

嘉南藥理科技大學專題研究計畫成果報告

計畫編號：CNEE94-08

計畫名稱：感潮人工溼地污染物去除效能之研究

執行期間：94年1月1日至94年12月31日

整合型計畫

個別型計畫

計畫總主持人：

計畫主持人：錢紀銘

子計畫主持人：



中華民國九十五年一月二十日

嘉南藥理科技大學補助教師專題研究計畫成果報告

感潮人工溼地污染物去除效能之研究

Pollutant Degradation of Fresh tidal constructed wetland

計畫編號：CNEE94-08

執行期限：94 年 1 月 1 日至 94 年 12 月 31 日

主持人：錢紀銘 嘉南藥理科技大學環境工程與科學系

一、中文摘要

為探討人工溼地於含鹽水環境中，其溶解性有機污染物降解特性之變化，本研究乃於表面流式(surface water flow, FWS)及潛流式(subsurface water flow, SSF)組合人工溼地之進流基質中加入 1%之氯化鈉之條件下，以探究其污染物降解效能之變化，由本研究之實驗結果可知 FWS 人工溼地於含鹽 1%的條件下，其溶解性有機污染物之去除效率於 7 週內降為不含鹽之對照組系統之 33%，其去除率約為 19.0%~81.8%，平均去除率約為 54.7%，較對照組低 13.8%，至第 9 週時，於挺水性植栽枯死狀況下，其降解效率仍與大致對照組相同，至於潛流系統之結果，受鹽度影響後去除率約為 17.9%~72.7%，平均去除率約為 41.6%，大致與對照組相近。至於組合系統之整體去除率則分別為 77.8%~91.2%與 41.8%~87.3%，顯示鹽度確會造成溼地系統處理效能之負面影響，其處理效率平均下降約 10.9%，同時，系統之不穩定性亦會增加。

關鍵詞：人工溼地、鹽度、有機污染物、降解

Abstract

To investigate the salinity effect on the degradation of organic pollutants in constructed wetland (CW) systems, two systems composed of a free water surface (FWS) bed and a vegetated submerged

(VSF) bed were installed and operated under salinities of 0% and 1%. The emergent plants, cattail and reed, were planted in FWS beds and VSF beds, respectively. According to the results, the BOD₅ reduction in FWS was decreased to a minimum when saline water inflow began for 7 weeks. It was only 33% of FWS CW in fresh water. The cattails were almost withered; however, the reduction of saline CW nearly returned to a similar level for FWS in fresh water in the adaptation period. In this stage, the reduction experienced dramatic variations and ranged 19.0 % ~ 81.8 %. The average was about 54.7% and still 13.8 % lower than that of FWS in fresh water. When saline organic pollutants entered VSF, no evident differences were found between those systems. The reduction was between 17.9 % and 72.7% and the average was 41.7 %. For the combined system of CW, the reduction would be more stable. In fresh water, it ranged 77.8 % ~ 91.2 % and averaged 81.9% whereas; they became 41.8 % ~ 87.3% and 74.7% for saline water. The salinity only lowered the reduction about 7.2 % according to experimental results.

Keywords: constructed wetland, salinity, organic pollutant, degradation

二、緣由與目的

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，依國外經驗，由 45 座表面流式人工溼地之操作結果所歸納之經驗，其 BOD₅ 平均去除率約為 82.7%，而 73 座潛流式人工溼地之 BOD₅ 平均去除率則約為 67.0%^[1]。近年來，台灣為加速解決其水污染問題，除推動各項污染防治與管制策略外，另針對鄉村偏遠地區亦推動污水生態處理工法，於 2003~2004 年間，由環保主管機關所推動之人工溼地相關自然淨水系統之規劃設置即完成 16 座，由此可見該處理法業為台灣環保主管單位大力推動為下水道系統完成前水污染防治之替代方案之一。同時，台灣地區產官學界亦相對投入相關應用研究，其範圍包括受污染自然水體、生活污水、工業廢水、養殖廢水之處理，而研究所涵蓋之系統有表面流式人工溼地及潛流式人工溼地，以 FWS 系統處理都市污水，其 BOD 去除率約為 57.4%^[2]，而將基質改成人工合成廢水，因其成分較為簡單其去除率大幅提昇，其 COD 去除率為 65.7~93.85%^[3]。以 FWS 及 SSF 系統處理工業廢水發現其 COD 去除率僅達 9.16~21.8%，主要原因為廢水中有機成分較複雜，使植物及微生物難以分解^[4]。至於 SSF 系統之應用，於處理校園污水時，其 BOD 去除率為 20~75%^[5]。再者，國內目前在於人工溼地系統選擇時大部份採用 FWS 串聯 SSF 系統，其主要原因為擷取兩種系統之優點，並改善其缺點，用串聯式系統處理受污染河水之 COD 去除率為 16.4~56%^{[6][7][8]}，而處理校園污水時因污水成分較簡單，其 BOD 去除率達 20~75%^{[9][10]}。處理養殖廢水之 COD 去除

率約為 23.7~57.1^[11]。利用氧化塘串聯 FWS 系統，其 BOD 去除率約為 50%，COD 去除率約為 50%^[12]。

綜上述，台灣地區對人工溼地之應用領域進行相關研究，大都集中於淡水人工溼地系統處理效能與機制之探討，惟台灣四面環海，部分偏遠地區或聚落之水路皆屬感潮區域，水體之含鹽量較高，該地區之人工溼地系統勢將受鹽度(salinity)變動之影響，而該地區業有感潮型人工溼地(fresh water tidal constructed wetland)進行規劃設計^[13]，顯見該型溼地已有本土化設計參數之需求，目前台灣人工溼地之相關研究較少論及之含鹽水體環境中，其處理效能之影響，故本研究擬以實驗模場進行鹽度對台灣現有人工溼地處理效能之影響，以為後續設計及改善之參考。

三、實驗分析與佈置

本研究主要係利用人工溼地模場探討鹽度對其處理效能之影響，而為便於探討鹽度效應，實驗時設有二套溼地系統，其中一套為進流基質不加鹽之對照組，另一組則於基質中加入 1% 之食鹽，每套溼地系統皆由 FSF 及 SSF 二單元所組成，如圖 1 所示，各單元皆為塑膠材質之反應槽，長 69cm、寬 47.5cm、高 66cm，FSF 系統底部土壤層厚約 15cm，水深約 45cm，並種植挺水性植物(emergent plant)香蒲(*Typha orientalis Presl.*)。至於 SSF 單元填入 50cm 厚的礫石(直徑約 40~50mm)，孔隙率約為 52%，其間以蘆葦(*Phragmites australis L.*)為主要植栽。FSF 單元空槽總體積(V)約為 156 l，操作流量(Q)為 0.130 m³/day，水力負荷(hydraulic loading)約為 19.8 cm/d，系統之正規停留時間(nominal detention time, $t_n = V/Q$)約為 49.8hrs。

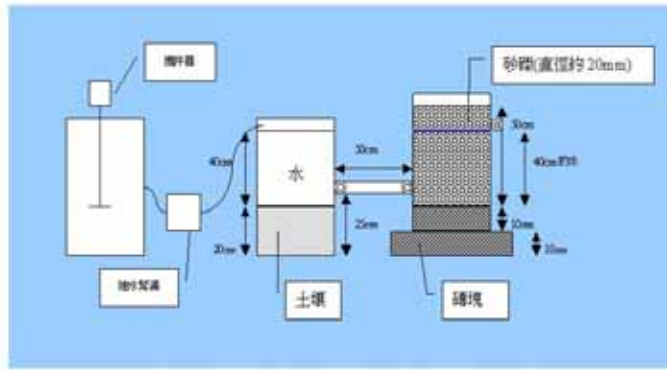


圖 1 人工溼地模場之佈置示意圖

本研究之進流人工廢水係以每日人工配製，其藥品包含果糖(fructose)、氯化銨(NH_4Cl)、磷酸二氫鉀(KH_2PO_4)、硝酸鉀(KNO_3)、氯化鈉($NaCl$)等，進流人工廢水之 BOD_5 約為 110 mg/l ；氮氮約為 34 mg/l ；磷酸鹽約為 4 mg/l ；硝酸鹽約為 31 mg/l ；鹽分則分別為 0% 及 1%，有機污染負荷約為 $2.18 \times 10^{-2}\text{ kg} \cdot BOD_5 / m^2 \cdot d$ 。系統操作穩定後，本研究分別於近流口與 FSF 及 SSF 二單元之出口進行水質採樣，分析項目則包括水溫、氣溫、pH 值、導電度、鹽度、生化需氧量、氮氮、硝酸鹽、亞硝酸鹽、正磷酸鹽、總磷等，相關分析分法皆依環保主管機關公告之檢測方法，由於篇幅限制，本研究僅對 BOD 之檢測結果進行探討。

四、結果與討論

人工溼地系統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^[14]，諸如膠凝、沉澱、氧化還原反應、生物性作用等，由於本研究之溼地系統包括表面流式與潛流式兩類，各類去除機制於不同型式人工溼地中所扮演之角色與重要性亦隨之不同，而反應槽之水力狀態亦對部分去除機制有所影響，一般人工溼地大都假設水流於溼地中呈柱塞流(plug flow)之流況，當實驗模場模擬流況有別於此時，其實驗結果則會有誤導之可能，尤其去除機制受流場影響較大時，其誤差亦會隨之劇增。本研究由於空間限

制，反應槽之長寬比僅為 1.45:1，遠小於一般之 10:1，其流況較難呈現柱塞流特性，對於 FWS 中以沉澱為主要去除機制之顆粒有機污染物(particulate organic pollutants)而言，其實驗結果之參考價值相對較低，因此本研究主要對進流污染物為溶解性有機物於人工溼地系統之降解特性及其在含鹽水體中之變化特性。

圖 2 所示為 FWS 之降解效率變化歷時圖，A 系統為不加鹽之對照組，B 系統則為加入 1% 食鹽之測試組，食鹽係於系統操作 212 日後加入，表 2 為二者各單元之進出流 BOD 濃度與其對應去除率，由其結果可知二者 FWS 之進流濃度頗為穩定，因此前四週之兩系統去除率之差異不大，此期間之去除率比值之標準編差僅約 6%，其後由於連續兩次強烈寒流侵台，氣溫陡降至 10~12℃，水溫降至 14~15℃，A 系統之 FWS 去除率亦隨之下降至 46.4%，顯示生物作用因氣溫下降，致使活性降低，而有機污染物之降解效率亦受影響。至於含鹽 C 系統之降幅更大，下降至 19%，由此可知，在 FWS 系統中，鹽度之作用對溶解性有機污染物之降解於鹽度注入初期確會對生物作用形成負面影響，圖 3 為 C 與 A 系統 FWS 溼地 BOD 去除率比值之性變化，當二系統比值近於 1 時即表生物系統降解功能相近，於未加鹽前，其結果顯現此一特性，當鹽度突增時，C 系統之去除率確較

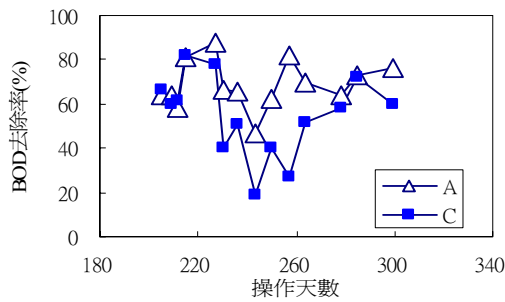


圖 2 FWS 人工溼地之 BOD 降解效率比較

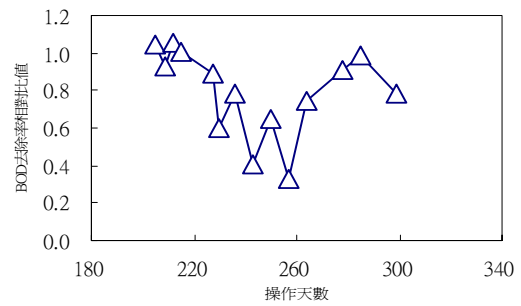


圖 3 FWS 之 A 與 C 系統 BOD 降解效率比值

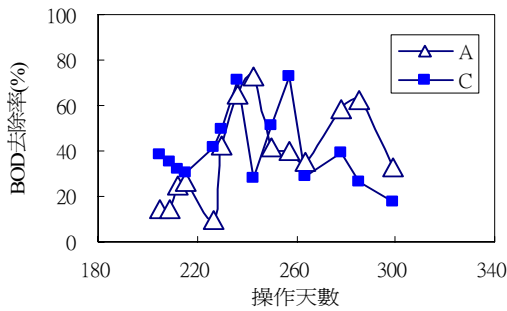


圖 4 SSF 人工溼地之 BOD 降解效率比較

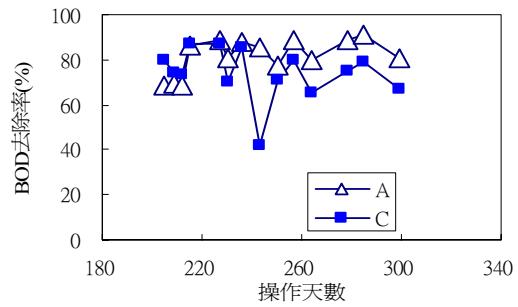


圖 5 人工溼地組合系統之 BOD 降解效率比較

表 1 溼地系統 BOD₅ 去除效能比較

系統編號	FWS		SSF		CW(FWS+SSF)	
	進流濃度*	去除率(%)	進流濃度*	去除率(%)	出流濃度*	去除率(%)
A	106.8(12.5)	68.5(10.8)	32.9(12.0)	41.7(19.9)	19.1(6.9)	84.5(4.4)
C	106.3(14.2)	54.7(18.3)	48.8(23.8)	41.6(18.1)	30.0(18.65)	73.6(13.1)

註：括號內數據為標準偏差(standard deviation)。*：單位為 mg/l。

未加鹽系統為低，並於七週內緩步下降至僅為 A 系統去除率之 33%，然於系統加入鹽度第九週之檢測結果可發現二系統之去除率幾近相同，顯示生物系統業初步適應水體環境之鹽度變化，此時對溶解性有機污染物之降解可恢復原有之效率水準，然此時 C 槽中之原有挺水性植生之香蒲幾近全數枯死，槽中僅見少數新芽，意即挺水性植栽於 FWS 單元中並非溶解性有機污染物降解去除之主要機制。

另者，相對於 FWS 單元，潛流系統之去除率歷時變化則較為複雜，由於 SSF 單元係接於 FWS 單元之後，其進流水質並非穩定，一般 SSF 之放流水 BOD 約為 20 mg/l

以下，因此 SSF 之有機污染物之降解效率受進流水質之影響相對較大，由表 2 之結果可知其標準偏差相對於平均值百分比比較大，而當 FWS 降解效果較佳時，後續 SSF 之降解效率反而較差，反之則較佳，此一趨勢 A、C 二系統皆存在類似現象，由表 2 之結果亦可知，其平均去除率大致相同，惟於 A、C 二系統之 FWS 單元顯現類似處理效率時，C 系統 SSF 單元之處理效率則仍略低，圖 4 即為其去除率之相對變化特性。若就 FWS 與 SSF 之組合系統論之，如圖 5 所示，可明顯發現 A 組合系統去除率之標準偏差僅為平均值之 5.2%，遠低於 FWS 及 SSF 個別系統之變動幅度，將前述二者組合運用時可大幅增加系統處理效能之穩定度，至於組合系統於加鹽後，其處

理效率仍會平均下降約 10.9%，惟系統由於微生物之適應期造成系統較不穩定。

五、計畫成果自評

由本研究之實驗結果可知 FWS 人工溼地於含鹽 1% 的條件下，其溶解性有機污染物(BOD)於 7 週內降為不含鹽之對照組系統之 33%，其去除率約為 19.0%~81.8%，平均去除率約為 54.7%，約較對照組低 13.8%，至第 9 週時，於挺水性植栽枯死狀況下，其降解效率仍與大致對照組相同，至於潛流系統之結果，受鹽度影響後去除率約為 27.3%~82.2%，平均去除率約為 58.4%，於進流濃度較高狀況下，其平均去除率反較對照組高 16.7%。至於組合系統之整體去除率則分別為 77.8%~91.2% 與 41.8%~87.3%，顯示鹽度確會造成溼地系統處理效能之影響，其處理效率仍會平均下降約 10.9%，同時，系統之不穩定性亦會增加。

本計畫業完成原計畫申請時之執行目標且其成果亦頗具學術價值

六、參考文獻

- [1] Kadlec, H.K. and Knight, R.L. Treatment Wetlands, CRC Press, Lewis Publishers, 1996
- [2] 劉玉雪.徐錠基,「水生植物栽培對都市污水之去除能力.第22屆廢水處理技術研討會論文集,1997
- [3] 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.1998
- [4] 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.2002
- [5] 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.2004
- [6] 荊樹人.林瑩峰.李得元.王姿文.沈家丞.沈道剛.蔡凱元.林業偉.人工溼地系統淨化污染河水的功效探討.第23屆廢水處理技術研討會論文集.1998
- [7] 荊樹人.林瑩峰.王姿文.李得元.沈道剛.沈家丞.蔡凱元.季節變化對人工溼地處理受污染河水淨化效能之影響.第24屆廢水處理技術研討會論文集.1999
- [8] 王姿文.荊樹人.林瑩峰.李得元.高如儀.沈家丞.沈道剛.蔡凱元.鄭光男.人工溼地中水生植物生長變化與河水水質變動之相關性探討.第24屆廢水處理技術研討會論文集.1999
- [9] 荊樹人.李得元.林瑩峰.王姿文.何茂賢.魏家美.鍾雯如.吳民貴.人工溼地去除校園廢污水中懸浮固體之效能.第26屆廢水處理技術研討會論文.2001
- [10] 黃獻文.李得元.荊樹人.林瑩峰.王姿慧.劉佳穎.黃倩雯.人工溼地系統處理校園污水中有機物之季節變化.第27屆廢水處理技術研討會論文.2002
- [11] 林瑩峰.荊樹人.李得元.王姿文.陳益銘.王世榮.徐璋杰.利用人工溼地處理水產養殖池水污染物之研究.第24屆廢水處理技術研討會論文集.1999
- [12] 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.2004
- [13] 謝謂君.樊國恕.李煌樟.人工溼地應用於風景區污水處理暨水體景觀資源之利用—以大鵬灣風景區鵬村農場溼地公園為例.第29屆廢水處理技術研討會論文.2004
- [14] USEPA. Manual-Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewater, EPA/625/R-99/010. 2000