

## 利用藻類指標評估高屏溪人工溼地水質變化之可行性探討

謝季吟<sup>1\*</sup>、范綱閔<sup>3</sup>、楊子君<sup>3</sup>、施俊宏<sup>4</sup>、丁澈士<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 國立屏東科技大學環工系助理教授 <sup>2</sup> 國立屏東科技大學土木系教授

<sup>3</sup> 國立屏東科技大學環工所研究生 <sup>4</sup> 大仁科技大學環管所研究生

### 摘要

高屏溪左右岸溼地主要引入武洛溪溪水、竹寮社區污水及紙廠放流水進行處理，處理機制主要包括藉沉降作用去除水中懸浮物質及利用水生植物吸附營養鹽，進而降低污染物減緩排入高屏溪水體污染負荷量。由於目前對於溼地處理污染物之研究多著重於不同水質之因子去除率對於棲息於其中之生物如藻類群聚的影響則較少被探討，因此本研究嘗試利用溼地系統不同處理單元中出現之藻類群聚與其生物指標所相對應的來了解水體水質淨化情形。本研究結果顯示高屏溪左右岸九個樣站於七次調查(2005年7月~2006年12月)共記錄綠藻類24屬、藍綠藻類7屬、矽藻類18屬、裸藻類5屬、金藻類3屬及甲藻類2屬。左岸溼地浮游藻群聚組成由2005年7月以綠藻類為主，其餘6次採樣結果則因矽藻、小環藻及裸藻比重逐漸增加而成為優勢種。右岸溼地各測站則相對出現較多的藍綠藻及矽藻類，且裸藻類也佔一定比例。綜合七次左岸矽藻優養化指標(TDI)分析結果顯示，TDI值介於70~83.1皆屬嚴重污染，以在附著基質上呈平覆型(如舟行藻及菱形藻)或是浮游性藻類(如溝鏈藻及小環藻)為優勢藻種，而較少出現固定性較強的種類。另外，如以腐水度指數來評估水質優養化狀況，各測站皆屬偏 $\beta$ -中腐水污染水質(SI=1.71~2.73)。在水質淨化成效評估方面，綜合調查結果顯示左岸進流水及出流水水質評估結果多為中度污染，而右岸進流水及出流水水質評估結果亦為中度污染。初步結果顯示利用藻類群聚生物指標評估水質於七次採樣結果相似，與利用傳統河川污染指標(RPI)評估結果有些差異，顯示相關藻類指標應用於溼地系統仍需再評估。

**關鍵字：**人工溼地、藻類指標、生物監測、水質淨化

## 一、前言

高屏河流域開發較早，工商發達與人口稠密造成沿岸河川綠地、堤岸環境遭到破壞，水體因受污染而逐漸惡化，如何減少污染物質流入高屏河流域，儼然已成為附近居民及社會大眾關注的焦點。但由於目前檢測水質之方式仍採取單一樣品採集分析，往往只能反映採樣單一時間點的水質狀況，而水中生物因長期生活在該地區環境中，較能反應出長時間水質優劣及變化之趨勢，提供有益的資訊[1,2]。

藻類是水生態中的初級生產者，也是河川食物鏈中很重要的一環，它直接承受水質變化之衝擊，而反映其生長和存歿，因此水環境中的浮游性藻類和附著藻類(適合流速較快之區域)都常被用來當做河川溪流水質監測指標。學者 Kolkwitz and Marsson 於 1909 年最先開始研究英國排放污水道之浮游藻類與附著藻類，發現藻類物種與群聚結構隨著污水排入污水道之溶氧變化而改變，發展出來以藻類群聚結構特徵來反映水質狀況之生物性指標法。國內亦有不少相關的研究，如唐先柏等學者 2002 年於中港溪調查附著性藻類、魚類及底棲生物等，建立中港溪生物指標系統。郭鍾秀等學者 2002 年於鯉魚潭水庫進行利用藻類群聚結構評估水質之可行性研究。學者吳俊宗於 2000 年研究基礎藻類群聚結構，討論台灣藻類多樣性，特別是矽藻指標與水環境之關係。趙大衛等也曾於 1992 年在高屏溪調查微生物、藻類、貝類、水生昆蟲及魚類之分布情形，並探討污染生物指標[3,4]。

本研究之目的主要針對高屏溪左右岸已設置之高灘地人工濕地不同系統中藻種分布與相對應水質之關係進行探討，並由其存在藻種種類、優勢種及出現之相對頻度，進而計算其生物指標所代表之水質污染等級，綜合歸納以評估人工溼地各樣站水質優劣情形並繪製其相似度圖以了解左右岸藻類相似程度。

## 二、材料與方法

本研究調查範圍包括高屏溪左右兩岸人工溼地，採集頻率為每季調查一次。期間介於 2005 年 7 月~2006 年 12 月，共計 7 次

### 1. 採樣地點

本研究所設樣站包括左岸 5 個樣站(A、B、C、D、E)及右岸 4 個樣站(A1、A4、A6、B5)，共 9 個樣站(如圖 1、2)。

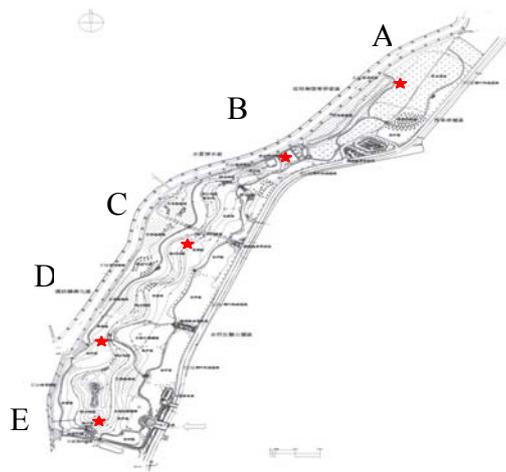


圖 1、左岸水域生物調查樣站示意圖

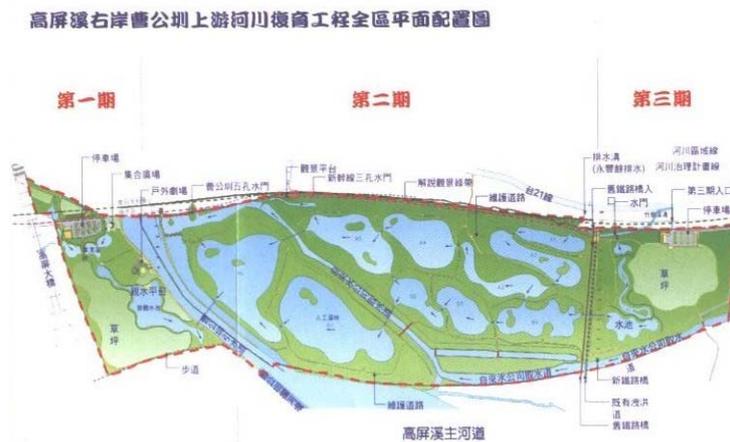


圖 2、右岸水域生物調查樣站示意圖

## 2. 水樣採集方法

在水體樣品採集後存放於 4°C 冰桶中保存並運至實驗室進行分析。採集方法依環保署公告之水質採樣通則(NIEA W104.51C)進行，並於 40 天內完成樣品前處理及分析。

## 3. 藻類採集方法

本研究之藻類相調查係參照「植物生態評估技術規範」(環保署 2003)及「淡水河生物相調查及生物指標手冊建立」中藻類指標部份(吳俊宗、周晉文, 1999)所實施之方法與步驟進行[5]。在附著藻類方面，係取水深 10cm 處之石頭，以細

銅或毛刷刮取 10cm×10cm 定面積上之藻類，之後打散、溶解、過濾。採集到的樣品都以 3-5% 之中性福馬林固定保存，再帶回實驗室進行鑑定；在浮游藻之採樣方面，則於採樣點附近三處撈取原水各一公升，經混合後自其中採集一公升作為樣品，並於採樣後馬上添加固定液或福馬林固定，回實驗室經離心濃縮成新鮮樣品，進行種類鑑定及數量計數工作，計數方式採以血球計數器 (Haemacytometer) 計數。新鮮樣品(一個星期內)於干擾相位差顯微鏡(Zeiss, Axioskop) 400 倍或 1000 倍下觀察拍照記錄。

本研究用來評估水質之指標種類及計算公式說明如下：

● 藻屬指數(GI)：將依吳(1998)之藻屬指數(Generic Index, GI)，以矽藻類之 *Achnanthes*(曲殼藻屬)、*Cocconeis*(卵形藻屬)、*Cyclotella*(小環藻屬)、*Cymbella*(橋灣藻屬)、*Melosira*(直鏈藻屬)及 *Nitzschia*(菱形藻屬)等共六屬種類之相對頻度(%)比值來評估水質污染情形，其求法如下

$$GI = (Achnanthes + Cocconeis + Cymbella) / (Melosira + Cyclotella + Nitzschia)$$

● 矽藻優養化(TDI)指標：TDI 指數為 Kelly & Whitton(1998)所發展之優養矽藻指數(Trophic Diatom Index, TDI)來評估河川受營養鹽污染之優養化情形，計算式為： $TDI = \sum A_i S_i V_i / \sum A_i V_i$

$A_i$ ：指標種之相對頻度(%)

$S_i$ ：污染敏感度(1-5)

$V_i$ ：指標權重(1-3)

計算所得之 TDI 值介於 0-100 間，0 為無營養鹽污染，數值越大表示水質優養化程度越高。

### 三、結果與討論

本研究於 2005 年 7 月、9 月、12 月及 2006 年 4 月、7 月、9 月、12 月於左右岸溼地共 9 個採樣點進行採樣。水質分析項目包括溶氧(DO)、生化需氧量(BOD<sub>5</sub>)、懸浮固體(SS)及氨氮(NH<sub>3</sub>-N)、酸鹼值(pH)、水溫(°C)、導電度(μS/cm) 等項目，同時亦針對左右岸浮游藻類及左岸附著藻類進行採集及分析鑑定。

#### 1. 水質淨化評估

高屏溪左岸溼地之調查結果顯示 SS 濃度從上游 A 池 39 mg/L 削減至下游 E 池 22 mg/L，去除率大於 45%。BOD<sub>5</sub> 濃度從上游 A 池 10 mg/L 削減至下游 E 池

5 mg/L，去除率約 50%。NH<sub>3</sub>-N 濃度從上游 A 池 7.9 mg/L 削減至下游 E 池 3.7 mg/L，去除率大於 45%。如利用河川水質之綜合性指標(RPI)來判定人工溼地水質之污染程度時，左岸溼地進流水水體(A 區)的 SS、BOD<sub>5</sub> 及 NH<sub>3</sub>-N 大多屬於嚴重污染等級，流經放流口 E 池後 BOD<sub>5</sub> 及 SS 皆降至輕度污染等級；NH<sub>3</sub>-N 仍屬嚴重污染等級，RPI 平均積分值從嚴重污染降至中度污染等級(如圖 3)。

高屏溪右岸溼地水質調查結果顯示，A 區及 B 區進流口到出流口 SS 不降反升，其原因可能是因為採樣期間，持續的施工作業導致 A6 出流口 SS 濃度高居不下。BOD<sub>5</sub> 濃度從進流口 7 mg/L 削減至出流口 4 mg/L，去除率約 50%。另外 NH<sub>3</sub>-N 濃度進流口至出流口介於 0.61~0.87 mg/L 範圍，去除效率不顯著。DO 測值進流口至出流口介於 2.0~4.94 mg/L 範圍，濕地前段因有機污染物的分解導致溶氧被消耗，因此 DO 曾低至 2.0 mg/L 之情形，後段則因有機物被分解、去除，加上植物之根區效應(可能也有藻類的貢獻)，DO 有逐漸上升之趨勢。如利用河川水質之綜合性指標(RPI)來判定人工溼地水質之污染程度時，右岸溼地進流水及出流水水質評估結果均為中度污染(如圖 4)。

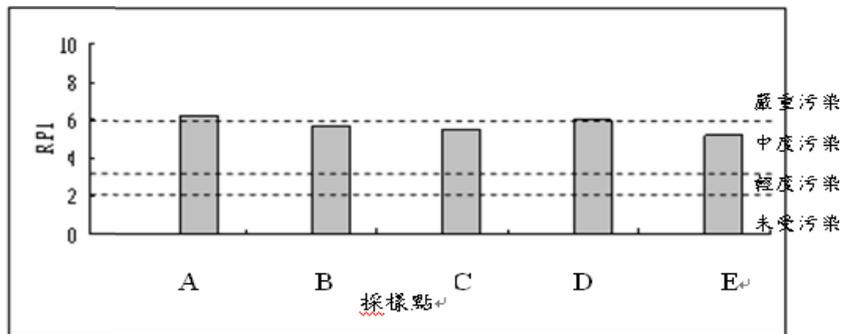


圖 3、高屏溪左岸人工濕地 7 次調查 RPI 值變化圖

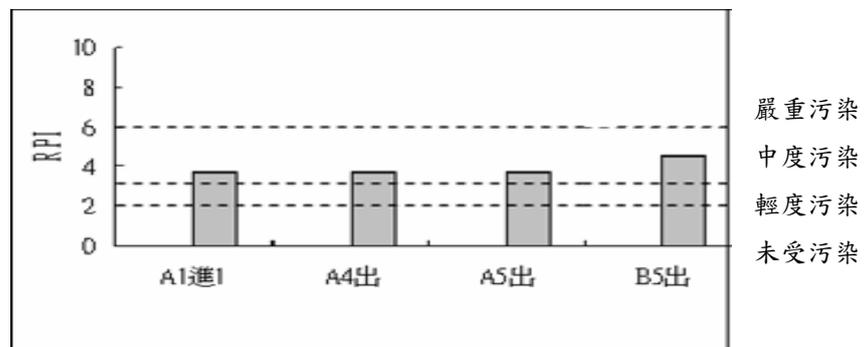


圖 4、高屏溪右岸人工濕地 7 次調查 RPI 值變化圖

## 2. 浮游藻類

本研究除將七次之浮游藻類調查分為左岸、右岸 A 及右岸 B 進行群聚分析。左岸浮游藻 7 次調查結果顯示除 2005 年 7 月藻類群聚為比較獨立的一群，以綠藻類為優勢種外，其餘採樣結果則因矽藻、小環藻及裸藻比重逐漸增加而成為優勢種，到 2006 年 9 及 12 月兩季主要以裸藻類及浮游性矽藻(小環藻)群聚為主要優勢種(如圖 5)。

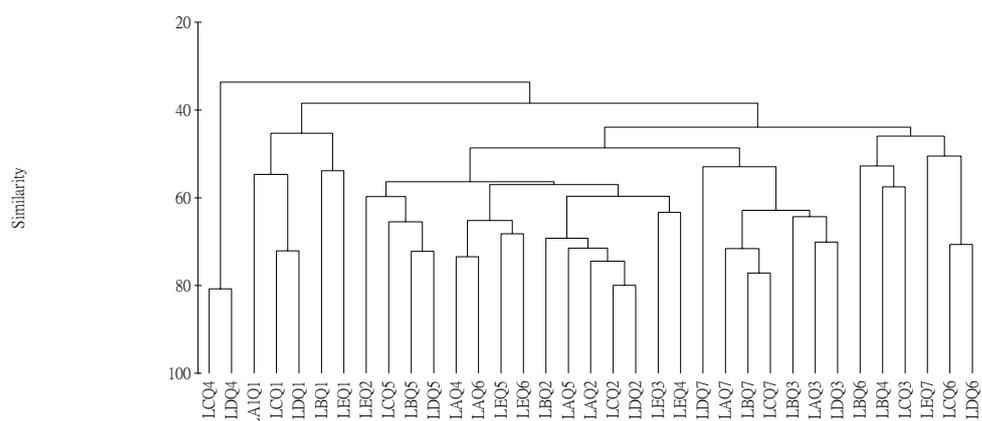


圖 5、高屏溪左岸人工濕地 7 次調查藻種相似度比較表

另外右岸溼地 A 區調查結果顯示除 A1、A2 及 A3 池於 2005 年 4 及 7 月以小型綠藻類(unknownB)及藍綠藻類為優勢種；A6 池於 2006 年 12 月調查時以舟形藻為優勢種，其餘各測站之採樣分析鑑定結果以藍綠藻類(顫藻)及裸藻為優勢種(如圖 6)。右岸溼地 B 區藻類群聚與 A 區相似，於 2005 年 7 月~2006 年 9 調查時以矽藻類為優勢種，其餘調查結果右岸溼地 B 池各測站中裸藻類也逐漸增加而成為優勢種(如圖 7)。除此之外，為了比較其餘測站(A2、A3、A4、A6 及 B1、B2、B3、B4、B6、B7 池)與四個監測樣站之差異性，將嘗試進一步針對 A 及 B 區共 13 個採樣站進行相似度分析結果顯示 A1、A2、A3 及 A6 池於 7 次調查藻類群聚變化不顯著。A4、A5、B1、B2、B3、B4 及 B5 池因季節變化裸藻類比例逐漸增加成為優勢種。

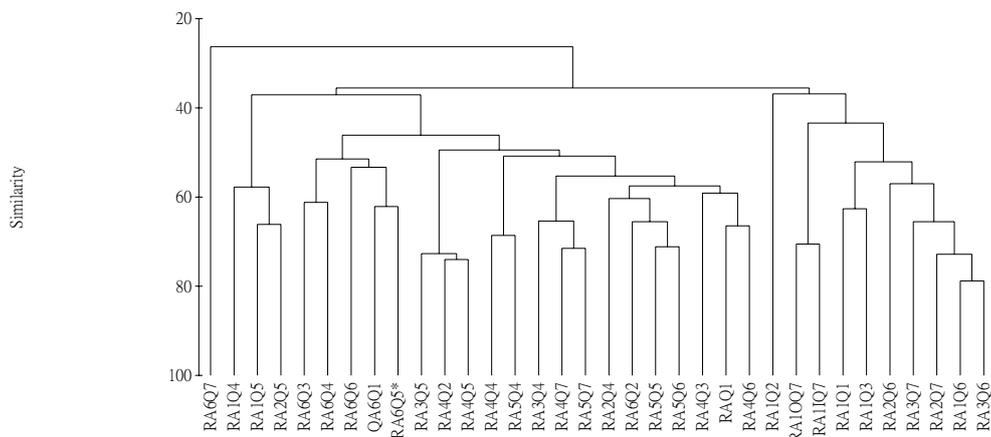


圖 6、高屏溪右岸人工濕地 7 次調查藻種相似度比較表

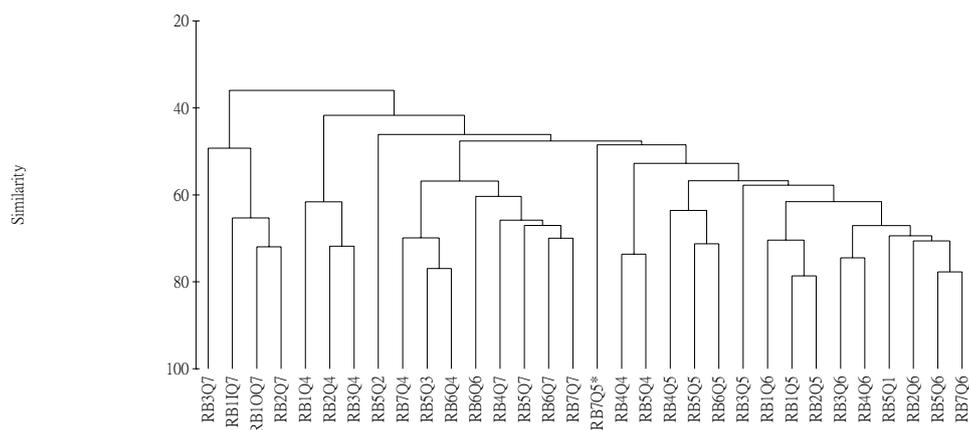


圖 7、高屏溪右岸人工濕地 7 次調查藻種相似度比較表

附註：第一個字母 R 代表人工濕地右岸，L 代表左岸，之後為水池編號。Q1~Q7：第 1 季~第 7 季

將 7 次調查浮游藻類群聚特性分析結果發現左右岸有相似的趨勢，左岸除 2005 年 7 月藻類群聚以綠藻類為優勢種，其餘六次採集結果則與右岸群聚相似，以矽藻種類為優勢種；右岸群聚變化較為複雜，出現較多的藍綠藻及矽藻類。但左右岸因季節變化裸藻類比例逐漸增加，於 2006 年 12 月調查時左右岸各池子中裸藻類已成為優勢種，其中以右岸 A1、B1 池及左岸 A、B、C、D、E 池最嚴重，由此顯示這些池子水質有明顯的優養化現象。

### 3. 附著性藻類

2005 年 3 次採集附著藻之調查結果顯示主要優勢種類以小環藻 (*Cyclotella*)、舟形藻(*Navicula*)及菱形藻(*Nitzschia*)為主，顯示水流擾動緩和，在附著基質上所建立的矽藻生物膜仍較薄，較少出現固著性較強的種類。如果以優養矽藻指數(TDI)來評估水質狀況，所有測站皆屬偏嚴重優養化水質(TDI=74.4~83.1)，其中以 2005 年 12 月左岸 D 池較特別，因群聚中出現大量的羽紋藻(*Pinnularia braunii var. amphicephala*)使得指數值明顯的下降，因此仍需進一步確定此種類之權重特性。若以腐水度指數來評估水質優養狀況，各測站結果皆屬嚴重偏 $\beta$ -中腐水級水質(SI=1.71~2.68)。

2006 年於左岸人工濕地 A、B、C、D 進行附著藻採集(E 池因水量幾近乾涸，無法採集)，鑑定結果發現共出現 8 屬 19 種，以菱形藻為出現對多的優勢種(出現頻度 > 60%)，其中矽藻優養指數顯示與 2005 年評估結果相似，皆屬偏嚴重優養化水質(TDI=70~77)。若以腐水度指數來評估水質優養狀況，各測站結果皆屬嚴重偏 $\beta$ -中腐水級水質(SI=2.68~2.73)，與 2005 年分析結果相同。

將兩年度附著性藻類進行比較的話，評估水質污染之藻屬指數分析結果顯示 2005 年度(TDI=74.4~83.1)及 2006 年度(TDI=70~77)評估結果皆屬嚴重污染水質，以在附著基質上呈平覆型(如舟形藻、菱形藻等)或是浮游性種類(如溝鏈藻、小環藻)為優勢藻種，而較少出現固著性較強的種類，顯示此處的群聚與河川附著性群具有很明顯的差異，因此將此一指數應用在一水池中之附著矽藻群聚，還是認為需要再評估其應用之客觀性。雖然附著藻評估水質結果可驗證浮游藻評估結果，但與利用傳統河川污染指標(RPI)評估結果有些差異，顯示相關藻類指標應用於流動緩慢之溼地系統仍需再評估。

### 四、結論

本研究嘗試利用溼地系統不同處理單元中出現之藻類群聚與其生物指標所相對應之水質等級來了解水體水質淨化情形。結果顯示利用藻類群聚生物指標評估水質於七次採樣結果相似，即水體淨化成效不明顯。與利用傳統河川污染指標(RPI)評估結果有些差異，顯示應用相關藻類指標於溼地系統仍需再評估。

### 五、參考文獻

1. 郭鍾秀、劉忠裕、方茹萍，"以浮游矽藻評估台灣水庫水質可行性之探討"，中華水資源管理學會、行政院農業委員會，水資源管理研討會論文集 p141~156，桃園縣(2002)。
2. 徐明光，"台灣的淡水浮游藻(I)-通論及綠藻(1)"，國立台灣博物館(1999)。
3. 林幸助、于淑芬，"溪流中的藻類"，科學發展，第 50 期，pp.6 - 9(2007)。
4. 王瑋龍、陳伯中，"台灣淡水矽藻名錄"，水產出版社(2000)。
5. 吳俊宗、周晉文，"淡水河系污染整治對生物相群聚動態"，行政院環境環保署報告 EPA-88-G108-03-301(1999)。
6. 丁澈士、郭文健、許正一、郭耀綸、謝季吟、吳正文，"人工濕地水質淨化成效評估及水回收再利用(2/2)"，經濟部水利署第七河川局，屏東縣(2006)。
7. 丁澈士、郭文健、許正一、郭耀綸、謝季吟、吳正文，"人工濕地水質淨化成效評估及水回收再利用(1/2)"，經濟部水利署第七河川局，屏東縣(2005)。
8. 森若美代子、齊家，"台灣地區水庫浮游藻類圖鑑"，行政院環境保護署檢驗所(1996)。

## Assessment of the Water Quality Improvement Using Algae Bio-indicator in Constructed Wetlands

Chi-Yin Hsieh<sup>\*1</sup>、Kang-Min Fan<sup>1</sup>、Tzu-Chun Yang<sup>1</sup>、Cheh-Shyh Ting<sup>2</sup>、  
Chun-Hong Shih<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Environmental Engineering and Science National Ping-Tung University of  
Science and Technology, Taiwan

<sup>2</sup> Department of Civil Engineering National Ping-Tung University of Science and  
Technology, Taiwan

<sup>3</sup> Graduate Institute of Environmental Management Tajen University, Taiwan

### Abstract

In recent years, utilization of wetland as well as impacts of chemical pollutions on aquatic organisms to understand the integrated effects of complex chemicals upon the system has been the major issue globally. Also, bio-surveys, along with traditional water quality parameters analysis, can be used more effectively for detecting aquatic life impairments and assessing their relative severity in the environment. The aim of this study was to assess the biological impact of three different types of water including household wastewater effluent, paper pulp effluent and highly polluted river water on the receiving wetland system using algae indicator. The results revealed that there are 24 genus of green algae, 7 genus of *cyanobacteria*, 18 genus of diatoms, 5 genus of euglenas, and 2 genus of *dinoflagellates* found in these wetland systems. Furthermore, for using the algae populations analysis, such as DAIPo, GI, SI and TDI, the water quality of these sampling sites were fell into the middle-polluted and highly eutrophicated areas without significant purification effect in different treatment unit. Results illustrated the need for careful consideration of water quality and biological indicator in assessing purification efficiencies in wetland system.

**Keywords:** Constructed wetlands、Algae bio-indicator、Bio-monitoring、Water purification