

太陽能供電系統設備結合布袋蓮 對水質淨化效益評估

Performance Evaluation of Water Purification of Solar Power System Equipment Combined *Eichhornia crassipes*

明道大學景觀設計學系
助理教授

張源修*

Yuan-Hsiou Chang

國立台灣大學土木研究所
碩士

林柏余

Po-Yu Lin

明道大學設計學院
碩士生

古宸瑞

Chen-Ruei Ku

國立東勢高級工業職業學校
建築科
高二生

王振宇

Zhen-Yu Wang

國立東勢高級工業職業學校
建築科
高二生

巫芷怡

Zhi-Yi Wu

國立東勢高級工業職業學校
建築科
高二生

林詩芳

Shi-Fang Lin

摘 要

景觀生態工程與綠能設備成為近年來重要的議題，本研究使用太陽能供電，搭配臭氧機、加溫棒、夜間 LED 照明、微氣泡處理等裝置，比較人為改變水體條件下，布袋蓮(*Eichhornia crassipes*)生長的效果，進而達到水質淨化的成效。臭氧有殺菌效果，可增加布袋蓮存活率；水溫增高，於冬季提高生物生長速率；夜間 LED 照明增加光合作用時間，加速布袋蓮生長；增加水中溶氧，使藻類及布袋蓮生長，利用這些特點觀察水質淨化處理效果。從實驗結果顯示，淨化水質效果最佳是加熱增加水溫；實驗前期打入微氣泡效果很好，但到後期變差；臭氧殺菌到後期才發揮作用；夜間增加光照，效果則介在中間。整體而言，人為改變植物生長環境都能夠增加水生植物淨化水質的功效。

關鍵詞：水質淨化，景觀生態工程，太陽能，布袋蓮。

*通訊作者，明道大學景觀設計學系助理教授，52345 彰化縣埤頭鄉文化路 369 號，f89622050@ntu.edu.tw

ABSTRACT

Recent years, landscape ecological engineering and green energy equipment become an important issue. In this study, using of solar power with the ozone machine, heating rods, LED lighting, micro-bubbles processing device, more man-made changes to conditions of the water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) the effect of growth, thus achieving the effectiveness of water purification. Bactericidal effect of ozone increase the water hyacinth survival; water temperature increased to improve the biological growth rate in the winter; LED lighting increase photosynthesis time, accelerated growth of water hyacinth increase the dissolved oxygen, so that the growth of algae and water hyacinth, take advantage of these features to observe water quality purification effect. The experimental results show that the water purification effect is heated to increase the water temperature; preliminary experiments into the micro-bubbles with good results, but to late deterioration; ozone sterilization to late to play a role; increasing light at night, the effect is mediated in the middle. Overall, anthropogenic changes in plant growth environment can increase the effectiveness of aquatic plants purify water.

Keywords: Water purification, Landscape ecological engineering, Solar, *Eichhornia crassipes*.

一、前言

過去許多研究尋找最佳的水生植物來淨化水質並且提升景觀效益，但水質淨化效果仍受自然環境所限。隨著綠能科技的進步，本研究利用綠能設備所轉換之電力，運用臭氧、加溫棒、夜間 LED 照明、微細氣泡等設備配合布袋蓮植生，藉由增加布袋蓮的生長速率，達到將水中的各種營養鹽去除，並增加水中氧氣的含量提供水中生物使用。本研究結果將可比較出哪種方式對布袋蓮吸收水中營養鹽之效果，讓廢水能更有效率的淨化，期待能改善水域生態、景觀與環保之多元化效益。

二、文獻回顧

人工濕地是近年來非常重要的話題，人類因為滿足生活上的需求產生大量汙染，因此發展出各種人為處理的工程方法，但卻無法兼顧到我們生活環境與景觀生態，人工濕地因此產生，除了可防洪、灌溉、蓄水、廢汙水處理外，更兼顧景

觀與生態等功用。為了讓人工濕地能夠發揮更大的效益，許多研究人員投入研究人工濕地，希望能讓人工濕地處理汙水的能力更高，生態更完整。李駿智(1995)研究人工濕地在高強度廢水負荷下，汙染物的去除，主要以物理作用之吸附與過濾作用，其次為微生物代謝作用與植物的功能。荊樹人等(1997)針對人工濕地種植不同類型的水生植物(挺水與浮水植物)，比較其對於去除汙水中的磷酸鹽，效果明顯穩定，其中香蒲三四天的效果就達到 100%。盧師敏(2007)指出人工濕地比汙水處理廠去除的汙染物還要多，在費用上也比較低廉，而且還可以增加生物多樣性。蔡振耀(2007)在朴子溪高灘地種植水生植物，發現水生植物對汙染河川水質確有明顯淨化效果。陳佩儒(2011)比較同類型人工濕地去除汙染物的情況，發現生化需氧量(BOD)、懸浮性固體(SS)去除成效不錯。布袋蓮是繁殖力旺盛的多年性水生植物，蔓延面積廣大，所以常常淤塞河道，這種情形對水資源管理而言，是個嚴重的問題之一。Yonghong, *et al.* (2004)指出布袋蓮為漂浮植物，

常見於優養化水域。Zawahry & Kamel (2004)提出布袋蓮從美洲熱帶地區傳播，曾有記錄在埃及 19 世紀末十年間，在尼羅河三角洲一度氾濫，是最麻煩和豐富的植種，夏季可供作間動物飼料。Araujo and Senner (1979)提出布袋蓮有去除水中營養物質和重金屬的作用。US EPA (2000)提及布袋蓮可以增加水中溶氧量、抑制水體異味、降低 BOD、增強在開放水域中的硝化作用。Dou, *et al.* (1995)常應用於改善水質，因其可以快速增長，並佔用了大量的水的營養物質，如磷、氮。Dai, *et al.* (1991)布袋蓮自由浮動於水表面。以出芽方式繁殖迅速，在水面大量遮蔽光線進入水體中，使水中浮游植物無法與其競爭，在生態管理層面，能使營養物質能夠集中在布袋蓮之中，且更容易採收作為魚、豬飼料用途。Huilong and Xiangjuan (2006)指出布袋蓮可被用作一種高效，經濟，環保的處理方式，加快農產品加工業廢水及二硫磷污染的去處和降解。張文亮(1979)研究布袋蓮的生態，發現在臺灣袋蓮水域覆蓋面積約 1000 公頃以上，分布極廣，且具降低水中營養鹽之效益。Reddy and Sutton (1984)提出布袋蓮生長最適溫度為 25~30°C，當溫度降至 10°C，面臨生長停滯；若低溫情況持續下去，則會死亡。楊友信(1980)研究布袋蓮對重金屬的吸收效果，發現具有強大的吸收能力，尤其對廢水中氮磷、生化需氧量、重金屬、懸浮固體物、氯化物、大腸菌等皆有去除效果。在重金屬的去處效果上面，可以達到 96%以上，效果顯著。陳銘耀(2007)探討 S 型渠道人工濕地種植布袋蓮及大萍(*Pistia stratiotes*)等水生植物，對汙水中溶氧度、導電度、酸鹼值等處理效果，最後顯示布袋蓮在導電度以冬季去除率 27%最佳，COD 在春季和夏季去除率 90.9%最高。

Kivaisi (2001)研究水生植物藉由攝取吸收水中營養鹽而達到水質淨化的效果，即便同一種水生植物，其對污染物之去除效果也會受到光照、水溫、溶氧、pH、營養鹽和風浪等條件的影響。意即在不同的設備輔助下，相同的布袋蓮也有不同的淨化效果。黃國傳(2002)臭氧是一種強力的氧化劑，在大氣壓下沸點至 112°C 不完全溶於

水，有特殊刺激味，而水源以及工業廢水中的許多汙染物是屬於可氧化的，可以用於殺菌；在濃度大於 2 mg/L 以上即有殺菌作用，增加濃度也可增加效果；破壞濾過性病毒的傳染性：以小兒麻痺病毒(*Poliovirus*) 1、2、3 型為例，連續臭氧化四分鐘後，其破壞病毒傳染性的能力超過 99.7%，臭氧殘量 0.4 mg/L 法國將其應用於病毒處理的標準；去除水色：紡織業或染色加工的工業區地區，其染料通常是聚環性，凝集性破高的有機物質，易被臭氧化而褪色；氣味去除：有氣味的化合物通常可以用臭氧予以氧化，但是飽和的有機化合物用臭氧就緩慢許多；藻類控制：臭氧可將藻類主要的有機成分氧化，破壞許多藻類的新陳代謝作用，達到抑制的目的。

溫度控制用於秋冬季節具有重要的意義，鄭先祐(1992)以水體生態環境而言，不同物種有最適當的生長溫度，環境變化會造成水生族群結構的改變，周圍溫度 3°C 的改變是一般物種的最大容忍度，升溫促進呼吸與分解速率，加速生長速度。Polar and Küçükcezzar (1986)將浮萍分成光照 18 個小時和 24 個小時兩組進行研究，為期 8 天的實驗後。發現 24 個小時光照組的浮萍，乾重比 18 個小時光照組的浮萍，多出了 44%。顯示全光照對漂浮植物在短期內有促進生長的功效性。微細氣泡設備主要用於增加水中溶氧量，郝道猛(2000)提出水中溶氧量隨溫度、鹽度、壓力而有變化，當鹽度增加時，水中溶氧量會降低，水中氧氣的主要來源由大氣交換、植物光合作用，而擴散作用與呼吸作用和有機物的分解則會消耗氧氣，水體溶氧量是供應與消耗的平衡結果，在溶氧過飽和的情況下據目前記錄，海水過飽和的程度可達 180%，內陸湖(inland lake)可達 300%。栗田工業(2009)在水中呼吸的魚類等水中生物需要一定的溶氧量。雖然不同於類界限值不同，但平均而言夏季最少要 3.1~4.2 mg/L，冬季最少要 1.4~3.1 mg/L 的 DO 值；若 DO 值下降，需要氧氣的好氧性微生物活性會降低，導致水域的淨化作用停滯不前；DO 值可以表示有機污染的程度，或作為藻類等植物進行光合作的合成強度指標。徐貴新(2003)欲維持魚類良好棲息環

表 1 污水背景資料

項目	Tmp (°C)	DO (mg/l)	E.C. (mv)	pH	ORP (mV)	TN (mg/l)	TP (mg/l)	NH ₃ -N (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	COD (mg/l)	SS (mg/l)
範圍	17.1~19.3	1.86~9.01	396~468	6.81~8.16	49.7~125.2	0~2.6	0.26~1.92	0~1.61	0.3~5.7	28~200	7~45

註：計測時間：2011 年 12 月~2012 年 2 月

資料來源：本研究自行整理

境，水中溶氧量必須達 5.0 mg/L 以上，一般河水溶氧量低於 3.0 mg/L 時，對大多數之魚類不利甚至死亡，若低於 2.0 mg/L，一切魚類皆不能生存。本實驗主要實驗時間為 101 年初冬季時間，實驗時間由 100.12.29 到 101.2.25 止，共兩個月時間，根據氣象局的資料，實驗期間彰化地區平均氣溫約 16.5°C，最高溫約 25.9°C，最低溫約 10.8°C，有 5 波寒流。實驗期間彰化地區累積雨量共 86.5 mm。

劉雅婷(2011)提出水體溫度是水生植物生長速度快慢的重要因素與指標，各種生物都有適合生長的溫度，臺灣位處亞熱帶，但是因地形變化大，造成各地氣候有極大的差異，也使臺灣地區擁有各緯度會出現的植物群落與臺灣特有種。一般水生植物適合生長的水溫是在 20-25°C，這時候生物體內酵素反應旺盛，所以生長速度較高。行政院環境保護署(1998)第三條規定，DO 值為水中溶氧量，也是各國水體標準的重要指標，臺灣地區各種水體，一般都要達到 5.5 mg/L 對人類及生態才不會受到很大的影響。當水中 DO 值大於 5 mg/L，一般水生生物都可以正常生長；當 DO 值介於 3~5 mg/L，部分水生生物的會不易生長，甚至造成某些好氧生長死亡；當 DO 值小於 2 mg/L 時，會產生缺氧情況，多數水生生物無法生長。陳加忠(2012)指出電導度(E.C.)是水中離子多寡的指標，容易受到溫度的影響，因為溫度會影響水中離子的解離程度，除此之外，水生生物在生長的時候，會造成體內離子和水中進行交換，這時候電導度會提高。如果水中的離子濃度太高，會導致水生植物生長速度下降。行政院環境保護署(1998)第三條規定，酸鹼值(pH)是指水中氫離子濃度大小，氫離子濃度越高，酸性越強。純水為中性，pH 值為 7.0。對生物來講，無

論 pH 值過高或是過低，都是不利於生長的，對水中生物更是敏感，每種水生生物都有其適合生長的酸鹼值，大部分約在 6~9 之間，因此成為水體重要的指標，各國對水質標準當中，也都會測定 pH 值。劉雅婷(2011)提出以加熱器在冬季時增加水溫，可以幫助植物體內酵素作用，並且活化細胞，讓植物生長速度加快；利用微氣泡(曝氣)可以增加水中藻類與和布袋蓮共生藻類的生長，將水中的營養鹽去除，也同時可以擾動水體，加速氧氣流動(徐樹剛，1995)；而臭氧本身具有強大的氧化力，所以常常用來殺菌使用(陳佳郁，2005)，這次也嘗試使用在實驗上，希望能夠抑制水中微生物生長，增加布袋蓮生長的空間。植物最需要的成份為葉肥的氮(N)、花果肥的磷(P)、根肥的鉀(K) (蔣永正，2003)，在水中營養鹽當中，氮磷為主要成分，在環保署的監測項目裡面，主要監測項目為 pH 值、溶氧量、生化需氧量、懸浮固體、大腸桿菌群、氨氮、總磷等項目，就可知道這與水質息息相關，並且在臺灣地區的水質分類裡面，乙類水體需達到，pH 值 6.0-9.0 之中，DO 在 5.5 mg/L 以上，氨氮 0.3 mg/L 以下，總磷 0.05 mg/L 以下。可以發現 DO、pH 可以成為水質重要的指標，所以選擇水溫、溶氧量(DO)、酸鹼值(pH)與電導度(E.C.)成為我們觀測的主要項目。本研究引用現地地表水體，其水質相關資料項目整理於(表 1)。

太陽能供電是近年來新興的熱門議題，但是其轉換率不佳，且造價昂貴，所以尚未普及到能成為主要發電方式，也因此有許多研究人員針對太陽能進行研究。錢新仁(2009)研究以臺灣太陽能發電個案為案例，分析其發電之效益評估，太陽能發電是目前新興能源中，發展最成熟者。魏明皓(2010)研究臺灣光電企業跨足綠能產業中提

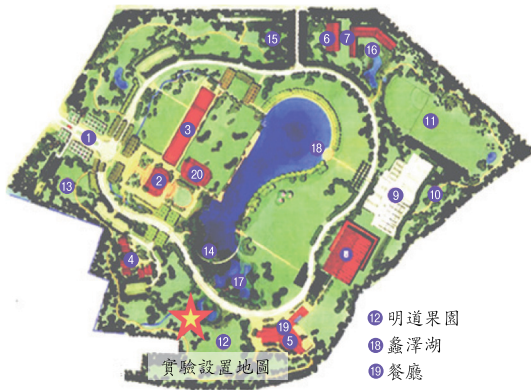


圖 1 實驗場地位置圖



圖 2 汙水與原水位置圖

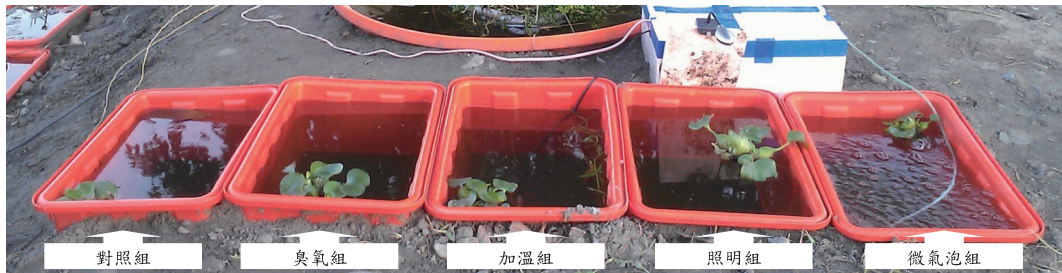


圖 3 實驗場地設置情況

到，近年來臺灣光電產業是經濟成長最佳動力來源之一，因能源浩竭隱憂，綠能產業為未來科技革命新主流，幾間光電領導大廠紛紛跨入綠能產業，尤其以太陽能發電系統為主。陳琬琳(2000)分析整個集熱器與儲水槽熱交換器的熱傳遞過程，由於迴路模式與熱管模式的理論分析，得知太陽能集熱器的熱耗損量主要與集熱板面的溫度有關，集熱板溫度越高耗損量越大。

三、材料與方法

3.1 研究區域

彰化為臺灣重要的農業縣，且多屬平原地區，冬季較溫暖，氣候宜人，夏季是雨量的重要來源，因此植物和農作物的生長狀況良好，成為臺灣重要的花卉及農產產地，因本實驗實驗場地選在明道大學內(圖 1)的水源附近進行試驗。實驗場地為明道果園旁近水源的緩坡草地。實驗取水處為明道大學蠡澤湖的支流，即學生餐廳、學生

宿舍區(約 1862 人)生活廢水排放處，水質汙染嚴重，從現場狀況就可以看出，除了底泥呈現深黑色以外，水體看起來混濁，排水口也產生變質(圖 2)，並且發出惡臭，檢測水質狀況可以發現溶氧量極低約 2~3 mg/L。

3.2 研究材料

本實驗所選用的水箱是中小型的水箱，尺寸長度為長 62 cm、寬 42 cm、高 35.5 cm；容積為 60 公升；不透明的橙色塑膠水箱，共有 5 個，其中 1 組為對照組，其餘 4 組則加入臭氧機、加溫棒、夜間 LED 照明、微氣泡處理等不同的設計項目，水質淨化設備說明如下：臭氧機，AZOO 型臭氧機；加溫棒，CT-E 型魚缸用恆溫加熱器；照明燈，Sainmao LED 夾燈-12 型；微氣泡機，TEION 打氣幫浦雙孔微調 7500 型(圖 3)。將五個箱子埋入土中，並使其達到水平。宜蘭縣政府(2003)提出種植濕地淨化水生植物需具備有生態



圖 4 太陽能板設備圖



圖 5 YSI 多參數水質監測儀

系統可接受性、對污染物有較強吸收力及忍耐力、易栽植、繁殖力強等要素，故選用繁殖力旺盛，不易受環境影響且淨化水質功效顯著的布袋蓮，成為本次我們主要使用的水生植物。本研究在各組水箱當中都放入直徑約 15 cm 大小的布袋蓮 1 株，當作淨化水質之植物。

電力來源主要是以太陽能板發電(圖 4)，長寬為 2x1 M，供給電源為 110 V，提供電流為 20A 大小。本次實驗所使用之觀測儀器為 YSI Pro Plus 多參數水質監測儀(圖 5)，這台儀器可以觀測的水質項目有水溫(T)、溶氧(DO)、電導度(EC)、酸鹼值(pH)、鹽類(ORP)等。

3.3 研究方法

本研究將 5 個水箱個別放入取樣之雜排水，其中 1 組為對照組不放任何設備，其餘 4 組則依序加入臭氧機、加溫棒、夜間 LED 照明、微氣泡處理等設備。臭氧機主要是希望能殺死水中微生物，讓布袋蓮能減少植物病蟲害，達到增加生長的目的，進而達到水質淨化的效果，我們設定每週三中午打入 15 分鐘的臭氧，輸入濃度約 9 毫克，避免過度使用造成布袋蓮死亡，卻能將微生物(藻類)去除。加溫棒讓植物在寒冷的季節能維持它的溫度需求，進而使布袋蓮可以增長，來達到淨化水質的功用，本次使用的加溫棒溫度為加熱至 28°C，全天候放置於水中進行加溫工作。照明燈主要是增加光照時間，讓植物可以持續進

行光合作用，增加養分的生成，而幫助布袋蓮增生，設定每天晚上七點鐘開啟，隔天上午五點關閉，每日增加約 10 小時光照。微氣泡機主要是增加水中的溶氧與產生水體流動，達到均勻混合，使布袋蓮可以加快呼吸作用，並且也使微生物可以增加，達到將水中藻類去除。每小時約輸入 180 公升的氣泡，不斷供應。主要實驗時間為 101 年初冬季時間，實驗時間由 2011 年 12 月 29 日到 2012 年 2 月 25 日止，共兩個月時間，期間共計測六次，分別為 2011 年 12 月 29 日、2012 年 1 月 6 日、2012 年 1 月 13 日、2012 年 1 月 30 日、2012 年 2 月 12 日與 2012 年 2 月 25 日，每次量測時間為中午 12 點至下午 2 點共 2 小時，一人負責儀器操作與實驗資料讀取，一人作資料紀錄，計測項目為水溫(T)、溶氧(DO)、電導度(EC)、酸鹼值(pH)等四項，測試其水質淨化效果。

四、結果與討論

4.1 水溫(°C)

整體水溫趨勢各組差異不大，但以恆溫加熱器明顯最高，因外部提供熱能進入水體內，故水溫大都比其他各組高約 3°C 左右，尤其第六次計測水溫可達到 22.2°C，第三次計測水溫可達到 21.1°C，高於對照組 4°C；光照組的水溫為第二高，因光照會提供部分熱輻射進入水體，因此水溫相對較高；微氣泡因為持續有擾動水體，能將水體溫度做均勻混合，故水體為第三高溫；臭氧

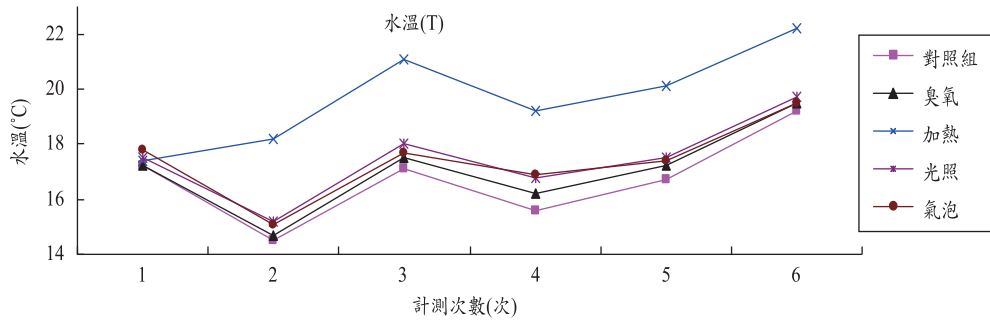


圖 6 水溫實驗變化圖

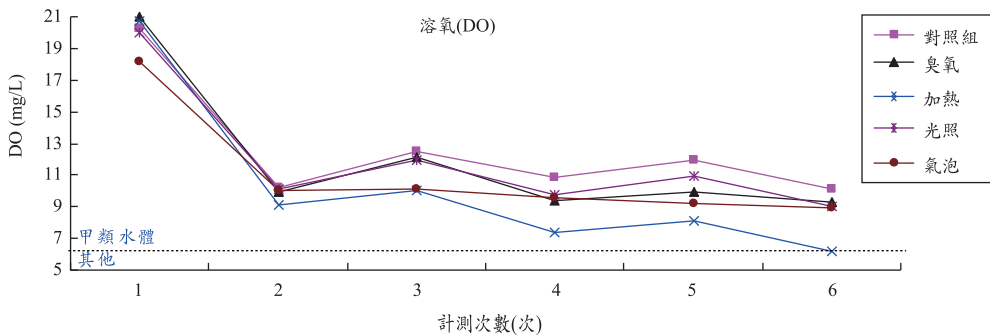


圖 7 DO 實驗變化圖

部分因為一週只有使用 15 分鐘，幾乎跟對照組差不多，但因有將水中藻類殺死的作用，有幫助布袋蓮生長，所以溫度還是略高於對照組(圖 6)。

4.2 溶氧量(DO)

從溶氧的變化當中可以看到，整體趨勢都是相同的，一開始的溶氧約在 18~21 mg/L，第二次計測則下降至 10 mg/L 左右，對照環保署的水體分類表(表 1)當中可以看到，所有的水體在 DO 項目都呈現溶氧過飽和現象，只有加熱部分第六次觀測時候 數值於 6.16 mg/L 達到此標準。在第一次觀測的時候，DO 的量偏高，主要原因是因為剛取水放入，原水和空氣擾動混合，因此溶氧都呈現過飽和狀態，不過經過一段時間之後，水體沉澱溶氧排出，並且有植物與生物的消耗之後，溶氧就回到比較正常的狀態。

個別差異上面，可以發現加熱使布袋蓮生長快速，因此對於水中的氧氣消耗迅速，且氧氣溫度越高溶解度越低，所以其溶氧是所有組別當中

最低的於第四次計測僅有 7.35 mg/L 僅有對照組的 68%；而微氣泡部分，因為持續有氣泡輸入水體，造成 DO 的量幾乎都是維持恆定；其他兩組加入臭氧和夜間光照，效果差不多，臭氧分解也會成為氧氣、光照行光合作用也會增加水中溶氧，不過生物有消耗氧氣，所以還是比對照組相較之下為低(圖 7)。

4.3 電導度(E.C.)

水中電導度從資料上面顯示，會跟溫度成正比，因此從結果圖(圖 8)看來的確和溫度有關，趨勢和水溫幾乎是吻合的，符合陳加忠(2012)所指出電導度(EC)是水中離子多寡的指標，容易受到溫度的影響。電導度和水中離子的數量有關，所以當溫度高的時候，比較容易解離，且水生植物生長時候，會產生大量的離子交換，所以電導度相對比較高。整體結果而言，所有組別的電導度都在正常範圍，尚未超過合理的範圍。

在各組差異上面可以看到，加熱水溫高，植

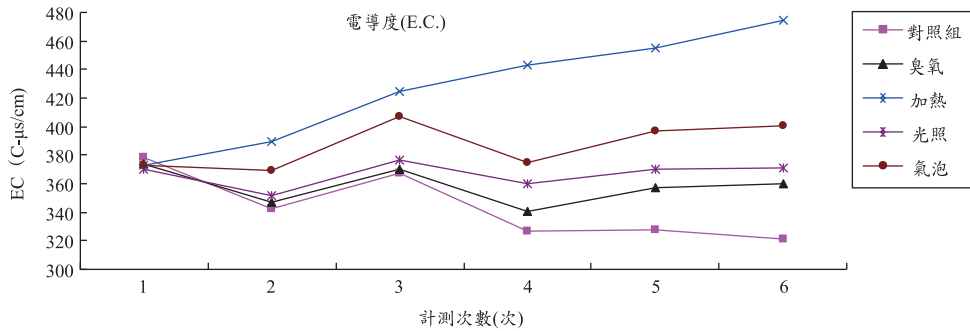


圖 8 E.C.實驗變化圖

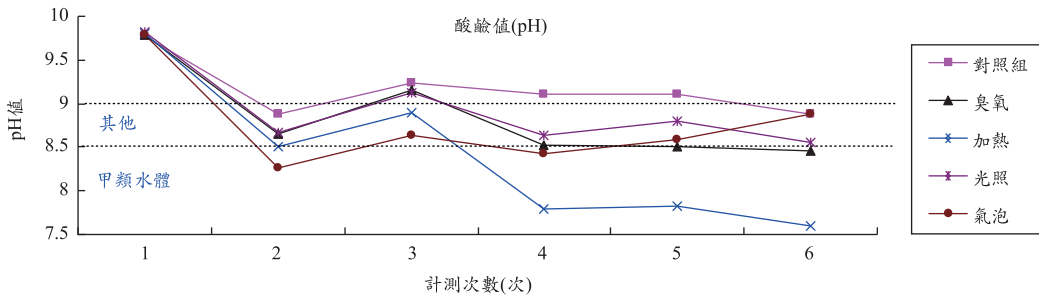


圖 9 pH 值實驗變化圖

物生長旺盛，所以電導度不斷上升，也不受外在氣溫的影響，尤其第六次計測時數值達到 474.6 mv，高於對照組、臭氧組、光照組與氣泡組分別為 32%、24%、22%、16%之高；微氣泡打進水體當中，使水體流動混合，所以溫度均勻，變化幅度也比較小，而且也讓電導度較高，於第三次計測可達到 406.9 mv；夜間光照則使植物持續進行光合作用，植物體離子交換頻繁，因此於第三次計測亦可達到 376.4 mv 相較位於中間效果；使用臭氧部分，則因一週只有使用 15 分鐘，而且將水中多數的藻類和浮游生物殺死，其他生物沒有辦法進行離子交換，所以反而電導度較低，於第四次計測僅有 340.8 mv。

4.4 酸鹼值(pH)

在水中酸鹼值部分，從實驗結果可以看出所有的水體都偏鹼性，這和溶氧過高以及原水本身偏鹼性有關係，不過經過布袋蓮的淨化之後，所有水體的 pH 值都有下降，顯示布袋蓮有淨化水質的效果。與環保署的水類分級比較來看，除了

加熱組的水質有達到甲類水體以外，其他各組都在其他類水體的範圍，對照組則是不在放流水標準當中。加熱組因為植物生長良好，所以將水中氧氣大量消耗，加上布袋蓮吸收水中營養鹽的效果之下，經過兩個月的淨化，幾乎快要達到 pH 7.6 中性水體標準，效果十分顯著，應該可以直接放流至一般河川當中；臭氧組則是前期效果不明顯，到後期效果才出來，因此 pH 值也降低到 8.5 以下；微氣泡組則是前期效果明顯，可是或許是持續打進氧氣，所以在氧氣較高的狀況之下，造成 pH 值到後期上升至 pH 8.88；夜間光照組則是維持恆定，所以在這次實驗當中，幾乎效果都是排序在中間值(圖 9)。

各組由實驗開始至結束，以布袋蓮生長量作分析，加熱組成長最迅速，由 1 株增加至 10 株，佔水域面積 2/3；光照組其次成長至 3 株；氣泡組與臭氧組皆成長至 2 株；對照組表現最差，僅單一個體變大，且未分株。在各項水質計測方面，加熱組與對照組分別各為最高與最低，溫度方面加熱組最高、對照組最低，兩者平均相差

3°C，加熱組與其他各組則平均相差 2.4°C；溶氧部分，布袋蓮在前述文獻中提及適合生長溫度為 25~30°C (張文亮, 1979)，在整體實驗歷程溫度紀錄最高不超過 22°C，使其生長速度緩慢，大部分水體的覆蓋狀況也不明顯，抑制藻類的功效有限，所以除加熱組外皆有溶氧過飽和現象，對照組所出現的溶氧過飽和現象為整體最高，平均 12.6 mg/l，加熱組最低，平均 10.2 mg/l，且最終消弭了溶氧過飽和現象，達到甲類水體的標準，與對照組水體溶氧最終相差 3.97 mg/l，臭氧組與氣泡組所呈現結果一致；在電導度與溫度有關連性，加熱組最高增加了 27.3%，其他各組皆有上升的趨勢，此現象與水中微生物與植物新陳代謝旺盛、離子移動速率增加有關，唯獨對照組呈現下降的趨勢為最低，加熱組與對照組兩者相差 153.5 mv；酸鹼值與水中溶氧變化有關，結果顯示，對照組最高平均 pH 9.1，加熱組最低平均 pH 8.4，且加熱組於第四次實驗紀錄時，已符合甲類水體所界定範圍 pH 7.5~8.5 間，之後仍維持其狀態。

五、結論與建議

5.1 結論

1. 從實驗的結果可發現，對植物生長速率與淨化水質效果最佳的為加熱組增加水溫；實驗前期打入微氣泡效果很好，可是到後期變差；臭氧殺菌到後期才發揮作用；夜間增加光照，效果則介在中間。整體來說，人為改變植物生長環境都能夠增加水生植物淨化水質的功效。
2. 在實驗過程當中發現，以冬季而言，若要提升水生植物的去除效率，必須增加水體溫度，維持生長速率，才能達到最佳的效果。

5.2 建議

1. 本實驗因為受限經費與場地不足，因此水箱的容積與深度都太小，並無法進行分層觀測，氧氣也可以直接跟水體底層進行交換，因此反而各水箱的溶氧量都很高，尤其又以對照組為最高；不過也因為溶氧量過高，呈現過飽和的現象，加上原水當中的水質本身就偏鹼性，造成

水體酸鹼值過高，水質呈現鹼性，也不利生物生長。建議未來可放置更大的水體進行試驗，可能會有更明顯之效果。

2. 臭氧殺菌設定一週只有 15 分鐘，主要是依據文獻建議值，或許給予的臭氧量不足，所以效果反而到後期才出現，未來也可以用不同的濃度來進行試驗，找出最適合的濃度和時間。
3. 本實驗主要在冬季進行，因此可以很明顯看到加熱增加水溫讓水生植物達到適合的生長溫度，所以效果明顯，但是其他季節或許結果會有不同效果，因此建議本實驗可以持續進行，整理整年的資料。

參考文獻

1. Araujo, R. S., Senner, R., (1979), "Eichhornia Crassipes, a pollution remover". *An Assoc Bras Quim*, 30 (3-4), pp. 111~112.
2. Dai, Q., Chen, Y., Pi, Y., (1991), "Study on the accumulation amount of silver in waster water and its utilization by water hyacinth". *Chin. J. Appl. Ecol*, 2 (2): 159~167.
3. Dou, H. S., Pu, P. M., Zh, S. Z., Hu, W. P., Pang, Y., (1995), "An experimental study on culture of *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms on open area of Taihu Lake". *J. Plant Resources Environ*, 4 (1): 54~60.
4. Huilong X., Xiangjuan Ma., (2006), "Phytoremediation of ethion by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) from water". *Bioresource Technology*, 97 (8): 1050~1054.
5. Kivaisi, A. K., (2001), "The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review". *Ecological Engineering*, 16 (4): 545~560.
6. El Zawahry, M. M., Kamel, M. M., (2004), "Removal of azo and anthraquinone dyes from aqueous solutions by *Eichhornia Crassipes*". *Water Research*, 38 (13): 2967~2972.
7. Polar, E., Küçükcezzar, R., (1986), "Influence of some metal chelators and light regimes on bioaccumulation and toxicity of Cd²⁺ in

- duckweed (*Lemna gibba*)". *Physiologia Plantarum*, 66 (1): 87~93.
8. Reddy, K. R., Sutton, D. L., (1984), "Water hyacinths for Water Quality Improvement and Biomass Production". *Journal of Environmental Quality*, 13 (1): 1~8.
 9. US Environmental Protection Agency, (2000), "Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewater: Manual. Office of Research and Development, National Risk Management Research Laboratory". Cincinnati, OH, 166.
 10. Yonghong, X., Dan, Y., Bo, R., (2004), "Effects of nitrogen and phosphorus availability on the decomposition of aquatic plants". *Aquatic Botany*, 80 (1): 29~37.
 11. 行政院環境保護署(1998), 「地面水體分類及水質標準」, 第 3 條, 行政院環境保護署。
 12. 李駿智(1995), 「人工濕地承受高強度廢水之操作表現」, 國立屏東技術學院環境工程技術研究所碩士論文。
 13. 徐貴新(2003), 「水質分析實驗」, 高立圖書有限公司, 台北縣。
 14. 徐樹剛(1995), 「曝氣工程對鳳山及澄清湖水庫臭味及產臭性微生物之影響」, 國立成功大學環境工程研究所碩士論文。
 15. 栗田工業株式會社(2009), 「圖解水處理技術」, 世茂出版有限公司, 台北。
 16. 荊樹人、林瑩峰、李得元、郭富雯、楊勝傑、黃再模(1997), 「水生植物對於污水中磷酸鹽去除效果的探討」。嘉南學報, 第 23 期, 第 1~12 頁。
 17. 郝道猛(2000), 「生態學概論」, 財團法人徐氏文教基金會, 臺北。
 18. 張文亮(1979), 「布袋蓮生態與水質相關之研究調查表」, 國立臺灣大學農業工程研究所碩士論文。
 19. 陳加忠(2012), 「設施與環境工程」, 中興大學生物系統工程研究室, http://bse.nchu.edu.tw/new_page_370.htm。
 20. 陳佳郁(2005), 「臭氧與氯對水中微生物殺菌效率之評估」, 國立臺灣大學環境衛生研究所碩士論文。
 21. 陳珮儒(2011), 「人工濕地對生活廢水水質淨化能力之探討—以嘉義縣明華人工濕地為例」, 中興大學水土保持所碩士論文。
 22. 陳琬琳(2000), 「雙相流自然對流太陽能集熱器設計參數研究」, 國立清華大學工程與系統科學系碩士論文。
 23. 陳銘耀(2007), 「水生植物人工濕地功能評估-布袋蓮、大萍、空心菜、大安水蓑衣」, 大葉大學環境工程學系碩士論文。
 24. 黃國傳(2002), 「水質之原理與控制」, 復文書局, 台南市。
 25. 楊友信(1979), 「布袋蓮處理重金屬之可行性研究」, 國立臺灣大學環境工程研究所碩士論文。
 26. 劉雅婷(2011), 「2000~2010 年早春低溫對蓮華池試驗林植生覆蓋變動之時序分析」, 國立彰化師範大學地理學系碩士論文。
 27. 蔣永正(2003), 「認識植物營養劑」, 植物保護通訊, 第 6 卷, 第 1-3 頁。
 28. 蔡振耀(2007), 「兩階段人工濕地對河川水質淨化效能之研究-以朴子溪介壽橋人工濕地為例」, 雲林科技大學環境與安全工程系碩士班碩士論文。
 29. 鄭先祐(1992), 「生態環境影響評估學」, 財團法人徐氏基金會, 台北縣。
 30. 盧師敏(2007), 「人工溼地水質淨化與能值分析之研究—以高屏溪舊鐵橋人工溼地為例」, 國立中山大學海洋環境及工程研究所碩士論文。
 31. 錢新仁(2009), 「臺灣太陽能光電發電系統發電效率經濟評估-以中部科學園區及新營公五公園併聯型系統為例」, 立德大學科技管理研究所碩士論文。
 32. 魏明皓(2010), 「臺灣光電企業跨足綠能整合之策略布局」, 國立政治大學科技管理研究所碩士論文。

收稿日期：民國 101 年 9 月 11 日

修正日期：民國 101 年 11 月 21 日

接受日期：民國 102 年 1 月 16 日