含有率は40~50 ppmであった。

Mnの過剰吸収が進行すると、枝先の葉は明らかな黄化を示さない。葉縁あるいは葉脈間が褐変し、葉縁を巻きこみ充分に展開しないうちに落葉する。このような場合の葉のMn含有率は4000ppmほどに達している。この段階で中位葉には見掛上異常が認められていない。しかし、下位の成葉では、周縁部の緑が漸次退色して黄化するに至る。さらに症状が進むと、この黄化は側脈間にも舌状に進行するようになる。このような葉でのMn含有率は約3000ppmであったが、古い成葉での落葉は全く認められなかった。Mn過剰症状の例を第4図に示す。

178日間の培養終了とともに採取した葉の分析結果はCu増量区の場合と異なり、Mnの増量によってむしろPやMgの含有率が低下する傾向にあったが、Ca含有率は高くなっていた。

2. 樹園地土壌の土壌改良の措置が苗木のクロロシス発生状況と無機要素の吸収に及ぼす影響

(1) 試験法

i) 供試土壌

供試土壌は先報²⁾において畑作物のポット試験に用いたものと同じである。土壌pH (H₂O)は4.1、1N酢酸ア

ンモニウム (pH4.5) によるFe、MnおよびCuの抽出量はそれぞれ150、85および62 ppmである。

ii) 試験区の構成と土壌処理の内容

第4表に示したごとく、堆肥添加区、磷酸添加区、塩基添加区、堆肥・塩基併用添加区および燐燐添加区を設けた。

10mmの篩を通した風乾土壌12kgを2千分の1アール・ポットに填め、それぞれ堆肥区には牛ふん堆肥の風乾粉末を土壌量の2%相当量、磷酸区には磷酸二水素カルシウム(化学試薬1級)を土壌の磷酸吸収係数の5および10%飽和相当量、そして塩基区には石灰(沈降性炭酸カルシウム、化学試薬1級)と苦土(塩基性炭酸マグネシウム、化学試薬1級)の混合物(当量比で4:1)をpH5.5および6.5に酸度を矯正するに必要な計算量を添加混合した。肥料三要素は各区共通に燐硝安加里S 604号(16-10-14)を移植時に20g与えたが、その後は生育の進展に応じて適宜追肥した。

3月下旬に移植時の樹高が約30cmになるよう、先端を切りそろえた2年生の苗木を1ポット1本宛移植し、前述の砂耕培養の場合と同様、主枝を3本仕立とした。1972年3月から3ケ年に亘って試験を行なったが、毎春花芽は全て除去すると同時に、出葉を開始して間もない時期に整枝のための剪定を行なった。

(2) 試験結果

i) 各試験区の生育状況

移植後1ヶ月あまりは各試験区とも生育は順調に進展した。しかし、5月になると対照区、磷酸区および堆肥区は主枝の伸びが一時的に停滞し、6月下旬になって再び伸長が始まると、その先端葉にクロロシスが認められるようになった。対照区についてクロロシスの状況を第4図に示す。2年目の春先には、これらの3区は新葉が展開したとき、すでに黄化が始まっており、この傾向は3年目においても同様に認められた。とくに、磷酸区では2年目の6月中旬になると、Mg欠乏と思われる症状をも併発し、8月末までにはほとんど落葉した。この区はその後、越冬

第4表 試験区の処理内容

試験区名	処理内容	添加物
対照区	——	——
堆肥区	2.0%	風乾堆肥末
磷酸 少量区 多量区	磷酸吸収係数の5%飽和 〃 10%飽和	Ca (H ₂ PO ₄) ₂ · H ₂ O
塩基 少量区 多量区	土壌酸度をpH5.5に矯正 〃 pH6.5に矯正	CaCO ₃ Mg (CO ₃) ₄ · Mg (OH) ₂ (4:1)
堆肥 少量区 少量 多量区	pH5.5, 堆肥1.0% pH6.5, 〃	CaCO ₃ Mg (CO ₃) ₄ · Mg (OH) ₂ 風乾堆肥末
燐燐 少量区 多量区	磷酸吸収係数の5%飽和 〃 10%飽和	BM 燐燐

を待たず再び新芽からの出葉をみた。

一方、土壤酸度が矯正された塩基区および熔燐区は見掛上生育に異常がみられず、クロロシス葉も現われなかった。2年目においても良好な生育を示したが、3年目になると、それぞれ塩基と熔燐の少量区は5～6月にかけて、新梢が伸長するにつれて、先端部に極く軽度のクロロシスを呈する葉が少数みとめられた。

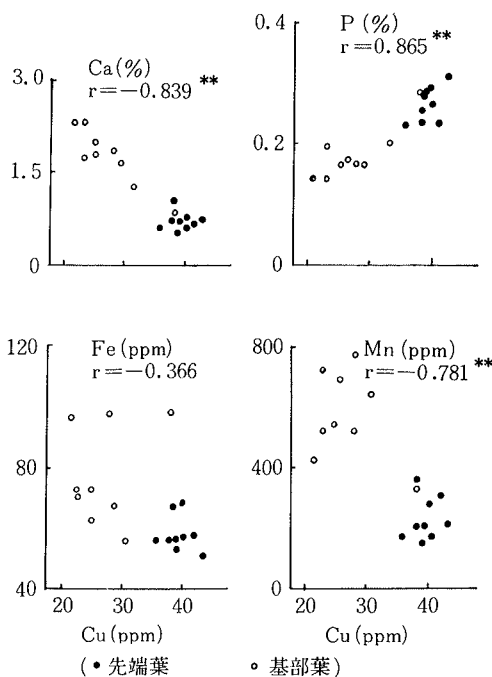
ii) 葉の無機要素含有率

試験1年目の8月中旬に、先端から長さ80cmほど主枝を切りとり、その先端から1/2より基部の成葉と先端部の若葉に分けた。それぞれの葉につき無機要素含有率を測定したが、とくに砂耕試験において特徴がみられたCa、P、FeおよびMnの含有率とCu含有率との関係を第2図に示す。

一般的にいて、PおよびCu含有率は若葉で高く、成葉で低い。これに対してCaおよびMn含有率は成葉において高い。Fe含有率もこれに類似の傾向を示す。若葉および成葉を通じてみると、Cu含有率が增大するにつれてP含有率は増大し、Ca含有率は低下する。Mnも多少Caと類似した傾向を示すが、成葉のみについてみると、CaやPと異なりCuとの間にはっきりした関係を示さない。

試験2年目の5月下旬に、先端葉がクロロシスを呈した新梢を対照区と燐酸(多)区から、また見掛上健全な新梢を塩基(多)区と熔燐(多)区から切り取った。それぞれの1/2基部の成葉と先端部の若葉につき、葉柄部(主脈を含む)と葉身部(側脈を含む)に分け、無機要素の含有率を求めた結果は第5表のとおりである。

先端部がクロロシスを呈したいわゆる障害区は成葉、



第2図 葉のCu含有率とCa、P、FeおよびMn含有率との関係

若葉(先端)とともに、健全区よりN、P、K、MnおよびCu含有率が高く、Ca含有率が低い。Nの場合を除けば、このような傾向は砂耕試験で認められた傾向に一致する。MgおよびFeも障害区が高い値を示すがその差は小さい。

一般的な傾向をみると、1本の枝における先端部葉と基部葉への各要素の配分は、CaとMnを除いて、健全区

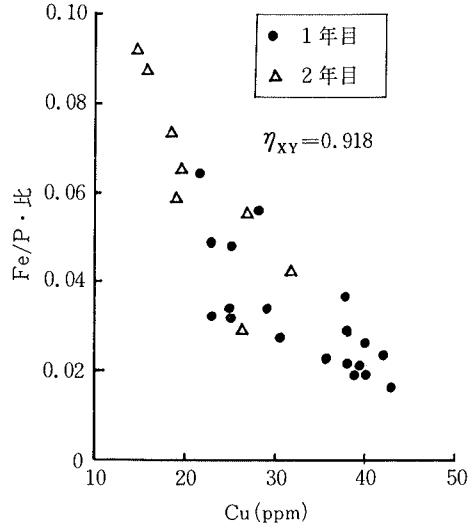
第5表 新梢の葉分析結果(2年目, 5月下旬)

試料		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	
		%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	
健全	先端部	葉身	2.03	0.20	2.31	0.68	0.23	75	111	28.5
		葉柄	1.18	0.14	2.66	0.99	0.08	128	99	33.2
	基部	葉身	2.19	0.14	2.31	1.08	0.23	65	183	19.7
		葉柄	2.21	0.13	2.67	1.62	0.10	149	98	24.5
障害	先端部	葉身	2.94	0.36	3.64	0.53	0.30	80	319	47.1
		葉柄	1.16	0.17	3.46	0.87	0.09	151	190	34.0
	基部	葉身	3.10	0.29	3.55	0.54	0.26	67	276	33.1
		葉柄	1.11	0.17	3.27	—	—	—	—	—

と障害区の間には大きな差はみられない。しかし、葉身部と葉柄部の値を比べると、障害区の三要素やMgは葉身部で高まっており、葉身におけるこれら要素の集積に乾物重の増加が伴っていないことが明らかである。障害区のMnは基部成葉より先端部の若い葉に濃度が高くなっているが、第2図の結果から判断すると、さらに生育が進むにつれ、基部成葉の濃度が高くなっていくと考えられる。Caは他の要素と異なって、障害区ではクロロシスを呈した先端葉のみならず、基部成葉においても集積量の少ないのが認められる。

クロロシスと葉中のFe含有率との関係を見るため、試験3年目の6月上旬に採取したそれぞれ対照区、燐酸(多)区および塩基(多)区の葉を、クロロシスの度合によって分別し、これらのP、Ca、FeおよびCu含有率を求めて第6表に示した。

これによると、同一試験区から得た試料を比較する限り、黄化が進むにつれてCu含有率が増大する反面、CaのみならずFe含有率も低下する傾向が明らかである。また対照区および燐酸区の黄白色葉のように、Fe含有率が多少高くとも、はげしいクロロシスを呈している場合には、Pとくに無機態Pの含有率が高まっているのが認められる。Fe/P比⁶⁾がクロロシス発現と関係の深いことが知られているので、試験1年目(成葉および未成葉、8月下旬)と2年目(未成葉、9月下旬)の葉分析の結果から、Fe/P比とCu含有率との関係を求めると、第3図に示したように、Cu含有率に対するFe/Pの相関比は著しく高い値を示す。



第3図 葉中のCu含有率とFe/P・比の関係

iii) クロロシス葉に対するFeの供給効果

a) 葉柄からのFe吸収:

試験3年目の対照区から、葉柄をつけたまま黄化葉を採取した。葉身の半分を処理前のクロロフィル定量に用い、葉柄および主脈をつけた残りの半分に、7日間葉柄を通じてFe溶液を与え、この処理が緑色の回復に及ぼす影響を検討した。Fe溶液は無機塩類を除いたホワイトの

組織培養液⁷⁾に、Fe濃度が100ppmになるようFeSO₄あるいはFe-citrateを添加したもので、この培養液を入れた試験管に葉柄部を差込み、毎日培養液を交換しながら7日間培養を続けた。この間におけるクロロフィルの増加量を示すと、第7表のとおりである。

無処理区(Feを含まぬ培養液)ではむしろクロロフィルが減少する傾向がみられるけれど、FeSO₄区とFe-citrate区とはともに明らかな増加が認められる。

第6表 クロロシスの状況と無機組成 (3年目, 6月下旬)

試料	Cu	Ca	Fe	全-P	無機-P	B/A	
				(A)	(B)		
	ppm	%	ppm	%	%	%	
対照区	黄白	26.6	0.60	206	0.369	0.102	27.6
	黄	19.3	0.75	207	0.288	0.018	6.3
	淡緑	11.7	0.87	242	0.235	0.020	8.5
燐酸(多)区	黄白	30.1	0.59	234	0.503	0.143	28.4
	黄	20.6	0.68	184	0.342	0.063	18.4
	淡黄緑	18.2	0.67	323	0.300	0.027	9.0
塩基(多)区	淡緑	17.3	0.68	282	0.175	0.017	9.7
	濃緑	13.7	0.84	363	0.156	0.006	3.8

(分析は葉身部についておこなった)

第7表 クロロシス葉に対するFe処理の影響

処 理	クロロフィル含量($\mu\text{g}/10\text{cm}^2$)	
	処 理 前	処 理 後*
無 処 理	61.3	51.5
FeSO ₄	61.8	125.2
Fe-citrate	70.6	109.7
LSD(5%)	33.7	27.2

* 処理7日後

b) 葉面に対するFe溶液のスプレー:

5月中旬、試験3年目の対照区について主枝1本を試験対象に選び、その先端部3本の側枝を残して他の枝は全て剪定除去した。3本のうち1本を無処理枝とし、他の2本にはそれぞれFe濃度が300ppmに相当するFeSO₄液およびFe-EDTA液⁸⁾を1日1回、7日間継続してスプレーした。5回以上のスプレーで漸次緑色の回復がみられたが、スプレー終了後に展開した新葉も緑色を呈しており、この生長は比較的旺んであった。処理を開始して2週間後に各処理区の葉を採取し、葉面積10cm²当りのクロロフィル量とともに、無機要素の含有率を測定した。その結果を第8表に示す。

Feスプレーの終了後、無処理区においても多少緑色味が増大する傾向がみられたが、Feスプレー葉のクロロフィル濃度はかなり高まっており、無処理区の3倍以上を示す。この緑色の回復に伴って、P、K、CaおよびMgの含有率が減少しているが、この減少はクロロフィル増加量の大きいFe-EDTA区で著しい。

以上の結果から、本供試土壌で育成された梨苗木は葉のFe含有率のレベルが低いときばかりでなく、相対的にP含有率が高いときにも、Feの活性が抑制されてクロロ

シスを呈すると考えられる。結局、このようなFeの活性に、土壌に蓄積している高濃度のCuが無視できない影響を与えていることは、これまでに述べた実験結果によって明らかである。

なお、栽培試験の終了時に各試験区の根圏土壌を採取し、pH4.5の酢安液抽出によるFe、MnおよびCuの溶出量を調べたところ、対照区や燐酸区は塩基区あるいは燐酸区に比べてFe溶出量が多く、CuやMnの溶出量が少なかった。全区を通じてFeとCuの溶出量の間には明瞭な負の相関($r = -0.929^{**}$)が認められている。この結果は栽培期間を通じて、土壌中のCu溶解度がFeの吸収に大きな影響を及ぼしていたことを示唆するものである。

考 察

山陰地方の40~50年ほどを経た梨園で、新梢伸長期の未成葉にクロロシスの生ずる例が、10年ほどの間に、比較的多く知られている。原因と考えられるものもさまざま、これまでにCa欠乏⁹⁾あるいはMn過剰¹⁰⁾などの場合が報告されている。本研究が対象とした河原町の場合は既報¹⁾のごとく、クロロシスののはげしくなるほど、根圏土壌に多量のCuが集積していることから、いわゆる重金属誘導鉄クロロシスの例であると推定されている。

本報では、この点を確かめるために、まず砂耕法によって苗木のクロロシス発現状況と葉中の無機組成に及ぼすCu供給の影響を検討したのであるが、20あるいは40ppm(生育の後半は60ppmに変更)のCuを与えると、生育後半の生長が著しく停滞した1部の区を除いて、側芽から伸長した枝(側枝)に顕著なクロロシス葉が現われた。FeSO₄溶液を葉面散布すると顕著な回復が認められるので、このクロロシス葉ではFe欠乏を生じていると考

第8表 Fe葉面散布後におけるクロロフィルと無機要素の含有率** (3年目, 5月中旬)

処 理	クロロ* フィル	全-P	無機-P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Ca/K
		%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	
無 処 理	88	0.294	0.054	3.30	0.87	0.16	167	167	17.1	0.264
Fe-EDTA	324	0.189	0.033	2.81	0.77	0.12	521	221	16.5	0.274
FeSO ₄	318	0.215	0.035	3.20	0.80	0.12	1175	220	16.8	0.250

* $\mu\text{g}/10\text{cm}^2$ ** 1日1回7日間継続散布, 散布終了7日後に試料を採取, 水洗した葉身部分について測定

えられる。秋になり、培養を終了した時点でのCu増量区の葉中無機含有率を第1図によってみれば、成葉であるか、未成葉であるかによってかなりの変動があるけれど、クロロシス葉は正常葉（緑色）に比べて、P、K、MgおよびCu含有率の高いものが多く、N、CaおよびFe含有率の低いものが多い。この傾向はそれぞれの場合、PおよびCa含有率において著しくなっている。

梨におけるCa欠乏症の発現状態として、下葉が全般的に淡色となり、次に葉縁の部分が黄色に変色して遂に枯死するに至る場合、あるいは生長点の葉先が黒変し、若葉がわん曲し、葉縁が黒変する場合、さらには成葉の葉縁に葉焼けを生じ、葉焼けの出現と前後して新梢の葉にクロロシスを生ずる場合などが知られている¹¹⁻¹³⁾。とくにクロロシス軽度のものでは葉縁部に薄く現われ、葉焼けを伴うものでは、葉縁から中央に向かってクロロシスが進行するようである。このようなCa欠乏症状は、本研究のCu増量区で認めたクロロシスと外観上明らかに異なっている。

和梨の葉成分中Caの含有率は1.08~2.82%の範囲にあり¹⁴⁻¹⁶⁾、また結実樹を用いてCaの欠除試験¹³⁾を行なったものによると、生理障害の発生をみたCa欠除区では、Ca含有率が0.5%内外であったことから、Ca欠乏限界として一応1.0%以下の値が考えられている。しかし、0.51%でも欠乏症の不明な場合¹¹⁾があり、また実生の果樹について、葉のCa含有率が0.24%でも生育不良やCa欠乏が現われ難く、Ca欠乏が明らかになったときは0.13%以下であった、という報告¹²⁾もみられている。本研究の砂耕試験では、正常な成葉（主枝葉）のCa含有率は一般に高く、2.26~4.02%を示すが、側枝葉のそれは主枝葉より低くて、0.94~2.44%を示している。そして、クロロシス葉でも対照区の正常な側枝葉の値、1.67%より高い値を示す場合が多い。

以上のような諸点から考えると、高濃度のCuがCaの地上部への吸収移行を抑制し、その結果、葉中Caの含有率が著しく低下する傾向があるとしても、本研究で得られたCa含有率が生理的障害を発現するほどに低い値であるとは考えにくいようである。

石原ら¹⁷⁾は蛇紋岩地帯梨園のNi過剰によるクロロシスについて、葉分析を行なった結果、クロロシス葉は一般にP、K、Mg含量が高く、N、Ca、Fe含量は低い傾向にあること、そして、とくに先端葉ではクロロシスの程度が進むにしたがってP含量は急激に増加し、Ca含量は明らかに減少することなどを認めている。このようなクロロシスの進行に伴う葉成分の変化は、本研究のCu増量

区における結果と全く一致していると云ってよい。Mn増量区ではこのような傾向が認められないので、これはNi、Cuなどクロロシス誘導力の強い重金属に影響された、養分吸収の一般的な特徴であろうと考えられる。

第3表の結果によれば、Cuは根に集積して地上部への移行量は著しく小さい。このため、本研究で適用した範囲の濃度におけるCuを供給しても、クロロシス葉中のCu含有率は9.8~18.0 ppmにとどまり、石原ら¹⁷⁾によるNi過剰地帯のCu含有率71 ppmあるいは101 ppmに比べて著しく低い値である。砂耕クロロシス葉におけるこの値が、はたして葉中のFeを不活性化に十分な濃度であるかどうか、問題が残るように思われる。この点将来における検討が必要であろう。むしろ、第1図にみられるごとく、クロロシス葉ではP含有率の高いことから、このPがFeの不溶化に大きな影響を及ぼしているのではなからうか。いずれにしても、これは培地中の高濃度のCuに負うところが大きいと云える。

土耕試験においても砂耕試験の場合と同様、クロロシス葉は正常葉に比べてP、K含有率が高く、Ca含有率が低い。そして葉中Cu含有率が增大するにつれて、Ca含有率が減少し、P含有率が增大する傾向が存在する（第2図）。葉中のCu含有率が高いほどFe/P・比が低下していること（第3図）、またクロロシスの進行にともなう、Fe含有率が減少するが、同時にP含有率も著しく増大していること（第6表）、さらにはFeSO₄液やFe-EDTA液の葉面撒布によって緑色が回復した時点で、P含有率の低下が認められること（第8表）、などの事実から、土耕試験においても、Pによる葉中Feの不溶化がクロロシス発現の大きな要因をなしていると考えられる。

古藤ら¹⁶⁾は梨葉成分の中、PとKの間に高い正の相関($r=0.971^{**}$)が、またKとCaの間に負の相関($r=-0.687^{**}$)があることを報告している。本研究の場合についていえば、高濃度のCu供給がPあるいはKのいずれかの吸収に影響を与えれば、結果的に両者の含有率を高めることになると思われることもできる。しかし、Ca含有率の低下については、これがK含有率の増大に直結したものであるか、あるいは重金属の影響のもと、たとえば水分代謝などに関連した吸収量の減少であるかは明らかでない。

Lindner, R.C.¹⁸⁾は石灰誘導クロロシスについて研究し、クロロシス葉はK含有率が増大していることを認め、クロロシスの発現とCa/K比の間に密接な関係のあることを指摘している。そして、クロロシスが発現した果樹にFe-citrateを与えると、クロロシス葉中のK含有率が正

常な緑葉の示す値にまで低下し、Ca含有率も増大するので、結果的にCa/K比は正常葉のそれにまで高くなることを明らかにしている。本報の土耕試験でも、クロロシス葉は緑葉よりCa/K比が小さくなっている。しかし、第8表にみられるごとく、Feの葉面撒布で緑色が回復してもCa/K比にはほとんど変化が認められていない。したがって、K含有率の増大がどの程度クロロシスの発現に関係しているか不明である。

この問題は、本研究で認められた程度のCa含有率の低下が直接的なクロロシスの原因となっているかどうか、いいえかえれば、この低下はむしろ重金属による生育抑制効果をもたらす一つの結果であって、クロロシスの発現に対する寄与は間接的なものにすぎないものであるかどうか、といった問題とともに、今後における検討課題の一つとなろう。

要 約

鳥取県八頭郡の一部梨園（二十世紀）でみられるクロロシスの発現に対するCuの役割を明らかにするため、本研究では、まず砂耕法によって高濃度のCuを供給した場合の梨苗木のクロロシス発生状況、および無機要素の吸収にみられる特徴を検討した。ついでポット試験によって、樹園地土壌に種々の土壌改良措置を施し、これによる果樹のクロロシス発生状況および葉分析の結果を砂耕法の場合と比較した。

得られた結果を要約すると次のとおりである。

(1) 砂耕法で苗木を培養し、5月上旬に20および40ppmのCuを供給すると、8月下旬になって新梢先端部の未成葉はクロロシスを呈した。これらのクロロシス葉に0.1% FeSO₄溶液を1日1回、7日間継続してスプレーすると、顕著に緑色が回復した。

(2) 葉分析の結果、クロロシス葉は正常葉に比べてCaとFe含有率が低く、CuとP含有率が高い傾向を示した。Cuの供給濃度を増加すると根のCa含有率は増大するが、地上部枝葉のCa含有率は著しく低下する。

(3) 樹園地土壌にそれぞれ堆肥、燐酸塩、石灰と苦土の混合物、熔燐などを添加混合し、苗木を移植して3年間ポット試験を行なった。3月下旬に2年生の苗木を移植したが、6月下旬になって、対照区、堆肥区および燐酸塩区の梨苗木の新梢先端部の未成葉にクロロシスが現われた。しかし、塩基あるいは熔燐の供給によって土壌酸度が矯正された区では、異状を示さなかった。この傾向は3年間にわたって認められた。

(4) ポット試験の葉分析の結果、クロロシス葉は正常葉に比べて、一般にN、P、K、Mn、およびCu含有率が高く、Ca含有率は著しく低い。クロロシス葉はFe含有率の低い場合が多く、また高い値を示す場合でも相対的にP含有率が高くなっているため、Fe/P比はCu含有率が増大するにつれて減少する傾向がみられた。

(5) 対照区のクロロシス葉に、Fe濃度が300ppmに相当するFeSO₄およびFe-EDTA液を1日1回、7日間継続スプレーしたところ、5回以上のスプレーで漸次緑色の回復がみられた。

文 献

- 1) 長井武雄・古賀英明：鳥大農研報，27 34 (1975)
- 2) 長井武雄・山内益夫：鳥大農研報，27 42 (1975)
- 3) Reuther, W., et al.: *Soil Science*, 75 219 (1953)
- 4) 塚本正一郎・藤井有文・佐々木 高・新堀孝子：土肥学会講演要旨集，No.1 2 (1955)
- 5) Bingham, F. T., et al.: *Soil Science*, 86 24 (1958)
- 6) 小林茂久平・只木正之・松村 蔚：群馬農試特別報告，No.5 1 (1964)
- 7) 加藤幸雄：植物組織培養法（第5版），誠文堂新光社，東京（1974），P. 45
- 8) Chaney, R. L., et al.: *Plant Physiol.*, 50 208 (1972)
- 9) 山根忠昭・松浦一人・山路 健・小豆沢 齊：島根農試研究報告，No.11 52 (1973)
- 10) 上田弘美・田中 彰・谷本英明：土肥学会講演要旨集，No.21 60 (1975)
- 11) 佐藤公一・石原正義・原田良平：農技研報，E 1 60 (1952)
- 12) 佐藤公一・石原正義・栗原昭夫：農技研報，E 8 77 (1960)
- 13) 横溝 久：果樹試報，A 1 79 (1974)
- 14) 佐藤公一・他：果樹園芸大辞典，養賢堂，東京（1972），P. 237
- 15) 佐藤公一・石原正義・原田良平：農技研報，E 1 43 (1952)
- 16) 古藤 実・竹下純則・高橋栄治・座間 基：神奈川園試報，No.12 131 (1964)
- 17) 石原正義・佐藤公一・山下重良・長谷嘉臣・金野三治：園試報，A 7 73 (1968)
- 18) Lindner, R. C., et al.: *Plant Physiol.*, 19 420 (1944)



第4図 苗木の生育状況

1. クロロシス軽症 (砂耕、pH6.0、Cu40ppm、Ca少量区)、2. クロロシス重症 (砂耕、pH 4.5、Cu20ppm、Ca多量区)、3. FeSO_4 葉面撒布によるクロロシスの回復状況 (砂耕)、4. Mn過剰症 (砂耕、先端部未成葉)、5. Mn過剰症 (砂耕、下位成葉)、6. 土耕試験におけるクロロシスの発現状況 (無処理区)。