

嘉南藥理科技大學專題研究計畫成果報告
溫度變化對不同本土水生植物在人工溼地系統中除磷之影響
Effects of Temperature Variations on Phosphorous Removal in
Different Taiwan Local Macrophytes Microcosm Wetlands

計畫編號：

執行期限：91年1月1日至91年12月31日

計畫主持人：嘉南藥理科技大學環境工程衛生系

共同主持人：嘉南藥理科技大學環境工程衛生系

計畫參與人員：嘉南藥理科技大學環境工程衛生系

一、中文摘要

自然水體中若含有大量的磷酸鹽將導致湖泊與河川優養化。本研究利用種植不同本土性水生植物的人工溼地系統與對照組系統，以探討不同植物的溼地系統對磷酸鹽去除效能之比較，以及溫度變化對不同植物的溼地系統去除磷酸鹽之影響。入流目標濃度為磷酸鹽 5 mg P/l。根據一年之操作結果，各系統(水芙蓉、蘆葦、空心菜、水蠟燭、狼尾草、加蓋對照組與不加蓋對照組)之磷酸鹽去除率分別為 44%、70%、80%、59%、85%、23%、55%。由實驗結果可以說明，種植植物的溼地系統，其磷酸鹽去除效能均優於加蓋對照組系統，顯示溼地中的植物對於磷酸鹽的去除具有良好的貢獻，然而水芙蓉系統的磷酸鹽去除效能卻低於不加對照組系統，顯示仍須透過植物的採收，才能將磷酸鹽由溼地中移除。另外，比較各系統在夏季與冬季對磷酸鹽之去除效能，顯示溫度變化對於磷酸鹽的去除並無明顯之影響 ($P>0.05$)，夏季的時候，不同植物的溼地之間對磷酸鹽的去除亦無明顯之差異性 ($P>0.05$)，然而在冬季時，不同植物的溼地系統之間則出現明顯之差異性 ($P=0.0116$)，其中以空心菜系統與狼尾草系統在冬季時去除效能最高，而溼地系統的去除效能益明顯高於不加蓋對照組系統 ($P=0.02407$)，顯示不同的植物溼地系統在冬季溫度較低的時候，植物的生長狀況對於對於磷酸鹽的去除會表現出差異性，並且植物的去除效果比藻類優越。

關鍵詞：人工溼地、磷酸鹽、水生植物

Abstract

Phosphorous is a common river or lake contaminant in many regions. This contaminant can cause eutrophication in a lake or receiving water body. The purpose of this study is to evaluate that phosphorous removal efficiency in different microcosm wetlands and effects of different temperatures on phosphorous removal in five Taiwan local macrophytes microcosm wetlands. We set up five macrophytes microcosm wetlands and two control systems unplanted (cover and uncover) and employed to the artificial influent wastewater contain phosphorous at a concentration of about 5 mg L⁻¹. According to the experimental results of all year, we found that the efficiency of all wetland systems can be above 44%. However the efficiency of control system with cover only arrive 23%. It suggests that in addition to phosphorous adsorb by sediment, and uptake by macrophytes in wetlands. However, to get good phosphorous removal efficiency, we still have to select macrophytes in wetlands. Additionally, we found the variation of temperature is not significantly effective to the efficiency of phosphorous removal in macrophytes microcosm wetlands and control systems. In summer, it is not significant in phosphorous removal among five macrophytes microcosm wetlands and control systems ($P>0.05$). However, in winter, it is significant in phosphorous removal among five macrophytes microcosm

wetlands ($P=0.0116$). It suggests that different macrophytes with different growing rate in winter, and obtain different phosphorous uptake rate.

Keywords: Phosphorus, Constructed wetlands, Macrophytes

二、緣由與目的

近年來由於密集農業的發展，肥料的過度施用，以及大量使用含磷清潔劑，加上都市廢污水及農業淨流水未能妥善處理，導致自然水體中含有大量的磷酸鹽，造成湖泊、河川的優養化。

人工溼地屬於對環境較為友善的自然處理技術，在操作上無須曝氣、攪拌、加壓等人為動力，亦不須加任何的藥劑、介質單體附著物等人造物質，建造與操作維護上相當簡便，不需要提供額外的能源。另外，還可以提供生物棲息、遊憩、景觀等各種功能。

磷在溼地中的去除機制有：植物的攝取、化學沉澱吸附以及微生物的同化作用。其中，植物對於磷的攝取需經細菌、真菌及放射線菌等微生物將有機磷經礦化作後轉為無機磷，再被植物攝取。微生物對於磷的同化作用，在好氧的情況下，微生物利用磷酸鹽作為能量來源，以合成新細胞或維持細胞生長，並在細胞內形成具磷酸，以核酸或類轉素小立體等方式儲存；在厭氧的狀態下，微生物細胞中儲存的正磷酸鹽將釋出做為基質，經水解成聚磷酸之後，能量釋出以合成 PHB，再由 PHB 形成 ADP 的過程中，將能量釋出，此時微生物對於正磷酸鹽的利用率將降低，所合成的新細胞也將相對減少，因此對磷酸鹽的需求量也會減少[1]。

Kadlec & Knight[2]指出，溫度變化對於溼地中磷酸鹽的去除除並無明顯之影響。然而溫度變化對於不同的植物的溼地系統去除磷酸鹽的影響，在許多文獻中並未被提及。本研究利用種植不同本土型水生植物的小型表面流 (free water surface, FWS) 人工溼地，及不種植植物但是含有土

壤層的對照組系統，在相同的磷酸鹽污染負荷操作條件下，探討：(1)不同植物的溼地系統與無種植植物的對照組系統的磷酸鹽去去效能；(2)溫度變化對不同植物之溼地系統去除效能的影響。

三、研究方法

1. 表面流人工溼地系統

本研究之試驗系統為 5 個種植不同水生植物的小型表面流人工溼地 (free water surface flow constructed wetlands) 系統及 2 個對照組系統。5 組人工溼地水槽分別種植水芙蓉 (*Pistia stratiotes* L.)、蘆葦 (*Phragmites communis* L.)、空心菜 (*Ipomoea aquatica*)、水蠟燭 (*Typha orientalis* Presl.)、狼尾草 (*Pennisetum alopecuroides* L.) 等台灣常見的水生植物。2 組對照組中不種植任何植物；一組有加蓋，目的為阻隔陽光抑制植物性浮游生物之生長 (稱為加蓋對照組)；另一組不加蓋，因此吸收陽光衍生藻類 (稱為不加蓋對照組)。

2. 表面流人工溼地系統操作

小型表面流人工溼地系統自 2001 年 4 月開始操作，以連續流方式入流，水力停留時間 (nominal hydraulic retention time, HRT) 保持在 4.2 天，合成廢水主要成份為自來水中加入 NaNO_3 與 Na_2HPO_4 ， $\text{NO}_3\text{-N}$ 與 $\text{PO}_4\text{-P}$ 目標濃度分別為 20 mg N/l 與 5 mg P/l，合成廢水配置方式為在一 200 l 的加藥水塔配置完成後，再分別入流於各系統。

4. 採樣與分析

每星期採樣一次，分別採集入流水與各系統之出流水。水樣的各項水質分析，包括化學需氧量 (COD)、氨氮 ($\text{NH}_3\text{-N}$)、正磷酸鹽 (PO_4^{3-})、硝酸氮 ($\text{NO}_3\text{-N}$)、亞硝酸氮 ($\text{NO}_2\text{-N}$)、氫離子濃度 (pH)、溫度等，依照 Standard Methods[3] 所列的方法進行分析。分析化學需氧量、亞硝酸氮、硝

酸氮及正磷酸鹽之水樣，均預先以濾膜過濾，分析結果屬溶解態。

四、結果與討論

磷酸鹽去除效能：

本研究從 2001 年 4 月開始操作至 2002 年 4 月，表 1 為操作一年之各項水質平均結果，小型表面流人工濕地系統的磷酸鹽平均入流濃度為 4.93 ± 1.03 mg N/l，硝酸鹽平均入流濃度為 24.33 ± 12.03 mg N/l，COD 為 27.4 ± 25.57 mg/l。各系統磷酸鹽平均去除率介在 44-85% 之間，其中狼尾草系統的出流水平均濃度更可維持在 0.73 ± 0.73 mg N/l 以下，去除率可高達 85%。反觀加蓋對照組系統的磷酸鹽出流水平均濃度為 3.81 ± 1.45 mg N/l，去除率僅 23%，而不加蓋對照組系統平均磷酸鹽出流水濃度為 2.20 ± 1.44 mg N/l，去除率為 55%。

雖然磷酸鹽在溼地中可以經由沉澱、吸附作用而被去除，然而當土壤的吸附量達飽和之後，可能再度釋放於水體中，因此以長期操作結果而言，磷酸鹽在溼地中的去除主要還是仰賴植物與微生物的攝取。加蓋對照組由於不種植植物，而且不照射陽光，無法衍生出大量可攝取磷酸鹽的藻類，主要的磷酸鹽去除依靠磷酸鹽沉澱與吸附於系統土壤中，因此磷酸鹽去除

組，雖然沒有種植植物，但由於可照射到陽光而衍生出藻類，進而攝取水中的磷酸鹽，因此磷酸鹽的去除效能比加蓋對照組優越。若將不加蓋對照組之去除率減去加蓋對照組之去除率，約可計算出藻類對於磷酸鹽的貢獻約為 32%。

比較各種植植物之溼地系統，其磷酸鹽去除效能除了水芙蓉系統外，其餘各系統均優越於不加蓋對照組系統，由此結果可以說明，平均而言，植物對於磷酸鹽的去除貢獻比藻類優越。

然而本研究進行期間，並無對溼地系統的植物進行採收，浮水性的水芙蓉雖然在操作初期可以大量生長，但一段時間之後生長開使受到空間的限制，而且水面被水芙蓉覆蓋而無法衍生藻類，因此磷酸鹽的去除表現就比其他種植植物的溼地系統差。另外，觀察各溼地系統的出流水氮磷比，可以發現除了空心菜系統之外，雖然在高氮磷比的入流條件操作下，其餘各系統的出流水磷酸鹽仍為過剩之營養鹽，因此溼地系統若要獲得較高的磷酸鹽去除效能，仍須透過植物的採收，以進一步將磷酸鹽從溼地系統中移除。

溫度變化對磷酸鹽去除效能的影響

雖然許多文獻均認為磷酸鹽在溼地中的去除不受溫度的影響[4]，然而由於各種植物的生長受季節溫度化的影響不同，各種植物對磷酸鹽的去除可能因溫度而出現

表 1. 溼地及對照組系統各項水質平均值

Parameters (mg L ⁻¹)	Influent	Effluent						
		水芙蓉	蘆葦	空心菜	水蠟燭	狼尾草	加蓋對照	不加蓋對照
NO ₃ -N	24.33± 12.03	3.15± 5.00	2.87± 4.86	0.72± 4.58	1.29± 2.01	0.23± 0.70	23.07± 6.48	14.40± 15.83
NO ₂ -N	0.01± 0.02	0.06± 0.24	0.02± 0.04	0.05± 0.18	0.05± 0.15	0.02± 0.04	0.02± 0.04	0.13± 0.37
NH ₄ -N	0.08± 0.14	0.11± 0.19	0.10± 0.15	0.12± 0.17	0.12± 0.17	0.12± 0.18	0.11± 0.21	0.16± 0.19
PO ₄ -P	4.93± 1.03	2.78± 2.43	1.48± 0.59	0.98± 0.78	2.02± 1.13	0.73± 0.73	3.81± 1.45	2.20± 1.44
COD	27.4± 25.57	34.8± 27.17	45.2± 45.63	35.9± 30.01	49.3± 68.27	41.7± 47.01	21.7± 18.95	39.7± 35.68
pH	6.59± 1.22	6.81± 1.26	7.69± 0.52	7.21± 0.42	6.91± 1.35	7.30± 1.65	7.46± 0.93	8.28± 1.69

效能明顯比各系統差；反觀不加蓋對照

差異。圖 1. 所示為本研究溼地系統與對照

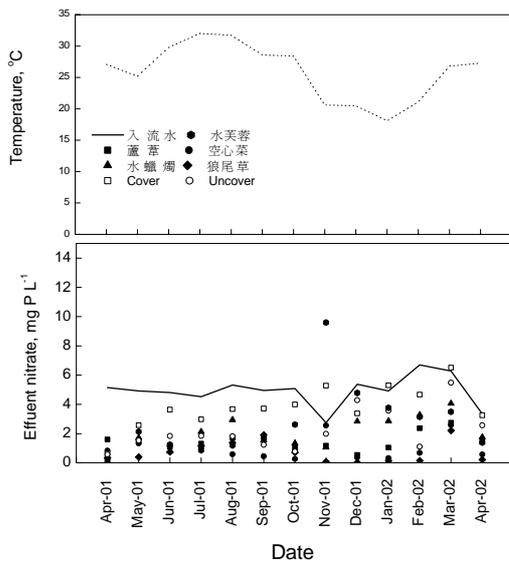


圖 2. 人工溼地磷酸鹽月平均出流水濃度與溫度之關係

組系統溫度變化與系統磷酸鹽出流水月平均濃度的關係，其中在 11-2 月份中為系統操作時溫度較低的月份，平均溫度約在 15-20°C 左右，與其他溫度較高(30-35°C 左右)的月份(6-9 月)，以 ANOVA 統計系統比較，溫度變化對溼地系統與對照組磷酸去除效能均無明顯之影響($P>0.05$)。比較五組種植植物的溼地系統在溫度較高的月份(6-9 月)其磷酸鹽去除效能之表現，之結果均無明顯之差異($P>0.05$)；比較溼地系統與不加蓋對照組系統之磷酸鹽去除效能，亦無明顯之差異($P>0.05$)；但溼地系統與加蓋對照組比較，則有明顯之差異($P=0.0003$)。比較各種植物的溼地系統在溫度較低的月份(11-2 月)其磷酸鹽去除效能之表現，比較結果有明顯差異($P=0.0116$)；比較溼地系統與不加蓋對照組系統之磷酸鹽去除效能，比較結果有明顯差異($P=0.02407$)；與溼地系統與加蓋對照比較，其結果亦有明顯之差異($P=0.0002$)。

由以上的結果可以說明，溫度變化對於溼地系統與對照組系統的磷酸鹽去除效能沒有明顯的影響，尤其僅依靠吸附與沉澱作用去除磷酸鹽的加蓋對照組，並且在溫度較高的夏季，因為溼地系統中的植物與不加蓋對照組中的藻類均可維持良好的生長，因此在磷酸鹽的去學表現上並無差

異。反觀在溫度較低的冬季，因為溼地系統各植物生長狀況的不同，因此在磷酸鹽的去除表現上出現差異性，其中狼尾草系統與空心菜系統均優於其他溼地系統。另外，不加蓋對照組在冬季的磷酸鹽去除表現不如溼地系統，由此可知溫度較低的時候，藻類對於磷酸鹽的去除不如植物的表現。

四、計畫成果自評

本研究證實溫度變化對於人工溼地去除硝酸鹽並無明顯之影響，並且再夏季的時候，對於種植植物的溼地系統間亦無明顯之差異性，然而在冬季的時候，各系統的硝酸鹽去除效能有明顯之差異性，顯示未來在人工溼地的設計上，需考慮冬季溫度較低時，不同植物對於磷酸鹽去除之影響，人工溼地建設上無須安裝複雜的機械設備，在操作過程中，溼地無須機械動力輸入、無污泥產生、不需專業及複雜之維護，因此為在處理上具有效率高、省能源、低成本、容易操作等各種優點。

五、參考文獻

- [1] 林平良，1993，土壤微生物學，國立編譯館，pp355-406。
- [2] Kadlec, R.H., and K.R. Reddy, "Temperature Effects in Treatment Wetlands," *Water Environment Research*, 73, 5, pp. 543-557(2001).
- [3] APHA, "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater," 17th edition, American Public Health Association, Washington, D. C. (1989).
- [4] Kadlec, R.H. and R.L. Knight, 1996, *Treatment Wetland*, CRC, Press, Inc., Boca Ration, Florida.

嘉南藥理科技大學專題研究計畫成果報告

溫度變化對不同本土水生植物在人工溼地系統中除磷之影響

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

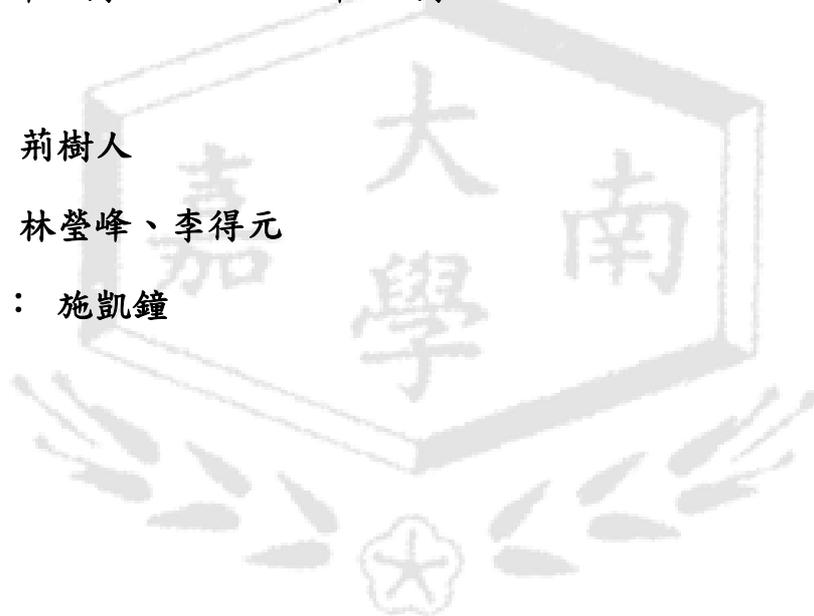
計畫編號： CNEV-91-26

執行期間：91年1月1日至91年12月31日

計畫主持人： 荊樹人

共同主持人： 林瑩峰、李得元

計畫參與人員： 施凱鐘



執行單位： 嘉南藥理科技大學 環境工程衛生系

中華民國 92 年 2 月 27 日