

水稻의 銅被害에 對한 水管理 및 石灰物質의 效果

金奎植* · 金福榮* · 李敏孝* · 韓基碩* · 金萬壽*

(1985년 11월 5일 접수)

Effect of Water Management and Lime Application on the Growth and Copper Uptake of Paddy Rice

Kyu Sik Kim,* Bok Young Kim,* Min Hyo Lee,* Ki Hak Han*
and Maun Soo Kim*

Abstract

A pot experiment was conducted to find out the effects of water management, slaked lime and wollastonite on growth and Cu uptake of rice at Cu added soil. The soil was adjusted to 0, 50, 100 and 200 ppm concentration of Cu. The application amount of slaked lime was the lime requirement plus 150 kg/10a and wollastonite 200 kg/10a, respectively.

The copper concentration in soil which reduced yield significantly was 133.1 ppm for submersion and 136.8 ppm for intermittent irrigation. The application of lime and wollastonite reduced Cu content in brown rice as well as increased rice yields compared to that of no lime.

The copper content in plant was increased with increasing soil Cu concentration, however, reduced with submersion and application of slaked lime, and increased with increasing the ratio of Cu/Ca+Mg equivalent in soil.

序 論

重金屬類中에서 銅은 動植物의 微量元素로서 植物體 內에서는 蛋白質 色素 및 各種 細胞構成物質과 結合하여 細胞膜과 根에 多量 含有하고 있어 窒素代謝에 影響을 미치며 銅 過剩症狀은 植物의 種類 및 土壤條件에 따라서 相異하나 水稻에서는 根의 伸長이 抑制되고 根毛가 적으며 벼의 初期 活着이 不良하고 地上部の 生育이 沮害되어 極甚할 境遇에는 靑枯症狀 또는 黃化 現狀을 일으키고 枯死되기도 한다.⁽¹⁾

우리나라의 土壤中 銅의 自然賦存量은 4.15 ppm⁽²⁾이고 日本은 33.0 ppm이다.⁽³⁾

銅 汚染源은 銅製鍊所 銅線製造工場 鑛金工場 其他 銅을 取及하는 各種 化學工場⁽⁴⁾ 및 金屬工場 등에서 排出되는 廢水나 銅含有肥料⁽⁵⁾ 銅含有農藥^(1,6)(석회분드액) 등이 있다.

日向⁽⁷⁾은 銅이 含有된 農藥의 多量撒布로 포도원 土壤의 銅含量이 每年 10 ppm씩 增加되며 土壤中の 銅濃도가 400 ppm 以上 蓄積되면 포도의 뿌리機能 低下로 포도의 生育이 甚하게 抑制된다고 報告하였다.

本 試驗은 水稻의 銅被害에 對한 被害經減方法을 究

*農業技術研究所 (Agricultural Sciences Institute, R.D.A., Suwon)

明코자 銅의 濃度를 달리하고 물 관리 및 石灰物質인 消石灰와 硅灰石 등을 施用하여 pot 試驗을 實施하여 그 收量 및 水稻體中の 銅含量을 調査한 結果를 報告 하고자 한다.

材料 및 方法

供試土壤은 京畿道 水原市 塔洞의 畚土壤(砂壤土) 表土를 使用하였으며 그 理化學的의 性質은 Table 1과 같다. 銅, 石灰物質의 土壤處理 및 水稻栽培는 供試土壤 15 kg에 Cu를 土壤에 對한 重量比로서 0, 50, 100, 200 ppm이 되도록 $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ 로 加하고 改良劑는 無施用 消石灰(中和量+150 kg/10a) 硅灰石(200 kg/10 a)을 各各 該當量을 添加하여 잘 混合한 後 1/2000a Wagner pot에 充塡시키고 7日後에 窒素 磷酸 加理를 成分量으로 15 : 9 : 11 kg/10a에 該當되는 量을 尿素 重過石 鹽化加理로 窒素는 基肥 50% 移秧後 15日(6月 7日)에 30% 55日(7月 18日)에 20%로 分施하였고 磷酸과 加理는 全量 基肥로 施用하였다. 苗移秧은 45日 苗를 pot 當 1本 4株씩 3反覆으로 5月 24日에 하였으며 물管理는 移秧後 44日부터 間斷灌水區와 常時 水區로 나누어 收穫(9月 30日) 10日前까지 계속 灌溉하였다. 土壤 및 植物體 分析에서 土壤은 風乾시켜 0.5 mm

체를 通過시킨 後 pH는 초자電極法(Fisher-42), OM은 Tyurin法, 有效磷酸은 Lancaster法, Ca, Mg, K 및 CEC는 1N- NH_4OAc 浸出法(pH 7.0)으로 分析하였고⁽⁸⁾ Cu는 1/10N-HCl 浸出法 Pb는 1N- NH_4OAc 浸出法(pH 4.5)으로 浸出⁽⁹⁾하여 atomic absorption spectrophotometer(IL-251)로 測定하였으며 植物體는 幼穗形成期와 收穫期에 採取한 植物體(莖葉)를 乾燥機에서 乾燥後 20 mesh로 粉碎하여 混合酸($HNO_3 : HClO_4 : H_2SO_4 = 5 : 2 : 1$)으로 濕式 分解시키고 玄米는 40mesh로 粉碎하여 蒸發皿에 秤量하여 Hot plate 上에서 炭化시킨 後 電氣爐(550°C 以下)에서 完全히 灰化시켜 冷却後 $HClO_4$ 와 HNO_3 을 加하고 乾固시킨 다음 冷却하여 1N-HCl로 溶解시켜 atomic absorption spectrophotometer(IL-251)로 Cu를 測定하였다.⁽⁹⁾

結果 및 考察

1. 收 量

銅을 土壤에 處理하고 石灰物質인 消石灰 및 硅灰石을 改良劑로 施用한 後 물管理를 달리하여 水稻를 栽培한 結果 收量은 Table 2와 같이 對照區에 비하여 50 ppm에서 若干 增收되고 그 以上の 濃度에서는 減收되었으나 有意性있는 減收濃度는 200 ppm에서 있었다.

Table 1. Some chemical properties of soil used

pH (1 : 5H ₂ O)	OM (%)	C.E.C (mg/100g)	Av.-P ₂ O ₅ (ppm)	Ex. cation(me/100g)			Av.-SiO ₂ (ppm)	Cu* (ppm)
				K	Ca	Mg		
5.6	1.3	5.5	88.0	0.29	2.74	0.63	95.0	5.1

* 0.1 N-HCl extractant

Table 2. Effect of application of lime materials on rice yield at different irrigation control

(Unit: %)

Cu Conc. (ppm)	Intermittent irrigation				Submersion			
	Cont.	S. lime	Wollasto.	Average	Cont.	S. lime	Wollasto.	Average
0	100 (128.8)	--	--	100	100 (137.9)	--	--	100
50	101.0	103.6	105.6	103.5	101.2	104.4	104.6	103.4
100	94.5	98.8	99.1	97.5	98.1	102.0	100.7	100.3
200	63.5**	79.9**	93.9*	79.1	66.1**	88.1**	84.0**	79.4
Average	89.8	94.1	99.6	94.5	91.4	98.2	96.4	95.8
LSD 1%	21.4	18.7	11.3		19.0	14.6	6.9	12.0
LSD 5%	14.7	12.8	7.8		13.0	10.1	4.7	9.0

*() Yield (g/pot)

이는 無施用區와 石灰物質施用區 및 間斷灌水區와 常時灌水區 모두 같은 傾向이었다.

細田⁽¹⁰⁾은 水稻에 對한 銅의 刺戟限界點은 銅化合物의 形態에 따라 相異하여 $CuCl_2 \cdot 0$, $CuSO_4$, $Cu_3(PO_4)_2$ 등은 Cu 50 ppm이고 $Cu(OH)_2$ 는 100 ppm CuS 는 250 ppm이라고 報告하였으며 本試驗에서 供試한 $CuCl_2$ 도 50 ppm이 刺戟限界點으로 細田의 報告와 같은 濃度이었다. 이는 銅이 土壤中에서 50 ppm 以下까지는 植物에 對하여 微量元素로 作用하였기 때문인 것으로 생각된다.

물管理 效果는 常時灌水區가 間斷灌水區보다 有意性 있게 增收되었고 石灰物質 施用效果는 200 ppm 區에서 石灰를 施用하지 않은 區에 比하여 消石灰 26~33% 硅灰石 27~48%가 增收되었다.

本試驗에서 收量이 200 ppm에서 減收되었으나 Fig.1 에서와 같이 5% 有意性 있는 收量減收濃度を 回歸方程式에서 求한 濃度を 限界濃度라 할 境遇에 石灰物質을 施用하지 않은 無施用區는 間斷灌水區 133.1 ppm 常時灌水區 136.8 ppm으로 環境 保全法⁽¹¹⁾에서도 農產物 栽培를 制限할 수 있는 土壤中 可溶性 濃度を 125 ppm으로 規定하고 있고 涉谷⁽¹²⁾ 등이 100 ppm인 鑛毒地에

서 收量이 20% 減收되었다는 報告보다는 本試驗에서 의 被害濃도가 多少 높은 傾向이었다.

九州農試⁽¹³⁾에서는 pH가 5.4이고 銅含量이 200 ppm인 土壤에서 水稻收量은 消石灰施用區(pH 8.5 고정)가 無施用區보다 13.5%나 增收되었다고 하였으며 鄭等⁽¹⁴⁾은 CuO 含量이 525 ppm인 鑛毒地에 消石灰를 中和量과 中和量의 2 倍量을 施用하였을 때 水稻水量은 對照區에 比하여 2.8% 및 13.8%가 各各 減收되나 硅灰石을 上記의 施用量과 같이 施用함으로써 2% 및 1%가 增收되었다는 報告도 있다.

齊藤喜亮等⁽¹⁵⁾은 銅含量 147.1 ppm에서 作物生育이 顯著히 不良하고 40.7 ppm에서도 作物生育이 阻害되며 20 ppm에서는 生育이 보통이라고 報告하였다.

이와같이 水稻의 被害濃度 및 石灰物質施用 效果가 試驗者에 따라 差異가 있는 것은 土壤條件이나 氣象條件 및 作物栽培 方法 등 試驗條件이 다르기 때문인 것으로 생각되며 本試驗에서 收量이 常時灌水區가 間斷灌水區보다 높은 것은 灌水를 계속하므로서 土壤이 還元되어 作物이 銅의 吸收를 적게 하였기 때문에 增收된 것으로 思料되며 消石灰와 硅灰石 施用으로 增收된 것은 土壤 pH가 높아져서 銅의 溶解度가 減少되어 作物이 銅의 吸收를 적게하여 被害가 輕減되었으며 消石灰가 硅灰石中에 含有된 Ca 와 Mg 等 陽 Ion이 作物에 多量 吸收되므로 土壤中의 銅과 拮抗作用에 依하여 銅의 吸收를 적게 하였기 때문인 것으로 생각된다.

이와같은 사실은 龜井⁽¹⁶⁾ 및 日向等⁽¹⁷⁾도 類似한 內容을 報告한 바 있다.

2. 收量構成 要素

土壤銅處理 濃도와 收量構成 要素와의 關係는 Table 3에서와 같이 銅處理 濃도가 높을수록 間斷灌水에서의 無施用區는 穗數 粒數 登熟率 千粒重이 消石灰區는 登熟率 千粒重이 有意性 있게 減少하였으나 硅灰石區는 有意性 있는 收量構成 要素의 減少가 없었다.

常時灌水에서도 無施用區는 穗數 登熟率 千粒重의 3 個構成要素 消石灰區 및 硅灰石區는 各各 1個 構成要

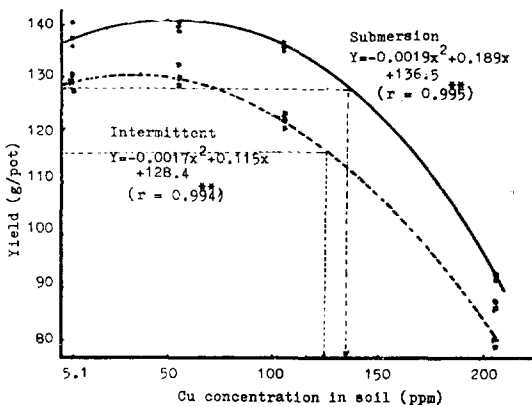


Fig. 1. The change of rice yield according to the different Cu concentration in soil and irrigation control

Table 3. Correlation coefficient between Cu concentration in soil and yield components

	Intermittent irrigation			Submersion		
	Control	Slaked lime	Wollastonite	Control	Slaked lime	Wollastonite
No. of panicle per hill	-0.858**	-0.523	-0.563	-0.631*	-0.525	-0.632*
No. of grains per panicle	0.804**	0.435	0.526	0.335	0.637*	0.270
Ripening ratio	-0.900**	-0.612	-0.357	-0.608	-0.561	-0.768**
1000 grains weight	-0.629*	-0.678*	-0.427	-0.888**	-0.904**	-0.124

素만이 有意性있는 減少를 가져왔다.

以上の 結果는 Table 2의 收量과도 거의 一致하는 傾向을 나타내었으며 銅에 對한 農作物의 被害는 穗數 粒數 登熟率 및 干粒重 全般에 影響을 미치나 石灰物質 施用으로 穗數와 粒數를 增加시켜 被害를 輕減시킨 것으로 생각된다.

3. pH의 變化

銅을 濃度別로 處理하고 石灰物質을 改良劑로 施用한 後 湘水 43日 後에 土壤의 pH를 調査한 結果는 Fig. 2에서와 같이 土壤의 銅 處理濃度가 높아짐에 따라서 消石灰區는 土壤 pH가 6.8로 變化가 없었으나 硅灰石區는 6.3 石灰無施用區는 6.0까지 떨어졌다.

消石灰區가 pH가 떨어지지 않는 것은 Ca 含量이 많아 알카리도가 높고 施用量도 많았기 때문이며 硅灰石도 Ca가 多量 含有되어 있어 pH가 높고 無施用區는 銅 CuCl₂로 處理하였기 때문에 銅 濃度가 높을수록 相對的으로 Cl가 많이 添加되어 土壤溶液으로 解離되어

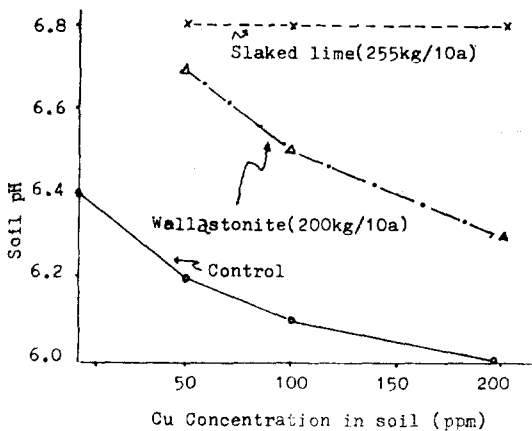


Fig. 2. The change of soil pH according to Cu concentration in soil and application of lime materials

나오는 Cl⁻가 많아 土壤膠質의 H⁺과 置換되기 때문에 pH가 낮아지는 原因으로 생각된다.

Fawzy等⁽¹⁸⁾은 粘土鑛物에 Cu吸收는 낮은 pH에서는 H⁺ 이온의 影響과 粘土鑛物에서의 Mg, Fe, Al 放出에 依해서 吸收가 낮아지고 높은 pH에서는 H⁺ 이온의 缺乏과 粘土鑛物의 陰이온電荷에 依하여 Cu吸收가 增加된다고 報告하였고 Bohn等⁽¹⁹⁾은 Alkali Sacaton Grass는 pH 7.5~9.5 範圍에서 土壤의 pH增加에 따라서 Cu 및 Zn 含量이 減少된다는 報告 등으로 보면 石灰物質 施用으로 土壤 pH가 增加되어 土壤의 Cu吸收가 增加되는 反面에 植物體 吸收가 減少되어지는 것으로 생각된다.

4. 植物體中 銅含量

植物體中 銅含量은 Table 4,5에서와 같이 玄米와 莖葉 모두 土壤의 銅處理 濃度가 높을수록 그 含量이 높아지는 傾向이었으며 常時澆水區가 間斷澆水區보다 植物體中 銅含量이 적었다.

改良劑別 銅含量은 玄米에서는 消石灰 및 硅灰石 施用區가 無施用區보다 낮았고 消石灰와 硅灰石 施用間에는 含量 差異가 없었다.

莖葉에서는 消石灰 施用區가 硅灰石 施用區보다 銅含量이 적은 傾向이고 收穫期가 幼穗形成期보다 적은 傾向이었다.

石塚等⁽¹⁹⁾은 莖葉中 銅含量이 7 ppm이면 缺乏을 招來하고 30 ppm 以上이면 過剩이라고 하였으나 作物栽培를 制限할 수 있는 土壤中 銅 濃度인 125 ppm과 類似한 土壤處理 濃度인 100 ppm에서 보면 幼穗形成期에는 約 16.2~22.1 ppm 收穫期에서는 6.7~18.0 ppm 으로 나타나 石塚이 報告한 缺乏濃度인 7 ppm과 過剩濃度인 30 ppm의 中間含量을 나타내어 土壤中 100 ppm에서 有害濃度가 아닌 것으로 생각된다.

Fig. 3,4는 土壤中 Cu/Ca+Mg 當量比와 收穫期 莖葉中 銅 含量은 消石灰(中和量+150 kg/10a) 및 硅灰

Table 4. Copper content in brown rice according to the different Cu concentration in soil, application of lime materials and irrigation control (Unit: ppm)

Cu. Con. (ppm)	Intermittent irrigation			Submersion irrigation		
	Cont.	S. Lime	Wollast.	Cont.	S. Lime	Wollast.
0	5.33	—	—	4.18	—	—
50	11.38	7.05	7.68	6.46	5.48	5.09
100	13.05	9.87	8.55	8.31	6.29	6.34
200	16.60	11.03	11.07	9.13	7.39	8.34

Table 5. Copper content in shoot at the harvest stage according to the different Cu concentrations in soil, application of lime materials and irrigation control (Unit: ppm)

Cu. Con. (ppm)	Intermittent irrigation						Submersion irrigation					
	Ear formation stage			Harvesting stage			Ear formation stage			Harvesting stage		
	Cont.	S.lime	Wollas.	Cont.	S.Lime	Wollas.	Cont.	S.Lime	Wollas.	Cont.	S.Lime	Wollas.
0	6.1	—	—	7.1	—	—	5.9	—	—	5.0	—	—
50	19.0	14.8	16.1	14.7	8.8	13.6	18.0	12.0	13.0	7.1	5.7	5.5
100	22.1	18.3	18.0	18.0	14.7	17.6	18.7	16.8	16.2	9.3	6.5	6.7
200	28.3	22.7	22.7	20.7	15.6	19.7	19.7	19.7	18.1	11.1	7.7	8.8

Table 6. 0.1N-HCl extractable Cu concentration in soil after harvest

(Unit: ppm)

Cu concentration in soil (ppm)	Intermittent irrigation			Submersion		
	Control	S. lime	Wollastonite	Control	S. lime	Wollastonite
0	1.5	—	—	2.4	—	—
50	21.0	27.7	21.8	25.4	29.7	26.8
100	53.9	62.1	49.9	46.3	67.2	53.1
200	115.7	145.9	102.3	152.3	124.5	121.7

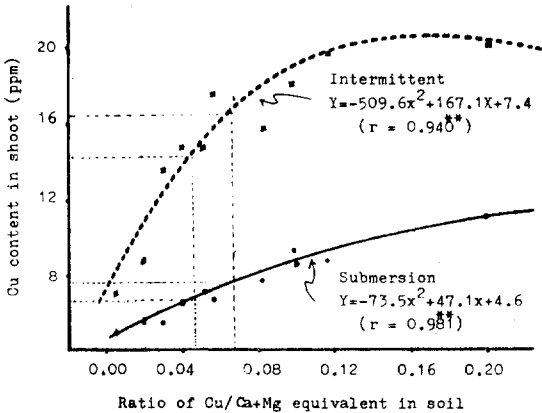


Fig. 3. Relationships between the ratio of Cu/Ca+Mg equivalent in soil and Cu content in shoot (harvest)

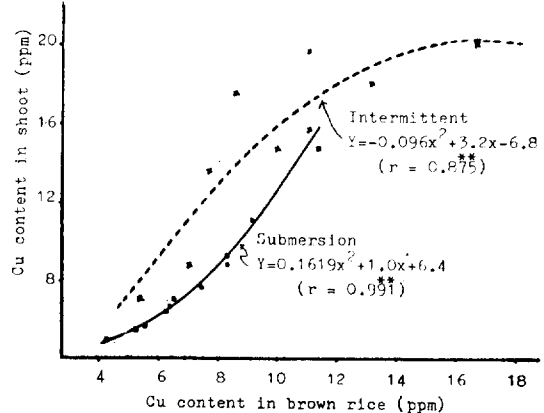


Fig. 4. Relationships between Cu content in brown rice and Cu content in shoot (harvest)

石(200 kg/10a)을 施用하였을 때 改良劑와 土壤中에 含有된 總 Ca와 Mg의 當量合計와 土壤에 含有된 總 銅含量의 當量比間에는 $y = 167.1x - 509.6x^2 + 7.4$ 와 $y = 47.1x - 73.5x^2 + 4.6$ 의 正의 相關을 나타내었고, 玄米中 銅含量과도 $y = 3.2x - 0.096x^2 - 6.8$ 및 $y = 0.16x^2 + x + 6.4$ 의 正의 相關이 있었다.

따라서 土壤中의 總 銅含量과 Ca와 Mg의 含量을 알면 石灰物質의 施用量을 決定할 수 있을 것으로 생각

되므로 水稻栽培前에 豫防對策 樹立이 可能할 것으로 보이나 本 試驗은 土壤의 pH가 낮고 Ca와 Mg 含量이 적은 土壤에서 pot 條件에서 修行되었으므로 앞으로 圃場에서 더 檢討되어야 할 것으로 생각된다.

5. 試驗後 土壤中 銅含量

試驗後 土壤中의 1/10 N-HCl 可溶性 銅含量은 Table 6에서와 같이 銅處理濃度가 높을수록 銅含量이 增加하

는 傾向이며 常時澆水區가 間斷澆水區보다 낮고 改良劑別로는 消石灰 > 硅灰石 > 無施用 順으로 높은 傾向이었다.

이와같은 事實은 植物體中 銅 含量과는 正反對의 傾向을 나타내었는데 이는 植物體의 吸收가 많은 土壤은 土壤에 남아있는 量이 적고 植物體 吸收가 적은 土壤은 남아있는 含量이 많다는 것을 意味하는 것으로 생각된다.

要 約

水稻에 對하여 土壤에서 銅의 濃度を 달리하고 改良劑로서 無施用 消石灰(中和量+150 kg/10a) 및 硅灰石(200 kg/10a)을 施用한 後에 間斷澆水와 常時澆水로 調節하여 pot 試驗한 結果는 다음과 같다.

1) 收量은 銅 處理濃도가 높을수록 減收되었으며 有意性있는 土壤中 減收濃도는 間斷澆水 : 133.1 ppm 常時澆水 : 136.8 ppm이었다.

2) 銅 200 ppm인 土壤에서 消石灰 施用으로 26~30% 硅灰石 施用으로 27~48% 增收되었고 常時澆水하므로 間斷澆水보다 増水되었다.

3) 銅 含量이 높을수록 收量 構成要素中 株當 總數 登熟率 및 千粒重이 減少되고 消石灰 및 硅灰石施用으로 總數와 粒數가 적었다.

4) 銅 含量이 높을수록 玄米 및 莖葉中의 銅 含量이 增加되고 常時澆水 및 消石灰 硅灰石 施用으로 그 含量이 적어졌다.

5) 土壤中 Cu/Ca+Mg 當量比가 增加할수록 莖葉中 銅 含量이 높았다.

6) 石灰物質 施用으로 土壤 pH는 消石灰 > 硅灰石 > 無施用 順이었다.

7) 試驗土壤中 銅 含量은 常時澆水가 間斷澆水보다 높았다.

參 考 文 獻

1. 高井康雄, 早瀬達郎, 熊澤喜久雄 (1976): 植物營養 土壤肥料大事典, 106~140, 1276~1277.
2. 金福榮, 金奎植, 趙在規, 李敏孝, 金善寬, 朴英善, 金福鎮 (1982): 韓國泥土壤 및 玄米中 重金屬(Cd, Cu, Zn, Pb)의 天然賦存量에 關한 調査研究, 農試報告(土肥, 作物, 菌茸, 農加), 24, 5.
3. 若月利之, 松尾嘉郎, 久馬一剛 (1978): 土壤中 諸元素의 天然賦存量(第1報), 本邦水田作土中の Pb, Cu, Ni, Cr およびしの天然賦存量, 日本土肥誌, 49(6), 507.

4. Marshall Sittig (1973): *Pollution Detection and Monitoring Handbook*, Noyes Data Corporation, U.S.A., p. 146~150.
5. Swaine, D. J. (1962): The trace element content of fertilizers, Common wealth agricultural bureaux, Bucks.
6. 日向進 (1983): 土壤中의 銅의 行動におよぼす各種肥料鹽の影響, 日本土肥誌, 54(1), 45.
7. 日向進 (1981): 山梨縣勝沼地方におけるブドウ園土壤の蓄積銅の實態について日本土肥誌, 52, 347.
8. 農村振興廳: 土壤化學分析法
9. 農村水産技術會議事務局 (1972): 土壤よび作物體中の 重金屬の 分析法, 日本土肥誌, 43(7), 264, 43(8), 307, 43(9), 349.
10. 細田克己 (1942): 鎳毒地土壤改良に關する研究(第5報) 銅, 砒素, 亞鉛, 鉛及鐵等の水稻水量に及ぼす影響, 並に其の有害作用に對する防除劑の效果に就て, 日本土肥誌, 16(11), 459.
11. 環境廳 (1981): 韓國環境關係法令集
12. 涉谷政夫, 西垣晋, 新井郁子 (1966): 日本農技研報, 169.
13. 九州農業試驗場 (1973): 土壤汚染資料 No. 3. 重金屬元素(Cu, Zn, As, Pb)가 作物の生育に及ぼす影響, p. 129~136.
14. 정영호, 김부걸 (1968): 광독지 개량에 적합한 규산 자원개발에 관한 시험, 식물환경연구보고, p. 1~26.
15. 齋藤喜亮 (1961): 鎳害地植物成分に關する研究(第5報) 作物中の銅含量について, 日本土壤肥料誌, 32(4), 145.
16. 龜井茂, 大矢昌二郎 (1976): 重金屬の土壤蓄積性について(その4) 土壤中 重金屬イオンの酢酸アンモン溶出性, 日本土肥學會東北支部講演要旨集, 20.
17. 日向進, 小管權夫 (1976): 土壤の銅含量と作物の生育に關する 調査研究(第3報) ぶどうの銅障害と被害對策について, 日本土肥學會 東北支部 講演要旨集, 53.
18. Fawzy M. K. and Hassan, M. N. (1973): Sorption and Desorption of copper by and from clay minerals, *Plant and Soil*, 39, 497.
19. Bohn and Abu-husayn (1971): Manganese, iron, copper and zinc concentration of *Sporobolus wrightii* in alkaline soils, *Soil Science*, 112(5), 348.
20. 石塚喜明, 田中明, 藤田收 (1961): 水稻要素代謝に關する研究(第6報), 日本土肥誌, 32(3), 97.