

臺灣六種水生植物於冬季之水質淨化效果 比較之研究

The Study of Six Aquatic Plants on Water Purification Efficiency Comparison of Winter Season in Taiwan

明道大學景觀設計學系
副教授兼系主任

張源修*

Yuan-Hsiou Chang

國立臺灣大學土木工程研究所
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

吳諭亭

Yu-Ting Wu

國立東勢
高級工業職業學校
建築科 高二生

陳宥潔

You-Jie Chen

國立東勢
高級工業職業學校
建築科 高二生

傅于汝

Yu-Ru Fu

國立東勢
高級工業職業學校
建築科 高二生

鍾佩昀

Pei-Yun Zhong

摘 要

本研究主要以六種水生植物，研究其淨化水質之功效，並依照水生植物的特性分為著根水生植物與浮水植物兩大類，希望能夠比較出何種水生植物對於水質淨化的效果較佳。實驗結果發現，著根植物中，蘆葦效果最佳；浮水植物中，大萍效果最好。整體而言，在冬季蘆葦對水質淨化效果最好。著根植物中，臺灣萍蓬草與蘆葦因適合因採集過程造成根系受損，所以淨化成效不佳，後期才開始出現良好淨化效果。浮水植物中，浮萍與大萍雖然中後期生長狀況不佳，植物體部分出現枯黃破損，但仍具有淨化效果；布袋蓮部分，前期繁殖迅速效果很好，後期營養濃度不足，造成淨化能力下降；臺灣水龍則因病蟲害，造成水龍生長不佳降低效果。本研究結果有助於未來設計淨化型水池之水生植物選擇。

關鍵詞：水質淨化，生態工法，水生植物，水質監測。

*通訊作者，明道大學景觀設計學系副教授兼系主任，52345 彰化縣埤頭鄉文化路 369 號，f89622050@ntu.edu.tw

ABSTRACT

In this study, six aquatic plants, to study the effect of water purification, and in accordance with the characteristics of aquatic plants is divided into two major categories of root aquatic plants and floating plants, want to be able to compare what aquatic plants for water purification effect is better. The experimental results showed that root plants, *Nuphar shimadai*, the best results; floating plants, *Eichhornia crassipes* best. Overall, in the winter in *Nuphar shimadai* on the water quality purification best; *Ludwigia* (x) taiwanensis and *Lemna aequinoctialis*, water treatment effect is less obvious. With the root of the plant, the *Nuphar shimadai* from the early have the effect, and to maintain to the last; *Phragmites australis* suitable for growing in open water space, so the poor growth. Floating plant, *Lemna aequinoctialis* growth is rapid but little effect; *Pistia stratiotes* L.-about one month after planting began to be effective; *Eichhornia crassipes* works well; *Ludwigia* (x) taiwanensis effect is not obvious in winter too cold causing poor growth of the water dragon. This study will help design of purification type pond aquatic plants choose.

Keywords: Water purification, Ecological engineering, Aquatic plants, Water quality monitoring.

一、前言

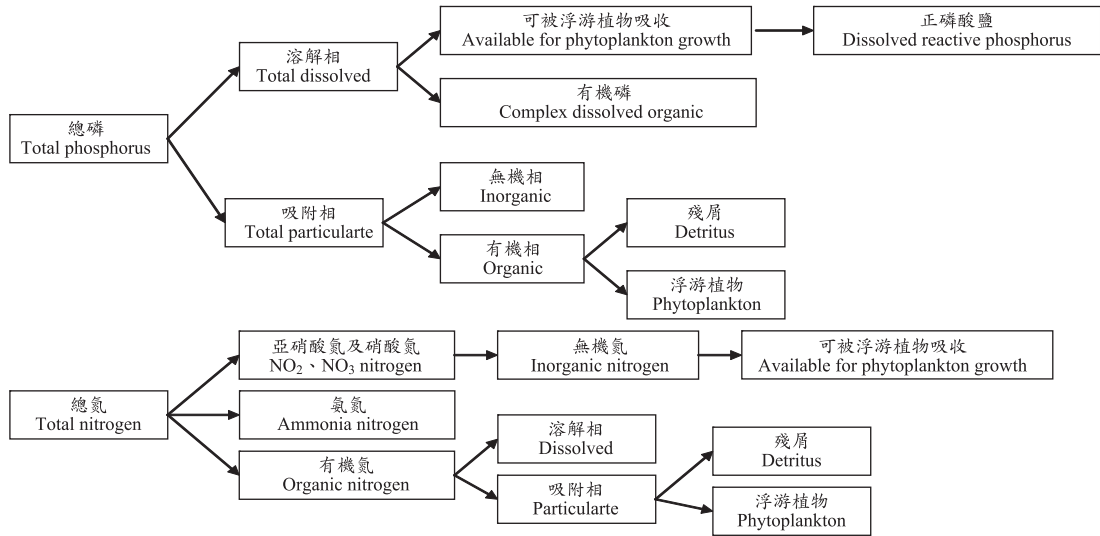
經建會(2002)提出依據臺灣環保署生態治河資料顯示,近自然生態工程(或現地處理工程),有別於傳統的污水集中處理方式,係在各污染源附近利用建置人工溼地、礫間接觸曝氣氧化、漫地流等設施,透過污水與自然環境中的氧氣、土壤、微生物、植物交互作用,達到水質淨化的目的,並於工程設計時,考量整體自然環境現況,同時改善場址周遭之景觀,並達生物多樣性及生態教育之功能。本研究主要以多種水生植物,研究其淨化水質之功效,並依照水生植物的特性分為著根水生植物與浮水植物兩大類,希望能夠比較出何種水生植物對於水質淨化的效果較佳,在未來可以使用於本校園淨化型水池當中,除了可以淨化水質、防止優養化,以及抑制水草生長,讓水質清澈、生態更健全,並達到教育與環境保護的功用。

二、文獻回顧

在科技快速發展的時代,人類生活產生了各

種的汙染,其中水汙染更是成為危害生態環境與人類生存的一大威脅。林日揚(2007)研究調查出臺灣每年產生 30 多億立方公尺的廢水,除少數部分經過廢水處理或由放流管排入海洋外,其餘都直接排入河川。因此人類除了利用各種人為手法來去除水中的汙染物外,近年來也有開始發展各種利用植生處理法來淨化水質。

林郁靜(2008)比較人工濕地對於各項汙染物之去除效能進行比較,發現生化需氧量(BOD)、懸浮固體(SS)、氨氮(NH₄)及硝酸鹽去除率都達到70%以上。荊樹人等(2009)利用草生植群變化對人工溼地進行研究中指出,人工濕地具有去除水中汙染物質,還可提供生物生長與氧氣、協助物理性過濾、沉降、遮蔽陽光等作用,並且肩負保護生態的功用。許嘉芬(2004)利用人工浮島對湖泊優養化、汙染物質處理效益比較,對汙染物去除有不錯的效果,尤其對氨氮有高達七成的去除率,其他汙染物都有五成。石栢岡(2006)利用人工浮島水耕植栽方式去除水中的汙染物,發現各種營養鹽的去除比率大約都在20%左右。從許多資料裡面顯示,水生植物在淨化水質上面具有良

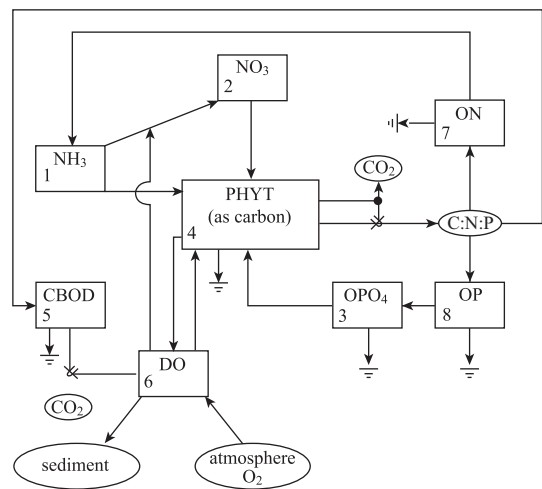


資料來源：Thomann and Muller (1987)

圖 1 水中主要營養鹽(磷、氮)

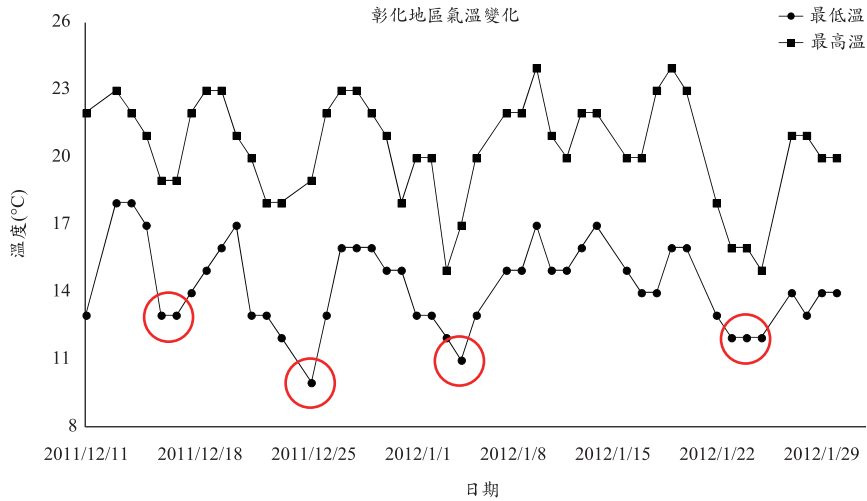
好的效果，但是各種水生植物對於淨化水質的效果，也有許多人進行研究。荊樹人等(1997)選擇數種本土型水生植物，探討挺水性及浮水性植物對水中磷酸鹽的去除能力，水芙蓉達到 97% 的去除率。吳猷凱(2007)以水芙蓉、臺灣水龍與布袋蓮進行去除率試驗得知 BOD 水芙蓉最佳去除率為 38%，布袋蓮為 16%，臺灣水龍為 47%；COD 水芙蓉最佳去除率為 27%，布袋蓮為 27%，臺灣水龍為 50%；SS 水芙蓉最佳去除率為 55%，布袋蓮為 55%，臺灣水龍為 18%；NH₃-N 水芙蓉最佳去除率為 33%，布袋蓮為 33%，臺灣水龍為 24%；PO₄³⁻水芙蓉最佳去除率為 33%，布袋蓮為 32%，臺灣水龍為 21%，各水生植物 BOD 去除效果與 COD 相似。Alaerts, *et al.* (1996)浮萍增加水中氧氣速率在 3~4g/m²-day，對於氨氮與磷移除量分別為 0.49 g/m²-day 與 0.09 g/m²-day。邱吉廷、宋雅雯(2004)針對水生植物進行一系列淨化水質之試驗，得知大萍無論酸鹼性都可以改善水質，布袋蓮則是對鹼性改善明顯，浮萍雖然生長快速，但是對於水質改善上面效果不佳。楊振家(2006)針對水生植物固碳作用進行實驗，發現水生植物功率較陸生植物為佳，且大萍為固氮作用最佳之水生生物。根據林柏余(2006)針對新山水

庫進行水質及生態模式分析當中提到，水中營養鹽主要是以氮和磷為主(圖 1)，提供植物生長的主要營養鹽分，且從 WASP5 模式(圖 2)所模擬的八種水質項目(氨氮、硝酸鹽氮、磷酸鹽、葉綠素 a、生化需氧量、溶氧、有機氮、總磷)可知，各水質項都會互相影響，並且會表現在酸鹼值(pH)、溶氧(DO)及電導度(EC)上。



資料來源：Ambrose and Martin (1991)

圖 2 水質模式 WASP 模擬水質項關係圖



資料來源：整理自中央氣象局

圖 3 實驗期間彰化地區氣溫變化圖

水生植物部分，水生植物依照是否著根，區分為著根植物與浮水植物兩類，著根植物選擇臺灣萍蓬草 *Nuphar shimadai*、蘆葦 *Phragmites australis* (Cav.) Trin. 兩種，浮水植物選擇臺灣水龍 *Ludwigia* (x) *taiwanensis*、布袋蓮 *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms、大萍 *Pistia stratiotes* L.、浮萍 *Lemna aequinoctialis* Welwitsch 四種。臺灣萍蓬草為臺灣特有的睡蓮，屬於臺灣特有種，為多年生宿根性水生植物，生長環境約在 pH 值 6.3-8.2 略偏鹼性，本身對於耐寒性極佳，只要沒有強風吹拂，可以維持在冬季不枯萎(臺灣濕地編輯室，1999)；蘆葦為人工濕地最常種的多年生水生植物，其葉莖部可以輸氧，增加底泥曝氣性，這是蘆葦可以減低水中 BOD 主要的依據。蘆葦的生命力旺盛，可以耐鹽、耐酸鹼、耐厭氧、耐高氮量，對於底土砂質土、粉質土或黏質土都可以生長(張文亮，2006)。；浮水性的臺灣水龍，為多年生水生植物，莖部具有浮水囊，使莖部具有浮水能力，能促進附生性微生物的吸附，間接淨化水質。經常被栽種為水面的遮光，以防藻類的滋生(張文亮，2006)。布袋蓮在水質淨化型的人工濕地一直頗具爭議。支持的一方，認為布袋蓮能迅速的在汙水中生長，對氮和重金屬的效果很好。反對的一方，認為布袋蓮會迅速佔滿水

面，不利生物多樣性，其生長過密造成水呈厭氧。大萍又名水芙蓉，生育適溫為 20~30°C (李松柏，2005)，邱永年(1991)指出大萍生長於不流動的溝渠、河流、池塘、稻田、湖沼濕地，繁殖能力非常驚人，成熟的植株會萌生許多走莖，每一走莖又會萌發一株幼苗，所以使用上必須清除過剩的植株。浮萍是多年生浮水性植物。能有效抑制水中藻類繁殖，間接減低水中 DO、pH 與鹼度的劇烈變化。浮萍比布袋蓮耐低溫，一般在 7°C 以上，浮萍仍有代謝生長功能，所以在臺灣的冬天，仍可發揮淨水的功能。張文亮(2006)指出，浮水性的布袋蓮、大萍等，在與藻類的競爭上，由於浮水或在水面上匍匐，在陽光的攫取上佔優勢，故能減少藻類的過度繁殖，也能減低水中溶氧的劇變。

實驗地區氣候方面，根據氣象局的資料，實驗期間彰化地區平均氣溫約 17°C，最高溫約 25°C，最低溫約 11°C，畫圈處即為 4 波寒流(圖 3)。

三、材料與方法

3.1 實驗區域

彰化為臺灣重要的農業縣份，且多屬平原地區，冬季較溫暖，植物生長狀況佳，本研究選在

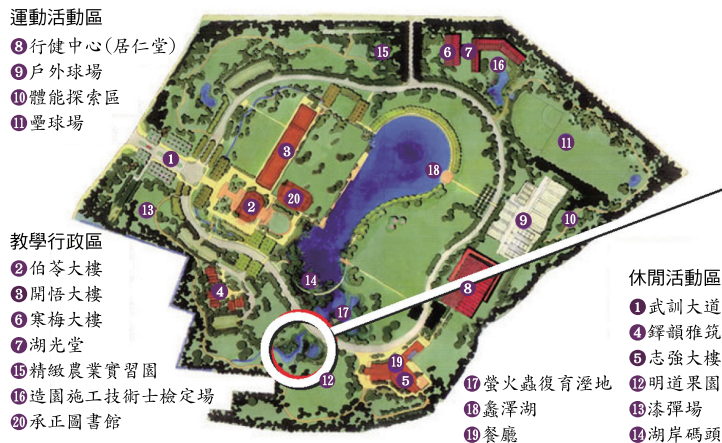


圖 4 實驗場地位置圖



圖 5 原水狀況圖片

明道大學校內果園附近(圖 4 圈選處)進行試驗。實驗模場為近蠡澤湖排水河道的緩坡草地，河道寬度約 5m。實驗取水處為明道大學蠡澤湖支流，為學生餐廳與宿舍區生活雜排水之排溝，水質受汙染，從現場狀況可以看出，除了底泥呈現深黑色以外，排水口也產生變質，並且發出臭味(圖 5)，此外從量測數據來看，溶氧量平均值約在 2~3 mg/L，遠低於正常水質一般生物可正常生長的 5 mg/L，水質狀況不佳。

3.2 實驗材料

本次實驗的實驗水箱為長、寬、高為 62 cm × 42 cm × 35.5 cm，容積為 60 公升的不透光橘色塑膠水箱(圖 6)，是屬於小型實驗用水箱七箱。本次檢測所使用的觀測儀器為 YSI Pro Plus 的多參數水質監測儀(圖 7)，其可監測的項目有水溫(T)、溶氧(DO)、電導度(EC)、酸鹼值(pH)，氧化還原

電位(ORP)等多種檢測項目。

3.3 實驗方法

實驗方法即將七座水箱埋入土中，使其與地面平，模擬一般正常水體狀況，並注入學生餐廳與宿舍區生活雜排水之排溝實驗水體，實驗水箱共計七箱，按圖 6 所示由右到左，第一箱為對照組不置放任何水生植物，其他 6 箱分別置入浮萍、大萍、布袋蓮、蘆葦、臺灣萍蓬草、臺灣水龍，水生植物置放數量盡量覆蓋水面 1/5 為原則。本實驗主要實驗時間為冬季，實驗時間由 2011 年 12 月 11 日至 2012 年 2 月 25 日止，計測日期分別為 2011 年 12 月 11 日、2011 年 12 月 14 日、2011 年 12 月 20 日、2011 年 12 月 24 日、2011 年 12 月 29 日、2012 年 1 月 06 日、2012 年 1 月 13 日、2012 年 1 月 30 日、2012 年 2 月 12 日、2012 年 2 月 25 日共 10 次，水質監測方式是



圖 6 全部植物放置狀況照片



圖 7 YSI 多參數水質監測儀

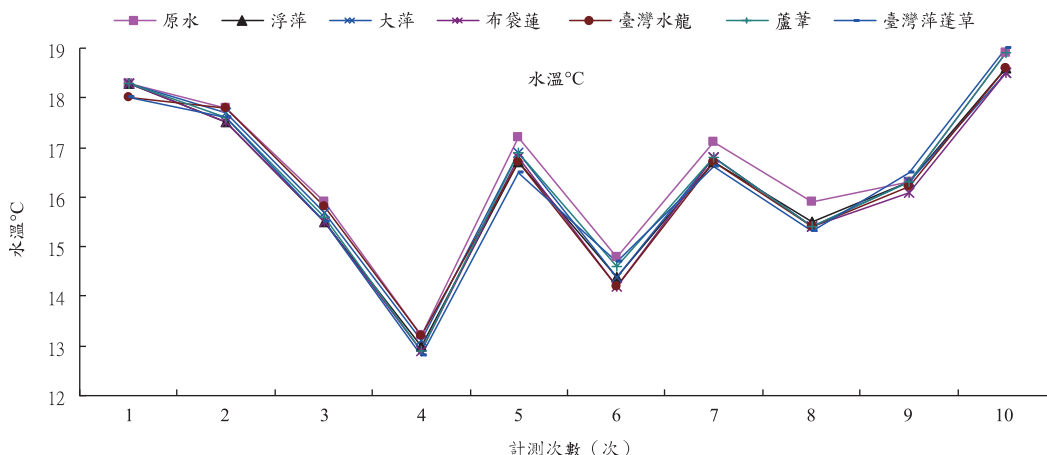


圖 8 水溫監測變化圖

將 YSI 多參數水質監測儀之感測頭置入水箱中心點，於水體中水層（水下約 18 cm 處）直讀紀錄數值，每次水質試驗重複三次求得平均值。觀測的項目為水溫(T)、溶氧值(DO)、電導度(EC)、酸鹼值(pH)等水質項目。

四、結果與討論

4.1 水溫(Temp)

從水溫監測而言，平均最高為對照組 16.54 °C，最低為布袋蓮 16.2°C。雖然各組間的變化無明顯的差異性，但仍可發現，著根植物如蘆葦與臺灣萍蓬草，在整體歷程變化中，雖然前、中期都處於各組中溫度偏低的狀態，最後反而與對照組一同，為水溫最高的三組，此現象可推斷，實驗在冬季進行，過程中前、中期水溫變化因陽光強度有限，主宰因素為風力吹拂，而實驗最終漸入春季，光線強度增加，水面遮光植物如大萍、浮萍、臺灣水龍、布袋蓮發揮作用，水溫較低，此時生長不良的蘆葦與臺灣萍蓬草缺乏水面覆蓋遮蔽，以致水溫偏高(圖 8)。

4.2 溶氧量(DO)

溶氧部分平均最高為對照組 10.87 mg/L，次高為蘆葦 9.79 mg/L，最低為臺灣萍蓬草 5.65 mg/L，次低為布袋蓮的 9.04 mg/L。對照組溶氧偏高主因為原水藻類，經過引源後，在穩定環境

下大量生長，前期出現過飽和現象；蘆葦次高的原因為其眾所皆知的水中輸氣能力；臺灣萍蓬草到了最後階段，其水體溶氧提升能力才有所展現，推測其原因有三，首先是移植過程中，採摘不易，造成主要根部損傷失去，導致其吸收能力下降、汙染物質釋出。其二是過程中浮水葉受損，實驗過程前其浮葉黃化枯萎，後僅見其沉水葉，不利光合作用效率與輸氣效率。其三為移植過程中，植物體走莖所夾帶來源地之底部汙泥，因多含硫化物質而呈現黑色，造成水體汙染增加，消耗氧氣。綜合上原因，是臺灣萍蓬草溶氧趨勢變化的可能原因；而布袋蓮前期都良好的水體輸氣量，後期降到次低可能原因與前人研究中 Chunkao *et al.* (2012)所提出，布袋蓮對污水處理池在覆蓋面積 20%時效率最佳，未覆蓋區域可提供好氧微生物、浮游植物和其他藻類所需的陽光，以利光合作用和有機廢物的分解，如果池塘表面都覆蓋布袋蓮，其下水體通常會呈現低溶氧，即使在水體透明度高的狀態有關(圖 9)。

4.3 電導度(EC)

電導度結果顯示，最終去除率分別為對照組 3.8%、浮萍 7.7%、大萍 11.4%、布袋蓮 6.7%、臺灣水龍 6.6%、蘆葦 16.9%、臺灣萍蓬草 4.7%，最佳為蘆葦、大萍與浮萍，最低為對照組、臺灣萍蓬草與臺灣水龍。由此可以看出，大萍和浮萍

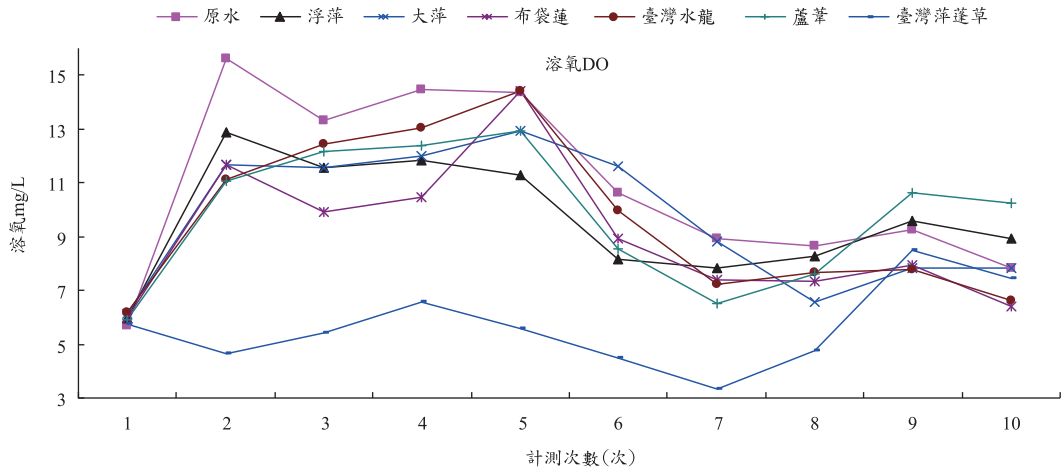


圖 9 溶氧量監測變化圖

雖然在冬季成長緩慢，且出現葉面枯黃破損現象，但仍具有其去除效果存在；臺灣水龍主要成效不良的原因為實驗場地為開放式環境，冬季時易出現以其為食的單斜紋天蛾(*Theetra silhetensis silhetensis*)幼蟲，導致生長狀況不良；布袋蓮則因後期水體汙染濃度下降，使成效降低；值得一提的是蘆葦與臺灣萍蓬草，同為著根植物，若對照組除外，各為去除率最高與最低，共同的趨勢變化出現在第 7 次紀錄後(2012/01/13)，由溶氧可看出兩者開始提升，電導度則開始明顯下降，推測與實驗進行時，在著根植物部分，採摘移植過程中根系受損，加上未給予先行培育期，再進行

實驗有關(圖 10)。

4.4 酸鹼值(pH)

pH 值檢測紀錄可發現，主要的變化來自於水中的溶氧，並隨水體溫度的高低、溶氧飽合程度、植物生長情況而產生變化，其走勢與溶氧呈現一致(圖 11)。

除了水質計測外，七組的實驗模組於研究過程我們作了現場變化調查，歸納如下：根植物方面，臺灣萍蓬草由於移植過程中，浮水葉與根系有受損，造成部分浮水葉枯黃腐爛，但在沉水葉仍有生長。蘆葦部分，環保署水質淨化現地處理

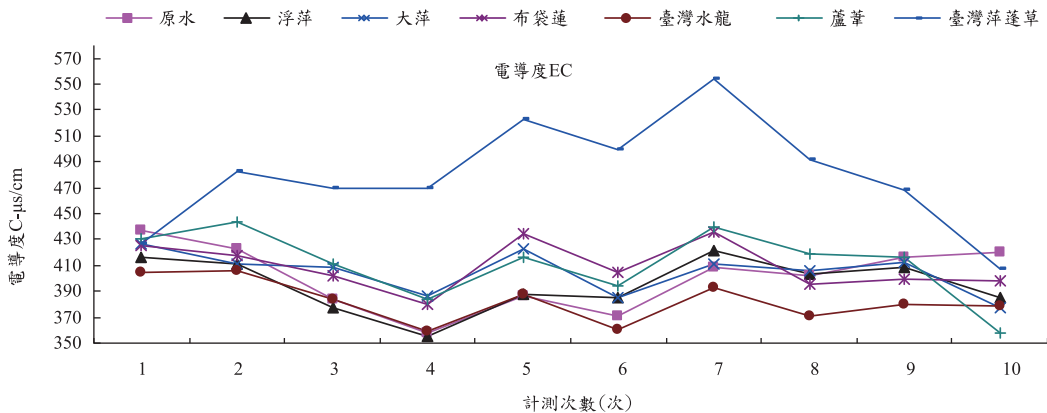


圖 10 電導度監測變化圖

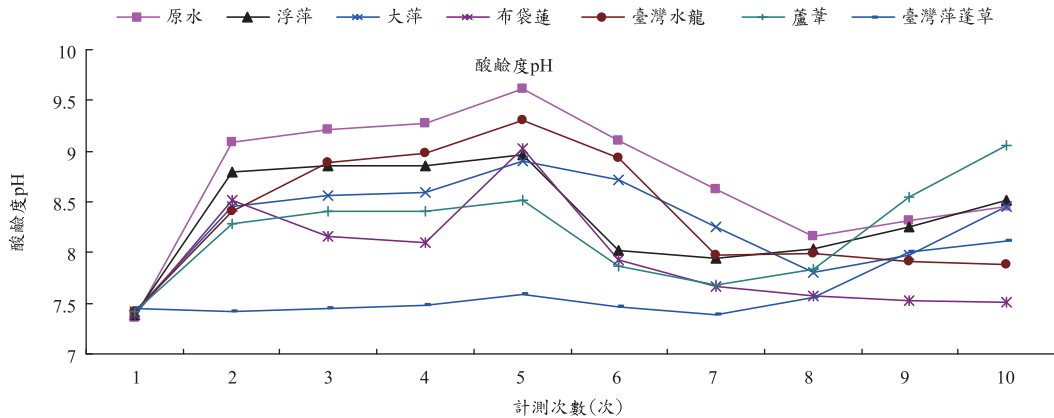


圖 11 酸鹼值監測變化圖

網站中指出，蘆葦根系深度可深達 3 m，同時可耐受 50 cm 以下的水深。而過程中因原生地採集困難，所採集的根部僅約 15 cm，同樣具有根系受損的問題，但其水上葉部分狀態良好，所以不同於臺灣萍蓬草的是，在實驗過程中仍具備良好的水體輸氣量，同樣的是污染吸收率不佳，到了後期根系生長健全才發揮淨化效果。此實驗結果與張文亮(2006)於 2005 年，在台北縣大漢溪新海橋人工濕地，以蘆葦為調查對象，發現要在栽種 54 日後才發揮促進水質淨化的果效，因此建議驗收人工濕地建造的水質淨化成效，應該在水生植物栽種後至少 54 日後進行，無法在種植之後，立即驗證水質淨化成效之說明一致。浮水植物方面，浮萍生長速度極快，前期浮萍很快就佈滿整個水池，可是到後期因溫度降低，所以族群後期有部分白化死亡的現象，但仍具備淨化效果。大萍實驗後發現，冬天不適合大萍生長，與浮萍一樣耐寒性不佳，出現整株黃化、部分葉端枯黃破損等現象，但以去除率而言仍具備其效果。布袋蓮是本次實驗生長最明顯的一種植株，可看到本來一株的布袋蓮，已經生長成六個植株，而且生長狀況良好，葉面呈現青綠色，生長能力旺盛，水面也從本來 1/5 的遮蓋面積，成為約 1/2 的遮蓋面積。臺灣水龍種植方面，是少數冬末春初能生長快速的植物，但原本約三四株的植株，實驗到最後只剩下一株，前期便具備良好的電導度去除率，後期反而回升，顯示其主要的限制因素並

非為水中營養鹽的濃度過高，主要來自於病蟲害的影響。對照組部分水體一直呈現混濁狀態，以溶氧觀察，前期則出現優養化現象，到後期水中開始有絲狀藻類生長，整體水質雖屬於不佳。

五、結論與建議

5.1 結論

1. 從實驗結果裡面可以發現，著根植物當中，蘆葦淨化效果最佳，而浮水植物中，大萍的淨化效果最好。整體而言，蘆葦對水質淨化的效果最好。
2. 植物的去除效率普遍受限於季節，如冬季，在本次實驗中，浮萍與大萍雖因季節成長不佳，但仍具效果；布袋蓮受限於水中營養鹽濃度；臺灣水龍受限於病蟲害；臺灣萍蓬草與蘆葦欲達到良好淨化效果，則需要先行培育。
3. 實驗中兩種著根植物，如臺灣萍蓬草與蘆葦，雖然前期因未先行培育，以致效果不如預期，但後期第 7 周後，根系回復健全，淨化效果快速顯著，仍具備其參考價值。

5.2 建議

1. 本實驗的時間在冬季，對於部分水生植物而言，生長溫度偏低，因此水生植物生長速度較慢，水質淨化效果較不明顯。從觀測當中可發現植物成長速度緩慢，氣溫較高時，浮萍很快就佈滿整個水池，但是天冷時，物種則大量減

少，因此建議未來能夠進行整年度的實驗。

2. 本研究使用的水箱是小型且淺層，因此氧氣很容易跟水體做交換，因此測定出來的 DO 都很高，各組都達到過飽和的狀態。建議未來可將水箱容量與深度加大至少 1 m 深度，其數據較為客觀。
3. 著根植物臺灣萍蓬草與蘆葦，後續採集實驗過程，需注意避免損傷植物體，造成生長與去除率狀況不佳。建議未來應先行採集培植，其效果應會更佳。

參考文獻

1. Alaerts, G. J., Mahbubar, M. R., Kelderman, P., 1996, "Performance Analysis of a Full-Scale Duckweed-Covered Sewage Lagoon". *Water Research*. Vol. 30, No. 4, pp.843-852.
2. Ambrose, R. B., Martin, J. L., 1991, "Wasp5. X a Hydrodynamic and Water Quality Model-Model Theory, User'S Manual, and Programer'S Guide". Environmental Research Laboratory Office of research and Development U.S. Environmental Protection Agency.
3. Chunkao, K., Nimpee, C., Duangmal, Kittichai., 2012, "The King's initiatives using water hyacinth to remove heavy metals and plant nutrients from wastewater through Bueng Makkasan in Bangkok". *Thailand. Ecological Engineering*, 39: 40-52.
4. Thomann, R. V., Muller, J. A., 1987, "Principles of Surface Water Quality Modeling and Control". Harper & Row, Publishers, New York.
5. 臺灣濕地編輯室(1999), 「臺灣萍蓬草及其生存環境」, 臺灣濕地, 第 25 期。
6. 石栢岡(2006), 「人工浮島水生植物交互作用對水質淨化之影響」, 國立臺灣大學生物環境系統工程學系碩士論文。
7. 吳猷凱(2007), 「臺灣水生植物對水質淨化效果比較之研究」, 國立雲林科技大學環境與安全工程學系碩士論文。
8. 李松柏(2005), 「臺灣水生植物地圖」, 晨星出版有限公司。
9. 林日揚(2007), 「把脈臺灣環境生態面臨的五大危機」, 經典雜誌, 第 108 期, 第 36-49 頁。
10. 林柏余(2006), 「結合水質與生態模式-以新山水庫為例」, 國立臺灣大學土木工程研究所碩士論文。
11. 林郁靜(2008), 「以實驗方法探討人工濕地之水質淨化效益」, 國立中央大學土木工程研究所碩士論文。
12. 邱永年(1991), 「大萍」, 原色臺灣藥用植物圖鑑, 第 3 卷, 第 250 頁
13. 邱吉廷、宋雅雯(2004), 「天然濾水器」, 花蓮縣志學國民小學專題報告。
14. 荊樹人、林瑩峰、李得元、郭富雯、楊勝傑、黃再模(1997), 「水生植物對於汗水中磷酸鹽去除效果的探討」, 嘉南學報, 第 23 期, 第 1-12 頁。
15. 荊樹人、黃大駿、謝季吟(2009), 「草生植群變化對人工溼地影響之研究」, 國科會計畫, 嘉南藥理科技大學環境工程與科學系執行。
16. 張文亮(2006), 「水生植物在人工濕地水質淨化功效之評估及管理」, 河川水質自然淨化工法規劃設計與建造講習會。
17. 許嘉芬(2004), 「人工浮島對污染物去除及水庫優養化影響之研究」, 立德管理學院資源環境研究所碩士論文。
18. 楊振家(2006), 「水生植物的固氮作用」, 臺北市第 39 屆中小學科學展覽會國中組生物類。
19. 經建會(2002), 「挑戰 2008：國家發展重點計畫」, 國家發展重點計畫, 第 138-146 頁。
20. 劉玉雪、吳浚霖、陳秀美、鍾惠珠(2010), 「本土性水生植物對水中汙染質之去除成效」, 農業工程學報, 第 56 卷, 第 4 期, 第 55-59 頁。

收稿日期：民國 101 年 9 月 11 日

修正日期：民國 102 年 2 月 25 日

接受日期：民國 102 年 6 月 18 日