

畜牧廢水土壤處理場址之適合度評估及廢水土壤施灌對水體水質 pH、導電度、總有機碳及重金屬含量之影響

王敏昭⁽¹⁾⁽³⁾ 張簡水紋⁽¹⁾ 劉玉婷⁽²⁾ 賴盈仲⁽²⁾

收件日期：92 年 5 月 27 日；接受日期：92 年 10 月 3 日

摘 要

將二級處理過後之畜牧廢水施灌至土壤作為土壤處理，不但有助於水資源再利用，還可減少廢水處理問題。本研究探討畜牧廢水長期施灌對灌區相關水體水質以及重金屬含量之影響。農委會畜產試驗所（試區 I）以及南靖糖廠鹿草農場（試區 II），經廢水土壤處理場址選擇評分評估皆屬高適宜性。經過兩年多的地面水及地下水之 pH、EC（導電度，electrical conductivity）、TOC（總有機碳，total organic carbon）及各種重金屬含量等水質監測結果發現，試區 I 及試區 II 有部分水樣 EC 值偏高以及 TOC 量含量較高的情形，乃受雨量多寡及附近民營養鴨場排放畜殖廢水所致。試區 II 之監測井 1 水樣於 2001 年 9 月及 10 月份之 As 濃度，超過地下水污染第二類管制標準值，可能與試區小區域性土壤母質，以及當兩月分均有頗高之累積雨量有關。試區 I 經二次施灌以及試區 II 經三次施灌豬糞尿二級處理排放水，其處理區與對照區之地下水樣與相關環境地面水之特定化性與重金屬濃度並無可視之差異；且畜牧廢水中 Cu 與 Zn 濃度，低於地下水污染第一類管制標準值，顯見兩試區對試區周遭地下水及地面水之相關水質與重金屬濃度並無影響。

關鍵詞：土壤處理、畜牧廢水、重金屬、水質。

緒 言

畜牧廢水為環保署核定可採用土壤處理方式之事業之一。以土壤處理事業廢水是藉由土壤巨大之表面積及離子交換能力，去除廢水中之污染物，進而防制地下水源之污染。近幾年，來由於豬肉需求量日增，飼養頭數的增加及養豬場企業化經營，產生大量的豬糞尿廢水，而環保意識之高漲，利用各種有機廢棄物時，均面臨環保團體與居民深切之關心。為因應此等畜殖廢水的土壤施灌，王等（1998，1999，2000）曾探討施灌廢水場址對周圍環境品質之影響，以及此等施灌場址之適宜性

- (1) 朝陽科技大學環境工程與管理系。
- (2) 國立中興大學土壤環境科學系。
- (3) 通訊作者，e-mail: mcwang@mail.cyut.edu.tw.

等級。然而，長期之畜殖廢水土壤施灌，對相關水體（灌溉渠道、河川、地下水等）重金屬含量之影響與評估研究並不多，因此，本研究擬探討畜牧廢水長期施灌對灌區相關水體水質以及重金屬含量之影響。

故本文的目的在於探討經過二級處理後之豬糞尿排放水，施灌農田經土壤處理後，對灌溉渠道、河川與地下水等相關水體水質與重金屬含量的影響，以建立初步之基本資料，期達到畜牧業永續經營與土壤永續利用之重要目標。

材料與方法

I. 試區概述

本試驗有兩處試區，一試區位於農委會畜產試驗所盤固草 A13 區（試區 I），另一試區位於台糖公司所屬之南靖糖廠鹿草農場（試區 II）。

試區 I 之集水區建立於民國 1981 年，種植盤固草(*Digitaria decumbens* Stent) A254，牧草收割後不翻耕，並依作物施肥手冊（台灣省政府農林廳，1994）盤固草之化學肥料施用推荐量 N： P_2O_5 ： K_2O 為 400：150：140 kg/yr。試區分為兩部分，一部分施用化學肥料作為對照區（CK）；另一部分施灌豬糞尿二級處理排放水作為處理區（T），該農場現有三口監測井定期採集地下水分析，另採集試區附近河流兩處地面水同樣進行分析，以瞭解試區整體水域之水質情形。試區 I 詳圖如圖 1。

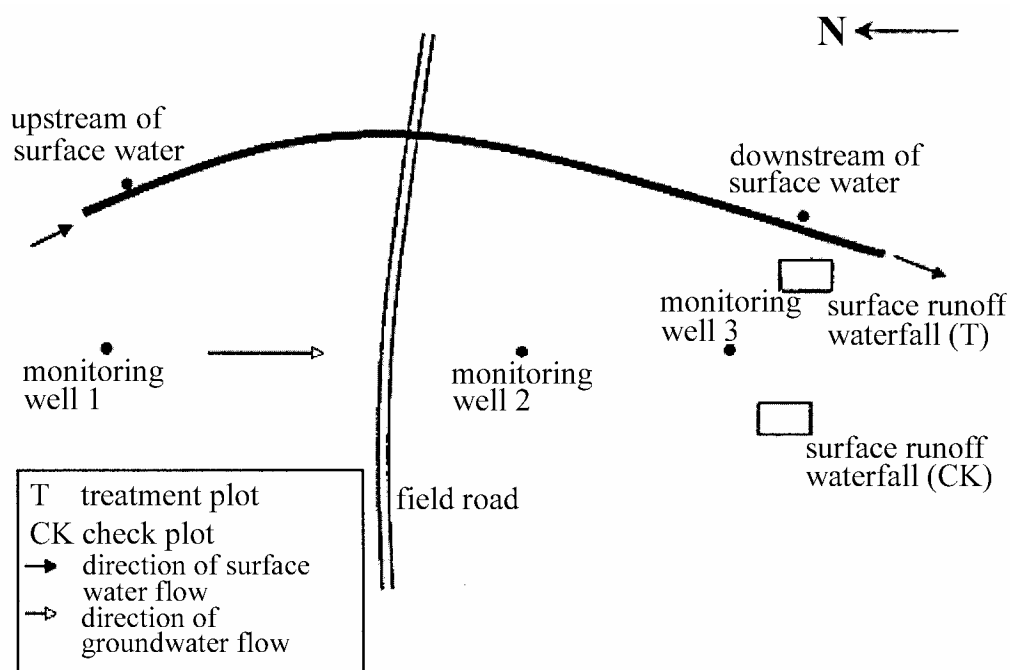


圖 1. 試區 I (畜產試驗所) 監測井及周邊相關環境地面水水體位址示意圖。

Fig. 1. The sites of monitoring wells and vicinal related surface water in plot I (Livestock Research Institute).

試區 II 之總面積約 400 ha，其中細質地黏壤土及黏土地之面積約佔 99.5%，該試區經營畜殖場之排放廢水符合台灣地區放流水排放標準，並領有廢水土壤處理許可執照。試區內於 2000 年 8 月秋植 ROC 10 品種甘蔗，取其中約 4 ha 土地作為對照區（CK），肥料用量 N： P_2O_5 ： K_2O 為

240 : 36 : 72 kg/ha；其餘約 6 ha 土地作為處理區 (T)，施灌豬糞尿二級處理排放水每次 100 mm 水深，施灌前後分別採集土壤樣品分析其理化性質，並於該農場現有之四口監測井定期採集地下水分析，另外為瞭解地區整體水域之水質情形，同時監測試區周圍之一口民井與三個地面水體。試區 II 詳圖如圖 2。

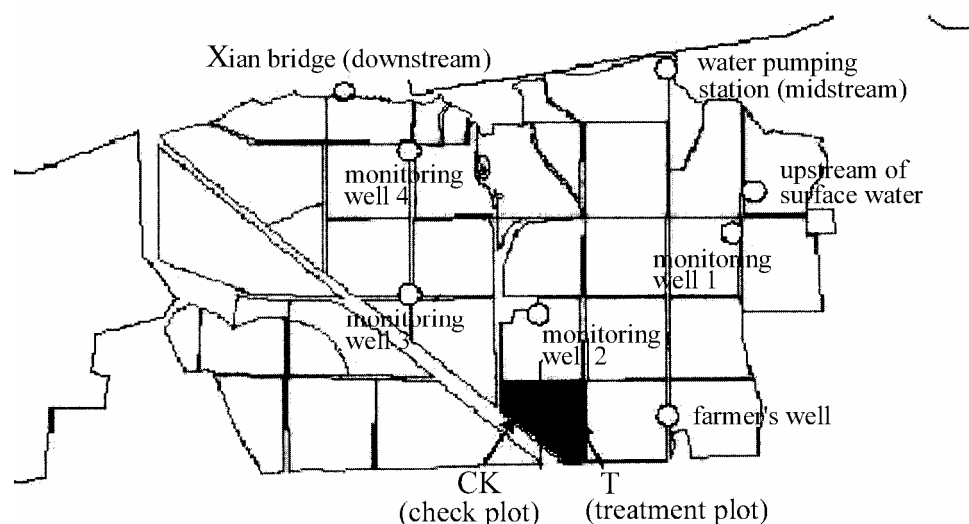


圖 2. 試區 II (鹿草農場) 周邊監測井與相關表面水體位址示意圖。

Fig. 2. The experimental plots and the sites of monitoring wells and vicinal related surface water in plot II (Lutsao Farm).

II. 現址或實驗室測定之項目

表 1 所列廢水土壤處理場址選擇評分，乃依據場址多項土壤特性及其土地位置或利用方式來判斷 (U.S. EPA, 1981 ; Maryland Department of the Environment, 1987)，其中並列有廢水土壤處理系統區分、適用條件範圍以及測定之相關土壤特性項目。並依據地下水流向，於各場址之上、中、下游分別各設定一口監測井，作為地下水採樣監測之用。

- (i) 場址之土壤質地：於廢水土壤處理場址地下水流向上、中、下游之三個監測井附近，依每 10 cm 深度為單位採集土壤樣品，以比重計法 (Gee and Bauder, 1986) 測定其質地。由土壤質地，再判斷場址條件為地表漫流系統、慢速滲濾系統或快速滲濾系統。
- (ii) 土壤層厚度：以兩個試區於施工建造監測井之地質鑽探圖為依據，判定兩試區之土壤層厚度。
- (iii) 土壤層之導水度：於每個試區之監測井附近，配合上述 (i) 項工作進行之同時，依據分類之數個質地層，再另外以土鑽及土環採集器，採集最厚質地層處之土環 (soil core)。將採集得土環攜回實驗室，再以定水頭法 (constant head method) (Klute and Dirksen, 1986) 測定土環土壤之飽和導水度。
- (iv) 坡度：於廢水土壤處理場址及監測井附近，直接以水平儀量測場址之坡度。
- (v) 最高地下水位距地表之高度：以累積全年之監測井的地下水位資料，找出監測井之最高地下水位，以及各口監測井之全年地下水位的變化趨勢。
- (vi) 土壤飽和萃取液之導電度：於廢水土壤處理之場址，約以每 50 公頃為一單位，採集 20 個表土 (0-15 cm) 及底土 (15-30 cm) 之副樣品，再各別混合成一個表土及一個底土樣品。然後依據 McLean (1982) 之方法測定其 pH 值，並依據 Rhoades (1982) 之方法，測定土壤飽和萃取液之導電度。

(vii) 監測井及對照民井之地下水及地表水採樣程序:於每月之第二週，在量測監測井之地下水位時，亦同時依據環保署環境檢驗所（2002）公告之地下水採集方法（NIEA W103.50B；W103.51B）採集監測井之水樣，並採集民井之地下水樣作為對照。

(viii) 水樣之採樣及分析

1. 水樣種類

試區 II 水樣之採樣點數有八個；試區 I 採樣點數有五個，水樣種類包含地下水，以及周遭灌溉渠道及河川之地面水。試區 II 之水樣種類包含四口監測井、一口民井及三處地面水之水樣。其中監測井之採樣方法除了依據環保署環境檢驗所（2002）公告之地下水採集方法（NIEA W103.50B；W103.51B），另增加定層採樣法，四口監測井每口採集兩種水樣，加上民井及三處地面水水樣共十二個水樣。地下水採集之採樣程序為先測定監測井之水位後，以定層採樣器採集井篩附近之水樣，待採集足夠之水樣後，依據水位高度計算井內含水量，隨即抽取三倍井體水至水質穩定後（變化範圍 $\text{pH} \leq \pm 0.2$ 、 $\text{EC} \leq \pm 3\%$ 、溫度 $\leq \pm 0.2^\circ\text{C}$ ），採集水樣。然後依據環境保護署環境檢驗所於各年次公告之檢測方法（1994a，1994b，1994c，1999，2000a，2000b，2000c）現場測定水體溫度（NIEA W217.51A）、pH 值（NIEA W424.50A）、EC（導電度）（NIEA W203.51B）及 DO（溶氧），再將水樣帶回實驗室以「火焰式原子吸收光譜法」（NIEA W306.50A）分析鎘（Cd）、鉻（Cr）、銅（Cu）、鎳（Ni）、鉛（Pb）、鋅（Zn）、鐵（Fe）、錳（Mn）等元素，砷（As）之測定採「批次式氫化物原子吸收光譜法」（NIEA W435.51B），汞（Hg）之測定採「冷蒸氣原子吸收光譜法」（NIEA W330.50A），另外水中之總有機碳則以燃燒/紅外線測定法（NIEA W530.51C）定量分析之。

結果與討論

I. 廢水土壤處理場址選擇評分建議之特性項目評估

土壤處理場址之選擇評分建議，七項特性評分有六項與場址之土壤特性有關（表 1）。試區 I 土壤之質地為壤土至砂質黏壤土（未表列）；試區 II 之質地為粘壤土至粉質黏壤土（未表列）。初步判斷兩試區應為「慢速滲濾系統」，但進一步分析土壤飽和導水度結果發現，兩試區之土壤飽和導水度都非常低，試區 I 為 $0.017 \sim 0.116 \text{ cm/hr}$ ，試區 II 土壤飽和導水度幾乎為零，顯示兩個試區之滲透率極低，未及「慢速滲濾系統」之滲透率（ $0.5 \sim 15 \text{ cm/hr}$ ），故判斷試區之土壤處理方式應屬「地表漫流系統」（表 1）。然而，表層土壤因為耕犁（試區 II），以及含較高量有機質之緣故（試區 I 與試區 II），仍然有較高之飽和導水度，灌溉水仍會入滲及滲漏至一定之土壤層深度。廢水土壤處理場址選擇評分建議之七項特性項目如表 1 所述，此等項目乃土地作為土壤處理前之必要評估條件。

第一項評估條件為「土壤層厚度」，土壤層厚度是指土壤表面至岩床層之厚度，可依據當地監測井或其他鑽井之地質鑽探資料做參考，土壤層厚度愈厚則表示廢水下滲時，廢水與土壤層的相互作用容量愈大，場址可作為土壤處理的資源愈豐厚。試區 II 周遭共有四口監測井鑽井資料，四口井之土壤層厚度皆大於 20 m ，故判斷試區 II 土壤層厚度評分之等級應為 $> 3.0 \text{ m}$ ；試區 I 周遭有三口監測井鑽井資料，顯示其土壤層厚度皆大於 54 m ，故判斷試區 I 土壤層厚度評分之等級應為 $> 3.0 \text{ m}$ 。兩試區土壤處理方式為地表漫流系統，若僅以施灌區土壤層之厚度來考量其適宜性程度時，則兩試區均可得最高之評分點數（7 點）。

第二項評估條件為「土壤之飽和導水度」，通常飽和導水度較低者，廢水較不易因下滲過快

而污染地下水層。兩試區分別採集四個土環於實驗室測得其土壤之飽和導水度，試區 I 為 0.017 ~ 0.116 cm/h；試區 II 土壤之飽和導水度極低，幾乎為零，故兩試區土壤之飽和導水度評分之等級為 < 0.15 cm/h，評分點數皆可得到最高之評分點數 (10 點)。

表 1. 試區 I 與試區 II 廢水土壤處理場址選擇評分表

Table 1. Evaluation table for the selection of soil-treatment sites of wastewater in plot I and plot II

type of soil treatment	□Slow infiltration	■Surface flow	□Fast infiltration		
Characteristics	Slow infiltration		Surface flow	Fast infiltration	Evaluation credit
	Agricultural land	Forest land			Plot I Plot II
Depth of soil layer (m) ^a					
< 0.3	X	X	0	X ^c	
0.3 ~ 0.6	X	X	0	X	
0.6 ~ 1.5	3	3	4	X	
1.5 ~ 3.0	8	8	7	4	
> 3.0	9	9	7	8	7 7
Hydraulic conductivity (cm/h) ^b					
< 0.15	1	1	10	X	10 10
0.15 ~ 0.5	3	3	8	X	
0.5 ~ 1.5	5	5	6	1	
1.5 ~ 5.0	7	7	1	6	
5.0 ~ 50	8	8	X	9	
> 50	X	X	X	X	
Slope (%)					
0 ~ 5	8	8	8	8	
5 ~ 10	6	8	5	4	5
10 ~ 15	4	6	2	1	
15 ~ 20	0	5	X	X	
20 ~ 30	0	4	X	X	
30 ~ 35	X	2	X	X	
> 35	X	0	X	X	
Lest depth to watertable (m)					
< 0.6	X	X	X	X	
0.6 ~ 1.5	X	X	1	X	
1.5 ~ 3.0	4	4	4	X	1
> 3.0	6	6	6	6	6
EC (Saturation extract of soil) (mS/cm)					
< 2	6	6	6	6	6 6
2 ~ 4	4	3	4	4	
4 ~ 8	0	0	0	0	
8 ~ 16	X	X	X	X	
> 16	X	X	X	X	
pH					
< 4.2	X	X	X	X	
4.2 ~ 5.5	3	3	3	3	
5.5 ~ 8.2	6	6	6	6	6 6
> 8.2	X	X	X	X	
Land site or type of land use					
High-density of residential area	X	X	X	X	
Industrial park	X	X	0	0	
Low-density of residential area	X	X	1	1	
Forest land	X	4	2	2	
Agricultural land or bare land	4	3	4	4	4 4
Evaluation by degree for over all suitability	Summary				44 42

Low	< 15	□Low
Medium	15 ~ 30	□Medium
High	30 ~ 47	■High

^a Depth of soil to bedrock.
^b The least hydraulic conductivity in soil profile.
^c Symbol “X” means that it is not suitable as a soil-treatment site.

第三項評估條件為「地形坡度」，對地表漫流系統之土壤處理方式而言，坡度過陡會導致施灌之廢水快速逕流，使未經完整土壤處理之廢水污染場址周遭的土地或水體，故坡度愈緩愈能達到土壤處理效能。地形坡度以水準儀實地量測，試區 I 之平均坡度約為 8.52%，評分之等級為 5 ~ 10%，評分點數為 5 點；試區 II 之平均坡度為 3.27%，評分之等級為 0 ~ 5%，評分點數為 8 點。

第四項評估條件為「距地下水位之最小深度」，若土壤表層距地下水位距離太近，易使廢水下滲至地下水層而造成污染，故地下水位乃所有土壤處理場址評估項目中最重要之指標。於試驗觀察期間兩個試區之地下水位變化趨勢資料顯示，試區 I 地下水位最小深度為 12.29 m，評分等級為 > 3 m，評分點數為 6 點；試區 II 地下水位最小深度為 1.33 m，評分等級為 0.6 ~ 1.5 m，評分點數為 1 點。

第五項評估條件為「EC 值」，土壤飽和抽出液之 EC 值愈低，表示其含可溶性鹽類含量愈低，則作為土壤處理之適用性愈高。試區 I 與試區 II 土樣測得 EC 值分別為 165 ~ 233 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 及 263 ~ 339 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，評分等級皆為 < 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (2 mS/cm)，評分點數可得到最高之評分點數 (6 點)。

第六項評估條件為「pH 值」，pH 值愈趨近於中性者 (5.5 ~ 8.2)，表示土壤緩衝變酸或變鹼之容量愈高，則作為土壤處理之適用性愈高。試區 I 及試區 II 土樣測得 pH 值分別為 5.65 ~ 5.94 及 6.86 ~ 7.31，評分等級皆為 5.5 ~ 8.2，評分點數可得到最高之評分點數 (6 點)。

最後第七項評估條件為「土地位置或利用方式」，共可分為高密度住宅區、工業區、低密度住宅區、林地及農地或空地等五種方式，土地開發利用程度或人口密度愈高者愈不適用作為土壤處理場址。試區 I 及試區 II 皆屬於農地及空地之評分等級，可獲得最高之評分點數 4 點。

兩試區經七項相關特性項目之完整評估後，其評分結果分別如表 1 所示。最高總評分點數 47 點，試區 I 及試區 II 總評分點數依次分別為 44 點及 42 點，整體適合程度評估皆屬「高」適宜性，故兩試區均適合作為廢水土壤處理場址。

II. 灌溉水及施灌豬糞尿二級處理排放水之水質及其施灌後對周遭地下水及地面水體水質之影響

除測定試區周遭水體水質外，同時亦不定期測定兩個試區畜殖場之二級處理排放水及灌溉水之水質，其相關水質及重金屬含量測定結果分別如表 2 及表 3 所示。表 2 顯示兩試區二級處理排放水及灌溉水之 pH 值介於 6.69 ~ 8.16 之間，符合灌溉水水質標準 (6.0 ~ 9.0) (台灣省政府建設廳，1978)。然而，二級處理排放水之 EC 值 (2400 ~ 3940 $\mu\text{S}/\text{cm}$) 高於灌溉用水水質標準之導電度限值 (750 $\mu\text{S}/\text{cm}$) (台灣省政府建設廳，1978)。再者，試區 I 於 2001 年 12 月 13 日之二級處理排放水之 DO 值 (0.30 mg/L)，與試區 II 於 2001 年 5 月 4 日二級處理排放水之 DO 值 (0.93 mg/L) 及 8 月 10 日之灌溉水之 DO 值 (0.82 mg/L)，均低於陸域地面水體丁類水質溶氧之限值 (> 2 mg/L) (行政院環境保護署，2002)。另外試區 II 其二級處理排放水之 TOC 值較高。顯示兩試區二級處理排放水有 EC 值偏高及 DO 值偏低的情形。表 3 為兩試區之灌溉水及二級處理排放水的重金屬含量，顯示各重金屬之含量都很低，且 Cu 及 Zn 的含量也不高。但兩試區部分灌溉水及二級處理排放水之 Cd (0.028 mg/L)、Cu (1.02 mg/L)、Pb (0.131 mg/L) 及 Mn (2.60 mg/L) 含量超過土地純屬作為事業廢水土壤處理場地之水質標準 (未表列)。

試區 I 及試區 II 從 2001 年 4 月份至 2003 年 7 月份，所有監測井、地面水及民井水樣之 pH 變異範圍為 6.91 ~ 8.39 (圖 3)。然而，所有測定水樣之 pH 值，均符合「陸域地面水體分類及水質標準」(行政院環境保護署，2002) 與「地下水體分類及水質標準」(徐，1991) 之限值 (6.0-9.0)。

表 2. 試區 I 及試區 II 之灌溉水及其畜殖場之二級處理排放水之 pH、EC、DO、水溫及 TOC

Table 2. The pH, EC, DO, water temperature and TOC of irrigated water and/or pig farm wastewater in plot I and plot II

Plot I						
Water sample	Sampling date	pH	EC	DO	Water temperature	TOC
			$\mu\text{S/cm}$	mg/L	$^{\circ}\text{C}$	mg/L
Pig farm wastewater	December 13, 2001	8.16	2400	0.30	22.6	N.D. ^a
Pig farm wastewater	March 13, 2002	8.13	3460	4.14	20.8	5.42

Plot II						
Water sample	Sampling date	pH	EC	DO	Water temperature	TOC
			$\mu\text{S/cm}$	mg/L	$^{\circ}\text{C}$	mg/L
Pig farm wastewater	May 4, 2001	7.85	3940	0.93	30.1	26.7
Irrigated water	August 10, 2001	6.69	903	0.82	26.3	N.D. ^a
Pig farm wastewater	February 25, 2002	7.79	2410	N.A. ^b	N.A.	28.0
Irrigated water	March 13, 2002	7.31	488	3.67	22.2	2.20

^a TOC < 0.02 mg/L. EC : electrical conductivity TOC : total organic carbon^b Not determined. DO : dissolved oxygen

表 3. 試區 I 及試區 II 之灌溉水及其畜殖場之二級處理排放水之重金屬含量

Table 3. Heavy metal contents of irrigated water and/or pig farm wastewater in plot I and plot II

Plot I										
Water sample ^a	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Zn
						mg/L				
Pig farm wastewater	N.D. ^b	0.016	N.D.	0.018	0.745	N.D.	0.068	N.D.	N.D.	0.013
Pig farm wastewater	0.093	0.028	0.096	1.02	14.1	0.001	1.42	N.D.	0.131	1.48

Plot II										
Water sample ^a	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Zn
						mg/L				
Pig farm wastewater	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.851	N.D.	2.60	N.D.	N.D.	0.119
Irrigated water	0.230	N.D.	0.055	0.019	7.32	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.037
Pig farm wastewater	N.D.	0.010	N.D.	0.071	0.528	N.D.	0.216	N.D.	N.D.	N.D.
Irrigated water	N.D.	0.014	N.D.	N.D.	0.987	N.D.	0.040	N.D.	N.D.	N.D.

^a The sampling dates of the water samples are illustrated in Table 2.^b As < 0.01 mg/L, Cd < 0.006 mg/L, Cr < 0.04 mg/L, Cu < 0.007 mg/L, Hg < 0.001 mg/L, Ni < 0.03 mg/L, Pb < 0.07 mg/L, Zn < 0.02 mg/L.

兩個試區部分水樣之 EC 值高於 750 $\mu\text{S/cm}$ 之灌溉用水水質標準限值 (台灣省政府建設廳, 1978) (圖 4)。試區 II 監測井 2 於 2001 年 10 月份水樣之 EC 值 (1763 $\mu\text{S/cm}$) 為所有測定水樣之最高者, 由於 EC 值普遍偏高, 且試區 II 監測井 2 為試區之上游井, 故判斷其應是井 2 周遭土壤環境特性所致。試區 I 下游地面水於 2001 年 4 月、5 月及 2002 年 6、11、12 月份, 2003 年 1~4 月份, 試區 II 中、下游地面水於 2001 年 4 月、12 月份、2002 年 1、12 月份及 2003 年 1、2、3、4、7 月份, 以及下游地面水於 2001 年 12 月份及 2002 年 1、11、12 月份及 2003 年 1、2、3、4、7 月份, 均有頗高之 EC 值 (> 750 $\mu\text{S/cm}$), 亦即該等地面水有較高濃度之可溶性鹽類。其原因應是該年月份間降雨量極少, 造成水質中可溶性鹽類的濃縮, 使所測得 EC 值偏高。

圖 5 顯示 2001 年 4 月份水樣中試區 II 地面水中游於 2003 年 4 月份有歷年來最高之 TOC 量

(84 mg/L)，另外地面水下游於 2003 年 1 月份有最高 TOC 量 (86 mg/L)，可能與試驗區附近民營養鴨場排放廢水有關。試區 II 於 2003 年 6 月份監測井 2 水樣之 TOC 量為歷年最高 (34.8 mg/L)。大致而言，兩試驗區之 TOC 值於 2003 年之前並無特異高之情形，但在 2003 年兩試驗區地面水及地下水之 TOC 值則明顯較之前高，宜進一步探究原因。

於 2001 年 3 月至 2002 年 12 月份監測兩個試區地表水及地下水樣之 As、Hg、Cd、Cr、Cu、Ni、Pb、Zn 等八種重金屬含量之結果發現，水樣之 Cd、Cr、Pb 與 Hg 濃度（如圖 7~圖 10）未超過地下水污染第二類管制標準值（依次分別為 0.05，0.5，0.5 與 0.02 mg/L）（徐，1991）；Cu、Ni 及 Zn 濃度（如圖 11 ~圖 13）則未超過地下水污染第一類管制標準值（依次分別為 1.0，0.1 與 5.0 mg/L）（徐，1991）。圖 6 顯示於試區 II 監測井 1 水樣於 2001 年 9 月及 10 月份之 As 濃度超過地下水污染第二類管制標準值 (0.5 mg/L)（徐，1991），由於監測井 1 其他月份水樣之 As 濃度普遍高於試區 II 其他採樣點水樣者（圖 6），且試區 II 施灌之畜牧二級處理排放水中 As 含量極低（表 3），故判斷此應與試區區域性土壤母質有關。通常母質為頁岩或黏板岩者其 As 含量有較高的趨勢，母質為黏板岩者其 As 含量甚至會高至 8 - 16 mg/kg（許及鄭，2002）。

試區 I 於 2001 年 10 月份下旬與 2002 年 3 月份中旬，以及試區 II 於 2001 年 8 月份下旬、2002 年 2 月份下旬，以及 2003 年 3 月份中旬，施灌豬糞尿二級處理排放水，雖然兩試區畜殖場二級處理排放水之 EC 值過高、DO 值過低（表 2），但是由於施灌時搭配適當量灌溉水之稀釋，試區水體之 pH（圖 3）、EC（圖 4）、DO（資料未示）、水溫（資料未示）及 TOC（圖 5）等項目，在兩次與三次施灌二級處理排放水施灌前後並無明顯差異，尤其是處於試區下游之地面水及地下水（試區 I 之地面水下游及監測井 3；試區 II 之下游地面水及監測井 3 及監測井 4），施灌後並無特異高之情形。水質重金屬部分除了試區 II 監測井 1 水樣之 As 濃度，兩個試區之處理區與對照區之地下水樣與相關環境之地面水樣之重金屬濃度，在兩次與三次施灌豬糞尿二級處理排放水前後，並無可視之差異；尤其是與豬糞尿二級處理排放水有關之水樣 Cu 與 Zn 濃度，甚且低於地下水污染第一類管制標準值（圖 11 及圖 13）。顯見兩個試區在兩次與三次施灌二級處理排放水之後，至 2003 年 7 月止，對試區地下水與地面水之相關水質與重金屬濃度並無影響。

結 論

- I. 試區 I 及試區 II 經廢水土壤處理場址選擇評分建議表之特性項目評估後，整體適合程度評估皆屬「高」適宜性，故兩試區均適合作為廢水土壤處理場址。
- II. 兩個試區部份地下水及地面水水樣之 EC 值高於 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 之灌溉用水水質標準限值。地下水部分應是由於周遭土壤環境特性所致；地面水部分則是由於降雨量少，造成水體中可溶性鹽類的濃縮，使所測得之 EC 值偏高。兩個試區地下水及地面水水樣之 TOC 量於 2003 年 1~4 月份有增高趨勢，宜進一步探究原因。
- III. 試區 II 監測井 1 水樣於 2001 年 9 月及 10 月份之 As 濃度，超過地下水污染第二類管制標準值，可能與試區小區域性土壤母質有關。
- IV. 除了試區 II 監測井 1 水樣之 As 濃度，兩個試區之處理區與對照區之地下水樣與相關環境之地面水之特定化性與重金屬濃度，在兩次與三次施灌豬糞尿二級處理排放水前後，並無可視之差異；尤其是與豬糞尿二級處理排放水有關之水樣 Cu 與 Zn 濃度，甚且低於地下水污染第一類管制標準值，顯見兩個試區在兩次與三次施灌二級處理排放水之後，至目前為止，對試區地下水與相關環境地下水與地面水之一些化性與重金屬濃度並無影響。

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 與 91 農科-1.4.2-牧-U1) 對本研究經費之支持，特致最大謝意。

參考文獻

- 王敏昭、蕭清郎、王仲卿、許百琮、胡家弘、陳立夫、陳慧珍。1998。事業廢水土壤處理條件及對環境品質之影響。國立中興大學土壤環境科學系、台灣省政府環境保護處。
- 王敏昭。1999。廢水土壤處理場址等級評定及此等處理對場址周圍環境品質之影響。產業科技發展學術合作論文集。行政院國家科學委員會、經濟部台灣糖業公司、國立台灣大學農學院。p.170 ~ 179。
- 王敏昭、曾景山、陳立夫、王百祿。2000。溪湖與南靖糖廠豬糞尿二級處理排放水土壤處理場址之適當性之評估。台糖公司研究所研究彙報 168：15 ~ 31。
- 台灣省政府建設廳。1978。台灣省灌溉用水水質標準。台灣省政府建設廳。
- 台灣省政府農林廳。1994。作物施肥手冊。行政院農業委員會、農林廳編印。
- 行政院環境保護署。2002。水污染防治法規。行政院環境保護署。
- 行政院環境保護署環境檢驗所。1994a。水中氫離子濃度指數測定法-電極法 (NIEA W424.50A)。行政院環境保護署環境檢驗所，中壢市。
- 行政院環境保護署環境檢驗所。1994b。水中銀、鎘、鉻、銅、鐵、錳、鎳、鉛及鋅檢測方法-火焰式原子吸收光譜法 (NIEA W306.50A)。行政院環境保護署環境檢驗所，中壢市。
- 行政院環境保護署環境檢驗所。1994c。水中汞檢測方法—冷蒸氣原子吸收光譜法 (NIEA W330.50A)。行政院環境保護署環境檢驗所，中壢市。
- 行政院環境保護署環境檢驗所。1999。水溫檢測方法 (NIEA W217.51A)。行政院環境保護署環境檢驗所，中壢市。
- 行政院環境保護署環境檢驗所。2000a。水中導電度測定方法—導電度計法 (NIEA W203.51B)。行政院環境保護署環境檢驗所，中壢市。
- 行政院環境保護署環境檢驗所。2000b。水中砷檢測方法-批次式氫化物原子吸收光譜法 (NIEA W435.51B)。行政院環境保護署環境檢驗所，中壢市。
- 行政院環境保護署環境檢驗所。2000c。水中總有機碳檢測方法-燃燒/紅外線測定法 (NIEA W530.51C)。行政院環境保護署環境檢驗所，中壢市。
- 行政院環境保護署環境檢驗所。2002。地下水採樣方法 (NIEA W103.50B，W103.51B)。行政院環境保護署環境檢驗所，中壢市。
- 徐年盛。1991。台灣地區地下水區水體分類與水質標準訂定可行性之研究。行政院環境保護署水質保護處。
- 許正一、鄭雙福。2002。不同土類土壤之特性與重金屬含量分佈。土壤及地下水污染檢測講習會 (3) 論文集。pp. 71 ~ 94。
- 曾四恭、張嵩林、李澤民、黃輝源、黃昭誠、劉澄鴻、黃俊豪。1988。台灣省事業廢水土壤處理標準訂定之研究。國立台灣大學環境工程研究所，台灣省政府環境保護處。
- Gee, G.W. and J.W. Bauder. 1986. Particle size analysis. in: Methods of Soil Analysis. Part 2. 2nd ed. ed. Page, A. L. Agron. Monogr. 9. pp. 383 ~ 411. ASA and SSSA, Madison, WI. USA.

- Klute, A. and C. Dirksen. 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: laboratory methods. in: Methods of Soil Analysis. Part 1. 2nd ed. ed. Klute A. Agron. Monogr. 9. pp. 687 ~ 734. ASA and SSSA, Madison, WI, USA.
- Maryland Department of the Environment. 1987. Guidelines for Land Treatment of Municipal Wastewater. MDE-WMA-001 ~ 11/87.
- McLean, E.O. 1982. Soil pH and lime requirement. in: Methods of Soil Analysis. Part 2. 2nd ed. ed. Page, A. L. Agron. Monogr. 9. pp.199 ~ 224. ASA and SSSA, Madison, WI, USA.
- Rhoades, J. D. 1982. Soluble salts. in: Methods of Soil Analysis. Part 2. 2nd ed. ed. Page, A. L. Agron. Monogr. 9. pp. 167 ~ 179. ASA and SSSA, Madison, WI, USA.
- U.S. EPA. 1981. Process Design Manual: Land Treatment of Municipal Wastewater. EPA 625/1 ~ 81-013.

Evaluation of livestock wastewater soil-treatment site suitability and the effect of livestock wastewater application to soils water quality including pH, EC, TOC and heavy metals

Min-Chao Wang^{(1) (3)}, Shui-Wen Chang Chien⁽¹⁾, Yu-Ting Liu⁽²⁾,
Ying-Chung Lai⁽²⁾

Received : May 27, 2003 ; Accepted : Oct. 3, 2003

Abstract

Treated swine wastewater land application is beneficial to water reuse and reduces wastewater treatment problems. This study evaluated the suitability of soil-treatment sites for swine wastewater and the long-term application effect on soil heavy metal content, especially Cu and Zn. The experimental plots at the Livestock Research Institute (plot I) and at the Lutsao Farm (plot II) were evaluated for suitability for soil treatment sites. pH, EC (electrical conductivity), DO (dissolved oxygen), temperature, TOC (total organic carbon), and water sample heavy metals were monitored at farmer wells and surface water. The EC values and TOC contents were higher and the DO values were lower for some water samples from both experimental plots. Moreover, the concentrations in water samples from monitoring well 1 in plot II in September and October, 2001 exceeded the 2nd control standard value (0.5 mg/L) for groundwater pollution. This probably relates to the regional soil parent material characteristics and the highest cumulative amount of rainfall in September 2001. Up to the present time, the experimental plots in plot I and plot II were irrigated with treated swine wastewater two and three times, respectively. There was no apparent difference in specific chemical properties and heavy metal groundwater concentrations and related surface water samples from the treatment and control plots at the two sites before and after wastewater application. The Cu and Zn concentrations in the water samples were closely related to the treated swine wastewater characteristics. Samples were even lower than the 1st control standard values for groundwater pollution. This clearly indicates that treated swine wastewater application to the plots at the two sites did not affect the correlated quality and heavy metal concentrations in the ground and surface water in the experiment plots and their related environments.

Key words : Land treatment, Swine wastewater, Heavy metal, Water quality.

-
- (1) Department of Environmental Engineering and Management, Chaoyang University of Technology, Taichung County, Taiwan, R.O.C.
(2) Department of Soil and Environmental Sciences, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, R.O.C.
(3) Corresponding author. e-mail : mewang@mail.cyut.edu.tw