

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

校園污水應用綠建築人工濕地處理之研究 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 95-2221-E-041-026-
執行期間：95年08月01日至96年07月31日
執行單位：嘉南藥理科技大學休閒保健管理系

計畫主持人：歐文生

計畫參與人員：大學生-兼任助理：蔡坤燕、劉瑋婷、陳盈秀



處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2年後可公開查詢

中華民國 96年10月09日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

校園污水運用綠建築人工濕地處理之研究

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 95-2221-E-041-026-

執行期間： 95 年 8 月 1 日至 96 年 7 月 31 日

計畫主持人：歐文生

共同主持人：

計畫參與人員：

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：嘉南藥理科技大學

中 華 民 國 96 年 10 月 09 日

校園污水運用綠建築人工濕地處理之研究

歐文生

關鍵詞：人工溼地、校園污水、綠建築

摘要

本研究實測人工濕地(Constructed wetland, CW)系統淨化校園污水之效能，並且以大腸桿菌作為公共衛生之門檻指標。實測場地位在於成功大學建築系，該場地為內政部建築研究所九十二年度「綠色廳舍暨學校改善計畫」所建置。

本研究期間全程進行水質監測與分析，檢測結果顯示水質多能符合行政院環保署「放流水標準」。在水質監測部分，淨化效能在 BOD₅ 去除率為 84.7%、COD 去除率為 64.9%、SS 去除率為 73.1%、NH₃-N 去除率為 64.3%、TKN 去除率為 64.9%、TP 去除率為 46.6%、大腸桿菌群去除率為 78.9%、糞便型大腸桿菌去除率為 96.4%。

人工濕地淨化污水方式，是省能源、省資源的生態工法之一。濕地系統的設計參數、操作管理及衍生議題，猶待後續相關研究，以作為我國發展永續水資源政策之參考。

A Research on Green Building Constructed Wetland for Campus Wastewater Treatment.

Wen-Sheng Ou

KEY WORDS: Constructed wetlands, Campus wastewater, Green building

ABSTRACT

In this research, a constructed wetland system was used for the treatment of the wastewater from campus. This plan was funded by the “Green Remodeling Plan for Governmental Buildings” program of Architecture and Building Research Institute (ABRI). This constructed wetland system is located in Architectural Department of National Cheng-Kung University (NCKU) and is the first full-scale campus constructed wetland established in the nation. The purpose of this research is to implement the observation of the decontamination capability and ecological development in the constructed wetland.

A constructed wetland, the observation of water quality was implemented regularly, and the water quality usually meets the requirements of “Discharge Standard” set by Environmental Protection Administration in Taiwan. During the start-up phase of the constructed wetland, the removal rates of constituents from wastewater were 84.7% for BOD₅, 64.9% for COD, 73.1% for SS, 64.3% for NH₃-N, 64.9% for TKN, 46.6% for TP, 78.9% for the colon bacillus, and 96.4% for the fecal coliform.

From the viewpoint of global environmental protection, treating wastewater by constructed wetland is an ecological method which can achieve energy conserving, resource saving, and without further public pollution. As for the design parameters, management and maintenance measures, and other related issues of constructed wetland need to be investigated in the future.

嘉南藥理科技大學休閒保健管理系 助理教授

Assistant Professor, Department of Recreation & Health Care Management, Chia-Nan University of Pharmacy Science, Taiwan

一、研究動機與目的

行政院「挑戰 2008 國家重點發展計畫」子計畫「水與綠建設計畫」、「綠色廳舍計畫」、「綠建築推動方案」都是追求國家「永續發展 Sustainable Development」的重大政策。我國綠建築評估法—綠建築九大指標評估體系，使我國綠建築政策邁入「綠色社區」與「生態都市」評估時代。九大指標當中「水資源指標」及「污水改善指標」兩項指標意義在於要求建築物設計過程中，應考慮水資源節約使用及雨水、污水回收再利用雙重課題。

近年來生態環境的保護受到高度重視。經濟開發與生態環境的保護必須同時並存的條件下，須有較高難度的工程技術，這種工程技術就是所謂的生態工程。生態工程整合生態系統與工程技術系統兩種系統，以永續發展作為開發行為的最高指導原則。環顧先進國家綠建築政策潮流，在景觀計畫中對於生態工程之考量，就生活污水處理而言，已擺脫舊有漠視、隱藏或單一機能考量之觀念，一些先進國家已都將生態保育置於經濟開發之上，講求結合建築、環工、景觀、生物、...等專門知識與技術，將原為處理污水之設施予以生態化、景觀化，以作為生態工程具體之示範。

本研究計畫藉由內政部「綠色廳舍計畫」設置在成功大學建築系的「人工溼地、雨水中水滲透暨再利用設施」(圖 1)，直接處理校園部分生活污水，探討人工濕地淨化生活污水之處理效能。在淨化污水再利用方面，將以現行法令標準為門檻，探討淨化後的水質之利用範圍，期能成為國家永續發展綠建築政策之「水資源指標」及「污水改善指標」具體示範與推廣之參考。

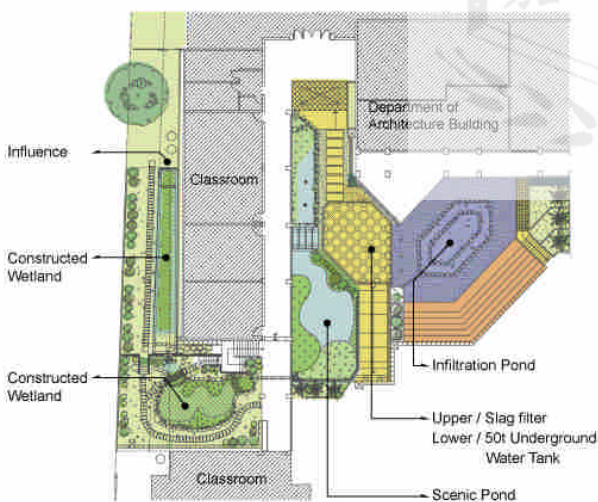


圖 1 成功大學建築系人工濕地平面配置圖

二、實驗設備與研究方法

2-1 系統建立

2-1-1 人工濕地配置

人工濕地系統承接成功大學建築系三棟大樓化糞池排放水作二級處理。本研究控制每日進流量為 5 公噸以進行後續監測，並以生化需氧量 (Biochemical Oxygen Demand, BOD₅) 降到 30ppm 以下 (環保署標準) 為目標 (建築系化糞池初始檢測 BOD 濃度常超出 100ppm)，

採用公式 (Craig S. Campbell & Michael H. Ogden, p-101) 如下：

$$As = \frac{Q \times (\ln Co - \ln Ce)}{K_t \times d \times n} \quad (\text{式 1})$$

$$HLR = Q / As \quad (\text{式 2})$$

$$HRT = volume / Q = (As \times d \times n) / Q \quad (\text{式 3})$$

As = 濕地面積 (m²)

Q = 流量 (m³/day)

Co = 進流 BOD 濃度 (mg/L)

Ce = 排放 BOD 濃度 (mg/L)

K_t = 溫度修正係數

d = 水深 (0.4 公尺深)

n = 孔隙比 (FWS 濕地水體扣除植物, 以 0.9 計算)

HLR = 水力負荷率 (hydraulic loading rate, HLR)

HRT = 水力停留時間 (hydraulic residence time, HRT)

本研究設置之人工濕地限於建築系戶外空間零星侷促，因此分為兩段濕地串聯 (Cell 1&Cell 2)，全屬表面自由流動式 (free water surface, FWS) 溼地。第一池直線渠道形，設計上純粹以淨化性能考量，面積 50 m²，為一長 20 m、寬 2.5 m、水深 0.4 m (適合挺水植物生長條件) 的濕地，底部覆土 30 cm，並種植水生植物；第二池橢圓迂迴形，採取性能與美觀兼顧設計，面積 50 m²，為一迂迴渠道，長 10 m、寬 5 m、水深 0.2~0.6 m (適合挺水、浮水及浮葉植物生長條件) 的濕地，底部覆土 30 cm，並種植多樣水生植物。由於現地高程變動，兩段間設計成石磨落水，避免水流飛濺。經過兩段溼地淨化後，排放水引入景觀水池 (Cell 3&Cell 4) 成為補充水源。景觀水池面積 120 m²、水深 0.2~0.7m，池中種植三十餘種水生植物，主要以創造生物多樣化 (Biodiversity) 環境為設計重點。景觀水池中水生植物亦需仰賴水中之營養鹽作為生長的依據，因此水質具有持續淨化的效果。

2-1-2 水生植物

本研究人工濕地種植水生植物，以淨化能力、枝葉長青、環境適應等因素為主要考量。在挺水性植物以香蒲 (*Typha orientalis Presl.*) 為主；在浮水性植物以布袋蓮 (*Eichhornia crassipes*)、水芙蓉 (*Pistia stratiotes*) 為主，以此作為濕地優勢植物。

人工濕地第一池種植香蒲、布袋蓮、水芙蓉；第二池以布袋蓮、粉綠狐尾藻 (*Myriophyllum aquaticum*)、風車草 (*Cyperus alternifolius subsp. flabelliformis*) 為主，另外種植多種本土性水生植物以豐富水域植生景觀。

2-1-3 系統操作條件

由於校區生活污水受到學校課程與寒暑假等因素影響，因此污水的產生量變動很大，本研究每日污水收集量控制在 5CMD，因此水力停留時間為 7.2 天、水力負荷為 $0.05 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ 。

2-2 採樣分析

本濕地系統於 2006 年 8 月至 2007 年 7 月進行各項採樣、監測及分析工作。採樣頻率為每兩週一次，時間約為當天上午 10~12 點。

2-2-1 現場檢測

每次採樣同時進行現場檢測，於計畫採樣點（圖 2）量測水面以下 10~20cm 處之水溫（Temperature）、pH（pH value）、溶氧（Dissolved Oxygen, DO）、氧化還原電位（ORP）、導電度（Electrical conductivity）及濁度（turbidity）等。

2-2-2 實驗室檢測

每次以 500mlPVC 瓶採集水樣，攜回實驗室進行各項水質分析，分析項目包括有總懸浮固體（Total Suspended Solids, TSS）、生化需氧量、化學需氧量（Chemical Oxygen Demand, COD）、氨氮（Ammonia Nitrogen, $\text{NH}_3\text{-N}$ ）、硝酸氮（Nitrate, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ）、亞硝酸氮（Nitrite, $\text{NO}_2^-\text{-N}$ ）、總磷（Total Phosphate, TP）、正磷酸鹽（ $\text{PO}_4\text{-P}$ ）、大腸菌類（Coli form group）等。分析方法依照行政院環境保護署公告之標準分析方法進行（表 1）。

表 1 行政院環境保護署公告檢測方法（1991~1994）

檢測項目	標準檢測方法
BOD	NIEA W501.50A
COD	NIEA W510.50A
TSS	5310B、5310C、5310D
$\text{NO}_3^-\text{-N}$	NIEA W416.50T
$\text{NO}_2^-\text{-N}$	NIEA W418.50A
TP	NIEA W427.50A
$\text{PO}_4\text{-P}$	NIEA W427.50A
大腸桿菌群	NIEA E203.50T
糞便型大腸桿菌數	NIEA E201.50S

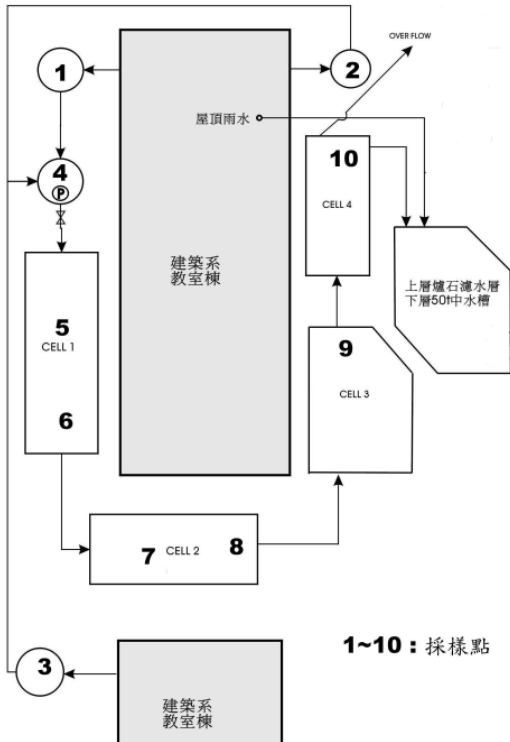


圖 2 人工濕地水質採樣點位置圖，其中 4 號測點為污水進流處，6 號測點為人工濕地第一池末端，8 號測點為人工濕地第二池末端，9 號測點為景觀水池。

三、結果與討論

濕地系統在完工後進行實場操作與監測。第一季針對 4 號點（污水進流端）、6 號點（濕地中段）、8 號點（排放端）及 9 號點（景觀水池）進行各項水質監測分析。各項污染物在濕地（進流端及排放端）之淨化效能為 BOD_5 進流水平均濃度為 104.0 ± 26.9 mg/L，放流水平均濃度為 16.0 ± 5.3 mg/L，去除率為 84.7%（圖 3）； COD 進流水平均濃度為 143.0 ± 61.3 mg/L，放流水平均濃度為 50.3 ± 22.8 mg/L，去除率為 64.9%（圖 4）； NH_3-N 進流水平均濃度為 43.3 ± 20.0 mg/L，放流水平均濃度為 15.4 ± 7.3 mg/L，去除率為 64.3%（圖 5）； TKN 進流水平均濃度為 57.9 ± 34.4 mg/L，放流水平均濃度為 20.3 ± 14.3 mg/L，去除率為 64.9%（圖 6）； TP 進流水平均濃度為 8.7 ± 3.4 mg/L，放流水平均濃度為 4.7 ± 2.2 mg/L，去除率為 46.6%（圖 7）； SS 進流水平均濃度為 36.9 ± 18.5 mg/L，放流水平均濃度為 9.9 ± 8.3 mg/L，去除率為 73.1%（圖 8）；大腸桿菌群平均進流濃度為 13700 ± 6727 CFU/ml，平均放流濃度為 2892 ± 4542 CFU/ml，去除率為 78.9%（圖 9）；糞便型大腸桿菌數平均進流濃度為 1167 ± 1668 CFU/ml，平均放流濃度為 42 ± 67 CFU/ml，去除率達到 96.4%（圖 10）。上述結果顯示各項污染物經人工濕地處理後，在排放端採樣（8 號檢測點）測得水質，檢測項目多能符合行政院環境保護署公告「放流水標準」、（表 2）。濕地排放水注入景觀水池，由於磷及其他營養鹽的緣故，池水有優氧化之虞效應，在加強植物密度（吸收營養鹽）及放養食藻生物（台灣黑殼蝦）等方式後，景觀池之水質與人工濕地檢測點對照，水質大幅提昇（圖 3~11）。

表 2 放流水標準（環保署 90 年）

分析項目	放流水標準	成大濕地
COD, mg/L	100	50.3
BOD ₅ , mg/L	30	16.0
SS, mg/L	30	9.9
水溫, °C	< 35	26.4

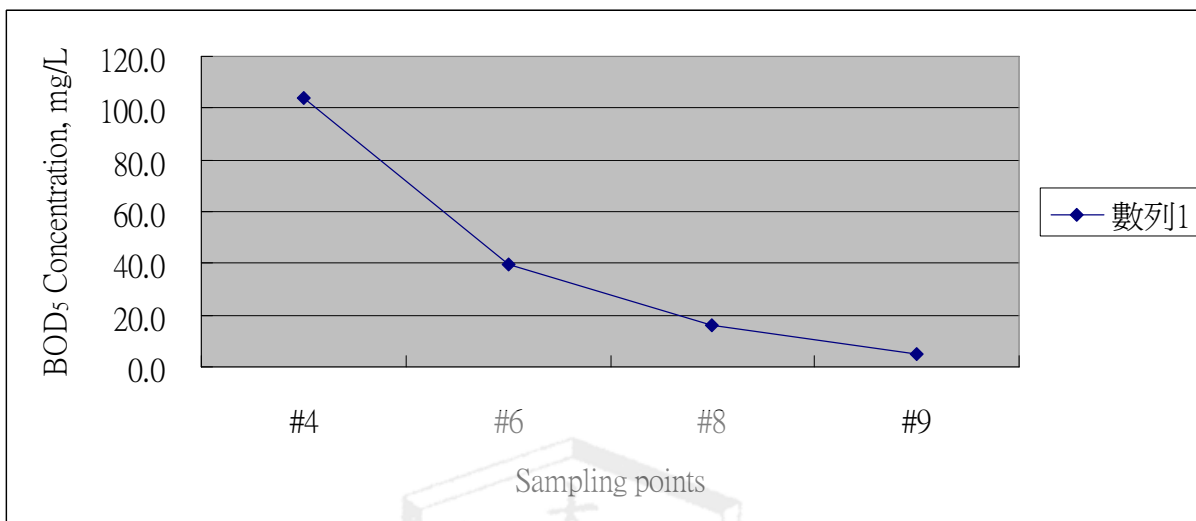


圖 3 生化需氧量在濕地中變化關係圖

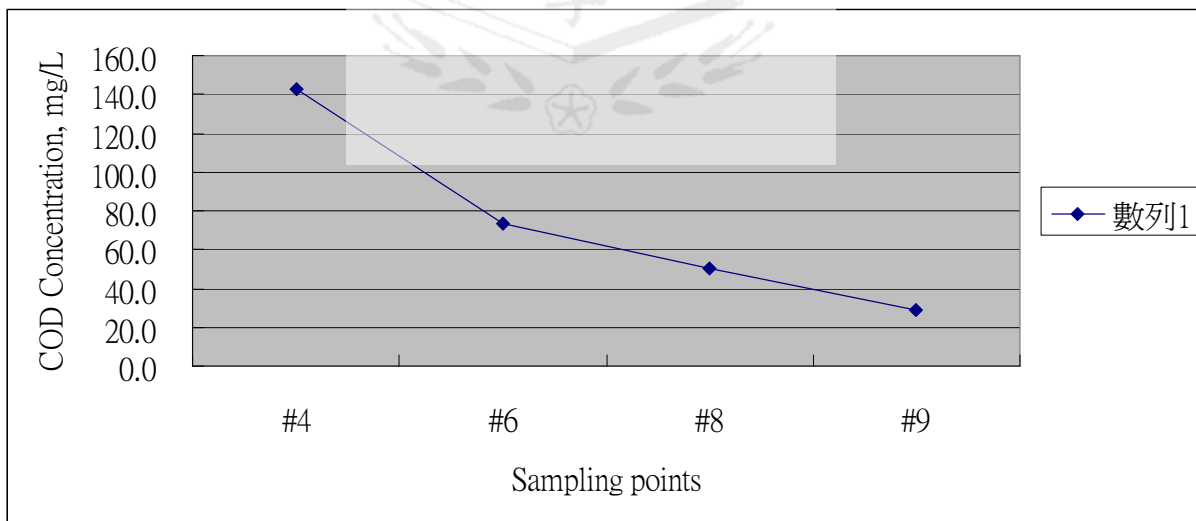


圖 4 化學需氧量在濕地中變化關係圖

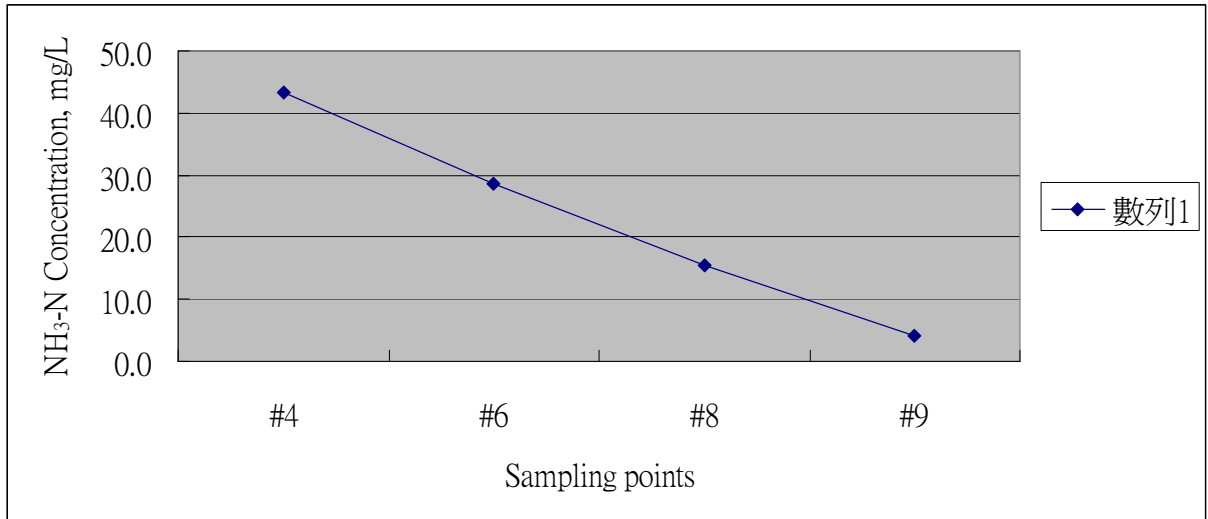


圖 5 氨氮在濕地中變化關係圖

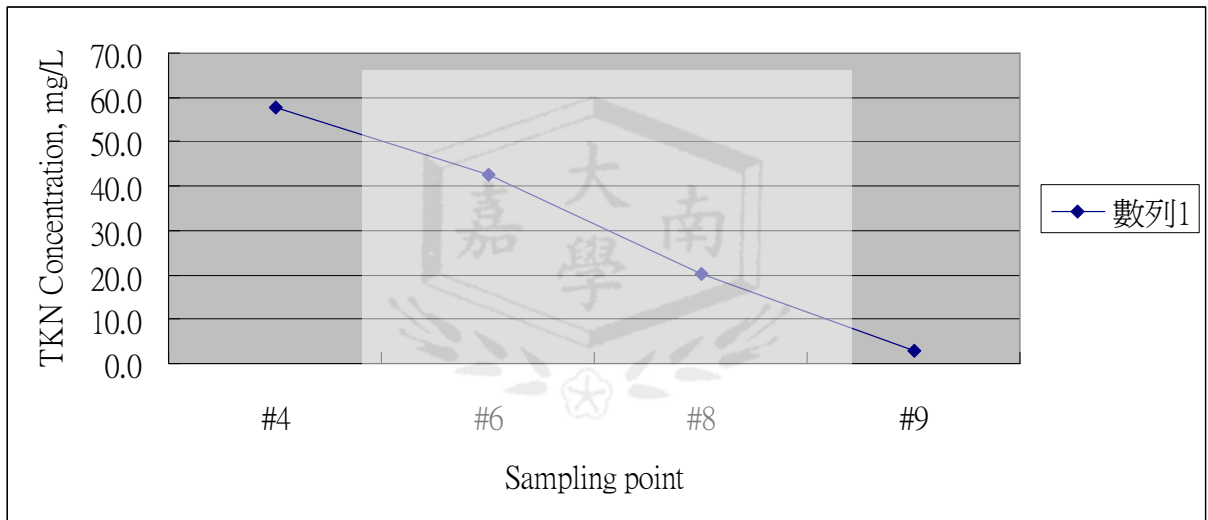


圖 6 總凱氏氮在濕地中變化關係圖

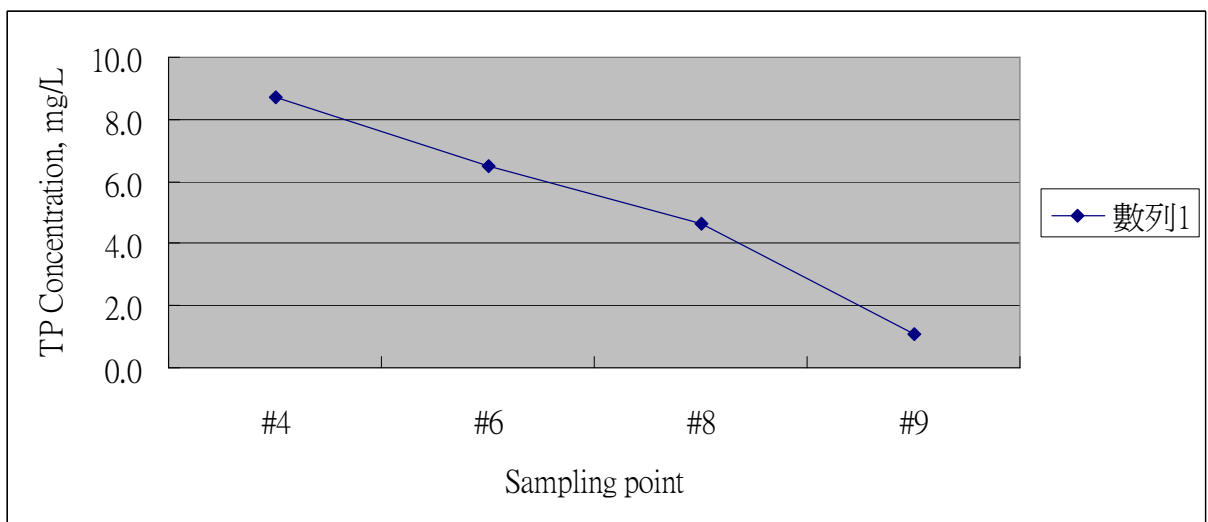


圖 7 總磷在濕地中變化關係圖

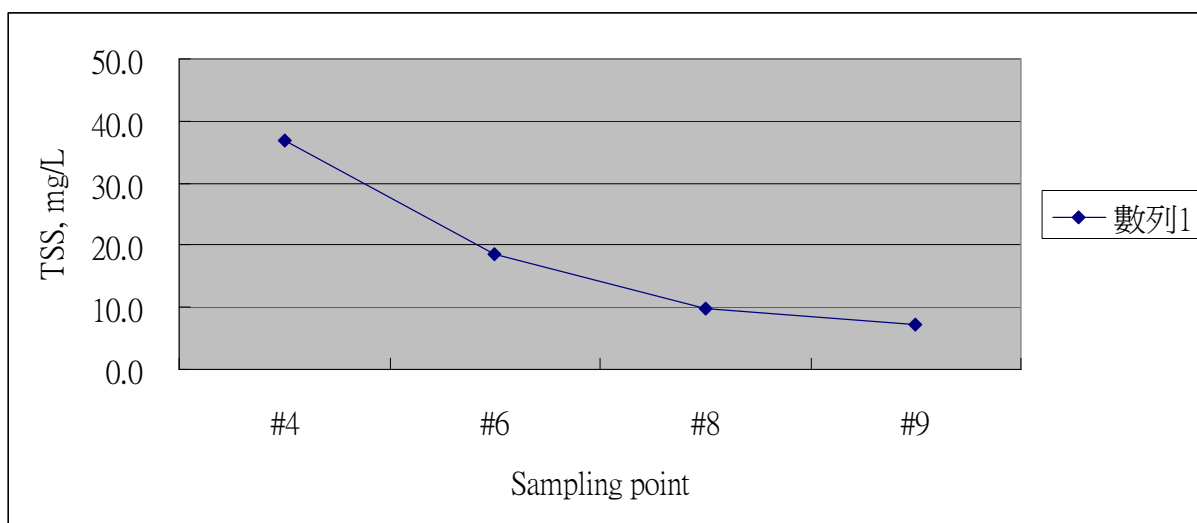


圖 8 總懸浮固體在濕地中變化關係圖

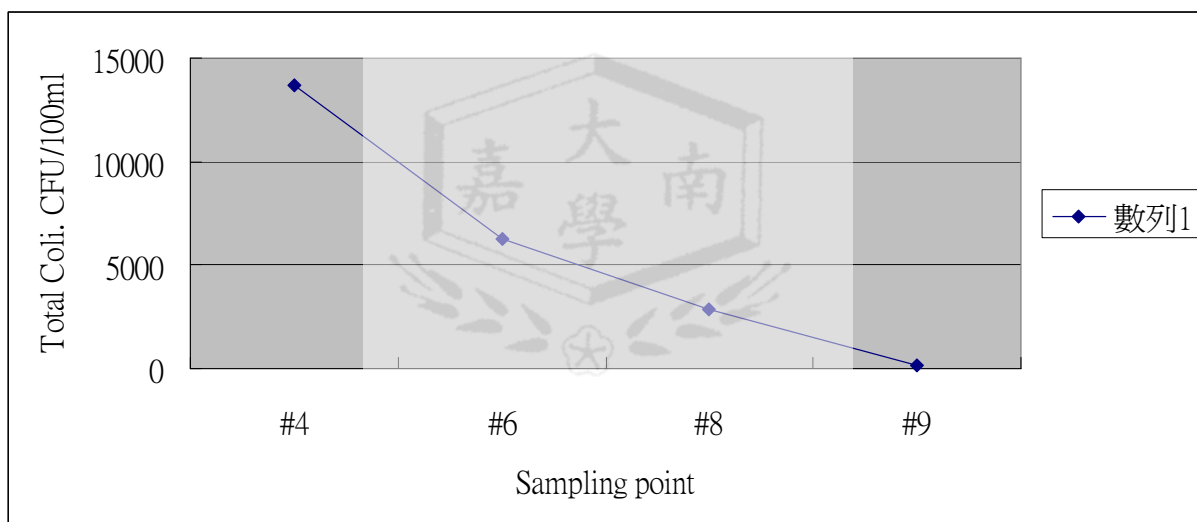


圖 9 大腸桿菌群在濕地中變化關係圖

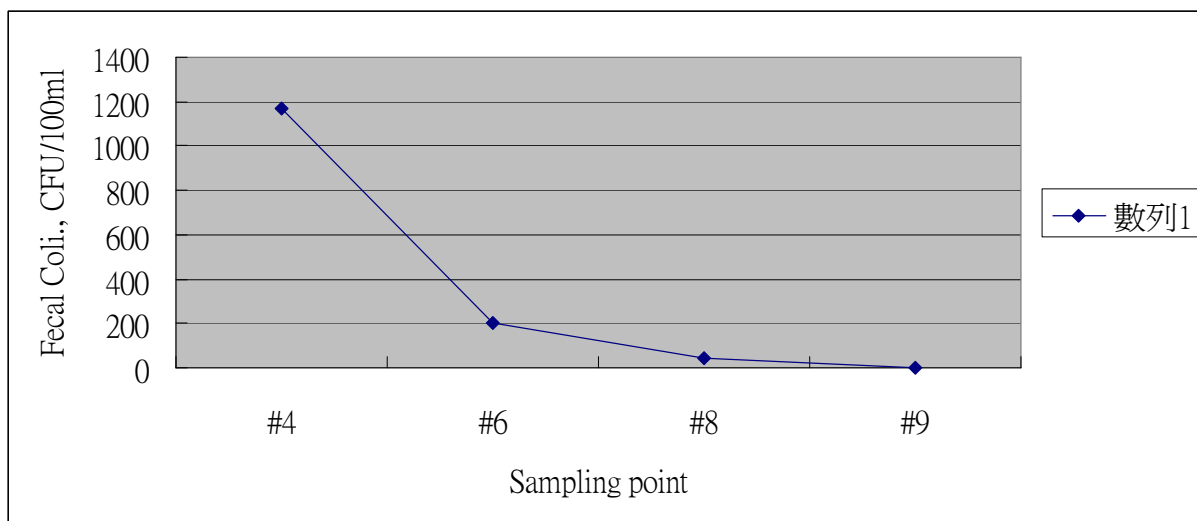


圖 10 糞便型大腸桿菌數在濕地中變化關係圖

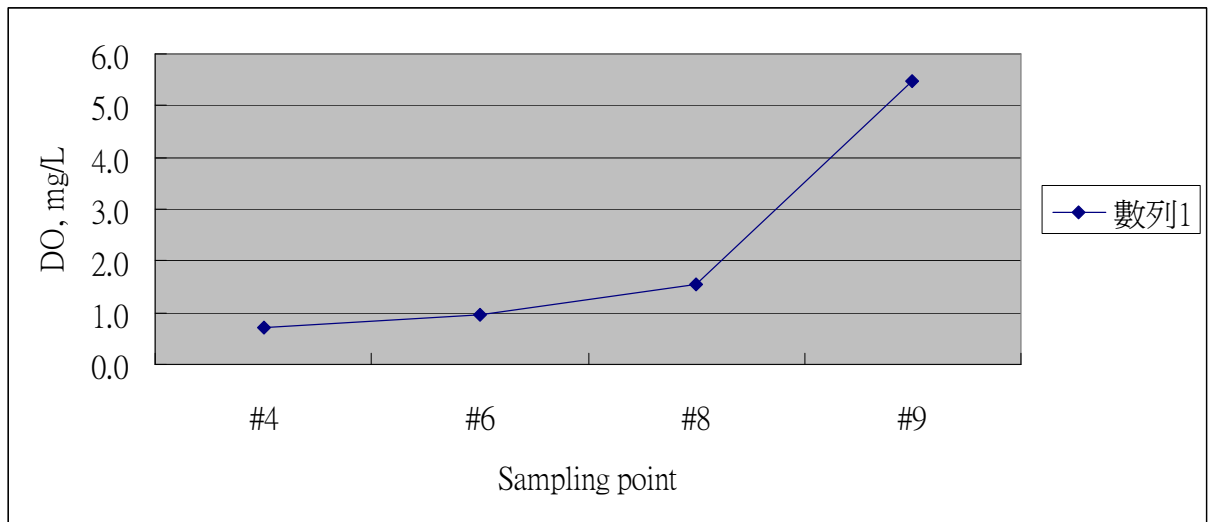


圖 11 溶氧在濕地中變化關係圖

四、結論

人工濕地技術發展在國際上已達成熟階段，在先進國家常應用於處理生活污水、農牧業污水、垃圾掩埋場滲出水及重金屬污染等多樣屬性之污染源。人工濕地除了具有淨化污水效果，在生態意義上，可結合景觀資源、生態復育、教育學習、生物多樣性 (Biodiversity) 等多種議題作規劃發展。

本研究經由實場操作得知人工濕地淨化校園生活污水之效益，在生化需氧量 (BOD₅) 去除率為 84.7%、化學需氧量 (COD) 去除率為 64.9%、懸浮固體 (SS) 去除率為 73.1%、氨氮 (NH₃-N) 去除率為 64.3%、總凱氏氮 (TKN) 去除率為 64.9%、總磷 (TP) 去除率為 46.6%、大腸桿菌群去除率為 78.9%、糞便型大腸菌 (E-Coli) 去除率達到 96.4%。

從地球環保觀點而言，以人工濕地來淨化污水，是省能源、省資源、無二次公害的生態工法。人工濕地系統的設計參數、系統整體淨化性能、操作管理及衍生議題，猶待後續相關研究，以作為我國發展永續水資源政策之參考。

謝辭

感謝國科會對本研究計畫之經費補助 (計畫編號：95-2221-E-041-026)。

五、參考文獻

1. 水質分析，江漢全，三民書局。
2. 水環境化學，陳靜生，曉原出版社。
3. 水及廢水處理理論與實務，Ronald L. Droste，林正芳等譯，六合。
4. 荆樹人，林瑩峰，林憲德，歐文生，2003，“人工溼地淨化校區污水再利用之研究”，第二十八屆廢水處理技術研討會。
5. 歐文生，荆樹人，林瑩峰，林憲德，2003，“綠校園永續水循環之研究以成功大學建築系

人工濕地為例”，高雄大學，2003 人工濕地淨化系統研討會

6. 陳國誠，1991，〈廢水生物處理學〉，國立編譯館主編，pp.238，茂昌圖書公司，台北。
7. 環保署，2003，放流水標準，行政院環境保護署（九二）環署水字第 0084786 號。
8. 環保署，1998，地面水體分類及水質標準(陸域部分)，行政院環境保護署（八七）環署水字第 0039159 號。
9. 農委會，2003，灌溉用水水質標準，行政院農委會（九二）農林字第 0031524 號。
10. 陳欽昭等，2002，“氧化塘與人工溼地系統連接操作處理社區污水”，〈2003 年人工濕地水質淨化系統研討會論文集〉，高雄大學，高雄。
11. 李得元等，2003，“人工溼地處理校園污水之水力負荷對懸浮固體物去除效能之探討”，〈2003 年人工濕地水質淨化系統研討會論文集〉，高雄大學，高雄。
12. 李季眉等，1997，〈環境微生物〉，pp. 260，中華民國環境工程學會，台北。
13. Campbell, Craig S. & Ogden, Michael H., 1999, *Constructed Wetlands in the Sustainable Landscape*, pp. 101, John Wiley & Sons, Inc. published, Canada.
14. Droste, Ronald L., 1997, 〈水及廢水處理理論與實務〉，(*Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment*)，林正芳等譯，pp. 159 及 pp. 651-652，六合出版社，台北。
15. Faulkner S. P. and Richardson C. J., 1989, “Physical and chemical characteristics of freshwater wetland soils,” *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment Municipal, Industrial and Agricultural*, Lewis publishers, Michigan, USA, pp. 41-72.
16. Gersberg, R.M. R. A. Gearhart, and M. Ives, 1989, “Pathogen Removal in Constructed Wetlands,” in *Constructed wetlands for wastewater treatment*, D. A. Hammer, ed., Lewis Publishers, Chelsea, MI, pp. 431-445.
17. IWA, 2000, “Specialist Group on Use of Macrophytes in Water Pollution Control,” *Constructed Wetlands for Pollution Control: Processes, Performance, Design and Operation*, pp. 103 & pp. 55-65, IWA published, London, England.
18. Jos T.A. Verhoeven , Arthur F.M. Meuleman, 1999, “Wetlands for wastewater treatment: Opportunities and limitations,” *Ecological Engineering* 12, pp. 5-12.
19. Knight, R. L., 1993, “Operating Experience with Constructed Wetland for Wastewater Treatment,” *Tappi J.*, 76, 1, pp. 109-112.
20. U.S. Environmental Protection Agency, 1986. Design Manual. *Bacteriological water quality criteria for marine and fresh recreational waters*. EPA-440/5-84-002, Cincinnati, OH.
21. A Handbook of Constructed Wetlands, EPA.
22. *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment and Wildlife Habitat: 17 Case Studies* (EPA832-R-93-005), United States Environmental Protection Agency, September, (1993).
23. *Constructed Wetlands in the Sustainable Landscape*, Craig S. Campbell & Michael H. Ogden, 1999.