

畜牧處理水於土壤施灌後對土壤品質及甘蔗或 牧草產量及品質之影響

陳尊賢^{(1)*} 蔡呈奇⁽¹⁾ 吳娉婷⁽¹⁾ 林季燕⁽¹⁾ 謝昭賢⁽²⁾ 黃啓民⁽³⁾
曾景山⁽³⁾ 周展叡⁽³⁾ 王敏昭⁽⁴⁾ 何聖賓⁽¹⁾

收件日期：92 年 5 月 5 日；接受日期：92 年 9 月 5 日

摘 要

台灣地區之豬糞尿廢水經三段式處理法後排放，此排放水富含植物所需之無機物質，如能將此水以「土壤處理」作為供應植物生長之養分、不直接進入水體，將可有效地利用排放水且大大地降低對周圍環境之污染。本研究目的為將豬糞尿廢水經過三段式處理之排放水，在台灣地區灌溉至蔗田及牧草地，處理區之施灌量相當於 100 mm 水深，對照區則施用化學肥料，探討此施灌量對土壤品質及甘蔗與盤固草生長及品質之影響，尤其是銅、鋅含量累積之影響。試驗地分別為臺南試區與嘉義試區，經過兩年 (2001-2002) 進行監測與研究，建立完整之監測資料庫。研究結果顯示兩試區於施灌豬糞尿二級處理排放水後的兩年內，對兩試驗區土壤之酸鹼度、導電度、可交換性鈣、鎂、鉀、鈉、有機碳、有效磷含量、有效銅鋅含量、或甘蔗與盤固草之主要元素 (氮、磷、鉀、鈣、鎂) 及微量元素 (鐵、錳、銅、鋅) 含量等，尤其兩年兩次施灌對土壤之銅鋅濃度及甘蔗與盤固草植體中之銅鋅濃度並無明顯增加。兩年監測與研究結果可提供台灣地區畜產處理廢水一個安全、無污染再回收利用及管理之制度，以達到水資源與養份資源再利用之目標，並作為評估目前三段式豬糞尿廢水處理之排放水以「土壤處理標準」相關規定檢討之依據。

關鍵詞：土壤處理、豬糞尿廢水、重金屬、土壤品質、甘蔗、牧草。

緒 言

豬產業在台灣農業經濟發展上佔有一重要之地位，豬之生產值在 1977、1988 及 1998 年各為 0.83、1.69 及 1.58 百萬美元，各佔當年畜牧生產值之 57%、60%及 42% (Hsieh *et al.*, 2000)。每年台灣產生大量的動物廢棄物，以飼養豬隻為例，在 1998 年時豬在養頭數為 724 萬頭，若每日每隻豬

(1) 國立台灣大學農業化學系

(2) 行政院農業委員會畜產試驗所經營組

(3) 台糖公司研究所工安環保暨化驗中心

(4) 朝陽科技大學環境工程與管理系

*：通訊作者, soilchen@ccms.ntu.edu.tw

之乾廢棄物以 0.48 公斤計算，則在 1998 年台灣生產之乾廢棄物為 127 萬之豬糞。大部份之養豬戶為利用沖洗系統來清洗豬舍，而清洗豬舍之水量均為豬排泄物之五倍，因此在 1999 年時，養豬事業產生大約 1300 萬噸之廢水。

豬糞尿處理水之定義為當排出液包括豬之廢棄物（如：糞、尿、豬毛及浪費之飼料）與沖洗水混合且經過三段式廢水處理之排出液，如第一階段之固液分離水，第二階段厭氣處理水，及第三階段好氣處理水（活性污泥處理），豬糞尿廢水經三段式處理後直接排放（洪等，1997）。根據畜產試驗所之豬糞尿廢水連續在處理場操作結果顯示，自 1993 年 5 月至 1999 年 9 月經 237 次之採集樣品，放流水質之 pH、COD、BOD 及 SS 平均值各為 7.70、195、42 及 21，雖然放流水質之整年平均值可以符合環保署所定之 87 年標準，但其中 COD、BOD 及 SS 分別有 48、18 及 2 次資料未達 87 年放流水標準，合格率分別為 80%、92%及 99% (蕭，1999)；又如果豬糞尿處理之放流水需排放至農田灌溉溝渠，則放流水中之電導度(EC)及總氮量應符合台灣省灌溉水水質標準，其 EC 及總氮量之標準為應在 0.75 dS/m 及 1.0 mg/L 之下，而目前豬糞尿處理放流水之 EC 及總氮量均超過此標準。面對環保意識之高漲，豬糞尿廢水處理需要面對愈來愈嚴格之排放標準，三段式方式處理結果放流水尚有少部份之不合格率，更何況大部份之放流水均不能達到台灣省農田灌溉水水質標準。

依據行政院環境保護署（1999）對「土壤處理標準」之規定，包括畜牧業經處理過之廢水經純作為土壤處理之標準有規範，如 pH 6-9、SAR 6、導電度 2.5 dS/m、全氮 40 mg/L、全磷 15 mg/L、鎘 0.01 mg/L、銅 0.2 mg/L、鉛 0.1 mg/L、鎳 0.5 mg/L、鋅 2 mg/L、生化需氧量 400 mg/L、懸浮固體 400 mg/L 等。如排放水之濃度超過上述之濃度時，而純作屬植物生長所需之營養分，並可為土壤及作物加以吸收利用者，應檢具文件向各縣市主管機關申請核可；同時規定每日平均排放需少於 70 立方公尺，每公頃年灌溉量不超過 400 kg N/ha/yr，但值得探討的是此施用標準是否太嚴 (Chen, 2000)。

豬糞尿處理排放水富含植物所需之無機物質，如氮、磷及水分之營養元素，台灣在農耕時期均將其直接排放於田間，作為植物營養補充劑。因此將三段式豬糞尿廢水處理之排放水配合土壤處理作為供應植物生長之養分，不僅合乎排放標準之排放水直接進入水體，亦可有效地利用排放水之養份能回收再利用於作物生產上，進而大大地降低對周圍水體環境之污染。Hsieh *et al.* (2000) 指出，雖然豬糞尿處理水為良好之作物生產營養來源，但亦可能為污染之來源。最有效解決此一問題為經灌溉或噴灌方式作為農業作物生產之營養來源。試驗結果建議在田間施灌時應避免在暴雨來臨前灌溉，及應採用適量的灌溉使施灌豬糞尿處理水不致於產生逕流或滲漏，而造成為污染之來源。

本研究的目的為：(1) 探討豬糞尿廢水經過三段式處理之排放水，在高溫多雨之氣候下再資源回收灌溉至蔗田與牧草地後，對於土壤與植體之可能影響，與 (2) 同時評估計算施灌後重金屬之實際施入量。本監測與研究結果希望能提供台灣地區畜殖廢水一個安全、無污染的施用方法，以達到水資源與養份資源再利用之目標，並作為評估「土壤處理標準」相關規定之依據。

材料與方法

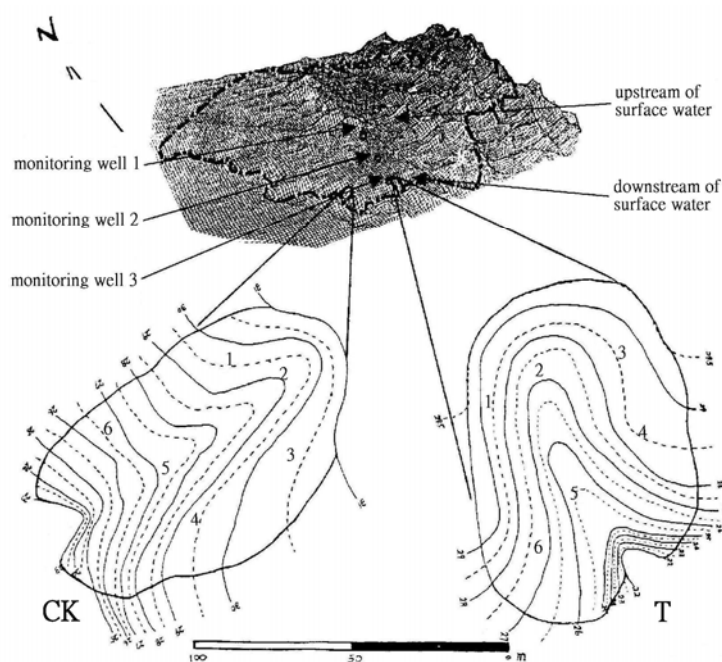
I. 試驗地

試驗地樣區分別為嘉義試區及臺南試區，其資料及豬糞尿處理水施用處理設計分別述於圖 1 及圖 2。嘉義試區於 2001 年 8 月 14-15 日與 2002 年 2 月 25-27 日進行兩次豬糞尿處理水澆灌處理，每次澆灌深度相當於雨量 100 mm，臺南試區則於 2001 年 10 月 27-28 日澆灌深度相當於雨量 100

mm，另於 2002 年 3 月 4、11 日與 18 日分三次分別進行豬糞尿處理水噴灌處理，三次澆灌總深度相當於雨量 100 mm，所以灌溉 100 mm 表示每公頃面積乘上 100 mm (即 1000 ton/ha)，於此種灌溉深度之下，根據土壤之孔隙率及容積比重計算後，水之流動深度最多約僅在土壤層 80-100 cm 深度 (端視土壤質地及含水量而定)，此時其灌溉水中所含之重金屬與有機物在土壤剖面中所移動之深度均未達 60 cm 深。至於下雨之情形，一般降雨量約有 33% 屬於垂直移動，67% 屬於表面逕流 (端視土地坡度與土壤含水量而定)。

(i) 嘉義試區 (圖 1)

嘉義試區佔地約 10 ha，該畜殖場之廢水符合台灣地區放流水排放標準，並領有土壤再利用許可執照，多為細質地粘質壤土或粘土地。本試區分二亞區，一亞區為純化學肥料區 (對照區，4 ha)，另一亞區為豬糞尿處理水區施灌區 (處理區，施灌豬糞尿二級處理排放水 100 mm 水深，6 ha)。試區內已於 2000 年 8 月秋植 ROC 10 號甘蔗，施用之化學肥料用量為 $N : P_2O_5 : K_2O = 240 : 36 : 72$ kg/ha。2001 年 2 月底施灌之二級處理排放水水質為：pH 7.79，電導度 2.41 dS/m，鈉吸著比 (SAR) 2.43，銅 ND-0.019 mg/L，鋅 ND-0.037 mg/L，氨態氮 153 mg/L，總磷 156 mg PO_4/L ，鉀 125 mg/L，由此水質推估豬糞尿處理水施用之肥料量為 $N : P_2O_5 : K_2O = 126 : 117 : 150$ kg/ha/yr。



No. 1~6 indicated the soil sampling points at check plot (CK, chemical fertilizer) and treatment plot (T, treated swine wastewater).

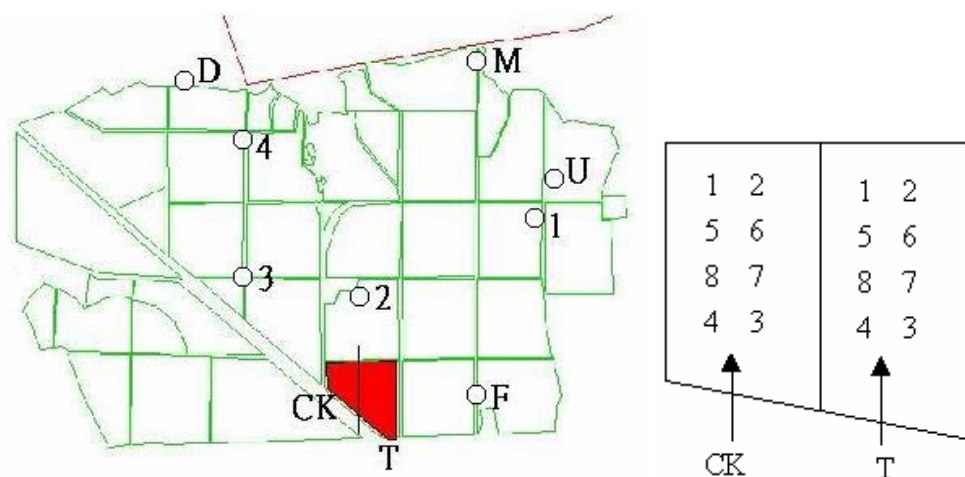
圖 1. 台南試區土壤採樣點分佈、監測井及周邊相關環境地面水水體位址示意圖。

Fig. 1. The sites of soil sampling locations, monitoring wells and vicinal related surface water in Tainan site.

(ii) 臺南試區 (圖 2)

臺南試區為盤固草種植區。本試區分二亞區，一亞區為純化學肥料區，另一亞區為豬糞尿處理水區施灌區。施用化學肥料之集水區面積為 914 m^2 ，坡長 100 m，平均坡度 7.00%；施灌豬糞尿處理水之集水區面積為 918 m^2 ，坡長 88 m，平均坡度 8.52%。此草地集水區設立於 1981 年，種植盤固草 (*Digitaria decumbens* Stent) A254 品種。收割牧草後不翻耕，並依臺灣省作物施肥手冊盤固草之推荐量施用化學肥料 $N : P_2O_5 : K_2O = 400 : 150 : 140$ kg/yr (臺灣省農林廳，1996)。2002 年三月間施灌之二級處理排放水水質為：pH 8.13，電導度 3.46 dS/m，鈉吸著比 (SAR) 2.78，銅 0.018-1.02 mg/L，鋅 N.D.-1.48 mg/L，氨氮 291 mg/L，總磷 107 mg PO_4/L ，鉀 292 mg/L，故由

此水質推估豬糞尿處理水施用之肥料量為 $N : P_2O_5 : K_2O = 240 : 80 : 350 \text{ kg/ha/yr}$ 。



CK: check plot

T: treatment plot

No. 1~8: soil sampling points at check plot and treatment plot

1: monitoring well 1; F: farmer's well;

2: monitoring well 2; U: upstream of surface water;

3: monitoring well 3; M: midstream of surface water (water pumping station);

4: monitoring well 4; D: downstream of surface water (Xian bridge).

圖 2. 嘉義試區土壤採樣點分佈、周邊監測井與相關表面水體位址示意圖。

Fig. 2. The experimental treatment and check plots of soil sampling locations, monitoring wells and vicinal related surface water located in Chiai site.

II. 監測項目

(i) 土壤部分

嘉義與臺南兩試區分別於 2001 年與 2002 年施灌豬糞尿處理水之處理前後，分別採取處理區及對照區 0-15、15-30、30-50、50-75、75-100 cm 等五個土層深度之土壤樣品。嘉義試區 2001 年於處理區與對照區各有 4 個採樣小區，每小區每個土層深度以 3 個重複樣品混合成一代表性樣品；2002 年除原有之 4 個採樣小區外，另增加 4 個採樣小區，採集 0-15、15-30、30-50 cm 等三個土層深度之土壤樣品，同樣以 3 個重複樣品混合成一代表性樣品。臺南試區 2001 年及 2002 年於處理區與對照區各有 6 個採樣小區，每小區每個土層深度以 3 個重複樣品混合成一代表性樣品。土壤分析項目包括 pH 值、EC (電導度，土壤飽和萃取液)、CEC (陽離子交換容量) 及交換性鹽基含量 (1 M NH_4OAc 法)、有機碳 (濕氧化法)、有效性磷 (Bray No. 1)、有效性鐵、錳、銅、鋅、鉛、鎘、鉻、鎳 (以 0.1 M HCl 萃取法及 0.005 M DTPA 萃取法分別萃取) 等項目。

(ii) 植體部分

嘉義試區之甘蔗正一葉片於 2001 年 9 月採集，蔗汁及蔗渣則於 2001 年 12 月甘蔗收穫時採集，處理區與對照區各有 4 個代表樣品。臺南試區於 2002 年 3 月處理前後 (2 月及 5 月) 採集牧草莖葉，處理區與對照區各有 6 個代表樣品。分別分析 N、P、Ca、Mg、K、Na、Fe、Mn、Cu、Zn 等含量的變化。

III. 統計分析

嘉義試區及臺南兩試區經豬糞尿處理水以土壤處理前後之處理區與對照區之土壤物理及化

學性質之差異性比較，及處理區與對照區之甘蔗及盤固草之產量、元素分析等之差異性比較，結果均以 SAS 統計分析後，比較其處理間之差異性，顯著差異水準定為 $P < 0.05$ 。

結果與討論

I. 嘉義試區經豬糞尿處理水處理前後處理區與對照區土壤品質的影響

(i) 第一次灌溉處理

嘉義試區經第一次灌溉處理(2001 年 8 月)之後，處理區 2001 年採得之 4 個樣點的 pH 值有些微的增加 (平均提高 0.5 個單位)(表 1)，對照區則沒有明顯變化(表 2)。EC 值的變化可能受到栽植前期 (2001 年 1 月 12 日) 曾經施肥，而採樣時間 (2001 年 3 月 2 日) 與施肥期相當接近，造成處理前 EC 值稍高；但 2001 年 4 月至 8 月之累積雨量達 1,300 mm，可能造成強烈淋洗，致使處理後採樣 (2001 年 10 月 8 日) 所得之 EC 值降低。土壤中交換性鹽基 (鈣、鎂、鉀、鈉) 的含量變化顯示 (表 1)，經處理後，處理區中交換性鈣、鎂與鉀的含量在處理前後沒有太大的改變 ($P > 0.05$)，但交換性鈉的含量在處理後有些微的增加，此係來自灌溉水 (豬糞尿處理水) 中所含有的鈉離子經由灌溉系統進入土體，也因而提升土壤的 pH 值。不論在處理區或對照區，隨著土壤深度的增加，交換性鎂與鈉的含量也略微提高，顯示嘉義試區此這兩種離子受到土壤水分的淋洗容易往土體深層移動，而對照區之鎂及鈉離子與處理區鎂離子的移動可達 75-100 cm 的土層，處理區經處理後之鈉離子的移動多停留在 15-50 cm 的土層中，推測此可能因為灌溉水中多量的鈉離子補注到土壤中，使得土壤剖面全層鈉離子含量增加，造成土壤上下層鈉離子的含量變化不明顯。

表 1. 嘉義試區廢水處理區[#]2001 年 8 月第一次施灌處理前後 (3 月及 10 月) 對土壤性質之比較

Table 1. Comparison of soil properties between before (March) and after (October) treatment of first application (August, 2001) of treated swine wastewater on treatment plot [#] at Chiai site

Depth cm	DTPA extracted									
	pH		EC*		O.C.*		Cu		Zn	
	Mar.	Oct.	Mar.	Oct.	Mar.	Oct.	Mar.	Oct.	Mar.	Oct.
			dS/m		%		mg/kg			
0-15 [¶]	7.01§	7.56§	1.27	0.50	1.10	1.89	ND	2.01	1.57	2.18
Std [¶]	0.70	0.38	0.60	0.20	0.04	0.21	--	0.83	0.45	1.82
15-30	6.96	7.66	1.14	0.58	0.95	1.74	ND	2.30	1.05	3.58
Std	0.60	0.24	0.53	0.16	0.13	0.20	--	1.47	0.34	4.38
30-50	7.38	7.81	0.87	0.55	0.63	1.38	ND	1.08	0.93	1.11
Std	0.26	0.18	0.48	0.10	0.09	0.22	--	0.19	0.50	0.58
50-75	7.52	7.94	0.65	0.51	0.53	0.92	ND	0.45	0.66	0.52
Std	0.40	0.05	0.18	0.07	0.05	0.16	--	0.07	0.53	0.11
75-100	7.43	7.84	0.65	0.42	0.51	1.06	ND	0.57	0.58	0.58
Std	0.27	0.07	0.15	0.05	0.07	0.05	--	0.04	0.04	0.10

[#] Before (March) and after (October) treatment means the soils was before and after first application of treated swine wastewater on treatment plot in 2001.

* EC : Electric conductivity ; O.C. : organic carbon %.

[¶] The data are shown as mean and standard deviation for 4 duplicate samples in each soil depth.

§ No symbol shown in the table means there is no significant different between before and after treatment of application of treated swine wastewater ; O. C. : Means in the same item followed by different letter are significantly different ($P < 0.05$).

不論在處理區或對照區，土壤全層 (0-100 cm) 之有機碳的含量在處理後都有提高，表層增加的部分應係來自於試驗地整地時所犁入之植物體地上部之添加，經微生物的作用分解並與土壤混合後所增加的，而底層土壤所增加的部分應為有機碳在土壤中的機械深耕或有機物之分解洗入與累積的。施灌處理區有效性磷的含量在試驗處理後，表層 (0-30 cm) 的變化不大，但在對照區處理後有效性磷的含量有明顯的減少；由於隨灌溉水的施用而添加額外的磷於處理區土壤中，就使得處理區表層中磷的變動不大，但在對照區並沒有額外的磷的添加，且本區土壤 pH 值多在 7~8 之間，土壤富含鈣離子，因此磷在土壤中易與鈣離子反應生成磷酸鈣而沉澱於土壤中，因而減少土壤中有效性磷的含量。

在有效性重金屬銅、鋅的含量方面，施灌處理區經豬糞尿處理廢水灌溉後，以 0.1 M HCl 或以 0.005 M DTPA 萃取抽出銅之增加較明顯，僅增加 2 mg/kg 左右；鋅也有些微增加，但增加量極少 (約 0.5-2 mg/kg)(表 1)。此結果表示，經由灌概處理後土壤中的銅、鋅雖然有些微增加，但其含量 (DTPA 抽出之銅含量範圍為 0.45~2.30 mg/kg，DTPA 抽出之鋅含量範圍為 0.52~3.58 mg/kg) 仍甚低於農田土壤背景值上限 (銅 26 mg/kg、鋅 25 mg/kg) 與全量背景值上限 (銅 35 mg/kg、鋅 120 mg/kg)(陳等，1992)，因此試驗區的土壤並不會受到重金屬銅、鋅的污染。

表 2. 嘉義試區對照區[#]2001 年 3 月與 10 月兩次採樣之土壤性質之比較

Table 2. Comparison of soil properties sampled in March and October, 2001, on the check plot[#] at Chia site

Depth	DTPA extracted									
	pH		EC		O.C.		Cu		Zn	
	Mar.	Oct.	Mar.	Oct.	Mar.	Oct.	Mar.	Oct.	Mar.	Oct.
cm			— dS/m —		— % —				mg/kg	
0-15 [¶]	7.48§	7.64§	2.33	0.52	1.05	1.88	2.26	1.21	1.70	1.06
Std [¶]	0.60	0.78	1.27	0.13	0.07	0.11	1.08	0.14	1.08	0.28
15-30	7.68	7.67	1.66	0.65	0.99	1.82	1.96	1.38	1.24	0.94
Std	0.45	0.76	0.91	0.10	0.11	0.10	0.69	0.06	0.74	0.16
30-50	7.87	7.87	0.98	0.61	0.73	1.30	1.17	1.02	0.67	0.55
Std	0.41	0.49	0.13	0.06	0.07	0.28	0.20	0.47	0.42	0.26
50-75	8.12	7.98	0.73	0.59	0.53	0.89	0.79	0.54	0.30	0.33
Std	0.24	0.15	0.11	0.12	0.04	0.15	0.09	0.06	0.09	0.12
75-100	8.06	7.99	0.66	0.48	0.47	0.98	0.69	0.53	0.38	0.35
Std	0.26	0.13	0.11	0.09	0.03	0.14	0.06	0.09	0.14	0.08

[#] The soils in the check plot were sampled in March and October, 2001.

[¶] The data are shown as mean and standard deviation for 4 duplicate samples in each soil depth.

§ No symbol shown in the table means there is no significant different between two sampling dates.

Means in the same item followed by different letter are significantly different ($P < 0.05$).

(ii) 第二次灌溉處理

第二次灌溉處理 (2002 年 2 月) 之後，施灌處理區之土壤 pH 值在土層 0-50 cm 約下降 0.5 個單位 (表 3)，對照區變化較明顯，土壤 pH 值在土層 0-50 cm 約下降 0.5~1 個單位，推測 pH 值下降應是微生物的分解有機物及採樣誤差所造成。處理區及對照區之表層土壤 EC 值皆明顯上升 (1.76 dS/m 與 2.25 dS/m)，其變化可能受到 2002 年年初曾引抽水站中游水源灌溉，受灌溉水劣質水質之影響，致使土壤 EC 背景值整體趨勢上升。由交換性鹽基的含量變化來看，經處理後，處理區中交換性鈣與鎂的含量在處理前後沒有太大的改變，但交換性鉀與鈉的含量在處理後有些微的增加，鉀的變化又比鈉明顯，此表示灌溉水中含有較多的鈉離子與鉀離子，經由灌溉系統進入土體。

表 3. 嘉義試區廢水處理區 2002 年第二次施灌處理 (2002 年 2 月) 前後 (1 月及 5 月) 土壤性質之比較
Table 3. Comparison of soil properties between before and after treatment of second application of treated swine wastewater on treatment plot # in 2002 at Chiai site

Depth	DTPA extracted									
	pH		EC		O.C.		Cu		Zn	
	Jan.	May	Jan.	May	Jan.	May	Jan.	May	Jan.	May
cm			dS/m		%				mg/kg	
0-15 [¶]	7.46§	6.58§	0.72b	1.76a	1.68	1.80	1.46	1.63	0.76	1.32
Std [¶]	0.27	0.52	0.16	0.67	0.11	0.09	0.18	0.26	0.13	0.61
15-30	7.61	7.04	0.84	1.08	1.56	1.63	1.49	1.32	0.67	0.77
Std	0.30	0.42	0.20	0.46	0.07	0.04	0.19	0.14	0.09	0.21
30-50	7.86	7.72	0.82	0.71	1.18	1.26	1.25	1.01	0.50	0.47
Std	0.27	0.23	0.23	0.15	0.22	0.06	0.15	0.11	0.07	0.11
50-75	8.06	8.05	0.61	0.47	1.06	0.93	0.75	0.71	0.29	0.29
Std	0.12	0.18	0.11	0.09	0.32	0.07	0.04	0.11	0.03	0.04
75-100	7.91	7.94	0.52	0.40	0.86	0.95	0.70	0.65	0.31	0.30
Std	0.11	0.08	0.08	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.01	0.05

[#] Before and after treatment of the treated plot means the soils was before and after second application of treated swine wastewater on treatment plot.

[¶] The data are shown as mean and standard deviation for 8 duplicate samples in 0-15, 15-30, 30-50 cm depth and 4 duplicate samples in 50-75 and 75-100 cm depth.

§ No symbol shown in the table means there is no significant different between before and after treatment of application of treated swine wastewater. Means in the same item followed by different letter are significantly different ($P < 0.05$).

處理區之有機碳含量略上升，對照區則無明顯變化。二區之有效磷含量則皆下降，對照區尤其明顯，此應是磷在土壤中生成磷酸鈣沉澱，因而減少土壤中有效性磷的含量。處理區的有效性銅鋅含量於土壤表層中有些微增加，對照區則較無變化。此結果表示，經由灌溉處理並沒有在土體中累積重金屬，其含量 (DTPA 抽出之銅含量範圍為 0.65~1.63 mg/kg，DTPA 抽出之鋅含量範圍為 0.29~1.32 mg/kg) 仍低於農田土壤背景值上限 (銅 26 與鋅 25 mg/kg) (陳等，1992)，土壤確實未受到污染。

II. 臺南試區經豬糞尿處理水處理前後處理區與對照區土壤品質的變化

(i) 第一次灌溉處理

第一次灌溉處理 (2001 年 10 月) 之後，處理區之 pH、EC 交換性鹽基 (鈣、鎂、鉀、鈉) 與有機碳的含量在處理前後並沒有顯著的改變 (表 4)，顯然試驗區經過豬糞尿處理水的噴灌處理後，臺南試區之基本土壤性質並沒有受到很大的影響。隨灌溉水的施用而添加額外的磷，因此處理區土壤中有效性磷的含量在處理後有很明顯的增加。本試區土壤 pH 值約在 5.8~6.8 之間，土壤中的鈣離子含量遠低於嘉義試區，磷生成磷酸鈣沉澱的機會顯著較低，因此處理後所噴灌之豬糞尿處理水中的磷被固定的機會也減少，有效性磷的含量明顯的提高。對土壤有效性重金屬銅、鋅的含量方面，處理區經豬糞尿處理廢水灌溉後，以 0.1 M HCl 抽出之銅量僅有些微增加，所抽出之鋅量增加較多；以 0.005 M DTPA 抽出之銅量沒有明顯的變化，所抽出的鋅量亦僅有些微增加。經由灌溉處理後土壤中的銅、鋅僅有些微增加，其含量 (DTPA 抽出之銅含量範圍為 0.17~0.42 mg/kg，DTPA 抽出之鋅含量範圍為 0.32~0.73 mg/kg) 亦甚低於農田土壤背景值上限值 (陳等，1992)，土壤並不會受到重金屬銅、鋅的污染。

表 4. 臺南試區 2001 年 10 月第一次施灌處理前後 (4 月及 11 月) 土壤性質之比較

Table 4. Comparison of soil properties between before (April, 2001) and after (November, 2001) treatment of first application (October, 2001) of treated swine wastewater on treated plot[#] at Tainan site

Depth	pH		EC		O.C.		DTPA extracted			
							Cu		Zn	
	Apr.	Nov.	Apr.	Nov.	Apr.	Nov.	Apr.	Nov.	Apr.	Nov.
cm			— dS/m —		—— % ——		mg/kg			
0-15 [¶]	5.87§	5.54§	0.03	0.04	0.68	0.93	0.44	0.42	ND	0.73
Std [¶]	0.37	0.31	0.03	0.02	0.33	0.25	0.18	0.14	--	0.25
15-30	5.97	6.00	0.02	0.03	0.46	0.49	0.31	0.25	0.28	0.35
Std	0.61	0.18	0.02	0.01	0.11	0.11	0.12	0.12	0.00	0.05
30-50	6.10	6.31	0.02	0.03	0.25	0.44	0.33	0.17	ND	0.32
Std	0.52	0.40	0.01	0.01	0.14	0.11	0.12	0.10	--	0.05
50-75	6.39	6.69	0.02	0.03	0.28	0.43	0.40	0.24	ND	0.41
Std	0.45	0.58	0.01	0.01	0.15	0.07	0.28	0.14	--	0.04
75-100	6.79	6.78	0.02	0.03	0.29	0.41	0.30	0.30	ND	0.46
Std	0.28	0.44	0.01	0.01	0.13	0.08	0.16	0.09	--	0.10

[#] Before and after treatment of the treated plot means the soils was before and after first application of treated swine wastewater on treated plot.

[¶] The data are shown as mean and standard deviation for 6 duplicate samples in each soil depth.

§ No symbol shown in the table means there is no significant different between before and after treatment of application of treated swine wastewater. Means in the same item followed by different letter are significantly different ($P < 0.05$).

對照區土壤之 pH 值在處理後約降低 0.5 個單位 (表 5)，此項改變之原因之一應是化學肥料施用後所造成的土壤酸化現象，而 EC 值在處理前後並沒有顯著的改變。交換性鹽基中，鈣與鎂的含量在處理後都明顯的減少，此現象應是土壤施用化肥後，土壤酸化造成土壤中鈣與鎂離子的

溶解性及移動性增加，並受到水分淋洗而從土體中流失。土壤交換性鉀與鈉含量的變化在處理前後幾乎沒有變化。化學肥料處理後並不會顯著增加土壤有機碳與有效性磷的含量。在有效性重金屬銅、鋅的含量方面，對照區經豬糞尿處理廢水灌溉後，以 0.1 M HCl 或以 0.005 M DTPA 抽出之銅與鋅量僅有些微的改變，且含量 (DTPA 抽出之銅含量範圍為 0.21~0.35 mg/kg，DTPA 抽出之鋅含量範圍為 0.43~0.77 mg/kg) 甚低，土壤沒有重金屬銅、鋅污染之虞。

表 5. 臺南試區對照區 2001 年 4 月及 11 月土壤性質之比較

Table 5. Comparison of soil properties sampled in April and November, 2001 on the check plot[#] at Tainan site

Depth cm	pH		EC		O.C.		DTPA extracted			
							Cu		Zn	
	Apr.	Nov.	Apr.	Nov.	Apr.	Nov.	Apr.	Nov.	Apr.	Nov.
			— dS/m —		— % —				mg/kg	
0-15 [¶]	5.55§	4.91§	0.02	0.03	0.63	0.91	0.31	0.28	ND	0.77
Std [¶]	0.21	0.23	0.004	0.00	0.13	0.13	0.13	0.10	--	0.19
15-30	5.63	4.99	0.02	0.03	0.43	0.58	0.22	0.21	ND	0.43
Std	0.28	0.28	0.005	0.01	0.13	0.15	0.13	0.12	--	0.13
30-50	5.62	4.99	0.02	0.03	0.34	0.43	0.18	0.29	ND	0.52
Std	0.34	0.34	0.01	0.01	0.08	0.11	0.11	0.22	--	0.27
50-75	5.68	4.98	0.02	0.03	0.27	0.40	0.26	0.29	ND	0.49
Std	0.41	0.49	0.02	0.02	0.17	0.15	0.22	0.14	--	0.18
75-100	5.84	5.13	0.03	0.03	0.32	0.46	0.35	0.35	ND	0.60
Std	0.27	0.48	0.02	0.01	0.11	0.14	0.26	0.13	--	0.14

[#] The soils in the check plot area were sampled before the test in April and November, 2001.

[¶] The data are shown as mean and standard deviation for 6 duplicate samples in each soil depth.

§ No symbol shown in the table means there is no significant different between two sampling dates in 2001. Means in the same item followed by different letter are significantly different ($P < 0.05$).

(ii) 第二次灌溉處理

如同第一次噴灌處理(2001 年 10 月)前後的變化，除了 pH 值略低之外，第二次噴灌處理(2002 年 3 月)兩次處理之處理區之 EC 值、交換性鹽基 (鈣、鎂、鉀、鈉) 與有機碳的含量在處理前後也沒有顯著的改變 (表 6)。有效性磷的含量在處理後除表層土壤 (0-15 cm) 略增之外，其它土層的含量則較少，此現象歸因於處理後土壤的 pH 值較低，可能造成土壤中鐵與鋁的活性增加，因其與磷酸根結合生成磷酸鐵或磷酸鋁的沉澱，減少土壤中有效性磷的含量。在有效性重金屬銅、鋅的含量方面，以 0.1 M HCl 或以 0.005 M DTPA 抽出之銅與鋅量僅有些微的改變，且含量甚低 (DTPA 抽出之銅含量範圍為 0.37~0.71 mg/kg，DTPA 抽出之鋅含量範圍為 0.24~0.68 mg/kg)，土壤沒有重金屬銅、鋅污染之虞。

對照區之 pH 值在處理後約降低 0.2~0.3 個單位，化學肥料施用後所造成的土壤酸化現象應是 pH 值降低的原因之一，土壤性質之空間變異亦是原因之一。EC 值、交換性鹽基、有機碳與有效性磷、有效性重金屬銅、鋅的含量在處理前後並沒有顯著的改變。

表 6. 臺南試區處理區 2002 年 3 月第二次施灌處理前後 (2 月及 5 月) 土壤性質之比較

Table 6. Comparison of soil properties between before and after treatment of second application of treated swine wastewater on treated plot# in Feb. and May, 2002 at Tainan site

Depth	DTPA extracted									
	pH		EC		O.C.		Cu		Zn	
	Feb.	May	Feb.	May	Feb.	May	Feb.	May	Feb.	May
cm			— dS/m —		— % —		mg/kg			
0-15 [¶]	5.84 _§	5.45 _§	0.02	0.04	0.94	0.84	0.71	0.51	0.68	0.42
Std [¶]	0.24	0.23	0.01	0.03	0.16	0.35	0.18	0.12	0.23	0.19
15-30	6.02	5.67	0.02	0.03	0.51	0.43	0.53	0.43	0.39	0.25
Std	0.23	0.35	0.01	0.01	0.07	0.09	0.11	0.10	0.08	0.05
30-50	6.13	5.85	0.01	0.02	0.33	0.34	0.44	0.42	0.33	0.24
Std	0.25	0.67	0.00	0.02	0.11	0.09	0.09	0.09	0.12	0.04
50-75	6.38	6.04	0.01	0.02	0.28	0.29	0.45	0.37	0.33	0.24
Std	0.20	0.58	0.00	0.02	0.08	0.08	0.09	0.13	0.06	0.04
75-100	6.61	6.16	0.02	0.02	0.30	0.28	0.48	0.43	0.34	0.27
Std	0.25	0.55	0.00	0.01	0.09	0.08	0.10	0.14	0.06	0.07

[#] Before and after treatment of the treated plot means the soils was before and after first application of treated swine wastewater on treated plot.

[¶] The data are shown as mean and standard deviation for 6 duplicate samples for five soil depth.

_§ No symbol shown in the table means there is no significant different between before and after treatment of application of treated swine wastewater.

III. 甘蔗植體分析

由嘉義試區在 2001 年 9 月甘蔗正一葉片之氮、磷、鉀含量分析指出 (表 7)，試區內甘蔗之氮含量屬於”缺乏級”之狀況 (平均僅 1.48%)，磷含量介於”可能缺乏級”至”正常級”之間 (平均僅 0.17 %)，鉀則介於”可能豐足級”至”豐足級”之間 (平均 1.30 %)。依據台灣糖業研究所 (1997) 對各糖廠自營農場甘蔗葉片分析記錄之報告指出，甘蔗正一葉秋植 9 月份三要素營分含量豐缺程度之氮含量屬於”正常級”狀況之平均含量應為 1.81-1.90% N，磷含量屬於”正常級”狀況之平均含量應為 0.18-0.20% P (或 0.41-0.45 % P₂O₅)，鉀含量屬於”正常級”狀況之平均含量應為 0.91-1.25% K (或 1.11-1.50 % K₂O)，因此，本試驗區之甘蔗所需之氮與磷肥仍有增加施灌之空間，依台灣糖業研究所 (1997) 之推薦，此試區甘蔗田可再增施氮肥 20-60 kg N/ha，20 kg P₂O₅/ha，以補充植物生長所需且降低化學肥料施用量之空間。

目前由水質推估豬糞尿處理水施用之肥料量僅 126 kg N/ha/yr、117 kg P₂O₅/ha/yr、150 kg K₂O /ha/yr，確實可再增加氮與磷之施灌量。於此種灌溉深度 (100 mm/yr) 之下，根據土壤之孔隙率及容積比重計算後，水之流動深度最多約僅在土壤層 80-100 cm 深度 (端視土壤質地及含水量而定)，此時其灌溉水中所含之重金屬與有機物在土壤剖面中所移動之深度均未達 60 cm 深。因此推論，豬糞尿二級處理排放水在正常合理施用情況下，應無氮磷污染土壤或地下水之疑慮。經二級處理排放水處理後，2001 年 9 月及 10 月採集之蔗葉與蔗渣植體中的鐵含

量雖有變化(數字未顯示),但未達顯著差異水準 ($P > 0.05$),全氮、錳、銅及鋅含量並未因施灌而有顯著增加之趨勢,對照區甘蔗葉部的銅含量為 12.8 mg/kg,處理區為 9.61 mg/kg;對照區甘蔗葉部的鋅含量為 8.98 mg/kg,處理區為 4.40 mg/kg;對照區甘蔗汁液的銅含量為 2.49 mg/kg,處理區為 2.40 mg/kg;對照區甘蔗汁液的鋅含量為 4.90 mg/kg,處理區為 7.15 mg/kg,此數字差異係空間變異造成,但未達顯著差異水準 ($P > 0.05$),顯示甘蔗植體僅吸收極少量的重金屬,未影響甘蔗之品質(表 7)。

表 7. 嘉義試區 2001 年 12 月收穫甘蔗各部位植體養分濃度

Table 7. Nutrient concentrations of leaf, juice and residual in the sugarcane harvested on December, 2001 sampled from treatment and check plots of Chiai site

Parts of sugarcane		N	P	K	Ca	Mg	Na	Cu	Zn
			%			g/kg		mg/kg	
Leaf#	Treatment [¶]	1.48§	0.17	1.30	—	—	0.12	9.61	4.40
	Std [¶]	0.11	0.01	0.04	—	—	0.01	4.22	1.06
	Check	1.52§	0.17	1.41	—	—	0.11	12.8	8.98
	Std	0.15	0.01	0.04	—	—	0.01	4.81	1.95
Juice	Treatment	0.05	0.05	0.18	0.14	0.27	0.03	2.40	7.15
	Std	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.41	0.50
	Check	0.06	0.04	0.20	0.13	0.26	0.03	2.49	4.90
	Std	0.01	0.00	0.02	0.03	0.04	0.02	0.71	0.46
Residual	Treatment	0.30	0.15	0.52	0.49	0.03	0.09	ND	17.8
	Std	0.03	0.02	0.07	0.05	0.00	0.03	—	6.80
	Check	0.31	0.13	0.58	0.47	0.03	0.10	ND	27.4
	Std	0.02	0.01	0.08	0.05	0.00	0.03	—	4.19

#: Sampled in September, 2001

[¶] The data are shown as mean and standard deviation for 4 duplicate samples in each treatment.

-- : Not determined.

ND: less than the method detection limit (MDL)

The yield of sugarcane harvested in 2001 is 66.8 tons/ha in the treatment plot and 60.3 tons/ha in the check plot. There are significant different between two plots ($P < 0.05$).

§No symbol shown in the table means there is no significant different between before and after treatment of application of treated swine wastewater. Means in the same item followed by different letter are significantly different ($P < 0.05$).

臺南試區之處理區於 2002 年 3 月以豬糞尿處理水施用處理後,處理區盤固草莖葉之氮、鉀含量稍微增加,磷含量略下降,重金屬含量則未見增加,但均未達顯著差異水準 ($P > 0.05$) (表 8),顯示盤固草吸收的重金屬有限。結果指出,兩次灌溉處理後,對照區與處理區之盤固草之銅含量均低於方法偵測極限;兩次灌溉處理後,處理區之鋅含量均略低於對照區之鋅含量。對照區之各項養分含量則皆略見下降,但均未達顯著差異水準 ($P > 0.05$),此乃現場土壤空間變異及土壤採樣之結果。比較嘉義試區及臺南試區 2001 年之植體產量,處理區皆顯著高於對照區 ($P < 0.05$)。嘉義試區之甘蔗鮮重產量,處理區較對照區多出 10%;臺南試區之牧草鮮重產量,處理區較對照區高出 85%,部分原因應歸因於以豬糞尿處理水施用處理所提供之水分補充進而促進牧草之生長。

表 8. 臺南試區 2002 年 3 月處理前後 (2 月及 5 月) 採樣之盤固草莖葉養分濃度

Table 8. Nutrient concentration of pangolagrass pasture growing in treatment and check plots tested in Tainan site

Plots	Date [#]	N	P	K	Ca	Mg	Na	Cu	Zn
		%				g/kg		mg/kg	
Treatment	Feb/2002 [¶]	0.54§	0.64	0.88	1.47	0.48	4.11	ND	29.9§
	Std [¶]	0.11	0.12	0.24	0.24	0.06	1.45	—	6.00
Treatment	May/2002	0.66	0.39	1.14	0.93	0.33	5.10	ND	18.2
	Std	0.14	0.06	0.33	0.30	0.08	1.13	—	8.73
Check	Feb/2002	0.61	0.52	1.14	1.60	0.59	4.40	ND	35.8
	Std	0.09	0.16	0.21	0.15	0.10	0.58	—	7.63
Check	May/2002	0.51	0.46	1.31	1.25	0.45	3.35	ND	28.1
	Std	0.10	0.13	0.27	0.38	0.06	0.47	—	7.99

[#]: Sampled in February and May, 2002.

[¶] The data are shown as mean and standard deviation for 6 duplicate samples in each plot.

§ No symbol shown in the table means there is no significant different between before and after treatment of application of treated swine wastewater.

ND: less than the method detection limit (MDL)

The yield of pangolagrass harvested in 2002 is 15.9 tons/ha in the treatment plot and 8.58 tons/ha in the check plot. There are significant different between two plots ($P < 0.05$)

IV. 養豬畜殖處理水作為土壤施灌可行性的探討

嚴 (1995) 研究指出，有機廢棄物之使用，首先必須考慮者應該是施用量之問題。豬糞尿在蔗田之利用時，每次豬糞尿灌溉總生化需氧量負荷不可超過 1000 kg/ha，其施灌時間應在甘蔗生長期間 (每年六月之前)以配合作物氮素吸收的趨勢。嚴 (1995) 進一步指出，擁有 10,000 頭豬之畜殖場，至少需有 200 ha 之土地以消納之。Wang and Fang (1978) 研究豬糞 (尿) 長期使用後對土壤性質之影響時指出，使用豬糞 (尿) 會使土壤 pH 值略微增加，對土壤有機質含量之影響，與土壤質地有關，可增加土壤氮含量，會增加 0-50 公分之土壤導電度，可大量增加表層土壤之有效性磷與 0.1 M 鹽酸可萃取性銅含量，會增加表層交換性鉀與 0.1 M 鹽酸可萃取性鋅錳含量，及可增加甘蔗產量等。本研究結果與 Wang and Fang (1978) 的試驗結果相似，兩個試驗區之處理區與對照區之土壤與甘蔗或盤固草之產量與品質，在施灌豬糞尿二級處理排放水 100 mm/yr 以土壤處理前後，並無明顯可見之負面影響，而且施灌豬糞尿二級處理排放水會對甘蔗增產 10%，但對牧草增產極多 (85%)，主要是提供更多之水分利於牧草生長。

Tzeng *et al.* (2000) 及劉等 (1996) 研究，養豬畜殖放流水對土壤重金屬累積與甘蔗之影響時指出，重金屬在甘蔗植體內之濃度，不因施灌豬糞尿而提高，土壤性質與甘蔗生育亦不受影響。本研究經 2 年之田間試驗結果也說明了在豬糞尿二級處理排放水之正常合理施用及管理下，處理後廢水中之銅與鋅濃度僅 $< 2 \text{ mg/L}$ ，對兩個試驗區之農田土壤及甘蔗及牧草之地上物並不會累積銅與鋅。Liu *et al.* (1996) 研究台糖自營農場長期施灌豬糞尿地區重金屬在土壤中之分佈，及甘蔗對其之吸收時指出，長期施灌未經處理之豬糞尿之台糖蔗園中，其土壤 0.1 M HCl 重金屬萃取量，與環保署之土壤重金屬含量標準相比較，係屬於「低含量等級」或「中含量等級」，以目前土壤中重金屬之含量以總量管制來推算 (陳等，1992)，應對土壤性質及甘蔗生育並無不良之影響。

Tzeng *et al.* (2000) 以土壤處理事業廢水，是藉由土壤廣大之表面積及離子交換能力以去除廢水中之污染物，進而防制地下水源之污染。此等操作對水資源之再利用，以及環境保護

之工作甚具意義。Tzeng *et al.* (2000) 經由兼曝氣處理系統之豬糞尿，施灌量為 120 mm 水深，約為每作甘蔗施用 1200 ton 豬糞尿二級處理排放水，排放至田間後，定期監測土壤與地下水。研究土壤為台糖公司六分寮與西後寮農場之土壤均為砂頁石灰岩沖積土，太保農場之土壤則為低腐植灰粘化土。三個農場之質地，分別為粉質壤土、壤土與粉質粘壤土。其土壤 pH 與導電度，分別介於 6.7-7.9 與 0.40-0.85 dS/m。三種土壤有機質含量均低於 1.8 %，可列為低有機質含量之土壤。施灌豬糞尿二級處理排放水一、三與五個月後，土壤有機質與全氮含量於施灌豬糞尿二級處理排放水後，大部分土壤有機質與全氮含量均略微增加。

結 論

1. 兩個試驗區之處理區與對照區之土壤與甘蔗或盤固草之產量與品質，在施灌豬糞尿二級處理排放水 100 mm/yr 以土壤處理前後，並無明顯可見之負面影響。結果經評估在豬糞尿二級處理排放水之正常合理施用及管理下，應無氮、磷及重金屬銅鋅污染農田土壤或影響農作物品質之疑慮。
2. 經 2 年之田間試驗，在豬糞尿二級處理排放水之正常合理施用及管理下，處理後廢水中之銅與鋅濃度僅 < 2 mg/L，對兩個試驗區之農田土壤及甘蔗及牧草之地上物並不會累積銅與鋅。施灌豬糞尿二級處理排放水會對甘蔗增產 10% 但對牧草增產極多主要是提供更多之水分利於牧草生長。
3. 施灌豬糞尿二級處理排放水 100 mm/yr 狀況下，依目前氮施用量仍低於 250 kg N/ha/yr 及磷施用量低於 120 kg P₂O₅/ha/yr，造成甘蔗及牧草葉片之氮磷含量仍屬缺乏狀態，氮與磷肥仍有補充增加施灌之空間，建議在考量不影響土壤及作物品質及環境水質情況下，可依土壤性質及作物種類需要，增加年施灌量。

誌 謝

本文作者感謝行政院農業委員會在民國 90 年及 91 年農業科技計畫(90 農科-1.5.2-牧-U1 及 91 農科-1.4.2-牧-U1)對本研究經費之支持，特致最大謝意。研究期間承賴鴻裕、吳森博、李家興、簡士濠、高政毅、賴允傑、崔君至、陳慧美、林惠淑、邱春媚等人在野外採樣工作之協助，本文作者亦表示感謝之意。

參考文獻

- 台灣糖業研究所。1997。對各糖廠自營農場甘蔗葉片分析記錄 (85-86 年期)。
- 行政院環境保護署。1999。土壤處理標準。中華民國八十八年六月二十九日（八八）環署水字第 00 四二二五依號令。
- 洪嘉謨、蘇清全、郭猛德、林財旺、徐彩煥、李啓忠、沈韶儀。1997。三段式豬糞尿處理系統之評估 —— 放流水質與 87 年環保標準比較 (I)。畜產研究 30(4)：379~386。
- 陳尊賢、李達源、黃東亮。1992。台灣地區各主要土類中重金屬含量之等級劃分。行政院環保署委託研究報告 (EPA-81-H105-09-02)。
- 劉文徹、謝德上、陳芳、李松伍。1996。台糖自營農場長期施灌豬糞尿地區重金屬在土壤中之分佈及甘蔗對其之吸收。臺灣糖業研究所研究彙報 153：11~26。
- 嚴式清。1995。長期施用豬糞尿有機肥對地下水污染之影響及合理施用量之評估。有機質肥料合理

施用技術研討會論文集: 14-1~14-12.

- Chen, Z. S. 2000. Assessing soil quality and approaching the regulations of trace elements in livestock manure composts for long term application in Taiwan. Proceedings of the 2000 International Forum on Livestock Pollution Control. October 24-27, 2000. Tainan, Taiwan, Council of Agriculture, R.O.C. pp. 206~230.
- Hsieh, C. H. and F. H. Hsu. 2000. Effects of treated pig wastewater and compost on surface runoff, forage quality and soil fertility of pangolagrass pasture. Proceedings of the 2000 International Forum on Livestock Pollution Control. October 24-27, 2000. Tainan, Taiwan, Council of Agriculture, R.O.C. pp. 231~240.
- Liu, W. C., T. S. Hsieh, F. Chen and S. W. Li. 1996. Effect of swine lagoon effluent on soil heavy metal accumulation and sugarcane. Taiwan Sugar Research Institute 152 : 1~18.
- Tzeng, J. S., C. M. Huang and P. L. Wang. 2000. Recycling of pig wastes in TSC. Proceedings of the 2000 International Forum on Livestock Pollution Control. October 24-27, 2000. Tainan, Taiwan, Council of Agriculture, R.O.C. pp. 241~260.
- Wang, C. C. and I. J. Fang. 1978. The effect of the long-term application of hog wastes on the soil properties of TSC's sugarcane fields. Taiwan Sugar 25(6) : 196~204.

The effect of applying treated swine wastewater on the soil quality, productivity and quality of sugarcane and pangolagrass

Zueng-Sang Chen^{(1)*}, Chen-Chi Tsai⁽¹⁾, Pin-Ting Wu⁽¹⁾, Chi-Yen Lin⁽¹⁾, Chao-Hsien Hsieh⁽²⁾, Chi-Min Huang⁽³⁾, Jiing-Shan Tzeng⁽³⁾, Chan-Jui Chao⁽³⁾, Min-Chao Wang⁽⁴⁾ and Shen-Pin Ho⁽¹⁾

Received : May 5, 2003 ; Accepted : Sep. 5, 2003

Abstract

To reduce the environmental pollution, wastewater can be recycled and reused on rural agricultural soils. Treated swine wastewater (TSW) land applications contain abundant amounts of nutrients and water for crop uptake. The objectives of this study are to monitor the effects of TSW land application on the soil quality, crop quality and productivity of sugarcane and pangolagrass pastures. The accumulation of copper and zinc in the soil and crop will be monitored. Tainan and Chiai experimental sites were selected for monitoring from 2001 to 2002. The TSW land application rate in the rural soil and pasture sites was 100 mm TSW depth per year in the treated plots. We applied chemical fertilizers based on the fertilization recommendation for sugarcane and pangolagrass pastures. The results from the monitoring system, indicated that the soil pH, electrical conductivity (EC), exchangeable Ca, Mg, K, and Na, organic C, available P, Cu, and Zn in rural soil treated plots showed no significant difference from the control plot without TSW application at two experimental sites ($P > 0.05$). The results also indicated that there was no significant difference between the macro elements (N, P, K, Ca and Mg) and microelements (Fe, Mn, Cu and Zn) on leaf quality and productivity in sugarcane and pangolagrass pastures ($P > 0.05$). There was no significant effect on the accumulation of Cu and Zn in the soils in sugarcane or pangolagrass pastures after two TSW applications at the two sites. The results from this two year monitoring system in field sites can provide a safe, recycling and management system for recycling. The TSW land application regulations announced by the Taiwan EPA in 1999 can be evaluated and revised accordingly.

Key words : Land application, Treated swine wastewater, Heavy metal, Soil quality, Sugarcane, Pangolagrass.

(1) Department of Agricultural Chemistry, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, R.O.C.

(2) Livestock Management Division, COA-LRI, Hsinhua, Tainan, R.O.C.

(3) Industrial Safety Environmental Control and Chemical Analysis Center, Taiwan Sugar Research Institute, Tainan, Taiwan, R.O.C.

(4) Department and Graduate Institute of Environmental Engineering and Management, Chaoyang University of Technology, Taichung County, Taiwan, R.O.C.

*: Corresponding author, soilchen@ccms.ntu.edu.tw

Running title:

畜牧處理水於土壤施灌後對土壤及作物之影響

***: Corresponding author**

陳尊賢 教授

國立台灣大學 農業化學系

106-17 台北市大安區羅斯福路四段一號

Tel: (02)2369-8349

fax: (02)2392-4335

Email: soilchen@ccms.ntu.edu.tw