

# 矽酸爐渣用量對土壤重金屬含量之效應

羅秋雄 莊浚釗 洪阿田

## 摘 要

本研究目的為探討大量施用矽酸爐渣對作物生長、土壤重金屬累積及理化性之影響，選定桃園紅壤及屏東酸性粘板岩沖積土兩處供為試驗田。以矽酸爐渣用量 0、3、6、12、24 及 36t/ha 為處理，小區面積 18m<sup>2</sup>，四重複，採完全逢機區集設計。爐渣全量於第一作甘藍種植前撒施且與土壤充分混合，第二作水稻不再施用，繼續觀察其對後作之影響。其結果如下：

1. 桃園紅壤施用矽酸爐渣可提高甘藍產量 4.7~21.4%，然屏東酸性粘板岩沖積土 pH 值已在甘藍適宜生長之範圍內，因此施用與否對甘藍產量無顯著差異。第二作水稻桃園試區增產 1.0~3.4%，而屏東試區則增產 0.3~16.9%，惟兩試區之處理間均未達顯著差異（未施用矽酸爐渣前土壤矽酸含量已在臨界濃度之上）。
2. 矽酸爐渣施用具提高土壤 pH 值及電導度值效應，但對土壤穿刺阻力（硬度）及有機質含量之影響並不明顯。電導度值雖隨爐渣施用量而提高，惟施用最高量所產生之電導度 370  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ，仍遠低於毒害限界濃度。
3. 土壤經 0.1M HCl 萃取之重金屬錳、鉻、鎳及鈦會隨矽酸爐渣之增施而微量提高，但最高含量仍在一般土壤自然含量之內，且交換性鋁及經 0.1M HCl 萃取之鐵、銅、鋅含量則隨矽酸爐渣之增施而下降。

關鍵詞：矽酸爐渣用量、土壤重金屬含量

## 前 言

矽酸爐渣之施用對作物之產量、品質有提高之效果，且為改善酸性土壤之優良石灰資材，加上價格便宜及農政單位之大力推廣，近年農民已大量施用於水、旱田及果園土壤，每年推廣量約在 14,000 公噸以上。矽酸爐渣為煉鋼廠之副產物，其化學成份複雜，除含矽酸鈣、鋁及鎂外，還含有少量之重金屬如鎳、鉻、鋅、銅、鈦及錳等<sup>(4)</sup>，部分學者認為長期施用有礙作物生長及降低品質之虞。矽酸爐渣可視為石灰質材料<sup>(29)</sup>，惟大量施用後，將造成土壤 pH 升高<sup>(4)</sup>，重金屬（鋅、錳、銅等）的溶解度降低<sup>(30,31)</sup>，而使作物對其吸收量減少之後果。但其 pH 升高之幅度似不大，酸性水田土壤經施用爐渣後 pH 平均升高 0.4 至 0.8 單位，其對鋅、銅、錳等之溶解度有何影響，長期多量施用是否會造成重金屬在土壤中累積，及其對土壤理化性質是否會造成影響，實為值得探討之問題。

\* 本場助理研究員、助理、高雄區農業改良場副研究員。

## 材料及方法

### 一、田間試驗

本試驗於78年7月至79年6月在桃園縣中壢市及屏東縣屏東市進行。試驗田土壤係桃園紅壤（中庄街系Cs）及屏東粘板岩沖積土（長興系Cs），供試土壤之性質如表一所示。供試作物秋裡作為甘藍（初秋甘藍），一期作水稻（桃園試區台農67號、屏東試區台農70號）。第一作矽酸爐渣施用量為0、3、6、12、24、36t/ha六種變級，小區面積為18m<sup>2</sup>，四重複，採逢機完全區集設計。第二期以後不再施用，繼續觀察其對後作土壤重金屬之影響。供試矽酸爐渣之成分如表二。矽酸爐渣係全量於第一作種植前一個月撒施，並充分與土壤混合後灌水浸灌（灌水次數視土壤乾濕情形決定）。試驗前及每作收穫後，土壤分別採取表土（0-15cm）、底土（15-30cm）供分析之用。

表一 供試土壤條件

Table 1. General properties of experimental soils.

Item	Taoyuan Latosol		Pintnung Alluvial soil	
	Soil depth (cm)			
	0-15	15-30	0-15	15-30
Serries	Cs (中庄街系)		Cs (長興系)	
Texture	L	SiL	SiL	SiL
sand (%)	33.4	25.4	13.4	11.4
silt (%)	43.4	50.4	68.4	71.4
clay (%)	23.2	24.2	18.2	17.2
pH	5.3	5.1	6.1	6.7
O.M (%)	2.44	2.17	1.69	0.95
EC ( $\mu$ S/cm)	118	116	109	77
CEC (cmol/kg)	8.93	9.88	8.57	6.07
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	4.75	4.59	1.33	1.80
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	0.64	0.64	0.25	0.36
	mg/kg			
SiO <sub>2</sub>	218	158	86	122
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	61	49	84	32
K <sub>2</sub> O	131	88	64	29
CaO	807	785	1539	1588
MgO	209	240	169	201
Al*	5.90	3.99	0.50	0.11
Fe**	372	413	774	680
Mn	170	203	39	48
Zn	18.12	30.90	4.03	3.85
Cr	0.20	0.26	0.11	0.17
Ti	ND	ND	ND	0.15
Ni	0.92	1.33	0.71	0.93
Cu	1.75	2.30	3.52	7.62

\*1M KCl萃取 \*\*Fe, Mn, Zn, Cr, Ti, Ni, Cu 0.1M HCl萃取

表二 矽酸爐渣之化學成分表

Table 2. Chemical composition of silicate slag.

Items	Total (%)	0.1M HCl Soluble (mg/kg)
SiO <sub>2</sub>	35.2	—
CaO	38.7	—
MgO	7.1	—
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.47	—
MnO	0.35	—
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.8	—
TiO <sub>2</sub>	0.57	—
Fe	—	ND*
Mn	—	249
Cu	0.007	0.041
Zn	0.009	0.06
Cr	0.007	0.203
Ni	0.006	0.141
Ti	—	0.146

\* ND：表示未檢測出(non-detectable)

## 二、分析方法

### (一) 土壤一般性質及大量元素萃取與分析

1. 有機質：重鉻酸鉀氧化法<sup>(25)</sup>。
2. pH：土/水 = 1/1 (W/V) 1hr 平衡後 pH 計測定<sup>(23)</sup>。
3. 電導度：土/水 = 1/5 振盪 1hr 過濾電導度計測定<sup>(26)</sup>。
4. 穿刺阻力（水稻收穫後測定）：使用穿刺阻力計（HOGENTOGLER & CO. INC. USA 圓錐頭修正為 0.8cm）測定。
5. Ca、Mg Mehlich No.3 法萃取：稱 5 克土壤，加 50ml Mehlich No.3 萃取劑，振盪 1hr 過濾，以 ICP 測定<sup>(22)</sup>。
6. 交換性鋁：1M KCl 萃取抽氣過濾，以 ICP 測定<sup>(28)</sup>。
7. 可溶性矽酸：以 1M NaOAc (pH4.0) 60°C 熱浴 90 分鐘萃取過濾，以 ICP 測定<sup>(18)</sup>。

### (二) 土壤重金屬萃取與分析

稱 5 克土壤，加 50ml 0.1M HCl 萃取劑，振盪 1hr 過濾裝瓶，以 ICP 測 Fe、Mn、Zn、Cr、Ti、Ni、Cu 等七種重金屬含量。

### (三) 產量調查

各期作生育期間調查生育情形，並於收穫時分別按不同處理調查產量。

## 結果與討論

### 一、矽酸爐渣用量對作物產量之效應

矽酸爐渣不同用量(0、3、6、12、24、36t/ha)對秋裡作甘藍產量之效應如圖一所示，桃園試區甘藍產量隨爐渣之施用量增加而增加，施用矽酸爐渣處理分別較對照區(30.97t/ha)增產4.79、1.46、3.06、6.63及5.39t/ha，增產率由4.7至21.4%，其中爐渣用量24、36t/ha處理達5%顯著差異水準。而屏東試區除爐渣用量6、12、36t/ha處理對照區(37.59t/ha)分別增產2.24、1.81及0.58t/ha(增產率5.6、4.8及1.5%)外，餘3、24t/ha處理減產1.02及0.87t/ha(減產率2.7及2.3%)，惟該試區處理間之產量並無顯著差異。

根據連<sup>(5)</sup>、黃<sup>(11)</sup>指出；矽酸爐渣對旱作之改良效果係與其中和土壤酸性的鹼度並提供鈣鎂等要素有關，甘藍之適宜pH值為5.7~7.0<sup>(8)</sup>。因此桃園紅壤pH值4.7(底土4.8)之情況下，施用矽酸爐渣以調整其pH值至適宜值(圖三、a)及充分供應鈣鎂等元素，當可期望獲得生長條件之改善而增產。屏東試區之土壤pH值為5.7(底土6.4)，已在甘藍適宜生長之pH值5.7~7.0範圍內。

而一期水稻屏東試區施用矽酸爐渣處理分別較對照區(7.39t/ha)增產0.24、1.12、0.99、0.98及1.25t/ha(增產率為0.3、5.2、13.4、11.9及16.9%)，僅36t/ha處理達5%顯著水準。桃園試區則僅增產0.08~0.25kg/ha，增產率為1.0~3.4%，處理間未達差異顯著水準(圖一、b)。

究其未達顯著增產之原因，係因兩試區之土壤SiO<sub>2</sub>含量(未施矽酸爐渣前)已分別高達228mg/kg(底土126mg/kg)及153mg/kg(底土136mg/kg)，均已在土壤缺矽之臨界濃度40~90mg/kg<sup>(3,6)</sup>以上。

### 二、矽酸爐渣用量對土壤理化性質之效應

#### (一)土壤穿刺阻力

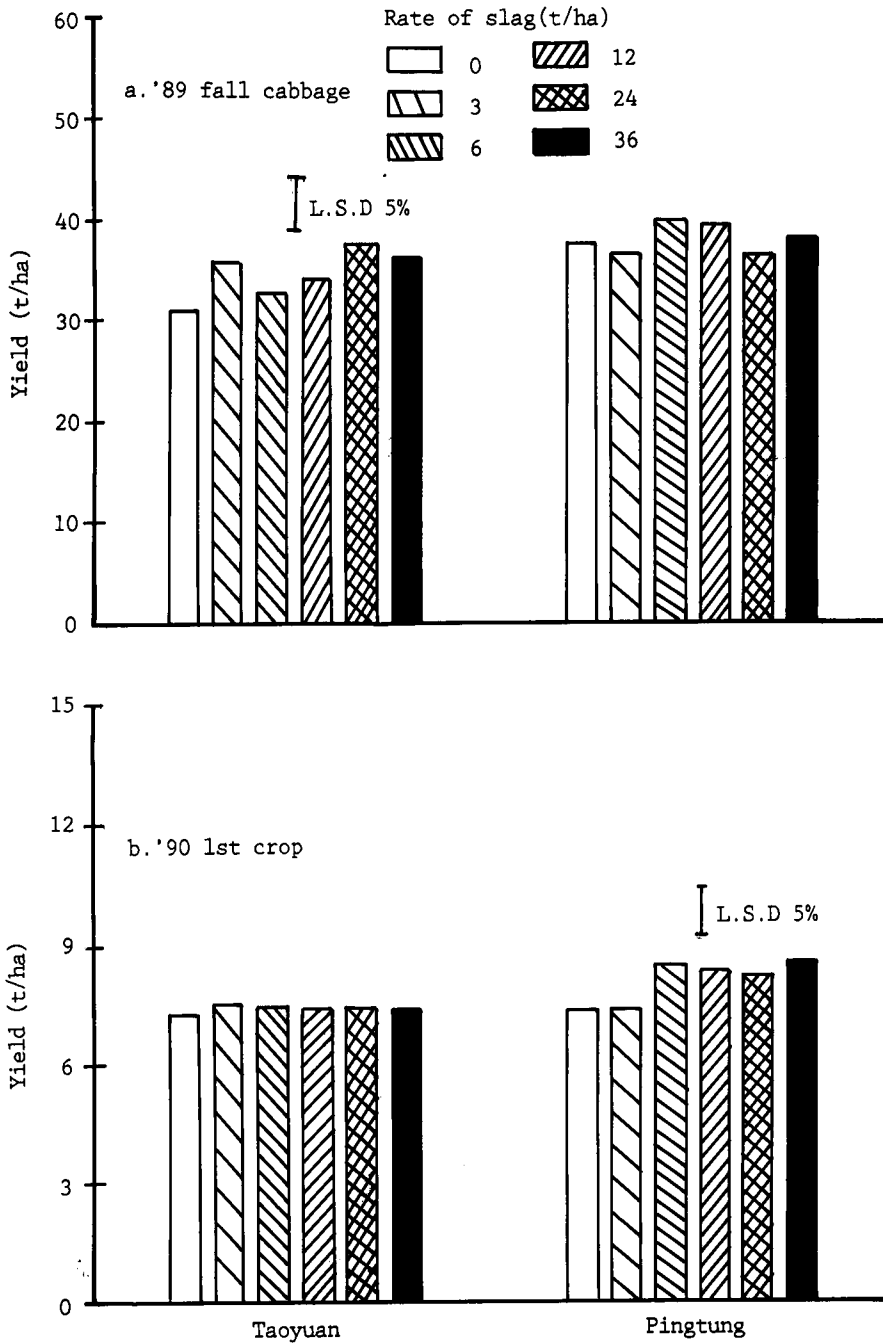
矽酸爐渣之主成分為安定的礦物或化合物，不含任何有機物。其主要結構為玻璃質，約佔95%以上(中鋼公司爐渣利用推廣手冊)，近年來工業上已用為水泥之填充材料，藉以提高水泥之強度。然而將含高量玻璃質之矽酸爐渣充當石灰質材以改良酸性及缺矽土壤，是否會造成土壤之硬化，而阻礙作物根系之生長，值得重視。

圖二、a及b兩試區土壤穿刺阻力之測定結果；顯示桃園試區土壤深度0~10cm之穿刺阻力約9~13kg/cm<sup>2</sup>，10cm以下土壤之穿刺阻力則隨深度之加深而逐漸加大(15~40kg/cm<sup>2</sup>)，惟各處理間無論表、底土均無明顯差異。至於土壤深度自30cm以下所測到之穿刺阻力相當雜亂，主係因為該試驗田區經農地重劃填土之故，因此也沒有明顯之犁底層。屏東試區土壤深度0~15cm之穿刺阻力約13~17kg/cm<sup>2</sup>，15~30cm間有明顯之犁底層(穿刺阻力由17kg/cm<sup>2</sup>提高到33~44kg/cm<sup>2</sup>)。然而兩試區表土(0~15cm)之土壤穿刺阻力卻有明顯不同，這些差異除受土壤母質、質地及有機質含量(桃園試區有機質含量約2.5%、屏東試區僅1.7%)等因素之影響外，測定時之土壤水分含量亦為影響土壤穿刺阻力之重要因子。

因此，根據以上兩試區所測得各處理間土壤穿刺阻力無明顯差異之結果，可知矽酸爐渣當石灰資材施用時，只要使用方法(充分與土壤拌勻)正確，尚不致於造成土壤之硬化。

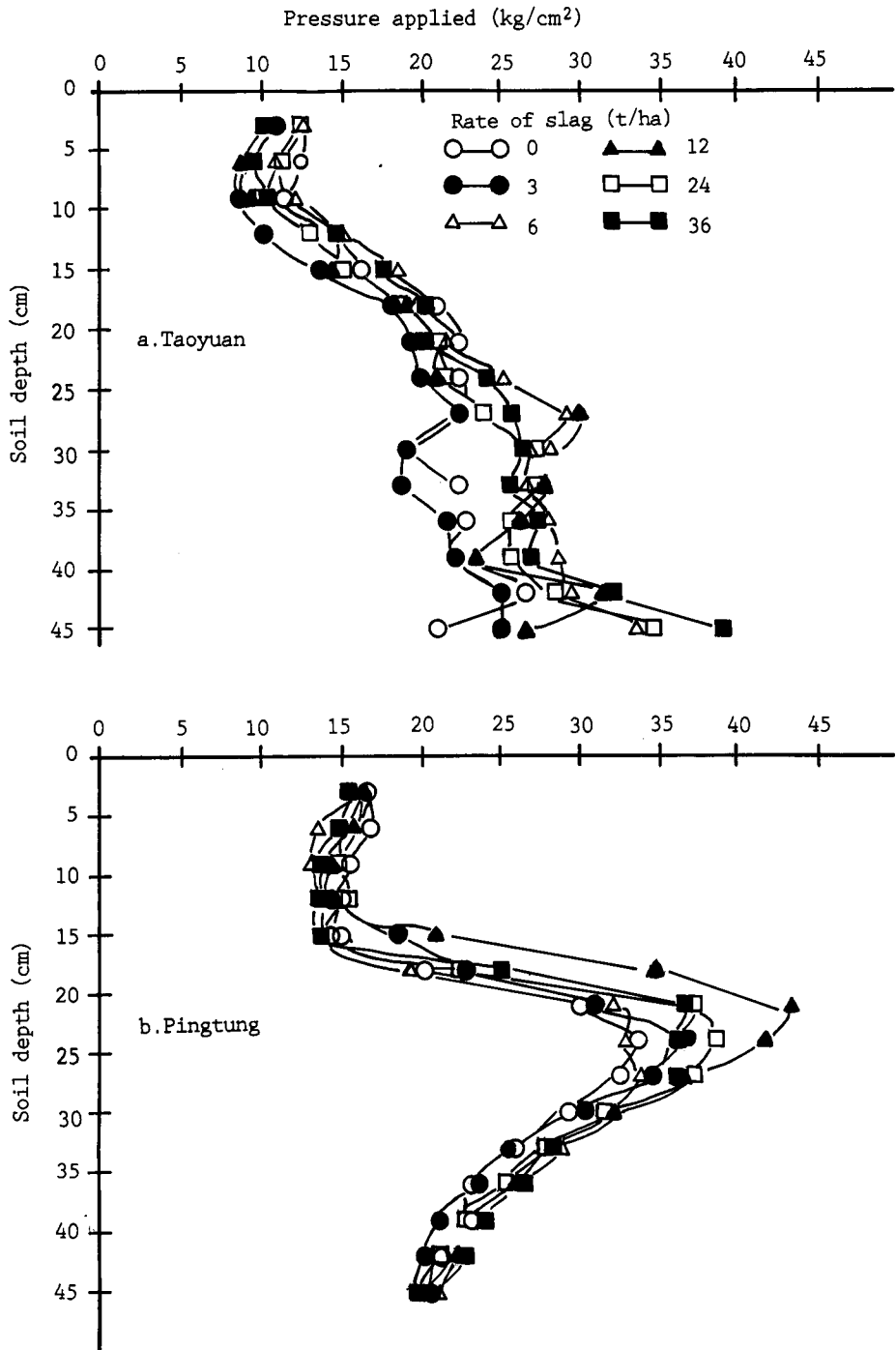
#### (二)pH值

桃園紅壤及屏東粘板岩沖積土均為典型之酸性土壤，經施用不同量矽酸爐渣後對土壤pH值之影響如圖三、a及b。兩試區之土壤pH值，秋裡作甘藍及一期水稻種植後之表、底土均隨施用量之增加而提高。



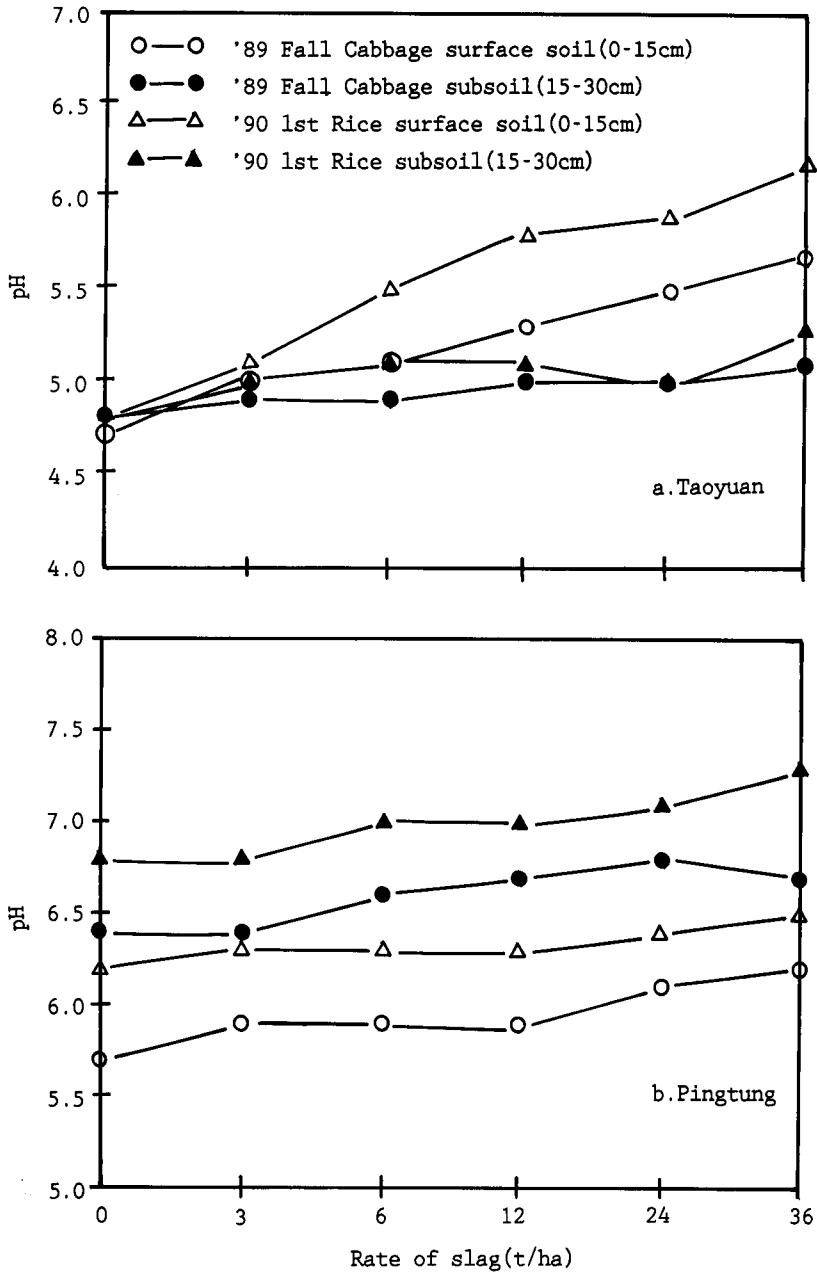
圖一 矽酸爐渣用量對甘藍及水稻收量之效應

Fig.1. Effect of application rates of silicate slag on the yield of cabbage and rice



圖二 矽酸爐渣用量對兩種土壤剖面穿刺阻力之效應

Fig.2. Penetration-resistance of two soils profiles with six levels of silicate slag



圖三 矽酸爐渣用量對兩種土壤 pH 值之效應

Fig.3. The changes of soil pH in response to varying rates of silicate slag

桃園試區秋裡作甘藍施用矽酸爐渣處理較未施者表土 pH 值提高約 0.3~1.0 單位，底土約 0.2~0.3 單位，但屏東試區表土僅約提高 0.2~0.5 單位，底土提高之幅度則近似桃園試區。因此在旱作情況下桃園紅壤原土壤 pH 值 4.7 為限制甘藍生長（適宜生長之 pH 值 5.7~7.0）之重要因子，雖然施用矽酸爐渣後 pH 值略提高但大部分處理尚未達到甘藍生長之適宜 pH 值，仍有相對的降低了 pH 值因子之限制效力，使施用矽酸爐渣處理對甘藍產量有明顯之增產效果。相反的在屏東試區原土壤 pH 值 5.7 在甘藍適宜生長之範圍內，即使再提高土壤 pH 值也未達明顯的增產效果。

在次作不增施矽酸爐渣情形下，繼續於同一試區觀察一期水稻種植後土壤 pH 變化情形。桃園試區施用矽酸爐渣處理較未施用者表土提高 pH 值約 0.3~1.4 單位，底土僅提高 0.2~0.5 單位。但屏東試區表土則僅提高 0.1~0.3 單位，底土亦僅 0.2~0.5 單位。前述及水田施用矽酸爐渣之主要效果非調整土壤 pH 值，而為提供大量之矽酸，即使兩試區之土壤在高矽酸含量（表二）下 pH 值雖略有提高，也難對水稻產量有明顯影響（圖一、b）。

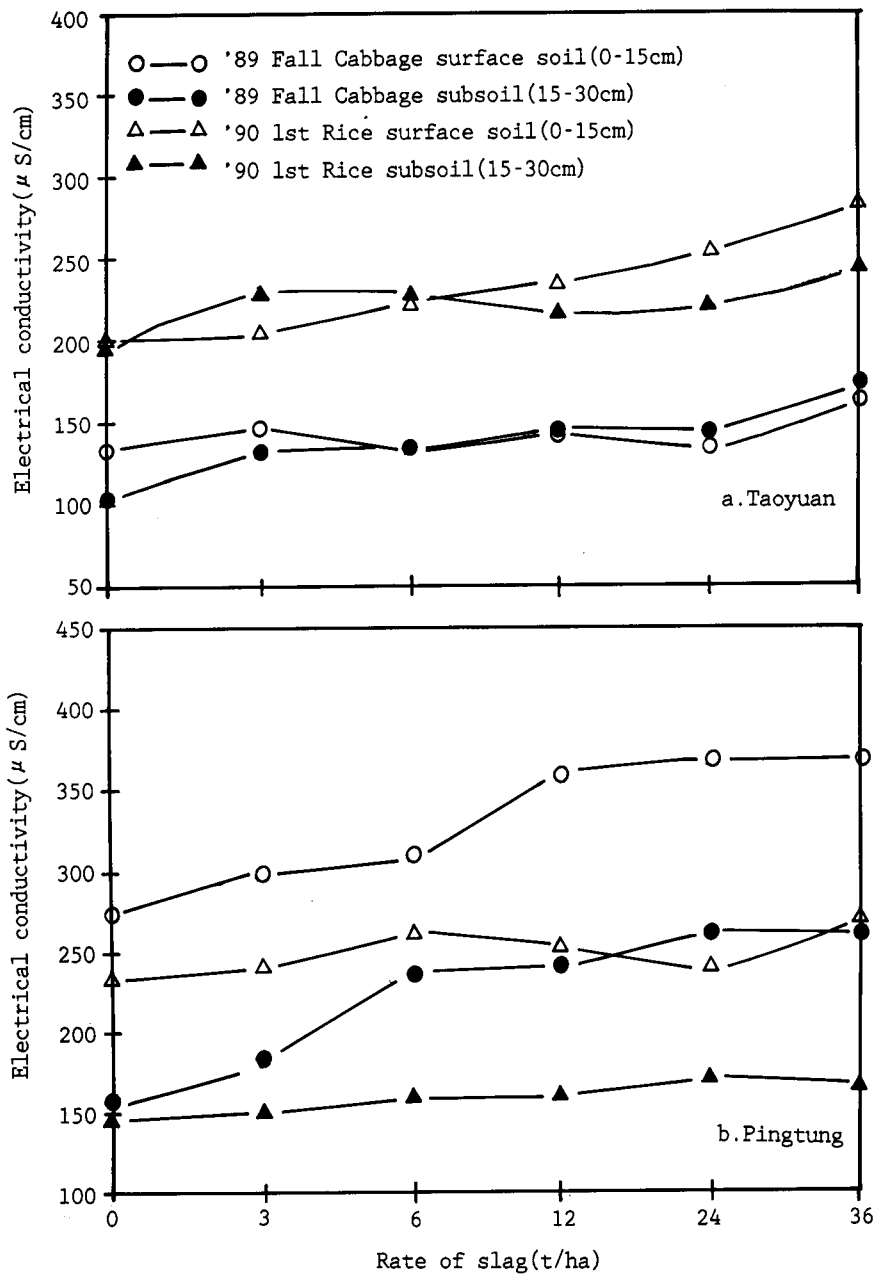
至於兩試區次作（一期水稻）後之土壤 pH 值均明顯高於初作（秋裡作甘藍），亦即水田情況下之土壤 pH 值較旱作為高之原因，根據郭<sup>(8)</sup>之解釋為：土壤在多水時降低粘粒濃度及  $H^+$  與電極表面之接觸減少，此外又由於土壤中所含可溶性鹽類之稀釋，引起更多吸附性金屬離子解離進入溶液中所致。

#### (三)電導度

電導度值可反映可溶性鹽存在於土壤溶液中之濃度，土壤溶液中含鹽濃度對植物生長有直接的關係，濃度愈大則毒害愈重。而土壤中可溶性鹽類之累積，除一般的鹽、鹼土為自然形成外，人為造成可溶性鹽類增加的一重大因素為肥料之大量施用，另外土壤改良資材的長期及大量施用亦可造成土壤可溶性鹽類的累積。

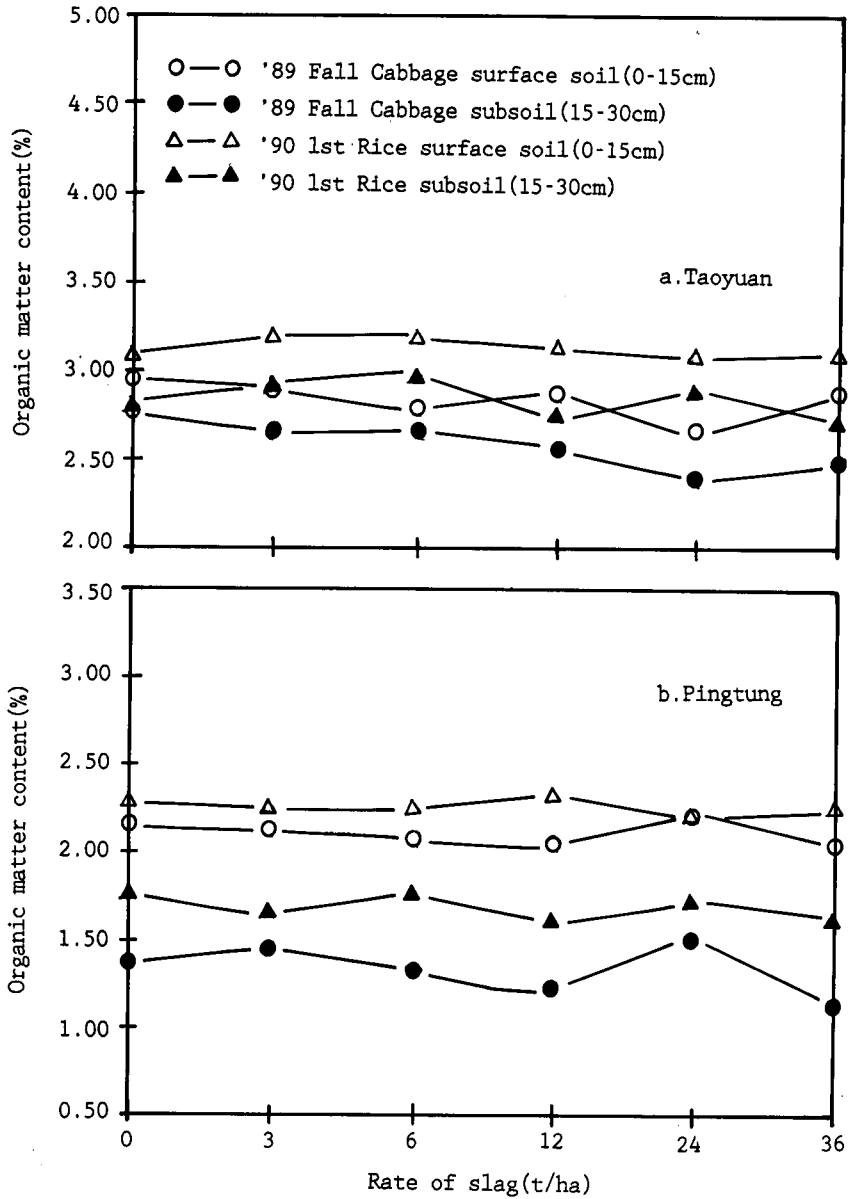
圖四、a 及 b 為兩試區施用不同量矽酸爐渣後連續種植兩作物土壤之電導度變化情形，由圖中可明顯看出兩試區兩期作表、底土之電導度值均隨矽酸爐渣之施用量而上升。桃園試區秋裡作甘藍表土上升幅度為 14~32  $\mu S/cm$ ，底土為 30~73  $\mu S/cm$ ，底土的上升幅度明顯較表土為高，其可能起因於矽酸爐渣施用後連續浸排水一個月可溶性鹽類溶出而往下移。一期水稻收穫時土壤之電導度由於處在水分含量較多之狀態下，施用與未施用處理表、底土的電導度均較前期旱作為高，表土隨不同量矽酸爐渣施用較未施用者提高 5~85  $\mu S/cm$ ，底土為 33~50  $\mu S/cm$ （圖四、a）。屏東試區秋裡作甘藍施用處理較未施用者提高約 26~96  $\mu S/cm$ ，底土為 28~106  $\mu S/cm$ ，一期水稻表土約為 7~47  $\mu S/cm$ ，底土 6~22  $\mu S/cm$ （圖四、b）。其中兩試區同樣在初作甘藍後，次作水田後，試區間水、旱田之電導度值變化則有截然不同之差異，桃園試區為初作旱田低於次作水田，而屏東試區正好相反，主要係受兩試區土壤質地、有機質含量、CEC 及鐵鋁氧化物含量不同（表一）而影響土壤中鹽類物質之淋洗所致。





圖四 矽酸爐渣用量對土壤EC值之效應

Fig.4. Effect of application rates of silicate slag on the electrical conductivity of soils



圖五 矽酸爐渣用量對土壤有機質含量之效應

Fig.5. Effect of application rates of silicate slag on content of organic matter in soils

土壤電導度對一般作物之障礙限界濃度為  $800 \sim 1,500 \mu S/cm$  (1:5) 以上<sup>(13)</sup>，但 Jurinak<sup>(19)</sup> 則指出水稻減產 10% 之限界濃度為  $3,800 \mu S/cm$ ，甘藍則為  $2,800 \mu S/cm$  (水飽和測值)。根據以上之毒害限界濃度將本試驗兩試區所測得之電導度值 (土:水, 1:5) 約略乘五倍計，秋裡作甘藍最高量矽酸爐渣處理 (36t/ha) 桃園試區表土為  $800 \mu S/cm$  (底土  $900 \mu S/cm$ )，屏東試區為  $1,900 \mu S/cm$  (底土  $1,300 \mu S/cm$ )，一期水稻兩試區則均為  $1,400 \mu S/cm$  (底土分別為  $1,200$  及  $800 \mu S/cm$ )，距上述之毒害限界濃度尚有一段差距，還不致對作物生長產生不良影響。

#### 四有機質

土壤有機物之分解快慢常隨溫度、水分、pH、化學物質等因素之影響而異<sup>(8)</sup>，惟佐々木與長谷川<sup>(15)</sup> 指出酸性土壤長期施用石灰質材以調整土壤 pH 值，結果土壤 pH 之上升與土壤之碳含量無關，亦即土壤 pH 值因施石灰而提高，但土壤中之碳含量並不伴隨增加或減少。連與王<sup>(4)</sup> 也指出矽酸爐渣長期施用 1.5 或 3.0t/ha，於第七作後土壤 pH 值升高 0.4~0.8 單位，但對土壤有機質之含量影響甚少。

圖五、a 及 b 為兩試區不同量矽酸爐渣施用對土壤有機質含量變化之影響。秋裡作甘藍桃園試區無論表、底土有機質含量均隨矽酸爐渣用量而些微下降，表土降幅 0.05~0.28%，底土為 0.10~0.37%，但處理間除底土  $24t ha^{-1}$  處理達 5% 顯著差異外，餘均未達顯著差異水準。屏東試區則影響甚小。一期水稻兩試區表、底土處理間之土壤有機質含量則無多大變化。

但由圖五中可明顯看出，兩試區水、旱田狀態下之有機質含量有極大之差異，也即水田狀態下之有機質含量均較旱田時為高。其主要原因為水田時土壤水分含量高，有機物質分解緩慢且不完全，可保留較高之有機質含量，而在旱田狀態時由於土壤水分較少，通氣良好，微生物大量分解有機物，致使有機質含量較水田時為低。

#### 三矽酸爐渣用量對土壤交換性鋁及重金屬含量之影響

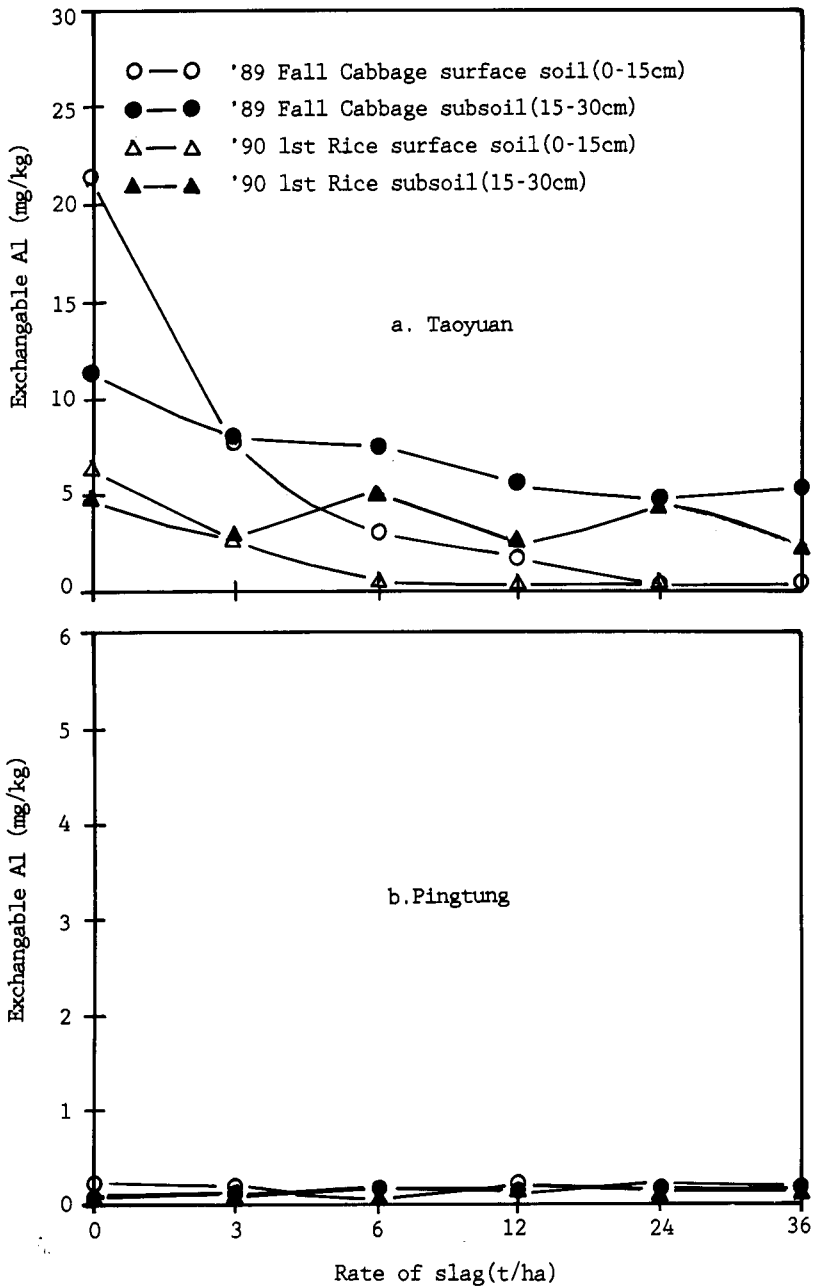
土壤交換性鋁及重金屬含量常受土壤環境、母質及人為因素等之影響，其中人為因素方面，除來自工業廢棄物之污染外，含有鋁及重金屬之肥料及改良質材之施用，也是造成土壤交換性鋁及重金屬增加之一大重要因素。圖六、表三及四為施用改良質材矽酸爐渣後對土壤交換性鋁及重金屬含量之影響。

##### (一) 交換性鋁

酸性土壤對作物生長之主要限制因子為鋁、鐵及錳的毒害，其中又以鋁毒害最為普遍<sup>(12)</sup>。Foy 等<sup>(16)</sup> 指出在土壤 pH 值低於 5.0 時，鋁即成為植物之生長限制因子，但即使在 pH 值 5.5 的情況下，鋁之抑制作用亦時常發生，此種毒害之發生主要由於低 pH 下鋁的活性增加。當土壤 pH 值在 5.0 以上時鋁會形成  $Al(OH)_3$  而沉澱，可減少鋁之釋出而降低對作物之毒害<sup>(14,20)</sup>。因矽酸爐渣中含有高達 17% 以上的  $Al_2O_3$ ，當石灰質材施用以調整土壤 pH 值時，據連與王<sup>(4)</sup> 試驗結果顯示：土壤中鋁的洗出量與未施用者無明顯差異。

圖六為兩試區施用不同量矽酸爐渣對土壤交換性鋁含量之影響。桃園試區秋裡作甘藍及一期水稻表、底土之交換性鋁含量均隨矽酸爐渣之增施而降低 (圖六、a)，很明顯的兩期作之表土 pH 值當達到 5.5 時，土壤中之交換性鋁含量已微乎其微，相反的底土之 pH 值均在 5.5 以下 (圖三、a)，因此仍含有少量之交換性鋁。而屏東試區兩期作之表、底土所含之交換性鋁均相當微量 (圖六、b)，主要為該試區兩期作之表、底土 pH 值均在 5.5 以上 (圖三、b)，土壤中鋁大部分形成不溶性的  $Al(OH)_3$  而沉澱，降低了鋁的活性所致。

因此由上述試驗結果證實：施用大量矽酸爐渣之土壤，因 pH 提高，可使土壤中之交換鋁量大為降低，不致對作物生育產生任何不良影響。



圖六 矽酸爐渣用量對土壤交換性鋁含量之效應

Fig.6. Effect of appliation rates of silicate slag on the exchangeable aluminum of soils

### (二)鐵

鐵亦為酸性土壤限制作物生長之主要因子，鐵之溶解度常依土壤 pH 值、水分（影響 Eh 值之高低）及有機物含量等因素而變<sup>(8,14)</sup>。當土壤在低 pH、或水分含量高（還原狀態）或有機物分解大量釋出有機酸時， $Fe^{+3}$ 還原成 $Fe^{+2}$ 而提高鐵之溶解度，將可影響作物之生長。由表三（鐵）中桃園試區土壤以 0.1M HCl 萃取的酸可溶性鐵含量，秋裡作甘藍表土降低 2~41 mg/kg，底土雖也有降低之趨勢，但較表土不明顯。一期水稻則表、底土均明顯降低，各為 20~237mg/kg 及 137~240mg/kg。屏東試區 0.1M HCl 萃取土壤的酸可溶性鐵含量，兩期作之表土均隨矽酸爐渣之增施而明顯降低，秋裡作甘藍約降低 58~364mg/kg，一期水稻為 63~364mg/kg，但底土在秋裡作甘藍雖也有降低之趨勢，惟不甚明顯，相反的一期水稻則有明顯之降幅，降低約 144~387mg/kg。另再由表中可看出兩試區一期水稻之土壤鐵含量均明顯高於秋裡作甘藍，尤其桃園試區高約 2~3 倍。其原因主要為水田常湛水而處於還原狀態，使 $Fe^{+3}$ 還原成 $Fe^{+2}$ 而提高鐵之有效性。

### (三)錳

由表三（錳）可知桃園試區兩期作之表土 0.1M HCl 酸可溶性錳含量均隨矽酸爐渣之增施而小幅提高，秋裡作甘藍提高 23~71mg/kg，一期水稻為 16~44mg/kg，底土則施用與未施用差異不明顯。屏東試區 0.1M HCl 酸可溶性錳含量秋裡作甘藍表、底土均隨矽酸爐渣之增施而提高，表土約提高 11~59mg/kg，底土 6~38mg/kg，但一期水稻之表、底土施用與未施用則差異不明顯。至於兩試區秋裡作甘藍及一期水稻間之土壤錳含量，無論表、底土之錳含量均約略相等，也即矽酸爐渣施用後連續種植兩作物後，土壤中之錳含量仍無多大變化。

### (四)銅

銅是化學性相當不活潑的金屬，在溶液中一般均以二價陽離子形態存在，在鹼性條件下大部分變成碳酸鹽和氫氧化物沉澱<sup>(21)</sup>。當土壤 pH 提高時，溶液中 $Cu^{+2}$ 會水解成 $Cu(OH)_2$ 而成不溶性<sup>(24)</sup>。

表三（銅）中桃園試區秋裡作甘藍及一期水稻表土 0.1M HCl 酸可溶性銅含量隨矽酸爐渣之增施而明顯下降，降幅各為 0.08~0.86mg/kg 及 0.17~1.23mg/kg，底土則無明顯差異。屏東試區兩期作表土 0.1M HCl 酸可溶性銅含量隨矽酸爐渣之增施而下降，秋裡作甘藍降低 0.60~4.37mg/kg，一期水稻為 0.59~3.53mg/kg，底土秋裡作甘藍差異不明顯，而一期水稻施用處理較未施用者則降 1.44~2.82mg/kg。

### (五)鋅

土壤或粘粒對於鋅的吸附，隨 pH 之提高而增加吸附，當 pH 值超過 6.0 時，吸附量會急劇增加；pH 值影響鋅吸附的主要原因要歸于 pH 高時 $ZnCO_3$ 及 $Zn(OH)_2$ 沉澱產生，及粘粒表面之淨負電荷增加<sup>(10)</sup>。Reddy 與 Perkins<sup>(27)</sup>也指出；土壤 pH 提高，因鋅的固定量增加，而降低鋅之溶解度。

表三（鋅）中桃園試區兩期作表、底土 0.1M HCl 酸可溶性鋅含量，施用矽酸爐渣處理均較未施用者為低，秋裡作甘藍表土降幅約 0.59~2.59mg/kg，底土為 0.04~0.67mg/kg，一期水稻表土為 0.44~4.04mg/kg，底土則為 0.17~1.15mg/kg。屏東試區 0.1M HCl 酸可溶性鋅含量兩期作表、底土均隨矽酸爐渣之增施而降低，秋裡作甘藍表土降低 0.59~1.80mg/kg，底土 0.59~1.80mg/kg，一期水稻表土為 0.17~2.17mg/kg，底土則為 1.06~2.00mg/kg。

兩試區秋裡作甘藍及一期水稻土壤鋅含量之變化迥異，桃園試區一期水稻土壤之鋅含量明顯略高於秋裡作甘藍，而屏東試區則無明顯差異。據 Hezra 等<sup>(17)</sup>解釋為鋅被鐵氧化物吸附，而浸水使鐵氧化物還原，低價形態離子變得較易溶解，所以會解離出來，對水稻之有效性提高。因此桃園試區因鐵氧化物含量較高（表一），致在水田還原狀態下鋅的溶出率會增加。

### (六)鉻

表三 矽酸爐渣用量對土壤可萃取性鐵、錳、銅、鋅含量之效應(mg/kg)

Table 3. Effect of application rates of silicate slag on the extractable Fe, Mn, Cu and Zn of soils (mg/kg)

Application rates of Silicate Slag		Fe		Mn		Cu		Zn		
		Depth(cm)								
		0-15	15-30	0-15	15-30	0-15	15-30	0-15	15-30	
(t/ha)										
桃園	秋	0	208 <sup>a</sup>	407 <sup>a</sup>	132 <sup>c</sup>	207 <sup>a</sup>	1.52 <sup>a</sup>	1.53 <sup>a</sup>	6.05 <sup>a</sup>	3.23 <sup>a</sup>
	裡	3	204 <sup>a</sup>	411 <sup>a</sup>	155 <sup>bc</sup>	222 <sup>a</sup>	1.44 <sup>a</sup>	1.70 <sup>a</sup>	5.46 <sup>a</sup>	3.20 <sup>a</sup>
	作	6	206 <sup>a</sup>	367 <sup>a</sup>	193 <sup>ab</sup>	215 <sup>a</sup>	1.31 <sup>a</sup>	1.46 <sup>a</sup>	4.79 <sup>a</sup>	2.56 <sup>a</sup>
	甘	12	173 <sup>a</sup>	420 <sup>a</sup>	217 <sup>a</sup>	232 <sup>a</sup>	0.93 <sup>a</sup>	1.46 <sup>a</sup>	4.47 <sup>a</sup>	3.17 <sup>a</sup>
	藍	24	168 <sup>a</sup>	397 <sup>a</sup>	205 <sup>ab</sup>	204 <sup>a</sup>	0.66 <sup>a</sup>	1.50 <sup>a</sup>	3.48 <sup>a</sup>	2.96 <sup>a</sup>
	36	167 <sup>a</sup>	313 <sup>a</sup>	203 <sup>ab</sup>	193 <sup>a</sup>	0.66 <sup>a</sup>	1.50 <sup>a</sup>	3.46 <sup>a</sup>	3.19 <sup>a</sup>	
試區	0	637 <sup>a</sup>	645 <sup>a</sup>	207 <sup>ab</sup>	240 <sup>a</sup>	2.49 <sup>ab</sup>	2.15 <sup>a</sup>	9.42 <sup>a</sup>	3.91 <sup>a</sup>	
	一	3	617 <sup>a</sup>	480 <sup>a</sup>	166 <sup>b</sup>	271 <sup>a</sup>	2.56 <sup>a</sup>	2.15 <sup>a</sup>	8.93 <sup>a</sup>	3.74 <sup>a</sup>
	期	6	603 <sup>a</sup>	508 <sup>a</sup>	204 <sup>ab</sup>	305 <sup>a</sup>	2.32 <sup>ab</sup>	2.02 <sup>a</sup>	8.19 <sup>a</sup>	3.32 <sup>a</sup>
	水	12	505 <sup>ab</sup>	489 <sup>a</sup>	203 <sup>ab</sup>	261 <sup>a</sup>	2.02 <sup>bc</sup>	2.15 <sup>a</sup>	7.12 <sup>a</sup>	3.25 <sup>a</sup>
	稻	24	418 <sup>b</sup>	490 <sup>a</sup>	223 <sup>ab</sup>	242 <sup>a</sup>	1.84 <sup>c</sup>	2.16 <sup>a</sup>	5.61 <sup>a</sup>	2.76 <sup>a</sup>
	36	400 <sup>b</sup>	405 <sup>a</sup>	251 <sup>a</sup>	245 <sup>a</sup>	1.26 <sup>d</sup>	1.92 <sup>a</sup>	5.38 <sup>a</sup>	3.03 <sup>a</sup>	
屏東	秋	0	820 <sup>a</sup>	432 <sup>a</sup>	68 <sup>b</sup>	91 <sup>b</sup>	9.59 <sup>a</sup>	6.64 <sup>a</sup>	5.20 <sup>a</sup>	6.29 <sup>a</sup>
	裡	3	762 <sup>ab</sup>	528 <sup>a</sup>	79 <sup>ab</sup>	97 <sup>ab</sup>	8.99 <sup>a</sup>	7.29 <sup>a</sup>	4.56 <sup>ab</sup>	5.43 <sup>a</sup>
	作	6	668 <sup>bc</sup>	510 <sup>a</sup>	89 <sup>ab</sup>	124 <sup>a</sup>	7.71 <sup>a</sup>	6.86 <sup>a</sup>	4.45 <sup>bc</sup>	5.39 <sup>a</sup>
	甘	12	637 <sup>bc</sup>	408 <sup>a</sup>	98 <sup>ab</sup>	126 <sup>a</sup>	7.07 <sup>a</sup>	6.00 <sup>a</sup>	4.61 <sup>bc</sup>	5.46 <sup>a</sup>
	藍	24	536 <sup>cd</sup>	460 <sup>a</sup>	103 <sup>ab</sup>	123 <sup>a</sup>	6.06 <sup>a</sup>	6.78 <sup>a</sup>	3.95 <sup>cd</sup>	5.46 <sup>a</sup>
	36	456 <sup>d</sup>	405 <sup>a</sup>	127 <sup>a</sup>	129 <sup>a</sup>	5.22 <sup>a</sup>	6.24 <sup>a</sup>	3.40 <sup>d</sup>	5.38 <sup>a</sup>	
試區	0	885 <sup>a</sup>	743 <sup>a</sup>	77 <sup>a</sup>	66 <sup>a</sup>	8.53 <sup>a</sup>	7.82 <sup>a</sup>	4.49 <sup>a</sup>	6.22 <sup>a</sup>	
	一	3	822 <sup>a</sup>	594 <sup>ab</sup>	67 <sup>a</sup>	69 <sup>a</sup>	7.94 <sup>ab</sup>	6.38 <sup>ab</sup>	4.32 <sup>a</sup>	5.16 <sup>ab</sup>
	期	6	705 <sup>ab</sup>	593 <sup>ab</sup>	64 <sup>a</sup>	69 <sup>a</sup>	7.07 <sup>cd</sup>	6.38 <sup>ab</sup>	3.57 <sup>ab</sup>	5.05 <sup>ab</sup>
	水	12	561 <sup>b</sup>	414 <sup>b</sup>	70 <sup>a</sup>	74 <sup>a</sup>	5.80 <sup>d</sup>	5.91 <sup>b</sup>	3.04 <sup>bc</sup>	4.94 <sup>b</sup>
	稻	24	533 <sup>b</sup>	366 <sup>b</sup>	78 <sup>a</sup>	85 <sup>a</sup>	6.18 <sup>cd</sup>	5.26 <sup>b</sup>	2.89 <sup>bc</sup>	4.26 <sup>b</sup>
	36	521 <sup>b</sup>	356 <sup>b</sup>	81 <sup>a</sup>	86 <sup>a</sup>	5.00 <sup>d</sup>	5.00 <sup>b</sup>	2.32 <sup>c</sup>	4.22 <sup>b</sup>	

\* 英文字母相同者表示處理間未達5%顯著差異水準。

Means followed by the same letter within each column are not significantly different at 5% level by Duncan's New Multiple Range Test.

表四（鉻）中桃園試區兩期作表、底土 0.1M HCl 酸可溶性鉻含量隨矽酸爐渣之增施而微量提高，秋裡作甘藍表、底土各增加 0.02~0.13mg/kg 及 0.01~0.11mg/kg，一期水稻則各增加 0.04~0.11mg/kg 及 0.01~0.03mg/kg。屏東試區兩期作表、底土之 0.1M HCl 酸可溶性鉻含量，雖也隨矽酸爐渣增施而提高之趨勢，但所增加之量甚微約 0.01~0.06mg/kg。

據郭等<sup>(7)</sup>以 0.1M HCl 萃取全省農田土壤鉻自然含量指出；表土自然含量為 ND~0.46mg/kg（平均 0.23mg/kg），底土為 ND~0.28mg/kg（平均 0.12mg/kg）。另許<sup>(9)</sup>報告指出；當水稻及蔬菜減產 10% 時，1M NH<sub>4</sub>OAc (pH4.5) 萃取土壤中鉻量，水稻—紅壤及酸性粘板岩沖積土均為 30mg/kg，蔬菜—紅壤為 35mg/kg、酸性粘板岩沖積土為 30mg/kg。而本試驗兩試區兩期作施用矽酸爐渣處理之 0.1M HCl 可溶性鉻量雖有微量提高趨勢，但表土最高含量僅約 0.37mg/kg，底土也僅 0.27mg/kg，仍在本省自然含量範圍內。

#### (七) 鎳

表四（鎳）中桃園試區 0.1M HCl 可溶性鎳含量兩期作表、底土均隨矽酸爐渣增施而提高，秋裡作甘藍表土增加 0.09~0.99mg/kg，底土為 0.02~0.23mg/kg，一期水稻則各為 0.18~1.18mg/kg 及 0.01~0.15mg/kg。屏東試區 0.1M HCl 可溶性鎳含量兩期作表、底土也均隨矽酸爐渣之增施而提高，秋裡作甘藍表土提高 0.32~1.43mg/kg，底土為 0~0.19mg/kg，一期水稻則分別提高 0.09~0.60mg/kg 及 0.01~0.39mg/kg。

郭等<sup>(7)</sup>指出本省農田土壤 0.1M HCl 鎳含量表土為 ND~2.70mg/kg<sup>-1</sup>（平均 1.18mg/kg），底土為 ND~2.14mg/kg（平均 0.79mg/kg）。而本試驗兩試區各期作施用矽酸爐渣處理表、底土的鎳含量均低於 2.63mg/kg 以下，在本省自然含量範圍之內。且遠低於行政院環境保護署<sup>(2)</sup>暫訂之土壤鎳毒害臨界濃度（>100mg/kg）。

#### (八) 鈦

一般土壤中含鈦量（TiO<sub>2</sub>計）約 0.1~1.0%<sup>(8,20)</sup>，氧化鈦礦物對風化作用之抵抗力極強，土壤中大約僅有 0.03mg/l 的鈦為可溶性<sup>(17)</sup>，而矽酸爐渣中含 TiO<sub>2</sub>為 0.53%<sup>(6)</sup>，實際上與土壤中之自然含量近似，該物質大量施用對土壤中鈦的影響如表四（鈦）。

兩試區 0.1M HCl 酸可溶性鈦含量兩期作表土及底土均隨矽酸爐渣之增施而提高。桃園試區秋裡作甘藍表土增加約 0.45~10mg/kg，底土為 0~0.71mg/kg，一期水稻表土為 0.41~7.04mg/kg。屏東試區秋裡作甘藍表土增加 0.46~3.53mg/kg，底土為 0.01~0.36mg/kg，而一期水稻則分別為 0.24~0.72mg/kg 及 0.08~0.65mg/kg。

表四 矽酸爐渣用量對土壤可萃取性鉻、鎳、鈦含量之效應(mg/kg)

Table 4. Effect of the application of siliceous slag on the extractable Cr Ni and Ti of soils (mg/kg)

Application rates of Silicate Slag  (t/ha)		Cr		Ni		Ti	
		Soil depth(cm)					
		0-15	15-30	0-15	15-30	0-15	15-30
桃園	秋 0	0.08 <sup>d</sup>	0.10 <sup>a</sup>	0.72 <sup>c</sup>	0.60 <sup>b</sup>	ND	ND
	裡 3	0.10 <sup>cd</sup>	0.11 <sup>a</sup>	0.81 <sup>c</sup>	0.62 <sup>b</sup>	0.45 <sup>c</sup>	ND
	作 6	0.14 <sup>bc</sup>	0.09 <sup>a</sup>	1.07 <sup>bc</sup>	0.64 <sup>b</sup>	2.41 <sup>bc</sup>	0.09 <sup>b</sup>
	甘 12	0.19 <sup>a</sup>	0.11 <sup>a</sup>	1.43 <sup>ab</sup>	0.70 <sup>ab</sup>	6.37 <sup>ab</sup>	0.05 <sup>b</sup>
	藍 24	0.17 <sup>ab</sup>	0.23 <sup>a</sup>	1.56 <sup>a</sup>	0.70 <sup>ab</sup>	9.43 <sup>a</sup>	0.04 <sup>b</sup>
園	36	0.21 <sup>a</sup>	0.22 <sup>a</sup>	1.71 <sup>a</sup>	0.85 <sup>a</sup>	10.00 <sup>a</sup>	0.71 <sup>a</sup>
試區	0	0.26 <sup>b</sup>	0.19 <sup>a</sup>	0.83 <sup>b</sup>	0.65 <sup>a</sup>	0.03 <sup>c</sup>	ND
	一 3	0.30 <sup>ab</sup>	0.21 <sup>a</sup>	1.01 <sup>b</sup>	0.68 <sup>a</sup>	0.44 <sup>c</sup>	ND
	期 6	0.33 <sup>ab</sup>	0.20 <sup>a</sup>	1.20 <sup>b</sup>	0.67 <sup>a</sup>	1.34 <sup>bc</sup>	ND
	水 12	0.32 <sup>ab</sup>	0.20 <sup>a</sup>	1.25 <sup>b</sup>	0.66 <sup>a</sup>	2.42 <sup>bc</sup>	ND
	稻 24	0.30 <sup>ab</sup>	0.22 <sup>a</sup>	1.31 <sup>b</sup>	0.67 <sup>a</sup>	3.24 <sup>b</sup>	ND
	36	0.37 <sup>a</sup>	0.21 <sup>a</sup>	2.01 <sup>a</sup>	0.80 <sup>a</sup>	7.07 <sup>a</sup>	0.97
屏東	秋 0	0.14 <sup>bc</sup>	0.16 <sup>abc</sup>	1.20 <sup>d</sup>	1.29 <sup>b</sup>	0.06 <sup>f</sup>	0.06 <sup>b</sup>
	裡 3	0.13 <sup>c</sup>	0.12 <sup>c</sup>	1.52 <sup>c</sup>	1.29 <sup>b</sup>	0.52 <sup>e</sup>	0.07 <sup>b</sup>
	作 6	0.13 <sup>c</sup>	0.17 <sup>ab</sup>	1.73 <sup>c</sup>	1.38 <sup>ab</sup>	1.06 <sup>d</sup>	0.18 <sup>b</sup>
	甘 12	0.15 <sup>bc</sup>	0.13 <sup>bc</sup>	1.75 <sup>c</sup>	1.41 <sup>ab</sup>	1.61 <sup>c</sup>	0.16 <sup>b</sup>
	藍 24	0.17 <sup>ab</sup>	0.18 <sup>a</sup>	2.30 <sup>b</sup>	1.40 <sup>ab</sup>	2.71 <sup>b</sup>	0.49 <sup>a</sup>
東	36	0.20 <sup>a</sup>	0.20 <sup>a</sup>	2.63 <sup>a</sup>	1.48 <sup>a</sup>	3.59 <sup>a</sup>	0.42 <sup>a</sup>
試區	0	0.20 <sup>a</sup>	0.21 <sup>a</sup>	1.03 <sup>c</sup>	1.09 <sup>c</sup>	0.10 <sup>e</sup>	0.09 <sup>a</sup>
	一 3	0.21 <sup>a</sup>	0.22 <sup>a</sup>	1.13 <sup>bc</sup>	1.17 <sup>bc</sup>	0.34 <sup>de</sup>	0.08 <sup>a</sup>
	期 6	0.20 <sup>a</sup>	0.20 <sup>a</sup>	1.12 <sup>bc</sup>	1.10 <sup>c</sup>	0.75 <sup>cd</sup>	0.07 <sup>a</sup>
	水 12	0.20 <sup>a</sup>	0.21 <sup>a</sup>	1.25 <sup>bc</sup>	1.12 <sup>c</sup>	1.03 <sup>bc</sup>	0.11 <sup>a</sup>
	稻 24	0.24 <sup>a</sup>	0.23 <sup>a</sup>	1.34 <sup>b</sup>	1.37 <sup>ab</sup>	1.46 <sup>b</sup>	0.65 <sup>a</sup>
	36	0.24 <sup>a</sup>	0.27 <sup>a</sup>	1.63 <sup>a</sup>	1.48 <sup>a</sup>	2.82 <sup>a</sup>	0.55 <sup>a</sup>

\* 英文字母相同者表示處理間未達5%顯著差異

ND: 未檢測出(non-detectable)



## 結 論

強酸性旱田土壤及低矽水田施用矽酸爐渣可提高甘藍及水稻產量；秋裡作甘藍桃園試區增產 1.46 ~ 6.63t/ha (增產率 4.7 ~ 21.4%)，以施用 24t/ha 處理產量達 37.6t/ha 最佳。屏東試區則處理間差異不明顯 (該試區土壤為微酸性)。一期水稻桃園試區增產 75 ~ 250kg/ha (增產率 1.0 ~ 3.4%)，惟處理間差異不顯著。屏東試區則增產 24 ~ 1,247kg/ha (增產率 0.3 ~ 16.9%)。

施用矽酸爐渣對提高土壤 pH 值及 EC 值隨施用量之增加而提高，但對土壤穿刺阻力 (硬度) 及有機質含量之影響甚小。其中 EC 值雖隨施用量而提高，惟施用最高量矽酸爐渣之 EC 值為 370  $\mu$  S/cm (屏東試區秋裡作甘藍 36t/ha 處理表土)，仍遠低於受害臨界濃度，不致對作物產生不良影響。

土壤重金屬錳、鉻、鎳及鈦等會隨矽酸爐渣之增施而微量提高，但最高含量仍在一般土壤自然含量之內，而交換性鋁及鐵、銅鋅則隨矽酸爐渣之增施而下降，其主要係受土壤 pH 值昇高之影響。

## 誌 謝

本計畫經費承行政院農業委員會補助，試驗期間及報告撰寫承農委員蘇技正楠榮、花蓮場黃場長山內、中興大學王所長銀波、譚博士鎮中、農試所連主任深、本場張場長學現、黃研究員益田及游課長俊明等指導及斧正，謹此一併誌謝。

## 參考文獻

1. 中鋼公司 爐石利用推廣手冊。(年代未註明)。
2. 行政院環境保護署 1990 台灣地區土壤重金屬含量調查總報告(一)
3. 吳啓東、連深 1965 矽對水稻之效應 (第三報)。台灣農業研究 14(3):45 ~ 48。
4. 連深、王鐘和 1983 長期連用矽酸爐渣對水稻收量和土壤化學性質之影響。中華農業研究 32(2):185 ~ 199。
5. 連深 1982 稻田長期施用矽酸爐渣對冬季裡 (旱) 作收量之影響。台灣省政府農林廳土壤肥料試驗報告。
6. 連深 1963 矽對水稻之效應 (第二報)。台灣農業研究 12(3):16 ~ 28。
7. 郭鴻裕、朱馥良、連深 1990 台灣地區農田土壤重金屬自然含量調查。第二屆土壤污染防治研討會論文集。
8. 郭魁士 1977 土壤學。中國書局。
9. 許永瑜 1990 鋅鉻對水稻與蔬菜在台灣主要土類中毒害臨界濃度之探討。國立中興大學土壤學研究所碩士論文。
10. 莊作權 1978 台灣蔗田土壤之鋅吸附作用。II、土壤 pH、溫度與水分含量對鋅吸附之影響。中國農業化學會誌 16(1-2):1 ~ 8。

11. 黃山內 1989 矽酸爐渣在農業生產上之應用。油印報告。
12. 張明德、林鴻淇 1985 鋁-酸土中躲不掉的剋星。土壤肥料通訊 (8):134~138。
13. 三好洋 1978 土壤診斷法。農山漁村文化協會。
14. 山崎傳 1966 微量要素と多量要素。博友社。
15. 佐々木清一、長谷川 喜 1979 土壤學。博友社。
16. Foy, C. D., R. L. Chaney. and M. L. White, Annu. Rer. 1978. Plant Physoil. 29:511~566.
17. Hutton, J. T. 1977. Titanium and zirconium minerals, In Dixon, J. B. and Weed, S. B., Eds Minerals., Soil Science Society of America, Madison, Wis. p. 673.
18. Imaizumi, K., and S. Yoshida. 1958. Edaphological studies on silicon supplying of paddy fields. Bull. Nat. Inst. Agr. Sci. (Japan), Series B, NO.8:261~304.
19. Jurinak, J. J. 1981. Salt-Affected Soil. Utah State University.
20. Kabata-Pendias, A., and H. Pendias. 1985. Trace element in soil and plants. CRC press. Boca Roton. Florida.
21. Lindsay, W. L. 1979. Chemical equilibria in soil. John Wiley and Sons, Inc., New York.
22. Mehlich, A. 1984. Mehlich 3 soil test extraction : A Modification of mehlich 2 extraction. Commun. In Soil Sci, Plant Anal. 15:1409~1416.
23. McLean, E. O. 1982. Soil pH and lime requirement. In A. L. Page et al (ed.) Methods of soil analysis, Part 2. 2nd ed. Agronomy Monograph no.9 p.199~224.
24. Misra, S. G., and R. C. Tiwari. 1966. Retention and release of copper and zinc by some Indian soils. Soil Sci. 101:465~471.
25. Nelson, D. W., and L. E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter, In A. L. Page et al (ed.) Methods of soil analysis, part 2. 2nd ed. Agronomy Monograph no. 9 p.539~579.
26. Rhoades, J. D. 1982. Soluble salts. In A. L. Page. et al (ed.) Methods of soil analysis, part 2. 2nd ed. Agronomy Monograph no.9 p.167~179.
27. Reddy, M. R., and H. F. Perkins. 1974. Fixation of zinc by clay minerals. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 38:229~231.
28. S. C. S. 1972. Soil survey laboratory methods and procedure for collecting soil samples. U. S Department of Agriculture. Washington.
29. Tisdale, S. A., W. L. Nelson., and J. D. Beaton. 1985. Soil acidity and liming. In Soil and Fertilizer. MacMillan Publishing Company. New York. p.484~525.
30. Tirsch, F. S., J. H. Baker., and F. A. Digiano. 1979. Copper and cadmium reaction with soils in land application. J. Water Pollut. Control Fed. 51:2649~2660.
31. Tyler, L. D., and M. B. McBride. 1982. Mobility and extractability of cadmium, copper, nickel and zinc in organic and mineral soil columns. Soil Sci. 134:198~205.

## Effects of application rates of silicate slag on the soils with heavy metal contents

Chiou-Shyong Lo, Chun-Chao Chuang, Ah-Tyan Hung

### Summary

The objectives of this study were to determine the effects of six application rates of silicate slag on crop yields; nutrient uptake of plants, the changes in soil properties; and the accumulation of heavy metals in two kinds soil. Two experimental farms were selected, one in Taoyuan Latosol. Silicate slag was applied at the rates of 0, 3, 6, 12, 24, and 36 t/ha. The total amount of silicate slag was completely mixed with soil before planting the first crop (cabbage) and no slag was used top for the next crop (paddy rice).

Results indicate that an increase of 4.7-21.4% yield of cabbage was obtained for Taoyuan stong acid latosolic soil. But no significant effect was observed in weak acid Pingtung alluvial soil. However, in the following paddy rice, approximately 0.3-16.9% rice yields increased in the Pingtung farm while applied with silicate slags, whereas 1.0-3.4% yields were increased in the Taoyuan farm. No significant difference between treatments was observed.

The soil pH and electric conductivities (EC) were increased by application with silicate slag. However, the content of organic matter and the resistance to penetration were not influenced by the rates of silicate slag. Although the soil EC values was increased in accordance with the increasing rates of slag, the EC value of the treatment with the highest amount of slag applied was  $370 \mu \text{ S/cm}$ , which still below the critical toxic allowance for crop yield.

The exchangeable Al, HCl-extractable Fe, Cu, and Zn were decreased and the contents of heavy metals, such as HCl-extractable Mn, Cr, Ni and Ti, were slightly increased with increasing rates of slag application. However, the heavy metal contents in the soils due to slag application were within the safty range.