

酸性稻田連用矽酸爐渣之效果及其殘效之研究¹

黃山內 黃祥慶 王錦堂²

摘 要

本試驗於埔里、后里等兩地強酸性低矽酸含量之稻田進行試驗，自民國66年二期作開始，迄71年一期作，共計辦理10個水稻期作，結果顯示第一次施用矽酸爐渣對當期作之水稻即有增進生長之效果，稻谷增產率為3.3~6.6% (稻谷220~368公斤/公頃)，連續施用時之增產效果更佳，其增產幅度最高達18.8%。兩地平均增產率在1.5公噸/公頃矽酸爐渣區為6.8% (稻谷每作增產402公斤/公頃)，3.0公噸/公頃區為9.7% (稻谷每作573公斤/公頃)。由統計分析結果顯示施用矽酸爐渣明顯的提高初期株高、分蘗，成熟期之穗數、穗長、每穗粒數及稔實率。不同期作中以第一期作之反應較第二期作為大。秋冬作對爐渣殘效之反應亦頗明顯，而以荳科綠肥較禾本科之玉米明顯。連續施用矽酸爐渣三年六作後，其殘效明顯，但隨年漸降，在埔里土壤，殘效可繼續二年四作，在后里則維持二作。施用矽酸爐渣可提高土壤中之pH、有效性矽酸、交換性鈣、鎂之含量，並可降低有毒性之鋁、鐵離子，同時增加水稻對主要病害如稻熱病、紋枯病及胡麻葉枯病之抗病能力。

前 言

矽(silicon)在化學上與碳同為非金屬性元素，廣泛的存在於自然界中，為地殼及土壤之主要組成分^(11,12)，土壤之粘粒礦物、長石類、石英等都含有大量的矽，如以重量計算，矽平均佔土壤總重之33%⁽¹¹⁾，可見其存在之普遍。矽是否為植物生長之必要元素，早為植物營養研究者爭論的焦點，自1926年Sommer⁽¹⁴⁾發現水稻在無矽狀態下，其生長量明顯地減少之後，國際學者對矽之效應研究相當多，其中以日本研究者最為著名⁽¹⁵⁾，迄目前為止，矽雖無直接的證據可以證明矽直接參與植物生理與生化作用，惟經由組織化學的研究，已瞭解矽在水稻葉片、穀殼中之含量相當的高，其係經根吸收運輸後沉積於表皮細胞下面形成一層約2.5 μ 厚的矽素層，藉此層的作用可以減少水分的蒸散損失，阻止菌類、昆蟲之侵襲及嚙食為害，同時強化表皮細胞的組織，使葉片挺立，改善並增加整個葉的受光角度，提高葉群(canopy)受光率及光合作用⁽¹⁵⁾。於是「矽在農藝上為植物生長的主要必需元素」之結論得以確立。

矽對本省水稻之效應先自民國四十九年開始，林⁽⁶⁾及吳⁽⁷⁾與連⁽⁸⁾等相繼在田間、盆栽舉行試驗並提出報告，證實矽對水稻收量確有增產效果，在一般無顯著病害之田間情形下，稻谷產量得到9%之增收，遇顯著病害，其效果益加明顯，同時在連深氏的報告⁽⁸⁾裏，指出稻藁矽酸含量在9%以下時，施用爐渣可得5%以上之增加，土壤有效矽含量在4 mg/100 g為增產臨界濃度，本省施矽之效益因而建立。本省稻田土壤含矽之情形經黎氏⁽⁹⁾研究報告在採取之土樣中有效矽含量僅有1/10在10 mg/100 g以下，1/80在4 mg/100 g以下。由此看來本省土壤缺矽

¹臺中區農業改良場研究報告第0024號。

²依次為臺中區農業改良場副研究員，助理及助理研究員兼土壤肥料股股長。

之情形似不嚴重。惟土壤有效性矽含量與pH值有極顯著的正相關，亦即pH低之土壤可能容易發生缺矽。由於本省耕地有33.2%屬於強酸性⁽⁵⁾(pH低5.6)，施用矽酸爐渣增產之潛力似乎不小。臺灣省農會鑒於矽酸爐渣之增產效果及日本水稻田普遍使用爐渣之事實，於1969年自日本進口矽酸鈣，在全省可能缺矽地區進行示範結果，顯示增產率為5~6%⁽¹⁾，因當時考慮運費之昂貴，以及純益少而作罷。中鋼公司成立後，爐渣為煉鋼之副產品，估計年產量可達104萬公噸，為有效利用此種資源，除可用為工業上之用途外，開發其在農業上之用途亦屬必要，故在土壤有效性矽含量低之農田辦理試驗示範工作，其中臺中地區67年在埔里辦理100公頃示範，平均增產率為8.6%⁽²⁾，68年在竹山、魚池二地分別增產12.9%及11.3%⁽³⁾，69年一期作埔里及竹山各辦理700公頃，分別增產12.1%及11.3%⁽⁴⁾，效果相當明顯，但矽酸爐渣為一種含有各種重金屬元素及pH較高之物質，長期連續施用是否有不良效果尚待探究，特在農建計劃資助下辦理本試驗，本計畫為全省性，在連深博士主持下進行，本報告僅述及臺中區農業改良場負責部份。

材料與方法

本試驗自六十六年二期作開始，至七十一年一期作止，前後總共六年，包括10個期作之水稻，2個期作之裡作，分別在南投縣埔里鎮及臺中縣后里鄉之強酸性而有效性矽酸含量低之稻田進行試驗，其田間之設計自開始(66年二期作)至69年一期作為三處理，二重複，隨機區集排列，小區面積100 m²，其三個處理內容為(1)對照區(不施矽酸爐渣)。(2)矽酸爐渣1.5公噸/公頃區。(3)矽酸爐渣3.0公噸/公頃區。自69年二期作以後將矽酸爐渣施用區(1.5及3.0公噸/公頃)分別各劃分為二半，一半繼續照原來用量施用矽酸爐渣，用以探求連續施用矽酸爐渣的效果及其對土壤之影響。另一半不再施用矽酸爐渣，作為探求連續三年(亦即六個期作)施用矽酸爐渣後之殘留效果。68年及69年秋裡作並種植玉米及紫雲英，用以觀察矽酸爐渣對旱作之效果。使用之矽酸爐渣材料除66年二期作為臺灣煉鐵公司所產者外，餘均採用中國鋼鐵公司之高爐爐渣，其成分含為½ N HCl可溶態SiO₂ 20~28%，CaO 37~40%，MgO 2~8%，Al₂O₃ 17~19%，及少量之鐵、錳、鈦、微量之鎳、鉻、硒、鉬等元素，pH為8.6，並大部份通過50 mesh之細度者。水稻供試品種及肥料施用量如表一，其他栽培管理方法(包括施肥時期及方法)，悉按目前本場推薦方法實施之。水稻插秧前及收穫後均採取土壤樣本分析⁽¹⁰⁾土壤養分含量，做為施肥之參考，並於整個試驗完畢後採取土壤剖面之土樣，探討各層次土壤性質之變化。

表一、各期作使用品種及肥料三要素量

Table 1. Varieties and amount nutrients used in the experiment

| 試驗地點 Location | 年期別 Year/ Crop | 水稻品種 Variety | 肥料用量 kg/ha Nutrients | | | 試驗地點 Location | 年期別 Year/ Crop | 水稻品種 Variety | 肥料用量 kg/ha Nutrients | | |
|------------------|----------------------|-----------------|-------------------------|-------------------------------|------------------|------------------|----------------------|-----------------|-------------------------|-------------------------------|------------------|
| | | | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | | | | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| 埔里 Puli | 66II | 臺南5號 | 105 | 43 | 66 | 后里 Houli | 66II | 臺南5號 | 110 | 45 | 84 |
| | 67I | " | 105 | 43 | 60 | | 67I | " | 105 | 48 | 60 |
| | 67II | " | 110 | 36 | 60 | | 67II | " | 110 | 45 | 60 |
| | 68I | " | 110 | 45 | 60 | | 68I | " | 110 | 45 | 60 |
| | 68II | " | 110 | 36 | 60 | | 68II | " | 110 | 45 | 60 |
| | 69I | " | 110 | 40 | 60 | | 69I | " | 110 | 60 | 60 |
| | 69II | " | 110 | 60 | 60 | | 69II | " | 110 | 60 | 60 |
| | 70I | " | 110 | 60 | 60 | | 70I | " | 120 | 60 | 60 |
| | 70II | 臺農67號 | 110 | 60 | 60 | | 70II | 臺農67號 | 110 | 60 | 60 |
| | 71I | " | 80 | 30 | 60 | | 71I | " | 120 | 60 | 60 |

結果與討論

一、試驗地土壤肥力分析結果之探討：兩試驗地土壤肥力分析結果如表二，可見兩處試驗田之土壤均屬強酸性而有效含矽量低。埔里試區之交換性鈣、鎂等離子比后里試區低落很多。黎氏⁽⁹⁾報告有效矽含量與土壤反應成正相關，與陽離子交換能量(C.E.C.)成負相關，本試驗兩試驗地土壤肥力分析結果與此相吻合，故堪做為試驗之代表。

表二、試驗地表土肥力概況

Table 2. Some soil properties of surface soil of the paddy field

| 地點 Location | 土類 Soil group | 質地 Texture | 酸鹼度 pH | 有機質 Organic matter % | 陽離子交 換 能 量 C.E.C me/100g | 交換性離子 me/100g | | | 還原性錳 Reducible Mn ppm | 有效性矽 Avail SiO ₂ ppm |
|----------------|---|---------------|-----------|-------------------------------|-----------------------------------|------------------|-----|------|--------------------------------|---------------------------------------|
| | | | | | | Ca | Mg | K | | |
| 埔里 Puli | 砂頁岩及粘板岩混合沖積土 Sand stone shale and slate alluvial soil | 坊質壤土 SiL | 4.8 | 4.2 | 6.9 | 1.5 | 0.3 | 0.04 | 2 | 21 |
| 后里 Houli | 粘板岩及紅壤混合沖積壤土 Red earth and slate alluvial soil | 壤土 L | 5.4 | 2.5 | 6.0 | 3.5 | 0.9 | 0.05 | 4 | 36 |

二、矽酸爐渣對當期作水稻之效果：本試驗自66年二期作開始，對施用爐渣之當期作先予檢討。由表三可看出矽酸爐渣施用對初期之生長即顯出效果，施用區之葉色較濃綠，生長勢較旺盛，插秧後40天調查結果可以看出株高在埔里試驗地之施用爐渣區較對照增加4.0~4.2公分，后里試驗地則增高0.9~1.2公分，而分蘖方面也略有增加，其增加幅度約為1支，此種情形一直維持到成熟期，但於施用量1.5公噸及30公噸間並無多大差別，而多施反而有較差的現象。成熟期在爐渣區株高較高，穗數也較多，且每穗粒數、千粒重、稔實率也都因爐渣之施用而得以提高，因而導致乾谷的產量增加，施用爐渣1.5公噸/公頃時，水稻乾谷產量埔里增加3.3%，后里增加6.6%，而施用3.0公噸/公頃時，兩地雖較對照區分別有2.9%及5.9%之增產，但增產幅度卻略較1.5公噸/公頃區為遜，故施用爐渣似以1.5公噸/公頃為宜，多施並無必要。若以兩地之土壤來看，埔里之土壤反應較后里為酸，而陽離子交換能量較大，有效性矽較低，照理施爐渣之效果應較明顯，但以增產百分率計算似以后里較大，此係埔里試驗地對照區產量已達6.7公噸之高產，想要再提高增產幅度，似不可能那麼容易僅靠施用矽酸爐渣一項即可達成之故。

表三、矽酸爐渣施用對當期作水稻生育之效果(66年二期作)

Table 3. The direct effect of slag application on paddy rice (2nd crop, 1997)

| 地點 Location | 處理 Treatment slag. t/ha | 40DAT a 生育調查 | | 成熟調查 | | 每穗粒數 No. grain per panicle | 千粒重 1000- grain wt | 稔實率 Filled grain percentage | 乾谷產量 | |
|----------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|-------|------------------|
| | | 株高 Plant ht | 分蘖 No. of tillers | 株高 Plant ht | 穗數 No. of tillers | | | | kg/ha | 指數 Index % |
| 埔里 Puli | 0 | 67.5 | 22.0 | 108.1 | 20.0 | 104 | 23.0 | 92.0 | 6,722 | 100.0 |
| | 1.5 | 71.5 | 23.0 | 111.3 | 22.0 | 107 | 24.0 | 93.2 | 6,942 | 103.3 |
| | 3.0 | 71.7 | 22.6 | 110.5 | 21.0 | 109 | 23.6 | 92.8 | 6,951 | 102.9 |
| 后里 Houli | 0 | 81.9 | 21.0 | 103.6 | 19.0 | 110 | 23.5 | 79.6 | 5,599 | 100.0 |
| | 1.5 | 82.8 | 22.0 | 104.6 | 20.0 | 113 | 24.0 | 85.1 | 5,968 | 106.6 |
| | 3.0 | 83.1 | 22.0 | 103.2 | 21.0 | 112 | 23.8 | 84.6 | 5,930 | 105.9 |

a: 40 DAT-移植後40天(40 days after transplanting).

三、連續施用矽酸爐渣對水稻生育及產量之效果：自66年二期作開始迄71年一期作，總計五年10期作在同一試區分別連續施用矽酸爐渣，結果如表四及表五，顯示連續施用矽酸爐渣對各期作水稻之產量有不一致的增產現象，但大致有累積增產之趨勢，埔里試區66 II期之增產率為2.9~3.3%，67 II期則為6.1~6.4%，68 II期為6.8~8.5%，69 II期為9.7~13.9%，70 II期為8.3~13.4%，而一期作也有此現象，67 I期增產率為6.0~14.3%，68 I期則達16.7~16.8%，而69 I期6.1~8.8%雖略為減少，但70 I期及71 I期分別達到15.8~18.8%及11.5~18.2%，由上述資料可看出，連續施用矽酸爐渣之效果有累積之現象，但到了第四年(8期作)之後，其增產效果已達飽和狀態，增產率最高達到18.8%以後不再繼續增加，第五年則有略為下降之趨勢。后里試區之情形與埔里略有不同，但從其第一期作之增產百分率中也可看出施用矽酸爐渣有累積之增產效果，且也是在連續施用第四年之後其效果明顯的降低，但其幅度相當的大，可能係后里試驗地之pH較高，有機質較低，C.E.C亦較低，土壤酸性被多量的矽酸爐渣中和後，引起營養不平衡之現象，至於二期作后里試區並無累積增產效果。於試驗結束後(71年12月)採取土壤剖面各層次之土壤分析⁽¹⁰⁾結果顯示(圖五、六)后里土壤在30公分以上為粘板岩沖積土，而以下為紅壤，其有效矽、交換性鋁、鈣、鎂及pH都有明顯差異，此是否與該土壤於連續施用爐渣後增產效果降低有關，值得探討。

表四、連續施用矽酸爐渣對各期作水稻之稻谷增產情形(增產百分率%)

Table 4. The effect of continuous application of slag on paddy rice during 1997 to 1982 (% yield increase)

| 地點 Location | 處理(爐渣) Treatment (slag) | 處理(爐渣) | | | | | | | | | | 平均 Mean |
|----------------|-------------------------------|--------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|------------|
| | | 66 II | 67 I | 67 II | 68 I | 68 II | 69 I | 69 II | 70 I | 70 II | 71 I | |
| 埔里 Puli | 1.5 t/ha | 3.3 | 6.0 | 6.1 | 16.7 | 6.8 | 6.1 | 9.7 | 15.8 | 8.3 | 11.5 | 8.8 |
| | 3.0 t/ha | 2.9 | 14.3 | 6.4 | 16.8 | 8.5 | 8.8 | 13.9 | 18.8 | 13.4 | 18.2 | 11.9 |
| 后里 Houli | 1.5 t/ha | 6.6 | 6.7 | 6.5 | 7.2 | 0.7 | 1.1 | 3.7 | 15.3 | 2.8 | 2.7 | 4.9 |
| | 3.0 t/ha | 5.9 | 11.3 | 5.8 | 16.5 | 1.8 | 4.6 | 5.2 | 18.7 | 6.8 | 4.4 | 7.5 |

表五、連續施用矽酸爐渣及期殘效對稻谷產量之效果

Table 5. Grain yields under continuous application and after interruption of slag in the I and II crops during 1977~1982

| 地點 Location | 處理(爐渣) Treatment (slag) | 稻谷產量 (kg/ha) Grain yield | | | | | | | | | | 平均 Mean |
|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
| | | 66II | 67I | 67II | 68I | 68II | 69I | 69II | 70I | 70II | 71I | |
| 埔里 Puli | 對照區(CK) | 6,722 | 5,678 | 5,058 | 5,429 | 6,505 | 6,082 | 5,035 | 4,838 | 6,224 | 6,026 | 5,760 |
| | 1.5t/ha 連用區 (Continued) | 6,942 | 6,023 | 5,367 | 6,335 | 6,945 | 6,454 | 5,524 | 5,600 | 6,741 | 6,720 | 6,265 |
| | 1.5t/ha 殘效區 (Interrupted) | — | — | — | — | — | — | 5,661 | 5,443 | 6,712 | 6,160 | 5,994 |
| | 3.0t/ha 連用區 (Continued) | 6,915 | 6,494 | 5,383 | 6,343 | 7,060 | 6,616 | 5,734 | 5,749 | 7,060 | 7,120 | 6,447 |
| | 3.0t/ha 殘效區 (Interrupted) | — | — | — | — | — | — | 5,570 | 5,441 | 6,737 | 6,400 | 6,037 |
| | 后里 Houli | 對照區(CK) | 5,599 | 5,253 | 5,822 | 4,835 | 6,975 | 7,150 | 6,775 | 5,157 | 7,029 | 6,439 |
| 1.5t/ha 連用區 (Continued) | | 5,968 | 5,607 | 6,199 | 5,184 | 7,025 | 7,225 | 7,025 | 5,948 | 7,227 | 6,614 | 6,402 |
| 1.5t/ha 殘效區 (Interrupted) | | — | — | — | — | — | — | 6,900 | 5,488 | 7,042 | 6,345 | 6,444 |
| 3.0t/ha 連用區 (Continued) | | 5,930 | 5,848 | 6,158 | 5,633 | 7,100 | 7,475 | 7,125 | 6,120 | 7,504 | 6,724 | 6,562 |
| 3.0t/ha 殘效區 (Interrupted) | | — | — | — | — | — | — | 7,050 | 5,964 | 7,073 | 6,388 | 6,619 |

兩地10期作平均(表六)之初期株高、分蘖、成熟期之株高、穗數、穗長、穗重、每穗粒數、千粒重、稔實率等均因施用矽酸爐渣而有較優的表現。乾谷產量施用矽酸爐渣1.5公噸/公頃平均較對照區增產6.8%，3.0%公噸/公頃增產9.7%，增產主要原因經施用矽酸爐渣與不施之對照統計分析測定結果(表七)，發現初期株高、分蘖、穗數、穗長、每穗粒數、稔實率均有顯著之增加，產量構成因素中以穗數及每穗粒數之增加最為突出。Yoshida⁽¹⁵⁾探求矽肥施用增產因素時認為對水稻後期生長之增進影響較大，而本試驗除與Yoshida之結論吻合外，並發現因施矽酸爐渣亦能明顯增進水稻初期之生長。

表六、連續施用矽酸爐渣對水稻之效果(兩地 5 年 10 期作平均增產百分率)

Table 6. The effect of continuous slag application on paddy rice (percentage of yield increase as mean of two places and 10 crops)

| 處理 Treatment | 分蘖期性狀 | | | 成熟期性狀 | | | | | | 乾谷產量 Grain yield | | 乾草產量 Straw yield | |
|--------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--|------------------------------------|--|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| | 株高 Plant ht (cm) | 分蘖 No. of tiller (支) | 株高 Plant ht (cm) | 穗數 No. of tiller (支) | 穗長 Length of panicle (cm) | 穗重 wt of panicle (gm) | 每穗粒數 No. grain per panicle (粒) | 千粒重 1000 grain wt (gm) | 稔實率 Filled grain percentage (%) | kg/ha | 指數 Index (%) | kg/ha | 指數 Index (%) |
| 對照 CK | 61.7 | 24.0 | 99.4 | 20.1 | 18.5 | 20.8 | 89 | 24.1 | 88.2 | 5,932 | 100.0 | 5,469 | 100.0 |
| 爐渣 slag 1.5t/ha | 64.6 | 25.0 | 102.5 | 21.0 | 19.0 | 22.2 | 94 | 24.6 | 89.7 | 6,334 | 106.8 | 5,889 | 107.7 |
| 爐渣 slag 3.0t/ha | 64.8 | 25.6 | 103.0 | 21.4 | 19.2 | 22.8 | 98 | 24.9 | 90.2 | 6,505 | 109.7 | 6,057 | 110.8 |

表七、矽酸爐渣對水稻農藝性狀、產量再成因素及產量之影響(T 值)

Table 7. The paired T test value for the effect of slag application on rice agronomic characteristics and yields

| 項目 Item | 生育初期性狀 | | | | 成熟期性狀 | | | | | 產量 | | |
|-----------------|-------------------|------------------------|-------------------|------------------------|-------------------------------|------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------|--|
| | 株高 Plant ht | 分蘖 No. of tiller | 株高 Plant ht | 穗數 No. of tiller | 穗長 Length of panicle | 穗重 wt of panicle | 每穗粒數 No. grain per panicle | 千粒重 1000 grain wt | 稔實率 Filled grain percentage | 乾谷 Grain yield | 乾草 Straw yield | |
| 3 ton/havs CK | ** | ** | ** | ** | | | | ** | | ** | ** | |
| | 8.154 | 6.670 | 5.336 | 6.187 | 4.663** | 5.098** | 7.662** | 4.953 | 4.293** | 8.911 | 6.616 | |
| 1.5 ton/havs CK | ** | ** | ** | ** | | | | ** | | ** | ** | |
| | 7.009 | 4.909 | 5.421 | 2.286 | 5.017** | 6.381** | 7.090** | 3.547 | 3.491** | 7.678 | 5.622 | |
| 3 ton/havs | | * | | ** | | | | * | | ** | ** | |
| 1.5 ton/ha | 1.499 | 2.145 | 1.219 | 5.453 | 2.283* | 2.664* | 4.098** | 2.457 | 1.158 | 4.868 | 2.605 | |

The remarks * & ** are statistically differences at 5% or 1% level, respectively.

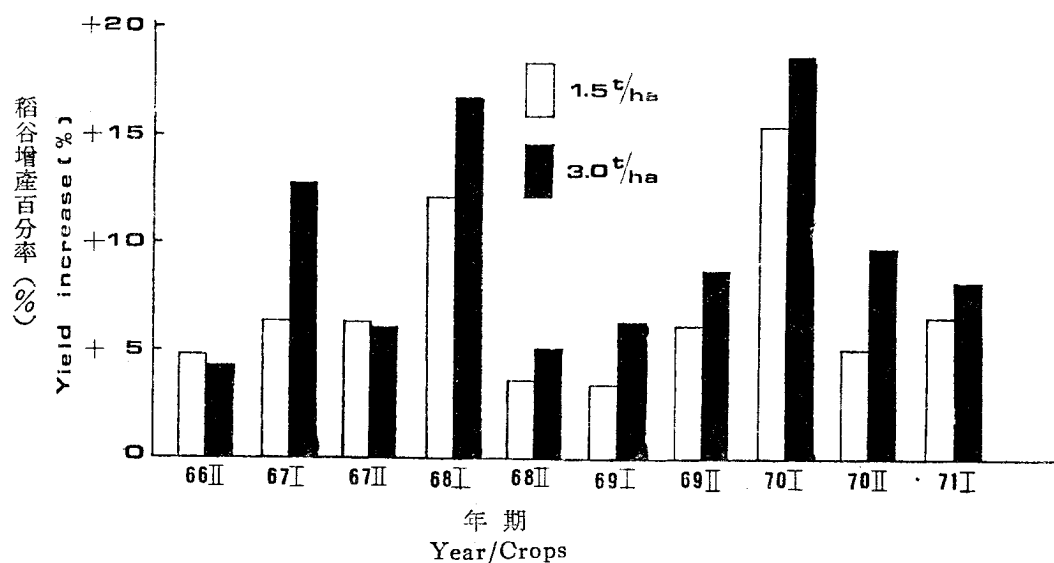
四、施用矽酸爐渣對不同期作水稻之效果：矽酸爐渣之施用對水稻之增產效果在一期作大於二期作，兩地5年平均(表八)施用1.5 t/ha區一期作平均增產率為8.5%，而二期作則僅為5.2%，3.0 t/ha區一期作增產率為12.7%，二期作也僅為6.9%。二期作初期生長之株高較一期作為高，但分蘖數則較少，可是每穗粒數及千粒重均較高，此可能導致乾谷產量二期作較一期作為高之主因。矽酸爐渣施用效果在一期作較大，連深氏⁽⁸⁾解釋為稻熱病發生而施用矽酸爐渣能抗病之緣故，但本試驗病蟲害控制得宜，田間調查並未發生嚴重之稻熱病，臺中地區

第一期作成熟期易受陰雨多，日光較少之影響，而施矽時可增加水稻葉片之直立性，提高光合作用，故增產效果大。兩期作分別求兩地之平均值予以比較時，僅69年二期作(69 II)之增產率略較69年一期作(69 I)之增產幅度大之現象(其實是69年一期作之增產百分率小的緣故)，其餘個別比較時，矽酸爐渣效果都是一期作較大，而二期作較小(圖一)。連續施用矽酸爐渣對水稻產量均有增加現象，累積施用量增加時，並沒造成有害的影響。后里及埔里剛開始那期作(66年II期)，矽酸爐渣之增產果均相當有限(最多僅6.6%)，但連續施用之翌年一期作(67年I期)則效果明顯，施用3.0 t/ha區之產量，兩地均較對照區增產達11%以上。

表八、施用矽酸爐渣對不同期作水稻之效果(兩處 5 年平均)

Table 8. Effect of slag application on different crops of paddy rice (mean of two places and 5 years)

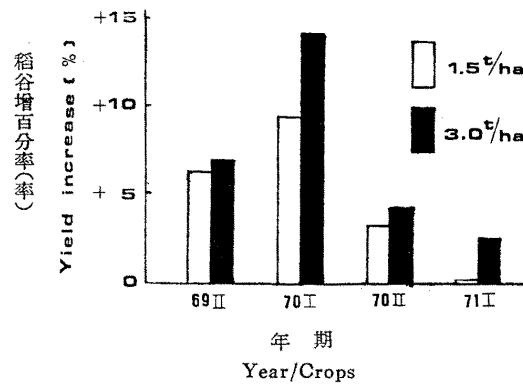
| 期作別 Crop | 處理(爐渣) Treatment (slag) | 生期初期 | | 成熟期 | | 穗長 Length of panicle (cm) | 穗重 wt of panicle (gm) | 每穗 粒數 No. grain per panicle (粒) | 千粒 重 1000 grain wt (gm) | 稔實率 Filled grain percentage (%) | 乾谷產量 Grain yield | |
|-------------|-------------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|---|--|---|---------------------|--------------------|
| | | 株高 Plant ht (cm) | 分蘗 No. of tiller (支) | 株高 Plant ht (cm) | 穗數 No. of tiller (支) | | | | | | kg/ha | 指數 Index (%) |
| 一期作 1st | 0 | 53.4 | 27.9 | 97.5 | 21.5 | 18.8 | 2.01 | 87 | 23.4 | 88.2 | 5,689 | 100.0 |
| | 1.5t/ha | 56.0 | 29.0 | 100.1 | 22.8 | 19.2 | 2.11 | 92 | 24.1 | 88.8 | 6,171 | 108.5 |
| | 3.0t/ha | 56.6 | 29.8 | 100.3 | 23.2 | 19.5 | 2.17 | 95 | 24.6 | 90.5 | 6,412 | 112.7 |
| 二期作 2nd | 0 | 69.9 | 20.5 | 101.9 | 18.7 | 18.3 | 2.16 | 91 | 24.8 | 88.1 | 6,174 | 100.0 |
| | 1.5t/ha | 72.6 | 21.1 | 105.1 | 19.3 | 18.9 | 2.23 | 97 | 25.2 | 90.5 | 6,496 | 105.2 |
| | 3.0t/ha | 73.0 | 21.3 | 105.8 | 19.5 | 18.7 | 2.38 | 100 | 25.4 | 89.9 | 6,597 | 106.9 |



圖一、連續施用矽酸爐渣對稻谷產量之效果。

Fig. 1. The effect of continuous application of slag the yield of rice grain.

五、矽酸爐渣之殘餘效果：矽酸爐渣連續3年6作以後停止施用，以觀察其殘餘效果，由圖二可以看出矽酸爐渣之殘餘效果甚佳，停施後第一作水稻產量，兩地平均有6.4% (1.5 t/ha)及6.9% (3.0 t/ha)之增產率，此種殘效繼續維持，停施後第三作僅增產3.4% (1.5 t/ha)及4.2% (3.0 t/ha)，比相對的第一作之增產率降低，而第四作之增產幅度僅0.3% (1.5 t/ha區)及2.6% (3.0 t/ha區)較相對的第二作效果來看，已有明顯的減少，而可判定殘留之效果經四作以後幾乎全部消失。



圖二、連續六作施用矽酸爐渣後對稻谷產量之殘效一兩試驗地平均(69年二期作起停施)。
Fig. 2. The residual effects of slag application on the yield of rice grain.

若以殘效之結果與連續施用之效果予以比較時，可明顯看出停施後第一、二作之殘效相當的大。兩處試驗地之殘餘效果表現略有不同(表九)，埔里試區之殘效較長，其第四作還有相當的殘效增產百分率，而后里試區則僅二作之殘效較為良好，其第三作以後則無效果可言。再看矽酸爐渣對秋裡作之旱作效果(表十)，69年玉米結果顯示連續施用矽酸爐渣區雖當期作沒有施用，但青刈玉米產量分別較對照區有4.6% (1.5 t/ha區)及7.7% (3.0 t/ha區)增產效果，而70年在埔里種植之紫雲英於1.5及3.0 t/ha矽酸爐渣施用區則較對照區分別增產86.7%及132.2%，效果非常的明顯。紫雲英為荳科綠肥作物，在本試驗中之反應特別顯著，矽酸爐渣除供應矽外，尚含有鈣、鎂等鹽基離子，對改善酸性土壤之酸鹼度，減少游離酸、鋁離子等之毒害，可能都有貢獻，致使紫雲英發育生長特別良好。

表九、連續施用三年六作後停施矽酸爐渣對水稻增產情形(增產百分率%)

Table 9. The residual effect of slag after 3 years/6 crops of continuous application (% yield increase)

| 地點 Location | 爐渣處理 (t/ha) Slag treatment | 69II | 70I | 70II | 71I | 平均 Mean |
|----------------|----------------------------------|------|------|------|------|------------|
| 埔里 Puli | 1.5 | 12.4 | 12.5 | 7.8 | 2.2 | 8.4 |
| | 3.0 | 10.6 | 12.5 | 8.4 | 6.2 | 9.2 |
| 后里 Houli | 1.5 | 1.9 | 6.4 | 0.2 | -1.5 | 1.5 |
| | 3.0 | 4.1 | 15.6 | 0.6 | -0.8 | 4.2 |

表十、矽酸爐渣對秋裡作玉米、紫雲英之效果

Table 10. Effect of slag application on fall-additional corn and milk vetch

| 處理(爐渣) Treatment (slag) | 玉米青刈產量 (kg/ha) Hay yield of corn (kg/ha) | | | | 紫雲英* Milk vetch | |
|-------------------------------|---|-------------|------------|----------------|--------------------|----------------|
| | 埔里 Puli | 后里 Houli | 平均 Mean | 指數(%) Index | kg/ha | 指數(%) Index |
| 對照區 (CK) | 5,960 | 10,280 | 8,120 | 100.0 | 12,750 | 100.0 |
| 1.5 t/ha 連用區 (Continued) | 6,400 | 10,580 | 8,490 | 104.6 | 23,800 | 186.7 |
| 1.5 t/ha 殘效區 (Interrupted) | 6,210 | 10,440 | 8,325 | 102.5 | 20,600 | 161.6 |
| 3.0 t/ha 連用區 (Continued) | 6,540 | 10,950 | 8,745 | 107.7 | 29,600 | 232.2 |
| 3.0 t/ha 殘效區 (Interrupted) | 6,260 | 10,800 | 8,530 | 105.0 | 22,750 | 178.4 |

註 (1)本裡作無施用矽酸爐渣，只觀察爐渣殘效對裡作之效果。

(2)*埔里一處。

六、矽酸爐渣施用對水稻病害發生之影響：為瞭解矽酸爐渣對水稻抵抗病害侵襲之效果，經於69、70及71年一期作實施田間調查發病情形，結果如表十一，顯示施用矽酸爐渣後水稻之罹病程度如紋枯病胡麻葉枯病等都有減輕之現象，兩地三年期平均結果，紋枯病之罹病率從對照之7.71%減為1.5 t/ha區的4.24%及3.0 t/ha區的3.42%，而胡麻葉枯病也從19.70% (對照區)減為9.81% (1.5 t/ha區)及7.55% (3.0 t/ha區)。葉稻熱病發生相當的輕微，矽酸爐渣施用區更未顯出顯著的罹病率。

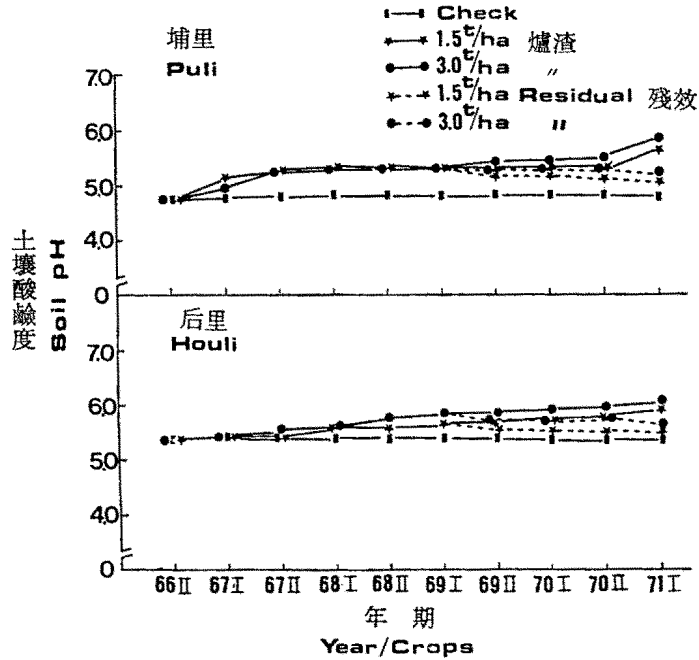
表十一、矽酸爐渣對水稻主要病害罹患之影響*(罹病率%)

Table 11. Effect of slag application on the degree of resistance of rice diseases (% occurrence)

| 處理(爐渣)Treatment (Slag) | 紋枯病 Sheath blight | 葉稻熱病 Leaf blast | 胡麻葉枯病 Brown spot |
|------------------------|-------------------|-----------------|------------------|
| 對照區(CK) | 7.71 | 1.40 | 19.70 |
| 1.5 t/ha 區 | 4.24 | 0.94 | 9.81 |
| 3.0 t/ha 區 | 3.42 | 0.71 | 7.55 |

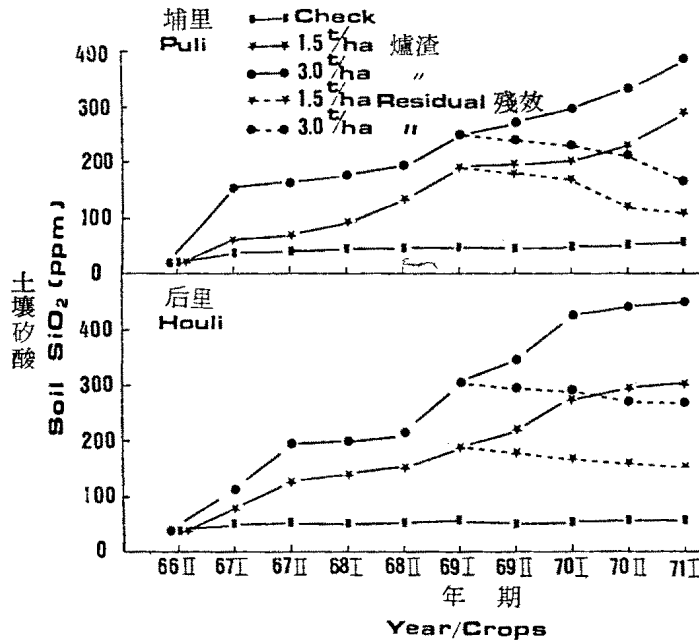
註 * 兩處 69.70.71 等三年平均值，每年調查第一期作，並根據臺灣省植物保護中心稻作罹病率調查方法調查。

七、矽酸爐渣對土壤性質之影響：矽酸爐渣除含有20~28%之氧化矽(SiO₂)外，尚鈣、鎂等鹽基離子，可以供應作物吸收利用，同時亦可中和土壤酸性，改善土壤之理化性質。本試驗連續五年10期作，矽酸爐渣數量累計最多的達30公噸/公頃。水稻收穫後採取表土(0~15公分)予以分析⁽¹⁰⁾，結果如圖三、四，顯示土壤之pH (酸鹼度)有逐漸提高之現象，埔里試區從原來的pH 4.8提高至pH 5.9，增加1.1個單位，而后里試區則從pH 5.4提高至pH 6.1，增加0.7個單位，另有效性氧化矽對含量亦逐年提高，增加之幅度則更為顯著，埔里試區從21 ppm提升至395 ppm，后里試區從36 ppm提升至453 ppm，施用矽酸爐渣可以直接提高矽之含量及酸鹼度，至為明顯。



圖三、矽酸爐渣之施用與土壤 pH 之關係。

Fig. 3. The changing of soil pH after slag application to each crop.



圖四、矽酸爐渣之施用與土壤 SiO₂ 之關係。

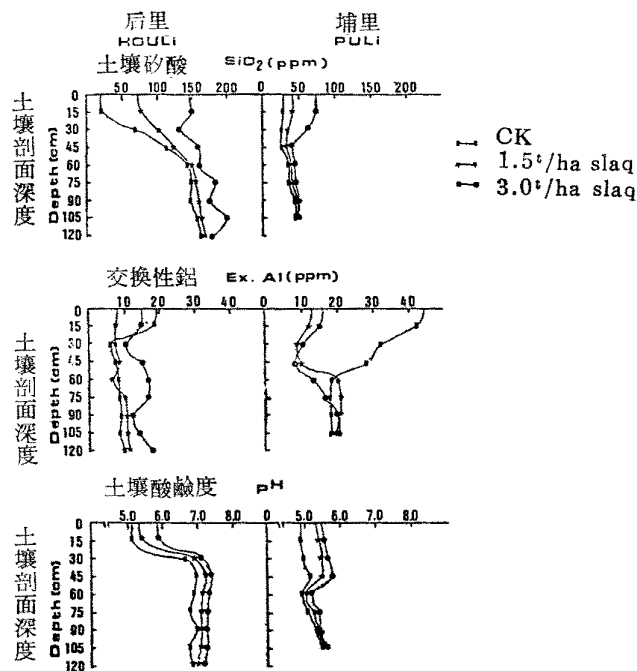
Fig. 4. The changing of available SiO₂ content after slag application to each crop.

由矽酸爐渣施用後提高有效性氧化矽之情形予以平均計算時，施用3.0 t/ha除供應水稻吸收利用，與被土壤固定以及部份淋失外，平均尚可提高土壤有效性氧化矽37.4 ppm (埔里)或41.7 ppm (后里)。后里之土壤其pH較高，可能為有效性氧化矽之累積量較埔里為多之理由。

69年II期開始將試區隔為兩半，一半繼續連續施用矽酸爐渣之試驗，另一半不再施用，以觀察矽酸爐渣之殘餘效果，顯示土壤中之pH、二氧化矽含量隨停施之期作而逐年下降。其中pH在停施後第四作雖已較連施區為低，但仍較對照區為高。矽之情形也有相同趨勢。明顯的看出因施用矽酸爐渣而增加之有效矽之殘留期間相當的長久。稻谷產量調查顯示后里之殘效在第二作以後已不明顯，原因如何有待進一步探討。

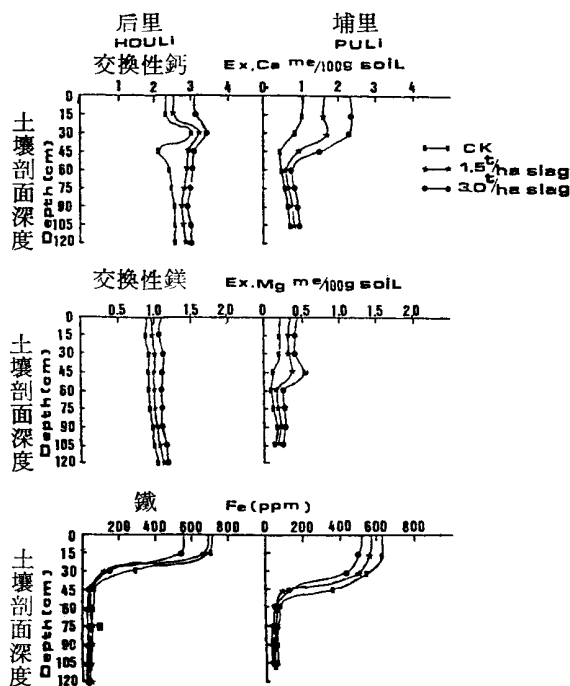
土壤剖面各層次土壤分析測定⁽¹⁰⁾結果可看出兩試驗區之性質頗有差異。后里試驗地之表土為粘板岩沖積土，其深度約在30公分左右，以下則為紅壤。而埔里試驗地之土壤則為砂岩、頁岩及粘板岩等之混合沖積土。此二種不同之土壤可能為影響矽酸爐渣效果之主要原因。

於試驗結束後(71年12月)採取土壤剖面各層次土壤分析結果如圖五、六，后里表土之pH較低，屬強酸性矽量低，而30公分以下則pH較為屬中性矽量多，都因施矽酸爐渣而提高，並表土提升之幅度較大，底土因原已中性，施用爐渣後，pH之提高不多，但變化深度可達120公分，顯示水田中鈣質的向下移動甚速。埔里試驗地之土壤pH表底層間相差不多，均為強酸性，爐渣中和土壤酸性之效果表底土均明顯，但祇達45公分之深度，表示大部份鈣質已在上層耗盡。交換性鈣在后里較在埔里之含量高，也是都在30公分以下逐漸減少，兩地含鎂的情形略與鈣一樣，而在剖面中則分佈較為均勻。矽酸爐渣之施用提高表土鈣、鎂兩種離子之含量較為明顯。土壤中鋁、鐵離子之量多時常影響作物之生長，矽酸爐渣之施用則可減少鋁、鐵離子之游離量，對免除毒害及阻礙植物吸收生長必需養分有頗大之意義。



圖五、土壤剖面中矽、鋁及 pH 之分佈情形(1982 年 12 月)。

Fig. 5. The distribution of SiO₂ Al and pH in soil profile after continued slag application (Dec. 1982).



圖六、土壤剖面中鈣、鎂、鐵之分佈情形(1982年12月)。

Fig. 6. The distribution of Ca, Mg, Fe in soil profile after continued slag application (Dec. 1982).

結 論

強酸性缺矽稻田施用矽酸爐渣，可提高土壤中有效矽酸含量，而改進水稻發育及產量。本試驗矽酸爐渣施用區其水稻株高，分蘖均有較對照區為優的表現，同時葉的顏色也較濃綠，此種生長優勢自生長初期即可看出，而一直維持至成熟期。酸性土壤施用矽酸爐渣後可能因降低酸度，使土壤生物之活動大增，而促進土壤氮素之礦質化作用，導致水稻氮吸收之增加。又矽酸營養之改進，可能提高稻根對氮之吸收率。

矽酸爐渣自第一次施用即顯出效果，連續施用可繼續保持增產，同時增產效果有愈大之趨勢。此種情形在連續施用高量(3.0 t/ha)爐渣之情況下可以看到，即連用四年八作時增產幅度方達飽和，但低量(1.5 t/ha) 使用之情況下，則無增產效果。

連續施用矽酸爐渣四年以後可維持殘效一年(二作)以上，第四作以後殘餘效果對稻谷對增產來看已完全消失，但土壤分析結果發現土壤中尚含有量之矽酸，此可以做為經濟施用矽酸爐渣之依據。施用矽酸爐渣亦可增加作物對病蟲害的侵襲發生抵抗性，進而節省農藥之使用，此種效果在本試驗中至為明顯。又爐渣因能中和土壤酸性，故對後作旱作，尤其豇科作物，如紫雲英之增產效果極大。總之矽酸爐渣實值得在強酸性缺矽土壤中推廣施用。

誌 謝

本文承蒙行政院農發會經費補助，謹誌謝忱。並承農發會蘇楠榮博士斧正，謹此致謝。

參考文獻

1. 五十八年二期作「矽酸鈣對水稻之效果試驗報告」，省農會 1970 油印報告。
2. 六十七年土壤肥料試驗、示範報告，省農林廳 1979 油印報告。
3. 六十八年土壤肥料試驗、示範報告，省農林廳 1979 油印報告。
4. 六十九年土壤肥料試驗、示範報告，省農林廳 1979 油印報告。
5. 林家棻 1967 臺灣省農田肥力測定，省農試所試驗報告28號 p.1-23。
6. 林國謙、連深、李蘭帝 1962 矽酸對於水稻產量之效應，農業研究 11 45-47。
7. 吳啓東、連深 1965 矽對於水稻之效應(第三報)，農業研究 14 45-48。
8. 連深 1963 矽對於水稻之效應(第二報)，農業研究 12 16-28。
9. 黎靜韻 1973 本省水稻田土壤有效矽與其他理化性質之研究，中華農業研究 25 273。
10. 張愛華 1981 作物需肥診斷技術-本省現行土壤測定方法，省農試所特刊第13號 p.9-26。
11. Bohn, Hinrich L, Brain L, Mcneal and George A O'connor. 1979. Soil Chemistry John Wiley & Sons, Inc.
12. Greenland, D. J. and M. H. B. Hayes. 1978. Soils and Soils Chemistry in "The Chemistry of Soil Constituents" edited by D. J. Greenland and M. H. B Hayes. John Wiley & Sons, Inc.
13. Lina, Shen. 1976. Silica fertilization of rice in "The Fertility of Paddy Soils and Fertilizer Application for Rice" ASPAC/FFTC, Taipei.
14. sommer, A. L. 1926. Studies concerning the essential ture of aluminum and silicon for Plant Growth, Univ. California, Public Agr, Sci. 5:27
15. Yoshida, Shouich. 1975. The physiology of silicon in rice, ASPAC/FFTC technical bulletin No. 25.

Studies on the Accumulative and Residual Effect of Slag Application on Paddy Rice¹

S. N. Huang, H. C. Huang and C. T. Wang²

ABSTRACT

A continuous experiment was carried out at Hou-Li and Pu-Li in which soil was in strongly acidic and low in available SiO₂ content during 1977~1982. Results showed that the initial application of slag caused an increase in grain yield of 3.3~6.5% (220~368 kg/ha) in the first crop. Continuous application resulted in better effects with yield increases ranging up to 18.8%. was found in continuous slag application treatment. On the average of two places and ten crops, application of 1.5ton/ha and 3.0ton/ha slag resulted in the grain yield higher by 6.8% (402 kg/ha) and 9.7% (573 kg/ha) than untreated control. As shown by the paired T test value, rice in the slag plots was significantly taller and larger tiller number at maximum tillering stage and more panicle, length of panicle, number of grain per panicle and filled-grain percentage at maturing stage.

The effect of slag application in the first crop was greater than in the second crop. During continuous application of slag in 6 crop seasons, clear residual effects were observed up to 4 crop seasons (2 years) at Pu-Li but only 2 crops seasons (1 year) at Houli. The effect of residul slag on the growth of milk vetch (*Astragalus sinicus*) was greater than that on corn (*Zea mays*). The slag could raise soil pH and increase the contents of available SiO₂, exchangeable Ca and Mg, and reduce the activities of Al and Fe ions. Moreover, the infection of blast (*Pyricularia oryzae*). Sheath blight (*Rhizoctonia solani*) and brown spot (*Cochliobolus miyabeanus*) was suppressed.

¹Contribution No. 0024 from Taichung DAIS.

²Associate Soil Specialist, Assistant and assistant Soil Specialist of Taichung DAIS, respectively.