

# 矽酸爐渣施用對酸性土壤及植體 重金屬含量之影響

羅秋雄

## 摘 要

本研究自 1993 年至 1998 年在本場紅壤及新竹酸性砂頁岩沖積土試驗田進行，主要在探討矽酸爐渣施用對土壤重金屬累積量及作物植體(食用部位)重金屬含量之影響，藉以界定矽酸爐渣適宜施用量。試驗處理，包括不施矽酸爐渣(對照)、每年施用矽酸爐渣 3 t/ha、隔年施用矽酸爐渣 3 t/ha。矽酸爐渣全量於每年秋裡作甘藍時撒施，並與土壤充分混合，第二作不再施用。試驗結果顯示，施用矽酸爐渣對甘藍及水稻具增產效應，青蔥則增產效果不顯著，尤其在軟腐病發生嚴重時甚至造成減產。施用矽酸爐渣可有效提高土壤之 pH 值約 0.5-1.5 單位，但會微量增加土壤可萃取性錳之含量，其他重金屬則無明顯影響。作物植體可食用部位之重金屬含量，除錳含量因施用矽酸爐渣而微量降低外，餘則不受影響。

關鍵詞：矽酸爐渣，水稻、甘藍及青蔥產量，重金屬含量。

## 前 言

矽酸爐渣之施用對作物產量及品質有提高之效果<sup>(3,4,6,7,9,10,11,17)</sup>，且為改善酸性土壤之優良石灰資材<sup>(5,6,12,20)</sup>，又因價格便宜及農政單位大力推廣，近年來農民已大量施用於水、旱田及果園土壤，每年推廣量約在 15,000 公噸以上<sup>(1)</sup>。矽酸爐渣為煉鋼廠之副產物，其化學成分複雜，除含矽酸鈣、鋁及鎂外，還含有少量之重金屬如鎳、鉻、鋅、銅、鎘及錳等<sup>(6)</sup>，部分學者認為長期施用有礙作物生長及降低品質之虞。矽酸爐渣可視為石灰質材料，惟大量施用後，將造成土壤 pH 值升高，重金屬(鋅、錳、銅等)的溶解度降低<sup>(2,6,21)</sup>。但其升高之幅度似不大，酸性水田土壤經施用矽酸爐渣後平均升高 0.4 至 0.8 單位<sup>(13)</sup>，長期多量施用是否會造成重金屬在土壤中累積，及其對重金屬之有效性與理化性質是否會造成影響，實為值得探討之問題。

## 材料及方法

### 一、田間試驗

本試驗於 1993-1998 年在桃園本場及新竹縣竹北市進行試驗。試驗田土壤，係桃園紅壤大竹圍

系及新竹砂頁岩沖積土內柵系，供試土壤之性質如表 1 所示。供試作物包括甘藍、水稻及青蔥，供試材料矽酸爐渣化學成分如表 2。耕作方式為桃園試區，秋裡作甘藍—一期水稻—夏季田菁；新竹試區，秋裡作甘藍—春作青蔥—夏季田菁。試驗處理，包括不施矽酸爐渣(對照)、每年施用矽酸爐渣 3 t/ha、隔年施用矽酸爐渣 3 t/ha，計三處理，採逢機完全區集設計，四重複，小區面積 18 m<sup>2</sup>。矽酸爐渣全量於每年第一作(秋裡作甘藍)種植前撒施，並充分與土壤混合。

表 1. 供試土壤條件

Table 1. General properties of experimental soils.

| 項目<br>Parameter               | 桃園紅壤<br>Taoyuan Redsoils | 新竹砂頁岩沖積土<br>Hsinchu Alluvialsoils |
|-------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| Series                        | Tw7 (大竹圍系)               | Ns5 (內柵系)                         |
| FCC                           | Chk                      | Lh                                |
| Texture                       | CL                       | L                                 |
| pH                            | 5.2                      | 6.1                               |
| O.M(%)                        | 1.79                     | 1.35                              |
| EC(mS/cm)                     | 0.17                     | 0.11                              |
| CEC(me/100gm)                 | 12.23                    | 11.82                             |
|                               | -----mg/kg-----          |                                   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 32                       | 106                               |
| K <sub>2</sub> O              | 130                      | 66                                |
| CaO                           | 1612                     | 3598                              |
| MgO                           | 222                      | 380                               |
| Fe <sup>2)</sup>              | 99                       | 618                               |
| Mn                            | 72                       | 77                                |
| Cu                            | 1.31                     | 2.44                              |
| Zn                            | 1.41                     | 4.22                              |
| Ni                            | 0.69                     | 1.35                              |
| Cr                            | 0.21                     | 0.47                              |
| Cd                            | 0.21                     | 0.12                              |

z) Fe, Mn, Cu, Zn, Ni, Cr, Cd 以 0.1M HCl 萃取。

表 2. 矽酸爐渣之化學成分表

Table 2. Chemical composition of silicate slag.

| 項目<br>Parameter                | 全量<br>Total (%) | 0.1M 鹽酸可溶性量<br>0.1M HCl Soluble (mg/kg) |
|--------------------------------|-----------------|---|
| SiO <sub>2</sub>               | 35.2            | —                                       |
| CaO                            | 38.7            | —                                       |
| MgO                            | 7.1             | —                                       |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.47            | —                                       |
| MnO                            | 0.35            | —                                       |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 16.8            | —                                       |
| Fe                             | —               | 1.44                                    |
| Mn                             | —               | 249                                     |
| Cu                             | 0.007           | 0.04                                    |
| Zn                             | 0.009           | 0.06                                    |

|    |       |      |
|----|-------|------|
| Cr | 0.007 | 0.20 |
| Ni | 0.006 | 0.14 |
| Cd | trace | 0.29 |

## 二、分析方法

土壤樣本經風乾、研磨及過篩後備用。土壤有機質含量以重鉻酸鉀氧化法<sup>(18)</sup>測定。土壤 pH 值以土/水=1/1 (W/V) 1 hr 平衡後 pH 計測定<sup>(18)</sup>。重金屬萃取與分析，秤 5 g 土壤，加 50 ml 0.1 M HCl 萃取劑，振盪過濾裝瓶，以原子吸光儀(AA)測定 Fe、Mn、Cu、Zn、Cr、Ni、Cd 等七種重金屬含量。重金屬全量分析用王水消化法<sup>(8)</sup>，秤 1.0-2.0 g(秤至 0.1 mg)土壤，加 10 ml 王水搖勻，加熱(95 °C) 回流 10-15 分，冷卻再加王水 5 ml，繼續回流 30 分，經過濾離心後，以原子吸光儀(AA)測定 Fe、Mn、Cu、Zn、Cr、Ni、Cd 等七種重金屬含量。植體重金屬萃取與分析秤取磨碎植體樣品 1 g，加入 1/3(v/v) = HNO<sub>3</sub>:HCl 混合液，靜置 12 hr，用分解爐分解，分解液定量至 50 ml 過濾裝瓶，以原子吸光儀(AA)測定 Fe、Mn、Cu、Zn、Cr、Ni、Cd 等七種重金屬含量。

# 結果與討論

## 一、矽酸爐渣施用對作物產量之效應

矽酸爐渣施用對甘藍、水稻及青蔥產量之影響如表 3。矽酸爐渣施用對甘藍及水稻兩試區均具增產效果，且連年施用矽酸爐渣 3 t/ha 之處理，較隔年施用 3 t/ha 之處理有較高增產幅度之趨勢。依據許多報告指出，矽酸爐渣施用對作物之產量、品質有提高之效果<sup>(3,4,6,7,9,10,11,17)</sup>，本試驗經六年之試驗也顯示同樣之結果。但矽酸爐渣施用對新竹試區春作青蔥並無明顯增產效果，甚至因施用矽酸爐渣導致軟腐病更形嚴重而減產，其原因係土壤 pH 值提高更適合軟腐病原菌的繁殖。

## 二、矽酸爐渣施用對土壤理化性質之效應

矽酸爐渣施用對土壤 pH 值及有機質含量之影響，如圖 1 及 2。兩試區土壤，無論每年或隔年施用矽酸爐渣 3 t/ha，均具有提高土壤 pH 值之效果，其提高幅度約在 0.5-1.5 單位，惟仍以每年施用矽酸爐渣者效果較佳(圖 1)。但，施用矽酸爐渣對土壤 pH 值的提升，卻因土壤質地及輪作系統不同而有差異。桃園試區為粘質壤土且行水旱田輪作，土壤 pH 值的提升幅度較小，而，新竹試區為壤土且連續旱作，土壤 pH 值的提升幅度則較大。本試驗經六年連續施用矽酸爐渣(每年 3t/ha)，土壤 pH 值提高幅度最高僅約 1.5 單位，因此，強酸性土壤必需連年施用，以達提高土壤 pH 值之目的。矽酸爐渣施用對土壤有機質之含量並無明顯影響(圖 2)，可見施用矽酸爐渣並不會加速促進土壤中有機物質之分解<sup>(3)</sup>，但此可能也與每年夏作種植田菁綠肥而提高土壤有機質含量有關。

## 三、矽酸爐渣施用對土壤重金屬累積之效應

矽酸爐渣施用對土壤重金屬累積之影響如圖 3 及 4 所示，矽酸爐渣施用，並未對土壤中鐵、銅、鋅、鎳、鉻及鎘等六種重金屬含量導致累積之情形，而錳在矽酸爐渣連續施用下有微幅累積之現象，但，也僅在 10-30 mg/kg 之間(圖 3、錳)。矽酸爐渣連續大量施用，會造成錳在土壤中微量累積，其主要原因，係由於矽酸爐渣含錳量高達 249 mg/kg (0.1 M HCl 萃取)之故。

(18)

桃園區農業改良場研究彙報第 38 號

表 3.

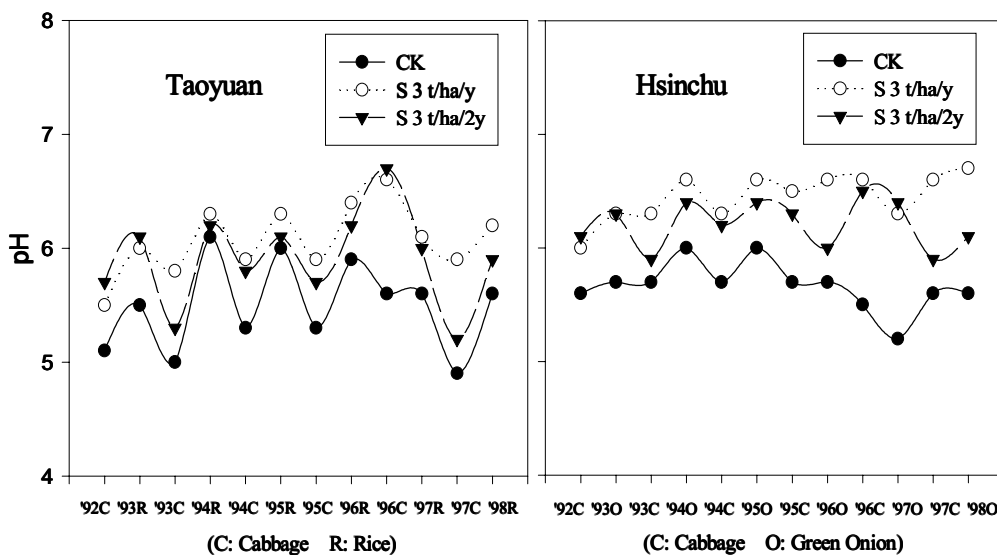


圖 1. 施用矽酸爐渣對土壤 pH 值之影響

Fig. 1. Change of soil pH in response to application silicate slag.

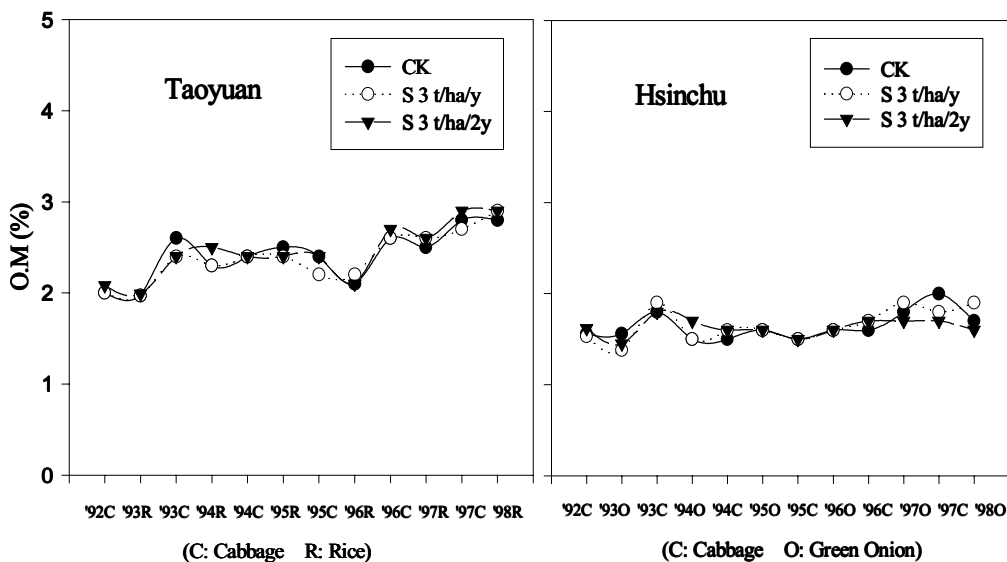


圖 2. 施用矽酸爐渣對土壤有機質含量之影響

Fig. 2. Change of soil organic matter content in response to application silicate slag.

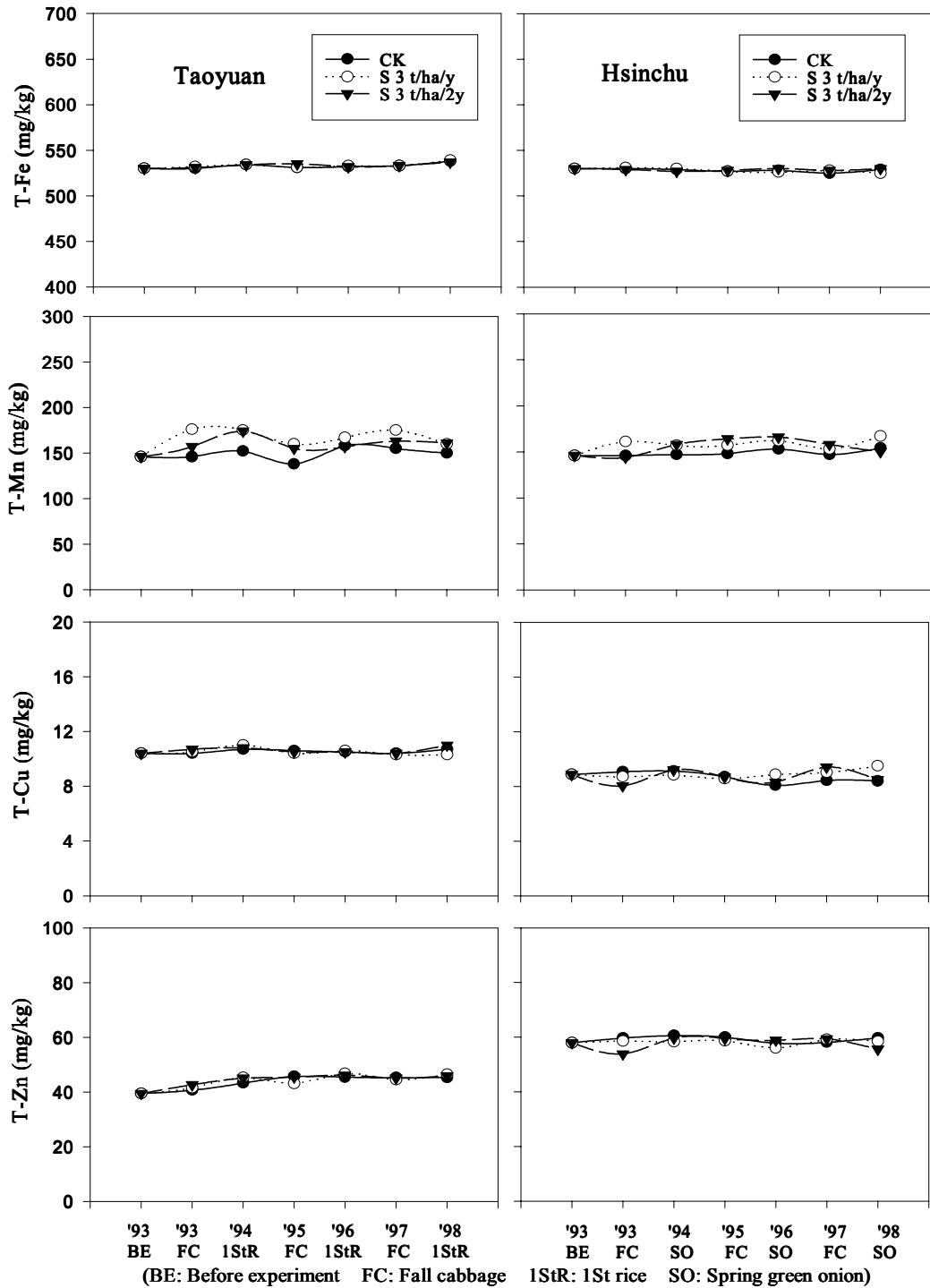


圖 3. 施用矽酸爐渣對土壤中鐵、錳、銅及鋅累積之影響

Fig. 3. Effect of application silicate slag on accumulation Fe, Mn, Cu and Zn of soils.

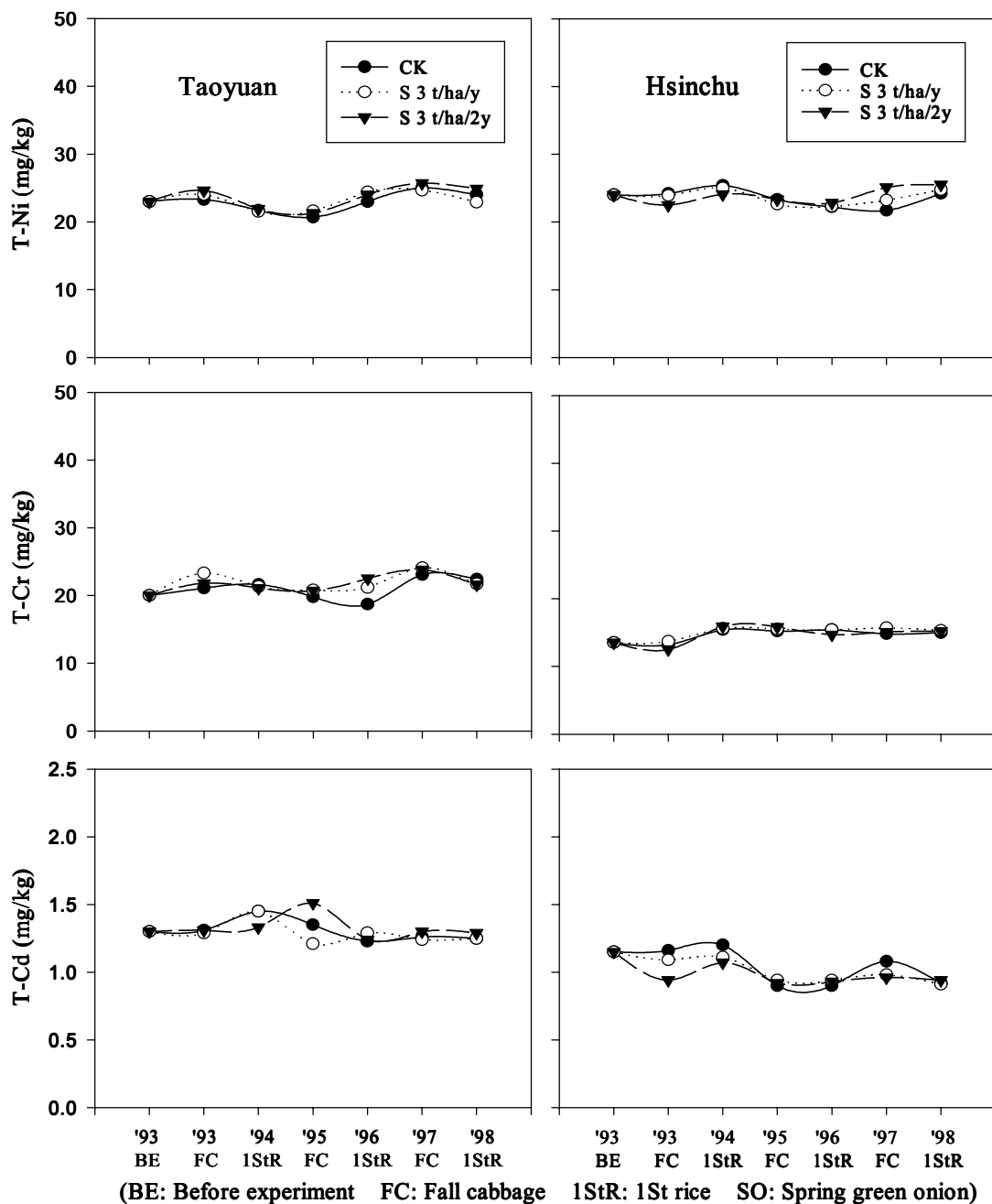


圖 4. 施用矽酸爐渣對土壤中鎳、鉻及銅累積之影響

Fig. 4. Effect of application silicate slag on accumulation Ni, Cr and Cd of soils.

#### 四、矽酸爐渣施用對土壤重金屬可溶性之效應

矽酸爐渣施用對土壤可萃取性鐵、錳、銅、鋅、鎳、鉻及鎘含量之影響如圖 5 及 6 所示。土壤中可萃取性鐵、銅、鋅、鎳、鉻及鎘含量，各處理間並未因施用矽酸爐渣而有提高之趨勢，即施用矽酸爐渣並不會影響土壤中可萃取性鐵、銅、鋅、鎳、鉻及鎘含量。至於土壤中可萃取性錳含量，則受施用矽酸爐渣影響而有微幅之提高(圖 5、錳)，而且每年施用較隔年施用有明顯提高之趨勢，此應與矽酸爐渣所含錳量(表 2)有關。就不同試區而言，新竹試區土壤中可萃取性錳含量較桃園試區明顯提高，其主要原因係受土壤 CEC、有機質、鋁氧化物含量及土壤質地等性質影響<sup>(14,15,19)</sup>。表 1 顯示新竹試區土壤 CEC、有機質含量及土壤質地，均較桃園試區低或屬粗質地，惟二試區各處理土壤中可萃取性錳之最高含量低於 120 mg/kg。

#### 五、矽酸爐渣施用對植體重金屬含量之效應

矽酸爐渣施用對植體(可食用部位) 鐵、錳、銅、鋅、鎳、鉻及鎘等重金屬含量之影響如圖 7 及 8 所示。作物植體鐵、銅、鋅、鎳、鉻及鎘等重金屬含量各處理間並未因施用矽酸爐渣而有提高之趨勢，而錳由圖 3(錳)得知土壤可萃取性錳含量會因施用矽酸爐渣而增加，但，並未反應至植體可食用部位，甚至略微降低吸收量，據 Kuo 等研究指出土壤重金屬全量及可萃取量，並不能預測在植體中的重金屬含量<sup>(16)</sup>，本研究也得到類似之結果。此外期作間作物種類及品種不同其對各種重金屬的吸收量也互有不同，惟處理間並無明顯差異。



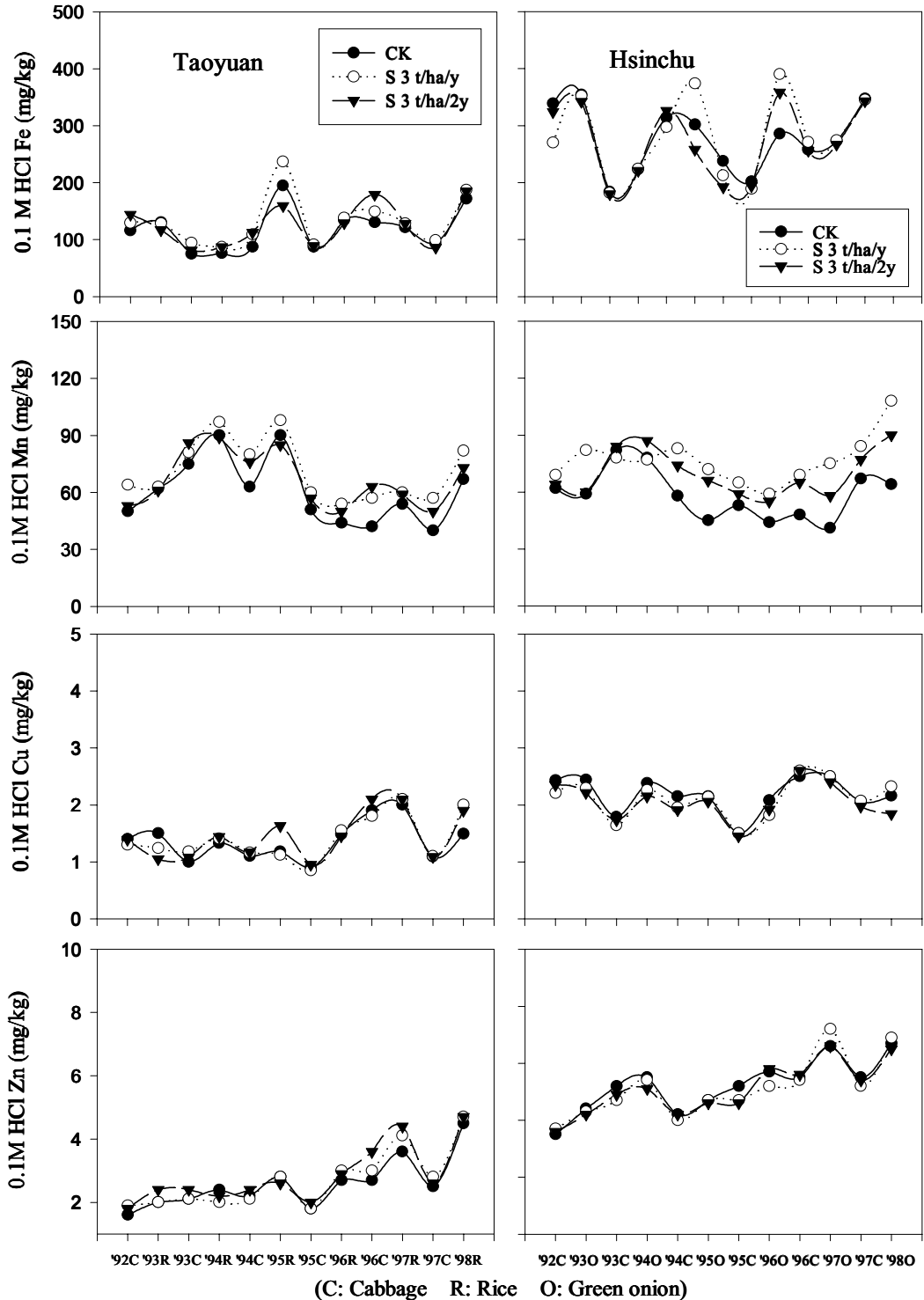


圖 5. 施用矽酸爐渣對土壤可萃取性鐵、錳、銅及鋅含量之影響

Fig. 5. Effect of application silicate slag on the extractable Fe, Mn, Cu and Zn of soils.

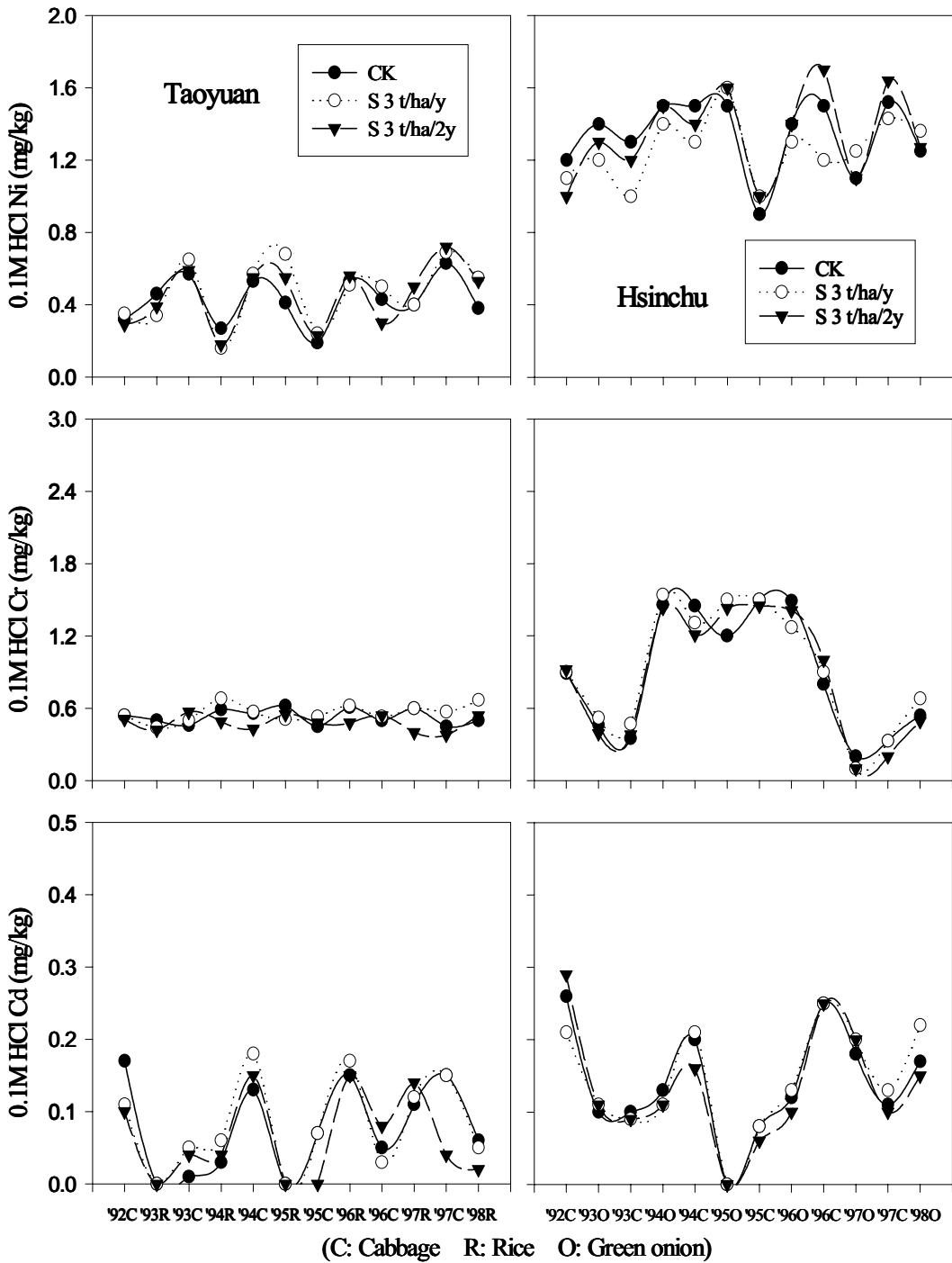


圖 6.施用矽酸爐渣對土壤可萃取性鎳、鉻及鎘含量之影響

Fig. 6. Effect of application silicate slag on the extractable Ni, Cr and Cd of soils.

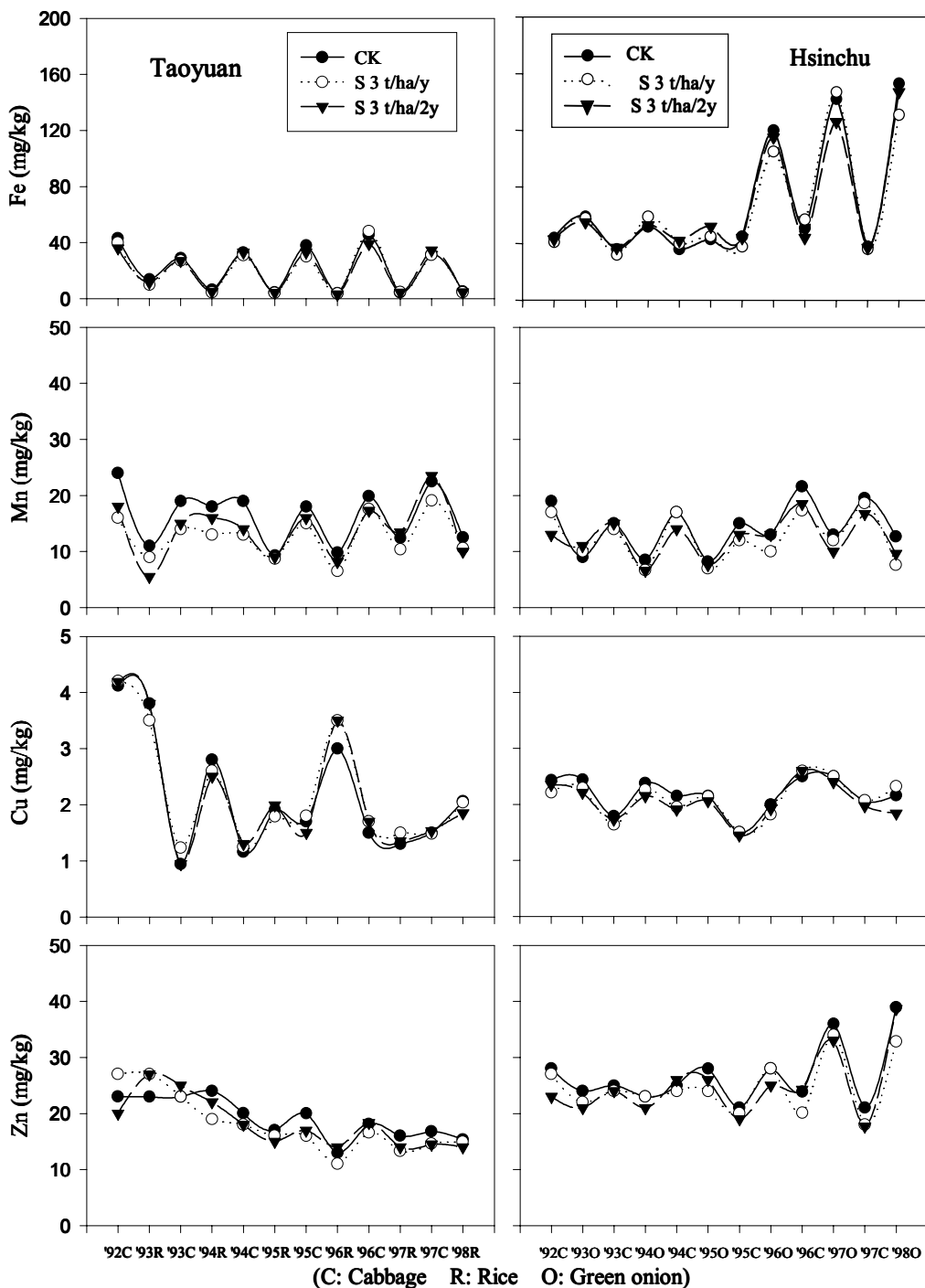
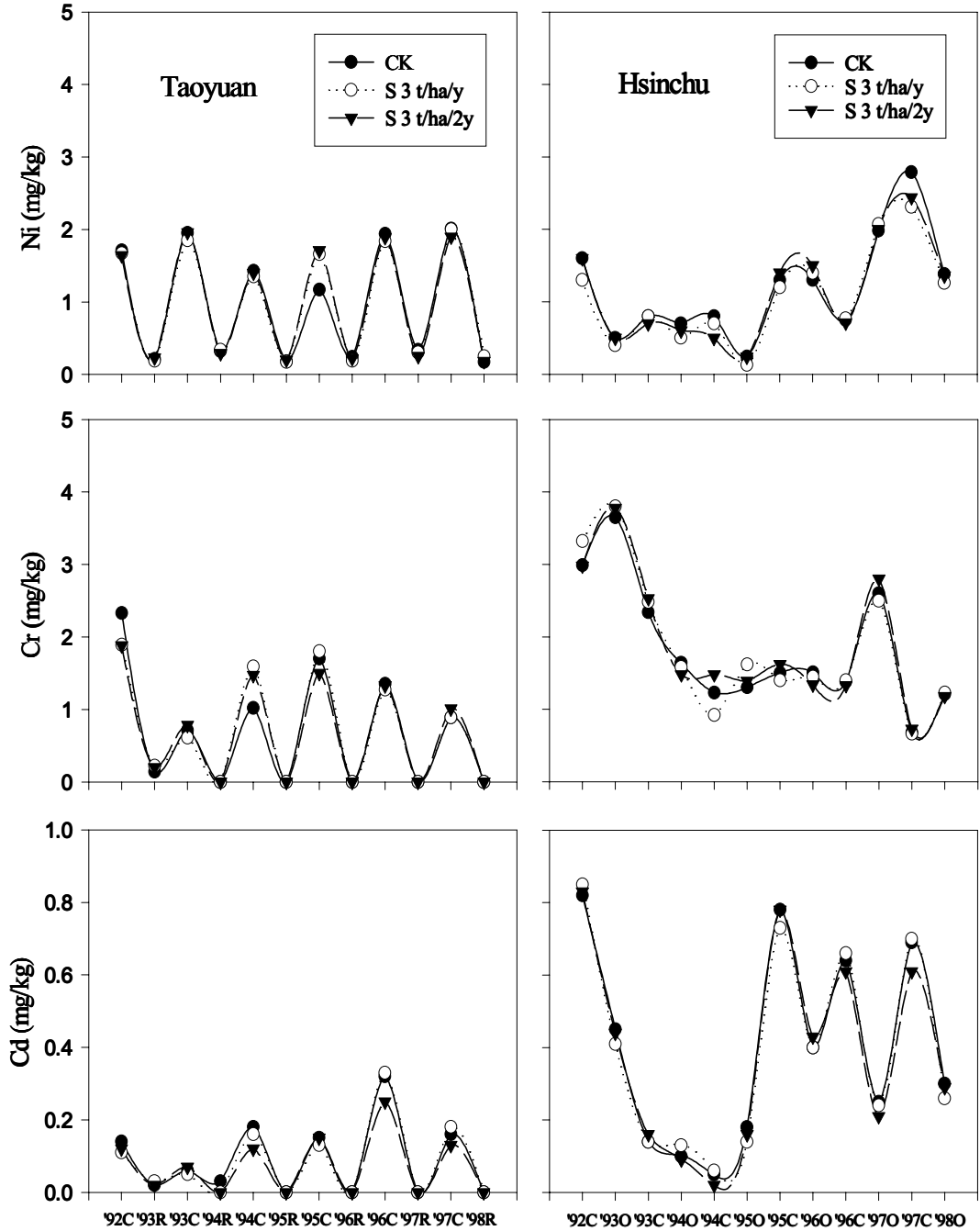


圖 7.施用矽酸爐渣對作物植體鐵、錳、銅及鋅含量之影響

甘藍：葉球；水稻：白米；青蔥：全株

Fig. 7. Effect of application silicate slag on Fe, Mn, Cu and Zn contents of plant.

Cabbage: leaf ball. Rice: polished rice.



(C: Cabbage R: Rice O: Green onion)

圖 8.施用矽酸爐渣對作物植體鎳、鉻及鎘含量之影響

甘藍：葉球；水稻：白米；青蔥：全株

Fig. 8. Effect of application silicate slag on Ni, Cr and Cd contents of plant.

Cabbage: leaf ball. Rice: polished rice.

## 誌 謝

本研究承行政院農業委員會經費補助，試驗期間李英彥及陳釗和先生協助田間管理及分析，文章蒙本場黃副場長益田斧正，謹致謝忱。

## 參考文獻

1. 台灣省政府農林廳。1998。八十七年度土壤肥料示範推廣計畫書。
2. 朱海鵬、章莉菁、吳文娟。1992。台灣地區土壤重金屬含量現況之分析及探討。第三屆土壤污染防治研討會論文集 p.1-14。
3. 江國忠。1988。強酸性土壤落花生施肥改進試驗 台灣省政府農林廳土壤肥料試驗報告 p.134-139。
4. 吳啓東、連 深。1965。矽對水稻之效應(第三報)。台灣農業研究 14(3): 45-48。
5. 連 深、王鐘和。1990。不同粒度爐渣對土壤反應、置換性鹽基及作物生長之效果。台灣省政府農林廳油印報告 p.1-13。
6. 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。
7. 連 深。1963。矽對水稻之效應(第二報)。台灣農業研究 2(3): 16-28。
8. 陸瑩 1990 土壤中重金屬標準檢驗方法之建立 行政院環保署計畫報告 (EPA-79-004-01-029)。
9. 陳富英。1990。營養管理對蓮霧品質改進之研究與葉片診斷標準之建立。國立中興大學土壤學研究所碩士論文。
10. 曾潤錦。1989。酸性土壤改良質材對甘藍產量及品質之影響。台灣省政府農林廳土壤肥料試驗報告 p.242-254。
11. 黃山內。1989。矽酸爐渣在農業生產上之應用。油印報告。
12. 黃俊銘、萬鑫森。1987。爐渣與飛灰對土壤表面電荷量之效應。中國農業化學會誌 25(4): 422-431。
13. 羅秋雄。1991。矽酸爐渣用量影響作物生長及植體重金屬含量之研究。國立中興大學土壤學研究所碩士論文。
14. Chang, A. C., A. L. Page, J. E. Warneke, M. R. Resketo, and T. E. Jones. 1983. Accumulation of cadmium and zinc in barley Grown on sludge-amended soils: A long-term field study. *J. Environ. Qual.* 12: 391-397.
15. Chaney, R. I., and S. B. Hornick. 1978. Accumulation and effects of cadmium on crops. In *Proc. 1st Int. Cadmium Conf., Met Bull., Ltd., London.* p.125-140.
16. Kuo, S., E. J. Jellum, and A. S. Baker. 1985. Effects of soil type, liming, and sludge application on zinc and cadmium availability to Swiss chard. *Soil Sci.* 139: 122-130.
17. Lian, S. 1976. Silica fertilization of rice. In the fertility of paddy soils and fertilizer application for rice. *ASPAC Food & Fert. Technol. Center, Taipei.*
18. Nelson, D. W., and L. E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In A. L. Page et al (ed.) *Methods of soil analysis, part 2.* 2nd ed. *Agronomy Monograph 9:* 539-579。
19. Sidle, R. C., J. E. Hook, and L. T. Kardos. 1977. Accumulation of heavy metals in soil as influenced by extended wastewater irrigation. *J. Water Pollut. Control Fed.* 49: 311-318.
20. 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.
21. 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: 2647-2660.

# Effect of Application of Silicate Slag on the Heavy Metal Contents of Acid Soil and Plants

Chiu-Shyong Lo

## Summary

Experiments were conducted to determine the effects of application silicate slag on the heavy metal contents of soil and plant during 1993 to 1998 at Tayoung District Agricultural Improvement Station and Hsinchu. Silicate slag was applied at 0, 3 t/ha annually and 3 t/ha biennially. The cropping sequence was rice (in spring), cabbage (in fall) and green onion (in spring). The whole amount of silicate slag was completely mixed with soil before planting the first crop of cabbage.

The yield of cabbage and rice was increased by the application of silicate slag, but the yield of green onion was decreased due to the severe occurrence of soft rot. The soil pH value increased by 0.5-1.5 unit in plots applied with silicate slag. Extractable in the soil Mn content also increased slightly. The content of Mn in the plant tissue was slightly decreased with increasing silicate slag application rates.

Key words: Silicate slag. Yield of Rice, cabbage and green onion. Heavy metal Content.

表 3. 施用矽酸爐渣對水稻、甘藍及青蔥產量之效應

Table 3. Effect of application silicate slag on the yield of rice, cabbage and green onion.

| 試區<br>Local           | 作物別<br>Crops                  | 處理<br>Treatment <sup>1)</sup> | 產量<br>Yield (t/ha)  |                   |                    |                   |                   |                   | 平均<br>Average<br>(t/ha) | 指數<br>Index<br>(%) |      |
|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|--------------------|------|
|                       |                               |                               | 1992                | 1993              | 1994               | 1995              | 1996              | 1997              |                         |                    | 1998 |
| 桃園<br>Taoyuan<br>area | 秋裡作甘藍<br>Fall cabbage         | T <sub>1</sub>                | 25.2 <sup>b2)</sup> | 30.1 <sup>a</sup> | 37.5 <sup>b</sup>  | 28.4 <sup>b</sup> | 29.2 <sup>a</sup> | 30.3 <sup>b</sup> | 30.1                    | 100                |      |
|                       |                               | T <sub>2</sub>                | 29.1 <sup>a</sup>   | 30.3 <sup>a</sup> | 38.5 <sup>ab</sup> | 29.8 <sup>a</sup> | 29.7 <sup>a</sup> | 33.1 <sup>a</sup> | 31.8                    | 106                |      |
|                       |                               | T <sub>3</sub>                | 25.8 <sup>b</sup>   | 30.2 <sup>a</sup> | 40.0 <sup>a</sup>  | 30.1 <sup>a</sup> | 29.9 <sup>a</sup> | 32.6 <sup>a</sup> | 31.4                    | 104                |      |
|                       | 一期水稻<br>1st rice              | T <sub>1</sub>                |                     | 6.2 <sup>b</sup>  | 3.9 <sup>b</sup>   | 4.3 <sup>b</sup>  | 5.0 <sup>a</sup>  | 4.7 <sup>a</sup>  | 4.4 <sup>a</sup>        | 4.75               | 100  |
|                       |                               | T <sub>2</sub>                |                     | 6.5 <sup>a</sup>  | 4.4 <sup>a</sup>   | 4.5 <sup>a</sup>  | 5.2 <sup>a</sup>  | 4.8 <sup>a</sup>  | 4.5 <sup>a</sup>        | 4.98               | 105  |
|                       |                               | T <sub>3</sub>                |                     | 6.3 <sup>ab</sup> | 4.0 <sup>b</sup>   | 4.6 <sup>a</sup>  | 5.1 <sup>a</sup>  | 4.9 <sup>a</sup>  | 4.4 <sup>a</sup>        | 4.88               | 103  |
| 新竹<br>Hsinchu<br>area | 秋裡作甘藍<br>Fall cabbage         | T <sub>1</sub>                | 54.7 <sup>b</sup>   | 54.2 <sup>a</sup> | 45.5 <sup>b</sup>  | 63.5 <sup>a</sup> | 64.4 <sup>b</sup> | 53.5 <sup>a</sup> | 56.0                    | 100                |      |
|                       |                               | T <sub>2</sub>                | 60.5 <sup>a</sup>   | 54.5 <sup>a</sup> | 51.5 <sup>a</sup>  | 64.6 <sup>a</sup> | 68.6 <sup>a</sup> | 54.0 <sup>a</sup> | 59.0                    | 105                |      |
|                       |                               | T <sub>3</sub>                | 58.4 <sup>a</sup>   | 54.4 <sup>b</sup> | 48.2 <sup>b</sup>  | 64.7 <sup>a</sup> | 67.9 <sup>a</sup> | 54.7 <sup>a</sup> | 58.1                    | 104                |      |
|                       | 春作青蔥<br>Spring green<br>onion | T <sub>1</sub>                |                     | 27.2 <sup>a</sup> | 35.7 <sup>a</sup>  | 20.0 <sup>a</sup> | 24.7 <sup>a</sup> | 34.8 <sup>a</sup> | 34.2 <sup>b</sup>       | 29.4               | 100  |
|                       |                               | T <sub>2</sub>                |                     | 29.0 <sup>a</sup> | 36.1 <sup>a</sup>  | 14.4 <sup>b</sup> | 23.9 <sup>a</sup> | 35.9 <sup>a</sup> | 35.9 <sup>a</sup>       | 29.2               | 99   |
|                       |                               | T <sub>3</sub>                |                     | 28.9 <sup>a</sup> | 35.9 <sup>a</sup>  | 14.2 <sup>b</sup> | 26.0 <sup>a</sup> | 34.2 <sup>a</sup> | 34.3 <sup>b</sup>       | 28.9               | 98   |

1) T<sub>1</sub> : CK, T<sub>2</sub> : Silicate slag 3 t/ha/y, T<sub>3</sub> : Silicate slag 3 t/ha/2y.

2) Means followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by Duncan's new multiple range test.