

綠能設備結合浮水植物於淨化生活雜排水之研究

The study of Green Energy Equipment with Floating Plants to Purify the Sewage Water

明道大學
景觀與環境設計學系
副教授/建築師

張源修*
Yuan-Hsiou Chang

明道大學
景觀與環境設計學系
大四生

朱品樺
Pin-Hu Zhu

國立宜蘭大學
建築與永續規劃研究所
碩一生

吳秉諭
Bing-Yu Wu

明道大學
景觀與環境設計學系
大二生

莊庭杰
Ting-Jie Zhuang

摘要

依行政院環境保護署調查，台灣約有三分之一河川受汙染，在廢水排放中生活排水量占第一，加上現今洗潔劑成分複雜而排放至河川後對河川造成優氧化現象，若想解決這問題可以從學校、家庭、工廠等單位設置簡單天然的淨水系統。本研究選用五種常見浮水植物：水萍(水樣 B)、人厭槐葉萍(水樣 C)、青萍(水樣 D)、大萍(水樣 E)、圓心萍(水樣 F)做初步水質淨化處理，於容積 60L 水箱注入約 50L 的明道大學志強宿舍生活雜排水，在實驗組放置礫石與微氣泡，並使用太陽能供電，含對照組共 A~F 六種水樣，以一年時間探討各組淨化效益。經過一年四季的實驗結果顯示，水樣 C 的 DO 數值最為穩定均維持在 5~9mg/L；水樣 B、C、E 之 pH 值最穩定，都維持在 6~9；水樣 B~F 的 EC 均維持在法規標準 250~750 μ mho/cm；而各水樣的 ORP 則是維持在 70 mv~145 mv。在微生物觀察中共發現 37 種微生物，水樣 E 種類最多共 20 個物種，水樣 D 最少共 9 種物種，水樣 B 以 *Spirogyra Sp.*、*Neosporangium Sp.* 最多；水樣 C 以 *Cocconeis Sp.* 最多；水樣 D 以 *Actinastrum Sp.* 最多；水樣 E 以 *Cocconeis Sp.* 最多；水樣 F 以 *Closterium Sp.* 物種最多。本次研究希望在未來有助於水質淨化之水生植物選擇，進而提昇該區域水質亦可提供野生動物庇護，以及景觀休閒與生態教育等附加價值，讓後續從事相關工作與研究者提供有用的參考依據。

關鍵詞：水生植物，水質淨化，自然處理系統，生活污水，綠能。

ABSTRACT

According to the Environmental Protection Administration survey, about one-third of rivers contaminated, and the wastewater living in displacement accounted for first in

*通訊作者，明道大學景觀與環境設計學系副教授/建築師，52345 彰化縣埤頭鄉文化路 369 號，f89622050@ntu.edu.tw

Taiwan, and nowadays detergent ingredient complex after discharge to river cause eutrophication phenomena, if want to solve this problem can be set up simple natural water purification systems from schools, homes, factories etc. This study selection five common floating plants: *Spirodela polyrhiza* (sample B), *Salvinia molesta* D. S. Mitchell (sample C), *Lemna aequinoctialis* Welwitsch (sample D), *Pistia stratiotes* L. (sample E), *Limnobium laevigatum* (samples F) to do the initial water purification process, in volume of about 60L tank injection of Sewage water 50L form dormitory in Mingdao University, place gravel and microbubbles in the experimental group, and the use of solar power, including control group (no floating plants, sample A) of six water samples A ~ F, In a year to explore each group purification efficiency. After the year's results show, the DO samples C is the most stable in water samples remained at 5 ~ 9mg/L; water samples B, C, the pH samples E of the most stable, all maintained at 6-9; water sample B ~ F of the EC regulations and standards are maintained at 250 ~ 750 $\mu\text{mho/cm}$; and each water sample the ORP is maintained at 70 mv ~ 145mv. Observation of microorganisms were found in 37 kinds of microbes, the water sample E is most up to a total of 20 species, sample D is minimum total of 9 species, samples B is *Spirogyra Sp* and *Neosporangiococcum Sp* maximum; samples C is *Cocconeis Sp* most.; samples D is *Actinastrum Sp* most; samples E is *Cocconeis Sp* most; samples F is *Achnanthes sp* species most. This study is to contribute to water purification in the next selection of aquatic plants, and thus enhance the quality of the region will also provide added value to wildlife refuge, as well as landscape recreational and ecological education, so that follow-up related work and provide useful reference for researchers.

Keywords: Aquatic plants, Water purification, Natural treatment systems, Sewage water, Green energy.

一、前言

現今社會越發達相對環境破壞日益嚴重，水資源嚴重不足，尤其臺灣地勢落差大，保水不易。張等(2014)提出臺灣現今滯留水資源的設施不足，儘管年均雨量大於 2000 mm，每人平均用水量仍然不足，且人為排放汗水參雜許多洗滌劑，導致放流水對河川有優養化現象。而廢水處理的過程中，其主要目的為除去污染物或轉變成對人類無影響的物質，並使環境不會遭受破壞，傳統方法處理需要技術、化學物品和耗費高能源，過程花費高並對環境也有汙染，因此建議以天然和人工濕地方式代替傳統方法(Okia, 1993)。本研究選擇探討臺灣常見的 5 種浮水植物，並搭配綠

能設備使用太陽能板的供電方式，提供增氧機營造好氧環境，以便穩定的增加溶氧量，經研究結果溶氧提升約 134~271%間接影響水樣之微生物種類，如：*Spirogyra sp.*、*Gomphonema angustatum products* 與 *Cocconeis placentula* 等物種數量之提升，以上本研究探討其淨水能力以及環境改善之效果，推測種植浮水植物與綠能輸氣設備將有助於水質改善。本實驗結果將提出適合臺灣水質淨化之水生植物的選擇。

二、文獻回顧

利用自然界各種反應過程來處理廢污水之工程技術，稱為自然處理系統 (Metcalf and Eddy, 1991)。Calheiros *et al.* (2007)則提出利用人工濕

地，來處理淨化製革業高有機質之廢污水。植物有「根區效應(Root zone effect)」，根部附近成為好氧區，由根部表面或其附近所附生的微生物進行同化、異化、硝化、脫硝及磷的化學沉澱等作用，促使溼地中營養鹽物質的去除(Brix, H., 1987; 陳, 2008)。人工濕地中氮營養鹽去除機制可分成物理性沉降、硝化、脫硝作用、植物或微生物吸收(Healy *et al.*, 2006)。硝酸鹽的去除主要是植物死亡過程中，有機物質分解使系統呈缺氧情形促使脫硝(Park *et al.*, 2008)。Sun *et al.* (2007)提出氮轉換於垂直地下流濕地，高濃度氮氮於好氧條件下滲出水使其轉為亞硝酸鹽，而亞硝酸鹽再與剩餘的銨反應為氮氣蒸散至大氣中，會使氮質量減少 12~52%，稱完全自營氮去除。另外植物成長的重要養分為磷營養鹽，若過多磷營養物質進入水體會造成藻類大量生長及死亡，在磷去除機制中，主要藉由碎石土壤等物理吸附作用，另植物吸收也提供少部份的去除效果(Lin *et al.* 2003)。Chang *et al.* (2014)以結合植栽與增氧機設備的人工浮島進行水質淨化，發現能降低湖水的 EC 約 30%營養鹽，並提高 2.8 倍 DO 值，以及減少宿舍中水的 EC 約 34%。張等(2014)以碎石、砂、陶片等廢棄物來處理生活排水，研究顯示 PO₄ 以混凝土去除率 92.5%最佳，NO₂ 以空心磚 99.11%為最佳。張等(2013a) 提出以加溫棒、LED 燈與臭氧等不同設備淨化水質，效果最佳是加熱增加水溫，微氣泡前期效果很好後期變差之後臭氧殺菌才發揮作用，夜間增加 LED 光照的效果則介在中間。

水生植物可遮蔽陽光與控制藻類生長，漂浮性植物因浮生水面，生長繁殖力較強在各個水域均有分布，當植物的生長量大時淨化水體效率較好(陳, 2005; 李, 2010; Gustavo *et al.* 2008)。布袋蓮及大萍之生長比率受氮磷營養鹽濃度影響，人厭槐葉萍較不受其濃度影響，人厭槐葉萍繁殖力較布袋蓮及水芙蓉高，而在高濃度營養鹽下，增生速率則為布袋蓮 > 大萍及人厭槐葉萍(Gustavo *et al.*, 2008)。浮萍與大萍雖然中後期生長狀況不佳，植物體出現枯黃破損，但仍具有淨化效果(張等, 2013b)。而氣候

條件也影響植物生長，夏末秋初時以休眠芽形休眠形態越冬，是經由低溫和短日所共同誘導，芽體本身會沒入水中，等待氣溫的回升才開始成長(廖等, 1999)。

微生物指標方面，柯(2010)指出生物性指標較常見的是大腸桿菌群(Coliform Group)及腸球菌(Enterococci)，當大腸桿菌生存於自然環境時，便可證明水體近期內受到糞便污染含有病原體，所以水質分析致病菌會以大腸桿菌群來表示。Karim *et al.* (2008)研究水生植物對致病菌之影響，結果顯示濕地中大型挺水及浮水性植物，蘆葦、香蒲、布袋蓮、水芙蓉，皆有效抑制河川及二級放流水細菌孳生問題。諸多研究顯示大腸桿菌群去除結論，發現除水深及停留時間，溫度也為致病菌去除之重要因子，Garcia *et al.* (2008)研究植栽對於大腸桿菌去除效果，主要影響因子為日照、pH、水體溶氧，且在溫暖季節去除效果會提升。夏季湖泊中發現，水溫上升會促使非糞便型大腸桿菌快速生長，且藻類滋長增加水中懸浮固體濃度，因懸浮固體包覆或遮蔽細菌，使紫外線殺菌效果降低，總大腸桿菌量提高(Davis *et al.*, 2005)。

在藻類方面，藻類滋生會對水體造成影響，淡水主要種類為矽藻、藍綠藻、綠藻與裸藻，其中綠藻為多數水體中的優勢物種，綠藻為單一細胞型態存在(田等, 2001)。Chang *et al.* (2014)指出藻類指標有等片藻科、水棉、水生昆蟲等生物之消長與水質有相當大的關係。水綿屬(*Spirogyra*)生長力旺盛時，會生長密集並覆蓋水體表面，一些適應能力較強之藻類及原生動物如眼蟲(*Euglenoids*)、渦鞭毛藻(*Dinoflagellates*)及矽藻(*Bacillariophyceae*)，在水體中有自行游動能力可適應更多環境水體(Lewitus *et al.*, 2008)。

行政院環境保護署(2014) 指出為維持河川魚類良好的棲息環境，其水中溶氧量至少高達 5.0 mg/L 以上；河川溶氧量低於 3.0 mg/L 時，對大多數魚類生存不利導致死亡。郝(2000)指出富滿氧氣的水體其電位為正，缺氧的水體則為負，使水中的有機或無機離子或分子變成還原劑而有氧結合的狀態。呂(2001)說氧化還原電位和微生物

物生長有重要關聯，數值在+40 mV 以上，適合好氧菌；在+40~-100 mV 間，適合兼氣性菌；在-100 mV 以下則適合厭氧菌。廢污水排放會對水溫造成影響，水溫對微生物種類、活性及氧化速率的生物處理皆會造成影響，在好氧的情況下，水中溶氧會隨著溫度的變化而受影響(Metcalf and Eddy, 1991)；當水溫每增加 10℃，生物處理法反應速率增加 2~3 倍，但溫度超過 40℃，反應速率反而降低(Antonie *et al.*, 1974)。

根據上述文獻顯示，國內外尚未有水萍、人厭槐葉萍、青萍、大萍、圓心萍等浮水植物整合綠能水中輸氣系統來處理水質的相關研究機制，對於環境保育提供另一種水質處理方法供專業人員參考。

二、材料與方法

2.1 實驗區域

模場位置位於彰化縣埤頭鄉文化路 369 號，明道大學裡的明道果園旁，近蠡澤湖的緩坡草地上 E23°870'833"，N120°495'013" (圖 1)，研究水樣為明道大學蠡澤湖支流，即學生餐廳、宿舍區生活廢水排放處，從現場狀況可看出排水口已產生變質，並且發出臭味，且亦有管尾蟲等汙水指標生物的發現，從量測數據來檢視，溶氧量平均

值約在 2~3 mg/L，遠低於一般質生物可生長的 5 mg/L，且在水源區觀察到鼠尾蛆，由此可知水質的汙染相當嚴重。

2.2 氣候資料

氣象站位於蠡澤湖支流旁，所以濕度偏高平均在 85~95%，濕度最高月份為 5 月梅雨季達 96%；日雨量最高為 5 月平均 552 mm，最低為 10 月約 0 mm 幾乎沒下雨；光亮值最高位於 7 月 337 umol，最低值於 3 月為 185 umol；日輻射最高位於 7 月 188.89W/M²，最低於 12 月 82.46 W/M²；氣溫最高月份位於 7 月平均溫度達 30℃，最低於 2 月平均溫度為 15℃；濕度、日雨量最高值均在梅雨季節的五月，氣溫、光亮值、日輻射最高值均在夏季的七月(圖 2)。



圖 1 實驗區域-明道大學果園旁

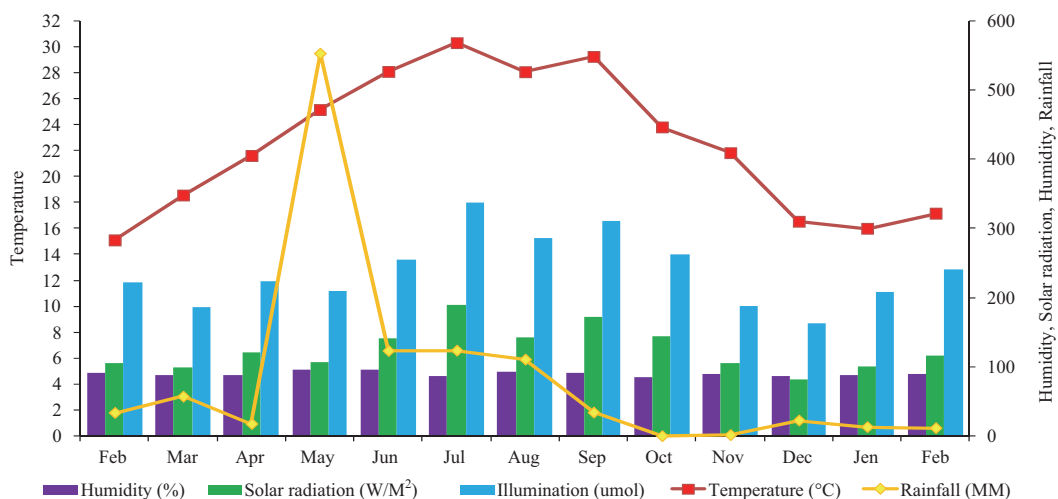


圖 2 氣候統計圖

2.3 實驗各項材料

2.3.1 實驗模組

本次實驗選用容積 60L，長、寬、高為 62 cm × 42 cm × 35.5 cm，PE 材質耐酸、耐熱不透光橘色塑膠水桶，屬於小型實驗水箱共六組，其中一組為對照組，不放置任何水生植物、礫石與微氣泡處理，其餘五組則分別加入水萍(*Spirodela polyrhiza*)、人厭槐葉萍(*Salvinia molesta*)、青萍(*Lemnaea quadrivalvis*)、大萍(*Pistia stratiotes*)、圓心萍(*Hydrocharis dubia*)，並由太陽能供電系統提供 TEION 超靜音打氣幫浦，出氣量為每分鐘 3300 cc，再由調風器五孔分氣閥，主出氣管透過 5 口分支塑膠管將氣泡平均分配給五組實驗箱，用以增加水中溶氧量提供細菌、微生物氧氣。

2.3.2 實驗儀器

數據測量使用 YSI Pro Plus 型多參數水質測量儀，監測項目水溫(Water Temperature)、溶氧(Dissolved Oxygen)、電導度(Electrical Conductivity)、酸鹼值(pH)、氧化還原電位(Oxidation-Reduction Potential)，各項檢測可監測範圍分別：溶氧範圍 0 至 500%，溫度範圍-10 至+100℃，導電度範圍 0 至 200 $\mu\text{S}/\text{cm} \pm 0.3\%$ ，氧化還原電位範圍-1999 至+1999 mv，氣壓計範圍 375 至 825 mmHg，酸鹼度範圍：-2.60 至 16.60；並依據 VS7LOGGER 微型氣象站測試戶外物理環境，每十分鐘紀錄一次，其測量項目有日雨量、溫度、濕度、輻射、光亮值。以上水質檢測與環境氣候共 10 項檢測項目。

2.3.3 實驗植物

本次實驗選用共選用五種浮水性水生植物，分別是水萍、人厭槐葉萍、青萍、大萍、圓心萍，水萍為台灣產浮萍科植物最大型的種類，繁殖力旺盛，可當為魚類及家禽飼料，還可阻止藻類成長及增加水質效益用途(行政院農業委員會，2015)；人厭槐葉萍外來種，在鋪滿水面後仍不斷增加，阻礙陽光照射和空氣交換，使水棲動物因缺氧而死亡(廖，2011)；青萍覆蓋在水面之浮水葉可以減少藻類生長，其根系具淨化水質功能(行政院農業委員會，2015)；邱(1991)指出大萍繁殖能力高，生長於不流動的溝渠、河流、池塘、稻田、湖沼濕地，成熟的植株會長許多走莖，每一走莖又會萌發一株幼苗，所以在使用上須清理多餘的植株；圓心萍，生殖方式以走莖方式繁殖，冬季以小型多芽沉水渡冬，多生長於池塘，可作為水池與溼地綠化，常用於觀賞水草用(行政院農業委員會，2015)。由於本次研究時間長達一年，在冬季期間會發生植物的休眠機制，能藉此探討何種水生植物在冬季也能發揮良好的淨水效果。

2.4 實驗方法

2.4.1 水質檢測方法

為模擬一般正常水體狀況，將六組水箱埋入土中，使其與地面平行，並注入學生餐廳與宿舍區之生活雜排水(50 m)，各水體皆為靜止水體無出入流，實驗水箱共計六組，由圖 3 所示由左到右，第一組為水樣 A 對照組，不放置任何水生植物、礫石與微氣泡，其他五組分別是，水樣 B 水

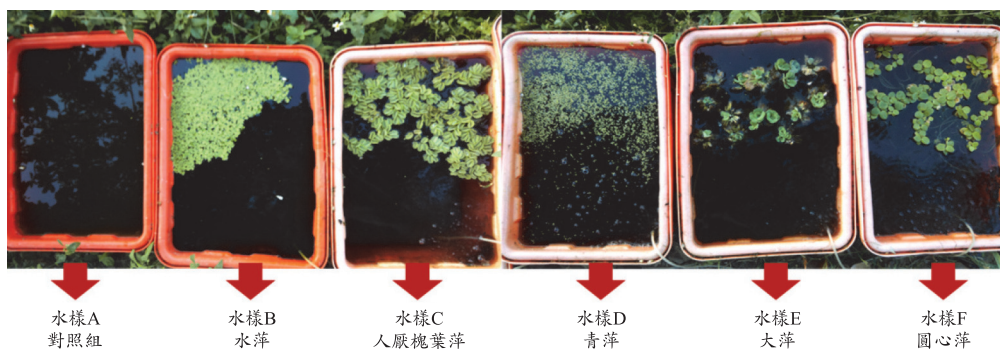


圖 3 模場放置現況圖

萍、水樣 C 人厭槐葉萍、水樣 D 青萍、水樣 E 大萍、水樣 F 圓心萍，放置數量約覆蓋水體 2/3；實驗日期從 2014 年 2 月 23 日至 2015 年 3 月 4 日止，每周三早上 10 點至中午 12 點計測，為期一年共計 46 次，水質監測方式將 YSI Pro Plus 多參數水質監測儀感測頭至正中間區位之水面下 10 cm 直接讀取紀錄數值，為避免誤差每次直讀重複三次，計測項目為水溫、溶氧、電導度、酸鹼值、氧化還原電位。

2.4.2 微生物調查方法

微生物調查依據行政院環境保護署編號 E504.42C「湖河池泊水庫藻類採樣方法」改良，每一模組各取 3 層水樣(上、中、下)，每一層水樣用水瓢取樣 1000 ml 後，再用塑膠杯取其中 100 ml 水樣放入 600 ml 塑膠瓶內，依上述步驟再取另二層水樣置入上述 600 ml 塑膠瓶中，將上述 300 ml 之水樣混合均勻後取 100 ml 放入玻璃式管瓶中，玻璃式管瓶靜至 10~15 分，使用滴管滴 1(約 0.05 cc)滴在玻片中央，用蓋玻片蓋住觀察，微生物計測時間為 2015 年 1 月至 3 月每月一次共計測三次。

三、結果與討論

3.1 水質數據

3.1.1 水溫

研究歷經四季變化，2 月初氣溫約 15°C，影響著各組水溫導致約 19~20°C，因其他水體的植物生長遮擋陽光，5、6 月差異並不大界於 26-28°C，而 7 月最高溫來看，水溫較低的 B、C、F 水樣其水萍、人厭槐葉萍、圓心萍卻生長較快速，因為其植物體生長快速減少太陽直射，導致水溫降低，到 10 月後期青萍、圓心萍、大萍有休眠機制，植物生長緩慢並且死亡，導致陽光可直射水體水溫較高，在低溫下人厭槐葉萍表現最為良好，生長快速亦不受氣候影響，在水面遮擋陽光導致水溫較低(圖 4-(a)所示)。

3.1.2 溶氧量

一般河川溶氧量水中溶氧量至少須高達 5.0 mg/L 以上，而 3 月初時水樣 A 最高為 9.3 mg/L，而其他 5 個有水生植物的水樣則維持在 6~7

mg/L，4 月時水樣 A 則又降至 4 mg/L，而各水樣在 5 至 8 月時一直穩定成長，由於各植物體穩定生長提供溶氧量，維持在 6.9~7.9 mg/L 之間，水樣 F 於 11 月溶氧上升最高，水樣 D 與 E 於 12 月溶氧最高；水樣 B 則是在 2015 年 1 月達到 10 mg/L，其因為各植物受氣候影響有休眠機制，在溶氧方面水樣 C 的人厭槐葉萍表現最為良好，溶氧量 5~9 mg/L 較維持恆定，對照組因為沒有植物可吸收水中營養鹽、藻類，數值浮動較大，可以發現各水樣於 9 月份的 DO 逐漸升高，且秋冬溫度較低的影響約 18°C，光合作用效率較低，導致吸收、分解能力差，而未設置綠能增氧設備的水樣 A 最後提升 141%為 9.9 mg/L；水樣 B 提升最終提升 181%為 10.29 mg/L；水樣 C 提升 134%為 9.13 mg/L；水樣 D 提升 192%為 11.05 mg/L；水樣 E 提升了 271%為 14.87 mg/L；水樣 F 提升了 291%為 14.5 mg/L，其中水樣 A 變化最劇烈平均為 7.12 ± 3.25 mg/L，其變化程度比 B-F 水樣高 1.7-0.38 mg/L，由以上可知水生植物與微氣泡有助於穩定水中溶氧量，減少溶氧量的高低劇烈變化(圖 4-(b)所示)。

3.1.3 酸鹼值

實驗的一個月後水樣穩定藻類增加，在 3 月 19 與 26 日水樣 A 隨著溶氧量的升高其 pH 值高達 10 呈現鹼性，因為於白天時藻類行光合作用，消耗二氧化碳並釋出氧氣，導致 DO 及 pH 值同步提升，而其他水樣在一開始各水樣約 5 mg/L，在氣溫變熱約 26°C，導致植物生長快速與溶氧量的升高影響下，其 pH 值高達至 7-8 符合行政院環境保護署的檢測標準 6.5-8.5 內，到十月份水樣 F 受氣候的影響，圓心萍生長狀況較差，導致藻類的滋生，在 10 月 29 日 pH 值高達 10.2，其他各組的 pH 值則維持在 7 左右，到研究最後一月水樣 B、C、E 之 pH 值均維持在 6~9 之間。由以上可知透過植物吸收水中營養鹽，讓水樣 B~F 可維持酸鹼度穩定(圖 4-(c)所示)。

3.1.4 電導度

依環保法規乙類陸域水面水體之電導度標準在 25°C 以下應為 250~750 μmho/cm，實驗後的

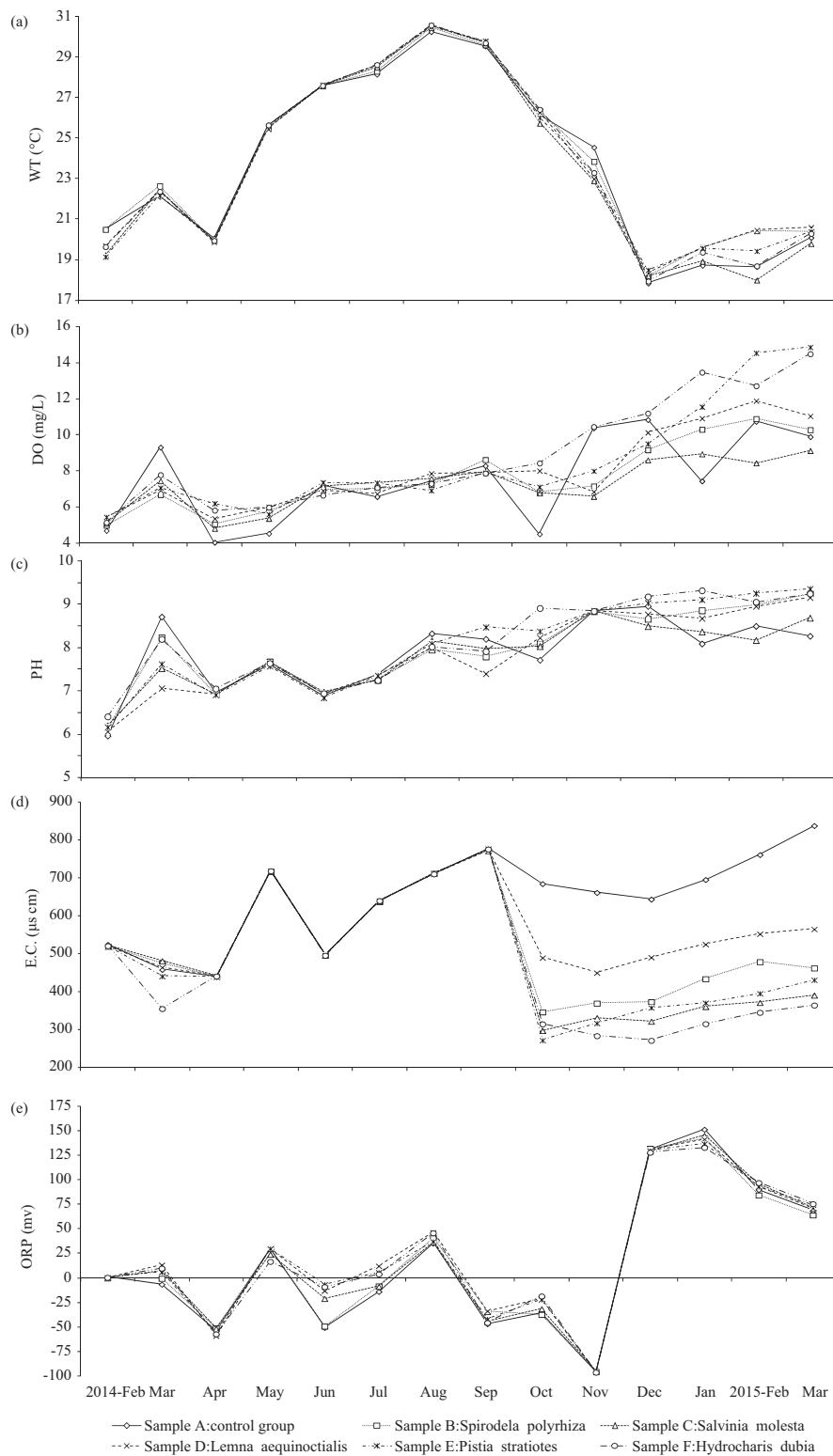


圖 4 各水體統計圖

第 2 個月，3 月份時其 EC 數值有些許浮動，以水樣 F 的圓心萍數值差異最多，減少了 166 $\mu\text{mho/cm}$ 約 46%，在 3 月 26 日數值有明顯浮動，水樣 F 下降最多到 50 $\mu\text{mho/cm}$ ，為氣溫影響植物生長所致；到 4 月份時各組數據差異並不大維持在 440 $\mu\text{mho/cm}$ 上下；5 月 5 日與 12 日水溫為 24~25°C，水樣電導度範圍均在 730~750 $\mu\text{S/cm}$ 內；而在 8 月時各水樣差異最大，水樣 A 最高 685 $\mu\text{mho/cm}$ ，水樣 E 最低 272 $\mu\text{mho/cm}$ ；10 月過後各水樣 EC 值有明顯差異，以 10 月水溫 23~24°C 來看，水樣 A 為最高 681 $\mu\text{S/cm}$ ，水樣 E 最低為 293.8 $\mu\text{S/cm}$ ，到了 2015 年 3 月，水樣 A 仍然最高達 838 $\mu\text{mho/cm}$ ，而水樣 F 最低 365 $\mu\text{mho/cm}$ ，有放置植物與增氧設備的其他水樣數值均在乙類法規之內，在整體研究的最後一月，除了水樣 A 的 EC 值最高達 838 $\mu\text{mho/cm}$ 為不適合排放的水樣，其它水樣均符合法規標準，由以上可知有放置水生植物與增氧設備的 B 至 F 水樣降低最多，因其會吸收與固著水裡的有機物質與雜質降低電導度，由此可知本研究之水生植物可降低水體電導度(圖 4-(d)所示)。

3.1.5 氧化還原

各組水樣一開始都在 0 mv~1 mv，Zachritz *et al.* (2008)說汙染物質轉換過程需要消耗大量的氧氣，因此四月份氣溫升高近 22°C，浮水植物增生而開始驟降，三個月後的五月份各組均有提高至 17 mv~30 mv，水樣 D 最高 30.7 mv；水樣 F 最低 17.1 mv，到了六月份各組水樣數值則降至負值，直到八月份各組水樣才回升至 35 mv~46 mv，水樣 C 最高 46.7 mv，水樣 A 最低 35.7 mv，到了 9 月份各組數值則又降至負值，在 2014 年 12 月份~2015 年 1、2、3 月份則維持於 70 mv~145 mv，由以上可知，水樣 A-F 的 ORP 其高低起伏相當劇烈，浮水植物與增氧機對 ORP 的穩定性並不明顯，圖 4-(e)所示。

3.2 水中微生物

本研究微生物計算方法使用直接顯微測數法(direct count):直接計數法是利用不同的計數器或載玻片(有界線或一般載玻片)在顯微鏡下直接


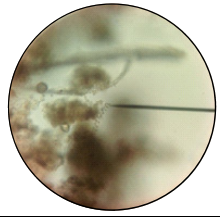


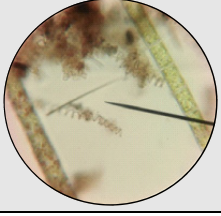
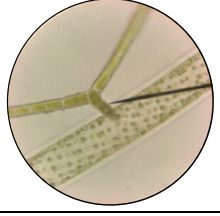
觀察，計算微生物細胞的總數量，本次實驗調查共有 37 種微生物，水樣 E 出現物種為最多共計 20 種；水樣 D 為最少共計 9 種，於 2015 年 1 月份觀察，水樣 A、B 出現 3 個物種；水樣 C、E、F 各出現 7 個物種，水樣 D 出現 1 個物種，水樣 E 出現未受汙染的指標生物 *Spirogyra sp.* 1 個，且水樣 B、C 與 E 都出現輕度汙染的指標生物 *Gomphonema angustatum products* 分別為 2、3 與 10 個；而水樣 C 與 E 也出現輕度汙染的指標生物 *Cocconeis placentula* 分別 9 與 24 個，水樣 F 則出現嚴重汙染標物種 *Oscillatoria sp.* 1 個，2015 年 2 月份水樣 A 出現 2 個物種；水樣 B 出現 3 個物種；水樣 C 出現 8 個物種；水樣 D 出現 1 個物種；水樣 E 出現 8 個物種；水樣 F 出現 7 個物種，水樣 B、C 與 E 出現未受汙染的指標生物 *Spirogyra sp.* 分別 1、6 與 2 個，且水樣 C 與 E 都出現輕度汙染的指標生物 *Cocconeis placentula* 與 *Gomphonema angustatum products* 分別有 7 與 5 個，而水樣 B 也同時出現嚴重汙染標物種 *Chironomus plumosus*. 1 個，而在 2015 年 3 月份時水樣 A 出現 7 個物種；水樣 B 出現 5 個物種；水樣 C、D 出現 6 個物種；水樣 E、F 出現 4 個物種，各組物種均有增加，水樣 E 物種最多共 20 個物種；水樣 D 物種最少共 9 個物種，水樣 A、C 與 F 出現未受汙染的指標生物 *Spirogyra sp.* 分別 1、4 與 1 個，且水樣 A、C 與 F 都出現輕度汙染的指標生物 *Gomphonema angustatum products* 分別為 6、2 與 5 個；而水樣 C 也出現輕度汙染的指標生物 *Cocconeis placentula* 為 26 個，而水樣 A 也同時出現嚴重汙染標物種 *Scenedesmus quadricauda* 1 個，從以上結果來看水樣 A 以 *Spirogyra Sp.* 數量最多，水樣 B 以 *Spirogyra Sp.*、*Neosporangium Sp.* 為最多，水樣 C 以 *Cocconeis Sp.* 為最多，水樣 D 以 *Actinastrum Sp.* 為最多，水樣 E 以 *Cocconeis Sp.* 為最多，水樣 F 以 *Closterium Sp.* 為最多數，且 A、B、C 與 F 都有出現未受汙染的指標物種，但隨時間推移，也同時出現輕度與嚴重汙染指標物種，而水樣 C 到最後都未出現嚴重汙染指標物種為最佳淨水選擇(表 1、表 2)。

表 1 一至三月各水體物種數量統計

Water Sample	Sample A: Control group	Sample B: <i>Spirodela</i> <i>polyrhiza</i>	Sample C: <i>Salvinia</i> <i>molesta</i>	Sample D: <i>Lemna</i> <i>aequinoctiali</i>	Sample E: <i>Pistia</i> <i>stratiotes</i>	Sample F: <i>Hydrochari</i> <i>S dubia</i>
2015-Jan						
<i>Daphnia pulex</i>	-	1	-	-	-	-
<i>Loxodes sp.</i>	1	-	-	-	-	-
<i>Aeolosoma sp.</i>	1	-	1	-	1	-
<i>Stentor sp.</i>	-	-	1	-	-	-
<i>Anuraeopsis sp.</i>	-	-	-	-	-	1
<i>Amoeba sp.</i>	-	-	1	-	-	-
<i>Hydra sp.</i>	-	1	-	-	-	-
<i>Spirogyra sp.</i>	-	-	-	-	1	-
<i>Oscillatoria sp.</i>	-	-	-	-	-	1
<i>Oedogonium sp.</i>	-	-	-	-	-	1
<i>Gomphonema angustatum</i>	-	2	3	-	1	-
<i>Cocconeis placentula</i>	-	-	9	-	10	-
<i>Achnanthes sp.</i>	-	-	-	-	24	11
<i>Closterium sp.</i>	-	-	6	-	-	-
<i>Tribonema sp.</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Pediastrum sp.</i>	-	-	1	-	1	-
<i>Botryococcus sp.</i>	-	-	-	-	-	1
<i>Volvox sp.</i>	-	-	-	-	-	4
<i>Cosmarium sp.</i>	-	-	1	1	-	-
<i>Neosporogococcum sp.</i>	-	-	-	-	-	2
2015-Feb						
<i>Daphnia pulex</i>	1	-	-	-	-	-
<i>Chironomus plumosus</i>	-	1	-	-	-	-
<i>Paramecium sp.</i>	1	-	-	-	1	2
<i>Anisonema sp.</i>	-	-	-	1	-	-
<i>Anuraeopsis sp.</i>	-	-	-	-	1	-
<i>Spirogyra sp.</i>	-	1	6	-	2	5
<i>Oscillatoria sp.</i>	-	-	-	-	4	-
<i>Cladophora sp.</i>	-	-	-	-	1	-
<i>Gomphonema angustatum</i>	-	-	-	-	5	2
<i>Cocconeis placentula</i>	-	-	7	-	-	-
<i>Arthrospira sp.</i>	-	-	1	-	-	-
<i>Achnanthes sp.</i>	-	-	1	-	4	-
<i>Closterium sp.</i>	-	-	3	-	-	1
<i>Ankistrodesmus sp.</i>	-	-	-	-	-	1
<i>Botryococcus sp.</i>	-	-	-	-	1	-
<i>Volvox sp.</i>	-	-	1	-	-	-
<i>Cosmarium sp.</i>	-	-	2	-	-	2
<i>Neosporogococcum sp.</i>	-	1	2	-	-	2
<i>Chlorococcum sp.</i>	-	1	-	-	-	-
2015-Mar						
<i>Paramecium sp.</i>	-	-	-	1	-	-
<i>Vorticella sp.</i>	1	-	-	-	-	-
<i>Anuraeopsis sp.</i>	-	-	1	-	-	-
<i>Spirogyra sp.</i>	1	4	-	-	-	1
<i>Gomphonema angustatum</i>	6	-	2	-	-	5
<i>Cocconeis placentula</i>	-	-	26	-	-	-
<i>Arthrospira sp.</i>	-	2	2	-	-	-
<i>Achnanthes sp.</i>	-	-	2	-	1	1
<i>Closterium sp.</i>	-	-	2	-	-	-
<i>Ankistrodesmus sp.</i>	-	-	-	-	1	-
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	1	-	-	-	-	-
<i>Scenedesmus sp.</i>	1	-	-	1	-	-
<i>Actinastrum sp.</i>	-	-	-	26	-	-
<i>Coelastrum sp.</i>	1	-	-	1	-	-
<i>Pediastrum simplex echinulatum</i>	-	-	-	-	1	-
<i>Botryococcus sp.</i>	-	-	-	-	-	1
<i>Volvox sp.</i>	1	1	-	-	-	-
<i>Cosmarium sp.</i>	-	-	-	1	-	-
<i>Tetraspora sp.</i>	-	1	-	-	-	-
<i>Neosporogococcum sp.</i>	-	5	-	2	-	-

Indicates that no records

表 2 各水體發現藻類物種(× 600 倍)

組別	水樣 A：對照組		組別	水樣 B：水萍	
物種	<i>Spirogyra Sp.</i> <i>Cladophora Sp.</i> <i>Cocconeis Sp.</i>		物種	<i>Arthrospira Sp.</i> <i>Volvox Sp.</i>	
組別	水樣 C：人厭槐葉萍		組別	水樣 D：青萍	
物種	<i>Arthrospira Sp.</i> <i>Cocconeis Sp.</i> <i>Spirogyra Sp.</i>		物種	<i>Actinastrum Sp.</i> <i>Scenedesmus Sp.</i>	
組別	水樣 E：大萍		組別	水樣 F：圓心萍	

四、結論與建議

整體來說水樣透過綠能設備增加溶氧量，並影響水樣的微生物種類，水樣 D 的 DO 表現最穩與平均，均高於排放標準 3.0 mg/L，pH 值方面，各水樣差異並不大，只有水樣 A 初始數值為 6 偏酸，之後均在標準之內；EC 去除率最佳為水樣 F 降低 156 $\mu\text{mho/cm}$ ，在夏季隨著溫度升高約 26°C，浮水植物快速生長，2014 年 9 月時水樣 A-F 開始有明顯差異，水樣 A 維持近 800 $\mu\text{mho/cm}$ ，其他水樣則維持在 200-550 $\mu\text{mho/cm}$ 且變化趨於穩定；在 ORP 方面 A~F 水樣差異不大最後值落在 68.9~75.8 mv 之間，且同對照組變化較無明顯影響。從上述數據可知道水樣 B~F 的水萍、人厭槐葉萍、青萍、大萍、圓心萍能形成簡單的淨水系統，水體 E、F 的大萍與圓心萍因為後期生長狀況較差，優氧化現象較為嚴重；水體 C 人厭槐葉萍生長適應力最為良好。

在微生物方面，A、B、C 與 F 皆有出現未受汙染的指標物種 *Spirogyra sp.*，到後期也同時

出現輕度與嚴重汙染指標物種 *Gomphonema angustatum products* 與 *Scenedesmus quadricauda*，而水樣 C 到最後測驗時都未出現嚴重汙染指標物種，因此推測人厭槐葉萍為最佳淨水指標選擇，整體環境改善較佳，為適合臺灣水生植物淨化的選擇方案，在整體水生植物比較方面，1/3 的水面約一個星期就能整體覆蓋，未來如果想運用於河川或池塘上需多付人力上的管理，以本土種之青萍、水萍較無上敘問題，但整體淨化效果有限也易於受氣候與環境影響，因此以人厭槐葉萍為最佳選擇。

水質的處理效果仍有許多重要的評估項目，由於本研究資源受限，期望未來從事相關研究者可參考以上相關數據，並增加 TN、TP、NH₃-N、BOD、SS 等水質檢測項目，來完善整體綠能設備對水質研究的效益。

參考文獻

1. Antonie, R. L., Kluge, D. L., Mielke, J. H., Evaluation of a rotating disk wastewater treatment

- plant, Water Pollution Control Federation. 46 (12), 2792-2795, 1974, 1974.
2. Brix, H., "Treatment of wastewater in the rhizosphere of wetlands plants—the root-zone method", *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 19, pp. 107-118, 1987.
 3. Calheiros, C.S.C., Rangel, A.O.S.S., Castro, P.M.L., Constructed wetland systems vegetated with different plants applied to the treatment of tannery wastewater. *Water research*, Vol. 41, pp. 1790-1798, 2007.
 4. Chang, Y. H., Ku, C. R., Lu, H. L., Effects of aquatic ecological indicators of sustainable green energy landscape facilities, *Ecological Engineering*. Vol. 71, pp. 144-153, 2014.
 5. Davis, K., Anderson, M.A., Yates, M.V., Distribution of indicator bacteria in Canyon Lake California, *Water Research*. Vol. 39, pp. 1277-1288, 2005.
 6. Garcia, M., Soto, F., Juan, M. A comparison of bacterial removal efficiencies in constructed wetlands and algae-based systems. *Ecological Engineering*, Vol. 32, pp. 238-243, 2008.
 7. Gustavo, G., Henry-Silva, F.M., Camargo, M., Growth of free-floating aquatic macrophytes in different concentrations of nutrients, *Hydrobiologia*. Vol. 610, pp. 153-160, 2008.
 8. Healy, M.G., Rodgers, M., Mulqueen, J., Treatment of dairy wastewater using constructed wetlands. *Bioresource Technology*, Vol. 36, pp. 1656-1663, 2006.
 9. Karim, M. R., Glenn, E. P., Gerba, C. P., Pathogen removal in wetlands. *International Water Association*. Vol 21, pp. 71-85, 2008.
 10. Lewitus, A. J., Brock, L. M., Burke, M. K., Lagoonal stormwater detention ponds as promoters of harmful algal blooms and eutrophication along the South Carolina coast, *Harmful Algae*. Vol. 8, pp. 60-65, 2008.
 11. Lin, Y. F., Jing S. R., Lee, D. Y., The potential use of constructed wetlands in a recirculating aquaculture system for shrimp culture. *Environmental Pollution*. Vol. 123, pp. 107-113, 2003.
 12. Metcalf & Eddy, "Chapter 13 Natural Treatment Systems", In *Wastewater Engineering. Treatment, Disposal, Reuse*. McGraw-Hill, New York, pp. 927-952, 1991.
 13. Okia, O. T., 1993. Characterization of wastewater purification by *Cyperus papyrus* floating in segmented channel. M.Sc. Thesis EE 107 IHE, Delft.
 14. Park, N., Kim, J.H., Cho, J., Organic matter, anion, and metal wastewater treatment in Dam yang surface-flow constructed wetlands in Korea, *Ecological Engineering*. Vol. 32, pp. 68-71, 2008.
 15. Sun, G., Austin, D., Completely autotrophic nitrogen-removal over nitrite in lab-scale constructed wetlands: Evidence from an mass balance study, *Chemosphere*. Vol 68, pp. 1120-1128, 2007.
 16. Zachritz II, W. H., Hanson, A. T., Saucedo, J. A., Fitzsimmons, K. M., Evaluation of submerged surface flow (SSF) constructed wetlands for recirculating tilapia production systems. *Aquac. Eng*, Vol. 39: pp.16-23, 2008.
 17. 田志仁、李文瑋、郭盈君、黃顯宗、汪碧涵，淡水藻類的觀察方法與應用－認識生活環境生物的小實驗，科學教育月刊，第 259 期，2001。
 18. 廖天賜，農村社區常用植栽應用手冊，行政院農業委員會水土保持局，2011。
 19. 行政院農業委員會，水生植物圖鑑，<http://kmweb.coa.gov.tw/subject/lp.asp?CtNode=2538&CtUnit=1081&BaseDSD=7&mp=163&nowPage=5&pagesize=20>，2015。
 20. 行政院環境保護署，全國環境水質監測資訊網，<http://wq.epa.gov.tw/Code/Business/Vocabulary.aspx>，2014。
 21. 呂志宏，「有機廢水之硝化與脫硝處理研究」，大同大學生物工程所碩士論文，2001。

22. 李秋華，「利用水生植物淨化畜牧廢水之研究」，崑山科技大學環境工程學系碩士論文，2010。
23. 邱永年，「大萍」，原色臺灣藥用植物圖鑑，第3卷，第250頁，1991。
24. 柯登耀，「自然淨水系統藻類生長控制水質提昇研析」，國立高雄大學碩士論文，2010。
25. 郝道猛，「生態學概論」，財團法人徐氏文教基金會，台北，2000。
26. 張源修、林柏余、古宸瑞、王振宇、巫芷怡、林詩芳，「太陽能供電系統設備結合布袋蓮對水質淨化效益評估」，農業工程學報第59卷第3期，pp. 22-31，2013a。
27. 張源修、林柏余、古宸瑞、吳諭亭、陳宥潔、傅于洳、鍾佩，「臺灣六種水生植物於冬季之水質淨化效果比較之研究」，農業工程學報第59卷第4期，pp. 33-41，2013b。
28. 張源修、陳芸萱、吳秉諭，「應用綠能景觀系統設施與廢棄材料於淨化生活雜排水之效益研究」，明道學術論壇第8卷第3期，pp. 55-69，2014。
29. 陳有祺，濕地生態工程，蒼海書局，2005。
30. 陳江河，人工溼地與校園生態池營造，台北環境教育輔導團電子報，http://awk.caes.tpc.edu.tw/special/envi_epaper/9703/3.htm，2015。
31. 廖玉琬、徐善德、林美華、謝永祥、吳弘達、鐘仁彬，植物生理學植物生理學，啟英文化，台北縣，1999。

收稿日期：民國 104 年 9 月 17 日

修正日期：民國 104 年 10 月 13 日

接受日期：民國 104 年 10 月 22 日