

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

人工溼地與生態處理池直接處理社區污水之配合操作與效能控制的研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2211-E-041-004-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：嘉南藥理科技大學環境工程與科學系(所)

計畫主持人：荊樹人

共同主持人：林瑩峰，李得元

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 94 年 10 月 24 日

人工溼地與生態處理池直接處理社區污水之配合操作與效能
控制之研究

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫
計畫編號：NSC 93 - 2211 - E - 041 - 004
執行期間：民國 93 年 08 月 01 日 至 民國 94 年 07 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：

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

人工溼地與生態處理池直接處理社區污水之配合操作與效能控制之研究

摘要

本研究計畫的主要目標為利用全國第一個已經建立完成之實場人工溼地處理系統，以直接以社區污水作為處理目標。九十一年度計畫已經初步得到人工溼地系統能夠有效淨化生活污水的結果，九十二年度計畫完成於原來人工濕地系統的前端，連接一座生態處理池，其中包括氧化塘及浮水性水生植物池，並且完成初步水質監測工作。水質監測的結果顯示，生態處理池增加原來人工濕地系統約一半的面積，但是整體去除有機物的能力卻能夠增加約一倍的量。由於有許多產官學界目前正積極的探討並計畫將此類生態系統，實際應用於污染防治與社區規劃上，所以，本年度計畫擬持續操作系統，並獲得完整的水質處理效能的數據，以便完成未來整體規劃生態工法應用於社區污水處理的設計依據。本年度計畫主要工作目的包括：(1) 持續生態處理池與各類人工濕地系統處理功能檢測，作為設計參數建立之依據；(2) 評估並比較各個生態淨水系統處理污水能力的差異；(3) 利用統計學的方式回歸分析，以歸納出具有合理性及可行性的數學模式；(2) 將生態處理池的配合操作後之效能，合併於評估模式的範圍。

關鍵詞：人工溼地實場、生態處理池、生活污水、處理效能、設計參數

Abstract

The main goal of this project is using a built full-size constructed wetland system to a municipal wastewater from a community. The result from project of 2002 showed good treatment on the wastewater solely by constructed wetland system. In the project of 2003, treatment ponds, including an oxidation pond and two floating plant systems were successfully combined to the constructed wetlands. The analytical results from water samples showed the treatment ponds used half of the area of the constructed wetlands, but the treatment ability increased doubly. In order to satisfy the requirement recently about applications of such technology all over the country, this project is proposed to continue the combined ecological treatment systems for more complete data thereafter used for the developments of optimal operating parameters and designing models for the future. The contents of this project include: (1) continuation of analytical work on wastewater treatment ability of the combined system; (2) evaluation of the treatment ability of each natural treatment system; (3) use of statistical methods to analyze the accumulated data in order to establish logical and applicable mathematical models to describe the behaviors of the treatment systems; (4) modification of the treatment results on combining various natural treatment system to obtain the parameters to the models.

Keywords: full-scale constructed wetland, natural treatment ponds, municipal wastewater,

一、前言

生活污水中的有機物主要來源為碳水化合物、脂肪及蛋白質，若排放於承受水體的可有機物含量過多時，將使水中溶氧耗盡，並變黑而發出陣陣惡臭；因此，須對排於承受水體的可有機物含量加以管制，使其不超過承受水體的負荷。目前生活污水的處理，普遍是使用污水處理廠來處理，但是其所需的建設及操作費用是相當的高，例如在污水下水道的建設費用；根據內政部營建署2001所作的統計資料，發現從民國79年至90年間，污水下水道的建設費共花費了1005億元，而花費了這麼多時間與金錢，目前的普及率卻只有8%；再者，鄉村地區幅員廣闊且居民分散，對於須集中收集的污水下水道系統，恐難以適用。

台灣地處亞熱帶氣候，水溫適中、日照充足，利用人工溼地處理各類污水是一種經濟可行的方法，由於具有省能源、低成本、無二次污染、操作維護簡單等優點，且處理效果不亞於設置成本及操作維護費用昂貴的污水處理廠；而溼地在適當的規劃管理後，亦可提供人們景觀、休憩、生態教育等多功能用途，因此若能有效設計規劃用作污水處理，則不失為簡單而有效之水資源復育技術。

二、研究目的

穩定塘或人工溼地處理污水的成效，在過去的研究成果及許多文獻中獲得證實⁽¹⁻⁶⁾；然而，將兩者連接處理污水的研究則不多，尤其對台灣地區而言，本系統更是第一個將兩者連接用來處理生活污水的案例。因此，本研究目的為，在原有人工溼地之前連接一穩定塘，以探討其處理生活污水中有機物之效果，並可增進淨水功能及減少土地利用，期能建立一套適合台灣地區的人工溼地系統淨化生活污水的最佳操作方式，進而降低承受水體承受污染物的負荷。

三、文獻探討

人工溼地中去除污染物的機制主要有物理性、化學性及生物性三種，懸浮性固體物在污水流經天然或人工溼地時，由於流體分散擴散作用、遲滯效應及植種植物阻隔，是以流體流速突然減低。此效應反應於懸浮性固體物中，因流體攜帶物體能力被溼地所稀釋，是以重力沉降效應大於流體攜帶物體能力，故懸浮性固體物得以沉降至溼地底部形成底泥⁽⁷⁾。微生物利用有機物或無機營養鹽(磷、硫、鉀、鈣、鎂)，做為合成新細胞的能量來源，利用有機碳做為能量來源者稱為異營菌，利用二氧化碳做為能量來源者稱為自營菌，而兩者皆使用光或化學的氧化還原反應當作能量的來源。如果主要處理的可有機物為 BOD₅，則異營菌是較重要的⁽⁸⁾。病原菌經過溼地處理後均會減少其數量，溼地去除污染物的機制可分為物理、化學及生物性，對於病原菌而言，其物理性的去除機制為過濾、紫外線照射及沉澱，化學性則有氧化、有機物吸收，生物性則有抗生作用、生物掠食及自然死亡⁽⁸⁾。

無機氮藉由沉澱、過濾及植物吸收作用而自污水中去除，而收割後的植物則可轉製成家畜飼養肥料等用途。有機氮經過生物作用可形成底泥中腐植質、水解成氨基酸，及進一步分解成無機氮。無機氮若以 NH_4^+ 形式存在，水中之 NH_4^+ 可經由長水力停留時間及高 pH 值揮發至大氣去除。磷在溼地中的去除，主要是介質吸附，其次是生物膜及植物吸收，再其次是沉降作用⁽⁹⁾。溼地磷的主要來源是底泥，大部分底泥裏的磷皆是有機型態，並藉由生物動力來控制溼地內的循環。溼地磷的轉換、錯合及殘留在溼地土壤的量主要是受到氧化還原電位、pH、Fe、Al、Ca、無機物及土壤中自然含磷量來控制。例如在 pH5~7 時，鐵與磷形成 FeOOH-PO_4 ，而在 pH6~8 時，磷與 Al(OH)_3 優勢物種是強力鍵結^(8, 10)。雖然人工溼地的應用與處理效能均已被證實，然而其需要較大的土地面積仍為人工溼地應用時的缺點之一，因此如何有效的結合其他自然淨水系統(如穩定塘)，並降低土地使用面積，為直得注意的課題。

四、研究方法

二行社區自然淨水系統

二行社區自然淨水系統主要處理單元由3個部分所組成：(1)穩定塘、(2)free water surface(FWS)溼地、(3)subsurface flow(SSF)溼地。

1) 穩定塘：

二行社區的生活污水經由社區內的溝渠收集到一集水井中，再由集水井引流至穩定塘(stabilization pond)。穩定塘長36.2m、寬7.4m、深1.42m，並由進流至出流依序分為三個區域：第一區不種植植物、第二區種植水芙蓉(*Pistia stratiotes*)、第三區種植布袋蓮(*Eichhornia crassipes*)，經穩定塘處理過後的污水再引流至FWS溼地。

2) FWS溼地：

FWS溼地(free water surface flow system, FWS)為一彎曲型渠道，水道總長98.5m、寬4.2m、水深0.5m、泥土深0.3m，其中第一水道種植蘆葦(*Phragmites australis*)，其餘兩個水道種植香蒲(*Typha orientalis*)。由FWS溼地處理過後的污水，再引流至SSF溼地。

3) SSF溼地：

SSF溼地長為14.4m、寬5.0m、水深0.5m、底部鋪設一PVC材質的不透水布並於其上覆土30cm，其中放置石頭(孔隙率0.45)並種植蘆葦(*Phragmites australis*)，經SSF溼地處理過後的污水，再引流至園區內的生態池中。

二行社區人工溼地系統操作

本系統係以一集水井收集生活污水，由馬達經管線抽至穩定塘再至人工溼地最後流至放流池(圖1)。自91年4月至92年3月止，平均流量維持在 $45 \text{ m}^3/\text{d}$ (HRT 3.3 day, 水力負荷 $0.09 \text{ m}^3/\text{d}$)；自92年4月份開始連接穩定塘操作，操作期間平均每天可處理污水量、水力負荷及水力停留時間分別為 $37 \pm 18 \text{ m}^3/\text{d}$ 、 $0.06 \pm 0.03 \text{ m}^3/\text{d}$ 、 $15 \pm 7 \text{ d}$ 。流程如圖1所示。

採樣與分析

每星期採樣一次，分析項目分為現場測定(Temp.、DO、ORP、pH、導電度)及實驗室分析(葉綠素_a、SS、VSS、BOD₅、COD、NH₃-N、TKN、TP、PO₄-P、NO₃-N、NO₂-N、大腸桿菌群等)，實驗方法均遵照Standard Methods所列的方法進行。

處理效能評估

穩定塘或溼地的水力負荷(hydraulic loading rate)為平均流量(Q)除以穩定塘或溼地水面積(A)。穩定塘或溼地的水力停留時間(t, nominal hydraulic retention time)以下式估算：

$$HRT = Ahe / Q$$

其中，

A：穩定塘或溼地長 × 穩定塘或溼地寬

h：穩定塘或溼地深

e：孔隙率，穩定塘為0.95、FWS溼地為0.75、SSF溼地為0.45(此皆為估算值)

Q：進流及出流水流量平均值

污染負荷(LR, loading rate) 去除速率(RR, removal rate)及負荷去除效率(EFF, percentage of contamination removal efficiency)以下列三式計算：

$$LR = q \times C_i$$

$$RR = q \times (C_i - C_o)$$

$$EFF = 100\% \frac{RR}{LR} = 100\% \frac{C_i - C_o}{C_i}$$

其中，

q：水力負荷(hydraulic loading rate), m/day

C_i：進流水污染物濃度, mg/l

C_o：出流水污染物濃度, mg/l

一次反應動力學模式(估算模式)

污染物在人工溼地系統中之各種行為模式，為設計與規劃人工溼地的重要參考資料，然而污染物在人工溼地系統中的行為極為複雜，不容易直接提供設計人工溼地系統時所需的資料，因此需藉由數學模式之推導與公式運算，將污染物在人工溼地系統中的行為以較為簡單的模式來表示，進而求得設計人工溼地系統所需的參數。以柱塞流一次動力學模式評估二行社區自然淨水系統之處理效益，假設污染物在人工溼地遵循柱塞流一次動力學模式(First-order plug flow kinetic)

$$K = -\ln\left(\frac{C_o}{C_i}\right) \times q$$

其中，

C_o = 溼地的出流水污染物濃度(mg/L)

C_i = 溼地的進流水污染物濃度(mg/L)

q = 水力負荷 (m/d)

k = 溼地中污染物的一次動力學去除速率常數 (m/d)

五、結果與討論

本研究的主要目的為評估人工溼地增加了穩定塘之後的處理效能。由實驗結果得知，從 2002 年 4 月至 2003 年 5 月，二行社區的生活污水僅由人工溼地(包含了 FWS 與 SSF 溼地)進行處理，在這段操作期間的 BOD、COD、SS 的污染負荷分別為 3.6、7.4、4.8 g/m²/day，人工溼地系統的 BOD、COD、SS 進出流濃度如表 1 所示。2003 年 5 月之後，人工溼地系統之前又增加了一穩定塘處理單元，其整個系統的 BOD、COD、SS 進出流濃度如表 1 所示。其中，由於人工溼地之前的穩定塘處理單元已經處理了部份的 BOD、SS 濃度，因此其後的人工溼地系統的 BOD 與 SS 負荷已經降低為 2.3、2.9 g/m²/day，然而 COD 進流負荷仍維持在 7.9 g/m²/day。

整個系統與 HRT 的關係圖如圖 2 所示。由圖 2 可以發現，有機物在穩定塘中可以有效的被去除，如 BOD 與 COD 大約為 5.32 g/m²/day，其去除速率遠大於單獨以人工溼地系統操作時的 BOD 與 COD 的去除速率(約為 2.80-2.94 g/m²/day)。然而其中較值得注意的是，在人工溼地系統之前增加穩定塘之後，SS 的去除表現並不如有機物。另外，穩定塘的有機物去除效能隨著季節而改變，如圖 3 所示，當溫度較高的季節時，有機物的去除速率較溫度低的季節快，SS 的去除表現也有同樣的行為。在本研究中，整個系統的 BOD 出流濃度與系統去除速率的關係如圖 4 所示，由圖 4 所以發現，即使整個系統的 BOD 負荷達到本研究的最高值時(大約為 12 g/m²/day)，系統的 BOD 出流濃度仍低於環保署所規範的放流水標準(大約為 30 mg/L)，顯示整個系統的操作負荷仍然未達到系統的設計極限值。

有機物在穩定塘中具有良好的處理效能，主要歸因於穩定塘的水深較深，可提供較長的水力停留時間，另外，穩定塘表面的浮水植物，以及穩定塘水體中的藻類，均可由光合作用貢獻大量的氧氣，供水體中的微生物分解有機物，此論述可由圖 2 進一步獲得證實，當 HRT 為 3 天的時候，穩定塘的藻類濃度達到最高，同時 BOD 濃度也迅速降低，顯示 BOD 的濃度隨著藻類的濃度升高而遞減，然而當水體進入人工溼地系統的 FWS 溼地之後，水中的 SS 濃度同樣和 BOD 濃度一起降低，主要原因為 FWS 溼地中的植物阻隔了陽光照射水體，致使藻類無法繼續在 FWS 溼地中衍生，因此 SS 濃度迅速降低，到了 SSF 溼地之後，藻類更進一步被去除，SS 濃度也同樣進一步降低。因此，穩定塘中的藻類確實可以貢獻氧氣供微生物分解有機物，然而藻類的衍生也降低了穩定塘的 SS 的去除效能。

由於有機物在穩定塘有效的被去除，導致進流於人工溼地系統有機物濃度較低，因而導致人工溼地的去除效能降低，然而由於在人工溼地系統之前增加了穩定塘處理單元，致使穩定塘的 BOD 濃度由進流的 63 mg/L 降低至 23 mg/L，其處理效能遠高於人工溼地系統(BOD 濃度由 23 mg/L 降低至 10 mg/L)，與單一使用人工溼地系統的去除效能比較，相當於穩定塘提升了整個系統約 74.5% 的 BOD 去除效能。因此，假設結合了穩定塘的人工溼地系統，如同單獨操作時仍維持有 80% 的 BOD 去除效能，以人工溼地出流水 BOD 濃度同樣維持在 10 mg/L 為目標，人工溼地的 BOD 進流濃度將可進一步增加為 50 mg/L 以上，由此濃度反推於 62% BOD 去除率的穩定塘，穩定塘的進流濃度將可增加到 132 mg/L 以上，如此估算，進流於整個系統的污水量將可再增加 120%，當然，污水量增加 120% 之候，穩定塘的 HRT 將可能由原先的 10 天降低為 5 天，進而影響 BOD 的去除效能，然而 5 天的水力

停留時間仍然在穩定塘可以負荷之範圍內⁽¹¹⁾。由以上之估算，只要再增加約 73% 的原土地面積使用於穩定塘，可將人工溼地的處理效能提升 120%，換句話說，藉由不同種類的自然淨水系統的結合，將可有效的減少淨水系統的土地使用面積。

六、結論與建議

1. 在本研究中，單獨利用人工溼地處理社區生活污水時，BOD、COD、SS 的污染負荷分別為 3.6、7.4、4.8 g/m²/day，去除速率分別為 2.80、2.94、3.85 g/m²/day。
2. 當人工溼地之前增加一氧化塘之後，人工溼地的 BOD、COD、SS 污染負荷分別為 2.3、7.9、2.9 g/m²/day，去除速率分別為 1.30、0.50、1.20 g/m²/day。
3. 由於穩定塘中的浮水植物與藻類可貢獻氧氣供微生物分解有機物，因此穩定塘可有效的去除有機物，並降低了後續人工溼地系統的處理負荷。
4. 在人工溼地系統之前增加了穩定塘處理單元，其處理效能遠高於人工溼地系統，與單一使用人工溼地系統的去除效能比較，相當於穩定塘提升了整個系統約 74.5% 的 BOD 去除效能。
5. 藉由不同種類的自然淨水系統的結合，將可有效的減少淨水系統的土地使用面積。

七、計畫成果自評

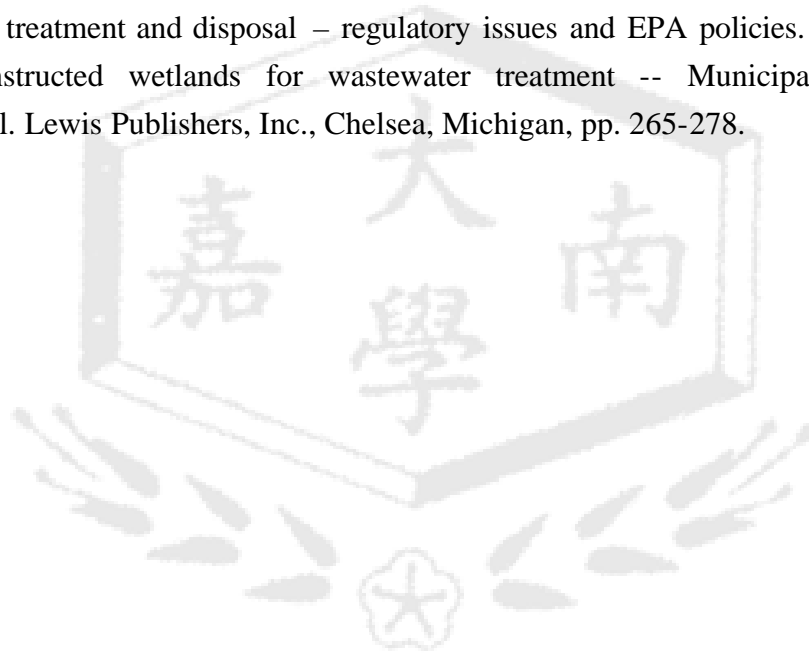
本計畫除了建立人工溼地與穩定塘操作與設計所需之相關參數與模式，獲得完整之水質處理效能數據，可作為未來整體規劃生態工法應用於社區污水處理的設計依據。並於計畫期間發表一篇研討會論文，研討會論文作者與篇名為「人工溼地長期操作過程中底泥性質變化與營養物累積之研究」，訓練一研究聲發表「自然溼地與人工溼地系統底泥特性之探討」碩士論文。

八、參考文獻

1. 施凱鐘，2003，利用人工溼地處理受硝酸鹽污染地下水之探討，嘉南藥理科技大學環境工程衛生系碩士論文
2. 何茂賢，2003，以人工溼地系統處理受污染河水中營養鹽之探討，嘉南藥理科技大學環境工程衛生系碩士論文
3. 吳堅瑜，2003，以實場人工溼地系統直接處理社區污水效能之研究，嘉南藥理科技大學環境工程衛生系碩士論文
4. 黃獻文，2003，人工溼地處理校園廢污水之效能機制探討，嘉南藥理科技大學環境工程衛生系碩士論文
5. El Sharkawi, F., El Sebaie, O., Hossam, A. and Abdel Kerim, G., 1995, Evaluation of daqahla wastewater treatment plant, aerated lagoon and ponds system, Wat. Sci. Tech. vol. 32. No.11., pp.111-119
6. 6. Mandi, L., 1998, Experimental studies on the purification of wastewater by two

constructed wetlands under arid climate Marrakech., Abstracts: 6th international conferences on wetland systems for water pollution control. Aguas de Sao Pedro Brazil. September 27-October 2, 1998

7. 陳志彰, 2000, 人工溼地改善水質之績效, 國立台灣海洋大學河海工程研究所碩士論文
8. IWA, Specialist Group on Use of Macrophytes in Water Pollution Control, 2000, Constructed Wetlands for Pollution Control--Processes, Performance, Design and Operation. pp.27 pp.55-56 pp.58-59 pp.117-139
9. 李黃允, 2001, 以二階段人工溼地去除生活污水中之營養鹽, 國立中山大學環境工程研究所碩士論文
10. 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, pp.51-55, 55-58
11. Bastian, R.K., Shanaghan, P.E. Thompson, B.P. 1991. Use of wetlands for municipal wastewater treatment and disposal – regulatory issues and EPA policies. In D.A. Hammer (Ed.), Constructed wetlands for wastewater treatment -- Municipal, Industrial and Agricultural. Lewis Publishers, Inc., Chelsea, Michigan, pp. 265-278.



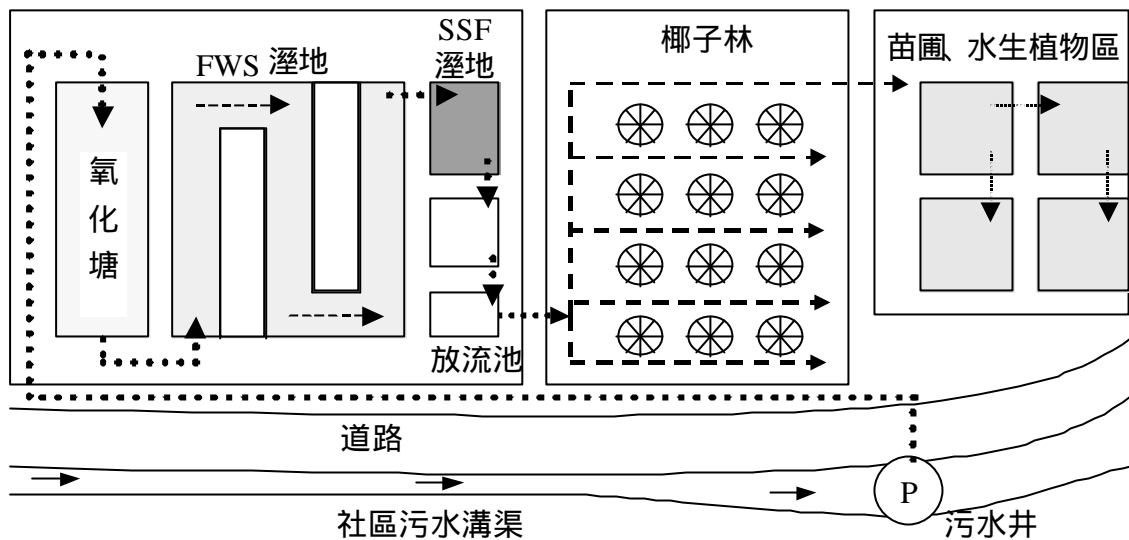


圖 1 二行社區自然淨水系統與再利用園區配置示意圖

表 1 系統中，BOD、COD、SS 的處理結果

	CW	CW(pond)	Pond	CW with pond				
Q, m ³ /day	25	37	37	37				
HLR, m/d	0.07	0.10	0.14	0.06				
BOD₅								
	inluent	effluent	inluent	effluent	inluent	effluent	inluent	effluent
Concentration, mg/L	52	12	23	10	61	23	61	10
Removal efficiency, %	80		57		62		84	
Removal rate, g/m ² /d	2.80		1.30		5.32		3.06	
COD								
	inluent	effluent	inluent	effluent	inluent	effluent	inluent	effluent
Concentration, mg/L	106	64	79	74	139	89	139	74
Removal efficiency, %	40		6		40		47	
Removal rate, g/m ² /d	2.94		0.50		5.32		3.90	
SS								
	inluent	effluent	inluent	effluent	inluent	effluent	inluent	effluent
Concentration, mg/L	69	14	29	17	36	29	36	17
Removal efficiency, %	80		41		19		47	
Removal rate, g/m ² /d	3.85		1.20		0.98		1.14	

Q : average influent rate

HLR : hydraulic loading rate

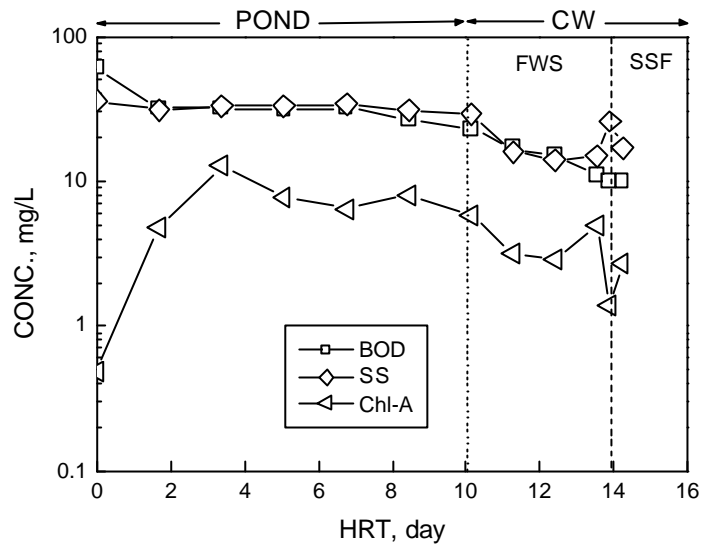


圖 2 系統中 BOD、SS、Chl-A 的濃度與 HRT 之關係圖

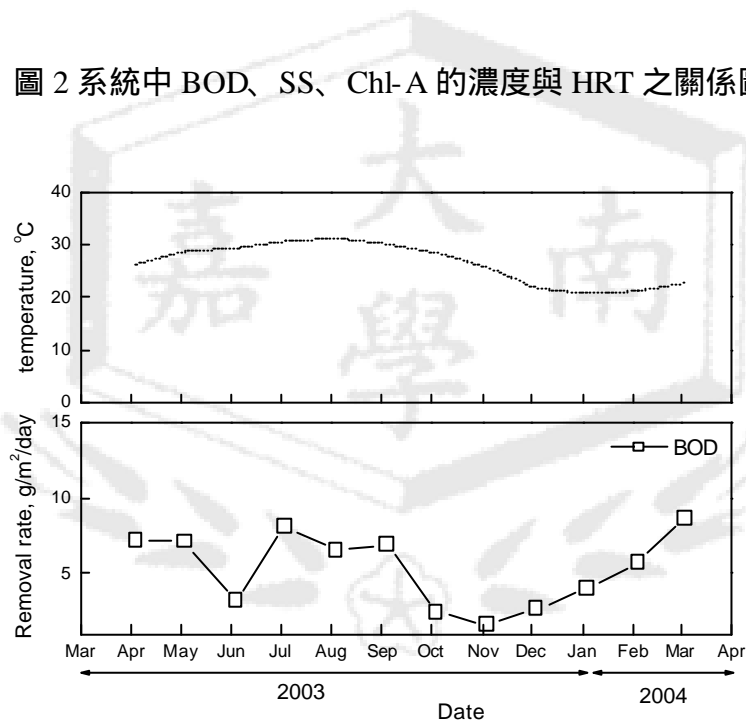


圖 3 BOD 月平均去除速率與水溫關係圖

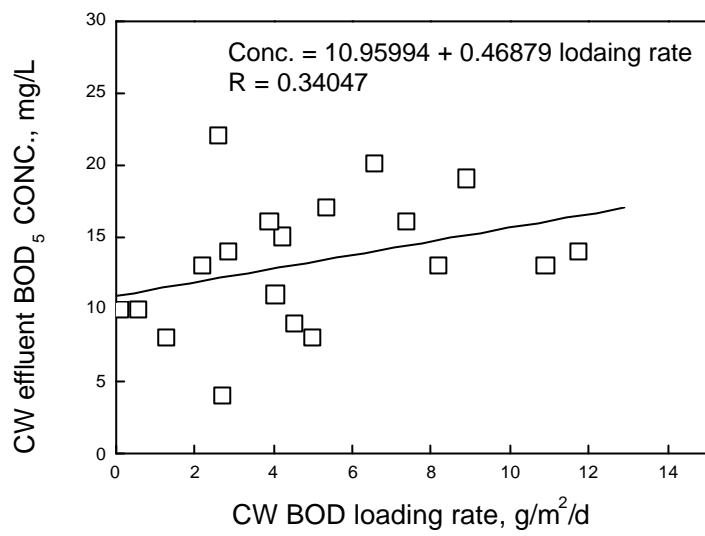


圖 4 BOD 負荷與出流水濃度關係圖

