

以槽車載運豬糞尿再利用試驗計畫
(霧峰案)

期末報告

中華民國 99 年 12 月 16 日

以槽車載運豬糞尿再利用試驗計畫(霧峰案)期末報告

陳琦玲¹、郭鴻裕¹、周明顯²、徐慶霖³、張簡水紋⁴、
廖崇億¹、張筱瑜²、蔡震達³

¹ 行政院農委會農業試驗所農化組

² 國立中山大學環境工程研究所

³ 國立中興大學獸醫系

⁴ 朝陽科技大學環境工程與管理系

摘要

台灣養豬業自民國 60 年代起飼養規模逐漸擴大，每日產生之大量廢棄物的處理，是養豬業者相當棘手的問題。為防範環境污染，農政單位自民國 76 年左右開始輔導飼養規模超過 200 頭之養豬業者建立三段式廢水處理。多年來對降低台灣環境營養鹽類之負荷有相當貢獻。但此方式處理過程既消耗能源又損失可利用資源，且處理費用亦高，因此尋求其他成本低、環保且安全的再利用方式，為一研究方向。依據目前國內廢棄物處理法規，未經處理之畜牧廢水尚不能直接施用於農田作為肥料。

歐美許多國家將未經處理之畜牧廢水直接施用於農田作為肥料，已行之多年。依據我國廢棄物清理法之規範，可透過試驗計畫取得國內實績，據以申請再利用許可，乃成立本試驗計畫，以霧峰成畜牧場高床式豬糞尿為再利用材料，在霧峰農業試驗所農場，進行未經處理畜牧廢水直接農田利用方式之可行性探討，並取得國內實績，以供未來再利用案申請案之用。試驗結果如下：(1)臭味逸散：無論注入式或噴撒式施肥，其周界異味濃度均在法規標準之內；(2)公共衛生：試驗期間並未發現人畜共通傳染病源或寄生蟲散播問題。(3)氮素肥效：施用等量肥料三要素豬糞尿之一期作水稻產量可達施用化肥之九成以上，二期作則約為八成。藉機械均勻撒佈於田區，亦不會造成局部發酵，而影響作物生長。(4)氮素與重金屬淋洗：以滲漏計試驗，在推荐施肥量下，應不致污染地下水質。(5)土壤重金屬累積：施用四年豬糞尿之土壤，尚未有明顯重金屬累積現象；但以農地重金屬質量平衡計算，若每年施用 400kg N/ha，則約 50 年後即會達土壤監測基準。

由以上結果顯示，若能限制飼料中重金屬含量，避免重金屬在土壤中累積，預期畜牧廢水直接農田再利用方式，可在現行三段式廢水處理之外，提供養豬戶另一廢棄物處置方式。

關鍵詞：豬糞尿、農地再利用、臭味、衛生、重金屬、氮素淋洗

一、前言

根據目前國內廢棄物處理法規，尚不能將未經發酵之豬糞尿直接施用於農田作為肥料。對於飼養200頭豬之養豬場的廢水處理，都是採用三段式廢水處理，即經過固液分離，液體部分再經厭氣處理與好氣處理，排於渠道中(畜試所，1996)。固體部分則經過堆肥化過程，製成堆肥，再施用於農田。在廢水處理的過程中將流失50%的氮源，就資源而言是一浪費，而且易造成溫室氣體的逸散與環境酸化。放流水鹽分過高，若排放於灌溉渠道中常未能符合灌溉水質標準，又造成灌溉水優養化。固體部分在堆肥化過程氮素損失約50%，且造成環境酸化。隨著堆肥化過程有機質與氮素的損失，單位體積重金屬濃度增高，易造成土壤污染。

荷蘭、瑞典和美國等歐美國家(Williams, 2009)，將豬糞尿貯存於大貯存槽後，利用大型施肥機將豬糞尿噴撒或注入農田，作為肥料，供作物生長之需，並且限制施用量，以降低環境營養鹽之負荷(Duiven, 2001)，已行之多年。亦有許多研究探討農田氮素收支循環問題(Oenema et al., 2003)，包括豬糞尿施用於農田之氮揮散(Velthof, 2003; Oenema et al., 1998)與水污染防治(Smith et al., 2000)等問題。

本試驗之目的係以霧峰成畜牧場高床式豬糞尿為再利用材料，在霧峰農業試驗所農場，進行未經處理畜牧廢水直接農田利用方式之可行性探討，並取得國內實績，以供未來再利用案申請案之用。試驗內容包括(1)臭味逸散；(2)公共衛生；(3)肥效；(4)氮素與重金屬淋洗；(5)重金屬累積等方面。

二、材料與方法

本試驗再利用之廢水採自高床式豬舍豬糞尿，沒有沖洗水。從峰成畜牧場由槽車載運廢水至農試所農場(路線圖1為)，爾後以注入式或噴灑式施用廢水於田間(如圖2，圖3)，進行多項試驗，包括施用時之臭味逸散、環境影響評估和人畜共通傳染病及寄生蟲擴散的公共衛生評估、水稻與玉米氮素肥效試驗與施用後土壤重金屬累積與地下水污染等問題。

(一)豬糞尿廢水特性分析方法

分析畜牧場豬糞尿之水分含量、有機質、pH、電導度、所含的營養元素及重金屬含量，所分析元素包含N、P、K、Ca、Mg、Na、Fe、Mn、Cu、Zn、Ni、Cr、Cd、Pb、As、和Hg。

- 1.水分含量：將定量之樣品置於105°C之循環送風之乾燥箱內，並於一定時間後取出樣品，測定其損失重量，此即為水分重(環檢所，2002)。
- 2.有機質：將105°C乾燥後之豬糞尿，採用Walkley-Black之溼式氧化法測定有機質(Nelson and Sommers, 1982)。
- 3.pH：以玻璃電極法直接測定豬糞尿(環檢所，2008)。

- 4.電導度：以電導度計直接測定豬糞尿（環檢所，2000）。
- 5.全氮：以硫酸分解後，以靛酚比色法測定氮氮（環檢所，2005）。
- 6.重金屬及其他元素：經高溫灰化，以 2N HCl 洗出灰分，定量後，以 ICP 測定各元素（環檢所，2002）。

(二)廢水氮素對水稻與玉米之氮素肥效試驗

1.試驗區處理

98 年度進行水稻氮素肥效試驗、99 年進行玉米肥效試驗。

- (1)試驗田：農試所農場 43 號試驗田，面積 0.5 公頃。
- (2)土壤特性：土系為社腳系，質地為壤土，pH 5.0，CEC:7.0，如表 1、表 2。
- (3)作物：水稻台農 71 號品種，共有 98 年二期作。99 年玉米為分為春作為寶蜜、秋季為皇后 3 號。
- (4)試驗處理：98 年水稻，分無肥區、化肥區與糞肥區，化肥區與糞肥區各分六個氮肥等級，分別有基肥施用 50、100、150 kg N/ha，及另添加穗肥 25 kg N/ha，無論化肥區或糞肥區，穗肥皆施用硫酸銨。每處理四重複，試驗設計採逢機完全區集(RCBD)如圖 4。糞肥區施用量則因豬糞尿要素含量不穩定，故施用前先以過去峰成牧場豬糞尿氮素濃度進行估算，一期作施用量為 10、20 和 30 Mg/ha，夏季因廢水含水量較高，氮濃度較低，因此二期作施用量較高，分別為 12.5、25 和 37.5 Mg/ha。

99 年玉米，分無肥區、化肥區與糞肥區，分別有基肥施用 80、160 和 240 kg -N/ha 每處理四重複，春作施用量約為 15、30 和 45 Mg/ha。夏季因廢水含水量較高，氮濃度較低，因此二期作施用量較高，分別約為 20、40 和 60 Mg/ha。實際施肥量，待採樣分析後再計算實際施氮量；然因糞肥中氮實際濃度與預估值有所差異，使糞肥與化肥試驗所施氮素量有所差異。磷、鉀量則以化學肥料補充至糞肥區最高等級量。化肥採撒施方式；糞肥施用採噴灑式且立即犁田施肥方式。

2.肥料試驗

於霧峰農試所 85 號田及霧峰鄉農友農田，進行施用糞肥與化肥之產量比對。農試所 85 號田為長期試驗，分為對照、化肥、糞肥區；霧峰鄉洪姓農友參與試驗，化肥區約為 0.1 ha、糞肥區 0.2 ha。糞肥區先施固定糞肥量作為基肥，化肥區則依糞肥估算量施以等效量複合肥料和化肥為基肥；最後糞肥區和化肥區再施以化肥為追肥至等量，99 年一二期作施肥量皆約 180 kg-N/ha。

(三)環境影響評估

1.臭味與氨揮散監測

於 0.5 公頃農試所農地 85 及 47 號田進行豬糞尿的施用，施肥方式分別為注入

式未覆土或噴灑式，施用量依季節或施肥量差異約 20~30 Mg/ha，樣品收集時間為施用時隨車採樣及施用 15 分鐘後於下風處(田區邊界)採樣。以異味污染物官能測定法-三點比較式嗅袋法(環檢所，2008)測定異味濃度，以瞭解施作時，不同的廢水施肥方式是否會超過空氣品質標準。

空氣中氨氣(Ammonia)和胺(Amines)濃度檢測利用檢知管測定管(GASTEC，Japan)，於 47 號噴灑豬糞尿後 10 和 30 分鐘後於周界與田地進行測定。周界於下風處直接測定，田地則為表土上方 5 公分處直接測定。

2. 土壤鹽分與重金屬累積

農試所自 93 年二期作起，即開始在 85 號田廢水再利用試驗，每年施用兩個期作。並在作物採收後，採樣分析土壤特性、鹽分與重金屬，了解是否造成土壤鹽分與重金屬累積問題。土壤檢測方法如下：

- (1)pH：以土:水=1：1 (W/V)，平衡半小後，用玻璃電極法測定之(環檢所，2008)。
- (2)電導度：土壤電導度的測定是取適量土壤，加入蒸餾水，土水比為 1：5，以攪拌棒攪拌，靜置 2-4 小時後，過濾，以電導計測定抽出液的電導度。
- (3)有機質：採用 Walkley-Black 之溼式氧化法測定 (Nelson and Sommers, 1982)。
- (4)陽離子交換容量(Cation Exchangeable Capacity, CEC)：土壤中陽離子交換容量—醋酸銨法(環檢所，1994)。
- (5)重金屬：土壤樣品經王水消化後，定量過濾，以 ICP 測定 Cu、Zn、Ni、Cr、Cd、Pb、As 和 Hg 含量(環檢所，2003)。

3. 植體重金屬累積

前述試驗亦採植體樣本，分析植體重金屬含量，了解作物累積重金屬之情形。測定植體中全氮含量及其他元素含量分析，植體分析方法如下：

- (1)全氮：以硫酸分解後，以靛酚比色法測定氮氮 (環檢所，2005)。
- (2)其他元素分析：先將烘乾植體於 550℃ 下灰化，再加入稀酸(HCl+HNO₃)加熱將灰分溶解，而後以去離子水洗出灰分，定量後以 ICP 測定各元素(何，2003)。

4. 氮素與重金屬淋洗

由於農試所附近的地下水位約 4-10 m(霧峰鄉光正國小)，從短期之試驗不易看出對地下水之影響，因此在農試所八個代表性土壤之非破壞性土體滲漏計，進行施用糞肥後，氮素與重金屬淋洗之監測，八個代表性土壤分別如下：

- (1)砂頁岩沖積土 (含石灰質)：將軍系，採自台南縣西港鄉水旱輪作田

- (2)砂頁岩沖積土（不含石灰質）：伸港系，採自彰化縣伸港鄉水旱輪作田
- (3)砂頁岩沖積土（不含石灰質）：仁德系，採自嘉義縣溪口鄉旱田
- (4)粘板岩沖積土（含石灰質）：二林系，採自彰化縣竹塘鄉水旱輪作田
- (5)粘板岩沖積土（不含石灰質）：五魁寮系，採自屏東縣潮州鄉水旱輪作田
- (6)台灣粘土：太康系，採自台南縣柳營鄉水旱輪作田
- (7)紅壤（水田）：平鎮系，採自桃園縣龍潭鄉
- (8)紅壤（旱田）：陳厝寮系，採自台中縣清水鎮

八個代表性土壤已包括粗、中、細質地土壤。每一土體共有三重覆，98 與 99 年分別進行水稻與玉米糞肥試驗；98 一期水稻施肥量約 $N:P_2O_5:K_2O = 132:87:60$ kg/ha、98 二期水稻施肥量約 $N:P_2O_5:K_2O = 108:157:73$ kg/ha，玉米春作為 $161:74:110$ kg/ha、秋作 200 kg-N/ha。於作物種植期間監測總有機碳量、硝酸態氮、銨態氮與重金屬淋洗，探討不同土壤特性土壤之氮素與重金屬淋洗量，並與 94 年一期作水稻施用化肥比較其氮素淋洗情形。

測定項目、頻率及分析方法如下：

1. 水中總有機碳(TOC)：燃燒／紅外線測定法測定總有機碳含量（環檢所，2000）。每季監測一次。
2. 水中 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 分析：以靛酚比色法測定氨氮（環檢所，2005），以鎘還原法測定硝酸鹽氮(環檢所，2004)。依滲每日漏水量監測。
3. 水中重金屬分析：地下水消化過濾後，以 ICP 測定地下水重金屬 Cu、Zn、Cr、Pb、Ni、Cd、As、Hg 濃度(環檢所，2004)。每季監測一次。

(四)人畜共通傳染病及寄生蟲擴散的公共衛生評估

進行豬糞尿及施作前後土壤之病原鑑定：如寄生蟲鑑定，包括隱孢子蟲、蛔蟲、鞭蟲等，細菌之分離與鑑定，包括沙門氏菌、大腸桿菌與彎曲桿菌等。並基於微生物的存活數量，評估病原散播之可能性。

- 1.檢體採樣：於農試所 85 號試驗田採取土壤樣本，包括豬糞尿、施作豬糞尿前及施作後之樣本，使用鑽土之工具於每個採樣點採取約 20 公分深度之樣本，總共採取 5 個土壤樣本，再進行分析。
- 2.儀器與材料：細菌自動鑑定系統(Biolog Microstation system)、無菌操作台、37°C 培養箱、無菌塑膠培養皿、15 ml 玻璃試管、15 ml 離心管。
- 3.培養基、試劑
 - (1)Tetrathionate broth
 - (2)Iodine solution
 - (3)MacConkey agar
 - (4)Xylose lysine desoxycholate agar(XLD)
 - (5)Tryptic soy agar(TSA)

- (6)Triple Sugar Iron Agar (TSIA)
- (7)Simmons' Citrate Agar (CIT)
- (8)Christensen's Urea Agar (URE)
- (9)Sulfide-Indole-Motility Medium (SIM)
- (10)Voges-Proskauer (VP) Semi-Solid Medium
- (11)Moeller's Ornithine Decarboxylase Medium (Orn)
- (12)Moeller's Arginine Dihydrolase Medium (Arg)
- (13)Moeller's Lysine Decarboxylase Medium (Lys)
- (14)Kovacs oxidase
- (15)Kovacs indole reagent
- (16)5% α -Naphthol
- (17)40%KOH

4.方法

(1)生菌數

將採集之樣本混合均勻後取 1 克加入 9ml 之滅菌蒸餾水，溶液混合均勻後取 1ml 之容易加入另一乾淨之 9ml 之滅菌蒸餾水 10 倍稀釋，操作到稀釋 10^6 ，之後分別從試管中取 1ml 至乾淨之培養皿中，再加入 TSA(Tryptic soy agar Difco)，以上之操作方法需重複兩次，之後於 37°C 培養 24 小時後，計算培養皿中 30-300 個之生成菌落，並換算成 CFU/ml(Farmer, 1995; Santamaria and Toranzos, 2003)。

(2)大腸桿菌

將採集之樣本以滅菌蒸餾水稀釋後，接重於 EMB agar 培養於 37°C 培養 24 小時後，在 agar 上呈現墨綠色金屬光澤之菌落是為大腸桿菌；呈現紫色之菌落經染色後以顯微鏡觀察進行形態學鑑定，再以 Biolog 細菌鑑定系統鑑定菌種，以確定是否為大腸桿菌(標準檢驗局，1988)。

(3)沙門氏桿菌

將 1g 的土壤(或 1ml 的水)加入選擇性增菌劑 Tetrathionate broth(10ml)，並於每管加入 0.2ml Iodine solution，增加其抑制性，置入 37°C 培養箱 12-18 小時，取出劃在 MacConkey agar 與 XLD agar 上，37°C 培養 18-24 小時，在 MacConkey agar 與 XLD agar 上選取可疑菌落經染色後以顯微鏡觀察進行形態學鑑定。在 MacConkey agar 呈現無色菌落，而在 XLD agar 上呈現無色透明、中心帶有黑點的菌落，染色觀察後再繼代於 TSA(Tryptic soy agar)上，於 37°C 培養 18-24 小時，再以 Biolog 細菌鑑定系統進行確認(標準檢驗局，2000)。

(4)隱孢子蟲、鞭蟲及蛔蟲檢查

將蛋白十倍稀釋之後，取 9 毫升稀釋蛋白與 1 克之土壤檢體混合均勻，直接塗抹於玻片，乾燥後使用 Modified Ziehl-Neelsen carbofuchsin stain method 染色，染色後鏡檢隱孢子蟲卵。將土壤混合均勻後，取 1g 加入 9ml 之飽和糖水，使蟲體懸浮於飽和糖水中，再以滴管吸上層取溶液置於載玻片上，蓋上蓋玻片後鏡檢蛔蟲及鞭蟲卵(Garcia et al, 1995)。

(5)彎曲桿菌分離與鑑定

應用 Preston Blood Campylobacter Agar Base 培養彎曲桿菌，以 BBL CampyPak Microaerophilic System Envelopes 製造氫氣及二氧化碳，使厭氧缸內之氧氣比例下降，提供細菌微好氣環境。將檢體接種於 Campylobacter Agar Plate，置入 42℃、微好氣環境中培養 48 小時。將 Campylobacter Agar 上呈黃白色黏液狀菌落以革蘭氏染色觀察其形態。若有呈細長彎曲形的桿菌，將之純化於添加 5%綿羊血之血液培養基上，培養於 42℃、微好氣環境中 24 小時。細菌鑑定使用 API Campy 生化試驗套組測定血液培養基上之單獨菌落的生化特性(Garcia et al, 1995)。

三、結果與討論

(一)高床式豬舍豬糞尿之特性

峰成畜牧場高床式豬舍豬糞尿之特性與要素如表 3 和表 4，其 pH 範圍為 7.4-8.3，為中性至微鹼性。雖氮和磷平均濃度分別為 0.45 和 0.16%，但由養豬廢水氮、磷和鉀濃度變化圖(圖 5)，計算其不同季節豬糞尿中的氮、磷和鉀濃度。氮濃度可高達約 0.87%，冬季平均值約為 0.52%，夏季約為 0.40%；磷最高濃度約為 0.53%，冬季平均值約為 0.18%，夏季約為 0.14%；鉀最高濃度約為 0.40%，冬季平均值約為 0.32%，夏季約為 0.28%；顯示氮隨著季節有明顯的變化，而磷和鉀則較不明顯，因此，若每公頃施用 2 Mg，冬季 N-P₂O₅-K₂O 施用量約為 10.4-8.3-7.8 kg/ha，夏季則約為 7.9-6.5-6.7 kg/ha。豬糞尿之銅、鋅含量亦沒有隨著季節明顯的變化，且含量並不穩定(圖 5)。

因高床式豬舍豬糞尿並不含沖洗水，所以養分含量較沖水式豬舍廢水高約 4-5 倍。豬糞尿 N-P₂O₅-K₂O 平均濃度為 0.45-0.39-0.36，施用 2 Mg 的豬糞尿，含 N-P₂O₅-K₂O 為 9-7.8-7.2 kg/ha，已高於一包(40 kg)化學肥料的養分含量(表 5)。

(二)高床式豬舍豬糞尿之氮素肥效試驗

1.施用化肥與糞肥之產量比較-水稻

因氮素在土壤中之循環相當複雜，流失環境之損失量亦較其他要素高，因此 98 年先在農試所 43 號田進行豬糞尿之水稻氮素肥效試驗，共進行二期作，43 號田土壤特性如表 1。由於豬糞尿氮素變異大，成分分析又需於施肥後幾天才能完

成，因此化肥與糞肥之試驗之氮肥等級不同。98 年一、二期作稻米施用不同氮量化肥和糞肥之產量如表 6 和表 7。根據 ANOVA 統計分析結果顯示，無論是化肥或糞肥產量對氮肥施用量均呈現顯著性差異。

由 98 年一期作水稻試驗結果，顯示無論是施用化肥或糞肥產量隨氮素施用量增加而持續增加(表 6，圖 6)，但施用 165 kg N/ha 以上之糞肥，產量未達統計上之差異。本次試驗亦顯示，在肥力較不足的情況下，在幼穗形成期施用氮素(穗肥)，有明顯增產效果。二期作之水稻試驗結果，亦顯示無論是施用化肥或糞肥產量隨氮素施用量增加而持續增加(圖 6)，但施用 150 kg N/ha 以上之化肥，產量未達統計上之差異。在化肥添加穗肥試驗方面，除了基肥施用 50 kg N/ha 的處理，其餘產量未達統計上之差異。而糞肥試驗方面，添加穗肥對各等級施氮量之產量均達統計上之差異。

台農 71 號水稻為易倒伏品種，根據前人研究結果(賴等，2001)，氮素推薦量僅為 80-120 kg/ha，其一期作最高產量即可達 7014 kg/ha，二期作可達 5189 kg/ha。本年二期作試驗，在施用基肥後，即遭逢大雨，造成肥分流失。在分蘗期又遭受縱捲葉蟲蟲害，使得大量葉片受損，但本次試驗施用 125 kg/ha 之化肥者，無論一期作或二期作，其產量已達前述水準。雖然再增施肥料產量還可更高，報酬率已遞減，且遇大雨時即有倒伏風險。

比較 98 年一、二期作之產量，無論化肥和糞肥處理，二期作皆低於一期作，根據過去長期統計資料顯示，台灣二期作水稻之平均產量低於一期作水稻約四分之一，此因兩期作水稻生長於明顯不同的氣候下所致(黃，1979)，且本次二期作的基肥施肥後遭逢大雨，造成肥分流失。此外，本年二期作時遭受縱捲葉蟲蟲害，使得大量葉片受損，影響葉片的光合作用與養分蓄積，直接影響結穗品質和產量。

雖然化肥與糞肥試驗之氮肥等級不同，無法直接比較相同施氮量之產量，但仍可藉由產量對氮肥之反應關係式，推估化肥與糞肥相同氮素肥料量之稻米產量，以比較糞肥與化肥之肥效。以多項式進行一、二期作產量對氮肥之關係式計算結果如圖 6，以所得關係式計算不同氮肥等級之產量如表 12，依不同施氮量(kg/ha)觀察，養豬廢水在低投入氮量時，一、二期作產量分別可達化學肥料的 97%及 84%，隨著氮投入量的增加，其糞/化肥產量比隨之降低。一期作糞肥產量為化肥產量的九成以上，甚至可高達 97%，表示糞肥能夠取代大部分化肥，作為作物生長之養分來源。而二期作糞肥產量則只有化肥產量之八成左右。此可能因夏季的廢水養分濃度較低，因此相同的氮素施用量，二期作廢水施用量必須約為一期作的 1.3 倍，本年度二期作在施用基肥後，又遇大雨，而糞肥為液態，因此流失量可能較固態的化學肥料高，所以產量則只有化肥產量之八成。

比對在農試所長期施用糞肥與化肥之產量 (圖 7)，糞肥之肥效為化肥之八成以上，與肥效試驗相同，在一期作時產量較高，二期作時較低，而糞肥肥效也呈現相同趨勢，可能為而二期作氣溫較高、降雨較多使肥份易損失。99 年糞肥區產在施肥後有降雨，肥分可能因此而流失，在收穫時因水稻倒伏及受到鳥害，使相對產量較低。表 11 為霧峰洪姓農友，99 年參與試驗之水稻產量結果，一期作施肥量為 $N-P_2O_5-K_2O: 182-75-85 \text{ kg/ha}$ ，二期作為 $185-68-91 \text{ kg/ha}$ ，施用糞肥產量較化肥略高。

比較 98 年 1、2 期作稻米產量構成之四個基本要素，每叢穗數、每穗粒數、稔實率和千粒重如表 9、表 10。

- (1)每叢穗數：化肥和糞肥處理大致以處理 3、5 和 6 為最高，表示基肥施用較高、且有添加穗肥會增加每穗粒數，這是導致產量結果差異的主要原因之一。
- (2)每穗粒數：化肥和糞肥處理皆以處理 5 和 6 為最高，表示基肥施用較高、且有添加穗肥會增加每穗粒數，亦是導致產量結果差異的主要原因之一。
- (3)稔實率：化肥區稻米之稔實率並未隨著基肥氮肥施用增加而有增加的趨勢，反之有隨之降低的情形發生，且添加穗肥亦降低稔實率，糞肥處理亦得相同的結果。過去研究指出過多的氮素會造成稻米品質降低，這可能就是造成稔實率隨氮素施用量增加而降低的主要原因。
- (4)千粒重：在化肥處理、糞肥處理和有無穗肥添加並無顯著差異，可得知千粒重並非主要影響產量的因子。

2.施用化肥與糞肥之產量比較-食用玉米

99 年春作玉米，產量如表 12、圖 6 所示，隨氮施用量增加，產量增加，但到達氮施用量約 200 kg-N/ha 時，施用化肥或糞肥之產量皆到達最高，達每公頃 16 噸 (穗鮮重)，糞肥約化肥之九成以上；施用量超過 200 kg-N/ha 後，不論施用化肥或糞肥產量皆降低，尤以施用化肥產量下降較多，以施用量 200 kg-N/ha 為分界點，施用糞肥產量高於化肥產量，約 107%。此次試驗施肥及播種後因連續降雨，肥份流失，玉米根系受損，生長勢不佳，產量較低。

(二)環境影響評估

1.異味污染物濃度與氨揮散監測

不同豬糞尿施用方法於施用時，其臭味強度皆超過 2 級(認知閥值，表 14)，因此以檢知管測定氨氣與胺濃度，並採集空氣樣本進行官能測定。施用後之異味污染物濃度監測結果如表 14，98 年二期及 99 年一期，85 號田為注入式但不覆土之施肥方式，注入時隨車採集空氣樣品，表土上方之異味污染物濃度為 19，低於農業區之周界異味污染物濃度標準 (50；環保署於 100 年 1 月 5 日，修訂固定污染源排放標準，本次試驗取用之廢水來源為既存畜牧場，採用既存污染源之排放標準，若於新設立之畜牧場需依新污染源之排放標準：30。)；而注入完畢後，於

下風處(周界)所測定濃度為 14，亦低於周界標準，99 年一期作施用時施肥車有管線破裂，液肥由破裂處噴灑出，可能為施用後下風處異味較高(異味值 100)之原因，99 年二期噴灑方式施肥，隨車採樣時，有受到柴油味影響，施灑第 3、4 車時，為使農地施肥均勻，以手動噴灑農地邊圍，使週界異味濃度增加 300。98 年二期 47 號田採用噴灑式的施肥方式，在施用時，表土上方所測定之異味污染物濃度為 67，超過周界標準值，但於施用後 10 分鐘，其農田下風處之濃度(45)已低於周界標準值；99 年一期作時，以噴灑式施肥，隨車採樣異味值達 300，但下風處則在標準值內。依 98(芳苑)及 99 年(霧峰農試所及平鎮)資料統計，距離與異味濃度之關係(圖 8)。周界處異味濃度若需符合法規標準 50 (工業區及農業區標準)，則累積百分率約 70 % (表示 100 點次中有 70 點次均符合法規標準)。

土壤可作為有效的氮儲存槽(Brunke et al., 1988)，以注入式施用豬糞尿可以降低氮的揮散，而表面施肥通常會造成大量的氮揮散損失，且研究指出以注入式施肥方式，甚至可以較噴灑式施肥方式降低 80% 的氮損失量(Ferm et al., 1999)。測定異味污染物濃度較高的 47 號試驗田(噴灑式施肥)之氨氣(Ammonia)和胺(Amines)濃度如表 15。施用後 10 分鐘，田地仍可測得氨氣，但周界已無法檢測出其濃度，符合固定污染源周界氨氣濃度標準 (1ppm)。胺(Amines)則是在施用後 10 分與 30 分鐘分析結果，在田地與周界之偵測值有逐漸降低的情形，田地與周界在施用後 30 分鐘仍可測得 1 和 18 ppm，在其他空氣污染物訂定周界排放標準值 A/50 (A：勞工作業環境空氣中有害物質容許濃度標準，mg/m³) 限值之下。99 年施作後 10 分鐘，僅在田地中可測得氨氣及胺，周界皆未檢測出。

由以上結果顯示，注入式和噴灑式之施用廢水方式皆可以作為施用養豬廢水之方式。異味濃度易受採樣時氣候條件之影響，如風向、風速與氣溫之基本條件之影響。不同之大氣穩定度會影響臭氣擴散程度，而影響周界之異味濃度。因此在採樣當時之大氣條件分類，採用穩定度分類系統上使用頻率最高的 Pasquill 方法，此法將穩定度分成六種等級，依日照強度、雲量及風速因素決定穩定度等級，分類方式參考表 16。故建議施肥時機為中等日照強度且風速大於 4 m/s，臭味易垂直擴散。唯噴灑式施用方式在施用時及施用後初期污染物濃度較高，且風向及風速將隨季節變化，故建議農田四周 100 m 處無住宅。

2. 土壤鹽分與重金屬累積

豬糞尿中含有大量的營養物質，故鹽分含量高，為了解其施用後鹽分累積情形，乃於採收後，採土以土水比 1：5 測定土壤電導度值。依據前人研究結果，電導度大於 0.85 dS/m (即為 850 μ S/cm)，則對大部分的作物生長造成影響。農試所 85 號田自 2004 年已開始進行每年二期作肥料試驗至今，施用不同型態肥料後之表土電導度值均低於 300 μ S/cm 如圖 9，即在作物不會受鹽害侵襲的生長範圍內，施用豬糞尿的土壤電導度值甚至低於施用化肥或不施肥的土壤電導度值，顯示土

壤施用豬糞尿後，並無明顯鹽分累積情形。

養豬業常使用重金屬做為飼料的添加劑，主要作為生長促進劑。添加銅為促進生長且可作為腸道抗菌劑的低成本的方法(Rosen and Roberts, 1996)。鋅則是作為剛斷奶的小豬以控制離乳腹瀉情形(Holm, 1990)。且動物皆需要微量的銅鋅作為生長過程酵素的輔助因子(Underwood and Suttle, 1999)。然而，動物對銅鋅卻只能微量的吸收，大約 90%的銅鋅皆被排泄至糞尿中(Aldrich et al., 2002)。

重金屬在土壤的累積為一緩慢過程，短期試驗不容易發現重金屬在土壤的累積情形。因此前述農試所 85 號田自 2004 年開始之肥料試驗亦監測重金屬在土壤的累積。該試驗每年平均約施用 30 Mg/ha，至 2008 已進行五年的試驗，估豬糞尿總投入量約為 150 Mg/ha，而峰成畜牧場豬糞尿中銅、鋅、鎘、鉻、鎳、鉛和砷的平均值分別為 27、72、0.04、0.3、0.7、0.17 和 0.2 mg/kg，估計五年共施用銅、鋅、鎘、鉻、鎳、鉛和砷總投入量約為 4.1、10.8、0.01、0.05、0.11、0.03 和 0.03 kg/ha，試驗間表土 0-15 cm 和 15-30 cm 土壤重金屬之變化如圖 10 和圖 11。由四年的監測結果發現土壤重金屬含量空間變異大，因此並非呈現一穩定的累積趨勢，除了表土銅和鋅略呈現逐漸累積現象，施用豬糞尿後之土壤重金屬並未明顯高於施用化學肥料和對照試驗者。而根據食用作物土壤銅、鋅、鎘、鉻、鎳、鉛和砷監測基準分別為 120、260、2.5、175、130、300 和 30 mg/kg，85 號試驗田表土重金屬皆低於監測基準(表 2)，依據估算僅銅、鋅到達土壤監測標準使用年限於 100 年內(表 17)，需長期和定期的監測土壤銅、鋅變化，其他重金屬累積量之使用年限皆超過 1000 年以上，短期內無累積之疑慮。

現行飼料均有額外添加銅、鋅，因此養豬廢水中之重金屬主要以銅、鋅濃度較高，且由於作物對銅、鋅之吸收有限，推測銅、鋅將在土壤中逐漸累積。依據質量平衡原則，可估算銅、鋅將在土壤中的累積。以峰成養豬場為例(A)，養豬廢水氮濃度為 0.4%，若以環保署土壤處理上限(400 kg N/ha/yr)，則每年可施用最大量為 100 Mg/ha/yr，而養豬廢水的銅鋅濃度分別為 28 和 69 mg/L，即表示每年施用重金屬量為 2.8 和 6.9 kg/ha/yr，而扣除移除量(以稻穀中銅和鋅濃度和收穫量計算)，表土重量為 2000 Mg/ha，則每年銅鋅增加量 2.8 和 6.5 mg/ka，而土壤監測基準為 120 和 260 mg/kg 扣除土壤銅鋅背景含量為 12 和 86 mg/kg，則計算土壤可使用年限為 78(銅)和 54(鋅)年。根據不同養豬場，施用未經處理豬糞尿，達土壤監測基準之可使用年限估計約為 44-184 年(表 18)，現行銅、鋅規範下之禽畜糞堆肥，亦將在使用 109 與 36 年後達土壤監測基準(表 18)，但若以農糧署堆肥補助施用量(4,000 kg/ha/yr)，換算堆肥氮素施用量為 80 kg N/ha/yr 來計算，施用未經處理豬糞尿，達土壤監測基準之可使用年限估計約為 278-1000 年，現行銅、鋅規範下之禽畜糞堆肥，將在使用 574 與 218 年後達土壤監測基準。

施用畜牧廢棄物造成重金屬在土壤中的累積為一緩慢過程，隨著廢棄物重金屬含量、施用量、作物與土壤特性等而異。一旦達到土壤重金屬監測基準，則此農地不能再繼續施用畜牧廢棄物。另一方面，重金屬在土壤中分佈的空間變異大，因此不易從短期試驗監測其累積情形。若能控制重金屬的投入量，即能延長土地利用時間。依據調查，每隻豬平均飼料量為 1.3 kg/day，每天排糞尿量為 3.5 kg/day(嚴，1989)。飼料中低於 10 mg/kg 之銅與低於 60 mg/kg 之鋅，約有 30 % 被豬隻吸收，其餘超出者幾乎全數排出(范，2003)。若以農田銅、鋅收支平衡，即每期投入量等於作物吸收量，估算豬隻飼料銅、鋅可容許限值，則若種植水稻，高床式豬舍豬糞尿之銅、鋅含量分別僅能為 0.24 與 4.0 mg/kg，較目前採樣之豬糞尿銅、鋅含量低很多；故若養豬業高床式豬舍所排出之豬糞尿全數施於農地，則豬飼料之銅、鋅含量限值分別僅能為 1.1 與 18 mg/kg(表 19)，亦較現行之養豬飼料限值(表 20)低很多。

若種植其它作物，依據不同作物植體銅正常含量為 5-20 mg/kg，鋅正常含量為 1-400 mg/kg(Bowen, 1979)，以植體銅、鋅含量分別為 10 與 200 mg/kg 計算，豬糞尿之銅、鋅含量分別僅能為 1.2 與 2.4 mg/kg，則豬飼料之銅、鋅含量限值分別僅能為 5.3 與 92 mg/kg(表 19)，但仍低於現行之養豬飼料限值(表 20 檢驗局 99 年 5 月 18 日修訂公布)。因此，為期豬糞肥能永續施用於農地再利用，建議調降飼料中之銅、鋅含量限值，或減少每年施用量。農委會於 99 年再次調降配合飼料中銅、鋅含量，將有助於延長使用年限。

3. 植體重金屬累積

前述 85 號田過去四年施用化肥與糞肥之水稻植體之稻桿與稻穀(全穀，未脫殼)重金屬濃度如圖 12。僅鋅在稻桿中的濃度，以施用糞肥高於施用化肥的土壤，因稻桿並非為採收及食用部分，因此尚不至於對人體造成危害，其餘重金屬在植體中並未因施用糞肥與化肥明顯差異，既使肥料中銅含量較高，亦未有明顯吸收。而稻穀部份，則施用化肥與糞肥較無差異。雖目前無稻米銅鋅標準，但若以施用化肥和糞肥之比較，結果顯示施用糞肥並未明顯造成稻米對銅鋅過量的吸收。且人體每日需攝取微量的銅幫助鐵質吸收及血紅素生成等功能，微量的鋅參與多種和生長及發育有關的酵素反應，如成人每日銅鋅需要量分別為 2-2.5 和 12-15 mg/day(張，2003)。稻桿與稻穀中各重金屬分佈，除銅兩者分佈較為相近，其餘皆以稻桿大於稻穀含量。鎘在植體的濃度，施用糞肥或化肥，並無明顯差異，皆約，白米中鎘的限量標準為 0.4 ppm，本研究係以稻穀分析，一般而言，其濃度高於白米濃度，試驗結果仍符合標準。

在 Chaney (1980) 研究污它泥所含元素流入至食物鏈後，所提出的「土壤-植物障礙 (soil-plant barrier)」論述中：將元素分為第 1 群，包括：銀、鉻、錫、銻、鈮、鈦、鉛等是低風險的元素，因為第 1 群元素在土體溶解度低之故，所以

作物極少吸收至植體內；如果有高含量的植體，一般是因為土壤或粉塵直接污染所致。第 2 群為砷、汞、鉛，們在土體牢固的被土壤膠體所吸附，如果被作物所吸收，也將存在根部，而不會立即轉運至食用部位，所以其影響動物及人類健康風險也小。氟也可以列入第 2 群，氟污染作物主要由空氣中所吸入，立即進入植體，但是影響較為局部性。第 3 群元素包括：硼、銅、錳、鉬、鎳、鋅，可以立即被吸收，但造成植物的毒害濃度時，還不致影響動物或人類健康，所以危害動物或人類健康風險低。第 4 群元素包括：鎘、鈷、硒等，本群元素則是在造成動物或人類健康危害的濃度時，還不致造成作物的毒害，所以第 4 群元素對動物或人類健康危害的風險最大。

總體而言，重金屬在稻米植體中，主要殘留在非食用部份，施用化肥者與施用糞肥者其稻穀中濃度，並無顯著差異；此表示施用 4 年糞肥的農田，並未發現稻米植體重金屬累積情形。

4. 氮素與重金屬淋洗

農試所附近的環保署與水利署的地下水監測井、水深位置如圖 13，監測井位置為光正國小和萬豐國小，萬豐國小為水利署測站僅有水位資料無水質資料(圖 14)，光正國小位於試驗田下游地區，硝酸態氮、氨態氮、銅和鋅歷年監測結果如圖 15。各項監測值皆遠低於地下水監測基準，唯氨態氮在 2007 年 7 月 15 日起出地下水監測基準值。依據水利署資料，農試所附近之地下水深約 23 m，所內試驗田面積廣，試驗處理多，從短期試驗結果並不易看出施用養豬廢水對地下水質之影響。因此，利用八個代表性土壤之非破壞性土體滲漏計(1M x 1M x 1M)，進行施用糞肥後，氮素與重金屬淋洗之監測。

滲漏計八個代表性土壤特性如表 21，因土壤物理性空間變異大，且每一土壤只有三重覆，因此 98、99 年皆作糞肥滲漏試驗，98 年與 99 年分別種植水稻與玉米，並再與 93、94 年施用化肥滲漏試驗進行比較。93 與 94 年化肥施用量均為 14.2 g/m^2 ，98 年糞肥施用量為 13.2 g/m^2 ，99 年糞肥施用量為 16.1 g/m^2 。滲漏計主要的氮素來源除施肥外，尚有降雨與灌溉中所含氮素，均已計入每期作施用總氮量。

93、94 年施用化肥與 98 年水稻、99 年玉米施用糞肥所收集之土壤滲漏水總氮素淋洗量與總施用氮量比例如圖 16，圖 16 係依土系所含砂粒百分比多寡排列，最左項為含砂率最高者。氮素之總投入量為肥料、灌溉水及降雨三者所含氮素之總和，氮素淋洗量則為期作間所有滲漏水中所含之氮素合計量。施用化肥的氮淋洗比例，以仁德系、伸港系及五魁寮系較高，其餘均低。由土壤基本性質得知，仁德系與伸港系為砂頁岩沖積土，土壤質地為砂質壤土與細砂，而五魁寮系為粘板岩沖積土，土壤質地為壤土，此三土系之土壤質地相較於其他土系之玢質壤土、玢質粘壤土及黏質壤土之砂粒百分率較高，水分較不易保留，氮的流失率較其他

土系為高。在施用糞肥於 98 年水稻生長的氮淋洗比例比較，仍以伸港系與仁德系較高，而將軍系與太康系最低。如前述，伸港系與仁德系為砂頁岩沖積土，土壤質地為細砂與砂質壤土，且含砂粒百分率高，水分不易保留，因此氮的流失率也較高。而將軍系雖為砂頁岩沖積土，土壤質地為粉質土，而太康系為台灣粘土，其含砂粒百分率均低，因此土壤中水分滲漏速度較慢，氮流失比例較低。但在 99 年玉米試驗中，則呈現相反趨勢，粘粒含量較高的平鎮系氮淋洗量較高，可能因土壤乾燥時產生裂縫，使氮素較易受到淋洗。

比較施用化肥與糞肥氮流失率的差異，在水田中質地較粗之土壤，其化肥氮素淋洗量大於糞肥，但細質地之土壤則反之，可能是不同時期試驗之降雨量與頻度不同所致。除此之外，糞肥為液態型態之肥料，容易隨著水分移動，當滲漏越多，肥料損失亦越多。而在旱作玉米部分，則以細質地土壤，氮淋洗量較高，可能是因黏土含量較高，在多次乾濕交替下，土壤在乾燥時產生裂縫，使氮素較易在降雨或灌溉時受到淋洗。依據前未施肥試驗結果顯示，未施肥水稻產量仍可達 3 Mg/ha 以上，表示土壤有機質礦化所提供之養分相當於來自肥料、灌溉水及降雨之總氮量。因此由試驗結果顯示，除了粗質地土壤淋洗量超過總施用氮量 20 % 甚至接近 30 %，質地越細之土壤約為 10 %，甚至低於 2 %，表示經過一公尺深之土層約可攔截 70% 以上之氮素，因此預期在推荐施肥量下，應不致污染地下水質。

水質 TOC 分析中，台灣第二類地下水污染監測基準為 10 mg/l，滲漏記試驗中 98 年間每季測定 TOC 測值皆低於 6 mg/l (圖 17)，與 98 年相比 99 年進行旱作種植玉米時皆有增加情形，由於旱作施灌水量較水田低，滲漏水量亦較低，使滲漏之 TOC 濃度較高。在伸港系與將軍系有超過地下水質污染監測基準情形，伸港系為砂頁岩沖積土，土壤質地為細砂與砂質壤土，易因灌溉或降雨，使有機質下移動；另外，將軍系等黏粒含量較高之土壤，可能在旱作下，滲漏計或土壤本身開始產生之裂縫，在灌溉或降雨後，亦使有機質向下移動。而在重金屬部分，所收集之滲漏水之銅、鋅、鉻、鎳、鉛和砷幾乎低於偵測極限，因此在短期的施用糞肥的時間尺度下，應不致造成對地下水污染。

(三)人畜共通傳染病及寄生蟲擴散的公共衛生評估

圖 18 為 47 及 85 號水稻田施用豬糞尿及施用前後土壤生菌數的變化。豬糞尿中生菌數 $8.61 \times 10^6 \sim 2.6 \times 10^7$ CFU/g，而施用前土壤生菌數為 $2.19 \times 10^5 \sim 1.79 \times 10^6$ CFU/g。而施用後第 2 週與第 4 週其生菌數分別為 $3.75 \times 10^5 \sim 2.87 \times 10^6$ 和 $2.96 \times 10^5 \sim 3.11 \times 10^6$ CFU/g，顯示施用豬糞尿後對於土壤大致無生菌數明顯增加的情形，其差異約於一級數內；47 號田，雖在施用後 2 週較施用前土壤高一級數，但 4 週後亦降低。菌種鑑定方面，豬糞尿只有檢測出 E.coli，並無檢測出沙門氏桿菌(Salmonella spp.)、彎曲桿菌(Campylobacter spp.)、隱孢子蟲、蛔蟲及鞭蟲。而施用後 2 週、4 週的土壤中均無檢測出 E.coli、Salmonella spp.、Campylobacter spp.、

隱孢子蟲、蛔蟲及鞭蟲。顯示養豬廢水，只要收穫前一個月不再施用，對土壤所含人畜共通傳染病原菌無太大疑慮。

四、結論

施用等量肥料三要素豬糞尿之一期作水稻產量可達施用化肥之九成以上，二期作則約為八成以上。藉機械均勻撒佈於田區，亦不會造成局部發酵，而影響作物生長。無論注入式或噴撒式施肥，其周界異味濃度均在法規標準之內，亦未發現人畜共通傳染病原或寄生蟲散播問題。以滲漏計試驗，在推荐施肥量下，應不致污染地下水質。重金屬在稻米植體中，主要殘留在非食用部份，施用化肥者與施用糞肥者其稻穀中濃度，並無顯著差異，施用四年糞肥的農田，並未發現稻米植體重金屬累積情形。土壤重金屬累積：施用四年豬糞尿之土壤，尚未有明顯重金屬累積現象；但以農地重金屬質量平衡計算，若每年施用 400kg N/ha，則約 50 年後即會達土壤監測基準。

五、檢討與建議

- (一)雖施用廢水之肥效可達化肥之八至九成以上，但廢水肥分不如化肥穩定。農友田間試驗中，是施肥後在進行元素分析，以化肥補足至等效肥份。未來實際施用，農民對於肥份管理上的較為不便。
- (二)在施肥時，使用噴灑式施用方式在施用時及施用後初期污染物濃度較高，且風向及風速將隨季節變化，故建議農田四周 100 m 處無住宅。
- (三)試驗顯示施用廢水之土壤，短期無重金屬累積之情形，但以農地重金屬質量平衡計算，若每年施用 400kg N/ha，則約 50 年後即會達土壤監測基準；因此仍建議調降配合飼料中銅、鋅含量，延長使用年限，達到永續利用之目標。
- (四)由肥效與滲漏計試驗中，氮素等易因降雨而淋洗流失，建議大雨、豪雨特報或強風預報期間，暫停施用。
- (五)由豬舍豬糞尿之特性分析中顯示，其養分比例較沖水式佳、養分濃度亦較高，預期可降低成本，效益較高；唯鈉吸附比較偶較高之情形需較注意。
- (六)依據吳與呂(2002)對於台灣不同土系中重金屬含量之調查，台灣土壤Cu和Zn含量約20和80 mg/kg(調查範圍之中間值)，而土壤監測標準分別為120和260 mg/kg下，累積量限量分別可為100和180 mg/kg，若以50年為使用期限，則土壤Cu和Zn每年約可增加2和3.6 mg/kg。以環保署土壤處理上限(400 kg/ha/yr)為氮素施用量計算，N/Cu 與N/Zn分別需大於100與55。

六、參考文獻

- 中華民國國家標準。1988。食品微生物之檢驗法—大腸桿菌之檢驗(總號：10951，類號：N6192)。中華民國經濟部標準檢驗局。台北市，台灣。
- 中華民國國家標準。2000。食品微生物檢驗法—沙門氏桿菌之檢驗(總號：10952，類號：N6193)。中華民國經濟部標準檢驗局。台北市，台灣。
- 行政院環境保護署環境檢驗所。1997。空氣中氨氣之檢測方法—靛酚／分光光度計法。公告字號 39454，1997 年 7 月 28 日公告。(NIEA A426.71B)。
- 行政院環境保護署環境檢驗所。2000。水中導電度測定方法—導電度計法。公告字號 0890070017，2000 年 11 月 23 日公告。(NIEA W203.51B)。
- 行政院環境保護署環境檢驗所。2000。水中總有機碳檢測方法—燃燒/紅外線測定法。公告字號 67787，2000 年 11 月 16 日公告。(NIEA W530.51C)。
- 行政院環境保護署環境檢驗所。2002。污泥及沉積物中重金屬檢測方法—酸消化法。公告字號 0910083731A，2002 年 2 月 28 日公告。(NIEA R353.00C)。
- 行政院環境保護署環境檢驗所。2002。廢棄物含水份測定方法—間接測定法。公告字號 0910014627，2002 年 3 月 5 日公告。(NIEA R203.01T)。
- 行政院環境保護署環境檢驗所。1994。土壤中陽離子交換容量—醋酸銨法，1994 年 2 月 22 日公告。(NIEA S201.60T)。
- 行政院環境保護署環境檢驗所。2003。土壤中重金屬檢測方法—王水消化法，2003 年 7 月 1 日公告。(NIEA S321.63B)。
- 行政院環境保護署環境檢驗所。2004。水中金屬及微量元素檢測方法—感應耦合電漿原子發射光譜法。公告字號 0930030309，2004 年 4 月 29 日公告。(NIEA W311.51B)。
- 行政院環境保護署環境檢驗所。2004。水中硝酸鹽氮及亞硝酸鹽氮檢測方法—鎘還原法。公告字號 0930057378，2004 年 8 月 9 日公告。(NIEA W452.5)
- 行政院環境保護署環境檢驗所。2005。水中氨氮檢測方法—靛酚比色法。公告字號 0940035925A，2005 年 5 月 12 日公告。(NIEA W448.51B)。
- 行政院環境保護署環境檢驗所。2008。土壤酸鹼值(pH 值)測定方法—電極法。公告號 0970075579，2008 年 10 月 2 日公告。(NIEA S410.62C)
- 行政院環境保護署環境檢驗所。2008。水之氫離子濃度指數(pH 值)測定方法—電極法。公告號 0970071940，2008 年 9 月 18 日公告。(NIEA W424.52A)
- 行政院環境保護署環境檢驗所。2008。異味污染物官能測定法—三點比較式嗅袋法。公告字號 0970087754，2008 年 12 月 15 日公告。(NIEA A201.13A)。
- 何聖賓。2003。鐵、錳、銅、鋅、鋁、鈷。植體分析手冊，pp. 10-1~10-23。中華土壤肥料學會，台中，台灣。
- 林浩潭。1991。以作物中重金屬容許含量推算土壤中重金屬容許含量之探討。國立中興大學土壤學研究所碩士論文。台中市。台灣。
- 范揚廣。2003。由堆肥場逆向追蹤畜牧場之飼料重金屬含量。第六屆畜牧資源回收再利用研討會論文集。P.104-115。2003年12月30日。國立中興大學獸醫學院。
- 張文華。2003。各種礦物質的作用及人體需求量。嬰兒與母親雜誌。319期。
- 黃真生。1979。台灣水稻第二期作低產之原因。台灣二期作稻低產原因及其解決方

- 法研討會專集。pp. 29-36。
- 賴明信、李長沛、曾清山、黃惠娟、陳治官、郭益全。2001。水稻台農 71 號(益全香米)的育成。中華農業研究 50(2):1-12。
- 嚴式清。1989。畜牧廢棄物在有機農業之利用。有機農業研討會專集(臺中區農業改良場特刊16號)。謝順景、謝慶芳主編。P.229-242。1988年10月27-29日。臺中區農業改良場。臺中場印行。
- 吳家誠、呂進榮。2002。台灣地區不同土綱土壤中重金屬總量檢測分析。行政院環保署研究計畫報告。
- Aldrich, A.P., D. Kistler, and L. Sigg. 2002. Speciation of Cu and Zn in drainage water from agricultural soils. *Environ. Sci. Technol.* 36:4824-4830.
- Bowen, H. J. M.1979. *Environmental chemistry of the elements*. Academic Press, London.
- Brunke R., P. Alvo, P. Schuepp and R. Gordon. 1988. Effect of meteorological parameters on ammonia loss from manure in the field, *J. Environ. Qual.* 17: 431-436.
- Burgener, P.A. and J.P. Hewlett. 1993 “Wyoming Machinery and Operation Costs.” University of Wyoming. Agricultural Experiment Station, B-982. (<http://agecon.uwyo.edu/FarmMgt/Software/default.htm>)
- Chaney Rl. 1980. Health risk associated with toxic metals in municipal sludge in: Bilton Chaney, R.L. 1980 Health risks associated with toxic metals in Municipal sludge. In Bitton, G., Damro, B.L., Davidson, G.T., Davidson, J.M. (Eds.) *Sludge – Health Risks of Land Application*. Ann Arbor Sci. Publ., Ann Arbor, MI, USA. Pp. 59-83.
- Dean, D.M. and M.E. Foran. 1992. The effect of farm liquid waste application on tile drainage. *J. Soil Water Cons.* 47: 368-369.
- Duiven, H.S. 2001. *Manure and Environment –The Dutch approach to reduce the mineral surplus and ammonia volatilization*. Ministry of Agriculture, Nature management and Fisheries.
- European Union. 2003. Amending the conditions for authorisation of a number of additives in feedingstuffs belonging to the group of trace elements. Commission regulation (EC) No. 1334/2003. *Official Journal of the European Union*. 25 July.
- Farmer J.J. 1995. Enterobacteriaceae: introduction and identification. In: Murray PR et al., eds. *Manual of clinical microbiology* 8/e(vol.1). ASM Press, Washington, DC. 450-456.
- Ferm, M., A. Kasimir-Klemedtsson, P. Weslien and L. Klemedtsson. 1999. Emission of NH₃ and N₂O after spreading of pig slurry by broadcasting or band spreading, *Soil Use Manage.* 15: 27-33.
- Garcia L.S., Bullock-Iacullo S, Palmer J, Shimazu RY. 1995. Diagnosis of parasitic infections: collection, processing, and examination of specimens. In: Murray PR et al., eds. *Manual of clinical microbiology* 6/e. ASM Press, Washington, DC.

- 1145-1158.
- Hendershot, W.H. and M. Duquette. 1986. A simple barium chloride method for determining cation exchange capacity and exchangeable cations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50:605-608.
- Holm, A. E. coli associated diarrhoea in weaner pigs: zinc oxide added to the feed as a preventative measure. *Proceedings of the International Pig Veterinary Society. 11th Congress. Lausanne, Switzerland; 1–5 July 1990.*
- Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. p.539-579. In A. L. Page et al. (ed.) *Methods of soil analysis, Part II.* 2nd ed. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Nicholson, F. A., S. R. Smith, B.J. Alloway, C. Carlton-Smith, and B.J. Chambers. 2003. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. *The Science of the Total Environment* 311: 205-219.
- Oenema, O., G. Gebauer, M. Rodriguez, A. Sapek, S.C. Jarvis, W.J. Corre and S. Yamulki. 1998. Controlling nitrous oxide emissions from grassland livestock production. *Nutrient Cycling in Agroecosystems.* 52:141-149.
- Oenema, O., H. Kros and W. Vries. 2003. Approaches and uncertainties in nutrient Budgets: Implications for nutrient management and environmental policies. *Europ. J. Agronomy.* 20:3-16.
- Rhoades, J. D. 1982. Soluble salts. p. 167-179. In A. L. Page et al. (ed.) *Methods of soil analysis, Part II* 2nd ed. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Rosen, G.D., and P.A. Roberts. 1996. Comprehensive survey of the response of growing pigs to supplementary copper in feed. *Field Investigations and Nutrition Service Ltd, London..*
- Santamaria J, Toranzos GA. 2003. Enteric pathogens and soil: a short review. *Int Microbiology* 6: 5-9.
- Smith, K.A., D. R. Charles, D. Moorhouse. 2000. Nitrogen excretion by farm livestock with respect to land spreading requirements and controlling nitrogen losses to ground and surface waters. Part 2: pigs and poultry. *Bioresource Technology.* 71:183-194.
- Underwood E.J., and N.F. Suttle. 1999. *The mineral nutrition of livestock.* 3rd ed.. Wallingford: CABI Publishing.
- Velthof, G.L., P.J. Kuikman, and O. Oenema. 2003. Nitrous oxide emission from animal manures applied to soil under controlled conditions. *Biol. Fertil. Soils.* 37:221-230.
- Williams, C. M. 2009. Development of environmentally superior technologies in the US and policy. *Bioresource Technology* 100: 5512-5518.



圖 1. 自峰成牧場(A)至農業試驗所(B)路線圖



圖 2. 荷蘭引進之注入式槽車田間操作
(曳引機使用證號：200137 號及牌照：L1-0014 號)



圖 3. 台製噴灑式施肥機

road 100m	C K	F2	F5	
		M1	M4	
		M2	M5	
		F3	F6	重覆1
		M3	M6	
		F1	F4	
	C K			
				重覆2
	C K			
				重覆3
	C K			
				重覆4

化肥氮肥處理(一、二期)

F1: 50 kg N/ha

F2: 100 kg N/ha

F3: 125 kg N/ha

F4: 50 kg N/ha + 穗肥 25 kg N/ha

F5: 100 kg N/ha + 穗肥 25 kg N/ha

F6: 125 kg N/ha + 穗肥 25 kg N/ha

糞肥區氮肥處理(一期)

M1: 70 kg N/ha

M2: 140 kg N/ha

M3: 210 kg N/ha

M4: 70 kg N/ha + 穗肥 25 kg N/ha

M5: 140 kg N/ha + 穗肥 25 kg N/ha

M6: 210 kg N/ha + 穗肥 25 kg N/ha

糞肥區氮肥處理(二期)

M1: 46 kg N/ha

M2: 96 kg N/ha

M3: 139 kg N/ha

M4: 46 kg N/ha + 穗肥 25 kg N/ha

M5: 93 kg N/ha + 穗肥 25 kg N/ha

M6: 139 kg N/ha + 穗肥 25 kg N/ha

圖 4.43 號田試驗處理田區設計(98 水稻)

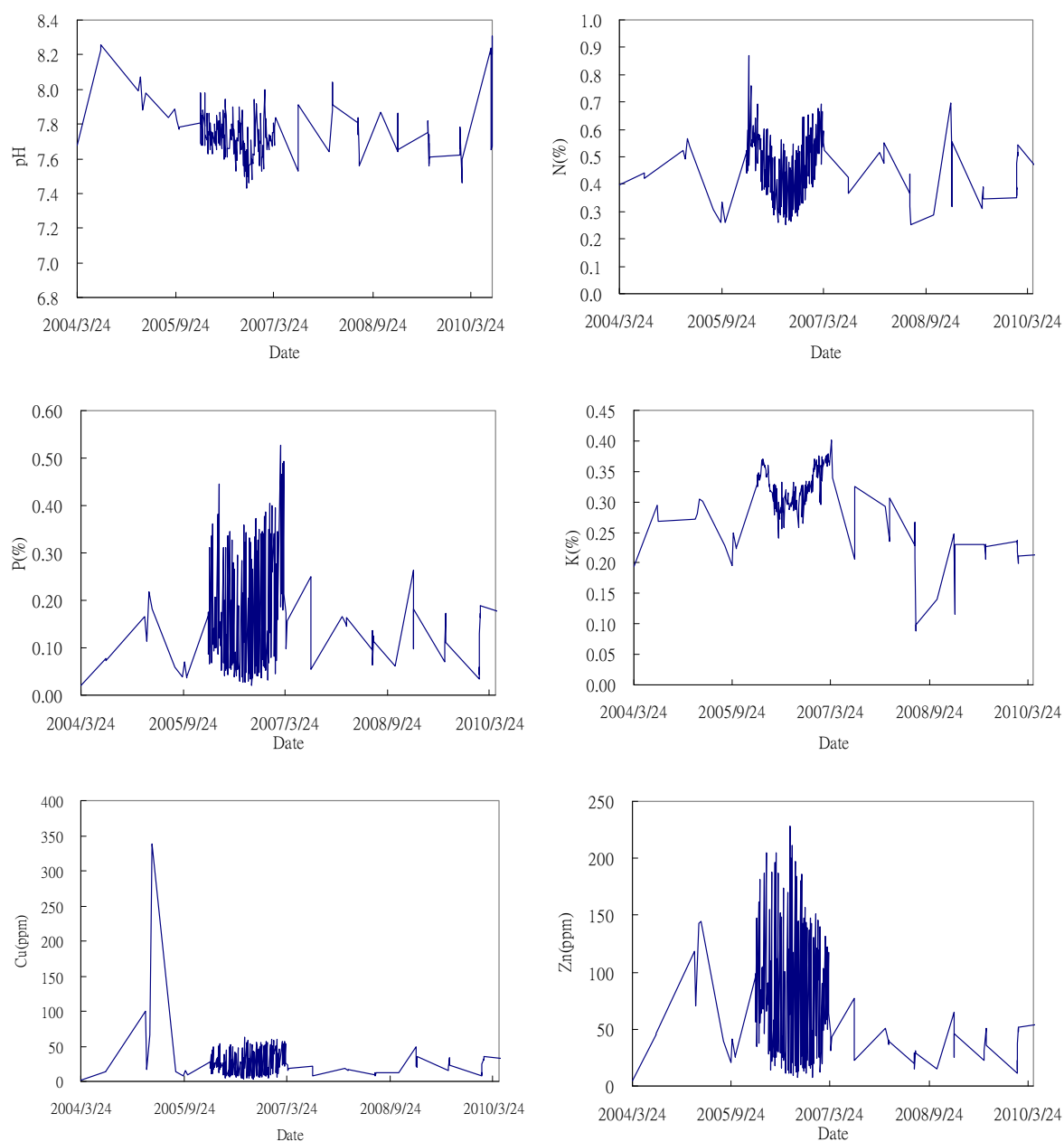


圖 5. 峰成畜牧場豬糞尿特性與要素含量變化

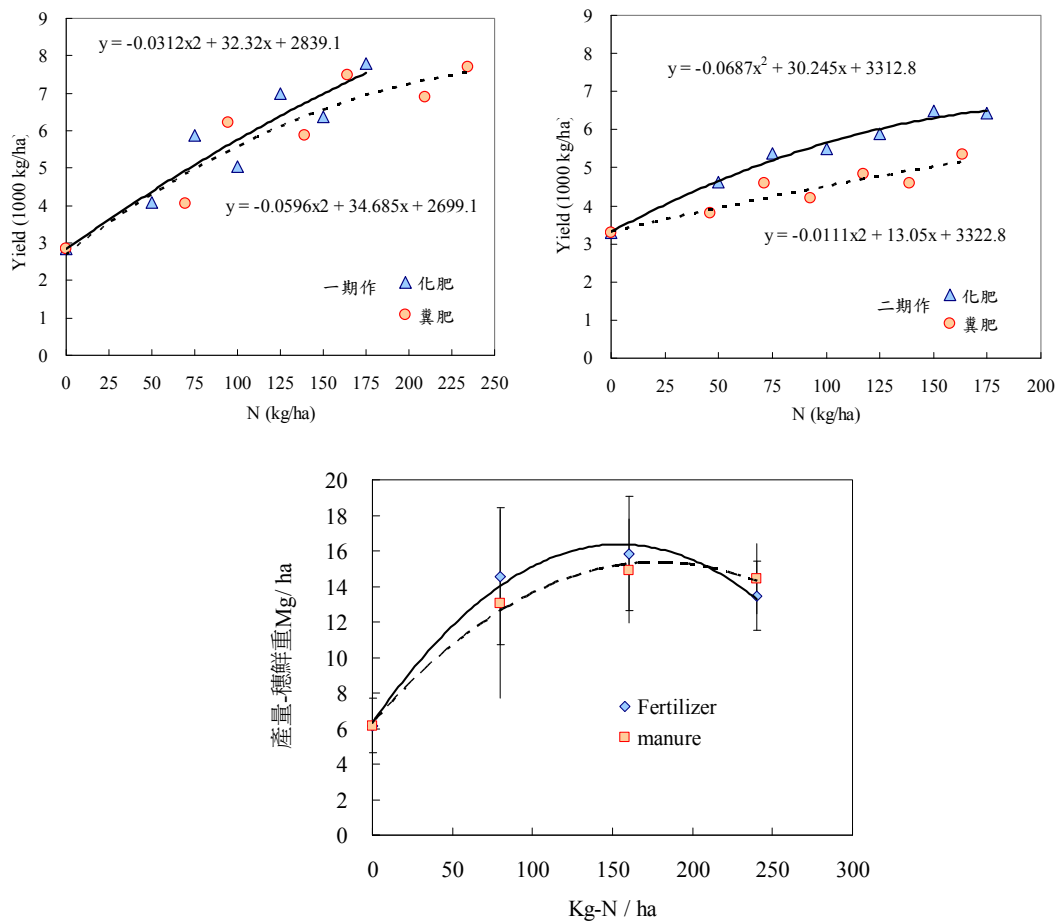


圖 6. 氮肥施用量與產量之關係式(上：98 年一、二期作水稻，下：99 年春作玉米)

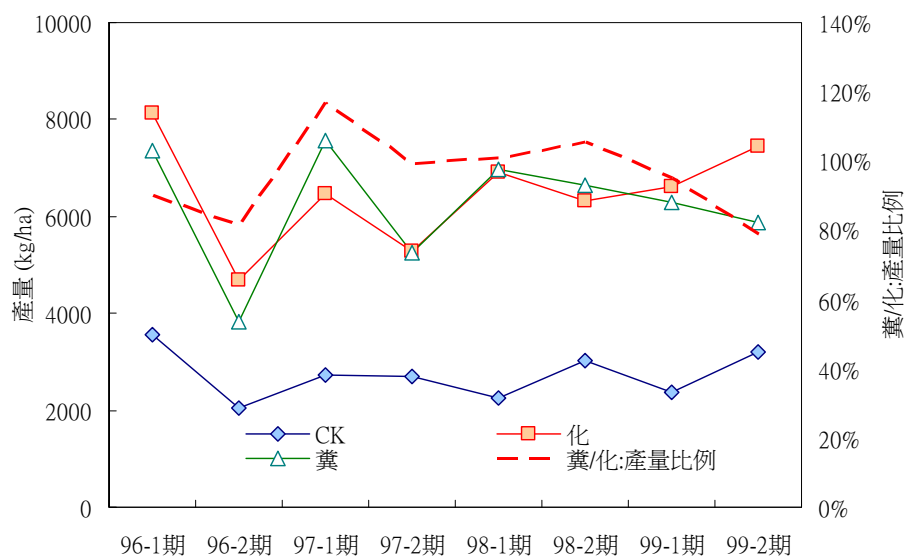


圖 7. 農試所 85 號試驗田施用化肥與糞肥之產量

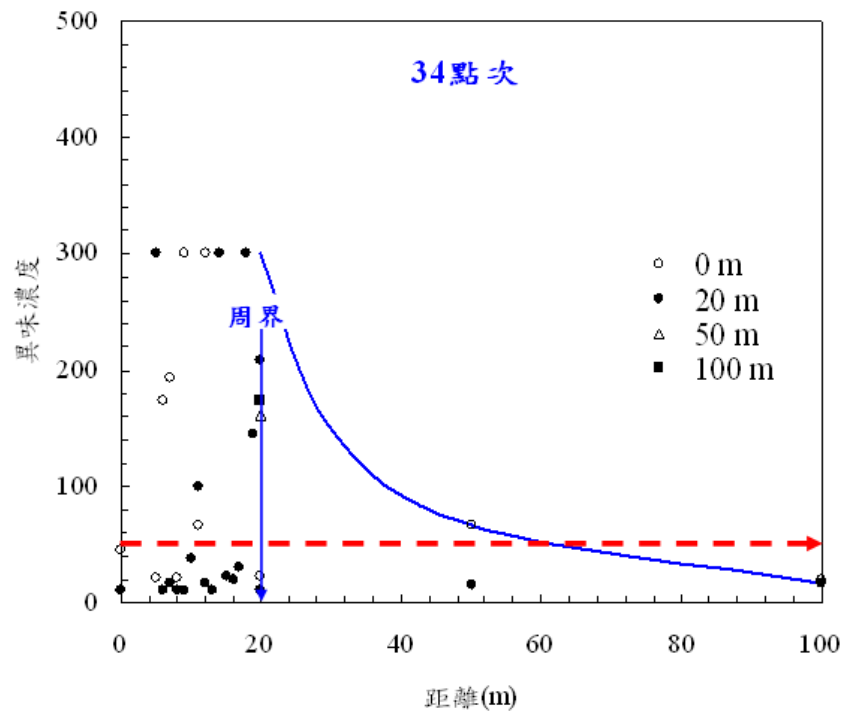


圖 8. 採樣距離與異味濃度關係

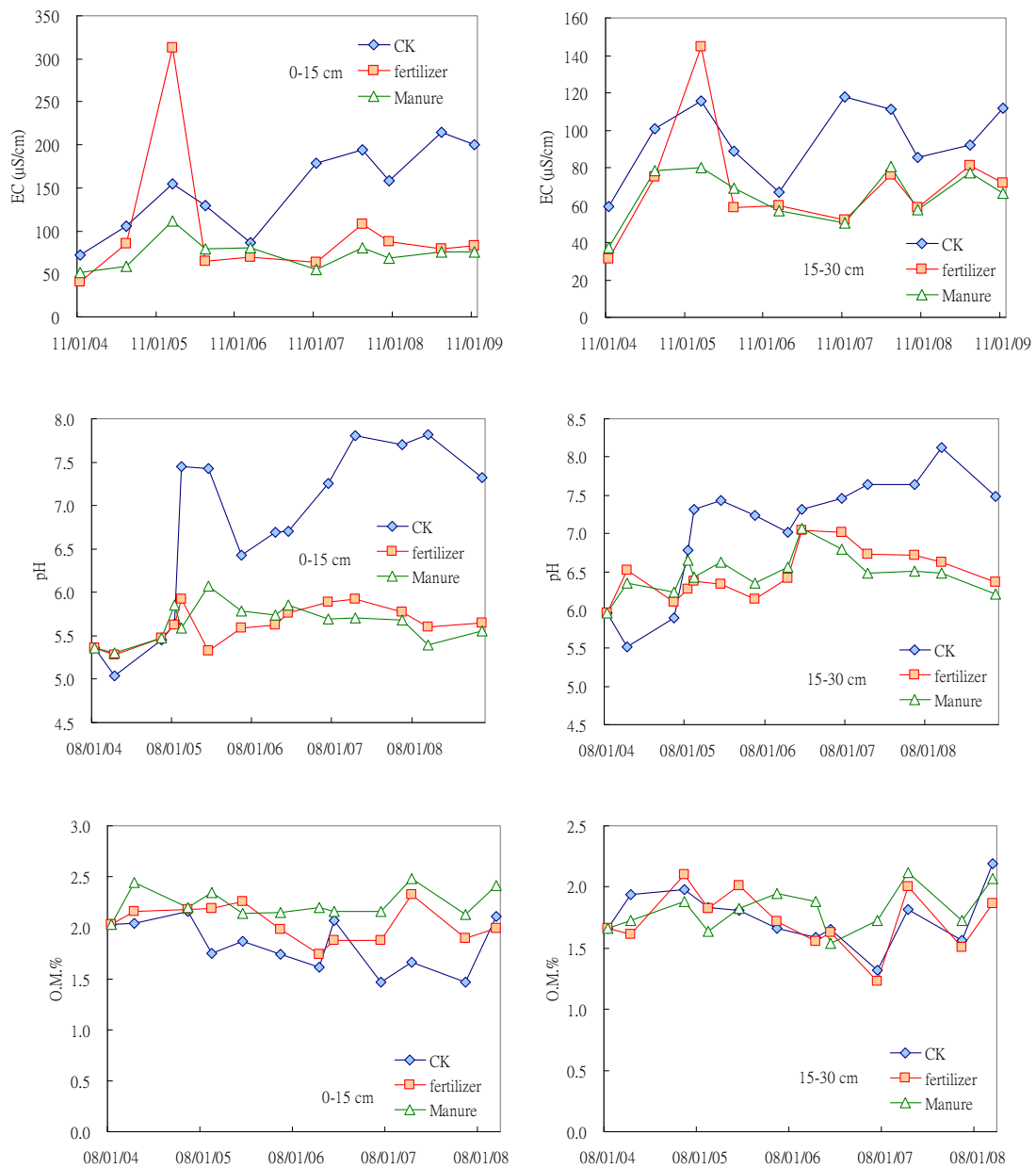


圖 9. 農試所 85 號試驗田施用化肥與豬糞尿之土壤 EC、pH、有機質變化

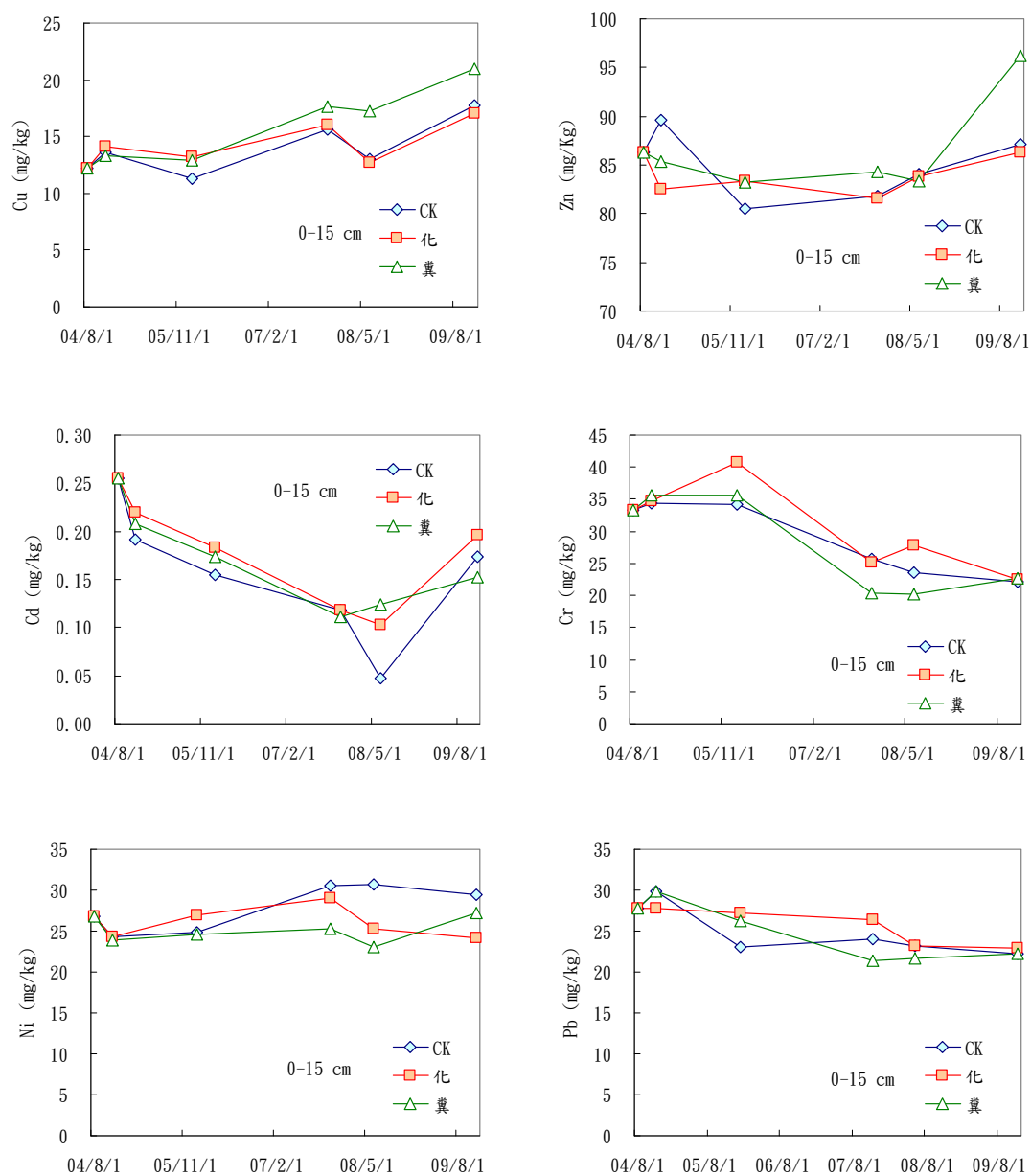


圖 10. 農試所 85 號田土壤施用化肥與豬糞尿後，表土(0-15 cm)重金屬含量變化

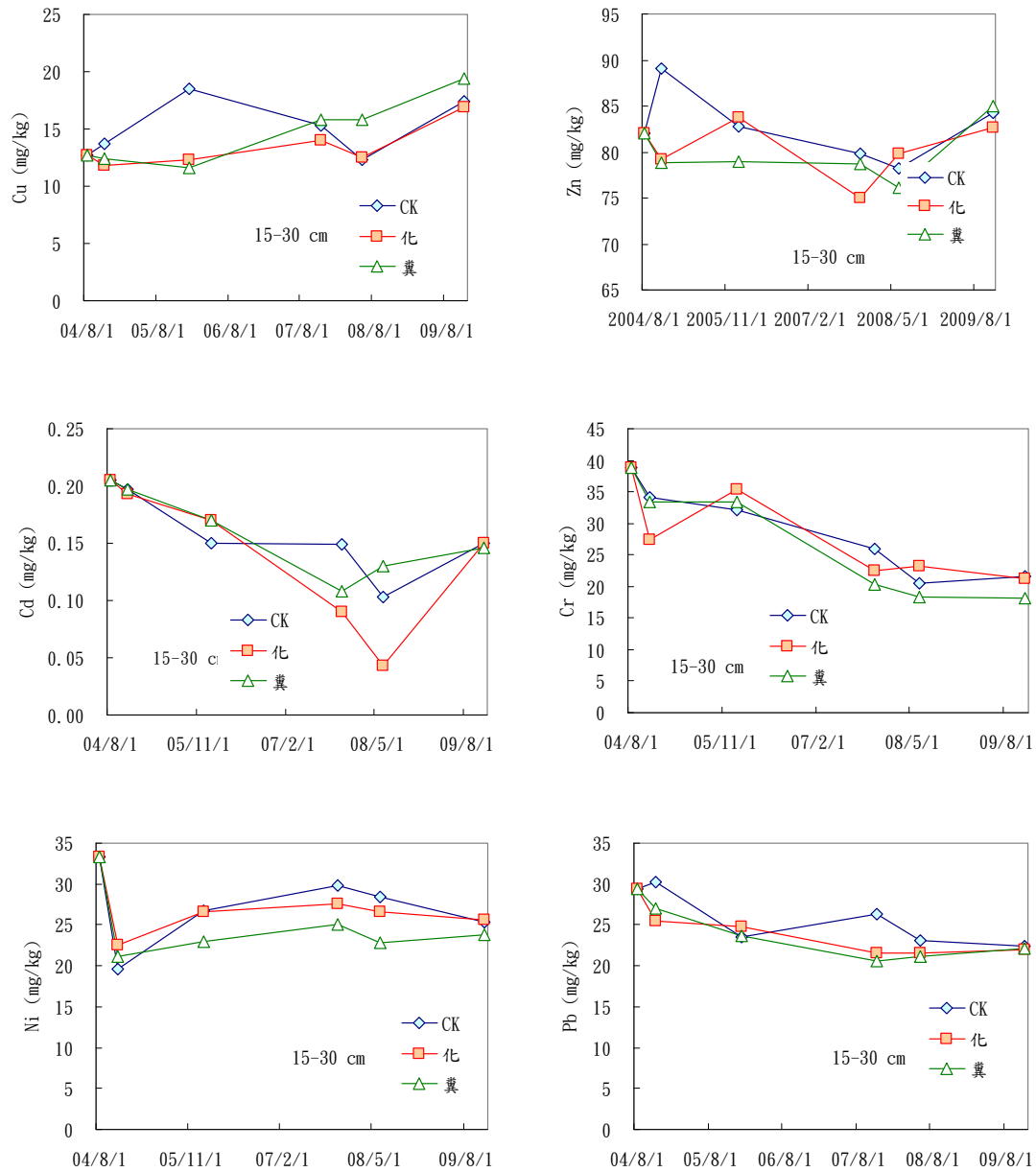


圖 11. 農試所 85 號田土壤施用化肥與豬糞尿後，底土(15-30 cm)重金屬含量變化

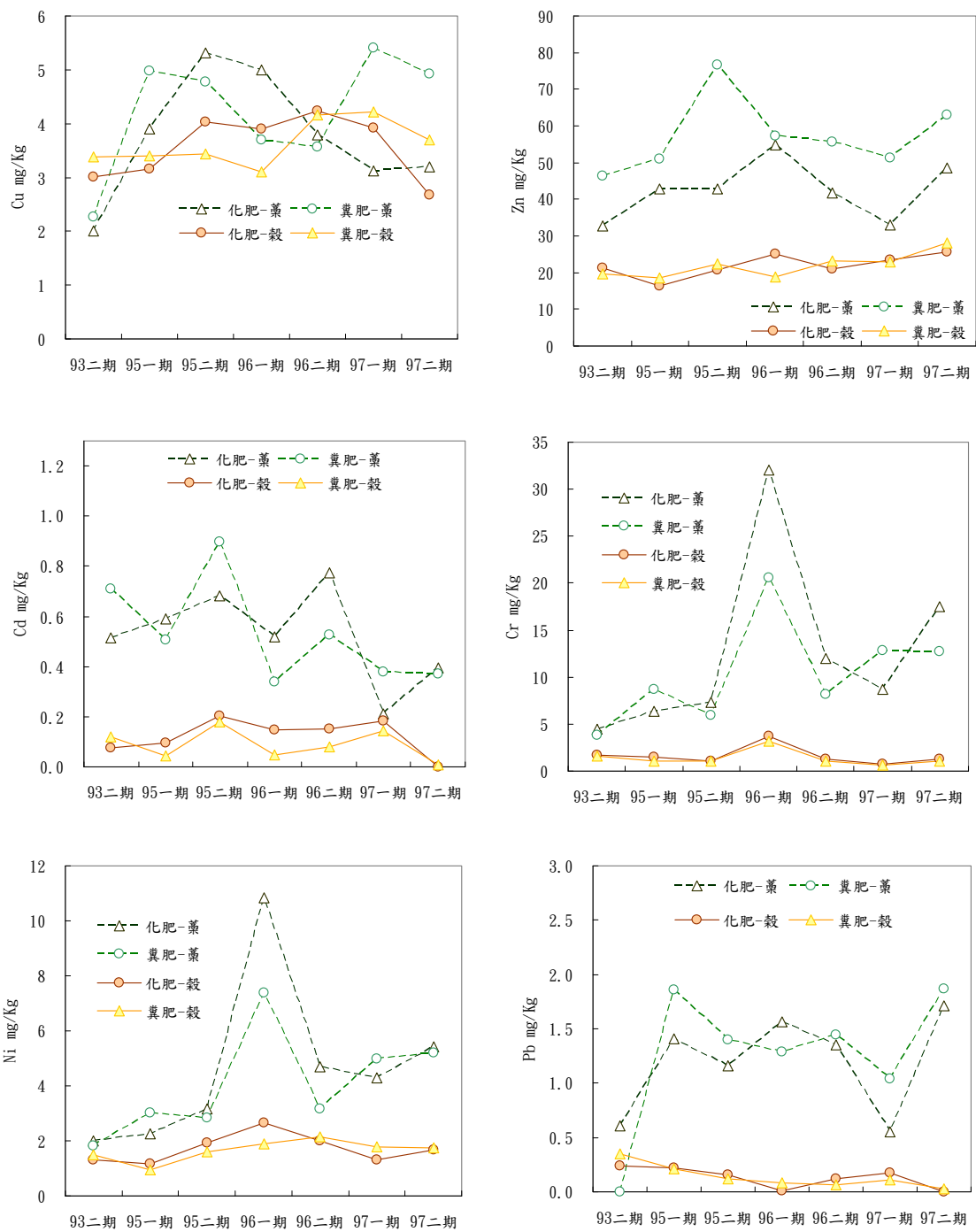


圖 12. 稻米植體(藁：稻桿，穀：稻米全穀)重金屬濃度

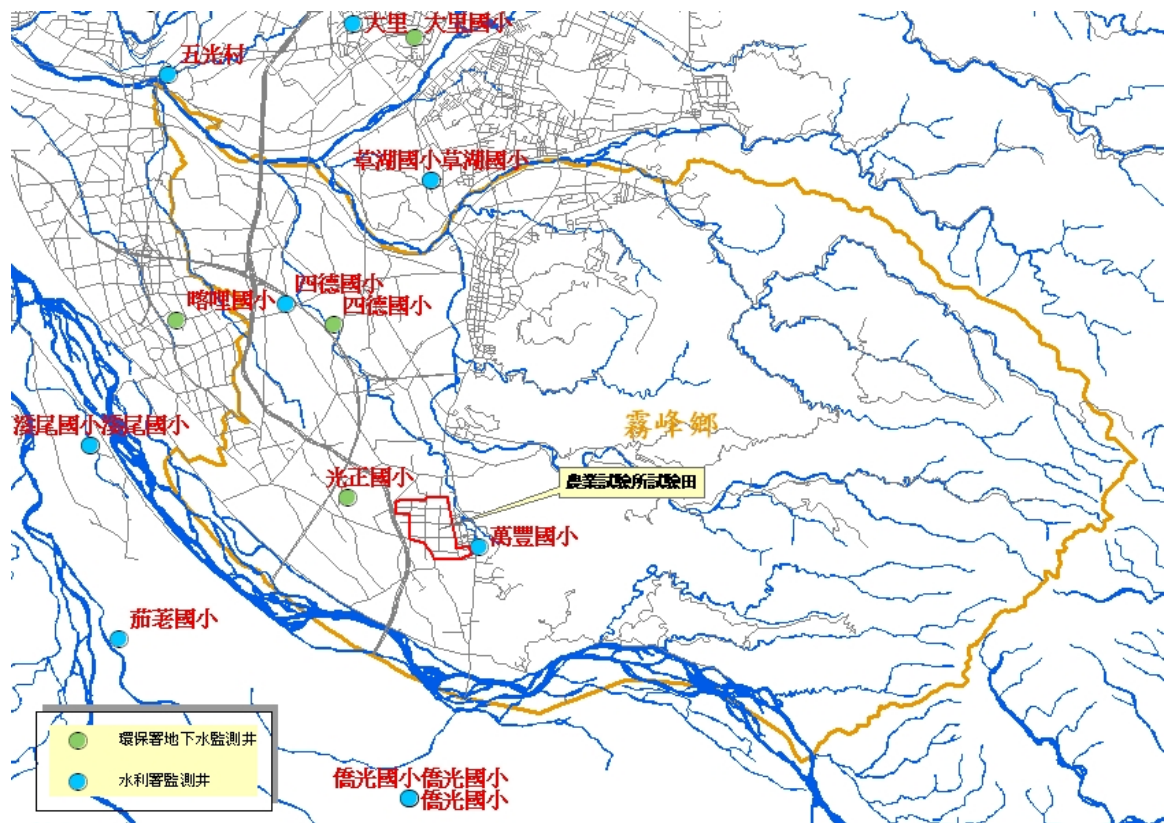


圖 13. 環保署與水利署地下水監測井位置

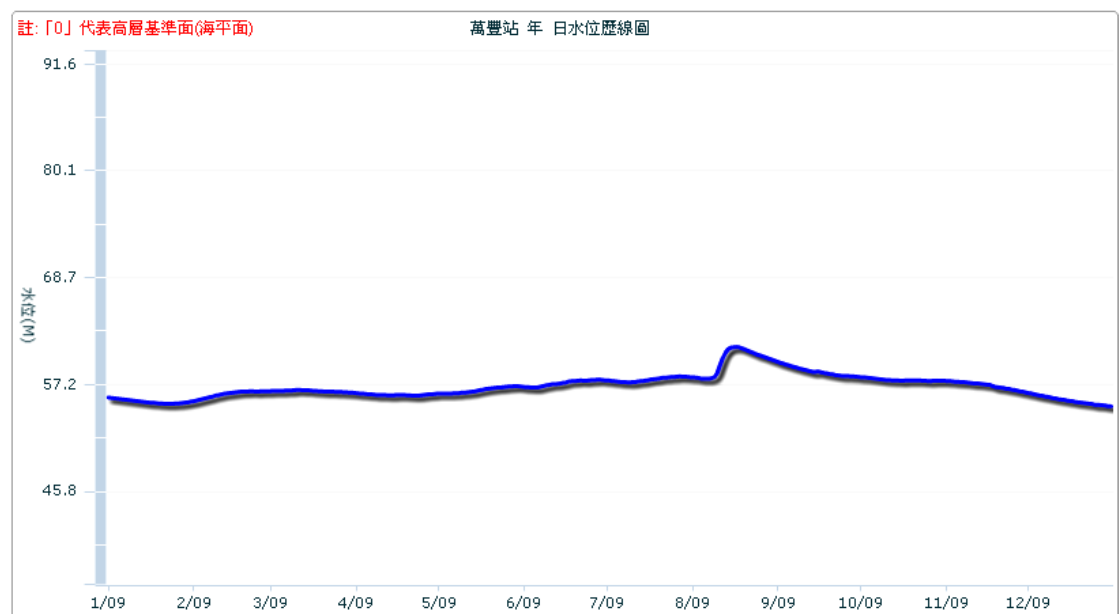


圖 14.水利署萬豐站水位(井頂高 80.1 公尺，井深 40.7 公尺；以海平面為基準)

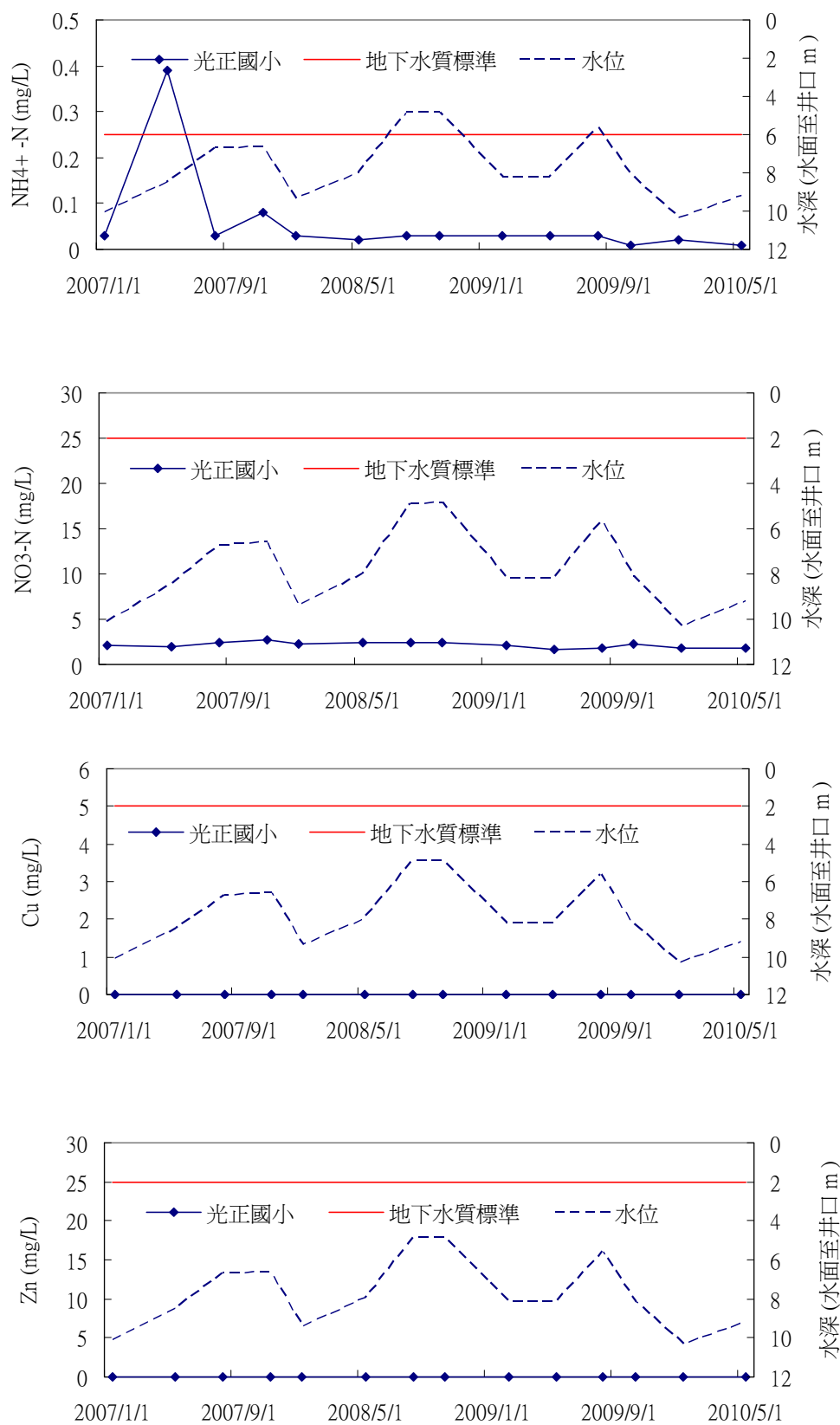


圖 15. 光正國小地下水硝酸態氮、氨態氮、銅和鋅監測值

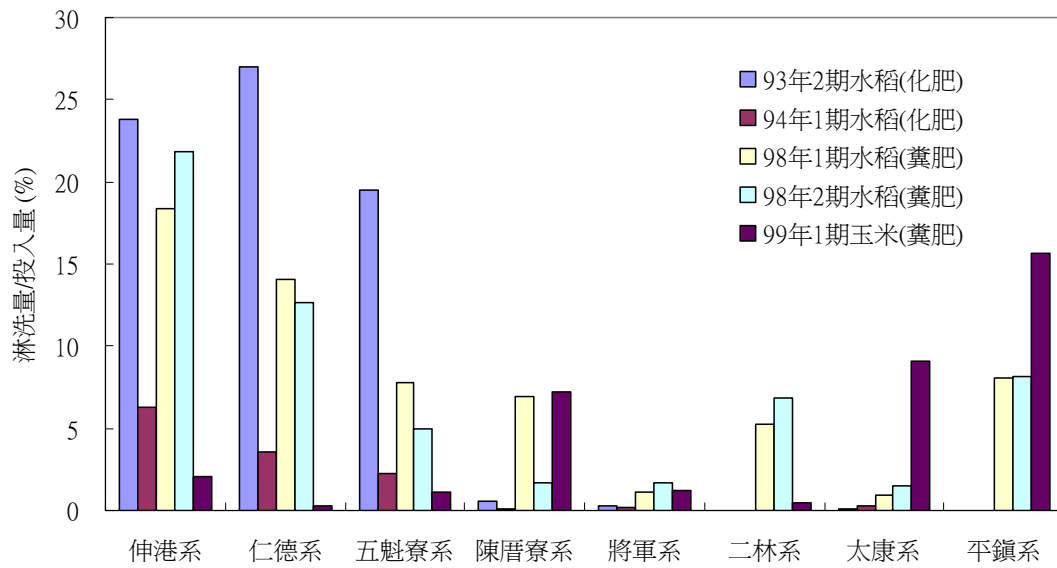


圖 16. 水稻田施用化肥與糞肥之氮素淋洗率(依含砂粒百分比由高至低排列)

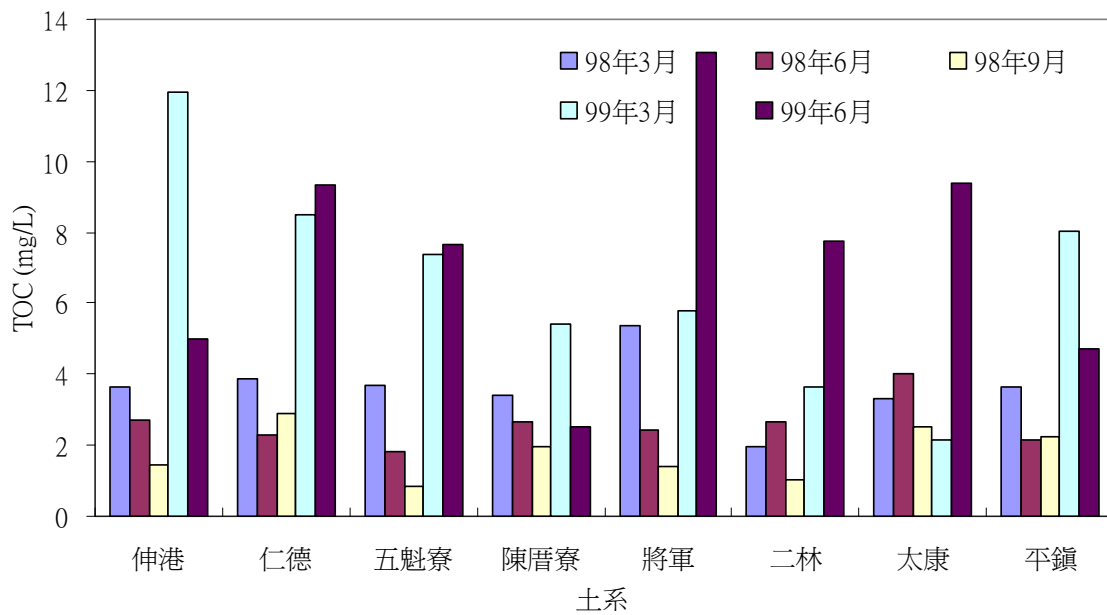


圖 17. 98-99 年度八個土系滲漏計之滲漏水總有機態碳含量

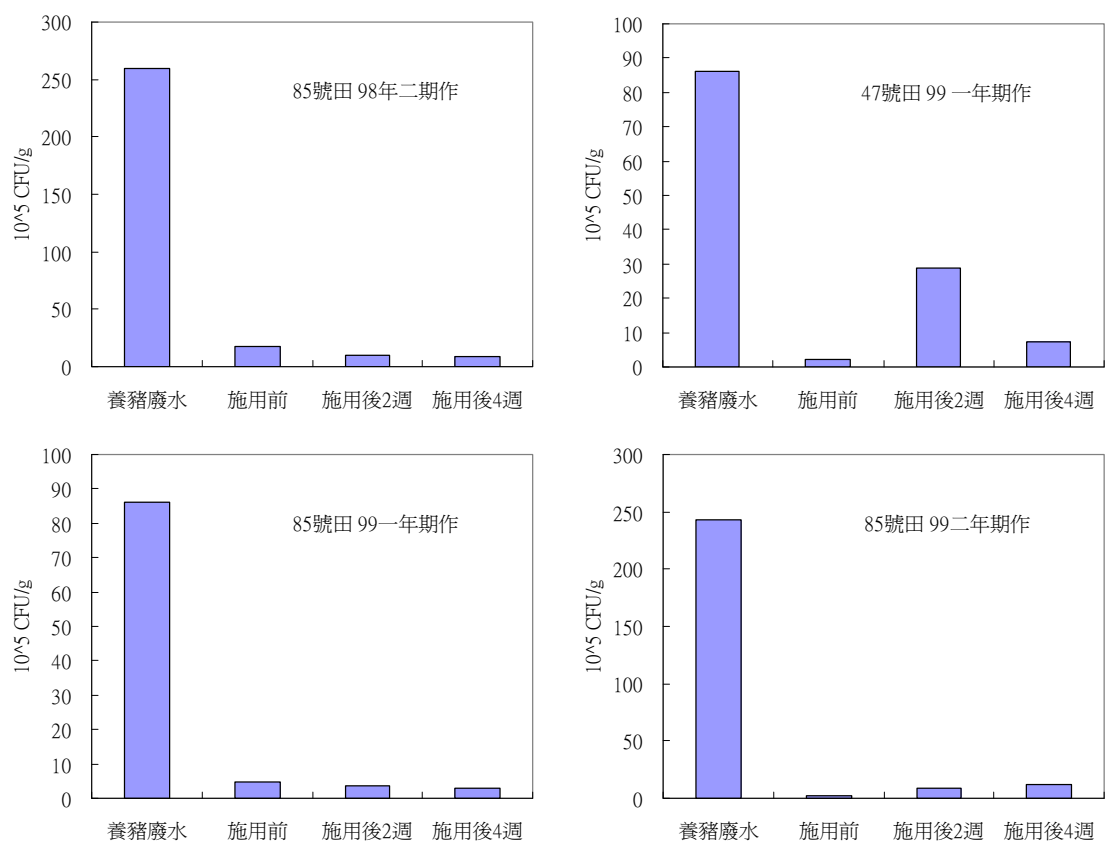


圖 18. 豬糞尿和施用豬糞尿前後土壤之生菌數

表 1. 試所試驗田表土特性

試驗田	土系	pH	OM %	EC μ S/cm	CEC cmole/kg	sand %	Silt %	clay %	質地
43	社腳	5.0	2.0	59	6.82	40	43	17	loam
85	系	5.2			6.42				

表 2. 試所試驗田表土重金屬背景值

土層\ 金屬	Cu	Zn	Ni	Cd	Cr	Pb
mg/kg						
0-15 cm	12	86	27	0.26	33	28
15-30 cm	13	82	33	0.21	39	29

表 3. 峰成畜牧場高床式豬舍豬糞尿特性與肥分

	水分 %	pH	OM* %	EC mS/cm	N %	P %	K %	Ca mg/L	Mg mg/L	Na mg/L	SAR meq/L
Min	91.4	7.4	0.6	10.3	0.22	0.02	0.09	0.02	0.004	0.04	1.7
Max	98.9	8.3	3.3	36.3	0.87	0.53	0.40	0.65	0.227	0.1	17.33
Mean	96.4	7.8	1.5	24.7	0.45	0.16	0.30	0.15	0.079	0.10	6.37

*濕基

表 4. 峰成畜牧場高床式豬舍豬糞尿重金屬含量

Metal	Fe	Mn	Cu	Zn	Ni	Cd	Cr	Pb	As	Hg
mg/L										
Min	21	4	2	5	0.3	nd*	0.1	nd	nd	nd
Max	589	117	338	229	1.3	0.12	1.0	1.15	0.9	nd
Mean	201	26	28	69	0.7	0.04	0.3	0.17	0.2	nd

nd: not detectable.

表 5. 養豬廢水與化學肥料肥分比較

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	施用量	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	%			Kg	kg		
台肥 1 號	20	5	10	40	8.0	2.0	4.0
台肥 5 號	16	8	12	40	6.4	3.2	4.8
台肥 43 號	15	15	15	40	6.0	6.0	6.0
沖水式豬舍廢水 ¹	0.1	0.09	0.04	7000	7	6.3	2.8
高床式豬舍廢水	0.45	0.39	0.36	2000	9	7.8	7.2

¹:固液分離後之廢水

表 6. 98 一期作水稻施用化肥與糞肥產量

基肥種類	處理	基肥施氮量 (kg N/ha)	穗肥施氮量* (kg N/ha)	總施氮量 (kg N/ha)	產量 (kg/ha)
無 化肥	CK	0	0	0	2840 ^f
	F1	50	0	50	4070 ^e
	F2	100	0	100	5050 ^{de}
	F3	150	0	150	6360 ^{bc}
	F4	50	25	75	5860 ^{cd}
	F5	100	25	125	6990 ^{ab}
糞肥	F6	150	25	175	7800 ^a
	M1	70	0	70	4050 ^d
	M2	140	0	140	5870 ^c
	M3	210	0	210	6890 ^{ab}
	M4	70	25	95	6220 ^{bc}
	M5	140	25	165	7480 ^a
	M6	210	25	235	7700 ^a

*穗肥均施用化肥

表 7. 98 二期作水稻施用化肥與糞肥產量

基肥種類	處理	基肥施氮量 (kg N/ha)	穗肥施氮量* (kg N/ha)	總施氮量 (kg N/ha)	產量 (kg/ha)
無 化肥	CK	0	0	0	2920 ^d
	F1	50	0	50	4100 ^c
	F2	100	0	100	4860 ^b
	F3	150	0	150	5750 ^a
	F4	50	25	75	4760 ^b
	F5	100	25	125	5210 ^b
糞肥	F6	150	25	175	5700 ^a
	M1	46	0	46	3360 ^d
	M2	93	0	93	3720 ^{cd}
	M3	139	0	139	4060 ^{bc}
	M4	46	25	71	4050 ^{bc}
	M5	93	25	118	4290 ^{ab}
	M6	139	25	164	4730 ^a

*穗肥均施用化肥

表 8.以關係式估算不同化肥與糞肥施用量之稻米產量

施氮量(kg/ha)		50	75	100	125	150	175
98 年一期作	糞肥區產量(Mg/ha)	4284	4965	5572	6103	6561	6944
	化肥區產量(Mg/ha)	4377	5088	5759	6392	6985	7540
	糞肥/化肥(%)	97.5	96.9	95.9	94.5	93.0	91.2
98 年二期作	糞肥區產量(Mg/ha)	3948	4239	4517	4781	5031	5267
	化肥區產量(Mg/ha)	4653	5195	5650	6020	6304	6502
	糞肥/化肥(%)	84.8	81.6	79.9	79.4	79.8	81.0

表 9. 98 年稻米一期作之不同處理之產量構成四要素

肥料種類	處理	總施氮量 (kg N/ha)	穗數/櫟	粒數/穗	稔實率 (%)	千粒重 (g)
無 化肥	CK	0	18	47	96.3	25.5
	F1	50	23	47	96.4	24.9
	F4	75	26	56	94.2	26.8
糞肥	F2	100	27	52	95.2	24.6
	F5	125	30	64	93.2	24.8
	F3	150	31	56	93.9	25.1
	F6	175	33	64	90.3	24.9
	M1	70	23	51	96.1	25.4
	M4	95	26	64	93.9	25.8
	M2	140	29	53	95.3	25.3
	M5	165	32	63	93.2	25.8
	M3	210	32	60	92.6	24.5
	M6	235	34	69	91.7	24.2

表 10. 98 年稻米二期作之不同處理之產量構成四要素

肥料種類	處理	總施氮量 (kg N/ha)	穗數/樣	粒數/穗	稔實率 (%)	千粒重 (g)
無	CK	0	18.6	61.4	93.1	23.5
化肥	F1	50	21.0	59.3	92.8	24.1
	F4	75	24.1	67.3	89.2	24.6
	F2	100	25.2	72.2	87.6	23.2
	F5	125	27.0	66.4	86.6	23.5
	F3	150	28.6	74.7	84.0	22.9
	F6	175	29.4	70.2	85.9	23.3
糞肥	M1	46	17.4	66.3	93.1	23.5
	M4	71	20.4	56.6	91.0	23.5
	M2	93	21.2	63.1	91.6	23.9
	M5	118	22.2	62.4	88.7	24.0
	M3	139	21.4	59.5	92.5	24.0
	M6	164	22.7	63.9	89.6	23.7

表 11. 霧峰洪姓農民水稻產量

期作	處理	穗數/每樣	粒數/穗	稔實率(%)	產量
99 一期	化肥	33.8	56.8	82.5	5240
	糞肥	32.8	66.2	85.4	5368
比例 % (糞肥/化肥)		96.2	120.8	104.4	102.4
99 二期	化肥	25.2	79.8	80.5	5509
	糞肥	21.2	106.1	80	5791
比例 % (糞肥/化肥)		84.1	132.9	99.4	105.1

表 12. 99 春作玉米施用化肥與糞肥產量

總施氮量(kg N/ha)	0	80	160	240
CK (穗鮮重-Mg/ha)	6.2	-	-	-
化肥產量(穗鮮重-Mg/ha)	-	14.6	15.8	13.5
糞肥產量(穗鮮重-Mg/ha)	-	13.0	14.9	14.4
比例糞肥/化肥(%)	-	89.4%	94.0%	107.2%

表 13. 6 階段異味強度表示法

級數	表示法
0	無異味
1	勉強可感知的異味(檢知閾值)
2	知道臭氣成分的弱異味(認知閾值)
3	容易感知的異味
4	強異味
5	強烈異味

表 14. 異味污染物濃度監測結果

期作	採樣地點	施肥方式及 採樣時機	採樣點	異味污染物 濃度	備註
98 年二期 作	試驗田 85 號	注入時	隨車採樣	19	
		注入後	下風處	14	
	試驗田 47 號	噴灑時	隨車採樣	67	
		噴灑後	下風處	45	
99 年一期 作	試驗田 85 號	注入時	隨車採樣	21	
		注入後	下風處	100	管線破損
	試驗田 47 號	噴灑時	隨車採樣	300	
		噴灑後	下風處	19	
99 年二期 作	試驗田 85 號	噴灑時	隨車採樣	1,000	
		噴灑時 1	下風處	30	
		噴灑時 2	下風處	300	邊處手動
		噴灑時 3	下風處	145	噴灑

*異味污染物濃度工業區及農業區之周界標準為 50(環保署，2007)。

**依固定污染源空氣污染物排放標準，周界之定義為：指公私場所所使用或管理之界線。建設施作田地距離居住區域約 100 m 以上。

表 15. 氨氣(Ammonia)和胺(Amines)濃度監測結果

期作	採樣地點	施肥方式及 採樣時機	採樣 點	氨氣 mg/L	胺 mg/L
98 年二期作	試驗田 85 號	注入後	周界	未檢出	未檢出
		(10 分鐘)	周界	未檢出	未檢出
	試驗田 47 號	灑施後	周界	未檢出	4
		(10 分鐘後)	田地	15	58
	試驗田 47 號	灑施後	周界	未檢出	1
		(30 分鐘後)	田地	未檢出	18
99 年一期作	試驗田 47 號	注入後(10 分鐘)	周界	未檢出	未檢出
			田地	45	23
	試驗田 85 號	注入後(10 分鐘)	周界	未檢出	未檢出
			周界	未檢出	未檢出
99 年二期作	試驗田 85 號	灑施後(10 分鐘)	周界	未檢出	未檢出
			田地	20	10

1: 氨氣排放標準為 1ppm(環保署, 2007), 檢知管最低刻度為 1ppm。

2: 田地為糞液肥施灑後, 於表土上方 5 公分處取樣檢測, 周界: 於試驗田下風處採樣。

表 16. Pasquill 大氣穩定度分類表

風速 (m/s)	白天			晚上	
	日照強度			雲量	
	強烈日照	中等日照	輕微日照	多雲	無雲
< 2	A	A - B	B	E	F
2 - 3	A - B	B	C	E	F
3 - 5	B	B - C	C	D	E
5 - 6	C	C - D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D
說明	A: 最不穩定		D: 中性不穩定		
	B: 中度不穩定		E: 輕微穩定		
	C: 輕微不穩定		F: 最穩定		

表 17. 施用廢水之土壤累積的重金屬達監測基準之可使用年限

	重金屬	Cu	Zn	Ni	Cd	Cr	Pb	As	Hg
廢水中濃度	mg/kg	28	69	0.7	0.04	0.3	0.17	0.2	N.D.
施用量	kg/yr	2.8	6.9	0.07	0.004	0.03	0.017	0.02	N.D.
年增量 ¹	mg/kg-yr	1.4	3.45	0.035	0.002	0.015	0.0085	0.01	N.D.
0-15 cm 土壤背景濃度	mg/kg	12	86	27	0.26	33	28	2.46	0.34
監測基準	mg/kg	120	260	130	2.5	175	300	30	10
年限	year	77	50	2943	1120	9467	32000	2019	-

¹ 不考慮植體、滲漏等移出

N.D.: not detectable.

表 18. 土壤累積的重金屬達監測基準之可使用年限⁽¹⁾

(1)以環保署土壤處理上限(400 kg/ha/yr)為施用量計算

重金屬	濃度 mg/l	施用量 ⁽²⁾ Mg/ha/yr	施用金屬量 kg/ha/yr	移除量 kg/ha/yr	增加量 ⁽³⁾ mg/kg	土壤含量 mg/kg	監測基準 ⁽²⁾ mg/kg	可使用年 限(年)
1.A 豬場 (高床式, N = 0.4%)								
Cu	28	100	2.80	0.024	2.8	12	120	78
Zn	69	100	6.90	0.4	6.5	86	260	54
2.B 豬場 (沖水式, N = 0.1%)								
Cu	5	400	2.8	0.024	2.0	12	120	109
Zn	12	400	4.8	0.4	4.4	86	260	79
3.C 豬場 (沖水式, N = 0.15%)								
Cu	11	267	2.9	0.024	2.9	12	120	74
Zn	31	267	8.3	0.4	7.9	86	260	44
4.D 豬場(沖水式, N = 0.03%)								
Cu	2	1200	2.4	0.024	1.2	12	120	91
Zn	5	1200	6.0	0.4	2.8	86	260	62
5. 僅添加豬隻所需營養豬場 (高床式, N = 0.4%)								
Cu	12	100	1.2	0.024	0.6	12	120	184
Zn	60	100	6	0.4	2.8	86	260	62
6. 豬糞堆肥(N=2 %)								
Cu	100	20	2	0.024	1	12	120	109
Zn	500	20	10	0.4	4.8	86	260	36

(2)按農糧署堆肥補助施用量計算⁽⁵⁾

重金 屬	濃度 mg/l	施用量 ⁽²⁾ Mg/ha/yr	施用金屬量 kg/ha/yr	移除量 kg/ha/yr	增加量 ⁽³⁾ mg/kg	土壤含量 mg/kg	監測基準 ⁽²⁾ mg/kg	可使用年 限(年)
1.A豬場 (高床式, N = 0.4%)								
Cu	28	20	0.56	0.024	0.3	12	120	403
Zn	69	20	1.38	0.4	0.5	86	260	355
2.B豬場 (沖水式, N = 0.1%)								
Cu	7	80	0.56	0.024	0.3	12	120	403
Zn	12	80	0.96	0.4	0.3	86	260	621
3.C豬場 (沖水式, N = 0.15%)								
Cu	11	53	0.59	0.024	0.3	12	120	384
Zn	31	53	1.65	0.4	0.6	86	260	278
4.D豬場 (沖水式, N = 0.03%)								
Cu	2	267	0.53	0.024	0.3	12	120	424
Zn	5	267	1.33	0.4	0.5	86	260	373
5.僅添加豬隻所需營養豬場 (高床式, N = 0.4%)								
Cu	12	20	0.24	0.024	0.1	12	120	1000
Zn	60	20	1.20	0.4	0.4	86	260	435
6.豬糞堆肥 (N = 2%)								
Cu	100	4	0.40	0.024	0.19	12	120	574
Zn	500	4	2.00	0.4	0.80	86	260	218

(1)以稻穀銅、鋅平均含量為 2 與 34mg/kg, 每期作產量 6000 kg/ha 計算作物吸收量

(2)以環保署土壤處理上限(400 kg/ha/yr)計算

(3)按表土重量 2000000 kg/ha 計算

(4)食用作物土壤重金屬監測基準

(5)農糧署堆肥補助施用量最高 4,000 kg/ha/yr, 換算堆肥氮素施用量為 80 kg N/ha/yr。

表 19.以農田銅、鋅收支平衡估算豬隻飼料銅、鋅限值(1)

作物	元素	平均含量 mg/kg	收量 kg/ha/yr	移除量 kg/ha/yr	N %	施肥量 ⁽⁴⁾ Mg/ha/yr	豬糞尿限值 mg/kg	飼料限值 ⁽⁵⁾ mg/kg
稻穀	Cu	2 ⁽²⁾	12000	0.024	0.4	100	0.24	1.1
	Zn	34 ⁽¹⁾	12000	0.4	0.4	100	4.0	18
植體	Cu	10 ⁽³⁾	12000	0.12	0.4	100	1.2	5.3
	Zn	200 ⁽³⁾	12000	2.4	0.4	100	24	92

(1)假設農田累積之重金屬僅來自施用豬糞尿, 以高床式豬舍豬糞尿估算

(2)稻穀正常含量: Cu= ND-5.39 mg/kg, Zn=1.65-69.6 mg/kg, 銅、鋅平均含量為 2 與 34mg/kg (Source: 林, 1991)

(3)植體正常含量: Cu=5-20 mg/kg, Zn=1-400 mg/kg, 以銅、鋅平均含量為 10 與 200 mg/kg 估算 (Source: Bowen, H.J.M., 1979)

(4)施氮量以環保署土壤處理上限 400 kg/ha/yr 計算

表 20.台灣和歐盟之豬飼料銅鋅限值

飼料種類 單位 國家	銅		鋅	
	mg/kg ⁽¹⁾			
	台灣 ⁽²⁾	歐盟	台灣	歐盟
人工乳	60	-	130	200
哺乳豬用(15 kg 以下)	60	170	130	150
仔豬用(15~30 kg)	50	170	130	150
中豬(31 ~60 kg)	25	25	110	150
其他豬(61 kg 以上)	25	25	100	150

(1)乾基

(2) 99 年 5 月 18 日修訂公布

表 21.滲漏計各代表性土壤表土特性

代表性土壤	土系	質地	pH	BD(表土) g/cm ³	EC(1:5) μS/cm
砂頁岩沖積土	仁德系(嘉義溪口)	sandy loam	6.6	1.48	213
	將軍系(台南西港)	silty loam	6.9	1.50	477
	伸港系(彰化伸港)	fine sand	7.5	1.45	245
粘板岩沖積土	五魁寮系(屏東潮州)	loam	5.3	1.41	72
	二林系(彰化竹塘)	silty loam	7.0	1.45	397
台灣粘土	太康系(台南柳營)	silt clay loam	5.7	1.42	144
紅壤	平鎮系(桃園龍潭)	silt loam	5.3	1.42	144
	陳厝寮系(台中清水)	clay loam	5.2	1.51	81