

水生植物在人工浮島生長狀況與 水質淨化之分析

石栢岡 張文亮*

國立台灣大學生物環境系統工程研究所

摘 要

國內近年來積極推動水質淨化生態工法之研究與應用，各種工法之設置案例與日增多，以人工浮島做為水質淨化工法則較缺乏本土性之研究及應用案例。人工浮島除了在生物棲地、環境景觀、消坡護岸、水生養殖等方面具有一定程度的助益外，對於水質之淨化亦具有相當不錯的成效。在台灣大學安康農場設置 38 個 PVC 製人工浮島與 32 個竹製人工浮島，研究 20 種栽植於浮島上水生植物生長狀態，自 2005 年 8 月至 12 月進行平均每週一次共四個月的觀察。其中生長狀況較顯著者有燈心草，比生長速率分別為 0.034/day；培地茅為 0.022/day；開卡蘆為 0.030/day；莞為 0.024/day；香蒲為 0.033/day；單葉鹹草為 0.034/day；甜葶薺為 0.025/day；過長沙為 0.024/day。

在水質方面，水生植物會吸收水中營養鹽，其中香蒲單一栽種對氮與磷的吸收率為 17.5%與 13.1%；燈心草單一栽種吸收率為 25.7%與 22.6%；而過長沙單一栽種吸收僅有 5.1%與 7.6%。在混合栽種方面，香蒲與過長沙混種對氮與磷的吸收率為 21.0%與 17.2%；燈心草與過長沙混種吸收率為 26.0%與 23.4%。

關鍵詞：生態工程；人工浮島；水生植物；水質淨化

*通訊作者

Surveying the Growth of Aquatic Macrophyte and Water Purification on Artificial Floating Island

Po-Kang Shih and Wen-Lian Chang*

Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University

Abstract

During recent years, the government has been actively promoting the development and application of ecological engineering in the process of water purification. Although various methods have been implemented, the use of artificial floating islands are still in lack of domestic studies and applications. Artificial floating islands not only contributed greatly to biological habitat, landscape environment, bank protection, and aquatic cultivation, they also enhanced water purifications. 32 floating islands made from bamboo and 38 made from polyethylene were constructed in the pond of An-Kang Farm, NTU. The growth of 20 aquatic macrophytes were observed weekly from August to November, 2005. *Juncus effusus*, *Vetiveria zizanioides*, *Phragmites karka*, *Schoenoplectus validus*, *Typha orientalis*, *Cyperus malaccensis*, *Eleocharis dulcis*, and *Bacopa monnieri* had significant growths with specific growth rate of 0.034/day, 0.022/day, 0.030/day, 0.024/day, 0.033/day, 0.034/day, 0.025/day, and 0.024/day, respectively.

In water purification, aquatic plants absorb nutrition from water. In single planting, the nitrogen absorption of *Typha orientalis*, *Juncus effuse*, and *Bacopa monnieri* was 17.5%, 25.7%, 5.1%, and the phosphorous absorption was 13.1%, 22.6%, and 7.6%. In mixing planting, the nitrogen and phosphorous absorption of *Typha orientalis* and *Bacopa monnieri* in mixing was 21.0% and 17.2%; *Juncus effuse* and *Bacopa monnieri* in mixing was 26.0% and 23.4%, respectively.

Key words: ecological engineering; artificial floating island; water macrophyte; water purification

* Corresponding author.

一、前 言

生態工程(ecological engineering)一般而言有別於傳統工法，自然淨化為生態工法其中的一環，透過自然且低耗能的方法，達到改善水質的效果。在生態工法中，人工濕地之發展較為成熟，利用物理、化學及生物等作用使污水有妥善的處理，而在人工浮島(artificial floating islands)方面則發展較為緩慢，並沒有定義其設計方式，仍屬於摸索階段。人工濕地應用範圍雖廣，仍然有其限制，在較深的水域如湖泊、水庫等則不完全適用。

人工浮島是人工設在水面的島嶼，其目的主要為水域邊坡防護、野生動物棲息、水景佈置、水質淨化等功能。這種結構，早期是用來做為生態復育的功能，並不在傳統的水利工程或是環境工程裡，水質淨化的設施一般是設置在溪流或湖泊水域生態系統之外，水利工程或土木工程也只將自然水域當成施工後的承受體，而浮島是在自然水域生態系統內的設施，故不被傳統的工程師視為主流工程的一部份。

直到一九九〇年代後，生態工程逐漸興起，將污水視為可被自然轉換使用的資源，將處理的系統與承受水體系統的間隔拆除，土木、水利主流工法之外的浮島設施才又重獲工程師的青睞，進而思考其設計與理論的依據。

浮島存在於天然水域，可視為湖泊老化的現象，若不善加管理，開放水面逐漸演變成沼澤濕地並消失⁽⁷⁾。浮島主要是在淺水型的溼地，是覆有水生植物的飄浮體⁽¹³⁾。有機質自底泥成為飄浮的有機層，水生植物地下莖開始拓展附著於

有機層上並飄浮於水面^(8,9)。

親水型的植物向水域生長，在水面上逐漸藉由走莖繁殖，逐漸形成密生的草本群落。草本植物又繼續將半分解的根層基質當成新生根系可以附著的區域，最後可與原來的陸地脫離，形成漂浮於水面上的島嶼。由於與陸地隔絕，陸地型的掠食性動物不易入侵，可成為水鳥、青蛙、螺類、昆蟲類等水生動物的避難所，在生態上具有生物多樣性⁽¹²⁾。

最早的人工浮島，是為了加拿大雁的保育而設計。可以木材設計船板，並放置木箱，用枝條、葉子與草桿填充作為人工編織的鳥巢，讓保育性的鳥種前來⁽¹⁴⁾。為了增加生物多樣性，加入了「水耕」的觀念製作浮島，而在浮島上種植水生的草本植物，作為野生動物的棲地。發現浮島吸引了水鳥在人工浮島上棲息，另外有魚類及水生昆蟲在浮島下方聚集⁽¹⁵⁾。

人工浮島亦可應用在護岸工法上，將人工浮島視為植物樁或植物護堤，放置於水流淘刷劇烈的河邊，並與碎石搭配使用，增加對沖刷水流的抵抗力。稱這種以在碎石堆中植物栽種來保護堤防的工法為「土壤生物工程的碎石工法」⁽¹⁶⁾。

人工浮島對於水質有淨化的效果，以聚乙烯(PVC)為材料，設計邊長2.1公尺的等邊三角形人工浮島單元，並可依需求組合，栽種在浮島上的植物以挺水性的水生植物如蘆葦等為主⁽⁵⁾。將人工浮島放入中度優養的水體，可利用水生植物吸收水中的氮、磷，並定期採收，得到營養鹽的移除。

日本在人工浮島的發展上亦提出一系列相關的案例與研究，1993年在土浦港設置人工浮島，並作生物調查。除栽

種的水生植物外，人工浮島亦吸引了魚類及水生昆蟲聚集，而六種水生植物中，蘆葦(*Phragmites australis*)為最強勢物種，其次為茭白筍(*Zizania latifolia*)⁽¹⁰⁾。另外設置模場進行水質實驗，比較人工浮島前後方的化學需氧量(COD)去除率約為80.2%⁽¹¹⁾。

水生植物有去除污染的功效。學者利用大片面積的蘆葦將污水排入濕地去除污染，平均每年去除94%的懸浮物質，對總磷的去除效果夏季達85%，冬季亦有65%；而總氮的去除效果在夏季有50%以上，而冬季則降至30%。蘆葦等水生植物可以應用於優養的水中，作為污染去除用⁽⁹⁾。

人工浮島為一小型的生態系統，對污染淨化的要素包含：1. 附著於植物體與浮島的藻類與微生物吸收污染物的作用；2. 人工浮島本身的遮光效應；3. 浮島對水流的作用促進沉澱，避免懸浮顆粒再浮上；4. 植物體本身對營養鹽的吸收。在設計方面，可依功能性並以水和植物接觸與否分類為乾式與溼式，而溼式浮島又分為有框、無框及其他類型。而溼式有框的浮島是作為水質淨化目的較佳選擇，並可用聚乙烯或木材等為材料⁽¹¹⁾。

在人工浮島的研究方面，歐美與日本已有一定程度的發展，在台灣則少有人投入這方面的研究，普遍的設計缺乏一整體性的考量及依據，包括水生植物物種的選擇，浮島材料的使用及尺寸大小，仍然是在嘗試階段，多為工程實做案例。人工浮島是提供一個平台，飄浮在水面上支撐水生植物的生長，而浮島上栽種的水生植物，為浮島功能的一個關鍵，故對水生植物的研究為一個重要的課題，包括水生植物在生態上的考量，

對水質的影響等，都需要有更進一步的研究。本研究在台灣大學安康農場設置一系列人工浮島，使用PVC及竹子為材料，並針對台灣常見二十種水生植物進行研究觀察，並透過的室內試驗，研究水生植物在人工浮島上彼此互動的關係，以及人工浮島對水質淨化的效果，得到明確數據，提供將來在施工設計上參考之依據。

二、理論分析

在生態學上，描述族群數量或生物量隨著時間的增加，可以用logistic equation來表示，為S型的族群成長。植物在生長初期生物量成指數增長，由於受到環境因子及最大承載量等影響，生長會趨於平緩，最後趨近於最大承載量，可以方程式表示如下

$$\frac{dN}{dt} = rN \left(\frac{K - N}{K} \right) = rN \left(1 - \frac{N}{K} \right)$$

其中N為生物量，單位為公克；t是時間，單位以天表示；r為比生長速率，單位為1/day；K為最大承載量，單位為公克。依環境不同，r可為正值、零或負值，探討每一項的意義可以說明族群數量的增加率相當於族群數量在開始時成指數成長，為J-shaped，外在環境或食物未被限制，而後隨著族群增長被環境或自身因子所限制，最後族群數量會趨近其最大承載量(K)。將logistic equation微分方程積分可得到生物量N和時間t的關係，生物量N可表示如下

$$N_t = \frac{K}{1 + e^{-at}}$$

其中a為積分常數，在時間為零的初始



條件下，用以控制植物生長模式中最大承載量 K 與初始值 N_0 的關係， a 可表示如下， N_0 為生物量的初始值。上述式子經過整理之後，可改寫如下

$$\ln\left(\frac{K}{N} - 1\right) = a - rt$$

便可由試驗結果得知植物生長速率 r 及積分常數 a 值。

考慮兩種物種的競爭或互動，最廣泛被使用的模式為 Lotka-Volterra equation，用以說明捕食者和獵物間的互動，假設物種內競爭資源的緣故，當族群數量增加時，資源供應會下降，資源量亦會隨物種間的競爭而減少。將此不同物種間的競爭效應，包括在各種族群的成長，以一階非線性常微分方程組表示如下

$$\frac{dN_1}{dt} = r_1 N_1 \left(\frac{K_1 - N_1 - \alpha N_2}{K_1} \right)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = r_2 N_2 \left(\frac{K_2 - N_2 - \beta N_1}{K_2} \right)$$

此方程式為 logistic equation 在 N_1 物種的生長中考慮 N_2 物種的影響，其中 α 、 β 為競爭係數，係數為正為競爭，係數為負則為助益。 N_1 、 N_2 為互相影響，經過一定時間達到動態平衡。

三、材料與方法

(一) 場址背景資料

國立台灣大學生物資源暨農學院附設農業試驗場—安康分場，經緯度為東經 121°31'38"，北緯 24°57'41"，位於新店市塗潭山交界處，農場面積約 18.4 公

頃，為新店溪支流安坑溪所發育形成的平緩河階地形，粒徑分析結果，土壤組成以砂質壤土為主，同時由於農場內開發程度較低，加上維護得宜，因此生物資源相當豐富。

台大安康農場內現有一水塘，作為農場內灌溉渠道之蓄水池，水源主要來自渠道上游山溝及少部分住戶排放之生活污水。蓄水池面積 0.7 公頃，總儲水量為 12,950 立方公尺，平均水深為 2.5 公尺。水塘中水質的電導度 EC 為 532-588 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，溶氧量 DO 為 5.9-6.4 mg/L，pH 值為 6.89-7.21。另外總磷濃度為 0.03-0.11 mg/L，氨氮濃度為 0.14-0.15 mg/L，生化需氧量 BOD 為 0.7-2.5 mg/L。水質採樣處為蓄水池的入水口閘門處，以 2005 年 8 月 22 日到 9 月 15 日，平均每週一次共四次的採樣，檢測方法為環保署公佈之檢測方法為標準。

(二) 人工浮島單元配置與數量

台灣大學安康農場農塘內的人工浮島之設置，為配合後續研究及示範推廣之功能，主要考量因素在於材料取得之方便性、經濟性與施工技術性等方面。而溼式有框的類型適用於淨水型人工浮島，經過評估後決定以 PVC 管及竹子等兩種材料為浮體構造物，並以塑膠網及椰纖毯固定於浮體框架中，以做為植物生長之支撐與基質。

浮島製作數量方面，考量浮島總面積與農塘水域面積之比例定為 1/20 左右，又農塘水域之總面積約為 5042 平方公尺，故浮島總面積應可達 252 平方公尺，即 63 座人工浮島。最後決定製作竹製浮島 32 座、PVC 管製浮島 38 座，共計 70 座人工浮島，總面積為 280 平方公尺，約佔總水域面積 1/18。



植物來源主要為農場生態池內的水生植物，挑選出 20 種台灣常見水生植物移植於浮島上。一個浮島單元上僅種植一種水生植物，每個浮島單元平均栽種植株為四行四列，共計 16 叢，將植株放置於挖好的上層塑膠網洞中，並以水苔(泥炭苔)沾水濕潤後覆蓋於植株基部，以做為植物根部的保護，並成為移植初期營養來源之一。

(三) 溫室植物生長試驗

根據水塘中人工浮島植物生長狀況，挑選出三種生長狀況良好的水生植物進行試驗，各有不同的生長型態，分別是挺水型的香蒲(*Typha orientalis* Presl)、挺水型的燈心草(*Juncus effusus* L. var. *decipiens* Buchen.)、以及挺水型但植株具匍匐性的過長沙(*Bacopa monnieri*)。

樣區設置在安康農場水田堆肥場旁的花卉棚內，棚頂以不透水透明塑膠布覆蓋，以達到遮雨且透光的效果。放置七個大型強化塑膠桶，容量為 600 公升。塑膠桶尺寸為內徑 100 公分，高 75 公分，內部個放置一個小型 PVC 人工浮島，製作方法同水塘之實驗，尺寸為 0.5 m × 0.5 m，分為四等分，每一等分栽種一叢植株。

七個小型浮島其中三個分別為香蒲、燈心草、過長沙單獨栽種，另外三個則為香蒲加燈心草、香蒲加過長沙、燈心草加過長沙兩兩混種，最後一個則無栽種為空白對照。使用水源引入農場水塘的水，各桶水量裝至 500 公升水位即水深為 63.7 公分，試驗期間為 2006 年 1 月 24 日到 4 月 20 日，為期三個月。

(四) 研究調查方法

在水塘中人工浮島上水生植物平均

每週調查其生長株高及株數，以觀察水生植物在人工浮島上生長狀況。

溫室試驗部分，試驗期間每週採水樣進行水中營養鹽水質分析，並記錄水生植物生長之株高、株數，並記錄每次水位變化，以對應蒸發散量。分析項目包括水中正磷酸鹽、總磷、氮氮與凱氏氮。試驗結束後將所有植物體採收回實驗室進行乾重及植物體內氮與磷等營養鹽之分析。

植物體採收回實驗室以攝氏 80 度風乾作前處理，得到風乾重，並進行植物體中氮與磷含量分析⁽⁶⁾。植物體總氮是以 Kjeldahl 法消化萃取，先取風乾植物體 250 毫克磨碎粉末於凱氏管中後，加入 2 公克消化藥品 Kjel-tab 粉末〔硫酸鉀、硫酸銅、硒粉末以 100:10:1 比例混合〕與 6 毫升濃硫酸，其中包含一個空白值。以攝氏 370 度消化二小時後，消化完後步驟照水質的凱氏氮檢測方法進行。

植物體總磷的萃取方式是取風乾植物體 250 毫克磨碎粉末於錐形瓶中，加入 50 毫升濃度 2% 醋酸震盪 30 分鐘，其中包含一個空白值。抽濾後以水中磷酸鹽的檢測方式進行。

水質檢測方法以環保署公佈之檢測方法為標準。

四、結果與討論

(一) 水生植物生長評估

自 2005 年 8 月 22 日到 12 月 16 日共十二次，水生植物株高及密度的生長率如表 1，其中李氏禾、水竹葉、台灣水龍、過長沙以及空心菜因具有匍匐性，貼近塑膠網生長，故株高不予記錄。株



表 1 台灣大學安康農場人工浮島水生植物生長率之比較

Table 1. The growth rates of the aquatic macrophytes on artificial floating islands in NTU An-Knag Farm

水生植物	竹製浮島		PVC 製浮島	
	株高生長率 cm/day	密度生長率 株/m ² ·day	株高生長率 cm/day	密度生長率 株/m ² ·day
開卡蘆	0.00	0.42	0.05	0.20
香蒲	0.09	0.16	0.01	0.11
菱白筍	-0.04	0.03	-0.09	0.04
培地茅	0.24	0.10	0.10	0.19
水毛花	-0.13	0.02	0.02	0.41
單葉鹹草	0.02	0.96	0.25	0.55
莞	0.11	0.43	0.04	0.38
大安水蓼衣	0.14	0.08	0.24	0.10
柳葉水蓼衣	0.13	0.16	-0.08	-0.02
燈心草	-0.09	1.47	-0.06	2.28
甜葶薺	0.00	0.45	-0.09	0.25
芋頭	0.14	0.00	-0.05	0.01
布袋蓮	--	--	0.12	0.47
葶薺	--	--	0.06	0.33
李氏禾	**	0.19	**	0.12
水竹葉	**	0.00	**	-0.19
台灣水龍	**	0.01	**	0.09
過長沙	**	0.40	**	1.00
空心菜	**	0.07	**	0.01

註：--表示無栽種該種植物

**表示該水生植物生長貼近水面無記錄株高

高單位為 cm，密度單位為株/m²。平均生長率為最後一次測量值扣除第一次測量值，以試驗期間 114 天來平均，株高生長率單位為 cm/day，密度生長率單位為株/m²·day。

根據人工浮島的水生植物生長記錄，不論 PVC 製或竹製的人工浮島，植物生長趨勢分析上，整體而言，大致上是呈先上升而後下降的趨勢，而後又持續上升的現象。在野外的實驗受到許多

環境因子的影響，所得植物生長曲線無法像標準曲線般平滑，而影響的其中一個重要時間點是在第 38 天的量測紀錄，植物的生長達到一個高峰，之後開始呈現下降的趨勢。其主要是因為受到 10 月 1 日的龍王颱風影響，除了部份植株遭風雨吹襲導致受損外，颱風帶來的堆積物造成水塘入水口堵塞，入水量不足使得水塘水位降低，部分以繩索固定於岸邊的浮島半懸空中，而致植物乾枯死亡，



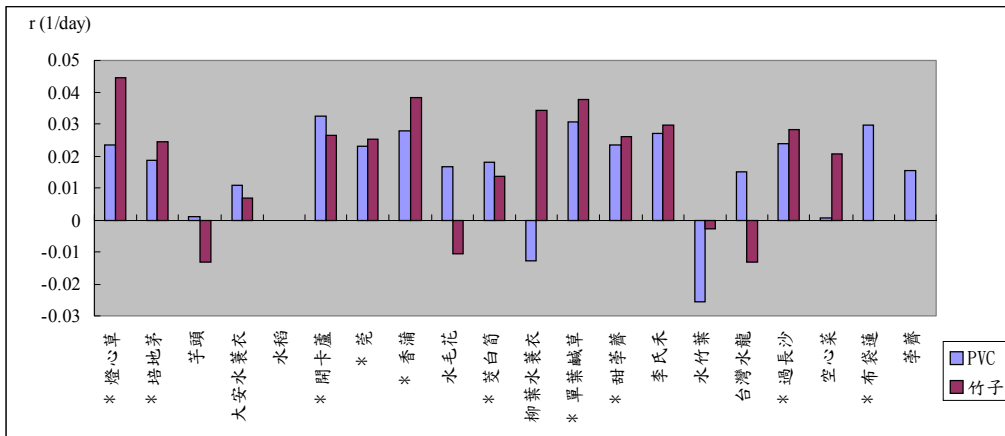


圖 1 PVC 製與竹製人工浮島水生植物比生長速率 r 比較

Fig. 1. Comparison of specific growths rate of 20 kinds of aquatic macrophytes on artificial floating islands, made from PVC and bamboo, respectively.

但經過整理之後植物仍有持續生長的趨勢。

將植物隨時間生長關係回歸，可得到植物比生長速率 r ，並將 20 種水生植物作一比較，如圖 1。從生長速率 r 比較來看，燈心草、培地茅、開卡蘆、莞、香蒲、單葉鹹草、甜葶薺、李氏禾以及過長沙有良好的比生長速率。其中燈心草在生長密度上為最大且生長穩定；香蒲生長狀況整體植株較開卡蘆大，且比生長速率亦較穩定；而在具有匍匐性的植物中，過長沙的生長率以及整體密度都較李氏大。另外單葉鹹草的生長狀況亦相當良好，但在此以香蒲、燈心草、過長沙三種在人工浮島中生長穩定且生長型態差異較大者為室內試驗物種選擇之考量。

(二) 影響浮島植物生長因素

在整個觀察的期間進入秋冬季，氣溫開始降低，最低降至 13.4 度，部份植物進入生長較為緩慢的時期或休眠期，

植株高度維持在一定的高度不再有明顯的成長，甚至有的逐漸下降，平均高度如芋頭最低降至 9.8 cm，水毛花 12.0 cm，而高莖植物茭白筍亦只有 44.9 cm；而植物生長密度亦維持在一定的數量或緩慢成長，但仍然有較不受影響者，在 PVC 結構浮島上如燈心草，最高達到 402 株/m²，而過長沙亦有 173.5 株/m² 的生長密度。

本研究所使用的二十種水生植物中，依據植物生長型態特性差異，其中屬於具有地下匍匐根莖的植物如香蒲及根系發達的培地茅具有穩定之生長情況，在 PVC 結構浮島上分別達到 22 株/m²、39.7 株/m² 的生長密度，而多株生長的燈心草、單葉鹹草等生長狀況良好，植株型態匍匐生長的過長沙也呈現相對較佳之生長狀態，大安水蓼衣冬季則進入其休眠期。

本場址人工浮島上種植之水生植物生長狀態與一般濕地環境中相比較，人工浮島上水生植物之生長高度明顯皆低

了許多，生長到一定高度則分株發展。從蓄水池水質資料來看，水中提供的營養鹽濃度不高為影響因素之一。經過一段時間觀察結果，植株生長到固定高度即停止，或開始枯萎，而在植株密度方面則仍有持續生長，達到一個動態平衡。水稻則是由於種植密度過高，使得植株生長空間不足，最後長到 30 公分高便停止生長，逐漸枯死。而在一般水域環境中生長及繁殖速度極快之布袋蓮，雖然在此營養鹽較低的水域中亦能呈現極佳之生長狀態，生長密度達到 75 株/m²，佔滿整個 PVC 浮島單元空間，實為非常強勢之物種，在應用上需格外小心謹慎。竹製與 PVC 製浮島在做法上存在部分差異，竹製浮島支撐植物的塑膠網位於下層竹管上方，導致部分區域離水較高呈現缺水狀態，而膠製浮島則無此狀況，使得兩種不同浮體構造的浮島型式因為作法之差異，造成植物生長群落分布有些許不同。

(三) 植物交互作用與水質淨化

根據室內試驗取得植物生長 85 日的資料，當香蒲與燈心草混合栽種時，燈心草對香蒲的影響係數 $\alpha = -0.81$ ，是助益的關係；而香蒲對燈心草的影響係數 $\beta = +0.32$ ，是有抑制的影響。亦即香蒲與燈心草混合栽種時，香蒲會比其單獨栽種時有更好的生長，而燈心草會比其單獨栽種時長得較差。

當香蒲與過長沙混合栽種時，過長沙對香蒲的影響係數 $\alpha = -0.32$ ，其影響為助益；而香蒲對過長沙的影響係數 $\beta = -0.07$ ，僅有少許助益。而由上述可以得知，香蒲與過長沙混合栽種時，香蒲會比單獨栽種時獲得更好的生長，而過長沙則影響不大。

當燈心草與過長沙混合栽種時，過長沙對燈心草的影響係數 $\alpha = -1.01$ ，有相當的助益；而燈心草對過長沙的影響係數為 0 影響極小。由上述可以得知，燈心草與過長沙混合栽種時，燈心草會比其單獨栽種時有更好的生長趨勢，而過長沙幾乎沒有受到影響。

過長沙為生長緻密且具有匍匐性之水生植物，在安康農場蓄水池中栽種至今經過十個月，在 PVC 或竹製的浮島上都有極佳之生長狀況，有長成「草毯」的現象，而植物間的互相作用的類型中有提供保護機制並間接產生幫助。而在此試驗中，過長沙長成之「草毯」提供挺水型水生植物良好的附著環境，其緊密的走莖交錯可以使香蒲或燈心草的根系在物理上的發展更加穩固，亦可減少根系直接曝露於水中被魚類食用的機會，此穩固及保護機制亦間接幫助香蒲及燈心草的生長。

從水質資料與時間的關係來看，隨著植物生長而水中營養鹽濃度下降，由水質資料可換算水中營養鹽質量的減少，與植物體中營養鹽質量的增加作比較如表 2 及表 3。

表 2、表 3 中植物吸收百分比是植物吸收量與水中減少總量的比例，單一栽種中，以過長沙單一栽種的吸收程度為最差，對氮的吸收總合為 5.1%，對磷的吸收亦僅有 7.6%。在試驗過程中觀察到有藻類的大量生長，尤其在過長沙單獨栽種的桶子中，在營養鹽吸收的部分，受藻類影響相對亦比有香蒲及燈心草的其他桶子大，而過長沙為植物體較小的匍匐型植物，生物質量亦少，吸收程度有限。

在混合栽種中可以發現會有較高的吸收率，香蒲在混合栽種時，燈心草與



過長沙皆對香蒲有助益，為正向交互作用，其混合栽種對氮與磷的吸收率皆較單一栽種時的香蒲高。

燈心草在混合栽種時，生長被香蒲所抑制，為負向交互作用；過長沙則幫助燈心草的生長，為正向交互作用。混合栽種與單獨栽種的燈心草比較，對氮與磷的吸收率皆無顯著的差異，顯示燈心草本身即對水質有好的淨化效果。

過長沙混合栽種時，對其他兩種植物有助益的效果，而本身不受影響，單獨栽種的過長沙對氮與磷的吸收效果低。在試驗過程中，過長沙的生長前後僅有兩倍的成長率，而實際在農場水池中觀察的四個月，PVC 製浮島上的過長沙有三倍的成長率，並隨著時間增長甚至更多，故在此試驗中觀察到的效果並不顯著，但在混合其他種植物使用上整體皆對氮與磷的吸收有顯著的效果。

五、結 論

人工浮島上水生植物生長狀況良好者如挺水型的香蒲及培地茅，在株數上有緩慢且穩定的生長；燈心草與過長沙在浮島上生長旺盛，適合作為人工浮島植物的選擇；而水生植物中常見的莎草科如單葉鹹草、莞等都呈現良好的生長狀況。禾本科植物如水稻、茭白筍及李氏禾在本研究中生長狀況皆不理想。

植物混種實驗方面，緻密匍匐生長的過長沙對香蒲有正面的幫助，其競爭係數分別為 $\alpha = -0.32$ ，而對燈心草的競爭係數為 $\alpha = -1.01$ ，有相當大的助益。其影響主要來自於密生的過長沙對挺水型植物根系的穩固效果，並可提供保護減少

混種物種根系被食用，屬於間接性的幫助。

在水質方面，人工浮島對水質有淨化的效果，水生植物可以吸收氮與磷。而水生植物對營養鹽的吸收以混合栽種有較好的效果，過長沙分別混合香蒲與燈心草，對氮磷的吸收率可達 20% 以上，單獨栽種的過長沙吸收量有限，但可成為輔助，並配合別種物種使用，間接促進水質淨化效果。

六、建 議

人工浮島設計方面，以景觀考量，竹製人工浮島可以達美觀的效果；以耐用度來看，PVC 製浮島用防水膠接合，相較於用塑膠繩綁的竹製浮島能承受較多的風浪撞擊與日曬，各有其優勢。建議採用較耐用的 PVC 構造，在維護與管理上較為便利，並配合過長沙作為基質，與莎草科或禾本科挺水型的植物混合栽種，對高莖植物有間接性的幫助，而「草毯」覆蓋人工構造物亦可有效達到美觀的效果，並提供高莖植物一個良性的共生環境。在水生植物支撐可以覆以椰纖毯保護之以增加適當的保護，減少生物攝食，亦可增加植物穩定效果。

人工浮島上的水生植物在生長季過後可以定期採收，可以將營養鹽直接從水體中移除，避免植物體枯死後營養鹽再度回到水體之中。

致 謝

本研究感謝行政院環保署「河川水質淨化工法設計研究計畫」(EPA-94-

UIG1-02-101)之經費支持。

參考文獻

1. 中村圭吾，島谷幸宏，1999，人工浮島の機能と技術の現状，土木技術資料，Vol. 41，No. 7，pp26-31.
2. Bratli, J. L., A. Skiple and M. Mjelde, 1999. Restoration of Lake Borrevannet—Self-purification of nutrients and suspended matter through nature reed-belts. *Water Science and Technology*. Vol. 40, No. 3, pp325-332.
3. Clark, M. W., Reddy K. R., 1998. Analysis of floating and emergent vegetation formation in Orange Lake. Final Report. St. Johns River Water Management District, Palatka, FL.
4. Fager, L. F. and J. C. York, 1975. Floating islands for waterfowl in Arizona. *Soil Conservation*. Vol. 41, pp4-5.
5. Hoeger, S., 1988. Schwimmkampen - Germany's artificial floating islands. *Journal of Soil and Water Conservation*. Vol. 41, No. 4, pp 304-306.
6. Kalra, Y. P., 1998. Handbook of Reference Methods for Plant Analysis. CRC Press LLC, Boca Raton, Florida, USA.
7. Mallik, A. U., 1989. Small-scale plant succession towards fen on a floating mat of a Typha marsh in Atlantic Canada. *Canadian Journal of Botany*. Vol. 67, pp1309-1316.
8. Mallison, G. T., R. K. Stocker and C. E. Cichra, 2001. Physical and Vegetative Characteristics of Floating Islands. *Journal of Aquatic Plant Management*. Vol. 39, pp 107- 111.
9. Nunnally, N. R., D. F. Shields Jr. and J. Hynson, 1987. Environmental considerations for levees and floodwalls. *Environmental Management*. Vol. 11, pp182-190.
10. Nakamura, K., M. Tsukidate and Y. Shimatani, 1997. Characteristic of ecosystem of an artificial vegetated floating island. *Ecosystems and Sustainable Development*. Computational Mechanics Publications. Southampton, UK. pp171-182.
11. Nakamura, K. and Y. Shimatani, 1997. Water purification and environmental enhancement by artificial floating island. *Proc. of Asia WATERQUAL'97 in Korea*, IANQ. p. 888-895.
12. Payne, N. F., 1992. Techniques for Wildlife Habitat Management of wetlands. McGraw – Hill, Inc. New York, USA.
13. Van Diggelen, R., W. J. Molenaar and A. M. Kooijman, 1996. Vegetation succession in a floating mire in relation to management and hydrology. *Journal of Vegetation Science*. Vol.7, pp809-820.
14. Will, G. C., and G. I. Crawford, 1970. Evaluated and floating nest structures for Canada geese. *Journal of Wildlife Management*. Vol. 34, No. 3, pp583-586.

