

# 以鳥類資料評估四草溼地水鳥棲地改善工程之成效

許皓捷<sup>1,3</sup>，池文傑<sup>2</sup>，柯智仁<sup>2</sup>，楊曼瑜<sup>2</sup>，周大慶<sup>2</sup>，李培芬<sup>2</sup>

<sup>1</sup>國立臺南大學生態科學與技術學系；<sup>2</sup>國立臺灣大學生態學與演化生物學研究所；<sup>3</sup>通訊作者

E-mail: [d85225001@ntu.edu.tw](mailto:d85225001@ntu.edu.tw)

**[摘要]** 四草野生動物保護區當中的高蹺鴿繁殖區(A1)及北汕尾水鳥保護區(A2)，於 2002-2004 年之間陸續進行大規模棲地改善工程，目的在增加高蹺鴿繁殖族群及提昇鳥類多樣性。我們在 2003 年 12 月至 2010 年 7 月於保護區進行鳥類調查，並對照鹿耳門溪北岸廢棄魚塢的同期鳥類調查資料，以及 A2 區 1998-2000 年的施工前文獻資料，評估該項工程是否達到預期效果。結果發現 A1 區在施工之後，繁殖期高蹺鴿族群量並未逐年增長；度冬期水鳥群聚結構則在 2003-2005 年之間發生劇烈變動，兩年內物種轉換率達 52%，主要改變為水岸高草游涉禽增加、水域泥岸涉禽減少；2005 年之後群聚結構才趨於穩定。A2 區在棲地改善工程之後，候鳥度冬期的水鳥總個體數並未增加，種類多樣性則非但未增加，甚且逐年遞減；2003-2009 年之間水鳥種類多樣性減少 21%。A2 區施工前的度冬期水鳥群聚結構，在 1998-2003 年之間沒有明顯變動。但施工及完工之後，於 2003-2009 年之間，則持續呈現具方向性之改變，主要是水岸高草游涉禽增加、泥灘涉禽減少。由於對照樣區群聚結構在此期間呈穩定狀態，顯示 A1 及 A2 區鳥類群聚結構劇烈變動為獨立事件，其原因極可能來自棲地改善工程。是項工程沒有成功增加 A1 區高蹺鴿繁殖族群，而在 A2 區，非但未使水鳥種類多樣性增加，反而導致其嚴重銳減。是項工程的必要性未經科學評估，亦未明確釐清課題，且基礎生態資訊掌握不足，導致規劃失當。然而棲地改善的成效評估及生態監測報告並未指出工程未達預期效益之問題，主要原因是監測缺乏目標、抽樣及分析不當、以及結果未正確解讀。我們認為任何棲地改善或復育工程均必須基於生態學資料，並廣納各界建言，避免僅根據特定少數人意見而為之。

**關鍵字：**鳥類、生態監測、棲地工程、溼地復育

## Effectiveness of a Bird-Habitat Improvement Project in Sihcao Wetlands

Hau-Jie Shiu<sup>1,3</sup>, Wen-Jay Chih<sup>2</sup>, Chie-Jen Ko<sup>2</sup>, Man-Yu Yang<sup>2</sup>, Ta-Ching Chou<sup>2</sup> and Pei-Fen Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Ecoscience and Ecotechnology, National University of Tainan; <sup>2</sup>Institute of Ecology and Evolutionary Biology, National Taiwan University; <sup>3</sup>Corresponding author. E-mail: [d85225001@ntu.edu.tw](mailto:d85225001@ntu.edu.tw)

**ABSTRACT** A habitat improvement project for wetland birds in Area A1 and A2 of

Sihcao Wildlife Refuge was conducted from 2002 to 2004 aiming at increasing breeding population of black-winged stilts (*Himantopus himantopus*) and bird diversity in the refuge. To evaluate the effectiveness of the project, we conducted bird surveys in the wildlife refuge and a discarded fish farm 2 km away as a control site from December 2003 to July 2010. We investigated bird assemblage change using linear regressions and ordination techniques. Bird assemblage between 1998 and 2000 was compared to that after the habitat improvement in A2. In A1, black-winged stilt population did not increase after the project was devised. The bird assemblage turnover rate was 52% between 2003 and 2005. In A2, bird assemblage was stable before the project, but after the project, bird richness decreased by 21%, with waterfowls increasing and waders decreasing significantly. Bird assemblage at the control site was stable between 2003 and 2009, suggesting that the habitat reconstruction project may be the cause of bird assemblage changes in A1 and A2. The project failed to meet the intended goals due to insufficient evaluation of its necessity, failure to pin down the issues to address, as well as inadequate biological information to begin with. However, the failure was not revealed by subsequent monitoring projects, whose objectives were ambiguous, methods inappropriate and results inaccurately interpreted. We argue that wetlands and their dependent birds are vulnerable and sensitive to habitat changes. As such a much rigorous framework to evaluate, conduct and monitor habitat improvement is urgently required before any such project is launched.

**Keywords:** bird, monitoring, habitat improvement project, wetland restoration

## 前言

四草溼地鳥類繁多，大部分為遷移性水禽，在此過境或度冬。四草溼地原本是臺鹽實業股份有限公司的鹽場，停曬之後，原址被經濟部選定成立科技工業區。為保護豐富的鳥類資源，臺南市政府將四草溼地部分區域劃設為野生動物保護區，於 1994 年公告成立(臺南市政府 1994.11.30 南市建農字第 232629 號函公告)。

臺南市四草野生動物保護區共分為高蹺鶴保護區(A1 區)、北汕尾水鳥保護區(A2 區)、以及竹筏港水鳥保護區(A3 區)三個分區(圖 1)(臺南市政府 2007)。A1 區位於台 17 線公路與北汕尾路交叉口南側，臺南科技工業區北側，面積約 55 ha。A1 區為鹽沼環境，設立目標在確保高蹺鶴(*Himantopus himantopus*)繁殖。A2 區位於鹽水溪河口北岸，臺南科技工業區南側，面積約 337 ha。A2 區部分區域為鹽田生態文化村及合作農場魚塭；其他區域為鹽沼及紅樹林環境，以保護水鳥為主。A3 區位於鹿耳門溪河口西岸，面積約 132 ha，全區為既有之養殖魚塭。

四草鹽灘原本是臺鹽公司引水曬鹽所形成的人工溼地，自從臺鹽公司停止曬鹽，以及臺南科技工業區設立之後，溼地環境產生改變。一般咸認 A1 區因科技工業區填土，造成水路不通且排水不良；雨季時淹沒高蹺鶴鳥巢致繁殖失敗(姜鈴 1999, 王淑娟 2002)，乾季時則因水體鹽份濃度過高，水生動物不易生存(王淑娟 2002, 翁義聰、李榮祥 2007a)，使水鳥缺乏食物。而 A2 區則因地形單調不易感潮，停止引水曬鹽之後，水路不通、水質惡化(姜鈴 1999, 翁義聰 2004)。因此有修復或加高土堤(e.g., 姜鈴 1999)，甚至挖掘潮溝及淡水池的大規模土木工程手段 (e.g., 翁義聰 2002, 2003, 2004, 2005)，以改善溼地鳥類棲地之議。

為維護溼地環境，確保野生動物保護區原有保育功能，臺南市政府委託社團法人台灣濕地保護聯盟規劃 A1 及 A2 區棲地改善工程(翁義聰 2002, 2003, 2004)，並在 2002-2004 年之間陸續施工。工程內容包括挖深溝渠、增設閘門、改變土地高程、設置淡水池、增加保護區外圍阻絕圍籬等。A1 區施工面積 20 ha，約佔 A1 區全部面積的 36%。A2 區施工面積前後合

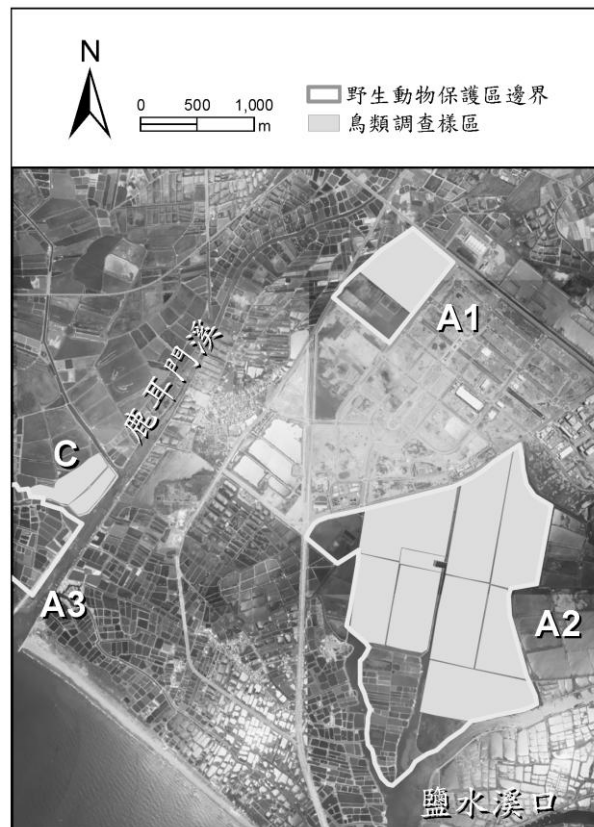


圖 1. 研究樣區位置

計 135 ha，約佔 A2 全部面積的 40%；若扣除不適合水鳥棲息的鹽田生態文化村聚落建築及路面，則比例更高。棲地改善工程的目標，在提升 A1 區高蹺鴿繁殖成功率，以及增加 A2 區棲地多樣性，以提高棲息鳥種數及個體數(翁義聰 2002, 2005)。臺南市政府同時也委託社團法人台灣濕地保護聯盟進行棲地改善工程的生態監測與成效評估(翁義聰 2003, 2004, 翁義聰、李榮祥 2007a, 2007b, 翁義聰 2008, 臺南市政府 2009)。而歷年監測及評估結果，受委託單位均認為此項工程成功吸引鳥類棲息，例如其中一份報告謂：「保護區在棲地營造與加強查緝盜獵後，漁業資源得以涵養且底層初階生物也在穩定的水質與營養鹽下提供基礎生產力，進而吸引鳥類繼續到四草保護區度冬」(翁義聰 2008)。惟檢視歷年相關監測報告，均僅羅列調查到的鳥種及數量，或至多計算多樣性指數；工程效益顯著之結論，僅依據調查結果直觀認定。我們認為鳥類調查僅是鳥

類生態監測的一部分，尚須有完善的試驗設計，並對調查得到的資料進行嚴謹地統計分析。惟上述監測計畫不但缺乏對照試驗，而且假說檢定闕如。另外，多樣性指數若沒有進行比較，或無法呈現其在空間或時間梯度上的分布樣式，則單一時間地點的生物群聚指數，並無法提供任何有意義的生態資訊。因此我們認為相關單位所宣稱的四草溼地鳥類棲地改善工程極具效益之結論，仍有待商榷。

四草溼地的鳥類保育及棲地經營管理具有重要指標意義。四草溼地曾記錄的鳥種約 200 種(臺南市政府 2007)，佔臺灣 533 種有紀錄鳥種(劉小如等 2010)的 1/3 強，是臺灣重要的溼地鳥類棲地。臺南市政府投注大量經費在四草野生動物保護區經營管理；每年固定支出在環境監測約 40 萬、棲地改善 360-900 萬、保育推廣 150-1,200 萬(盧道杰等 2009)。內政部營建署以四草溼地及臺南沿海其他溼地為範圍，於 2009 年成立以溼地景觀為特色的台

江國家公園，並將 A1 及 A2 區的大部分區域劃分為生態保護區。內政部國家重要溼地評選小組則於 2006 年評選四草溼地為國際級之國家重要溼地，並列入 2011-2016 年《國家重要溼地保育計畫》當中(行政院 2010.7.1 院臺建字第 0990034700 號函核定)。

值得注意的是，內政部已在《國家重要溼地保育計畫》中，明訂〈溼地棲地環境營造〉及〈研訂各類溼地設施規劃設計技術規範並進行操作試驗〉為未來數年溼地保育計畫的主要工作項目。內政部營建署城鄉發展分署並已委託社團法人台灣濕地保護聯盟訂定完成《溼地生態設施規劃設計規範》(翁義聰等 2010)。該規範大量引用四草棲地改善工程施作細節，做為溼地棲地營造工程典範。亦即，以工程手段營造溼地棲地或進行溼地復育，似已成為主管機關的主流思維之一。而四草溼地鳥類棲地改善工程，則可能在未來成為臺灣各地溼地棲地營造的設計及施作範本。基於此，我們認為以符合試驗設計概念及統計檢定方法，確認四草溼地鳥類棲地改善工程之成效，有其必要性與急迫性。

臺南科技工業區緊鄰四草野生動物保護區，於 1996 年開始第 1 期整地工程。為瞭解工業區對保護區及鄰近地區的影響，科技工業區相關單位進行長期環境及生態資源調查與監測，包括鳥類調查。我們在 2003 年 8 月開始接手此項鳥類調查計畫。這項長期調查與四草鳥類棲地改善工程的生態監測計畫無關，正可做為檢驗保護區棲地改善工程成效之客觀資料來源。

四草野生動物保護區主要保育標的為溼地鳥類，尤其是繁殖高蹺鴿及冬季遷移性水鳥。我們分析 2003 年冬季至 2010 年夏季的高蹺鴿繁殖期及候鳥度冬期 A1 及 A2 區的溼地鳥類資料，對照保護區外圍同時期，以及保護區在棲地改善工程之前的水鳥群聚結構變異趨勢，以評估四草溼地鳥類棲地改善工程成效。設若研究期間無其他大尺度環境變遷導致溼地鳥類群聚變動，則依據棲地改善工程目

標，我們預測工程完工之後：(1)A1 區高蹺鴿繁殖族群逐年遞增，直到族群量達環境承載量之後趨於穩定；(2)A2 區候鳥度冬期水鳥的種數及總個體數增加，群聚結構也相對應地改變；(3)未進行棲地改善工程的對照樣區，候鳥度冬期的水鳥群聚結構沒有明顯變動。我們希望採取的分析流程與方法，不僅評估四草溼地鳥類棲地改善工程的成效，亦可做為其它長期生態監測資料分析之參考。

## 材料與方法

### 一、研究地區

我們調查 A1 及 A2 區的大部分區域(圖 1)。其中 A1 區調查面積約 33 ha，佔 A1 全部面積的 60%。A2 區調查面積約 260 ha，佔全部面積的 77%。A1 及 A2 區土地利用型態包括魚塢、廢棄鹽田、水池，並由塢堤或道路隔成許多多邊形區塊；堤岸或裸露或覆以草本植物及低矮灌木。我們並在鹿耳門溪北岸選擇緊鄰保護區 A3 區的一個較少人為干擾之廢棄魚塢，做為保護區外圍未進行棲地工程的對照樣區(代號 C)。C 樣區面積約 19 ha，距離 A1 區約 2.5 km，距 A2 區約 2 km。

### 二、資料來源

#### 1. 鳥類調查

我們自 2003 年 8 月開始四草溼地鳥類調查，每月進行 1 次。四草樣區不受潮汐影響，鄰近海岸亦無寬廣之泥質潮間帶供水鳥覓食，因此調查時可以不用考慮潮汐時間。此外，溼地鳥類調查主要藉由目視察覺個體，故白天任何時段均適宜進行。採用群集計數法(counting flocks) (許富雄 2001)，於樣區多邊形區塊的堤岸或道路視線良好處，目視並輔以雙筒及單筒望遠鏡掃視整個區塊，記錄發現的鳥種及個體數。在區塊的停留時間不限，記錄完畢即移動至下一區塊。

#### 2. 文獻資料

我們收集棲地改善工程之前的鳥類調查

資料，以便與施工後的鳥類群聚結構相比較。由於三個分區當中，A2 區面積最大；我們發現歷年四草野生動物保護區鳥類調查文獻的調查範圍均涵括 A2 區，但 A1 區則不一定。因此以 A2 區調查資料，分析施工前後鳥類群聚結構之變異。文獻選擇的依據包括：(1)調查時間在 1996 年科技工業區整地之後，且在 2002 年棲地改善工程之前；(2)調查季節包含候鳥度冬期；(3)每月至少調查 1 次；(4)調查範圍包括 A2 區，且鳥類紀錄分區分月呈現，而可以獨立出 A2 區的紀錄。

### 三、資料分析

本研究僅分析水鳥的部分。四草溼地保育標的以水鳥為主，棲地工程目的也在改善水鳥棲息環境，因此我們僅分析水鳥資料。我們依據林明志(1994)及池文傑(2000)的分類，將記錄到的鳥種區分為 8 個棲地同功群(habitat guilds)：泥灘涉禽、水域泥岸涉禽、水岸高草游涉禽、開闊水域鳥類、水岸陸禽、草原陸禽、樹棲陸禽、以及空域鳥類；各同功群的定義，可參考林明志(1994)的說明。我們僅分析其中的泥灘涉禽、水域泥岸涉禽、水岸高草游涉禽、以及開闊水域鳥類 4 類水鳥。所有分析均以 R 程式語言 v. 2.13.0 進行，排序部份，另以 vegan 1.17-10 套件進行。

#### 1. 高蹺鴿繁殖族群動態

高蹺鴿在台灣的繁殖期為 3-7 月，卵 22-27 天孵化，孵出後至遲第二天即可離巢，為早熟性鳥類(劉小如等 2010)。我們將 5-7 月的 3 次高蹺鴿記錄個體數，視為當季繁殖後的族群之 3 次抽樣。將 A1 區 2004 年 5 月至 2010 年 7 月的 7 個繁殖季抽樣得到之族群量估計值對年份作圖，並進行簡單線性迴歸，以瞭解高蹺鴿族群量在年間的變動趨勢。

#### 2. 度冬期水鳥群聚分析

四草溼地鳥類有很大比例為候鳥，尤以冬候鳥為主要組成鳥種，導致鳥類相呈明顯季節波動，而可分為 4 個時期(許皓捷等 2010)，其中度冬期自 11 月至翌年 3 月。為避免 11 月及

3 月可能的過境鳥類之干擾，我們僅採用 12 月至翌年 2 月做為度冬期資料。

#### (1) 對照樣區與試驗樣區鳥類群聚特性

對照樣區與試驗樣區施工前的鳥類群聚特性應該類似，才具有比較意義。A1 區棲地工程在 2002 年進行，A2 區則在 2003 年底於北側鄰近科技工業區位置展開。雖然我們在 2003 年 8 月才開始定期鳥類調查，但因為工程漸次進行，且規劃及施工單位應該也是以盡量減低對鳥類衝擊的方向施作，因此我們假設 2003 年度冬期試驗區的鳥類群聚，與施工前沒有太大差異；以該季的對照樣區與試驗樣區之鳥類群聚進行群聚結構特性差異的檢定。

我們認為同一棲地同功群的鳥類，縱使種類不同，但對棲地環境變化的反應應該是類似地。因此若 C 區與 A1 及 A2 兩試驗樣區之間的鳥類群聚之同功群結構沒有顯著差異，則 C 區即可做為評估棲地改善工程成效的對照組。我們以  $\chi^2$  test 檢定 2003 年度冬期 A1、A2、C 區的鳥種數在不同水鳥棲地同功群之間的分配是否一致，以確認 C 區是否適合做為這項研究的對照組。

#### (2) 群聚介量變化

我們分析 A2 區度冬期水鳥種數及個體數的年間變化。先刪除出現少於 3 個樣本的稀有鳥種；這些鳥種出現與否的隨機性較大。再將水鳥種數及個體數分別對年份作圖，並進行簡單線性迴歸，以瞭解度冬期 A2 區的群聚介量沿時間梯度的改變趨勢。

#### (3) 群聚結構的時間動態

降趨對應分析(detrended correspondence analysis, DCA)的軸長可以作為樣本之間物種轉換率的指標(Legendre and Legendre 1998)。我們將每一樣區的樣本，分別依據鳥種及個體數，以 DCA 排序。再將每一樣本在 DCA 第 1 軸上的排序分數對年份作圖，並進行簡單線性迴歸，以探討每一樣區的水鳥群聚結構在時間軸上的變動趨勢及物種轉換程度。進行 DCA 之前，先刪除出現少於 3 個樣本的稀有鳥種。另外，為避免優勢種過度主導分析結果，所有

鳥種的個體數均先經對數( $\log(x+1)$ )轉換之後再分析。分析結果若鳥類群聚呈現明顯變動趨勢, 則再以 Whittaker's measure 計算群聚結構變動前後的物種轉換率。另外, 將 A2 樣區度冬期樣本與施工前的調查文獻之冬季資料合併, 同樣進行前述分析, 以比較施工前後的冬季水鳥群聚結構沿時間軸之變異情形。

#### (4) 棲地同功群變化趨勢

若 A1 及 A2 樣區的鳥類群聚沿時間梯度呈現明顯變異趨勢, 則進一步探討該群聚的棲地同功群之改變情形。我們以對應分析 (correspondence analysis, CA) 進行排序; 排序前, 先刪除稀有鳥種, 並將資料以對數轉換。排序結果的前兩軸空間, 再加入各類棲地同功群的鳥類個體數分配資料, 繪製成 triplot。最後, 由 triplot 檢視各類同功群在時間梯度上的改變趨勢。

#### (5) 鳥類族群的改變

我們分析棲地改善工程對各別鳥種的度冬族群之影響。前述 DCA 分析結果, A1 區 2003-2004 年與 2005-2009 年群聚結構明顯不同, 前者甫進行棲地改善工程, 後者則在歷經劇烈變動之後已趨於穩定。我們將 A1 區歷次調查樣本分為 2003-2004 年 ( $n=6$ ) 與 2005-2009 年 ( $n=15$ ) 兩組, 以 Wilcoxon rank-sum test 檢定組間個體數平均是否相同。另外, A2 區 DCA 分析結果, 鳥類群聚結構沿時間梯度軸呈方向性之遞變, 因此將 2003-2009 年每一鳥種每次紀錄個體數對時間進行簡單線性迴歸; 分析前, 個體數資料先經對數轉換, 使之符合常態分布。若某一鳥種歷次調查個體數的最大值少於 10, 則認定為稀有鳥種, 其族群波動的隨機性較高, 不進行此項分析。

## 結果

我們在 2003-2010 年的候鳥度冬期, 共記錄到鳥類 89 種; 每一樣區出現鳥種及棲地同功群分類, 詳見附錄 1。分析的泥灘涉禽、水域泥岸涉禽、水岸高草游涉禽及開闊水域鳥

類, 計 56 種。我們以  $\chi^2$  test 檢定樣區之間調查第 1 年度冬期的同功群分配是否不同。結果顯示樣區之間的同功群組成沒有顯著不同 ( $\chi^2=8.32, df=6, P=0.22$ ), 均以泥灘涉禽鳥種最多, 水域泥岸涉禽次之。因此 C 區可以做為棲地改善工程成效檢驗的對照樣區。

我們對棲地工程成效的兩項預測均無法成立。棲地改善工程並沒有使 A1 區高蹺鴿的繁殖族群顯著增長, 也沒有使 A2 區度冬水鳥的種類多樣性增加。棲地改善工程完工之後, A1 區高蹺鴿歷年繁殖族群對時間的迴歸分析結果, 2004-2010 年之間族群量並未逐年遞增, 而是呈穩定狀態 ( $P=0.89$ , 圖 2)。亦即, 棲地工程沒有達到增加高蹺鴿繁殖族群的預期效果。而 A2 區度冬期每次調查記錄到的水鳥種數, 則在 2003-2009 年之間, 明顯以每年減少 0.9 種的速度逐年遞減 ( $P=0.008$ , 圖 3a)。在 2003 年平均每次調查可以記錄到 25.3 種, 但 2009 年僅 20 種, 種類多樣性減少 21%。另外, A2 區度冬期每次調查的水鳥總個體數, 在 2003-2009 年之間呈穩定狀態 ( $P=0.98$ ); 惟工程甫結束的 2005-2006 年, 每次記錄個體數明顯減少很多, 直至 2007 年才回復 (圖 3b)。以上結果顯示, 棲地工程並沒有達到增加 A2 區鳥種多樣性及總個體數的預期效果, 反而, 鳥種多樣性還逐年遞減。

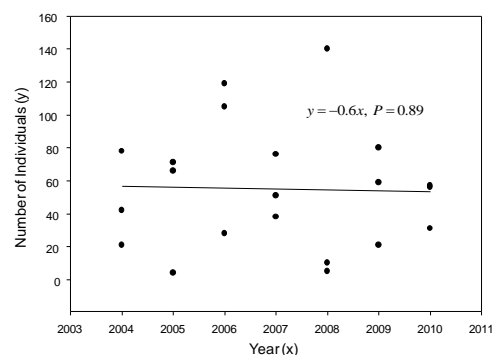


圖 2. A1 區 5-7 月高蹺鴿繁殖族群於 2004-2010 年之間的變化

棲地改善工程後, A1 及 A2 區度冬期水鳥群聚結構均發生明顯變動; 同一期間對照樣區的水鳥群聚則呈穩定狀態。A1 區 2003-2005

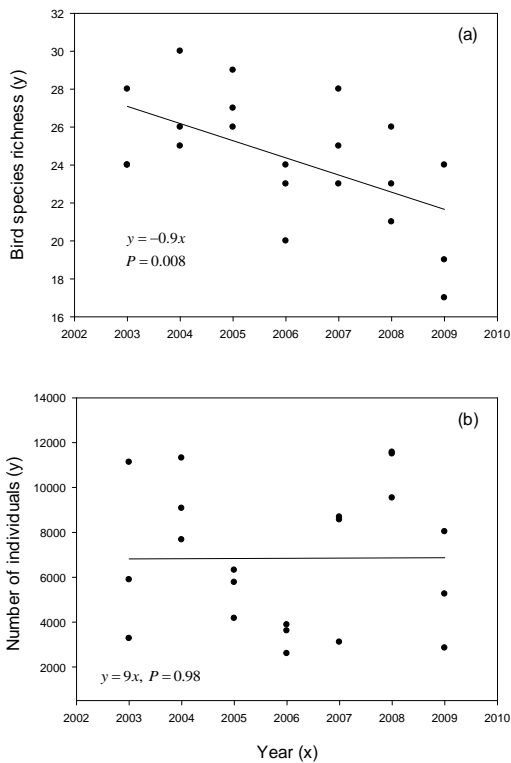


圖 3. A2 區度冬期水鳥(a) 種類多樣性與(b) 總個體數於 2003-2009 年之間的變化

年的群聚結構變動劇烈；樣本在 DCA 第 1 軸排序分數，以每年 0.66 s.d. 的速度急遽改變 ( $P=0.003$ )，2005 年之後才趨於穩定 ( $P=0.89$ ) (圖 4a)。以 Whittaker's measure 計算 2003 與 2005 年之間的物種轉換率，達 52%。A2 區群聚結構則在 2003-2009 年之間，以排序分數每年遞變 0.13 s.d. 的速度改變 ( $P < 0.001$ )，尚無轉趨穩定的態勢(圖 4b)；2003 與 2009 年之間水鳥的物種轉換率為 21%。另一方面，對照樣區 C 區的水鳥群聚結構，則沒有證據顯示在調查期間有年間變異發生 ( $P=0.84$ , 圖 4c)。顯然，A1 及 A2 區水鳥群聚結構的劇烈變動，並非區域性的環境或生態變遷所致，而是僅發生在棲地改善工程樣區的獨立事件。

棲地工程可能是 A1 及 A2 區度冬期水鳥群聚結構劇烈變動的主因。A2 區施工前的度冬期水鳥群聚結構，在 1998-2003 年之間呈穩定狀態。我們整理社團法人臺南市野鳥學會四草鳥類調查報告(許勝發 1999, 2001, 許勝發、莊勝凱 2001)當中，A2 區 1998-2000 年的

度冬期資料，併同本研究的 2003-2009 年度冬期資料，以 DCA 進行群聚結構變異趨勢分析。在此時間尺度之下，1998-2003 年之間，群聚結構並沒有太大改變 ( $P=0.54$ )；但在 2003-2009 年之間，則明顯沿時間梯度軸遞變 ( $P < 0.001$ ) (圖 5)。由於 A2 區棲地工程在 2003-2004 年之間陸續進行，顯示 2003-2009 年之間的群聚結構呈方向性之變異趨勢，與棲地改善工程有關。

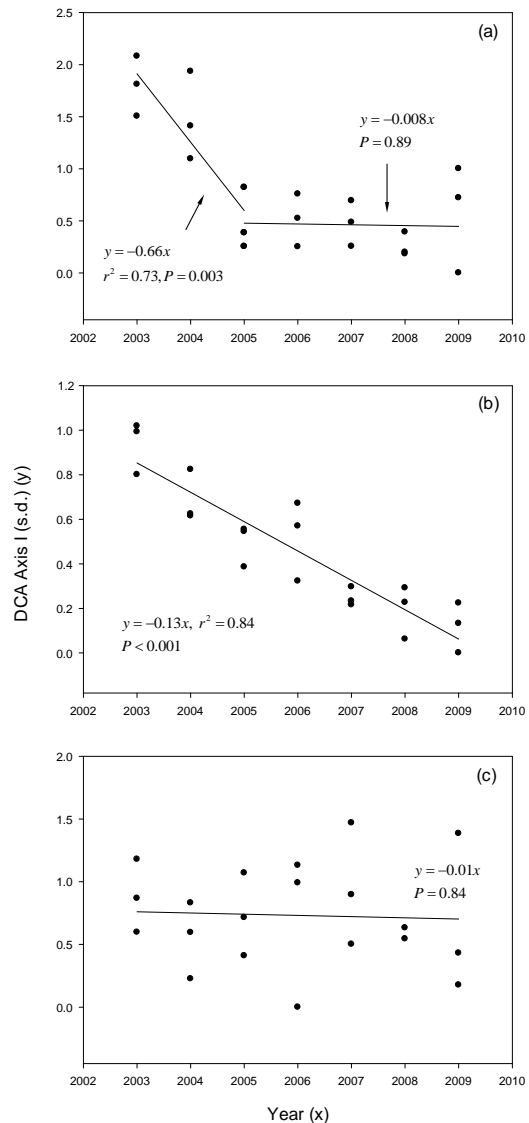


圖 4. (a) A1 區、(b) A2 區、以及(c) C 區於 2003-2009 年的度冬期水鳥群聚結構 DCA 第 1 軸排序分數之年間變化

施工後的度冬期水鳥群聚結構改變，主要

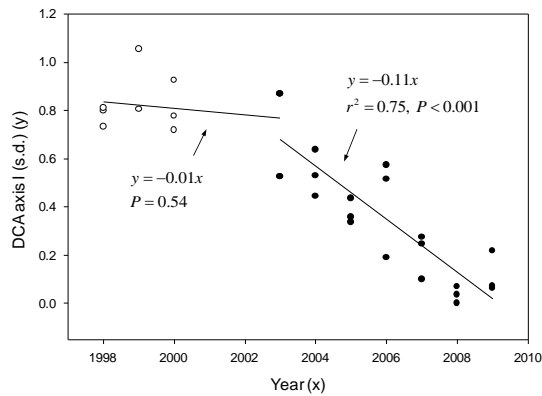


圖 5. A2 區於 1998-2009 年的度冬期水鳥群聚結構 DCA 第 1 軸排序分數之年間變化(空心圓樣本引自文獻, 實心圓樣本為本研究之調查)

在深水域活動的游禽及涉禽增多, 而淺灘活動的涉禽減少。A1 區 2003-2005 年水鳥群聚 CA 的 triplot, 水岸高草游涉禽明顯沿時間梯度軸增加(圖 6a)。其中, 赤頸鴨(*Anas penelope*)、琵嘴鴨(*Anas clypeata*)、小水鴨(*Anas crecca*)在 2003-2004 年的 6 次調查均沒有紀錄, 但在 2005-2009 年則穩定出現, 平均每次分別可以記錄到 26、113 及 39 隻。而屬於水域泥岸涉禽的蒼鷺(*Ardea cinerea*), 數量亦呈增加趨勢; 由 2003-2004 年每次調查平均記錄 4 隻, 增加到 2005-2009 年的 29 隻(Wilcoxon rank-sum test,  $P=0.012$ )。但同樣是水域泥岸涉禽的小白鷺(*Egretta garzetta*), 則從 29 隻減少到平均僅剩 2 隻(Wilcoxon rank-sum test,  $P < 0.001$ )。

A2 區度冬期水鳥群聚 CA 的 triplot, 水岸高草游涉禽在時間梯度軸上, 一樣呈現增加趨勢(圖 6b)。以簡單線性迴歸分析個別鳥種數量改變趨勢, 赤頸鴨( $P < 0.001$ )及尖尾鴨(*Anas acuta*,  $P=0.04$ )均明顯增加。另外, 屬於水域泥岸涉禽的黑面琵鷺(*Platalea minor*), 數量亦明顯增多( $P < 0.001$ )。另一方面, 許多泥灘涉禽鳥種的記錄個體數則明顯呈現遞減趨勢, 包括小青足鵲(*Tringa stagnatilis*,  $P=0.01$ )、赤足鵲(*Tringa tetanus*,  $P=0.04$ )及紅胸濱鵲(*Calidris ruficollis*,  $P=0.006$ )。另外, 開闊水域活動的鸕鷀(*Phalacrocorax carbo*), 曾在棲地工程結束隔年(2005 年)大量出現, 而在 2009 年另有一次

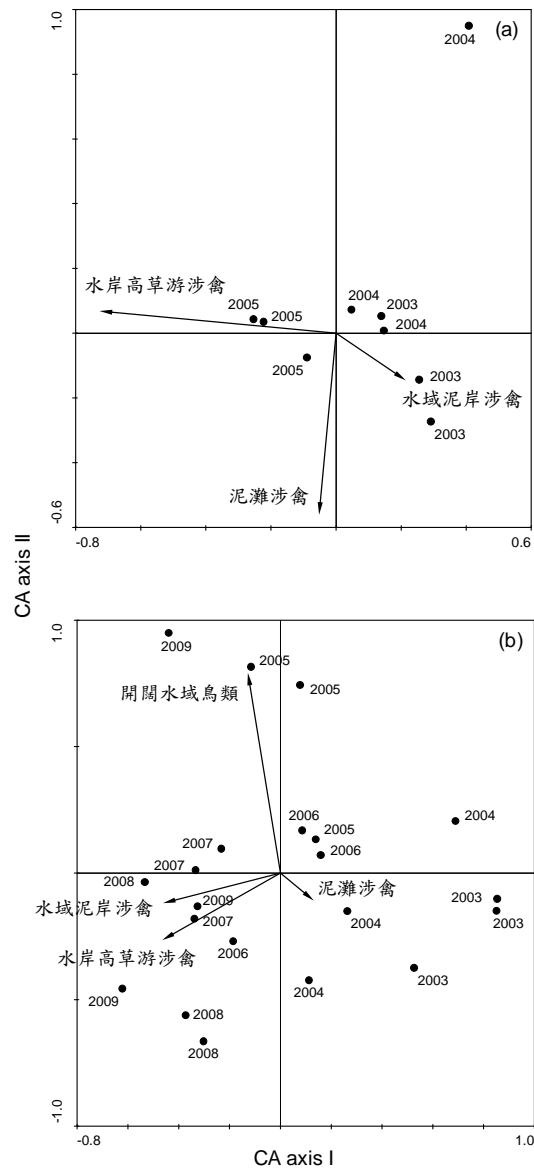


圖 6. (a) A1 區 2003-2005 年, 以及(b) A2 區 2003-2009 年的度冬期樣本在水鳥群聚結構 CA 前 2 軸空間分布與水鳥棲地同功群豐富度變化之 triplot

短暫記錄; 此現象反映在 CA 第二軸(圖 6b)。

## 討論

### 一、改善工程效果

A1 區完工後, 高蹺鴿繁殖族群並未逐年增長。A2 區完工後, 度冬期水鳥種類及個體數沒有增加, 種類多樣性甚至逐年遞減。棲地改善工程非但未達預期效益, 而且造成鳥種多



樣性的銳減。

棲地工程造成水鳥群聚結構劇烈變化。研究期間，水鳥群聚的 DCA 結果，排序分數呈方向性之改變，反映特定類群鳥種漸進性消長。棲地工程增加了深水域面積，使適合深水域活動的游禽及跗蹠較長的涉禽變多。赤頸鴨、琵嘴鴨、小水鴨及尖尾鴨 4 種游禽，從原本數量稀少，甚至沒有紀錄，變成保護區優勢鳥種。跗蹠分別長 157.5 及 126.5 mm 的蒼鷺及黑面琵鷺(跗蹠長依劉小如等 2010 之資料計算)等 2 種涉禽，數量亦明顯增多。但另一方面，卻也使得跗蹠較短，侷限於泥灘或淺水域活動的涉禽，如小白鷺(跗蹠長 91.9 mm)、小青足鵲(52.9 mm)、赤足鵲(50.1 mm)、紅胸濱鵲(20.3 mm) (以上跗蹠長引自 Shiu *et al.* 2005)大幅減少，甚至消失。由於泥灘涉禽減少種數遠多於深水域擴增而增加的游禽及長跗蹠涉禽種數，導致四草溼地水鳥種類多樣性銳減。因為同時期對照樣區的鳥類群聚結構非常穩定，意謂 A1 及 A2 區鳥類群聚結構改變為該區之獨立事件。另外，A2 區工程前 6 年(1998-2003)的鳥類群聚結構相對穩定，顯示 A2 區工程後的鳥類群聚結構劇變，極可能為棲地工程所致。

## 二、工程規劃與成效評估

### 1. 改善工程的必要性

四草溼地鳥類棲地改善工程的必要性，未經科學評估。雖然許多報告指出 A1 及 A2 區因水路不通、排水不良與水質惡化，導致高蹠鵲繁殖失敗及鳥類多樣性降低(e.g., 姜鈴 1999, 王淑娟 2002, 翁義聰 2004, 翁義聰、李榮祥 2007a)，但這些文獻的結論均僅根據原始調查數據直觀認定，缺乏假說測試與統計檢定。我們認為棲地工程之前，應先進行詳細生物學研究，包括與歷史資料及保護區外的對照樣區資料之比對，以確定問題並釐清原因。例如，保護區高蹠鵲的族群動態為何？甚麼因素限制其族群增長？繁殖失敗是否是主因？繁殖成功率是否低於同時期保護區外的繁殖

區？繁殖成功率逐年遞減趨勢是否具統計顯著性？如果繁殖成功率確實逐年遞減，高死亡率是在繁殖期的哪一階段？原因是甚麼？我們認為這些問題應該先釐清，確認族群未增長，甚且持續銳減，並掌握銳減原因，才能進一步討論是否採取積極保育措施。若需積極保育，再進一步討論如何著手？棲地是否需要改善？以及，是否可由工程手段改善？但所有主張以工程改善棲地的報告，完全沒有探討上述課題。

事實上，增進高蹠鵲繁殖成功率，並非迫切保育議題。高蹠鵲在全球廣泛分布且數量龐大，並未受到生存威脅。IUCN 保育等級分類上，高蹠鵲被歸為最不受威脅的安全等級(Least Concern)，且近年族群持續擴張。Amano *et al.* (2010) 發現日本高蹠鵲的春季族群量，在過去 30 年顯著增加。台灣則在 1986 年於大肚溪發現第一筆繁殖紀錄後，至今，高屏溪至關渡的西部沿海溼地，已在多處有繁殖紀錄，並有穩定繁殖區(劉小如等 2010)。在保育資源有限下，仍於 A1 區投入大量經費改善棲地，以提高高蹠鵲繁殖成功率，實有待商榷。

棲地工程的另一目標為提昇鳥類多樣性，但基本課題同樣未釐清。例如，鳥種多樣性銳減趨勢是否具統計顯著性？種類多樣性銳減，是區域性或僅發生在四草溼地的地區性現象？多樣性銳減是普遍現象或僅限於特定類群鳥類？群聚或棲地同功群結構的變異趨勢為何？多樣性銳減或群聚結構改變的原因為何？是否可藉由棲地改善手段減緩特定類群的種類多樣性銳減趨勢？如果可以借助棲地工程改善，則工程對其它類群鳥類有沒有任何負面影響？如果無法兼顧所有分類群，棲地改善的優先順序應為何？我們認為若未能事先釐清這些課題，就沒辦法提出有效保育對策；沒有確認改善目標，就無法妥適規劃工程細節。但所有主張藉由棲地工程提昇鳥類多樣性的報告，均沒有以嚴謹抽樣調查及統計分析方法，經由假說檢驗過程釐清棲地工程之必要性，並明確界定棲地改善目標。

棲地改善工程決策宜慎重。依據我們對於歷史資料的分析，A2 區在施工前的水鳥群聚結構相對穩定，並沒有急遽改變情形。亦即，是項棲地改善不具急迫性，並非沒有充裕時間釐清課題，經各界深入討論之後再決定。

## 2. 工程規劃

棲地改善工程導致泥灘涉禽種數銳減，而可利用棲地面積縮減，應該是主要因素。物種數與面積之間呈對數尺度的線性關係 (MacArthur 1972, Terborgh 1973, Lomolino 2000, 2001, Lomolino and Weiser 2001)。面積愈小，面積增減對物種數的影響愈大。若原本的泥灘地大小即已處於臨界範圍，則稍有減損，便會對泥灘涉禽產生嚴重負面影響。棲地工程擴增深水域面積的同時，必然也縮減泥灘及其它類型棲地。瞭解計畫用地內各類型棲地的大小與空間配置，以及每一棲地同功群鳥類與面積之間的關係曲線 (species-area curve)，才能預估特定類型棲地增減，對該棲地同功群水鳥的影響。也才能提出合理改善目標，並據以進行各類型棲地的空間分布與大小配置之細部規劃。

許多鳥類具棲地忠誠性 (site fidelity) (Gauthreaux 1982, Shiu *et al.* 2006)。例如四草溼地度冬的反嘴鵒 (*Recurvirostra avosetta*)，即大多出現於特定魚塢 (蔣忠祐 1998)。魚塢環境若因工程而大幅變遷，反嘴鵒是否能轉而利用鄰近類似棲地，不無疑問。事先掌握鳥類空間分布及其與棲地因子間的關係，並根據鳥類生態特性規劃棲地工程，或能避免類似問題發生。

確認標的類群，充分掌握相關背景資訊並建構可靠生態預測模型，是棲地改善工程能否成功的重要關鍵。Lin *et al.* (2009) 曾在詳細生態調查及生態模型建構下，預測大鵬灣蚵架移除之後的群聚生物量改變；而蚵架移除之後的群聚變化，也的確與模型預測吻合。然而我們發現四草水鳥棲地改善規劃設計，並沒有收集完整基礎資訊，對工程結果亦無任何具體預估。規劃報告書中完全沒有掌握各類型棲地的

分布、面積、以及承載的鳥種與數量之資訊；對於特定類型棲地的鳥類種數與面積之間的關係，也缺乏著墨。同時，也沒有特定鳥種的空間分布頻度資料，無法瞭解鳥類是否具棲地忠誠性。規劃報告書更缺乏規劃後的棲地分布、面積、預期完工後分布之鳥種及數量的說明。另外，規劃單位對某些生態課題界定有待商榷；例如，泥灘溼地生態系為碎屑式食物鏈 (detritus food chain) (Belgrano *et al.* 2005)，能量主要來自系統外的有機物質 (e.g., 楊小慧 1998)，但規劃單位對整個系統的食物網之物質傳輸與能量流缺乏瞭解下，即認為鹽水溪有機物是必須處理的污染問題 (翁義聰 2004)。棲地工程缺乏明確之改善標的類群，對於完工後的水鳥群聚結構或棲地同功群結構，完全沒有任何預設目標。規劃單位提出增進鳥種多樣性的籠統目標，但對相關生態課題缺乏瞭解；僅以水深設想鳥類棲地利用 (翁義聰 2002, 2003, 2004)，挖深溝渠、堆築土堤、設置深水池，便「期望能藉由微棲地的分區及水質、水位控制，調整循環機制，進而達成提高生物多樣性的目標」 (翁義聰 2004)。

我們對鳥類棲地選擇，以及水鳥群聚與環境之間的關係，瞭解仍然有限；任何以工程手段操作溼地運作的企圖，均應非常謹慎。鳥類與棲地之間，具有空間尺度上的階層關係 (Johnson 1980, Hutto 1985, Wiens *et al.* 1987, Weller 1999, 許皓捷 2003)。在較大的景觀尺度之下，影響水鳥棲地選擇的因素，可能包括溼地類型、面積、多個溼地之間的連結度、景觀單元的空間配置。而在較小的空間尺度之下，影響鳥類在一溼地內的棲地選擇，則可能有水深、底質類型、硬度、食物類別與空間分布、以及種間交互作用等等因素。僅以水深考慮鳥類棲地選擇，以水深與水流循環規劃棲地工程，希望藉由不同深淺水域達成提昇鳥類多樣性目標，顯然過於樂觀。

## 3. 成效評估

棲地改善工程自施工期間，臺南市政府即委託規劃單位進行效果評估 (翁義聰 2003,

2004)，並持續至近期(翁義聰、李榮祥 2007a, 2007b, 翁義聰 2008, 臺南市政府 2009)。但所有監測報告均未指出棲地工程成效是否不彰。

我們認為成效評估不實，是因為監測目標不明確，並且欠缺正確抽樣與統計分析之故。首先，如前所述，棲地改善工程的課題並未確實釐清，導致缺乏明確目標。監測單位對於工程結束之後，某一鳥種或分類群的數量應該增加或減少，及增減幅度，以及各棲地同功群或群聚結構的變動趨勢應該如何，完全沒有預想，導致監測根本沒有目標。監測單位進行鳥類資源調查，但因為棲地工程沒有具體的預想目標或成效，因此調查結果也沒有比較對象與基準，無法據以修正工程內容。

棲地改善工程的生態監測與效果評估，惟賴正確取樣及分析。四草溼地水鳥群聚結構具明顯季節波動，而可分為春過境期、夏季、秋過境期、度冬期 4 期(許皓捷等 2010)。不同年份生態監測，應該在相同地點及季節進行，以使資料具可比較性；並應視樣本變異，適度增加取樣頻度。惟是項棲地改善監測，不同年度的測站數量及位置不盡相同。監測期間也不一樣，有整整 1 年，也有只進行 3 個月者。大部分調查頻度 1 個月僅 1 次，甚至有的 1 季才 1 次，努力量嚴重不足(許皓捷等 2010)。監測結果，只呈現當年度調查得到的鳥種及隻次，至多計算多樣性指數，完全沒有進行年度之間或施工前後的比較及統計檢定。綜合而言，執行單位完全以建立物種名錄方式進行所謂監測，導致監測難具實質意義。

監測報告的結論任意而武斷，缺乏科學根據。除了鳥類，監測單位還調查水質、底棲及水生無脊椎動物、魚類、植物、甚至蜘蛛。其中，某些監測項目(例如植物及蜘蛛)根本與水鳥棲地改善無關。另外，各調查項目之間缺乏共同採樣點，例如 2007 年鳥類調查沿 A1、A2 及 A3 區邊緣及周圍道路進行，底棲無脊椎動物及魚類調查則僅在 A1 及 A2 區內各設置 2 及 3 個測站採樣。監測單位僅綜合全部樣站調

查得到的種類及數量；在沒有鳥類與各調查項目之間的相關性分析，更缺乏鳥類食性的文獻回顧或操作性試驗以確認因果關係之下，卻可以由高經濟魚種之發現，以及蝦蟹有繁殖行為，即宣稱本區「已成為魚蝦蟹資源得以涵養的區域，進而吸引其他鳥類繼續來此度冬」(翁義聰、李榮祥 2007a)。更甚者，在沒有進行藻類調查及生產力測定之下，仍可以結論「底層初階生物也在穩定的水質與營養鹽下提供基礎生產力，進而吸引鳥類繼續到四草保護區度冬」(翁義聰 2008)。監測結論完全缺乏根據。

#### 4. 專業諮詢

任何以工程手段改善棲地的規劃，均應非常謹慎。依據環保署訂定的《開發行為應實施環境影響評估細目及範圍認定標準》，只要位於野生動物保護區，不論規模為何，均需實施環境影響評估。棲地改善雖不是法規所規範的開發行為，但挖深溝渠、堆築土堤、挖掘深水池，實與魚塭開發無異(依前述法規第 17 條，魚塭或魚池之興建，屬於應實施環境影響評估之開發行為)，何況工程面積總計高達 155 ha。然而工程必要性及其可能的負面影響，事前卻看不到任何科學評估與學術討論。

環境影響評估之說明書或報告書必須經環境影響評估審查委員會審查。委員會由政府機關相關人員及各領域專家學者組成，目的在避免思慮偏頗及專業盲點。惟包括棲地改善在內，政府機關在四草野生動物保護區經營管理的專業諮詢上，過度依賴單一團體及個人。不論主張棲地改善、規劃棲地改善、或評估棲地改善成效者，均為同一團體及計畫主持人。過程鮮少與學術社群意見交流，例如，將規劃、施工、以及監測結果發表在學術研討會或具同儕審查制度的學術期刊。由於缺乏學術監督，以致棲地改善成效不彰，卻無法被盡早指出。

#### 三、工程導向的溼地經營思維

以工程手段營造溼地，似已成為當前執政者的主流思維。惟四草的例子說明我們對於溼地生態系的生態過程與機制，瞭解可能還不

夠，思慮也有欠周之處。以人為方式營造溼地環境的任何想法，包括土木工程或植栽方式進行棲地改善或溼地復育，都必須非常謹慎。然而令人憂心的是，內政部已在《國家重要溼地保育計畫》中，明訂〈溼地棲地環境營造〉及〈研訂各類溼地設施規劃設計技術規範並進行操作試驗〉為未來數年溼地保育計畫的主要工作項目。內政部營建署城鄉發展分署也已委託社團法人台灣濕地保護聯盟訂定完成《溼地生態設施規劃設計規範》(翁義聰等 2010)；該規範大量引用四草棲地改善工程施作細節，做為溼地棲地營造工程典範。交通部觀光局雲嘉南濱海國家風景區管理處更在布袋地區進行南布袋溼地改善復育計畫，規模高達 1,385 ha。然而該項計畫的動機卻存在許多邏輯謬誤，例如計畫指出南布袋濕地：「為許多野生動植物的重要棲息地和覓食區、東亞與紐澳候鳥遷移中繼站、台灣少見稀有水鳥的繁殖場及緊臨重要的魚蝦貝苗繁殖區，兼具漁業資源保護及野生動植物保育之功能。近年來隨著黑面琵鷺族群數量的增長，更已發現黑面琵鷺到此棲息覓食之記錄，顯現本區域確實有必要進行積極的復育規劃行動」(雲嘉南濱海國家風景區管理處 2010.8.23 新聞稿；[http://www.swcoast-nsa.gov.tw/13\\_news/news\\_A\\_view.aspx?sn=1187](http://www.swcoast-nsa.gov.tw/13_news/news_A_view.aspx?sn=1187))；既然溼地現況已兼具漁業資源保護與動植物保育功能，且能吸引黑面琵鷺棲息覓食，又何須改善？另外，該計畫的目標之一是「對布袋濕地進行濕地形貌、水文、濕地植被及生態系統之復育、營造與改善，建構自給自足之濕地生態系」(同一新聞稿)，然而規劃範圍有大約 2/3 區域是鹽田及泥灘溼地。一般而言，來自系統外的顆粒性有機物質，是以碎屑食物鏈為主的鹽田及泥灘溼地生態系之主要能量來源(楊小慧 1998, Belgrano *et al.* 2005)。一個以非自營性生態系為特徵的泥灘溼地，其物質循環與能量流動何須要求自給自足？又如何能以此為改善目標？惟同一生態規劃團隊仍以類似四草溼地規劃思維，建議「規劃水路之流通性與水位控制管理，避免過多營養鹽

進入與累積」(同一新聞稿)。我們認為溼地環境不是不能以工程手段予以改善，但是棲地改善所欲解決的課題一定要清楚釐清，其必要性更必須以科學方法審慎評估，而非為改善而改善。另外，棲地改善或溼地復育的目標或指標一定要合理而明確，並必須以假說—演繹的科學方法評估成效，以適時修正。最後，也是最重要的，主政者必須提供公共參與及意見交流的空間，避免特定團體或個人的意見壟斷。

## 誌謝

感謝中央研究院生物多樣性研究中心陳一菁博士提供諸多寶貴意見。國立臺灣大學生態學與演化生物學研究所空間生態研究室歷年研究生及助理協助野外調查，在此一併致謝。

## 引用文獻

- 王淑娟。2002。台南市四草地區年中鳥類景觀資源分析與永續維護的途徑。國立高雄師範大學地理學系碩士論文，144 頁。
- 池文傑。2000。客雅溪口鳥類群聚的時空變異。國立臺灣大學動物學研究所碩士論文，70 頁。
- 林明志。1994。關渡地區鳥類群聚動態與景觀變遷之關係。輔仁大學生物學研究所碩士論文，67 頁。
- 姜鈴。1999。四草野生動物保護區經營管理前期調查分析。臺南市政府，153 頁。
- 翁義聰、李榮祥。2007a。台南市四草野生動物保護區生態監測計畫。臺南市政府，62 頁。
- 翁義聰、李榮祥。2007b。台南市四草野生動物保護區棲地改善暨野鳥覓食環境保護措施生態監測。臺南市政府，27 頁。
- 翁義聰、李錫翰、柯秀鳳、楊英欽。2010。濕地生態設施規劃設計規範。內政部營建署，71 頁。

- 翁義聰。2002。台南市四草野生動物區高蹺鴿繁殖區棲地改善工作及編撰生態保育宣導叢書(一)。臺南市政府。
- 翁義聰。2003。台南市四草野生動物保護區水鳥保護區(A2 區)棲地改善規劃設計、效果評估與經營管理建議工作(二)。臺南市政府。
- 翁義聰。2004。台南市四草野生動物保護區水鳥保護區(A2 區)棲地改善規劃設計、效果評估與協助修訂保育計畫書工作(三)。臺南市政府。
- 翁義聰。2005。四草野生動物保護區棲地改善之探討。台灣濕地雜誌 58:46-52。
- 翁義聰。2008。台南市四草野生動物保護區生態環境監測調查。臺南市政府，74 頁。
- 許勝發、莊勝凱。2001。2001 年台南市四草野生動物保護區鳥類調查及駐站解說教育計劃。臺南市政府，90 頁。
- 許勝發。1999。1999 年台南市四草野生動物保護區鳥類生態調查計劃。臺南市政府，118 頁。
- 許勝發。2001。2000 年台南市四草野生動物保護區鳥類調查報告。臺南市政府，42 頁。
- 許富雄。2001。鳥類資源的調查方法。特有生物研究 3:81-90。
- 許皓捷、李培芬、周大慶。2010。四草溼地鳥類群聚的時間動態。2010 臺南溼地生物資源與經營管理研討會論文集(53-70 頁)。臺南：國立臺南大學。
- 許皓捷。2003。台灣山區鳥類群聚的空間及季節變異。國立臺灣大學動物學研究所博士論文，187 頁。
- 楊小慧。1998。淡水竹圍紅樹林濕地有機物質在底棲碎屑食者中的傳遞：穩定同位素之應用。國立台灣大學漁業科學研究所碩士論文，69 頁。
- 臺南市政府。2007。臺南市四草野生動物保護區保育計畫書。臺南市政府，57 頁。
- 臺南市政府。2009。臺南市 98 年度國家重要濕地生態環境調查及復育計畫期末報告。臺南市政府，169 頁。
- 劉小如、丁宗蘇、方偉宏、林文宏、蔡牧起、顏重威。2010。台灣鳥類誌(上)。行政院農業委員會林務局，687 頁。
- 蔣忠祐。1998。台南四草地區渡冬反嘴鵠棲地選擇因子之研究。東海大學環境科學系碩士論文，52 頁。
- 盧道杰、趙芝良、何立德、裴家騏、葉美智、陳維立、羅柳墀。2009。保護區經營管理效能評估—北東區、中區、南區。行政院農業委員會林務局，181 頁。
- Amano T, T Szekely, K Koyama, H Amano and WJ Sutherland. 2010. A framework for monitoring the status of populations: an example from wader populations in the East Asian–Australasian flyway. *Biological Conservation* 143:2238-2247.
- Belgrano A, UM Scharler, J Dunne and RE Ulanowicz. 2005. *Aquatic food webs: an ecosystem approach*. Oxford University Press, Oxford.
- Clements JF, TS Schulenberg, MJ Iliff, BL Sullivan and CL Wood. 2010. *The Clements checklist of birds of the world: version 6.5*. (available at: <http://www.birds.cornell.edu/clementschecklist/Clements%206.5.xls/view>)
- Gauthreaux SA Jr. 1982. The ecology and evolution of avian migration systems. pp. 93–168. In *Farner DS, JR King and KC Parkes (eds.), Avian Biology, Volume VI*, Academic Press, New York.
- Hutto RL. 1985. Habitat selection by nonbreeding migratory land birds. pp. 455-476. In *Cody ML (ed.), Habitat selection in birds*, Academic Press, Orlando.
- Johnson DH. 1980. The comparison of usage and availability measurements for evaluating resource preference. *Ecology* 61:65-71.
- Legendre P and L Legendre. 1998. *Numerical ecology, 2nd English edition*. Elsevier Science BV, Amsterdam.
- Lin HJ, KT Shao, HL Hsieh, WT Lo and XX Dai. 2009. Effects of system-scale removal of oyster-culture racks from Tapong Bay, southwestern Taiwan: model exploration and comparison with field observations. *ICES Journal of Marine Science* 66:797-810.
- Lomolino MV. 2000. Ecology's most general, yet protean pattern: the species-area relationship. *Journal of Biogeography* 27:17-26.
- Lomolino MV. 2001. The species-area relationship: new challenges for an old pattern. *Progress in Physical Geography* 25:1-21.
- Lomolino MV and MD Weiser. 2001. Towards a more general species-area relationship: diversity on all island, great and small. *Journal of Biogeography*

- 28:431-445.
- MacArthur RH. 1972. *Geographical ecology: patterns in the distribution of species*. Princeton University Press, Princeton.
- Shiu HJ, TS Ding, JE Sheu, RS Lin, CN Koh and PF Lee. 2005. Morphological characters of bird species in Taiwan. *Taiwania* 50(2):80-92.
- Shiu HJ, H Nakamura, K Tokita, E Morishita, E Moriya, YY Wu, S Sakai and H Higuchi. 2006. Route and site fidelity of two migratory raptors: Gray-faced Buzzards *Butastur indicus* and Honey-buzzards *Pernis apivorus*. *Ornithological Science* 5:151-156.
- Terborgh J. 1973. On the notion of favorableness in plant ecology. *American Naturalist* 107:481-501.
- Weller MW. 1999. *Wetland birds: habitat resources and conservation implications*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Wiens JA, JT Rotenberry and B van Horne. 1987. Habitat occupancy patterns of North American shrubsteppe birds: the effects of spatial scale. *Oikos* 48:132-147.

附錄 1. 研究期間(2003-2010 年)各樣區度冬期(12-2 月)鳥種紀錄及棲地同功群分類

中文名	學名 <sup>†</sup>	同功群 <sup>‡</sup>	樣區		
			A1	A2	C
雁鴨科	Anatidae				
花鳧	<i>Tadorna tadorna</i>	WSG		*	
赤頸鴨	<i>Anas penelope</i>	WSG	*	*	
琵嘴鴨	<i>Anas clypeata</i>	WSG	*	*	
尖尾鴨	<i>Anas acuta</i>	WSG	*	*	
小水鴨	<i>Anas crecca</i>	WSG	*	*	
鶇鶇科	Podicipedidae				
小鶇鶇	<i>Tachybaptus ruficollis</i>	WSG	*	*	*
冠鶇鶇	<i>Podiceps cristatus</i>	WSG		*	
鸕鶇科	Phalacrocoracidae				
鸕鶇	<i>Phalacrocorax carbo</i>	OW		*	
鷺科	Ardeidae				
黃小鷺	<i>Ixobrychus sinensis</i>	WS		*	
栗小鷺	<i>Ixobrychus cinnamomeus</i>	WS	*	*	
蒼鷺	<i>Ardea cinerea</i>	WS	*	*	*
大白鷺	<i>Ardea alba</i>	WS	*	*	*
中白鷺	<i>Mesophoyx intermedia</i>	WS	*	*	
小白鷺	<i>Egretta garzetta</i>	WS	*	*	*
夜鷺	<i>Nycticorax nycticorax</i>	WS	*	*	
鸕科	Threskiornithidae				
琵鷺	<i>Platalea leucorodia</i>	WS		*	
黑面琵鷺	<i>Platalea minor</i>	WS		*	
鵟科	Pandionidae				
魚鷹	<i>Pandion haliaetus</i>	OW		*	
隼科	Falconidae				
紅隼	<i>Falco tinnunculus</i>	TG		*	*
遊隼	<i>Falco peregrinus</i>	TG		*	
秧雞科	Rallidae				
白腹秧雞	<i>Amaurornis phoenicurus</i>	WSG			*
緋秧雞	<i>Porzana fusca</i>	WSG		*	
紅冠水雞	<i>Gallinula chloropus</i>	WSG		*	
鴿科	Charadriidae				
灰斑鴿	<i>Pluvialis squatarola</i>	SM		*	
金斑鴿	<i>Pluvialis fulva</i>	SM	*	*	*
蒙古鴿	<i>Charadrius mongolus</i>	SM		*	*
東方環頸鴿	<i>Charadrius alexandrinus</i>	SM	*	*	*
小環頸鴿	<i>Charadrius dubius</i>	SM	*	*	*
長腳鴿科	Recurvirostridae				
高蹺鴿	<i>Himantopus himantopus</i>	WS	*	*	*
反嘴鴿	<i>Recurvirostra avosetta</i>	WSG	*	*	
鶺鴒科	Scolopacidae				
磯鶺鴒	<i>Actitis hypoleucos</i>	SM	*	*	*
白腰草鶺鴒	<i>Tringa ochropus</i>	SM		*	
鶴鶺鴒	<i>Tringa erythropus</i>	SM		*	
青足鶺鴒	<i>Tringa nebularia</i>	SM	*	*	*
小青足鶺鴒	<i>Tringa stagnatilis</i>	SM	*	*	*
鷹斑鶺鴒	<i>Tringa glareola</i>	SM		*	*
赤足鶺鴒	<i>Tringa totanus</i>	SM	*	*	*
中杓鶺鴒	<i>Numenius phaeopus</i>	SM		*	
大杓鶺鴒	<i>Numenius arquata</i>	SM		*	
黑尾鶺鴒	<i>Limosa limosa</i>	SM		*	
斑尾鶺鴒	<i>Limosa lapponica</i>	SM		*	
三趾濱鶺鴒	<i>Calidris alba</i>	SM		*	
紅胸濱鶺鴒	<i>Calidris ruficollis</i>	SM	*	*	*
小濱鶺鴒	<i>Calidris minuta</i>	SM		*	
丹氏濱鶺鴒	<i>Calidris temminckii</i>	SM		*	*
長趾濱鶺鴒	<i>Calidris subminuta</i>	SM	*	*	*
尖尾濱鶺鴒	<i>Calidris acuminata</i>	SM		*	

(續) 附錄 1. 研究期間(2003-2010 年)各樣區度冬期(12-2 月)鳥種紀錄及棲地同功群分類

中文名	學名 <sup>†</sup>	同功群 <sup>‡</sup>	樣區		
			A1	A2	C
黑腹濱鷸	<i>Calidris alpina</i>	SM	*	*	*
彎嘴濱鷸	<i>Calidris ferruginea</i>	SM		*	
琵嘴鷸	<i>Eurynorhynchus pygmeus</i>	SM		*	
流蘇鷸	<i>Philomachus pugnax</i>	SM		*	
長嘴半蹼鷸	<i>Limnodromus scolopaceus</i>	SM		*	
紅領瓣足鷸	<i>Phalaropus lobatus</i>	WSG		*	
鷗科	Laridae				
黑尾鷗	<i>Larus crassirostris</i>	OW		*	
小燕鷗	<i>Sternula albifrons</i>	OW		*	
黑腹燕鷗	<i>Chlidonias hybrida</i>	OW		*	*
鳳頭燕鷗	<i>Thalasseus bergii</i>	OW		*	
鳩鴿科	Columbidae				
紅鳩	<i>Streptopelia tranquebarica</i>	TG	*	*	
斑頸鳩	<i>Streptopelia chinensis</i>	TG	*	*	*
杜鵑科	Cuculidae				
番鵡	<i>Centropus bengalensis</i>	TG		*	
雨燕科	Apodidae				
小雨燕	<i>Apus nipalensis</i>	A		*	
翠鳥科	Alcedinidae				
翠鳥	<i>Alcedo atthis</i>	OW	*	*	*
伯勞科	Laniidae				
紅尾伯勞	<i>Lanius cristatus</i>	TG	*	*	*
棕背伯勞	<i>Lanius schach</i>	TG		*	
卷尾科	Dicruridae				
大卷尾	<i>Dicrurus macrocercus</i>	T		*	*
鴉科	Corvidae				
喜鵲	<i>Pica pica</i>	T	*	*	*
百靈科	Alaudidae				
小雲雀	<i>Alauda gulgula</i>	TG		*	
燕科	Hirundinidae				
棕沙燕	<i>Riparia paludicola</i>	A	*	*	
家燕	<i>Hirundo rustica</i>	A	*	*	*
洋燕	<i>Hirundo tahitica</i>	A	*	*	*
赤腰燕	<i>Cecropis striolata</i>	A	*	*	*
樹鷺科	Cettiidae				
短翅樹鷺	<i>Cettia diphone</i>	T		*	
鶇科	Pycnonotidae				
白頭翁	<i>Pycnonotus sinensis</i>	T	*	*	*
柳鷺科	Phylloscopidae				
褐色柳鷺	<i>Phylloscopus fuscatus</i>	T		*	
極北柳鷺	<i>Phylloscopus borealis</i>	T		*	
葦鷺科	Acrocephalidae				
大葦鷺	<i>Acrocephalus orientalis</i>	TG		*	
扇尾鷺科	Cisticolidae				
棕扇尾鷺	<i>Cisticola juncidis</i>	TG	*	*	
灰頭鷓鴣	<i>Prinia flaviventris</i>	TG	*	*	*
褐頭鷓鴣	<i>Prinia inornata</i>	TG	*	*	*
鶇科	Muscicapidae				
野鶇	<i>Luscinia calliope</i>	TG	*	*	
黃尾鶇	<i>Phoenicurus aureoreus</i>	T		*	
鶇科	Turdidae				
藍磯鶇	<i>Monticola solitarius</i>	TG		*	*
畫眉科	Timaliidae				
綠繡眼	<i>Zosterops japonicus</i>	T	*	*	
八哥科	Sturnidae				
白尾八哥	<i>Acridotheres javanicus</i>	TG		*	
家八哥	<i>Acridotheres tristis</i>	TG		*	
鶇科	Motacillidae				



(續) 附錄 1. 研究期間(2003-2010 年)各樣區度冬期(12-2 月)鳥種紀錄及棲地同功群分類

中文名	學名 <sup>†</sup>	同功群 <sup>‡</sup>	樣區		
			A1	A2	C
黃鶺鴒	<i>Motacilla flava</i>	SMTG		*	*
鶺鴒科	Emberizidae				
黑臉鶺鴒	<i>Emberiza spodocephala</i>	TG		*	
麻雀科	Passeridae				
麻雀	<i>Passer montanus</i>	TG	*	*	*
梅花雀科	Estrildidae				
斑文鳥	<i>Lonchura punctulata</i>	TG		*	

<sup>†</sup>鳥類學名及分類系統從 Clements *et al.* 2010

<sup>‡</sup>A：空域鳥類；OW：開闊水域鳥類；SM：泥灘涉禽；SMTG：水岸陸禽；T：樹棲陸禽；TG：草原陸禽；WS：水域泥岸涉禽；WSG：水岸高草游涉禽