

# 長期施用牛糞堆肥對土壤重金屬之累積效應 及適宜施用量評估

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。主要在探討長期施用牛糞堆肥對土壤理化性及重金屬累積量之影響，藉以評估牛糞堆肥之適宜施用量。以牛糞堆肥施用與否及每年或隔年施用為處理。牛糞堆肥全量於每年秋裡作甘藍時撒施並與土壤混合，第二作不再施用。試驗結果顯示，施用牛糞堆肥及矽酸爐渣對甘藍及水稻均具增產之效應，對青蔥雖亦具增產效果，但，軟腐病發生嚴重時可造成減產。施用矽酸爐渣可提高土壤之 pH 值，施用牛糞堆肥則微幅提高土壤 pH 值及增加土壤有機質含量。施用牛糞堆肥會造成鋅在土壤中的累積及增加可萃取性錳、鋅及鎳的含量。牛糞堆肥適宜施用量為 265 t/ha，惟應避免連年過量施用，以避免農田土壤的鋅污染。

關鍵詞：牛糞堆肥、土壤、重金屬、適宜施用量。

## 前 言

台灣地區由於經濟的快速發展，國民生活水平逐年提高，相對的肉類食品需求量也日益增加，使得畜產業在過去幾年蓬勃發展，而每年產生的禽畜排糞量 762 萬餘公噸(固形物量約近 300 萬公噸)，其中牛糞約有 100 萬公噸<sup>(9)</sup>。自古以來，牛糞即為作物栽培的肥料重要來源，牛糞製成堆肥施用於農田確可改善土壤理化性、土壤肥力、增加作物產量及品質<sup>(3,18,22,26,28,31)</sup>。依據調查，市售牛糞堆肥含多種重金屬如銅(14-225 mg/kg)、鋅(51-308 mg/kg)、鉻(3.1-314 mg/kg)、鎘(0-3.7 mg/kg)、鎳(4.3-18.6 mg/kg)等<sup>(6)</sup>，大量施用可能造成土壤重金屬的累積<sup>(12,19,23)</sup>，如按理論推估，土壤合理豬糞堆肥施用量為 250 t/ha<sup>(12)</sup>，牛糞堆肥是否也可如此大量施用，尚有待商榷，而且，在不同土壤、輪作系統及種植作物種類情形下，長期大量施用牛糞堆肥對土壤重金屬的累積量與推估理論值是否相符，實有必要長期試驗觀察加以探討。

## 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。試驗田土壤為桃園紅壤大竹園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。供試作物包括水稻、甘藍及青蔥。供試材料牛糞堆肥及矽酸爐渣，其成分如表 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。試驗處理為每年施用牛糞堆肥 20 t/ha、每年施用牛糞堆肥 20 t/ha 及矽酸爐渣 3 t/ha、每二年施用牛糞堆肥 20 t/ha 及矽酸爐渣 3 t/ha 及對照，計四處理，採逢機完全區集設計，四重複，小區面積 18 m<sup>2</sup>。牛糞堆肥及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 Parameter	桃 園 紅 壤 Taoyuan red soils	新竹砂頁岩沖積土 Hsinchu alluvial soils
Serries	Tw <sub>7</sub>	Ns <sub>5</sub>
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 (cmol/kg)	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>z)</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 0.1 M HCl 萃取。

表 2. 牛糞堆肥及矽酸瀘渣化學成分表

Table 2. Chemical composition of cattle dung compost and silicate slag.

項 目 Parameter	Total (%)		0.1 M HCl Soluble (mg/kg)	
	矽酸瀘渣 Silicate slag	牛糞堆肥 Cattle dung compost	矽酸瀘渣 Silicate slag	牛糞堆肥 Cattle dung compost
O.M (%)	-	52.8	-	-
SiO <sub>2</sub>	35.2	-	-	-
CaO	38.70	2.11	-	-
MgO	7.10	0.84	-	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.47	0.09	-	-
MnO	0.35	0.11	-	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.8	-	-	-
Fe	-	-	1.44	11.80
Mn	-	-	249	348
Cu	0.007	0.005	0.040	1.730
Zn	0.009	0.109	0.060	150.000
Cr	0.007	0.005	0.200	2.410
Ni	0.006	0.003	0.140	2.290
Cd	trace	trace	0.290	0.350

## 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>(29)</sup>測定。土壤 pH 值以土/水 = 1/1 (W/V) 一小時平衡後 pH 計測定<sup>(29)</sup>。重金屬萃取與分析，稱 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>(11)</sup>，稱 1.0-2.0 g (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。

## 結果與討論

### 一、長期施用牛糞堆肥對作物產量之效應

長期施用牛糞堆肥對甘藍、水稻、青蔥產量之效應如表 3。長期施用牛糞堆肥對甘藍及水稻兩試區均具增產效應，但同時每年施用牛糞堆肥 20 t/ha 及矽酸瀘渣 3 t/ha 之處理，較單施牛糞堆肥 20 t/ha 者並無加成之增產效果。依據許多報告指出牛糞堆肥及矽酸瀘渣之施用對作物之產量、品質有提高之效果<sup>(4,5,7,8,13,14,16,27)</sup>，本試驗經六年之試驗也顯示同樣之結果。但長期施用牛糞堆肥及矽酸瀘渣對新竹春作青蔥不同期作增產效果不一，甚至因施用牛糞堆肥及矽酸瀘渣導致軟腐病更形嚴重而減產，其真正原因何在仍需進一步探討。

表 3. 長期施用牛糞堆肥對作物產量之效應  
Table 3. Effect of long-term application cattle dung compost on the yield of crops.

試區 Local	作物 Crop	處理 Treatment <sup>2)</sup>	產量 Yield								平均 Average	指數 Index	
			1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1998			
桃園試區 Taoyuan area	秋裡作甘藍 Fall cabbage	T <sub>1</sub>	25.2 <sup>c y)</sup>	30.1 <sup>b</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>	29.6 <sup>a</sup>	31.3 <sup>ab</sup>	40.0 <sup>ab</sup>	35.9 <sup>a</sup>	29.7 <sup>a</sup>	33.4 <sup>a</sup>				33.3	111
		T <sub>3</sub>	26.8 <sup>b</sup>	31.1 <sup>ab</sup>	41.2 <sup>a</sup>	34.5 <sup>a</sup>	31.7 <sup>a</sup>	34.3 <sup>a</sup>				33.3	111
		T <sub>4</sub>	28.6 <sup>a</sup>	32.0 <sup>a</sup>	40.0 <sup>ab</sup>	33.4 <sup>a</sup>	31.2 <sup>a</sup>	32.9 <sup>ab</sup>				33.0	110
	一期水稻 1st rice	T <sub>1</sub>		6.2 <sup>b</sup>	3.9 <sup>c</sup>	4.3 <sup>b</sup>	5.0 <sup>a</sup>	4.7 <sup>c</sup>	4.4 <sup>b</sup>			4.75	100
		T <sub>2</sub>		6.8 <sup>a</sup>	4.3 <sup>b</sup>	4.5 <sup>ab</sup>	5.2 <sup>a</sup>	4.8 <sup>c</sup>	4.8 <sup>a</sup>			5.07	107
		T <sub>3</sub>		6.8 <sup>a</sup>	4.7 <sup>a</sup>	4.7 <sup>a</sup>	5.2 <sup>a</sup>	5.3 <sup>a</sup>	4.6 <sup>ab</sup>			5.22	110
		T <sub>4</sub>		6.7 <sup>a</sup>	4.0 <sup>c</sup>	4.5 <sup>ab</sup>	5.1 <sup>a</sup>	5.1 <sup>b</sup>	4.6 <sup>ab</sup>			5.00	105
新竹試區 Hsinchu area	秋裡作甘藍 Fall cabbage	T <sub>1</sub>	54.7 <sup>b</sup>	54.2 <sup>bc</sup>	45.5 <sup>c</sup>	63.5 <sup>b</sup>	64.4 <sup>b</sup>	53.5 <sup>a</sup>				56.0	100
		T <sub>2</sub>	60.6 <sup>a</sup>	56.4 <sup>ab</sup>	49.5 <sup>ab</sup>	65.7 <sup>ab</sup>	65.6 <sup>b</sup>	54.5 <sup>a</sup>				58.7	105
		T <sub>3</sub>	60.3 <sup>a</sup>	55.9 <sup>b</sup>	51.5 <sup>a</sup>	67.3 <sup>a</sup>	71.0 <sup>a</sup>	54.6 <sup>a</sup>				60.1	107
		T <sub>4</sub>	60.1 <sup>a</sup>	57.5 <sup>a</sup>	48.4 <sup>b</sup>	67.0 <sup>a</sup>	71.8 <sup>a</sup>	54.5 <sup>a</sup>				59.9	107
	春作青蔥 Spring green onion	T <sub>1</sub>		27.2 <sup>a</sup>	35.7 <sup>a</sup>	20.0 <sup>a</sup>	24.7 <sup>b</sup>	34.8 <sup>b</sup>	34.2 <sup>b</sup>			29.4	100
		T <sub>2</sub>		30.0 <sup>a</sup>	36.1 <sup>a</sup>	17.4 <sup>ab</sup>	29.4 <sup>a</sup>	36.9 <sup>a</sup>	36.9 <sup>a</sup>			31.1	106
		T <sub>3</sub>		29.0 <sup>a</sup>	35.5 <sup>a</sup>	16.0 <sup>b</sup>	25.3 <sup>b</sup>	37.0 <sup>a</sup>	37.0 <sup>a</sup>			30.0	102
		T <sub>4</sub>		28.3 <sup>a</sup>	35.5 <sup>a</sup>	13.1 <sup>c</sup>	24.8 <sup>b</sup>	34.8 <sup>b</sup>	34.8 <sup>b</sup>			28.6	97

z) T<sub>1</sub>: 對照(CK), T<sub>2</sub>: 牛糞堆肥(Cattle dung compost) 20 t/ha/y, T<sub>3</sub>: 牛糞堆肥(Cattle dung compost) 20 t/ha/y + 矽酸爐渣(Silicate slag) 3 t/ha/2y.

y) 同行英文字母相同者表示經鄧肯氏多變域測驗在 5%水準差異不顯著。

Means followed by the same letter are not significantly ( $p = 0.05$ ) different according to the LSD test.

## 二、長期施用牛糞堆肥對土壤理化性質之效應

長期施用牛糞堆肥及矽酸瀘渣對土壤 pH 值及有機質含量之效應，如圖 1 及 2。

### (一)對土壤 pH 值之效應

兩試區土壤表土經六年觀察結果；施用牛糞堆肥可微幅提高 pH 值約 0.2-0.5 單位，若同時施用矽酸瀘渣其提高幅度更大約 0.5-1.0 單位(圖 1)。但施用牛糞堆肥及矽酸瀘渣對土壤 pH 值的提升會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牛糞堆肥及矽酸瀘渣土壤 pH 值提高幅度最高也僅約 1.5 單位，因此強酸性土壤必需連年施用，以達提高土壤 pH 值的目的。

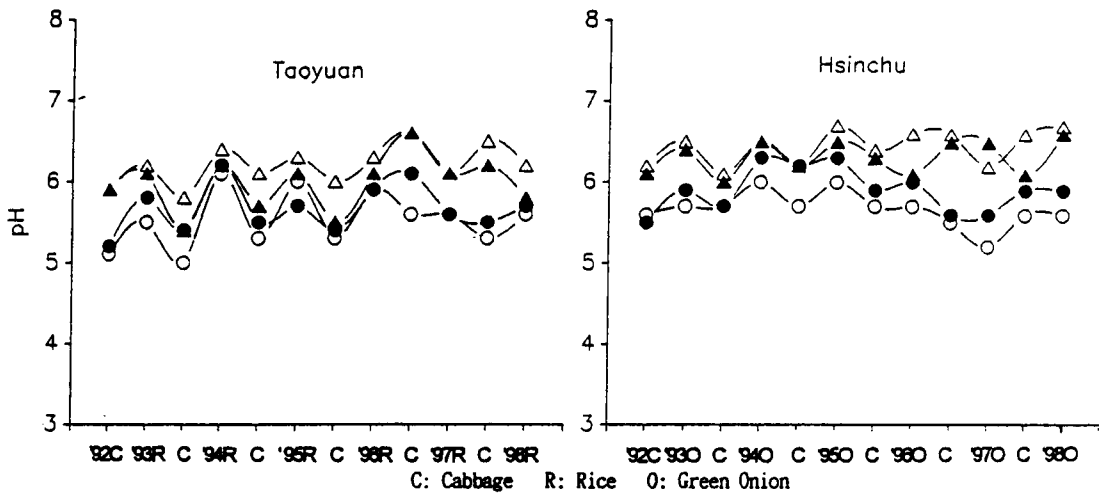


圖 1. 長期施用牛糞堆肥對土壤 pH 值之影響

Fig 1. Changes of soils pH in response to long-term application Cattle dung compost.

○-○: CK; ●-●: C 20 t/ha/y; △-△: C 20 + S 3 t/ha/y; ▲-▲: C 20 + S 3 t/ha/2y

### (二)對土壤有機質含量之效應

長期施用牛糞堆肥對土壤有機質含量均較不施用者明顯提高，提高幅度約 0.5-1.0 %，而以連年施用(20 t/ha)者提高幅度較大，但並未因連年施用使土壤有機質含量累積之現象(圖 2)，因此為維持土壤有機質含量每年應適量施用有機質肥料或利用休閒期栽植綠肥作物。另外長期並施牛糞堆肥及矽酸瀘渣處理對土壤有機質之含量並無明顯影響，可見施用矽酸瀘渣並不會加速促進土壤中有機物質之分解<sup>(20)</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。

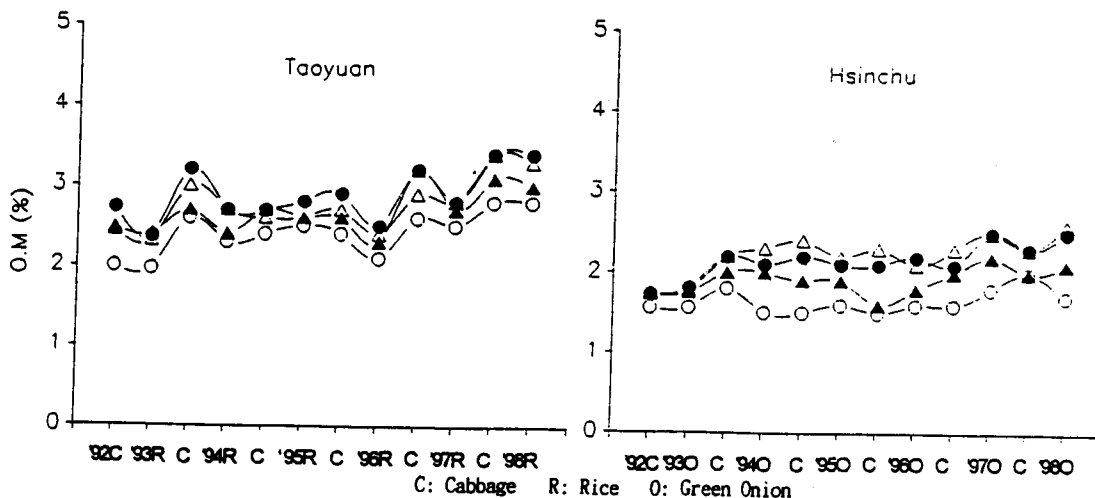


圖 2. 長期施用牛糞堆肥對土壤有機質含量之影響

Fig 2. Changes of soils organic matter content in response to long-term application cattle dung compost.

○-○: CK; ●-●: C 20 t/ha/y; △-△: C 20 + S 3 t/ha/y; ▲-▲: C 20 + S 3 t/ha/2y

### 三、長期施用牛糞堆肥對土壤重金屬累積之效應

牛糞堆肥長期施用對土壤重金屬累積之影響如圖 3 及 4，牛糞堆肥長期施用對土壤中鐵、錳、銅、鎳、鉻及鎘等六種重金屬含量並未發現有累積情形，但確會造成鋅在土壤中累積(圖 3、鋅)。長期大量施用牛糞堆肥會造成鋅在土壤中累積，鋅的主要來源係牛糞堆肥中鋅含量高達 0.11%(表 2)，然而鋅在土壤中的累積量會因土壤質地、輪作方式及種植作物的不同而有差異，新竹試驗區為全年旱田輪作土壤中鋅含量會因牛糞堆肥的施用而有微幅累積的現象，但桃園試驗區(本場)土壤中的鋅含量雖也因施用牛糞堆肥而升高，但並未發現有逐年累積之現象，其主要原因係與水旱田輪作中種植水稻植體大量吸收鋅有關(資料未顯示)。

### 四、長期施用牛糞堆肥對土壤重金屬可溶性之效應

長期施用牛糞堆肥對土壤可萃取性鐵、錳、銅、鋅、鎳、鉻及鎘含量之影響如圖 5 及 6。圖中顯示土壤中可萃取性鐵、銅、鉻及鎘含量並未因施用牛糞堆肥而有提高之趨勢，即施用牛糞堆肥並不會影響土壤中可萃取性鐵、銅、鉻及鎘含量。至於土壤中可萃取性錳、鋅及鎳含量則頗受施用牛糞堆肥之影響而提高。

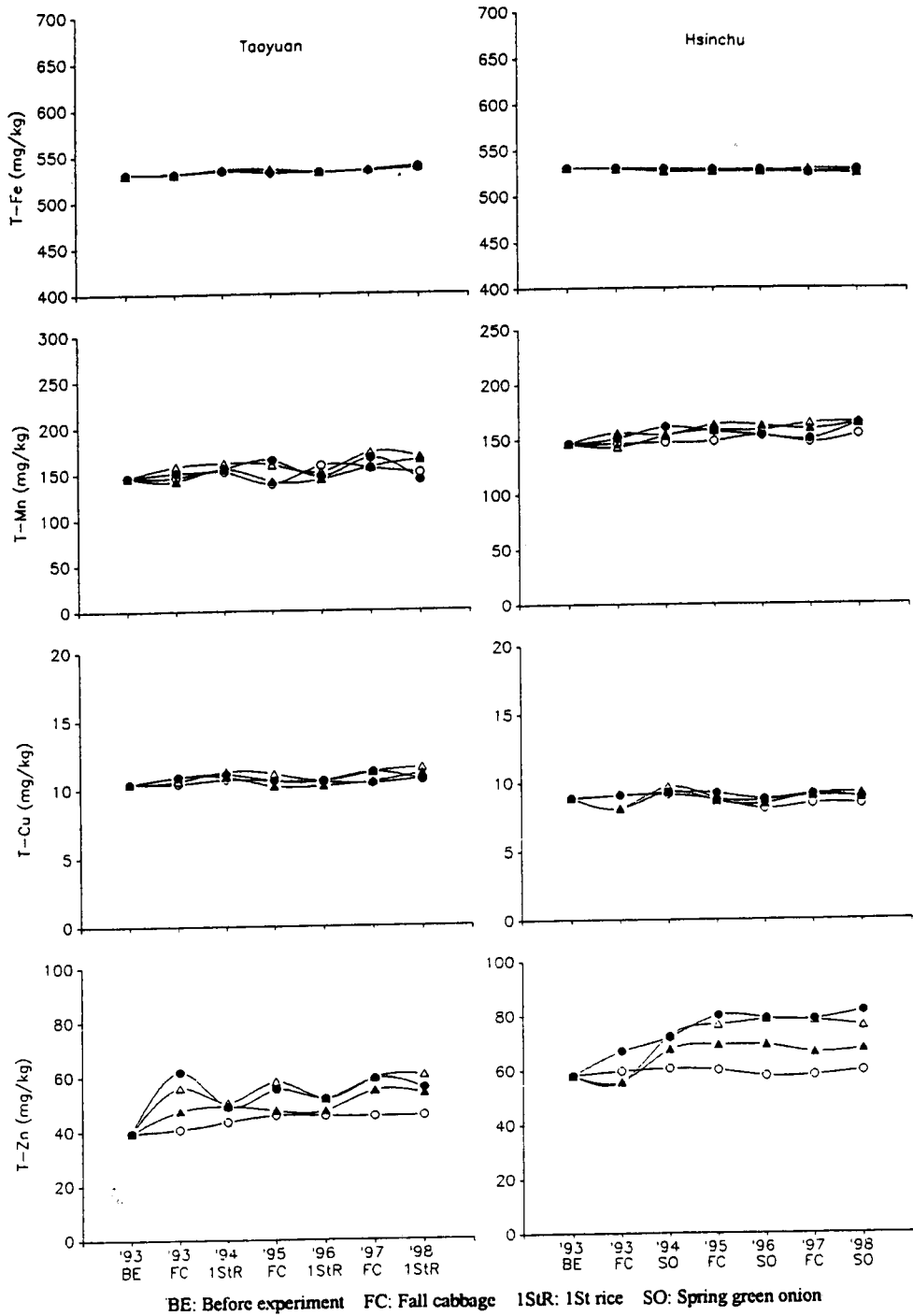


圖 3. 長期施用牛糞堆肥對土壤中鐵、錳、銅及鋅累積之影響

Fig 3. Effect of long-term application cattle dung compost on accumulation Fe, Mn, Cu and Zn of soils.

○-○: CK; ●-●: C 20 t/ha/y; △-△: C 20 + S 3 t/ha/y; ▲-▲: C 20 + S 3 t/ha/2y

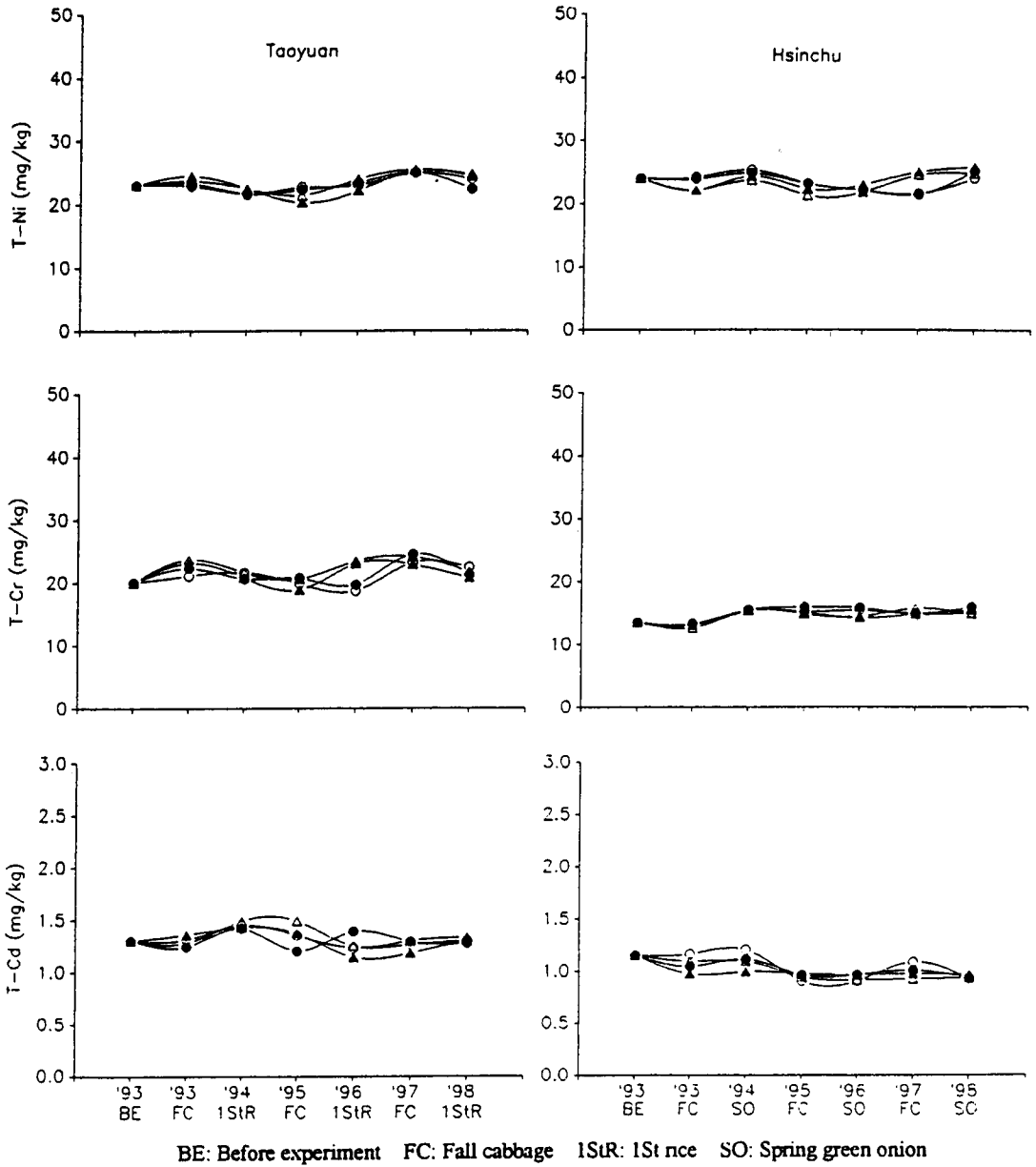


圖 4. 長期施用牛糞堆肥對土壤中鎳、鉻及鎘累積之影響

Fig 4. Effect of long-term application cattle dung compost on accumulation Ni, Cr, and Cd of soils.

○-○: CK; ●-●: C 20 t/ha/y; △-△: C 20 + S 3 t/ha/y; ▲-▲: C 20 + S 3 t/ha/2y



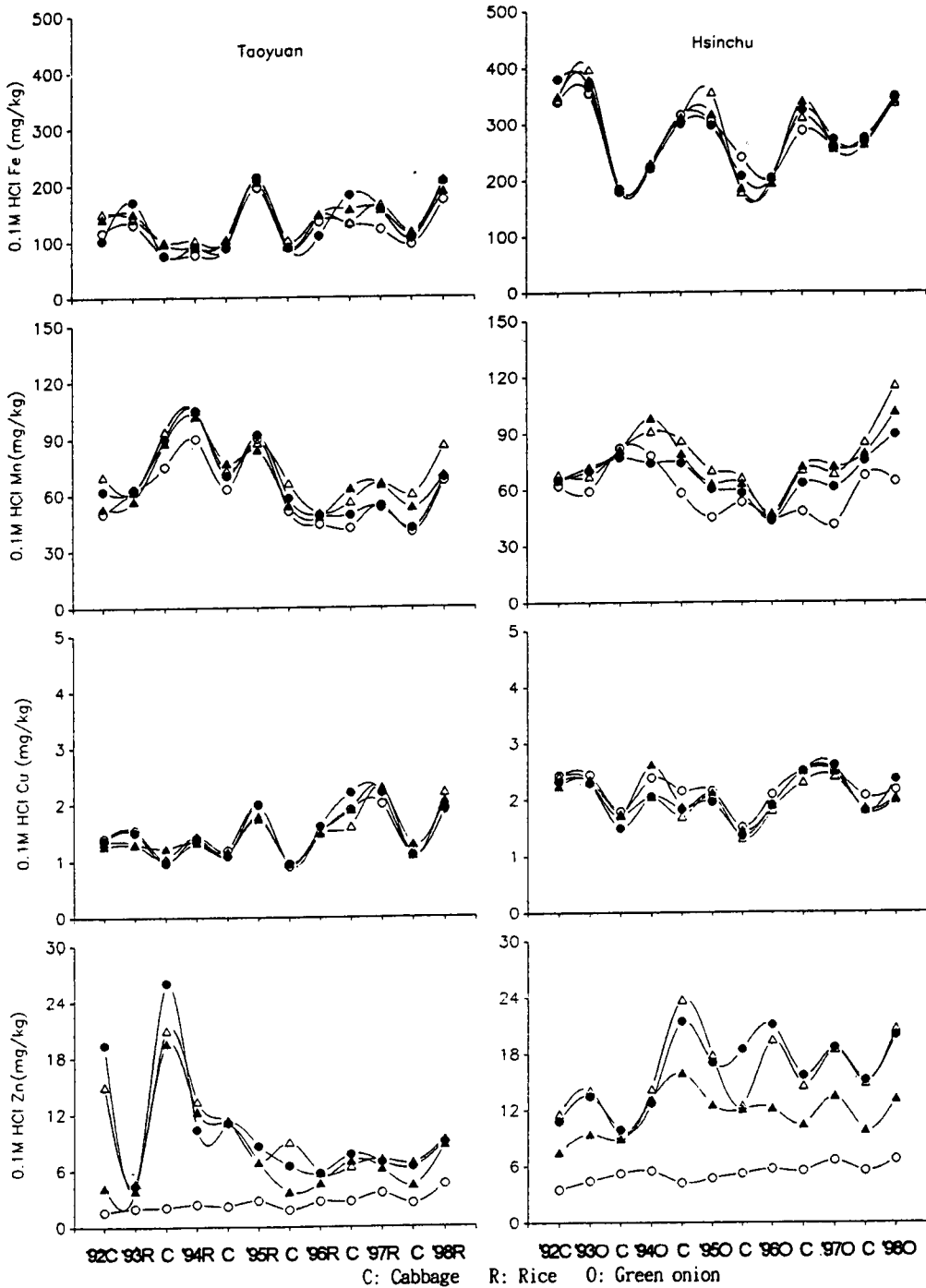


圖 5. 長期施用牛糞堆肥對土壤可萃取性鐵、錳、銅及鋅含量之影響

Fig 5. Effect of long-term application cattle dung compost on the extractable Fe, Mn, Cu and Zn of soils.

○-○: CK; ●-●: C 20 t/ha/y; △-△: C 20 + S 3 t/ha/y; ▲-▲: C 20 + S 3 t/ha/2y

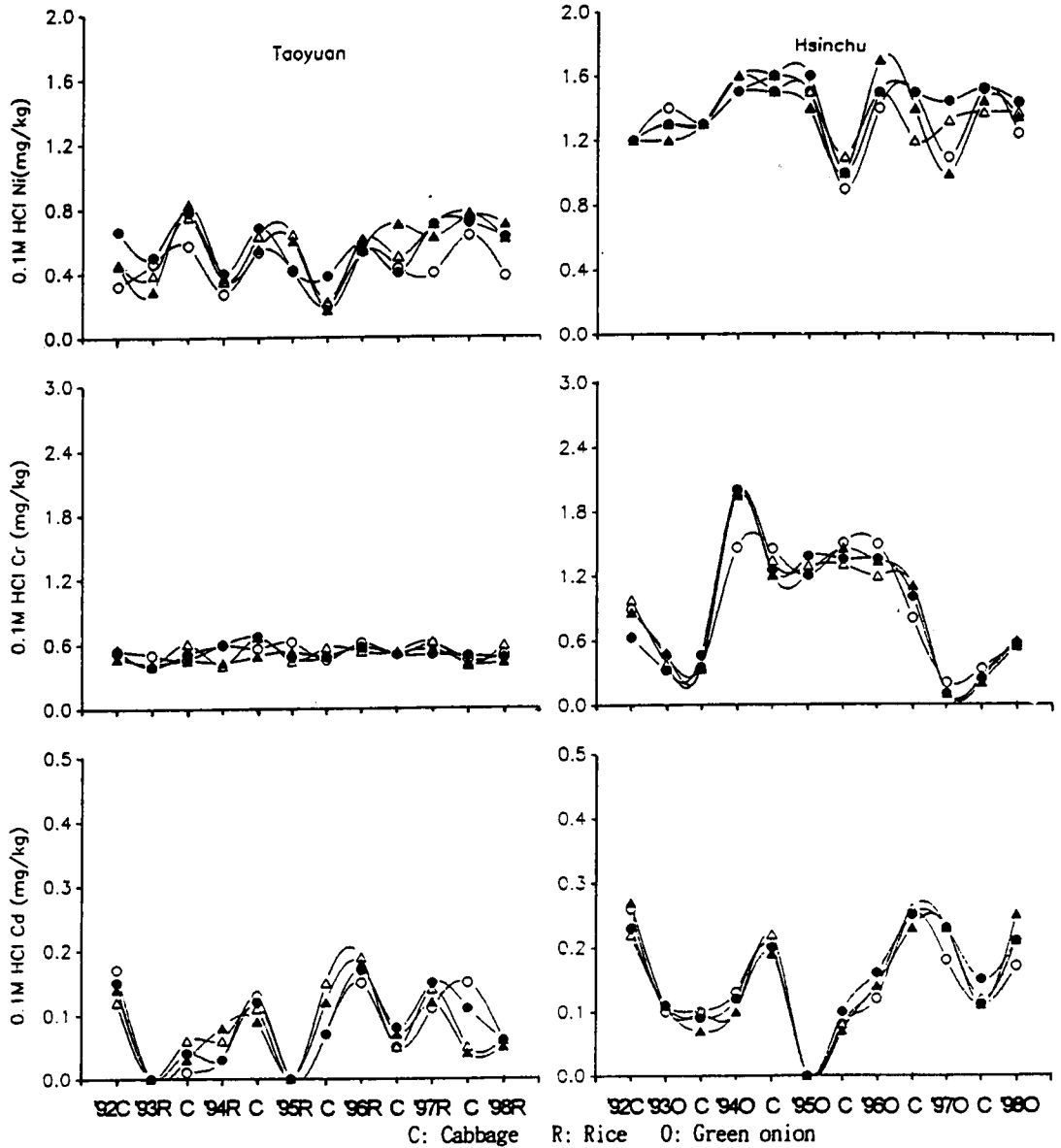


圖 6. 長期施用牛糞堆肥對土壤可萃取性鎳、鉻及鎘含量之影響

Fig 6. Effect of long-term application cattle dung compost on the extractable Ni, Cr and Cd of soils.

○-○: CK; ●-●: C 20 t/ha/y; △-△: C 20 + S 3 t/ha/y; ▲-▲: C 20 + S 3 t/ha/2y

(一) 錳

兩試區土壤中可萃取性錳含量均因施用牛糞堆肥及矽酸爐渣而有微量提高之趨勢(圖 5、錳)，而且同時施用矽酸爐渣時更明顯提高，此應與牛糞堆肥及矽酸爐渣中所含錳量(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因施用牛糞堆肥及矽酸爐渣而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>(24,25,32)</sup>，由表 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。

### (二) 鋅

土壤或粘粒對於鋅的吸附，隨 pH 值提高而增加吸附，當 pH 值超過 6.0 時，吸附量會急劇增加；pH 影響鋅吸附的主要原因要歸于 pH 高時  $ZnCO_3$  及  $Zn(OH)_2$  沉澱產生，及粘粒表面之淨負電荷增加<sup>(15)</sup>。Reddy 等也指出；土壤 pH 提高，因鋅的固定量增加，而降低鋅之溶解度<sup>(30)</sup>。

由於牛糞堆肥中含高量之鋅(表 2)，兩試區各期作施用牛糞堆肥者可萃取性鋅含量均明顯提高(圖 5、鋅)。桃園試區牛糞堆肥施用後二至三年內，土壤可萃取性鋅含量明顯高於未施用之處理，但之後因土壤 pH 值及有機質含量提高而降低，另輪作水稻之期作其土壤可萃取性鋅含量也顯著較早作時為低，其主要原因係水田土壤在極度還原狀態，造成鋅溶解度降低，以及土壤施用矽酸爐渣 pH 值提高而降低鋅之溶解度。新竹試區土壤可萃取性鋅含量，施用牛糞堆肥處理明顯較未施用處理為高，且施用之處理會隨牛糞堆肥之施用量增加而提高，然而，該試區土壤在同時施用矽酸爐渣之處理 pH 值及有機質含量提高情形下，土壤可萃取性鋅含量仍明顯增加，其可能是新竹試區土壤屬粗質地所含粘粒少而減少對鋅的固定所致。兩試區土壤雖因長期施用牛糞堆肥而提高可萃取性鋅含量，但其最高含量約 30 mg/kg，仍遠低於農耕土壤鋅毒害臨界濃度 150-500 mg/kg<sup>(1)</sup>，然而依據行政院環境保護署暫訂土壤重金屬含量標準與等級區分土壤 0.1 M HCl 鋅含量 30 mg/kg，已屬等級區分的偏高(26-80 mg/kg)等級<sup>(2,21)</sup>，為免農田土壤因過量施用牛糞堆肥而造成鋅含量偏高，建請相關農政單位推廣施用牛糞堆肥時，應宣導農民勿連年大量施用，以減少農田土壤因施用牛糞堆肥而可能造成的鋅污染。

### (三) 鎳

兩試區土壤中可萃取性鎳含量均因施用牛糞堆肥而有微量提高之趨勢(圖 6、鎳)，其增加幅度約 0.5 mg/kg 之內。依郭等指出本省農田土壤(表土)0.1 M HCl 鎳含量為 ND-2.70 mg/kg(平均 1.18 mg/kg)<sup>(10)</sup>，兩試區土壤 0.1 M HCl 鎳含量 2.0 mg/kg 以下，都在本省自然含量範圍之內，且遠低於行政院環境保護署暫訂之土壤鎳毒害臨界濃度(> 100 mg/kg)<sup>(21)</sup>。

## 五、牛糞堆肥適宜施用量之評估

長期大量施用牛糞堆肥會使土壤中鋅有較大幅度之累積，至於錳及鎳則僅微量累積(圖 3 及 4)，因此以鋅來評估牛糞堆肥合理施用量。依據陳推估土壤中鋅最大承載量為 250 kg/ha(約 100 mg/kg)<sup>(12)</sup>，利用土壤鋅累積量與牛糞堆肥施用量之相關方程式  $y=0.1814x+3.6857$ (圖 7.新竹試區)估算，最大施用量約 530 t/ha，又據陳建議合理施用量為最大施用量之一半，以確保土壤品質，則合理施用量為 265 t/ha。然而，依行政院環境保護署暫訂土壤重金屬含量標準與等級區分 0.1 M HCl 鋅含量「高」等級為 > 80 mg/kg<sup>(2,21)</sup>，新竹試區施用至 120 t/ha 量時土壤 0.1 M HCl 鋅含量為 30 mg/kg，已屬等級區分的偏高(26-80 mg/kg)等級，為避免農田土壤因過量施用牛糞堆肥而造成鋅含量偏高，應宣導農民勿連年大量施用，以減少農田土壤因施用牛糞堆肥而造成的鋅污染。

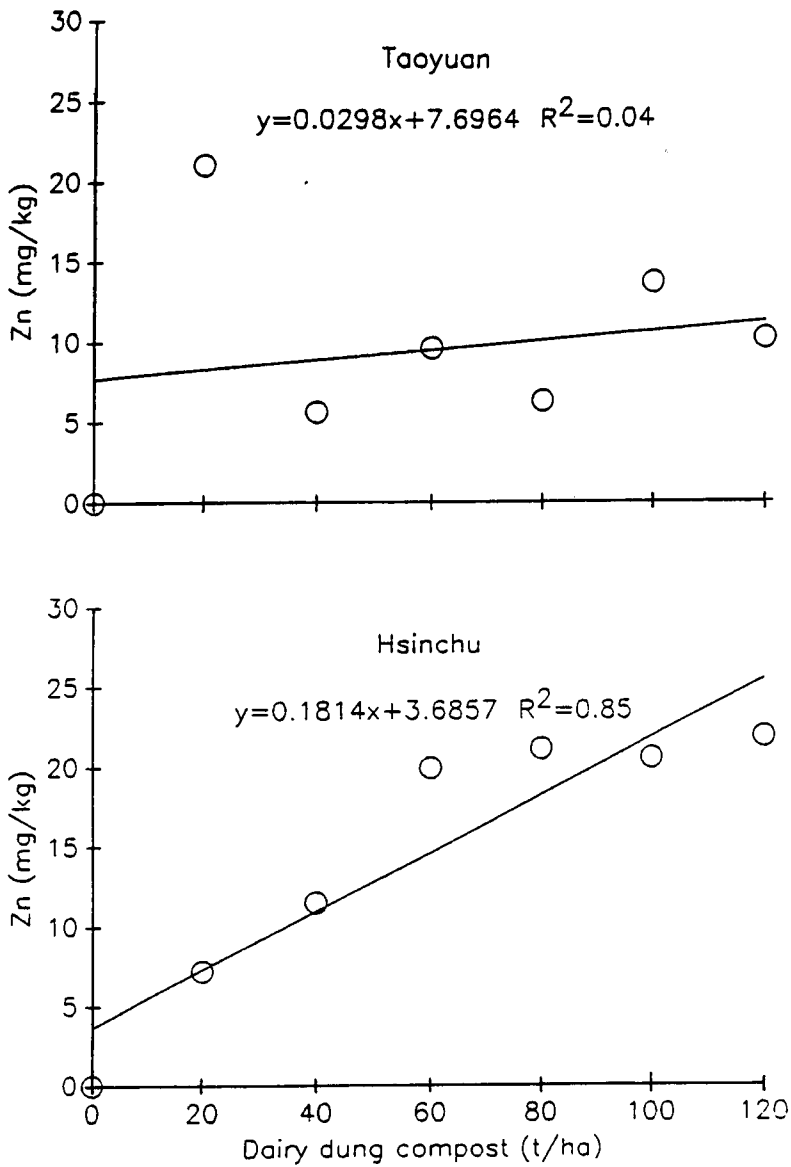


圖 7. 土壤鋅累積量與牛糞堆肥施用量之關係

Fig 7. Relationships between cattle dung compost application and Zn accumulation in soils.

## 誌 謝

本研究承行政院農業委員會經費補助及本場黃副場長益田文稿斧正，謹此一併致謝。

## 參考文獻

- 1.王銀波。1888。台灣農田土壤重金屬污染。中國農業工程學會 77 年度學術研討會 農業環境污染與管理論文專集 p.1-8。
- 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、彭德昌、黃山內。1995。果園、蔬菜園長期施用有機質肥料之效果。有機質肥料合理施用技術研討會專刊 p.126-146。
- 4.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。
- 5.吳啓東、連深。1965。矽對水稻之效應(第三報)。台灣農業研究 4(3): 45-48。
- 6.連深、李艷琪。1994。有機質肥料之重金屬含量及肥料規格之有關規範。土壤與肥料污染研討會論文集 p.158-173。
- 7.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。
- 8.連深。1963。矽對水稻之效應(第二報)。台灣農業研究 12(3): 16-28。
- 9.翁震忻、吳安財、陳育信。1999。農牧廢棄物資源再生利用之發展與未來。第二屆畜牧廢棄物資源再生利用推廣研究成果研討會論文集 p.7-21。
- 10.郭鴻裕、朱戩良、連深。1990。台灣地區農田土壤重金屬自然含量調查。第二屆土壤污染防治研討會論文集 p.23-42。
- 11.陸瑩。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) p.1-32。
- 12.陳尊賢。1995。長期施用豬糞堆肥對土壤中重金屬之累積及合理施用量之評估。有機質肥料合理施用技術研討會專刊 p.200-214。
- 13.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 p.45-55。
- 14.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。
- 15.莊作權。1978。台灣蔗田土壤之鋅吸附作用 II、土壤、溫度與水分含量對鋅吸附之影響。中國農業化學會誌 16(1-2): 1-8。
- 16.黃山內。1989。矽酸爐渣在農業生產上之應用。
- 17.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。
- 18.蔡宜峰。1999。禽畜糞堆肥對作物生長及土壤特性之影響。農業有機廢棄物處理與應用研討會專集。中華生質能源學會 p.73-85。
- 19.劉文徹、李松武、王銀波。1995。有機質肥料之施用與土壤重金屬之聚積、作物吸收之關係。有機質肥料合理施用技術研討會專刊 p.215-227。
- 20.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 p.20-22。
- 21.行政院環境保護署。1990。台灣地區土壤重金屬含量調查總報告(二) p.1-30。

22. Billie J. Lindsay and Terry J. Logan. 1998. Field response of soil physical to sewage sludge. *J Environ. Qual.*, 27: 534-542.
23. Barbarick. K. A., J. A. Ippolito, and D. G. Westfall. 1998. Extractable trace elements in the soil profile after of years of bio-solids application *J. Environ. Qual.*, 27: 801-805.
24. 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-mended soils: A long-term field study. *J. Environ. Qual.* 12: 391-397.
25. 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.
26. Fox, R. H., R. J. K. Myers, and I. Vallis. 1990. The nitrogen mineralization rate of legume residues in soil as influenced by their polyphenol, lignin, and nitrogen content. *Plant and soil.* 129: 251-259.
27. Lian, S. 1976 . Silica fertilization of rice. In the fertility of paddy soils and fertilizer application for rice. ASPAC Food & Fert. Technol. Center, Taipei.
28. Maria J. Mazzarino, Francisca Laos, Patricia Satti, and Susana Moyano. 1998. Agronomic and environmental aspect of utilization of organic residues in soils of the Andean-Patagonian region. *Soil Sci. Plant Nutr.* 44: 105-113.
29. 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 no.9, p.539-579.
30. Reddy, M. R., and H. F. Perkins. 1974. Fixation of zinc by clay minerals. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 38: 223-231.
31. Sharpley , A. N. and S. J. Smith. 1995. Nitrogen and phosphorus forms in soils receiving manure. *Soil Sci.* 159: 53-258.
32. 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.

# **Assessment of Heavy Metal Accumulation and Optimal Application Rate for Long-term Application of Cattle Dung Compost in Red and Alluvial Soils**

Chiu-Shyong Lo

## **Summary**

Experiments were conducted to determine the effects of long-term application cattle dung compost on the heavy metals contents of soil and optimal application rate during 1993 to 1998 at Tayoung District Agricultural Improvement Station and Hsinchu. Application cattle dung compost and silicate slag or without applied at every or two years were involved in experiment. The whole amount of dairy dung compost was completely mixed with soil before planting as cabbage the first crop.

The yield of cabbage, grain rice and green onion was significantly increased by application of cattle dung compost, but yield of green onion was decreased when soft rot was severely occurred.

The soil pH value was increased by application of silicate slag, however, the pH value and organic matter content of soil was slightly increased by application of cattle dung compost.

The accumulation of Zn in the soil and increase amount of extractable Mn, Zn and Ni was observed in treatment with cattle dung compost.

To avoid Zn pollution, the reasonable application quantity of cattle dung compost at rate of 265 t/ha was recommended and a great or amount and consecutive applications of compost is not allowed.

**Key words:** Cattle dung compost, Soil, Heavy metals, Optimal application rate.