行政院國家科學委員會補助

大專學生參與專題研究計畫研究成果報告

＊ ********* ** ＊
＊ 計　畫 ＊
＊ ： 景觀水池循環流量對人工溼地淨化含氮污染物之影響 ＊
＊ 名　稱 ＊
＊ ********* ** ＊

執行計畫學生： 許瑞峰
學生計畫編號： NSC 97-2815-C-041-001-E
研 究 期 間 ： 97 年 07 月 01 日至 98 年 02 月 28 日止，計 8 個月
指 導 教 授 ： 錢紀銘

處理方式： 本計畫可公開查詢

執 行 單 位： 嘉南藥理科技大學環境工程與科學系(所)

中華民國 98 年 04 月 01 日

行政院國家科學委員會補助

大專學生參與專題研究計畫研究成果報告

景觀水池循環流量對人工溼地淨化含氮污染物之影響

執行計畫學生：許瑞峰

學生計畫編號：NSC 97－2815－C－041－001-E
研 究 期 間 ：97 年 7 月 1 日至 98 年 2 月底止
指 導 教 授 ：錢紀銘副教授

執 行 單 位：嘉南藥理科技大學環境工程與科學系(所)

中華民國 九十八 年 三 月 三十 日

行政院國家科學委員會補助
大專生參與研究計畫成果報告

計畫編號：NSC 97 －2815－C－041－001－E
執行期限：97 年 7 月 1 日至 98 年 2 月 28 日
嘉南藥理科技大學環境工程與科學系

摘　　要

為探討景觀水池循環流量對人工溼地景觀水池淨化含氮污染物之影響，本專題研究應用潛流式人工溼地改善台南市某社區原有景觀水池惡化的水質，藉由氨氮、亞硝酸鹽、硝酸鹽等參數評估人工溼地系統之對含氮污染物的控制與穩定效能，同時也探討循環水流對系統效能的影響。根據由本研究之相關初步結果可發現景觀水池之水溫於觀測期間約為 16.2~25.6℃，pH 值介於 7.4~8.7，溶氧約介於 3.2mg/L~7.1mg/L，此環境頗適於硝化反應，水力停留時間為 2.91hrs 時，氨氮經 8 日後，其濃度即從 16.22mg/L 降至減至 0.084mg/L，而水力停留時間為 3.36hrs 時則需 12 天始降為 0.1 mg/L，較長之停留時間與較高之溫度可提升氨氮之降解。而於氨氮降為背景值時亞硝酸鹽氮之濃度出現最大值；4.08mg/L 與 4.61mg/L，其後降為背景值，此時，硝酸鹽氮濃度將隨之達最高濃度；67.85mg/L 與 49.3mg/L，此濃度降至背景值需 40 天與 25 天，此與一般人工濕地之研究結果不同，其原因係水中之高溶氧不利於脫硝，致使硝酸鹽氮之累積現象較為明顯，惟系統中之潛流式人工溼地將其濃度降至背景值。

Abstract

In the present study, a subsurface flow (SSF) constructed wetland was merged to the landscape pond of apartment to improve the water quality. To investigate the effect of recirculation flow rate on the degradation of ammonia, the concentration of ammonia-nitrogen, nitrite-nitrogen, and nitrate-nitrogen were used to assess the performance. According to the results obtained, the temperature, pH, and dissolved oxygen of the water is quite fit to the requirements of nitrification reactions. As the longer the hydraulic retention time is, the faster the concentration of ammonia-nitrogen decreases to the background level. However, due to the high dissolved oxygen, nitrate-nitrogen was found to be accumulated in the water. It takes a longer time to decrease the nitrate-nitrogen for SSF.

一、前言

現代是一個快速發展，且追求效率的時代，而在擁擠的都市化環境對人們形成巨大的空間壓力，為了尋求紓解壓力，在建築中都有放鬆樂活、活化空間的環境營造，其中景觀水池，在大樓或社區都隨處可見，池中種植各類植物或放養觀賞魚類，讓人們藉著

觀賞優游的魚類而短暫忘卻壓力及煩惱，達到舒緩的效果。不過隨著時間的增加，觀賞魚類的排泄物、剩餘飼料、空氣中懸浮固體降解後，使水中各類污染物漸次增加，隨著時間一長，來自於魚類飼料之過量投入、植物枯葉或空氣懸浮污染物都會沉降在池底並進行分解，污染物的釋出很容易造成藻類、微生物、病蚊媒等繁殖，使水質惡化，水色變綠，甚至產生惡臭等違反當初設計娛樂身心之本意。目前用以解決此類問題的方法包括：

(1)過濾淨化水質：一般而言，其效果並不好，水質仍會因溶解性營養鹽無法被過濾器過濾，使池中含氮污染物有累積現象，造成藻類大量增生，過濾系統則因而阻塞，致使喪失淨化功能。

(2)更換池水：可快速改善水質，但很容易造成水體水質環境較大波動，使池中觀賞魚類因驚嚇導致死亡或影響發育，同時浪費水資源與人力。

(3)使用水質穩定產品：多為添加硝化菌液，使硝化菌群增加，加速對魚類較有毒分子態氨的分解，此法雖使氨氮無累積現象，但硝化作用之最終產物為硝酸鹽氮，而優勢的硝化菌群也間接抑制脫硝反應的進行，而有硝酸鹽氮累積之狀況，導致藻類增生，影響水質及觀賞意願。

(4)棄置不用：將水直接抽乾，節省清掃、整理的麻煩，此一方法，容易使水池積水而造成病媒蚊的孳生，也有違當初設計景觀水池之本意。

水中的營養鹽包含很多成分，但由於專題計畫研究期間較短，所以含氮營養鹽為主要討論的控制水質參數。另外景觀水池的池水因為原來大部分都有裝過濾器而在池中循環流動，但是循環水流的大小都是當初廠商設計的，並沒有一定的標準，其實水力停留時間也是很重要的控制參數。因此本專題研究也將水力停留時間納入實驗參數之一，藉由不同流量試驗，判斷循環流量對含氮污染物的影響。

二、文獻回顧與探討

水池中的含氮污染物主要來自過量投料及魚類排泄物所引起，由於氨氮、亞硝酸氮、硝酸氮營養鹽影響水質穩定，而使病源體、黴菌、寄生蟲等協同作用，進而導致魚類疾病和死亡(Mitchell, 1992)。在營養鹽成分中，分子態的氨毒性較大(丁，1991)，水體氨氮濃度若< 0.1mg/L 或亞硝酸氮< 0.5mg/L 都對水中生態就具有威脅，硝酸氮毒性較小，只有在高濃度下(< 200mg/L)才會對水中生物產生危害(曾等人，2007)。若氨氮濃度過高則會影響魚類腮的傳遞，使氨氮在魚類體內中累積，無法排出，會有呼吸急促等症狀，易集體暴斃(彭，2002)。若隨意排放，也易造成二次污染，與景觀水池設計的初衷背道而馳。因此，景觀水池之淨化技術就顯得重要。

人工濕地系統（constructed wetland, CW）是屬於自然處理系統(nature treatment system)的一種，具有省能源、操作簡便、成本低廉及不破壞生態等優點，國內、外都有很多應用案例。國內學者顏等人(2006)利用人工濕地 FWS 串聯 SSF 系統處理校園化糞池出流水，其氨氮去除率可達 99％、硝酸鹽氮去除率為 20~42％。而袁等人(2004)利用 SSF 系統處理校園污水，其氨氮去除率為 46％，硝酸鹽氮去除率為 16％，亞硝酸鹽氮去除率為 30％。而許等人(2003)將濕地串聯系統處理醫療放流水，其氨氮去除率為 37％、硝酸

鹽氮去除率為 44%。陳等人(2006) 利用人工濕地 FWS 串聯 SSF 系統處理高埋齡垃圾滲出水，其氨氮去除率為 70~68%、硝酸鹽氮去除率為 38~67%、亞硝酸鹽氮去除率為 28~24%，由相關研究結果可知，無論 FWS、SSF 系統及將兩種串聯結合處理含氮污染物皆有其效果。

國外 Tooming et.al (2007)利用潛流式人工濕地處理校舍廢水，氨氮進流濃度為 55.8 ± 30.3 mg/l，出流水濃度為 9.1 ± 6.0 mg/l。Chen et.al (2008)與 Terzakis et.al (2008)將 SSF 人工濕地系統用來處理被污染河水，其氨氮進流濃度為 3 ~ 22.9 mg/L，出流濃度為 1.2 ~ 5.2mg/l。從上述的研究可知 FWS 與 SSF 人工溼地對於含氮污染物皆有不錯的處理效果，將人工濕地應用在景觀水池水質的淨化與穩定，應該具有可行性。但 FWS 人工溼地必須種植高密度水生植物於池中，觀賞魚類的啃食、景觀上的營造都並不適合使用 FWS 系統。本研究主要淨化池中魚類排泄物及過量投料，污染物濃度並不高，選用 SSF 人工溼地系統較為適當。因此，本專題研究將社區的景觀水池部分區域更改為 SSF 人工溼地，用以淨化穩定池水水質，惟仍需保持其景觀特色。另由於人工濕地系統處理含氮污染物皆有其效果，處理效能與廢污水來源、水力停留時間有關，本研究僅就針對不同的水力停留時間對含氮污染物降解效能之影響做初步的探討。

三、實驗佈置及分析

本專題研究主要應用 SSF 人工溼地改善台南市某社區原有景觀水池水質，藉由氨氮、硝酸鹽、亞硝酸鹽等參數評估水力停留時間(hydraulic retention time；HRT)對含氮污染物降解效能之影響。景觀水池原來飼養錦鯉、吳郭魚等觀賞魚類，由於管理人員之飼養量並未適當規劃與管理，造成水質因優養化而藻類大量滋生，其水色墨綠，原設計之水質淨化設施僅有過濾設備，無法有效淨化水質，致使水質惡化時，完全無法觀賞水中魚類優游姿態，達成舒緩身心目的，不得不換水以求改善，經向管理人員探詢 2～3 月就需要換水一次，因此，常造成魚類死亡及水資源之浪費，實在是有改善的必要，本專題研究相關實驗研究細節說明如下；

本專題計畫之實驗景觀水池場址現況佈置如圖 1 所示，水池大致可分為上池(UP)、下池(DP)與連接水道(SSF)三部分，由於場址是社區管理委員會免費提供，因此不適合進行土建結構的變更，人工溼地之佈置以配合原有構型為主，上池總體積約為 5.629m^3，下池總體積約為 0.486m^3，本計畫規劃在連接水道(0.431 m^3)放置礫石並種植水生植物，由此構成潛流式人工濕地，藉由礫石生物膜與植物根系去除水中污染物，而水生植物以選擇大眾化的美化水生植物為主，包括美人蕉（*Canna indica* L.）、薑花(*Hedychium coronarium Koening*)、風車草(*Cyperus alternifolius* sub. sp. flabelliformis)等。

DP 池設置沉水式馬達一台，抽取池水藉由重力落下至 UP 池，有其增加曝氣效果，也有活絡水池景觀的用途。UP 水池滿溢後流入 SSF 人工溼地水道，藉由水道淨化含氮污染物，進入 DP 池，如此循環，並藉由調節沉水式抽水馬達水流，來探討循環流量對系統淨化含氮污染物之關係。

本研究主要探討循環流量，因此在實驗設計上，設定兩個流量藉以比較其降解效能

之影響，袁(2004)建議硝化反應水力停留至少 2 小時，其硝化反應之進行較完全，因此 RUN1 之理論水力停留時間為 2.91hrs，RUN2 之理論水力停留時間則為 3.36hrs，相關操作條件相見表 1。由於系統中之含氮污染物產生量頗難估算，根據往昔文獻可知其氨氮之濃度並不高，以其去除率評估降解效能及水力停留時間之影響較為不易，本研究方規劃於系統中加入較高濃度之氨氮，藉由氨氮、亞硝酸鹽氮、硝酸鹽氮等水質參數濃度之變化評估其降解效能。

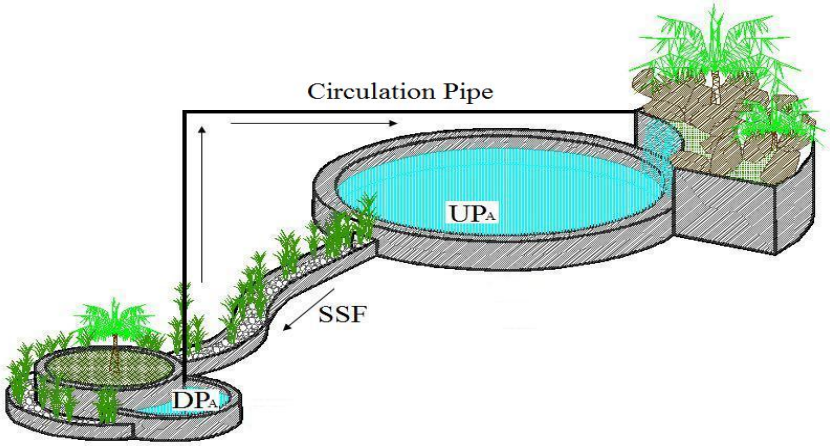


圖1 實驗佈置示意圖

景觀水池人工溼地系統完成後經過數月穩定及植物培植後，才可以在 UP、DP 池分別進行各項採樣、監測及分析工作，採樣頻率為每週一次。由於景觀水池每日於 9 點~17 點始啟動沉水幫浦，其餘時段水流停止循環，因此採樣時間約在當天之上午 10 點~中午 12 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UPA、DPA採樣點，量測各點距水面下約10~15㎝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，其分析項目包含有氨氮、硝酸鹽、亞硝酸鹽等，檢測方法如表2所示。

表 1 實驗操作條件

試程	流量(l/min)	HRT(hrs)	水力負荷($m^3/m^2/day$)
RUN1	40	2.91	39.18
RUN2	32	3.36	31.35

表 2 景觀水池之水質檢測方法彙整

檢測項目	檢測方法
氨氮	NIEA W416.50A、NIEA W448.50B
硝酸鹽	NIEA W419.50A
亞硝酸鹽	NIEA W418.51C
導電度	NIEA W203.51B
水溫	NIEA W217.51A

四、結果與討論

溼地的生化反應受到諸多重要環境因子的影響，諸如水溫、pH 值、溶氧等水質參數，諸如硝化反應過程中溫度下降，則硝化速率也隨著下降，通常硝化作用進行的最適溫度約 25-35℃之間，一般硝化菌在溫度低於 5℃及高於 42℃就停止代謝作用，超過此一溫度範圍一般硝化菌則很難存活。圖 2 為之本實驗 RUN1 和 RUN2 監測所得水溫變化，其中 RUN1 係於 97.11.22 日進行高濃度氨氮試液釋放，監測所得水溫範圍為 16.2~24.2℃，平均溫為 18.9℃，本試程恰有寒流過境，於高濃度氨氮試液釋放後，水溫維持於 17~18℃近 11 日，水溫相對穩定，其後水溫漸升至 24.2℃。RUN2 係於 98.02.07 日釋放氨氮試液，監測所得水溫範圍 19.2~25.6℃，其中前三日之溫度約為 19.5~20.8℃，水溫亦呈相對穩定之狀態，試程之平均溫度為 22.8℃，兩試程均溫相差約 3.9℃，由於二試程之水溫差距略大，藉此亦可觀察溫度對系統氨氮降解之影響。

一般而言，pH 值會影響硝化細菌生長與繁殖，大多數硝化菌較喜歡弱鹼性之環境，其 pH 值約 7.5~8.2，亞硝酸菌 pH 範圍 7.0~8.0，最佳平均是 7.8，硝酸菌範圍約 6.5~8.5。圖 3 為 RUN1、RUN2 之試驗期間 pH 變化，其監測結果分別為 7.4~8.5 及 7.5~8.7，平均值約為 7.81 與 7.85，於本研究之二試程中，pH 之範圍大抵適於硝化作用相關菌類的生長與繁殖，由圖中可知從 0 天投入氯化氨，第 10 天附近 pH 值有較其他時間來得低，應是系統硝化作用達到做高峰，消耗耗鹼度所致，20 天後則有增高的趨勢，應是系統脫硝作用逐漸旺盛，釋出氫氧根離子的影響。本研究景觀水池在下池設有沉水式馬達一台，每天上午 9 時開啟馬達至下午 17 時，抽取池水至上池上方以瀑布跌水方式進入上池，此設計也間接提供曝氣量。由圖 4 可知第 0 天 DO 從 3.2mg/L 慢慢增加至 11 時 7.2mg/L 為最高濃度，此明顯的變化，其原因是因經一夜靜置，池中的溶氧漸遭消耗所致，隔日 9 時啟動馬達後，則因瀑布跌水之曝氣作用而漸增加水中溶氧，於 RUN1 試程中，其溶氧約介於 3.2mg/L~7.1mg/L，平均值約為 5.5mg/L，而於 RUN2 試程之溶氧範圍則為 3.5mg/L~6.6mg/L，平均值約為 5.4mg/L。一般水環境之溶氧濃度小於 2 mg/L 時，即易抑制硝化作用的反應，造成亞硝酸鹽累積，而濃度大於 4 mg/L 時，硝化菌可達最大比生長速率，由於試程中，經靜置之水池最低溶氧約為 3.2mg/L~3.5mg/L，曝氣 1hrs 後，溶

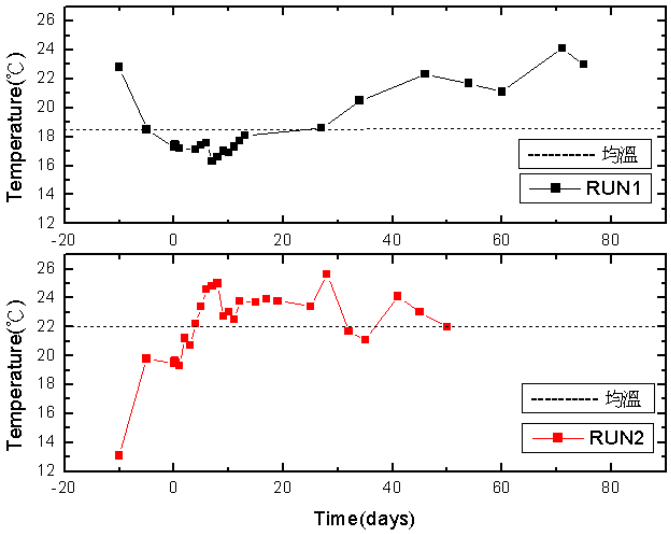


圖2 景觀水池試程中之溫度變化

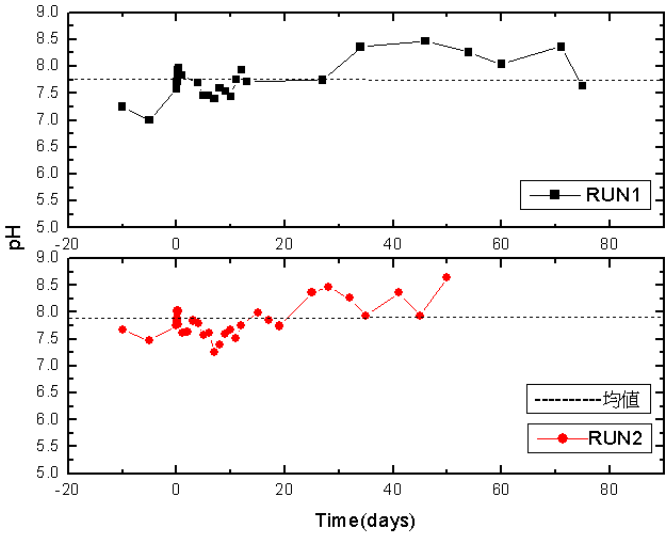


圖3 景觀水池試程中之pH變化

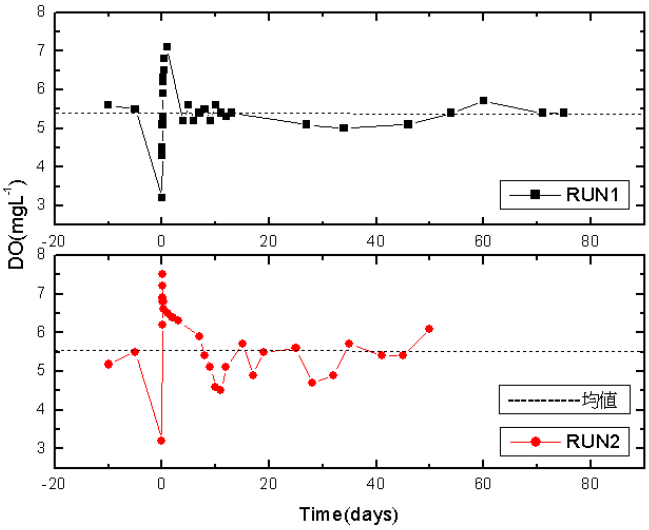
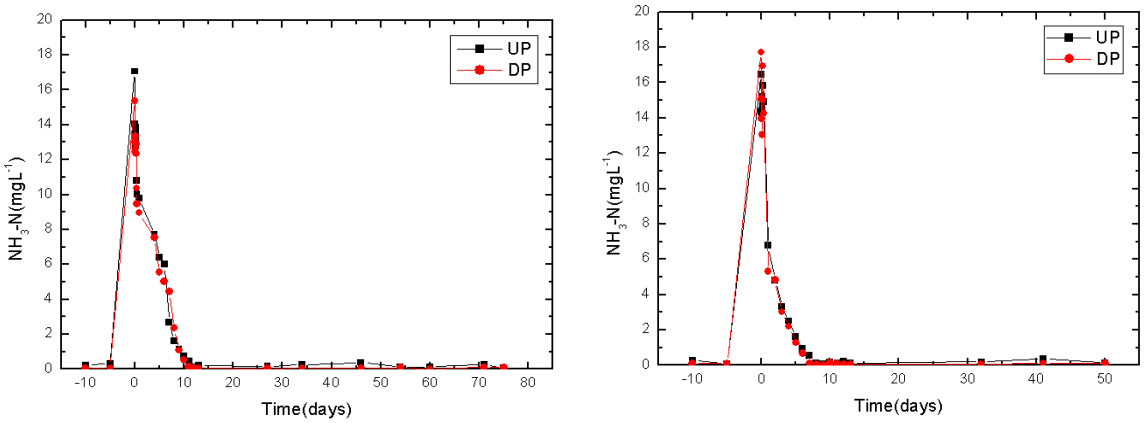


圖4 景觀水池試程中之溶氧變化



(a) (b)

圖5 不同流量氨氮之歷時變化；(a)RUN1，(b)RUN2

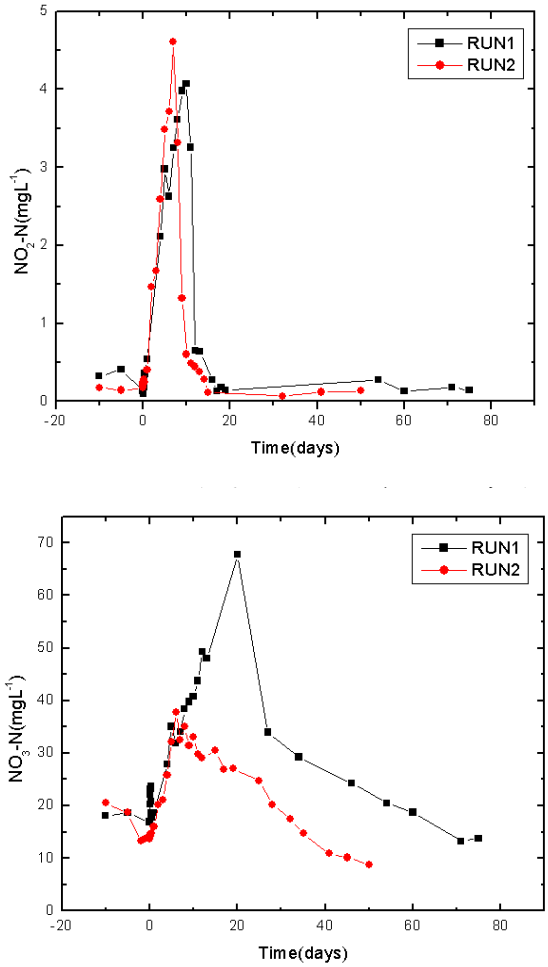


圖7 不同流量硝酸鹽氮之歷時變化

氧即可大於 4.0mg/L，因此，日間之溶氧量大致可保持適於硝化反應之狀態。

圖 5 為本研究的二試程之氨氮歷時圖，由其結果可知，上下池氨氮濃度頗為相近，顯示二池水質充份混合，而 RUN2 氨氮經 1 日後，其濃度即從 16.22mg/L 降至 6.11mg/L 幅度較為大，第 8 日即減至 0.084mg/L，濃度小於 0.1mg/L，對水中生物即無危害(曾等人,2007)，而 RUN1 則需 6 天才可降至 6mg/L，濃度小於 0.1mg/L 則需 12 天。由此結果可知，較長之停留時間與較高之溫度可提升氨氮之降解。

氨氮經氧化後生成亞硝酸鹽氮，由圖 6 之結果顯示，當氨氮濃度分別於 8 天；12 天降至最低時，亞硝酸鹽氮之濃度即到最高峰；4.08mg/L 與 4.61mg/L，足可印證氮化物轉換前後關係，RUN1、RUN2 分別在 16 天、17 天回至背景值，可知較氨氮較不受溫度之影響 (Knowles, 1965)。

由圖 7 之結果發現 RUN1 硝酸鹽氮濃度在亞硝酸鹽氮之濃度達背景濃度時，其濃度亦隨之達到最高濃度；67.85mg/L，而降至背景值需 40 天之久，RUN2 則需 25 天，此與一般人工濕地之研究結果不同，其原因係水中之高溶氧不利於脫硝作用。系統中之連接水道係潛流式人工溼地，於循環水流停止後，其溶氧逐漸降至 0.2mg/L，ORP 從 130mv 降至-70mv，呈有利於脫硝之還原態，惟此時水流停止，質傳量小，造成其脫硝作用頗緩慢，需長時間始能將硝酸鹽氮降至背景值。

五、結論

由本研究之相關初步結果可發現台南市某大樓景觀水池之水溫於觀測期間約為16.2~25.6℃，pH 值介於 7.4~8.7，溶氧約介於 3.2mg/L~7.1mg/L，此環境頗適於硝化反應，RUN2 氨氮經 8 日後，其濃度即從 16.22mg/L 降至減至 0.084mg/L，而 RUN1 則需 12 天始降為 0.1 mg/L，較長之停留時間與較高之溫度可提升氨氮之降解。而於氨氮降為背景值時亞硝酸鹽氮之濃度出現最大值；4.08mg/L 與 4.61mg/L，其後降為背景值，此時，硝酸鹽氮濃度將隨之達最高濃度；67.85mg/L 與 49.3mg/L，降至背景值需 40 天與 25 天，此與一般人工濕地之研究結果不同，其原因係水中之高溶氧不利於脫硝作用所致。

六、計畫自評與成果

本專題研究主要應用潛流式人工溼地改善台南市某社區原有景觀水池惡化的水質，藉由氨氮、亞硝酸鹽、硝酸鹽等參數評估人工溼地系統之對含氮污染物的降解效能，同時也探討循環水流對系統效能的影響。根據由本研究之相關結果可發現景觀水池之環境頗適於硝化反應，氨氮、亞硝酸鹽、硝酸鹽之濃度皆可降為背景值，惟較長之停留時間與較高之溫度可提升氨氮之降解。另水中之高溶氧不利於脫硝，致使硝酸鹽氮有累積現象，惟系統中之潛流式人工溼地將其濃度降至背景值。

本計畫業完成原計畫申請時之執行目標且其成果亦頗具實用價值，學生亦學習到實驗數據之整理、繪圖、研究報告之撰寫，收穫很多。

七、參考文獻

1. Bremner, J. M., and Shaw, K., 1958, “Denitrification in soil II. Factors affecting denitrification,” *J. Agric. Sci.*, 51, pp.40-52.
2. Chen, Z.M., Chen, B., Zhou, J.B., Li, Z., and Zhou, Y.,”A vertical subsurface-flow constructed wetland in Beijing”, Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, pp.1986-1997(2008).
3. Jih-Min Chyan, Chien-Jung Lin, I-Ming Chen, Kuo-Chung Chen, Liang-Tse Chou, Jr-Ming Li, Kuan-Han Lin, Shina-Wu Chan,Yin-Shr Jian, “pollution release from constructed wetland”, Asian-Pacific Regional Conference on Practical Environmental Technologies, August 1-2, 2007, Khon Kaen, Thailand, (2007).
4. Knowles, G., Downing, A.L., and Barrett, M.J.(1965) “Determination of kinetic constants for nitrifying bacteria in mixed culture, with the aid of an electronic computer”, *J. General Microbiol*, 38:263-278
5. Mitchell, B 1992. Environmental Microbiology. Wiley Liss, Inc., New York, NY.
6. Stanford, G., Vander Pol, R. A., and Dzienia, S., 1975, “Denitrification rate in relation to total and extractable soil carbon,” Soil Soc. Soc. Am. Proc., 39, pp.284-289.
7. Terzakis, S., Fountoulakis, S., Georgaki, I., Albantakis, D., Sabathianakis, I.,Karathanasis, A.D., Kalogerakis, N., and Manios, T.,” Constructed wetland streating highway runoff in the central Mediterranean region”, Chemosphere,pp.141–149(2008).
8. Tooming, A., Oovel, M., Mauring, T., and Mander,U.,” Schoolhouse wastewater

purification in a LWA-filled hybrid constructed wetland in Estonia", Ecological Engineering, Vol.29, pp.17-26(2007)

9. 彭明琛，「養殖環境中氨氧化菌之研究」，國立中山大學海洋資源研究所，碩士論文，(2002)
10. 許原哲、荊樹人、林瑩峰、林敏朝、翁正哲、李得元、施凱鐘、陳欽昭，「以人工濕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，(2003)。
11. 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)。
12. 蔡凱元、楊磊，「人工濕地處理中高埋齡垃圾掩埋場滲出水之研究」，第29屆廢水處理技術研討會論文，(2004)。
13. 陳韋志，「環境因子的變化對人工溼地硝酸鹽去除功能的影響」，嘉南藥理科技大學環境工程研究所，碩士論文，(2005)
14. 顏宛珍，「以工溼地處理化糞池出流水之研究」，國立臺灣科技大學化學工程研究所，碩士論文，(2006)。
15. 陳怡伶，「以複合式水平流人工濕地處理中高埋齡垃圾滲出水之研究」，國立中山大學海洋環境及工程學系研究所，碩士論文，(2006)。
16. 歐文生、林憲德、荊樹人，「景觀化人工濕地淨化校園污水效益與公共衛生之研究」，第56期建築學報，(2006)。
17. 曾胡龍、戴習林、蔡生力，「消化細菌在水族箱中的生態功能及應用」，科學養魚，(2007)