

矽酸爐渣用量影響甘藍、水稻生長及植體重金屬含量研究

羅秋雄¹ 莊浚釗¹ 洪阿田²

摘要

本研究目的為探討水田大量施用矽酸爐渣對作物生長及植體重金屬含量之影響，選定桃園紅壤及屏東酸性粘板岩沖積土兩處為試驗田。以矽酸爐渣用量0、3、6、12、24及36t/ha為處理，小區面積18m²，四重複，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。其結果兩試區甘藍及水稻植體可食用部位(甘藍：葉球，水稻：糙米及白米)之鐵、錳、鋅、鎳及鈦含量均因土壤pH值升高而下降，銅及鉻部分施用矽酸爐渣之處理雖有微量提高，但其各別之最高含量仍遠低於作物植體的毒害臨界濃度。

關鍵詞：甘藍(Cabbage)、水稻(Rice)、矽酸爐渣(Silicate)、重金屬(Heavy metals)

前言

矽酸爐渣對作物之產量、品質有提高之效果，且為善酸性土壤之優良石灰資材，由於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25,000公噸以上。矽酸爐渣為煉鋼廠之副產物，其化學成分複雜，除含矽酸、鋁及鎂外，還含有少量之重金屬如鎳、鉻、鋅、銅、鈦及錳等⁽²⁾，部分學者認為長期施用有阻礙作生長及降低品質之虞。矽酸爐渣亦可視為石灰質材料⁽⁷⁾，惟大量施用後，將造成土壤pH升高⁽²⁾，重金屬(鋅、錳、銅等)的溶解度降低^(8,9)，而降低作物對其之吸收量。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⁽⁵⁾，然而其對鋅、銅、錳等之溶解度有何影響，以及長期多量施用是否會造成重金屬被作物植體吸收，造成對作物之毒害，甚至進入食物鏈為害人體健康，應加以探討，以界定矽酸爐渣之安全使用量。

1.本場助理研究員、助理。 2.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1所示。供試作秋裡作為甘藍(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18m²，四重複，採逢機完全區集設計。第二作以後不再施用，繼續觀察其對後作物植體重金屬吸收之影響。供試矽酸爐渣之成分如表2。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)。每作收穫後採取水稻植體(分為稻桿及稻穀)及甘藍植體(分為外葉及葉球)供分析之用。

表1. 供試土壤條件

Table 1. General properties of experimental soils.

Items	Taoyuan Latosol		Pingtung Alluvial soil	
	Soil depth(cm)			
	0-15	15-30	0-15	15-30
Series	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(μ S/cm)	118	116	109	77
CEC(cmol/kg)	8.93	9.88	8.57	6.07
Fe ₂ O ₃ (%)	4.75	4.59	1.33	1.80
Al ₂ O ₃ (%)	0.64	0.64	0.25	0.36
	(mg/kg)			
SiO ₂	218	158	86	122
P ₂ O ₅	61	49	84	32
K ₂ O	131	88	64	29
CaO	807	785	1,539	1,588
MgO	209	240	169	201
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

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

表2. 矽酸爐渣之化學成分

Table 2. Chemical composition of silicate slag.

Items	Total (%)	0.1M HCl Soluble (mg/kg)
SiO ₂	35.2	—
CaO	38.7	—
MgO	7.1	—
Fe ₂ O ₃	0.47	—
MnO	0.35	—
Al ₂ O ₃	16.8	—
TiO ₂	0.57	—
Fe	—	ND*
Mn	—	249
Cu	0.007	0.041
Zn	0.009	0.060
Cr	0.007	0.203
Ni	0.006	0.141
Ti	—	0.146

*ND: non-detectable.

二. 重金屬分析方法

(一) 水稻植體分稻草、稻殼、糙米及白米，甘藍植體分外葉及葉球，以70°C循環熱風烘乾，稱重，磨碎裝入樣品盒供分析。

(二) 稱取磨碎植體樣品1克，加入1/3(v/v)=HNO₃:HCl混合液20ml，靜置12hr，用微波爐以三段功率加熱分解，功率30%、50%及80%，各加熱10分鐘，分解液定量至50ml過濾裝瓶。

(三) 分解液以ICP測定Fe、Mn、Cu、Zn、Cr、Ni、Ti等重金屬含量。

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1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%，其中矽酸爐渣用量24、36t/ha處理達5%顯著差異水準。而屏東試區除矽酸爐渣用量6、12、36t/ha處理較對照區(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(圖1、a)。

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%顯著差異水準。桃園試區則僅增產0.08~0.25t/ha，增產為1.0~3.4%，處理間未達顯著差異水準(圖1、b)。

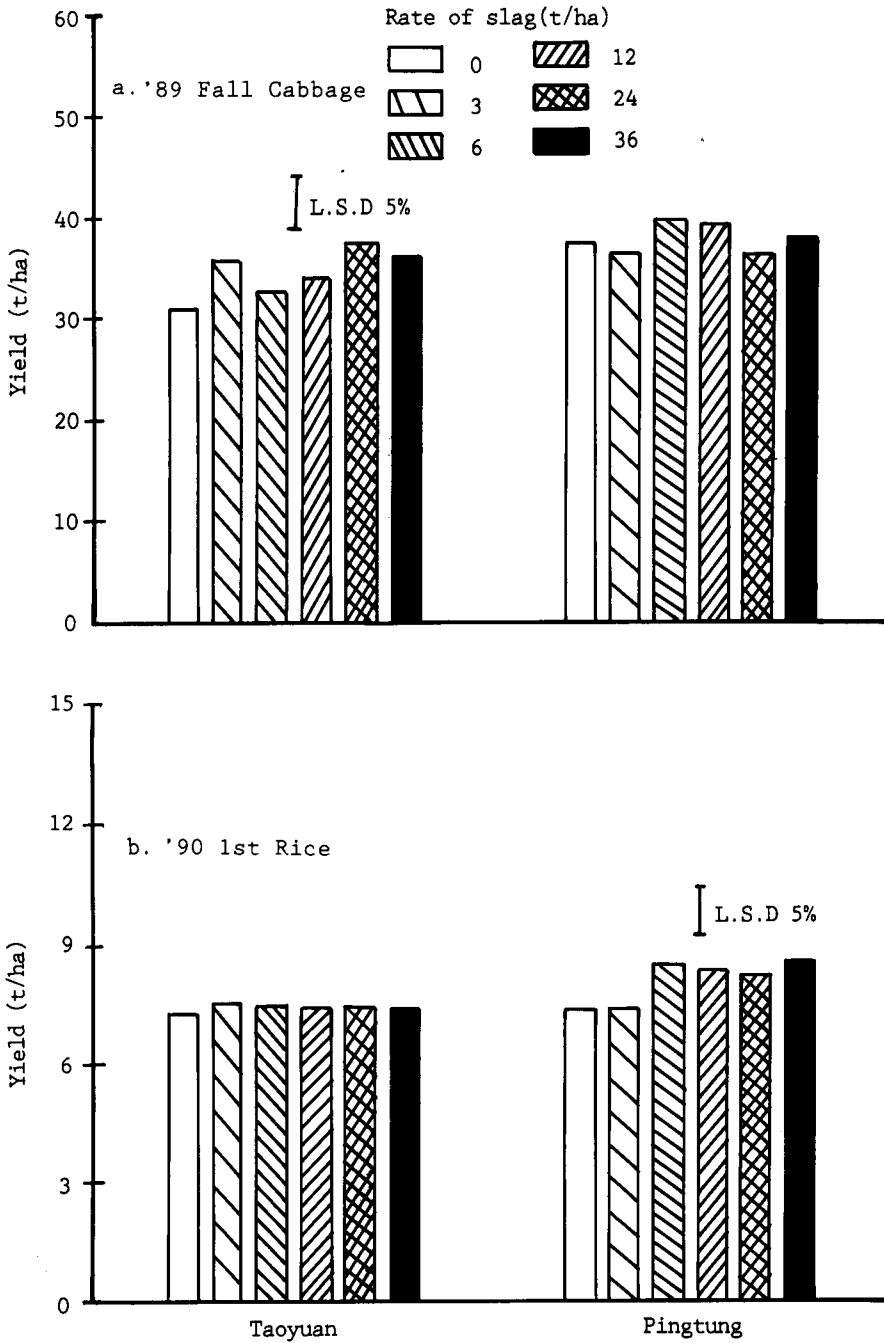


圖1.矽酸爐渣用量對作物產量之影響

Fig1. Effect of the rate of Silicate Slag on the yield of crops.

二、矽酸爐渣施用量對作物植體重金屬含量之影響

(一) 鐵

分析甘藍及水稻植體中鐵的含量，桃園試區未施用矽酸爐渣處理甘藍(葉球)為131mg/kg，屏東試區則為178mg/kg，分別較施用矽酸爐渣處理高約6~29及12~23mg/kg。而一期水稻(糙米及白米)未施用矽酸爐渣處理，也分別較施用矽酸爐渣處理高約0~45及0~26mg/kg。顯然施用矽酸爐渣處理兩試區無論秋裡作甘藍或一期水稻可食用部位之鐵含量均較未施用者低，其餘各部位之鐵含量也隨矽酸爐渣用量提高而呈現下降趨勢，主要係受土壤pH值因施用矽酸爐渣而升高之響⁽⁵⁾。至於鐵在植體地上部的分布情形；甘藍主要分布於外葉，約為葉球的1.4~2.7倍，而水稻則主要分布在稻草及穀殼中，糙米的含量僅佔水稻植體地上部的極小部分(圖2,3)。

(二) 錳

秋裡作甘藍可食用部位(葉球)的錳含量，未施用矽酸爐渣者桃園試區為134mg/kg，屏東試區為22mg/kg，分別較施用矽酸爐渣處理增加均41~70及0~4mg/kg。而一期水稻可食用部位(糙米及白米)未施用矽酸爐渣者則較施用矽酸爐渣處理分別高約0~4及3~8mg/kg。植體地上部含錳量的分布甘藍主要分布於外葉，約為內球的1.5~3倍，水稻植體則主要分布於稻草，其次為穀殼，再次為糙米，而白米兩試區的含量均僅10~16mg/kg(圖2,3)。

(三) 銅

由植體分析結果得知，兩試區甘藍可食用部位(葉球)含銅量，部分施用矽酸爐渣處理較未施用者為高，施用矽酸爐渣處理之最高含銅量為1.84mg/kg，但遠低於蔬菜植體20~100mg/kg 毒害臨界濃度的含銅量^(1,6)。而試區水稻可食用部位(糙米及白米)之銅含量則施用矽酸爐渣處理均較未施用者為低，桃園試區低約0.01~2.45mg/kg，屏東試區約為0.20~1.28mg/kg。植體地上部銅含量之分布：甘藍外葉>葉球，而水稻則視試區之不同植體不同部位濃度各異，桃園試區稻草>穀殼>糙米>白米，屏東試區則稻草>穀殼>糙米>白米(圖2,3)。

(四) 鋅

圖2,3(鋅)為矽酸爐渣施用量對作物植體地上部鋅含量之影響。由圖得知；兩試區甘藍及水稻植體鋅含量施用矽酸爐渣處理均較未施用者為低。甘藍葉球桃園試區降低約2.4~8.2mg/kg，屏東試區為0~8.2mg/kg，水稻糙米及白米兩試區分別降低約0~15.7及1.9~6.2mg/kg。植體地上部含鋅量之分布；甘藍桃園試區外葉≡葉球，屏東試區為外葉>葉球，而水稻植體兩試區各部位之鋅含量則差異不大。

(五) 鉻

作物植體鉻含量由分析結果得知：兩試區甘藍可食用部位(葉球)部分施用矽酸爐渣處理鉻含量高於未施用者，惟最高含量1.0mg/kg遠低於蔬菜當減產20%時臨界濃度70mg/kg⁽³⁾；至於水稻可食用部位糙米及白米則未檢測出有鉻之含量。植體內鉻含量之分布：甘藍桃園試區外葉及葉球含量約略相等，屏東試區為外葉>葉球；而水稻則為穀殼>稻草，糙米及白米的鉻含量無法測出(圖2,3)。

(六) 鎳

圖2,3(鎳)為矽酸爐渣施用量對作物植體鎳含量之影響。由圖中可明顯看出兩試區甘藍葉球、水稻糙米及白米鎳含量均隨矽酸爐渣之增施而呈現下降趨勢。但水稻稻草及穀殼兩試區的鎳含量部分施用矽酸爐渣處理較未施用者微量增加，惟其最高鎳含量3.2mg/kg遠低於水稻收穫期莖葉毒害臨界濃度20~60mg/kg之標準⁽¹⁾。而鎳在植體地上部的含量分布：甘藍植體桃園試區外葉與葉球約略相等，屏東試區外葉>葉球；水稻則為稻草≡穀殼>糙米≡白米。

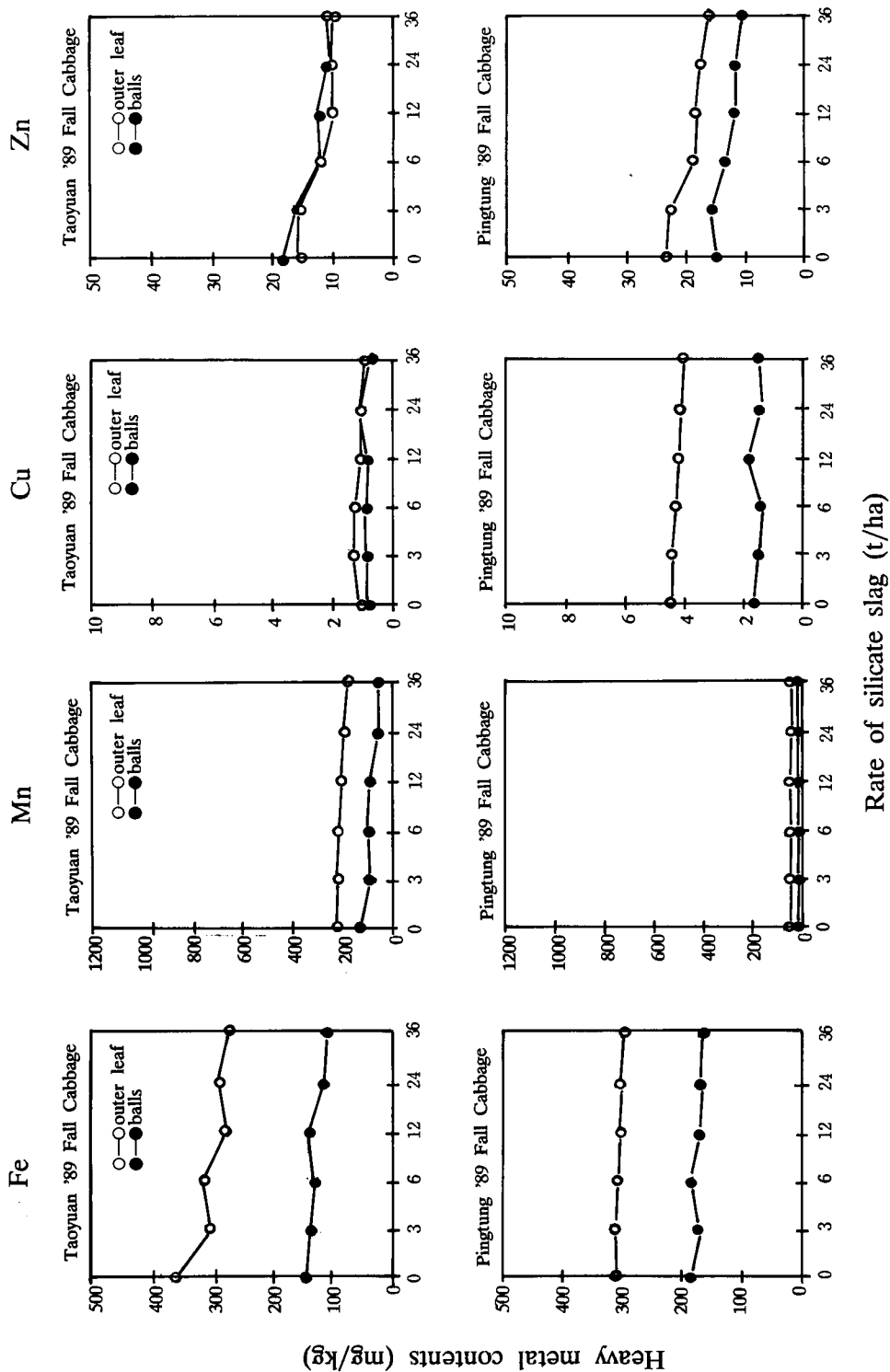


圖2.矽酸爐渣施用量對甘藍植體重金屬含量之效應
 Fig 2. Effect of the rate of silicate slag on the heavy metal contents of cabbage.

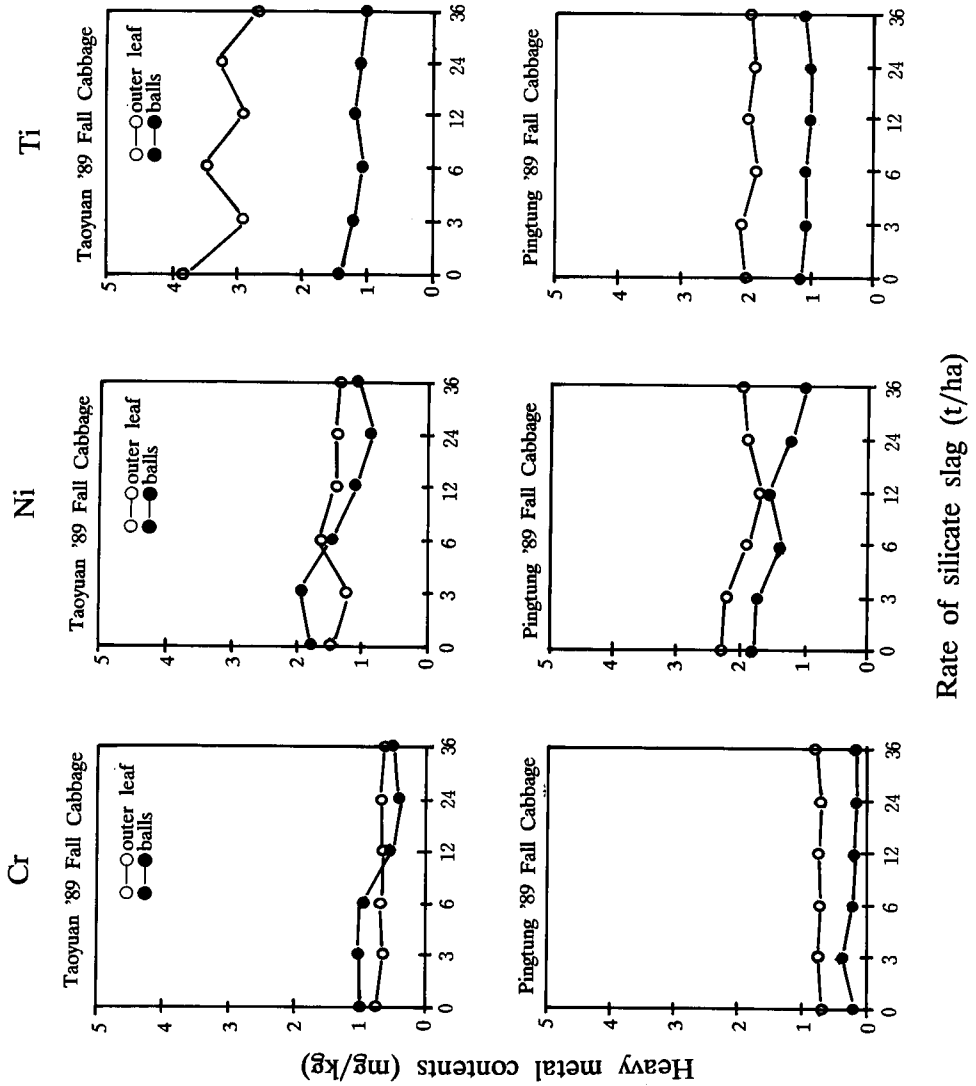


圖2-1. 矽酸爐渣施用量對甘藍植體重金屬含量之效應

Fig 2-1. Effect of the rate of silicate slag on the heavy metal contents of cabbage.

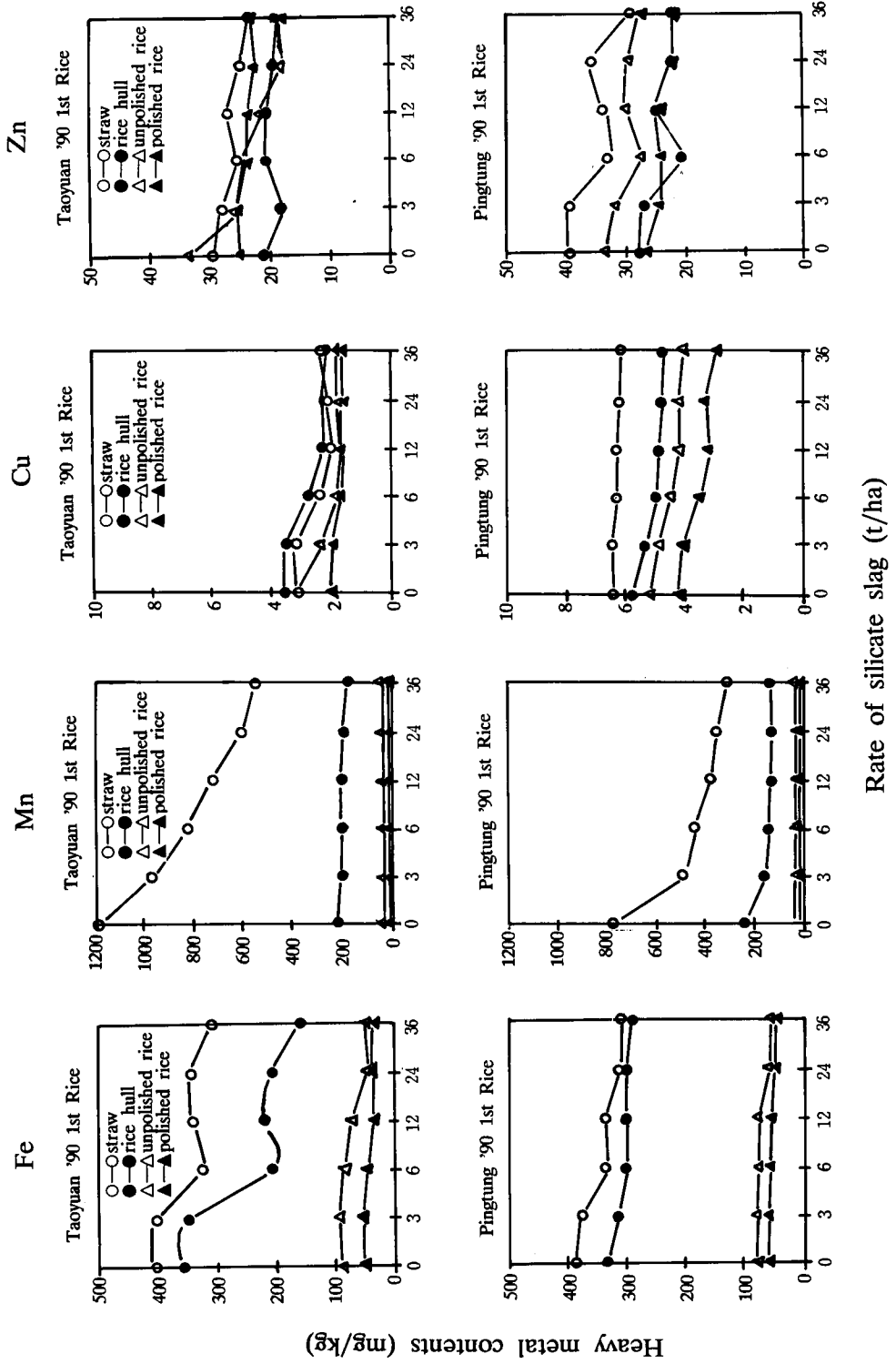


圖3. 矽酸爐渣施用量對水稻植體重金屬含量之效應
 Fig 3. Effect of the rate of silicate slag on the heavy metal contents of rice.

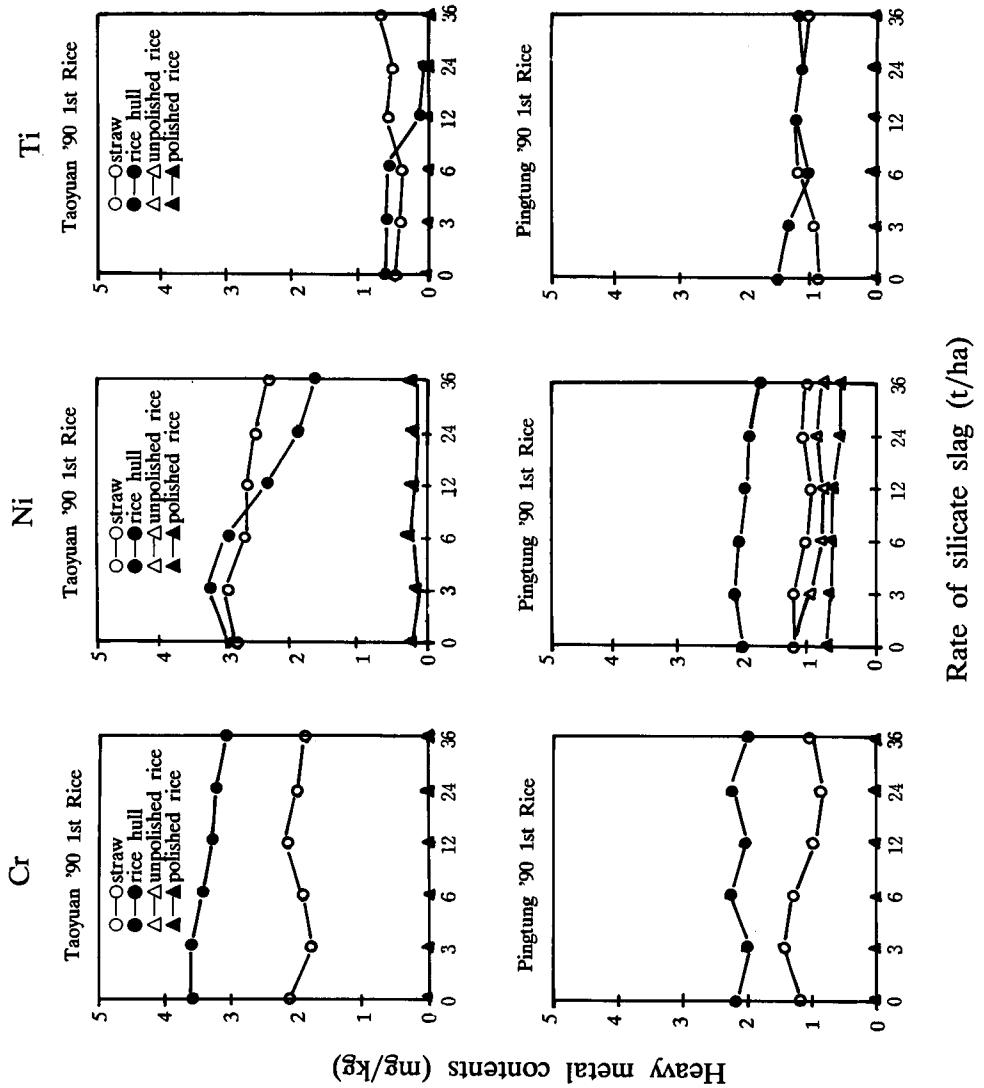


圖3-1. 矽酸爐渣施用量對水稻植體重金屬含量之效應

Fig 3-1. Effect of the rate of silicate slag on the heavy metal contents of rice.

(七) 鈦

作物植體的鈦含量，兩試區甘藍葉球施用矽酸爐渣處理均較未施用者低，桃園試區降低約0.11~0.31mg/kg，屏東試區為0.02~0.13mg/kg。但一期水稻稻稈鈦含量；施用矽酸爐渣處理大部分均較未施用者為高，最高含量達1.21mg/kg，惟該量遠低於一般作物之毒害臨界濃度50~200mg/kg，至於穀殼之鈦含量則隨矽酸爐渣之用量呈現下降趨勢，糙米及白米檢測不出鈦含量。鈦在植體地上部的分布情形為：甘藍為外葉>葉球，水稻為稻草>穀殼，而糙米及白米則測不出鈦的含量(圖2,3)。

三 甘藍及水稻可食用部位重金屬含量與矽酸爐渣用量之關係

以甘藍葉球、水稻糙米及白米重金屬含量與矽酸爐渣用量進行相關分析，甘藍葉球、水稻糙米及白米重金屬含量為獨立變數，矽酸爐渣用量為自變數，其果如表3及4。

表3為甘藍葉球重金屬含量與矽酸爐渣用量之關係，由於試區的土類及重金屬性質不同，甘藍葉球重金屬含量與矽酸爐渣用量之相關差異頗大。甘藍葉球鐵、錳及鋅含量與矽酸爐渣用量兩試區均5%或1%顯著水準。鎳僅桃園試區達5%顯著水準($r^2=0.69$)。鎘則僅屏東試區達1%顯著水準($r^2=0.88$)。餘銅及鈦均未達顯著水準。

表4為水稻糙米及白米重金屬含量與矽酸爐渣用量之關係。糙米鐵含量兩試區均1%極顯著水準($r^2=0.89$ 及 0.93)，白米則僅屏東試區達1%極顯著水準($r^2=0.92$)。糙米鋅含量桃園試區達5%顯著水準($r^2=0.71$)，白米則兩試區均達5%顯著水準($r^2=0.80$ 及 0.72)。糙米錳含量兩試區均未達顯著水準，白米則僅桃園試區達5%顯著水準($r^2=0.68$)。糙米銅及鎳含量兩試區均未達顯著水準，白米則僅屏東試區達5%或1%顯著水準($r^2=0.72$ 及 0.87)。

表3. 甘藍植體(葉球)重金屬含量與矽酸爐渣用量之關係

Table 3. Equations describing the contents of heavy metals of the cabbage and rate of silicate slag.

Heavy metals	Taoyuan		Pintnung	
	Linear regression	r^2	Linear regression	r^2
Fe	$Y=129.05-0.794x$	0.82*	$Y=173.91-0.561x$	0.75*
Mn	$Y=113.06-1.609x$	0.74*	$Y=22.403-0.116x$	0.88**
Cu	$Y=0.881-0.002x$	0.12	$Y=1.610-0.003x$	0.06
Zn	$Y=15.693-0.188x$	0.70*	$Y=14.879-0.132x$	0.81*
Cr	$Y=0.941-0.016x$	0.69*	$Y=0.257-0.003x$	0.33
Ni	$Y=1.662-0.024x$	0.66	$Y=1.671-0.020x$	0.88**
Ti	$Y=1.293-0.008x$	0.55	$Y=1.088-0.001x$	0.01

Y Heavy metals Contents of balls.

x Rete of silicate slag.

* SignifiCant at 5% level

**SignifiCant at 1% level

表4. 水稻植體(糙米及白米)重金屬含量與矽酸爐渣用量之關係。

Table 4. Equations describing the contents of heavy metals of the rice and rate of silicate slag.

Heavy metals	Rice	Taoyuan		Pintnug	
		Linear regression	r ²	Linear regression	r ²
Fe	Unpolished rice	Y= 90.468-1.492x	0.89* [*]	Y= 79.198-0.842x	0.93**
	Polished rice	Y= 47.654-0.468x	0.62	Y= 58.385-0.485x	0.92**
Mn	Unpolished rice	Y= 36.172-0.087x	0.37	Y= 28.155-0.147x	0.45
	Polished rice	Y= 15.940-0.033x	0.68*	Y= 12.358-0.064x	0.22
Cu	Unpolished rice	Y= 2.437-0.025x	0.38	Y= 4.844-0.025x	0.66
	Polished rice	Y= 1.872-0.009x	0.50	Y= 3.940-0.023x	0.72*
Zn	Unpolished rice	Y= 28.858-0.359x	0.71*	Y= 31.635-0.122x	0.46
	Polished rice	Y= 25.118-0.083x	0.80*	Y= 25.653-0.113x	0.72*
Cr	Unpolished rice	_____		_____	
	Polished rice	_____		_____	
Ni	Unpolished rice	Y= 0.280-0.002x	0.28	Y= 1.009-0.007x	0.32
	Polished rice	Y= 0.242-0.002x	0.21	Y= 0.671-0.005x	0.87**
Ti	Unpolished rice	_____		_____	
	Polished rice	_____		_____	

Y Heavy metals Contents of unpolished rice or polished rice.

x Rate of silicate slag.

* SignifiCant at 5% level

**SignifiCant at 1%level

結 論

1. 兩試區甘藍及水稻植體可食用部位(甘藍：葉球，水稻：糙米及白米)之鐵、錳、鋅、鎳及鈦含量均因土壤pH值昇高而下降，銅及鉻部分施用矽酸爐渣之處理雖有微量提高，但其各別之最高含量仍遠低於作物植體的毒害臨界濃度。
2. 矽酸爐渣施用於強酸性及低矽農田土壤，可中和土壤酸性與提供鈣、鎂及矽等營養元素，且對作物植體的重金屬吸收量並無不良影響，因此大量施用並無安全上之顧慮。惟就經濟效益而言，其施用量仍以能改善作物生長所需之土壤pH值及足夠提供鈣鎂等含量時之用量為宜。由本試驗結果建議每公頃之適當用為3t/ha。

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前該會蘇技正楠榮、花蓮場黃場長山內、中興大學王所長銀波、莊博士作權、譚博士鎮中、農試所連主任深、本場張場長學琨、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. 王銀波 1988 台灣農土壤重金屬污染。中國農業工程學會77年度學術研討會農業環境污染與管理論文專集 p.1~8。
2. 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。
3. 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。
4. 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。
5. 羅秋雄、莊浚釗、洪阿田 1992 矽酸爐渣用量對土壤重金屬含量之效應。桃園區農業改良場研究報告11：1-20。
6. Kabata-Pendias, A., and H. Pendias. 1985. Trace element in soil and plants. CRC press. Boca Roton. Florida.
7. 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。
8. 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.
9. 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 Growth and Heavy Metal Contents of Cabbage and Rice Plant

Chiou-shiung Lo, Chun-chao Chuang and Ah-tyan Hung

Summary

The objectives of this study were to determine the effects of six application rates of silicate slag on crop yields and the content of heavy metals in the crops. Two experimental farms belonging Taoyuan Latosol and Pintnung Alluvial soil were selected. 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 top-soil before planting the first crop(cabbage)and no slag was used in the succession crop(paddy rice).

The contents of Fe, Mn, Zn, Ni and Ti in the rice and cabbage tissue tended to decrease with increasing slag application rates, with exception of Cu and Cr were slightly increased. But they did not reach the critical toxic concentration for crop production.