

生態氧化池淨化生活污水效能之探討

計畫類別：個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：CNEV-92-19

執行期間：92年1月1日至92年12月31日

計畫主持人：荊樹人

共同主持人：李得元、林瑩峰

計畫參與人員：游程凱、樓仲軒

執行單位：嘉南藥理科技大學環境工程與科學系

中華民國 九十三年 二月 二十八 日

生態氧化池淨化生活污水效能之探討

計畫編號：CNEV-92-19

執行期限：92 年 1 月 1 日至 92 年 12 月 31 日

計畫主持人：荊樹人

共同主持人：李得元、林瑩峰

計畫參與人員：游程凱、樓仲軒

摘要

二行村人工溼地為全國首座用來處理鄉村型社區生活污水的示範實場，於民國 90 年 11 月開始操作至今，92 年 4 月更連接一生態處理塘以提高污水處理量及處理水質，進而達到污水處理及再利用的目標。本研究是先以一集水井收集污水引流至氧化塘，經初步前處理後，再進流至人工溼地，出流前銜接放流池，並引至椰子林灌溉。氧化塘長 36.2m、寬 7.4m、水深 1.42m，分成三區：第一區不種植物、第二區種植水芙蓉 (*Pistia stratiotes*)、第三區種植布袋蓮 (*Eichhornia crassipes*)；人工溼地可分為表面流動式 (free water surface, FWS) 人工溼地處理系統及表面下流動式 (subsurface flow, SSF) 人工溼地處理系統，FWS 人工溼地處理系統為一長 33.7 公尺、寬 13.8 公尺、水深 0.5 公尺、土深 30 公分、總渠道長 98.5 公尺之連續彎曲形渠道，其中第一水道種植蘆葦 (*Phragmites australis*)，其餘種植香蒲 (*Typha orientalis*)；SSF 人工溼地處理系統為一長 14.4 公尺、寬 5 公尺、總深 0.8 公尺、總面積 72m² 之石頭床，其中種植蘆葦 (*Phragmites australis*)，全區域面積約 0.13 公頃。從 92 年 4 月操作至 93 年 1 月，平均每天可處理污水量 38±20 噸，水力負荷 0.06±0.03m/d，水力停留時間 15.5±7.4d。

本文主要探討連接氧化塘之後總大腸桿菌群、TSS、BOD₅、COD 的處理效果，其平均進流濃度分別為 6.96±7.74×10⁶(CFU/100ml)、35±10mg/l、59±16mg/l、134±33mg/l，經氧化塘處理後其平均濃度分別為 1.17±0.76×10⁶(CFU/100ml)、29±11mg/l、23±8mg/l、86±22mg/l，去除率分別為 83%、15%、61%、36%，再經人工溼地處理則平均出流濃度分別可降至 3.33±2.34×10⁵(CFU/100ml)、18±11mg/l、11±7mg/l、78±24mg/l，而人工溼地的去除率則分別為 71%、37%、53%、8%。整個氧化塘與人工溼地的結合系統的去除率為 95%、47%、82%、41%。

關鍵字：氧化塘、人工溼地、去除率

一、前言

台灣地處亞熱帶氣候區，加上河川短小、坡陡流急等特性，使得水資源保存不易，而傳統處理污水的方法是經由下水道排放至污水處理廠，處理後即排放至水體中未免顯得浪費。另外根據環保署的預估，到民國 100 年全國下水道系統能夠涵蓋的生活污水，只佔整個污水量的百分之二十五。換句話說，七年後在理想狀況之下，仍有百分之七十五的生活污水在沒有淨化的情況下，繼續污染河川，而這百分之七十五的生活污水絕大多數分佈在都會區以外的鄉村地區，若要以傳統的污水處理廠處理鄉村污水則將面臨因為污水的產生及排放很分散，其所需的下水道管線費用及處理廠的建設費用，相對此一龐大的費用恐非地方政府財政所能負擔，且是一浪費人力物力的行為。因此，使污水的處理更符合成本以及有效利用水資源，就顯得格外重要，而人工溼地處理系統正符合此一特性要求⁽¹⁾。

人工溼地處理系統為一省能源、低成本（只需抽水馬達的電力，0.13 公頃一個月僅需約 600 元）、無二次污染、處理後的污水可再利用且不需專責人員去操作維護的一種自然生態處理系統；除此之外，人工溼地處理系統並具有能與環境契合進而達到生態復育的功能，為一生物棲息地及有效利用水資源之自然生態處理系統。由文獻可知人工溼地確實可有效處理生活污水。

本研究主要目的為探討連接氧化塘後 CW 對於污水的處理效能，並且於此操作條件下可減少土地的需求而達到土地的最佳利用。

二、文獻回顧

自然溼地在美國某些地區當作廢水排放與收集的用地，至今已有超過一百多年的歷史。當人們開始監測這些接受廢水的自然溼地時，人們便開始認知到溼地淨化水質的潛能，因而逐步模仿，成就了人工溼地的研究熱潮。「人工溼地」是應用生態工程技術，以處理廢(污)水或彌補自然損失的人為設施，具有將污染物涵容同化(assimilation)及轉換的能力，也兼具自然溼地生態系統中物理、化學和生物間交互作用處理之特性，既不需能源輸入，也具有不必經常維護管理與自給自足等優點(林瑩峰，1999)。

溼地是重要的生態系統之一，具有多樣化的功能與類型，在台灣應該獲得重新的認識。尤其，內陸溼地最近受到國際間重新的重視，水資源和流域管理問題更與溼地保護接軌，這些發展值得我國特別重視。至於人工溼地方面，在國際間已經有相當普遍之應用，對於廢(污)水之處理、調洪、暴雨逕流的處理，以及景觀生態環境的再造，都有日新月異的成果。

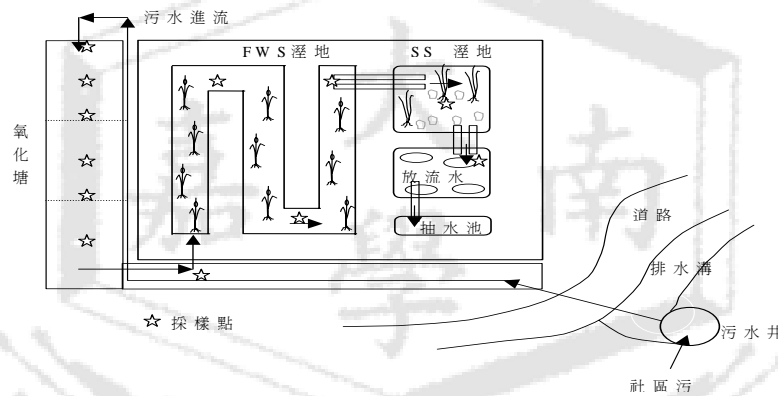
近十幾年間，無論是已開發國家(如美國、英國、挪威、澳大利亞)或開發中國家(如南非、印度、中國、斯洛凡尼亞)均陸續有許多學者參與計畫研究，並有超過 1000 個溼地系統被實際

應用。這些文獻報導又以人工溼地系統佔絕大多數，其研究與應用目的，大多是將人工溼地當作二級處理程序或高級處理程序，用以處理都市污水、農工業廢水及垃圾掩埋場(或礦場)滲出水。而從研究結果中可知，對於廢(污)水中的主要或微量污染物，例如：懸浮固體物、有機物質、氮磷營養物、重金屬及微生物，人工溼地均具有去除效能^(2~6)。

三、實驗方法

1. 二行社區人工溼地系統

系統主要處理單元由 3 個部分所組成：(1) 氧化塘(oxidation pond)、(2) 表面流動式(free water surface, FWS)溼地、(3) 表面下流動式(subsurface flow, SSF)溼地，如圖一。



圖一. 二行社區人工溼地系統流程與採樣點位置

1) 氧化塘：

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，再由集水井引流至氧化塘。氧化塘長 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*)，經氧化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，總長為 98.5 公尺，共分為兩彎三截，每一截長 33.7m、寬 13.8m、水深 0.5m、泥土深 0.3m，其中第一部份種植蘆葦 (*Phragmites australis*)，其餘兩個部分種植香蒲 (*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 0.3m、，並鋪上 0.5m 深的石頭，其內種植蘆葦，經 SSF 溼地處理過後的污水，再引流至園區內的生態池中。

2. 溼地系統操作

本系統係以一集水井收集生活污水，再由馬達經管線抽至氧化塘，經人工溼地後，流至放流池(圖一)。從 92 年 4 月操作至 93 年 1 月，平均每天可處理污水量為 38 ± 20 噸，水力負荷為 $0.06\pm 0.03\text{m/d}$ ，水力停留時間為 $15.5\pm 7.4\text{d}$ 。

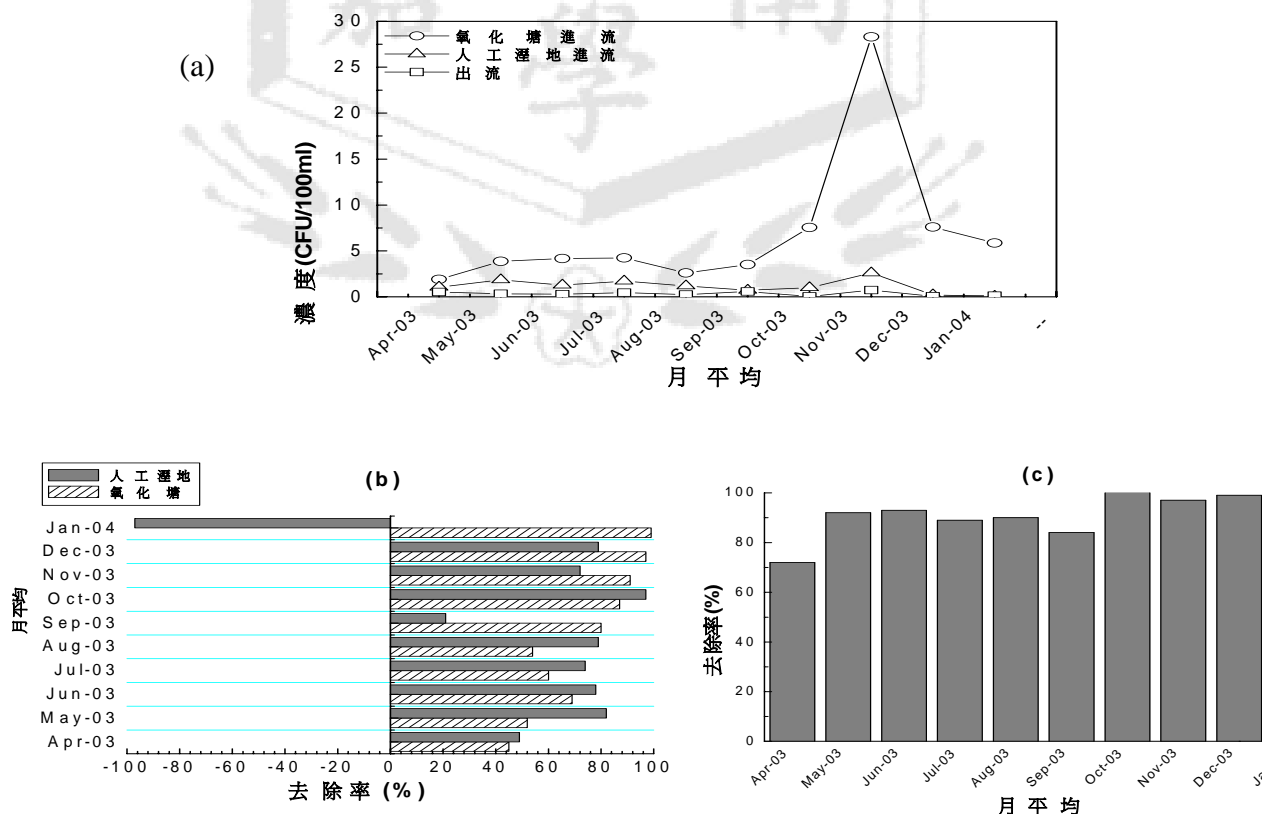
3. 採樣與分析

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 TSS、BOD₅、COD、大腸桿菌群等)，實驗方法均遵照 Standard Methods 所列的方法⁽⁷⁾進行。

四、結果與討論

1. 總大腸桿菌群

圖二(a)為總大腸桿菌群每月的進、出流濃度，由此圖可看出總大腸桿菌群每月的去除率很穩定，皆可達 70%以上；圖二(b)為總大腸桿菌群每月在氧化塘與人工溼地中的去除率，由此圖可看出氧化塘的去除率有隨著月份而增加的趨勢，可能原因為氧化塘隨著時間的增加而進入穩定期；圖二(c)為總大腸桿菌群每月在系統中的去除率，由此圖可看出其去除效果除了系統剛啟動的四月份較差之外，其餘約都可達到 90%以上。



圖二.氧化塘及人工溼地系統中總大腸桿菌的去除率及其進、出流濃度

另外由文獻⁽⁸⁻¹⁰⁾中得知，大腸菌類在溼地中的去除機制主要為生物競爭、自然死亡、過濾、紫外線照射及沉澱作用。在氧化塘中由於一區沒有種植植物，所以沉澱及紫外線照射的作用會較強；而由於溼地具有豐富的生物多樣性及植物密度高的特性，所以過濾及生物競爭的作用應較強。從表 1. 中得知，總大腸桿菌群在氧化塘及人工溼地中的平均進、出流濃度分別為 $[(6.96\pm 7.74)\times 10^6$ 、 $(1.17\pm 0.76)\times 10^6$ 、 $(3.33\pm 2.34)\times 10^5$ (CFU/100ml)，以操作十個月後之結果來看，氧化塘與人工溼地對於總大腸桿菌的平均去除率分別為 83% 及 71%，這可能是氧化塘中的沉澱及紫外線照射較溼地中的過濾及生物競爭的作用強；也有可能是總大腸桿菌群經過氧化塘處理後，其數量已減至某一程度，使得溼地的去除效果不比氧化塘明顯。而兩者結合之總去除率可達 95%，依此結果得知，往後在興建人工溼地時，若著重在總大腸桿菌的去除，則可以考慮將此二系統連接操作，以節省人工溼地之建設費。

表 1.系統進、出流水質平均分析結果(2003 Apr~2004 Jan)

項目	氧化塘 進流	人工溼地 進流	人工溼地 出流	氧化塘 去除率(%)	人工溼地去 除率(%)	總去除率 (%)
總大腸桿菌群 (CFU/100ml)	$(6.96\pm 7.74)\times 10^6$	$(1.17\pm 0.76)\times 10^6$	$(3.33\pm 2.34)\times 10^5$	83	71	95
TSS(mg/l)	35±10	29±11	18±11	15	37	47
BOD ₅ (mg/l)	59±16	23±8	11±7	61	53	82
COD(mg/l)	134±33	86±22	78±24	36	8	41

2.總懸浮固體物

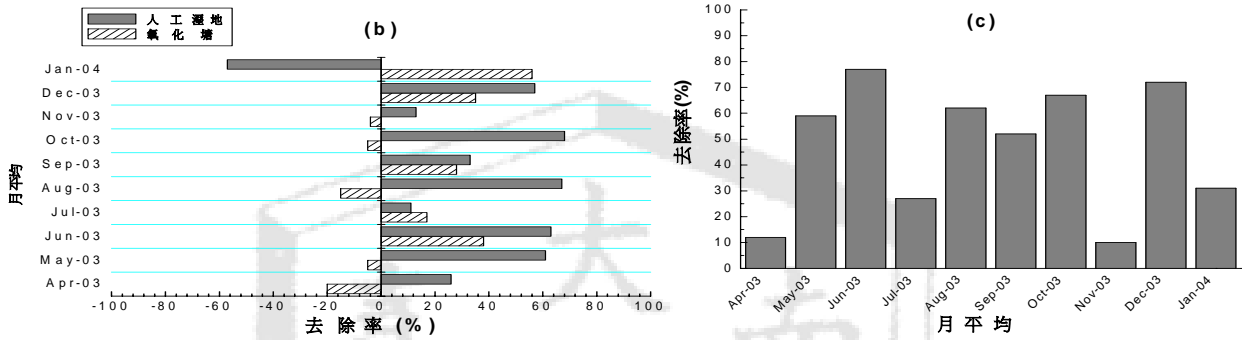
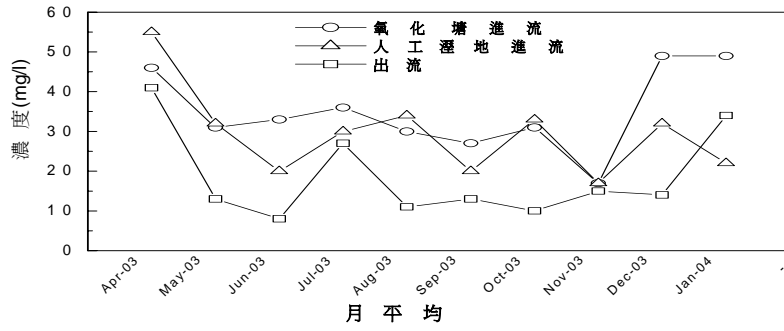
圖三(a)為總懸浮固體物每月的進、出流濃度，圖三(b)為總懸浮固體物每月在氧化塘與人工溼地中的去除率，圖三(c)為總懸浮固體物每月在系統中的去除率。由圖三(a)中的進出流濃度可看出人工溼地對於總懸浮固體物的去除的確較氧化塘為佳。

總懸浮固體物在溼地中主要的去除機制為過濾及沉降。從表 1. 中得知 TSS 在氧化塘及人工溼地中的平均進、出流濃度分別為 35±10mg/l、29±11mg/l、18±11mg/l，在操作十個月後，氧化塘及人工溼地對於總懸浮固體物的平均去除率為 15% 及 37%，若將兩者連接操作則去除率可達 47%。在氧化塘中由於種植浮水性植物，其根部的殘渣會釋放至水體中，且其受到陽光的照射而滋生藻類，所以其懸浮固體的去除不明顯，

3.生化需氧量

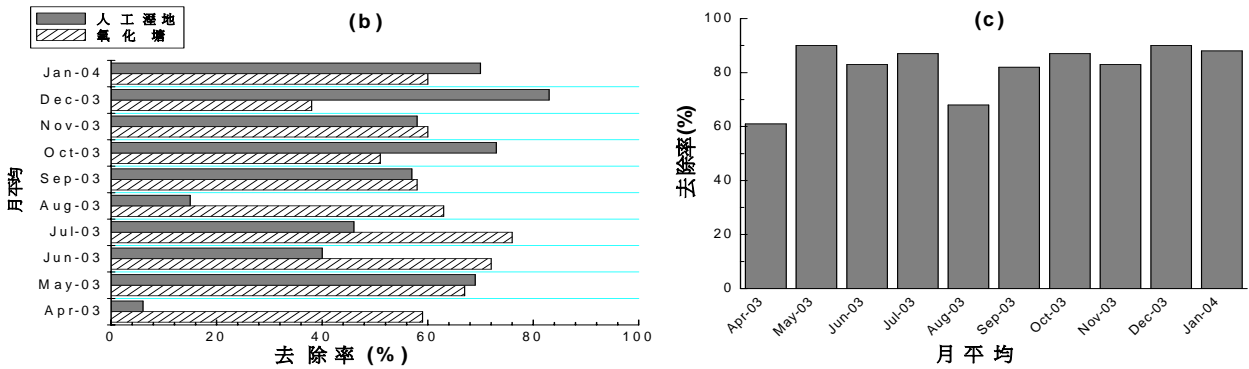
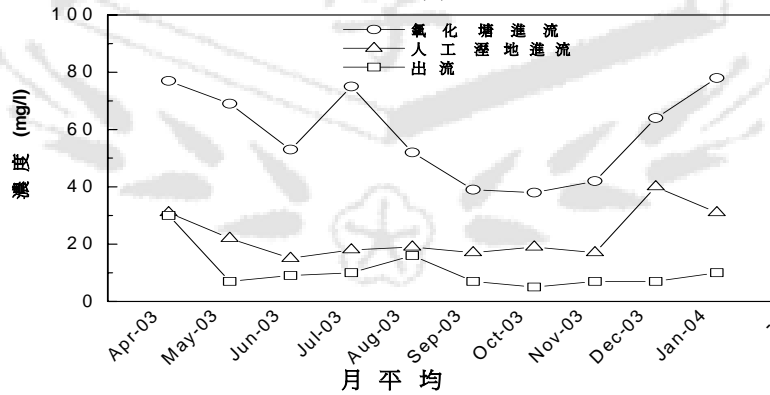
圖四(a)為生化需氧量每月的進、出流濃度，圖四(b)為生化需氧量每月在氧化塘與人工溼地中的去除率，圖四(c)為生化需氧量每月在系統中的去除率。圖四(c)中發現除了系統啟動的四月及流量開始變大的八月之外，其每月的去除率皆可達 80% 以上，另外從圖四(a)中也可看出不管進流濃度變化多大，其出流水濃度皆很穩定。

(a)



圖三.氧化塘及人工溼地系統中 TSS 的去除率及其進流濃度

(a)

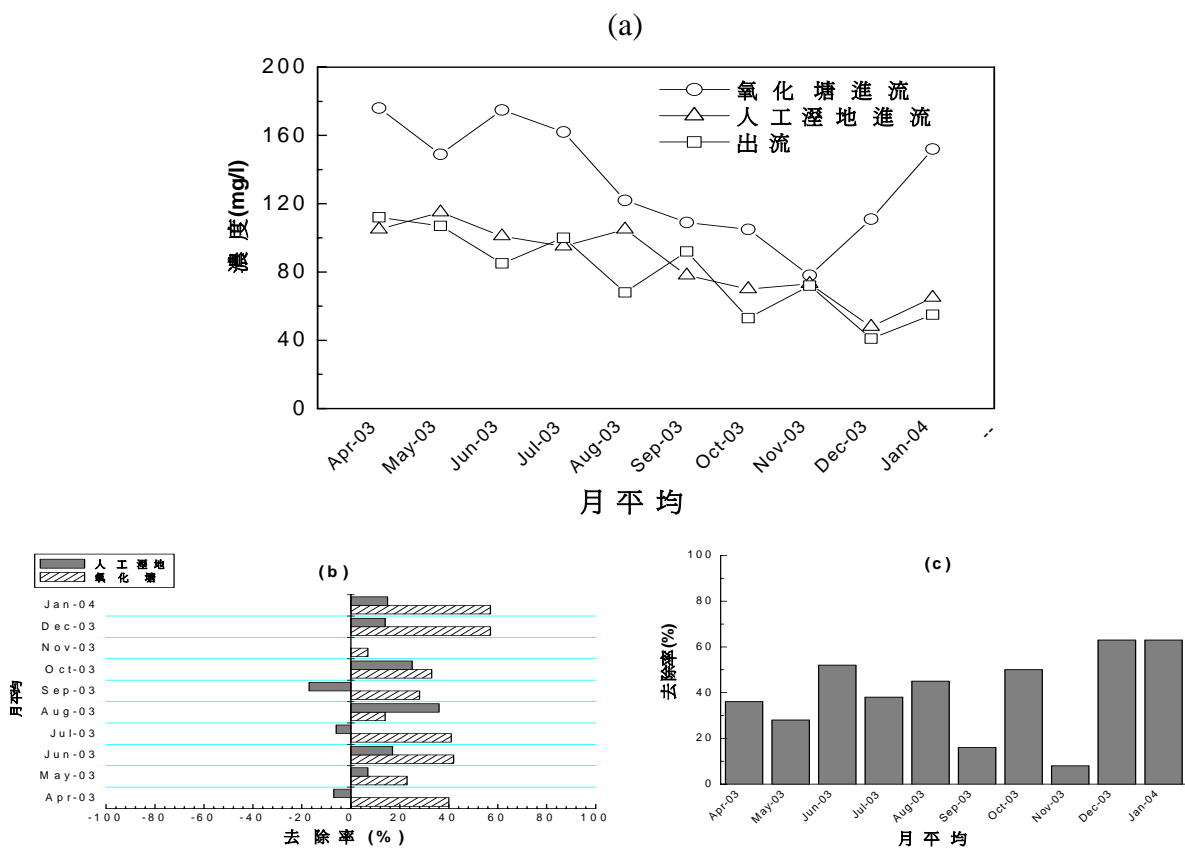


圖四.氧化塘及人工溼地系統中 BOD₅ 的去除率及其進、出流濃度

有機物在人工溼地中的去除機制最主要為好氧分解。從表 1.中得知 BOD₅ 在氧化塘及人工溼地中的平均進、出流濃度分別為 59±16mg/l、23±8mg/l、11±7mg/l，在操作十個月後，氧化塘及人工溼地對於 BOD₅ 的平均去除率為 61%及 53%，若將兩者連接操作則去除率可達 82%。在氧化塘中由於直接受到陽光照射所以其分解有機物的速率會較快，而人工溼地中由於植物的覆蓋所以其去除效率應不明顯，但是由於植物的根區效應使得氧氣被釋出，所以仍有一定的去除效率。

4.化學需氧量

圖五(a)為化學需氧量每月的進、出流濃度，圖五(b)為化學需氧量每月在氧化塘與人工溼地中的去除率，圖五(c)為化學需氧量每月在系統中的去除率。圖五(b)也可看出氧化塘去除 COD 的能力的確較人工溼地為佳。



圖五.氧化塘及人工溼地系統中 COD 的去除率及其進、出流濃度

從表 1.中得知 COD 在氧化塘及人工溼地中的平均進、出流濃度分別為 134±33mg/l、86±22mg/l、78±24mg/l。在操作十個月後，氧化塘及人工溼地對於 COD 的平均去除率為 36%及 8%，若將兩者連接操作則去除率可達 41%。從上述說明可看出 COD 在氧化塘的去除較人工溼地為佳，推測可能原因為易被分解的有機物在氧化塘中已被分解完畢，所以進入人工溼地中的有機物多為不易被分解的有機物，另一可能原因為植物死亡掉落至水體中而使得有機物增加，而一般認為未處理過的家庭污水其 BOD₅/COD=0.4~0.8，當 BOD₅/COD>0.6 時為廢水中的有

機物可完全分解， $BOD_5/COD=0.2$ 時含有不易分解之有機物， $BOD_5/COD=0$ 時表示廢水中有毒性物質⁽¹¹⁾。而根據實驗數據得知進流廢水的 $BOD_5/COD=0.44$ ，氧化塘出流廢水的 $BOD_5/COD=0.27$ ，人工溼地出流廢水的 $BOD_5/COD=0.14$ ，與上述推測相符合。

五、結論

1. 氧化塘與人工溼地對於總大腸桿菌群的平均去除率為 83% 及 71%，若將兩者結合則去除率可達 95%，顯示氧化塘連接人工溼地後對於總大腸桿菌群的去除效果確實相當良好，可做為未來廢水處理總大腸桿菌群時的參考方法。
2. 氧化塘及人工溼地對於總懸浮固體物的平均去除率為 15% 及 37%，若將兩者連接操作則去除率可達 47%。顯示總懸浮固體物在人工溼地的處理效果較氧化塘為佳，而因為氧化塘係種植浮水性植物布袋蓮、水芙蓉以及人工溼地中的植物沒有採收，所以皆會影響總懸浮固體物的去除，未來可考慮種植不同的浮水性植物以及採收植物來改善其去除效率。
3. 氧化塘及人工溼地對於 BOD_5 的平均去除率為 61% 及 53%，若將兩者連接操作則去除率可達 82%。顯示氧化塘對於 BOD_5 的去除效果較人工溼地為佳。
4. 氧化塘及人工溼地對於 COD 的平均去除率為 36% 及 8%，若將兩者連接操作則去除率可達 41%。顯示氧化塘對於 COD 的去除效果較人工溼地為佳。而針對 COD 去除效率的表現來看，建議在未來可考慮定期採收植物或增加水力停留時間以利其分解。

六、參考文獻

1. 荊樹人、林瑩峰，人工濕地技術的再認識，台灣濕地91年02月號第33期
2. Worall, P., Peberdy, K.J. and Millett, M.C. (1997) "Constructed Wetlands and Natural Conservation", *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 35, No.5, pp.205-213
3. 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.
4. Vrhovsek, D., Kukanja, V. and Bulk, T. (1996) "Constructed wetland for industrial waste water treatment", *Wat. Res.* Vol., 30, No. 10, pp.2287-2292
5. Comin, F.A., Romero, J.A., Astorga, V. and Garcia, C. (1997) "Nitrogen Removal and Cycling in Restored Wetlands Used as Filters of Nutrients for Agricultural Runoff", *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 35, No. 5, pp. 255-261
6. Ottova, V., Balcarova, J. and Vymazal, J. (1997) "Microbial Characteristics of Constructed Wetlands", *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 35, No.5, pp. 117-123
7. APHA, "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater;" 16th Ed., American Public Health Association, Washington, D.C. (1985)
8. Mantovi, P., Marmiroli, M., Maestri, E., Tagliavini, S., Piccinini, S. and Marmiroli, N. "Application of a horizontal subsurface flow constructed wetland on treatment of dairy parlor wastewater" *Bioresource Technology*, Vol. 88, pp 85-94, 2003
9. Steer, D., Fraser, L., Boddy, J. and Seibert, B. "Efficiency of small constructed Wetlands for subsurface treatment of single-family domestic effluent" *Ecological Engineering*, Vol. 18, 429-440, 2002
10. Keith R.Hench, Gary K.Bissonnette, Alan J.Sexstone, Jerry G.Coleman, Keith Garbutt and Jeffrey G.Skousen "Fate of physical, chemical, and microbial contaminants in domestic wastewater following treatment by small constructed wetlands" *water research* vol.37, pp 921-927, 2003.
11. 曾昭衡、曾廣銓，環境工程概論，高立圖書有限公司，pp38-39