

# 行政院國家科學委員會專題研究計劃成果報告

綠色環保技術之研發及策略研究-溼地對水資源之保育管理及永續利用- 子計畫五：  
污染物在溼地系統中之宿命研究(I)

Study of Fate of the Pollute in the Wetland System

計劃編號：NSC 88-2621-Z-041-002

執行期限：87 年 8 月 1 日至 88 年 7 月 31 日

主持人：王姿文 副教授 嘉南藥理學院藥學系

共同主持人：李得元 副教授 嘉南藥理學院環境工程衛生系

E-mail: watzwe@kimo.com.tw

## 一、中文摘要

本子計劃已計畫性進流方式探討有機物、氮與磷化合物在人工濕地的宿命。在五個實驗階段中，有機物的去除有限，因為水生植物所需的有機物絕大部分靠光合作用（photosynthesis）來合成，顯示有機物在系統中主要為微生物所利用而去除。同時會因進流水中氨氮及磷酸鹽的缺乏或減少，影響植物及微生物的生長，甚至使其死亡率大於生長率，死亡細胞釋放有機物於系統中，因而呈現 COD 的去除率為負值。硝化及脫硝作用為濕地除氮的主要機制。無光合作用能力的濕地系統（加蓋對照組），由於缺乏植物（及植物性浮游生物）之營養鹽攝取作用及缺少水中植物體可提供微生物生長的表面積，平均氨氮及總氮去除效率，比植物濕地系統去除效率明顯降低。無種植植物但接受日照（不加蓋）之對照組系統，由於衍生大量植物性浮游生物（由葉綠素 a 的分析得知），其功能猶如氧化塘，各試程之平均氨氮及總氮去除效率僅略低於植物濕地系統。濕地中植物（及植物性浮游生物）生長對氮的攝取能力，可補償脫硝作用受到限制的不足。較高的磷酸鹽濃度（或）促進濕地中植物及植物性浮游生物的生長，進而增加對氮的攝取，因此有較高的氨氮及總氮去除效率。磷酸鹽濃度不足、限制了植物及植物性浮游生物的生長，此時便顯著降低濕地中氨氮及總氮的去除效率。溼地系統中的水生植物或藻類的生長繁殖有增進磷酸鹽的去除效能。有限的磷酸鹽去除率會受到氨氮不足之影響，當氨氮過量時磷酸鹽平均去除率均在 90% 以上，此時磷酸鹽明顯為有限營養鹽。未加蓋對照組因有藻類的生長，其行為十分接近一氧化塘，明顯的較只有異營性微生物之加蓋對照組在去除磷酸鹽上為佳。就不同的水生植物系統而

言，凡種植水生植物之溼地系統在較佳的氮磷比例狀況下，進出流水中磷酸鹽濃度的差異最高可達 15 mg P/L，此一結果並不遜於一般人工控制的生物處理系統。

由各個溼地（除了加蓋對照組）的放流水中發現，各溼地系統中均有不同程度的 TSS 增加量，最高者甚至達到 230 mg/L。其原因為各溼地系統所產生的藻類所致。

## ABSTRACT

This research was using programmed influents to investigate the fates of organics, nitrogen, and phosphorus in constructed wetland systems (CW). Within the five accomplished experimental stages, the removal of COD was limited. It was mainly because that the required organic materials for macrophytes were produced by photosynthesis indicating that the organic removal is mainly by microorganisms. The poor growth or even death of macrophytes and microorganisms due to deficient nitrogen and phosphorus in the influent may cause releases of organic materials from dead cells and become organic source in the effluent. Nitrification and denitrification are the main mechanisms for removing nitrogen in a CW. The CW without photosynthetic ability (covered control system) had significantly lower average removal rates in total nitrogen. The main reason for this phenomenon is that the lack of vegetation due to deficient nutrient would further reduce the surface area for the growth of microorganism. The uncovered control system acting as an oxidation pond due to large amount of algae grown (based on the

analyses of chlorophyll a) showed only slightly lower than the vegetation planted systems in nitrogen removal. The uptakes of nitrogen by macrophytes or algae can make up the limitation of nitrification deficiency. Higher dosages of phosphorus in the influent could induce the growth of macrophytes and algae would further increase the uptake of nitrogen from water, and *vice versa*. The phosphorus removal rates were limited when the nitrogen was a limited nutrient in water. When nitrogen was overloaded, then phosphorus average removal rates were all higher than 90% and phosphorus became a limited nutrient. The uncovered control system had significantly higher removal rates in phosphorus than the covered control system. When the vegetation planted systems controlled at optimized nitrogen and phosphorus ratio could achieve a concentration of phosphorus reduction up to 15 mg P/L between influent and effluent and this result is not worse than any human controlled biological treatment system. In the effluents from all systems, except the covered control system, the concentrations of total suspended solids had various extent of increase. The highest concentration was found as 230 mg/L. the main reason for this result was due to the growth of algae in the systems..

## 二、緣由與目的

近年來，政府已將「加強水資源開發與管理」列為國家發展重要建設計畫之一<sup>(1)</sup>，希望透過水資源管理、保育、開發及有效利用，使國內水源得以改善、保存，供應民生及農業、工業用水。觀察自然生態環境中，濕地是一可以應用於水中污染物去除的系統，藉由水中藻類的吸收、底泥的沉積、底泥微生物的吸收與分解及水中大型植物的吸收等，將污染物質由水中去除，可達到淨化水質的目的。然而自然界的濕地，包括沼澤、草澤、淺灘、潟湖等，均是目前應保護的生態保育區，不可任意將污水引入，而人工濕地因能選擇承受高污染物質的水生植物達到最佳處理效果，可使進流水有效的流經整個濕地，以提高效率，並減少人工濕地所需的面

積，可依現地所需，彈性的設置在污染源與承受水體之間的適當位置，不受地形影響，可選擇是否與地下水層相接觸等優點，故為一可淨化水質的有效工具<sup>(2)</sup>。

目前常見的人工濕地有兩種類型<sup>(2)</sup>，一為自由水層系統（FWS，free water surface system）以及表層下流動系統（SFS，subsurface flow system）。國內對於人工濕地的研究發展，仍在萌芽階段，起初的研究大多著重在生態上的復育，將因污染而即將滅絕的濕地動、植物，以人工濕地混合受污染的天然濕地做復育工作。但大多數仍以植物，尤其紅樹林為主<sup>(3)</sup>，如台南地區四草的水筆仔復育計畫，而水質的評估亦僅觀察是否影響濕地內動、植物之生存。近年來國內諸學者有鑑於污染防治的過程中，以物理及化學方式處理污染水常會造成二次污染，而欲吸取國外之經驗，利用人工濕地法淨化水質。在國外，如應用在都市污水<sup>(4,5)</sup>、工業廢水<sup>(6,7)</sup>、垃圾掩埋場或礦場滲出水<sup>(8,9)</sup>等，都是很好的例子，而且經常舉辦有關濕地應用、復育的會議，交流有關濕地的系統應用與研究成果<sup>(10)</sup>。而在國內，此濕地計畫仍屬開發研究階段，希望可以合併生態保育，進而改善水源環境及增進水源的再利用。

本計畫為整合型計畫「綠色環保技術之研發及策略研究—溼地對水資源之保育管理及永續利用」中之一個子計畫，目的在探討污染物質在濕地中的宿命，以小型人工溼地模擬污染狀況，探討污染物質之流向，單位面積的濕地中不同植物物種的最佳除污能力，選出對特定污染物的最佳物種及操作方式，以期能應用在已遭受污染的地區或作預防的措施，並兼以美觀的效果。另外，這些植物於污染水中的生長特性亦可作為將來判定污染物種類與程度的標準。先前實驗的初步結果顯示植物體的生長的確受到有機污染物很大的影響，植物體會將此污染物作為營養源，使植株生長迅速。而不同植物種類在生長上亦有不同程度的差異，其中以空心菜、水芙蓉在生長上最為明顯<sup>(11)</sup>。本子計劃即是分析各有機污染物、氮、磷等於水體中消失後，其可能分佈之狀況。為了明確的了解人工溼地系統對於這些營養鹽去除的比例與機制，在實驗步驟上做了逐步漸進的規劃。在整個 88 年度中所涵蓋的實驗內容大致分為五個階段（因進度略有落

後，實驗尚在進行中)。最後目標為尋求人工溼地系統對於有機物：氨氮：磷酸鹽的最佳去除比例的範圍。

### 三、結果與討論

#### 1. 系統特性

各系統中之 pH 隨硝化反應而有偏低的趨勢，DO 則因水生植物的光合作用而維持好氧的狀態，水溫則隨季節改變。

#### 2. COD

在進流水中含有有機物的第一階段中，各系統之COD的去除率皆有不錯的表現，平均都在70%以上；由於植物對有機物的吸收非常有限，因為其所需的有機物絕大部分靠光合作用（photosynthesis）來合成，顯示有機物在系統中主要為微生物所利用而去除。而進流水中不添加有機物的第二至第四階段則因氨氮及磷酸鹽的缺乏或減少，影響植物及微生物的生長，甚至使其死亡率大於生長率，死亡細胞釋放有機物於系統中，因而呈現COD的去除率為負值。

#### 3. 氨氮

硝化及脫硝作用為濕地除氮的主要因素。無光合作用能力的濕地系統(加蓋對照組)，由於缺乏植物(及植物性浮游生物)之營養鹽攝取作用及缺少水中植物體可提供微生物生長的表面積，各試程的平均氨氮及總氮去除效率，比植物濕地系統去除效率明顯降低 21-32 % 及 24-47 %。無種植植物但接受日照(不加蓋)之對照組系統，由於衍生大量植物性浮游生物(由葉綠素 a 的分析得知)，其功能猶如氧化塘，各試程之平均氨氮及總氮去除效率僅略低於植物濕地系統分別 < 9 % 及 3-13 %。兩者差異，可能歸因於水中藻類無法如植物體提供脫氮細菌的附著生長。因此，植物及植物性浮游生物的存在，對濕地中氮去除的貢獻相當重要。植物濕地系統及不加蓋對照系統之放流水中氮氧化物的累積較不顯著，對總氮去除效率的影響亦較小。此結果可說明，濕地中植物(及植物性浮游生物)生長對氮的攝取能力，可補償脫硝作用受到限制的不足。進流水中磷酸鹽濃度改變時，在 TN:SP 比值較低的操作條件下，較高的磷酸鹽濃度(或)促進濕地中植物及植物性浮游生物的生長，進而增加對

氮的攝取，因此有較高的氨氮及總氮去除效率。相反地，在 TN:SP 比值相當高的操作條件下，磷酸鹽濃度不足、限制了植物及植物性浮游生物的生長，此時便顯著降低濕地中氨氮及總氮的去除效率。

#### 4. 磷酸鹽

溼地系統中的水生植物或藻類的生長繁殖有增進磷酸鹽的去除效能。有限的磷酸鹽去除率主要是受到氨氮不足的影響。當氨氮濃度增加時，磷酸鹽的去除率亦隨之明顯的增加。植物生長快速的期間，氮磷的去除率則同步的增加。目前發現，氨氮與磷酸鹽平均去除量的比例在4與6之間為最佳狀態。未加蓋對照組因有藻類的生長，其行為十分接近一氧化塘，與只有異營性微生物之加蓋對照組在去除水中營養鹽上有相當大的差異。凡種植水生植物的系統均顯現出較佳的除磷功能。

#### 5. 懸浮固體

由各個溼地(除了加蓋對照組)的放流水中發現，各溼地系統中均有不同程度的TSS增加量，最高者甚至達到230 mg/L。探究其原因發現，各溼地系統所產生的懸浮固體主要是因為藻類的繁殖所致。

### 四、計劃成果自評

本子計劃利用體積較小的系統(bench scale)以便迅速達到穩定狀態，同時進流水也以人工配製以有效控制進入系統之物質。由不同的組合實驗結果，對於有機物、氮與磷化合物在人工濕地的宿命已有初步的結論。植物對有機物的吸收非常有限，顯示有機物在系統中主要為微生物所利用而去除，然植物能提供微生物分解有機物所需的氧氣進而增加其去除效能。但是當氨氮及磷酸鹽的缺乏或減少，影響植物及微生物的生長，甚至使其死亡率大於生長率，死亡細胞釋放有機物於系統中，因而呈現 COD 的去除率為負值。硝化及脫硝作用為濕地除氮的主要機制之一。缺乏植物(及植物性浮游生物)之營養鹽攝取作用及缺少水中植物體可提供微生物生長的表面積，使得平均氨氮及總氮去除效率明顯降低。植物及植物性浮游生物的存在，對濕地中氮去除的貢獻相當重要。濕地中植物(及植物性浮游生物)

生長對氮的攝取能力，可補償脫硝作用受到限制的不足。溼地系統中的水生植物或藻類的生長繁殖有增進磷酸鹽的去除效能。植物生長快速的期間，氨氮與磷酸鹽平均去除量的比例在 4 與 6 之間，對於氮與磷得去除均具明顯的效果。凡種植水生植物之溼地系統在較佳的氮磷比例狀況下，進出流水中磷酸鹽濃度的差異最高可達 15 mg P/L，此一結果並不遜於一般人工控制的生物處理系統。由各個溼地（除了加蓋對照組）的放流水中發現，各溼地系統中均有不同程度的 TSS 增加量，最高者甚至達到 230 mg/L。探究其原因發現，各溼地系統所產生的懸浮固體主要是因為藻類的繁殖所致。本子計劃在 87 年度的結果，將可提供了解溼地系統中一般去除水中營養鹽最佳的比例，同時對於去除的機制亦將有初步的概念及輪廓。

## 五、參考文獻

1. 中華民國台灣地區環境保護統計年報 1995 行政院環保署統計室。
2. Metcalf & Eddy 1991 Ch13 Natural treatment system. In Wastewater Engineering ( 3ed ) pp. 927-1061. McGraw-Hill, Inc. New York.
3. 薛美莉 1995 消失中的濕地森林—記台灣的紅樹林，台灣省特有生物研究保育中心。
4. Juwarkar, S., Oke, B., Juwarkar, A. and Patnaik, S. M. 1995. Domestic wastewater treatment through constructed wetland in India. Wat. Sci. Tech. Vol. 32, No. 3, pp. 291-294.
5. Thomas, P. R., Glover, P. and Kalaroopan, T. 1995. An evaluation of pollutant removal from secondary treated sewage effluent using a constructed wetland. Wat. Sci. Tech. Vol. 32, No. 3, pp. 87-93.
6. Vrhovsek, D., Kukanja, V. and Bulk, T. 1996. Constructed wetland for industrial waste water treatment. Wat. Res. Vol. 30, No. 10, pp. 2287-2292.
7. Yin, H. and Shen, W. 1995. Using reed beds for witer operation of wetland treatment system for wastewater. Wat. Sci. Tech. Vol. 32, No. 3, pp. 111-118.
8. Mehlum, T. 1995. Treatment of landfill leachate in on-site loogon and constructed wetland. Wat. Sci. Tech. Vol. 32, No. 3, pp. 129-136.
9. Tarutis, W. J., and Unz, R. F. 1995. Ion and manganeserelease in coal mine drainage wetland microcosms. Wat. Sci. Tech. Vol. 32, No. 3, pp. 187-192.
10. Andrew, W., 1995. Constructed wetland in water pollution control : fundamentals to their understanding. Wat. Sci. Tech. Vol. 32, No. 3, pp. 21-29.
11. 王姿文、林瑩峰、荊樹人、李得元等. 1998. 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. 第二十三屆廢水處理技術研討會論文集. Pp. 294-299. 中華民國環境工程協會.