

校園廢水以人工溼地處理之整體評估探討

計畫類別：個別型計畫      整合型計畫

計畫編號：CNEV-92-20

執行期間：92年1月1日至92年12月31日

計畫主持人：李得元

共同主持人：荊樹人、林瑩峰

計畫參與人員：左惠文、簡淑娟

執行單位：嘉南藥理科技大學環境資源管理系

中華民國 九十三年 二月 二十八 日

## 校園廢水以人工溼地處理之整體評估探討

計畫編號：CNEV-92-20

執行期限：92年1月1日至92年12月31日

計畫主持人：李得元

共同主持人：荊樹人、林瑩峰

計畫參與人員：左惠文、簡淑娟

### 一、中文摘要：

校園廢污水中含有不同性質之生活污水、實驗室廢水，已被列為事業廢水之一，因此對其排放標準有一定的管制標準，本研究主要是探討以人工溼地（Constructed Wetland, CW）處理校園廢污水之整體評估。討論項目以生化需氧量（Biochemical Oxygen Demand, BOD）及化學需氧量（Chemical Oxygen Demand, COD）為主。探討之 CW 系統包括嘉南藥理科技大學、光華女中及國立成功大學中的人工溼地；此三種 CW 系統的組合類型各有所不同，可藉由這三所學校所構築之人工溼地，來探討不同類型之人工溼地組合，對校園污水之去除效能做評估。由結果顯示，嘉南藥理科技大學之 CW 系統對廢污水中各項污染物的去除效果為，BOD<sub>5</sub> 與 COD 的平均去除率分別為 68% 及 66%。光華女中之 BOD<sub>5</sub> 與 COD 的平均去除率分別為 68.77% 及 24.08%。成功大學之 BOD<sub>5</sub> 平均去除率為 80%。文中亦討論各校系統組合所造成的差異，如廢水之處理效能、景觀配合及廢水處理後之再利用。

### 關鍵詞：

人工溼地、校園廢污水、生化需氧量、化學需氧量

### 二、緣由與目的：

由於校區廢水的穩定性不高（污染負荷低、寒暑假水量驟降），因而造成操作不易與費用、能源的浪費，且傳統廢水處理廠之設置費用高，使得各校設置廢水處理設施的意願並不高。

人工溼地（Constructed Wetlands, CW）則是以人為方式操作及控制溼地系統的環境，進而利用溼地生態系統淨化水質的一種技術。不但具有自然溼地淨化水質的各種機制與特性，包括：過濾、吸附、沉澱、生物分解及生物吸收等，並同時具有改善景觀及提供生物棲息場所的功能；其優點是省能源、低成本、操作簡單、不需添加任何化學藥劑及無二次污染，此等均是傳統處理方式所欠缺的<sup>[1-3]</sup>，在不破壞生態的綠色環保技術中，頗能符合處理污染性廢污水的技術要求<sup>[4]</sup>。然而，CW 系統仍有其操作的盲點，如受季節、氣候（溫度）等天然因素變化而影響去除效果。雖然近來，CW 在國外已有相當的研究成果<sup>[5]</sup>，然而我國 CW 的技術卻仍處於起步階段，若要將此技術應用在國內，則必須從收集屬於本土環境自己的 CW 系統操作參數開始做起。此

外，可藉由 CW 系統操作過程中，讓學生直接參與操作，因處理過程中無添加任何化學藥，故處理後之污水可以作為多方面之運用；同時 CW 系統為一個自然操作方法，其設計可配合週遭景觀，以達到另一美化之目的。

嘉南藥理科技大學人工溼地團隊，於校園中所興建之人工溼地，操作觀察已有三年之久，在此操作期間，人工溼地團隊仍陸續在其他校園中興建溼地系統；同時藉由不同組合架構的 CW 系統，對校園污水處理效能之差異。本研究在討論以人工溼地替代傳統方式處理校園廢污水，討論方式以生化需氧量 (biological oxygen demand, BOD)、化學需氧量 (chemical oxygen demand, COD) 整體之去除效能為主，並對處理後之放流水再利用，做評估及探討。

### 三、研究方法：

本研究主要以嘉南藥理科技大學小型人工溼地模場為主要操作分析，同時參考光華女中及國立成功大學建築系，二座校園 CW 系統做比較。

#### 1. 實驗設施

##### 嘉南藥理科技大學小型人工溼地實驗模場

嘉南藥理科技大學小型人工溼地實驗模場 (圖一)，其主要是以環工、幼保兩棟大樓的排放廢污水作為處理目標。整個系統之架構為一個 5m 長×3m 寬×0.6m 高的混凝土槽，分別由兩種人工溼地系統類型<sup>[6]</sup>所構成；表面流動式系統 (free water surface, FWS) 及表面下流動式系統 (subsurface flow, SSF) 串聯而成。FWS 系統底部鋪有 20cm 之泥土，水深 25cm，且種植香蒲 (cattail, *Typha orientalis* Presl.)。SSF 系統底部放置礫石 (平均直徑為 2cm，孔隙率為 50%)，水深 45 cm，並種植蘆葦 (reed, *Phragmites australis* L.)。兩系統分別以不銹鋼板分隔成 50cm 寬之水道，使得各溼地水道總長約為 10m，一方面減少短流現象 (short circuiting)，另一方面使得系統操作近似於柱塞型 (plug flow) 反應槽。系統後方的流水池，其中種植水芙蓉 (*Pistia stratiotes* L.)，用以觀察處理後之水質變化，並不定期採收以觀察記錄各系統中植物之生長狀況。

##### 光華女中與國立成功大學建築系人工溼地系統

光華女中之小型校園人工溼地暨景觀生態池，其主要污水來源為新建大樓少女會館中的家政教室及浴廁，污水經油脂分離槽將油脂分離後，排入 CW 系統；其系統為 FWS 及 SSF 系統串聯而成，系統後方接一生態池，其中種植蓮花，用以觀察處理後之水質變化。系統總面積為 70m<sup>2</sup>，經 CW 系統處理後之污水，經馬達抽取後，用來澆灌花園中之植物。

國立成功大學建築系之溼地系統，其週遭環境是整合環境工程和建築專門技術，以創造優質綠建築水循環系統的規劃、設計與建造。應用景觀化人工溼地系統處理生活污水與水資源再利用之研究；在景觀上則採用生態工法並融入建築美學觀點。主要是處理建築系三棟大樓所排放之生活污水，此系統由 FWS 串聯而成，系統總面積為 100m<sup>2</sup>，於系統前後段之間受到地形之變動，因此設計一漫流式下流坡面，一方面達曝氣效果，另一方面可避免水波的飛散狀況發生，該系統之放流水連接至中庭廣場之景觀水池與廣場植栽灌溉之用。最後一池之景觀池，主要以

景觀造景為目的<sup>[7]</sup>。

## 2. 系統操作與採樣

### 嘉南藥理科技大學小型人工溼地實驗模場

嘉南藥理科技大學小型人工溼地實驗模場之進流水由兩棟大樓排放之污水道合流處，以沉水式抽水機抽至污水蓄水塔中，再以重力方式進流於溼地系統。進流水流量控制於 0.6 m<sup>3</sup>/d；放流水則由放流水池之排放口直接排入進流口下流處，以免造成對進流水之干擾。整個系統的設計為柱塞型操作，因此採樣點與進流點之距離，在整個水路流動總距離中的比例乘以總 HRT，即為各採樣點之 HRT（計算如式 1 所示）。

$$HRT_i = HRT_t \times \frac{D_i}{D_t} \quad (\text{式 1})$$

其中  $HRT_i$  為某採樣點之 HRT， $HRT_t$  為總 HRT， $D_i$  為該採樣點與進流點之流動距離， $D_t$  為總流動距離。

系統中共分 8 個採樣點，其中採樣點 T1 至點 T4 位於 FWS 系統，累計 HRT 分別為 0、0.4、0.7、1.1 天；採樣點 P1 至點 P3 位於 SSF 系統，HRT 分別為 1.5、1.8、2.2 天。採樣點位置請見圖一。

### 光華女中與國立成功大學建築系人工溼地系統

光華女中之小型校園人工溼地暨景觀生態池，其主要污水來源為新建大樓少女會館中的家政教室及浴廁，污水經油脂分離槽將油脂分離後，儲存於陰井中，經由沉水式抽水馬達抽至 CW 系統，採樣頻率為每週二次。

國立成功大學建築系之溼地系統，主要是處理建築系三棟大樓所排放之生活污水，經由三個化糞池將污水抽至污水集水井中，在由集水井將污水排至 CW 系統中，該系統之放流水連接至中庭廣場之景觀水池與廣場植栽灌溉之用。

本研究主要針對學校放流水標準之監測項目中的 BOD、COD 加以討論，並對人工溼地處理做整體的評估及探討。

## 四、結果與討論：

### 嘉南藥理科技大學小型人工溼地實驗場

#### 1. BOD 之去除效果：

圖二為 BOD<sub>5</sub> 進流與出流濃度相對比較。由圖中得知，無論進流濃度高低，CW 系統對 BOD<sub>5</sub> 均有去除效果。

圖三為 BOD<sub>5</sub> 在各系統中的去除率比較。根據圖中結果顯示，SSF 系統對 BOD<sub>5</sub> 的處理效果較 FWS 系統佳，其可能原因為廢污水中含有不易溶解的有機物質，進入 FWS 系統中沉降後，並逐漸分解，使得在 FWS 系統初期對 BOD<sub>5</sub> 有明顯的去除效果，但進入系統約 0.3 天後去除效果呈現平穩，直到進入 SSF 系統，系統中的礫石有利於生物膜附著，因此開始又有明顯的處理效果；在進入 SSF 系統後，HRT 約 1.5 天時，BOD<sub>5</sub> 之去除約已達最大值，因此去除效果又開始呈現平穩的現象。

就整體而言，本 CW 系統對 BOD<sub>5</sub> 的平均去除率可達到 68%。根據 Arthur F.M. Meuleman<sup>[8]</sup> 的文獻中指出，CW 系統對於 BOD<sub>5</sub> 的去除效果可以達到 80%~90%。而本系統的處理效果不如文獻值的原因可能為：本系統為試驗型小型人工溼地，系統面積無法依進流之廢污水特性做擴充，因此單位面積的污染物負荷量可能較大，所以在處理效果上不如文獻值理想。

## 2. COD 之去除效果：

圖四為系統中 COD 進流與出流濃度相對比較，根據圖中顯示，COD 的出流濃度皆低於進流濃度，表示 CW 系統對 COD 有明顯的去除能力；而圖中各數據點不像圖二的數據集中於下方，由此可知，COD 的處理效果較無 BOD<sub>5</sub> 明顯。文獻指出<sup>[9]</sup> CW 系統去除 COD 的主要機制為異營菌的代謝作用，若我們將其當成 COD 去除的唯一機制，則 HRT 越長，對 COD 將有更好的去除效果，而本系統的 HRT 只有 2.2 天，這也顯示本 CW 系統在處理 COD 方面仍有進步的空間，由圖中可以看出，CW 系統在高進流濃度的處理效果比低進流濃度的處理效果來得好。

圖五是 COD 在各系統中的去除率比較。由圖中可看出有機污染物在 FWS 系統，HRT=0.3day 時，有明顯的處理效果；0.3day 後，則開始趨於平緩，進入 SSF 系統之後，去除效果反而下降。在 FWS 系統中處理效能趨於平緩的情形，則推斷廢污水中可能含有不易分解的有機污染物；在 SSF 系統中，去除效果下降的狀況，則可顯示系統中有機污染物濃度有增加的現象，而由 BOD<sub>5</sub> 的去除狀況可以推斷，增加的有機污染物為非生物可分解性物質。

根據文獻指出<sup>[10]</sup>，達拉斯薩拉姆（DAR ES SALAAM）大學的實驗結果中，COD 的去除效果介於 47~86 %。圖五中 COD 的總去除率雖可達到 67%，然而 FWS 與 SSF 系統對 COD 的個別去除效率卻只有 48 及 36 %，均不如文獻值，此可能為達拉斯薩拉姆大學是利用 CW 系統作為三級處理，其進流之廢污水是為傳統處理設施之放流水，因此污水中有機負荷亦不高；因此文獻中之 CW 系統可以有較明顯的去除效果。雖然本實驗在進流濃度低時，去除的效果無法如高進流濃度時顯著，然而校園廢污水經過人工溼地處理後依然可以有穩定的出流濃度。

## 1. BOD 之去除效果：

光華女中人工溼地自民國 92 年 6 月開始操作，於同年 11 月開始採樣至今，因操作時間短，操作期間又逢寒假，進流量不穩，BOD 濃度亦會有所變動；其入流水之平均 BOD 濃度為 14.26mg/L，放流水之平均 BOD 濃度為 4.45mg/L，平均去除率為 68.77%。

成功大學經處理後之 BOD<sub>5</sub> 濃度為 13mg/L，去除效率為 79.9%，並將該系統之放流水連接至中庭廣場之景觀水池與廣場植栽灌溉之用，景觀水池中的水生植物約有數十種，亦須仰賴水中營養鹽做為生長之依據，因此水質將有持續淨化之效果。

## 2. COD 之去除效果：

光華女中之 CW 系統，入流水之 COD 濃度為 11.03mg/L，放流水之 COD 濃度為 8.37mg/L，平均去除率為 24.08%；由 COD 的去除效果看出，光華女中之 CW 系統對 COD 的去除效果較其他系統低，並非無去除效果，而是廢水入流時之 COD 濃度不高，故經過系統處理後之污水，雖然其放流水之 COD 濃度以達放流水標準，但因濃度間之差異不大，所以其去除效率偏低。

## 五、結論：

1. 本研究結果顯示，校園廢污水中之有機物在 CW 系統中有去除的效果。
2. 無論進流濃度高低，CW 系統對 BOD<sub>5</sub> 及 COD 均有明顯的去除效果。
3. 根據結果顯示，SSF 去除 BOD 之效果較 FWS 佳。
4. HRT 愈長，則 COD 的去除效率愈高。
5. 嘉南藥理科技大學、光華女中及國立成功大學三所學校之校園人工溼地放流水，均達到放流水排放標準，所訂定之規定。
6. 光華女中人工溼地由學生親自參與操作，因此達到環境教學之目的。
7. 光華女中及國立成功大學人工溼地系統為配合週遭景觀興建，具有美化環境之功能。
8. 放流水皆達放流標準，可用來作為景觀用水及澆灌周遭環境之花草樹木，具有水資源循環利用之功能。

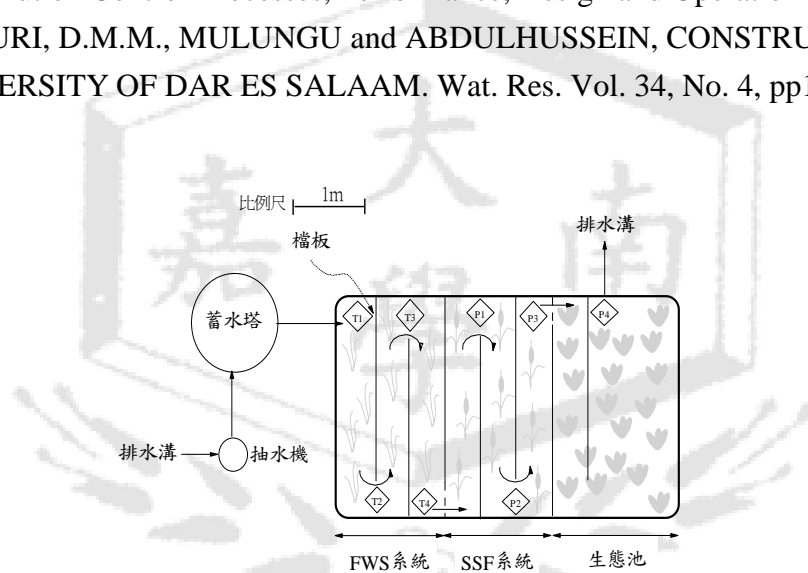
## 六、計劃成果自評：

本研究證實人工溼地高效率之處理功能，放流水可達放流水標準，並與景觀相互配合，同時讓學生親自參與操作，具有環境教育及生態復育之功能；經人工溼地處理後之放流水，可重複循環在利用，進而達到水資源在利用之目的。

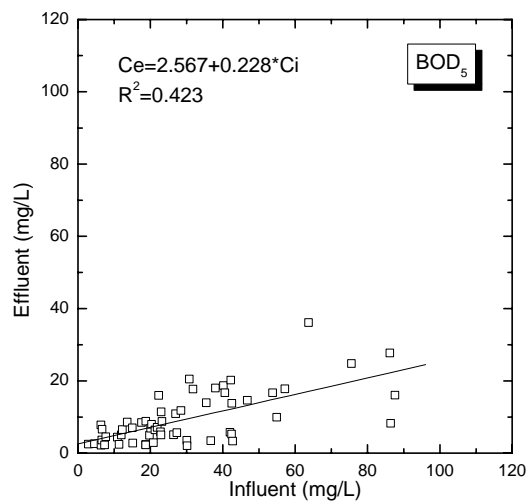
## 七、參考文獻：

1. Brix, H., "Do Macrophytes Play a Role in Constructed treatment Wetlands?", *Wat. Sci. Tech.*, 35(5), 11-17 (1997).
2. Knight, R.-L., "Wildlife Habitat and Public Use Benefits of Treatment Wetlands", *Wat. Sci. Tech.*, 35(5), 35-43 (1997)

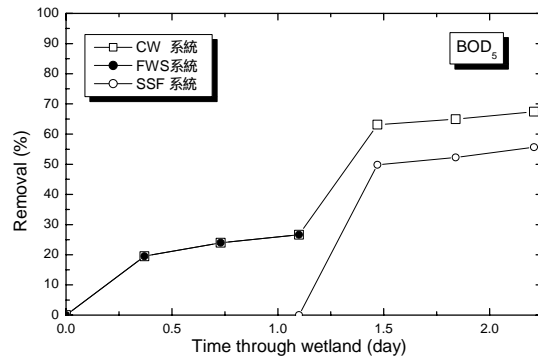
3. Worall, P., K.-J. Peberdy, and M.-C. Millett, "Constructed Wetlands and Natural Conservation", *Wat. Sci. Tech.*, 35(5), 205-213 (1997)
4. Metcalf & Eddy, Chap 13 Natural treatment system. In *Wastewater Engineering (Third Edition)*. pp.927-1016. McGraw-Hill, Inc. New York, (1991) .
5. Kadlec, R.H. and R.L. Knight, 1996. *Treatment Wetlands*. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.
6. Von Felde, K. and Kunst, S. (1997) "N- and COD-Removal in Vertical-Flow Systems", *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 35, No. 5, pp. 79-85.
7. 歐文生、荊樹人、林瑩峰、林憲德，2003，「人工溼地淨化校區污水再利用之研究」，第十八屆廢水處理技術研討會。
8. Jos T.A. Verhoeven, Arthur F.M. Meuleman, 1999. "Wetlands for wastewater treatment: Opportunities and limitations", *Ecological Engineering* 12, pp5-12.
9. IWA Specialist Group on Use of Macrophytes in Water Pollution Control, 2000. "Constructed Wetlands for Pollution Control-Processes, Performance, Design and Operation"
10. D.A. MASHAURI, D.M.M., MULUNGU and ABDULHUSSEIN, CONSTRUCTED WETLAND AT THE UNIVERSITY OF DAR ES SALAAM. *Wat. Res.* Vol. 34, No. 4, pp1135-1144.



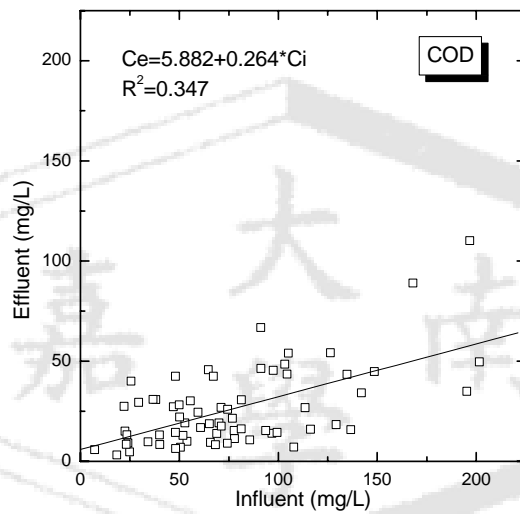
圖一 嘉南藥理科技大學小型人工溼地系統圖



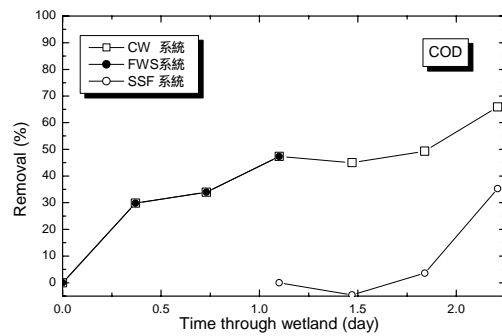
圖二 嘉南藥理科技大學小型人工溼地模場之BOD<sub>5</sub>進出流濃度相對比較



圖三 嘉南藥理科技大學小型人工溼地模場之 BOD<sub>5</sub> 在各系統中的去除率比較



圖四 嘉南藥理科技大學小型人工溼地模場之 COD 進出流濃度相對比較



圖五 嘉南藥理科技大學小型人工溼地模場之 COD 在各系統中的去除率比較