

嘉南藥理科技大學專題研究計劃年度成果報告

人工溼地對校園廢污水的處理效能及再利用之探討

A Study of the Treatment Efficiency and Reuse Feasibility on Campus

Wastewater Treated by Constructed Wetland Systems

90-EV-03

89年8月1日至 90年7月31日

主持人：薛正延

協同主持人：荊樹人、李得元、林瑩峰、錢紀銘、王姿文、莊庭禎

中華民國 九十年八月三十一日

摘要

校園廢污水主要來自一般生活行為，因為學校有實驗室，因此已被列為管制的事業廢水之一，需要經過處理以達到放流水標準始得排放。校園廢污水因污染負荷低，且流量十分不穩定，加上傳統的廢水處理設備不僅設置成本高，操作以及維護費用也很可觀，因此國內各級學校具有處理設備者寥寥無幾。

本研究主要探討人工溼地 (constructed wetlands, CW) 系統對校園廢污水中有機物、懸浮固體(suspended solids, SS)、營養鹽及大腸桿菌(*E. coli*)等之去除效能。人工溼地系統構築於嘉南藥理科技大學校區，面積為 15 m^2 ($3\text{ m} \times 5\text{ m}$)，以不鏽鋼板分隔成寬 50 cm 之水道，由種植香蒲 (cattail, *Typha orientalis* Presl.) 之表面自由流動式溼地 (free water surface wetland, FWS) 及種植蘆葦 (reed, *Phragmites australis* (Cav.) Trin.ex Steud) 之表面下流動式溼地 (subsurface flow wetland, SSF) 串聯而成，以柱塞型 (plug flow) 方式控制水體流動。系統後接一放流水池，以觀察系統處理後之水質變化。操作流量為 585 l/d ，FWS 系統、SSF 系統及放流水池中之水力停留時間 (HRT) 分別為 1.5、1.8 及 4.6 天。

系統操作 6 個月之結果顯示，校園污水經人工溼地淨化後，生化需氧量 (biological oxygen demand, BOD) 可被去除約 80%，*E. coli* 去除率可達 90%以上，雖然化學需氧量 (chemical oxygen demand, COD) 的去除率較不明顯，但放流水中的濃度亦低於法規排放標準。FWS 溼地放流水之 SS 平均進流濃度為 19.2 mg/l ，至 FWS 溼地出流時增加為 20.3 mg/l ，此一現象主要是因為 FWS 溼地中藻類生長繁殖所造成。通過 SSF 溼地降低為 9.6 mg/l ，顯示 SSF 溼地中之礫石，可有效的過濾及抑制藻類的生長繁殖。廢污水中營養鹽通過系統後氮氮平均去除率約為 60%，磷酸鹽約為 43%。一般而言，去除率會隨水力停留時間 (hydraulic retention time, HRT) 增加而提高，但本研究觀察到 HRT 增加到某種程度時，去除率有減緩的趨勢。所以此研究的實驗方式應該可明確得到最佳的操作條件，亦即以最低的 HRT 達到最高的去除效率。此外實驗結果亦顯示，人工溼地系統雖受到水力負荷的影響，但對於處理污染程度較低的校園廢污水而言，仍具有明顯的去除效果。由於人工溼地具有省能源、低成本、無二次污染、操作維護簡單等優點，從經費以及水循環再利用的角度考量，應該具有取代傳統處理方式的可行性。

關鍵字：人工溼地系統、校園廢污水處理、營養鹽去除、懸浮固體、大腸桿菌、水循環再利用

一、前言

人工濕地 (constructed wetland, CW) 是根據自然溼地所研發出來的自然處理系統，具有低能源需求、操作簡便、成本低廉及無二次污染等優點，在提供生態保育及自然景觀等功能上更是傳統處理方式所缺乏的【1-4】。雖然目前環保法規已對校區廢污水有明確的排放標準，但由於傳統處理方式之設置費用高，且校區廢水的穩定性不高（污染負荷低、寒暑假期間水量驟降等），使得廢水處理廠操作困難，造成費用與能源上的浪費。因此，即使學校廢污水已應水污染防治法規範為「事業廢水」，但是各級學校在設置廢水處理設施的意願依然不高。以致各級學校之未處理廢污水仍為主要環境污染源之一，甚至學校也將為無法達到「放流水標準」而受罰。

經由多年來國內外的研究顯示，人工濕地能有效的淨化各類廢污水【4-13】。此一技術在國內雖屬於起萌階段，但本校『人工濕地研究小組』已於近四、五年間先後探討人工濕地對於各類廢污水的處理淨化效果，包括二仁溪水之淨化、魚塭養殖廢水之處理及人工配置污染水之宿命探討等，以期改善各類污染水源及排放水之水質，進而達到水資源再利用與水資源環保的永續經營目的。

濕地系統可概分為天然濕地 (natural wetland) 及人工濕地。天然濕地為自然形成的沼澤、草澤、淺灘、瀉湖等，具有淨水、造地、生態保育等功能，通常規畫作為生態保護區，對所承受的進流水需以嚴格的水質標準來加以管制。因此，任意引進受污染河水，可能有破壞生態平衡之虞。而人工濕地則是利用天然濕地的淨水及生態保育的功能【14-16】，目前，所發展出來的人工濕地系統有兩種類型【4】。一種為表面自由流動式系統 (free water surface system, FWS)，底部為不透水土壤層，種植挺水性植物 (emergent plants；根生於水底，葉伸出水面，例如燈心草、薹草、蘆葦、香蒲等)。另一種系統稱為表面下流動式系統 (subsurface flow system, SSF)，為一窪地槽體，充填約 40~60 公分厚的可透水性砂土或碎石作為介質，以此支持挺水性植物的生長，而進流水則被迫在表層下的砂土間流動，以達到淨化作用。本研究即利用 FWS 與 SSF 系統串連方式操作，以本校幼保大樓與環工大樓的污水作為處理目標，紀錄有機物、懸浮固體物 (suspended solids, SS)、營養鹽及大腸桿菌 (*E. coli*) 於溼地系統中之處理效果及其變化，以評估人工濕地系統處理效能與放流水循環再利用的可行性。

二、實驗方法

1. 實驗設施

嘉南藥理科技大學小型人工溼地系統於民國九十年二月完成（圖 1），以嘉南藥理科技大學幼保大樓與環工大樓排放之廢污水作為處理目標。此人工溼地系統為一個 5 m 長 × 3 m 寬 × 0.5 m 高的混凝土槽，是由一個表面自由流動式濕地（free water surface, FWS）及一個表面下流動式濕地（subsurface flow, SSF）串聯而成。系統後端連接一放流水池，以觀察系統處理後之水質變化。FWS 與 SSF 濕地中分別以不鏽鋼板分隔成 50 cm 寬之水道，一方面減少短流現象（short circuiting），另一方面使得系統操作更接近於柱塞型（plug flow）反應槽，各濕地水道總長約為 10 m。FWS 濕地底部有 20 cm 之泥土，水深 25 cm，其中種植香蒲（cattail, *Typha orientalis* Presl.）。而 SSF 系統中放置礫石（平均直徑為 2 cm，孔隙率為 50%），水深 46 cm，其中種植蘆葦（reed, *Phragmites australis* (Cav.) Trin.ex Steud.）。兩種水生植物的起始密度為 3 株/m²。放流水池中則放植浮水性水生植物水芙蓉（water-lettuce, *Pistia stratiotes* L.），並不定期採收以觀察記錄其生長速率。

2. 系統操作與採樣

進流水由嘉南大學環工大樓以及幼保大樓排放之污水道合流後，以沉水式抽水機抽至污水塔中，再以重力方式進流。進流水之流速控制於 0.585 m³/d。放流水則由放流水池之排放口直接排入進流口下游處，以免造成對進流水之干擾。由於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水力停留時間（hydraulic retention time, HRT），即為各採樣點之 HRT（計算如式 1 所示）。

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

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，HRT 分別為 0、0.47、0.99、1.46 天；採樣點 P1 至點 P3 位於 SSF 系統，HRT 分別為 2.11、2.70、3.25 天；採樣點 P4 位於放流水池之排放口其 HRT 為 7.90 天。

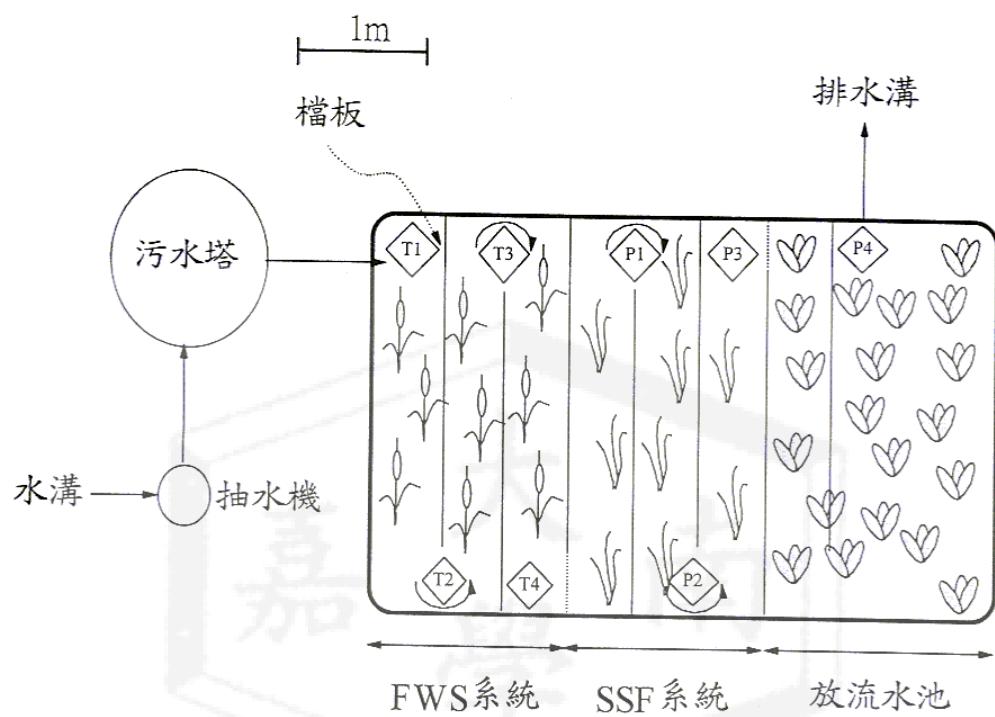


圖 1. 嘉南藥理科技大學小型人工濕地系統流程圖

採樣頻率為每星期二次，監測項目主要針對學校之放流水標準，包括生化需氧量（biological oxygen demand, BOD）、化學需氧量（chemical oxygen demand, COD）及懸浮固體（suspended solids, SS），另外為了明瞭生活污水被處理的程度，因此亦對大腸桿菌（*E.coli*）進行監測，另外也同時分析系統對於營養鹽，包括：氨氮（NH₄⁺-N）、磷酸鹽（PO₄³⁻-P）的去除效能。操作期間同步記錄系統之流量、水溫、pH 及 DO 等，以分析系統的操作狀態。分析方法如表 1 所列。

表 1. 水質分析法

| 測試項目 | 測試法 |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| BOD | 標準法 507 |
| COD | 標準法 508C |
| SS | 標準法 209A |
| <i>E.Coli</i> | 標準法 907 (chromocut coliform agar) |
| NH ₄ ⁺ -N | 標準法 417C |
| PO ₄ ³⁻ -P | 標準法 429 |
| pH | 標準法 423 |
| DO | 標準法 421F |

註：*標準法是指”水與廢水的標準測試【17】

三、結果與討論

傳統的方法為將污水經由排水道導入廢水處理廠中，經由活性污泥處理後再行排放。由於經費、技術、操作困難等因素，絕大部分學校無法負擔處理污水的能力。而人工溼地是很經濟又方便的淨水系統，以自然的方式於溼地中將污水加以過濾、沈降、分解或吸收。

1. 大腸桿菌的去除效果

因進流污水包含了化糞池之放流水，進流污水中大腸桿菌數平均為 2.56×10^5 cfu/100 ml。如表 2 所示，污水自污水塔中流入 FWS 系統 (T1) 後，於 T2、T3、T4 分別測得大腸桿菌的去除率為 67.5%、63.9%、85.3%，然後水流進入 SSF 系統，此系統的採樣點為 P1、P2、P3、P4，其去除率分別為 76.8%、89.0%、95.7% 及 100.0%，P4 為放流池中的採樣點，已測不到有大腸桿菌存在。初步的結果明顯顯示人工溼地系統對於大腸菌類的去除有相當高的效率。分析 FWS 與 SSF 兩種不同溼地系統，顯示 FWS 系統可以達到 85.3% 的去除效果，然進入 SSF 系統後，溼地大腸菌有增加的趨勢，去除率降至 76.8%，但經過較長時間的處理依然可以達到 95.7%，到了放流池中，由於陽光的照射與沒有了挺水性水生植物的根與莖系提供附著與遮蔽場所，使得去除率甚至達到 100.0%，顯示不論 FWS 或 SSF 系統均能利用系統中相同或不同的機制以有效的處理大腸桿菌。

大腸菌類經常存在土壤當中，大多屬於對動物或人體無害的種類，由於長期生存於土壤中，已成為部分土壤的宿存微生物。溼地中的大腸菌類，如圖 2 所示，廢污水中的大腸菌類數量比大腸桿菌多，進入人工溼地後，由於生存環境的改變，濃度開始下降，然而在 FWS 及 SSF 系統交接處卻發現大腸菌類的濃度大增，而且比進流的廢污水還高，顯示此區域的環境適合於大腸菌類的生長繁殖，原因可能由於廢污水流至 SSF 系統時，系統中的礫石如同濾網一般，具有許多較大、較長的絲狀藻類或雜質聚集，使大腸菌類有固定的繁殖場所。故於 P1 的採集點，我們又看到大腸菌類濃度再度下降。但由於大腸菌類屬於宿存的種類，當大腸桿菌已完全被人工溼地所去除時，大腸菌類依然存在於系統中，但濃度已不高。由這些結果顯示人工溼地對於微生物應有不錯的去除效果，尤其對於非宿存的致病微生物。

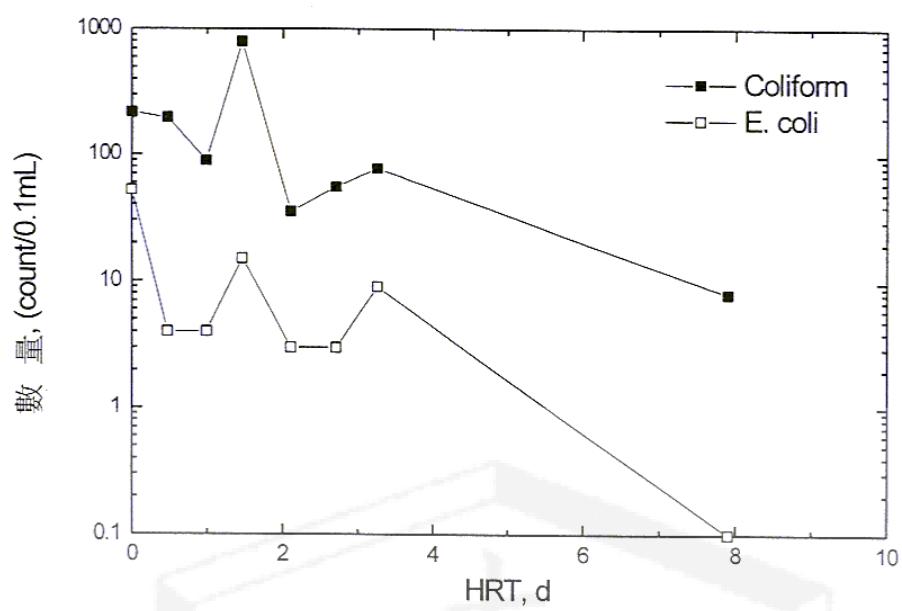


圖 2. 人工溼地系統中大腸菌類數量隨 HRT 的變化

表 2. 不同 HRT 不同濕地系統對大腸桿菌的處理結果

| 採樣點 | HRT(days) | 平均去除率 |
|-----|-----------|--------|
| T1 | 0 | |
| T2 | 0.47 | 67.5% |
| T3 | 0.99 | 63.9% |
| T4 | 1.46 | 85.3% |
| P1 | 2.11 | 76.8% |
| P2 | 2.70 | 89.0% |
| P3 | 3.25 | 95.7% |
| P4 | 7.90 | 100.0% |

2. 懸浮固體物的去除效果

廢污水中之懸浮固體，在進入 FWS 濕地系統後因為流速驟減，會因沉降而從水中被去除，有機固體的部分，則會在底部逐漸被分解。本研究小組過去的研究發現水中的懸浮固體濃度在 FWS 系統有逐漸增加的趨勢，其主因為水體接受日光的照射而造成藻類的生長繁殖，故而造成 SS 增加的情況。嘉南大學小型人工濕地系統在處理校區廢污水時，FWS 系統也有類似的現象發生（圖 3 及 4）。校區廢污水之進流水主要來自排水系統，其中的 SS 大部分為有機固體，幾乎無藻類的存在，但我們可從表 3 中發現，SS 却在 FWS 系統中增加。在 FWS 系統中 SS 增加的原因，可能有：(1) 植物體因死亡後剝落並在水中分解產生懸浮之顆粒以及(2)因日光照射而使得藻類繁殖於其中。

然而，當水進入 SSF 系統之礫石床時，其間的過濾機制加上對於日光照射的阻隔的效果，使得 SS 明顯的被去除。而在採樣點 P3 (SSF 系統的放流口處) 却有 SS 濃度上升的現象（圖 3），可能是採樣時受到鄰近藻類量多、濃度較高的放流水池的干擾所致。

由表 3 可知，SS 在 SSF 系統中有去除的效果。此系統中放滿了礫石（孔隙率 40%~50%），具有過濾的機制；另一方面，礫石也阻擋日光的進入，抑制藻類的生長繁殖。當這些有機固體（如：藻類）在 SSF 系統中被過濾或沉降後，可能會因累積而造成礫石床的阻塞，進而縮短 SSF 系統的使用壽命。不過有機固體的部分會因為其他微生物分解而減少，並維持其孔隙率。然而 SSF 系統中因為缺少日光的照射以及與水面空氣介面接觸再曝氣（surface reaeration）的機會，因此溶氧一般很低（小於 1mg/l）。系統中水生植物的生長便可以經由其根系（rhizome）提供氧氣，使得微生物分解的速率提高，並且降低系統阻塞或形成厭氧狀態發生的機率。

當人工濕地系統放流水經過放流水池後，SS 濃度又有升高的趨勢（圖 3，P4）。此一現象顯示，經由 FWS 與 SSF 兩個人工濕地系統之後，仍有部分營養鹽無法去除，造成藻類於放流水池中再度生長繁殖。此一狀況可利用浮水性水生植物（如：水芙蓉）的快速繁殖，成為藻類對水中營養鹽的強烈競爭者，同時浮水性水生植物的增加也降低了日光照射的面積。此兩種因素便可有效的降低藻類的濃度，進而減少最終放流水 SS 的濃度。

表 3. 系統月平均 SS 濃度去除率

| 日期 | 系統去除率(%) | | |
|------------|----------|-----|---------|
| | FWS | SSF | FWS+SSF |
| 2001 年 4 月 | -558 | 44 | -252 |
| 2001 年 5 月 | 10 | 25 | -97 |
| 2001 年 6 月 | 43 | 12 | -114 |
| 2001 年 7 月 | -207 | 64 | 0 |
| 2001 年 8 月 | 96 | 50 | 63 |

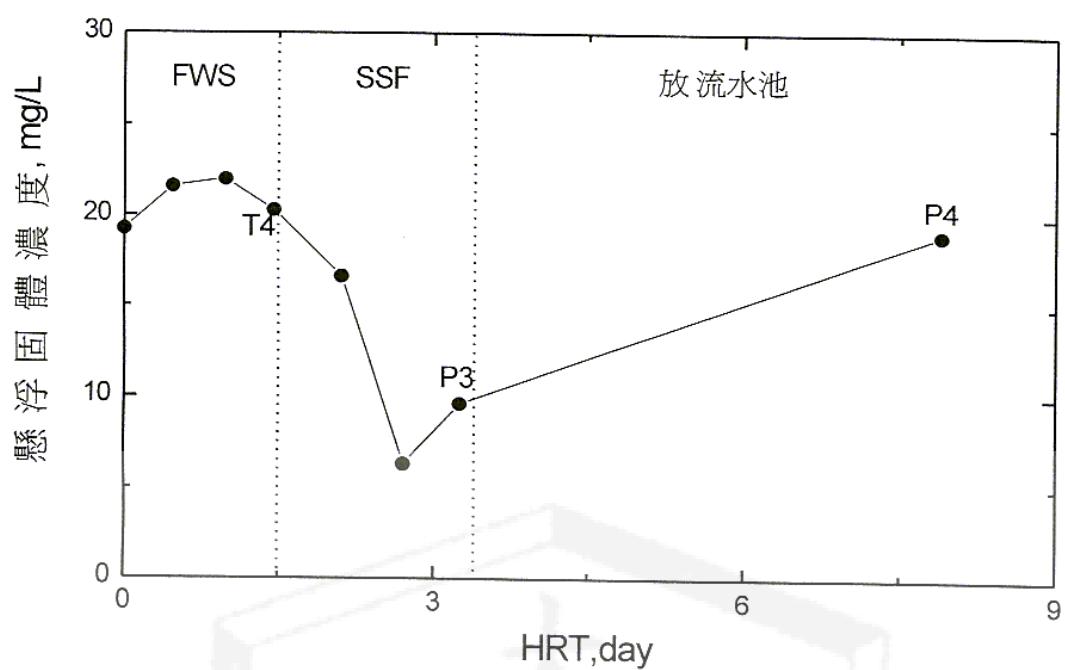


圖 3. 懸浮固體濃度與 HRT 關係

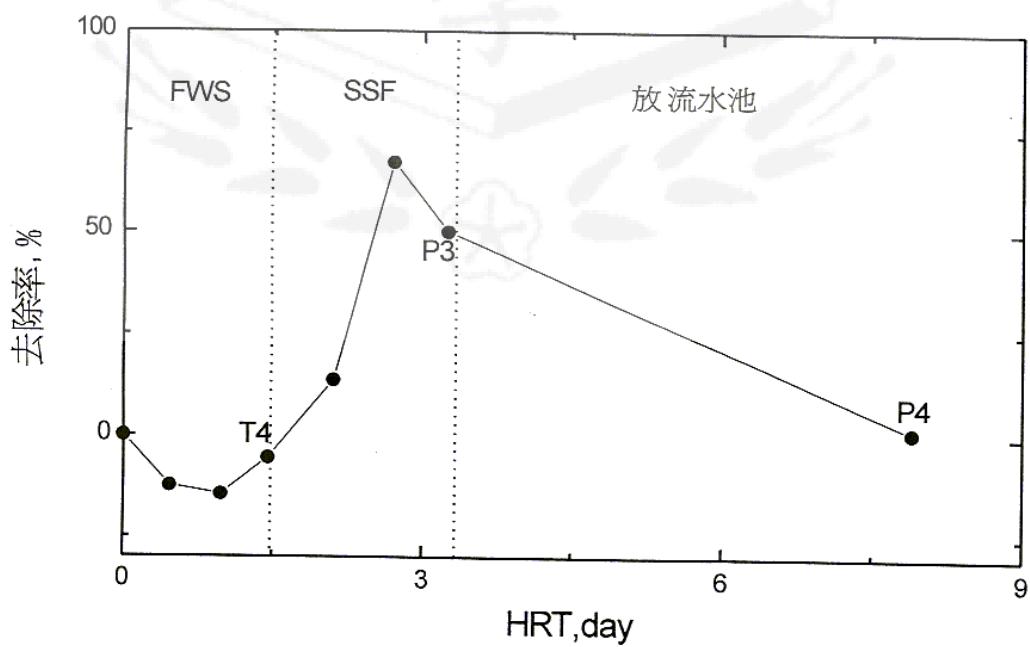


圖 4. SS 去除率與 HRT 關係

3. 計養鹽在不同 HRT 下的處理效能

由圖 5 顯示，氨氮濃度進入人工濕地後即有明顯的降低，但是磷酸鹽濃度的變化不明顯。但綜觀整體，氨氮及磷酸鹽濃度在人工濕地系統中均有下降的趨勢，且在 FWS 系統中減少的情形較在 SSF 系統為明顯。在 SSF 系統的前段，氨氮的濃度反而有增加的現象，可能是因為有機固體（如藻類）被礫石過濾後在其間分解而釋出。磷酸鹽因為會被礫石表面吸附，所以此一現象較不明顯。

營養鹽最高的去除速率出現在進入人工濕地系統之初期，然後逐漸的降低（圖 6）。這種現象與本研究小組過去所觀察的現象有些出入，在另一個小型人工濕地系統中操作 1 至 4 天之 HRT 發現，氮磷的最高去除速率出現於 HRT = 2 天（而不是 1 天），去除速率也隨 HRT 增加而逐漸下降。在 HRT = 2 天時，氨氮去除速率介於 1.0 與 $1.3 \text{ g N/m}^2/\text{d}$ 之間，而磷酸鹽則介於 0.5 與 $0.7 \text{ g P/m}^2/\text{d}$ 。而在本研究之嘉南藥理科技大學人工濕地系統中，最高的氨氮去除速率為 $1.90 \text{ g N/m}^2/\text{d}$ ，而磷酸鹽則為 $0.13 \text{ g P/m}^2/\text{d}$ 。兩者皆出現在 HRT = 0.5 天，也就是在進流後的第一個採樣點，此一現象可能是因為校區廢污水中營養鹽的負荷較低，因此去除效能較明顯。這也顯示出此一人工濕地系統對於氮磷的去除能力，尚有增加的空間。

雖然氮磷的去除速率約略都在 0.5 天而後趨於平緩，但是氨氮與磷酸鹽的去除效率則在 HRT = 1.5 天時達到最大值（圖 6），也就是在 FWS 系統的出口處。此一現象的原因應該如前所述，有機固體（如藻類）被礫石過濾後在其間分解而釋放出營養鹽。但是這個結果在本研究小組所操作的其他人工濕地系統中，並無類似情況發生。由於本人工濕地系統僅操作六個月，尚未達到完全穩定的狀態，因此未來長期的監測應該可以進一步釐清 SSF 系統去除水中營養鹽的能力。

4. 有機物的去除效果

人工濕地系統進流水中之有機物，溶解性 BOD 及 COD 之平均濃度近乎相等（約 40 mg/l ）。BOD 在 FWS 系統中無較明顯的處理效果，但一進入 SSF 系統，濃度大幅降至 10 mg/l 左右，而去除率也從 FWS 系統中的 20% 上升到 75%（圖 7）。但是 COD 經過 FWS 系統反而有增加的現象，經過 SSF 系統的處理後，濃度也沒有明顯的變化（圖 8）。在 HRT 約為 2.5 天時，BOD 之去除約已達最大值。此一現象可能是因為水中有固體性有機物，在沉降後逐漸分解至水中。另一種解釋為濕地系統操作時間不常，尚處於

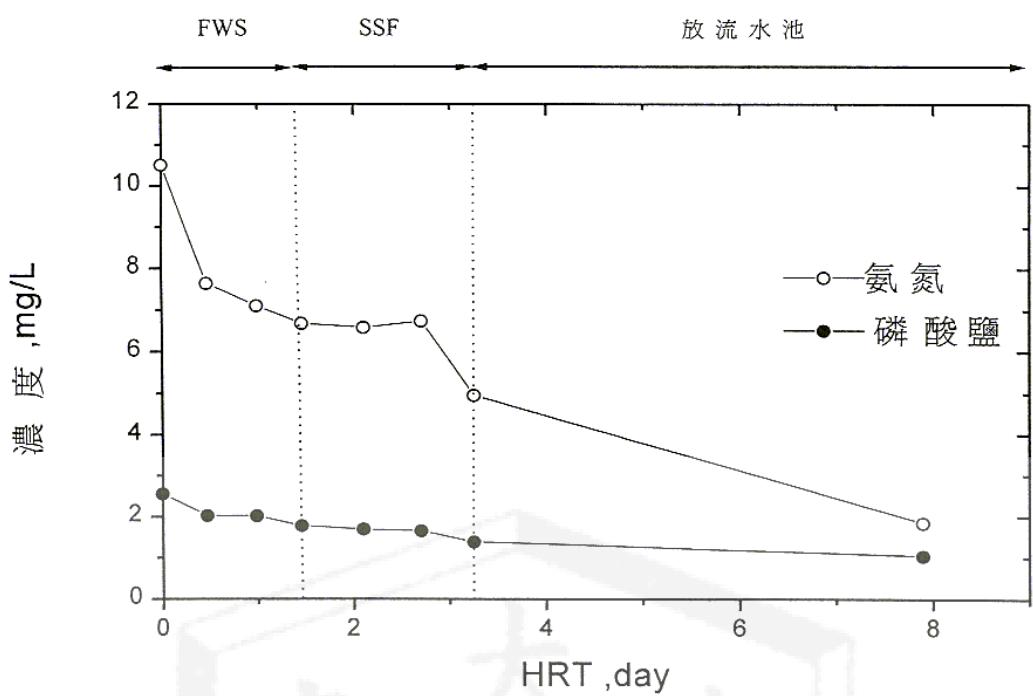


圖 5. 营養鹽在不同 HRT 的濃度變化

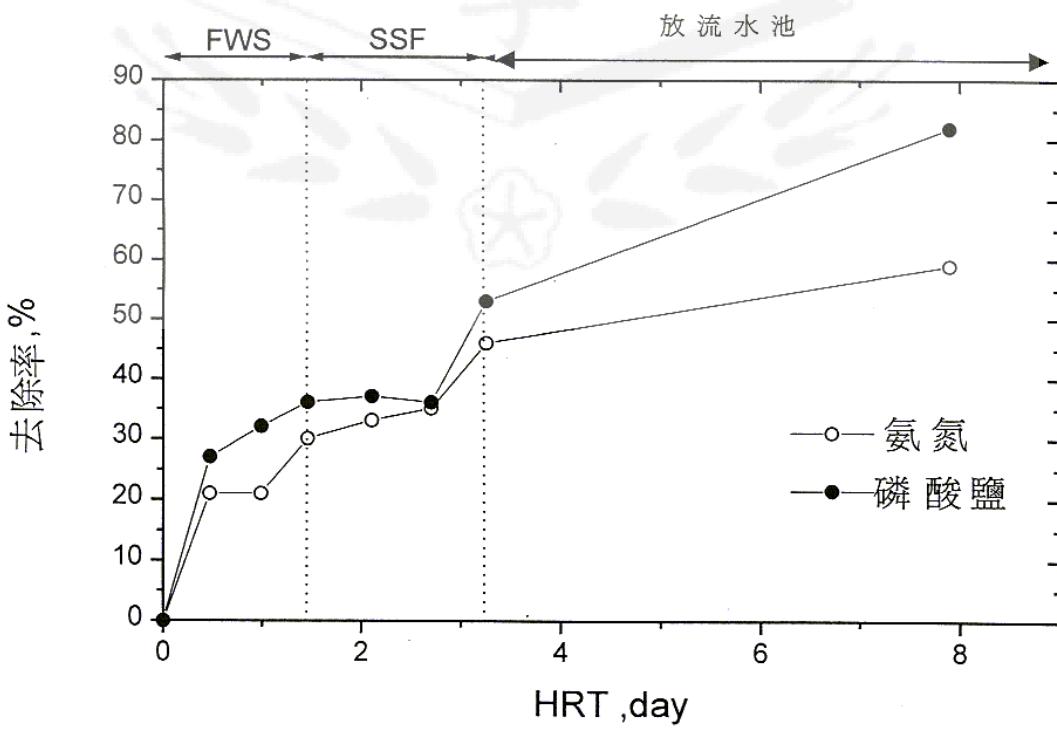


圖 6. 营養鹽去除效率隨 HRT 的變化

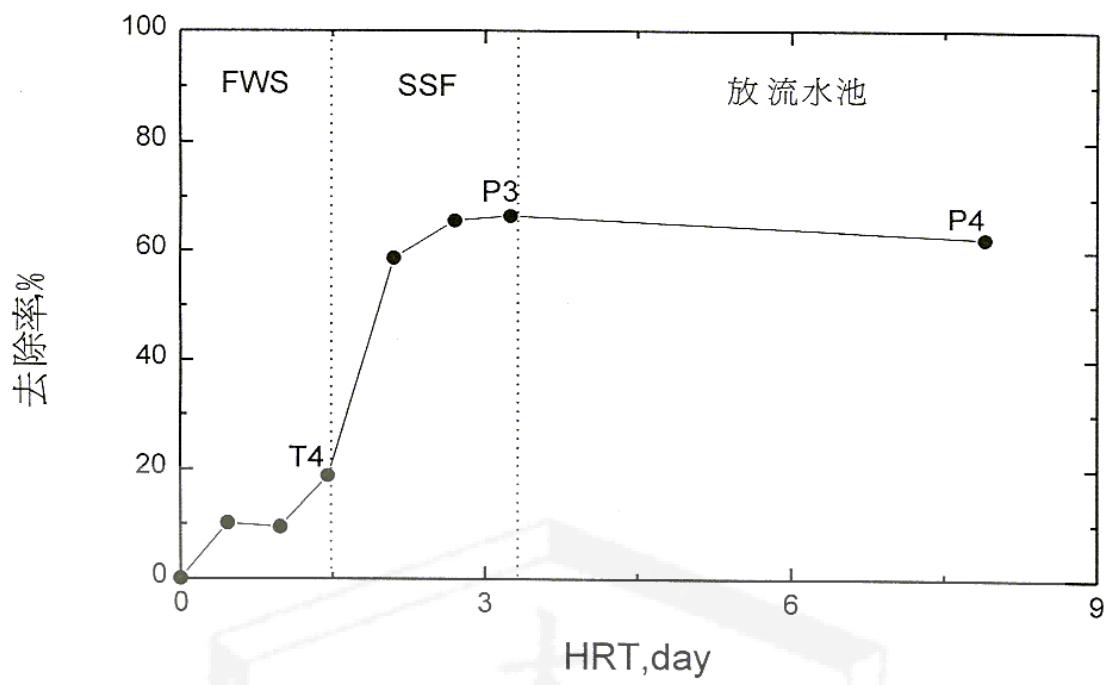


圖 7. BOD 在人工濕地系統中去除率隨 HRT 的變化

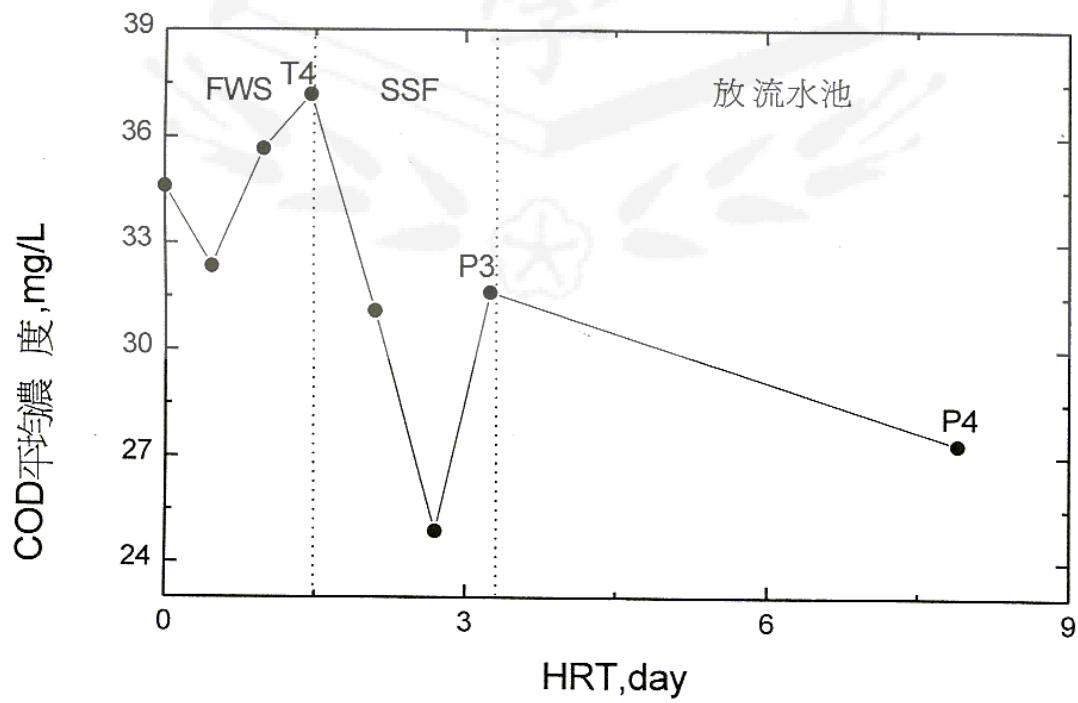


圖 8. COD 濃度在人工濕地系統中隨 HRT 的變化

起始階段，植物體殘渣（debris）或底泥中尚存在某些有機物分解的現象。詳細結果，尚需持續的操作才能進一步了解。

除了處理廢污水的功能外，於校園中設置人工溼地，更具有生態與教學上的作用，使學生學習如何應用自然無污染的方式將可能危害環境的廢污水，處理成為可用的水資源，讓水資源缺乏的台灣，能充分利用每一滴水，期能達成水資源永續利用的目的。



四、結論

1. 嘉南藥理科技大學的人工溼地系統處理結果已可符合放流水標準，並與傳統處理效果相近。
2. 由於人工溼地系統中的生態與水文環境，包括：水生植物體本身與其殘渣形成的過濾機制、緩慢的流速增加固體沉降的效果等可以有效降低水中的懸浮固體含量。被過濾或沉降後的有機固體的部分也會經由微生物的分解轉換為其他基質，提供其他生物新陳代謝之所需，使得物質有效的進入自然轉換機制中。由於廢污水中含有營養鹽，再加上日光無法完全被遮蔽，因此在 FWS 溼地中會因為藻類的生長繁殖而使得水中的 SS 增加。就本文所探討的懸浮固體去除效能來看，在 FWS 及 SSF 系統中的去除率分別為 -5% 及 50%，整體去除率已達 50% 以上，SS 濃度也已達到「放流水標準」。因此欲有效的降低經由人工溼地系統處理後 SS 的含量，除了在操作控制上有效的將營養鹽自水中去除之外，靈活利用不同型態的人工溼地系統組合也是一種值得進一步探討的課題。但人工溼地系統的行為需要經長期的監測，此實驗人工溼地系統雖已漸趨穩定，仍需完整的數據才能確切的掌握其對校區廢污水中 SS 有效去除的設計與操控條件。
3. 雖然營養鹽濃度在 SSF 系統中有小幅度的上升但在整個人工溼地中確實有顯著的去除能力。
4. 雖然受限於面積不足及系統尚未穩定而使得人工溼地之去除效率尚不及污水廠，當系統中各類物種，包括水生植物、微生物、藻類等達到穩定生長狀態及分布之後，其處理效果應能更加顯著。
5. 待系統操作完全穩定後，應可得到最佳水力負荷條件，將有助於實場設計操作，暨能更有效的利用土地。
6. 對於校區開闊的空間而言，人工溼地處理後的放流水應可直接循環再利用，而不會對於自然水體、土壤、或地下水造成衝擊。
7. 以人工溼地取代傳統活性污泥系統來處理校區廢污水中營養鹽，並有計畫的再循環利用其放流水於校區花草的灌溉、衛生系統的使用等，的確具有其可行性。
8. 污水廠需要付出人事費與消耗能源，以嘉南藥理科技大學廢水處理廠為例，每月各需新台幣 23,000 元及 1,200 元，而人工溼地系統則僅需抽水之電費，人事費用僅為每年定期修剪植物。
9. 對於校區景觀而言，人工溼地系統則具有美觀及棲息地的功能。

五、誌 謝

本研究計劃承嘉南藥理科技大學 90-EV-03 贊助經費，使計劃工作得以順利完成，特此致謝。另於研究期間承嘉南藥理科技大學環境工程衛生系溼地研究小組中師生的參與及幫忙，與此一併致謝。



六、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, Inc., "Natural treatment system", Chap 13 In *Wastewater Engineering* (Third Edition), 927-1016. McGraw-Hill , Inc. New York (1991).
5. 荊樹人，林瑩峰，李得元，郭富雯，楊勝傑，黃再模，“水生植物對於污水中磷酸鹽去除效果的探討”，*Chia-Nan Annual Bulletin*, Vol. 23, 1-12 (1997).
6. 荆樹人，林瑩峰，李得元，王姿文，郭富雯，楊勝傑，黃再模，“水生植物對於污水中磷酸鹽去除效果的探討”，第二十二屆廢水處理技術研討會 (1997)。NSC 87-2815-C-041-005-B。
7. 郭富雯，荆樹人指導，“人工濕地中水生植物的培養與處理污水能力之研究”，國科會八十七年度大專學生參與專題研究計畫報告書 (1998)。
8. 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), 131-135 (2001).
9. Lin, Y. F., Jing, S. R., Lee, D. Y., and Wang, T. W., "Nutrient removal from aquaculture wastewater using a constructed wetlands system". *Aquaculture*, accepted and in press (2001).
10. 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 Sci. Tech.: Water Supply*, 1(1), 89-96 (2001).
11. Jing, S. R., Lin, Y. F., Lee, D. Y. and Wang, T. W., "Performance of Constructed Wetlands Planted with Various Macrophytes and Using High Hydraulic Loading", *Journal of Environmental Quality*, accepted and in press (2002).
12. 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*, accepted and in press (2001).
13. 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 wetlands system", *Water Environment Research*, in reviewing (2001).

14. Brix, H., "Do Macrophytes Play a Role in Constructed treatment Wetlands?", Wat. Sci. Tech., 35(5), 11-17 (1997).
15. Knight, R.L., "Wildlife Habitat and Public Use Benefits of Treatment Wetlands", Wat. Sci. Tech., 35(5), 35-43 (1997).
16. Worall, P., Peberdy, K.J. and Millett, M.C., "Constructed Wetlands and Natural Conservation", Wat. Sci. Tech., 35(5), 205-213 (1997).
17. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 16th Ed., American Public Health Association, Inc., New York (1985).

