

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(第2報)

樹園地土壌に対する二、三の改良措置が銅の溶解度と畑作物の生育に及ぼす影響

長 井 武 雄・山 内 益 夫

(鳥取大学農学部農芸化学科作物栄養学研究室)

昭和49年9月10日受理

Studies on the Chlorotic Disorder of Japanese Pear Trees
at old Orchards in Kawabara, Tottori Prefecture (Part 2)

The Effects of Change in Copper Solubility Resulting
from Amelioration of Orchard Soil on Growth
of an Upland Crop

Takeo NAGAI and Masuo YAMANOUCHI

(Department of Agricultural Chemistry, Faculty of Agriculture, Tottori University)

Investigations were made with reference to the effects of change in copper solubility of the orchard soil supplied with soil amendment matter on the growth of white dent corn which was grown on the amended soil.

The corn plant grown on the soil without the amendment matter suffered from excess-copper and showed leaf chlorosis. However, growth was improved with higher rates of lime and magnesia. Since a heavy application of such basic materials as lime and magnesia resulted in a marked decrease in the amount of copper in water-soluble and exchangeable forms, these forms of copper were assumed to retard the growth of the plants.

I. 緒 言

最近、鳥取県八頭郡河原町の一部梨園で、4～5月の新梢の伸長が著しい時期に、葉の黄化する現象がみとめられている。筆者らは第1報¹⁾において、この黄化症の状況を観察すると共に、障害を示す樹園地土壌の鉄、マンガン、銅の集積量を調査した。その結果、黄化症を生ずる樹園地土壌は銅鉍毒地域の土壌に匹敵するほど、多量の銅を含み、かつ著しく酸性化が進んでいることが明

らかになった。また、樹園地土壌を用いた大豆の栽培試験の結果から、著しい塩基の不足状態と並んで、この過剰に集積した銅が黄化症発生の重要な要因をなしていると考えられた。

従来、銅集積に起因する障害の改良対策として、石灰施用^{2,3)}、有機物の施用³⁾、磷酸質肥料の多用⁴⁾などが挙げられている。これらの改良対策は土壌中の銅が溶出しなくなるような対症的手段であるが、このような措置に対する果樹のレスポンスを詳細に検討すれば、土壌的

障害因子としての銅の重要性をいっそう明確にすることができると共に、黄化症の発生をみる樹園地土壌に対し対策を講ずる上の有益な示唆が得られると考えられる。

本研究は、先報¹⁾で調査を行なった梨園土壌に改良対策を講じ、これによる果樹のレスポンスを明らかにするための予備的段階として、この土壌に若干の対症的処理を施し、この措置による銅の溶解度の変化を明らかにすると共に、この変化が畑作物(ホワイトデントコーン)の生育に及ぼす影響を検討したものである。

II. 実 験

(1) 実験法

1) 供試土壌

供試土壌は先報¹⁾で述べた鳥取県八頭郡河原町郷原の樹園地土壌である。土壌表面から深さ40cmまでの層から採取し、よく混合して用いた。なお、銅鉱山から流出した土砂の混入によって汚染された水田土壌(鳥取県岩美郡岩美町小田)についても同様の処理を行ない、果樹園土壌と比較することにした。

これら両種土壌の性質を第1表に示した。

とくに、IN酢酸アンモニウム(pH4.5)で抽出された鉄、マンガン、銅の量をみると、果樹園土壌は水田土壌に比べて銅含量は低い、鉄、マンガン含量が高い。

第1表 供 試 土 壌 の 性 質

土壌の種類	pH		C (%)	N (%)	C/N	3Y ₁	CEC (me)	置換性(me)				酢安可溶(*ppm)			アンモニヤ吸収係数	リン酸吸収係数	土性
	H ₂ O	KCl						Ca	Mg	K	Cu	Fe	Mn	Cu			
果樹園土壌 ¹⁾	4.1	3.5	2.49	0.27	9.2	4.5	23.2	6.0	—	0.09	0.02	150	85	62	500	820	CL
水田土壌 ²⁾	5.1	3.6	0.73	0.05	14.6	20.4	13.6	5.6	2.0	0.02	0.03	90	23	84	356	460	SL

1) 河原町郷原 2) 岩美町小田 *) IN酢酸アンモニヤ(pH4.5)

2) 試験区の構成と土壌処理の内容

上記2種類の土壌に、それぞれ第2表に示すごとく、消石灰と水酸化マグネシウムの混合物(以下塩基区と称す)堆肥粉末、燐酸二水素カルシウム(Ca(H₂PO₄)₂·H₂O、以下燐酸区と称す)および石膏(CaSO₄·2H₂O)を添加する区を設けた。第2表中、Ca(OH)₂、Mg(OH)₂、Ca(H₂PO₄)₂·H₂O およびCaSO₄·2H₂Oは化学試薬1級品を使用した。

なお、塩基の添加量はそれぞれのpHに酸度が矯正されるよう、pH緩衝曲線から算出した。水田土壌の場合は原土のpHが比較的高いので、塩基少量区を省略した。

2mmの節を通した風乾土壌の500gに上記した化学試薬あるいは堆肥粉末をよく混合し、これを径12cm、深さ11cmの素焼鉢に入れ、6月12日から7月3日までの3週

第2表 試験区の構成と土壌処理の内容

試験区名	土 壌 処 理 の 内 容	
	添 加 物	添加量*(g)
無 処 理 区	—	—
塩基少量区	Ca(OH) ₂ とMg(OH) ₂ の混合物*(pH5.0に矯正を目標)	1.38 —
“ 中量区	”(pH6.0に矯正を目標)	2.38 0.54
“ 多量区	”(pH7.0に矯正を目標)	3.70 0.96
堆 肥 区	風乾堆肥粉末(土壌の2%相当)	10
燐 酸 区	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ ·H ₂ O(りん酸吸収係数の20%飽和)	1.39 0.78
石 膏 区	CaSO ₄ ·2H ₂ O(塩基中量区のCaOと同量)	5.70 1.30

*) 当量比で4 : 1の混合物

**) 土壌500g当り、上段は果樹園土壌、下段は水田土壌

間、ガラス室内に静置して、毎日1回100mlの水水道を補給して畑地の水分状態を保ちながら、インキュベーションを行なった。

各試験区いずれも同一処理を施した鉢を3個用意し、インキュベーション終了後、そのうちの1個については次に述べる方法に従って土壌中の各種形態の銅を定量しまた残りのものにはホワイトデントコーンを播種して、この生育に対する各種土壌処理の影響を検討した。

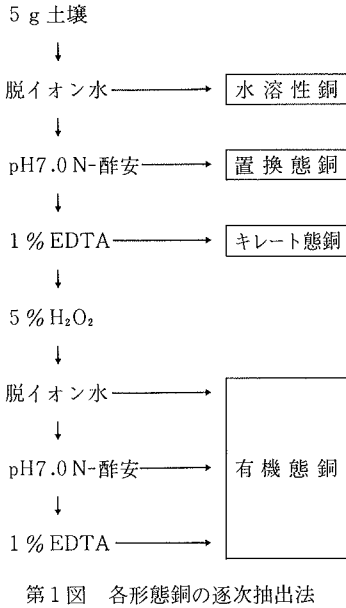
3) 各種形態銅の抽出法

酢安可溶銅: インキュベーション終了後の風乾細土10gを広口ポリビンに取り、これにIN-酢酸アンモン溶液(pH4.5)の100mlを加え、1時間振とうしたのちに濾過し、濾液を分析に供した。

EDTA可溶銅: 風乾細土5gを50ml容の遠沈管に取り1%EDTA溶液20mlを加えて2時間振とうしたのち、上澄液を遠心分離し、これを分析に供した。

各種形態銅の逐次抽出: SMITH⁵⁾が土壌中の形態別亜鉛の分析に用いた方法を、第1図に示したように若干改変して、逐次的に各種形態の銅を抽出した。

すなわち、風乾細土5gを50mlの遠沈管にとり、それぞれの試薬20mlを加えて2時間振とうしたのち、約2000 r. p. m で15分間遠心分離して上澄液を分離した。第1



(2) 実験結果

i) 土壤pHと銅溶解度の変化

3週間インキュベーションしたのちの土壤pHと銅溶解度の変化を第3表に示す。

第3表 各種処理による土壤pHと銅溶解度の変化

試験区	土壤 pH	N-酢安 可溶 Cu	1% EDTA 可溶 Cu	逐次抽出法による各形態 Cu				合計
				水溶性	置換態	キレート態	有機態	
(果樹園土壤)								
無処理	4.3	67	95	0.4	10.4	70.4	4.4	85.6
塩基少	4.6	52	73	0.4	7.2	64.8	4.8	77.2
" 中	5.2	30	62	0.4	1.6	50.8	5.2	58.0
" 多	6.0	23	68	0.4	1.2	55.2	4.4	61.2
堆肥	4.3	52	86	1.2	4.4	72.0	4.0	81.6
磷酸	4.2	59	—	1.6	6.8	69.2	5.6	83.2
石膏	4.0	57	—	6.4	4.4	62.4	6.4	79.6
(水田土壤)								
無処理	5.1	80	111	0.4	23.2	68.8	11.6	104.0
塩基中	5.5	63	95	0.4	12.0	72.8	15.6	100.8
" 多	6.4	58	97	1.2	7.6	77.6	19.2	104.6
堆肥	5.3	78	124	3.2	8.0	99.6	16.8	127.6
磷酸	4.6	39	51	0.4	6.4	31.6	11.6	50.0
石膏	4.9	90	126	0.4	10.8	94.4	19.6	125.2

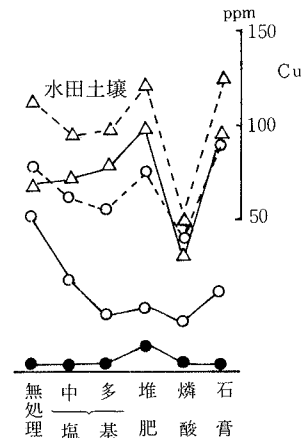
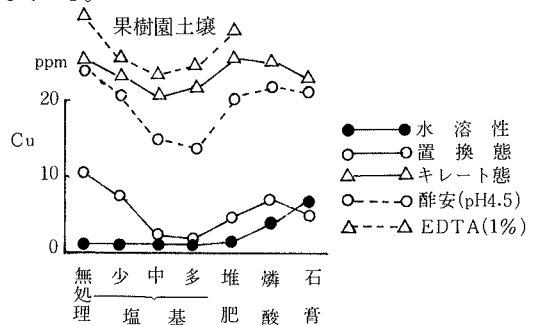
図のように、抽出液を水(水溶性)、pH7.0 1N-酢安溶液(置換態)、1% EDTA溶液(キレート態)に逐次変えて抽出を行なうが、EDTA溶液による抽出が終了したのちは、少量の蒸留水で200ml容のトルビーカーに移し、湯煎上で蒸発乾固させた。乾固後に5%過酸化水素水50mlを加え、時計皿をかぶせて発泡をみなくなるまで、土壤有機物の分解を行なう。数回過酸化水素水の添加を行なって、最終的に全く発泡がみられなくなってから蒸発乾固させ、土壤を再び遠沈管に移して水、酢安、EDTA溶液の順に抽出をくりかえした。本研究では、これによって抽出される銅を合わせて有機態銅とした。

土壤から抽出された銅の定量は、EDTA抽出液の場合を除き、直接原子吸光法によった。EDTA抽出の場合液を蒸発乾固したのち、硝酸、過塩素酸、硫酸の混液で湿式分解し、分解液を乾固してから、0.1N塩酸に溶解したものを原子吸光分析に供した。

4) ホワイトデントコーンの栽培法

ガラス室内でインキュベーションを終了した土壤に、7月4日、1鉢当たり4粒のホワイトデントコーン種子を播き、発芽後3週間栽培を続けた。施肥は各区共通としNとして0.2g相当量の磷硝安加里(16-10-14)を液肥として与えた。収穫物を莖葉部と根部に分けて銅含有率の測定に供したが、銅の定量はジチオカルバミン酸比色法によった。

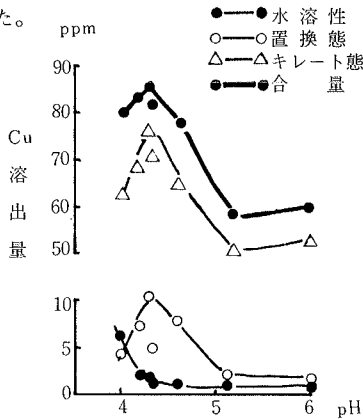
まず果樹園土壤についてみると、pHは塩基区のみが無処理区より増加しており、磷酸区と石膏区は若干減少している。



第2図 各種処理による銅溶解度の変化

つぎに各種の抽出剤で溶出した銅量をみると、抽出剤によって溶出効果が異なり、第2図にも示されるごとく1% EDTA可溶銅>キレート態銅>酢安可溶(pH4.5)銅>有機態銅>置換態銅>水溶性銅の関係がみられる。各種の土壌処理が各形態銅の溶解度に及ぼした影響をみると、水溶性銅の場合を除き、塩基の添加が著しい溶解度の減少をもたらしている。これに対して、堆肥、石膏の添加による溶解度の変化は極めて少なく、わずかの減少を示すにすぎない。

塩基添加量の多いほど銅溶解度の減少が著しいので、果樹園土壌のインキュベーション後の土壌pHと、逐次抽出法で分画された各形態銅の溶解度との関係を第3図に示した。



第3図 果樹園土壌のpHと各形態銅の溶解度

第3図によると、水溶性銅を除く他の銅の溶解度は、pHが無処理区の4.3から、塩基中量区の5.2まで上昇したのに伴い急激に減少しているが、さらにpHが上昇しても6.0までは殆んど変化していない。また磷酸区、石膏区ではpHが無処理区の4.3より若干低下したにもかかわらず、水溶性銅量が多少増加した反面、他の形態の銅量はむしろ減少している。

このような銅溶解度の変化を、各種の土壌処理によってもたらされる銅の形態変化という面からみると、まず塩基の中量を添加してpHが5.2まで上昇した場合には、溶出した銅の分量は無処理区のそれより27.6ppm減っているが、この値はそれぞれ置換態とキレート態銅量の減少分である8.8ppmと19.6ppmの和に近似している。したがって、このpHの上昇によって置換態の大部分とキレート態の一部が不溶化したと見做すことができる。また、石膏を添加してpHが4.0まで低下した場合について考えると、このpHの低下にともない水溶性銅量が6.0ppm増加しているが、これに対応する置換態とキレート態

銅の減少量はそれぞれ6.0と8.0ppmになっている。これが磷酸区のように極く僅かにpHが低下している場合になると、水溶性銅の増加量に対応するキレート態銅の減少分は、置換態のそれに比べて極微であるから、磷酸区や石膏区でみられる水溶性銅の増加はpHの減少によって置換態の一部が水で抽出されたと考えてよいであろう。

一方、水田土壌では抽出剤の種類とそれによって溶出する銅量との関係は、大よそ果樹園土壌の場合と同様である。しかし、それぞれの土壌処理によって銅の溶解度が増加する様相には、二、三の相違点が見られる。まず磷酸区をみると6試験区のうち最もpHが減少しているけれど、各形態銅の溶出量は水溶性のものを除き著しく減少し、6試験区中最小値を示す。また、塩基添加区ではキレート態銅の溶出量が增大しているが、とくに塩基多量区の場合、キレート態銅と有機態銅のそれぞれの増加量の和18.4ppmは、水溶性銅の増加分(0.8ppm)と置換態銅の減少分(15.6ppm)を加算した値16.4ppmにかなり近似している。このことから、塩基の添加によって置換態からキレート態、あるいは有機態へと銅が形態変化したことが示唆される。なお、第2図を検討すれば、水田土壌ではpHの上昇によってキレート態に変化した銅は、pH4.5の酢安溶液で抽出されないことがわかる。

キレート態銅はまた堆肥の添加によっても著しく増加している。堆肥の添加によって溶出全銅量が増加しているけれど、石膏区でもこの程度の増加がみとめられており、また堆肥区と石膏区との間で銅の形態変化の内容に大差がみとめられないので、堆肥の添加によって銅のキレート化が進んだか否かは不明である。

ii) デントコーンの生育と銅の吸収状況

3週間インキュベーションした土壌に栽培された、ホワイトデントコーンの収量と銅の吸収状況を第4表に示した。

果樹園土壌では、無処理区と石膏区で本葉第2葉目が展開したところから、新葉に黄化萎縮症状が現われた。塩基を添加した区では、土壌pHが高くなるにつれて生育が順調となり、試験終了時の茎葉重は著しく増大して銅含有率も低下している。一方、水田土壌では無処理区、磷酸区および石膏区で萎縮症状がみられたが、塩基区と堆肥区の生育は順調であった。とくに堆肥区は果樹園土壌と異なり、塩基区に劣らないよい生育を示している。両土壌ともに石膏添加による生育の改善がみとめられないので、無処理区の生育不良がカルシウム栄養の不足によるものではないと考えられる。

第4表 各種の土壌処理がデントコーンの生育及び銅吸収に及ぼす影響

処理内容	播種時の 土壌 pH	収穫物重 (g/鉢)		Cu 含有率 (ppm)		Cu 吸収量 (μg /鉢)		
		茎 根	根	茎 葉	根	茎 葉	根	合 計
(果樹園土壌)								
無 処 理	4.3	2.60	1.28	32.0	230	83	294	377
塩 基 少	4.6	7.36	2.96	26.5	260	198	770	968
” 中	5.2	8.12	2.72	25.6	170	211	462	673
” 多	6.0	9.16	2.88	15.3	160	137	461	598
堆 肥	4.3	5.12	2.12	36.0	350	184	742	926
燐 酸	4.2	4.02	1.72	23.0	310	92	533	625
石 膏	4.0	3.60	1.72	27.3	490	97	843	940
(水田土壌)								
無 処 理	5.1	2.08	0.80	41.7	410	87	328	415
塩 基 中	5.5	5.72	2.32	28.7	220	166	510	676
” 多	6.4	6.76	2.88	18.4	220	128	634	762
堆 肥	5.3	6.88	2.88	19.0	170	131	490	621
燐 酸	4.6	3.32	1.16	23.8	200	80	232	312
石 膏	4.9	3.12	1.00	22.7	340	72	340	412

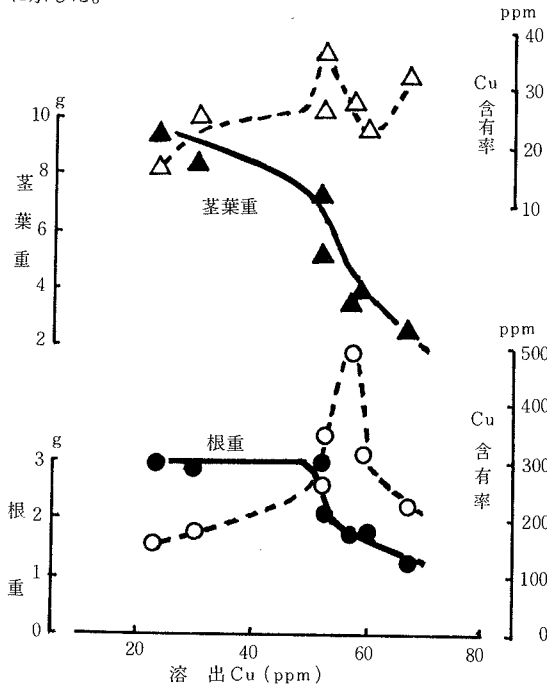
く傾向がある。しかし、この程度の銅濃度ではまだ根の重量には影響が現われていない。一方、地上部ではこの銅濃度においても、茎葉の重量は漸減しており、これに対応して銅含有率も上昇を示している。土壌の銅濃度が増加して50 ppmを少し過ぎると、根の銅含有率が急激に高まり同時に根重も著しく減少するようになる。この段階では、茎葉の生育抑制が顕著となり、これが銅吸収の抑制より大きく作用してくるために、茎葉の銅含有率が著しく増大する。さらに銅濃度が60 ppmに近づくとき、根の銅含有率はいっそう増大して極値に達したのち、再び急激に低下している。この場合、茎葉では銅含有

障害因子としての銅の影響を明らかにするために、果樹園土壌について、1N-酢安溶液 (pH4.5) 可溶の銅量とデントコーンの生育量および銅含有率との関係を第4図に示した。

率がむしろ低下しており、土壌の銅濃度が70 ppmほどまで増加したときになって、生育抑制がより大きく作用するため再び高い含有率を示している。

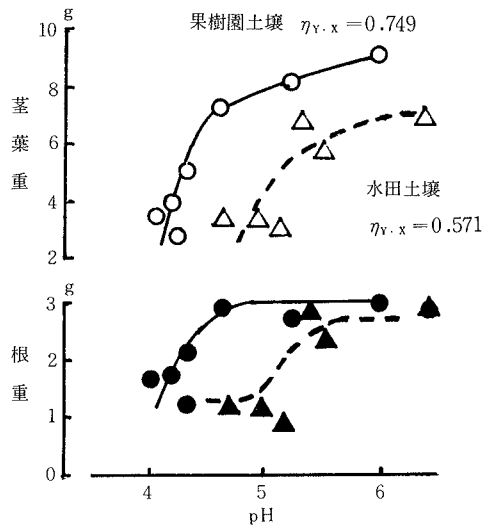
以上に述べたような生育状況からみると、土壌中の酢安可溶の銅濃度が50 ppmを超えている場合には、作物の生育が銅過剰によって阻害されており、生育が正常に進展するためには、土壌中銅濃度が30 ppm以下でなければならないことが判る。

先にも述べたように、果樹園土壌の銅溶解度が土壌 pH と深い関係にあるので、土壌 pH とデントコーンの生育量との関係を第5図に示した。



第4図 果樹園土壌の酢安 (pH4.5) 可溶銅量とホワイトデントコーンの生育量

これによると、土壌中銅の濃度が50 ppm程度までは、その濃度の増加につれて根の銅含有率が漸次高まって行



第5図 土壌 pH とホワイトデントコーンの生育

第5図によると、果樹園土壤では茎葉重の土壤pHへの相関比($r_{x,y}$)が比較的高く0.749を示す。これに対して水田土壤の相関比は0.571で、果樹園土壤より低くなっている。これは第2図にもみられたように、水田土壤の堆肥区と燐酸区で、pH以外の要因も銅溶解度に大きな影響を与えていることによるためであろう。

Ⅲ. 考 察

普通、植物に対する銅の過剰障害はまず根に現われる。水稻では、培地の銅濃度が高まると銅は根に集積し、地上部への移行率は小さい。これは根がある程度過剰な要素の地上部への不必要な侵入を防止する機能をもつことによる。吸収された銅の地上部と根の分布割合をみると、培地濃度の上昇で根における分布が増加し、ある量を頂点に減少していく。この根における割合が頂点となる濃度が限界濃度で、その限界を超えると急激に地上部へ移行がはじまり、このために収量が激減すると考えられる⁶⁾。

本研究の果樹園土壤で、ホワイトデントコーンに吸収された銅の根における分布割合を求めて、これを土壤の酢安(pH4.5)可溶性銅量と対比すれば第5表のようになる。

第5表 デントコーンに吸収された銅の根における分布割合

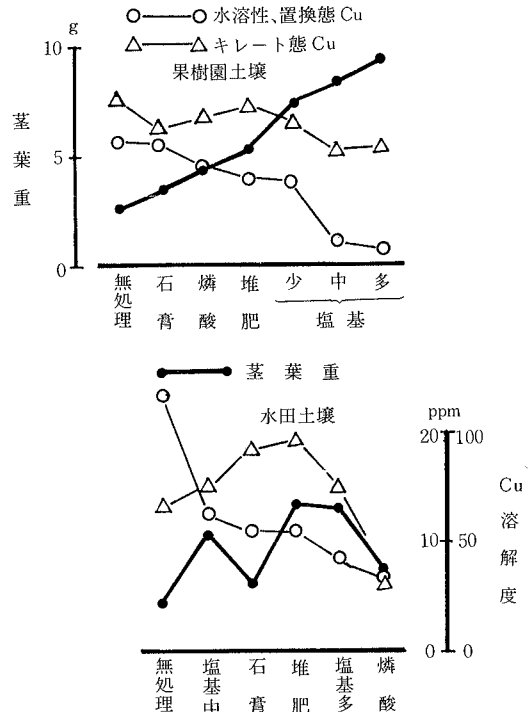
試 験 区	酢安可溶Cu	Cuの根における分布割合
塩 基 多	23 ppm	77.1 %
" 中	30	68.6
" 少	52	79.5
堆 肥	52	80.1
石 膏	57	89.6
燐 酸	59	85.2
無 処 理	67	77.9

これによると、土壤の銅濃度が57 ppmである石膏区において、根における銅の分布割合がピークに達している。この結果から、供試果樹園土壤の銅集積量は少なくともホワイトデントコーンの生育にとって、根における銅の集積機能を失わせるに十分な濃度に達していることが判る。本研究では、土壤pHが5.0~5.5まで上昇すれば、この過剰な銅が30 ppmまで低下し、これによって、ホワイトデントコーンの生育も順調に進展するのをみとめた。

堤ら⁷⁾はEDTA溶液が可給態銅抽出法として希塩酸より適当でないことを報告し、またBADIGER⁸⁾は、Neubauer 植木鉢試験法で、各種溶剤で抽出される可給態銅量の比較を行ない、相関係数を求めて、pH7.0のN-

酢安溶液($r=0.886^{**}$)は0.05N EDTA溶液($r=0.689^{**}$)より可給態銅の抽出法として優れていることを示した。酢安溶液(pH7.0)およびEDTA溶液で抽出される銅は、それぞれ本研究における置換態銅(水溶性銅を含む)およびキレート態銅に相当するので、この水溶性と置換態の銅が可給態銅として、ホワイトデントコーンの生育に深く関係したと考えられる。

この両形態の銅溶解度の変化に対する土壤処理の効果を比較すると、第6図に示すようになる。



第6図 各種処理土壤の銅溶解度とデントコーンの生育

水溶性と置換態の銅量をみると、果樹園土壤では生育が抑制された石膏区と燐酸区が高く、生育が多少改善された堆肥区は塩基少量区と同程度に減少している。他方水田土壤でも、塩基添加区はともかくとして、茎葉重増加の著しかった堆肥区の減少量が大きい。しかし、堆肥区と同程度、あるいはこれを上回って減少した石膏区と燐酸区の生育は著しく不良である。

本研究で供試された水田土壤は粘土含量が少なく、CECも小さいので、石膏の添加によって根圏が高塩濃度状態となり、これによる障害を受けた可能性がある。また、水田土壤の鉄含量は相対的に低いので、燐酸の多施により植物体内のFe/P・比⁹⁾が減少し、これが生育不良をもたらしたことも考えられる。燐酸の多量施用によ

り、柑橘の銅吸収量が減少することはBINGHAM⁴⁾によって報告されているので、過剰の銅対策の1つとして磷酸の多量施用は今後とも期待できるものがある。しかし土壌中の鉄含量と磷酸施用量の関係など、検討すべき問題が残されており、実施にあたっては慎重を要するであろう。

いずれにしても、本研究によって、梨葉に黄化症の発生をみた樹園地土壌は過剰の可給態銅を含んでおり、これが少なくとも一部の畑作物には生育の制限因子になることが明らかにされた。したがって、早急に根圏土壌の銅溶解度の低下を図る措置が望まれる。本研究で得られた結果によれば、土壌pHが最小限5.0に保たれるよう酸度の矯正が必要である。

IV. 要 約

鳥取県八頭郡河原町において梨葉に黄化症が発生した樹園地土壌に、酸度矯正あるいは堆肥、磷酸の添加などのいわゆる対症的処理を施し、一定期間後における銅溶解度の変化をしらべた。ついでこの変化がホワイトデントコーンの生育に及ぼす影響を検討した。

得られた結果は次のとおりである。

(1) 供試土壌から逐次抽出して分別された各形態の銅含量は、キレート態銅>有機態銅>置換態銅>水溶性銅の順であった。

(2) 土壌の酸度を矯正すると、5.0まではpHの上昇につれて、置換態およびキレート態銅の溶出量が著しく減少した。また堆肥の添加によって、置換態銅は減少し、キレート態銅の溶出量が増加した。

(3) 体試土壌が含む過剰の銅によって、ホワイトデントコーンの生育は著しく抑制された。作物生育量の土壌pHに対する相関は高く、最小限pH5.0に酸度が矯正されると生育は順調に進展した。

(4) 水溶性と置換態の銅が可給態の銅としてホワイトデントコーンの生育に影響を及ぼしており、酸度の矯正と堆肥の添加はこの形態銅の減少に効果を示した。

(5) 銅鉱山から流出した土砂の混入によって汚染されている水田土壌についても、同様の処理を行ない効果を比較したところ、抽出剤の種類とそれによって溶出した銅量との関係は、大よそ果樹園土壌の場合と同じであった。

文 献

- 1) 長井武雄・古賀英明：鳥取大学農学部研究報告, **27**, 34 (1975)
- 2) Reuther, W. and P. F. Smith: *Soil Science*, **75**, 219 (1953).
- 3) 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).
- 4) Bingham, F. T. and et al.: *Soil Science*, **86**, 24 (1958)
- 5) Smith, R.L. and et al.: *Isotopes and Radiation Radiation in Soil Organic-matter Studies*, p. 397 (1968) Austria.
- 6) 石塚喜明・田中明・藤田収：土肥誌, **32**, 97 (1962)
- 7) 堤道雄・大平幸次・藤原彰夫・土肥誌, **39**, 131 (1968)
- 8) Badiger, M. K. and et al.: *International Symposium on Soil Fertility Evaluation Proceeding*, 1, 949 (1971) New Delhi.
- 9) 小林茂久平・只木正之・松井蔚：群馬県農業試験場特別報告, No. 5, 1 (1964).