

# 農地水質淨化處理機制之研究

宋建明/屏東科技大學土木工程所研究生

陳鈞華/屏東科技大學土木工程所副教授、水利技師

## 一、緒 論

台灣加入 WTO 後，農地耕地面積的減少，受影響轉業的農業勞動力將大量釋出，雖然林務局有平地造林計劃鼓勵民眾將農田所具生產機能，轉置成綠美化環境生態機能，但還是有許多閒置農地，當遇到點源或非點源的污染，造成農地耕作困難，在此同時，無形中對於農地附近的水體，也造成潛在的污染危機。

對現階段國內永續農法經營項目，目的都在維持及增進農田地力，循環利用資源，加強環境生態保護等，並都已有相當成效。此研究致力於水田如遭受非點源污染時，為使農地能夠永續再利用，以最佳管理措施(Best Management Practices, BMPs)配置方式，來處理受水質污染的農地，在美國1972年所通過的「污染控制修正案」中，最佳管理作業措施成為非點源水質污染防治與暴雨管理的標準處理技術，BMPs的去除污染能力有三項因子控制：(1)污染質去除機制，(2)逕流量處理效率，(3)自然界自淨力。設計者只能就第一、二項加以控制，而對第三項因子毫無影響力。從操作觀點而言，顆粒性污染物質如泥砂等，利用沉澱、過濾、等物理反應，便可以用一般BMPs處理；但對溶解性污染質，如氮、磷、農藥等，物理反應的作用不大，而需以生化反應處理，如利用植物根部攝取、轉換等作用去除。

Barfield et al.(1977)：進行小試區測試，建議使用過濾帶對泥砂、有機物及微量金屬有

去除之效果，而去除率與坡長、坡度、土壤滲透性，集流地區面積以及流速有關。Young et al.(1980)：以人工降雨機制，測試坡度為4%，寬度為4.06m，長度為41.15m的草帶去除飼養場廢污水之效果，結果發現可降低67%與84%的逕流與泥砂，並且可去除平均84%與83%的總氮與總磷，並且發現污染質濃度隨草帶長度增長有遞減的趨勢。Van Di jk et al.(1996)：設置草帶、坡度5.2%，測試其過濾逕流泥砂之效果，發現對於1m、4-5m和10m長的草帶，能達到50-60%、60-90%及90-99%的泥砂過濾效果。溫清光及余嘯雷(1995)：在台南走馬瀨農場進行最佳管理作業之測試，結果顯示濕地與兩個串聯滯留池對污染物去除的效果與降雨量有關，並且對沉降質的去除效果為最好，高達99%。而串聯之濕式滯留池，在降雨量分別為3.2mm及20mm時，可分別減少52%及69%之洪峰。郭振泰及余嘯雷(1995)：提出臺灣地區若實施最佳管理作業(BMPs)必要考慮的項目有：空間限制、低成本高效率、氣候水文特性及非點源污染之特性，並且視實際需要可以將多種的最佳管理作業項目綜合使用。范正成等(1998)：在台灣大學安坑農場，進行農業用地最佳管理作業，草帶之功能測試。其試驗係針對總懸浮性固體物、生物需氧量、化學需氧量、正磷酸鹽、硝酸態氮及氨態氮等項目經草帶處理之前後，進行採樣及試驗分析以評估其處理之效果。分別在坡度5%、10%、15%和20%，坡長為4m、8m、12m和16m的草帶共進行48組實驗。初步結果顯示草帶對總懸浮性固體

的去除效果最好，其餘依次是化學需氧量、正磷酸鹽、氨態氮及硝酸態氮。平均去除率分別為0.808、0.723、0.66、0.58 和0.34。草帶對污染質的去除功效整體而言符合水力負荷對去除率的假設關係。並由此建立草帶對非點源污染去除功效之評估方法。范正成等(1999)：在台灣大學安坑農場，進行農業用地最佳管理作業－草溝及下滲溝之功能測試。草溝試驗係針對逕流量、總懸浮性固體物(TSS)、生化需氧量(BOD<sub>5</sub>)、化學需氧量(COD)、正磷酸鹽(PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P)、硝酸態氮(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)、氨態氮(NH<sub>3</sub><sup>+</sup>-N)等項目經草溝處理之前及之後進行採樣及試驗分析以評估其處理之效果。而下滲溝則針對不同入流量下，評估不同容量。研究中，草溝之坡度分別為15%、10%、5%和1%，長度為16m、12m、8m 及4m，寬度為1.5m，總計有35組有效試驗樣本。草溝對各污染質的去除率約在6%~35%。效果以TSS、氨態氮、正磷酸鹽較佳，COD次之，硝酸態氮又次之，BOD 最差，平均去除率分別為0.352、0.332、0.298、0.270、0.159、0.059。並以水力負荷因子建立草溝去除污染質之方法。

本研究主旨在說明，當農地遭受人為惡意傾倒畜牧或生活廢水時，由於各項BMPs處理污染質的機制均不相同，本研究就結構性最佳管理作業中，大面積草地BMPs進行田區現地測試，針對逕流量、總懸浮性固體物(TSS)、生化需氧量(BOD<sub>5</sub>)、化學需氧量(COD)、正磷酸鹽(PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P)與硝酸態氮(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)、氨態氮(NH<sub>3</sub><sup>+</sup>-N)等項目經BMPs處理前後的濃度、流量變化，期能找出各項BMPs 處理農地非點源污染之效果，進而提供選擇農地之最佳管理作業(BMPs)配置的依據。根據現地量測所得之濃度、流量結果，求得不同之非點源污染去除效率，再利用週期性污染負荷(CFSTR)方法，來模擬水體，假定求出污染物分解速率k值，利用其k值反求污染物需停留之時間及需

要之水體體積。

關鍵字：週期性污染負荷模式(CFSTR)、最佳管理作業(BMPs)、分解速率

## 二、試驗區概況

本試驗田區(玉里鎮禹東段 36 號，地目田，面積 1.073 公頃)位於花蓮縣玉里鎮大禹里，與玉里鎮中心相鄰。秀姑巒溪位於本區東側，本區位於大禹重劃區，其東西寬 800 公尺，南北長 4000 公尺，對外交通非常便利。台灣省水利局陸續興建完成秀姑巒溪大禹堤防計 1350 公尺，東部土地開發處配合延建完成 2650 公尺，開發土地 240 公頃。

成田耕地已由水利會配水灌溉，餘 138 公頃配合承購戶多角化經營，以最大水田需水量推估灌溉用水，即整田田間需水 18 公分，日數二十日，本田灌溉率 200 ha/cms，混凝土給水渠道輸水損失採 20%，需水量為 1.042 CMS。經洽水利會同意自該會所屬大禹峻末端引用 0.8CMS，以埋設涵管 1.8M 長度 900 公尺，橫跨卓溪引入本區供水外，不足數 0.242 CMS 引至秀姑巒溪水源補注。

### (一)、試驗場地之準備

本試驗田區原為國有地經標售後遭佔用戶傾倒畜牧廢水，妨礙耕作，地主引灌溉水稀釋後抽除後，用耕耘機翻土種植草帶，進行復育管理作業。每個月耕土種草經三個月後，土壤有機質經檢驗後，符合標準。

本試驗中考慮影響草帶去除污染質的功效因子有長度與坡度二項因子。草帶之設計為，長(h) 4公尺、8公尺、12公尺、16公尺，寬(b)均為5公尺，水深則利用耕耘機與推土機將地表整為無側向坡度之均勻坡，但無滾壓存實，有 5%、1%二種坡度的32塊試驗場區。

#### 1. 大面積草帶

草帶對污染質去除主要原理係以植物性緩衝機制，水深控制在 0.225 公尺，四種坡長(4m、8m、12m、16m)，二種坡度(5%、1%)。

## 2. 草帶之選擇

草帶選擇小葉品系百喜草(PaspallInnotatum Fliig)。

### (二)、試驗設備及材料之準備

#### 1. 供水系統

供水系統包括水塔、抽水機、管路及入流管。運作方式由抽水機自渠道水源抽水入水塔，經由管路及入流管供應試區用水。

#### 2. 大面積草帶試驗步驟

- 將水塔注滿水，並記錄注水容量，以計算污染物之量。
- 將調配好之污染物(葡萄糖、無水磷酸二氫鉀、無水硝酸鉀、無水氯化氨、高嶺土)，加入水塔內，啟動水塔內攪拌馬達使污染物溶解均勻。
- 打開出水閥門，並控制所需之流量大小，開始計時，並記錄水錶讀數。
- 記錄採樣坑水流到達時間，收集水樣。
- 將收集之水樣稱重、記錄、並放入冰箱中冷藏。
- 啟動採樣坑抽水馬達將多餘剩水排出。
- 依序間隔5分鐘重複步驟4至6。
- 一小時後關閉閥門，將水樣送至實驗室內分析。

3. 本試驗時間 94 年 5 月 1 日至 94 年 6 月 15 日

## 三、污染物去除率與分解速率方法理論

為了讓 BMPs 系統在將來的應用上更方便，更容易設計來處理各種不同濃度的進流水，以及達到民生所要求的水質標準，應該需要多少的水力停留時間以及多大的水體體積，因此有必要建立一適當的數值方法來求解，本研究以 Mathematica (方法一)、Excel (方法二) 軟體，推求各污染物去除率、分解速率 k 值、水力停留時間、水體體積。

### 3.1 方法推估簡介

### 3.1.1 污染去除率之計算

首先進行現地 BMPs 功能測試時，用於試驗結果計算之入流污染質總質量及出流污染質總質量。污染質質量為流量與濃度之乘積。

上式中：

### 3.2 去除率 (Rr)

將入流污染質總重，扣除草帶本身被洗出之污染質總重，及出流之污染質總重後，所剩餘之污染質重量與入流污染質總重量相比之比值，稱為去除率。

$$R_r = \frac{M_i + M_e + M_o}{M_i} \quad (3.1)$$

$M_i$ ：入流污染質總重(mg)

$M_e$ ：草帶本身被洗出之污染質總重(mg)

$M_o$ ：流出污染質總重(mg)

### 3.2.1 週期性污染負荷污染物分解速率 k 值

本研究採用週期性污染負荷—CFSTR 模式

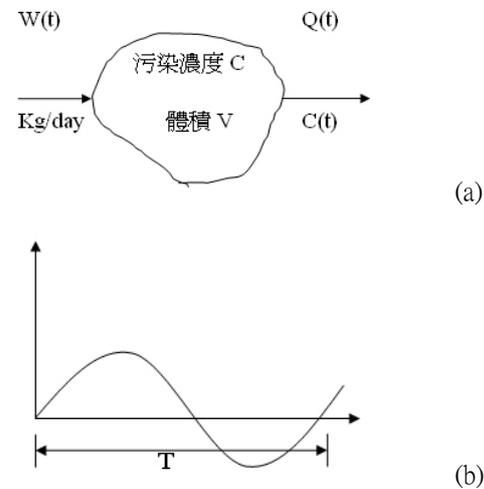


圖 3-1 週期性污染負荷

採用 CFSTR 模式之理由為水稻田生育期間，人為灌溉施肥為週期變化，故可用此模式模擬之水體中污染物分解速率，其示意圖如圖 3-1，假定污染物分解為一階反應，其公式可表示為  $r_c = -kC$ ，則由質量平衡可得其微分方程式為：

$$V \frac{dC}{dt} = W(t) - Q(t)C + r_c V \quad (3.2)$$

式中，V, Q, k, C 及 W 都為 t 之函數，若設初始條件  $C(0) = C_0$ ，在假定 V, Q, k, C 及 W 均為常數情況下，可得：

$$C(t) = \frac{W}{k'} (1 - e^{-\frac{k't}{V}}) + C_0 e^{-\frac{k't}{V}} \quad (3.3)$$

式中，

$$k' = Q + Kv$$

$$W(t) = W_0 \sin(\omega t)$$

W(t) 不為常數而為一週期性污染負荷

式中， $\omega = 2\pi/T$  為頻率，T 為週期， $W_0$  為最大污染負荷，故(3.2)式可改寫成：

$$\frac{dC}{dt} + \frac{k'}{V} C = \frac{W_0}{V} \sin(\omega t) \quad (3.4)$$

### 3.2.1 方法一 (Mathematica)：求解污染物分解速率 k

其解為：

$$C(t) = e^{-\frac{k't}{V}} \left[ K + \frac{\frac{k'}{V} \sin \omega t - \omega \cos \omega t}{\left(\frac{k'}{V}\right)^2 + \omega^2} + \frac{W_0}{V} e^{-\frac{k't}{V}} \right] \quad (3.5)$$

$C(0) = C_0$  代入，求出 K 為：

$$K = C_0 + \frac{\omega}{\left(\frac{k'}{V}\right)^2 + \omega^2} \frac{W_0}{V}$$

故得：

$$C(t) = \frac{W_0}{\left(\frac{k'}{V}\right)^2 + \omega^2} \left( \frac{k'}{V} \sin \omega t - \omega \cos \omega t \right) + \left( C_0 + \frac{\omega \left(\frac{W_0}{V}\right)}{\left(\frac{k'}{V}\right)^2 + \omega^2} \right) e^{-\frac{k't}{V}} \quad (3.6)$$

式中，

- $C_0$ ：進流濃度 (mg/L)
- $C(t)$ ：在 t 時間之放流濃度 (mg/L)
- $k'$ ：一階動力參數 (1/hr)
- $W_0$ ：最大污染負荷 (mg/hr)
- $V$ ：水體體積 (L)
- $\omega$ ：週期 (1/hr)
- $t$ ：水力停留時間 (hr)

### 3.2.2 方法二 (EXCEL)：求污染物分解速率 k 值

首先假設污染物在槽體內的反應符合一階反應(式 4-1)，再將實驗數據代入式中並經迴歸分析後求出 k 值。

$$\ln(C_0/C_{in}) = -kt \quad (3-7)$$

式中，

- $C_0$ ：放流濃度 (mg/L)
- $C_{in}$ ：進流濃度 (mg/L)
- $k$ ：一階動力參數 (1/hr)
- $t$ ：水力停留時間 (hr)

## 四、結論與討論

### 4.1 去除率及污染物分解速率 k 值計算

本實驗設計六項水質項目 (正磷酸鹽、氨態氮、硝酸態氮、生物需氧量、化學需氧量、懸浮性固體)，由所建立模式 (CFSTR) 記錄並，用方法一、方法二分別計算後求出，各污染物去除率及分解速率 k。

### 4.2 推求水力停留時間及所需水體體積

依照原進流濃度及所欲達到的濃度進行推估，並進一步算出所需的水力停留時間及反應槽體積。

(1) 方法一：如入流濃度 ( $C_i$ ) 為 0.414ppm，欲降低出流濃度 ( $C_o$ ) 0.316ppm 至 0.1ppm，代入下式公式，以 Mathematica 計算：

$$C(t) = \frac{W_0}{\left(\frac{k'}{V}\right)^2 + \omega^2} \left( \frac{k'}{V} \sin \omega t - \omega \cos \omega t \right) + \left( C_0 + \frac{\omega \left(\frac{W_0}{V}\right)}{\left(\frac{k'}{V}\right)^2 + \omega^2} \right) e^{-\frac{k't}{V}}$$

可求得 k 值為 0.1371 (1/hr)，再代入原式可反求 t (水力停留時間) 可得出  $t = 10.4497$  hr，故保守估計此污水需要停留

在田區 11 小時來充分分解污染物，使污染物濃度降低至 0.1ppm。如時間用 10.4497 hr 代入原式中，可知需要水體體積為 34.6526 m<sup>3</sup>，如時間用 11 hr 代入原式中，可知需要水體體積為 39.408 m<sup>3</sup>

(2) 方法二：假設污染物在槽體內的反應符合一階反應中，可求出 k 值為 0.134774(1/hr)，再代入原式可反求 t (水力停留時間) 可得出 t = 10.5414 hr，故保守估計此污水也是需要停留在田區 11 小時，而所需的水體體積為 39.6 m<sup>3</sup>。

在停留時間方面，如同於濕地停留時間之經驗。對於處理都市之廢水，最佳的蓄留時間被建議為由 5 至 14 日(Wille 等人，1985；Watson 及 Hobson，1989)。佛羅里達於濕地之規範(Palmer 及 Hunt，1989)要求在永久水池中，必需提供至少 14 日之停留時間。M.T.Brown (1987)建議在佛羅里達河川系統之蓄留時間，在乾季中為 21 天，而濕季中也應多於 7 天。Fennessy 及 Mitsch(1989)推薦在酸性採礦排水濕地中，最少要有一天的蓄留時間，而較長的停留期間能有更有效之鐵移除率。停留時間的簡易計算。故此實驗保守估計水力停留時間訂為農田地的週期採用 24 天大於 M.T.Brown 建議之乾季中為 21 天。

### 4.3 污染物去除率與分解速率之關係

經由統計軟體 SPSS(Ver.13)所用 ANOVA 中逐步法求出各污染物分解速率 k 值，由正磷酸鹽、氨態氮、化學需氧量、懸浮性固體去除率與 k<sub>1</sub>、k<sub>2</sub> 分解速率相關圖中，可以看出去除率高則 k<sub>1</sub>、k<sub>2</sub> (分解速率)就高，所以去除率與分解速率有正比的關係，由表 4.4.1、表 4.4.2、表 4.4.3、表 4.4.4 中可比較出去除率與 k<sub>1</sub>、k<sub>2</sub> 分解速率具重要性高至低為：正磷酸鹽、化學需氧量、懸浮性固體、氨態氮。但在 BOD<sub>5</sub> 去除率與分解速率相關圖中，可看出並

沒有明顯的具有相關正比的關係，這是因為此實驗並沒有讓污染物有超過 5 天的停留時間，而污染物之有機質未充分分解，所以 BOD<sub>5</sub> 去除率與分解速率不具相當的關係，這在表 4.4.1、表 4.4.2、表 4.4.3、表 4.4.4 中的 BOD<sub>5</sub> 去除率與分解速率簡單迴歸式也可看出，最高的 R<sup>2</sup> 也只有 0.58，由此可知，的確在此實驗中 BOD<sub>5</sub> 去除率與分解速率不具相當的關係。硝酸態氮在本實驗過程中，會先有硝酸根 (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) 產生，其並非帶正電的銨離子，不會受到帶負電的土壤顆粒而被固定住，因此可在水田水體試區中自由移動(Wiebe *et.al*,1981)。如停留時間很短時，不容易被去除掉，故硝酸態氮去除率與分解速率的關係在本實驗中，並無較明顯的關係。

### 4.4 污染物去除率與方法一、方法二分解速率簡單迴歸式

利用統計分析軟體 SPSS 分別求出未標準化及標準化去除率對分解速率簡單迴歸公式如表所示(表 4.4.1、表 4.4.2、表 4.4.3、表 4.4.4)，本研究標準化的用意，在於除去變數單位的不同，使變數其性質一致，既可用變數之係數來互相比較，係數愈大者，表示在此實驗中越重要。

### 4.5 暴雨逕流對污染物之影響

本研究限於時間、費用未對暴雨逕流所造成之逕流對水質污染物稀釋現象做出研究，但是張榮保 (2005)，指出梅林小流域逕流量與非點源污染相關分析

TP :  $M_{TP}=2.7436Q^{0.3799}$ .....R=0.9834  
NH<sub>4</sub>-N :  $M_{NH_4-N}=9.5015Q^{0.5307}$ ..... R=0.9554  
NO<sub>3</sub>-N :  $M_{NO_3-N}=10.38Q^{0.474}$ .....R=0.9884  
COD<sub>Mn</sub> :  $M_{CODMn}=37.392Q + 39.258$ .....R=0.9714  
BOD<sub>5</sub> :  $M_{BOD_5}=4.8099Q^{0.803}$ .....R=0.9809

結果表明，暴雨逕流對農業非點源污染在梅林小流域污染物的影響的非常可觀的。

1. 正磷酸鹽

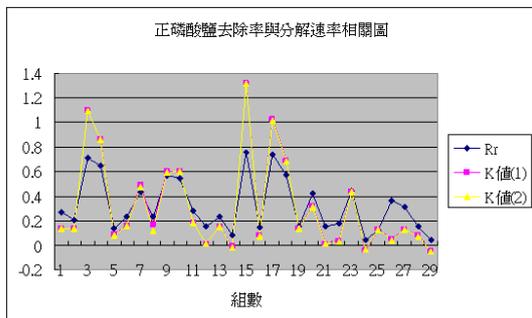


圖 4.1

2. 氨態氮

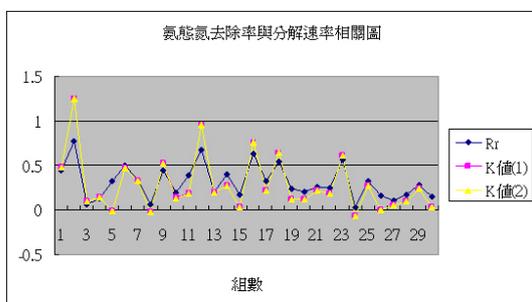


圖 4.2

3. 硝酸態氮

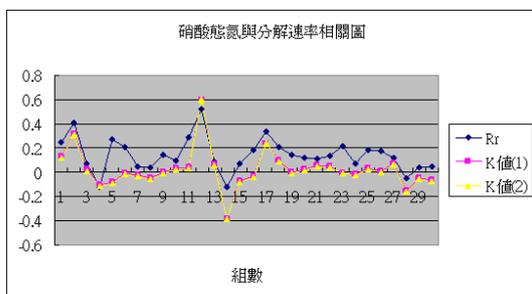


圖 4.3

4. 化學需養量

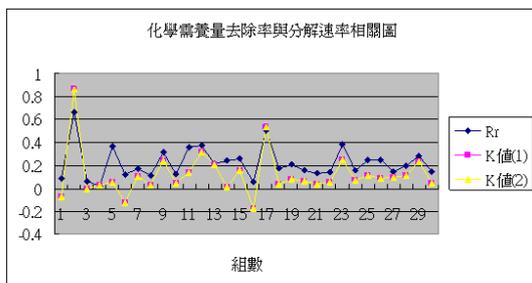


圖 4.4

5. 懸浮性固體

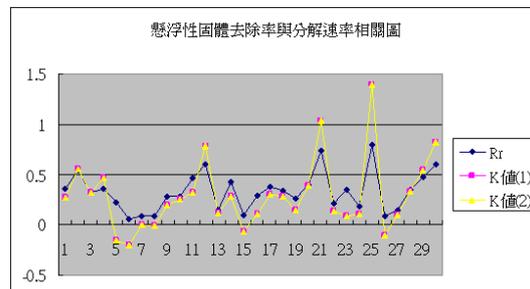


圖 4.5

6. BOD<sub>5</sub>

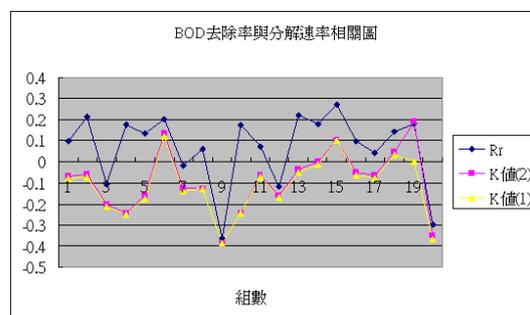


圖 4.6

表 4.4.1 方法一：未標準化之簡單迴歸式污染物去除率與分解速率 (k1)

污染物去除率名稱	分解速率	簡單迴歸式	R <sup>2</sup>
正磷酸鹽	k1	正磷酸去除率 = 0.150 + 0.555*正磷酸 k 值	0.901
氨態氮	k1	氨態氮去除率 = 0.148 + 0.580*氨態氮 k 值	0.865
硝態氮	k1	硝態氮去除率 = 0.126 + 0.724*硝態氮 k 值	0.709
化學需氧量	k1	化學需氧量去除率 = 0.145 + 0.640*化學需氧量 k 值	0.883
懸浮性固體	k1	懸浮性固體去除率 = 0.183 + 0.509*懸浮性固體 k 值	0.881
BOD <sub>5</sub>	k1	BOD <sub>5</sub> 去除率 = 0.732 + 0.838*BOD <sub>5</sub> k 值	0.535

表 4.4.2 方法一：標準化之簡單迴歸式污染物去除率與分解速率 (k1)

污染物去除率名稱	分解速率	簡單迴歸式	R <sup>2</sup>
正磷酸鹽	k1	正磷酸去除率 = 0.757*正磷酸 k 值	0.883
氨態氮	k1	氨態氮去除率 = 0.824*氨態氮 k 值	0.877
硝態氮	k1	硝態氮去除率 = 0.848*硝態氮 k 值	0.469
化學需氧量	k1	化學需氧量去除率 = 0.989*化學需氧量 k 值	0.850
懸浮性固體	k1	懸浮性固體去除率 = 0.770*懸浮性固體 k 值	0.838
BOD <sub>5</sub>	k1	BOD <sub>5</sub> 去除率 = 0.382* BOD <sub>5</sub> k 值	0.367

表 4.4.3 方法二：未標準化之簡單迴歸式污染物去除率與分解速率 (k2)

污染物去除率名稱	分解速率	簡單迴歸式	R <sup>2</sup>
正磷酸鹽	k2	正磷酸去除率 = 0.152 + 0.553*正磷酸 k 值	0.900
氨態氮	k2	氨態氮去除率 = 0.148 + 0.580*氨態氮 k 值	0.865
硝態氮	k2	硝態氮去除率 = 0.131 + 0.723*硝態氮 k 值	0.712
化學需氧量	k2	化學需氧量去除率 = 0.145 + 0.64*化學需氧量 k 值	0.883
懸浮性固體	k2	懸浮性固體去除率 = 0.183 + 0.509*懸浮性固體 k 值	0.881
BOD <sub>5</sub>	k2	BOD <sub>5</sub> 去除率 = 0.175 + 0.961* BOD <sub>5</sub> k 值	0.581

表 4.4.4 方法二：標準化之簡單迴歸式污染物去除率與分解速率 (k2)

污染物去除率名稱	分解速率	簡單迴歸式	R <sup>2</sup>
正磷酸鹽	k2	去除率 = 0.758*正磷酸 k 值	0.879
氨態氮	k2	氨態氮去除率 = 0.824*氨態氮 k 值	0.877
硝態氮	k2	硝態氮去除率 = 0.813*硝態氮 k 值	0.430
化學需氧量	k2	化學需氧量去除率 = 0.989*化學需氧量 k 值	0.723
懸浮性固體	k2	懸浮性固體去除率 = 0.770*懸浮性固體 k 值	0.838
BOD <sub>5</sub>	k2	BOD <sub>5</sub> 去除率 = 0.307* BOD <sub>5</sub> k 值	0.087

## 五、結論與建議

1. 方法一、二 (Mathematica、Excel) 探討的所得結果為六種污染物 (正磷酸鹽、氨態氮、硝酸態氮、生物需氧量、化學需氧量、懸浮性固體) 分解速率，如正磷酸鹽在方法一為 0.1371 (1/hr) 在方法二為 0.134774 (1/hr)。
2. 本研究另外探討六種污染物 (正磷酸、氨態氮、硝酸態氮、生物需氧量、化學需氧量、懸浮性固體) 去除率與分解速率簡單迴歸分析 (95%信賴區)，以正磷酸為例：
 

方法一  
未標準化：正磷酸去除率 = 0.150 + 0.555

正磷酸 k 值  $R^2=0.901$

標準化：正磷酸去除率 = 0.757\*正磷酸 k 值  $R^2=0.883$

方法二

未標準化：正磷酸去除率 = 0.152 + 0.553\*正磷酸 k 值  $R^2=0.900$

標準化：去除率 = 0.758 正磷酸 k 值  $R^2=0.879$

其它五項污染物簡單迴歸式，詳如表 4.4.1 至表 4.4.6 所示。

3. 本實驗方法一為週期性污染負荷方法-CFSTR，原本是運用於湖泊學，其假設的污染物濃度是均勻的，由理論推演過程中，污染物進流濃度如不均勻或流量變化大時，代入水田 (淺水層)，宜試驗後加以適當修正，以符合實際再使用此方法計算。
4. 本實驗設計採用六種設計污染物，十六重複，所以比較沒有污染物會產生交桿作用的情形，然而此實驗所推估出來的污染物去除率與分解速率的簡單迴歸式資料，可做為以後設計人工濕地水質處理濾材與植物和土壤三者之間，判斷是否污染物有交桿作用 (interaction effect) 的參考根據。
5. 此研究在運用方法一、二的公式時，可接續的計算分解污染物所需的停留時間、水體體積、水力負荷，也可以利用相關性分析找出與各污染物的主要因子，再利用複迴歸的方式，列出每種污染物之複迴歸式。
6. 本研究限於時間、精力，未對暴雨逕流對水質污染物稀釋現象加以探討，但在復育時，要特別要注意，在復育期間是否有暴雨流經正在復育的農田，暴雨可能會挾帶其它非點源污染到復育的農田，使得污染物進流濃度急速變化，這將會導致復育失敗，需重新試驗配置。

## 參考文獻

1. 王東勝, (2004), 「水體農業非點源污染危害及其控制」。
2. 行政院農委會, (2000), 「水土保持技術規範」, 中華水土保持學會。
3. 范正成、張尊國、鄭克聲, (1995), 「農業用地非點源污染調查及最佳作業之研究(一)」, 行政院環保署委託計畫報告。
4. 范正成、張尊國、鄭克聲, (1996), 「農業用地非點源污染調查及最佳作業之研究(二)」, 行政院環保署委託計畫報告。
5. 范正成、張尊國、鄭克聲, (1996), 「農業用地非點源污染調查及最佳管理作業之研究(四)」, 行政院環境保護署委託計畫報告。
6. 范正成、張尊國、鄭克聲, (1999), 「農業用地非點源污染調查及最佳作業之研究(IV)」, 行政院環保署委託計畫報告。
7. 張榮保等, (2005), 「太湖地區典型小流域非點源污染物流失規律——以宜興梅林小流域為例」, 長江流域資源與環境, 第14卷, 第1期。
8. 陳耀茂, (2003), 統計分析手冊, 全華科技圖書股份有限公司。
9. 陳盈利, (2004), 「人工濕地在河川水質改善之應用研究」, 碩士論文, 屏東科技大學環境工程與科學系。
10. 曾建貴, (2000), 「水平流式生物濾床行硝化脫氮之研究」, 碩士論文, 屏東科技大學環境工程與科學系。
11. 駱尚廉, 「環境數學」, 茂昌圖書有限公司。
12. John R. MacMillan, (2003), 「Best management practice development to minimize environmental impact from large flow-through trout farms」。
13. Mander U, Kuusemets V, Krista L, *etal.*, (1997,8:299-324), 「Efficiency and dimensioning of riparian buffer zones in agricultural catchments.」 *Ecological Engineering*.
14. Raleigh, NC (Sep 18, 2005 to Sep 22, 2005), 13th National Nonpoint Source Monitoring Workshop.
15. Whigham D F, (1999; 240:31-40), 「Ecological issues related to wetland preservation, restoration, creation and assessment.」 *The Science of the Total Environment*.