

以槽車載運固液分離後養豬廢水再利用試驗計畫
(芳苑案)

期末報告

中華民國 99 年 12 月 16 日

以槽車載運固液分離後養豬廢水再利用試驗計畫(芳苑案)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。

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，以芳苑隆盛畜牧場沖水式豬舍固液分離後之廢水為再利用材料，在芳苑鄉隆盛畜牧場附近農地，進行未經處理養豬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、噴撒式或隨灌溉水溝灌施肥，其周界異味濃度均在法規標準之內；(2)環境衛生：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)肥效：施用等量肥料三要素之養豬廢水之秋作花生產量約為施用化肥之八成以上、青割玉米約八至九成、寶蜜玉米施用化肥與糞肥產量相當。(4)氮素與重金屬淋洗：試驗監測期間中並未發現地下水有遭受污染現象。(5)土壤重金屬累積：短期試驗並未見土壤重金屬累積現象；但以農地重金屬質量平衡計算，若每年施用 400 kg N/ha 養豬廢水(含氮量 0.1 %)，則約 50 年後即會達土壤監測基準。(6)處置成本估算：農田再利用成本雖高於三段式廢水處理之液體處理部分之成本，但若加上固體之堆肥處理成本，及原本農地施肥成本，農地廢水再利用較有效率且便宜。

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，提供養豬戶另一成本較低之廢棄物處置方式。然而依據作物營養所需計算，一公頃農地約僅能消納 50 頭豬之廢棄物，而大部分養殖戶本身並沒有足夠的農田來消耗其產生的廢棄物，加上台灣農戶的平均耕地面積平均只有 0.4 公頃，因此需要與相當數目的農戶協調或擬訂契約，未來若有代耕中心或廢棄物處理公司協助提供此服務系統，應是比較可行的方式。

關鍵詞：養豬廢水、農地再利用、臭味、衛生、重金屬、氮素淋洗

一、前言

利用農田消納禽畜糞肥等有機廢棄物，以利用再生資源，是減輕農牧業生產對環境負荷之對策之一，其施行的方式包括將有機廢棄物製成堆肥，或直接將未經處理之有機廢棄物施用於農田，兩者各有優缺點。前者在國內已執行多年，除了成本高之外，經過三段式廢水處理和固液分離後之液體部分，其排放水之氮素仍高達 300-800 mg/L，造成地面水的優養化，且排放水中鹽份過高，未能符合灌溉水質標準。而固體部分因堆肥化過程使得氮素損失，且堆肥中累積之高濃度重金屬，亦將導致土壤重金屬之累積。歐美許多國家多年來都是將豬糞尿直接施用於農田作為肥料使用。

本試驗之目的係以芳苑鄉隆盛畜牧場沖水式豬舍固液分離後之廢水為再利用材料，在芳苑鄉進行未經處理養豬廢水直接農地再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)土壤重金屬累積。(6)處置成本估算等方面。

二、材料與方法

本試驗係於芳苑鄉進行養豬廢水農地再利用可行性探討，養豬廢水為隆盛畜牧場沖水式豬舍固液分離後之廢水。沖水式豬舍共飼養約 6000 頭豬，每頭每日廢水量約 25 kg，每日廢水量為 150 Ton。前述廢水量擬留下 1000 頭豬隻所產之廢水量，以維持目前之三段式廢水處理運作。其餘 5000 頭豬隻所產之經過固液分離之廢水，每日約有 125 Ton，約可供地下水監測範圍(約 700 公頃)內之 2 公頃農地的施肥量；即在施肥需求下，每日田間最大施肥量可為 125 Ton 廢水。每公頃農地每年施氮量需 < 400 kg。99 年擴增計畫中新增加雍元畜牧場，為沖水式豬舍共飼養約 5000 頭豬，但因廢棄物處理與排放變更至 11 月底才完成，故

尚未以其材料進行試驗。試驗地區進行養豬廢水再利用，監測施用後之臭味、公共衛生、地下水污染與土壤重金屬累積等問題，並分析再利用成本。

(一) 再利用試驗流程

本試驗再利用之廢水採自沖水式豬舍固液分離後廢水。從隆盛畜牧場由槽車載運廢水至芳苑鄉試驗田(路線圖為

圖 1)，爾後以注入式(如圖 2)、噴灑式(如圖 3)和隨灌溉水溝灌方式(如圖 4)將廢水施用於田間再利用，並進行前述多項試驗，詳細試驗方法和條件如下：

1. 材料：隆盛畜牧場、雍元牧場(99 年新增)，沖水式豬舍固液分離後之廢水。
2. 試驗地：地下水監測範圍(約 700 公頃)芳苑鄉(漢寶村、新生村)、福興鄉(麥厝村、三和村)、二林鎮(西庄里、振興里)之農地。該試驗區範圍之土壤特性如圖 5 至圖 9 及表 1。依據水利署在試驗地附近之監測點地下水位監測，監測範圍地下水位約介於 5-7 m(福興鄉文昌國小、芳苑鄉崙腳村)，民井井深約在 20~30m。施肥面積約為地下水監測範圍內 100-200 公頃。
3. 試驗數量：依據隆盛畜牧場廢水含氮量約為 0.1 % (表 2)，及每年每公頃農地最大施用量 400 kg N/ha/yr 計算，每年每公頃可施用 400 Ton 廢水，即每公頃約可處理 45 頭豬隻所產之廢水。按目前欲再利用之 5000 頭豬隻總廢水量計算，可提供 111 公頃農地之施肥量。若有農地每年的總施肥量未超過 400 kg N/ha/yr，則必須要有大於 111 公頃的農地，才能將廢水完全再利用。
4. 再利用設施及設備：自荷蘭引進之注入式槽車：以曳引機拖 7 公噸糞尿槽，其後附掛注入器所組成，載運廢水與施肥皆用此部槽車。
5. 再利用試驗方法：將固液分離後之廢水施用於土壤的方式分為
 - (1)注入式且覆土：以荷蘭引進之注入式糞肥機注入廢水並覆土。
 - (2)廢水隨灌溉水溝灌：試驗區範圍農地都作畦栽培蔬菜，可於適當時期，將廢水隨灌溉水溝灌施肥。一分地施肥量少於一車(7 Ton)。地下水抽水管為 4 英吋時，抽水馬達為 3 馬力，溝灌時間約 6 分鐘，灌水量約 7 Ton。
 - (3)噴灑式施肥：以荷蘭引進之糞肥機施肥基，於噴灑口下方加裝液肥噴灑器，將養豬廢水均勻噴灑於田間。

(二) 廢水分析

分析牧場固液分離後廢水之水分含量、有機質、pH、電導度及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、Cr、Pd、Ni、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. 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，2004）。

(三) 土壤特性分析

選擇施用量較大之農地，採樣分析土壤特性，並於每期作採收後，分析土壤鹽分與重金屬，了解是否造成土壤鹽分與重金屬累積問題。

1. pH：以土:水=1:1 (W/V)，平衡半小時後，用玻璃電極法測定之(環檢所，2008)。
2. 電導度：加蒸餾水於土壤中使其呈飽和狀態，於浸泡 4 小時後，過濾抽取飽和液，以電導度計測電導度(Rhoades, 1982)。
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 (環檢所，2003)。

(四) 廢水氮素對作物之肥效試驗

1. 98 年度秋作花生肥料試驗。
 - (1)試驗田：面積 0.5 公頃。
 - (2)作物：花生。
 - (3)試驗處理：分無肥區、化肥區與糞肥區，化肥區與糞肥區各分三個氮肥等級，分別為 30、60、90 kg N/ha，糞肥區施用量以過去畜牧場氮素濃度進行估算，一期作施用量為 22.5、45 和 67.5 Ton/ha。磷、鉀量則依豬糞尿所含濃度與施用量，磷鉀不足部分以化學肥料補充。化肥採撒施方式；糞肥施用採噴灑式且立即犁田施肥方式。每處理四重複，試驗設計採逢機完全區集(RCBD)如圖 10。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。
2. 99 年度春玉米肥料試驗。
 - (1)試驗田：面積 0.4 公頃。
 - (2)作物：青割玉米、寶蜜玉米。
 - (3)試驗處理：分為無施肥、化肥及糞肥區，並施用基肥 80、160 和 240 kg -N/ha 每處理四重複。實際施肥量，待採樣分析後再計算實際施氮量；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之施氮素量有所

差異。

(五) 地下水質監測

地下水監測範圍(約 700 公頃)，施肥面積約為地下水監測範圍內 100-200 公頃。在監測範圍之上游選定 3 口農用地下水井及下游選用 4 口農用地下水井，每月採樣一次，以監測地下水之硝酸態氮、銨態氮、重金屬含量等，評估施用廢水對地下水質之影響。分析方法如下：

1. pH：玻璃電極法直接測定地下水（環檢所，2008）。
2. 電導度：以電導度計直接測定地下水（環檢所，2000）。
3. 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）。
4. 水中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 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)。
5. 水中重金屬分析：地下水消化過濾後，以 ICP 測定地下水中 Cu、Zn、Cr、Pb、Ni、Cd、As、Hg 濃度(環檢所，2004)。
6. 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。

(六) 養豬廢水之用於農田的方式與臭味逸散

委託國立中山大學環工所檢測。於施用時，以嗅覺感知周界下風處。下風 50M、下風 100M 處之臭味強度（分 6 級），記錄之(莊，1985)。如臭味強度超過 2 級（認知閾值），則以檢知管檢知氨濃度，並採氣體樣品，作官能測定(環檢所，2008)。，另以 GC-MS 分析氣樣中氨及 VOC 濃度。檢測時記錄施用量 (M^3/M^2)、風速、風向、日照、氣溫等資料。

1. 施肥方式：注入且覆土式、廢水隨灌溉水溝溉、噴灑式
2. 檢測項目：異味污染物、氨氣(Ammonia)、胺(Amines)、空氣中揮發性有機化合物(僅檢測異味濃度值最高之採樣地點)
3. 檢測方法
 - (1)異味污染物官能測定法—三點比較式嗅袋法(環檢所，2008)。
 - (2)空氣中氨氣之檢測方法—靛酚／分光光度計法(環檢所，1997)。
 - (3)空氣中揮發性有機化合物檢測方法—不銹鋼採樣筒／氣相層析質譜儀法(環檢所，2008)(利用採樣袋採樣，樣品送至檢測中心，再裝入不銹鋼採樣筒進行分析)
 - (4)檢知管(GASTEC，Japan)

(七) 人畜共通傳染病及寄生蟲擴散的公共衛生評估

此部分工作項目委託國立中興大學獸醫系進行檢測。芳苑鄉之花生田採取土壤樣本，包括養豬廢水及養豬廢水施用前作後之土壤樣本，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。

1. 儀器與材料

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。

培養基、試劑：

Tetrathionate broth

Iodine solution

MacConkey agar

Xylose lysine desoxycholate agar(XLD)

Tryptic soy agar(TSA)

Triple Sugar Iron Agar (TSIA)

Simmons' Citrate Agar (CIT)

Christensen's Urea Agar (URE)

Sulfide-Indole-Motility Medium (SIM)

Voges-Proskauer (VP) Semi-Solid Medium

Moeller's Ornithine Decarboxylase Medium (Orn)

Moeller's Arginine Dihydrolase Medium (Arg)

Moeller's Lysine Decarboxylase Medium (Lys)

Kovacs oxidase

Kovacs indole reagent

5% α -Naphthol

40%KOH

2. 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 106，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°C、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°C、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)。

(八) 施用成本估算

本計畫將由專人負責施肥操作,並詳細記錄每日施肥地號與面積、農友姓名與施肥量等,並確實監控所有農民之施灌行為。依據施肥紀錄,估算每個月之再利用數量,並依據氣候條件,估算全年的再利用潛量及採用此再利用方法時,廢水貯存槽容量等。另依據設備與維修費用、工資、油資等估算施用成本,作為未來採行此方法之參考。成本估算包含:1.廢水處理,為畜牧場產生之廢水處理成本分析,包含:硬體成本(土木與機械)、維護成本、維護成本與消耗成本-電費;估算每頭豬隻與每噸廢水分攤廢水處理建構與支出成本。2.固體處理成本分析,為廢水處理中,固液分離後產生之固體處理成本,估算處理每噸廢水之固體處理成本。3.再利用成本分析,污水儲存池成本、施肥車、機具維護成本、人事成本、消耗性成本(油資)、其他(地磅)。

三、結果與討論

(一) 養豬廢水特性

隆盛畜牧場固液分離後之養豬廢水之特性及肥分如表 2 及表 3。其 pH 範圍為 6.4-8.4，為中性至微鹼性的溶液性質，因此若施用於土壤，應不至於導致土壤酸化或鹼化。大量元素方面，氮磷濃度相對較高，且變異大；鉀則濃度相對較低，而變異小，故氮/鉀和磷/鉀比例高，尤其是氮/鉀，若農地施用沖水式豬舍固液分離後之養豬廢水，鉀可能不足，需額外添加其他鉀肥以補其不足。雖氮和磷平均濃度分別為 0.16 和 0.09 %，但由養豬廢水氮、磷和鉀濃度變化圖(圖 11)，發現氮和磷濃度隨著季節有明顯的變化，可以看出冬季之氮和磷濃度高，氮濃度可高達約 0.45 %，冬季平均值約為 0.3 %，其他季節平均值約為 0.1 %；磷最高濃度約為 0.46 %，冬季平均值約為 0.3 %，其他季節約為 0.04 %；鉀則沒有隨著季節而有明顯的變化，濃度平均大約為 0.03 %。冬季因沖水式豬舍使用較少水分，含水量較低，因此冬季之氮/鉀和磷/鉀可高達 10 倍之多。另外，99 年新增之雍元牧場，亦為沖水式畜舍，其氮、磷和鉀平均濃度為 0.17%、0.06%和 0.05%(表 4)，金屬含量亦以 Cu、Zn 含量較高(表 5)。

將養豬廢水中所含三要素含量與化學肥料進行比較(表 6)，若每公頃施用 7 ton/ha，其 N-P₂O₅-K₂O 施用量約為 7.0-6.3-2.8 kg/ha，氮素含量在養豬廢水與化學肥料每公頃施用 1 包（40 kg）複合肥料相當，尤其和台肥 43 之氮和磷最為接近。然冬季因水分含量少，養分濃度高，所以達到相同的肥料量，冬季只要施用 2.3 ton/ha，其施用 N-P₂O₅-K₂O 為 6.9-9.2-2.8 kg/ha。由於 K₂O 含量相對較低，需額外添加其他鉀肥以補其不足。隆盛牧場養豬廢水之重金屬含量及變化如表 2 及圖 12。而雍元牧場，其氮、磷和鉀之平均濃度在每車 7 噸施用量下，相當於 N-P₂O₅-K₂O：11.9-9.7-2.9。

兩場養豬廢水中，銅和鋅濃度較高，鉻、鎘、鉛、砷、鎳等較低，有些甚至低於偵測極限，推估這養豬廢水的施用應不會造成土壤或地下水的重金屬污染。唯需特別注意銅和鋅在土壤及地下水中的累積。

(二) 廢水氮素對作物之肥效試驗

在花生肥料試驗中，因養豬廢水氮素濃度與估算值不同，導致氮素施用量與化肥有差異。由於花生為豆科作物故對氮肥需求低，由試驗結果顯示，雖然化肥施用 60 kg N/ha 為最高產量，但施用 30 kg N/ha 即可達到相近產量，無論再曾施多少化肥或養豬廢水並無增產效果，過多氮素施用量反而減產(表 4 及圖 13)。以關係式估算氮素施用與產量關係。養豬廢水在低投入氮量時，其產量可達化學肥量的 97 % (表 7)，隨著氮投入量的增加，其糞/化肥產量比隨之降低，約只有八成(表 8)。

而在青割玉米的肥效試驗中，使用糞肥之玉米，其產量約使用化肥之 8 至 9 成，但使用化肥之青割玉米產量，在施肥量約 150kg-N/ha 產量達到最高(圖 13)，之後產量開始下降，並與使用糞肥之產量差異下降，甚至低於使用糞肥之產量。寶蜜玉米部分，施用糞肥之產量與施用化肥之產量相當，兩者無明顯差異。

(三) 養豬廢水施用於農田的方式與臭味逸散

不同養豬廢水施用方法於施用時，其臭味強度皆超過 2 級(認知閾值，表 9)，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、氨氣與胺測定結果如表 10 至表 12。有關農業區固定污染源空氣污染物排放標準，其異味污染物和氨氣周界標準分別為 50 (工業區及農業區標準；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。)和 1 ppm。

1. 注入且覆土式：施用養豬廢水隨車採樣之異味污染物濃度值 23 – 67，施用完畢後，於下風處採樣，異味污染物濃度值 ≤ 15 。
2. 廢水隨灌溉水溝灌：施用完畢後，於下風處採樣，異味污染物濃度值 ≤ 17 。
8/18 日青蔥田下風處之異味污染物濃度值為 300，疑為採樣位置與溝灌水(灌溉水及固液分離廢水)相距約 1–2 公尺，極有可能採樣抽引氣體時，一同收集溝灌水周圍之氣體，使得異味濃度偏高。
3. 噴灑式：於噴灑口下方加裝液肥噴灑器，施用當時，隨車採樣之異味污染物濃度值最高至 194，但噴灑完畢後，下風處之異味污染物濃度值 ≤ 38 。
4. 養豬廢水施用後，在三種施用方式下，其於表土上面 5 公分處檢測氨氣，氨氣濃度最大值為 1.5 ppm，若於下風處採樣，採樣點離地約 1 公尺，氨氣濃度均小於 1 ppm，符合固定污染源周界氨氣濃度標準。而周界胺濃度以隨灌溉水溝灌之施用方式為最高(1 ppm)。
5. 本試驗採集防風林間農地噴灑式施肥之樣本，應是異味污染物濃度較高之樣本，其隨車採樣空氣中揮發性有機物物種及濃度分析結果如表 13。其中甲苯、二甲苯和二硫化碳已有周界標準，但檢測結果均低於周界標準(甲苯為 2 ppm、二甲苯 2 ppm 和二硫化碳 0.4 ppm)。

農田之施肥方式若選用噴灑式，因風向及風速隨季節變化，故建議農田四周 100 m 處無住宅。注入且覆土式、廢水隨灌溉水灌溉及噴灑式，施用後於下風處所產生之異味濃度值均符合周界標準值；因此三種施肥方式皆可推廣使用。

(四) 人畜共通傳染病及寄生蟲擴散的公共衛生評估

芳苑鄉花生田施用養豬廢水及施用前後土壤生菌數的變化如

圖 14。養豬廢水中的生菌數高達 2.02×10^7 ，而施用前土壤生菌數為 6.39×10^5 ，在養豬廢水中檢測出 E.coli，而土壤中無檢測到 E.coli、Salmonella spp.、

Campylobacter spp.、隱孢子蟲、蛔蟲及鞭蟲。而施用後第 14 天與第 28 天其生菌數分別為 5.31×10^5 和 6.75×10^5 ，與施用前土壤中生菌數含量差異小且亦無檢測出 E.coli、Salmonella spp.、Campylobacter spp.、隱孢子蟲、蛔蟲及鞭蟲。在高麗菜田和青蔥田(圖 15、圖 16)亦有相同趨勢的結果，顯示施用養豬廢水對土壤所含人、畜共通病原菌相無太大影響。由試驗結果顯示，在收穫前一個月內不再施用，應不會致導致病原菌傳播。

(五) 試驗區附近之地下水質監測

水利署和環保署在芳苑鄉試驗田區附近之地下水監測井如圖 17。監測井之地下水銨態氮測定結果如圖 18，下游監測井新寶國小和福寶農場較高，監測值範圍幾乎都高於第二類灌溉水質監測基準(0.25 mg/L)。表示尚未施用養豬廢水時，試驗區之地下水已超過地下水監測基準，顯示芳苑鄉之地下水質銨態氮背景值偏高，且地下水下游區因中游或上游的人類活動導致銨態氮濃度較高。而硝酸態氮則遠低於地下水監測基準(25 mg/L) (圖 19)。銅和鋅的地下水監測基準分別為 5 和 25 mg/L，而環保署與水利署各監測井之監測結果皆遠低於監測基準(圖 20 和圖 21)，亦是下游監測井新寶國小與福寶農場值較高。

由於前述監測井離試驗區較遠，因此在鄰近試驗區之上下游，分別選定 3 處和 4 處民井進行監測，監測井位置如

圖 1，上游三口井，分別為井 11、12 和 13，下游四口井，分別為井 14、15、16 和 17。為了解試驗區監測井背景值乃在 2007 年開始養豬廢水試驗前即開始採樣分析。銨態氮監測結果如圖 22，上游監測井 11 和 12 之監測值常超過地下水監測基準，而其餘監測井測值皆低於 3 mg/L，甚至低於監測基準，表示在監測期間施用養豬廢水對地下水質銨態氮並無顯著的影響。雖監測井 11 和 12 超出監測基準，甚至高於過去環保署和水利署監測最高值(3 mg/L)，但因兩監測井位於試驗區上游部分，上游部分並未施用養豬廢水，因此污染來源並非為施用養豬廢水所致。硝酸態氮之監測結果如圖 23，下游之硝酸態氮雖較上游略高，但仍符合地下水監測基準，且與施用量無明顯相關，推測施用養豬廢水對地下水的影響在施用四年間，不至於導致地下水硝酸態氮的污染。

現行飼料均有額外添加銅和鋅的情況，因此養豬廢水中常含有高量的銅和鋅，監測試驗區之地下水中銅和鋅濃度如圖 24 和圖 25，監測值皆遠低於監測基準值，且以其中上游監測井 11 之銅和鋅含量較高，此外，在 11 井中 2006 年至 2008 間，數種金屬間皆有相似之消長情形，但 11 號井位於上游地區，顯示並非因為養豬廢水的施用造成地下水污染。並且根據環保署與水利署過去幾年地下水監測資料(圖 20、圖 21)，銅、鋅監測值大多較目前試驗監測結果高，顯示養豬廢水直接施用於農田，並未造成地下水銅、鋅污染。

地下水中其他重金屬如鎘、鉻、鎳、鉛和砷監測結果如圖 26-圖 30，除了上游監測井 11 的鎘測值曾超過地下水監測基準，其餘皆低於地下水監測基準，且各監測項目皆以上游監測井 11 之監測值最高，而汞監測結果均低於偵測極限，顯示養豬廢水直接施用於農田，並未造成地下水質重金屬的污染。總有機碳監測結果為圖 31，每季 TOC 測值大多皆低於 5 mg/l(第二類地下水污染監測基準為 10 mg/l)，下游部分之 TOC 測值並未較上游井測值高。

每公頃施用 7 噸的養豬廢水，灌水深度約為 0.7 cm，芳苑鄉試驗田之表土質地包含砂質壤土、極細砂土、粉質壤土、壤土及砂質黏壤土，為根據謝昭賢「正確的豬糞尿廢水灌溉法」報告，以植物根系深度為 60 cm 計算，植物有效水分為 4.0 cm-9.0 cm，而最高灌溉量水量為 3.5-4.0 cm，因此以芳苑鄉試驗每公頃最多施用 0.7 cm 的養豬廢水，應不至於使廢水過量而流入地下水，造成地下水質污染。但若以隨水灌溉方式施肥，則因施於溝間，且同時施以灌溉水，因此每次施用不宜超過 7 Mg/ha。

(六) 土壤鹽分與重金屬累積

芳苑鄉農民施清明與施水利農地施用多次養豬廢水後，表土之電導度與有機質變化如圖 32 和圖 33，施用養豬廢水之表土的電導度皆低於或相當於施用化學肥料之表土電導度值，顯示施用養豬廢水一年半的時間，並沒有造成明顯的土壤鹽分累積。

前述農地土壤重金屬之濃度變化如圖 34 和圖 35，亦顯示農地施用養豬廢水一年半的時間，並沒有造成明顯的土壤重金屬累積。除了農民施清明之田地，在其他農地亦發現有相同的結果。

現行飼料均有額外添加銅、鋅，因此養豬廢水中之銅、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。以隆盛養豬場為例(C)，養豬廢水氮濃度約為 0.15 %，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 267 Ton/ha/yr，而養豬廢水的銅鋅濃度分別為 11 和 31 mg/L，即表示每年施用重金屬量為 2.9 和 8.3 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 M/ha，則每年銅鋅增加量 1.5 和 3.9 mg/ka，而土壤監測基準為 120 和 260 mg/kg 扣除彰化芳苑地區土壤銅鋅背景含量約為 20 和 100 mg/kg，則計算土壤可使用年限為 69(銅)和 41 (鋅)。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 41-170 年(表 14)，現行銅、鋅規範下之禽畜糞堆肥，亦將在使用 101 與 33 年後達土壤監測基準(表 14)，需再減少飼料中銅、鋅之添加，或減少施用量，如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 255-926 年，現行銅、鋅規範下之禽畜糞堆肥，亦將在使用 532 與 200 年後達土壤監測基準。

就農產品安全而言，銅、鋅並非是環境中危險的重金屬，因作物可食部分達危害人體之濃度時，作物已遭受毒害，且人體每日需攝取微量的銅和鋅，用來幫助鐵質吸收、血紅素生成生長、參與發育有關的酵素反應等功能，如成人每日銅鋅需要量分別為 2-2.5 和 12-15 mg/day(張，2003)。

(七) 成本分析

隆盛牧場，以飼養 6000 頭豬隻，年產量約 12000 頭計算，每頭豬隻每天約 25 L，平均每頭豬隻生長期中產生 4.5 噸廢水，每年約 150 噸廢水；牧場所提供之資料中，其硬體設備成本約 1150 萬元，當中包含土木設備約 840 萬元，機械設備約 310 萬元，各土木及機械配置如：表 15 所示。另外，人事成本每月約 15750 元；機件維護費以機械成本之一半負擔，每月 17417 元；電費針對各耗電機件估算每月約 21420 元。換算每頭豬隻負擔廢水處理成本約 116.1 元，每噸廢水 26.0 元。詳細估算如：表 15 和表 16。依據呂(1997)調查，5000~9999 頭畜牧場之廢水處理成本約 99.2 元/頭，以沖水式豬舍，每頭隻生長期約產生 4.5 噸廢水，相當於 22.0 元/噸-廢水。三段式水處理中，進行固液分離後，固體進行堆肥處理，製作為有機肥料；畜牧場中固體處理之搬運、堆置與運出成本，每月分攤 18299 元，每頭隻分攤成本：18.3 元，每噸廢水分攤 4.1 元；將堆置之分離後固體再製作為堆肥，在固體製成堆肥成本部分：

1. 固液分離後，固體分離後固體約佔原來廢水的 1%。
 2. 製作堆肥時，豬糞與木屑（調整材）之體積比約為 4：1，而木屑之密度約為 0.4 g/cm³，故換算為重量比約為 10：1。
 3. 堆肥化過程大約損失 50% 的重量。
 4. 堆肥製造成本為 3.79 元/kg（林，2001）。
- 依上述所列，則處理 1Kg 之畜牧廢棄物所需之費用為 8.3 元/kg（=3.79 元/kg ÷ 0.5 ÷ (10/11)），而 1 公噸廢水之固液分離後之固體約為 10 kg，故其處理成本為 8.3 元/kg × 10 kg = 83 元。合計養豬廢水處理需 113.0 元/噸。

彰化芳苑再利用試驗之成本計算，分別針對污水儲存池、施肥車、維護、人事和消耗性成本(油資)等進行估算：

1. 污水儲存池成本：若未來將所有產生廢水以農地再利用，則 6000 頭養豬戶，每頭豬每天約產生 25 公升廢水，每次儲存 60 天產生廢水量，需約可儲存 9000 噸儲存槽，建造成本約 8000 元/m² (深度 4m)，儲存槽成本約 1800 萬，可使用 20 年，每年分攤 90 萬，成本約 16.4 元/噸-廢水。(土地成本不計)
2. 施肥車成本：芳苑在利用試驗中以曳引機拖污泥桶之糞肥機，可載運 7 公

噸養豬廢水，備費用約為 300 萬，施肥車可使用 10 年，每台平均 1 天 21 車次(畜牧場範圍 3 公里內)，每噸廢水分攤成本約 5.5 元/噸。

3. 維護成本：施肥機維護費約成本費用之一半，150 萬，折舊 10 年，每年 15 萬，一年施用 5.5 萬噸廢水，每噸廢水分攤成本約 2.7 元。

4. 人事成本：每日 3000 元，在施用車次略高下，以增加作業時間，提高每日人事支出。一天施用 150 噸廢水下，每噸廢水分攤成本約 26.7 元。

5. 消耗性成本(油資)：依據實際試驗期間，以曳引機載運及施用廢水，平均每車需 100 元油資，即約每噸 14 元。

6. 其他：地磅量測每車 7 噸 50 元，約 7.1 元/噸。

污水儲存池成本約 16.4 元/噸，施肥車 5.5 元/噸，維護成本約 2.7 元/噸-廢水，人事成本 20 元/噸，消耗性成本(油資)14 元/噸。再利用總計成本 65.8/噸-廢水。

對於未來在利用案進行時需進行監測，監測項目與成本：每個地下水監測成本約 7200 元/年(監測項目：pH、EC、 NO_3^- 、 NH_4^+ 和 P，每六個月檢測一次)，土壤監測成本約 2800 元/年(pH、EC、P、Cu 和 Zn 每二年進行一次檢測)，監測井以民井取代不計入成本，以 5 個監測點下，每年約需分攤 54000 元，每年約施用 5.5 萬噸廢水下，每噸成本約 1 元。

施用一噸廢水成本：65.8 元，肥分 N： P_2O_5 ： K_2O = 為 1.6：2.1：0.5 kg。傳統施肥成本，依據 98 年農業統計資料，過磷酸鈣、氯化鉀和台肥 5 號，每公斤費用：4.63、11.37 和 8.14 元，此外，每袋施肥人工費用約 50 元，即每公斤成本多 1.25 元，即成本約 5.88、12.62 和 9.39。等效氮量台肥五號需 93.9 元，施用量 N： P_2O_5 ： K_2O 為 1.6：0.8：1.2 kg。在皆追補至最高用量下(N： P_2O_5 ： K_2O = 1.6：2.1：1.2 kg)，再利用成本為 80.5 元/噸(追補 0.7 kg- K_2O ，1.2 kg 氯化鉀)，加上未來再利用之監測成本約 81.5 元/噸。各項統計成本如：表 17 所示，估算結果顯示，再利用成本雖高於三段式廢水處理之液體處理部分，但若加上固體之堆肥處理成本，及原本農地施肥成本，農地廢水再利用較有效率且便宜。

由於田間施肥有特定時間，故本研究預設牧場有一儲存槽，可儲存 60 天廢水量儲存槽。估算上，以 6000 頭沖水式豬舍養豬場，儲存約 60 天用量，約 9 千噸存量，除原本土木成本外，土地成本所佔之成本不易估計，未計入，但若需長期儲存，儲存池需要面積之大，為潛在之成本。但可考慮儲存池之其他利用：如沼氣收集等，增加利用性抵銷成本支出。使用引進之大型施肥機，載運 7 噸以上進行再利用，硬體、維護及消耗成本較高，但可減少施用車次，使人事成本降低，不過尚須考慮農地地形、道路、平整等問題；若使用台製以農機車改裝之施肥機，雖相對載運量低，使用車次增加，人事成本可能增加，但機動性高，可適用於土地面積小區域，硬體、維護成本較低及消耗成本亦較低。消耗性成本，本次試驗計算主要為油資部分，為以槽車載運廢水至農田進行再利用之必要支出，

施用距離離畜牧場越遠，其支出越高、施用次數越少，成本增加，因此合作之農地建議於畜牧場距離 3 公里內(實際試驗最遠至 5 公里)。廢水再利用為符合環保相關法規規定，每次載運需過磅，以記錄廢水處理流向、數量，在持續使用固定車輛施肥、且滿載運出並透過 GPS 記錄路徑下，未來再利用可考慮，僅過磅確認施肥車負載量，即可降低每噸廢水再利用成本。

若可取用未經處理之養豬廢水，廢水再利用之成本則可較三段式廢水處理和傳統施肥成本低，亦比製成堆肥再利用更有效率且便宜；或採用高床式豬舍廢水，由於其肥分較高，可降低施用成本。

四、結論

根據試驗結果，在病原菌不致傳播且施用時臭味逸散仍在環境標準內的情況下，無論就資源的再利用率，地面水體污染的防範等方面，直接施用未經處理的豬糞尿都較三段式廢水處理及製成堆肥再利用，或傳統施肥成本更有效率且便宜。在現行飼料均有超量添加重金屬的情況下，無論那一種再利用方式均會造成土壤重金屬的累積，若豬隻廢棄物都以農地再利用為最終處置方式，則畜牧業仍需降低飼料重金屬之添加，或以其他替代品取代飼料中的重金屬，又或減少每年施用量，以延長農地使用年限。由以上結果顯示，若能降低飼料中重金屬含量，避免重金屬在土壤中累積，預期畜牧廢水直接農田利用方式，可在現行三段式廢水處理之外，提供養豬戶另一成本較低之廢棄物處置方式。

五、檢討與建議

- (一)試驗每公頃最多施用 0.7 cm 的養豬廢水，應不至於使廢水過量而流入地下水，造成地下水質污染。但若以隨水灌溉方式施肥，則因施於溝間，且同時施以灌溉水，因此每次施用不宜超過 7 Mg/ha。
- (二)若可取用未經處理之養豬廢水，廢水再利用之成本則可較三段式廢水處理和傳統施肥成本低，亦比製成堆肥再利用更有效率且便宜；或採用高床式豬舍廢水，由於其肥分較高，可降低施用成本。
- (三)由成本分析，地磅費用佔有相當比例，若農地附近無地磅站時，需載運到遠處，不僅增加成本且耗時，又影響每日可處理量。在持續使用固定車輛施肥、且滿載運出並透過 GPS 記錄路徑下，未來再利用可考慮，僅過磅確認施肥車負載量，即可降低每噸廢水再利用成本。
- (四)依據作物營養所需計算，一公頃農地約僅能消納 50 頭豬之廢棄物，而大部分養殖戶本身並無足夠的農田來消耗產生的廢棄物，加上台灣農戶平均耕地面積平均只有 0.4 公頃，因此需要與相當數目的農戶協調或擬訂契約，未來若有代耕中心或廢棄物處理公司協助提供此服務系統，應是比較可行的方式。

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。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。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。空氣中揮發性有機化合物檢測方法—不銹鋼採樣筒／氣相層析質譜儀法。2008 年 9 月 18 日公告。(NIEA A715.13B)
- 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)。
- 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。廢棄物之氫離子濃度指數 (pH 值) 測定方法—電極法。公告號 0970071940，2008 年 9 月 18 日公告。(NIEA R208.04C)
- 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。
- 呂秀英。1997。台灣養豬農家污染防治成本之探討。台灣農業 33(2)：2-15。
- 林嘉政。2001。禽畜糞堆肥處理經驗談。豬糞尿低污染管理及再利用技術研討會論文集。pp.23-29。民國九十年二月十五-十六日。明志技術學院。
- 農委會。2009。農業統計，三、農產與資材價格，肥料價格。

- 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.
- 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.
- 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.
- 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.

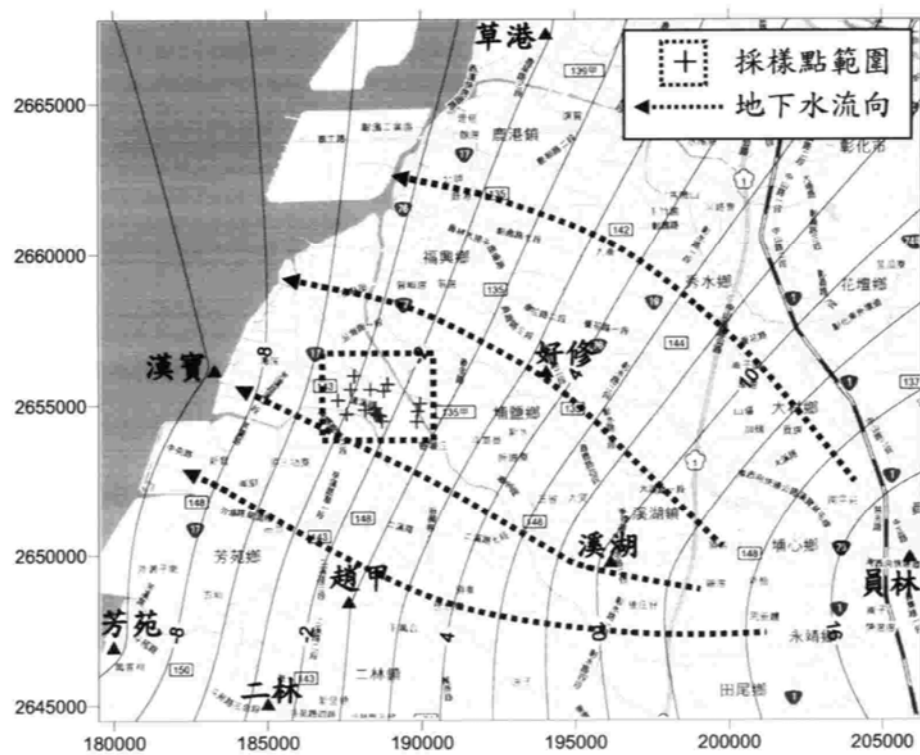
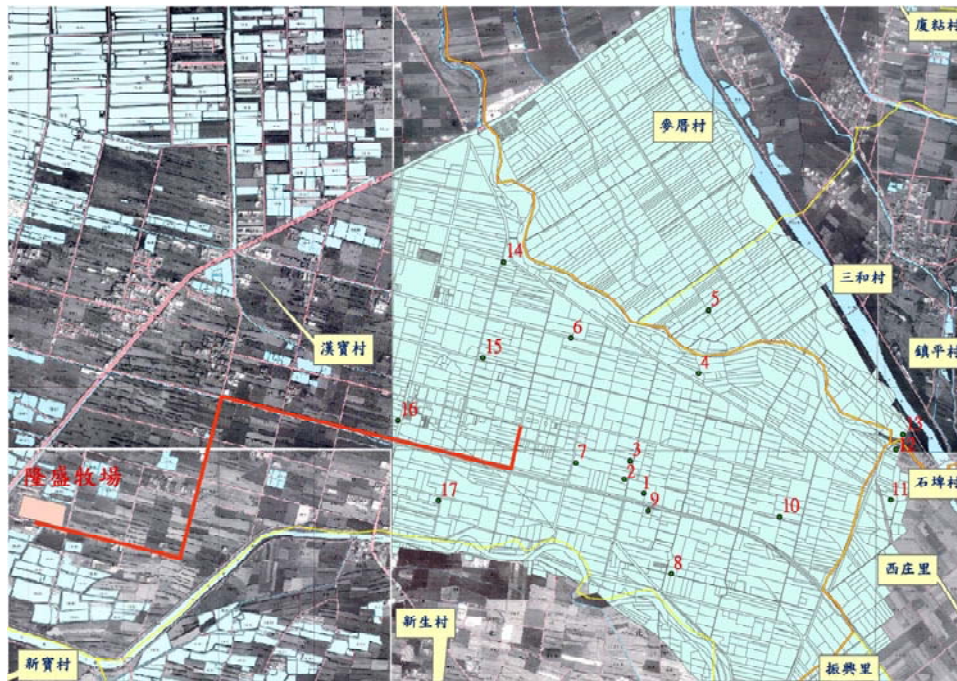


圖 1.芳苑鄉試驗農地範圍與地下水監測點與地下水流流向



圖 2.以注入式施用養豬廢水



圖 3.以噴灑方式施用養豬廢水



圖 4.隨灌溉水溝灌方式施用養豬廢水

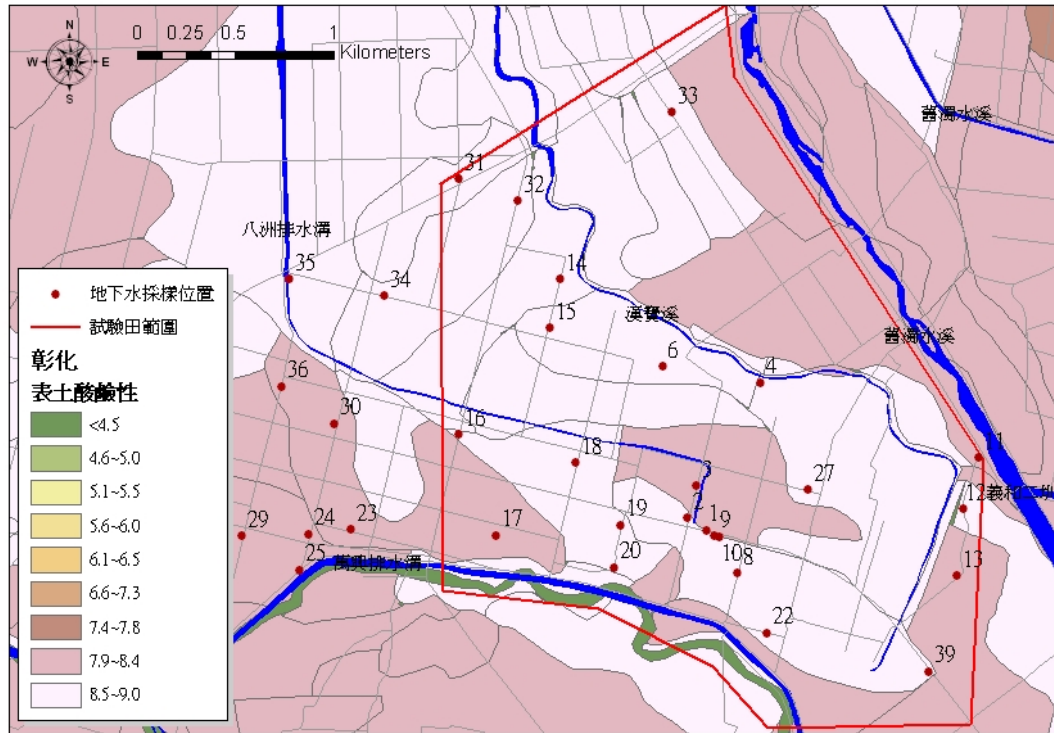


圖 5.芳苑鄉試驗田表土 pH 值

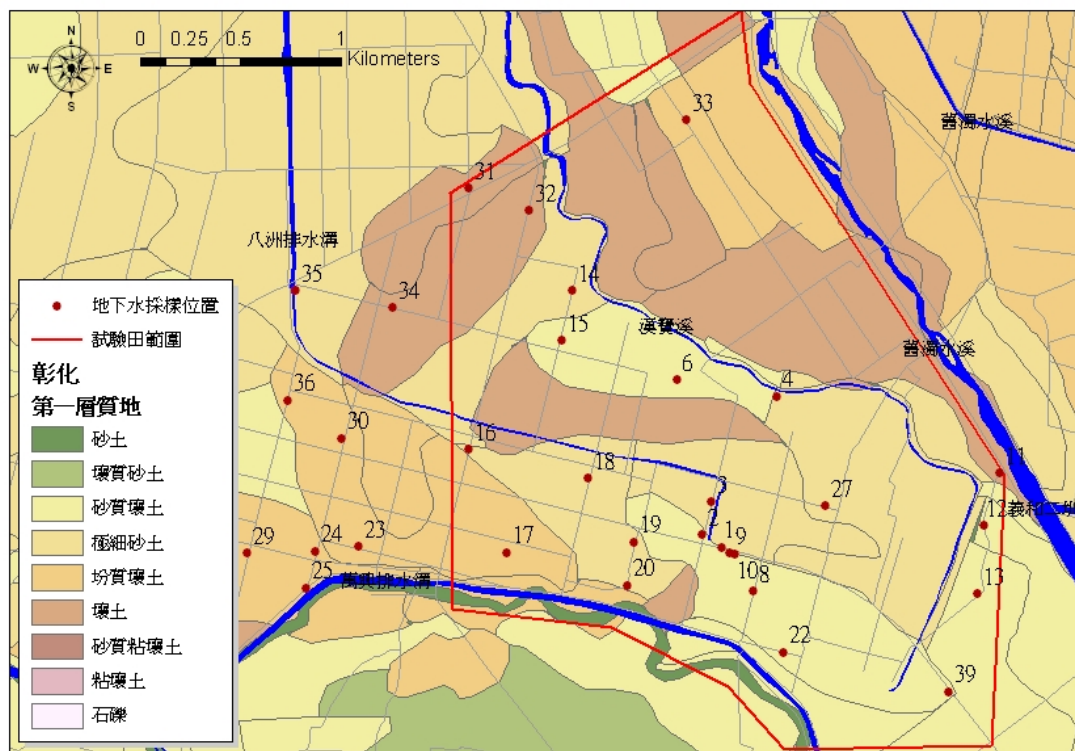


圖 6.芳苑鄉試驗田第一層(0-30 cm)土壤質地

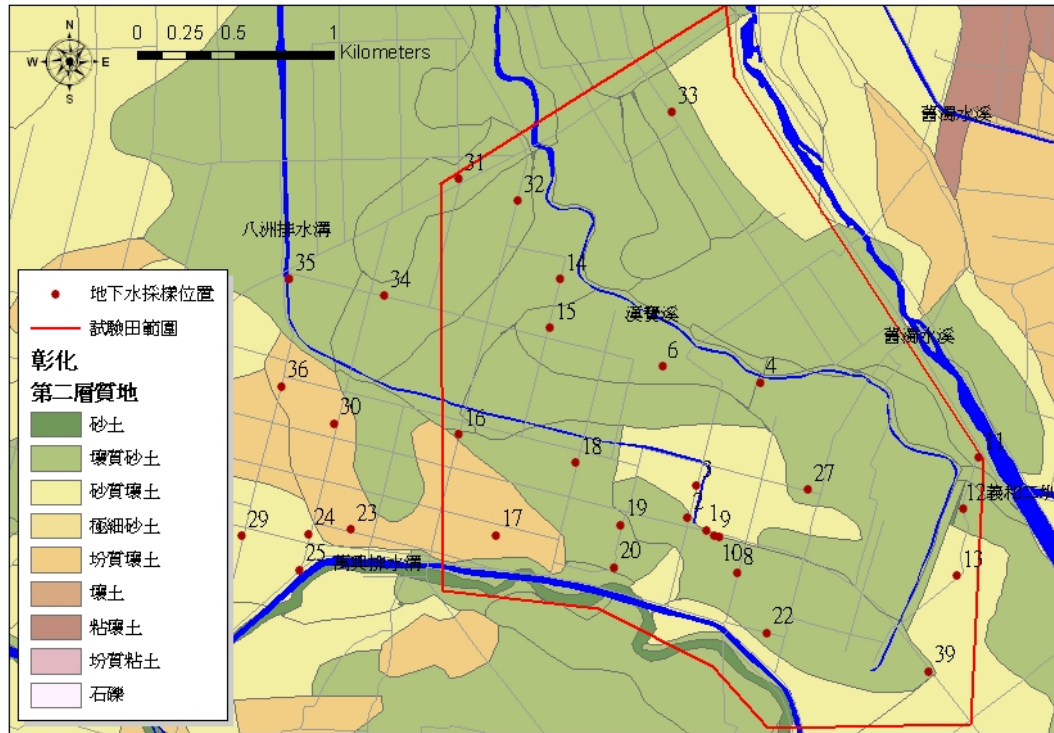


圖 7.芳苑鄉試驗田第二層(30-60 cm)土壤質地

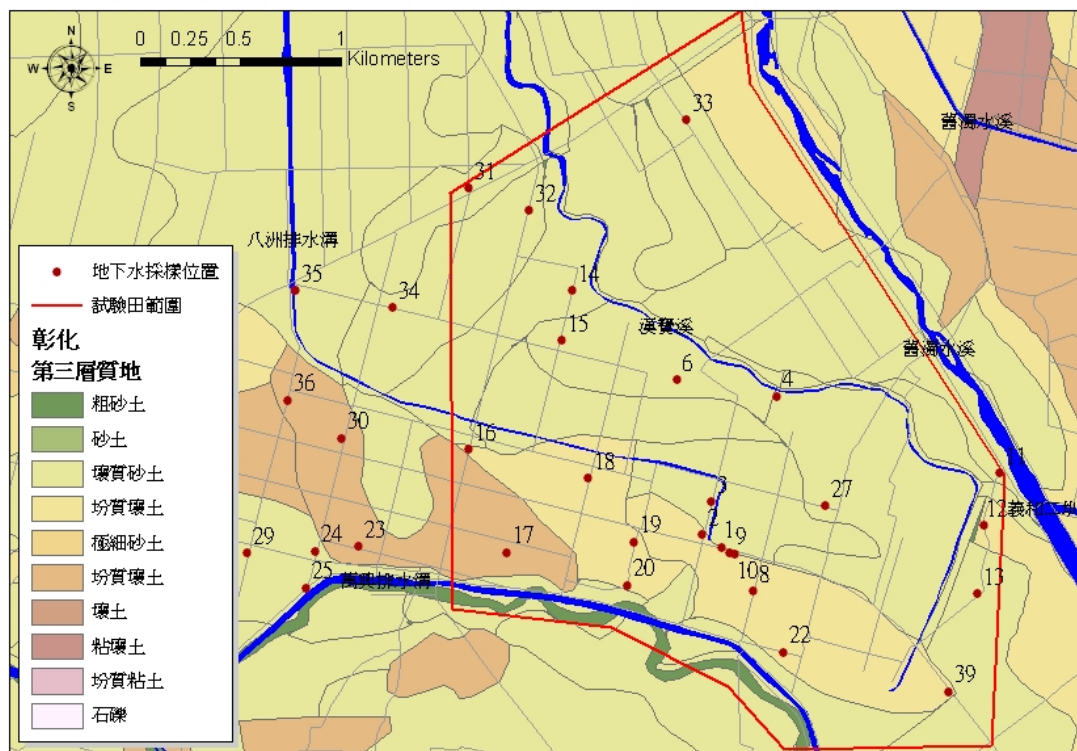


圖 8.芳苑鄉試驗田第三層(60-90 cm)土壤質地

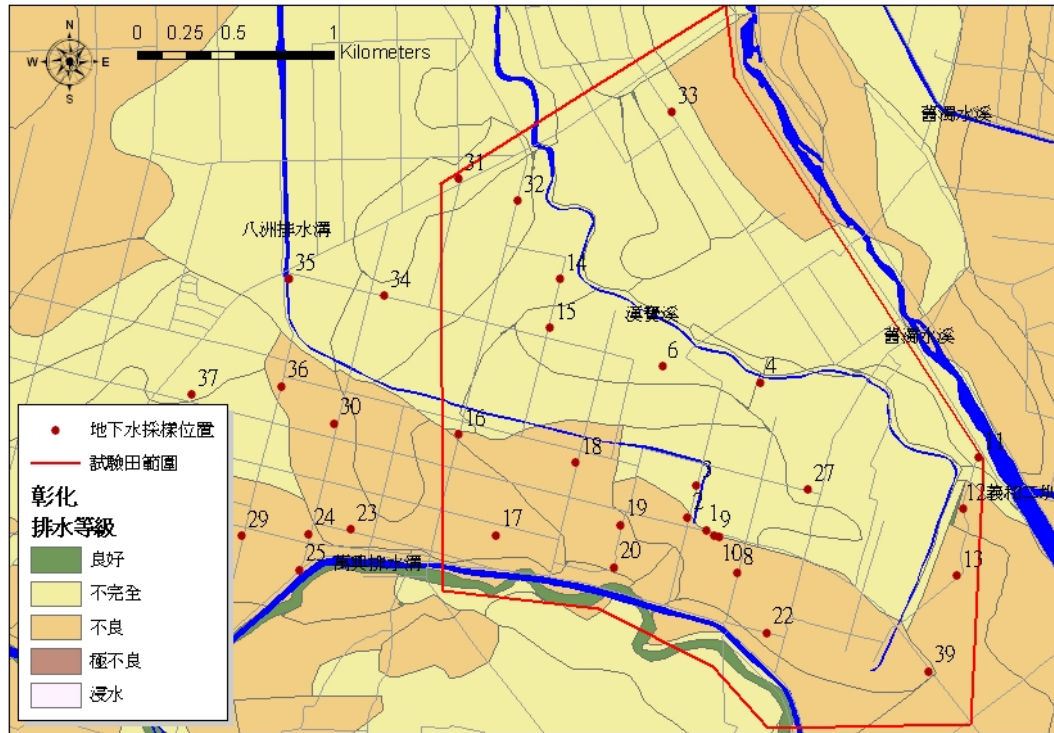


圖 9.芳苑鄉試驗田排水等級

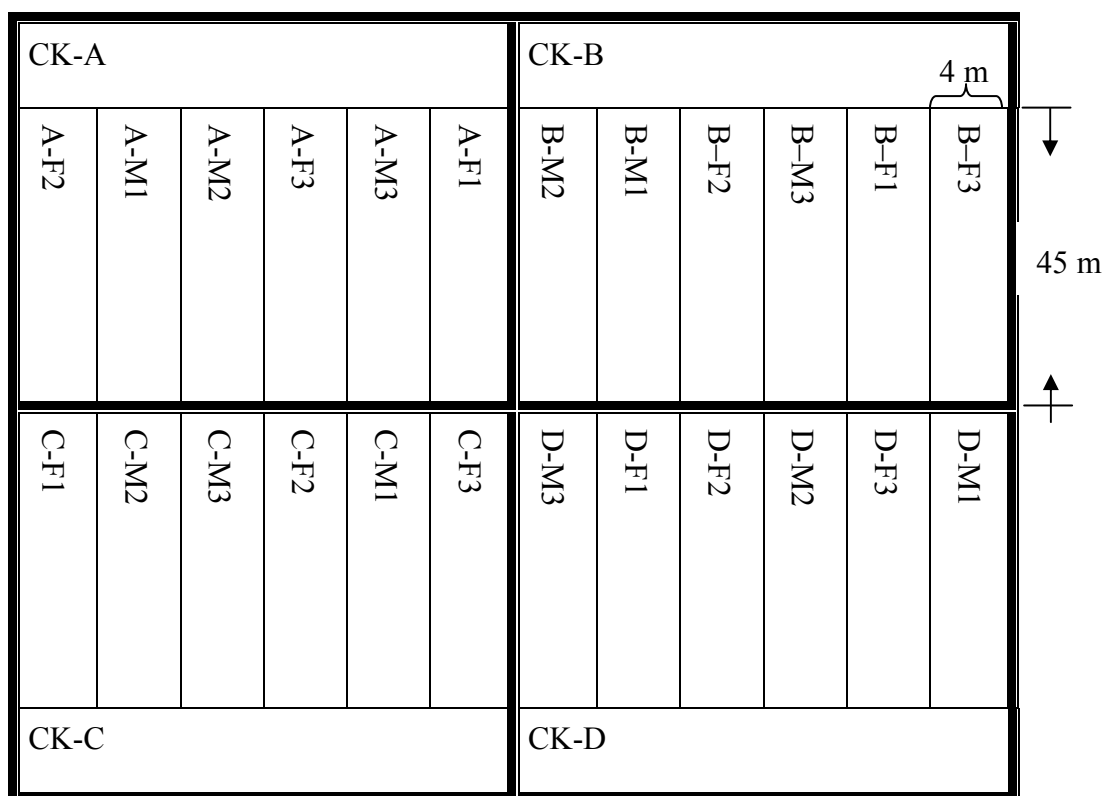


圖 10.花生田試驗田區設計圖

基肥施用量：

F1：30 kg N/ha，F2：60 kg N/ha，F3：90 kg N/ha

M1：18 kg N/ha，M2：36 kg N/ha，M3：54 kg N/ha

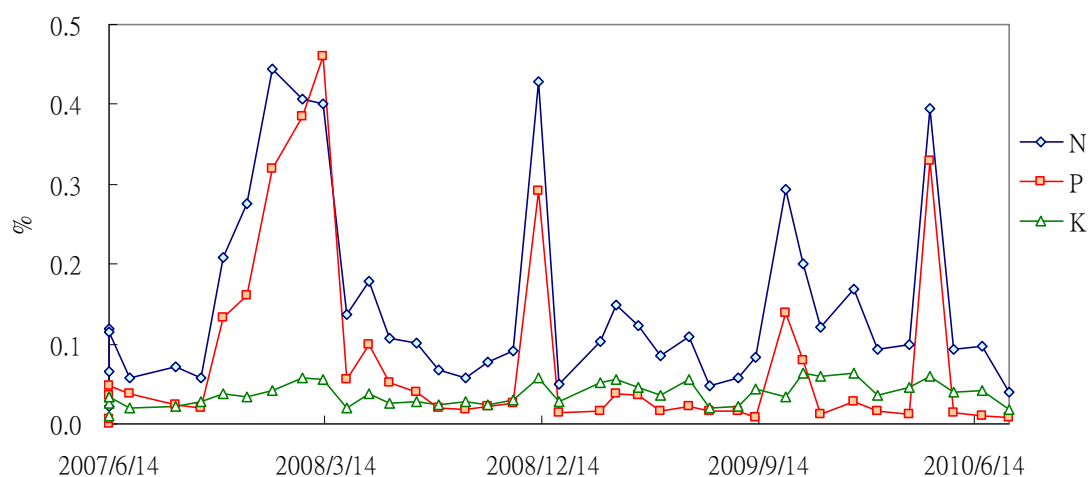


圖 11.隆盛牧場養豬廢水之氮磷鉀變化量

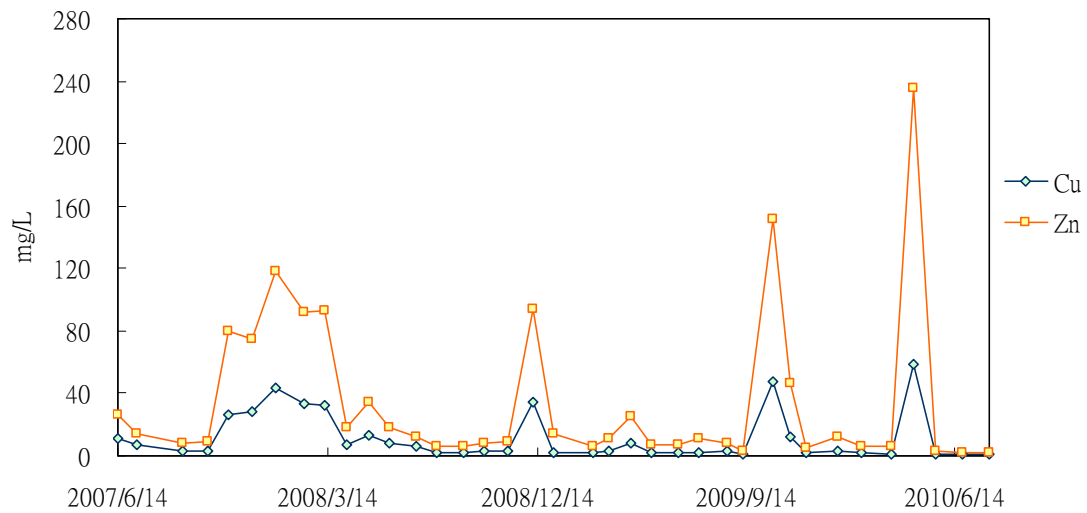


圖 12. 隆盛牧場養豬廢水之銅鋅變化量

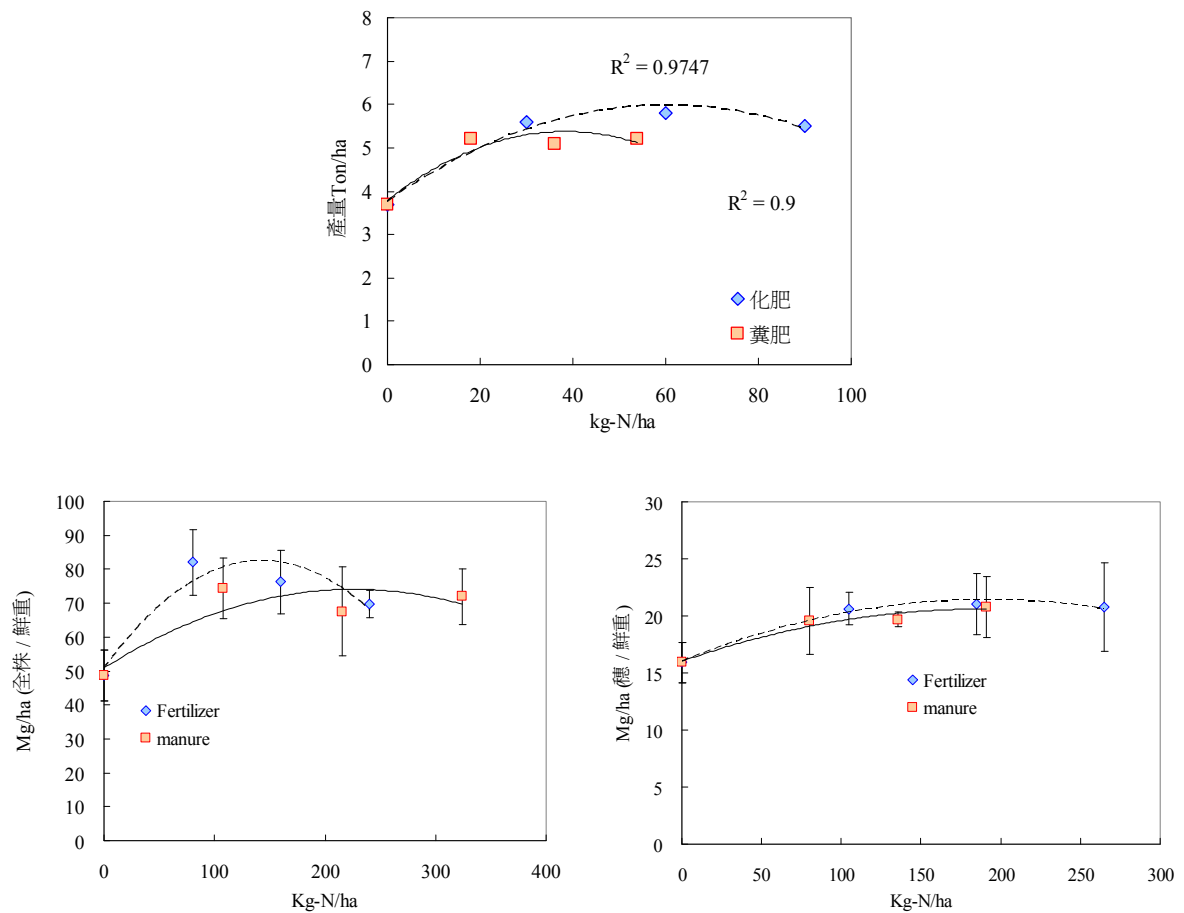


圖 13. 氮肥施用產量之關係式(上:花生，左下：青割玉米；右下：寶蜜玉米)

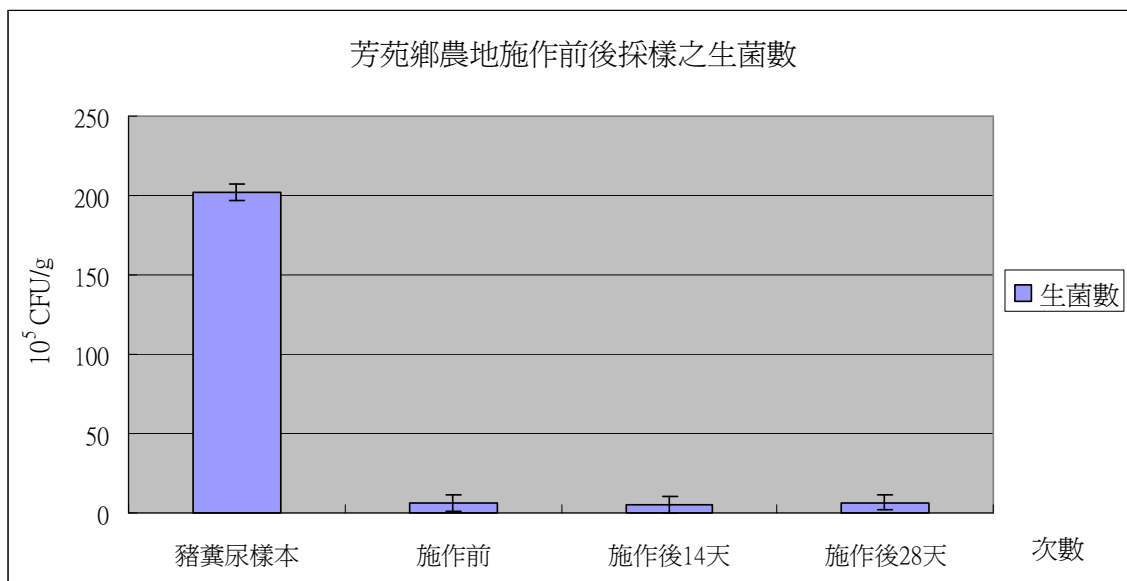


圖 14.芳苑鄉花生田養豬廢水施用前後採樣之生菌數

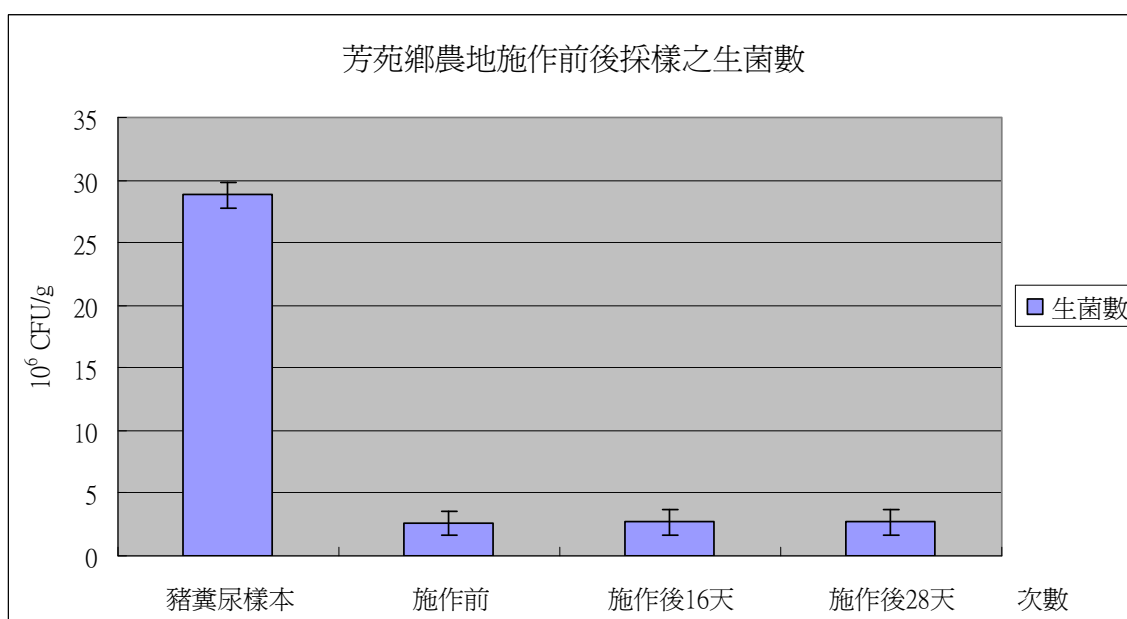


圖 15.芳苑鄉高麗菜田養豬廢水施用前後採樣之生菌數

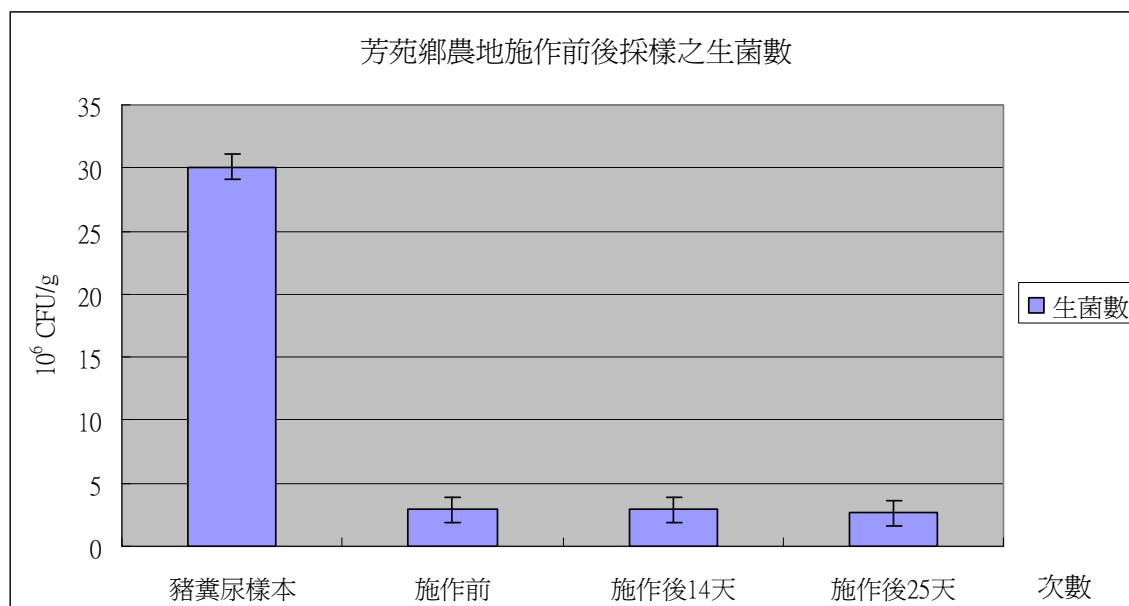


圖 16.芳苑鄉青蔥田養豬廢水施用前後採樣之生菌數

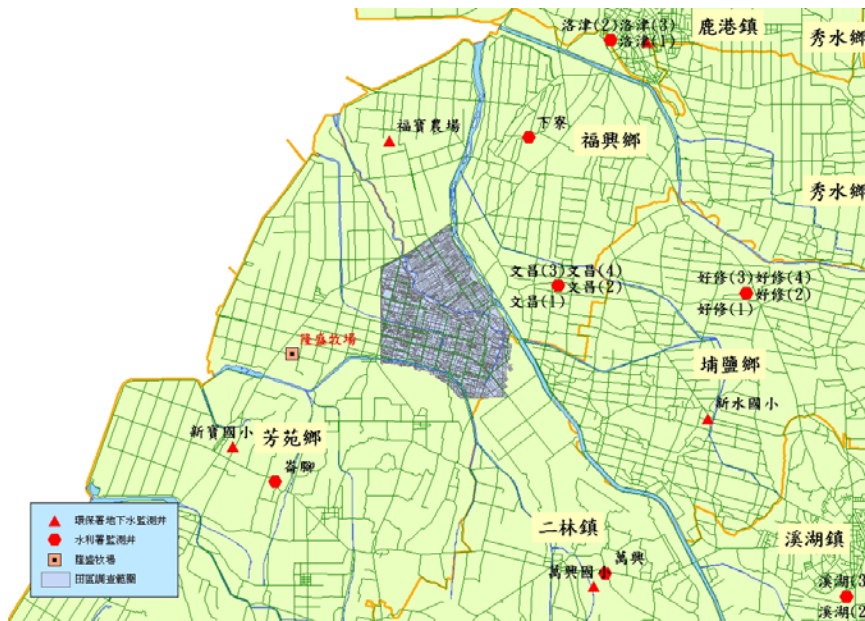


圖 17.環保署及水利署地下水監測井位置圖

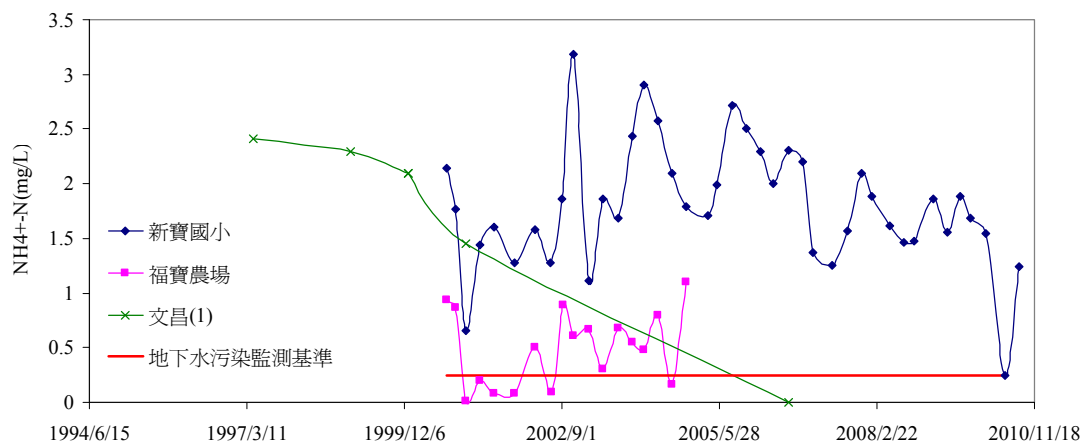


圖 18.環保署與水利署地下水質 NH_4^+-N 監測結果

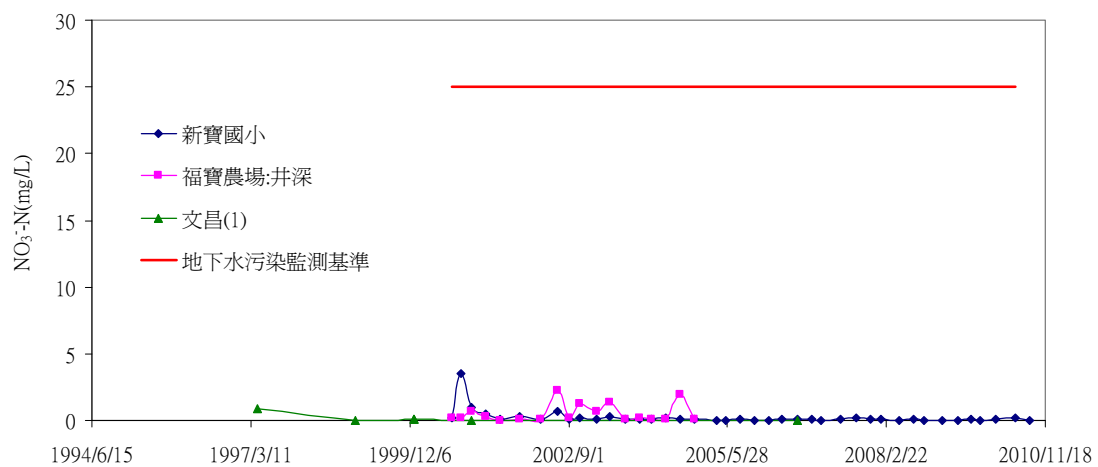


圖 19.環保署與水利署地下水質 NO_3^--N 監測結果

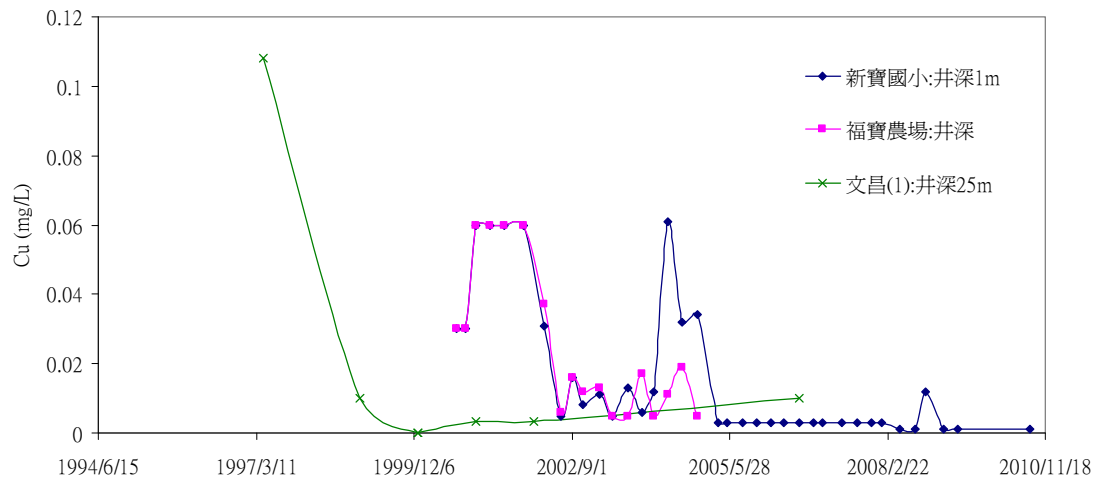


圖 20.環保署與水利署地下水質 Cu 監測結果
(第二類水質監測基準 5 mg/L，灌溉水質標準 0.2 mg/L)

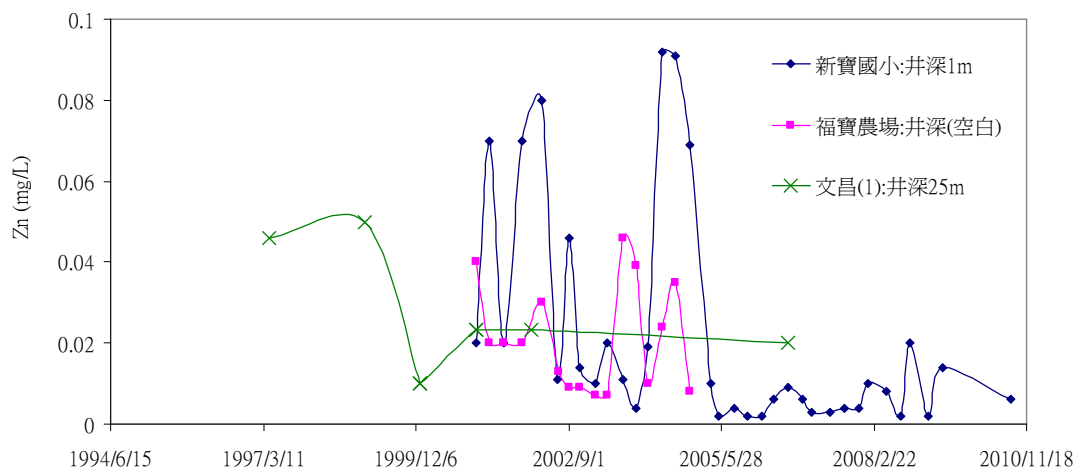


圖 21.環保署與水利署地下水質 Zn 監測結果
(第二類水質監測基準 25 mg/L，灌溉水質標準 2 mg/L)

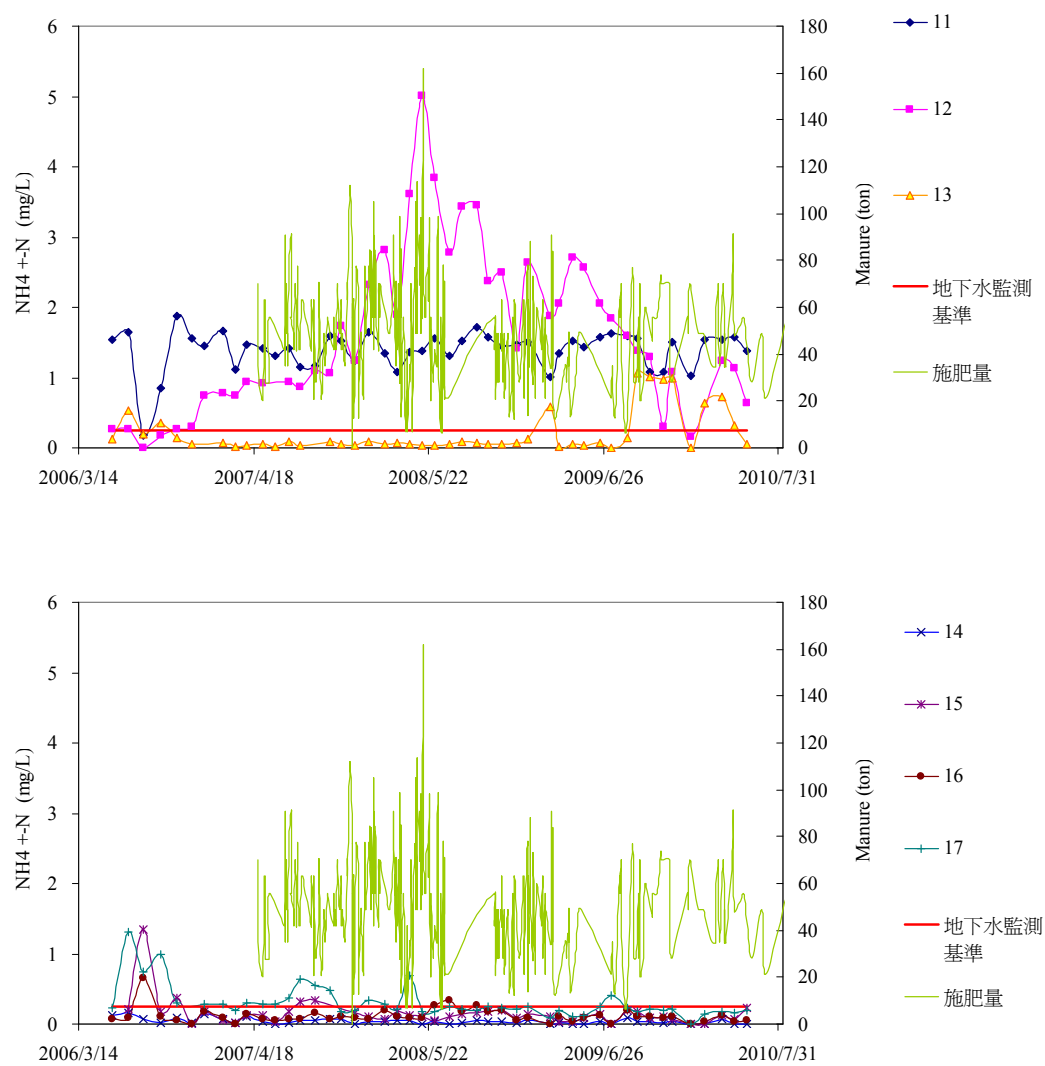


圖 22.芳苑鄉地下水質 NH_4^+-N 監測結果(11-13 為上游，14-17 為下游)

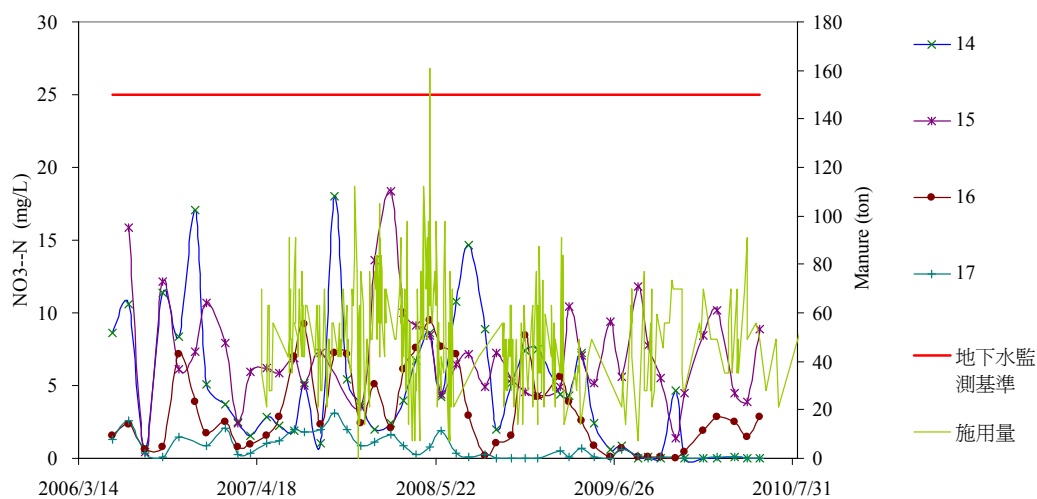
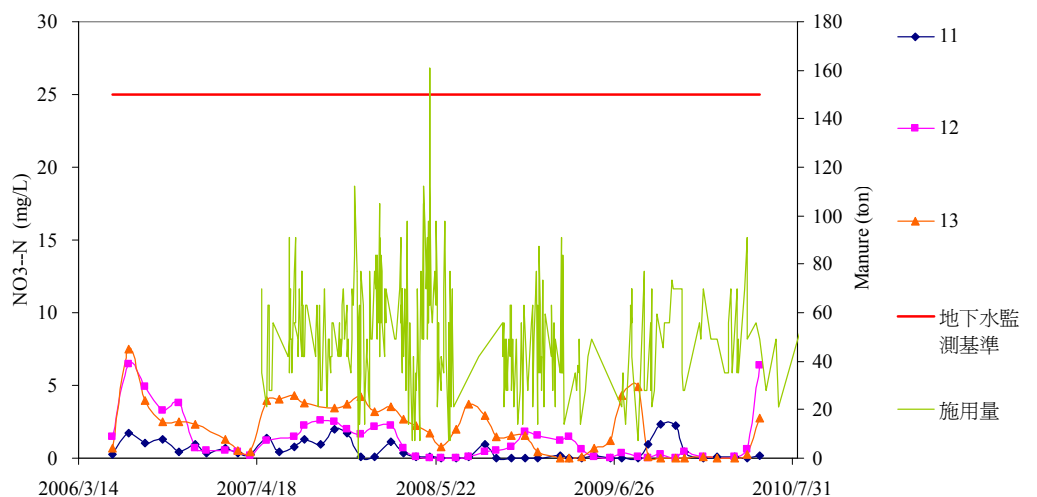


圖 23.芳苑鄉地下水質 NO_3^- -N 監測結果(11-13 為上游，14-17 為下游)

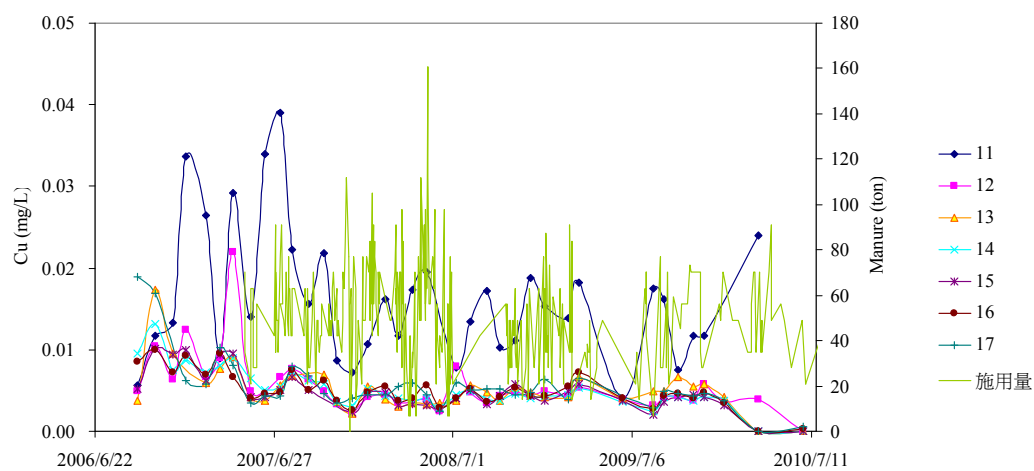


圖 24.芳苑鄉地下水質 Cu 監測結果(監測基準為 5 mg/L)

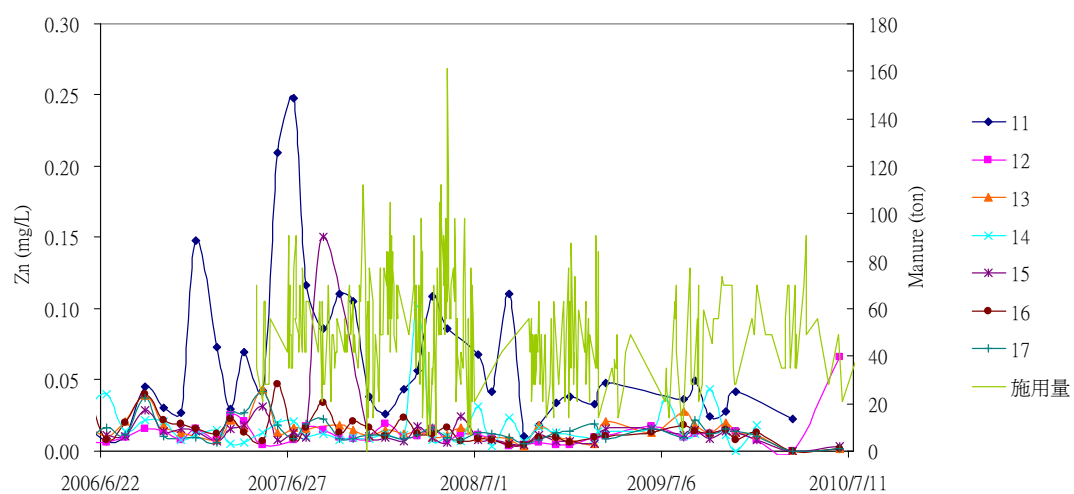


圖 25.芳苑鄉地下水質 Zn 監測結果(監測基準為 25 mg/L)

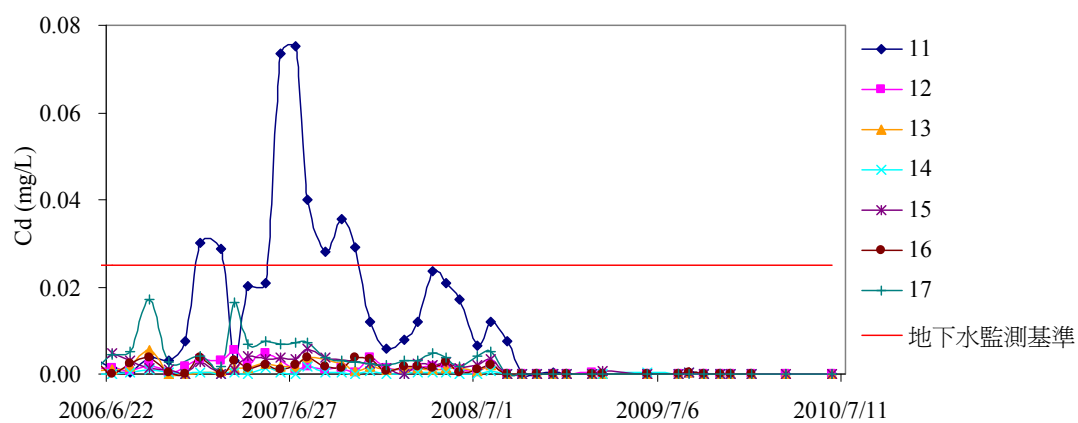


圖 26.芳苑鄉地下水質 Cd 監測結果

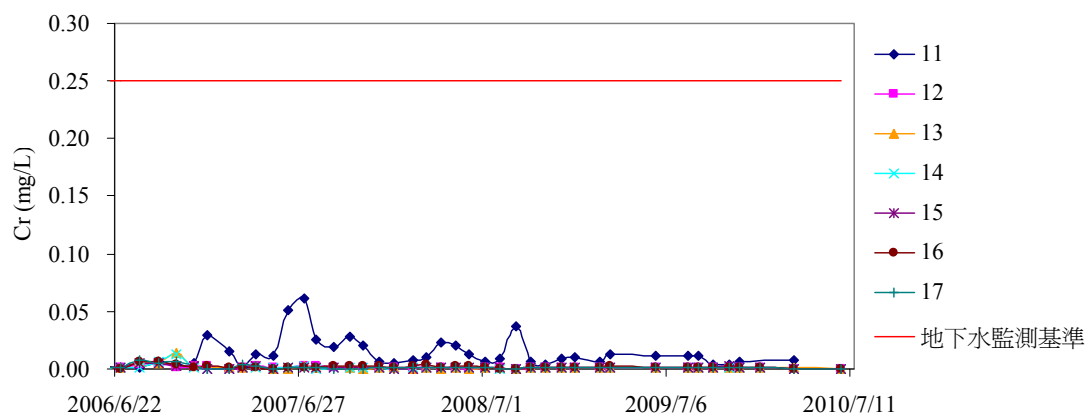


圖 27.芳苑鄉地下水質 Cr 監測結果

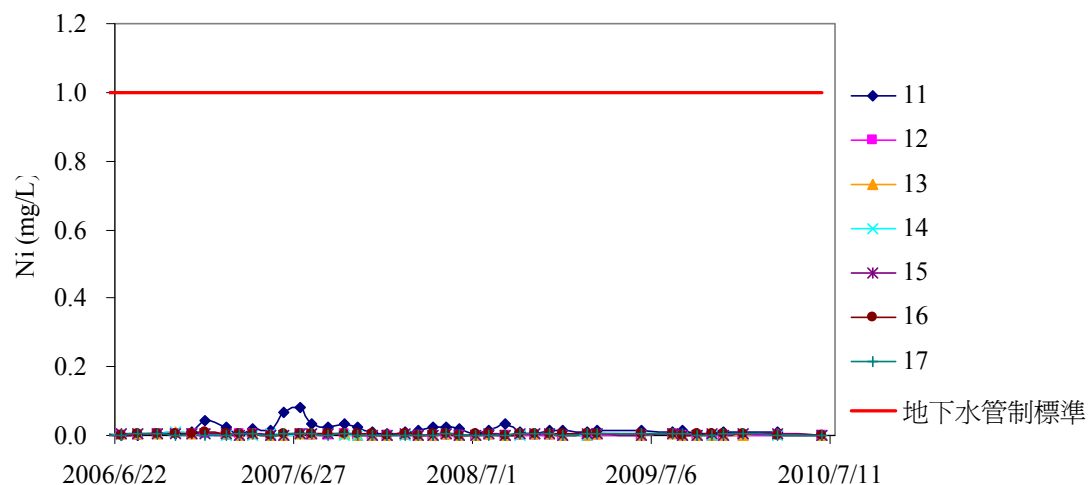


圖 28.芳苑鄉地下水質 Ni 監測結果

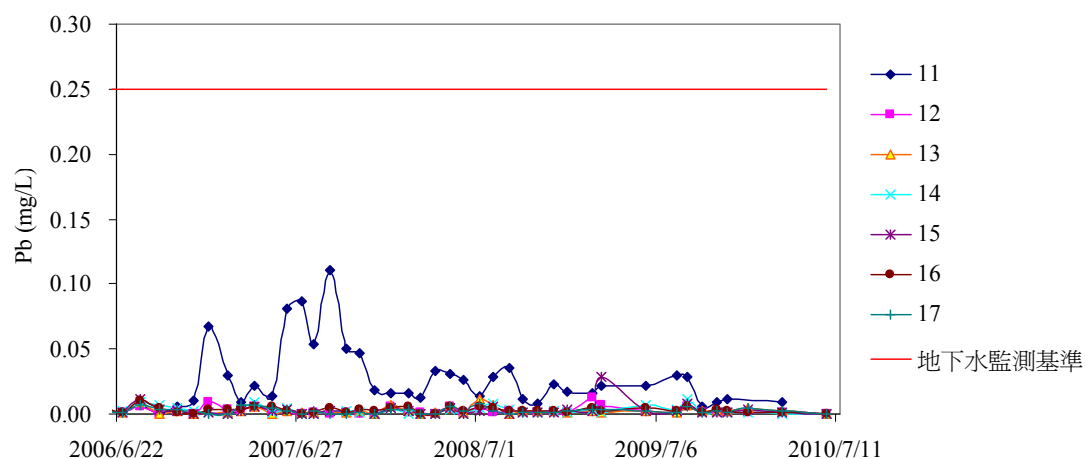


圖 29.芳苑鄉地下水質 Pb 監測結果

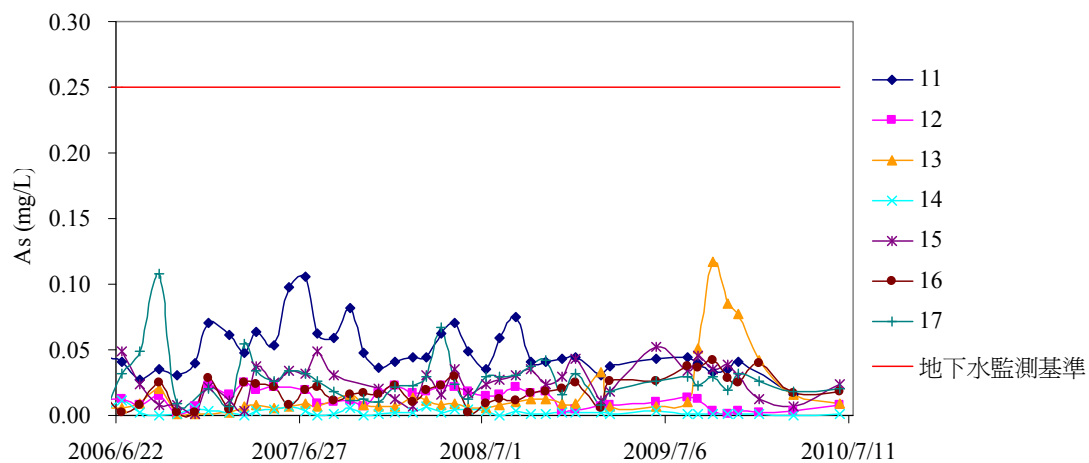


圖 30. 芳苑鄉地下水質 As 監測結果

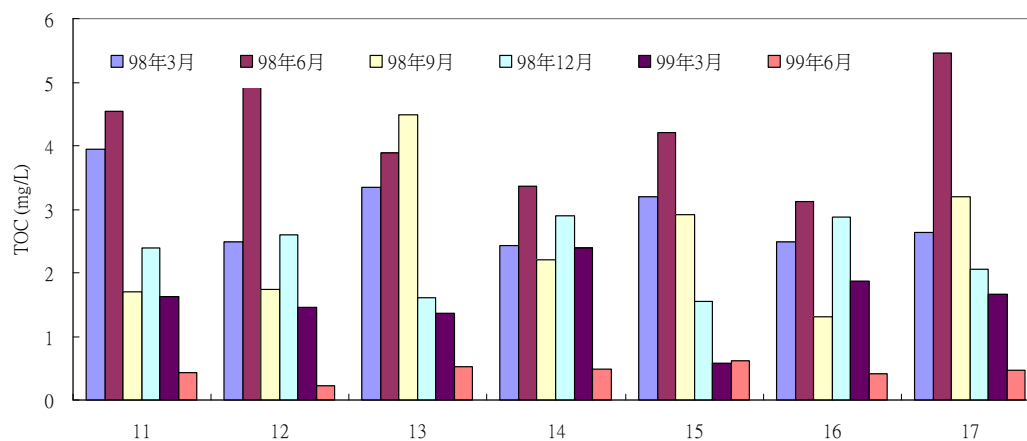


圖 31. 芳苑鄉地下水質總有機碳監測結果

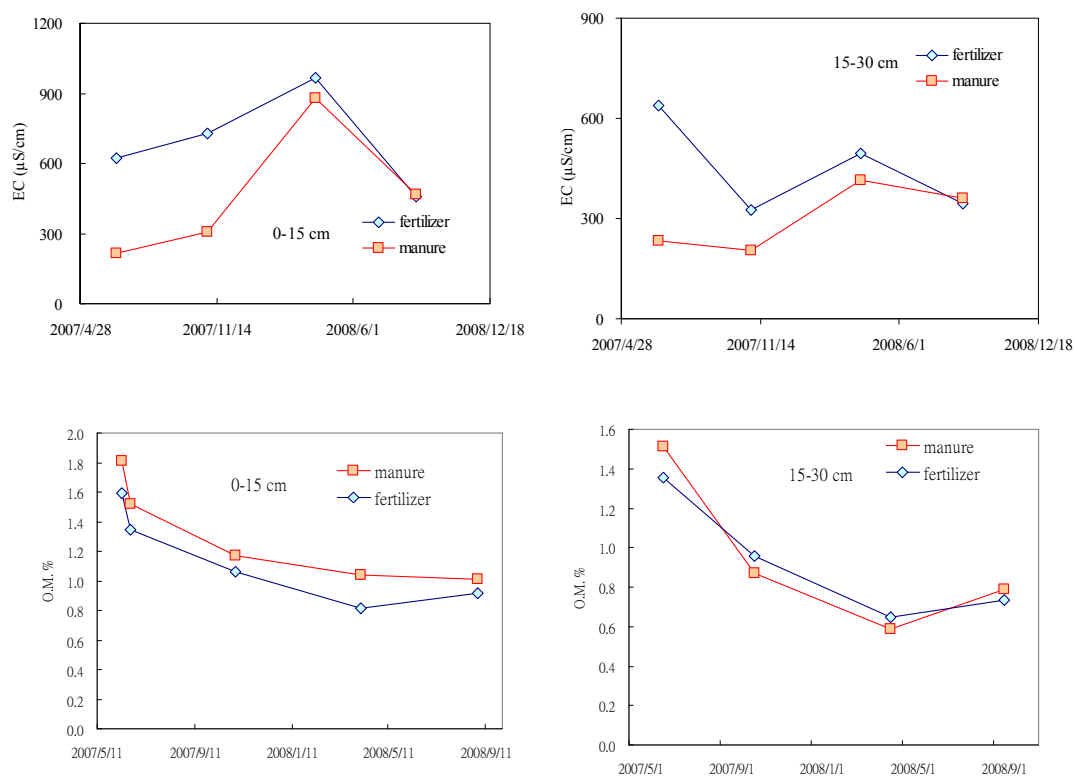


圖 32. 芳苑鄉施清明農民之表土性質變化

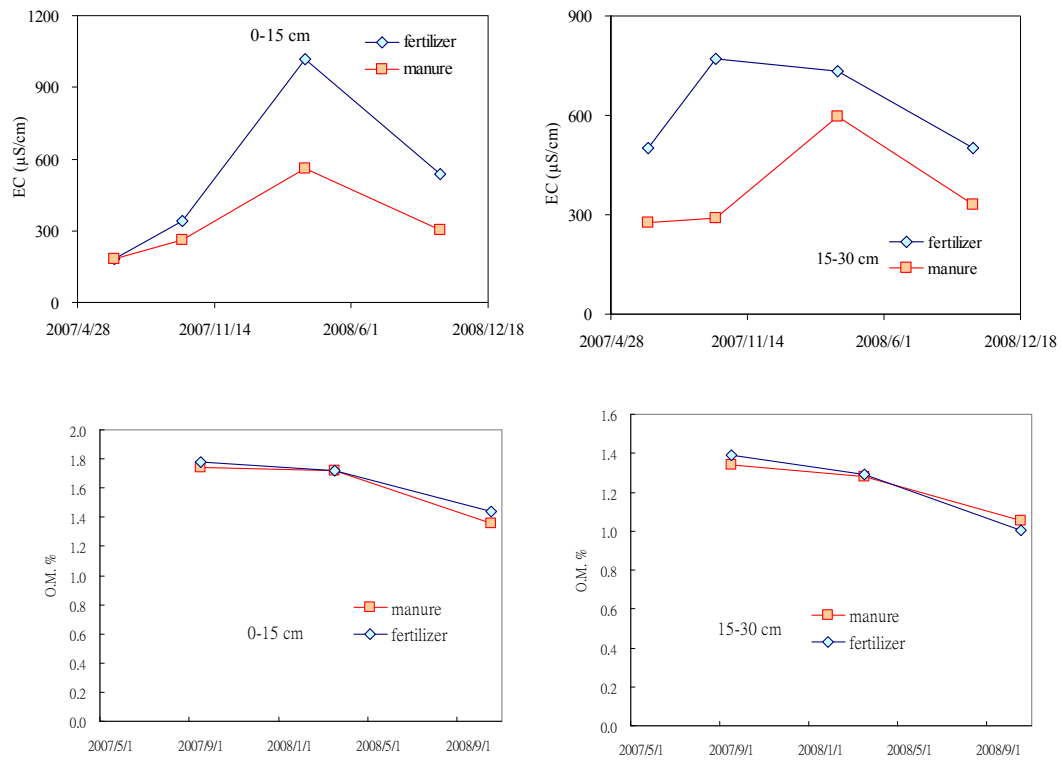


圖 33.芳苑鄉施水利農民之表土性質變化

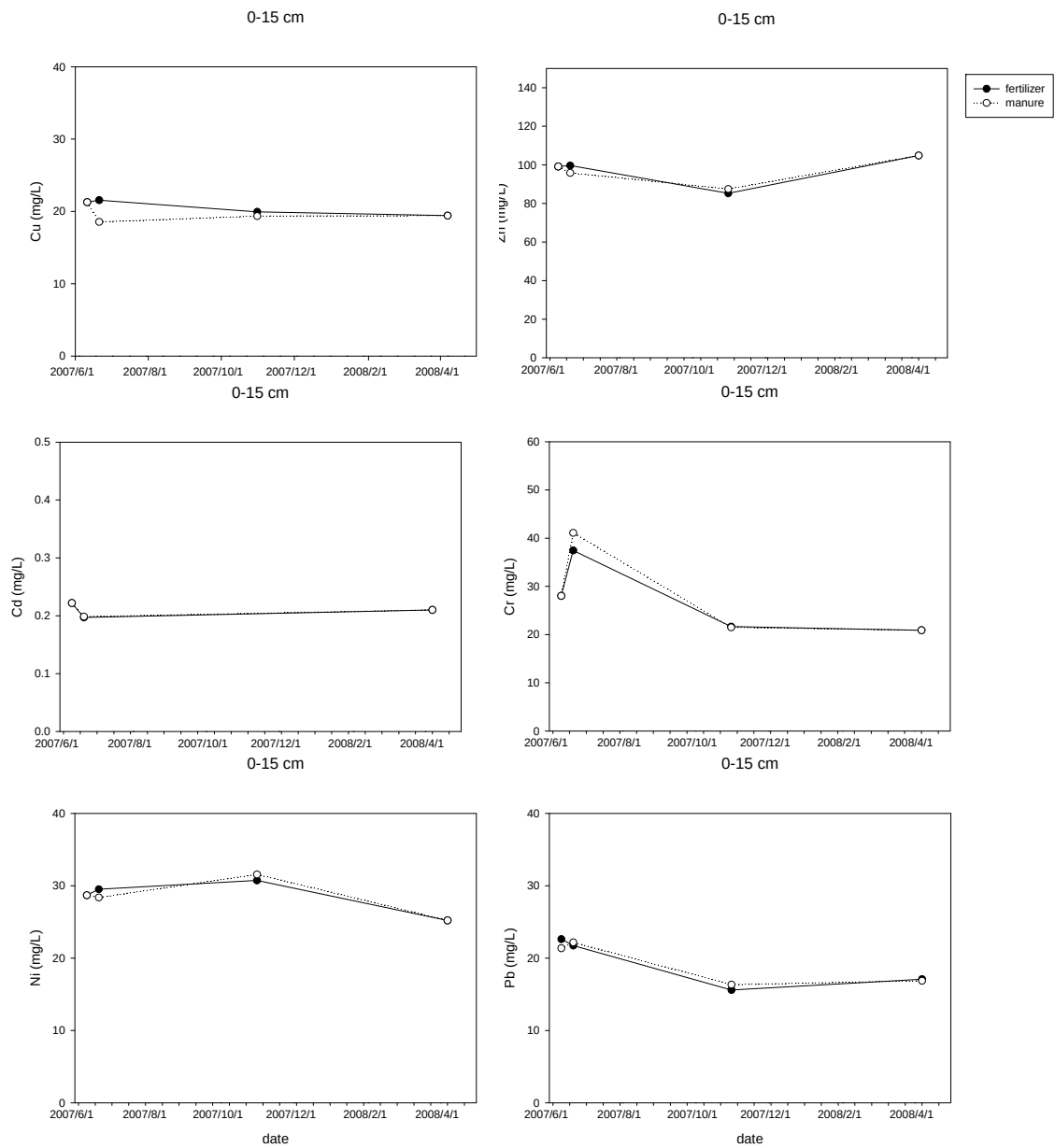


圖 34.芳苑鄉施清明農民之表土土壤(0-15 cm)重金屬表土變化

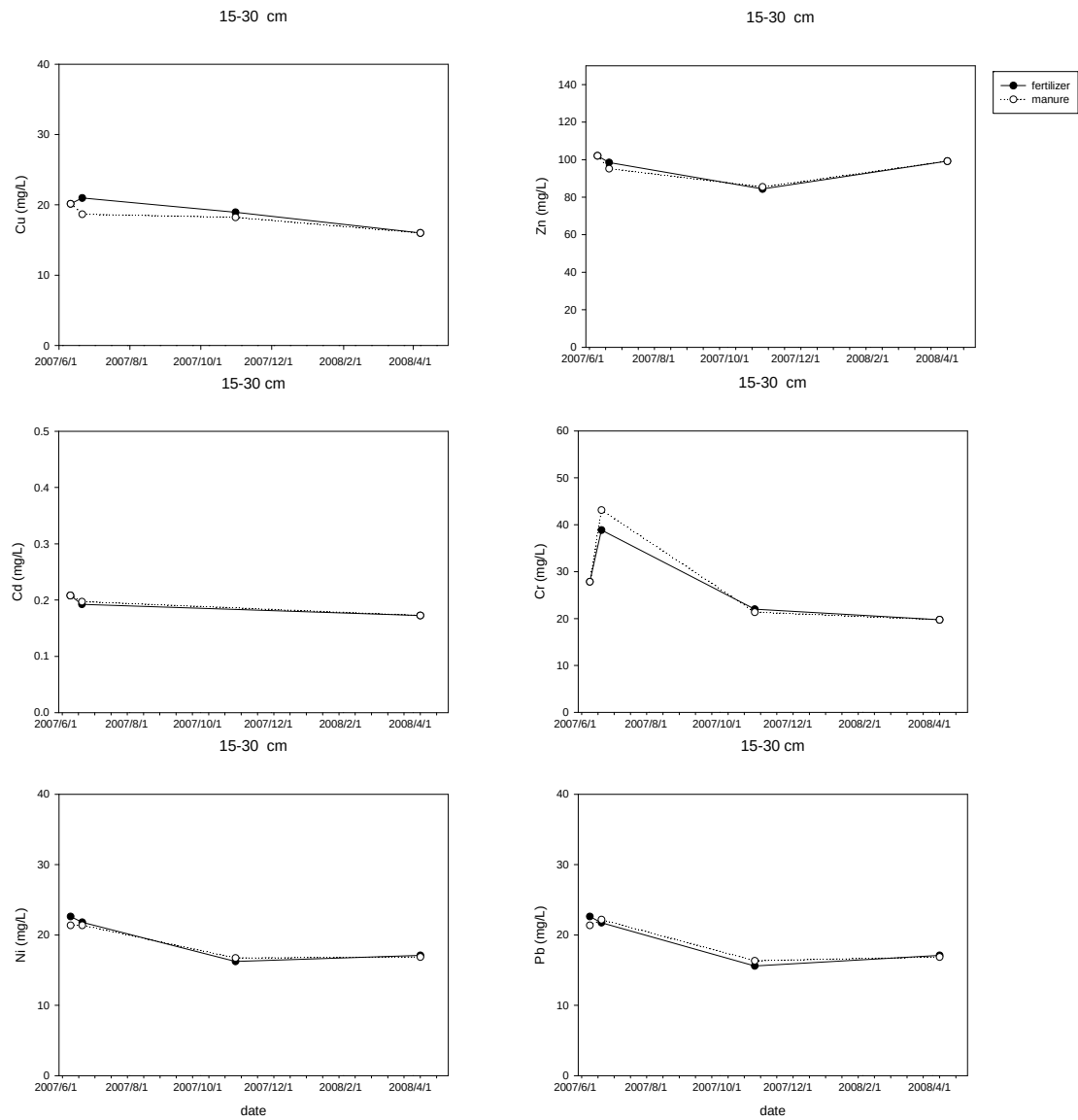


圖 35.芳苑鄉施清明農民之表土土壤(15-30 cm)重金屬表土變化

表 1.芳苑鄉試驗地土壤特性範圍

土壤深度 cm	pH	有機質 (%)	CEC cmole/kg	EC μS/cm
0-15	6.0-8.4	1.4-3.8	2.9~8.1	36-1819
15-30	6.7-8.6	0.8-3.2	0.8~ 7.2	46-1263

表 2.隆盛畜牧場沖水式豬舍固液分離後廢水成分分析表

	水分 %	pH	EC μS/cm	OM %	N %	P %	K %	Ca mg/L	Mg mg/L	Na mg/L	SAR √ meq/L
Min	90.2	6.4	3130	0.1	0.05	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.67
Max	99.7	8.4	9920	3.6	0.44	0.46	0.06	0.86	0.18	0.06	6.69
Mean	98.0	7.3	6071	0.7	0.16	0.09	0.04	0.15	0.03	0.02	2.15

表 3.隆盛畜牧場沖水式豬舍固液分離後廢水重金屬成分分析表

	Fe	Mn	Cu	Zn	Cr	Cd	Ni	Pb	As	Hg
	mg/L									
Min	9	2	0.8	2.5	0.018	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Max	826	131	58.9	235.5	2.389	0.155	2.25	12.42	3.25	N.D.
Mean	169	24	12.0	36.5	0.389	0.031	0.39	1.34	0.56	N.D.

N.D.: not detected.

表 4.雍元畜牧場沖水式豬舍固液分離後廢水成分分析表

	水分 %	pH	EC μS/cm	OM %	N %	P %	K %	Ca mg/L	Mg mg/L	Na mg/L	SAR √ meq/L
Min	97.7	7.1	7290	0.1	0.09	0.01	0.03	0.01	N.D.	0.02	1.04
Max	99.8	8.6	10560	0.7	0.26	0.11	0.07	0.11	0.07	0.03	5.23
Mean	98.8	7.6	8329	0.4	0.17	0.06	0.05	0.05	0.03	0.02	2.39

N.D.: not detected.

表 5.雍元畜牧場沖水式豬舍固液分離後廢水重金屬成分分析表-

	Fe	Mn	Cu	Zn	Cr	Cd	Ni	Pb	As	Hg
	mg/L									
Min	2	0	0.2	0.4	0.026	0.003	0.07	N.D.	0.03	N.D.
Max	112	17	11.1	42.1	0.236	0.042	0.36	0.25	0.31	N.D.
Mean	56	8	5.0	19.6	0.127	0.017	0.20	0.09	0.17	N.D.

N.D.: not detected.

表 6.養豬廢水肥分與化學肥料比較

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	施用量	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	%	%	%	kg	kg	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
非冬季養豬廢水	0.10	0.09	0.04	7000	7.0	6.3	2.8
冬季養豬廢水	0.30	0.69	0.04	2300	6.9	9.2	2.8

表 7.花生養豬廢水與化學肥料試驗之施肥量與產量

化肥		養豬廢水	
施用量 kg N/ha	產量 Ton/ha	施用量 kg N/ha	產量 Ton/ha
0	3.7	0	3.7
30	5.6	18	5.2
60	5.8	36	5.1
90	5.5	54	5.2

表 8. 以關係式估算不同化肥與糞肥施用量之花生產量

施氮量(kg/ha)	30	60
化肥區產量(Ton/ha)	5.4	6.0
糞肥區產量(Ton/ha)	5.3	4.8
糞肥/化肥(%)	97%	80%

表 9. 六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 10. 注入且覆土式之異味污染物、氨氣(Ammonia)及胺(Amines)濃度

地點 異味濃度	07/21 西瓜田	09/21 防風林間農地	10/07 防風林間農地
注入時(隨車)	45	23	67
下風處	10 ¹	<10	15
地點	周界 田地	周界 田地	周界 田地
氨氣(ppm)	未檢測	未檢出 ²³ 1.5	未檢出 1.5
胺(ppm)		1 7	未檢出 1

1：農業區之周界異味污染物濃度標準為 50(環保署，2007)。

2：氨氣之周界標準為 1 ppm(環保署，2007)。

3：檢知管最小刻度為 1 ppm。

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

表 11. 廢水隨灌溉水溝灌之異味污染物、氨氣(Ammonia)及胺(Amines)濃度

地點 異味濃度	07/21 青蔥田	08/18 青蔥田	09/21 花生田	10/14 青蔥田
灌溉時(施灌處)	19	-	-	-
灌溉後下風處	17	300	10	17
地點	周界 田地	周界	周界 田地	周界 田地
氨氣(ppm)	未檢測	未檢出	0.1 0.5	未檢出
胺(ppm)		1	1 2	未檢出

表 12. 噴灑式之異味污染物、氨氣(Ammonia)及胺(Amines)濃度

地點 異味濃度	10/14 草漢路農地	10/14 派出所右後方農地	10/14 防風林間農地
噴灑時(隨車)	21	174	194
下風處	10	10	38
地點	周界 田地	周界 田地	周界 田地
氨氣(ppm)	未檢出	0.8 1.4	0.5 1.3
胺(ppm)		0.2 1.6	0.5 1

表 13.防風林隨車採樣之空氣中揮發性有機物物種及濃度

物種	濃度(ppbv)	物種	濃度(ppbv)
乙烯+乙炔+乙烷	3.10	對-乙基甲苯	0.25
1-丁烯	3.35	1,3,5-三甲基苯	0.25
1-戊烯	0.28	鄰-乙基甲苯	0.20
正己烷	1.00	1,2,4-三甲基苯	0.88
甲苯	2.60	正癸烷	0.15
3-甲基庚烷	0.18	1,2,3-三甲基苯	0.30
正辛烷	0.18	間-二乙基苯	0.13
乙苯	0.58	正十一烷	0.40
間/對二甲苯	2.10	十二烷	0.48
苯乙烯	1.68	丙酮	34.7
鄰二甲苯	0.95	二硫化碳	1.33
正壬烷	0.28	乙酸異丁酯	0.50
正丙基苯	0.15	1,3-二氯苯	0.50
間-乙基甲苯	0.30	1,2,4-三氯苯	2.45

表 14.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

金屬	濃度 mg/l	施用量 ⁽²⁾ Ton/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	27	100	2.7	0.024	1.3	20	120	75
Zn	72	100	7.2	0.4	3.4	100	260	47
2.B 豬場 (沖水式，N = 0.1%)								
Cu	7	400	2.8	0.024	1.4	20	120	72
Zn	12	400	4.8	0.4	2.2	100	260	73
3.C 豬場 (沖水式，N = 0.15%)								
Cu	11	267	2.9	0.024	1.5	20	120	69
Zn	31	267	8.3	0.4	3.9	100	260	41
4.D 豬場(沖水式，N = 0.03%)								
Cu	2	1200	2.4	0.024	1.2	20	120	84
Zn	5	1200	6.0	0.4	2.8	100	260	57
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	20	120	170
Zn	60	100	6	0.4	2.8	100	260	57
6.豬糞堆肥(N=2 %)								
Cu	100	20	2	0.024	1	20	120	101
Zn	500	20	10	0.4	4.8	100	260	33

(2)按農糧署堆肥補助施用量計算⁽⁵⁾

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	27	20	0.54	0.024	0.3	20	120	388
Zn	72	20	1.44	0.4	0.5	100	260	308
2.B豬場 (沖水式，N = 0.1%)								
Cu	7	80	0.56	0.024	0.3	20	120	373
Zn	12	80	0.96	0.4	0.3	100	260	571
3.C豬場 (沖水式，N = 0.15%)								
Cu	11	53	0.59	0.024	0.3	20	120	355
Zn	31	53	1.65	0.4	0.6	100	260	255
4.D豬場 (沖水式，N = 0.03%)								
Cu	2	267	0.53	0.024	0.3	20	120	393
Zn	5	267	1.33	0.4	0.5	100	260	343
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	20	120	926
Zn	60	20	1.20	0.4	0.4	100	260	400
6.豬糞堆肥 (N = 2%)								
Cu	100	4	0.40	0.024	0.19	20	120	532
Zn	500	4	2.00	0.4	0.80	100	260	200

(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 15.隆盛廢水處理

	造價	月分攤金額	元/豬隻	元/噸-廢水
硬體成本	土木設施	8389150	34955	35.2
	機械設備	3103000	29306	29.1
人事	-	15750	15.8	3.5
機件維護	-	17417	14.8	3.3
電費	-	21420	21.8	4.9
固體處理(堆置、搬運)	-	18299	18.3	4.1
加總 (元)	11492150	135146	134.4	30.0

表 16.隆盛廢水處理成本 (細項)

步驟	項 目	總價/ 造價(元)	折舊 年數	月分攤 金額(元)	備註
原水收	收集池 (3 m x 3 m x 4 m)	68000	20	283.4	
集池	馬達 5 hp	55000	3	1,527.8	攪拌機用- 8hr
	固液分離機 x 2	320000	15	1,777.8	每日運作- 8hr
	分離池 (3 m x 3 m x 4 m)	68000	20	283.4	
固液	馬達 3 hp	30000	3	833.3	堆肥場進分離池
分離	馬達 2 hp X 2	60000	3	1,666.7	洗分離機濾網-8hr
	馬達 1 hp	10000	3	277.8	分離池=>進厭氣池調節池
	電器控制箱 x 2	30000	3	833.3	
厭氣池	調節池 (10 m x 10m x 2m)	605000	20	2,520.8	
調節池	馬達 1 hp 包含控制箱	20000	3	555.6	厭氣池調節池厭氣池
	厭氣池 (28 m X 28 m x 4m)	5925000	20	24,686.2	6 千頭豬(150 噸-廢水/天)
厭氣池	污泥脫水機	1200000	15	6,666.7	約 6000 頭養豬規模用
	紅泥膠皮	118000	10	9,800.0	
曝氣池	調節池 (10 m x 10m x 2m)	605000	20	2,520.8	
調節池	馬達 1 hp 包含控制箱 x 2	40000	3	1,111.1	曝氣池調節池進曝氣池
	曝氣池 (10 m x 10m x 4m)	755700	20	3,148.8	150 噸廢水 (停留 2 天)
	曝氣頭	22000	5	366.7	
曝氣池	沈澱池 (8 m x 6 m x 4m)	362700	20	1,511.4	
	曝氣機 7.5 hp x 2	110000	3	3,055.6	輪流啟動
	電器控制箱 x 2	30000	3	833.3	
人事費用 1400 元/天-3hr			-	15,750.0	
機件維護			-	17,222.2	總機械成本之一半
電費				21,840.0	
固體	堆置場 12 m x 15 m	1089000	20	4588	
處理	剷斗機 機具成本	650000	15	3611	
(堆置、	剷斗機用油 50 L/月			1400	
搬運)	固體運出			8750	25000 kg/月 (0.3 元/kg-月)
總計				134,381	元/月
				1,612,581	元/年
				135.1	元/豬隻
				30.0	元/噸-廢水

表 17. 農地再利用與三段式廢水處理比較

農地再利用			三段式廢水處理與傳統施肥		
項目	元/噸	累計	項目	元/噸	累計
污水儲存池成本	16.4		硬體	12.9	
施肥車	5.5		液體處理	維護成本	2.1
機具維護成本	2.7			人事成本	2.6
人事成本	20			消耗性成本(電費)	7.5
消耗性成本(油資)	14.0			搬運、堆置	4.1
其他(地磅)	7.1	65.8	固體處理	製作堆肥	83.0
					113.0
補足等量鉀肥成本 ¹	14.7	80.5	傳統施肥	等氮量台肥5號成本 ¹²	93.9
					206.9
監測成本	1.0	81.5			

¹ 平均一噸廢水肥份 = N:P₂O₅:K₂O = 1.6:2.1:0.5 kg; 等氮肥量台肥 5 號 = N:P₂O₅:K₂O = 1.6:0.8:1.2 kg (廢水再利用追補至等量需 0.7 kg- K₂O, 1.2 kg 氯化鉀, 氯化鉀:K₂O:60%, 12.62 元/kg。)

² 台肥 5 號:9.39 元/kg。