

鰲鼓濕地之小鸕鷀 (*Tachybaptus ruficollis*) 的巢位特徵與繁殖成功率

Nest Characteristics and Breeding Success of Little Grebe (*Tachybaptus ruficollis*) in Aogu Wetland, Taiwan

曾暉倫 許富雄*

Wei-Lun Tseng and Fu-Hsiung Hsu*

國立嘉義大學生物資源學系 嘉義市鹿寮里學府路 300 號

Department of Biological Resources, National Chia-Yi University, Chia-Yi, Taiwan

* 通訊作者：richbear@mail.ncyu.edu.tw

*Corresponding author: richbear@mail.ncyu.edu.tw

摘要

瞭解生物與棲地的關係是制定有效保育策略與經營管理的基礎，小鸕鷀 (*Tachybaptus ruficollis*) 是一種對水域具高度需求且普遍分布於臺灣各類濕地的水鳥，但我們對其瞭解卻相當少。本研究在鰲鼓濕地入口處及觀海樓附近的 21 個池塘，蒐集 2012 年及 2013 年等兩個繁殖季的小鸕鷀巢位特徵及其巢成功率。研究期間共發現 99 個巢，其繁殖期由 4 月延續至 11 月，平均窩卵數 3.3 ± 1.4 顆並以 4 顆卵較為常見。整體的表觀巢成功率 (apparent nesting success) 為 14.1%，但年間變異大。主要導致繁殖失敗的原因以天敵掠食佔 46 巢為最多，其次是因為水位變動所導致淹沒或擱淺的失敗巢有 27 個。多數繁殖巢 (75/99) 都構築在離池塘岸堤 20 m 的範圍內，各池塘所發現之繁殖巢數量與挺水植物 (蘆葦) 覆蓋度呈

顯著正相關 ($r_s = 0.43, P < 0.05$)。其繁殖表現會受到窩卵數、巢高、巢位鬱蔽度及巢旁水深的影響，這可能與池塘食物資源及親鳥覓食效能，以及對抗水位變動及天敵掠食等不利繁殖因素有關。

關鍵詞：鰲鼓濕地、窩卵數、巢成功率、天敵掠食、小鵝鶩、水位變動

Abstract

Understanding species–habitat relationship is fundamental to effective conservation planning and management. The Little Grebe (*Tachybaptus ruficollis*) is a water-dependent bird species widely distributed in heterogeneous wetland ecosystems in Taiwan, but its breeding behavior and nest characteristics of life history are poorly understood. We collected characteristics of nesting sites and assessed the nesting success of Little Grebe in 21 ponds in Augo Wetland between 2012 and 2013. We found 99 nests, and the breeding season was from April to November, much longer than that of most Taiwanese breeding birds. The mean clutch size was 3.3 ± 1.4 with a modal clutch of four. The apparent nesting success was 14.1%, with high heterogeneity between the years. The leading causes of nest failure were predation (46 nests), followed by fluctuation in water levels that resulted in flooded or stranded nests (27 nests). Most nests occurred within 20 m from the embankment (75/99), and the number of nests significantly correlated with the emerged vegetation (reed) covering the ponds ($r_s = 0.43, P < 0.05$). The breeding outcome was influenced by clutch size, nest height, nest closure, and water depth beside the nests. The food resources in ponds, the efficiency of foraging, the water level fluctuation, and the pressure from predation would reduce the nesting success.

Key words: Augo wetland, clutch size, nesting success, predation risk, *Tachybaptus ruficollis*, water level fluctuation

緒言

濕地具有涵養水源、防洪、淨化水質及碳匯等多種生態功能，也是孕育多種生物的重要棲地 (Bilal *et al.* 2013)，但近幾十年來受到各種人為開發與氣候變遷的影響 (Gardali *et al.* 2012; Murray *et al.* 2019; Wang *et al.* 2021)，使全球的濕地面積縮減一半以上 (Ma *et al.* 2010; Xu *et al.* 2019)，連帶使許多棲息於濕地的水鳥族群數量銳減 (Studds *et al.* 2017)，尤其是對那些利用濕地環境進行繁殖的水鳥 (Routhier *et al.* 2020)。

水鳥是濕地環境變化的重要指標生物，瞭解濕地的水鳥多樣性與族群變化趨勢 (Yuan *et al.* 2014)、繁殖行為 (Brandis *et al.* 2018)、以及水鳥對濕地環境的利用狀態 (Lehikoinen *et al.* 2016; Meliani *et al.* 2020)，將有助於擬定有效的濕地與水鳥保育策略 (Amano *et al.* 2017)。鳥類的營巢棲地選擇是長期因應外界環境壓力所產生的適應行為 (Martin 1998; Clark and Shutler 1999)，如食物資源變動、可供營巢棲地的限制、種內及種外競爭、天

敵、寄生蟲、植被結構與人為干擾等等 (Loucif *et al.* 2021)，營巢棲地的選擇也是影響鳥類繁殖成功率的重要因素 (Latif *et al.* 2012)。在鳥類繁殖過程中，巢掠食 (Fontaine and Martin 2006; Athamnia *et al.* 2015)、巢位特徵 (Latif *et al.* 2012; Loucif *et al.* 2021)、飢餓 (Kloskowski *et al.* 2010)、孵化失敗 (Assersohn *et al.* 2021)、棄巢 (Loucif *et al.* 2021)、以及惡劣天氣 (Keithmalee-satti *et al.* 2020) 都是造成其繁殖失敗的重要因素。其中，天敵的巢掠食更是造成多種鳥類繁殖失敗的最主要原因 (Fontaine and Martin 2006; Latif *et al.* 2012)。Martin (1993) 發現地面營巢鳥種所承受的巢掠食壓力經常比非地面營巢鳥種高，且會藉由產下較多卵及延長育雛期來對抗天敵掠食。Fontaine and Martin (2006) 則指出在較高的巢掠食壓力下，親鳥會藉由改變生殖策略，如縮短親鳥在巢內的孵育時間或提高親鳥的餵食率來降低巢掠食風險。鳥類藉由選擇合宜的營巢棲地以降低天敵威脅，並提高個體基因延續的機會，不同巢位特徵往往也會影

響最後成功離巢的雛鳥數 (Martin and Roper 1988)。而食物資源的多寡與品質亦會影響鳥類的繁殖成功率 (Martin 1987; Sieving and Willson 1998; 林等 2010)，並進而影響其生活史特質與族群大小 (Martin 1987; Kelly 1993)。

小鵬鵬 (*Tachybaptus ruficollis*) 廣泛分布於歐亞大陸南部、非洲撒哈拉沙漠以南、以及南太平洋諸島的低海拔區域 (Dickinson 2003; Brazil 2009)。小鵬鵬極少離開水域活動，經常在水深 1 m 以內的平緩水域捕食水生昆蟲、軟體動物、甲殼類及小型魚類 (Ceccobelli and Battisti 2010)，並會在水域中構築浮動巢 (floating platform) 進行繁殖 (Moss and Moss 1993; O'Donnell and Fjeldså 1997)，是一種對水域具有高度需求的鳥種 (water-obligated bird species) (Ceccobelli and Battisti 2010)，也經常被用來探討濕地的棲地品質 (Sebastián-González *et al.* 2010; Bilal *et al.* 2013)、水位變動 (Moss and Moss 1993; Riensche *et al.* 2009)、人為活動干擾 (Keithmaleesatti *et al.* 2020) 與污染 (Thongcharoen *et al.* 2017) 等相關議

題。小鵬鵬在臺灣屬於普遍常見的留鳥與冬候鳥 (劉等 2012)，是各類濕地之水流平緩區域相當具有代表性的水鳥 (曾 2000)。但目前僅有少許科普書籍描述臺灣的小鵬鵬繁殖與行為 (e.g., 嚴 1984; 曾 2000)，幾乎沒有任何具備明確數據的研究資訊，可提供我們探索臺灣的小鵬鵬在濕地生態系中所扮演角色。因此，本研究希望藉由延續兩年在鰲鼓濕地的調查，來建立棲息臺灣之小鵬鵬的 1. 窩卵數與孵卵期等基礎繁殖資訊；2. 繁殖巢位的棲地特徵；以及探討 3. 影響其繁殖成功率的可能因素，以作為後續相關濕地生態研究與經營管理的參考。

材料與方法

一、研究地點與樣區

鰲鼓濕地森林園區位於嘉義縣西北隅，是臺灣西部的一處濱海濕地，也是東亞澳遷徙線 (the East Asian-Australasian Flyway) 候鳥的重要棲息地之一，每年冬季均有大量的雁鴨科 (Anatidae)、鷺科 (Ardeidae)、鷗科 (Laridae)、鸕科 (Scolopacidae) 與鴿

科 (Charadriidae) 等水鳥遷入棲息，依據 eBird 線上鳥類資料庫 (<https://ebird.org/hotspot/L3980078>) 顯示該地已累積有 287 種的鳥類紀錄，其間也棲息著數量頗高的小鵬鵬族群。本研究分別在鰲鼓濕地入口處 (entrance) 及觀海樓 (sea-viewing tower) 附近的池塘設置樣區來進行調查 (圖 1)，這些池塘原為台糖公司的水產養殖魚塭，後因地層下陷與鹽化廢棄使用長達 20 多年。本研究在入口處設置有 6 個觀察池塘 (圖 1)，各池塘面積介於 0.8 至 1.5 ha 間。池塘周圍主要栽植白千層 (*Melaleuca leucadendra*)、臺灣海棗 (*Phoenix hanceana*)、及黃槿 (*Hibiscus tiliaceus*) 等行道樹。池塘內主要的挺水植物為蘆葦 (*Phragmites communis*)，其次為海雀稗 (*Paspalum vaginatum*)。另外在觀海樓附近則設置有 15 個觀察池塘 (圖 1)，各池塘面積均為 3 ha (東西長 300 m、南北寬 100 m)。這些池塘相鄰之中央南北向的堤岸上有銀合歡 (*Leucaena glauca*) 及苦楝 (*Melia azedarach*) 等喬灌木，東西向堤岸則生長有臭娘子 (*Premna serratifolia*) 和銀

合歡等，池塘內主要的挺水植物為海雀稗，其次為蘆葦、海馬齒 (*Sesuvium portulacastrum*)、以及裸葉鹼蓬 (*Suaeda nudiflora*) 等濱岸植物。

二、池塘與巢位棲地測量

本研究於 2012 年 5 月至 11 月及 2013 年 4 月至 10 月間，每 3 至 7 天對所有 21 個池塘進行一次小鵬鵬繁殖調查，並對所發現巢位進行棲地測量及收集相關繁殖資訊。此外，我們於 2012 年 4 月在各池塘相對低點各設立一根水位竿 (每 10 cm 以塗料及鐵釘標誌)，以利各次觀察時記錄池塘水深或作為巢旁水深之推估依據。調查時，由研究人員穿著涉水褲及救生衣，沿岸或沿挺水植物旁徒步搜尋小鵬鵬繁殖巢及進行相關測量。各類池塘與巢位棲地測量特徵如下：

(一) 池塘棲地測量

1. 池塘水位深度 (簡稱池塘水深) (water depth of pond, WDP)：利用所設置水位竿，以目視及拍照輔助估計各次調查的池塘水深，最小單位為 1 cm。

2. 池塘植被覆蓋度 (簡稱池塘植覆) (vegetation cover of pond, VCP) : 每次調查以目視方式, 分區估算各池塘之挺水植物的佔據池塘面積比例, 以每 10% 間隔區分成 11 個等級進行紀錄。

3. 池塘面積 (pond area, PA) : 各池塘岸堤所圍繞面積, 單位為 ha。

(二) 巢位棲地測量

1. 巢寬 (nest width, NW) : 以直角量尺測量繁殖巢結構在水面上的最大寬度, 最小單位為 1 cm。

2. 巢高 (nest height, NH) : 繁殖巢結構在水面上的最大高度, 最小單位為 1 cm。

3. 巢旁水深 (water depth beside nest, WDN) : 以長棍測量緊鄰繁殖巢 4 個方位水深, 取其平均值, 最小單位為 1 cm。

4. 巢位鬱閉度 (nest closure, NC) : 以半球面鬱閉度計 (spherical densitometer) 測量巢位上方鬱閉度。每次測量均記錄東、南、西、北四個方位的鬱閉度, 取其平均值 (%)。

5. 巢位離最近邊坡距離 (簡稱最近邊

坡) (distance to the nearest embankment, DNE) : 以 GPS Garmin 60CSx 定位繁殖巢位址, 並利用 Google earth 尺規工具測量巢位離最近池塘堤岸的距離, 同時利用測距儀 (Leica Disto A8) 輔助校正, 最小單位為 0.1 m。

6. 最近繁殖巢距離 (簡稱最近鄰居) (distance to the nearest neighbor, DNN) : 以 GPS Garmin 60CSx 定位該繁殖巢與最近繁殖巢位址, 並利用 Google earth 尺規工具測量其直線距離, 最小單位為 0.1 m。

7. 巢位旁植物覆蓋度 (簡稱巢旁植覆) (vegetation coverage beside nest, VCN) : 以巢位中心劃設 4 m² 方格, 並以 Olympus E-PL2 (焦距 14-42 mm kit) 相機在巢位上方 1-1.5 m 處俯拍東西南北四個方位照片。利用 10 × 10 格線估算各 1 m² 照片之挺水植物覆蓋度 (%)。本項測值僅測量 2013 年 4 月至 10 月間所發現之繁殖巢。

8. 巢位旁挺水植物高度等級 (簡稱巢旁植高) (vegetation height beside

nest, VHN)：以巢位中心劃設 4 m² 方格。分別估算東西南北 4 個 1 m² 方格內之挺水植物突出水面高度。高度介於 0–50 cm 記錄為等級 1，51–100 cm 為等級 2，>100 cm 為等級 3。本項測值同樣僅測量 2013 年所發現之繁殖巢。

三、繁殖狀態調查

每次調查均沿岸邊或沿挺水植物旁搜尋各池塘的繁殖巢，發現並確認為小鸕鷀繁殖巢後，每 3 至 7 天持續探巢複訪至卵孵化或巢失敗為止。每次探巢皆計數巢內卵數，並以探巢期間之最大卵數為該繁殖巢之窩卵數 (clutch size, CS)，同時記錄各次探巢及繁殖成功日期。本研究將繁殖巢至少有一顆卵孵化出雛鳥 (Mabee 1997) 者定義為繁殖成功巢 (successful nest)，不符合繁殖成功巢之定義者皆視為繁殖失敗巢 (failure nest)，並利用相關跡象判斷失敗原因 (Moss and Moss 1993)，原因歸類如下：

淹沒 (flooding)：泛指巢位因池塘水位快速上升而淹沒或翻覆，致使親

鳥棄巢。

擱淺 (stranding)：泛指一切因水位下降造成繁殖巢擱淺凸出水面、傾倒及乾枯，使親鳥難以入巢孵育或棄巢之失敗巢。

天敵掠食 (predation)：若有下列情況，A. 巢內或周遭有明顯的蛋體殘骸，如破損蛋殼、碎片或繫膜等；B. 未屆孵化日期，卵全數消失且無明顯水位變動等失敗因素之巢位；C. 已屆孵化日期，巢中的卵全數消失，但巢位周遭無新生雛鳥紀錄者，失敗原因均判斷為天敵掠食，主要為嚙齒類、鳥類與蛇類等 (劉等 2012)。

不明原因 (unknown cause)：無法判斷因水位變化或天敵所致的失敗巢，如 A. 無任何明顯水位或環境變化跡象而巢體消失或損壞者；B. 卵數正常、蛋體完整但散落在巢位周圍者；C. 屆孵化日期，卵數不規則減少且巢位周遭無新生雛鳥紀錄者。

此外，本研究在 2013 年 9 月至 11 月期間，於入口處及觀海樓樣區各利用一處小鸕鷀結束繁殖且巢體完整的舊巢位，在巢體內擺設鵝蛋模擬繁

殖巢，並於模擬巢旁各架設 1 台紅外線自動照相機 (DLC Covert II) 與 1 台縮時攝影機 (Brinno TLC200 F1.2)，分別進行 22 天及 36 天的潛在天敵背景調查。

四、繁殖巢成功率的計算

分別利用表觀法 (apparent method) (Jehle *et al.* 2004) 及 梅菲爾德法 (Mayfield method) (Mayfield 1961, 1975; Johnson 1979) 來計算巢成功率。Johnson and Shaffer (1990) 指出，繁殖成功率較穩定的物種，利用梅菲爾德法可計算獲得較貼近真實狀況的巢成功率，而繁殖巢容易在短時間內因外界因素影響而大量失敗的物種，則使用表觀法較能反映真實狀況，亦即直接利用所記錄成功巢數除以總觀察巢數來計算其表觀巢成功率 (apparent nesting success)。其相關計算公式如下：

$$\text{Apparent nesting success} = \frac{\text{No. of successful nests}}{\text{Total nests}} \times 100\%$$

$$\text{Mayfield nesting success} = \left(1 - \frac{\text{No. of loss nests}}{\text{Total nest days}}\right) (\text{Incubation days})$$

No. of successful nests：成功巢的數量。

Total nests：總觀察巢數量。

No. of loss nests：失敗巢的數量。

Total nest days: 每巢存活天數的總和。

Incubation days: 平均孵化天數，以 20 天計 (曾 2000, 本研究結果)。

五、資料分析

本研究利用 Spearman's rank correlation 檢測各池塘所記錄之小鸕鶿繁殖巢數量是否與池塘面積、平均池塘水深及池塘植覆等池塘棲地因子具相關性。同時將所發現繁殖巢之窩卵數區分成 <2、3、4 及 >5 顆卵等 4 種等級，利用 χ^2 檢定來檢測不同窩卵數之繁殖成功巢與失敗巢的組成分布是否具有差異 (Moss and Moss 1993)，並以 Fisher exact test 進行事後兩兩比較。為進一步探討影響繁殖成功巢的巢位棲地特徵，我們利用蒙地卡羅概似法

(Monte Carlo likelihood approximation; MCLA) 之廣義線性混合模型 (Generalized Linear Mixed Model; GLMM)，以伯努利 (Bernoulli) 分布及邏輯斯 (logit) 連結函式，透過尋找最大化的 MCLA 來分析成功巢 (1) 與失敗巢 (0) 的影響因子及變量 (Knudson *et al.* 2021)。分析前先計算各變數的變異數膨脹因子 (variance inflation factor, VIF) 並排除 $VIF > 5$ 的變數 (Akinwande *et al.* 2015)，以避免變數間的高相關性而產生多元共線性 (multi-collinearity) 影響。所採用固定因子 (fixed effects) 包含窩卵數 (CS)、巢寬 (NW)、巢高 (NH)、巢旁水深 (WDN)、巢位鬱閉度 (NC) 及最近邊坡 (DNE) 等 6 項因子，並把不同年份 (Year) 及池塘 (Pond) 設定為隨機因子 (random effects)。本研究以適合較小樣本數的校正 AIC (corrected Akaike's Information Criterion; AICc) 分數來評估所擬合 GLMM 模型的表現，同時以 Akaike's Information Criterion 分數差值 ($\Delta AICc = AICc_{(i)} - AICc_{(min)}$) 來排序並列出 $\Delta AICc < 8$ 之模型，依據最簡約法則 (parsimony)，

將 $\Delta AICc < 2$ 且使用最少解釋變數 K 的模型定義為最佳模型 (Burnham and Anderson 2002)。此外，我們也利用 Primer 6.0 (Clarke and Warwick 2001) 進行巢位棲地特徵的多變量冗餘分析 (distance-based Redundancy Analysis, dbRDA)，並以相似性分析 (analysis of similarity, ANOSIM) 來測試繁殖成功巢與失敗巢分群是否具有統計顯著性。上述 GLMM 分析與計算皆使用 R 4.1.2 (R core team 2020) 的 glmm 套件 (Knudson *et al.* 2021)，其他分析則利用 STATISTICA 7.0 (StatSoft 2004) 與 Primer 6.0 進行，所有資料均以 $mean \pm sd$ 呈現，顯著水準皆定為 0.05。

結果

一、繁殖行為描述

小鵬鵬開始繁殖後便顯少群聚活動。配對成功的繁殖對會開始叨巢材營巢，在巢體可承受母鳥重量時，母鳥會蹲伏於巢體並降低離巢覓食或叨巢材的行為頻度，而公鳥仍會持續叨巢材修築巢體。繁殖初期，母鳥在公鳥回巢後會把頭低伏做出要求交配的

動作。母鳥產卵後開始孵卵，其離巢頻度會更低，期間公鳥則會持續修築巢體，偶或餵食母鳥或替換母鳥孵卵。平均孵卵期為 20.1 ± 1.5 天 ($n = 10$)，孵卵期間，親鳥離開巢體前會以巢材覆卵。雛鳥孵化後，親鳥會將蛋殼帶離巢體丟棄，雛鳥孵化後沒多久就可入水活動，但不會遠離巢位。所有雛鳥都孵化後，1 周齡雛鳥大多會待在巢體上，或在巢位旁的水域等待親鳥餵食。1 周齡至 2 周齡雛鳥，親鳥有時會將雛鳥背負於背上並蓋於翅下，但較少背負 3 周齡以上雛鳥。3 周齡至 4 周齡雛鳥的羽色會開始轉變，褐色縱紋逐漸退去。雛鳥孵化後 2 至 2.5 個月，羽色會轉變成近似成鳥冬羽的樣式，即為亞成鳥。亞成鳥會跟隨親鳥一同活動約 1 個月，之後親鳥會將之驅離。整個繁殖過程大約持續 3–4 個月。

二、繁殖巢數量與巢成功率

在 2 個小鵬鵬繁殖期調查中，2012 年於 5 月 18 日發現第一個繁殖巢，至同年 11 月 14 日結束繁殖活動，

2013 年於 4 月 2 日發現第一個繁殖巢，至同年 10 月 5 日結束繁殖，顯示鰲鼓濕地的小鵬鵬主要於 4–11 月間進行繁殖活動，其中又以 5–7 月為繁殖高峰 (圖 2)。研究期間共記錄 99 個繁殖巢，其中 14 巢繁殖成功，其表觀巢成功率與梅菲爾德巢成功率分別為 14.1% 與 27.2% (表 1)。2012 年發現 42 個繁殖巢，其中 10 巢繁殖成功，2013 年發現 57 個繁殖巢，其中僅 4 巢繁殖成功，2012 年的表觀巢成功率及梅菲爾德巢成功率均較 2013 年高 (表 1)。各調查池塘所發現之繁殖巢數量與池塘植覆呈顯著正相關 ($r_s = 0.43, P < 0.05$) (圖 3)，其中又以池塘植覆介於 20% 至 70% 所記錄的繁殖巢數量較多，但繁殖巢數量與池塘面積 ($r_s = 0.11, P = 0.484$) 及池塘水深 ($r_s = 0.13, P = 0.407$) 之間則無顯著的相關性。

三、窩卵數與巢位棲地特徵

所記錄 99 個繁殖巢，窩卵數介於 1–7 顆之間，其中以 4 顆卵有 29 個巢為最多，其次為 3 顆卵有 22 個巢 (圖 4)，平均窩卵數為 3.3 ± 1.4 顆。

所劃分 4 類窩卵數的成功巢與失敗巢組成分布具顯著差異 ($\chi^2 = 12.43, P = 0.006$)，其中窩卵數 >5 的成功巢比例顯著較其他類別高 (Fisher exact test, all $P < 0.05$)，而其他 3 個類別 (<2、3 及 4 顆卵) 間的成功巢比例則無顯著差異 (Fisher exact test, all $P > 0.05$)。各池塘水深變化主要受前一個月及當月份降雨的影響，在 4–11 月小鸕鷀繁殖期間的平均池塘水深大致都可維持在 50 cm 以上 (圖 5)。小鸕鷀的平均巢寬為 38.3 ± 7.2 cm、水面上巢高僅 3.1 ± 1.2 cm、巢旁水深 57.3 ± 19.1 cm、巢位鬱閉度 $18.7 \pm 23.6\%$ ，巢位離最近邊坡距離 14.7 ± 12.7 m、距最近鄰居巢 72.3 ± 57.5 m、巢旁植覆 $34.7 \pm 18.4\%$ ，巢位旁挺水植物高度大都介於 50 至 100 cm 之間，巢旁植高等級平均為 1.4 ± 0.7 (表 2)，多數巢位均修築於離廢棄魚塭岸堤 20 m 內之挺水植物與水域的交界處 (圖 6)，這可能與蘆葦大都由岸邊往池塘內部生長，且多數小鸕鷀巢位均構築於蘆葦與水域交界邊緣有關。

在巢位棲地特徵的 GLMM 分析

中，所納入變數的 VIF 值均小於 2，結果共篩選出 8 個 $\Delta AICc < 8$ 的模型 (表 3)，其中 $\Delta AICc < 2$ 的模型僅有「CS+WND+NH+NC」，即為最佳模型，其 AICc 值為 66.15、K 值為 6、 wi 值為 0.637 (表 3)。經檢測窩卵數 (CS)、巢旁水深 (WND)、巢高 (NH) 與巢位鬱閉度 (NC) 等 4 個固定因子及池塘 (Pond) 隨機因子均具顯著性 (表 4； $P < 0.05$)，其中又以巢高的變數估計值 (β) 為 1.06 最高，其次則是窩卵數的 0.85，其他因子的變數估計值則較小。此外，在小鸕鷀巢位特徵的 dbRDA 分析中，前 4 軸可解釋 93.5% 的變異量 (表 5)，第一軸及第二軸合併可解釋 66.3% 變異量，其 dbRDA1 主要受窩卵數、巢高及巢位鬱閉度的影響，dbRDA2 主要受巢旁水深的影響。但由 dbRDA1 及 dbRDA2 所繪製的巢分布圖 (圖 7) 及 ANOSIM 分析 ($R = -0.125, P = 0.976$) 發現，成功巢與失敗巢之間並無顯著分群的現象。

四、巢失敗原因類歸

鰲鼓濕地之小鸕鷀的繁殖失敗巢比例相當高。在所劃分的 4 類失敗原

因中，以天敵掠食所引致失敗巢共計 46 巢最多，約佔所有失敗巢的 54%，包含 2012 年 9 巢及 2013 年高達 37 巢。其次是因為水位快速上升而淹沒的失敗巢 17 個，因水位下降擱淺的失敗巢 10 個，以及不明原因失敗的巢位則有 12 個 (表 6)。

討論

一、繁殖期與池塘棲地品質

鰲鼓濕地的小鵝鶩大致於 4–11 月間進行繁殖活動，本研究在 2012 及 2013 年所記錄第 1 個繁殖巢至所有繁殖活動結束分別持續有 180 天及 189 天。此結果與 Moss and Moss (1993) 發現英國的小鵝鶩主要於 3–9 月間進行繁殖的期間相近，但北非的小鵝鶩繁殖期 (3–7 月) 則稍短 (Athamnia *et al.* 2015)。小鵝鶩的繁殖期長度可能受其繁殖成功率的影響，本研究觀察發現小鵝鶩從營巢至親鳥將雛鳥驅離的繁殖過程約持續 3–4 個月，在一個繁殖季要成功完成 2 次繁殖並不容易。Athamnia *et al.* (2015) 發現北非的小鵝鶩的表觀巢成功率高達 60%，英

國的小鵝鶩的巢成功率為 53% (Moss and Moss 1993)，西班牙的小鵝鶩的巢成功率為 21% (Sebastián-González *et al.* 2010)，鰲鼓濕地小鵝鶩的巢成功率則僅有 14%。鳥類可能因高繁殖失敗率 (Martin 1993; Verhulst and Nilsson 2008)、惡劣天候及低食物資源影響 (Teglhøj 2017) 而延長其繁殖季長度。鰲鼓濕地小鵝鶩的高繁殖失敗率，以及各月所發現繁殖巢數量呈右側偏態 (skewed) 分布，可能反應部分繁殖對在失敗後重新營巢繁殖的狀態。另一方面，Abt and Konter (2009) 藉由繫放再捕捉發現小鵝鶩的壽命可達 17 年以上，因此小鵝鶩也可能採取延長繁殖策略來降低各年的繁殖投資。

小鵝鶩會利用各類不同的靜止水域活動，水域的植被組成與物化特質經常影響牠們的數量與分布 (Bilal *et al.* 2013)，尤其是水域旁之蘆葦屬 (*Phragmites*) 與香蒲屬 (*Typha*) 等植物的分布。鰲鼓濕地擁有面積約 400 ha 的各類水域，本研究調查池塘是小鵝鶩在鰲鼓濕地較頻繁運用的繁殖棲地。我們發現鰲鼓濕地的小鵝鶩的繁

殖巢數量與各池塘面積與水深無關，但與池塘植覆比例呈顯著正相關。Vogrin (2001) 認為小鵝鵝偏好棲息在面積較小的池塘，而水域面積與積水期長短則會影響魚類與無脊椎動物的種類與數量，進而影響濕地的食物資源量及棲息的鳥種數與數量 (Tsai *et al.* 2007)。小鵝鵝經常在水深 1 m 以內的平緩水域活動 (Ceccobelli and Battisti 2010)，但 Vogrin (2001) 亦指出水位太低會降低小鵝鵝的繁殖配對數與繁殖成功率，甚至延遲其繁殖時序，Causarano and Battisti (2009) 則發現小鵝鵝鮮少利用水位低於 40 cm 的水域活動。本研究進行觀察的池塘大都為面積相似的廢棄魚塢，各池塘面積相近且水深差異不大，可能降低相關因素對鰲鼓濕地小鵝鵝繁殖活動的影響。而 2013 年小鵝鵝延後於 5 月開始進行繁殖，也可能受該年 4 月池塘水深較淺 (圖 5) 的影響。另一方面，蘆葦屬等挺水植物可提供小鵝鵝修築浮動巢、遮蔽、以及作為巢材來源使用 (Bilal *et al.* 2013)，但過度鬱蔽的池塘環境則會影響其覓食活動 (Ceccobelli

and Battisti 2010)，這可能也是我們在具 20%–70% 池塘植覆之池塘記錄有較多繁殖巢的原因。

二、巢位棲地特徵與巢成功率

鰲鼓濕地小鵝鵝的整體表觀巢成功率為 14%，但 2012 年與 2013 年的成功率則分別為 24% 與 7%，其年間變動頗大，這可能受本研究池塘水體小易受近年頻繁的豪大雨影響水位變動 (圖 5)，以及年度間天敵掠食差異等不確定因素的影響。國外研究也經常發現小鵝鵝在不同年度間的繁殖表現差異，Sebastián-González *et al.* (2010) 發現 2003 與 2004 年的小鵝鵝表觀巢成功率分別為 18% 和 23%，雛鳥成功離巢率則分別為 25% 和 57%，Athamnia *et al.* (2015) 在 2010 至 2012 所觀察的小鵝鵝巢成功率則介於 55–71% 之間。小鵝鵝偏好在水流平緩的水域繁殖，可能與其可避免巢體受水流和波浪影響有關 (Moss and Moss 1993; Abt and Konter 2009)。經常在沿海潟湖或草澤繁殖之角鵝鵝 (*Podiceps auritus*) 與冠鵝鵝 (*Podiceps*

cristatus) 的巢位相當容易受浪擊的影響 (Ulfvens 1988)，其繁殖成功巢的巢體結構分別為巢寬 53.7 ± 10.3 cm 及 72.8 ± 12.3 cm、水面上巢高 8.4 ± 3.9 cm 及 11.8 ± 5.6 cm 也明顯比小鵬鵬巢大。Ulfvens (1988) 指出較大的浮動巢體有利抗衡波浪衝擊與水位變動的影響，而提高繁殖成功的機會。本研究發現小鵬鵬成功巢的巢高 (4.1 ± 1.6 cm) 明顯比失敗巢 (2.9 ± 1.0 cm) 高 ($z = 3.96, P < 0.001$)，巢寬也有稍大的趨勢 (表 2)，這可能與成功巢具有較高抗衡水位變動的效能有關。此外，小鵬鵬成功巢的巢旁水深較失敗巢深 ($z = 2.53, P < 0.05$)，也可能具有親鳥覓食 (Causarano and Battisti 2009) 及減緩水位快速下降造成巢體傾倒 (Ulfvens 1988) 的優點。至於成功巢的巢位鬱閉度比失敗巢低 ($z = -2.14, P < 0.05$)，主要是因為失敗巢旁經常有較多喬灌木生長，這是否與天敵掠食存在關聯仍待進一步資訊驗證。但小鵬鵬的繁殖表現除了會受到巢位特徵的影響，也會受到不同池塘的物化特質 (Bilal *et al.* 2013; Keithmaleesatti *et al.* 2020) 及

周圍環境地景 (Sebastián-González *et al.* 2010) 的影響。

此外，本研究發現鰲鼓濕地小鵬鵬的窩卵數介於 1-7 顆之間，其中又以 4 顆卵較為常見，此與 Moss and Moss (1993) 的研究結果相似，但比 Athamnia *et al.* (2015) 所記錄的平均窩卵數 4.7 ± 1.1 顆少。窩卵數多寡可能受不同族群所棲息棲地之食物資源供給 (Ricklefs 1980) 與環境穩定度 (Amundsen and Slagvold 1996) 的影響。另一方面，窩卵數 >5 之小鵬鵬成功巢比例明顯較其他窩卵數較少的巢位高，可能受親鳥年齡及體型大小 (Moss and Moss 1993)，以及對抗天敵掠食 (Martin 1993) 與小鵬鵬營巢習性的影響。本研究觀察發現小鵬鵬在母鳥產卵與孵卵時期，公鳥會持續修築巢體及推疊巢材，直至母鳥產卵結束為止。母鳥產卵期越長則公鳥修築巢體的時間也會相對增加，巢體結構增大則有助於提高後續繁殖成功的機率，唯相關驗證仍有待進一步的資訊收集。

整體而言，鰲鼓濕地小鵬鵬的巢失敗率高且年間變動大。失敗巢主要

受水位變動與天敵掠食等兩個因素的影響，約佔所有失敗巢的 85.8%。高失敗率尤其是高天敵掠食率可能影響成功巢與失敗巢的巢位特徵表現 (Fontaine and Martin 2006; Latif *et al.* 2012; Bilal *et al.* 2013; Athamnia *et al.* 2015)，使其不易相互區隔。許多研究發現，鸕鷀科 (Podicipedidae) 等利用浮動巢進行繁殖的鳥類，相當容易受到洪患、風浪、人為調節排水所導致的水位變動、天敵掠食及人為干擾的影響 (Ceccobelli and Battisti 2010; Athamnia *et al.* 2015; Keithmaleesatti *et al.* 2020; Meliani *et al.* 2020)。鰲鼓濕地小鸕鷀因淹沒而失敗的巢位大都集中於降雨季，例如研究期間 2012 年 6 月與 2013 年 8 月因颱風豪雨使其月累積雨量高達 628 mm 與 711 mm。在小鸕鷀營巢繁殖初期，因其巢體較小且結構較不扎實，也比較容易因水位快速上升而翻覆。因水位下降而擱淺或乾枯的失敗巢則主要發現於 2012 年的秋季。另一方面，長期乾旱除了會使池塘水位下降，也可能提高陸域性天敵由岸邊入侵掠食的機會 (Salonen and

Penttinen 1988; Martin 1993; Prokop and Trnka 2011)。蛇類與小型哺乳類是鸕鷀科鳥類繁殖的重要天敵 (Athamnia *et al.* 2015; Meliani *et al.* 2020)。研究期間，我們利用小鸕鷀舊巢放置鵝蛋來進行潛在天敵觀察，結果發現以臭青公 (*Elaphe carinata*) 掠食鵝蛋的次數最高，其他還記錄有小黃腹鼠 (*Rattus losea*)、紅冠水雞 (*Gallinula chloropus*)、東方澤鶩 (*Circus spilonotus*) 等種類 (未發表資料)。鰲鼓濕地在台糖公司停止農墾活動後自 2002 年開始推展平地造林，加上該地被劃設為野生動物重要棲息環境與濕地森林園區後，許多區域均鮮少人為干擾。此外，鰲鼓濕地入口處的台糖畜牧場目前約飼養有 2-3 萬頭的豬隻，這類環境也可能提高蛇類與小型哺乳類等天敵對小鸕鷀繁殖巢的威脅。鰲鼓濕地的小鸕鷀經常在小面積廢棄魚塭營巢繁殖，相關管理單位若能在這些廢棄魚塭設置少許可調控水位的溢流口及適量移除小型鼠類，當可降低洪泛及天敵對小鸕鷀繁殖的影響，讓小鸕鷀成為夏季遊客造訪鰲鼓濕地森林園

區的觀賞鳥種。

謝誌

本研究為林務局嘉義林區管理處委託「鰲鼓濕地森林園區鳥類資源長期監測」之部分成果。感謝嘉義林區管理處陳榮作技正及台糖公司東石農場陳耀祥主任在執行研究期間的大力支持與協助，林政道博士協助資料分析，國立嘉義大學生物資源學系野生動物研究室的多位伙伴，協助各類研究資料的蒐集與觀察，以及編輯及審查委員寶貴的意見，使本文更趨完善，在此一併致謝。

引用文獻

林瑞興、陳華香、陳東瑤。2010。台灣中部黑枕藍鶺鴒之鳥巢掠食風險與巢位特徵。台灣生物多樣性研究 12(1): 29–42。

曾義和。2000。小鸕鶿日記：一對小鸕鶿的繁殖與育雛觀察。晨星出版社。

劉小如、丁宗蘇、方偉宏、林文宏、蔡牧起、顏重威。2012。台灣鳥

類誌。第二版。行政院農業委員會林務局。

嚴重威。1984。臺灣的野生鳥類(一)留鳥。渡假出版社。

Abt, K. and A. Konter. 2009. Survival rate of adult European Grebes (*Podicipedidae*). *Ardea* 97(3): 313–321.

Akinwande, M. O., H. G. Dikko and A. Samson. 2015. Variance inflation factor: as a condition for the inclusion of suppressor variable(s) in regression analysis. *Open Journal of Statistics* 5: 754–767.

Amundsen, T. and T. Slagsvold. 1996. Lack's brood reduction hypothesis and avian hatching asynchrony: what's next? *Oikos* 76: 613–620.

Amano, T., T. Székely, B. Sandel, S. Nagy, T. Mundkur, T. Langendoen, D. Blanco, C. U. Soykan and W. J. Sutherland. 2017. Successful conservation of global waterbird populations depends on effective governance. *Nature* 553: 199–202.

- Assersohn, K., A. F. Marshall, F. Morland, P. Brekke and N. Hemmings. 2021. Why do eggs fail? Causes of hatching failure in threatened populations and consequences for conservation. *Animal Conservation* 24(4): 540–551.
- Athamnia, M., F. Samraoui, B. Kelailia, A. Rouabah, A. H. Alfarhan and B. Samraoui. 2015. Nest-site selection and reproductive success of the Little Grebe *Tachybaptus ruficollis* in Northeast Algeria. *Ardeola* 62(1): 113–124.
- Bilal, S., M. Rais, M. Anwer, I. Hussain, M. Sharif and B. Kabeer. 2013. Habitat association of Little Grebe (*Tachybaptus ruficollis*) at Kallar Kahar Lake, Pakistan. *Journal of King Saud University-Science* 25: 267–270.
- Brazil, M. 2009. *Birds of east Asia-China, Taiwan, Korea, Japan, & Russia*. Princeton University Press, New Jersey.
- Brandis, K. J., G. Bino, J. A. Spencer, D. Ramp and R. T. Kingsford. 2018. Decline in colonial waterbird breeding highlights loss of Ramsar wetland function. *Biological Conservation* 225: 22–30.
- Burnham, P. B. and D. R. Anderson. 2002. *Model Selection and Multi-Model Inference: A Practical Information – Theoretic Approach*. Springer-Verlag, New York.
- Causarano, F. and C. Battisti. 2009. Effect of seasonal water level decrease on a sensitive bird assemblage in a Mediterranean wetland. *Rendiconti Lincei* 20: 211–218.
- Ceccobelli, S. and C. Battisti. 2010. On the water depth in diving sampling sites of *Tachybaptus ruficollis*. *Rendiconti Lincei* 21: 359–364.
- Clark, R. G. and D. Shutler. 1999. Avian habitat selection: pattern from process in nest-site use by ducks? *Ecology* 80(1): 272–287.
- Clarke, K. R. and R. M. Warwick. 2001.

- Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation. 2nd Edition, PRIMER-E, Ltd., Plymouth Marine Laboratory, Plymouth.
- Dickinson, E. C. 2003. The Howard and Moore Complete Checklist of the Birds of the World. 3rd edition. Princeton University Press, New Jersey.
- Fontaine, J. J. and T. E. Martin. 2006. Parent birds assess nest predation risk and adjust their reproductive strategies. *Ecology Letters* 9: 428–434.
- Gardali, T., N. E. Seavy, R. T. DiGaudio and L. A. Comrack. 2012. A climate change vulnerability assessment of California's at-risk birds. *PLoS ONE* 7(3):e29507.
- Jehle, G., A. A. A. Yackel, J. A. Savidge and S. K. Skagen. 2004. Nest survival estimation: a review of alternatives to the Mayfield estimator. *The Condor* 106: 472–484.
- Johnson, D. H. 1979. Estimating nest success: the Mayfield method and an alternative. *The Auk* 96(4): 651–661.
- Johnson, D. H. and T. L. Shaffer. 1990. Estimating nest success: when Mayfield wins. *The Auk* 107: 595–600.
- Keithmaleesatti, S., K. Thongcharoen, P. Doungkomna, K. Somjai and T. Chaianunporn. 2020. Breeding success of Little Grebe, *Tachybaptus ruficollis*, at a wastewater treatment facility at Khon Kaen University, Thailand: The influence of human activity. *Songklanakarin Journal of Science and Technology* 42(2): 274–279.
- Kelly, J. P. 1993. The effect of nest predation on habitat selection by Dusky Flycatchers in limber pine-juniper woodland. *The Condor* 95: 83–93.
- Kloskowski, J., M. Nieoczym, M. Polak and P. Pitucha. 2010. Habitat

- selection by breeding waterbirds at ponds with size-structured fish populations. *Naturwissenschaften* 97: 673–682.
- Knudson, C., S. Benson, C. Geyer and G. Jones. 2021. Likelihood-based Inference for Generalized Linear Mixed Models: Inference with the R Package Glmm. *Stat* 10 (1): e339.
- Latif, Q. S., S. K. Heath and J. T. Rotenberry. 2012. How avian nest site selection responds to predation risk: testing an ‘adaptive peak hypothesis’. *Journal of Animal Ecology* 81: 127–138.
- Lehikoinen, A., J. Rintala, E. Lammi and H. Pöysä. 2016. Habitat-specific population trajectories in boreal waterbirds: alarming trends and bioindicators for wetlands. *Animal Conservation* 19: 88–95.
- Loucif, K., M. C. Maazi, M. Houhamdi and H. Chenchouni. 2021. Nest site selection and breeding ecology of the Ferruginous Duck (*Aythya nyroca*) in Algeria. *Global Ecology and Conservation* 26: e01524.
- Ma, Z., Y. Cai, B. Li and J. Chen. 2010. Managing wetland habitats for waterbirds: an international perspective. *Wetlands* 30: 15–27.
- Mabee, T. J. 1997. Using eggshell evidence to determine nest fate of shorebirds. *Wilson Bulletin* 109: 307–313.
- Martin, T. E. 1987. Food as a limit on breeding birds: a life-history perspective. *Annual Review of Ecology and Systematics* 18: 453–487.
- Martin, T. E. 1993. Nest predation and nest sites. *BioScience* 43(8): 523–532.
- Martin, T. E. 1998. Are microhabitat preferences of coexisting species under selection and adaptive? *Ecology* 79(2): 656–670.
- Martin, T. E. and J. J. Roper. 1988. Nest predation and nest-site selection of a western population of the Hermit

- Thrush. *Ecology* 90: 51–57.
- Mayfield, H. F. 1961. Nesting success calculated from exposure. *The Willson Bulletin* 73(3): 255–261.
- Mayfield, H. F. 1975. Suggestions for calculating nest success. *The Wilson Bulletin* 87(4): 456–466.
- Meliani, K. M., I. Bendahmane, M. Bara, S. Atoussi, M. Houhamdi and N. Mostefai. 2020. Abundances and breeding phenology of three sympatric grebes (Little Grebe *Tachybaptus ruficollis*, Great Crested Grebe *Podiceps cristatus* and Black-necked Grebe *Podiceps nigricollis*) in Dayet El Ferd, Algeria. *Acta Zoologica Lilloana* 64(2): 73–83.
- Moss, D. and M. Moss. 1993. Breeding biology of the Little Grebe *Tachybaptus ruficollis* in Britain and Ireland. *Bird Study* 40(2): 107–114.
- Murray, N. J., S. R. Phinn, M. DeWitt, R. Ferrari, R. Johnston, M. B. Lyons, N. Clinton, D. Thau and R. A. Fuller. 2019. The global distribution and trajectory of tidal flats. *Nature* 565(7738): 222–225.
- O’Donnel, C. and J. Fjeldså. 1997. Grebes-status survey and conservation action plan. IUCN/SSC Grebe Specialist Group. International Union for Conservation of Nature, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.
- Prokop, P. and A. Trnka. 2011. Why do grebes cover their nests? Laboratory and field tests of two alternative hypotheses. *Journal of Ethology* 29: 17–22.
- R Core Team. 2020. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Ricklefs, R. E. 1980. Geographical variation in clutch size among passerine birds: Ashmole’s hypothesis. *Auk* 97: 38–49.
- Rienschke, D. L., J. D. Mena and A. B.

- Shawen. 2009. Western and Clark's Grebe nest platforms designed for fluctuating water levels. *Transactions of the Western Section of the Wildlife Society* 45: 7–16.
- Routhier, D. D., K. W. Dufour, M. T. Bidwell and R. Clark. 2020. Habitat occupancy by breeding Pied-billed and Horned Grebes in Prairie Canada: correlates of pond use and breeding success. *Avian Conservation & Ecology* 15(2):3.
- Salonen, V. and A. Penttinen. 1988. Factors affecting nest predation in the Great Crested Grebe: field observations, experiments and their statistical analysis. *Ornis Fennica* 65: 13–20.
- Sebastián-González, E., F. Botella, R. A. Sempere and J. A. Sánchez-Zapata. 2010. An empirical demonstration of the ideal free distribution: Little Grebes *Tachybaptus ruficollis* breeding in intensive agricultural landscapes. *Ibis* 152: 643–650.
- Sieving, K. E. and M. F. Willson. 1998. Nest predation and avian species diversity in northwestern forest understory. *Ecology* 79(7): 2391–2402.
- StatSoft, Inc. 2004. STATISTICA (data analysis software system), version 7. www.statsoft.com.
- Studds, C. E., B. E. Kendall, N. J. Murray, H. B. Wilson, D. I. Rogers, R. S. Clemens, K. Gosbell, C. J. Hassell, R. Jessop, D. S. Melville, D. A. Milton, C. D. T. Minton, H. P. Possingham, A. C. Riegen, P. Straw, E. J. Woehler and R. A. Fuller. 2017. Rapid population decline in migratory shorebirds relying on Yellow Sea tidal mudflats as stopover sites. *Nature Communications* 8:14895.
- Teglhøj, P. G. 2017. A comparative study of insect abundance and reproductive success of barn swallows *Hirundo rustica* in two urban habitats. *Journal of Avian Biology* 48(6): 846–853.

- Thongcharoen, K., M. G. Robson and S. Keithmaleesatti. 2017. Determination of heavy metals in eggs of Little Grebe (*Tachybaptus ruficollis*) around the wastewater treatment ponds, Khon Kaen University. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, DOI: 10.1080/10807039.2017.1383851.
- Tsai, J. S., L. S. Venne, S. T. McMurry and L. M. Smith. 2007. Influences of land use and wetland characteristics on water loss rates and hydroperiods of playas in the Southern High Plains, USA. *Wetlands* 27(3): 683–692.
- Ulfvén, P. 1988. Nest characteristics and survival in the Horned Grebe *Podiceps auritus* and Great Crested Grebe *Podiceps cristatus* in a Finnish archipelago. *Annales Zoologici Fennici* 25: 293–298.
- Verhulst, S. and J. Nilsson. 2008. The timing of birds' breeding seasons: a review of experiments that manipulated timing of breeding. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 363: 399–410.
- Vogrin, M. 2001. Breeding of Little Grebe *Tachybaptus ruficollis* and Great Crested Grebe *Podiceps cristatus* on race ponds in northeastern Slovenia (Central Europe) – a 13-years study. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 4(3): 241–243.
- Wang, X., X. Li, X. Ren, M. V. Jackson, R. A. Fuller, D. S. Melville, T. Amano and Z. Ma. 2021. Effects of anthropogenic landscapes on population maintenance of waterbirds. *Conservation Biology* 36: e13808.
- Xu, W., X. Fan, J. Ma, S. L. Pimm, L. Kong, Y. Zeng, X. Li, Y. Xiao, H. Zheng, J. Liu, B. Wu, L. An, L. Zhang, X. Wang and Z. Ouyang. 2019. Hidden loss of wetlands in China. *Current Biology* 29: 3065–3071.

Yuan, Y., G. Zeng, J. Liang, X. Li, Z. Li,
 C. Zhang, L. Huang, X. Lai, L. Lu,
 H. Wu and X. Yu. 2014. Effects
 of landscape structure, habitat and
 human disturbance on birds: a case
 study in East Dongting Lake wet-

land. *Ecological Engineering* 67:
 67–75

表 1. 在 2012 年及 2013 年所記錄之小鵬鵬繁殖成功與失敗巢數量，以及表觀巢成功率與梅菲爾德巢成功率

Table1. The number of successful and failed nests of Little Grebe, and Apparent and Mayfield nesting success in Augo Wetland during the breeding season in 2012 and 2013.

	2012	2013	Total
Total nests	42	57	99
No. of successful nests	10	4	14
No. of failed nests	32	53	85
Apparent nesting success (%)	23.8	7.0	14.1
Mayfield nesting success (%)	43.9	13.4	27.2

表 2. 鰲鼓濕地所記錄之小鵬鵬成功巢與失敗巢的巢位棲地特徵彙整表。各變數以 mean ± sd 呈現，括號內的數值為樣本數

Table 2. Summary of nest characteristics of successful and failed nests in Aogu Wetland. The mean ± sd is shown for each variable. Sample sizes are shown in parentheses.

Nest characteristics	Total nests	Successful nests	Failed nests
Clutch size	3.3 ± 1.4 (99)	4.4 ± 1.3 (14)	3.1 ± 1.3 (85)
Nest width (cm)	38.3 ± 7.2 (99)	41.1 ± 7.7 (14)	37.9 ± 7.0 (85)
Nest height (cm)	3.1 ± 1.2 (99)	4.1 ± 1.6 (14)	2.9 ± 1.0 (85)
Water depth beside nest (cm)	57.3 ± 19.1 (99)	67.2 ± 16.9 (14)	55.7 ± 19.1 (85)
Nest closure (%)	18.7 ± 23.6 (99)	13.6 ± 14.4 (14)	19.5 ± 24.8 (85)
Distance to the nearest embankment (m)	14.7 ± 12.7 (99)	14.3 ± 7.7 (14)	14.8 ± 13.4 (85)
Distance to the nearest neighbor (m)	72.3 ± 57.5 (67)	66.6 ± 45.9 (10)	73.3 ± 59.6 (57)
Vegetation coverage beside nest (%)	34.7 ± 18.4 (55)	28.4 ± 13.3 (4)	35.2 ± 18.8 (51)
Rank of vegetation height beside nest	1.4 ± 0.7 (55)	1.3 ± 0.5 (4)	1.5 ± 0.7 (51)

表 3. 以訊息理論研究法 (AICc) 對小鵬鵒的巢位特徵關係進行模型篩選之結果：表中同時顯示變數數量 (K)、AICc 值、AICc 差值 ($\Delta AICc$) 及 Akaike weights (ω_i)

Table 3. Ranking of models on individual nest-site variables for the Little Grebe nests based on the lowest AICc value ($\Delta AICc$) (K, number of variables in the models, ω_i , Akaike weight explaining total variance).

Models	K	AICc	$\Delta AICc$	ω_i
CS + WDN + NH + NC	6	66.15	0.00	0.637
CS + WDN + NW + NH + NC	7	70.22	4.07	0.083
CS + WDN + NH + NC + DNE	7	70.68	4.53	0.066
CS + NC + NW + NH	6	71.24	5.09	0.050
CS + NW + NH + NC	6	71.74	5.59	0.039
WDN + NH + NC + DNE	6	72.09	5.94	0.033
CS + WDN + NW + NH + NC + DNE	8	73.90	7.75	0.013
NC + WDN + NH	5	74.07	7.92	0.012

^a Variable abbreviations: CS: clutch size ; NH: nest height (cm); NW: nest width (cm); NC: nest closure (%); DNE: distance to the nearest embankment (cm); WDN: water depth beside nest (cm).

^b K is the number of the explanatory variables in the model. AICc indicates the corrected Akaike's Information Criterion. $\Delta AICc = AICc_i - \text{minimum AICc}$, The bold face indicates that the candidate model is the most parsimony model.

表 4. 以 AICc 選擇出小鵬鵒 (*Tachybaptus ruficollis*) 巢位特徵之最佳 GLMM 分析模型的變數估計值、SE 及其檢定結果

Table 4. Parameter estimates (β) of the most parsimonious GLMM model supported by AICc for the Little Grebe (*Tachybaptus ruficollis*) nests.

Fixed effects	Estimate (β)	Std. Error	z-value	Pr(> z)
Intercept				
Clutch size	0.848	0.267	3.178	0.0015 **
Water depth beside nest	0.038	0.015	2.533	0.0113 *
Nest height	1.061	0.268	3.959	<0.0001 ***
Nest closure	-0.070	0.033	-2.144	0.0321 *
Random effects				
	Estimate	Std. Error	z-value	Pr(> z)/2
Year	0.000	0.000	0.707	0.2398
Pond	0.009	0.004	2.635	0.0042 **

表 5. 小鸕鶿巢位特徵之冗餘分析的線性組合係數與解釋變異量百分比

Table 5. The coefficients for linear combinations of variables in the formation of dbRDA coordinates and the percentage of explained variation.

Nest characteristics	dbRDA1	dbRDA2	dbRDA3	dbRDA4
Clutch size	-0.489	-0.315	-0.337	-0.282
Nest width	-0.195	0.227	-0.312	0.772
Nest height	-0.515	0.237	-0.399	0.299
Water depth beside nest	0.186	0.460	-0.010	-0.139
Nest closure	-0.426	0.176	0.009	-0.007
DNE [#]	0.138	0.153	0.578	0.199
% explained variation	38.76	27.53	18.92	8.30
Cumulative %	38.76	66.28	85.21	93.51

[#]DNE: Distance to the nearest embankment

表 6. 鰲鼓濕地之小鸕鶿繁殖失敗巢的原因類歸

Table 6. Causes of failure of Little Grebe nests in Augo Wetland.

Cause	2012	2013	Total
Flooding	9	8	17
Stranding	9	1	10
Predation	9	37	46
Unknown cause of failure	5	7	12
Total	32	53	85

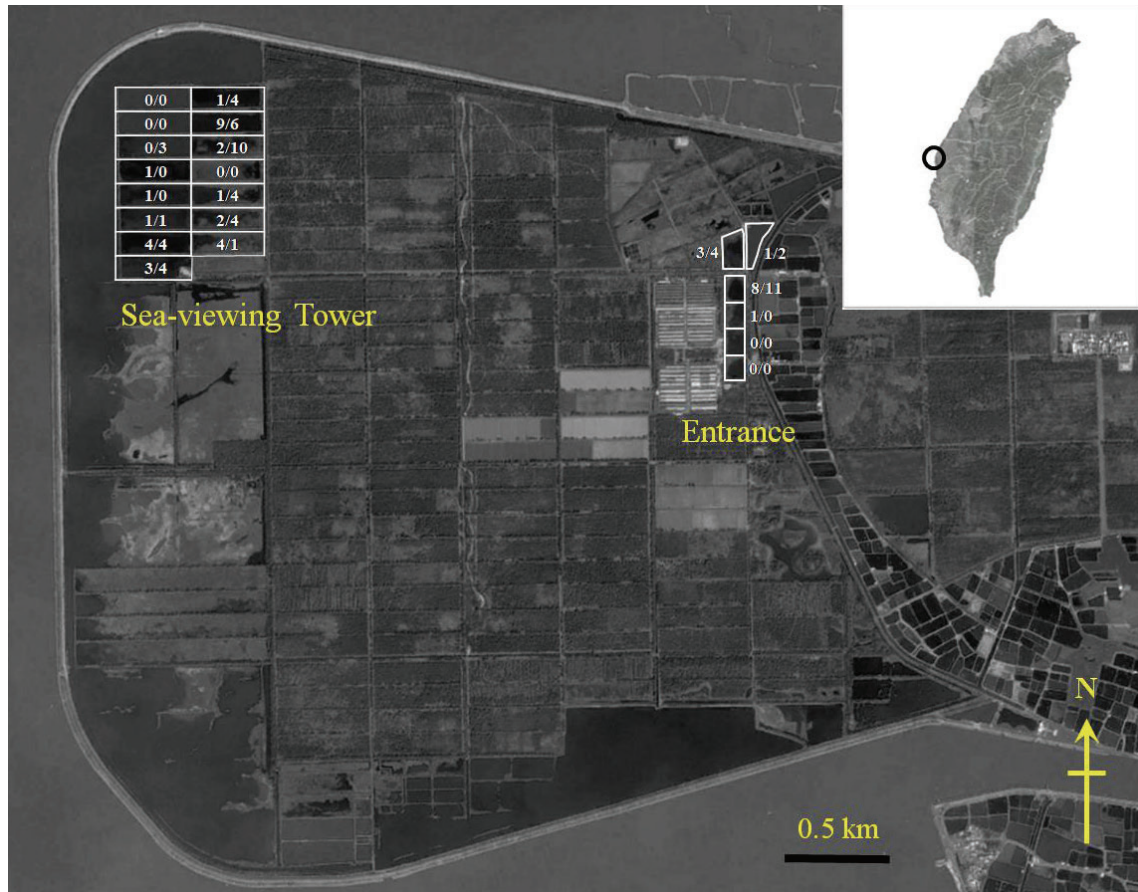


圖 1. 本研究之調查樣區在鰲鼓濕地的分布位置圖，各池塘旁之阿拉伯數字分別表示 2012/2013 年所發現繁殖巢數。

Fig. 1. The sampling ponds in Aogu Wetland. The numbers beside each pond represent the Little Grebe nests found in 2012 and 2013.

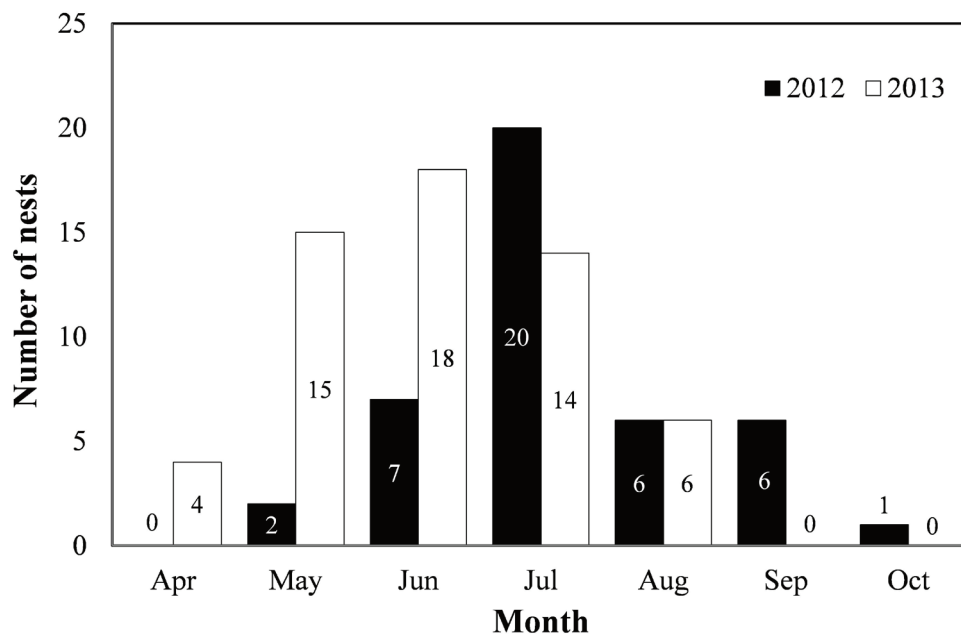


圖 2. 各月分所發現之小鸕鶿繁殖巢數量。
 Fig. 2. Numbers of Little Grebe nest recorded each month.

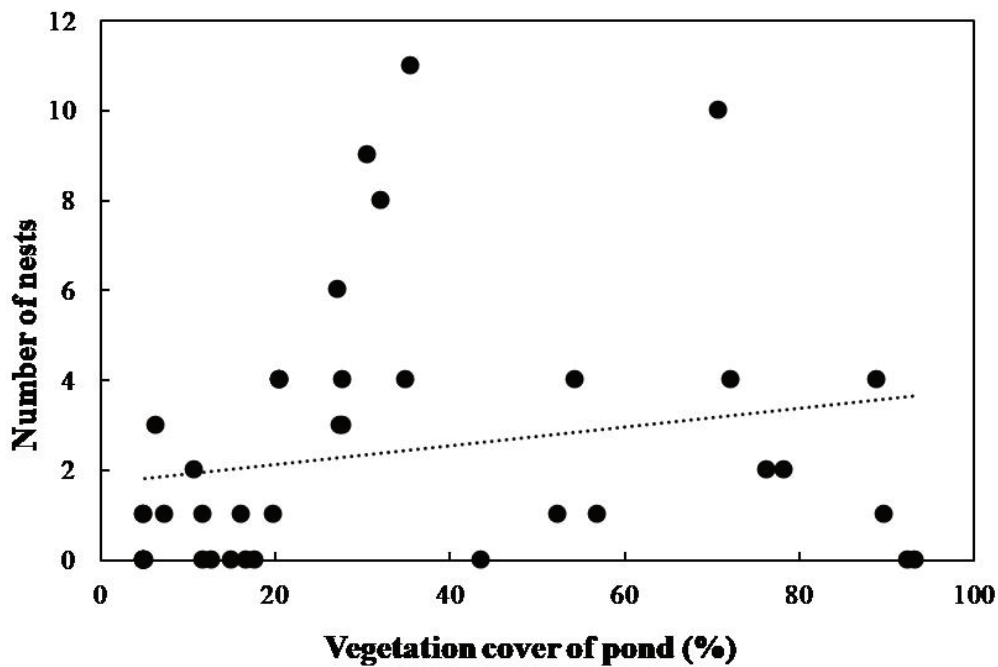


圖 3. 各池塘所記錄之小鸕鶿繁殖巢數量與池塘植被覆蓋度的關係。
 Fig. 3. Relationship between the number of Little Grebe nest and the emerged vegetation cover of each pond (%).

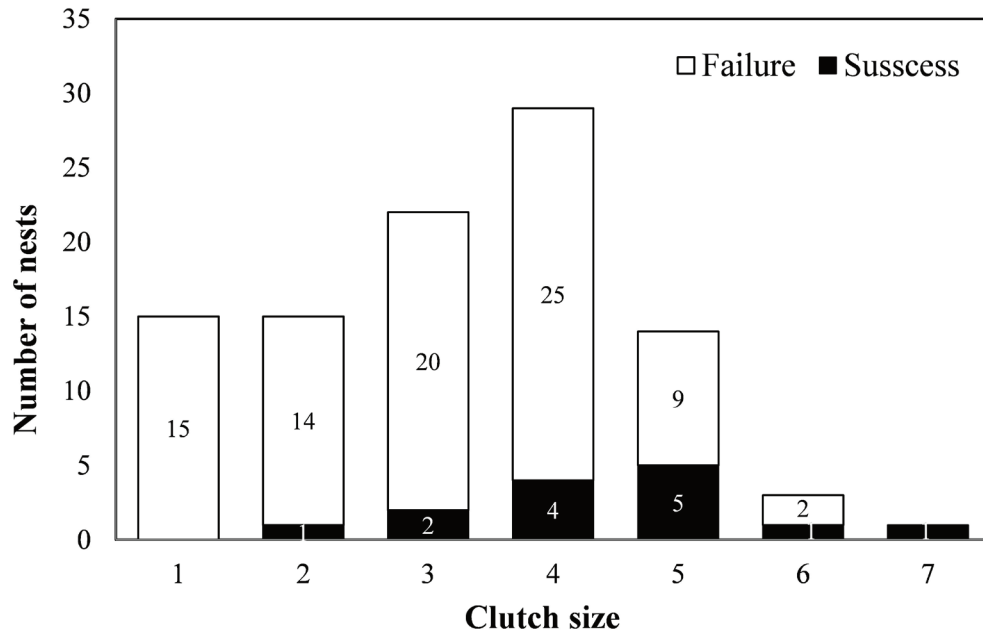


圖 4. 不同窩卵數之繁殖成功巢與失敗巢的數量分布圖。條狀圖之白色區塊表繁殖失敗巢，黑色區塊表繁殖成功巢。

Fig. 4. Relationship between recorded clutch size of Little Grebes and outcome of the nest stated by the observers. Black bars represent the successful nests, and white bars represent the failed nests.

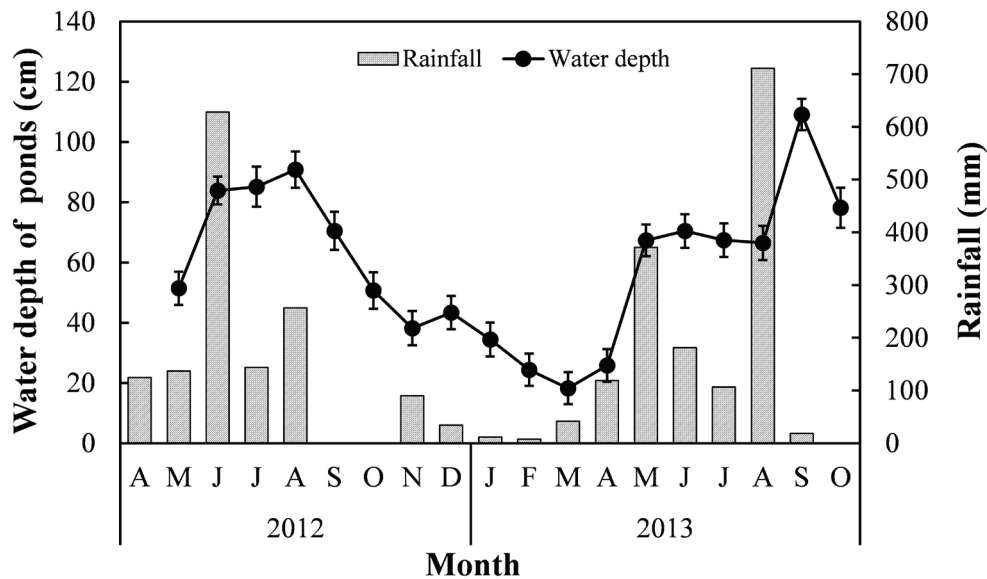


圖 5. 研究期間的各月分降雨量與平均池塘水深。

Fig. 5. Monthly rainfall (mm) and average water depth of ponds during the study period.

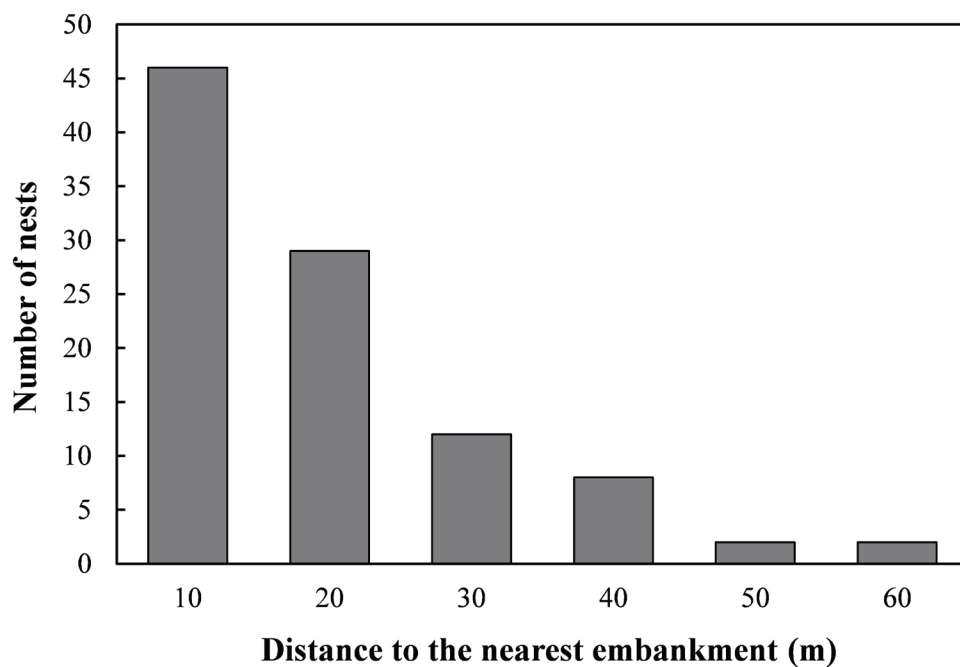


圖 6. 在不同離最近邊坡距離 (m) 組別中所發現的小鵬鵒繁殖巢數。

Fig. 6. Number of Little Grebe nests found in each class with different distances to the nearest embankment (m).

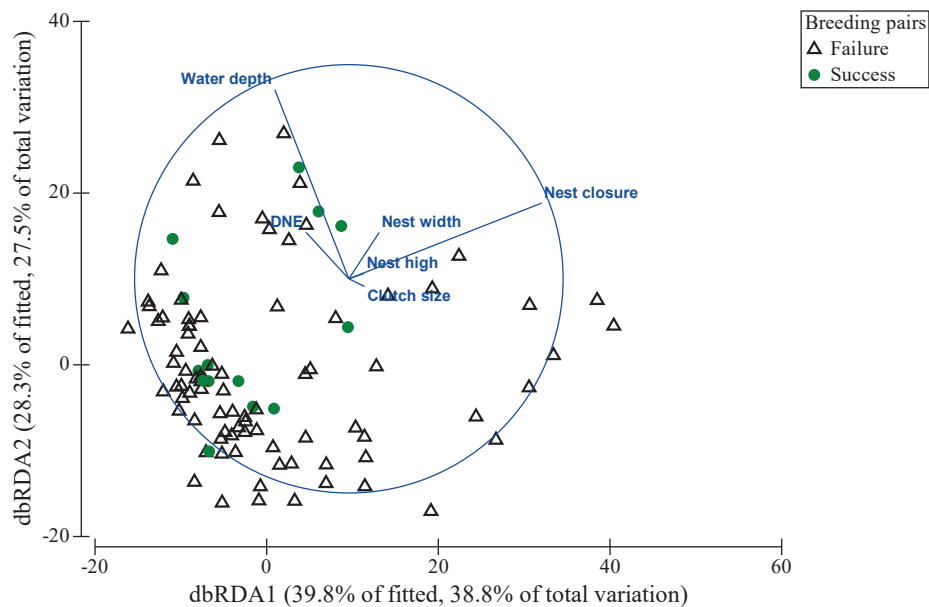


圖 7. 小鵬鵒繁殖巢與巢位棲地特徵因子間之多變量冗餘分析 (dbRDA) 在第 1 軸及第 2 軸的分布圖。

Fig. 7. Distance-based redundancy analysis (dbRDA) ordination plot for the fitted model of Little Grebe nests and breeding-site characteristics along the first two dbRDA axes.