

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

利用人工溼地實場系統之生態工法處理社區污水(I)-以人工 溼地系統作為二級處理設施效能的探討

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2211-E-041-003-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：嘉南藥理科技大學環境工程衛生系

計畫主持人：荊樹人

共同主持人：李得元，王姿文，林瑩峰，錢紀銘，邱少婷

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 92 年 10 月 14 日

中文摘要

在自然環境中，溼地是一動、植物種類相當豐富的生態環境，當物質進入溼地中，常可由其中生物將其利用或沉積，因而可應用於去除水中的污染物。本研究主要利用全國第一個已經建立完成之實場人工溼地系統，直接處理社區污水。研究目標為建立以二級處理方式，操作生態淨水系統的最佳操控參數。探討污染物質在溼地中的宿命，藉由分析污染物質的流向分佈，得知污染物的濃度範圍。完成之後，便能以此生態工法直接處理社區污水，進而降低對自然水體的污染量，達到河川與水庫淨化的最終目的。而其研究成果，更可提供將來在生態上，研究溼地演化與觀察溼地污染之指標，作為日後因應去除環境污染物所設置的人工溼地，乃至於自然溼地保育工作之參考，以達到水資源保育與永續利用之目的。

在累積了一年以上的實場操作經驗與各項水質監測的分析數據之後，各污染物在溼地中的淨化效能：BOD₅ 進流水平均濃度為 56.5±20.0 mg/L (n=51)，放流水平均濃度為 12.0±4.6 mg/L，去除率為 78.7%。COD 進流水平均濃度為 115.1±36.0 mg/L (n=59)，放流水平均濃度為 52.5±14.2 mg/L，去除率為 54.4%。SS 進流水平均濃度為 65.6±35.9 mg/L (n=57)，放流水平均濃度為 13.7±5.6 mg/L，去除率為 79.1%。NH₃-N 進流水平均濃度為 19.1±9.7 mg/L (n=54)，放流水平均濃度為 12.5±7.6 mg/L，去除率為 34.8%。TP 進流水平均濃度為 3.55±1.38 mg/L (n=14)，放流水平均濃度為 2.74±1.71 mg/L，去除率為 22.93%。大腸桿菌群平均進流濃度為 12.4×10⁵±11.7×10⁵ CFU/100ml (n=57)，平均放流濃度為 1.6×10⁵±1.5×10⁵ CFU/100ml，去除率達到 87.3%。

關鍵詞：人工溼地、社區污水、污染物宿命、實場操作、生態工程

Abstracts

In a natural environment, wetlands have a wide variety of animal and vegetation species. When pollutants enter a wetland, they may be utilized by the biological species inside the wetland or settled in the sediments so that the wetland systems are often applied in removing pollutants from water.

The main goal of this study is using a built full-size constructed wetland (CW) system to a municipal wastewater from a community.

The major purpose of this study is developing the optimal and control parameters and models for using ecological treatment systems to treat municipal wastewater. The study is proposed to investigate the fate of polluting materials in wetland systems. The whole process is analyzing the distributions of pollutants in the system to study the endurance to pollutants of various macrophytes by observing the speed of plant growth and the ranges of pollutant concentrations.

After the accomplishment of this study, such systems then can be used to treat wastewater from communities, which do not have sewage or treatment systems. The ultimate goal is to clear up the polluted rivers and eutrophic reservoirs by reducing discharge of pollutants to those water bodies.

The results obtained from this study should be able to offer information for

understanding the revolution of wetland ecosystem and the degree of effect on wetland system due to pollution. Furthermore, the results may also be used as references for those constructions of CW in treating environmental pollutants and the protection of natural wetland systems so as to achieve the ultimate goal of the protection and persistent utilization of water resource.

Show removal efficiency of pollutants in CW. BOD₅ of influent is 56.5±20.0 mg/L (n=51) on average, and effluent is 12.0±4.6 mg/L on average. Average removal ratio is 78.7%. COD of influent is 115.1±36.0 mg/L (n=59) on average, and effluent is 52.5±14.2 mg/L on average. Average removal ratio is 54.4%. SS of influent is 65.6±35.9 mg/L (n=57) on average, and effluent is 13.7±5.6 mg/L on average. Average removal ratio is 79.1%. NH₃-N of influent is 19.1±9.7 mg/L (n=54) on average, and effluent is 12.5±7.6 mg/L on average. Average removal ratio is 34.8%. TP of influent is 3.55±1.38 mg/L (n=14) on average, and effluent is 2.74±1.71 mg/L on average. Average removal ratio is 22.93%. Total Coliforms and E-coli of influent is 12.4×10⁵±11.7×10⁵ CFU/100ml (n=57) on average, and effluent is 1.6×10⁵±1.5×10⁵ CFU/100ml on average. Average removal ratio is 87.3%.

Keywords : constructed wetland, municipal wastewater, fate of pollutants, on-site operation, ecological engineering

前言

台灣地處亞熱帶氣候，水溫適中、日照充足，環境條件相當適合人工溼地技術的發展[1-7]。人工溼地技術之缺點為需較大的土地面積，因此較不可能應用在人口密集之都市環境；然而，台灣許多鄉村因工業發展或產業外移，出現許多休耕之農地、漁塭及閒置廠房；且台灣鄉村地區污水工程建設落後，建設時程遙不可及，而污水未經處理排放又造成水體污染及水源缺乏。因此，鄉村地區若能規劃適當地點（如公園預定地或低價呈租休耕農地）設立人工溼地，可在較低的建設經費下提供污水工程建設、保育水資源；而該溼地在適當的規劃管理後，亦可提供鄉民景觀、休憩、生態教育等多功能用途。

二行社區位台南縣南端，近臨兩條遠近馳名的污染河川—二仁溪及三爺宮溪，先天的生態環境不足；但是二行社區居民的環境保護觀念及行動卻是不遺餘力。二行社區於民國 90 年獲環保署所補助的環保示範社區計劃，結合了社區居民的參與，並在嘉南藥理科技大學人工溼地團隊協助下，策劃完成鄉村污水自然淨化系統，處理並再利用二行村產生之家庭污水[8]。本文主要目的乃報導此全國首座以人工溼地技術為主體的自然淨水系統，在啟動操作初期（the start-up phase）之設置操作經驗、污水處理效能、處理水再利用、及景觀與生態保育上之功能。

整個人工溼地系統佔地面積約 1,330m²，由表面自由流動式（free water surface, FWS）及表面下流動式（subsurface flow, SSF）溼地所串聯，溼地後方連接放流水池與抽水池。系統自民國 91 年 1 月中旬進流操作至今，流量由 1~3 月的 10~15 m³/d，逐漸增加至 4~5 月份的 25~30 m³/d 及 6~7 月

份的 33m³/d，現在則持續維持在 45 m³/d。至目前，處理水之各項水質均可符合 90 年新修訂的「放流水標準」，並接近「灌溉用水水質標準」。每日所處理的水均供給鄰近椰子園灌溉、社區及本系統內綠美化植物的澆灌用途，顯著提高椰子產量及節省綠美化用水，實際達到「零排放」的結果。由生物相觀察顯示，溼地週遭已形成完整的生態系統提供生物保育之功能。此處並為社區民眾休憩及環保生態教育之最便利的場所。

文獻探討

生態工法的緣由

「生態工法」最早出現於 1963 年奧登 (H. T. Odum) 之文章中。其後 Mitsch 及 Jorgensen 等人 (1989,1996) 曾分別給予定義及禪述。依據 S.D. Bergen 等人於 1997 年之定義：生態工法是符合生態原則並整合人類和自然環境，以使兩者共存共榮的永續系統之設計。(Ecological engineering is the design of sustainable systems, consistent with ecological principles, that integrate human society with its natural environment for the benefit of both.)

由前述之定義可以看出，生態工法包括幾項要素：

1. 它以生態學為基礎。
2. 生態工法範圍很廣，它可涵蓋各種生態系以及人類和生態系之各種潛在互動關係。
3. 它是一項工程的基礎規劃設計活動。
4. 它的主要目的，至少包括人類之福祉、永續性、生態環境之健康及完整性。
(human benefit, sustainability, ecological health and integrity)

以生態工法為基礎 - 人工溼地系統 (constructed wetland system)

自然溼地在美國某些地區當作廢水排放與收集的用地，至今已有超過一百多年的歷史。當人們開始監測這些接受廢水的自然溼地時，人們便開始認知到溼地淨化水質的潛能，因而逐步模仿，成就了人工溼地的研究熱潮。「人工溼地」是應用生態工程技術，以處理廢(污)水或彌補自然損失的人為設施，具有將污染物涵容同化 (assimilation) 及轉換的能力，也兼具自然溼地生態系統中物理、化學和生物間交互作用處理之特性，既不需能源輸入，也具有不必經常維護管理與自給自足等優點[8]。

溼地是重要的生態系統之一，具有多樣化的功能與類型，在台灣應該獲得重新的認識。尤其，內陸溼地最近受到國際間重新的重視，水資源和流域管理問題更與溼地保護接軌，這些發展值得我國特別重視。至於人工溼地方面，在國際間已經有相當普遍之應用，對於廢(污)水之處理、調洪、暴雨逕流的處理，以及景觀生態環境的再造，都有日新月異的成果。

溼地的定義

以棲地保育為觀點 - 溼地在國際上的定義以 1971 年的拉姆薩公約為代表，

其首章內容將溼地定義為「係指沼澤、汾澤、泥碳沼或水域等地區；不管其為天然或人為、永久或暫時、死水或活水、淡水或海水、或兩者混合、以及海水淹沒地區，其水深在低潮位時不超過六公尺者。」此外，在第二章中又對溼地生態範圍作了補充：「可能結合與溼地毗連的河岸、海岸，以及在其中的島嶼或低潮位時水深不超過六公尺的區域。」在此描述下溼地生態包括了更多不同的棲地類型如：河流、湖泊、礁湖、紅樹林、泥碳沼，甚至沿岸的珊瑚礁。另外也包括有一些人造溼地如漁塢、蝦池、水田、灌溉農地、鹽田、水庫、採石坑、污水塘與運河溝渠等。

美國水清潔法案中將溼地定義為「因週期性地面水或地下水所致的水淹或含水飽和的岩石足以在一般正常的環境下，能夠提供給典型的、能在含水飽和土壤狀況中生長的植物，具生長繁衍優勢的地區[9]。」1979年美國魚類及野生動物協會提出一份標題為「Classification of Wetland and Deepwater Habitats of the United State」以科學研究為目的的一般性定義與分類系統[10]，包含了各類溼地棲地型式並將分類系統化。此定義概括地指出溼地為位於陸地系統與水生系統間過渡區域。「水」是決定能否發展此種土壤狀態與其相關的微生物族群的主要因子，同時水位至少需週期性的維持在地表或接近地表、或者成為水淹的狀態。具體來說，得含有下列一種或更多的屬性才被認定為溼地：

1. 水生植物至少週期性的成為地上植物型態中的優勢物種；
2. 介質主要以未排水的還原性土壤為主；
3. 非土質介質在每年生長季中的某段時期為飽和含水或是處於水淹狀態。

必須注意的是在此定義下，溼地地區雖然要存在有還原性土壤與水生植物，然而此項條件的要求卻並非百分之百。

人工溼地的功能與機制

人工溼地系統生態內包括了在水中及底泥裡的各類生物，如大型動植物、微生物、原生動物等，因此水中的各類物質在此生態中均有其循環的機制。某些物質會在循環機制中離開系統，有些則可能累積在系統中。一個達到穩定狀態的溼地系統（如自然溼地），對水中物質去除的能力有限而且緩慢。如果要加速溼地系統中污染物的去除速率，則需加入人為的操作及控制行為，這便是應用人工溼地的一個重要目標。例如，磷酸鹽在一個封閉的生態系統中，會不斷循環累積，但若將生物體自系統中持續的移除，則能有效地減少系統中磷酸鹽的含量，並且增進系統對污水中磷酸鹽的去除效能。由於影響人工溼地系統的因素十分繁複，包括氣候、土壤性質、植物種類、廢污水特性、操控參數等。因此，必須建立適用於本土的資料庫以及操控參數，才能達到有效地利用人工溼地系統淨化廢污水的目的。

研究目的

利用在二行社區所建立之人工溼地系統，探討以實場人工溼地系統直接處理

社區污水效能之研究。

實驗方法

1.人工溼地系統

人工溼地場址總佔地面積約 1,330 m²，由表面自由流動式 (free water surface, FWS) 及表面下流動式 (subsurface flow, SSF) 溼地所串聯，溼地後方連接放流水池與抽水池 (圖 1)。FWS 溼地約佔地 492m²，為一渠道總長 104.5 m、寬 4.2 m、水深 0.5 m 的 S 型渠道；底部覆土 30 cm 並種植香蒲 (*Typha orientalis Presl.*) 及蘆葦 (*Phragmites australis L.*)。SSF 溼地長 14.4 m、寬 5 m、水深 0.8 m，放置石頭並種植蘆葦。放流水池亦為景觀池，長 12.2 m、寬 5 m、水深 0.8 m，池中除種植香水蓮花外，並放養鯉魚。抽水池長為 4.2 m、寬 8 m、水深 0.8 m，其功能為貯留處理後污水，以方便處理水再利用。整個系統於 90 年 11 月底先後完成整地、挖地、鋪設不透水層及土壤礫石工作，在完成種植水生植物後，並開始引進該社區之生活污水，起初不定期進流主要提供溼地植物培育。

2.水力負荷

系統自民國 91 年 1 月中旬以每日定時方式進流操作，流量由 1~3 月的 10 ~ 15 m³/d (HRT 9.0 day，水力負荷 0.03 m/d)，逐漸增加至 4~5 月份的 25~30 m³/d (HRT 5.4 day，水力負荷 0.05 m/d) 及 6~7 月份的 33 m³/d (HRT 4.5 day，水力負荷 0.07 m/d)，現在則持續維持在 45 m³/d (HRT 3.3 day，水力負荷 0.09 m/d)。

3.水質分析

本研究依圖 1. 所示採樣點以每週一到二次之頻率現場偵測水質參數 (pH、DO、ORP、水溫、導電度)，並採集水樣攜回實驗室進行各項水質分析，分析項目包括：BOD₅、COD、TSS、NH₃-N、NO₂⁻-N、NO₃⁻-N、TKN、PO₄-P、TP、葉綠素 a、濁度、E-coli 等。所有水質分析及偵測項目均依照環境檢驗所公告之檢驗方法。

結果與討論

由表 1 可知系統放流水的導電度平均值為 1522±895 μs/cm (n=56) 明顯高於灌溉用水水質標準 750 μs/cm 達一倍之多，原因可能在於二行村人工溼地系統進流水來自一般污水溝渠，其後方有多處漁塭設置，每到收成時候，大量含有高鹽度及高導電度的漁塭地下水便宣洩而出，常造成排水溝疏通不及而倒灌至系統設置於排水溝偏上處的集水井內。灌溉用水水質標準導電度的訂定，主要針對未受地下水影響的系統放流水，而二行村人工溼地系統放流水在未受地下水影響的導

電度平均值範圍介於 100 ~ 680 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 之間，是符合法規標準的。

系統進流水中的濁度與懸浮固體物之平均濃度分別為 53 ± 29 NTU ($n=51$) 及 65.6 ± 35.9 mg/L ($n=57$)，離開系統時已大幅下降至 32 ± 28 NTU 及 26.3 ± 9.5 mg/L，表示濁度與懸浮固體物在進入系統初期已取得相當良好的去除效果。氨氮進流水平均濃度為 19.1 ± 9.7 mg/L ($n=54$)，污水進入系統後，在 HRT 為 0.8 與 1.7 day 時，平均濃度分別降至 17.4 ± 7.5 與 16.3 ± 7.5 mg/L，原因來自氨氮在進入溼地系統初期，為植物生長所攝取，亦被水中微生物藉由硝化作用的進行而轉變成為亞硝酸氮；但進入中段後，HRT 為 2.5、3.4 day 及 4.3、5.1 day 時，平均濃度分別為 15.9 ± 7.2 、 15.2 ± 7.5 mg/L 及 14.7 ± 7.4 、 14.1 ± 7.1 mg/L，此時去除效果並不明顯，推測原因為枯萎的植體開始將氨氮重新釋放回承受水體，使其濃度升高，而系統便在此不停地轉化分解與重新釋放中取得一種動態的平衡，而維持在一定範圍的濃度 (圖 2)；放流水平均濃度為 12.5 ± 7.6 mg/L，氨氮整體去除率為 34.8%。

磷的去除機制主要靠 FWS 溼地系統中物理性的沉降與吸附及污水中微生物的分解和部分植物的攝取，以及 SSF 溼地系統中生物膜的吸附。在生活污水進入系統初期，水力停留時間為 0 ~ 0.8 day 的時候，磷的平均濃度因去除機制而有下降的趨勢 (3.55 ± 1.38 下降至 3.42 ± 0.91 mg/L)；但到了水力停留時間為 1.7 day 時，磷的平均濃度卻急劇上升 (3.74 ± 1.64 mg/L)，判斷其原因可能是地點適逢水道轉彎處，剛好又有一些鳥類在此棲息築巢，再加上蜥蜴、烏龜與鳥類常會將植物踩彎或踩斷，造成植物的斷枝殘幹在水中腐化，故此處磷含量才會大幅上升。隨後到了水力停留時間為 2.5 與 3.4 day 時，磷的平均濃度才又慢慢下降 (3.32 ± 1.32 下降至 3.19 ± 1.50 mg/L)；此時曲線(圖 2)竟趨於平緩而又開始逐步攀升，推測可能原因為在水力停留時間為 4.3 與 5.1 day 的地點，磷隨著植物的死亡、分解而釋出回到承受水體 (3.23 ± 1.45 上升至 3.34 ± 1.62 mg/L)，水體進入 SSF 溼地系統後，礫石阻隔了上方枯萎的植物與表層下的水體直接接觸，降低了磷重回承受水體的量，加上 SSF 溼地系統中礫石生物膜的吸附，才使得磷在此時有較顯著的去除效果 (2.74 ± 1.71 mg/L)，總磷在系統的去除率則為 22.93%。

化學需氧量主要由系統啟動期、系統穩定期及逐步增加負荷三部份來論述。剛開始三個月 (2002/06~2002/08) (圖 4)，系統仍屬啟動期，未對進流水質完全適應，加上植物還有許多生長空間，未達完全穩定，故此時濃度變化呈現較不規則起伏 (COD 進流水平均濃度為 83.4 ± 27.2 mg/L，放流水平均濃度為 37.5 ± 16.9 mg/L，去除率為 55.0%)。六個月後 (2002/06~2002/11) (圖 5)，系統完全適應生活污水的水質，水生植物也已達完全覆蓋，此時系統穩定，濃度趨勢也較為平滑，而經過系統後的出流濃度也相當穩定 (COD 進流水平均濃度為 94.8 ± 24.5 mg/L，放流水平均濃度為 45.5 ± 14.6 mg/L，去除率為 52.0%)。最後則是將已經穩定的系統之進流負荷不斷提高，以探討其操作極限及系統處理效能 (2002/06~2003/03) (圖 6)，由圖中發現，即使進流濃度不斷提高，系統依然維持相當穩定的去除效能，且其濃度變化趨勢亦平順的逐步遞減 (COD 進流水平

均濃度為 115.1 ± 36.0 mg/L, 放流水平均濃度為 52.5 ± 14.2 mg/L, 去除率為 54.4%)

生化需氧量在初期 (2002/06~08) (圖 7) 即有相當顯著的處理效果 (BOD₅ 進流水平均濃度為 53.0 ± 11.6 mg/L, 放流水平均濃度為 12.0 ± 1.6 mg/L, 去除率為 77.4%)。加上穩定度高, 在系統持續操作六個月後 (2002/06~11) (圖 8), 濃度變化趨勢已趨於穩定平順 (BOD₅ 進流水平均濃度為 50.6 ± 17.8 mg/L, 放流水平均濃度為 9.1 ± 3.4 mg/L, 去除率為 82.0%)。圖 9 為系統連續操作十個月後

(2002/06~2003/03), 進流水平均濃度為 56.5 ± 20.0 mg/L, 在 HRT 為 0.8 day 時, 生化需氧量平均濃度已大幅下降至 34.4 ± 14.7 mg/L, 此後可能由於植體的腐化與藻類的分解而造成的一些好氧性行為, 減緩了整個系統生化需氧量的降解過程, 不過其放流水平均濃度還是維持在相當低的 12.0 ± 4.6 mg/L, 去除率則為 78.7%。

由九十年放流水標準所公告之社區下水道 - 大腸桿菌群的放流水標準為 2×10^5 (CFU/100ml)。而大腸桿菌群 = 總大腸菌類 + 糞便類大腸菌, 所以溼地系統的大腸桿菌群平均進流濃度為 $12.4 \times 10^5 \pm 11.7 \times 10^5$ (CFU/100ml), 平均放流濃度為 $1.6 \times 10^5 \pm 1.5 \times 10^5$ (CFU/100ml), 去除率達到 87.3%。

結論與建議

二行社區溼地系統累積了一年以上的實場操作經驗與各項水質監測的分析數據之後, 各污染物在溼地中的淨化效能: (1) BOD₅ 進流水平均濃度為 56.5 ± 20.0 mg/L, 放流水平均濃度為 12.0 ± 4.6 mg/L, 去除率為 78.7%; (2) COD 進流水平均濃度為 115.1 ± 36.0 mg/L, 放流水平均濃度為 52.5 ± 14.2 mg/L, 去除率為 54.4%; (3) SS 進流水平均濃度為 65.6 ± 35.9 mg/L, 放流水平均濃度為 13.7 ± 5.6 mg/L, 去除率為 79.1%; (4) NH₃-N 進流水平均濃度為 19.1 ± 9.7 mg/L, 放流水平均濃度為 12.5 ± 7.6 mg/L, 去除率為 34.8%; (4) TP 進流水平均濃度為 3.55 ± 1.38 mg/L, 放流水平均濃度為 2.74 ± 1.71 mg/L, 去除率為 22.93%; (5) 大腸桿菌群平均進流濃度為 $12.4 \times 10^5 \pm 11.7 \times 10^5$ CFU/100ml, 平均放流濃度為 $1.6 \times 10^5 \pm 1.5 \times 10^5$ CFU/100ml, 去除率達到 87.3%。由以上結果顯示各項污染物經人工濕地處理後, 大多數能符合放流水及灌溉用水標準。

計畫成果自評

本研究於計畫執行期間, 共計發表 3 篇研討會論文, 並訓練一研究生發表「以實場人工溼地系統直接處理社區污水效能之研究」碩士論文,

研討會論文作者與篇名如下:

1. 王淑珍, 荊樹人, 林瑩峰, 李得元, 吳俐玲, 張純穎, 施凱鐘, 游程凱, 2003, 人工溼地對於常見致病菌削減的能力, 第八屆水再生及再利用研討會, 台中。
2. 吳堅瑜, 荊樹人, 林瑩峰, 李得元, 游程凱, 宋金樹, 張天化, 2003, 以實場人工溼地系統直接處理社區污水效能之研究, 第二十八屆廢水處理技術研討會, 台中。
3. 陳欽昭, 荊樹人, 林瑩峰, 李得元, 游程凱, 樓仲軒, 2003, 氧化塘與人工溼

地系統連接操作處理社區污水，第二十七屆廢水處理技術研討會，台北。

參考文獻

1. Jing S.R., Lin Y.F, Lee D.Y. and Wang T.W. “Use CW Systems to Remove Solids from Highly Polluted River Water”, *Water Science and Technology: Water Supply*, 1(1), pp. 89-96, (2001).
2. Jing S.R., Lin Y.F., Lee D.Y. and Wang T.W. “Nutrient Removal from Polluted River Water by Using Constructed Wetlands”, *Bioresource Technology*, 76(2), pp. 131-135, (2001).
3. Jing S.R., Lin Y.F., Lee D.Y. and Wang T.W. “Microcosm wetlands for wastewater treatment with different hydraulic loading rates and macrophytes” *Journal of Environmental Quality*, 31 (2), pp. 690-696, (2002).
4. Lin Y.F., Jing S.R., Lee D.Y. and Wang T.W. “Nutrient removal from aquaculture wastewater using a constructed wetlands system”, *Aquaculture*, 209(1-4), pp. 169-184, (2002a).
5. Lin Y.F., Jing S.R., Wang T.W. and Lee D.Y. “Effects of macrophytes and external carbon sources on nitrate removal from groundwater in constructed wetlands”, *Environmental Pollution*, 119 (3), pp. 413-420, (2002b).
6. Lin Y.F., Jing S.R., Lee D.Y. and Wang T.W. “Removal of solids and oxygen demand from aquaculture wastewater with a constructed wetland system in the start-up phase”, *Water Environment Research*, 74(2), pp. 136-141, (2002c).
7. Lin Y.F., Jing S.R. and Lee D.Y. “The potential use of constructed wetlands in a recirculating aquaculture system for shrimp culture”, *Environmental Pollution*, accepted for publication, (2002d).
8. 林瑩峰，1999，「溼地對於水資源之保育管理及永續利用 - 子計畫三：水產養殖廢水之人工溼地處理及循環再利用之研究【I】」，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告 (NSC88-2621-Z-041-001)，台北市。
9. Mitsch W. J. and Gosselink J. G., (1993) “Wetlands”[溼地]. (章盛傑，邱文雅譯)，地景出版社，1998。
10. Mitsch W. J., (1993) Landscape design and the role of created, restored, and natural riparian wetlands in controlling nonpoint source pollution. In Smoley C. K., Ed., “Created and natural wetlands for controlling Nonpoint Source Pollution. U.S. EPA.

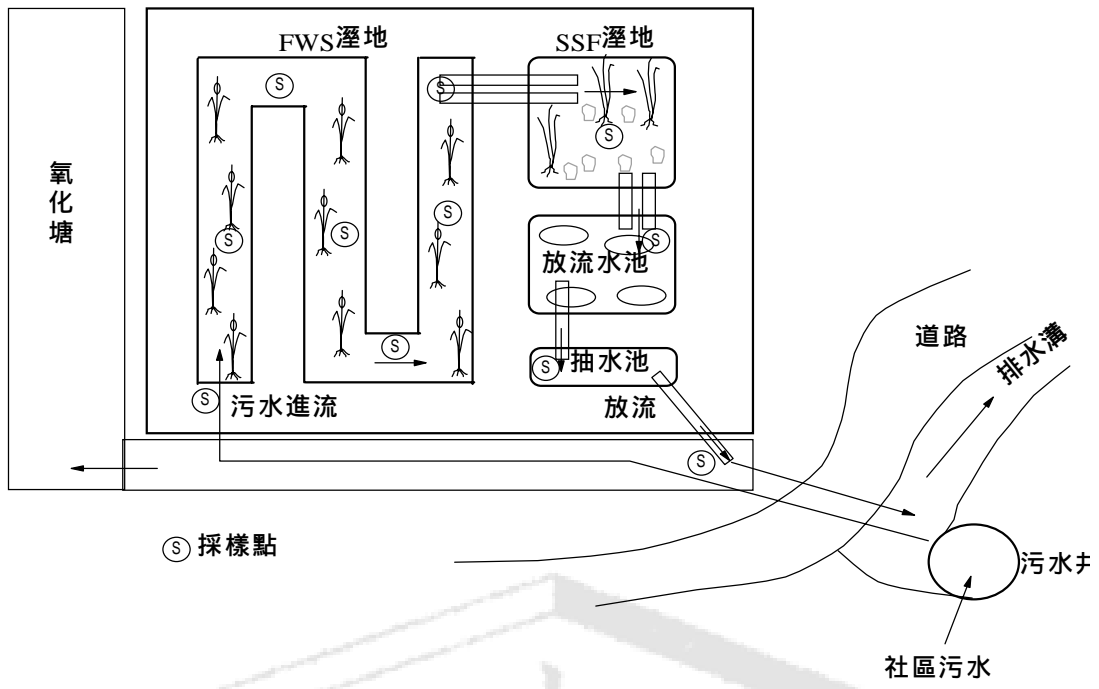
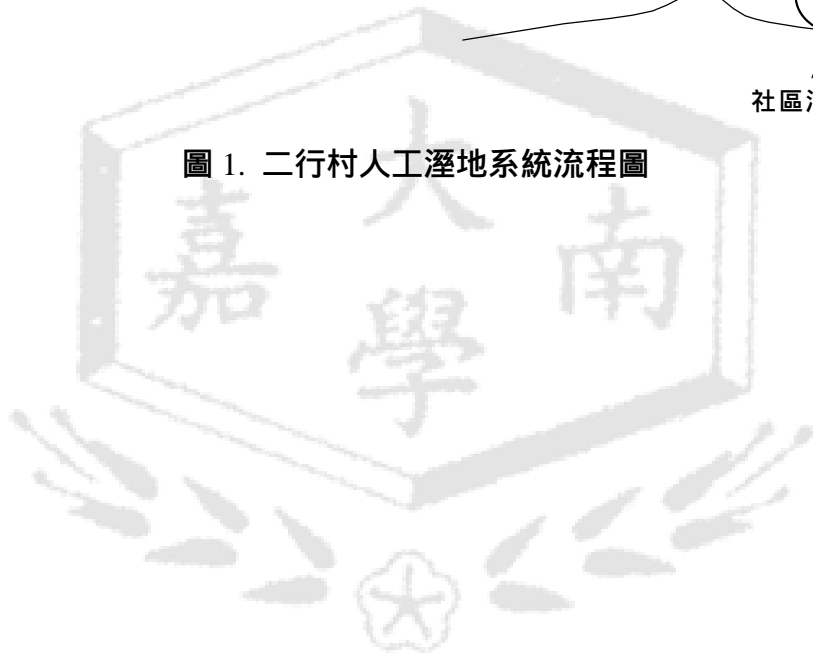


圖 1. 二行村人工溼地系統流程圖



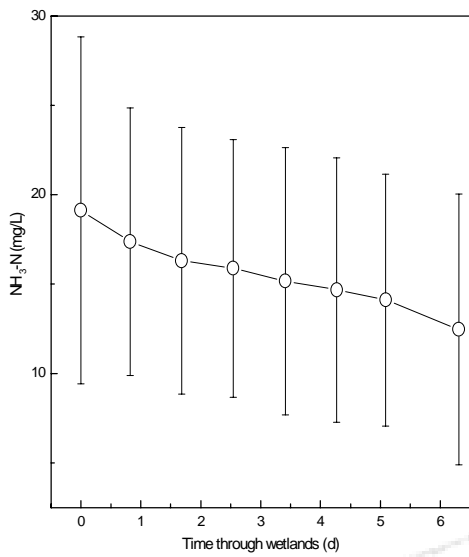


圖 2 氨氮隨流經溼地的時間的濃度變化

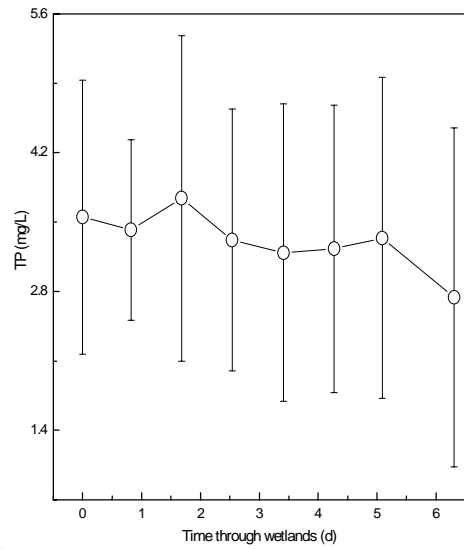


圖 3 總磷隨流經溼地的時間的濃度變化

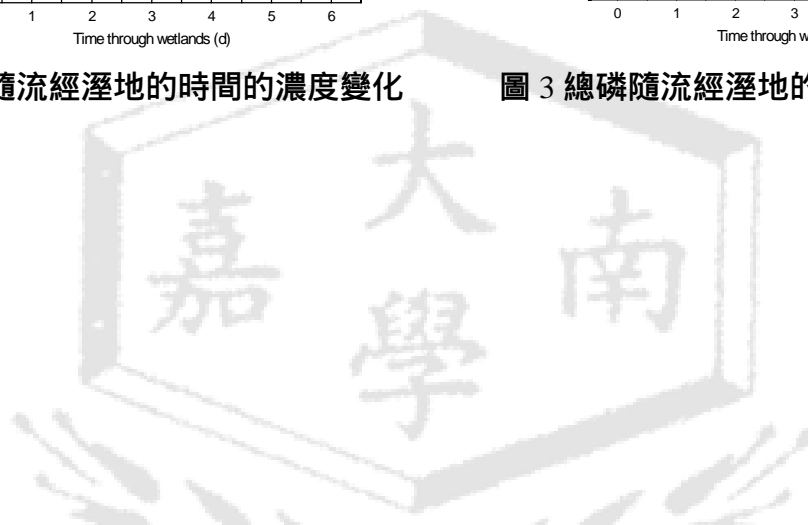


表 1. 溼地系統進流水及放流水水質平均濃度分析結果 (2002/4~2003/3)

分析項目	水溫 °C	pH	導電度 (μs/cm)	濁度 (NTU)	SS (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	TP (mg/L)	COD (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	大腸桿菌群 (CFU/100ml)
進流水	25.7±4.6 (n=57)	7.6±0.2 (n=57)	2548±2955 (n=56)	53.0±28.8 (n=51)	65.6±35.9 (n=57)	17.4±8.5	3.6±1.4	115.1±36.0	56.5±20.0	12.4×10 ⁵
放流水	25.6±4.2 (n=57)	7.3±0.1 (n=57)	1522±895 (n=56)	12.0±10.8 (n=51)	13.7±5.6 (n=57)					
去除率 (%)				77.6	79.1					
90 年放流水標準(社區下水道)					30					
灌溉用水水質標準	35	6.0~9.0			100					

圖 4 生化需氧量隨流經溼地的時間的濃度變化

(2002/06~2002/08)

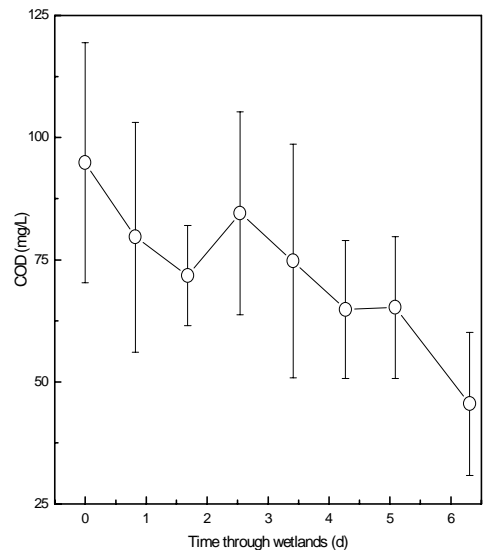


圖 5 化學需氧量隨流經溼地的時間的濃度變化

(2002/06~2002/11)

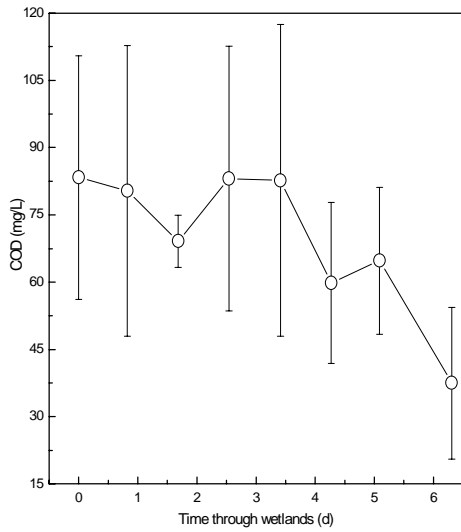


圖 6 化學需氧量隨流經溼地的時間的濃度變化 (2002/06~2003/03)

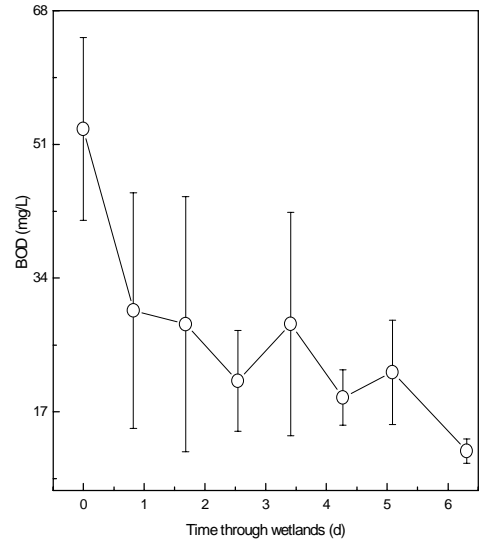


圖 7 生化需氧量隨流經溼地的時間的濃度變化 (2002/06~2002/08)

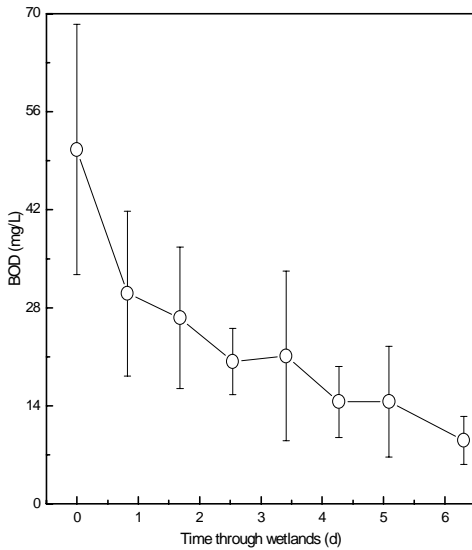


圖 8 生化需氧量隨流經溼地的時間的濃度變化 (2002/06~2002/11)

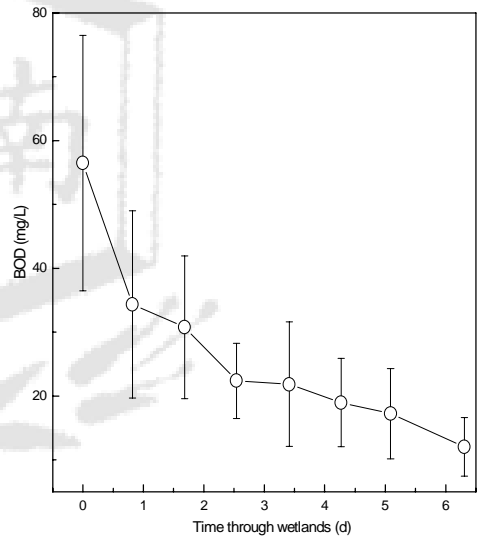


圖 9 生化需氧量隨流經溼地的時間的濃度變化 (2002/06~2003/03)

