稻田長期連用矽酸爐渣對水稻之肥效及其殘效[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4½年（9作水稻）及1處矽酸爐渣、稻藁連用試驗歷經6年(12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為（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2期作）起將（2）及（3）處理各分為二半，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1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）為主處理，矽酸爐渣之施用與否（即爐渣每期作每公頃0及2公噸）為副處理，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噸區各為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着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，但隨着停施時間之經過殘效卻有顯著降低趨勢；爐渣連用6作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9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 300ppm。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，惟其停施後之降低卻甚明顯；矽酸爐渣連用6作後其土壤中之矽酸累積量已甚可觀，但爐渣在第7作時停施卻使土壤中之有效矽含量顯著降低，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。

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）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.臺灣省農業試驗所研究員及助理。

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，變為不易被 pH4.0 的 1 規定醋酸納溶液萃取的形態。

由以上結果可見矽酸爐渣之增產效果非常顯著。迄第 9—12作為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，故為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。

前　　言

由過去的許多試驗研究已知矽酸爐渣在本省稻田之肥效實僅次於三要素肥料；在很多稻田其肥效甚至於超過磷肥和鉀肥。據民國67～69年在全省共計一萬三千公頃的稻田示範結果，矽酸爐渣施用區較對照區每公頃平均增產稻谷640公斤，增產率達13%[2]。又據分析，稻田生產力之高低與土壤中之有效矽含量或水稻植物體中之矽含有率常有顯著的正相關[6][7]，可見施用矽酸肥對本省稻田肥力之維持及增進之重要性。

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；其年產量佚其二號高爐開始運轉將高達 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，餘均予廢棄，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為主外，尚含多量鋁及少量鈦、鉻、鎳、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）作之影響如何？等問題乃吾人所關心者。

為探討以上諸問題，乃綜合考察兩項矽酸爐渣長期連用試驗共計10處試驗地歷經 9～12作之收量成績，並分析土壤化學性質之變化情形，結果如下。

材料及方法

1. 試驗地點及其表土之化學性質如表 1。

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	SiCL	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	高樹	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	3.6	9.9	8.4	1.2	0.08	16	69

2. 試驗設計

試驗一

在壯圍、樹林、中壢、龍潭、后里、埔里、民雄、後壁、高樹及屏東市共10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（若干試地為50平方公尺）。處理（一）、不施矽酸爐渣，處理（二）、施矽酸爐渣 1.5公噸／公頃，處理（三）、施矽酸爐渣3.0公噸／公頃。

自69年2期以後：將矽酸爐渣 1.5公噸與3公噸區各劃分為二半，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。試驗設計為裂區；以稻藁之掩埋與否（即稻藁每期作5及0公噸／公頃）為主區，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（幷聯）各三重覆。副區（即小區）面積為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：

各試驗地之當地推廣品種，包括台農67號、臺南5號、高雄139號等，但以臺農67號為主要。

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 磨細後秤取 0.1 克，依照 Jackson[5] 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。另秤 0.1 克經加碳酸鈉熔化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、HCl) 溶解並分離矽酸後以原子吸光儀測定硒含量。

0.5N 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[8]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期水稻收穫後自各試區採取表（0～15cm）、底（15～30cm）土分析一般理化性質，包括 pH、置換酸度、有機質及有效磷、鉀及矽等含量。有效性矽之測定法根據 Imaizumi and Yoshida[3]，係以 pH4.0，1規定之醋酸鈉萃取。

（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 0.5N 鹽酸可溶性成分，結果如表2。

。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、鈦及微量鎳、鉻、硒、鉬等元素。日本公定矽酸質肥料規格[1]規定其機械組成需全部通過 10 mesh（2mm）篩，60%以上通過 30 mesh (0.59mm) 篩，其 0.5N 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＜50mesh (0.25mm) 者，50～20 mesh (0.25～0.50mm) 者，20～10 mesh (0.50～2mm) 者各約佔全部之66，26及8%，即全部可通過 10mesh 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為 160ppm，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。其中九處試驗地之歷作平均如圖2。又試驗二，月眉試驗地歷作對照區收量及矽酸爐渣2公噸區之收量增產百分率如圖3（實線部分）。

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為嚴重，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（如圖4）而不同年度之矽酸爐

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）

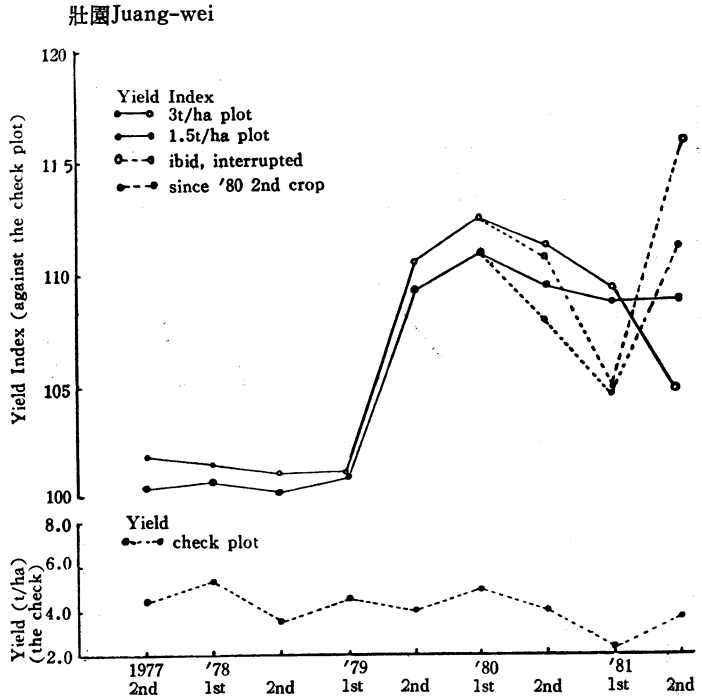
Table 2. Chemical composition of the slags applied in the experiment, Total (%)

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			

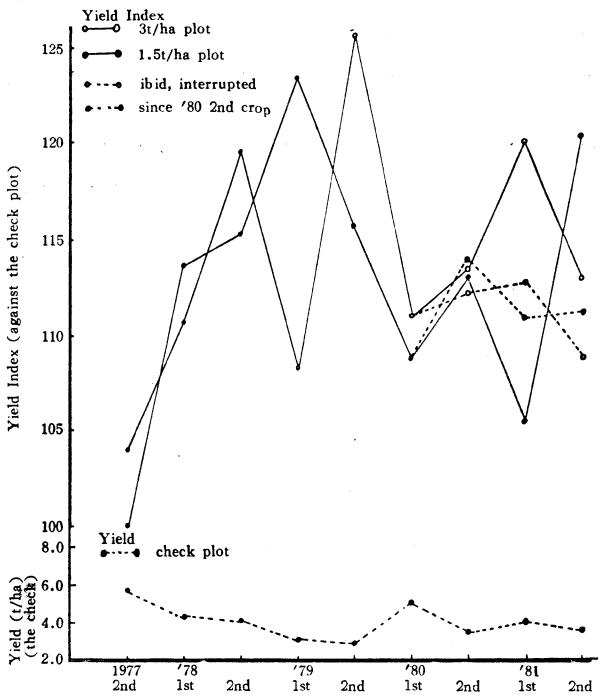
N/2 HCl soluble (%)

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	

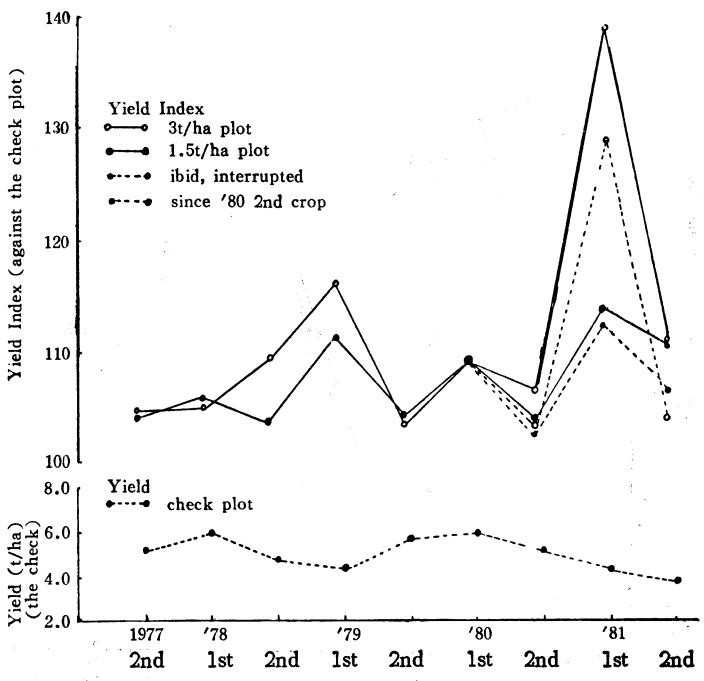
Mean with standard error. Number of samples analyzed for N/2 HCl soluble SiO_2 were 10, while those analyzed for the other items were 4.

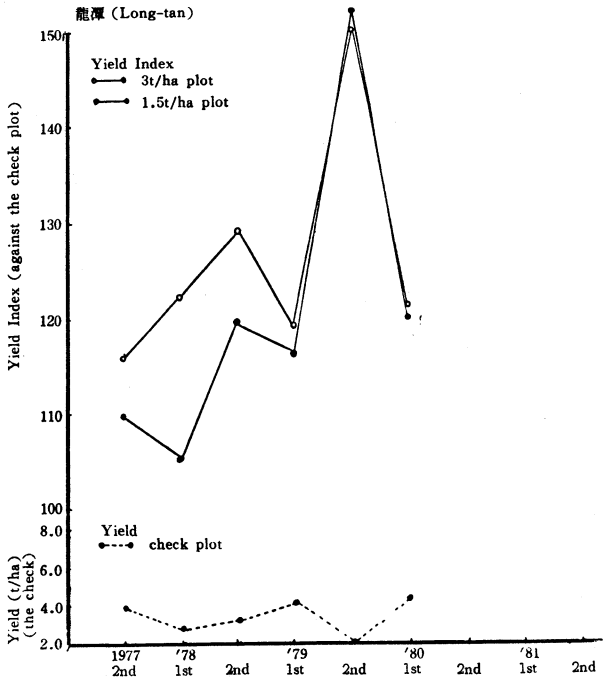


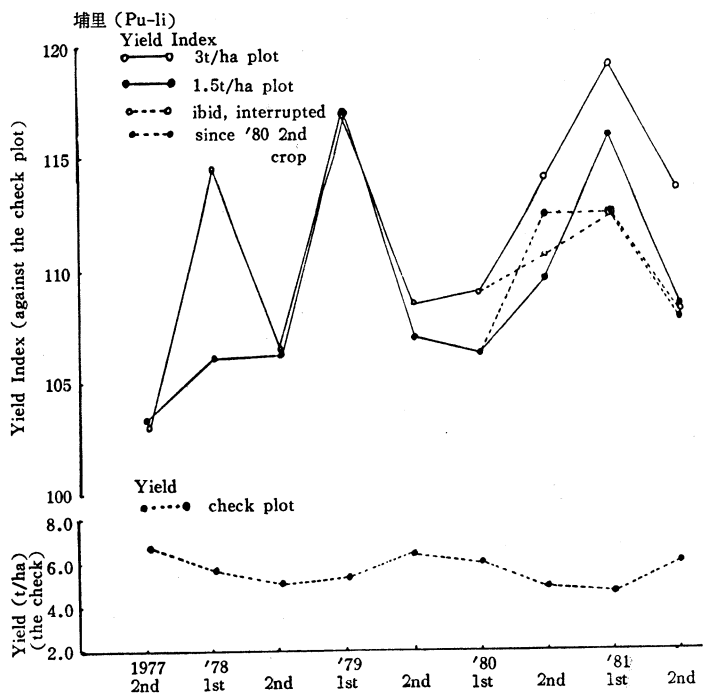
樹林 (Shu-lin)

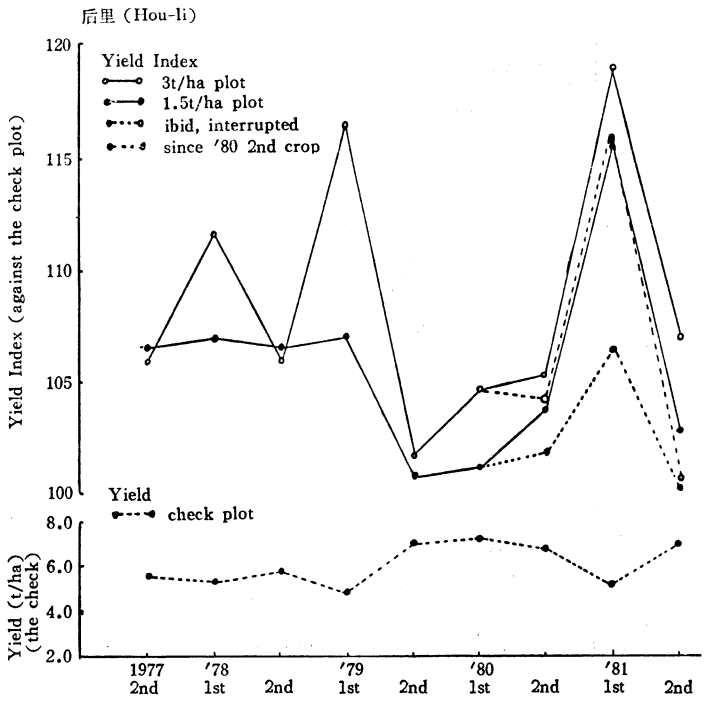


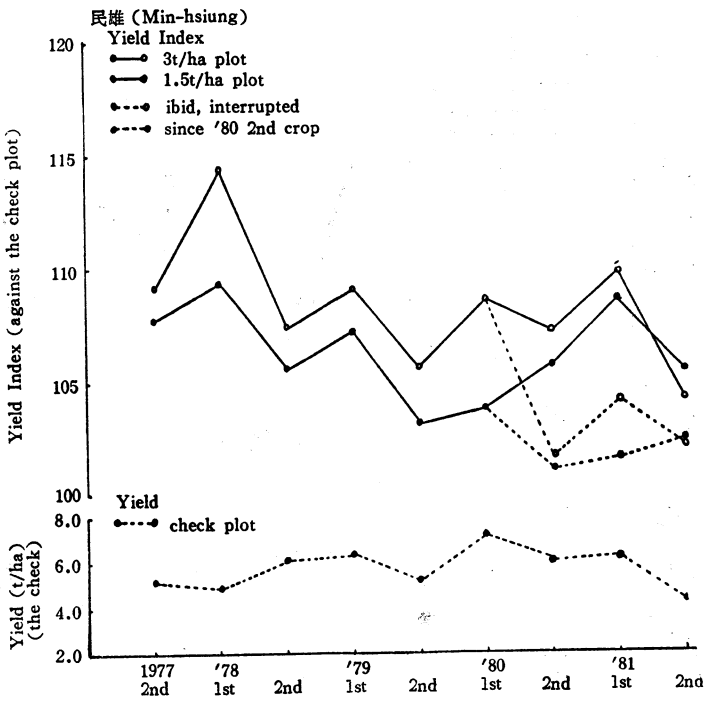
中壢 (Chung-li)



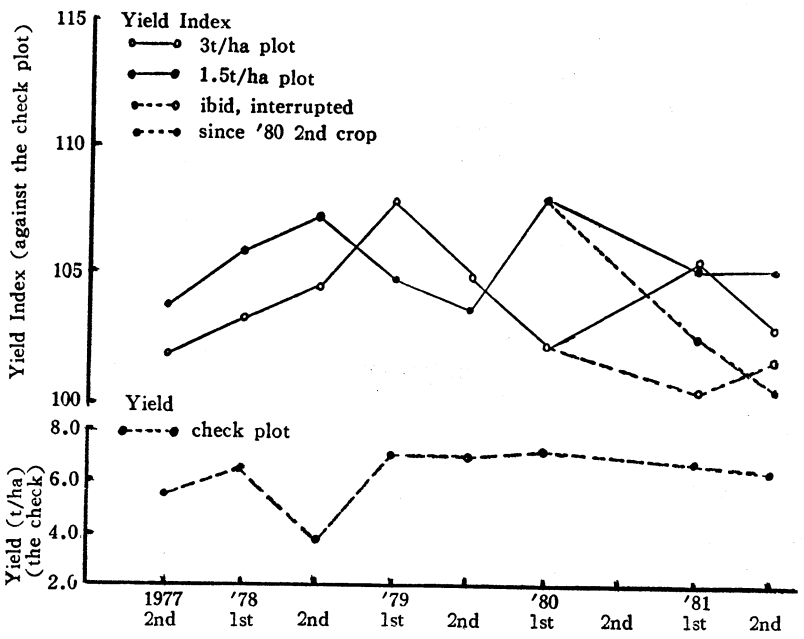

龍潭 (Long-tan)
Yield Index
3t/ha plot
1.5t/ha plot
Yield Index (against the check plot)
150
140
130
120
110
100
Yield
check plot
Yield (t/ha) (the check)
8.0
6.0
4.0
2.0
1977 2nd
'78 1st
2nd
'79 1st
2nd
'80 1st
2nd
'81 1st
2nd


埔里 (Pu-li)
Yield Index
3t/ha plot
1.5t/ha plot
ibid, interrupted
since '80 2nd crop
Yield Index (against the check plot)
120
115
110
105
100
Yield
check plot
Yield (t/ha) (the check)
8.0
6.0
4.0
2.0
1977 2nd
'78 1st
2nd
'79 1st
2nd
'80 1st
2nd
'81 1st
2nd

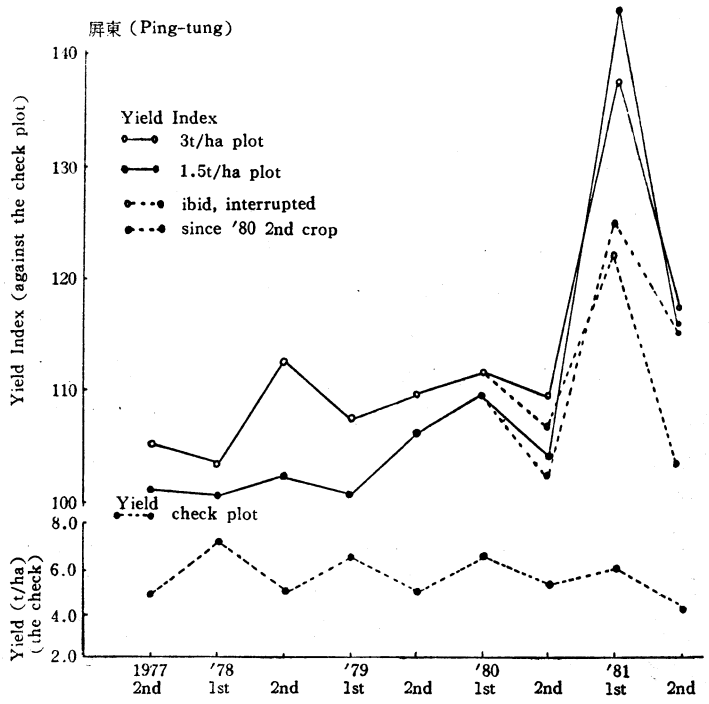

后里 (Hou-li)
Yield Index
3t/ha plot
1.5t/ha plot
ibid, interrupted
since '80 2nd crop
Yield Index (against the check plot)
120
115
110
105
100
Yield
check plot
Yield (t/ha) (the check)
8.0
6.0
4.0
2.0
1977 2nd
'78 1st
2nd
'79 1st
2nd
'80 1st
2nd
'81 1st
2nd


民雄 (Min-hsiung)
Yield Index
3t/ha plot
1.5t/ha plot
ibid, interrupted
since '80 2nd crop
Yield Index (against the check plot)
120
115
110
105
100
Yield
check plot
Yield (t/ha) (the check)
8.0
6.0
4.0
2.0
1977 2nd
'78 1st
2nd
'79 1st
2nd
'80 1st
2nd
'81 1st
2nd

後壁 (Hou-pi)



屏東 (Ping-tung)



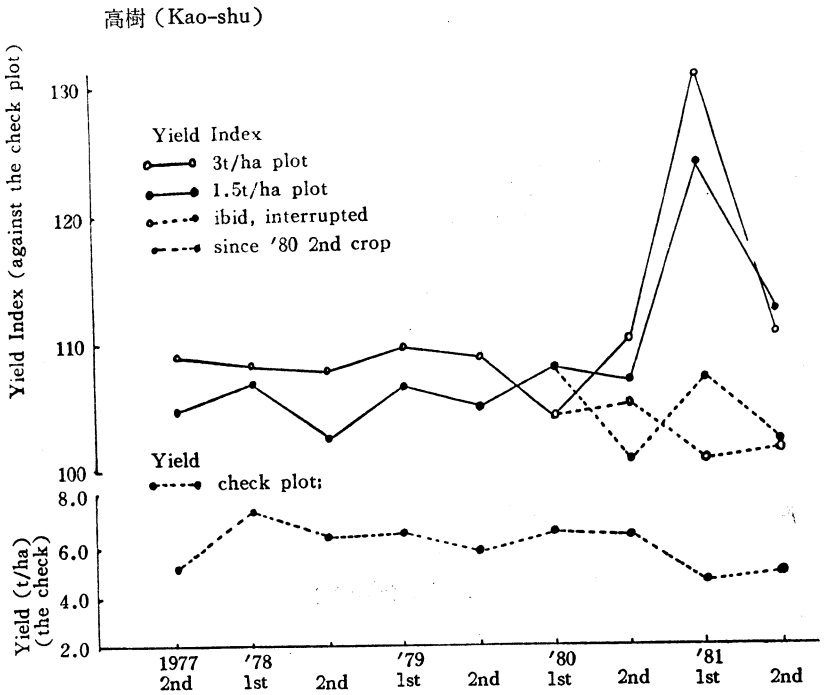


圖1　歷作對照區之稻谷收量及矽酸爐渣連用區較對照區之收量指數（試驗一，各處試驗地）

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).

渣平均肥效與各對照區平均收量亦常有負的相關故（第1、2期作相關係數各達－0.86及0.53。圖5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*，第二期作 r＝－0.54，圖5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。矽酸爐渣肥料與其連用年數之相關第1、2期作各為－0.52及＋0.15，相關程度較小且正負不定。一般言之，第2期作之收量當較第1期作為低，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。

由以上結果可見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。

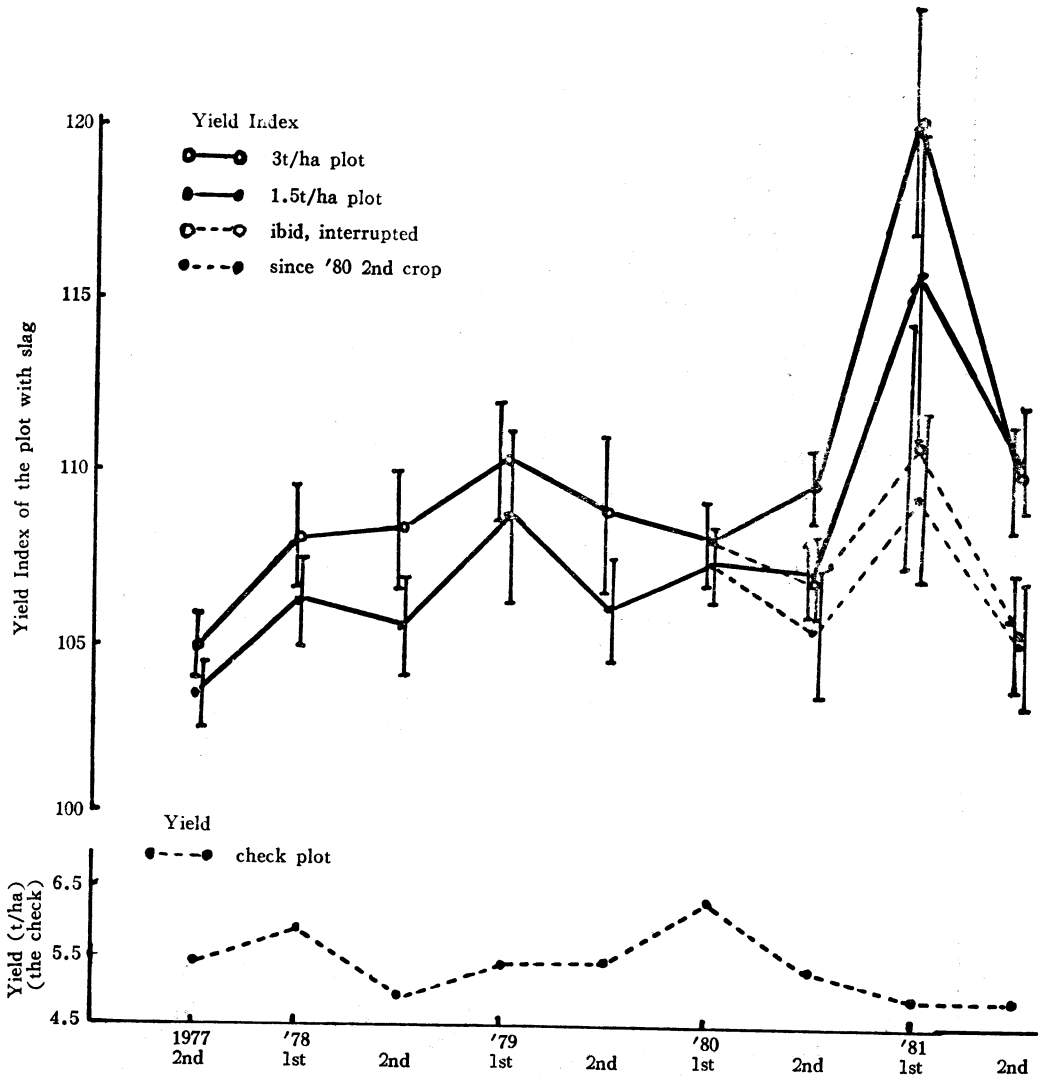


圖2　歷作對照區之稻谷平均收量及矽酸爐渣連用區較對照區之收量指數（試驗一，9處試驗地平均，附平均值之標準機差）

Fig. 2. Check plot yields and yield indices of plots with cotinuous slag applications from 1977—1981. (Experiment 1, mean of 9 experimental locations and standard error of mean.)

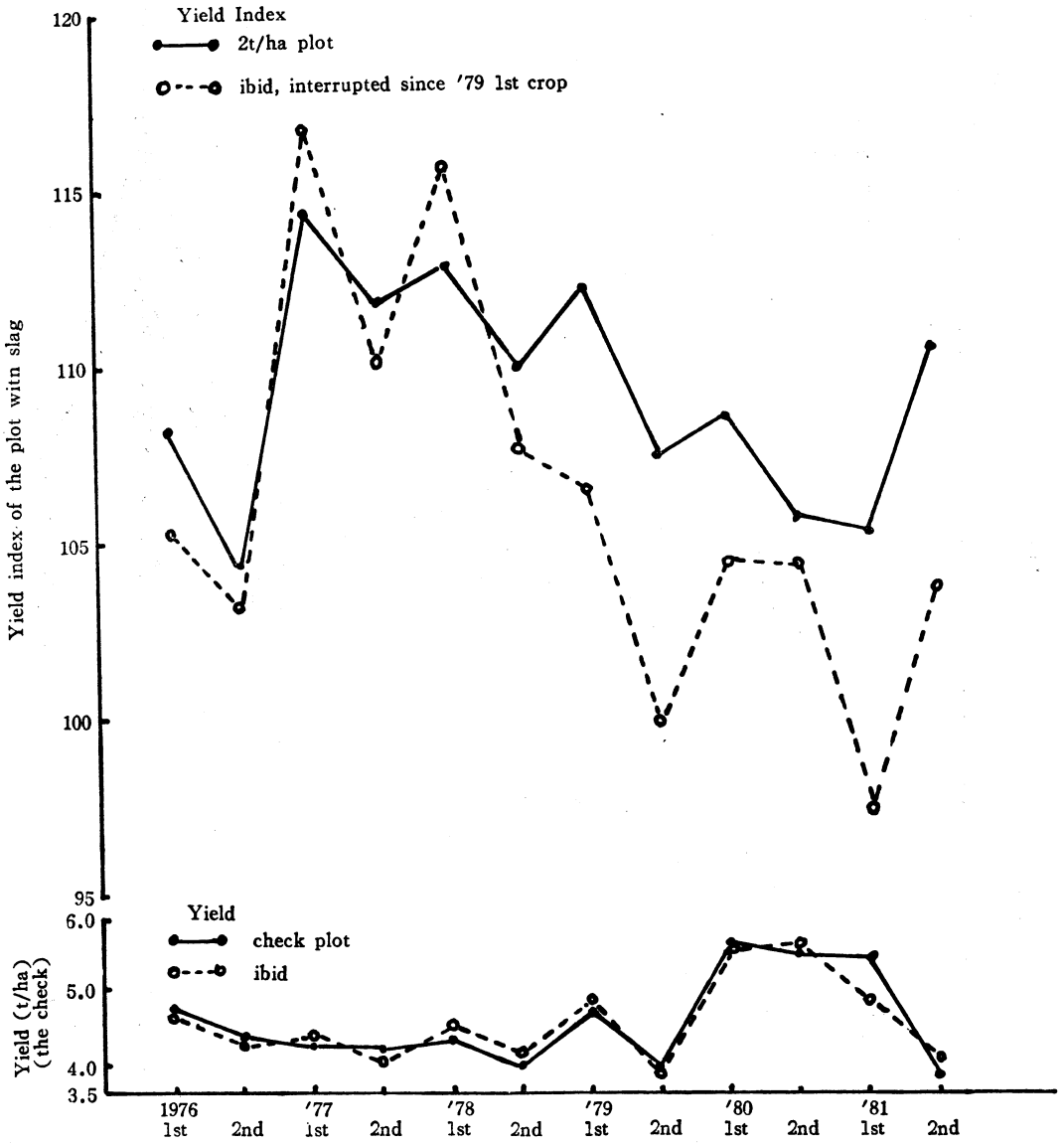


圖3　歷作對照區之稻谷平均收量及矽酸爐渣連用區較對照區之收量指數（試驗二，中壢月眉里，每點均爲6重覆小區之平均）

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

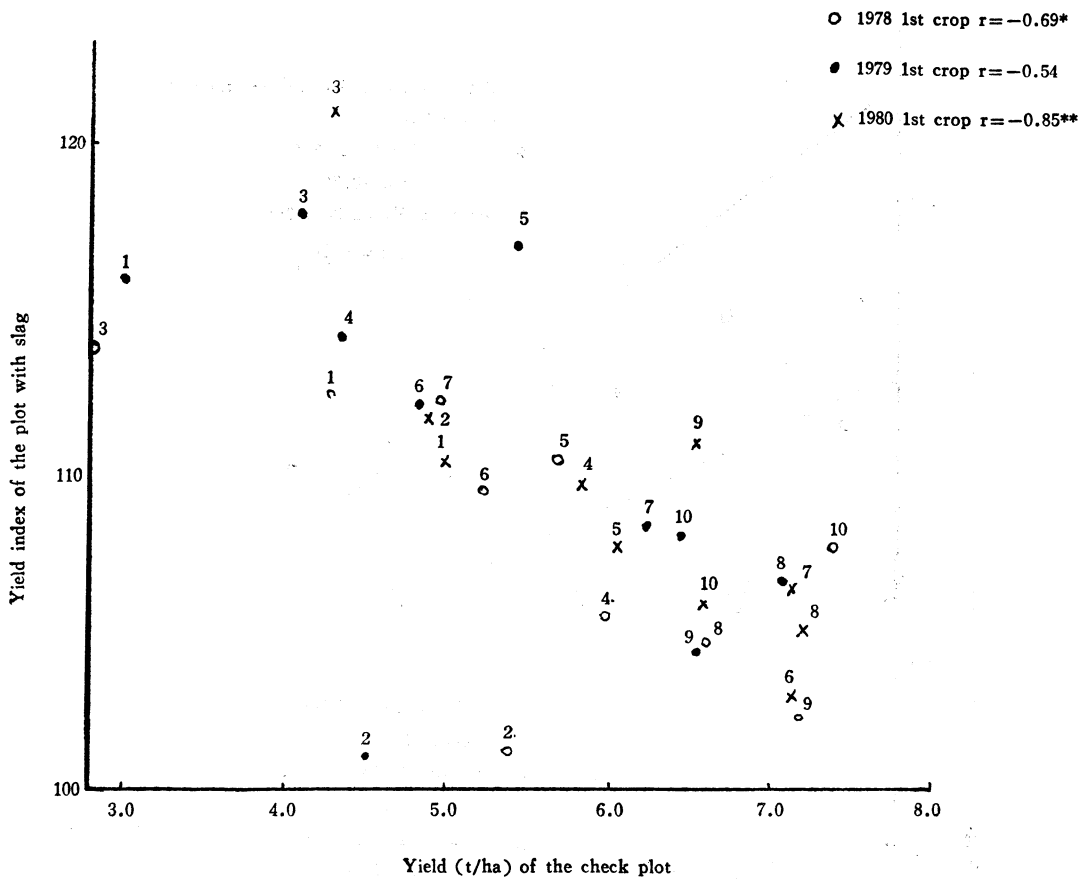


圖4　各試驗地點之矽酸爐渣連用區收量指數與各地點對照區收量之關係（民國67～69年第1期作，試驗一，10處試驗地。號碼依序代表樹林、壯圍、龍潭、中壢、后里、埔里、民雄、後壁、屏東、高樹）

Fig. 4. Relationship between check plot yields and yield indices of plots with continuous slag application. First rice crops at 10 experimental locations, 1978—1980. (Experiment 1).

3. *矽酸爐渣長期連用後對水稻之殘效*

試驗一矽爐渣每公頃每作 1.5 及 3 公噸各連用 6 作後將各試區各畫分為兩半，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）示停施者較繼續施者第 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降低趨勢。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，但其停施者卻較續施者顯著減產，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 3 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

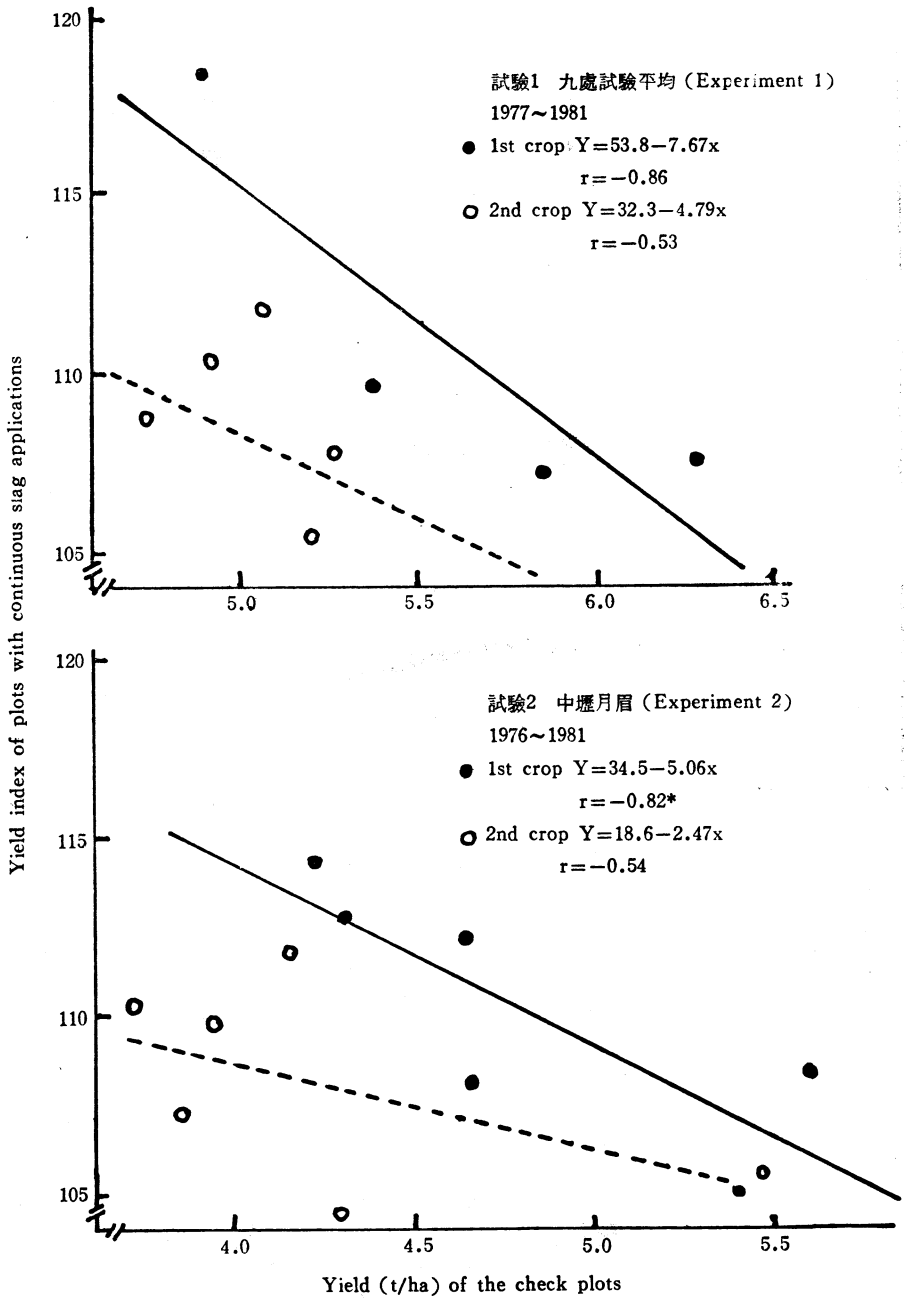


圖5　不同年度之矽酸爐渣連用區收量指數與各年度對照區收量之關係

Fig. 5. 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—1981.

平均各約提高130及 300ppm，但底土之有效矽含量平均却僅提高各約18及 40ppm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。

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。

表 3　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*)

Table 3. 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 harvest, 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—15cm	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±4.6
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	Exch (m. e. /100g)			Free Fe_2O_3 (%)	Eas. redu. Mn (ppm)
		Ca 0—15cm	Mg 0—15 cm	K 0—15 cm	0—15cm	0—15cm
0	6.69±0.72	3.83±0.77	0.83±0.14	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±0.70	0.93±0.11	0.071±0.010	1.53±0.40	14.16±4.04

*係壯圍、樹林、中壢、后里、埔里、民雄、屏東、高樹等地之平均，附平均之標準機差

矽酸爐渣中雖含有大量鋁，但連用爐渣之土壤置換酸度却較對照區很低（表 4），即使將兩種土壤各經過大量蒸餾水淋洗後再測定置換酸度亦得同樣差異。是故矽酸爐渣中所含的鋁似不值得憂慮。

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，施用爐渣後藁中 SiO_2 含量增高 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，變為不易被 pH 4.0 的 1 規定醋酸鈉溶液萃取的形態（表 5）。Khalid 氏等 [4] 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 4　矽酸爐渣連用 7 作對土壤酸度之影響（埔里，69年 2 期作收穫後）

Table 4. Effect on soil accidity of cotinuous slag application. (Pu-li, at harvest, 2nd crop, 1980 after 7 consecutive crops of application).

Rate of slag (t/ha/crop)	pH (1 : 1)	Titratable acidity after KCl extraction (me/100g)
0	4.5	0.99
3	5.2	0.13

矽酸爐渣每公頃每作連用 1.5 或 3 公噸 6 作後土壤中之有效矽施用量累積已非小數，惟第 7 作時停施矽酸爐渣之土壤中有效矽含量却較續施者顯著低落，矽酸爐渣繼續停施，其土壤中有效矽含量且有繼續減低趨勢。植物體中之 SiO_2 含量亦有同樣趨勢（表 6 及 7）。矽酸爐渣停施後，土壤中有效矽含量之減低顯然遠超過水稻所吸收移去者，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。

表 5　矽酸爐渣連用 7 作後土壤中之有效矽收支估計

Table 5. Percentage of available SiO_2 in soil unaccounted for after 7 crops of continuous siliceous slag application.

Rate of slag application (t/ha/crop)	1.5	3.0
Total available SiO_2 applied to soil for 7 crop (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

表 6　矽酸爐渣連用 6 作後（即第 7～9 作時）之停施較續施對土壤 pH 值，有效矽含量及稻藁矽含量之影響*（69年 2 期～70年 2 期，收穫時）

Table 6. Effect of continuous and interrupted slag application on soil pH level, concentration of available silica 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).

Rate of slag (t/ha/crop)	Treatments	pH	Available SiO_2 (ppm)	Straw SiO_2 (%)
7th crop (1980 2nd crop)				
0	check	5.10±0.31	40±18	7.40±0.45
1.5	continued	5.50±0.23	168±41	9.18±0.58
	interrupted	5.60±0.29	141±31	8.68±0.29
3.0	continued	5.82±0.32	358±25	9.28±0.60
	interrupted	5.98±0.42	222±55	9.13±0.48
8th crop (1981 1st crop)				
0	check	5.04±0.15	26±16	6.42±1.07
1.5	continued	5.72±0.12	209±56	8.41±0.90
	interrupted	5.55±0.09	80±30	8.00±0.65
3.0	continued	6.19±0.11	416±99	9.09±0.75
	interrupted	5.94±0.11	188±59	8.37±1.14
9th crop (1981 2nd crop)				
0	check	5.11±0.17	45±14	7.21±0.68
1.5	continued	5.75±0.19	182±71	8.70±0.37
	interrupted	5.43±0.20	87±27	7.40±0.32
3.0	continued	6.20±0.26	415±169	9.41±0.52
	interrupted	5.86±0.32	135±57	8.26±0.49

*係中壢、后里、埔里、民雄四處試驗地之平均，附平均值之標準機差。

表 7　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 7. 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	continuous	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	continuous	16.3	5.70	2.45	0.41	2.00	0.30	0.20	400	129	177
	interrutped	15.4	5.35	2.56	0.44	1.99	0.30	0.17	523	101	240

參考文獻

1. 農林省農政局肥料機械課1970肥料公定規格集，日本東京。
2. 臺灣省政府農林廳，民國67、68及69年土壤肥料試驗報告。
3. Imaizumi, K. and S. Yoshida. 1958. Edaphological studies on silicon supplying power of paddy fields. Bull. Nat. Inst. Agric. Sci. Japan B. Ser. : 261—304.
4. 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.
5. Jacksons, M. L. 1962. Soil Chemical Analysis : 278—285. Prentice-Hall, Inc. N. J., U. S. A..
6. Lian, S. 1976. Silica fertilization of rice. In "The fertility of paddy soils and fertilizer applications for rice". FETC, Taipei, Taiwan, R. O . C.
7. Lian, S. 1980. Rice yield response to nitrogen and relevant soil fertility factors. In "Increasing nitrogen efficiency for rice cultivation". FFTC, Taipei, Taiwan, R. O. C.
8. The National Institute of Agricultural Science. 1967. Official methods of analysis of fertilizers. Series B, No. 13.

Effects of long term application of siliceous slag on paddy yield

S. Lian and C. H. Wang

Summary

Field experiments have been carried out island-wide at 9 paddy locations on acid soils for 4½ years (9 crops) using 3 treatments: (1) check, no siliceous slag applied, (2) siliceous slag applied at the rate of 1.5 t/ha/crop, and (3) siliceous slag applied at the rate of 3 t/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 6 years (12 crops). Application of siliceous slag on half of these plots was also interrupted beginning with the 7th crop for the same reason as above.

The results may be summarised as follows:

1. Except at the beginning when the effect of slag seems to have been slightly lower, the paddy yield increases due to the consecutive application of 1.5 and 3 t/ha/crop were as high as 5—15 and 8—20%, respectively. 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 generally negative relationship between check plot crop yield and slag application response, 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) follow ing consecutive applications.

2. The residual effect of the slag was very significant soon after the interruption of application. Despite the previously consecutive application of siliceous slag, the interruption resulted in an immediately lower percentage of yield inc-

rease compared to the plot with continuous application. Furthermore, the difference 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 3 t/ha/crop than in the plot where it had been applied at the rate of 1.5t/ha/crop.

3. The consective 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 300ppm of available silica in the soil, respectively. These levels were maintained in the plot with the consective application during the following crops, while they declined significantly once the application was interrupted.

About 60% of the silica was either absorbed or dissipated in the soil, and was not readily extractable by the pH 4.0 acetate buffer solution. Nor was it available to the plants.

All of the above would seem to indicate that a consecutive application of siliceous 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 efective than a higher rate of application which is interrupted. In practice, the continuous application at the rate of about 2 t/ha on the first rice crop in each year can be recommended for the acid soils deficient in available silica.