

華江溼地小水鴨棲地復育方案選擇評估

On Evaluating the Selection of Habitat Restoration Projects for the Wintering Common Teals in the Huajiang Wetland

國立臺灣大學
水工試驗所
副研究員

施上粟

Shang-Shu Shih

國立臺灣大學
水工試驗所
技士暨特約助理研究員

黃國文

Gwo-Wen Hwang

崇右技術學院
數位媒體設計系
教授

俞維昇

Wei-Sheng Yu

中華大學
景觀建築學系
副教授

陳有祺

Yu-Chi Chen

國立臺灣師範大學
環境教育研究所
助理教授

方偉達*

Wei-Ta Fang

摘 要

華江溼地位處臺北市野雁保護區，每年 9 月至次年 4 月吸引數以千計的雁鴨造訪，其中以小水鴨為主要優勢鳥種。近年溼地有明顯的陸化現象，造成小水鴨喜好之棲地條件逐年劣化，根據過去研究，創造低潮時裸灘及水域面積有助於吸引小水鴨的使用，但因本區屬淤積區域，因此棲地復育方案的減淤成效成為主要的關鍵議題；而復育方案的選擇，牽涉到許多不同層面的考量，是本文探討的另一重點。本文研擬 4 組復育方案，並結合專家問卷及模糊層級分析法(FAHP)，計算各組方案加權分數，以決定方案優先順序；專家問卷包含 5 個指標：工程成本、減淤成效、工程干擾、棲地適合度、觀賞及環境教育；同時定量評估各方案的減淤成效，評估方式是採用二維水理模式模擬水理條件，並分析與泥砂沖淤相關的水流剪力強度之時間與空間分布特性。專家問卷發現，「棲地適合度」所占權重最大(0.34)、「觀賞及環境教育」次之(0.25)、「減淤成效」再次之(0.20)；FAHP 計算發現 D 方案分數最高；水理模擬及剪力分析發現，D 方案綜合減淤成效最佳，且營造區域的上游及下

*通訊作者，國立臺灣師範大學環境教育研究所助理教授，11677 臺北市文山區汀州路四段 88 號，wtfang@ntnu.edu.tw

游區減淤效果較好。本研究的 FAHP 及水理模擬均建議優先選擇 D 方案，研究結果具有一致性，可提供實務上的參考。

關鍵詞：小水鴨，棲地復育，棲地適合度，水理模式，模糊層級分析。

ABSTRACT

Located at Taipei City Waterbird Refuge, Huajiang wetland attracts thousands of ducks, of which are dominant by common teals, to visit here from September to next April every year. In recent years, wetlands have been led to a significant terrestrial regime from water regime, resulting in a reduction of teals since their habitat preferences could be affected by the condition to be gradually deteriorated. According to current research, the creation of bare mudflats and open water area would attract green-winged teals. However, since this wetland is belonging to a deposition area, the effectiveness of sedimentation reduction programs presents as a major key issue. How to consider selecting habitat restoration program involves various focal points is another focus of this paper to be explored. This paper, therefore, has been developed four types of restoration programs, combined with expert questionnaire and Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP). We calculated the scores in each programs, and detected expert questionnaire including five factors: project cost, sedimentation reduction effectiveness, engineering disturbance, habitat suitability, ornamental and environmental education. While assessing the effectiveness of each programs on reducing silts, we selected assessment methods by using of a two-dimensional hydrodynamic model to simulate the hydraulic conditions and to analyze the changes of shear stress. Experts questionnaire has been detected that the weights of “habitat suitability” to be calculated as a dominant factor (0.34), followed by the factors of “ornamental and environmental education” (0.25), and “sedimentation reduction effectiveness” (0.20), respectively. In addition, Program D has been calculated by FAHP with the highest score as a result of integrated sedimentation reduction from upstream to downstream as well as by the analyses of hydrodynamic simulation. This study suggests to select Program D by combing the approaches of AHP and hydrodynamic simulation with a consistent result to be a great value for practical purposes.

Keywords: common teals, habitat restoration, habitat suitability, water management model, Fuzzy Analytic Hierarchy.

一、前言

臺北市政府於 1993 年依據野生動物保護法設立「臺北市中興橋華中橋野生動物保護區」，並規劃「華江雁鴨自然公園」，1997 年擴大為「臺北市野雁保護區」，國際鳥盟於 1998 年將其列

為國際重要鳥類棲地，2007 年內政部營建署評定為國家級重要溼地，屬「大漢新店國家重要溼地」範疇，而保護區位處華江橋與中興橋間右岸沙洲，一般泛稱「華江溼地」，每年 9 月至次年 4 月間，會有數以千計的小水鴨造訪此地(方偉達等，2008；謝蕙蓮等，2010)。本文所述之小水鴨

(學名：*Anas crecca*，英文名 common teals)，屬雁形目(Anseriformes)、雁鴨科(Anatidae)，又名小亮、小麻鴨、水藻仔，體長約 34 至 43 公分，其嘴部、腳呈現黑色。雄鳥頭部至頸部呈現栗褐色，眼部周圍則呈現暗綠色，展延至後頭側；雌鳥身軀呈現暗褐色，羽緣淡色，過眼線則為黑色，喙部較小，尾下覆羽呈白色。小水鴨經常出現於河口、沙洲、沼澤、湖泊及內陸溪流地帶。小水鴨在臺灣原為普遍性的冬候鳥，其生性合群，在最大數量時可達鳥類總數 90%以上，2000 年在華江地區更高達 10,000 隻(Li *et al.*, 2009)。

本棲地位於臺北盆地西側，為新店溪及大漢溪匯流至淡水河之交匯處，屬感潮溼地(Estuarine wetland)，依據空照圖判視，本區裸灘高程在 1985 年時仍處於高潮位，但 2000 年之後部分灘地高程已高於高潮位，並有植物生長，有明顯的陸化現象(黃國文，2012)。在溼地逐漸陸化後，溼地植物初級生產力減少，以及雁鴨科鳥類多樣性減少及陸鳥多樣性增加的效應(方偉達等，2008)。Johnson and Rohwer (2000)認為增加高潮與低潮間之泥灘地面積，可以增加小水鴨利用，亦可增加其他鳥類多樣性。Austin *et al.* (2003)認為，人為工程改變水文環境、邊緣植被、水質清澈度及無脊椎動物食物等因子，可造成鴨科鳥類棲息及覓食環境的改變。Snell-Rood and Cristol (2003)認為若水深太深，常造成溼地底部缺氧，生態多樣性比自然溼地生態多樣性較差，需要進行生態景觀之調節，以符合生態工程的需求。Hattori and Mai (2001)認為濱水區水位若超過 1 公尺，往往只能吸引小白鷺等邊緣鳥類之水岸鳥進駐，對生態多樣性的幫助不大。因此在設計準則上來說，降低水位增加水鳥的數量，亦可增加其他鳥類多樣性(Tamisier and Grillas, 1994; Bird *et al.*, 2000; Fujioka, 2001; Quan *et al.*, 2002; Ravenscroft and Beardall, 2003)。

然而水位降低岸鳥增加，但是會不會影響核心水鳥的種類和數量呢？Taft *et al.* (2002)認為持續降低水位，會造成鴨科水鳥數量減少。經由地景之改變，如水位高低變更將會更直接影響本地區的生物相組成。因此，如何控制水位，調控水

深以觀察鳥類的種類、數量及多樣性的變化，以及以大尺度範圍調控本區溼地水位，研究如何增加鳥類多樣性及生態核心價值，成為本溼地目標管理主要課題。Hsu *et al.* (2014)認為本區小水鴨棲地最適地表高程介於 EL. 0.3m 至 EL. 0.7 m 間，此高程在高潮位時呈現水域型態、低潮位時則為灘地型態，但本區目前植生面積佔 75%，灘地及水域面積僅佔 25%，因此以疏濬的方式進行小水鴨棲地復育有其必要性(施上粟、黃國文，2012)。臺北市政府雖於本區投入人力及經費經營管理，每年編列百餘萬經費辦理生態渠道疏濬及棲地營造等作業，但因淤積特性使然，疏濬及營造成效受限。故本研究提出數種復育方案，並採用模糊層級分析法計算各復育方案的分數，再根據水理模式分析各種方案的減淤成效，以提高復育成功機會，並降低數年後再疏濬所需之維護管理經費。

二、材料與方法

2.1 研究區域與復育方案

華江溼地位於大漢溪、新店溪匯入淡水河處，溼地內有潮溝連通提供水域棲地，主潮溝之水流方向約略與淡水河平行(圖 1)。華江溼地位於淡水河感潮河段，平均高潮位 EL. 1.40 m，平均低潮位 EL. - 0.85 m，平均潮差約 2.25 m。

復育方案在規劃上有幾個考量，說明如下：
(1)棲地適合度：因 2000 年為度冬小水鴨數量最大值，故以當年之棲地型態為主要復育目標。
(2)賞鳥便利性：由於華江溼地位於市中心區，市民對休閒遊憩需求大，為增進主管機關復育動機及提高預算編列通過之機率，賞鳥便利性應為輔助之復育目標。
(3)環境教育場域：配合民眾需求，可將華江溼地逐步規劃為環境教育場域，此可成為另一輔助之復育目標。
(4)復育位置：規劃於現在小水鴨主要棲息地旁或涵蓋原來主要棲息地，以增加適合棲地之連續性。惟需考量水理及沖淤分析，選擇復育成效較佳位置。
(5)工程成本：為降低工程成本，復育方案需儘量與近年復育作搭配。

復育區位之橫向寬度約 200 m，灘地高程介



圖 1 華江溼地位置圖

於 EL. 0.0 m 至 EL. 0.5 m 之間，坡度約為 0.7% 至 1.4% 之間。分別為方案 A、方案 B、方案 C 及方案 D，其中方案 D 為整合方案 A、B 及 C 之內容，形成一個面積較大之綜合方案。復育方案主要配置包括：灘地、植被、潮溝或潮池、及具植被之小島(圖 2、表 1)。其中，方案 A 填方為 500 立方公尺、挖方為 164,800 立方公尺；方案 B 填方為 440 立方公尺、挖方為 134,000 立方公尺；方案 C 填方為 2,400 立方公尺、挖方為 104,000 立方公尺；方案 D 填方為 4,000 立方公尺、挖方為 342,400 立方公尺。

2.2 模糊層級分析

復育方案的選擇牽涉到許多不同層面的考量，本研究採用專家問卷方式收集不同背景專家對這些復育方案的看法，再使用模糊層級分析法(Fuzzy Analytical Hierarchy Process; FAHP)進行專家問卷的量化分析(表 2)。Buckley (1985)將模

糊成對比較法應用於改良傳統 AHP 上，同時並在模糊矩陣中加入了「一致性」考量的概念，稱之為模糊層級分析法(Fuzzy Analytical Hierarchy Process; FAHP)，FAHP 已被廣泛運用在各種多準則決策分析研究上(Chen *et al.*, 2008; Güngör *et al.*, 2008; Ertugrul and Karakasoglu 2009)。

根據前節復育方案的規劃考量，專家問卷的評估項目包括「工程成本」、「減淤成效」、「工程干擾」、「棲地適合度」、「觀賞及環教」等 5 項指標。其中，「工程成本」是評估復育方案執行所需經費，及現階段是否可行，如疏浚土方外運將增加成本，並可能衝擊交通，若土方不外運則需評估就地挖填平衡的可行性等；「減淤成效」是評估復育方案之水流剪應力大小，或河川輸砂能力大小，剪應力或輸砂能力越大則減淤成效越佳；「工程干擾」是評估復育方案施工期間長短，或維護所需施工日數長短，對棲地環境之干擾程度，所需時間越短則工程干擾越低；「棲

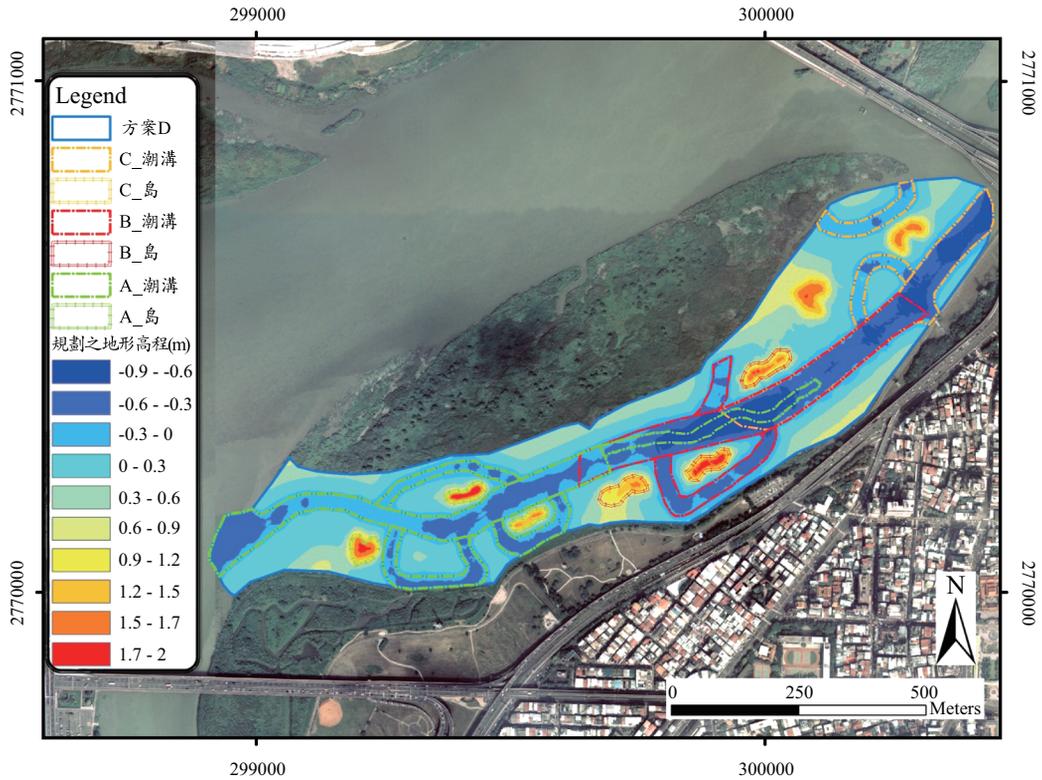


圖 2 四種復育方案範圍及地形高程分佈圖

表 1 四種復育方案之規劃內容

方案	面積(m ²)	位置說明	現況棲地型態	方案內容
方案 A	160,701	內河道上游，上游與新店溪交匯，與賞鳥平台相鄰	水域及沙洲，東南側則有人為填土	3 座具植被小島、3 處潮溝
方案 B	161,602	內河道中游，與桂林路底停車場相鄰	水域及沙洲，西南側則有人為填土	3 座具植被小島、3 處潮溝
方案 C	165,058	於內河道下游，與貴陽抽水站重力排水路相鄰	水域及沙洲	3 座具植被小島、3 處潮溝
方案 D	398,050	方案 A+B+C	水域及沙洲，南側則有人為填土	8 座具植被小島、8 處潮溝

地適合度」是評估復育方案完成後，復育區之平均小水鴨棲地適合度高低，數值愈高表示棲地適合度愈佳；「觀賞及環教」是評估賞鳥及環境教育便利性，若復育方案鄰近賞鳥亭或步道，則觀賞及環境教育價值較高。

復育方案之評分分數總計為 S，計算式為：

$$S_i = \sum_{j=1}^5 W_{i,j} V_{i,j} \dots\dots\dots(1)$$

其中， S_i 為第 i 復育方案的分數，分數最高者，即為最優先方案； $W_{i,j}$ 為第 i 復育方案第 j 項目的權重(0~1)； $V_{i,j}$ 為第 i 復育方案第 j 項目的標準化分數(1~4；1 代表最低分、4 代表最高分)。

2.3. 水理模擬及剪應力分析

本研究採用 TABS-2 模式進行水理模擬分析。TABS-2 為美國陸軍工兵團水道實驗站(U.S.

表 2 復育方案評分項目權重問卷

「華江溼地小水鴨棲地復育方案」評分項目權重問卷

姓名： 性別：

相關專業：生態 工程 環教

由於臺北市野雁保護區(華江橋與中興橋段)近年棲地品質劣化嚴重，本研究擬以考量華江溼地附近生物需求及河川特性，進行華江溼地棲地復育之規劃。為進行各棲地改善方案之評估，特請各領域專家學者提供評分項目權重之建議。本問卷目的為瞭解本區棲地復育方案在「工程成本」、「減淤成效」、「工程干擾」、「棲地適合度」、「觀賞及環教」五個評分項目的權重關係。

	9:1 左側絕對 重要	7:1 左側相當 重要	5:1 左側比較 重要	3:1 左側稍微 重要	1:1 兩側同等 重要	1:3 右側稍微 重要	1:5 右側比較 重要	1:7 右側相當 重要	1:9 右側絕對 重要	
工程成本										減淤成效
工程成本										工程干擾
工程成本										棲地適合度
工程成本										觀賞及環教
減淤成效										工程干擾
減淤成效										棲地適合度
減淤成效										觀賞及環教
工程干擾										棲地適合度
工程干擾										觀賞及環教
棲地適合度										觀賞及環教

工程成本：表示復育方案執行所需經費，以及工程可行性。例如疏浚土方外運經費(部分方案可超過1億元)，土方外運交通衝擊，或土方不外運就地挖填平衡之可行性等。

減淤成效：表示復育方案之減淤成效。例如某方案位置之水流底床剪應力最大，或輸砂演算之泥砂淤積量最小，則定義為減淤成效較佳。

工程干擾：表示復育方案施工期間長短，或維護所需施工日數長短，對棲地環境之干擾程度。例如甲方案工期為200日，乙方案為400日，則甲方案之工程干擾較低。

棲地適合度：表示復育方案完成後，復育區之平均小水鴨棲地適合度高低。例如計算復育區之平均棲地適合度，數值介於0至1之間，數值愈高表示棲地適合度愈佳。

觀賞及環教：表示賞鳥及環境教育之便利性。例如復育方案位置愈容易讓民眾賞鳥，或愈容易進行環境教育，則表示本項之便利性較佳。

Army Corps of Engineers, Waterway Experiment Station, WES)所發展的深度平均二維變量流物理、水質及輸砂模式。適用於河川、港灣及河口等寬淺水域的模擬，能夠具體表現出各物理量的平面分佈。TABS-2 模式的模擬結果可輸出每個網格點的流速、水深、剪應力值。模式之水理控制方程式如式(1)~式(3)：

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = 0 \dots\dots\dots (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{1}{\rho} \left(\varepsilon_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \varepsilon_{yy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \dots\dots (3)$$

$$+ g \frac{\partial a}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} + \tau_x = 0$$

表 3 工程專長專家問卷呈現的面向權重分配

面向/專家	專 1	專 2	專 3	專 4	專 5	專 6	專 7	平均
工程成本	0.23	0.09	0.11	0.05	0.03	0.12	0.08	0.10
減淤成效	0.20	0.19	0.11	0.06	0.09	0.25	0.39	0.18
工程干擾	0.23	0.19	0.28	0.12	0.09	0.11	0.04	0.15
棲地適合度	0.26	0.39	0.31	0.41	0.30	0.42	0.39	0.35
觀賞及環教	0.08	0.13	0.19	0.37	0.50	0.09	0.11	0.22

表 4 生態及環境教育專長專家問卷呈現的面向權重分配

面向/專家	專 1	專 2	專 3	專 4	專 5	平均
工程成本	0.04	0.04	0.04	0.18	0.04	0.07
減淤成效	0.14	0.39	0.06	0.34	0.12	0.22
工程干擾	0.18	0.07	0.09	0.05	0.11	0.10
棲地適合度	0.30	0.44	0.23	0.31	0.39	0.33
觀賞及環教	0.34	0.06	0.58	0.12	0.33	0.28

表 5 專家綜合呈現的面向權重分配

面向	專家專長		綜合專長 平均
	工程	生態及環境教育	
工程成本	0.10	0.07	0.09
減淤成效	0.18	0.22	0.20
工程干擾	0.15	0.10	0.12
棲地適合度	0.35	0.33	0.34
觀賞及環教	0.22	0.28	0.25

$$\tau_y = \frac{gv}{\left(1.486h^{1/6}\right)^2} \sqrt{u^2 + v^2} - \frac{\zeta}{h} V_a^2 \cos \Psi - 2\omega v \sin \phi \dots\dots\dots (6)$$

其中，n：曼寧 n 值；ζ：風剪力係數；V_a：風速；Ψ：風向角；ω：地球旋轉角速率；ψ：局部緯度

三、結果與討論

3.1 FAHP 評估

本研究共獲得 7 位工程專長(4 位水利工程、2 位營建工程、1 位大地工程)及 5 位生態環教專長(3 位生態、2 位環教)之專家問卷，成果示如表 3 及表 4，綜合平均兩種專長之權重如表 5 所示。工程及生態這兩種不同背景的專家對 5 項評估指標的權重排序一致，且權重分數差異不大。各項評分項目之權重：工程成本 0.09、減淤成效 0.20、工程干擾 0.12、棲地適合度 0.34、觀賞及環教 0.25，專家問卷結果以「棲地適合度」權重最大。

再以表 5 的綜合專長平均權重計算各方案分數(表 6)，結果發現：分數最高者為方案 D，其次為方案 A，再依序為方案 C 及方案 B。其中方案

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{1}{\rho} \left(\epsilon_{yx} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \epsilon_{yy} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + g \frac{\partial a}{\partial y} + g \frac{\partial h}{\partial y} + \tau_y = 0 \dots\dots(4)$$

其中，u、v：水平 x 方向及垂直 y 方向之流速；x、y、t：x、y 座標值及時間；ρ：流體密度；g：重力加速度；a：底床高程；h：水深；τ_x、τ_y：各種剪應力(包含底床摩擦力、風力、科氏力等)之總成在 x 方向及 y 方向上之分量，如式(5)及式(6)所示：

$$\tau_x = \frac{gu}{\left(1.486h^{1/6}\right)^2} \sqrt{u^2 + v^2} - \frac{\zeta}{h} V_a^2 \cos \Psi - 2\omega v \sin \phi \dots\dots\dots(5)$$

表 6 各方案加權評分表

方案	工程成本	減淤成效	工程干擾	棲地適合度	觀賞及環教	加權分數
方案 A	2	3	2	3	3	2.79
方案 B	3	2	3	1	1	1.62
方案 C	4	1	4	2	2	2.22
方案 D	1	4	1	4	4	3.37

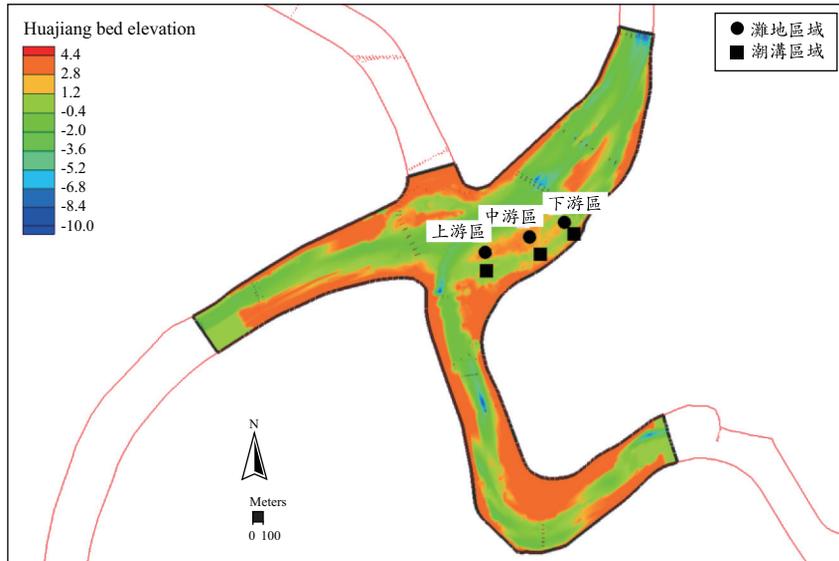


圖 3 華江溼地水理模擬及剪應力分析觀察區位置示意圖

D 於「減淤成效」、「棲地適合度」及「觀賞及環教」之各項分數最高，而此 3 個指標的權重總和已佔 79%，故以權重計算後，即為評分最高之方案。方案 D 雖於「工程成本」與「工程干擾」兩個指標的分數在各方案中最低，但因權重調整後，尚不致於對方案 D 之最高分數造成影響。由此可知，進行棲地復育時，首重物種之「棲地適合度」，以營造物種喜好之棲地環境，回復物種數量；其次為考量「觀賞及環教」，於物種數量回復後，讓民眾可方便親近觀賞或進行環教；再者考量「減淤成效」，若減淤成效佳者，將使管理單位大幅減低維護(清疏)經費。

3.2 水理模擬及剪應力分析

3.2.1 水理模擬結果

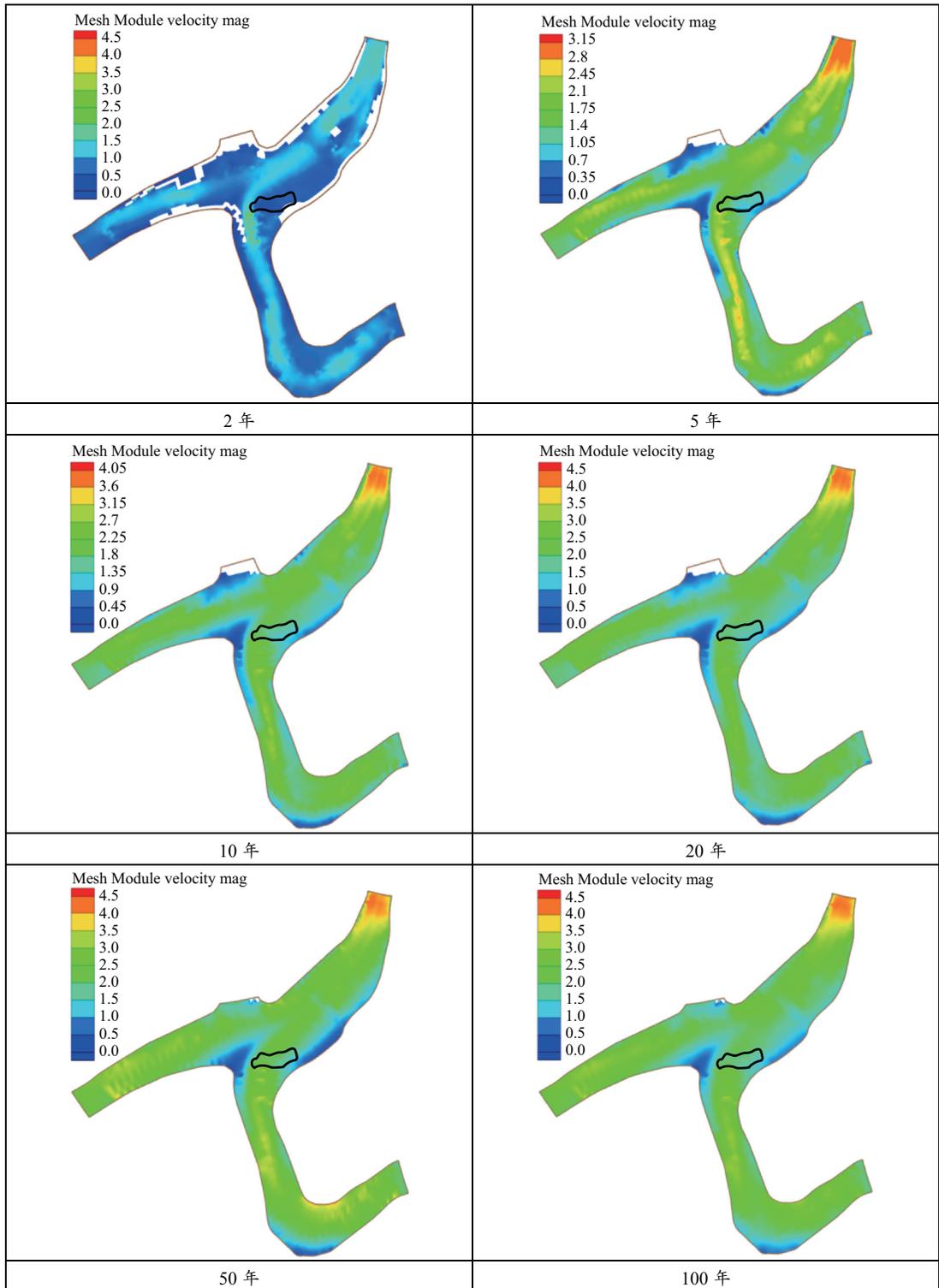
水理模擬及剪應力分析之重點為觀察局部

區域的流速及剪應力值的變化，共有 3 處觀察區：上游區、中游區、下游區，每區再針對潮溝及灘地等兩種不同類型棲地，計算其流速及剪應力值，觀察位置如圖 3 所示。

水理模擬之流速分佈如圖 4~7 所示。結果發現，2 年重現期洪水的潮溝流速分佈與其他重現期洪水情況不同，均以上游區的流速最小、中游區最大，而 5 年(含)以上重現期洪水的潮溝及所有重現期洪水的灘地區，均以上游區流速最大、潮溝以下游區次之、灘地以中游區次之。

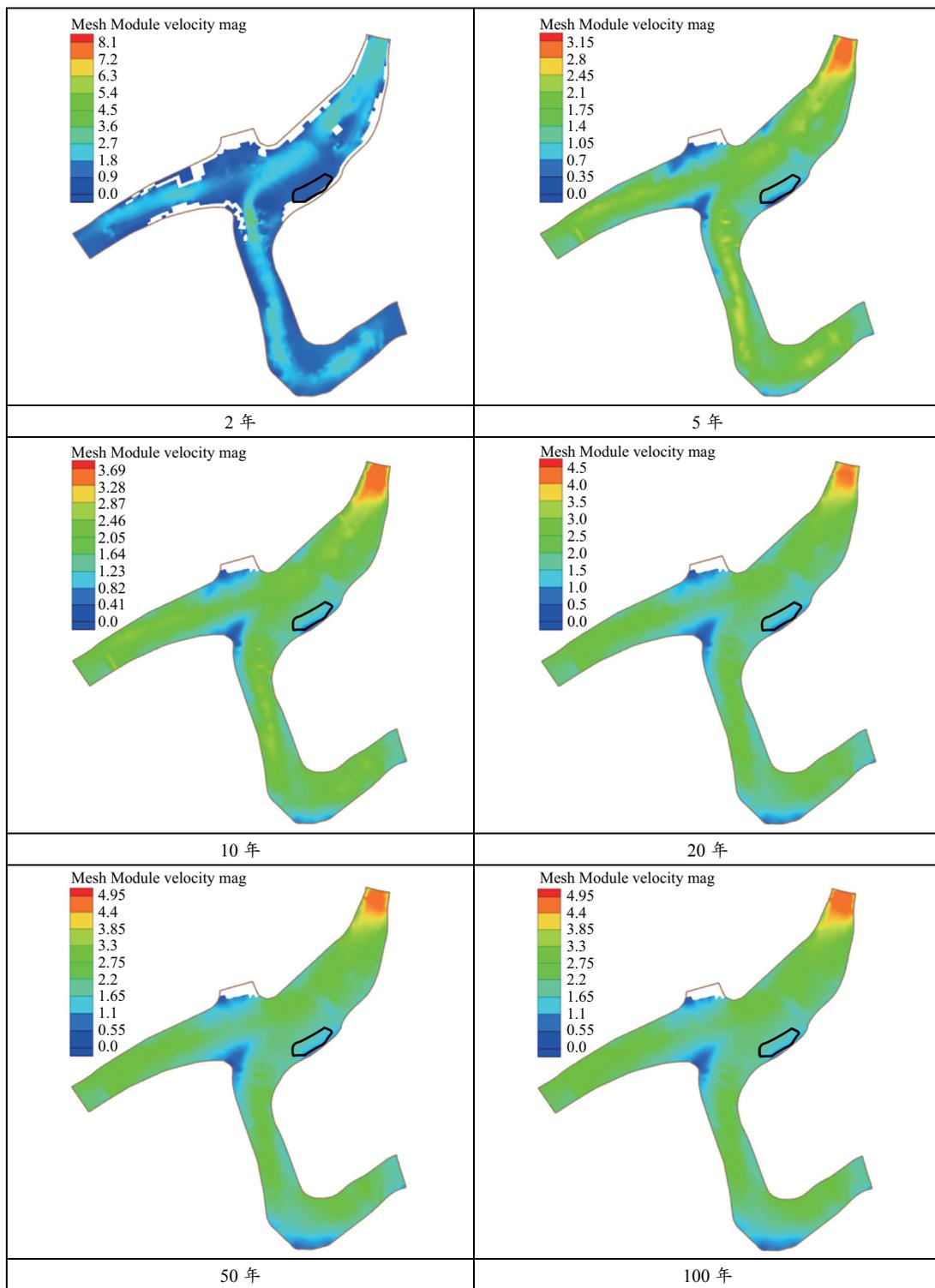
3.2.2 剪應力分析

潮溝現況及各改善方案之水流剪應力變化如圖 8(a)所示。結果發現，對上游區而言，C 方案的剪應力接近現況，A、B 方案剪應力高於現況，D 方案的剪應力在 10 年重現期以上時，低於 A、B 兩方案，但 10 年以下小型流量的表現則



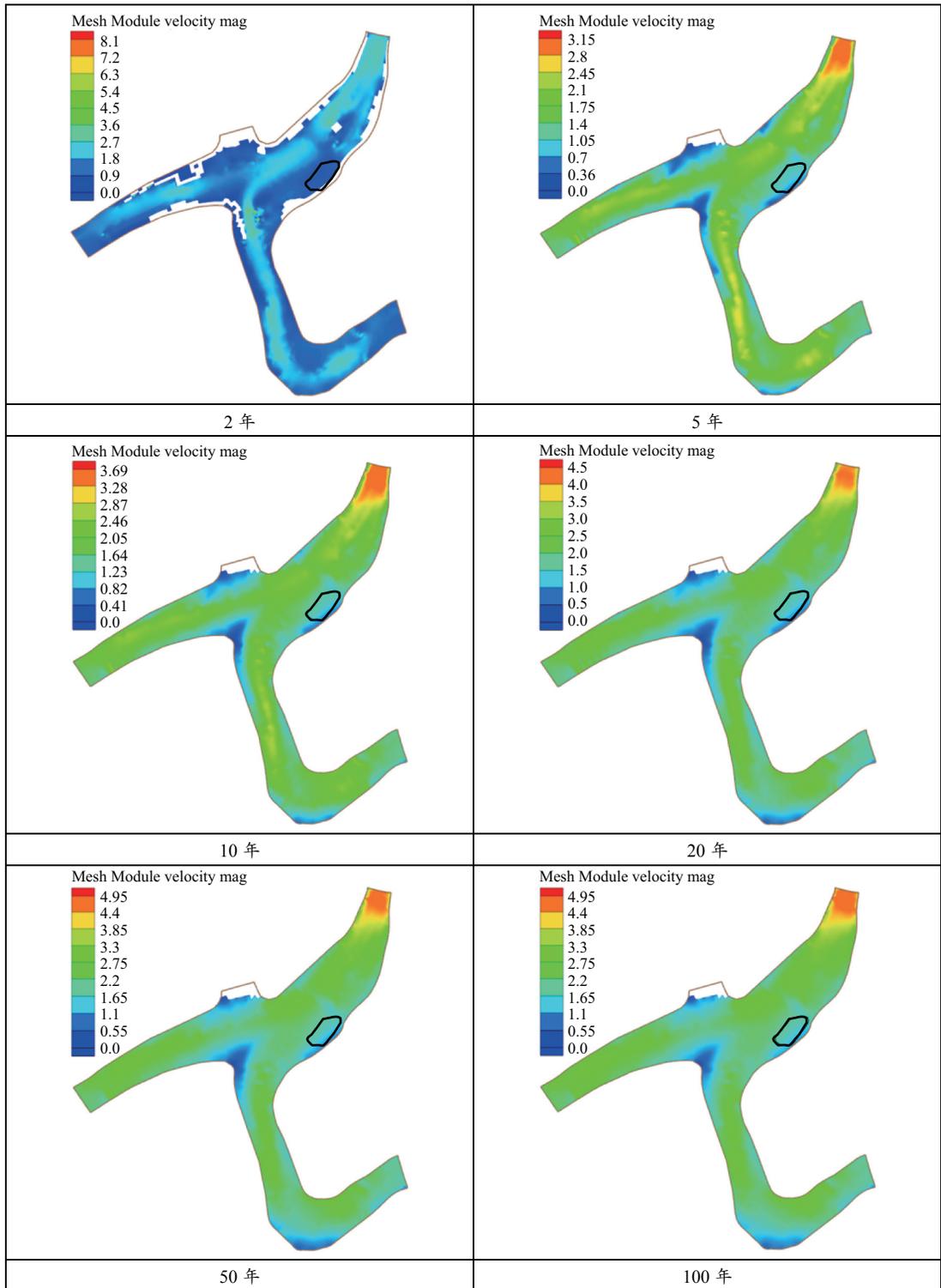
(黑框代表復育方案範圍)

圖 4 復育方案 A 水理模擬流速分佈圖



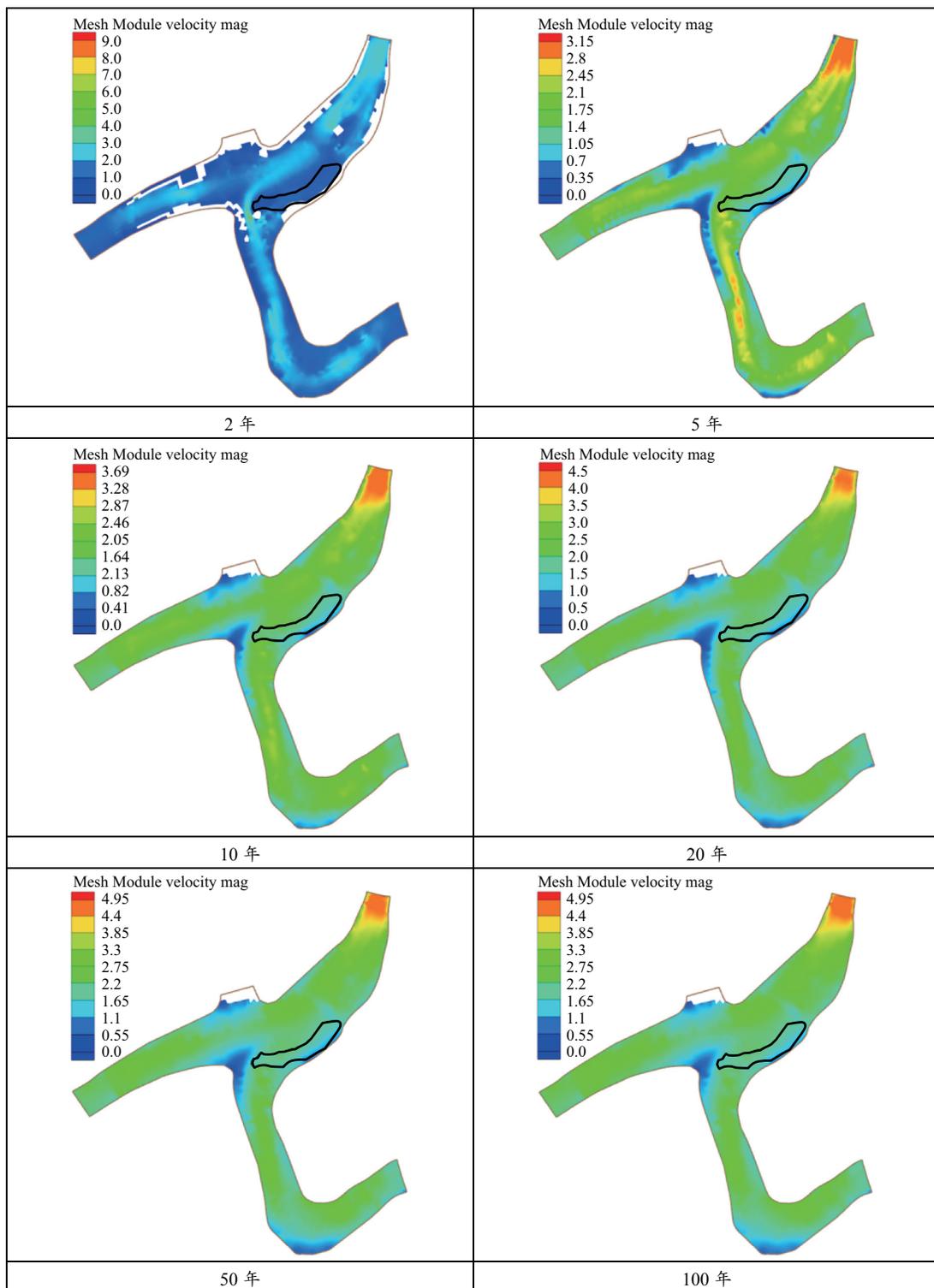
(黑框代表復育方案範圍)

圖 5 復育方案 B 水理模擬流速分佈圖



(黑框代表復育方案範圍)

圖 6 復育方案 C 水力模擬流速分佈圖



(黑框代表復育方案範圍)

圖 7 復育方案 D 水理模擬流速分佈圖

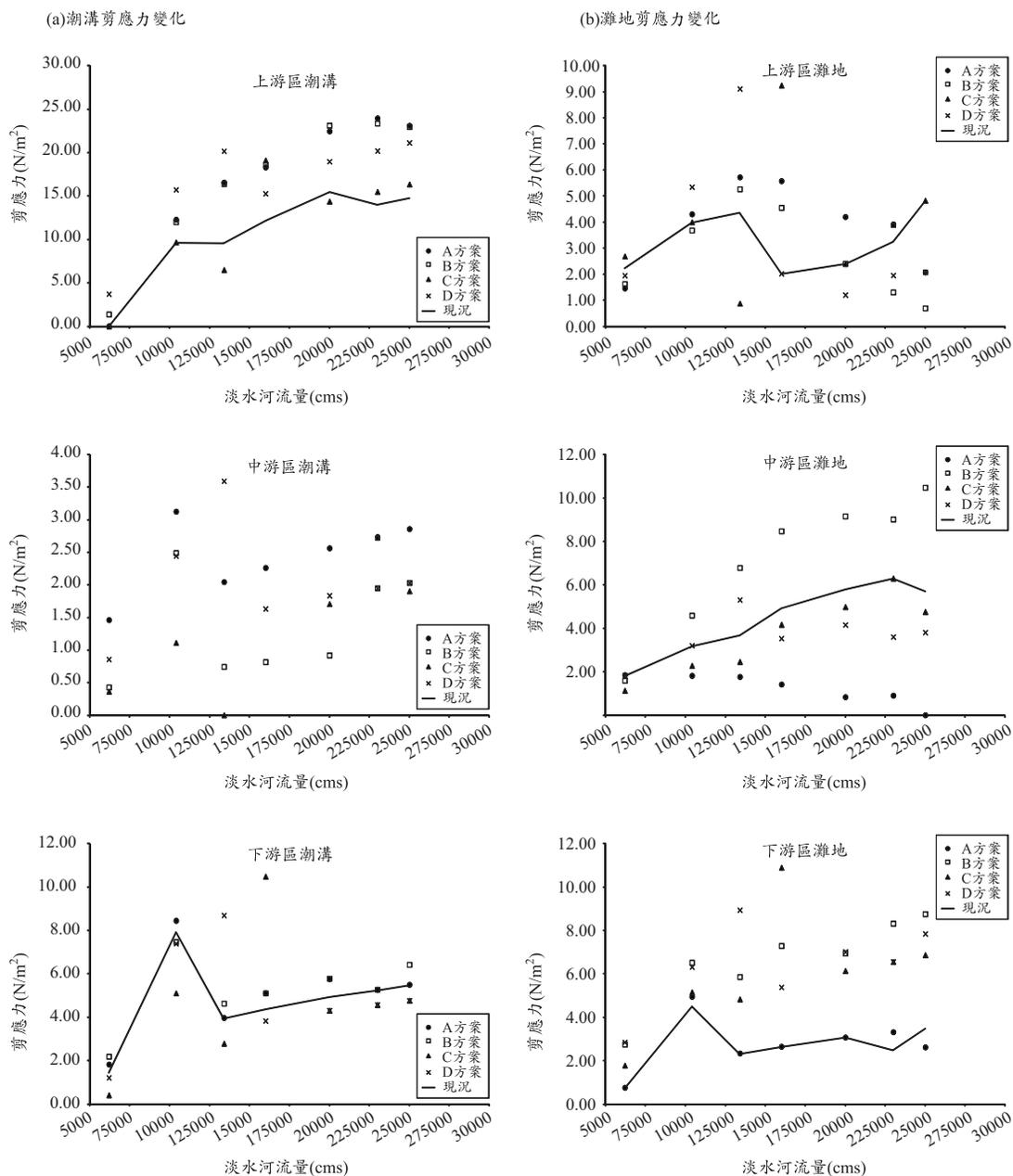


圖 8 復育方案實施前後三處觀察區之灘地及潮溝剪應力隨流量變化情形

以 D 方案較佳；對中游區而言，A 方案剪應力在 10 年以上中大型洪水接近現況，B、C、D 方案剪應力比現況差；對下游區而言，所有方案之剪應力均接近現況，但 10 年重現期洪水 D 方案及 20 年重現期洪水 C 方案的剪應力較現況高。

灘地現況及各改善方案之水流剪應力速變化如圖 8(b)所示。結果發現，對上游區而言，C 方案剪應力接近現況，A 方案在所有方案中剪應力最高，B 方案在 10 年、20 年情況下剪應力大於現況，但其他洪水事件則表現劣於現況，D 方

案在 5 年、10 年情況下優於現況，但其他洪水事件則表現劣於現況；對中游區而言，C 方案剪應力接近現況，B 方案在所有方案中剪應力最高，A、D 兩方案的剪應力低於現況；對下游區而言，除了 A 方案接近現況外，其餘方案的剪應力均大於現況，且以方案 B 的平均表現最佳。

3.3 復育方案優選

以 FAHP 計算專家問卷權重及復育方案分數，發現無論是工程或生態專長的專家，均最重視棲地適合度(權重最大)、最不重視工程成本(權重最小)，故方案選擇上會傾向建議生態價值最高，而不計較工程費用的方案，因此最優先建議 D 方案。另外，專家意見認為棲地規劃及營造時，應符合小水鴨所喜好的棲地型態，並讓棲地營造工程具有賞鳥及作為環境教育場域的價值，也應考慮棲地營造的減淤成效，盡量選擇淤積速度最慢的復育方案。

而水理模擬及剪應力分析顯示 2 年(含)以下的小型洪水時，上游區有比較高的淤積潛勢，5 年(含)以上之中大型洪水，則以中游區有較高的淤積潛勢，觀察近年艾利及科羅莎等大型颶風事件，其規模約為 10-20 年重現期的中大型洪水，因此研判中游區受到泥砂淤積的影響會大於上游區及下游區，亦即灘地及潮溝的中段區域流速最低，是比較容易淤積的區域。

經上述分析，以方案 D 為最優先方案，而 D 方案之上游區及下游區減淤效果最佳(剪應力大)，中游區中段區域減淤效果最差(剪應力小)，應是未來主要疏濬區域。

四、結論與建議

華江溼地鳥類種類、數量及多樣性，同時受到面積效應(area effects) (McArthur and Wilson, 1967)及棲地效應(habitat effects)的影響。在兩個相同面積的溼地，如一個僅有單純水域，另外一個地景形態複雜，擁有灘地、水域，則複雜的棲地比單純棲地可供較多的小水鴨棲息，如果以控制水位進行灘地養護，將增加小水鴨的數量，是良好的水鳥棲地復育方法。在棲地營造的方案

選擇上，經由本研究的專家問卷分析發現，「棲地適合度」所佔權重最大，接近「觀賞及環教」與「減淤成效」，高於「工程干擾」、「工程成本」，顯見棲地營造應特別注意要符合小水鴨所喜好的棲地型態，並讓棲地營造工程具有賞鳥及作為環境教育場域的價值，也應考慮棲地營造的減淤成效，盡量選擇淤積速度最慢的復育方案。根據這五個指標的權重分配，計算各方案分數，以方案 D 分數最高，亦即為建議之最優先方案。且經由模式模擬分析，方案 D 的上游區及下游區之水流剪應力最大(不易淤積)，代表方案 D 有較佳之復育效益(棲地營造後能維持較長時間)，但方案 D 的中游區減淤效果最差(剪應力小)，會是棲地營造後需要投入較多疏濬工程的區域。

綜上所述，「棲地效應」對於增加生物多樣性，其重要性可媲美「面積效應」，但須進行有效的經營管理。建議本區應規劃淡水河生態廊道，並以微棲地串連成連續的水域系統，此一龐大的水域生態基因交換系統，形成「生態藍網」，其網狀的交流路徑，除了對於小水鴨等候鳥的暫棲具有踏石(stepping stones)的效果，對於留鳥生物基因交流，也有很大助益。另外，本研究的 FAHP 是以專家的意見為分析對象，因取樣關係，目前僅獲得 12 位專家的有效問卷，樣本數仍偏低，且工程方面專家人數略高於生態及環境教育的專家人數，可能因此影響加權結果，後續應再增加專家問卷的調查樣本數，並盡量讓工程方面與生態環教方面專家人數均等；而目前所調查之專家亦只有少數具有公務部門背景，可能是造成「工程成本」項目權重最低的原因，但工程成本是攸關棲地營造工程能否推動的關鍵之一，公務部門是否願意支持並持續投入維護管理費用至關重要，建議後續可再針對公務部門的意見進行收集分析，並將其適當導入棲地營造及經營管理計畫中。

謝 誌

本研究承蒙臺北市動物保護處提供研究經費，經濟部水利署第十河川局提供大斷面資料，以及審查委員提供論文修改的寶貴意見，特此致謝。

參考文獻

1. 方偉達、薛怡珍、何一先，2008，河川匯流處低水護岸之生態影響現象--以華江雁鴨自然公園為例，環境與生態學報 1(2)：1-15。
2. 施上粟、黃國文，2012，「臺北市野雁保護區雁鴨棲息地改善規劃(華江橋與中興橋段)案」，臺北市政府動物保護處委託研究。
3. 黃國文，2012，「華江溼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。
4. 謝蕙蓮、李鴻源、侯文祥、盧堅富、范義彬，2010，「淡水河大漢新店溼地復育與經營管理之研究(2/3)」，行政院國家科學委員會委託研究。
5. Austin, J.E., Guntenspergen, G.R., Sklebar, H.T., and Buhl, T.K., 2003. Differences in Distribution of Modified Basins and Ducks Relative to Roadside Transects. *Wetlands*, 23(1): 140-148.
6. Bird, J. A., Pettygrove, G.S., and Eadie, J.M., 2000. The impact of waterfowl foraging on the decomposition of rice straw: mutual benefits for rice growers and waterfowl. *The Journal of Applied Ecology*, 37(5): 728-741.
7. Buckley, J.J., 1985. Fuzzy hierarchical analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, 17 (3): 233-247.
8. Chen, M. F., Tzeng, G.H., and Ding, C.G., 2008. Combining fuzzy AHP with MDS in identifying the preference similarity of alternatives. *Applied Soft Computing*, 8 (1): 110-117.
9. Ertugrul, I., and Karakasoglu, N., 2009. Performance evaluation of Turkish cement firms with fuzzy analytic hierarchy process and TOPSIS methods. *Expert Systems with Applications*, 36 (1): 702-715.
10. Fujioka, M., Armacost Jr, J.W., Yoshiko H., and Maeda, T., 2001. Value of fallow farmlands as summer habitats for waterbirds in a Japanese rural area. *Ecological Research*, 16:555-567.
11. Güngör, Z., Serhadlıoğlu, G., and Kesen, S.E., 2008. A fuzzy AHP approach to personnel selection problem. *Applied Soft Computing*, 9 (2): 641-646.
12. Hattori, A., and Mai, S., 2001. Habitat use and diversity of waterbirds in a costal lagoon around Lake Biwa, Japan. *Ecological Research*, 16: 543-553.
13. Hsu, C.B. Hwang, G.W., Lu, J.F., Chen, C.P., Tao, H.H., and Hsieh, H.L., 2014. Habitat characteristics of the wintering common teal in the Huajiang wetland, Taiwan. *Wetlands*. (in press)
14. Johnson, W.P., and Rohwer, F.C., 2000. Foraging behavior of green-winged teal and mallards on tidal mudflats in Louisiana, *Wetlands*, 20: 184-188.
15. Li, Z.W.D., Bloem, A., Delany, S., Martakis, G., and Quintero, J.O., 2009. Status of Waterbirds in Asia - Results of the Asian Waterbird Census: 1987-2007, Wetlands International, Kuala Lumpur, Malaysia.
16. McArthur, R.H., and Wilson, E.O., 1967. *The Theory of Island Biogeography*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
17. Quan, R.C., Wen, X., and Yang, X., 2002. Effect of human activities on migratory waterbirds at Lashihai Lake, China. *Biological Conservation*, 108: 273-279.
18. Ravenscroft, N.O.M., and Beardall, C.H., 2003. The importance of freshwater flows over estuarine mudflats for wintering waders and wildfowl. *Biological Conservation*, 113: 89-97.
19. Snell-Rood, E.C., and Cristol, D.A., 2003. Avian communities of created and natural wetlands: bottomland forests in Virginia. *The Condor*, 105: 303-315.
20. Taft, O.W., Colwell, M.A., Isola, C.R., and Safran, R.J., 2002. Waterbird responses to experimental drawdown: implications for mul-

tispecies management of wetland mosaics.
Journal of Applied Ecology, 39: 987-1001.

21. Tamisier, A., and Grillas, P., 1994. A review of habitat changes in the Camargue: an assessment of the effects of the loss of biological diversity on the wintering waterfowl community. *Biological*

Conservation, 70: 39-47.

收稿日期：民國 103 年 9 月 26 日

修正日期：民國 103 年 11 月 20 日

接受日期：民國 103 年 11 月 26 日