

# 水稻長期施用矽酸爐渣試驗與應用推廣

黃和炎 施宗禮 林滄澤<sup>1</sup>

## 摘 要

自民國 66 年第二期作水稻開始選擇雙期作水田，即嘉義縣民雄鄉及台南縣後壁鄉各設置一處矽酸爐渣連用試驗區，以觀察其對水稻之反應，爐渣用量處理分爲 0，1.5，3.0 噸/公頃，隨機區集排列 2 重複。每期作均固定在同一塊田連用，至 69 年一期共 6 期，爐渣累積用量達每公頃 9 噸（1.5 噸區）及 18 噸（3 噸區），但仍表現增產現象，即在民雄 3 噸區增產 8.6%，1.5 噸區增產 3.7%；在後壁 1.5 噸區 7.9%，而 3 噸區則增產 2.1%。對土壤有效性  $\text{SiO}_2$  含量則表示增加，尤其第 1 次施用（67-I）增加最顯著，至 69 年民雄 3 噸區達 180 ppm（處理前 11 ppm），後壁 275 ppm（處理前 25 ppm）。對土壤 pH 反應，施用爐渣區 pH 均提高，3 噸區在民雄處理前 4.2 至 69 年 1 期提高至 6.1，同處理後壁由 5.2 升至 6.4。至 69 年 1 期尚未有逆效果發生。

省產矽酸爐渣含可溶性氧化矽（ $\text{SiO}_2$ ）23 - 28%，已證實能增進水稻莖葉強硬（表皮細胞之矽質化），增加陽光利用效率且能抗倒伏與病蟲害，並使根部生長正常，提高磷肥之吸收率及緩和氮肥過多之害。

本場自 67 年起開始在轄區內靠山部份酸性土壤稻田大面積推廣使用，至 69 年度推廣面積達 1000 公頃以上。示範結果增產率平均 67 年度 11.3%，68 年度一期作 7.8%，同年二期作 6.6%，69 年度 5.6%。68、69 年之增產率略低之原因係由於該兩年之稻熱病發生程度輕微所致。三年間之示範觀摩，農民認識及反應至佳，已自 69 年起納入肥料配銷系統由農民自由申購。

## 前 言

1926 年 Sommer<sup>(2)</sup> 氏發現矽化合物有利於水稻生長，至 1950 年日本科學家證明矽酸爐渣施用於水稻可增加稻谷產量，現今已熱烈爭論並支持矽爲水稻必要元素（Okuda, Takahashi, Tanaka, Y.D. Park, Yoshida）<sup>(3) (4) (5)</sup>，目前日本年施用爐渣已達百萬噸，韓國 40 萬噸；本省較具體的研究開始於連氏<sup>(1)</sup>，並得到良好的反應，惟當時爐渣昂貴而稻米價格低廉致未廣泛應用，中國鋼鐵公司成立後，生產大量副產物——矽酸爐渣；行政院農業發展委員會，農林廳等單位策劃，於民國 68 年全省大面積推廣，主要地區爲北部紅壤及中南部靠山附近的強酸性稻田，並獲得 5 - 10% 的增產，尤其北部茶園轉作水田獲得更大幅度的增產。省產矽酸爐渣的主成分爲氧化矽（ $\text{SiO}_2$ ）23 - 28%，氧化鈣（ $\text{CaO}$ ）37 - 40%，氧化鎂（ $\text{MgO}$ ）2 - 8%。顧及爐渣尚含有各種金屬元素如鐵、銅、鋅等等，雖然含量甚微；但長期施用累積結果，或許發生某種金屬元素因濃度過高而產生中毒，爲防犯其發生並教導農民安全使用，經選在嘉義縣民雄鄉及台南縣後壁鄉設定長期爐渣連用試驗田，以觀察其對水稻之反應。

## 材 料 與 方 法

<sup>1</sup> 台南區農業改良場土壤肥料股長、技士、技佐。

### 一、長期連用試驗：

爐渣用量分為 0，1.5，3.0 噸/公頃，隨機區集排列 2 重複，小區面積 50 平方公尺。地點設置於嘉義縣民雄鄉及台南縣後壁鄉各一處，於民國 66 年第二期開始進行，至 69 年前後共 7 期作，固定在同一田區辦理。供試水稻均採用當地推廣品種。

### 二、應用推廣：

開始於 67 年在民雄鄉辦理 250 公頃，至 69 年推廣面積達 1000 公頃，分佈在嘉義縣、台南縣靠山附近之強酸性水田。其實施方法以 50 公頃編成一班，選班長一人協助工作推行，由班員之水田約以面積施用爐渣 2 噸/公頃，另 ¼ 當對照，肥料用量均依當地土壤肥力推薦。講習會於示範前召集參與之農民說明爐渣之效果及施用方法。觀摩會於水稻成熟期召集鄰近農民參觀比較，給予機會教育，加強對矽酸爐渣的認識。產量調查採用坪割方式在每一農戶施用區與對照區各取若干點以折算公頃產量。

表 1. 試驗前土壤肥力情形 ( 66 年 2 期作 )

Table 1. Soil fertility before slag treatments ( 2nd crop, 1977 ).

地 點	質 地	pH	有 機 質 O.M. (%)	磷 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (Kg/ha)	鉀 K <sub>2</sub> O (Kg/ha)	氧化矽 SiO <sub>2</sub> (ppm)
Location	Texture					
民 雄	L	4.3	2.1	20	51	11
Min-shung						
後 壁	SiL	5.2	2.4	90	124	25
Hou - pi						

## 試驗及推廣應用結果

### 一、矽酸爐渣長期連用試驗

自民國 66 年二期作至 69 年一期作，前後 3 年 6 期作在民雄及後壁連用結果顯示：

(一) 施用矽酸爐渣 1.5 噸或 3 噸均可增加稻穀產量，但 2 處理間差異不顯著，其增產率依爐渣施用量而論則因地而異，即民雄 3 噸區平均增產 9%，1.5 噸區 6%；在後壁則 3 噸區增產 4%，1.5 噸區為 5.5%；依期作別而論在後壁及民雄的結果一致，即一期作增產率高於二期作，也即民雄一期 8.7%，二期 5.4%；後壁一期 5.3%，二期 4.3%，此可能一期作稻熟病普遍發生有關。依爐渣施用累積量得知至 69 年一期已達公頃 9 噸 ( 1.5 噸區 ) 及 18 噸 ( 3 噸區 )，但仍顯示增產 3.7 - 8.6% ( 民雄 )；2.1 - 7.9% ( 後壁 )，也即表示未發生逆效果現象。詳見圖 2a 及 2b。

(二) 對土壤有效 SiO<sub>2</sub> 之反應，爐渣施用前民雄試區為 11 ppm，後壁為 25 ppm，爐渣施用第一年土壤 SiO<sub>2</sub> 顯著提高，然後緩慢上升，至 69 年 1 期作民雄 3 噸區增加至 198 ppm，後壁 3 噸區增至 275 ppm，詳見圖 3a 及 3b。

(三)對土壤 pH 反應的影響，處理前民雄 pH 為 4.3，後壁為 5.2，經爐渣施用後 pH 年年提高，至 69 年一期作民雄 1.5 噸區 pH 為 5.4，3 噸區為 6.2，後壁 1.5 噸區 pH 為 5.8，3 噸區為 6.4。詳見圖 4a 及 4b。

## 二、爐渣應用推廣

自民國 67 - 69 年 3 年間前後在大林、民雄、中埔、後壁、白河、東山等鄉鎮進行大面積矽酸爐渣示範，此等鄉鎮均屬靠山平地，土壤呈強酸性，濕度較高，每年一期作稻熟病普遍發生。中埔鄉為煙草栽培區，68 年煙草收穫後因缺水，致爐渣在二期作進行示範，其餘鄉鎮均在二期作示範。爐渣示範田與對照田管理完全一樣，所不同者僅前者公頃施用 2 噸爐渣。茲就示範結果敘述於後：

由表 2 顯示不論水稻任何品種，凡土壤有效二氧化矽含量愈低者，施用公頃 2 噸爐渣對稻谷增產率愈大，而土壤  $\text{SiO}_2$  超過 50 ppm 則增產相當有限，土壤  $\text{SiO}_2$  在 20 ppm 以下則有大幅度的增產潛力。

由圖 1 更顯示土壤有效  $\text{SiO}_2$  含量與增產率呈極顯著負相關 ( $r = -0.702$ )，由回歸標線指出土壤  $\text{SiO}_2$  含量在 30 ppm 以下甚有施用爐渣之價值。

## 討論與結論

### 一、矽酸爐渣長期連用試驗

(一)爐渣連用，每年每期作均比對照區增產，顯示缺矽土壤每年均有施用爐渣必要，更由 69 年二期作在民雄測定得知爐渣施用累積量達 9 噸/公頃 (1.5 噸區) 及 18 噸 (3 噸區) 經停止施用則仍發生減產現象，即 1.5 噸區減產 4.5%，3 噸區減產 5.4%，原因何在尚待進一步探討。

(二)二期作水田，經長期水稻之吸收，某種元素之不足可能存在，在 68 年二期作在嘉義縣中埔鄉發現公頃施用 2 噸爐渣對缺鋅症相當程度的減輕，因爐渣除含有  $\text{SiO}_2$  21.6% 外，還有  $\text{CaO}$  23.9%， $\text{MgO}$  4.9%， $\text{FeO}$  0.31%， $\text{MnO}$  0.28%， $\text{Al}_2\text{O}_3$  9.7%， $\text{TiO}_2$  0.15%， $\text{K}_2\text{O}$  0.48%， $\text{Zn}$  0.0002% 等成份<sup>(5)</sup>。可見爐渣之效果不僅補充矽之不足，尚有其他元素供水稻利用。

### 二、矽酸爐渣應用推廣

(一)爐渣施用方法，由於爐渣含有多量  $\text{CaO}$  (37 - 40%)，呈強鹼性反應，若與硫酸等酸性肥料混合施用，難免發生氮之揮散作用 (Volatilization) 的影響，氮素受到損失。所以應與基肥分開施用，就本區耕種方式言，在第二期作水稻收穫後，稻草整理完畢即應全面均勻撒施，然後進行第一次整地。同時因爐渣係灰色粉末狀，施用時容易飛揚，須事先加少量水調製微濕，以便施用。

(二)施用量問題，由長期試驗資料得知，公頃施用 3 噸與 1.5 噸比較，3 噸區雖略有增產，但在後壁也有減產的記錄，因此考慮到全面推廣應用問題，公頃施用 2 噸係在適量範圍。

(三)由多次召集農民在示範區田間觀摩會的反應顯示，農民對爐渣的效果甚具信心，且自 69 年起納入肥料配銷系統，由農民自由申購，並定價格 (包括運費) 每噸 1,500 元。

四)本區缺矽地區為靠山附近之平地強酸性土壤，此地區施用爐渣效果顯著，尤其第一期水稻更有良好的增產效率，田間明顯可見者為稻熟病減輕，倒伏程度減輕，觸之有堅硬感。本區縱貫鐵路以西，土壤多屬微酸性至中性，土壤有效  $\text{SiO}_2$  含量在 50 ppm 以上，顯示施用爐渣較難發揮直接效果，但當土壤改良劑施用，則可補充  $\text{Mg}$ 、 $\text{Fe}$ 、 $\text{Mn}$ 、 $\text{Al}$ 、 $\text{Zn}$  等元素，對地力的維持則甚有價值。

表 2：67 年在民雄示範區谷產量與土壤 SiO<sub>2</sub> 含量關係Table 2 . Relationship between yield of demonstration field and SiO<sub>2</sub> content in soil at Min-shung, 1st crop , 1978.

農戶數 No. of Farmers	品 種 Varieties	株高 ( cm ) Plant height(cm)		穗數 No. of Panicles/plant		產量 Yielding ( Kg/ ha )		增產率 % Yield increase	Soil (ppm) 土壤有效 SiO <sub>2</sub> 含量 ( ppm ) Available SiO <sub>2</sub> in Soil
		對 照 CK	示範區 Demon. field	對照區 CK	示範區 Demon. field	對照區 CK	示範區 Demon. field		
1	台南 5 號 Tainan 5	91	90	20.9	21.7	5,800	6,000	3.4	25
2	台農育 A6 號 Tainun Yu A6	83	104	20.4	19.6	6,200	7,240	16.8	7.5
3	台農育 A6 號 Tainun Yu A6	88	96	18.2	19.4	6,120	6,240	1.9	52
4	台農育 A6 號 Tainun Yu A6	97	101	19.4	20.3	6,000	6,480	8.0	20
5	台農育 A6 號 Tainun Yu A6	85	87	17.8	19.1	5,600	5,960	6.4	17.5
6	台農育 A6 號 Tainun Yu A6	83	88	18.6	18.7	4,120	5,400	31	8.0
7	台農育 A6 號 Tainun Yu A6	94	93	22.4	21.0	4,920	5,320	8.1	16.5
8	台農育 A6 號 Tainun Yu A6	96	99	19.9	22.8	5,500	6,800	23.6	6.5
9	台農育 A6 號 Tainun Yu A6	91	91	19.4	21.9	4,360	5,360	22.9	13.0
10	台南 5 號 Tainan 5	92	99	18.6	20.5	5,000	5,400	8.0	15.0
11	台農育 A6 號 Tainun Yu A6	103	94	21.7	20.0	5,200	5,560	6.9	19.0
12	台南 5 號 Tainan 5	95	89	22.8	16.2	5,760	6,400	11.1	15.5
13	台南 5 號 Tainan 5	95	93	19.4	25.4	5,400	6,400	18.5	9.5
14	台農育 A6 號 Tainun Yu A6	88	85	16.4	19.6	5,460	6,800	24.5	11.0
15	台農育 A6 號 Tainun Yu A6	93	91	23.1	18.1	4,960	5,480	10.5	14.0
16	台農育 A6 號 Tainun Yu A6	84	90	22.8	21.9	5,700	5,960	4.6	25.0
17	台農育 A6 號 Tainun Yu A6	94	102	17.0	20.1	5,960	6,200	4.0	22.0
18	台南 5 號 Tainan 5	100	92	18.5	18.6	5,800	6,800	17.2	11.0
19	台農育 A6 號 Tainun Yu A6	81	82	15.0	22.5	4,600	5,480	17.1	15.0
20	台農育 A6 號 Tainun Yu A6	81	86	15.0	20.6	4,600	5,800	26.1	11.0
平 均 Average		90.7	92.6	19.3	20.4	5,353	6,054	11.3	16.7

表 3 . 68 年示範成果  
Table 3 : Results of demonstration in 1979.

鄉 鎮 別 Counties	期 作 別 Crops	農 戶 數 No. of Farmers	土壤速測值 Value of Soil tested						稻谷產量(Grain yield)(Kg/ha)		增 產 率 Yield increase (%)
			質 地 Texture	pH	O.M. (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (Kg/ha)	K <sub>2</sub> O (Kg/ha)	SiO <sub>2</sub> (ppm)	示 範 區 Demon.	對 照 區 CK	
大 林 鎮 Ta - Lin	68 年一期 作	1	VFSL	5.1	2.4	80	104	18	5720	5300	7.9
		2	VFSL	5.1	2.2	106	113	13	6280	5840	7.5
		3	SIL	5.5	2.5	40	169	32	7340	6760	8.5
	1st Crop	4	SIL	6.5	2.9	43	101	61	7920	7280	8.7
		5	SIL	6.5	2.5	74	193	37	5760	5600	2.8
		6	L	5.4	3.1	74	116	19	4720	4240	11.3
	1979	7	SIL	5.9	2.3	34	123	30	5200	4520	15.0
		8	SiCL	6.0	2.3	43	101	31	7000	6940	0.8
		9	FSL	6.7	2.0	215	116	32	6280	5680	10.5
平 均			Average						6247	5796	7.8
中 埔 鄉	68 年二期作 2nd crop	1	FSL	4.6	3.4	86	101	41	5628	5530	1.8
		2	FSL	5.1	2.5	281	183	30	5488	4928	11.4
		3	FSL	6.3	3.7	166	183	38	5950	5712	4.2
Chung-Po	1979	4	VFSL	4.8	1.5	326	111	15	5390	4872	10.6
		5	VFSL	5.8	2.7	315	195	70	5222	4928	5.9
平 均			Average						5536	5194	6.6

臺灣農學院農藝系土壤肥料研究所



表 4b . 69 年爐渣施用示範成果

Table 4b . Results of slag application in 1st crop, 1980.

鄉 鎮 Counties	稻 谷 產 量 Grain yield (Kg/ha)		增 產 率 Yield increase (%)
	對 照 區 CK	示 範 區 Demon.	
民 雄 Min-shung	7,029	7,436	5.8
中 埔 Chung-Po	7,016	7,488	6.7
後 壁 Hou-Pi	6,884	7,348	6.7
白 河 Pai-Ho	7,184	7,448	3.7
東 山 Tong-San	6,480	6,808	5.1
平 均 Average	6,918	7,305	5.6

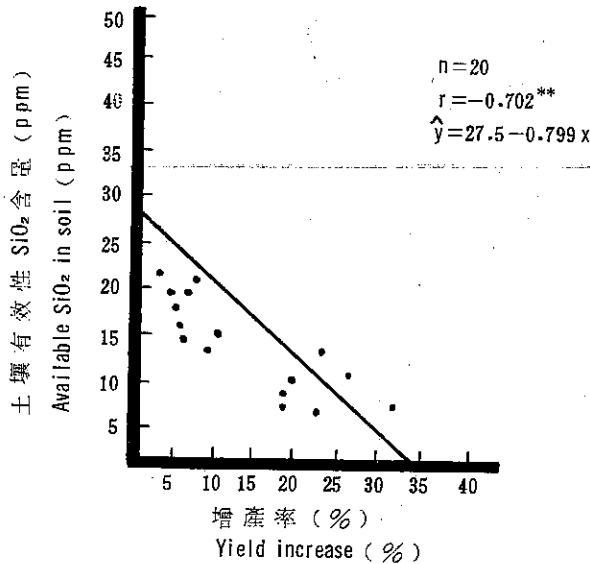


圖 1 . 施用爐渣之增產率與土壤有效 SiO<sub>2</sub> 之相關

Fig 1. Relationship between slag application in grain yield increase and available SiO<sub>2</sub> content in soil at Min-Shung trial field, 1st crop, 1978.

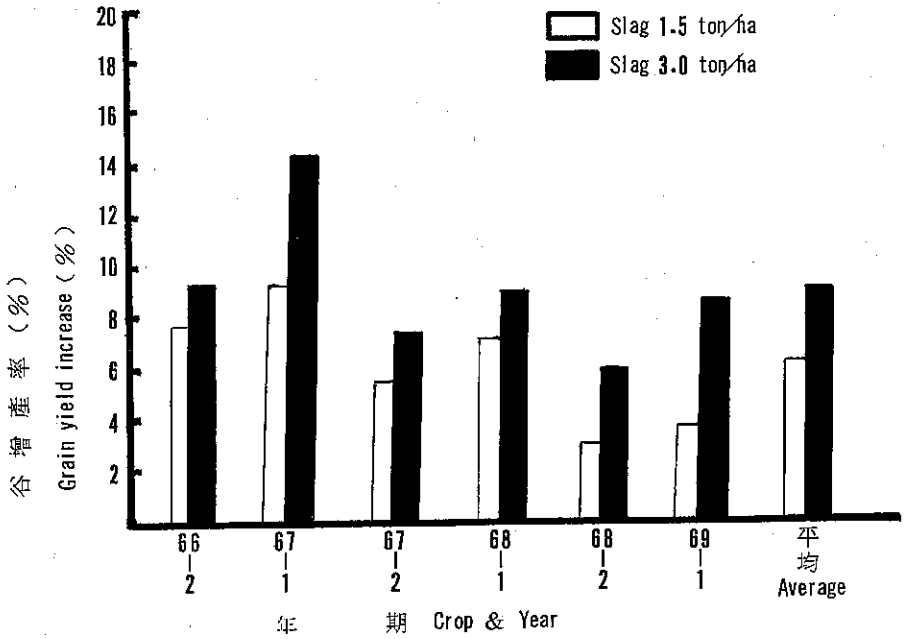


圖 2a. 民雄試區爐渣連用對稻谷增產效應

Fig 2a. Effect of long-term slag application on rice yielding at Min-Shung field trial.

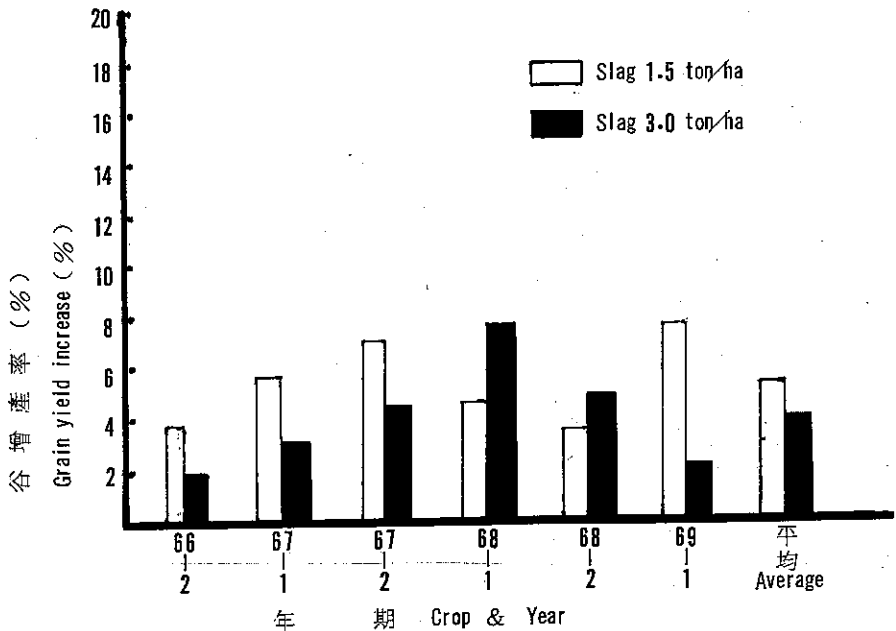


圖 2b. 後壁試區爐渣連用對稻谷增產效應

Fig 2b. Effect of long-term slag application on rice yielding at Hou-pi field trial.



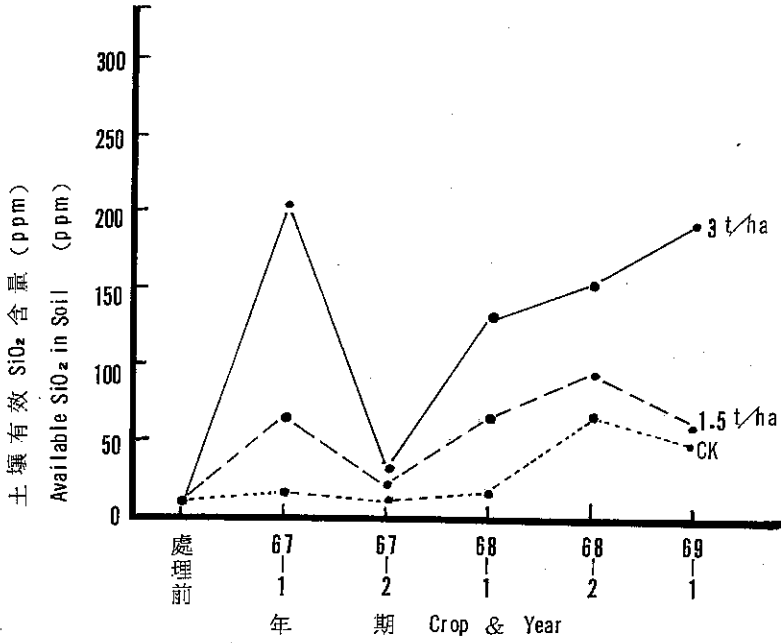


圖 3a. 民雄試區爐渣連用對土壤有效 SiO<sub>2</sub> 含量關係

Fig 3a. Relationship between available SiO<sub>2</sub> in Soil and after slag continuing application in each crop at Min-Shung field trial.

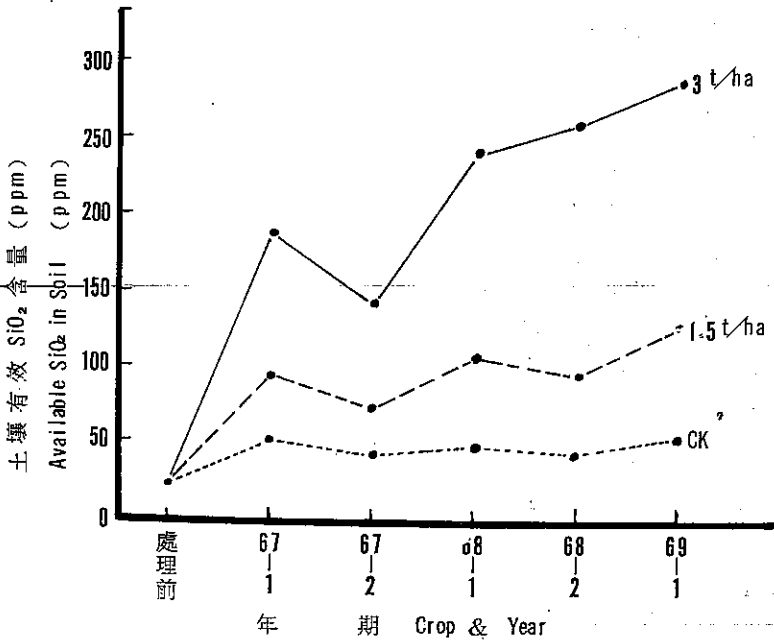


圖 3b. 後壁試區爐渣連用對土壤有效 SiO<sub>2</sub> 含量關係

Fig 3b. Relationship between available SiO<sub>2</sub> in Soil and after slag continuing application in each crop at Hou-Pi field trial.

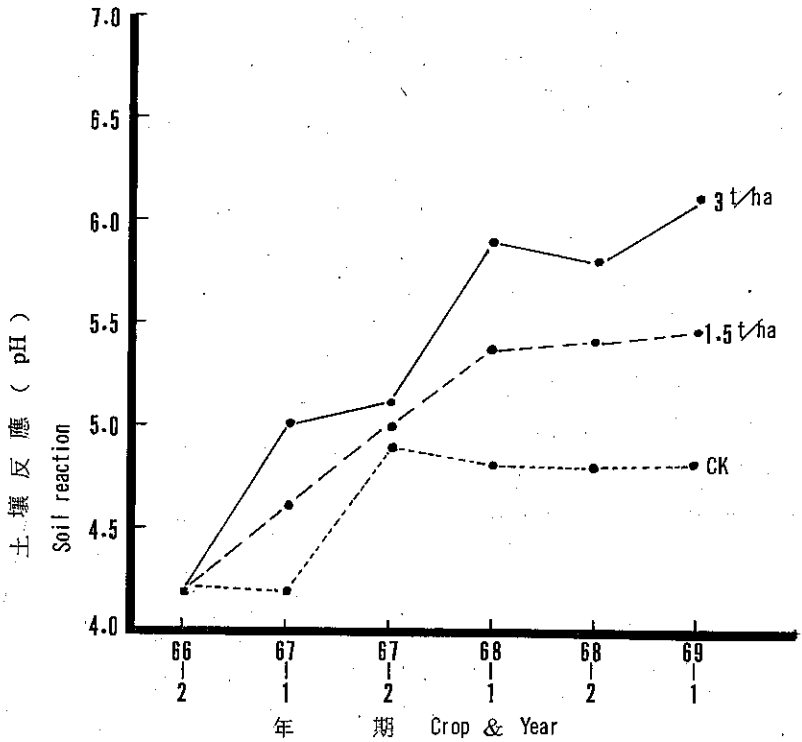


圖 4a. 民雄試區爐渣連用對土壤反應之變化

Fig.4a. Evolution of Soil reaction (pH) in each crop of Min-Shung field trial.

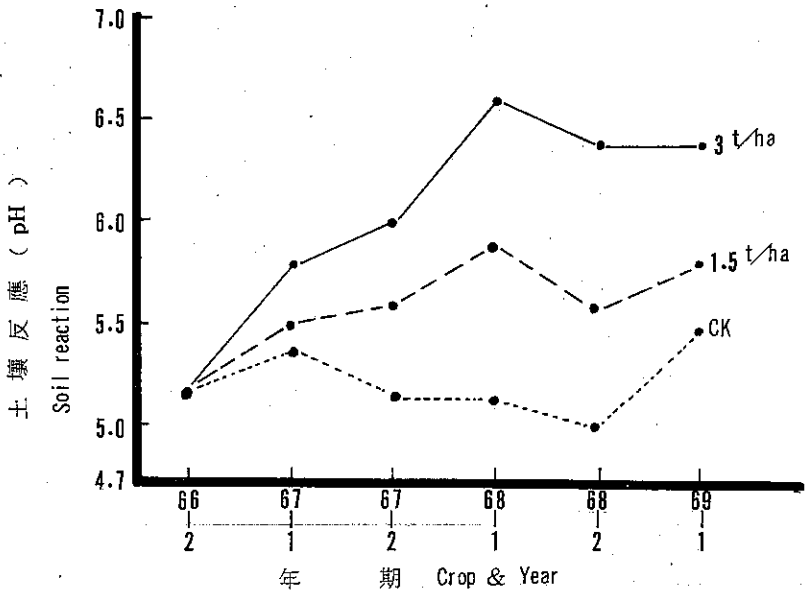


圖 4b. 後壁試區爐渣連用對土壤 pH 之變化

Fig.4b. Evolution of Soil reaction (pH) in each crop at Hou-Pi field trial.

## 參 考 文 獻

- 1 連深 1963 矽對水稻之效應，省農試所農業研究 12 卷 3 期，P16 - 27。
- 2 Okuda, A. and E. Takahashi 1965. In the mineral nutrition of the rice plant, Johns Hopkins Press, Maryland, U.S.A.
- 3 Sommer, A.L. 1926, Studies concerning the essential nature of aluminum and silicon for plant growth. University of California, Agriculture science.  
5 : 57 ( cited by yoshida, S. 1975 in Tech. Bull. no. 25, FFTC, Taipei, Taiwan )
- 4 Tanaka, A. and Y.D.Park. 1966, Significance of the absorption and distribution of silicon in the growth of the rice plant, Soil science and plant nutrition. Japan 12 : 5 : 191 - 195.
- 5 Yoshida 1975. The physiology of silicon in rice, Technical Bulletin No. 25 FFTC, Taipei, Taiwan.

# Long-Term Silicate Slag Application and its Extension Practice on Rice

H. Y. Huang, T. L. Shih, T. T. Lin<sup>1</sup>

## 1. Long-term silicate slag application

This experiment has been carried out at Min-Hsung ( Chia-I Hsin ) and Hou-Pi ( Tainan Hsin ) since 2nd crop 1977 to 1st crop 1980 of 6 rice crops. The slag treatments were divided into 0, 1.5 and 3.0 tons per-hectare by randomized block design with 2 replications, and the slag application was fixed in the same plot. The results are shown as follows; (1) The grain yield was more increased at the treatment with 3.0 ton/ha slag than with 1.5 ton/ha slag in each rice crop at Min-Hsung site, but on the contrary, the treatment of 1.5 ton/ha slag was better than the treatment of 3.0 ton/ha at Hou-Pi trial. The total silicate slag applied until 1st crop 1980 was accumulated to 9 and 18 ton/ha at the 1.5 and 3.0 ton/ha plot, respectively. However, the grain yield still had an 8.6 % and 3.7 % increase at the 3.0 and 1.5 ton/ha plot at Min-Hsung site, respectively, but 2.1 % and 7.9 % at Hou-Pi site. (2) The soil reaction was affected by slag application. The pH value was increased from 4.2 ( at initial 3 ton/ha slag application ) to 6.1 ( 18 ton/ha accumulation of 6 times application ) at Min-Hsung field trial, and an increase from pH 5.2 to 6.4 at Hou-Pi field trial. (3) The available SiO<sub>2</sub> content in soil was 11 ppm at initial ( before application ) and increased to 185 ppm and 98 ppm ( after 6 times application ) at 3.0 and 1.5 ton/ha plot, respectively at Min-Hsung field trials, but an increase from 25 ppm to 288 ppm and 132 ppm for 3.0 ton/ha plot and 1.5 ton/ha plot at Hou-Pi field trial, respectively.

## 2. Silicate slag extension practice

The slag extension practice work was beginning at Min-Hsung county in 1st crop 1978. The total acreage 250 hectare including 1/4 of acreage applied slag and 3/4 as check was carried out at each farmer's farm. The results revealed that there was an 11.3 % yield increase of average. The extension acreage was increased more than 1,000 hectares until 1st crop in 1980 at hill side paddies, that got a 5.6 % increase of average grain yield.

The application of slag by using a deep dressing was better than surface dressing. The optimum rate of silicate slag used was at 2 ton/ha at paddies in Chia-Nan area.

1 Specialist and Head of Soil and Fertilizer section, Specialist and Assistant Specialist of Tainan DAIS, respectively.