

嘉南藥理科技大學 103 年度教師研究補助計畫
結案報告

計畫名稱：以難分解廢棄物作為潛流式人工濕地微生物擔體淨化水質新型

技術開發

計畫類型：一般個人型研究

計畫編號：CN10322

計畫主持人：錢紀銘 副教授

計畫執行單位：環境資源管理系

執行期限：公告日起至民國 103 年 12 月 31 日止

摘要

本研究主要探討分別使用 A、B 兩組相同表面上流式人工溼地串聯卵石填充材與廢輪胎填充材之潛流式人工溼地，藉以比較兩種相異之填充材料對處理溶解性污染物之差異，並以生化需氧量、氨氮、硝酸氮、總磷為主要參考對象，結果顯示在生化需氧量上 A、B 兩組人工溼地總去除率可達 91.38%與 92.66%，且單看 SSF 單元廢輪胎填充材並不亞於卵石填充材；就氨氮而言，由於實驗期間 FWS 單元之氧化還原電位平均為 7.1~8.5mV，電位過低亦較不利於氨氮硝化作用之進行，以致去除率相形文獻較低分別約為 43.68%、40.51%；A 系統 FWS 單元平均硝酸氮出流濃度為 $0.81\pm 0.41\text{mg/l}$ ，SSF 單元平均硝酸氮出流濃度為 $1.10\pm 0.81\text{mg/l}$ ，B 系統 FWS 單元硝酸氮平均出流濃度約為 $0.75\pm 0.47\text{mg/l}$ ，而 SSF 單元平均硝酸氮出流濃度為 $0.38\pm 0.49\text{mg/l}$ ，顯示廢輪胎填充材單元對降解硝酸氮毋需啟動期且之效果比卵石填充材單元略好；A、B 系統 FWS 總磷去除率分別為 19.92%、22.87%，而 A 系統 SSF 單元去除率範圍約為 1.78%~25.02%，而 B 系統 SSF 單元對總磷的處理最為亮眼去除率高達 9.5%~95.27%。本研究成果確立廢輪胎填充材替代卵石填充材應用於溼地工程上和處理廢污水的潛能，亦可降低建在人工溼地成本。

關鍵字：人工溼地、生化需氧量、氨氮、總磷、廢輪胎碎片

一、前言

由於天然資源的枯竭，為了確保生態及經濟的永續發展，未來水利土木、環境保護等公共工程之用料勢必朝節能化和再利用化方向發展，台灣地區天然砂石料源開發也已面臨短缺及政治因素之瓶頸。反觀隨著經濟的繁榮，汽、機車工業的蓬勃發展，全世界每年生產輪胎總數約有二十億到三十億個，就台灣而言每年也有十萬噸廢輪胎產量(環保署基管會，2008)，而東南亞也因汽機車數量的大量增加，導致輪胎棄置的數量急劇上升，如此大量的廢輪胎產量，使我們必須面對未來所將造成的環境衝擊。由於輪胎性質非常穩定，且具有韌性，故無法以機械力壓實，又可在自然環境中持續一百年以上而不致腐壞。因此，會破壞掩埋場的良好覆蓋和佔據大量空間，使得掩埋場縮短使用年限，故不適合與一般廢棄物一起掩埋；若隨意堆置，遇雨積水，易增生病媒蚊。另外，廢輪胎若堆積貯存不慎，起火燃燒，不但造成空氣污染，所產生的熔油、熔渣亦會滲入地下，造成土壤及地下水的污染，對環境有莫大的影響。

目前國內、外廢輪胎再利用的方式有翻胎，輪胎回收後重新再製後可重覆再使用，減少廢輪胎產生，此方法對人身安全有虞，故市場快速萎縮中；也可將輪胎燃燒，回收熱量做為燃料或替代能源，由於其成分複雜，燃燒計畫必須配合空污防治設備，以免有顧此傷彼之失；也可進行無氧加熱加以裂解成燃油、燃氣、鋼絲、碳黑等有價物，但因成本高昂較不經濟，以致難以推動。原型再利用主要善用輪胎性質非常穩定、具有韌性且不易腐壞等特性，運用於其他公共工程實務上如：港灣護墊、防落石坡、人工魚礁和各種海河工程等。由於廢輪胎的組成複雜，因此，在再利用取向及環境衝擊風險都需要

經過完善的評估才較為適宜。國外 Edil 及 Park 兩位教授對輪胎做一連串的溶出試驗，其結論為輪胎切碎後不具危險性，也以化學分析表示輪胎切碎並不會釋出任何重金屬及有機污染物(U.S.EPA 之 129 種優先列管有害物質)；國內高雄市政府環保局「南星計畫」使用廢輪胎及爐石製成消波塊以保護新生地，並實施環境品質監測，至今尚未偵測出廢輪胎排放污染物。由此可知，原型再利用或切碎運用皆不會造成環境污染，具可行性。

本研究為探討廢輪胎碎片填充材作為代替卵石填充材之可行性，此舉如可行，不僅解決水污染問題，又可增加廢輪胎之再利用性，對減廢也有一大助益。反觀東南亞等地，也逐漸面臨廢輪胎棄置的問題，且考量其經濟狀況，較昂貴的處理設備成本的投入不易，只能以焚燒掩埋等方式，若規劃不良，將對整個生態有莫大的影響，所得結果可作為未來人工溼地系統設計的規劃參考與依據。

二、文獻回顧及探討

由於人工溼地(constructed wetland)處理系統具有省能源、低成本、無二次污染、操作維護簡單、不破壞生態等優點，於世界各國皆有廣泛之應用案例，不同的填充材介質之對系統處理效能也有顯著的影響。李等人(2001)以二階段人工濕地去除生活污水中之營養鹽研究中，將岸沙作為人工溼地介質，以二個槽體模擬表面流動式系統與水平地下流動式系統，將之串連成為二階段式人工濕地模型。研究結果發現，介質本身對磷的吸附量在操作前、後沒有明顯差異，顯示介質無吸附效果。去除效果推測主要由沈降、微生物及沈積層的吸附、以及透過微生物的代謝過程來完成。實驗結果顯示總凱氏氮去除率為 80%，氨氮去除率約為 85%，亞硝酸氮去除率為 99%，硝酸氮為 90%，總磷平均去除率約為 79%，正磷酸鹽約為 77%。賴等人(2002)於以人工溼地處理工業廢水之研究中，使用兩個槽體分別種植蘆葦及香蒲模擬表面流動式人工溼地系統，以沉砂池廢砂及瀘渣做為介質處理工業區污水，實驗結果，蘆葦槽去除率：BOD₅ 73~90%、TKN 36~66%、TP 28~39%。香蒲槽去除率：BOD₅ 73~83%、TKN 15~43%、TP 9~24%。李旭東(2005)於三種人工溼地脫氮除磷效果比較研究中，利用沸石介質潛流式系統、礫石介質潛流式系統及自由表面流溼地系統進行對照試驗，於相同水力與污染負荷下，沸石潛流式系統脫氮效果最好，總氮去除率達 60%；礫石潛流式系統除磷效果最佳，總磷去除率達 70%，自由表面流式系統之脫氮除磷效果則介於他們兩者。國外學者 Korkusuz et.al(2005)在潛流式人工溼地中分別使用高溫爐渣及礫石作為介質填充材，發現 COD 去除率分別為 47%和 44%，其效率幾乎不受介質種類影響。爐渣床與礫石床之正磷酸鹽去除率分別為 44% 以及 1%，總磷去除則為 45% 和 4%。爐渣之去除含磷污染物效果比礫石為佳，主要因為爐渣比礫石容易形成生物膜且爐渣之表面積較大可以吸附更多污染物。而爐渣床與礫石床之氨氮去除率分別為 88% 和 53%，總氮 44% 和 39%，爐渣去除含氮污染物之效果比礫石為佳。蔡皓程(2007)於垂直流人工溼地氮循環過程研究與操作機制探討實驗中，利用天然濾料垂直流人工溼地系統之概念，移除校園污水廠二級放流水之殘餘營養鹽，以及探討氮循環的機制。使用六支不同尺寸之管柱為溼地反應槽，其內所填充的介質濾料分別為廢棄混凝土塊、牡蠣殼、9mm 大理石、3mm 大理

石、1.5mm 大理石及 0.5mm 河砂；而操作方式為滿管批次、滿管連續流與滴濾連續流等三種，以探討各種特性組合之處理機制。研究結果發現使用批次操作方式中，係以河砂濾床對於氨氮去除效果最好約 46.6%；使用滿管連續流方式操作時，以廢棄混凝土塊濾床效果最好約為 42.8%；若使用滴濾連續流方式操作，則以 3mm 大理石濾床對於氨氮去除率最佳約 91.1%。

前述之討論可知，人工溼地之替代性填充材包括岸沙、爐渣、蠔殼、沸石、營建廢棄物、大理石、爐石等，經相關研究可發現對各類污染物皆有其處理效能。而前述替代性填充材之取材主要著眼於資源回收與再利用方面，有鑑於此，本研究乃以廢輪胎為人工溼地 SSF 系統之替代填充材，藉以探討其對人工溼地處理之影響。

三、實驗佈置與分析

本專題研究主要以模擬廢輪胎與卵石不同溼地填充材條件下觀察系統對含氮污染物降解及穩定特性變化，由於實驗期間較短，主要藉由氨氮、硝酸鹽、亞硝酸鹽等參數評估該系統之對含氮污染物的控制效能及其可行性。本專題研究相關實驗研究細節說明如下：

1. 實驗模場的建置規劃

本專題研究實驗場址規劃於嘉南藥理科技大學活動中心頂樓，計有兩組表面上流式 (Free water surface, FWS) 串聯潛流式 (subsurface flow system, SSF) 人工濕地系統，其長、寬、高分別為 1m*0.6m*0.5m 槽體。在 FWS 系統底部鋪入厚約 15cm 的土壤，以便植栽臺灣濕地常見之本土植物香蒲 (*Typha orientalis Presl.*)。而 SSF-A 系統中填入的填充材為礫石，粒徑為 30~40mm，起始孔隙率實際量測約為 39%；SSF-B 系統之填充材則為廢輪胎碎片，其粒徑同為 30~40mm，孔隙率實際量測約為 52%，水生植物則選用臺灣濕地常見之本土植物；蘆葦 (*Phragmites communis L.*) 如圖 1 所示。系統之操作流量規劃為 90(ml/min)，其水力負荷為 0.216(m³/m²/d)，操作時，每日人工配製人工廢水，其 BOD₅ 約為 110 mg/L；氨氮約為 34 mg/L，總磷約為 4 mg/L，有機 BOD 負荷約為 2.38×10⁻² kg · BOD⁵/m² · D。

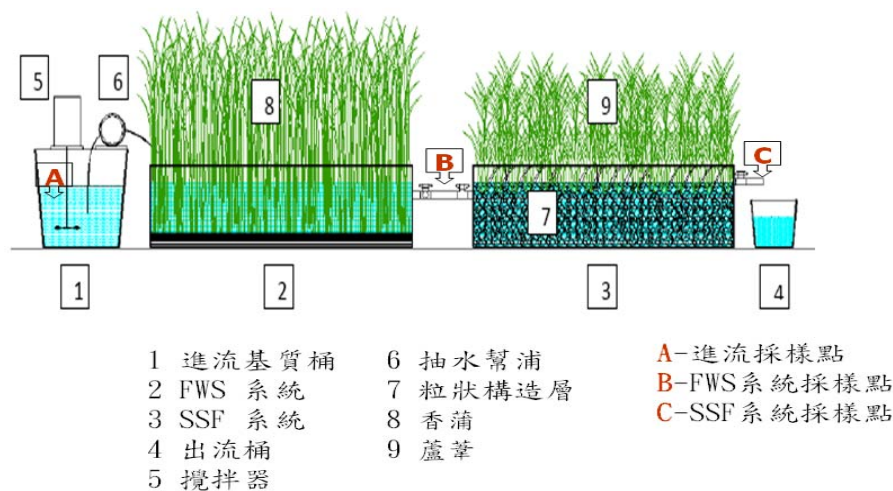


圖 1 人工濕地系統示意圖



2. 實驗模場水質之採樣與分析

人工溼地系統完成後經過二個月穩定及植物培植後，才可以在 A、B、C 點分別進行各項採樣、監測及分析工作，採樣頻率為每週一次，採樣時間約在當天之上午 8 點~上午 10 點，實驗分析包括現場監測與實驗室分析兩類，專題研究所有分析皆依照行政院環境保護署所公告之檢測方法進行。

(1)現場監測：每次採樣同時進行現場監測，在UP、DP採樣點，量測各點距水面下約10~15 cm的水溫、pH值、氧化還原電位（ORP）及導電度（Electrical conductivity）。

(2)實驗室分析：每次以500mL PVC瓶在相同監測位置採集水樣，並且在實驗室中進行各項水質分析，其分析項目包含有生化需氧量、氨氮、總磷等，檢測方法如表1所示。

表 1 水質檢測方法彙整

檢測項目	檢測方法
水溫	NIEA W217.51A
生化需氧量	NIEA W510.54B
氨氮	NIEA W448.51B
總磷	NIEA W427.52B
導電度	NIEA W203.51B

四、結果與與討論

人工濕地之污染降解處理機制頗為複雜，其作用涵蓋物理性、化學性、生物性等類型（USEPA, 2000），諸如沉澱、氧化還原反應、生物性作用等，本研究由於空間限制，反應槽之長寬比僅為 1.6：1，遠小於一般之 10：1，其流況較難呈現柱塞流特性，對於物理性沉澱之顆粒污染物(particulate pollutants)除而言，其實驗結果之參考價值相對較低，因此，本研究主要探討卵石填充材與廢輪胎填充材為潛流式人工溼地填充對處理溶解性污染物差異之實驗。溼地的生化反應受到諸多重要環境因子的影響，其中水溫的在系統中扮演重要的角色。又本研究期間長達 293 天，溫度隨日夜與季節的不同而有週期性的變化，水溫則隨氣溫的增減而變動。實驗期間各單元之平均溫度，如表 3 所示。溫進流水平均溫 $25.8\pm 3.6^{\circ}\text{C}$ ，A 系統 FWS 單元平均溫 $24.8\pm 3.5^{\circ}\text{C}$ ，A 系統 SSF 單元平均溫 $25.9\pm 3.1^{\circ}\text{C}$ ，B 系統 FWS 單元平均溫 $25.3\pm 3.5^{\circ}\text{C}$ ，B 系統 SSF 單元平均溫 $26.2\pm 3.1^{\circ}\text{C}$ 。且於第 36 天有試程最高溫 31.6°C ；第 103 天有最低溫 16°C ，亦可藉此觀察溫度對系統含氮污染物降解之影響。

潛流式人工濕地為一種生物處理單元，是藉由廢水與接觸材料表面附著生長之生物膜相接觸，廢水中有機物被吸著進行進行生物氧化分解及生物細胞合成作用。由文獻可知，不同的材質具有不同的性質及孔隙，皆會影響廢水處理的效果，從圖 2 卵石床(Gravel bed)與廢輪胎碎片床(RTC bed)初始的孔隙率分別為 39.2%、52.2%，廢輪胎床具有較卵石床大的孔隙，推測原因為廢輪胎由橡膠所製成，因而具有彈性，無法緊密壓實而使得



廢輪胎填充材系統之孔隙率略大於礫石填充材系統，這也有利於其根系與生物膜的發展。而經 250 天後，孔隙率分別降至 27%、30.5%，降幅達 12.2%和 21.7%，廢輪胎床具有較大降幅，可能廢輪胎碎片呈不規則狀，提供較大表面積附著較多的微生物所致。

圖 4 為 BOD 濃度變化歷時圖，BOD 進流濃度平均為 109.02 ± 3.48 mg/L；A 系統 FWS 平均出流濃度為 14.93 ± 9.38 mg/L，去除率為 86.37%；A 系統 SSF 平均出流濃度為 9.48 ± 6.66 mg/L，去除率為 25.36%；B 系統 FWS 平均出流濃度為 13.03 ± 9.12 mg/L，去除率為 88.11%；B 系統 SSF 平均出流濃度為 8.06 ± 6.63 mg/L，去除率為 27.89%，總去除率平均為 91.38%與 92.66%。兩系統 FWS 單元皆具有良好之去除率，隨溫度開始升高其去除率也越來越好，B 系統 SSF 單元因無人為收割行為，冬季植物大量枯死以致去除率略低於 A 系統外，其後也隨溫度上升，去除率也慢慢高於 A 系統。Rousseau et al.(2004) 將 FWS 與 SSF 串聯結合處理高負荷有機污染物，BOD 去除率達 91%，本研究兩系統之去除率則為 $91.38 \pm 5.85\%$ 與 $92.66 \pm 6.02\%$ ，效率相去不遠。而本研究 SSF 單元之廢輪胎填充材去除率亦不亞於傳統卵石填充材去除率。

含氮污染物對水環境生態而言係一非常重要營養物質，同時，亦是水體主要污染物質，常以氨氮、亞硝酸氮、硝酸氮存在，其中涵蓋不同類型的生化反應，以致去除不易，在水體累積影響環境，主要去除機制為硝化作用（nitrification）與脫硝作用（denitrification），前者係指氨氮在好氧環境中經亞硝酸菌第一階段氧化成亞硝酸氮再經硝酸菌第二階段氧化成硝酸氮之過程，而後者則為脫硝菌在缺氧的環境下將硝酸氮轉化為氣態之氮與氧化亞氮之過程。FWS 串聯 SSF 系統人工濕地即符合含氮污染物去除環境，因此，許多應用皆以二級放流水再淨化為主。本研究於人工合成廢水中以氨氮（NH₄-N）為主要污染物，藉以觀察含氮污染物之濃度與去除率之歷時變化，並探討廢輪胎填充材應用於潛流式人工溼地之

表 2 人工溼地單元之平均水溫統計表

天數	IN Flow	A-FWS	A-SSF	B-FWS	B-SSF
1~43	28.8(2.4)	28.7(2.3)	29.6(1.9)	28.9(2.2)	29.4(1.9)
51~139	21.8(1.7)	21.1(1.6)	22.8(1.5)	21.6(1.7)	22.9(1.5)
144~212	25.6(0.7)	24.4(0.8)	25.4(1.0)	24.8(1.0)	25.9(1.2)
215~293	29.7(1.4)	27.9(1.0)	28.3(1.3)	28.6(0.7)	29.3(0.8)

※ 括號內數值為標準偏差值（n=37）。



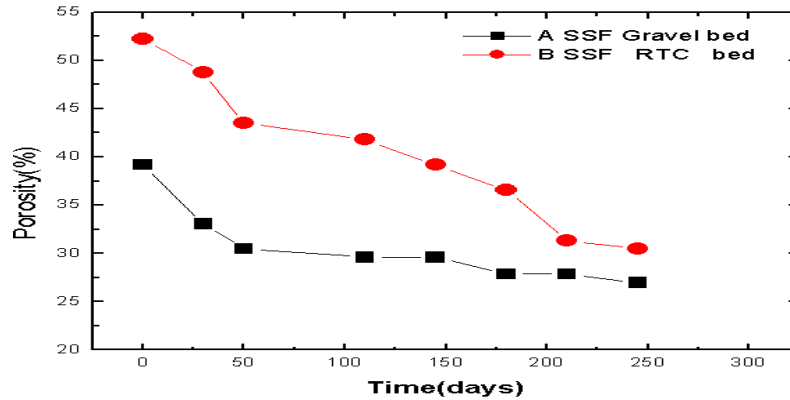


圖 2 人工溼地 A、B 系統 SSF 單元孔隙率

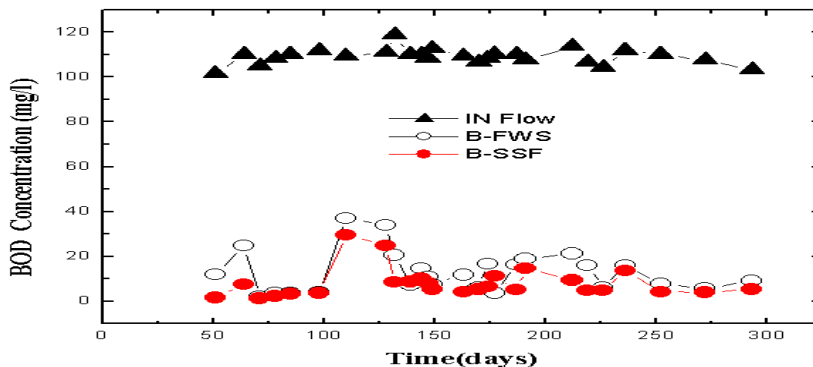
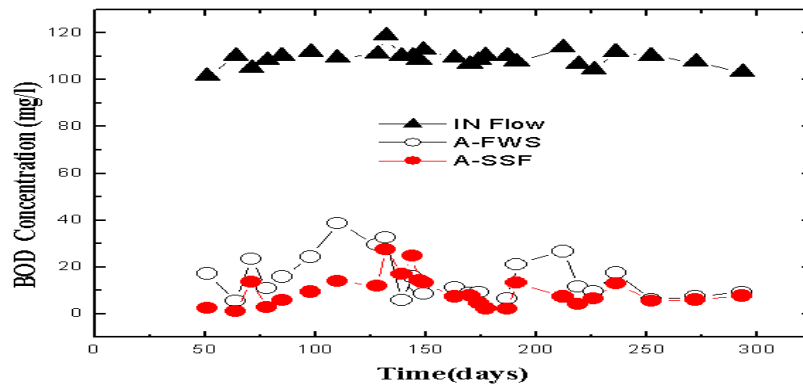


圖 3 人工溼地 A、B 系統進流與出流之 BOD 濃度變化歷時圖

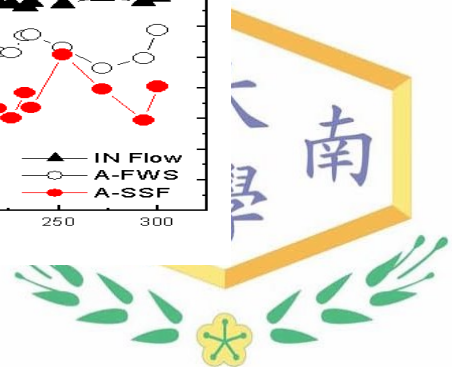
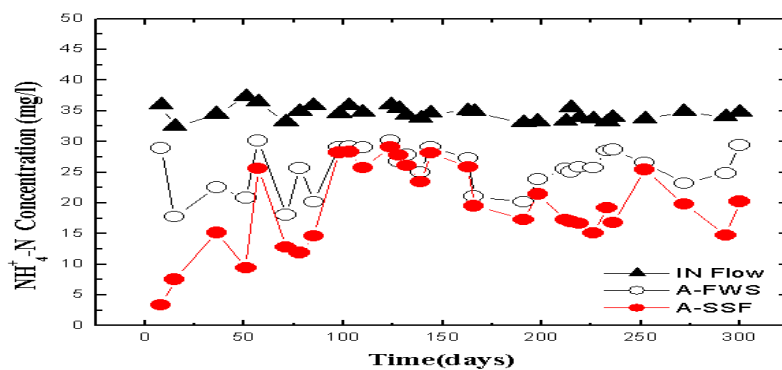
可行性。本研究相關結果如圖 4；實驗期間，氨氮進流濃度平均為 34.52 ± 1.15 mg/l，A 系統 FWS 單元平均出流濃度為 25.54 ± 3.64 mg/l，A 系統 SSF 單元平均出流濃度為 19.45 ± 6.77 mg/l。B 系統 FWS 單元平均出流濃度為 24.66 ± 3.95 mg/l，B 系統 SSF 單元平均出流濃度為 20.49 ± 7.10 mg/l，顯示兩系統 FWS 單元降解污染的效果相差不多，而 B 系統 SSF 單元卻因植物枯死，去除效率低於系統 A。系統初始種植於 A、B 系統 SSF 單元之蘆葦生長狀況皆良好，冬季(1月-2月)時兩系統蘆葦大量枯黃，又無人為採收行為，A 系統於春季(3月)時已重長新枝，但 B 系統卻略顯枯死且未再發新枝，後因頂樓的強風及飛禽類的糞便帶來新品種的種子，4 月時大量的繁殖求生植物，此品種為木本



科的水稗(*Echinochloa crusgalli* (L.) P. Beauv.)及莎草科的異花莎草(*Cyperus difformis* L.)，去除率也因植物的生長而漸趨穩定且優於系統 A 的傳統卵石床。此經驗也印證，人工濕地在無強調「人工」的情況下，也有其自身延續的生態機制。相較於王等人(1998)之高去除率(89.3%~98.63%)，本研究之氨氮總去除率明顯過低分別為 43.68%、40.51%，其主要原因係該研究之理論水力停留時間為 4days，而本研究僅約 2days，較短之停留時間明顯不利於污染物之去除，另者，實驗期間 FWS 單元之氧化還原電位平均為 7.1~8.5mV，電位過低亦較不利於氨氮硝化作用之進行，以致去除率相形較低。

而當氨氮氧化後即形成亞硝酸氮，該物質較不穩定，為一中間產物，進而氧化成硝酸氮，實驗結果顯示兩系統各單元的濃度都相當低，因此亞硝酸氮不多加著墨。圖 5 為硝酸氮歷時變化，由圖可觀察到 A 系統之 SSF 單元於 0~50 濃度較 B 系統 SSF 單元高，原因可能是 A 系統出使孔隙率小於 B 系統，而導致流場不均，使廢水流經進而遠離底部缺氧區塊所致。進流水硝酸氮平均濃度約為 $1.50\pm 0.81\text{mg/l}$ ，A 系統 FWS 單元平均硝酸氮出流濃度為 $0.81\pm 0.41\text{mg/l}$ ，SSF 單元平均硝酸氮出流濃度為 $1.10\pm 0.81\text{mg/l}$ ，B 系統 FWS 單元硝酸氮平均出流濃度約為 $0.75\pm 0.47\text{mg/l}$ ，而 SSF 單元平均硝酸氮出流濃度為 $0.38\pm 0.49\text{mg/l}$ ，顯示廢輪胎填充材單元對降解硝酸氮毋需啟動期且之效果比卵石填充材單元略好。

在生活污水中含磷污染物質是常見污染物之一，尤其磷為植物成長之重要營養物質之一，通常亦為限制性元素，故此類物質進入承受水體後即可能對原有生態環境造成重大之影響，對於此一污染物之去除亦為人工溼地重要課題之一，本研究實驗期間，系統之總磷進流濃度平均為 $4.03\pm 0.08\text{mg/L}$ ，由圖 6 可發現 B 系統 SSF 單元一開始即有亮眼的去除率高達 95.27%，猜測去除效果良好的主要經由高孔隙率及附著較多的藉由生物膜中微生物及沈積層的吸附、以及透過微生物的代謝過程來完成，至第 100 開始去除率漸漸下降至最低點 9.5%，原因為冬天氣溫驟降至 17°C ，且栽種之蘆葦開始乾枯，直至第 212 天氣溫回暖，外來的水稗及異花莎草的生長去除率又逐漸升高。反觀 A、B 系統 FWS 單元出流濃度分別為 $3.23\pm 0.39\text{mg/l}$ 與 $3.11\pm 0.31\text{mg/l}$ ，去除率僅有 19.92%、22.87%，處理效率頗為相近，又看 A 系統 SSF 處理效率不甚明顯範圍約 1.78%~25.02%，更能確立廢輪胎填充材相較卵石填充材更有處理含磷廢水的潛勢。



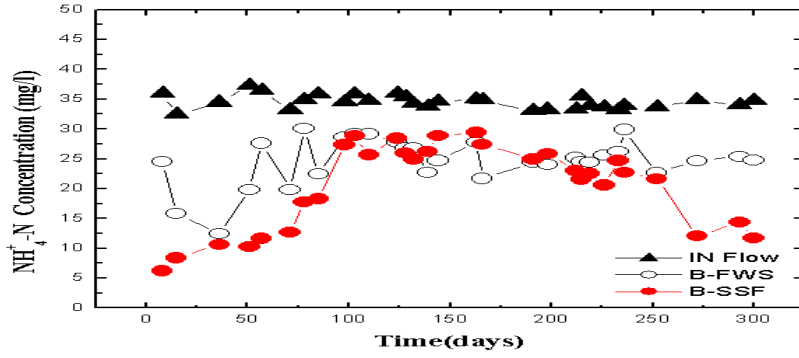


圖 4 人工溼地 A、B 系統進流與出流之氨氮濃度變化歷時圖，

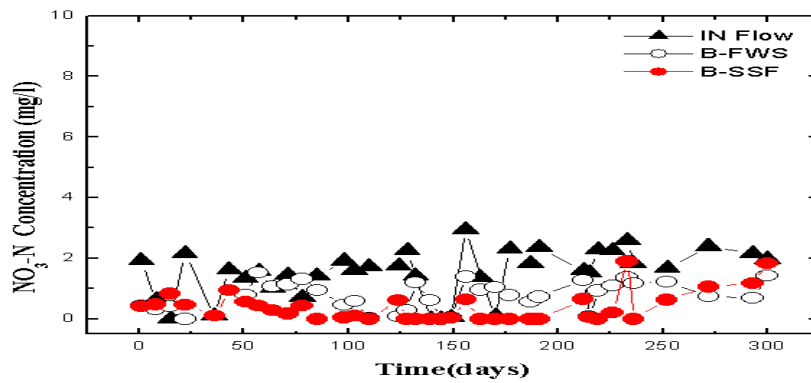
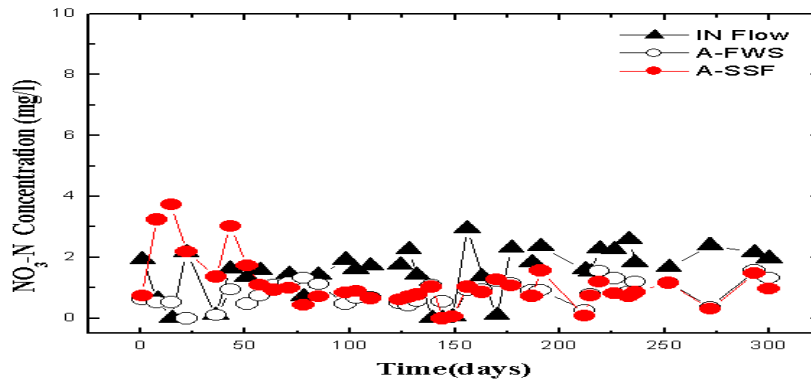
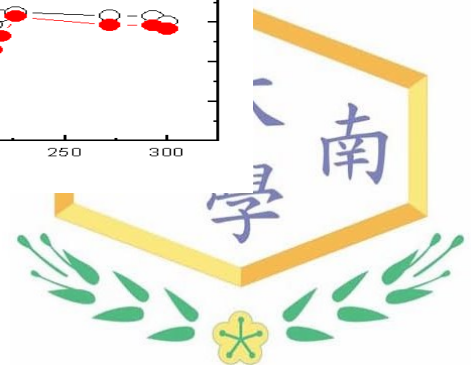
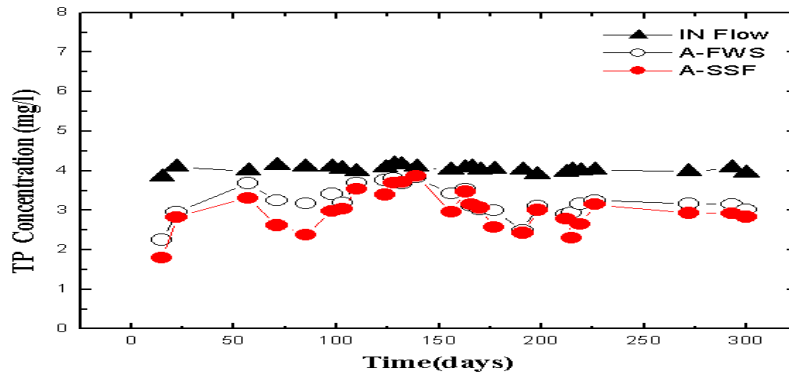


圖 5 人工溼地 A、B 系統進流與出流之硝酸鹽氮濃度變化歷時圖



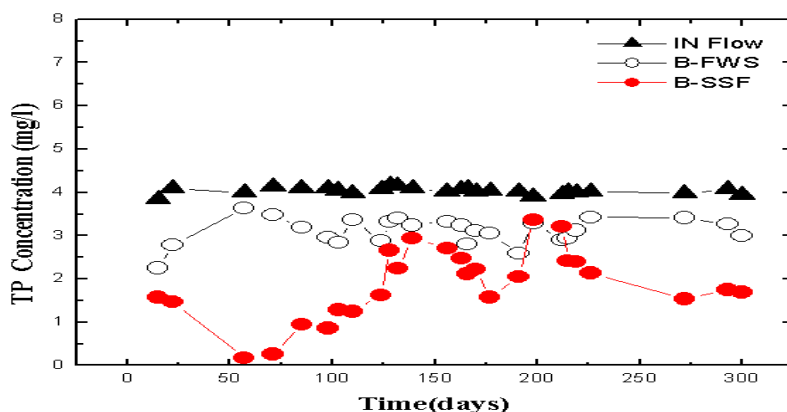


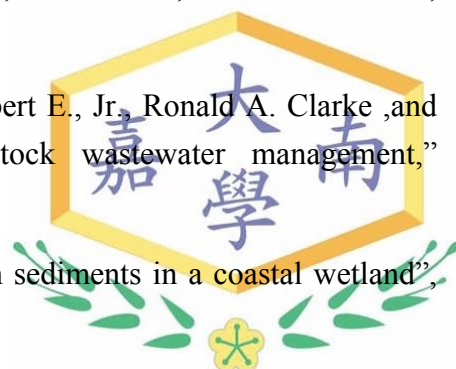
圖 6 人工溼地 A、B 系統進流與出流之總磷濃度變化歷時圖

五、結論

本研究主要探討分別使用 A、B 兩組相同表面上流式人工溼地串聯卵石填充材與廢輪胎填充材之潛流式人工溼地，藉以比較兩種相異之填充材料對處理溶解性污染物之差異，並以生化需氧量、氨氮、硝酸氮、總磷為主要參考對象，結果顯示在生化需氧量上 A、B 兩組人工溼地總去除率可達 91.38%與 92.66%，且單看 SSF 單元廢輪胎填充材並不亞於卵石填充材；就氨氮而言，由於實驗期間 FWS 單元之氧化還原電位平均為 7.1~8.5mV，電位過低亦較不利於氨氮硝化作用之進行，以致去除率相形文獻較低分別約為 43.68%、40.51%；A 系統 FWS 單元平均硝酸氮出流濃度為 $0.81\pm 0.41\text{mg/l}$ ，SSF 單元平均硝酸氮出流濃度為 $1.10\pm 0.81\text{mg/l}$ ，B 系統 FWS 單元硝酸氮平均出流濃度約為 $0.75\pm 0.47\text{mg/l}$ ，而 SSF 單元平均硝酸氮出流濃度為 $0.38\pm 0.49\text{mg/l}$ ，顯示廢輪胎填充材單元對降解硝酸氮毋需啟動期且之效果比卵石填充材單元略好；A、B 系統 FWS 總磷去除率分別為 19.92%、22.87%，而 A 系統 SSF 單元去除率範圍約為 1.78%~25.02%，而 B 系統 SSF 單元對總磷的處理最為亮眼去除率高達 9.5%~95.27%。

六、參考文獻

1. Griffin, P., Jennings, P., and Bowman, E., "Advanced nitrogen removal by rotating biological contactors, recycle and constructed wetlands," *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 40, No.4-5, pp.383-390(1999).
2. Kadlec, H.K. and Knight, R.L. *Treatment Wetlands*, CRC Press, Lewis Publishers, (1996).
3. Knight, Robert L., Jr., Victor W.E. Payne, Borer, Robert E., Jr., Ronald A. Clarke, and Pries, John H., "Constructed wetlands for livestock wastewater management," *Ecological Engineering*, Vol. 5, pp.41-55(2000).
4. Lau, S.S.S. & Chu, L. M., "Contaminant release from sediments in a coastal wetland", *Water Research*, Vol.33, No.4, pp.909-918, (1999)



5. Lim, P.E., Wong, T.F., and Lim, D.V., "Oxygen demand, nitrogen and copper removal by free-water-surface and subsurface-flow constructed wetlands under tropical conditions," *Environment International*, Vol. 26, pp.425-431(2001).
6. Neralla, Srinivasan , Weaver, Richard W., Lesikar, Bruce J.,and Persyn, Russell A. Persyn, "Improvement of domestic wastewater quality by subsurface flow constructed wetlands," *Bioresource Technology*, Vol. 175, pp.19-25(2001).
7. Rousseau, Diederik P. L., Vanrolleghem, Peter A.,and Pauw, Niels De , "Constructed wetlands in Flanders: a performance analysis," *Ecological Engineering*, pp.151-163(2004).
8. Sakadevan, K.,and Bavor, H. J., "Nutrient removal mechanisms in constructed wetlands and sustainable water management," *Wat. Sci. Teach.*, Vol. 40, No 2,PP.121-128(1999)
9. Stone, K.C. Stone, Poach, M.E., Hunt, P.G.,and Reddy, G.B. , "Marsh-pond- marsh constructed wetland design analysis for swine lagoon wastewater treatment," *Ecological Engineering*, Vol. 23, pp.127-133(2004).
10. USEPA, *Manual-Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewater*, EPA/625/R-99/010, (2000).
11. 王姿文、林瑩峰、荊樹人、李得元、宋玉齡、陳欽昭、陳香瑩、簡嘉佑，「種植不同本土型水生植物之小型人工濕地淨化污水之效能比較」，第 23 屆廢水處理技術研討會論文集，高雄市(1998)。
12. 「南星計畫中程計畫第四期環境品質監測計畫書」高雄市政府環保局(2000)。
13. 荊樹人、林瑩峰、李得元、王姿文、謝紫煌、葉宇光，「水力負荷對人工溼地處理污染河水氮磷的影響」，第 25 屆廢水處理技術研討會論文，斗六市(2000)。
14. 許文明、黃益助、王信雄、許啟裕、楊偉崙，「以現地及小型人工溼地探討數種水生植物淨化養豬廢水之效能比較」，第 26 屆廢水處理技術研討會論文，高雄市(2001)。
15. 李黃允，「以二階段人工溼地去除生活污水中之營養鹽」，國立中山大學環境工程研究所，碩士論文，(2001)。
16. 羅瑋琪、楊磊，「以人工濕地處理煉油及煉鋼廢水之研究」，第 27 屆廢水處理技術研討會論文，(2002)。
17. 賴恩華，「以人工溼地處理工業廢水之研究」，國立中山大學環境工程研究所，碩士論文，(2002)。
18. 羅瑋琪、楊磊，「以人工溼地處理煉油及煉鋼廢水之研究」，第 27 屆廢水處理技



術研討會論文，台北市(2002)。

19. 許原哲、荊樹人、林瑩峰、林敏朝、翁正哲、李得元、施凱鐘、陳欽昭，「以人工溼地降低醫院放流水中硝酸鹽濃度之研究」，第 28 屆廢水處理技術研討會論文，台中市(2003)。
20. 溫清光、駱莉玲、許福星、林正斌、盧啟信，「氧化塘—漫地流法淨化受污染河水之研究」，第 29 屆廢水處理技術研討會論文，台南市(2004)。
21. 袁菁、連興隆、黃世孟、陳郁文、方湜惠，「人工溼地實驗模組應用於校園水源淨化之研究」，第 29 屆廢水處理技術研討會論文，台南市(2004)。
22. 魏德明，「以人工溼地處理金屬加工業廢水處理廠出流水之研究」，嘉南藥理科技大學環境工程衛生系所，碩士論文，(2008)
23. 行政院環境保護署資源回收基管會網站(2008)，<http://recycle.epa.gov.tw/>。

