

人造感潮濕地蘆葦管理機制及其對棲地影響

THE MANAGEMENT MECHANISM FOR REED OF CREATED TIDAL WETLAND AND ITS INFLUENCE ON HABITAT QUALITY

國立臺灣師範大學
永續管理與環境教育研究所
博士候選人

吳 思 儒
Szu-Ju Wu

國立臺灣大學
土木工程學系
碩士

黃 耀 陞
Yao-Sheng Huang

國立臺灣大學
水工試驗所
技正暨特約研究員

黃 國 文*
Gwo-Wen Hwang

景澤創意有限公司
研究員

陳 建 志
Chien-Chin Chen

國立臺灣師範大學
永續管理與環境教育研究所
優聘教授兼所長

方 偉 達
Wei-Ta Fang

摘 要

基隆河下游社子島新舊防潮堤間的人造感潮濕地屬於東亞澳候鳥遷徙帶之臺灣北部河川濕地，為潮間帶感潮濕地，吸引眾多水鳥。而設置後蘆葦逐漸大量擴張，棲地漸呈單一化，故本研究以低干擾、低成本、高效率及劣化慢之蘆葦管理機制，運用人工機具移除蘆葦地上部，以增加灘地面積，提升棲地多樣性。本研究以現地蘆葦移除試驗、全潮測量、水理分析及棲地適合度指標等方法，建置蘆葦管理機制。研究成果顯示，現地試驗蘆葦移除後，7~12 月份蘆葦平均生長速率約為 0.6 ~ 2.0 cm/日，且前後期差異大。以驗證後 HEC-RAS 模式分析社子島人造感潮濕地之水位超越機率及浸淹機率，整合建置蘆葦生長平均速率之浸淹機率棲地適合度 (INHSI)，當浸淹機率為 35 %時，為棲地適合度最佳之 INHSI =1。本研究建議考量 INHSI 之蘆葦管理機制，以低干擾、低成本、高效率及劣化慢特性之簡易控制方式，進行人造感潮濕地植被之管理。相似的人造感潮濕地可運用本研究發展之蘆葦管理機制適當管理植被，以有效率地進行濕地之棲地多樣性管理工作。

關鍵詞：感潮濕地、蘆葦、管理機制、浸淹機率、棲地適合度指標。

* 通訊作者，國立臺灣大學水工試驗所研究員

10617 臺北市大安區羅斯福路四段 1 號，gwhwang@ntu.edu.tw

THE MANAGEMENT MECHANISM FOR REED OF CREATED TIDAL WETLAND AND ITS INFLUENCE ON HABITAT QUALITY

Szu-Ju Wu

National Taiwan Normal University
Graduate Institute of Sustainability Management and Environmental Education

Yao-Sheng Huang

National Taiwan University
Department of Civil Engineering

Gwo-Wen Hwang*

National Taiwan University
Hydrotech Research Institute

Chien-Chin Chen

Vision Union Limited Company

Wei-Ta Fang

National Taiwan Normal University
Graduate Institute of Sustainability Management and Environmental Education

ABSTRACT

The created tidal wetland between the new and old dikes on Shezidao Island in the downstream area of the Keelung River belong to the northern Taiwan riverine wetlands of the East Asian-Australasian Flyway. It is a tidal wetland that attracted numerous shorebirds. However, after the establishment, the reeds gradually expanded in large quantities, resulting in a homogenization of the habitat. Therefore, this study aimed to develop a low-disturbance, cost-effective, efficient, and slow-degradation mechanism for reed management. It employed artificial machinery to remove the upper parts of the reeds to increase the bare mudflat and enhance habitat diversity.

This study established a reed management mechanism using on-site reed removal experiments, tidal measurements, hydraulic analysis, and habitat suitability index. The results of the study showed that after on-site reed removal experiments, the average growth rate of reeds from July to December was approximately 0.6 to 2.0 cm/day, with significant differences between the early and late periods. By using the verified HEC-RAS model to analyze the water level exceedance probability and inundation probability of the created tidal wetlands on Shezidao Island, and integrating the inundation probability with the average reed growth rate, the habitat suitability index (INHSI) was developed. When the inundation probability was 35 %, the INHSI reached its optimum value of 1, indicating the best habitat suitability.

This study recommends considering the reed management mechanism based on INHSI, which offers a simple control method with low disturbance, low cost, high efficiency, and slow degradation characteristics for the vegetation in created tidal wetlands. Created tidal wetlands can effectively manage vegetation using the reed management mechanism developed in this study to enhance habitat diversity management in wetlands.

Keywords: Tidal wetland, Reed, Management mechanism, Inundation probability, Habitat suitability index

Wu, S.J., Huang, Y.S., Hwang, G.W.*, Chen, C.C., & Fang, W.T. (2023). "The Management Mechanism for Reed of Created Tidal Wetland and its Influence on Habitat Quality" *Journal of Taiwan Agricultural Engineering*, 69(4), 39-50. [https://doi.org/10.29974/JTAE.202312_69\(4\).0003](https://doi.org/10.29974/JTAE.202312_69(4).0003)

一、前言

臺灣本島處於太平洋西岸花綵列島嶼之中央位置，並位在東亞候鳥遷徙路徑 (the East Asian-Australasian Flyway, EAAF) 上，遂為候鳥南遷北返之中間站或目的地 (湯京平及張元嘉，2013；蕭木吉及李政霖，2015；Murray and Fuller, 2015)。濕地為生態上重要高營養棲地，支撐了不同物種的生態多樣性，尤其為水鳥之重要棲地 (Gibbs, 1993; Paracuellos, 2006)。位於臺灣北部淡水河下游的社子島周圍濕地提供一絕佳環境為候鳥過境及覓食之場地。臺北市政府工務局水利工程處 (以下簡稱：北市水利處) 營造社子島感潮濕地，包括營造多樣棲地環境、引入及復育多樣性物種、環境教育設施、擴大及延伸濕地範圍等。林幸助 (2021) 指出人為規劃營造具有單一性或多功能整合性之濕地，則可稱為人造濕地或創造型濕地 (created wetland)。而若人造濕地受潮汐影響，則可稱為「人造感潮濕地」(黃耀陞及黃國文，2022)。人造感潮濕地水文特性受到潮汐作用而具有週期性水位變化，惟過去經常被開發為農地、魚塭等而使棲地多樣性下降，直到近年來生態保育意識逐漸提升，方逐漸展開棲地營造或復育等工程 (Fiot and Gratiot, 2006；Oosterlee *et al.*, 2019)。

鵲科跟鴿科鳥類是臺灣濱海濕地利用灘地常見之冬季及春、秋過境期間最主要的種類 (廖本興，2012)。水鳥的出現與濕地裡的多項因素有關，如棲地環境、氣候情況和食物來源等 (Weller, 1999)，而在濕地灘地中植相為影響水鳥生存的最重要因素之一 (Pandiyan, *et al.*, 2015)。

感潮濕地因自然或人為因素常由裸灘地演變為具植被棲地，因不易休憩或覓食，部分水鳥不喜好植被區 (謝蕙蓮等，2011；吳台琪，2011；曾威捷，2015；Bancroft *et al.*, 2002; Ma *et al.*, 2010)。為維持濕地生態功能及多樣性，有研究提出將植被濕地進行改善，清除植物及降低高程，恢復裸灘地，如新竹香山濕地紅樹林部分伐除、社子島紅樹林疏伐及潮溝營造試驗、華江濕地棲地劣化之植被移除及疏濬規劃、疏濬二重疏洪道入口堰前沙洲所形成之新北濕地等 (Huang *et al.*, 2010; WWF Hong Kong, 2006; 謝蕙蓮及施上粟，2007；施上粟等，2015)。但前述作法，耗用成本較高、對棲地擾動較大。例如社子島紅樹林疏伐試驗 (Huang *et al.*, 2010; 謝蕙蓮及施上粟，2007)，以大型機具進入紅樹林區，調整地表高程，造成底質擾動，干擾較大。而少有前人以人工移除蘆葦等植被地上部，不擾動底

質，探討其效率及經濟性，進行棲地環境改善之研究。

前人研究指出蘆葦棲地特性之眾多環境因子均會影響蘆葦生長，包含氣候、溫度或鹽度等，其中指出水深變化對於蘆葦生長有重要影響 (Engloner, 2008)。有學者透過觀察與紀錄蘆葦族群數量，推斷水深對於蘆葦及類似之挺水植物具有強大之汰選壓力 (selective force)，其原理來自於養分、溶氧量及不同化學物質等蘆葦生長所必需之因子將隨水體深淺而各異所致 (Clevering, 1997)。以蘆葦生長週期而言，有研究將蘆葦種子浸沒於不同水深 (0.2 至 0.8 公分不等)，發現水深愈深將導致發芽後莖部 (shoot) 高度愈低 (Weisner *et al.*, 1993)；有研究則發現蘆葦對浸沒之耐受度隨年紀增加而提升 (Weisner and Ekstam, 1993)。有學者進行實驗後，發現適當之淺水 (shallow water) 對於蘆葦有較快之生長速率，具體而言，有研究比較一定淺水 (12 cm 水深) 與幾乎無水 (-12 cm 及 0 cm) 之情形，發現前者生長速率高於後者 (Clevering, 1998)；而更進一步比較不同浸沒深度，發現水深 5 至 20 cm 淺水區之生長速率高於水深 70 至 75 cm 深水區 (Vretare *et al.*, 2001)。

適度地對於蘆葦進行移除，此類干擾是有助於提升鳥類的豐富度 (Mérő *et al.*, 2015)。為增加水鳥可利用之空間及增加棲地物種多樣性，北市水利處採人工輔以機具清除蘆葦方式，以較低干擾的方式維護濕地之功能。為進一步量化水深對於蘆葦之影響，有研究 (Hu *et al.*, 2021) 以黑龍江濕地為研究區域，使用水動力模式 MIKE 21 模擬濕地內不同區域之水深，並引用棲地適合度指標 (Habitat Suitability Index, HSI) 建立蘆葦水深 HSI，可發現水深過高及過低之區域所對應之 HSI 均為較低，屬於不良棲地；反之水深適中之區域則有較高之 HSI，屬於良好棲地。由是可知，水深對於蘆葦生長具有關鍵影響，亦有研究以此評估棲地品質。而本研究奠基於上述成果，進一步考量社子島濕地屬於感潮濕地，水位受潮汐影響而有週期變化，為保留水深之實質意義，本研究進一步以浸淹機率描述濕地內各處水深情形 (黃耀陞及黃國文，2022)，建立蘆葦生長速率之浸淹機率 HSI。

本研究以水文及生態監測資料為依據，探討現行人造感潮濕地內蘆葦管理機制並調查灘地蘆葦移除後，蘆葦恢復速率之變化，研討不同浸淹機率與蘆葦恢復狀態之關係，最後建議一套成本較低且方便可行之蘆葦管理機制，進行較有效率之濕地棲地管理。

二、研究方法與材料

2.1 研究區域

社子島之行政區屬臺北市士林區，位於基隆河與淡水河交匯處。基於大臺北防洪計畫，社子島於基隆河畔建有新舊雙堤防，北市水利處於 1973 年、1978 年先於社子島之基隆河畔完成標高 4 公尺之防潮堤，後行政院於 1987 年核定社子島築堤保護案，以 20 年洪水頻率設計堤防高度，並以相對於原有防潮堤較內陸之位置建立標高為 6 公尺防潮堤，形成新、舊防潮堤並立之現況，其中兩防潮堤之間則為北市水利處所主管之社子島感潮濕地，面積共計約 2.4 公頃，位置如圖 1 所示。北市水利處於 2012 年完成社子島感潮濕地（新舊防潮堤間濕地）之營造及整建，透過兩道水門引入基隆河水，並因基隆河感潮特性而具有週期性水文變化，濕地內水體隨之亦有週期性改變之感潮特性。

2.2 蘆葦管理機制

臺北市府工務局水利工程處之 2014 年社子島人工濕地維護報告（北市水利處，2014）指出，社子島濕地岸邊佈滿蘆葦（圖 2），影響水鳥可棲息之環境，考量全面性清除蘆葦可能會干擾原本棲息其中的野生動物（Schmidt *et.al*, 2005），故採用局部人工使用除草機清除，本研究稱為「簡易控制方式」。本研究於 2016 年 7 月，候鳥遷徙季來臨前，以簡易控制方式清除社子島感潮濕地岸邊 2 公尺之蘆葦，如圖 2。

蘆葦簡易控制方式主要內容為：

1. 濕地岸邊 2 公尺範圍內。
2. 割除方式：以人工輔以除草機割除蘆葦，保留 0~15 cm 之莖部，蘆葦根部未擾動。
3. 割除高程範圍：約為平均潮位以上之高程。
4. 割除後復生：不再擾動。



圖 1 研究區域位置圖（底圖擷取自 Google Map 衛星影像）



圖 2 社子島濕地蘆葦分布、移除範圍、高度測量樣區及現地簡易全潮量測位置圖（底圖擷取自 Google Map 衛星影像）

2.3 現地監測

2.3.1 蘆葦高度量測

蘆葦在人工去除後，會逐步恢復原本密植的狀態，為了解恢復的狀態，挑選以樣框內隨機抽樣植株，測量高度作為呈現了蘆葦重新生長狀況指標。於社子島濕地的感潮區距離水域 1 公尺處選擇 6 個地點（圖 2），各架設 1 m × 1 m 的樣框，於蘆葦清除後開始每 2 週至 1 個月量測 1 次（行政院環境保護署，2002）。

2.3.2 簡易全潮測量方法

本研究以簡易全潮測量調查水文特性，以作為水理數值模式驗證之用。考量本研究區域之水位變化係由潮汐所驅動，潮汐週期約為 12~13 小時，以進行全潮測量（一個潮汐週期之水文量測）為佳。惟為簡化人力及設備等投入資源，本研究以量測一次高潮位與一次低潮位間水位變化之簡易全潮測量，將時程縮短為 6~8 小時。水位資料以全測站（Total Station 型號為 GPT-3002LN 4K2888）無規標法進行量測，直接以全測站觀測濕地外及濕地內之水面高程，引用 2017 年北市水利處「臺北市社子島濕地現況地形及斷面測量」之「04R」樁位座標高程為基準，再經計算轉換為水位，以克服研究區域人員不易進入之困難。量測濕地外（基隆河）及濕地內（社子島感潮濕地）之點位，量測位置如圖 2 所示。

2.4 水理數值模式

2.4.1 水理模式

本研究採用一維水理 HEC-RAS 模式進行計算，該模式為美國陸軍工程師團水文工程中心（Hydrologic Engineering Center, HEC）所發展之河川分析系統（River Analysis System, RAS）。HEC-RAS 可執行定量流及變量流演算，包括整體河川系統、樹狀河川系統及單一河段，可模擬亞臨界流、超臨界流及兩者混合流況之水面剖線，HEC-RAS 亦能可採用能量公式或動量公式模擬匯流點與分洪點（Junction）。於定量流分析時，HEC-RAS 以標準步推法求解能量方程式，計算水面線。其中能量方程式為

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \dots\dots\dots(1)$$

上式 Y_1 、 Y_2 分別為斷面水深； Z_1 、 Z_2 分別為斷面底床高程； V_1 、 V_2 分別為斷面平均流速； α_1 、 α_2 為能量修正係數； g 為重力加速度 h_e 為能量損失。

又能量損失方程式為

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \dots\dots\dots(2)$$

上式 $\bar{S}_f$ 為兩斷面間之摩擦坡度， C 為漸闊漸縮損失係數； L 為權重上下游斷面距離，可表示為

$$L = \frac{L_{lob}\bar{Q}_{lob} + L_{ch}\bar{Q}_{ch} + L_{rob}\bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}} \dots\dots\dots(3)$$

上式 L_{lob} 、 L_{ch} 及 L_{rob} 分別為斷面左側、主中央深槽及斷面右側之上下游斷面距離； $\bar{Q}_{lob}$ 、 $\bar{Q}_{ch}$ 及 $\bar{Q}_{rob}$ 分別為斷面左側、主中央深槽及斷面右側之流量。

2.4.2 模式建置

社子島濕地之地形資料主要參考北市水利處 2017 年「臺北市社子島濕地現況地形及斷面測量」成果，以及 2017 年基隆河大斷面測量資料，以及水閘門前後高程、閘門型式等，作為模式地形資料依據。

本研究為探討社子島濕地內與基隆河潮水流動特性，故設定計算範圍及上下游邊界如圖 3 所示，斷面編號 1 為上游邊界，斷面編號 10 為下游邊界；以社子島濕地側邊土堤，以及土堤延伸至基隆河道往上下游延長 50 公尺做為側向邊界。而各斷面間距以地形特徵決定，於變異明顯處建立較密集之斷面。

社子島濕地內共建立有 6 條斷面，各斷面間距為 20 公尺，其中第 6 條斷面為最接近基隆河之斷面，亦為進行現地水位量測之位置；基隆河段則參考大斷面量測點位，共建立有 4 條斷面，各斷面間距為 40 公尺，其中編號第 7 條斷面為最接近濕地之斷面，同樣係進行現地水位量測之位置。此第 6 及第 7 條斷面皆係因配合進行模式驗證之用，可直接比較斷面水位運算結果與實際量測結果。考量濕地內有部分植生，基隆河主河道幾無植生，故將以此特性推估曼寧 n 值。

2.4.3 邊界條件

因社子島濕地內水位受到基隆河之感潮特性而有週期性變化，因此本研究係以基隆河水位變化作為下游邊界條件，分析社子島濕地內水位變化，其中上游邊界條件為圖 3 中位於社子島濕地內之第 1 號斷面；下游邊界條件則為圖中位於基隆河上之第 10 號斷面。基於常時基隆河下游流速較緩，整體地形與坡度變化較小，水面超高之效應不明顯，且參酌主管機關於研究區域附近所架設之水位站，本研究假定基隆河於本研究區域內左右兩岸之水位無差異，假設計算區域之基隆河水體為同步漲退，側向邊界條件為水流無進出。

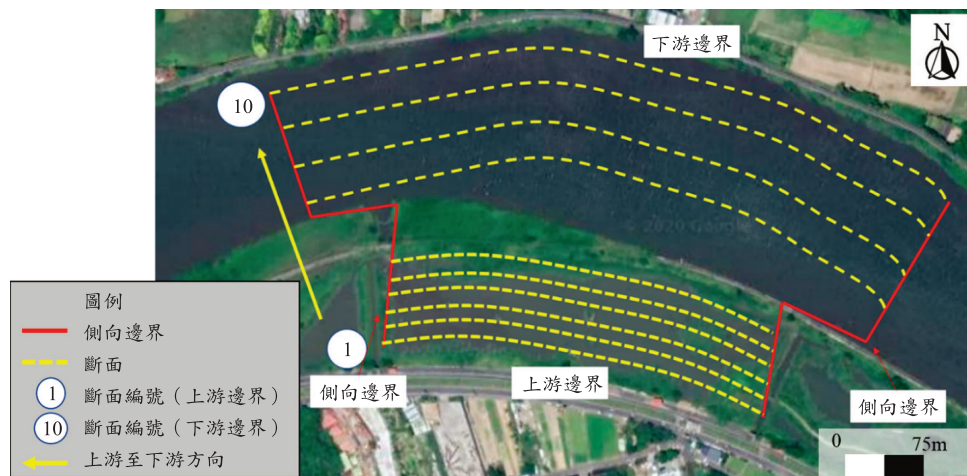


圖 3 水理模式之断面位置、邊界位置及断面編號圖 (底圖擷取自 Google Map 衛星影像)

2.5 水位超越機率

以前述建置 HEC-RAS 水理模式進行感潮濕地內之水位模擬，再將模擬之水位成果作為分析資料，以韋伯法 (Weibull Method) 進行超越機率分析。該方法係先將水位由大至小排列，再以式 (4) 計算水位超越機率

$$P = \left(\frac{m}{N+1} \right) \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

上式表示總數為 N 筆水位資料中，排序第 m 筆之水位發生之機率為何。因此經過此一超越機率之分析，即可討論濕地水位之超越機率。

2.6 棲地適合度

棲地適合度指標之操作原理係建立一適合度指標 (Suitability Index, SI)，其假設適合度指標與棲地承載量 (habitat carrying capacity) 有正比關係，於最佳棲地適合度值為 1.0，而最劣棲地適合度值為 0，因此棲地適合度指標的定義如式 (5)：

$$\begin{aligned} & \text{棲地適合度指標} \\ &= \frac{\text{研究區域棲地狀況}}{\text{最適棲地狀況}} \dots\dots\dots (5) \\ &= \frac{\text{某高程(浸淹機率)該處蘆葦生長速率}}{\text{各高程中(浸淹機率)蘆葦生長最大速率}} \end{aligned}$$

透過此一方法即可將重要之棲地特徵因子量化，並轉化為棲地適合度指標，進而評估棲地品質，而諸多棲地因子，如水深、鹽度、水溫等之適合度指標 (SI)

可被整合為一個棲地適合度指標 (HSI)，表示特定物種所在區域之棲地品質 (Hsu *et.al*, 2014；黃國文，2012；黃耀陞及黃國文，2022)，本研究以蘆葦生長速率對應到其生長處之高程，各高程中之蘆葦生長速率最大者為分母，該高程之蘆葦生長速率為分子，如式 (5)，即可獲得蘆葦生長速率與高程之 HSI，再轉換高程與浸淹機率關係，則可對應於浸淹機率對蘆葦生長速率之影響分析。

三、研究成果

3.1 社子島感潮濕地蘆葦管理及監測

3.1.1 蘆葦清除成果

本研究於 2016 年 7 月進行移除社子島感潮濕地岸邊蘆葦之試驗 (圖 4)，本研究清除前蘆葦總面積為 9,552 m²，約占濕地感潮區面積約為 39.8 %，清除水域至岸邊 2 公尺內共 3,721 m² 蘆葦面積，蘆葦清除比例約為 39.0 %，佔感潮區面積約為 15.5 % (圖 2)。

3.1.2 蘆葦割除後之生長速率

於 2016 年 7 月開始，在 8 月第二週至 9 月第二週每周進行一次，與 12 月進行一次，共計 7 次監測。調查人員選擇在退潮樣區露出灘地時，在每個 1 m × 1 m 的樣框中隨機選擇 10 株蘆葦以捲尺進行測量。在移除後 4 個月，蘆葦高度由平均 15 cm 成長為 146 至 148 cm (圖 5)。由前述資料可分析，移除後之蘆葦平均生長高度 $Y = -0.0046 \times X^2 + 1.5774 \times X + 14.386$ (平均平方誤差 $R^2 = 0.9894$)，其中 X 為累積日數。由於調查時間是 7 月至 12 月，約為夏季至秋季，



圖 4 蘆葦清除前 (左圖) 後 (右圖) 比較圖

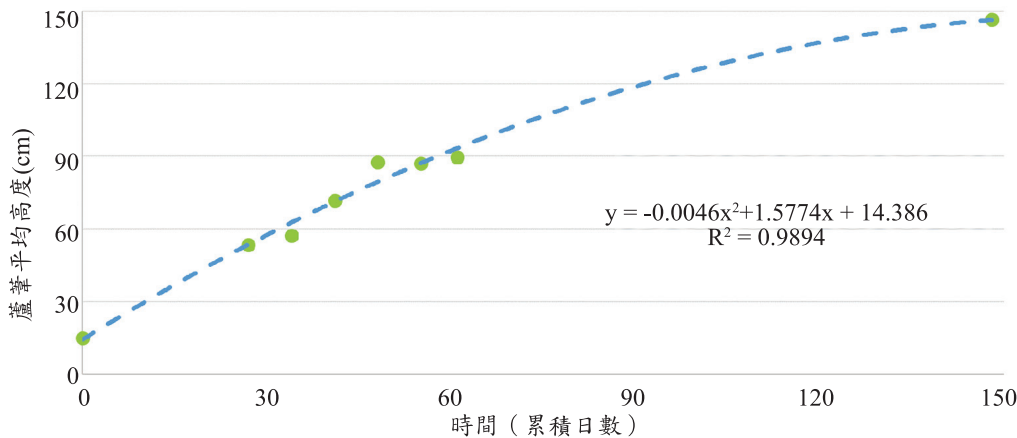


圖 5 移除後之蘆葦生長速率圖 (迴歸方程式僅適用於 7 月至 12 月)

表 1 蘆葦歷次調查高度及生長速率彙整表

	日期 樣區	2016/7/14	2016/8/10	2016/8/17	2016/8/24	2016/8/31	2016/9/7	2016/9/13	2016/12/9	平均生長速 率 (cm/日)
平均蘆葦 高度(cm)	1	15.0	47.3	66.1	84.7	97.2	96.2	97.7	144.2	-
	2	15.0	48.7	56.6	64.2	91.8	82.3	92.6	127.3	-
	3	15.0	57.3	67.0						-
	4	15.0	56.4	48.1	76.2	92.6	93.1	81.3	153.1	-
	5	15.0	57.3	48.2	62.5	73.5	83.1	88.1	148.4	-
	6	15.0	53.7	58.3	70.9	82.0	81.2	88.8	158.6	-
生長速率 (cm/日)	1	-	1.2	2.7	2.7	1.8	0.0	0.3	0.8	1.3
	2	-	1.2	1.1	1.1	4.0	0.0	1.7	0.6	1.4
	3	-	1.6	1.4						1.5
	4	-	1.5	0.0	4.0	2.3	0.1	0.0	1.3	1.3
	5	-	1.6	0.0	2.0	1.6	1.4	0.8	1.1	1.2
	6	-	1.4	0.7	1.8	1.6	0.0	1.3	1.2	1.1

註：1.割除日為 7 月 14 日，割除後各樣區平均蘆葦高度為 15 cm。
2.第三樣區於 8 月 24 日前遭環境教育活動不慎干擾，故不再調查。
3.生長速率若為負值，則以 0 取代。

故此迴歸方程式僅適用此兩季節。蘆葦歷次調查高度及生長速率，如表 1。割除後初期生長速率較快，約在 1.2~2.0 cm/日之間；後期生長放緩，約在 0.6~1.6 cm/

日之間。依據監測數據，蘆葦移除後初期生長速率為後期的 1.3~2.0 倍。

3.2 簡易全潮測量成果

本研究於 2020 年 9 月 30 日 10:00 至 16:00 至社子島濕地進行簡易全潮測量，於舊防潮堤上架設全測站儀 (Total Station)，並以無規標法分別對社子島濕地內與基隆河之水位進行測量，因此可同時比較濕地內外之水位差異。本研究參酌主管機關之建議，由於濕地內外雖有兩處水門可供水體交換，惟較上游處之水門因淤積較高之故，幾乎已無水流進出，因此本研究量測位置以下游水門為主，主要針對水門內外各一處進行水位量測，量測位置如圖 2。

由量測成果可知，濕地內外之最高水位及達到最高水位之時間差異並不明顯，濕地內最高水位與濕地外相差 0.018 公尺；達到時間則相差 20 分鐘。退潮後濕地內外水位落差逐漸上升，此一現象主要係因濕地高程高於基隆河底床高程，當退潮時水體由濕地內大量流出，直至濕地底部大量露出時水位即無法再下降；惟此時基隆河水位仍舊持續下降，因此所測得之水位差異將逐漸明顯。

3.3 水理數值驗證及模擬成果

3.3.1 模式驗證

經參照曼寧 n 值之參考值，本研究設定基隆河道斷面曼寧 n 值為 0.03；濕地內因較多植被生長，本研究假定濕地內曼寧 n 值為 0.05。

本研究首先給定基隆河量測資料作為下游邊界條件進行模擬，並比較模式運算之濕地內水位與實際量測水位差異。經比較可知，二者之差值最小為 0.001 公尺；最大為 0.094 公尺，其誤差應於可容許之範圍內，社子島濕地之水理模式驗證成果如表 2 及圖 6 所示。

表 2 水理模式驗證成果表

時間	量測成果	模擬成果	差值 (m)
	濕地內水位 (m)	濕地內水位 (m)	
10:00	1.25	1.25	-0.001
10:30	1.42	1.45	-0.028
11:00	1.49	1.53	-0.040
11:30	1.42	1.38	0.036
12:00	1.26	1.18	0.085
12:30	1.08	0.99	0.094
13:00	0.91	0.82	0.089
13:30	0.77	0.69	0.076
14:00	0.65	0.61	0.037
14:30	0.53	0.55	-0.015
15:00	0.45	0.49	-0.040
15:30	0.36	0.45	-0.089
16:00	0.31	0.41	-0.098

3.3.2 數值模式模擬分析

本研究參照社子島濕地附近抽水站之外水位紀錄，透過比較 2020 年 9 月 30 日各測站之水位記錄與本研究量測基隆河之水位記錄，建立二者之關聯性，即可以該測站之長期水位資料建立本研究區域之下游邊界條件，並模擬不同水文情境。依據臺北市政府水利處之抽水站資料，以附近大業二抽水站外水位資料較能完整呈現基隆河潮汐特性，故建立大業二抽水站之水位資料與本研究區域外基隆河水位之關聯，並以此進行不同水文情境之模擬。

經比較本研究量測基隆河及大業二抽水站外水位紀錄，可知兩筆資料之趨勢大致吻合，惟大業二抽水站之水位略高於本研究所紀錄之水位，二者差異之平均值約為 0.1282 公尺，詳細水位差異如表 3 所示。經修正差異值後，大業二抽水站外水位資料即可作為數值模式使用之下游邊界。

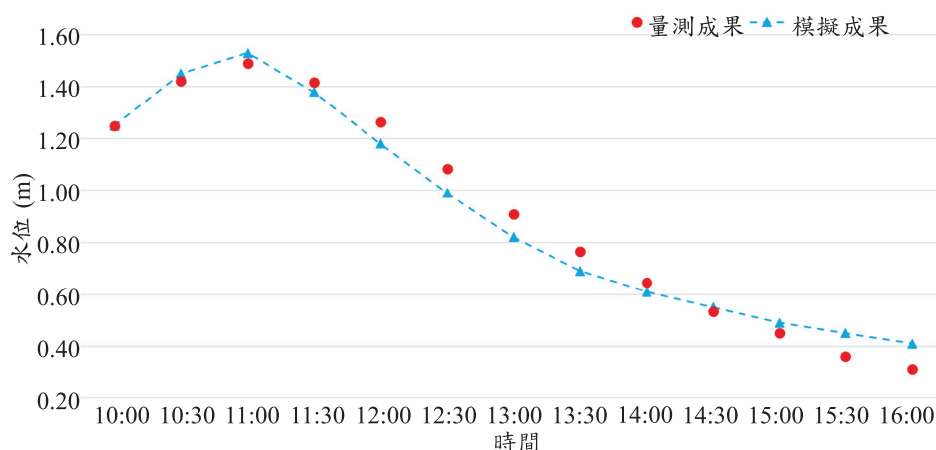


圖 6 水理數值模式驗證 (濕地內，即斷面 6) 成果圖

表 3 大業二抽水站與本研究量測基隆河水位之比較表

時間	大業二抽水站外水位 (m)	現地量測基隆河水位 (m)	差值 (m)
10:00	1.5	1.4	0.103
10:30	1.6	1.5	0.070
11:00	1.6	1.5	0.122
11:30	1.5	1.4	0.099
12:00	1.2	1.1	0.127
12:30	1.0	0.8	0.161
13:00	0.7	0.5	0.187
13:30	0.4	0.3	0.119
14:00	0.1	0.0	0.127
14:30	-0.1	-0.2	0.134
15:00	-0.3	-0.4	0.142
15:30	-0.5	-0.6	0.155
16:00	-0.6	-0.8	0.121
平均水位差			0.128

表 4 社子島濕地特定超越機率之水位表

超越機率	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %	99 %
水位 (m)	1.63	1.38	1.09	0.78	0.63	0.48	0.4	0.35	0.3	0.24

表 5 蘆葦監測各樣區座標、高程及浸淹機率表

樣區	緯度座標 (度)	經度座標 (度)	高程 (m)	浸淹機率
1	25.113654	121.48863	-0.22	99 %
2	25.113552	121.48933	0.90	36 %
3	25.113363	121.49089	-0.13	99 %
4	25.11387	121.49065	0.94	35 %
5	25.114025	121.48964	1.30	23 %
6	25.114045	121.48892	1.40	19 %

3.4 浸淹機率分析

本研究以 2019 年 7 月份修正後之大業二抽水站外水位資料，作為濕地外水位，進行每 30 分鐘之濕地內水位模擬分析。依其水位資料，本研究建立水位超越機率，其中超越機率 10 %、20 %、30 %...99 %所對應之水位如表 4 所示。

以蘆葦樣區高程配合浸淹機率，即可關連分析獲得各樣區之浸淹機率，如表 5，本研究 6 個樣區之浸淹機率最大為 99 %，即高程為較低之 EL. -0.22 m；浸淹機率最小為 19 %，即高程為較高之 EL. 1.40 m。

3.5 蘆葦生長速率之浸淹機率棲地適合度

將歷次調查蘆葦生長速率與樣區高程對應之浸淹機率，由於棲地適合度有變動性，故採用最大值，依

據棲地適合度指標模式整合原則，以直線之包絡線，運用棲地適合度指標方法，進行蘆葦生長速率與浸淹機率之棲地適合度指標 (以下簡稱 INHSI) 分析，成果如圖 7，圖中包絡線即為棲地適合度關係式，可表示為如下式 (6)、式 (7)：

$$HSI = P \times (-0.52) + 1.18, \text{ if } 99\% \geq P > 35\% \dots\dots(6)$$

$$HSI = P \times 3.50 - 0.23, \text{ if } 35\% \geq P \geq 19\% \dots\dots\dots(7)$$

式中 HSI 為棲地適合度、P 為浸淹機率。由前述成果可知，本研究調查樣區之浸淹機率約在 19 ~ 99 % 之間 (HSI 僅適用於此範圍，以及 7-12 月份之蘆葦生長)，當浸淹機率為 35 %時，蘆葦生長速率 HSI 約為 1，為最適棲地環境；當浸淹機率過大或過小，蘆葦生長速率 HSI 皆會愈小。

四、討論

4.1 蘆葦生長速率與浸淹機率

本研究與探討蘆葦管理及生物棲息地品質之關係，同時可由分析蘆葦生長速率與不同浸淹機率之關係，達到管理蘆葦生長與營造物種棲地之目的。分析相關文獻與本研究區域蘆葦生長速率比較之成果，水深為蘆葦生長環境之重要參數，並且許多文獻均以實驗方式量化蘆葦生長與水深之關係 (Engloner, 2008、Clevering, 1997、Weisner *et al.*, 1993、Clevering, 1998、Vretare *et al.*, 2001)，認為蘆葦若長期處於水深過深或過淺之區域，則不利於其生長。

本研究進一步以浸淹機率作為環境參數，參考黃耀陞及黃國文 (2022) 研究將感潮濕地之水深轉換以浸淹機率作為棲地適合度指標分析之作法，由研究成果圖 7 可知，本研究比較濕地內浸淹機率與蘆葦生長速率，發現在浸淹機率 30~40% 之間生長速度較快，其餘則均為較慢，以感潮濕地之水文水力特性論之，代表該區域長期浸淹於水面以下，或長期裸露而無法受感潮水位變化所浸淹，則不利於蘆葦所生長，此研究成果與前述文獻成果相似。由於本研究調查蘆葦生長時間及浸淹機率範圍受限，故本研究所發展之 INHSI，對蘆葦管理僅適用於 7~12 月份及浸淹機率為 19~99% 之區域。未來可持續進行不同時期之蘆葦生長速率及不同區域浸淹機率之監測，或於實際進行蘆葦移除後之前述兩因子調查，以增加 INHSI 之適用範圍。

由於蘆葦係濕地常見植物，並對於棲地品質有重要影響 (Hu *et al.*, 2021)，過去針對蘆葦棲地適合度分

析似乎較少以浸淹機率作為環境因子，而大多以水深為標的因子，惟感潮區域具有週期之漲退潮特性，水深並未長期處於一定值，因此本研究以浸淹機率分析蘆葦生長速率，除可確認學理上與相關文獻研究成果相符，量化資料亦可提供未來相關研究參考。

4.2 具浸淹機率特性之蘆葦管理機制

對於蘆葦族群進行移除時尚未刨除根部，類似紅樹林疏伐未移除樹頭一樣快速復生，造成棲地回覆原狀態，因此如何降低蘆葦族群回復生長速率，為管理上可探討之重點。由本研究成果圖 7 可知，比較浸淹機率 19% 之 $HIS = 0.44$ ，浸淹機率 23% 之 $HIS = 0.51$ ，即為生長速率是 $HIS = 1$ 之 44% 及 51%，代表此區間內蘆葦族群生長速度快速，其餘位置則為生長速度較緩，因此本研究建議主管機關於進行蘆葦族群管理並欲移除時，可先行分析濕地內不同區域浸淹機率，並以量化方式依據浸淹機率與蘆葦族群數量進行移除。具體而言，本研究建議在同樣的移除面積下，挑選 INHSI 較低區域進行移除，代表此區域蘆葦生長速度較慢，可延長再次移除之時間以節省相關成本。

綜上所述，本研究提出之依據浸淹機率選擇 INHSI 較低區域進行之蘆葦管理機制 (簡易控制方式)，在工程實務上具有下列優勢：

1. 干擾低：以人力方式移除，未碾壓擾動底泥，干擾較動用大型機具低。
2. 成本低：成本僅需人工及除草機費用，遠低於大型機具之租金及動復原費。
3. 效率高 (施做時間短)：以人工方式進行移除，無須大型機具動員時間，以及節省大型機具需鋪設鐵板以免因灘地泥濘陷入泥灘等假設工程設置時間。

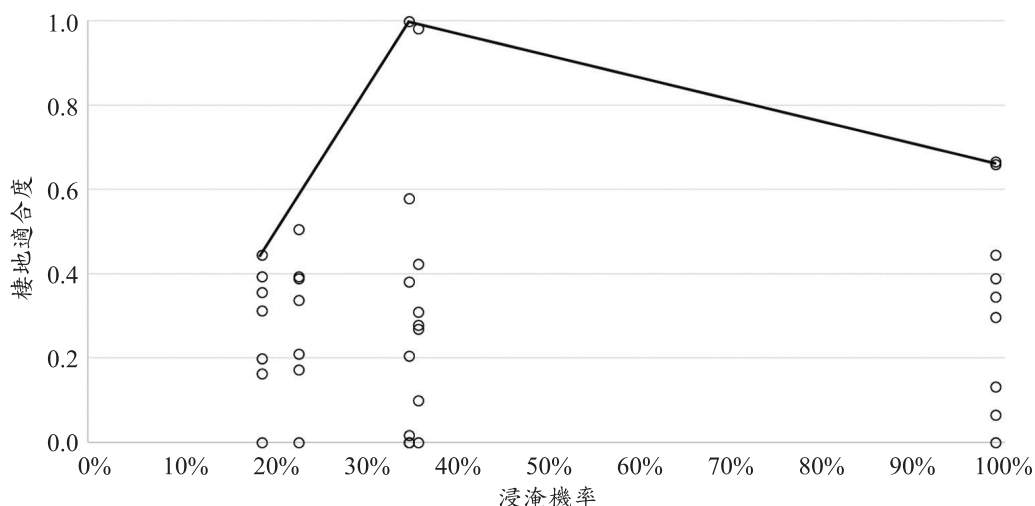


圖 7 蘆葦生長速率之浸淹機率棲地適合度圖

4. 劣化慢 (再次移除間隔期長): 選擇浸淹機率 HSI 較低區域進行移除, 蘆葦生長速率較低, 可延長再次移除時間。

4.3 蘆葦管理機制對棲地環境之影響

以蘆葦管理機制之低成本高效率簡易控制方式移除蘆葦後, 可增加水鳥喜好之灘地面積 (黃耀陞及黃國文, 2022), 雖然高程未改變, 但高莖植被被移除, 棲地環境由不適合水鳥棲息轉變為適合之狀態。

由黃耀陞及黃國文 (2022) 之研究, 小水鴨之浸淹機率棲地適合度 $HIS = 1$, 在浸淹機率於 32.8 %至 45.9 %間, 恰為本研究分析蘆葦生長速率最高之棲地適合度區, 浸淹機率為 35 %, 由此可知僅就浸淹機率此單一因子而言, 蘆葦與小水鴨於該因子上, 可能屬於棲地重疊狀態。因此本研究提出之蘆葦管理機制, 恰可運用在濕地管理上, 協助水鳥獲得較多喜好棲地面積。

五、結論

感潮濕地常發生植被與利用裸灘地水鳥棲地重疊情形, 本研究以社子島人造感潮濕地進行簡易控制方式移除蘆葦, 持續 4 個月之監測, 建置蘆葦生長平均高度與日數之關係式, 並瞭解移除後蘆葦生長速率初期較快, 約為後期的 1.3 ~ 2.0 倍。由整合浸淹機率分析成果與蘆葦監測樣區高程得知, 蘆葦監測樣區之浸淹機率平均為 19 % ~ 99 %, 以棲地適合度指標方法分析蘆葦生長速率之浸淹機率棲地適合度, 當浸淹機率為 35 %時, $HIS = 1$ 。

本研究以干擾低、成本低、效率高、劣化慢之蘆葦管理機制, 考量蘆葦生長速率之浸淹機率 HSI, 除可讓水鳥獲得更多適合棲地面積外, 並可延長再次移除蘆葦時間。故蘆葦管理機制配合考量蘆葦生長速率之浸淹機率棲地適合度, 可達較佳之濕地植被管理成效。

建議運用本研究成果持續管理社子島人造感潮濕地蘆葦, 並進行水文、棲地、鳥類之監測, 以評估管理成效; 並針對植被干擾對其他濕地物種之影響進行詳細評估, 將有助於後續濕地永續經營管理。

謝誌

本研究蒙科技部提供部分經費補助 (計畫編號: MOST 110-2221-E-002-044), 部分成果為作者黃耀陞

之科技部大專生研究計畫成果 (計畫編號: 109-2813-C-002 -016 -E), 該計畫並獲 109 年度大專學生研究創作獎。感謝研究過程中柯思好研究專員協助共同完成現地量測與相關資料分析; 臺北市府工務局水利工程處提供社子島濕地地形及基隆河水位等相關資料, 使本研究得以順利完成, 謹致誠摯謝忱。

參考資料

1. Bancroft GT, Gawlik DE, and K, Rutchev., "Distribution of Wading Birds Relative to Vegetation and Water Depths in the Northern Everglades of Florida, USA", *Waterbirds* 25, 265-277, 2002.
2. Clevering, O. A., "An Investigation into the Effects of Nitrogen on Growth and Morphology of Stable and Die-back Populations of *Phragmites australis*.", *Aquatic Botany*, Vol. 60, No.1, pp.11-25, 1997.
3. Clevering, O. A., "Effects of Litter Accumulation and Water Table on Morphology and Productivity of *Phragmites australis*.", *Wetlands Ecology and Management*, Vol. 5, No. 4, pp.275-287, 1998.
4. Engloner, A. I. "Structure, Growth Dynamics and Biomass of Reed (*Phragmites australis*) - A Review.", *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, Vol. 204, No. 5, pp.331-345, 2008.
5. Fiot, J., and Gratiot, N., "Structural Effects of Tidal Exposures on Mudflats Along the French Guiana Coast", *Marine Geology*, Vol. 228, No. 1-4, pp. 25-37, 2006.
6. Gibbs, J.P., "Importance of Small Wetlands for the Persistence of Local Populations of Wetland-Associated Animals", *Wetlands*, Vol. 13, No. 25-31, 1993.
7. Hsu, C. B., Hwang, G. W., Lu, J F., Chen, C. P., Tao, H. H. and Hsieh, H. L., "Habitat Characteristics of the Wintering Common Teal in the Huajiang Wetland, Taiwan", *Wetlands*, Vol. 34, No. 6, pp. 1207-1218, 2014.
8. Hu, P., Yang, Z., Zhu, Q., Wang, W., and Yang, Q., "Quantifying Suitable Dynamic Water Levels in Marsh Wetlands Based on Hydrodynamic Modelling.", *Hydrological Processes*, Vol. 35, No. 2, pp. 1-14, 2021.
9. Huang, S.C., Shih, S.S., Ho, Y.S., Chen, C.P., and Hsieh, H.L., "Restoration of Shorebird-roosting Mudflats by Partial Removal of Estuarine Mangroves in Northern Taiwan", *Restoration Ecology*, Vol. 20, No. 1, pp.76 - 84, 2010.

10. Ma, Z., Cai, Y., Li, B., & Chen., J. Managing Wetland Habitats for Waterbirds: An International Perspective. *Wetlands*, 30, No. 1, 15-27, 2010.
11. Mérő, T. O., Lontay, L., and Lengyel, S. "Habitat Management Varying in Space and Time: the Effects of Grazing and Fire Management on Marshland Birds", *Journal of Ornithology*, Vol. 156, No. 3, 579-590, 2015.
12. Murray, N. J. and R. A. Fuller., "Protecting Stopover Habitat for Migratory Shorebirds in East Asia", *Journal of Ornithology* Vol. 156:S1, 217-225, 2015.
13. Oosterlee, L., Cox, T. J., Temmerman, S., and Meire, P. "Effects of Tidal Re-introduction Design on Sedimentation Rates in Previously Embanked," *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, No. 244, pp. 1-11, 2019.
14. Paracuellos, "How Can Habitat Selection Affect the Use of a Wetland Complex by Waterbirds?", *Biodiversity and Conservation*, Vol. 15, No. 14, pp. 4569-4582, 2006.
15. Pandiyan, J., Karthikeyan, G., and Nagarajan, R., "Do Salt-pans Functions as Viable Habitat for Migratory Shorebirds – A Case Study in the East Coast of Tamil Nadu, Southern India.", *Journal of Scientific Transactions in Environment and Technovation*, Vol. 9, No. 1, pp. 50-54, 2015.
16. Schmidt, M. H., Lefebvre, G., Poulin, B., and Tschamtké, T., "Reed Cutting Affects Arthropod Communities, Potentially Reducing Food for Passerine Birds.", *Biological Conservation*, Vol. 121, No. 2, pp. 157-166, 2005.
17. Vretare, V., Weisner, S. E., Strand, J. A., and Granéli, W., "Phenotypic Plasticity in *Phragmites Australis* as a Functional Response to Water Depth", *Aquatic Botany*, Vol. 69, No. 2-4, pp.127-145, 2001.
18. Weller, M. W., "Wetland Birds: Habitat Resources and Conservation Implications," Cambridge University Press, U.K. ,1999.
19. WWF Hong Kong, "Management Plan for the Mai Po Nature Reserve," WWF Hong Kong, Hong Kong, 2006.
20. Weisner, Stefan E.B., Wilhelm Graneli, and Börje Ekstam. "Influence of Submergence on Growth of Seedlings of *Scirpus lacustris* and *Phragmites australis*.", *Freshwater Biology*, Vol. 29, No. 3, pp.371-375, 1993.
21. Weisner, Stefan E.B., and Börje Ekstam. "Influence of Germination Time on Juvenile Performance of *Phragmites Australis* on Temporarily Exposed Bottoms – Implications for the Colonization of Lake Beds.", *Aquatic Botany*, Vol. 45, pp.107-118, 1993.
22. 行政院環境保護署,「植物生態評估技術規範」,2002。
23. 吳台琪,「社區參與華江雁鴨自然公園生態監測之研究」,國立臺灣大學農業經濟學研究所碩士論文,2011。
24. 林幸助,臺灣濕地學,水土卷,社團法人臺灣濕地學會出版,新竹縣,2021。
25. 施上粟、黃國文、俞維昇、陳有祺、方偉達,「華江溼地小水鴨棲地復育方案選擇評估」,農工學報,第61卷第1期,頁65-80,2015。
26. 湯京平、張元嘉,「社區發展、市民社會與生態政治-以恆春半島灰面鷯的參與式保育為例」,政治學報,第56期,1-25,2013。
27. 曾威捷,「以小水鴨 (*Anas crecca*) 分布探討華江濕地棲地改善工程的影響」,國立臺灣大學生態學與演化生物學研究所碩士論文,2015。
28. 黃國文,「華江濕地小水鴨度冬棲地之適應性管理」,國立臺灣大學土木工程學系博士論文,2012。
29. 黃耀陞、黃國文,「人造感潮濕地水位調控機制探討及對棲地品質之影響」,農業工程學報,第68卷第2期,頁45-58,2022。
30. 臺北市政府工務局水利工程處,「103度社子島人工生態濕地專業委託維護管理工作成果報告書」,2014。
31. 廖本興,臺灣水鳥圖鑑,初版,晨星出版有限公司,台中市,2012。
32. 蕭木吉、李政霖,「臺灣野鳥手繪圖鑑」,行政院農業委員會林務局,2015。
33. 謝蕙蓮、施上粟,「淡水河系紅樹林濕地疏伐可行性評估研究 (2 / 2)」,經濟部水利署水利規劃試驗所,2007。
34. 謝蕙蓮、李鴻源、侯文祥、盧堅富、范義彬,淡水河大漢新店濕地復育與經營管理之研究 (3 / 3),行政院國家科學委員會成果報告,2011。

收稿日期：民國 112 年 07 月 18 日

修改日期：民國 112 年 09 月 19 日

接受日期：民國 112 年 10 月 30 日