中華農業研究（Jour. agric. Res. China）32(2)：185～199(1983)

長期連用矽酸爐渣對水稻收量和土壤化學性質之影響[1]

連　深　王鐘和[2]

摘要：本研究綜合檢討9處矽酸爐渣連用試驗經歷5年（10作）及1處矽酸爐渣、稻藁連用試驗歷經6½年（13作水稻）之收量結果，並分析矽酸爐渣之連用對土壤化學性質之影響。

試驗地點分佈西部各縣、土壤均屬酸性。9處矽酸爐渣連用試驗之處理爲（1）對照區；不施矽酸爐渣，（2）矽酸爐渣每期作每公頃1.5公噸，（3）矽酸爐渣每期作每公頃3公噸，但自第7作（69年第二期作）起將（2）及（3）處理各分爲二半，一半繼續施用矽酸爐渣（照原量），另一半則停施以觀矽酸爐渣之殘效及續施效果。另一處矽酸爐渣，稻藁連用試驗則以稻藁之掩埋與否（即稻藁每期作每公頃0及5公噸）爲主處理，矽酸爐渣之施用與否（即爐渣每期作每公頃0及2公噸）爲副處理，亦自第7作起以試驗田之一半停施矽酸爐渣以觀殘效。以上試驗各處理區，均依標準施肥法施用足量之三要素肥料。結果如下：

1.矽酸爐渣之肥效除了其施用初期略低外，其餘歷作平均增收率爐渣1.5及3噸區各爲5～15及8～20%，此種矽酸爐渣肥效之不同年度變異主要係與對照區之收量有關（成負相關），而與爐渣連用年數之累加無關。即爐渣之連用雖達9～12作，尚看不出爐渣之肥效有任何隨著連用年數之增加而增加或降低之顯著趨勢。

2.連用矽酸爐渣之稻田對其次作水稻常有顯著的殘效，但隨著停施時間之經過殘效却有顯著降低趨勢；爐渣連6作用後其在土壤中之累積用量已甚可觀，但在第7作其停施之效果即甚顯然，亦即在第7作所表現之殘效已顯著低於續施之效果。矽酸爐渣連用10作期間，其1.5公噸區和3公噸區之增產效果亦始終維持一定差距，即無論連用年數之增加始終以3公噸區之效果較大。

3.矽酸爐渣每公頃每作連用1.5及3公噸，於第7作後表土 pH 值平均各約提高0.4及0.8單位，有效矽含量平均各約提高 130及 300 ppm。繼續施用爐渣並無繼續顯著提高土壤 pH 值及有效矽含量趨勢，惟其停施後之降低却甚明顯；矽酸爐渣連用6作後其土壤中之矽酸累積用量已甚可觀，但爐渣在第7作時停施却使土壤中之有效矽酸含量顯著降低，土壤中之可還元性錳含量亦有同樣跡象。以上結果在稻體中亦有同樣反映。

由土壤中有效矽之投入量，水稻之吸收量及土壤中殘留之有效矽量等收支估計可以推測所施有效矽量之約60%，已在土壤中被固定或吸着，變爲不易被 pH 4.0 的規定1 N溶液萃取的形態。

由以上結果可見矽酸爐渣之增產效果非常顯著。迄第10～13作爲止矽酸爐渣之連用雖沒有繼續增高其增產效果趨勢，惟一旦停止施用其增產效果却會顯著減低，故爲維持較高之土壤肥力水準，矽酸爐渣之繼續施用可謂必要，並以每次施用量較少但繼續施用者較一次施用多量，但停施甚久者有效。實用上，缺矽的稻田，如能於每年第一期作繼續施用，每公頃約 1.5～2公噸矽酸爐渣將甚適當。

1.臺灣省農業試驗所　研究報告第1095號。本研究承70農建5.1產24號（Ⅲ）及71 MCAC 產03號（丙）計畫補助，謹誌謝忱。又本研究中各田間試驗區的設置係農業發展委員會蘇技正楠榮博士所策劃，並承高雄、臺南、臺中、桃園區農業改良場副研究員鄭榮賢、黃和炎、黃山內、曾潤錦、呂文通，助理研究員陳富英、施宗禮、黃祥慶、彭達民、蘇春濤、莊能雄，諸位先生提供各試驗區收量資料，本所李主任蘭帝指導X光螢光分光分析，一併誌謝。

2.本所農化系研究員及助理。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。

由過去的許多試驗研究已知本省稻田土壤普遍缺乏植物可利用的有效態矽酸，而矽酸爐渣在低矽土壤之肥效非常顯著[1]。矽酸爐渣在低矽土壤之肥效甚至於超過磷肥或鉀肥之肥效；據民國 67～69 年第一期作全省共計一萬三千公頃低矽稻田的矽酸爐渣示範（每公頃施用 2 公噸）結果，爐渣施用區較對照區每公頃平均增產稻谷 608 公斤，增產率達12%，其中桃園紅壤稻田的增產率顯然較高，平均在 15～18%。[2,3,4] 矽酸爐渣肥效之主要原因在其矽酸之供給，蓋矽酸爐渣之肥效與被施土壤之有效矽含量有顯著的負相關；施用相當於爐渣中鈣含量的碳酸鈣肥效並不顯著[5,6]；土壤中直接施用矽膠之肥效甚至於超過矽酸爐渣的肥效。又據分析全省 120 處代表性稻田的水稻收量與各種土壤性質和水稻營養性狀的相關亦示收量與土壤中之有效矽含量和水稻植物體之矽含有率關係最爲密切[7]。水稻胡麻葉枯病頻發土壤的肥力因子研究亦證明缺矽爲其主要而普遍的低產及導病因子，並確認矽酸爐渣的顯著肥效[8]。另據全省5730個代表性土壤樣本的有效態 SiO_2 含量測定結果，有70%樣本的含量在 90 ppm 以下，45% 在 40 ppm 以下[9]。按依據本省過去的試驗結果，土壤中的有效態 SiO_2 含量在 40 ppm 以下者屬嚴重缺矽，40～90 ppm 者亦屬低矽的土壤[10]。可見臺灣土壤的缺矽情形相當普遍，稻田生產力與土壤有效態矽酸供應能力之密切關連及矽酸施肥之重要性。

又隨著本省工業之起飛，中鋼公司將有更大量之矽酸爐渣供應；其年產量俟本年度其二號高爐開始運轉已將高達 104 萬公噸。此等爐渣除一部分可以處理後供水泥及玻璃業使用外，餘均將廢棄，預料此種物料在稻田之施用將會更加普及，在同一稻田連續施用之機會亦會增多。

惟矽酸爐渣之化學成分除了矽酸鈣爲主外，尚含多量鋁及少量鈦、鉻、錳、硒等元素。因其施用量大，連年施用後在土壤中是否會有相當的累積而影響作物收量及品質？又即使矽酸爐渣對稻田收量之增產效果顯著，有否屢次施用必要？換言之，其停施後之殘效如何？又稻田中之矽酸爐渣之連用對其冬季裡（旱）作或稻田轉作旱作物時之影響如何？等問題乃吾人所關心者。

有關矽酸爐渣連用之問題，由於日本稻田施用爐渣之歷史較久，其試驗結果應可借鏡。惟日本水稻年僅一作，稻田之冬季裏（旱）作較少，有關試驗資料亦尚不多見。太田氏曾以電氣銑鐵爐渣和製燐爐渣舉辦連用試驗一處，以每公頃每作 1.1 公噸比率施用於夏作（水稻）和冬作（大麥），惟歷 5 年（共 10 作）後因田間試驗不能繼續，改爲盆栽試驗。據其結果迄第 15 作爲止爐渣區之收量指數爲 147～163，但第17作以後其收量指數急激減爲 74～76[11]。可見爐渣連用多年後亦可能轉爲負效果，惜此項結果因泰半係盆栽試驗，未必能眞正反應田間實際情況。另據報告[12]日本九州農試場之直播水稻矽酸與微量元素試驗連用矽酸爐渣 4 年，原土 pH 5.7 因施用爐渣後已提高至 7.0 左右，且有效性矽酸含量亦不低，續施爐渣却仍有效果。又據報告[13]施過爐渣的土壤其有效態矽酸含量之測定方法與未施過爐渣的土壤的測定方法不同。凡此均示爐渣之繼續施用有效，但確切情形尚待究明。

爲探討以上諸問題，第一步乃綜合考察兩項矽酸爐渣長期連用試驗計10處試驗地歷經10～13作之水稻收量成績，並分析土壤化學性質之變化情形。

材 料 及 方 法

1. 試驗地點及其表土之化學性質如表1.

2. 試驗設計

試驗一：

在莊圍、樹林、中壢、龍潭、后里、埔里、民雄、後壁、高樹及屏東市共十處進行。龍潭一處因缺水自民國69年 2 期以後停辦，故所有期作之資料均不加入收量平均之考察。又後壁一處民國69年 2 期亦因缺水未插秧，資料從缺。試驗設計如下：

自66年 2 期至69年 1 期：3 處理 2 重覆，隨機區集排列，小區面積 100 平方公尺（若干試地爲50平方公尺）。處理㈠、不施矽酸爐渣，處理㈡、施矽酸爐渣1.5公噸／公頃，處理㈢、施矽酸爐渣3.0公噸／公頃。

表1. 各試驗地點土壤的一般理化性及肥力情況

Table 1. General properties and fertility status of the soils on each experimental locations.

Locations	Parent material	Texture	pH	OM%	CEC (me/100g)	Exch. (me/100g)			Easily Reducible Mn (ppm)	Available SiO_2 (ppm)
						Ca	Mg	K		
宜蘭 壯圍	粘板岩	SiL	5.1	2.5	5.2	2.8	0.8	0.08	21	39
臺北 樹林	砂頁岩 粘板岩	SiL	4.9	2.3	6.5	3.4	1.1	0.06	5	34
桃園 中壢（月眉）	紅 壤	SiL	5.3	3.2	7.6	2.2	0.8	0.13	8	72
桃園 中壢（大崙）	紅 壤	SiL	5.5	2.9	9.3	3.3	0.8	0.13	15	75
臺中 后里	粘板岩 紅 壤	L	5.4	2.5	6.0	3.5	0.9	0.05	4	36
南投 埔里	砂頁岩 粘板岩	SiL	4.8	4.2	6.9	1.5	0.3	0.04	2	21
嘉義 民雄	砂頁岩	SiL	4.8	1.4	3.8	1.9	0.2	0.07	5	10
臺南 後壁	砂頁岩	CL	6.0	2.0	11.8	6.9	2.4	0.18	172	108
屏東 鼓樹	粘板岩	SiL	4.9	3.9	5.8	4.2	0.9	0.11	2	68
屏 東 市	粘板岩	SiL	5.8	2.6	9.9	8.4	1.2	0.08	16	69

自69年2期以後：將矽酸爐渣1.5公噸與3公噸區各劃分爲二半，一半繼續施用矽酸爐渣（照原來用量），另一半不施，以觀續施之效果及停施後之殘效。

試驗二：

在中壢（月眉里）進行。試驗設計爲裂區；以稻藁之掩埋與否（即稻藁每期作5及0公噸／公頃）爲主區，設二重覆。各主區內設矽酸爐渣之施用與否（即爐渣每期作2及0公噸／公頃）之副區（並聯）各三重覆，副區（即小區）面積爲10平方公尺。試驗自民國65年第1期作開始。自第7作（即民國68年第1期作）起亦以試驗田之一半（即兩個主區重覆之一）停施矽酸爐渣以觀殘效。

3.栽培品種：

各試驗地各使用開始試驗時之當地推廣品種，故包括臺農67號、臺南5號、高雄139號等，但以臺農67號爲主。

4.栽培管理方法：

各區均依標準施肥方法施用同量而且適量之三要素肥料。

5.調查研究項目：

（1）矽酸爐渣化學成分分析：

定性分析：在定量分析之前，先以爐渣樣本與纖維粉混合，以高壓壓成餅後，經X光螢光分光儀定性測定所存在之各種元素。

各種元素之全含量測定：爐渣樣本經過 Ball mill 磨細後依照 Jackson[14] 氏方法經氟酸和過氯酸處理製成溶液後測定鉀、鈣、鎂、鐵、錳、鈦、鋅、銅、鉻、鎳等元素含量。另經加碳酸鈉熔煽製成溶液後測定矽酸含量。

又另秤爐渣樣本 2 克，經王水（$HNO_3 \cdot HCl$）溶解，分離矽酸後以原子吸光儀測定硒含量。

0.5 N 鹽酸可溶性含量之測定：以原廠樣本（即不再磨細），依照日本公定法[15]測定爐渣之可溶性矽酸含量，亦以所抽出之溶液測定其他各種要素含量。

（2）各試區稻谷收量。

（3）土壤分析：

於69年 2 期～70年 2 期各期水稻收穫後自各試區採取表（0～15 cm），底（15～30 cm）土分析一般理化性質，包括 pH、有機質、有效態磷、鉀及矽，陽離子交換能量及交換性鈣、鎂、鉀以及游離鐵和易還元性錳等含量。有效態矽之測定法根據 Imaizumi and Yoshida[16] 係以 pH 4.0 1 N 醋酸鈉萃取，其他項目之測定則均依照 Black 氏所編土壤分析法[17]。

另以69年 2 期水稻收穫後自埔里對照區和爐渣 3 t/ha/crop 連用區所採土壤測定置換酸度[18]。另以各區土壤 450 公克，經 0.01 N HCl 淋洗至洗液之 pH 降至 2 為止，再經純水淋洗至洗液無 Cl^- 反應。測定總洗液之鈣、矽及鋁含量，及殘餘土壤之置換性鋁含量[17]。

（4）植物分析：於水稻生育期間及收穫期採取部份試地之水稻樣本測定各種要素含量。

結果及討論

1. 爐渣之化學成分：

本試驗所施用之若干矽酸爐渣經分析全化學成分及 0.5 N 鹽酸可溶性成分，結果如表2.

表 2. 施用矽酸爐渣之化學成分（民國69—70年，爐渣來源：中鋼公司）

Table 2. Chemical composition of the slag applied in the experiment.

Total (%)

SiO_2	CaO	MgO	FeO	MnO	Al_2O_3	TiO_2	K_2O	P_2O_5	Ni	Cr	Zn	Cu	Se
34.6	39.2	7.3	0.45	0.33	17.1	0.53	0.66	Nil	0.008	0.007	0.008	0.007	0.016
±1.2	±2.3	±0.4	±0.19	±0.02	±1.7	±0.03	± 0.07		±0.003	±0.004			

N/2 HCl soluble (%)

SiO_2	CaO	MgO	FeO	MnO	Al_2O_3	TiO_2	K_2O	Zn
21.6	23.9	4.9	0.31	0.28	9.7	0.15	0.48	0.0002
±2.2	±3.0	±0.8	±0.09	±0.02	±1.4	±0.01	>0.02	

Mean with standard error. Number of samples analyzed for N/2 HCl soluble SiO_2 were 10, while those analyzed for the other items were 4.

本試驗所施用爐渣66年第 2 期作係臺灣煉鐵公司所產，但自67年起均用中鋼公司所產者。

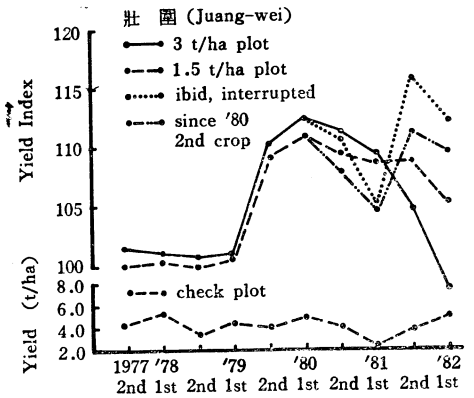
由表 2 可見矽酸爐渣之化學成分以矽酸鈣及鋁為主，尚含少量鐵、錳、鈦及微量、鉻、鎳、硒、鉬等元素。日本公定矽酸質肥料規格[19]規定其機械組成需全部通過 10 mesh (2 mm) 篩，60%以上通過 30 mesh (0.59 mm) 篩。其 0.5 N 鹽酸可溶性 SiO_2 含量須大於 20%，而其鈣及鎂含量以CaO 表示須大於 35%。其鎳、鉻、鈦等元素含量則應各小於0.60，6.0及3.0%。由表 1 所示成分看來所施用之爐渣都能符合上述規格。其機械組成測定結果粒徑分佈為 <50 mesh (0.25 mm) 者，50～20 mesh (0.25～0.50 mm) 者，20～10 mesh (0.50～2 mm) 者各佔全部之66，26及 8 %

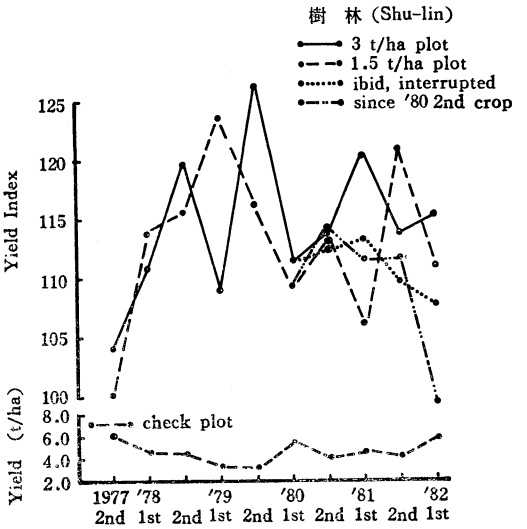
，即可全部通過 10 mesh 篩，符合上述規格。

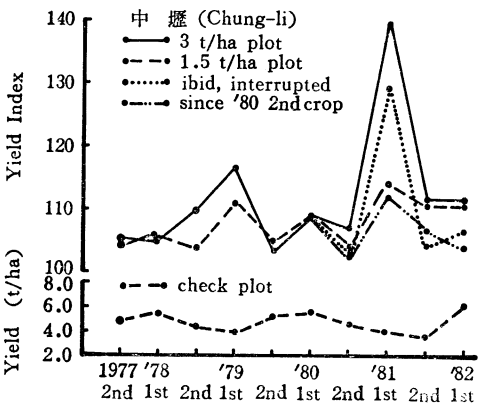
本試驗另經X光螢光分光儀測得爐渣中含有微量硒元素，乃經原子吸光儀測得其含量約爲 160 ppm，其對作物之影響尚待進一步研究。

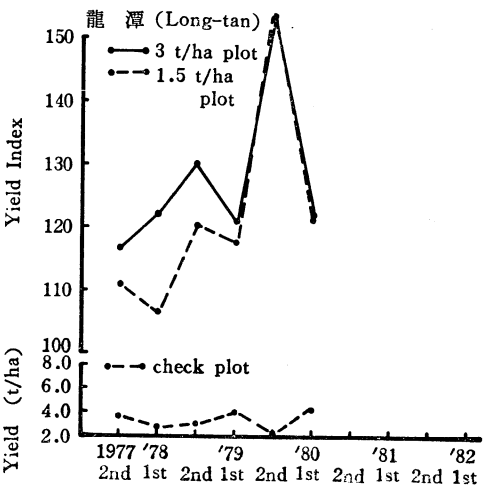
2.矽酸爐渣長期連用對水稻收量之效果：

試驗一，十處試驗地（壯圍、樹林、中壢、龍潭、后里、埔里、民雄、後壁、高樹及屏東）歷作對照區之稻谷收量及矽酸爐渣 1.5 及 3 公噸各連用區較對照區之增產百分率（收量指數）如圖 1，實驗部份所示。









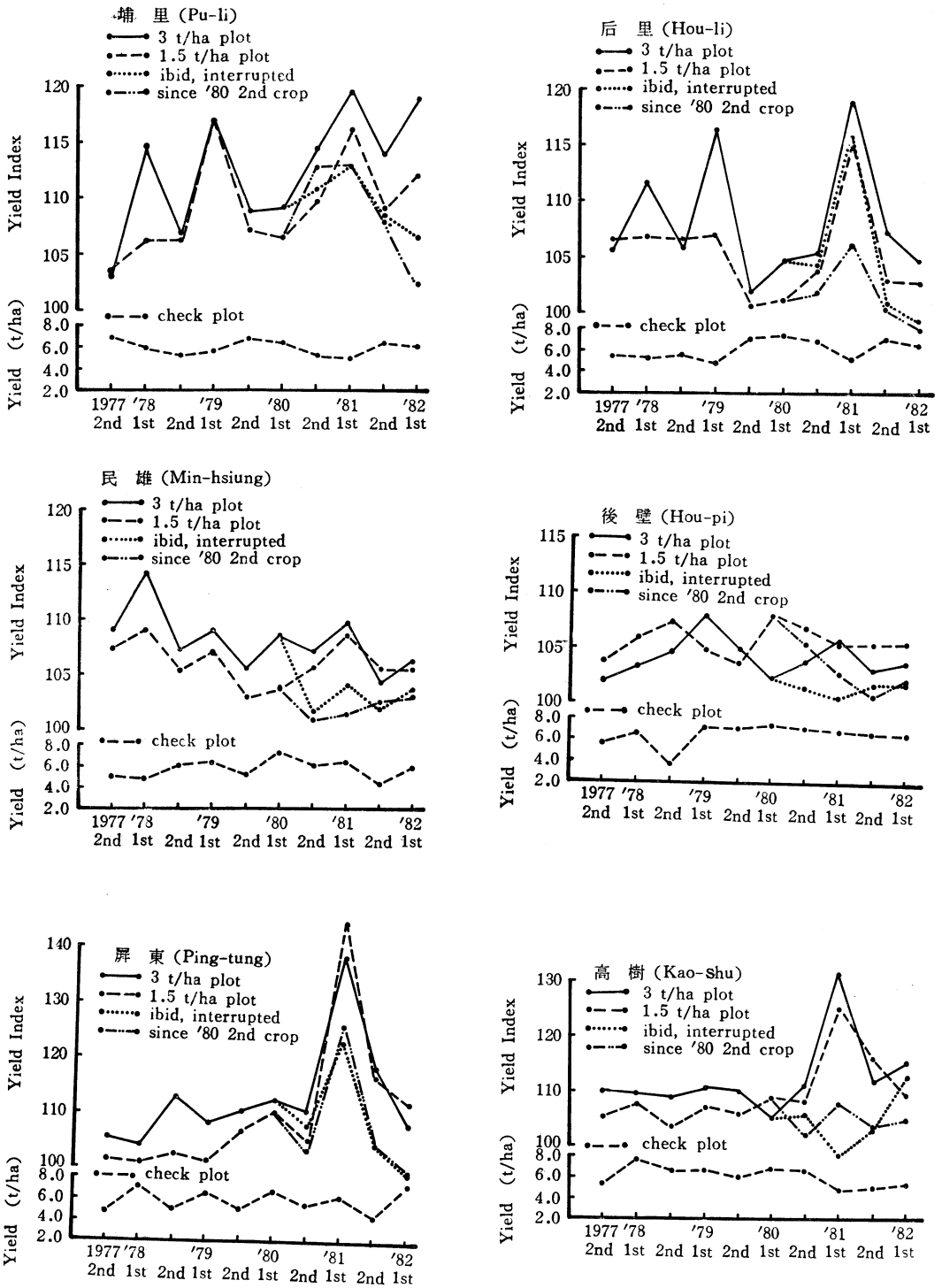


圖1. 歷作對照區之稻谷收量及矽酸爐渣連用區較對照區之收量指數（試驗一，各處試驗地）

Fig. 1. Check plot yields and yield indices of plots with continuous slag applications from 1977—1981. Yield index=(yield of plot with slag application/check plot yield)×100 (Experiment 1, individual location).

由圖1可見各處試驗地及不同的年度均示矽酸爐渣之增產效果，惟效果之變異幅度很大。乍看，這種變異並無規則，惟仔細觀察則可見無論是同一年度、期作之不同地點矽酸爐渣效應之變懷或各別地點之不同年度矽酸爐渣效應之變異均各與其對照區收量成負相關（表3及4）。可見決定爐渣效應之因素主要爲地點和年度；前者與土壤的肥力有關，後者則可能與氣象、病蟲害之發生等因素有關。尚難看出矽酸爐渣之肥效有任何隨著其連用年數之累加而增加或降低的明顯趨勢。

表3. 不同試驗地點之矽酸爐渣連用區收量指數（1）與各地點對照區收量之直線相關（試驗一）。

Table 3. Coefficients of linear correlation between checks plot yields and yield indices of plots with continuous slag application (Experiment 1).

year / crop	No. Locations	1977	'78	'79	'80	'81	'82
1st	全部地點（9—10）		− 0.69*	− 0.54	− 0.85**	− 0.09	0.003
	去除壯圍一處		− 0.85**	− 0.83**	− 0.86**	− 0.72*	− 0.35
2nd	全部地點（9—10）	− 0.45	− 0.45	− 0.86*	− 0.07	− 0.52	
	去除壯圍一處	− 0.70*	− 0.72	− 0.88**	− 0.19	− 0.65	

1）係1.5及3 t/ha區之平均

表4. 不同年度之矽酸爐渣連用區收量指數（1）與各地點對照區收量之直線相關（試驗一）。

Table 4. Coefficients of linear correlation between check plot yields and yield indices of plots with continuous slag application (Experiment 1).

Location / Crop & year	樹林	壯圍	中壢	后里	埔里	民雄	後壁	屏東	高樹	9處平均
1st，1978—'82	− 0.83	− 0.46	− 0.76	− 0.85	− 0.68	− 0.73	0.64	− 0.75	− 0.78	− 0.87*
2nd 1977—'81	− 0.64	0.02	− 0.96**	− 0.75	− 43	0.36	− 0.56	− 0.75	− 0.65	− 0.53

（1）係1.5及 3 t/ha 區平均

十處試驗地點中壯圍一處情況似較爲特殊，其試驗開始後之4作期間爐渣肥效很小，連用第5—8作期間轉爲顯著，但在連用第9—10作欲有下降趨勢。其連用爐渣6作後之停施區在第7及8作時亦一如其他試驗地表現爐渣殘效隨著時間之經過顯著的降低，但在第9及10作其殘效卻轉而增大，此點甚爲反常，尚待進一步觀察。

上述10處試驗地所表現之矽酸爐渣肥效，除壯圍一地較爲特殊外，可謂大體一致，其中龍潭一處早於69年2期起即停辦，故爲簡明起見乃將其餘九處試驗地的歷作平均示於圖2。

由圖2可見矽酸爐渣之肥效除了在其開始施用之第一作略低（1.5 及3公噸各區較對照區平均增產3.5及4.9%）外，5年間共9作之平均約略維持8～10%之增產效果。矽酸爐渣之肥效在其連用第8及9作（即70年1期及2期）時雖然顯著升高，惟相信此係與該作部份試驗地病蟲害較爲嚴重，致使對照區平均收量降低及矽酸爐渣之肥效增高有關，蓋上面也已經提過不同地點之矽酸爐渣肥效與各對照區收量常有顯著的負相關（表3）而不同年度之矽酸爐渣平均肥效與各對照區平均收量亦常有負的相關（第1、2期作相關係數各達−0.86及−0.53，圖4上）。。

試驗二，圖3實線部分亦示矽酸爐渣之增產效果非常顯著並在不同年度、期作有相當大的變異。由於不同年度之矽酸爐渣增產效果與各對照區收量亦有顯著的負相關（第1期作 r＝−0.82* ，第二

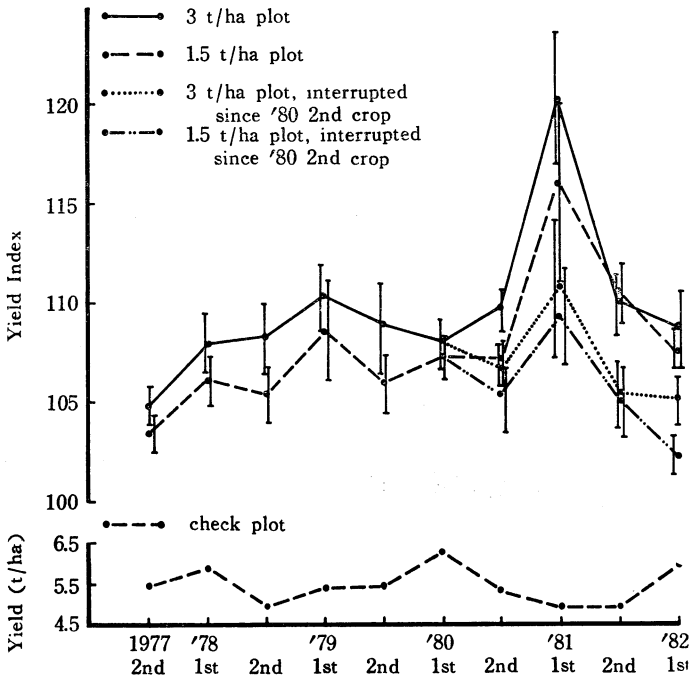


圖2. 歷作對照區之稻谷平均收量及矽酸爐渣連用區較對照區之收量指數*（試驗一，9 處試驗平均）米附平均值之標準機差

Fig. 2. Check plot yields and yield indices of plots with continuous slag applications from 1977—1982. (Experiment 1, mean of 9 experimental locations and standard error of mean.)

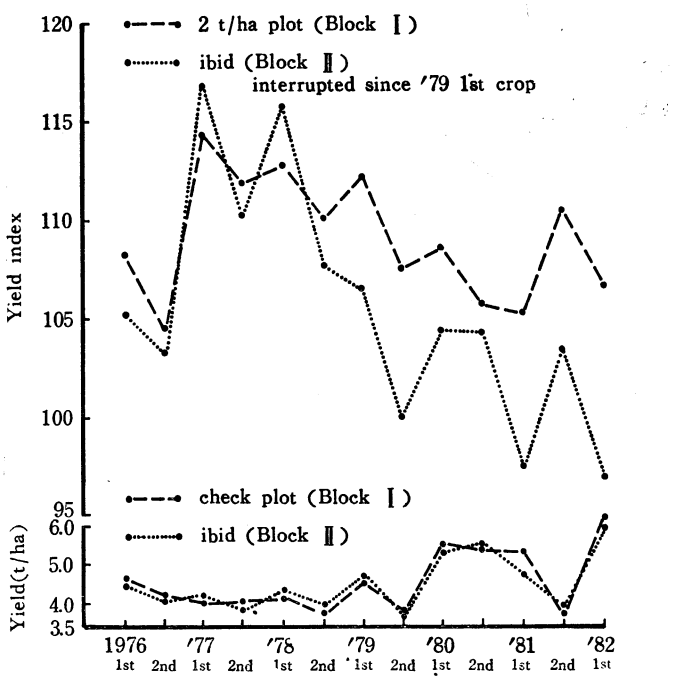


圖3. 歷作對照區之稻谷平均收量及矽酸爐渣連用區較對照區之收量指數（試驗二，中壢月眉里，每點均爲 6 重覆小區（即兩種主處理，稻桿之掩理與否×各副處理 3 重覆）之平均。

Fig. 3. Check plot yields and yield indices of plots with continuous slag applications from 1976—1981. (Experiment 2).

期作 r＝−0.54，圖4下）故亦可以認定上述矽酸爐渣肥效在不同年度、期作之變異與其連用年數之累加無關。矽酸爐渣肥效與其連用年數之相關第1、2期作各爲−0.52及+0.15，相關程度較小並正負不定。一般言之，第2期作之收量當較第1期作爲低，而水稻收量對矽酸爐渣之效應亦一如其對氮肥之效應一樣以收量較低之第2期作低於收量較高之第1期作。是故，吾人觀看圖2或圖3不同年度之對照區收量與矽酸爐渣增產指數之相關時如不將第1期與第2期作分開，將會有二者成正相關的幻覺。此與上面所指事實不符，應加注意。

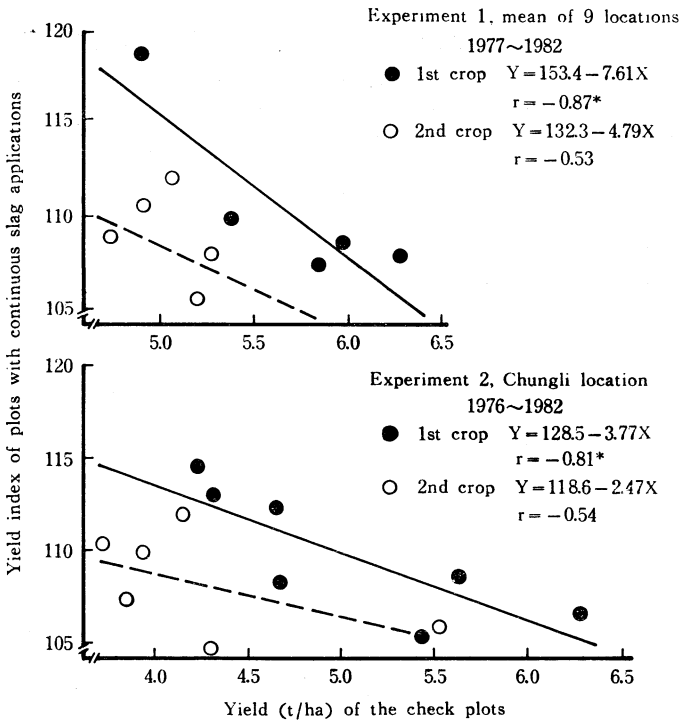


圖4. 不同年度之矽酸爐渣連用區收量指數（1）與各年度對照區收量之關係
（1）係1.5及3 t/ha兩處理區之平均。

Fig. 4. Relationship between check plot yields and yield indices of plots with continuous slag application. Experiment 1: Mean of 9 experimental locations, 1977—1981. Experiment 2: 1976—1982.

由以上結果可以結論矽酸爐渣之肥效除了在其施用之初期略低外，連用期間其較對照區之增產率爐渣1.5及3噸區各在5～15及8～20% 之間；矽酸爐渣肥效之不同年度變異主要係與對照區之收量有關（成負相關）而與爐渣連用年數之累加無顯著關係。亦即爐渣之連用雖達9～12作之多，尚看不出其對稻田生產力有任何不良影響，雖然同時亦看不出有繼續增進稻田生產力之顯著效果。

3.矽酸爐渣長期連用後對水稻之殘效：

試驗一矽酸爐渣每公頃每作1.5及3公噸各連用6作將各試區各劃分爲兩半，在第7、8及9作時其一半仍繼續施用爐渣，另一半則停施。結果（圖1及2點線部分）示停施者較續施者第7、8及9作稻谷收量指數平均各低落2.7，7.3及4.6%；矽酸爐渣之殘效依停施年數之增加而有顯然低落趨勢。試驗二矽酸爐渣連用6作後之停施（圖3點線部分）亦示爐渣殘效隨着停施年數而顯著降低之趨勢。

矽酸爐渣每公頃3公噸連用6作後其在土壤中之累積用量已甚可觀，但其停施者欲較續施者顯著減產，值得注意。

4.矽酸爐渣連用對若干土壤理化性質之影響：

由表5可見矽酸爐渣每公頃每作施用1.5及3公噸，經7作後表土之 pH 值平均各約提高 0.34及0.84單位，而底土之 pH 值平均亦各提高0.44及0.63單位；表土之有效矽含量平均各約提高 130 及 300 ppm，但底土之有效矽含量平均却僅提高各約 18 及 40 ppm 而已。可見所施爐渣中之鈣有大量自表土淋洗至底土跡象，反之。矽酸則否。矽酸之移動性顯然不大。

表5. 矽酸爐渣連用7作對若干土壤化學性質之影響（69年2期作收穫後，8處試驗地平均（1））

Table 5. Effect of continuous slag application (7 consecutive crops) on selected chemical properties of soil. (Mean of 8 experimental locations with standard error of mean. Soils were sampled at havest, 2nd crop 1980).

Rate of slag (t/ha/crop)	pH (1:1)		Available SiO_2 (ppm)		Organic matter (%)	Available (ppm)	
						P	K
	0—15 cm	15—30 cm	0—15 cm	15—30 cm	0—15 cm	0—15 cm	0—15 cm
0	5.13 ±0.15	5.88 ±0.30	51 ±10	70 ±17	2.90 ±0.33	64 ±14	36 ±4.0
1.5	5.47 ±0.14	6.32 ±0.26	182 ±28	88 ±17	2.90 ±0.32	58 ±15	35 ±3.3
3.0	5.97 ±0.21	6.51 ±0.26	359 ±42	111 ±19	2.93 ±0.32	62 ±15	38 ±3.7

Rate of Slag (t/ha/crop)	CEC (m. e./100g) 0—15 cm	Eych. (m. e./100 g)			Free	Eas redu
		Ca 0—15 cm	Mg 0—15cm	K 0—15 cm	Fe_2O_3 (%) 0—15cm	Mn (ppm) 0—15 cm
0	6.69 ±0.72	3.83 ±0.77	0.83 ±14	0.075 ±0.009	1.45 ±0.33	8.26 ±2.56
1.5	6.61 ±0.73	4.16 ±0.64	0.86 ±0.12	0.065 ±0.010	1.56 ±0.44	11.58 ±2.73
3.0	6.79 ±0.74	4.57 ±0.79	0.93 ±0.11	0.071 ±0.010	1.53 ±0.40	14.16 ±4.04

（1）係壯圍、樹林、中壢、后里、埔里、民雄、屏東、高樹等地之平均，附平均值之標準機差。

矽酸爐渣連用7作後表土之可還原性錳含量亦較對照區顯著增高。至於其對土壤有機質，有效性磷、鉀等含量及置換性能量等則影響甚小。

矽酸爐渣1.5及3 t/ha 各區，其繼續施用爐渣者第8及9作後之土壤 pH 值和有效矽含量約略維持與第7作時相同之水準，惟其停施者，其土壤 pH 值和有效矽含量則隨著停施之年數而有顯著下降

趨勢。矽酸爐渣每公頃每作連用1.5及3公噸達6作之久，其土壤中有效態矽酸之投入已非少量，惟其第7作時之停施欲立即反應於其土壤中之有效矽含量和稻藁中 SiO_2 含量之降低，除此之外，土壤中之易還原性錳及稻藁中之錳含量亦因矽酸爐渣之停施而略有減低趨勢（圖5及表6）。

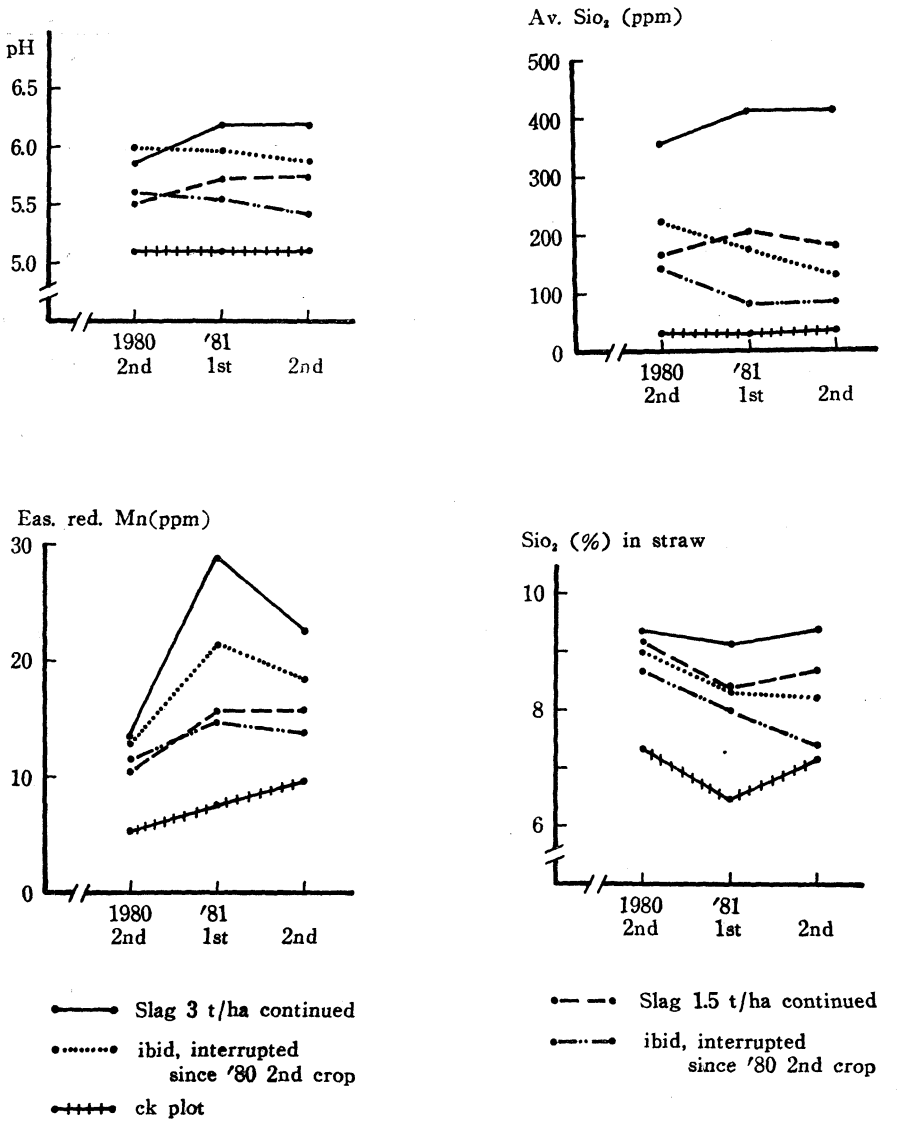


圖5. 矽酸爐渣連用6作後（即第7～9作時）之續施和停施對土壤 pH 值有效矽和易還原性錳含量及稻藁矽含量之影響（1）（69年2期～70年2期，收穫時）

Fig. 5. Effect of continuous and interrupted slag application of soil pH level, concentration of available silica and easily reducible Mn in the soil, and silica content of the rice straw on the 7th-9th crops, following 6 consecutive applications. (at harvest, 2nd crop 1980-2nd crop 1981).

（1）係中壢、后里、埔里、民雄4處試驗地之平均。土壤 pH 值，土壤有效矽含量和易還原性錳含量及稻藁矽含量，各平均值之標準機差，平均各爲0.22、0.51、6.3、0.62。

表6. 矽酸爐渣連用6作後（即第7作時）之停施較續施對水稻生育及要素含量之影響）埔里，69年2期，插秧後40日）

Table 6. Effect on plant growth of continuous and interrupted slag application after 6 consecutive applications. (Pu-li, 40 days after transplanting, 2nd crop 1980, i. e., the 7th rice crop).

Rate of Slag t/ha/crop	Treatments	g/hill	%					ppm			
			SiO_2	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Al
0	check	11.2	4.25	2.64	0.39	1.72	0.28	0.18	344	54	227
1.5	continued	14.5	5.85	2.64	0.45	1.72	0.32	0.18	308	98	251
	interrupted	12.1	5.45	2.74	0.46	1.62	0.30	0.18	352	75	287
3.0	continued	16.3	5.70	2.45	0.41	2.00	0.30	0.20	400	129	177
	interrupted	15.4	5.35	2.56	0.44	1.99	0.30	0.17	523	101	240

矽酸爐渣雖含有大量鋁，長期連用爐渣之土壤，置換酸度却較對照區土壤甚低，兩種土壤各經過大量稀鹽酸淋洗時連用爐渣之土壤較對照區土壤雖有多量鈣和矽洗出，鋁的洗出却無土壤間之顯著差異。連用爐渣的土壤經强烈的淋洗後，由於大量的鈣被洗出，其置換性鋁含量顯然增高，但並沒有超過對照區土壤，是故矽酸爐渣中所含的鋁並不值得憂慮。

表7. 矽酸爐渣連用土壤之置換酸度及淋洗後之置換性鋁含量（埔里，69年2期收穫後，曾經連用爐渣7作之土壤）。

Table 7. Exchangeable acidity of the soils with and without continuous slag application and exchangable aluminum of the soils after leaching. (Pu-li soil, at harvest, 2nd crop, 1980 after 7 consecutive crops of slag application)

Soils	Before leaching		After leaching	Major elements leached out (m. mole/100g)		
	PH (1 : 1)	Exch. acidity (me/100g)	Exch. Al (ppm)	Ca	Si	Al
Control (no slag applied)	4.5	0.99	121	0.70	1.07	4.37
With Slag (3 t/ha/crop)	5.2	0.13	124	2.17	2.64	4.30

5.矽酸爐渣連用土壤之有效矽收支估計：

假定矽酸爐渣中含有效矽（SiO_2）約20%則每公頃每作施用3公噸矽酸爐渣達7作等於施用有效矽4,200公斤／公頃。假定每公頃每作因施用爐渣3公噸而水稻吸收120公斤 SiO_2（以稻藁收量每公頃6,000公斤，並根據圖5施用爐渣後藁中 SiO_2 含量增高約2%計），則7作可吸收840公斤 SiO_2。因第7作收穫後之土壤測定結果示表底土中共累積有698公斤／公頃之有效矽（SiO_2）（以每公頃0—15及15—30公分土壤量各200萬公斤計算），故可回收之矽（即二者之和）只達1538公斤／公頃。因所施用之有效矽量已達4200公斤，可見所施有效矽之63%已被土壤固定或吸着，變爲不易被pH 4.0的規定醋酸鈉溶液萃取的形態（表8）。Khalid 氏等[20]探討夏威夷土壤中所施矽酸鈣的殘效亦指出所施矽酸之57～72%在其施後之5年間已被土壤所固定。

表8. 矽酸爐渣連用7作後土壤中之有效矽收支估計
Table 8. Percentage of available SiO_2 in soil unaccounted for after 7 crops of continuous siliceous slag application.

Rate of slag application (t/ha)	1.5	3.0
Total available SiO_2 applied to soil for 7 crops (kg/ha)	2100	4200
Plant uptake of applied SiO_2 total from 7 crops (kg/ha)	546	840
Increase of available SiO_2 (kg/ha) in soil due to slag application at the end of the 7th crop	298	698
Percentage applied SiO_2 unaccounted for	60	63

由以上土壤中有效矽收支之估計及如前述矽酸爐渣雖連用多年其一作之停施却會立即反映於土壤中有效矽和稻藁中 sio_2 含量之降低一事，可見所施有效矽在土壤中之固定或無效化相當顯著。此或許就是矽酸爐渣需要繼續施用才能維持一定稻谷增產率或土壤肥力的原因。

參 考 文 獻

(1) Lian, S. 1976. Silica fertilization of rice. *In* The fertility of paddy soils and fertilizer applications for rice. ASPAC Food & Fert. Technol. Center, Taipei .

(2) 臺灣省政府農林廳。1979。稻田施用矽酸爐渣示範。農林廳民國67年度土壤肥料試驗報告（油印）。

(3) 臺灣省政府農林廳。1980。稻田施用矽酸爐渣示範。民國68年度土壤肥料試驗報告（油印）。

(4) 臺灣省政府農林廳。1981。稻田施用矽酸爐渣示範。民國69年度土壤肥料試驗報告。

(5) 連深。1963。矽對水稻之效應，第二報。農業研究12(3)：16。

(6) 吳啓東、連深。1965。同上，第三報。農業研究14(3)：45。

(7) Lian, S. 1980. Rice yield response to nitrogen and relevant soil fertility factors. In "Increasing nitrogen efficiency for rice cultivation ASPAC Food & Fert。Technol。Center, Taipei .

(8) 李子純、許兩順、王慶忠、鄭耀輝。1981。臺灣地區胡麻葉枯病低產稻田肥力改進試驗。中華農業研究。30(1)：35-49。

(9) 林家棨。（未發表）臺灣土壤肥力能限分類規範之調查研究資料。

(10) 臺灣省農業試驗所。1981。民國69年年報 pp. 64—65。

(11) 太田道雄。1964。鑛滓の肥料示的利用に關する研究。風間書房，東京，日本。

(12) 蘇楠榮。1974。日本土壤肥力與肥料之研究應用概況。農林廳「臺灣農業季刊」10卷4期 p. 37。

(13) Yamazoe and M. Koshino 1982 Utilization of industrial wastes as fertilizers. Semimar on nutrient recycling in Agriculture with reference to the utilization of industrial wastes. Mimeo. ASPAC Food & Fert. Technol. Center, Taipei .

(14) Jackson, M. L. 1962. Soil Chemical Analyses：278-283. Prentice-Hall, Inc. N. J., U. S. A..

(15) The National Institute of Agricultural Science. 1967. Official methods of analysis of fertilizers. Series B, No. 13. Tokyo, Japan.

(16) Imaizumi, K. and S. Yoshida. 1958. Edaphological studies on silicon supplying pewer of paddy fields. Bull. Nat. Inst. Agric ·Sci. Japan B. Ser.：261-304.

(17) Black, C. A. (Editor-in chief). 1965. Method of soil analysis. American S Agronomy, Inc.,

Publisher. Madison, Wisconsin, USA.

(18) 京都大學農學部農藝化學教室編。1957。農藝化學實驗書第一卷，250～251。產業圖書株式會社，東京，日本。

(19) 農林省農政局肥料機械課。1970。肥料公定規格集，日本東京。

(20) Khalid, R. A., J. A. Silva, and R. L. Fox. 1978. Residual effects of calcium silicate in tropical soils : 1. Fate of applied silicon during five years cropping. Soil Sci. Soc. Am. J. 42 : 89-94.

Effects of Long Term Application of Siliceous Slag on Paddy Yield and Chemical Properties of Soil

S. Lian and C. H. Wang[2]

Summary

Field experiments have been carried out island-wide at 9 paddy locations on acid soils for 5 years (10 crops) using 3 treatments : (1) check ; no siliceous slag applied, (2) siliceous slag applied at the rate of 1.5t/ha/crop, and (3) siliceous slag applied at the rate of 3t/ha/crop. Nitrogen, phosphate and potash were amply applied to all of the test plots following the stantard recommended method. A randomized block design with two replications was adopted as the experimental procedure.

Beginning with the 7th crop, the plots with treatment (2) and (3) were each divided into two. One half of the plots received continuous siliceous slag applications while on the other, the application was interrupted, so that both the residual effect and the effect of continuous application could be observed.

Another experiment with and without the application of straw (0 and 5 t/ha/crop, respectively) as primary treatment, and with and without siliceous slag (0 and 2 t/ha/crop, respectively) as subtreatment was also conducted at one location for 6½ years (13 crops) Application of siliceous slag on half of these pltos was also interrupted beginning with the 7th crop for the same reason as above.

The results may be summarised as follows :

1. The yield responses to the slag application were generally high except at the beginning when the effect of slag seemed to be slightly lower. The yield increases in the plots with continuous slag applications of 1.5 and 3 t/ha/crop fluctuated in the ranges of 5—15 and 8—20%, respectively during the experimental period (Fig. 2 & 3). When crop yields were high, as represented by the check plot yield, response to the slag application was low, and vice versa. This means that there was a generally negative relationship between check plot yield and slag application response. (Table 3 & 4, and Fig. 4). Thus, these experiments do not yet give any clear indication that the slag has

any cumulative effect on the soil fertility (either positively or negatively) following continuous applications.

2. The residual effect of the slag was very significant soon after the interruption. Despite the previously continuous application of siliceous slag, the interruption resulted in an immediate decrease in the percentage of yield'increase compared to the plot with continuous application. Furthermore, the difference the grew greater as time lapsed after the interruption.

The residual effect remained higher in the plot where slag had been applied at the rate of 3t/ha/crop than in the plot where it had been applied at the rate of 1.5 t/ha/crop.

3. The continuous application of 1.5 and 3 t/ha/crop of siliceous slag on the first 7 crops resulted in total increases averaging 0.4 and 0.8 unit soil pH, and 130 and 300 ppm of available silica in the soil, respectively. These levels were maintained in the plot with the continuous application during the following crops, while they declined significantly once the application was interrupted. (Table 5 and Fig. 5)

About 60% of the sillica was either absorbed or disslpated in the soil, and was not readily extractable by the pH 4.0 acetate buffer solution.

(Table 8)

4. All of the above would seem to indicate that a continuous application of silice ous slag is beneficial for maintaining an increased level of soil fertility, since once the application is interrupted, the silica level in the soil, as well as the yield, decline. A lower, but continuous application would seem to be more effective than a higher rate of application which is interrupted for a long time. In prtacice, a continuous application at the rate of about 2t/ha on the first rice crop in each year can be recommended for the acid soils deficient in available silica.

---

1. Contribution No. 1095 from Taiwan Agricultural Research Institute.
2. Soil scientist and assistant, respectively. Department of agricultural chemistry TARI. Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan 431, ROC.