

※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※
※ 綠色環保技術之研究及策略研究— ※
※ 濕地對水資源之保育管理及永續利用 ※
※ 子計畫五——污染在濕地系統中宿命研究(第三年) ※
※ Study of Fate of the Pollute in the Wetland System ※
※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※

中 華 民 國 九 十 年 十 月 十 八 日

目 錄

摘要	1
英文摘要	2
緣由與目的	3
實驗設備與步驟	5
1. 人工溼地系統	5
2. 分析方法	5
結果與討論	6
1. 人工溼地對農藥達有龍的處理效果探討	6
2. 不同濃度達有龍於溼地中的影響	7
3. 溼地系統中 COD 去除與農藥分解之影響	7
致謝	8
計畫成果自評	8
參考文獻	9
表 1. 水質分析法	11
圖一、 農藥處理之人工溼地系統簡圖	12
圖二、 系統桶槽鳥瞰圖	13
圖三、進流槽與 FWS 系統濃度之比較	14
圖四、進流槽與 SSF 系統濃度之比較	15
圖五、不同加藥量在系統中的變化圖	16
圖六、不同加藥量在系統中的去除率	17

一、摘要

本研究是利用小型規模(small scale)之人工溼地系統處理含殺草劑(達有龍)之合成農地逕流水，主要研究工作包括溼地系統的建立、連續入流穩定操作、營養鹽的添加以及對農藥污染的處理效率評估。計畫中的人工溼地系統有兩種類型，一為自由表面流動式人工濕地(free water surface system, FWS)，另一個為表面下流動式人工濕地(subsurface flow system, SSF)。兩種溼地分別種植香蒲，採並聯方式由同一個進流儲槽連續進流，其中水力停留時間(HRT)控制約2天操作，於進流口及出流口定期採樣，並分析水樣中達有龍的濃度、COD、DO、SS、pH等水質項目。結果發現FWS溼地與SSF溼地對農藥的去除效率並無顯著差別，兩者對達有龍的去除效率可達到61~88%，高於在對照組的41~60%。此外，進出流水之COD降解效率平均為64%，採樣石頭及泥土進行溶劑萃取，萃取液中並無發現達有龍存在。由上述結果顯示，達有龍在人工溼地中可能被微生物所礦化分解或植物體吸收。由初步研究中證實，人工濕地有能力去除分解有機性農藥物質，在農地逕流水的污染防治上為一種可行的技術選擇。

關鍵詞：人工濕地；農地逕流水；達有龍；香蒲

Abstract

Abstract

This research was using a small-scale constructed wetland (CW) system to treat an artificial wastewater containing herbicide to simulate runoff from agricultural land. The main work included building of CW system, stable operation with continuous influent, nutrient addition, and the treating efficient of herbicide. The CW systems used having two types: free water surface wetland (FWS) and subsurface flow wetland (SSF). Both types of wetlands were planted with cattails and connected in series. The hydraulic retention time (HRT) was controlled at about 2 days. Water samples were taken an inflow and outflow of the systems regularly. The constituents measured for the samples were Diuron, SS and COD and the properties of water, including DO and pH, were also recorded. The results showed that both FWS and SSF wetlands did not have apparent difference in removing Diuron and both had 61-88% removal efficiencies, indicating the removal of Diuron in CW system was degraded by the both plant and microorganisms. Therefore, the CW system has high efficient degrading ability to the organic herbicide. Furthermore, this technique can be an option for pollution control on the runoff from agricultural land. The treatment efficiency of CW system to the 2-4-D is still under investigation.

Keywords: Constructed wetland、runoff from agricultural land、
Diuron、cattails

二、緣由與目的

台灣能夠種植的土地面積不多，故密集農業盛行，為使作物產量增加，農民普遍使用農藥（如殺蟲劑或殺草劑）以增加經濟效益，從民國 79 年起至 83 年，平均每年農藥使用量平均為 3.7 萬噸，耗費 41 億台幣，此用量約為日本的二倍，韓國的三倍，高居亞洲之冠，可號稱「農藥王國」。根據消基會指出，若以全年農藥使用總量除以人口數，台灣每年每人平均分攤 2 公斤的農藥，而這些農藥卻往往隨農地產生的逕流水而污染承受水體，包括河川、湖泊、溼地、甚至沿海地區。因此農地逕流水的污染防治，為目前台灣農業永續發展上重要的課題。除了法令之限制，與呼籲農民減少農藥使用外，如何在現在農藥使用量居高不下的狀況下，處理農地逕流水中的農藥實為當務之急。一般農地大多與河川、灌溉溝渠等溼地相鄰，除了提供灌溉水源外，亦具有天然的淨水及生態保育的功能，同時也較不受進流水的水質與水量的影響。若能在流入排水溝渠或河川之前，將所含農藥分解處理，降低農藥的濃度，則減少河川之農藥污染。而人工溼地（constructed wetland, CW）系統不但具有天然溼地的淨水及生態保育的功能【1-2】，更是將生態工程技術應用於水或廢水管理及處理上的一種自然淨化程序，操作上無須曝氣、攪拌、加壓等人為動力輸入，亦不需加入化學藥劑、介質單體等人造物質，不需能源輸入及不必經常維護便可自給自足，因此為一種省能源、低成本、無二次污染、操作維護簡單、不破壞生態的綠色環保技術，頗能符合處理污染性廢污水的技術要求【3】。農地附近多有溼地與其相鄰，若能以溼地技術來處理農地逕流水，則不失為一有效的現地處理方式【4】。研究中將首先考慮單一種農藥於人工溼地中的處理效果，未來在考慮混合農藥之相互影響，及其間之交互作用，對溼地生態之影響等。合成農地逕流水為自來水中添加 10、5、或 1 mg/L 的有機氯農藥，達有龍（Diuron）(3-(3,4-dichlorophenyl)-1, 1 dimethylurea) 或 2,4-D (2,4-dichlorophenol)、5 mg N/L 的 NH_4Cl 及 1 mg P/L 的 K_2HPO_4 ，操作以連續式進流於並聯的 FWS (free water surface system) 及 SSF (subsurface

flow system) 溼地系統中，溼地中則種植香蒲作為主要的水生植物，初步探討達有龍及 2,4-D 在人工溼地及不同類型人工溼地中的處理效能。



三、實驗設備與步驟

1. 人工溼地系統

本研究分為甲、乙、丙三個人工溼地系統（如圖一所示），系統以塑膠桶槽構成，長、寬、高為 100 cm × 80 cm × 80 cm。甲、乙、丙為進流槽，以抽水幫浦分別進流於 FWS 與 SSF 兩種不同類型的濕地系統中。甲系統為對照組，進流受農藥達有龍污染的合成逕流水，沒有種植水生植物，乙溼地亦是進流受達有龍污染的合成逕流水，而丙溼地系統進流受 2,4-D 污染的合成農田逕流水，均種植水生植物，香蒲。系統中，甲一、乙一及丙一為 FWS 型濕地，底部填入厚約 20 公分的土壤，水中高度為 25 cm，甲二、乙二及丙二為 SSF 型濕地，充填約 60 cm 之礫石，礫石之直徑約為 3cm，水的高度約為 50 cm，故水於礫石下通過。溼地再以壓克力板作為水道隔版（如圖二所示），一方面可方便入流 HRT 的控制；另一方面，可減少短流現象，使得整個系統操作更接近於柱塞型的模式。

由於系統建立初期，人工溼地桶槽材質易為水生植物生長後膨脹破裂，故所蒐集之數據誤差過大，加上颱風之干擾破壞，因而在溼地的設立上耗費許多時間及精力，但也累積了許多設立人工溼地上的實際經驗，目前系統已趨穩定，實驗逐步進行中。

2. 分析方法

進流後的人工溼地系統每星期採樣兩次，分別採集各系統之進流水與出流水。水樣的各項水質分析，包括水樣中農藥達有龍及 2,4-D 的濃度，以 HPLC 偵測農藥的量，另外如 pH 值、DO、SS、COD、TOC 等水質項目，也一併偵測之，使用之方法如表一所示。

四、結果與討論

1. 人工溼地對農藥達有龍的處理效果探討

達有龍是一種除草劑，屬於有機氯的農藥，於土壤中被生物分解所需的時間約為 8 個月，一般施用於田間雜草的去除，包括鳳梨園、蔗園、茶園、柑橘園等，大多於種植前先行施藥。達有龍的殘留也有可能造成作物本身生長上的抑制，例如將達有龍噴灑於田間 30 天後，可能造成水稻、胡瓜之生長受抑制。雖然達有龍不在禁用或限制農藥的範圍內，仍然對生態有破壞性的影響，尤其濃度高時，更會使植物及土壤之微生物相受到嚴重的威脅，故我們希望藉由人工溼地的處理，能加速達有龍於溼地中分解，使田間逕流水減低農藥的量，以保障地下水或河川的品質。

第一階段的結果顯示於圖三與圖四中，經過約三個月的連續進流試驗後，FWS 及 SSF 溼地系統出流水的達有龍濃度均顯著低於進流水濃度。當操作開始 20 天時，進流水目標濃度為 5 mg/L(實際濃度為 3.5-5.0 mg/L)，FWS 及 SSF 的出流水濃度分別為 0.35-1.27 mg/L(濃度下降百分比為 68-90 %)及 0.12-1.11 mg/L(濃度下降百分比為 71-96 %)。在操作第 21-39 天期間進流水添加濃度增加至 10mg/L(實際濃度為 5.6-9.1 mg/L)，此時 SSF 濕地之出流濃度約略增加至 0.08-1.54 mg/L(濃度下降百分比為 80-98 %)，但仍能維持相當穩定；唯此期間，FWS 溼地因颱風而損毀，使得該溼地進流操作及採樣一度中斷。當操作達 40 天後，採第二階段較低的進流水濃度 1 mg/L(實際濃度 0.43-1.84 mg/L)，SSF 出流水濃度依然維持穩定並比前期降低(0.07-0.16 mg/L，濃度下降百分比為 78-88 %)；而 FWS 溼地出流水濃度亦維持於 0.19-0.88 mg/L(濃度下降百分比為 33-56 %)。實驗進行大約 1 個月後，開始發現部分香蒲莖葉變黃而枯萎現象，此現象產生乃部分因農藥對植物開始產生藥害，部分因香蒲開花後之自然現象。

2. 不同濃度達有龍於溼地中的影響

若將操作期間分為 3 個階段(目標進流濃度分別為 1、5、10 mg/L)來說明，將各階段之進、出流水濃度平均，並統計出流水濃度下降百分比後分別顯示於圖五及圖六。如上所述，逕流水流經人工濕地系統後，農藥濃度之降低相當明顯，且在高濃度進流(10 mg/L)時之濃度下降值高於低濃度時甚多，此階段之污染物去除速率亦達最大。但是，達有龍屬殺草劑，因此溼地在 10 mg/L 的高濃度下操作，仍需考慮植物對農藥之耐受性。另外，根據文獻報導一般農地逕流水之農藥含量均低於 1 mg/L，若此條件下農藥物質對植物生長之藥害應可得到減緩。由圖五與圖六的結果顯示 FWS 溼地與 SSF 溼地對農藥的去除效率並無顯著差別，兩者對達有龍的去除效率可達到 61~88 %。

當進流目標濃度為 1mg/L 時，FWS 的系統の出流水平均濃度為 0.38 mg/L，去除效率可達 33%~56%。SSF 系統の出流濃度為 0.12 mg/L，去除效率可達 78%~87%。反觀無種植植物之對照組，在 1 mg/L 進流濃度階段中，FWS 系統出流濃度約為 0.53~0.67mg/L，SSF 系統則約為 0.42~0.52mg/L，其去除率卻只有 41~60%的處理效果。此結果顯示系統中的水生植物的存在，確實有助於農藥的分解，可能因為水生植物的根系提供微生物附著及其需氧量，使生存環境較良好。

3. 溼地系統中 COD 去除與農藥分解之影響

水樣中的 COD 在進流槽的濃度約為 16.9~19.1 mg/l，而出流濃度則可降至 5.7~7.3 mg/l，平均 COD 去除率達 64 %。此外，針對整個系統桶槽中的石頭及泥土進行溶劑萃取，發現萃取液中達有龍濃度低於可偵測範圍。由此結果顯示達有龍在人工溼地中可能被微生物所礦化分解或植物體吸收，並沒有附著或沉澱於土壤或礫石中。未來之研究將採樣植物體評估農藥之吸收累積量。

五、誌謝

本研究計劃承國科會 NSC 89-2621-Z- 041-004 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與藥學系師生的參與及幫忙，與此一併致謝。

六、計畫成果自評

有關人工溼地之研究，大多需要數年的時間才能得到最佳的數據，根據多年所累計的成果設計出最符合當地需求的人工溼地，包括最適合的溼地型式、最適合的水生植物物種、或任何水流操作參數等，本溼地研究小組對於人工溼地的研究已進行多年，已獲得許多國內外專家學者的肯定，並發表許多相關論文【6-11】。而本研究仍屬於初步階段，未來仍須就各種情況及可能加以探討；包括水生植物的種類、水中或土壤生物生態所受之影響、水生植物及整個溼地系統最大耐受度等，也都可列為將來著重的重點之一。

初步的結果已明確顯示人工溼地對模擬的農地逕流水所含農藥的處理，具有去除及水質再淨化之效果，且最終放流水中之農藥濃度大都有一定程度的穩定，表示人工溼地處理系統具有一定之淨化效果。將來應可以利用農地旁的空地建立適合的人工溼地處理逕流水，而後再排放，達到現地處理的目標。

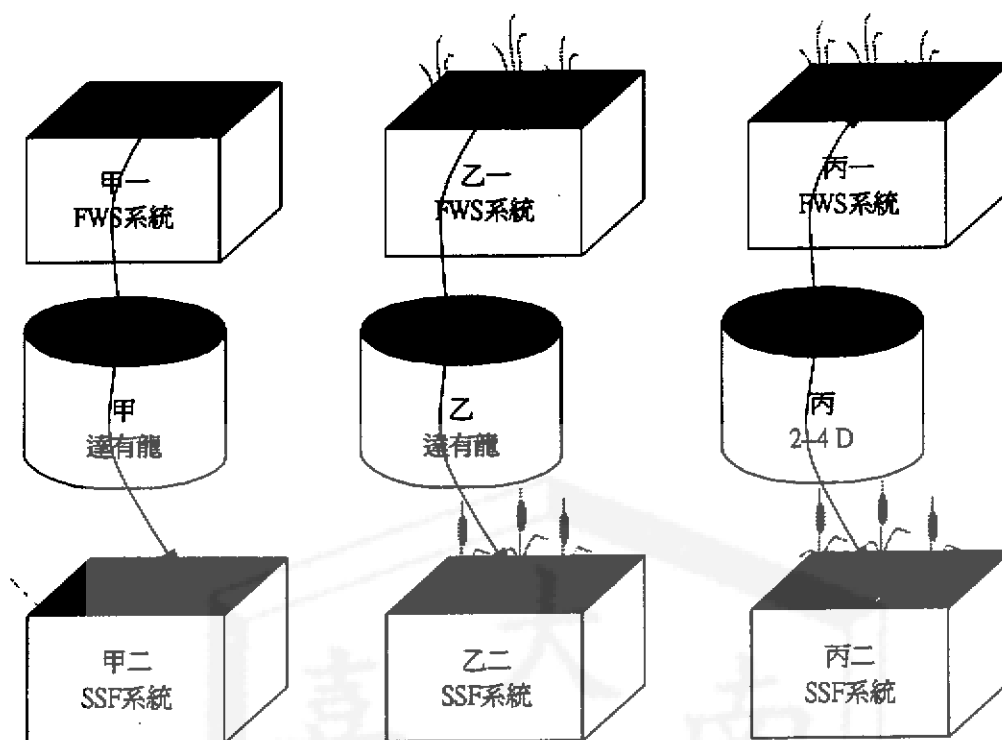
七、參考文獻

1. Bavor, H.-J., D.-J. Roser and P.-W. Adcock, "Challenges for the development of advanced wetlands technology", *Wat. Sci. Tech.*, 32(3), 13-20, (1995).
2. Worall, P., K.-J. Peberdy and M.-C. Millett, "Constructed Wetlands and Natural Conservation", *Wat. Sci. Tech.*, 35(5), 205-213, (1997).
3. Metcalf & Eddy, Chap 13 Natural treatment system. In *Wastewater Engineering (Third Edition)*. pp.927-1016. McGraw-Hill, Inc. New York, (1991).
4. Moore, M.T., Rodgers, Jr., J.H., Cooper, C.M. and Smith, Jr. S., "Constructed wetlands for mitigation of atrazine-associated agricultural runoff", *Environ. Poll.*, 110, 393-399(2000).
5. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 16th Ed., American Public Health Association, Inc., NewYork, (1985).
6. 王姿文、林瑩峰、荊樹人、李得元、宋玉齡、陳欽昭、陳香瑩、簡嘉佑 "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, 第 294-299 頁, (1998).
7. 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, (2001a).
8. 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 Science and Technology: Water Supply*, 1(1), 89-96, (2001b).
9. 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*, (2001c), in press.
10. Lin, Y. F., Jing, S. R., Lee, D. Y., and Wang, T. W.,. Nutrient removal from aquaculture wastewater using a constructed wetlands system. *Aquaculture*, (2001a), in press.

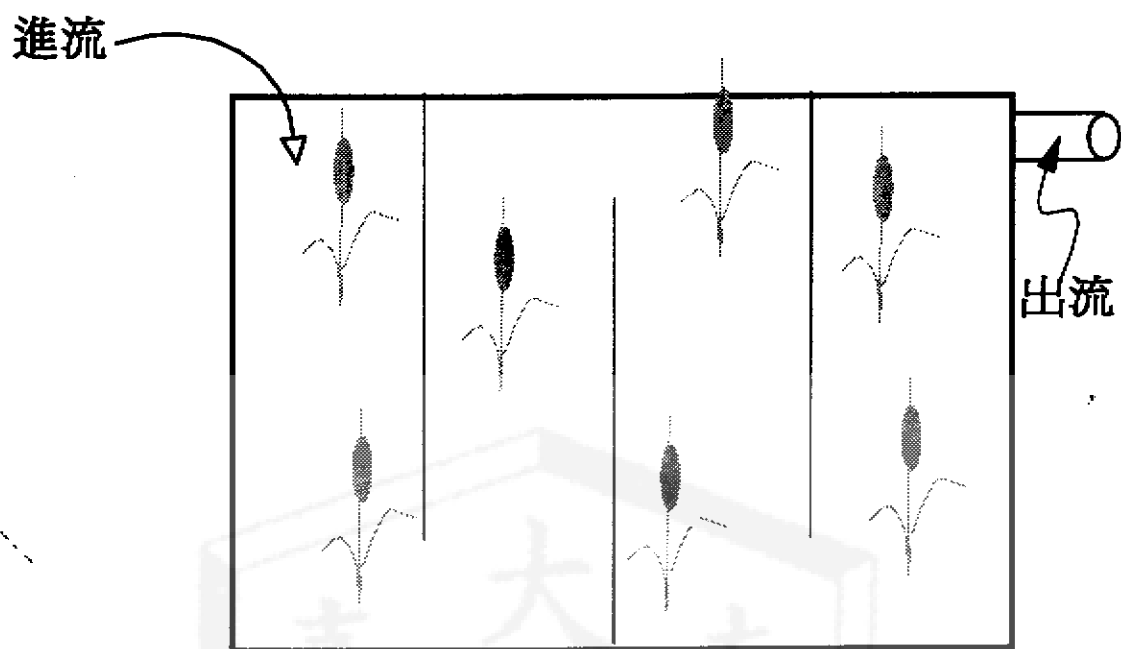
表 1. 水質分析法

測試項目	測試法
農藥濃度	高效能液體層析儀 (HPLC)
pH	標準法* 423
DO	標準法 421F
SS	標準法 209A
BOD	標準法 507
COD	標準法 508B

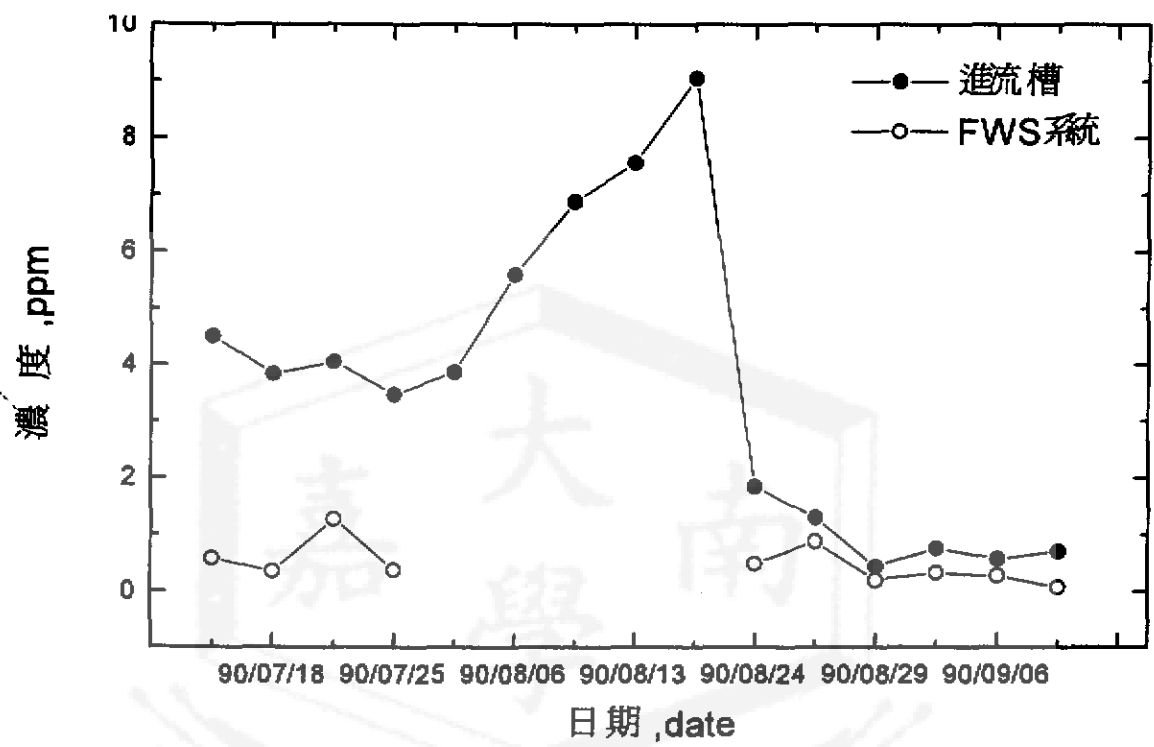
註：*標準法係指“水與廢水的標準測試法”【5】



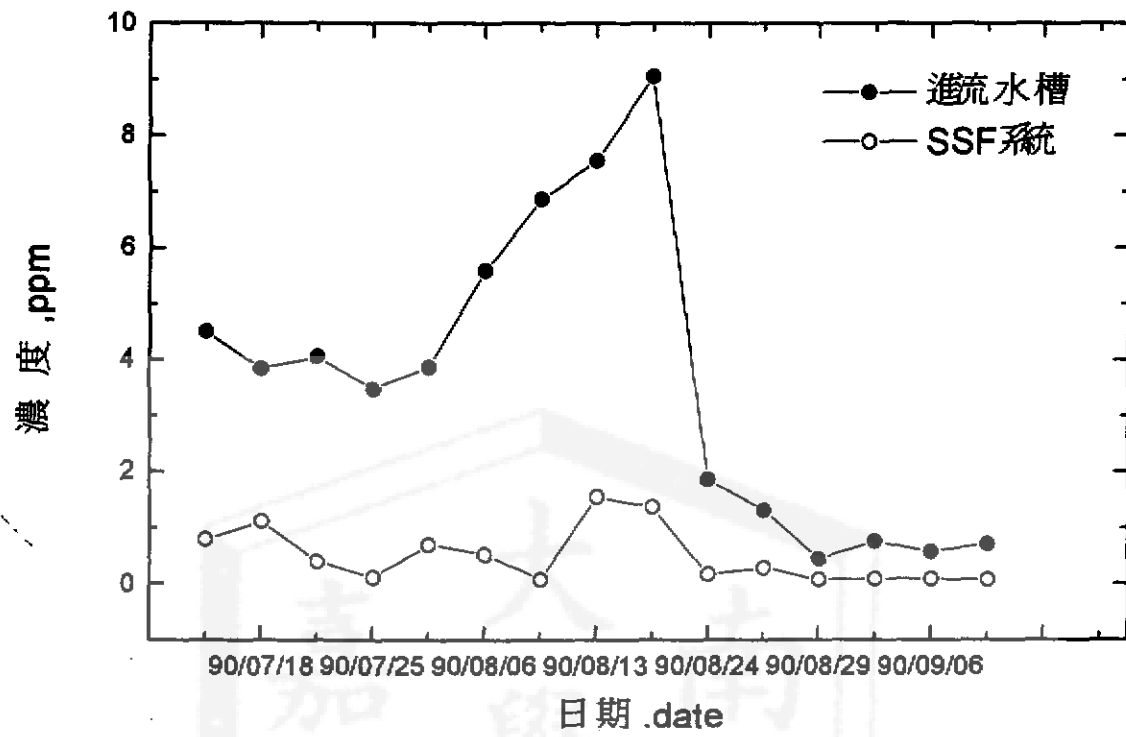
圖一、農藥處理之人工濕地系統簡圖



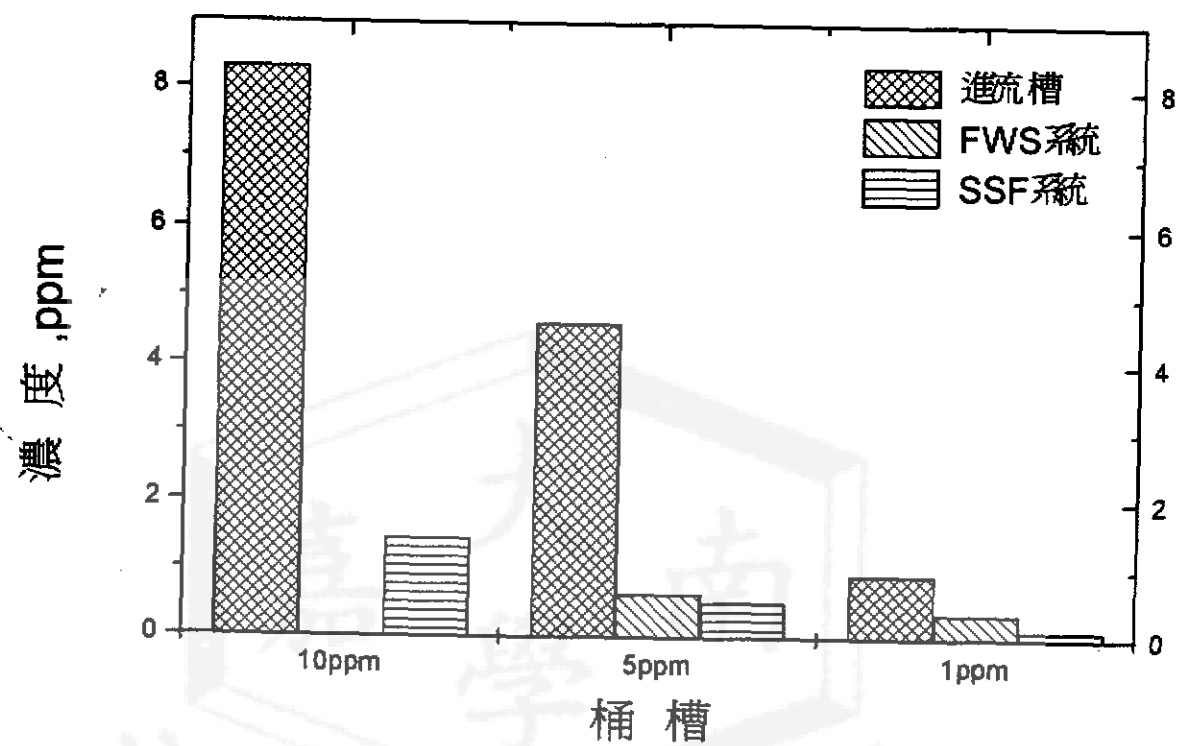
圖二、系統桶槽鳥瞰圖



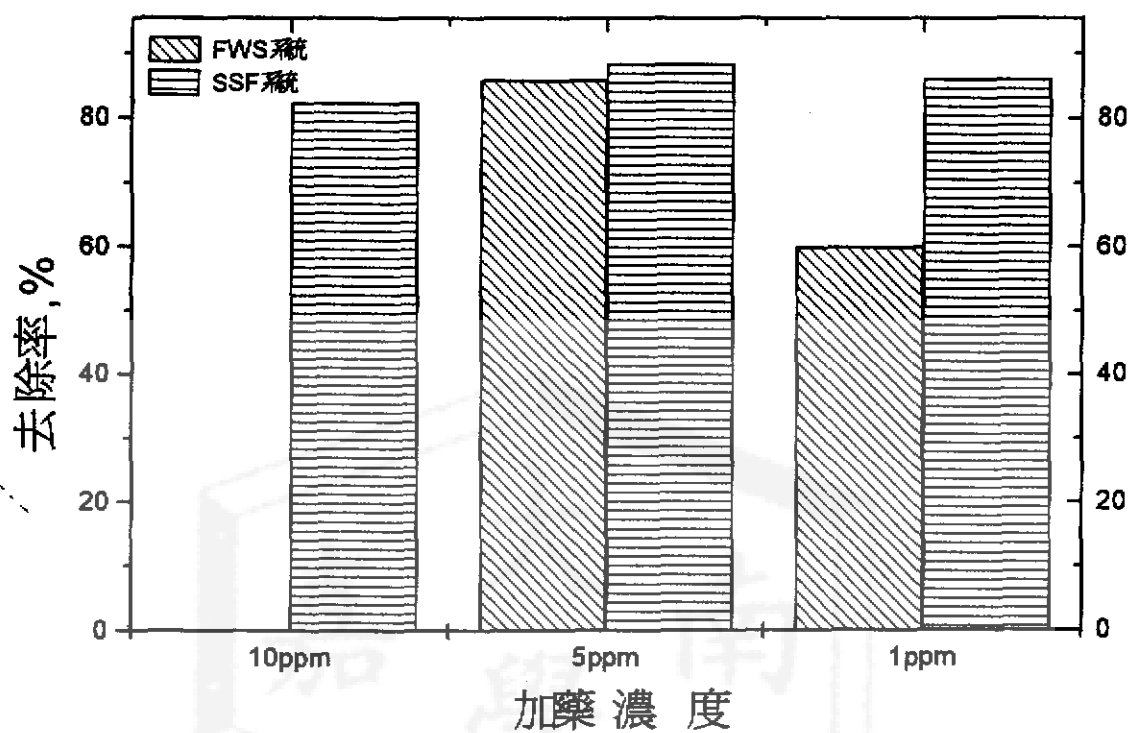
圖三、進流槽與 FWS 系統濃度之比較



圖四、進流槽與 SSF 系統濃度之比較



圖五、不同加藥量在系統中的變化圖



圖六、不同加藥量在系統中的去除率