

國立臺灣大學生物資源暨農學院森林環境暨資源學系

碩士論文

School of Forestry and Resource Conservation

College of Bioresources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis



小燕鷗巢位選擇與巢材功能之探討

Nest Site Selection and Nest Material Function of Little

Terns (*Sternula albifrons*)

張樂寧

Le-Ning Chang

指導教授：袁孝維 博士

Advisor: Hsiao-Wei Yuan, Ph.D.

中華民國 103 年 6 月

June, 2014

## 誌謝

終於，我也走到這天。但我彷彿還站在那，享受著燕鷗群環繞翱翔的豔陽天，那是一段奇遇的時光，只要有藍天與海洋就像擁有了全世界。你勢必要從中感受過，才能明白這深刻與感動。

我親愛的家人們，雖然我們總是聚少離多，但是你們給予我滿滿的愛，是我生活的能量泉源，使我充滿勇氣與自信；特別是親愛的媽咪與老弟，你們是我無敵強大的後盾，謝謝你們總是支持我所做的決定，做我最有力的後援。而我總是拙於表達對你們的愛，但是我是真的真的好愛好愛你們！

我是幸運與幸福的孩子，遇到了世界上最棒最美麗的指導教授—袁孝維老師，身體力行並且永遠充滿熱情與活力，不論在研究上或生活上都給予我悉心的指導與照顧，並且信任我、給予我發揮的空間，完成這階段的里程碑，我充滿了無限的感激。在論文的修訂上，特別感謝王穎老師、丁宗蘇老師和蔡若詩老師的費心指導，提供了寶貴的建議以及反思的空間，使得論文內容更加圓融完整；也感謝老師們給予的肯定，我會繼續努力！

這一路上，著實受到太多太多的人幫助與照顧。是你們成就了今日的我！我心中的感激，彷彿說再多次也不夠。感謝林亞立老師、黃仲霽學姊與宜蘭野鳥學會的大家、蔣忠祐學長、澎湖野鳥學會鄭謙遜老師在研究過程中的諸多協助與討論，讓我能夠向你們學習，受益良多。感謝統計先生張嘉鴻學長給予統計分析上的建議。感謝研究室的夥伴這兩年來的陪伴與扶持。感謝樓下 213 研究室成為我另一個溫暖的棲身之所，視我為一份子。以及莉蓁、修敏、王小花、宜芳、Emily、玲瑩等好友們的陪伴，你們都是我生命中重要而可愛的人兒們。

很幸運地我與燕鷗的不解之緣，就這樣給繫上了。

我想我會特別懷念那一年意義非凡的夏天！藍天、海洋、小燕鷗，以及一切我未曾預料過的精彩！

樂寧 於 103 年 08 月 19 日





## 中文摘要:

小燕鷗是臺灣二級珍貴稀有保育類動物，其主要的繁殖棲地有宜蘭縣蘭陽溪口沙洲、彰化縣嵩尾工業區、澎湖縣青螺濕地與吉貝嶼以及嘉義縣新塭滯洪池沙洲。本研究於 2013 年 5—7 月調查小燕鷗在四地的巢位選擇並進一步在宜蘭縣蘭陽溪口沙洲深入探討小燕鷗的巢材功能。結果顯示，在巢位選擇上小燕鷗偏好環境複雜度高有枯枝木屑、碎石或貝殼的環境，並且偏好選擇遠離植被和植被高度低的環境作為巢位。若是大棲地的環境狀況較不適合小燕鷗，小燕鷗會透過巢位選擇來改善巢位的環境以補償大棲地造成的影響。本研究推測驅使小燕鷗巢位選擇偏好的原因可能和天敵的影響以及巢材的需求有關。在各繁殖地中，小燕鷗使用巢材的種類和比例不同，分別為宜蘭縣蘭陽溪口 33%，彰化縣嵩尾工業區沙丘與礫石地 3% 和 82%、澎湖縣吉貝嶼 28%、嘉義縣新塭滯洪池沙洲 83%。經研究結果顯示：小燕鷗使用巢材的原因和調節巢內微氣候有關，使其巢內溫度較低、濕度較高；然而，對於其孵化成功率、被捕食率、親鳥孵卵時間、蛋體積和產卵時程則沒有影響。2013 年小燕鷗在宜蘭縣蘭陽溪口沙洲的孵化成功率为 54.8%，是目前臺灣研究中最高的記錄，推測可能和當年颱風季節較晚開始有關。在氣候因子中，以孵化期的最大雨量、孵化期的平均溫度以及孵化期的平均溫度和平均風速的交互作用對於小燕鷗孵化成功率有顯著相關。然而，人為活動干擾一直是影響小燕鷗繁殖的主要原因，除了直接造成小燕鷗可利用的繁殖棲地減少，間接也影響了繁殖結果，因此瞭解小燕鷗對於棲地選擇的需求，對於其棲地的經營管理或未來要營造人工棲地是相當重要的資訊，而建立長期的棲地品質與小燕鷗族群動態的監測是未來可以的努力目標。

**關鍵字：**棲地利用、溫度調節、溼度調節、孵卵行為

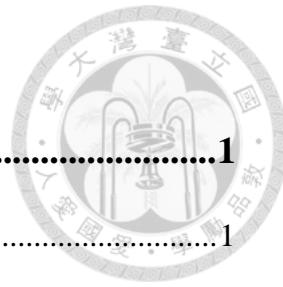


## Abstract:

Little tern is listed as the category “Rare and Valuable Species” in the Schedule of Protected Species in Taiwan, and its main breeding habitats are Lanyang estuary in Yilan County, Lunwei industrial park in Changhua County, Jibeiyu in Penghu island, and Xinwen in Chiayi County. In this study, I investigated the nest site selection in the above breeding habitats and further explored the nest materials functions in Lanyang estuary from May to July, 2013. Results showed that little tern favored higher environmental complexity that with litter, debris and shell fragments and preferred the nest site that was far from vegetation and had lower vegetation height. These seemed to associate with predators and the needs for materials. The proportions of nest materials utilization in four habitats are Lanyang estuary 33%, Lunwei industrial park sand dune 3% and gravel 82%, Jibeiyu 28%, and Xinwen 83%. Using materials would benefit nest microclimate significantly, and keep nest temperature lower and nest humidity higher; however, there were no differences in hatching success, predation rate, parental incubation time, egg volume, egg-laying period. For abiotic factors, such like maximum precipitation in incubation period, average temperature in incubation period, and interaction between average temperature and average wind speed in incubation period, had the significant influence on hatching success. Because of late typhoon season in 2013, the hatching success (54.8%) in Lanyang estuary were the highest than ever before in Taiwan. In addition, human disturbance had posed critical impact on little terns’ breeding performance and habitat. Therefore, knowledge of habitat selection would benefit habitat management, conservation and restoration.

**Keywords:** habitat use, hydroregulation, incubation behavior, thermoregulation

# 目 錄



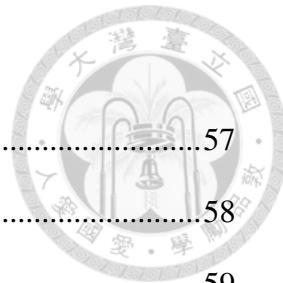
<b>壹、文獻回顧 .....</b>	<b>1</b>
一、    族群現況與危機.....	1
二、    棲地選擇與變遷.....	3
三、    巢材利用與功能.....	8
<b>貳、前言 .....</b>	<b>11</b>
<b>參、研究地點和方法 .....</b>	<b>14</b>
一、    研究地點.....	14
二、    調查時間與方法.....	16
三、    資料處理與統計分析.....	19
<b>肆、結果 .....</b>	<b>21</b>
一、    各個繁殖棲地中巢位選擇比較.....	21
二、    使用巢材與否、蛋體積和其產卵時程的關係.....	22
三、    巢材利用與功能探討.....	22
四、    孵化成功率與各影響因子.....	23
五、    最多風向和巢位周圍障礙物相關性分析.....	23
六、    孵卵時期的行為記錄.....	24
<b>伍、討論 .....</b>	<b>25</b>
一、    繁殖棲地利用 .....	25
二、    巢材利用與功能探討 .....	28
三、    影響孵化成功率的因子 .....	30
四、    棲地經營管理建議 .....	32
<b>陸、參考文獻 .....</b>	<b>35</b>

## 表目錄



表一、巢位各項棲地特徵與說明.....	45
表二、宜蘭縣蘭陽溪口沙洲小燕鷗巢位棲地特徵的比較.....	46
表三、澎湖縣吉貝嶼小燕鷗巢位棲地特徵的比較.....	47
表四、嘉義縣新塭滯洪池南池沙洲小燕鷗巢位棲地特徵的比較.....	48
表五、嘉義縣新塭滯洪池北池沙洲小燕鷗巢位棲地特徵的比較.....	49
表六、彰化縣嵩尾工業區礫石地小燕鷗巢位棲地特徵的比較.....	50
表七、各繁殖地的棲地類型、巢材種類與巢材使用比例.....	51
表八、二元邏輯式迴歸分析檢定各棲地特徵對於孵化成功率的影響.....	52
表九、2013 年宜蘭縣蘭陽溪口沙洲小燕鷗的繁殖結果.....	53
表十、使用時間序列分析各氣候因子對於孵化成功率的影響程度.....	54
表十一、宜蘭縣蘭陽溪口沙洲的小燕鷗巢位周圍障礙物位置和最多風向顯著相關	
.....	55
表十二、中央氣象局 2011–2013 年 5–9 月發布颱風警報的颱風資訊。.....	56

## 圖目錄



圖一、小燕鷗親鳥與雛鳥.....	57
圖二、宜蘭縣蘭陽溪口沙洲棲地環境照.....	58
圖三、彰化縣崙尾工業區礫石地棲地環境照.....	59
圖四、彰化縣崙尾工業區沙丘棲地環境照.....	60
圖五、澎湖縣吉貝嶼棲地環境照.....	61
圖六、嘉義縣新塭滯洪池南池沙洲棲地環境照.....	62
圖七、嘉義縣新塭滯洪池北池沙洲棲地環境照.....	63
圖八、澎湖縣吉貝嶼小燕鷗巢位.....	64
圖九、宜蘭縣蘭陽溪口沙洲小燕鷗巢位照.....	65
圖十、彰化縣崙尾工業區礫石地小燕鷗巢位.....	66
圖十一、彰化縣崙尾工業區沙丘小燕鷗巢位.....	67
圖十二、嘉義縣新塭滯洪池南池沙洲小燕鷗巢位.....	68
圖十三、嘉義縣新塭滯洪池北池沙洲小燕鷗巢位.....	69
圖十四、小燕鷗在臺灣四個主要的繁殖地點.....	70
圖十五、宜蘭縣蘭陽溪口沙洲小燕鷗蛋體積在產卵時程上的變異.....	71
圖十六、宜蘭縣蘭陽溪口沙洲小燕鷗巢位溫度和環境溫度的差異.....	72
圖十七、宜蘭縣蘭陽溪口沙洲小燕鷗巢位濕度和環境濕度的差異.....	73
圖十八、宜蘭縣蘭陽溪口沙洲小燕鷗使用巢材與否和其親鳥孵卵時間無關.....	74
圖十九、宜蘭縣蘭陽溪口沙洲小燕鷗巢蛋的天敵.....	75

## 附錄

附錄一、利用漂浮法判斷孵化時程.....	76
附錄二、本研究 2013 年調查時程安排.....	77





## 壹、文獻回顧

小燕鷗(*Sternula albifrons*)隸屬於鷗科(Laridae)中較小型的鳥種，體長約22-24cm。外形雌雄鳥同型，其特徵是上嘴喙基部延伸出來的過眼線與頭頂黑色帶圍成的白色額頭區域。在繁殖季時，嘴喙為黃色，尖端有一點黑，腳為橘黃色(圖一)；非繁殖季時，其嘴喙與腳的顏色皆為黑褐色(劉小如等, 2010)。廣泛分布於歐洲、非洲、亞洲以及澳洲(Burger and Gochfeld, 1996)，全球共有六個亞種，分別是指名亞種 *S. a. albifrons* 分布於歐洲、西亞及印度洋；*S. a. guineae* 分布於非洲中西部的迦納(Ghana)到加彭(Gabon)；*S. a. innominata* 分布於波斯灣的島群；*S. a. pusilla* 分布於印度東北部、斯里蘭卡、緬甸及蘇門答臘和爪哇的島群；*S. a. placens* 分布於澳洲東部和塔斯馬尼亞洲；*S. a. sinensis* 分布於俄羅斯東南部到日本、東南亞、菲律賓和新幾內亞，在臺灣的小燕鷗族群屬於這個亞種(Clements et al., 2013)。

## 一、族群現況與危機

根據Wetlands International (2006)的調查，全球小燕鷗的族群量約為190,000至410,000隻。在國際自然保護聯盟瀕危物種紅皮書(International Union for Conservation of Nature Red List of Threatened Species)中雖然記錄著小燕鷗的族群量是下降的趨勢，但由於小燕鷗族群的現況尚未符合需要急迫被保育的條件(分布面積< 20,000平方公里；十年或三個世代內族群減少30%)，因此被列為無危(least concern)物種(BirdLife International, 2012)。然而，在義大利、西班牙、葡萄牙、英國、日本、臺灣等各地均有研究指出當地的小燕鷗族群量有下降的趨勢(呂正仁, 1997; Oro et al., 2004; Pickerell, 2004; Amano and Yamaura, 2007; Scarton, 2008; 洪崇航, 2009)，因此在各國的紅皮書中小燕鷗依受危害的程度不同被列為近危(near threatened)、易危(vulnerable)、瀕危(endangered)或極危(critically

endangered)的保育級別(Devos *et al.*, 2004; Dolev and Perevolotsky, 2004; Hustings *et al.*, 2004; Radovic *et al.*, 2007; Ministry of the Environment, 2008)。

整理世界各地造成小燕鷗族群減少的原因，主要有下列三項：

- 1. 人為干擾：**人類於小燕鷗的繁殖棲地進行開發、遊憩活動等，佔據其繁殖棲地，干擾繁殖的進行，直接的造成棲地減少、巢蛋破壞或間接的增加繁殖壓力，影響族群的繁衍(Holloway, 1993; Catry *et al.*, 2004; Oro *et al.*, 2004; Chan and Dening, 2007; Medeiros *et al.*, 2007; Ratcliffe *et al.*, 2008; Scarton, 2008; 洪崇航, 2009; 宜蘭縣野鳥學會, 2011; Medeiros *et al.*, 2012)。
- 2. 捕食壓力：**小燕鷗的天敵有來自空中的猛禽、同水域棲息活動的大型鷗科、鷺科、鶲鴝科、石鴿科、鴉科等鳥類與地面上的中小型哺乳類動物，如：狗、貓、鼠、狐狸等都會獵捕小燕鷗的巢蛋或雛鳥(Holloway, 1993; Burger and Gochfeld, 1996; Catry *et al.*, 2004; Oro *et al.*, 2004; Medeiros *et al.*, 2007; Ratcliffe *et al.*, 2008; Fujita *et al.*, 2009; 宜蘭縣野鳥學會, 2011; Medeiros *et al.*, 2012)，而直接威脅成鳥的天敵較少被記錄到。Ratcliffe *et al.* (2008)在東英格蘭的研究指出，小燕鷗察覺或避免被掠食的能力極差，沒有辦法依據天敵紅狐(*Vulpes vulpes*)出現頻率避免選擇天敵出現頻度高的繁殖棲地，是導致繁殖失敗的主因。
- 3. 淹水事件：**由於小燕鷗繁殖於海岸或河口的沙灘或沙洲，容易因連續性豪雨、潮汐或颱風等造成大規模的淹水事件，使得巢蛋失溫影響孵化過程或使胚胎死亡，甚至是洪水直接將整個巢區沖毀並將巢蛋沖走，造成整個族群的繁殖失敗(Holloway, 1993; Hong *et al.*, 1998; Ratcliffe *et al.*, 2008; Scarton, 2008; 洪崇航, 2009; 宜蘭縣野鳥學會, 2011; Medeiros *et al.*, 2012)。

會, 2012)。

其他可能影響的原因還有：海岸侵蝕、氣候變遷造成海平面上升、被迫更換繁殖棲地、種間或種內的棲地競爭等，導致其可利用的繁殖棲地面積縮減(Oro *et al.*, 2004; Ratcliffe *et al.*, 2008)。整體而言，造成小燕鷗族群呈現下降趨勢的潛在原因和其繁殖棲地狀況有極大的關係。

## 二、 棲地選擇與變遷

一個好的棲地可以提供充足的食物資源與躲避天敵及惡劣氣候的避難所，使動物得以生存並提供尋覓伴侶與繁衍後代的最佳場域(Cody, 1985; Schreiber and Burger, 2002; Gill, 2007)。因此，棲地選擇在動物的生命週期中是一個重要的過程，影響了物種的適存度(Danchin *et al.*, 1998; Ramos, 1998; Catry *et al.*, 2004; Oro *et al.*, 2004; Part *et al.*, 2011; Barati *et al.*, 2012; Medeiros *et al.*, 2012; Serrano and Tella, 2012)。棲地選擇並非是一個隨機的過程，許多因子皆可能影響鳥類對於棲地的選擇，如：巢位的特徵(Medeiros *et al.*, 2012)、遺傳偏好(Brown and Brown, 2000)、種內吸引(Medeiros *et al.*, 2012)和競爭(Saliva and Burger, 1989; Ramos, 1998; Lee *et al.*, 2006)、棲地忠誠度(Piper, 2011)、食物資源(Medeiros *et al.*, 2007; Fujita *et al.*, 2009)、躲避天敵(Velando and Márquez, 2002)、人類干擾(Morán-López *et al.*, 2006)甚至是鳥類個性(Seltmann *et al.*, 2014)等。棲地選擇的過程是有層次的(Kristan III, 2006; Sherfy *et al.*, 2012)，小尺度的棲地選擇(如：巢位環境)是建立在大尺度的棲地選擇(如：地景類型)之下；因此，在探討棲地選擇的過程中，「尺度」是很重要的，在不同尺度下可以觀察到不同的棲地特徵與問題，反應出不同的棲地品質(Kristan III *et al.*, 2007)。必須因應不同的研究目的，決定研究的尺度。本研究為探討在不同大棲地類型下小燕鷗的巢位選擇與其利用巢材的原因，因此，以小尺度的巢位選擇評估小燕鷗的繁殖棲地偏好。

小燕鷗的天然繁殖棲地以海岸、河口地帶的沙灘、卵礫石灘為主，但由於1980年代起人類遊憩活動的盛行，如：日光浴(Scarton, 2008)、飄沙車(洪崇航, 2009)、衝浪和水上摩托車(Chan and Dening, 2007)等，干擾小燕鷗的繁殖，也帶來了小燕鷗巢蛋的掠食者如：狗、貓，增加小燕鷗額外的繁殖壓力，使得小燕鷗被迫更換繁殖棲地尋找替代棲地生殖，如：廢棄的曬鹽場(Cody, 1985; Catry *et al.*, 2004; Fujita *et al.*, 2009)。這樣的現象在燕鷗中早有研究案例，例如：分布於北美東部的白額燕鷗(*Sternula antillarum*)從原來的沙灘轉換至清淤堆積出來的區域生殖(Gochfeld, 1983; Kotliar and Burger, 1984)以及在非洲西南部納比米亞海岸繁殖的西非燕鷗(*Sternula balaenarum*)從原來礫石灘轉移至曬鹽場生殖(Simmons *et al.*, 1998)。然而，替代的繁殖棲地是否能夠取代原始的棲地提供物種生存與繁衍的資源，使物種族群維持平衡永續的生存呢？Burger and Gochfeld (1991)在北美東部研究普通燕鷗(*Sterna hirundo*)繁殖生物學時發現：普通燕鷗從原來的沙灘轉換至鹽沼繁殖後，連續幾年都因為大量降雨與洪水造成大規模的繁殖失敗，可能對於普通燕鷗的族群有負面的影響。因此，瞭解他們如何選擇棲地、對於棲地的偏好，可以作為評估替代繁殖棲地品質的參考，有助於物種的保育與棲地的經營管理，以免錯置了無法支撐起物種族群永續的生態陷阱。

根據前人研究，小燕鷗利用的替代繁殖棲地種類繁多，例如：曬鹽場、沙丘、礫石地、沙洲、珊瑚礁岩碎屑、泥地、建造中工地、稻米田、魚塭、水壩等(Holloway, 1993; Catry *et al.*, 2004; Chan and Dening, 2007; Medeiros *et al.*, 2007; Ratcliffe *et al.*, 2008; Scarton, 2008; Eason *et al.*, 2012; Medeiros *et al.*, 2012)。為了探討替代棲地是否會影響小燕鷗的繁殖生態學和族群延續，Catry *et al.* (2004)比較了沙灘和曬鹽場對於小燕鷗繁殖的影響，發現在沙灘繁殖的小燕鷗其窩卵數和蛋的大小相較在曬鹽場繁殖的小燕鷗來得大，顯示在沙灘繁殖的小燕鷗其繁殖品質較佳，但在繁殖結果上兩地沒有顯著不同；在繁殖時間上，使用沙灘的小燕鷗早於曬鹽場的小燕鷗約一週開始產卵並且提早約一個月結束繁殖季，對於這樣的現象Catry

*et al.* (2004)認為可能是因為人為干擾頻繁使得在沙灘上生殖的小燕鷗繁殖失敗，因而轉移到曬鹽場再次進行繁殖。綜合研究結果，Catry *et al.* (2004)也推測小燕鷗可能比較偏好沙灘的棲地，但由於人為活動造成高繁殖壓力，使得小燕鷗不得不尋求替代棲地進行繁衍。

直至今日，許多研究仍指出小燕鷗繁殖棲地的人為干擾問題尚未能妥善解決，甚至有加劇的現象，次要的替代棲地越來越重要(Catry *et al.*, 2004; Scarton, 2008; 洪崇航, 2009; 宜蘭縣野鳥學會, 2011, 2012)。然而，非自然的替代棲地在缺乏合適的經營管理下，容易使得棲地品質下降，如：廢棄的曬鹽場缺乏人為的經營管理，植被迅速地入侵整個區域，將形成不利於小燕鷗繁殖的棲地類型，使得未來曬鹽場類型的替代棲地可能會被小燕鷗捨棄，小燕鷗也要再次尋找其他適合的替代棲地繁殖(Catry *et al.*, 2004; Medeiros *et al.*, 2007; Scarton, 2008)。

在自然棲地縮減與遭受人為干擾的情況下，提供燕鷗人為營造的棲地，如：建設人工浮島或將人為建物的屋頂營造成適合燕鷗的棲地環境，提供燕鷗繁殖的替代棲地在國外已經有不少成功的案例(Quinn and Sirdevan, 1998; Shealer *et al.*, 2006; Spear *et al.*, 2007; Jenniges and Plettner, 2008; Zambrano and Warraich, 2012)。在美國佛羅里達州的南部海岸，自1970年代後期即利用屋頂營建白額燕鷗的繁殖棲地，誘導白額燕鷗避開人為活動眾多的海岸繁殖。根據多年來的調查，當地的白額燕鷗族群呈現增長的趨勢(Zambrano and Warraich, 2012)。而Shealer *et al.* (2006)在美國威廉康辛州的Grassy Lake為了保育黑浮鷗(*Chlidonias niger*)，於湖中設置了人工平台提供黑浮鷗充足的繁殖棲地。經過兩年的研究後，發現在人工平台上繁殖的蛋相較於自然棲地(河床)的蛋有較大的體積，加上人工平台較不易受降雨和淹水的影響，因此在人工平台上的孵化成功率與巢存活率較高。在小燕鷗人工棲地營造的研究中，以日本的研究較為完整，為了要提供小燕鷗永續的繁殖棲地，研究人員嘗試以假鳥引誘小燕鷗到人工棲地繁殖；然而，人工棲地設置的面積較小(0.01-1.2 ha)，無法提供整個小燕鷗族群的需求，加上未

能有效排除天敵的影響，導致成效不彰(Fujita *et al.*, 1994; Hayashi *et al.*, 2005)。在Fujita *et al.* (2009)的研究中提及在人工棲地上繁殖的小燕鷗族群量和其孵化成功率有顯著的正向關係，若能提供較大面積的人工棲地，不但可以支撐起的小燕鷗族群，也能促使小燕鷗群體抵禦天敵行為，有助於族群的永續。此外，研究也發現人工棲地的植被覆蓋度、枯枝碎屑組成和覓食地的距離都是人工棲地建置時的應該被考量的(Fujita *et al.*, 2009)。

小燕鷗棲地選擇的研究在國外並不多，綜觀其群聚地選擇(Colony Habitat Selection)及巢位選擇的文獻，可以知道植被覆蓋度、棲地基質與覓食地距離是影響小燕鷗棲地選擇時重要的考量因子。

## 1. 植被覆蓋度

植被覆蓋度是小燕鷗做棲地選擇時的決定性因子(Ratcliffe *et al.*, 2008; Fujita *et al.*, 2009; Medeiros *et al.*, 2012)，和大部分在地上繁殖海鳥相同。Fujita *et al.* (2009)和Medeiros *et al.* (2012)的研究均指出植被覆蓋度與小燕鷗的巢密度成負相關；而Ratcliffe *et al.* (2008)的研究更將植被覆蓋度量化，發現小燕鷗會避免選擇植被覆蓋度大於30%的棲地。Goutner (1990)認為這樣的選擇可能和天敵的威脅有關。在Medeiros *et al.* (2012)的研究中，利用人工巢試驗植被覆蓋度和巢被捕食率的關係，結果發現在植被覆蓋度高的區域，人工巢的被捕食率相對比較高。在其他物種上，白額燕鷗和黑背鷗(*Larus dominicanus*)在棲地選擇上也有相似的考量(Suárez *et al.*, 2010; Sherfy *et al.*, 2012)；然而，像是紅燕鷗(*Sterna dougallii*)與黑尾鷗(*Larus crassirostris*)繁殖於險峻的峭壁的物種，其天敵來自天上的猛禽，此時植被是巢蛋或離鳥躲避天敵的避難所，因而在做巢位選擇的時候，會趨向選擇植被密度高的棲地(Ramos, 1998; Lee *et al.*, 2006)。



## 2. 棲地基質

棲地基質也是影響小燕鷗棲地選擇的原因之一，在Medeiros *et al.* (2012)的研究發現：在粗顆粒基質上繁殖的小燕鷗有較佳的繁殖表現。而巢位周圍有小石塊或枯枝木屑等這類物質時，越容易吸引小燕鷗前來使用(Fujita *et al.*, 2009; Medeiros *et al.*, 2012)。可能是因為粗顆粒的基質與巢位周圍的物質可以增加巢蛋的掩蔽性也能固定巢蛋避免蛋滾走或被風吹走，而且粗顆粒的基質因為透水性佳，被認為能夠防止巢蛋淹水，避免影響蛋的孵化(Goutner, 1990; Mallach and Leberg, 1999; Marcus *et al.*, 2007; Medeiros *et al.*, 2012; Sherfy *et al.*, 2012)。

## 3. 羽食地距離

和大多數的海鳥相比，小燕鷗的羽食範圍相對的小，常在海岸、河口、潟湖、渠道、沼澤、魚塭、池塘、水田等有乾淨水體的淺灘處，以俯衝的方式捕抓小魚類、甲殼類、軟體動物、水生昆蟲為食(Bertolero *et al.*, 2005; Paiva *et al.*, 2006; 顏重威等, 2006)，有時也會捕抓昆蟲或蠕蟲(劉小如等, 2010)。在Bertolero *et al.* (2005)對於小燕鷗羽食棲地的研究發現：約95%的個體其羽食的範圍不超過繁殖棲地4公里，因此，推測繁殖棲地周圍是否存在適合的羽食地可能是小燕鷗棲地選擇的考量之一。Chan and Dening (2007)也認為食物資源的數量與食物的大小是小燕鷗選擇適合棲地的重要指標。此外，若是繁殖棲地與羽食地距離越近，對於繁殖有正向的助益，減少親鳥羽食往返的能量消耗，也降低雛鳥為了移動至羽食區遭到天敵捕食的死亡率(Paiva *et al.*, 2006; Fujita *et al.*, 2009; Eason *et al.*, 2012)。

除了上述三個因子外，在埃及也有針對在島嶼上繁殖的小燕鷗進行棲地選擇研究，發現島嶼的形狀會影響小燕鷗的巢位數量，在狹長形狀的島嶼上會有較多的小燕鷗繁殖，可能和小燕鷗喜歡於水域環境周遭繁殖的習性有關(Eason *et al.*, 2012)。



### 三、 巢材利用與功能

小燕鷗是行疏鬆的群聚性生殖鳥類，直接產卵於地上。通常兩隻親鳥會一起尋覓巢位，並利用胸腹部於地面上挖出多個圓形凹槽後，再選擇其中一個作為最終的繁殖巢位。每巢有1至3顆蛋，產卵間隔為1至2天，平均孵化期約21天。在部分巢位中，有觀察到小燕鷗使用巢位附近的枯枝木屑、小石塊、貝殼碎片等作為巢材的現象(Ortali, 1977; NSW National Parks and Wildlife Service , 2003; Catry *et al.*, 2004; 鄭謙遜等, 2006; 洪崇航, 2009; 宜蘭縣野鳥學會, 2011, 2012)。但目前尚未有針對小燕鷗巢材利用與功能探討的研究。

已有不少的研究探討鳥類使用巢材的原因，指出鳥類使用巢材可能可以獲得下列的好處：支撐巢結構、固定巢蛋、增加巢位掩蔽度、巢內微氣候調節、巢位辨識以及避免寄生蟲滋生等功能(Burger, 1977; Burger and Gochfeld, 1991; Kim and Monaghan, 2005; Ontiveros *et al.*, 2008; Mayer *et al.*, 2009; 林毓鴻, 2009; Saalfeld *et al.*, 2012)。Burger (1977)在銀鷗(*Larus argentatus*)的築巢行為研究中發現銀鷗使用巢材是為了防止巢蛋被水淹沒或沖走，並且在移除巢材的試驗中觀察到在潮溼環境繁殖的銀鷗會在短時間內將巢材補充回來，顯示巢材對於銀鷗的繁殖有一定的必要性。另外，同樣是在地面上築巢的笛鴿(*Charadrius melanodus*)與白臉環頸鴿(*Charadrius nivosus*)都會檢拾石子回到巢中。經過研究發現：使用石子作為巢材的白臉環頸鴿其巢內溫度相較於直接在沙地上繁殖的巢位約低了 $2.5^{\circ}\text{C}$ ，有助於緩和高溫對於巢蛋的傷害 (Saalfeld *et al.*, 2012)；而Mayer *et al.* (2009)的研究發現笛鴿會選擇偏淺並且顏色與蛋相近的石子作為巢材，這樣的結果可能是為了巢蛋的熱調節改善巢位微氣候並且增加巢位的掩蔽性以降低被天敵捕食的機率。

在巢材利用提供的諸多功能中，調節巢位微氣候以利巢蛋的孵育對於鳥類的繁衍有重要的意義。相較於胎生動物而言，鳥類的胚胎對於極端環境很敏感。雖然鳥類的胚胎有著蛋黃供給孵化時所需的養分，但是蛋的孵育不僅僅只是養分的

供給，還需要親鳥提供額外的熱能、週期性的翻動、抵抗天敵等行為，並且需要和外界環境進行氣體的交換，才能使蛋孵化成功。因此，孵卵行為在繁殖上扮演著重要的角色(Carey, 1980; Vleck *et al.*, 1983; Webb, 1987; 宋心怡, 2009; DuRant *et al.*, 2013)。

一般而言，鳥類巢蛋在孵化時其巢內溫度大約為30至40°C (Webb, 1987)，種內和種間的差異極大(DuRant *et al.*, 2013)，巢溫過高或過低都不利於巢蛋發育。過於高溫的環境對於胚胎會有致命的影響，而且影響程度相較於胚胎在低溫環境中來得嚴重(Carey, 1980; Webb, 1987)。因此，親鳥必須克服環境壓力調適行為以維持穩定的巢內溫度，例如：在炙熱的環境中，鳥類會透過為蛋遮蔭、不間斷地孵卵和沾水濕潤巢蛋三種機制保護胚胎免於過熱而死亡；在寒冷的環境中，小型鳥類或單性孵卵的鳥類可能會為求自保出現棄巢的行為，而雙親孵卵的鳥類可以由另一伴餵食提供給孵卵的親鳥讓巢蛋繼續孵化，或者是有些大型的鳥類會以禁食的方式不間斷孵卵(Carey, 1980)。而影響巢內溫度的因子除了親鳥的行為調節外，也受到巢位位置、巢結構、巢蛋數、親鳥狀態、孵化起始日等因子的影響，但尤以親鳥的孵卵行為對於巢內溫度的影響最甚(宋心怡, 2009)。孵卵行為不僅影響巢蛋的孵育，也會影響親鳥本身的狀態，如：生存、免疫力、未來的繁殖表現等，同時也壓縮了親鳥其他行為的時間，其中又以減少親鳥的覓食時間對於親鳥的影響最大(Carey, 1980; Hanssen *et al.*, 2005)。

巢內溫度除了影響巢蛋孵化外，近年來有許多研究指出：巢蛋孵化時期的溫度變化會影響子代的大小、身體組成、性別比例、健康等，對於子代未來的生長發育、生存、繁殖等表現有一定的影響力(Hepp *et al.*, 2006; DuRant *et al.*, 2010; Hopkins *et al.*, 2011; Nord and Nilsson, 2011; DuRant *et al.*, 2012)。以這方面研究甚多的林鴛鴦(Wood duck, *Aix sponsa*)為例，其巢蛋孵化時期最適合的溫度約為36°C，在此溫度下孵育出來的子代免疫力較佳；當溫度升高或降低時，子代的免疫力皆會開始下降；若是孵化溫度高於40.5°C時，會對胚胎帶來致命的傷害(Hepp *et*

*al.*, 2006; DuRant *et al.*, 2010; Hopkins *et al.*, 2011; DuRant *et al.*, 2012)。另外，雖然巢內的溼度會影響蛋與外界環境的水蒸氣交換(Carey, 1980)，然而由於在地面築巢的海鷗跟燕鷗其蛋和外界環境的水蒸氣梯度差相較於樹上築巢的鳥類來的小，蛋裡面的水蒸氣不易因為水蒸氣梯度差大而擴散出去，相較巢內溫度對於巢蛋孵化的影響較小(Vleck *et al.*, 1983)。因此在探討在地面上繁殖的海鷗或燕鷗時，大多會著重於高溫對於巢蛋的影響。



## 貳、 前言

小燕鷗(*Sternula albifrons*) 在臺灣受野生動物保育法保護，列名為二級珍貴稀有種保育類。每年的夏天都會遷徙到臺灣來繁殖，屬於夏候鳥，也是臺灣本島唯一有繁殖記錄的燕鷗科鳥類(鄭謙遜等, 2006)。其在臺灣主要的四個繁殖棲地為宜蘭縣蘭陽溪口沙洲(宜蘭縣野鳥學會, 2011, 2012)、彰化縣嵩尾工業區(呂正仁, 1997; 洪崇航, 2009)、澎湖縣青螺溼地與吉貝嶼(鄭謙遜等, 2006)、以及嘉義縣新塭滯洪池沙洲(施上粟等, 2013)，其中彰化縣嵩尾工業區和澎湖縣青螺溼地與吉貝嶼有較長久的繁殖記錄；而宜蘭縣蘭陽溪口水鳥保護區的繁殖棲地是 2010 年經鳥友記錄第一次發現小燕鷗在宜蘭繁殖；嘉義縣新塭滯洪南、北池沙洲則是 2013 年施上粟博士的研究團隊執行「滯洪池之濕地生態功能評價及改善研究」計畫時，意外發現南、北池的兩個沙洲上有小燕鷗與其他水鳥繁殖。目前全臺小燕鷗的族群量分別為宜蘭縣蘭陽溪口沙洲約 450 隻，彰化縣嵩尾工業區 450 隻，澎湖縣青螺溼地約 200 隻及吉貝嶼約 100 隻，嘉義縣新塭滯洪池沙洲約 200 隻，全臺族群量統計約為 1400 隻。

小燕鷗在臺灣四地的繁殖棲地類型不同(圖二至七)，幾乎緊鄰與海，覓食距離短，只有嘉義新塭滯洪池沙洲離海直線距離約 4 公里，但其繁殖地周圍魚塭眾多，成為小燕鷗和其他燕鷗覓食的場域。在繁殖時間上四地也有些許的差異。澎湖的小燕鷗於 3 月底即抵達，4—5 月是主要的繁殖季，約莫 6 月底即準備南返離開澎湖(鄭謙遜等, 2006)，其巢位多利用珊瑚碎屑與沙混合的棲地(圖八)。由於澎湖的夏季是觀光旺季，在沿海地帶利用珊瑚碎屑灘繁殖的小燕鷗容易受到遊客遊憩活動的干擾甚至是人為故意地破壞巢蛋，導致 2006 年在澎湖活龍灘的調查結果中小燕鷗的孵化成功率只有 8%，相當低。而臺灣本島的小燕鷗繁殖季約為 4—9 月，繁殖的高峰為 5—8 月，約 9 月開始陸續離開臺灣(洪崇航, 2009; 宜蘭縣野鳥學會, 2011, 2012)。在宜蘭縣蘭陽溪口沙洲的小燕鷗，其繁殖地點以沙灘

為主(圖九)，偶有利用泥灘地的記錄。雖然整個繁殖區位於蘭陽溪口水鳥保護區的核心區內和周圍陸地不相連，人為干擾理應相對於西部族群低，但由於地理位置優勢帶來了不同利用方式的人為干擾，如：耕作活動、漁獵活動或每逢颱風過後上沙洲檢拾漂流木等，皆可能驚擾甚至占據了小燕鷗可利用的繁殖棲地面積，也使得這裡的棲地環境有較高比例的人造物出現(宜蘭縣野鳥學會，2011, 2012)。根據宜蘭縣野鳥學會(2011, 2012)的調查，此區的小燕鷗孵化成功率主要受颱風降雨導致得淹水事件影響，在2011年與2012年的孵化成功率分別為17%和31%。影響彰化縣崙尾工業區的小燕鷗孵化成功率的主要因子也是降雨所導致得淹水事件以及工業區內頻繁的人為活動干擾(洪崇航，2009)。在彰化縣崙尾工業區較為特別的情況是在此處小燕鷗會利用兩種棲地類型：礫石地(圖十)與沙丘(圖十一)。在洪崇航(2009)的研究指出不同的棲地類型有不同的繁殖表現，其孵化成功率為礫石地37%、沙丘16%，在礫石地繁殖的小燕鷗有較高的孵化成功率與巢蛋體積。在嘉義新塭滯洪南、北池沙洲的小燕鷗則大約4月開始繁殖(圖十二、圖十三)，直到8月底南返離去。由於位於滯洪池中央容易受到降雨而導致的淹水事件影響繁殖，在調查中也發現南、北池沙洲皆有淹水與巢蛋被沖離的痕跡(施上粟等，2013)。

根據呂正仁(1997)與洪崇航(2009)的研究指出臺灣西部地區的小燕鷗族群趨勢在近年來有下降的趨勢，和國外其他地區的小燕鷗族群有相同的趨勢(Oro *et al.*, 2004; Pickerell, 2004; Amano and Yamaura, 2007; Scarton, 2008)。其面臨的威脅主要為繁殖棲地在觀光與工業發展的需求下急速縮減與破碎化，加上人為活動對於其繁殖造成的干擾，導致各地的繁殖族群存有因為棲地環境的變動而消失的潛在危機。為了穩定小燕鷗的繁殖族群，瞭解其對於繁殖棲地的需求是相當重要的。在不同尺度的棲地選擇中，巢位選擇是經過眾多因子層層考量後所呈現的結果，是繁殖時期的孵蛋及育雛是否成功的重要關鍵。在國外的研究中，透過探討燕鷗巢位偏好提供保育策略與棲地經營管理的案例行之有年(Ramos, 1998; Lee *et al.*, 2006; Marcus *et al.*, 2007; Ratcliffe *et al.*, 2008; Suárez *et al.*, 2010; Medeiros

*et al.*, 2012; Sherfy *et al.*, 2012), 因此, 本研究期望透過探討小燕鷗的巢位選擇偏好提供相關主管機關未來在決策與管理上的參考。

除了繁殖棲地類型不同外, 四個繁殖棲地在巢材的利用上也有差異。在鄭謙遜等人 (2006)於澎湖的調查中發現小燕鷗有叨集巢材的行為, 而且不只於產卵前, 在求偶與孵卵時期也有被觀察到。在宜蘭縣蘭陽溪口沙洲、彰化縣崙尾工業區和嘉義新塭滯洪池沙洲也都有小燕鷗使用巢材的記錄(洪崇航, 2009; 宜蘭縣野鳥學會, 2011, 2012; 施上栗等, 2013); 國外的研究中也亦然(Ortali, 1977; NSW National Parks and Wildlife Service , 2003; Catry *et al.*, 2004)。相同的行為在普通燕鷗中也有被記載, Burger and Gochfeld (1991)認為叨集巢材回巢的行為與減緩其孵蛋時期的負擔有關。為瞭解小燕鷗使用巢材的原因, 本研究依據小燕鷗的繁殖習性提出兩個可能的巢材功能假說與預測:(1)小燕鷗使用巢材可以增加巢位的掩護性, 因此, 使用巢材的小燕鷗巢蛋被天敵捕食的機率較低; (2)小燕鷗使用巢材可以調節巢內微氣候, 因此, 使用巢材的小燕鷗巢其巢內溫、濕度變化相較無使用巢材的巢小; 在行為上, 使用巢材的小燕鷗親鳥其孵卵時間相對於無使用巢材的小燕鷗親鳥少。

總結本研究的目的:本研究將進行小燕鷗在臺灣四個主要的繁殖棲地的巢位普查, 探討小燕鷗的巢位選擇偏好, 同時調查各個繁殖棲地小燕鷗巢材的利用情況, 比較有、無使用巢材的小燕鷗是否有不同的棲地需求, 瞭解棲地類型與巢材利用的關係。並且進一步於宜蘭縣蘭陽溪口沙洲追蹤小燕鷗巢蛋的孵化成功率、繁殖失敗原因, 以探討巢材的功能與巢材使用與否對於孵化成功率的差異。

## 參、 研究地點和方法

### 一、 研究地點

本研究棲地選擇的樣區為小燕鷗在臺灣四個主要的繁殖地點(圖十四)，從北至南分別是宜蘭縣蘭陽溪口沙洲、彰化縣崙尾工業區、澎湖縣吉貝嶼和嘉義縣新塭滯洪池沙洲；而巢材功能探討的樣區考量四個繁殖地小燕鷗使用巢材的比例後，以宜蘭縣蘭陽溪口沙洲作為研究樣區。

#### 1. 宜蘭縣蘭陽溪口沙洲（圖二）

本研究樣區位於宜蘭縣壯圍鄉與五結鄉境內的蘭陽溪口水鳥保護區核心區域，由宜蘭河、蘭陽溪和冬山河三條河川匯流堆積形成。沙洲周圍皆有河流與陸地相隔，東面緊鄰太平洋，因此沙洲面積隨海水潮汐變化略有影響，但影響不大；然而沙洲輪廓與位置深受每年颱風帶來的豪雨影響甚劇，另外颱風往往也帶來大量的垃圾與漂流木堆積於此。

本區屬於副熱帶季風氣候，受東北季風影響，氣溫變化和緩，年平均溫度為 $22.3^{\circ}\text{C}$ ，平均年雨量約為2,827mm，無明顯的乾季。沙洲上的植物以禾本科為主，如：五節芒(*Miscanthus floridulus*)、甜根子草(*Saccharum spontaneum*)、蘆葦(*Phragmites communis*)等，偶見柳葉科的裂葉月見草(*Oenothera lacinata*)。在本區小燕鷗繁殖的期間，亦可見許多他種鳥類利用此沙洲繁殖，如：東方環頸鴴(*Charadrius alexandrinus*)、小環頸鴴(*Charadrius dubius*)、夜鷹(*Caprimulgus affinis*)和小雲雀(*Alauda gulgula*)等；在過境期時，此區的鳥類資源豐富，尤以水鳥為多，其中以鶲鴴科、鷺科、雁鴨科、鷗科鳥類為主。





## 2. 彰化縣崙尾工業區（圖三、圖四）

崙尾工業區和線西工業區、鹿港工業區合稱為彰濱工業區。崙尾工業區是目前開發最低的一區，區內建設除了二十四座風力發電機組外並無其他廠商進駐，因此成為水鳥繁殖、棲息與過境族群較為集中的區域。崙尾工業區內的棲地類型以當初填海造陸的卵礫石地與因為強勁東北季風吹襲，帶來北方沙灘大量的風沙，因而堆積而成的沙丘為主。

本區屬於臺灣西南部冬季溫暖寡雨型氣候，年平均溫度為 $22.3^{\circ}\text{C}$ ，平均年雨量約為 $1,013\text{mm}$ ，降雨分布不均，多集中於梅雨季與颱風季節。植被種類在卵礫石地上以田菁(*Sesbania cannabiana*)、大花咸豐草(*Bidens pilosa*)和馬鞍藤(*Ipomoea pes-caprae*)為主，偶有白茅草(*Imperata cylindrica*)叢生；而在沙丘上則幾乎沒有植被，只有部分區域因地勢低窪積水有蘆葦叢生長。本區在小燕鷗繁殖的期間，在卵礫石地可見東方環頸鴿、燕鴿(*Glareola maldivarum*)與高蹺鴿(*Himantopus himantopus*)等鳥類在此繁衍；在沙丘上僅見小燕鷗與東方環頸鴿的巢位。

## 3. 澎湖縣吉貝嶼(圖五)

吉貝嶼是澎湖群島北海區域最大的島嶼，地勢東高西低，島嶼東邊是玄武岩台地，西邊由海積地形形成了沙灘和沙嘴。由於周圍有著發育良好的珊瑚礁，因而本區的棲地類型屬於珊瑚碎屑形成的沙灘。

因地處於亞洲大陸邊緣易受大區域的氣候影響，年平均溫度為 $23^{\circ}\text{C}$ ，平均年雨量約為 $1,000\text{mm}$ ，降雨集中在4—9月。又因為地形平坦和地表缺乏植被，受日照與東北季風的影響，形成夏熱冬冷的氣候。本區的植被以伏地植物為主，並以裂葉月見草優勢種，其他尚有馬鞍藤、假馬齒莧(*Bacopa monnieri*)、黃細心(*Boerhavia diffusa*)等。本區在小燕鷗繁殖的期間，可見東方環頸鴿、燕鴿和小雲雀等也在此處繁殖，而在吉貝嶼東北方有個珊瑚碎屑堆積而成的狹長型區域則有紅燕鷗和蒼燕鷗(*Sterna sumatrana*)在上面繁殖。



#### 4. 嘉義縣新塭滯洪南、北池沙洲(圖六、圖七)

嘉義新塭滯洪池位於嘉義縣布袋鎮的龍宮溪排水幹線與八掌溪之間，並以縣道 163 為界區分為南、北兩池，南、北兩池中皆有堆積而成的沙洲，都有小燕鷗族群繁殖。

本區的氣候為西部沿海型氣候，年平均溫度為 26°C，年平均雨量受季風與海洋氣候影響年間變化大，約為 900—1500mm。兩沙洲的底質堅硬，植被不易生長，只有北池的沙洲上有藜科的裸花鹹蓬(*Suaeda maritima*)生長，因此，在本區小燕鷗繁殖的時期，北池的沙洲有較多的高蹠鵲族群繁殖，而南池的沙洲則以東方環頸鵲族群為多。另外，在本區也觀察過小鶲鷗(*Tachybaptus ruficollis*)、琵嘴鴨(*Anas clypeata*)、鳳頭潛鴨(*Aythya fuligula*)、鷺(*Buteo buteo*)等鳥類出現。

## 二、調查時間與方法

2013年於5—7月，依各地小燕鷗繁殖的狀況每月一次到四個繁殖地點進行巢位普查(圖十四)，並記錄各巢巢位與環境資料。其中宜蘭縣蘭陽溪口沙洲樣地為進一步探討巢材的功能，需記錄較完整的繁殖結果，每週進行一次調查；並透過漂浮法(附錄一)推測蛋的孵化程度(Hays and LeCroy, 1971)，於預計孵化日期當週增加為每週2~3次的調查頻度(調查時程安排請見附錄二)。

巢位調查的方式以徒步進行，並以八倍望遠鏡(Conquest 8X32, Zeiss)搜尋坐巢中的親鳥、跟隨地面上的腳印或觀察親鳥反覆出現區域以找出巢位，尋獲巢位後為避免干擾過大，以十分鐘為限完成記錄工作。巢位調查工作敘述如下：

### 1. 巢位標記

尋獲巢位後，使用GPS(Oregon 550t, Garmin)定位巢位，並於遠離巢位約1m處插設直徑1cm，長約30cm的木棍標示巢位，並在木棍上標記發現巢位的日期與巢蛋數。各樣區巢位標記數量分別為宜蘭縣蘭陽溪口72個

巢、彰化縣嵩尾工業區沙丘33個巢和礫石地82個巢、澎湖縣吉貝嶼56個巢、嘉義縣新塭滯洪池沙洲53個巢。



## 2. 巢蛋測量

記錄巢蛋數並以游標尺測量每顆蛋的長和寬，再以漂浮法判斷孵化程度並且拍照記錄。並利用前人研究的公式換算蛋的體積：

$$\text{體積} = 0.4866 \times \text{長} \times \text{寬} \div 1000 \quad (\text{單位: mm}^3)$$

(Hong *et al.*, 1998)

## 3. 巢位環境資料記錄

- (1) 巢位基質：巢位範圍 20cm x 20cm 內的棲地基質類型。
- (2) 巢材使用：記錄是否使用巢材以及其使用的種類，並且拍照記錄。巢蛋中心有超過 30% 以上的非基質物質判定為使用巢材。
- (3) 最近植被距離：記錄離巢位 10 公尺內的最近植被距離、相對方位、平均高度。
- (4) 棲地特徵：以巢位為中心，使用 1m x 1m 的網尺框出巢位範圍並拍照記錄巢位周圍 1m 內的棲地特徵(表一)，包括：枯枝木屑比例、粗枝條比例、植被覆蓋度、小碎石比例、大石頭比例、貝殼比例以及人造物比例等，並記錄人造物種類。並且依據 Sherfy *et al.* (2012)的分類，將各棲地特徵比例歸類成不同級別:0 (0%)、1 (>0—5%)、2 (6—15%)、3 (16—30%)、4 (31—45%)、5 (46—70%)、6 (71—100%)。由於在宜蘭縣蘭陽溪口沙洲做巢位普查的時候，常觀察到巢位周圍有障礙物，如：粗枝條、人造物等，因此在此樣區，以巢位為中心，將 360 °劃分成 8 個方位，分別是北方、東北方、東方、東南方、南方、西南方、西方、西北方，記錄障礙物分布的方位。

## 4. 隨機樣點取樣

隨機選擇小燕鷗未使用的點作為隨機樣點的中心，記錄其 1m x 1m 範



圍的棲地特徵(表一)，用以和小燕鷗巢位棲地特徵作為比較。

## 5. 孵化成功率的判定

由於小燕鷗的雛鳥出生後數小時即有活動能力，且親鳥會以聲音引誘雛鳥移動到他處躲避或往覓食地靠近，不易後續追縱與觀察。因此本研究的孵化成功率定義為：只要巢中有一隻以上的雛鳥孵化即判定為整巢的孵化成功。若是巢蛋在孵化日期之前消失則觀察巢位附近是否有淹水、腳印、輪胎印、蛋殼碎片(若蛋成功孵化，親鳥會將蛋殼啣走)等線索以利推斷失敗原因；在接近孵化日期的調查日中 發現巢蛋消失且沒有觀察到遭受破壞的痕跡則會記錄為孵化成功；超過孵化日期一週以上仍未孵化或是已不見親鳥繼續孵卵則記錄為親鳥棄巢。

## 6. 巢材功能測試

### (1) 增加巢位掩護性

透過巢位調查與持續追縱獲得小燕鷗各巢的繁殖結果，進一步分析使用巢材與否和孵化成功率、被捕食率的關係。

### (2) 巢內微氣候調節

在小燕鷗巢位放置溫溼度記錄器(JHE-173, Jetec)以記錄巢位微氣候變化(每 10 秒/筆資料)，同時也會隨機放置一組溫溼度記錄器於棲地上記錄環境溫濕度變化作為控制組。並架設自動照相機於巢位旁，24 小時不間斷(每 5 分鐘/筆資料)，記錄與觀察小燕鷗孵卵行為。在 2013 年 6 月 25 日至 7 月 3 日(天氣狀況無雨且沙地最高溫度皆超過 40°C)，收得使用巢材的巢位資料 8 巢，無使用巢材巢位資料 5 巢，巢蛋的孵化程度以漂浮法測定，為孵化 1~2 週間的階段。

## 7. 氣候資料

使用中央氣象局宜蘭觀測站 2013 年 5—7 月的溫度、雨量、風速和最多風向記錄資料。



### 三、 資料處理與統計分析

本研究資料使用SPSS 21.0套裝軟體分析，並依欲討論的問題分別使用不同的統計方法。另外，使用EView 6.0軟體執行時間序列分析探討各氣候因子對於小燕鷗孵化成功率的影響。

#### 1. 各繁殖地中小燕鷗巢位選擇的比較

使用 Mann-Whitney U Test 分析(1) 各繁殖棲地小燕鷗巢位與隨機樣點的棲地特徵差異、(2) 在相同棲地下，有、無使用巢材的巢位其棲地特徵差異。

#### 2. 小燕鷗蛋體積和產卵時程的關係

根據漂浮法判斷孵化程度並且回推小燕鷗的產卵時程，以最早產卵的那巢作為繁殖季的第一天，以 14 天為單位將 5、6 月的時間分四個時程(D1~D4)，並依照推算出的各巢產卵時程將其歸類至 D1 至 D4 時程。

使用 Kruskal Wallis Test 比較蛋體積在不同產卵時程上是否有差異。

#### 3. 使用巢材與否和蛋體積的關係

利用 Mann-Whitney U Test 分析蛋體積是否和小燕鷗使用巢材與否有關。

#### 4. 使用巢材與否和其孵化成功率、被捕食率的關係

利用卡方檢定檢驗使用巢材與否是否造成小燕鷗孵化成功率、巢蛋被捕食率以及在產卵時程上的差異。

#### 5. 使用巢材與否其巢內微氣候與親鳥行為比較

使用廣義估計方程 (Generalized estimating equation, GEE) 分析使用巢材與否在巢位溫、溼度和親鳥孵卵時間是否有差異。

#### 6. 各棲地特徵對於孵化成功率的影響

以二元邏輯式迴歸分析(Binary logistic regression)來檢定棲地特徵的各因子對於孵化成功率的影響。



## 7. 各氣候因子對於孵化成功率的影響

使用 EView 6.0 軟體執行時間序列分析，以最小平方式(Least Squares)

檢定下列各項因子對於小燕鷗巢蛋的孵化成功率的影響程度，篩選出最適合的模式與因子。由於小燕鷗巢蛋平均孵化期是 21 天，故以漂浮法推測預計孵化程度後推算下蛋起始日並以下蛋起始日為第 1 天，計算至第 21 天期間的累積雨量、最大雨量、平均溫度、平均風速和最大風速。

- (1) 累計雨量：下蛋起始日至第 21 天的累積雨量。
- (2) 最大雨量：下蛋起始日至第 21 天中出現過的最大雨量。
- (3) 平均溫度：下蛋起始日至第 21 天的平均溫度。
- (4) 平均風速：下蛋起始日至第 21 天的平均風速。
- (5) 最大風速：下蛋起始日至第 21 天中出現過的最大風速。

## 8. 相關性分析

檢驗中央氣象局宜蘭觀測站 2013 年 5、6 月出現的最多風向與小燕鷗巢位附近障礙物方位是否有相關性。



## 肆、 結果

### 一、 各個繁殖棲地中巢位選擇比較

本研究分別記錄了宜蘭縣蘭陽溪口沙洲巢位 59 個，隨機樣點 54 處；彰化縣崙尾工業區卵礫石地巢位 82 個，沙丘巢位 33 個；澎湖縣吉貝嶼巢位 55 個，隨機樣點 36 處；嘉義縣新塭滯洪池沙洲北池巢位 7 個，隨機樣點 19 處，南池巢位 42 個，隨機樣點 14 處。其中彰化縣崙尾工業區在調查期間因為疑似人為干擾過度導致繁殖失敗與繁殖族群銳減，使得調查中斷未能完整收集一季資料。

藉由和隨機樣點做巢位棲地特徵的比較，發現宜蘭縣蘭陽溪口沙洲的小燕鷗族群其巢位選擇相較於隨機樣點偏好較高的粗枝條比例( $p=0.048$ )與較少的植被覆蓋度( $p=0.034$ ) (表二)；澎湖縣吉貝嶼的小燕鷗族群其巢位選擇和隨機樣點無差異(表三)；嘉義縣新塭滯洪池南、北池沙洲的小燕鷗族群其巢位選擇相較於隨機樣點都偏好貝殼比例高的棲地(表四、表五，南池  $p=0.023$ ；北池  $p=0.015$ )。

進一步比較四個繁殖棲地使用巢材與否的巢位棲地特徵差異，宜蘭縣蘭陽溪口沙洲使用巢材的小燕鷗巢位棲地偏好有較高比例的粗枝條存在(表二， $p=0.024$ )。彰化縣崙尾工業區礫石地使用巢材的小燕鷗巢位棲地偏好有較多的枯枝木屑( $p=0.044$ )、大石頭( $p=0.038$ )與貝殼( $p=0.040$ )的比例(表六)；而在沙丘的巢僅一巢使用巢材的記錄，故無法比較。澎湖縣吉貝嶼和嘉義縣新塭滯洪池南、北池沙洲的小燕鷗族群不論其使用巢材與否，選擇的巢位棲地特徵沒有差異(表三、表四、表五)。

在巢位周圍植被部分，只有澎湖縣吉貝嶼的小燕鷗族群其巢位選擇相較於隨機樣點偏好最近植被平均高度較低的棲地 ( $p=0.043$ )以及巢位遠離植被的趨勢近於顯著( $p=0.053$ )；並且使用巢材的小燕鷗相較未使用巢材的小燕鷗偏好選擇與植被距離較遠( $p=0.044$ )的巢位(表三)。



## 二、 使用巢材與否、蛋體積和其產卵時程的關係

在宜蘭縣蘭陽溪口沙洲的小燕鷗族群使用巢材與否和其蛋體積( $p=0.815$ )、產卵時程( $p=0.589$ )無關。然而，蛋體積在不同的產卵時程中有顯著差異(圖十五， $p=0.024$ )。

## 三、 巢材利用與功能探討

### 1. 四個主要繁殖棲地巢材使用狀況

在不同類型棲地環境下，小燕鷗使用的巢材種類各異，分別有小石塊、枯枝木屑、珊瑚碎屑、貝殼、蚵殼和人造物等，使用巢材的比例也不相同，其使用巢材比例由高至低分別是嘉義縣新塭滯洪池沙洲(83.02%)、彰化縣嵩尾工業區卵礫石地(81.71%)、宜蘭縣蘭陽溪口沙洲(33.33%)、澎湖縣吉貝嶼(28.30%)、彰化縣嵩尾工業區沙丘(3.03%)(表七)。

### 2. 巢材功能探討

#### (1) 增加巢位掩護性

觀察小燕鷗巢蛋的孵化的結果，其中使用巢材的小燕鷗( $n=24$ )其巢蛋被捕食率為12.5%，未使用巢材的小燕鷗( $n=48$ )其巢蛋被捕食率為16.6%，兩者的被捕食率並無顯著差異( $p=0.643$ )，顯示使用巢材與否對於小燕鷗巢位的掩護性沒有太大的差異。進一步探討使用巢材與否對於孵化成功率的關係，也發現並無顯著差異( $p=0.911$ )。

#### (2) 調節巢位微氣候

使用巢材與否對於小燕鷗巢位的溫度和濕度有顯著的影響(溫度: $p=0.047$ ；濕度: $p=0.036$ )。使用巢材的巢位溫度相較未使用巢材的巢位溫度低(圖十六)；其濕度則相較未使用巢材的巢位來得高(圖十七)。然而，使用巢材與否並未影響小燕鷗親鳥的在巢時間(圖十八， $p=0.344$ )。



## 四、孵化成功率與各影響因子

### 1. 各棲地特徵對於孵化成功率的影響

透過二元邏輯式迴歸分析來檢定各棲地特徵對於孵化成功率的影響，並未能有效篩選出合適的模式與顯著影響孵化成功率的棲地特徵因子（表八）。

### 2. 各氣候因子對於孵化成功率的影響

2013 年小燕鷗族群於宜蘭縣蘭陽溪口沙洲之孵化成功率为 54.84% (n=93)，導致其繁殖失敗的原因有淹水(26.19%)、被掠食(26.19%)、沙埋(14.29%)、人為踩破(2.38%)等(表九)，其中被掠食的部分經自動照相機的記錄確認，威脅小燕鷗巢蛋的天敵有角眼沙蟹 (*Ocypode ceratophthalmus*)、小黃腹鼠(*Rattus losea*)與野狗(圖十九)。

利用時間序列分析各氣候因子對孵化成功率的影響程度，篩選出的影響因子為平均孵化期 21 天的最大雨量、平均孵化期 21 天平均溫度和平均孵化期 21 天的平均溫度和平均風速之交互作用因子(表十)，其準確性有 65%，方程式為

$$y_{t,fate} = -0.028x_{t, \text{maxrain}} + 0.348 x_{t, \text{avertemp}} - 0.1798 x_{t, \text{avertemp}} * x_{t, \text{averwind}}$$

## 五、最多風向和巢位周圍障礙物相關性分析

宜蘭縣蘭陽溪口沙洲的小燕鷗巢位周圍障礙物位置和最多風向有顯著相關(表十一， $p=0.024$ )。2013 年 5、6 月宜蘭縣蘭陽溪口的最多風向為東北風，其次為北風與西風，而巢位周圍障礙物位置最常出現方位依序為北方、東北方和西方。



## 六、 孵卵時期的行為記錄

透過自動照相機的記錄，觀察到小燕鷗於孵卵時期有下列行為：

### 1. 檢巢材

在孵卵的期間，小燕鷗會徒步以嘴喙刁拾巢位周圍約 1—2m 的小碎石、枯枝木屑、貝殼等環境素材到巢中，有時也會在孵卵的時候以嘴喙整理巢中的巢材。

### 2. 孵卵行為—翻蛋與沾水孵蛋

小燕鷗在孵卵的時候不論日夜皆會以嘴喙或腳翻動巢中的蛋，在炎熱的時候此行為會頻繁地出現；另外也觀察到小燕鷗在炎熱的時候常以腹部沾水回巢孵蛋。

### 3. 餵食孵卵親鳥

產卵後，小燕鷗親鳥會輪流孵卵，而未孵卵的親鳥會外出覓食並叼著魚回巢中餵食給孵卵的親鳥。叼著魚的親鳥會在回到巢位附近時發出急促而連續的叫聲，此時孵卵的親鳥也會以叫聲回應，等待叼著魚的親鳥降落餵食，而有時候孵卵的親鳥聽到叼著魚的親鳥發出聲音後會起身離巢，並在吃下魚後振翅離去，換另一隻親鳥孵卵。

### 4. 護巢行為—趨敵與守衛

夜晚的時候一隻親鳥會在巢中孵卵，而另一隻親鳥常常會在巢附近約 3—5m 處守衛。也記錄到當小燕鷗遇到夜行性的小型陸域天敵，如：角眼沙蟹和小黃腹鼠，小燕鷗會張翅彎下身作勢要衝撞入侵者並發出尖銳的叫聲抵抗，但當天敵的體型過大時，如：野狗，小燕鷗親鳥會捨棄巢蛋以求自身安全。



## 伍、 討論

### 一、 繁殖棲地利用

從本研究的繁殖棲地調查結果可知，小燕鷗在臺灣四個主要繁殖棲地類型差異甚大，顯示小燕鷗對於繁殖棲地類型的接受度廣，與前人研究相同(Catry *et al.*, 2004; Chan and Dening, 2007; Medeiros *et al.*, 2007; Ratcliffe *et al.*, 2008; Scarton, 2008; Eason *et al.*, 2012; Medeiros *et al.*, 2012)。並且發現臺灣小燕鷗對於巢位選擇的偏好和國外的研究結果類似，傾向選擇植被覆蓋度低且環境複雜度較高有碎石、枯枝木屑或貝殼的棲地環境繁殖(Ratcliffe *et al.*, 2008; Fujita *et al.*, 2009; Medeiros *et al.*, 2012)。對於遠離植被覆蓋度高的區域繁殖，前人研究已證實與天敵的影響相關(Medeiros *et al.*, 2012)。由於小燕鷗於地面上繁殖，過高、過密的植被可能會遮掩視線，導致無法有效偵察到天敵；而在靠近植被的區域也會有較頻繁的小型哺乳類、蛇類等活動，容易增加其巢蛋的被捕食率。因此，小燕鷗會避免選擇植被覆蓋高的區域作為繁殖巢位。另外，本研究推測小燕鷗偏好選擇環境複雜度高的區域作為巢位可能和其巢材利用的需求有關。透過自動照相機的記錄下，本研究發現小燕鷗都是徒步以嘴喙叼拾巢位周圍 1–2m 內的環境素材到巢中，和鄭謙遜等人 (2006)在澎湖的研究觀察一致，顯示小燕鷗巢材的主要來源是巢位周圍的雜物如小碎石、枯枝木屑、貝殼等。這樣叼集環境素材回巢的行為在蒼燕鷗、白眉燕鷗(*Onychoprion anaethetus*)、普通燕鷗中也都有被記錄過(Hulsman and Smith, 1988; Burger and Gochfeld, 1991; 鄭謙遜等, 2006)。在 Mallach and Leberg (1999)在墨西哥灣北部對鷗嘴燕鷗(*Gelochelidon nilotica*)的研究中認為巢位附近的環境素材，可能可以抑制植被的生長，對於偏好植被覆蓋度低的物種而言是額外的好處。

經由小燕鷗巢位與隨機樣點的棲地特徵比較(表二至表五)可以知道在不同的棲地類型下，小燕鷗在大的群聚棲地中會偏好選擇環境複雜度高的地點作為巢

位。這樣的偏好說明了並非繁殖棲地上的所有區域皆可以被利用，往往只有在太樓地中符合某些特定或唯一需求的地點才能被小燕鷗所使用，因而若是能夠深入瞭解小燕鷗對於巢位特定特徵的需求，可以使保育更加有效益。進一步探討有、無使用巢材的小燕鷗在巢位選擇上的差異(表二至六)，可以知道使用巢材的小燕鷗其巢位周遭的環境複雜度相對無使用巢材的小燕鷗巢位來得高，除了在嘉義縣新塭滯洪池沙洲的小燕鷗族群(表四、表五)。因為嘉義縣新塭滯洪池沙洲本身地景簡單，其棲地特徵較為一致，造成有、無使用巢材的小燕鷗其巢位特徵差異不大，然而在巢位與隨機樣點的棲地特徵比較下，可以得知即使在棲地環境單一的情況下，小燕鷗仍會選擇環境複雜度高的區域作為巢位。

宜蘭縣蘭陽溪口沙洲的小燕鷗會選擇巢位附近有高粗枝條比例的地點作為巢位，此現象在使用巢材的小燕鷗中有更顯著的偏好(表二)。在本研究的分析中也發現粗枝條在小燕鷗巢位的位置和當地最常出現的風向有顯著相關，推測粗枝條可能對於小燕鷗的巢蛋有保護的作用，阻擋了風防止巢蛋被吹離巢位以及可以阻擋部分風吹沙以避免巢蛋被沙掩埋。在調查時也觀察到巢位附近的粗枝條是先孵化的雛鳥等待其他顆蛋孵化的暫時居所，推測粗枝條對於雛鳥而言，可能有避難所的功能。

在彰化縣崙尾工業區 2013 年的調查，疑似人為干擾導致大規模繁殖失敗與繁殖族群的驟減使得調查中斷，因此僅就現有資料作分析探討。在彰化縣崙尾工業區的礫石地上，使用巢材的小燕鷗其巢位範圍內有較多的枯枝木屑、大石頭與貝殼比例(表六)，其中枯枝木屑與貝殼的比例偏高可能和小燕鷗巢材的使用有關。然而，事實上在此處小燕鷗主要使用的巢材為小碎石，枯枝木屑與貝殼的使用比例相對較低，對於這樣的現象可能是因為受限於現地材料取得的容易度有關。在彰化縣崙尾工業區內，礫石地的棲地基質即為當初填海造陸的卵礫石混沙，因而在此處小碎石資源豐富。但此處因為土地壓實能夠生長的植物不多，造成枯枝木屑的來源較少，而貝殼大多來自濱海蚵農作業時少數遺留或因強勁東北



季風吹襲而至，其數量與分布有限，造成此處的小燕鷗的巢材利用仍以現地最多的資源—小碎石為主，以枯枝木屑與蚵殼為輔。另外，在此處使用巢材的小燕鷗偏好大石頭比例較高的巢位可能也與當地最多風向或固定巢蛋有關，但目前未能有更多的資料可以探討與支持。

澎湖縣吉貝嶼的小燕鷗巢位和隨機樣點相比較有較高的環境複雜度(表三)，然而在枯枝木屑、粗枝條、植被覆蓋度、小碎石、大石頭、貝殼及人造物的棲地特徵比例上沒有顯著差異。可能的原因是此處的大棲地地景本身環境複雜度高，因而造成巢位的棲地特徵雖然環境複雜度高，但和大環境的相似度也高。此外，澎湖縣吉貝嶼的植被覆蓋度遠高於其他三地，在此處的小燕鷗巢位則相較於隨機樣點遠離植被且植被平均高度較低，顯示即使大棲地的環境特徵不利於繁殖，小燕鷗仍可經由巢位選擇來避免在植被過高、過密的環境繁殖，以減少來自植被的掠食者所導致的繁殖失敗。在此考量之下，本研究發現使用巢材的小燕鷗相較無使用巢材的小燕鷗會選擇距離植被較遠處築巢。

透過巢位棲地特徵的比較，本研究發現使用巢材的小燕鷗普遍選擇在大棲地下環境複雜度高的區域作為巢位，並且其巢位選擇相較無使用巢材的小燕鷗可能更助於減緩其繁殖季時的生殖壓力，因此本研究推測使用巢材的小燕鷗可能是繁殖經驗較為豐富或者是品質較佳的個體，但此推論仍須進一步求證。在初步研究發現，宜蘭縣蘭陽溪口沙洲的小燕鷗族群，其蛋體積與其產卵時程有關，在繁殖初期有較高的蛋體積(圖十五)，說明在繁殖季初期的巢蛋可能來自親鳥品質較佳或較年長的個體(Ramos, 2001; Nisbet *et al.*, 2002)。這樣的現象和洪崇航 (2009) 在彰化縣崙尾工業區 2008 年的調查結果相似。而蛋體積在產卵時程 D3 時期增加的原因，可能是因為在繁殖棲地停留較久時間累積充足能量後才產卵的親鳥所造成；或是為了彌補較晚繁殖可能導致的劣勢，因此藉由增加蛋體積來作為補償，通常會發生在較晚繁殖或是二次築巢的情況中(Arnold *et al.*, 2006)。然而，小燕鷗使用巢材與否在產卵時程中並未有差異，因此，使用巢材的小燕鷗是否屬

於親鳥品質較佳或較年長的個體仍需進一步的研究來佐證。



## 二、巢材利用與功能探討

由於四地棲地地景結構的差異，使得各地小燕鷗族群使用巢材的種類與比例不同(表七)。而本研究結果推測：各繁殖地的小燕鷗其巢位周圍的環境素材可能是其巢材使用的來源。為了探討巢材對於小燕鷗繁殖的功能，本研究於宜蘭縣蘭陽溪口沙洲進行試驗，檢測巢材對於增加巢位遮蔽性與調節巢內微氣候的假說。

經分析發現，有、無使用巢材的小燕鷗巢位其巢蛋的被捕食率並沒有差異，不支持巢材使用可以增加巢位掩蔽性的假說。本研究推測可能的原因是因為宜蘭縣蘭陽溪口沙洲的小燕鷗族群其主要的天敵為夜行性的角眼沙蟹、小黃腹鼠和野狗，和日行性的天敵不同，不以視覺為主要的狩獵方式。而巢材的使用增加巢位掩蔽度主要防範的是以視覺捕食獵物的掠食者，如來自空中的猛禽，因此對於夜行性的掠食者而言，巢材增加巢位掩蔽性的影響不大。在夜晚時，小燕鷗會張翅彎身作勢要衝撞掠食者並同時發出尖銳的叫聲抵抗，但當天敵的體型過大或反應靈敏時，這樣的防禦行為成效不大。有別於夜晚，若白天時小燕鷗遇到有威脅性的天敵，如：猛禽、鷺科鳥類、野狗等，小燕鷗會以群體攻擊的方式共同擊退天敵，並且在族群數量越大的時候會有更顯著的行為表現與成效(Fujita *et al.*, 1994)。在調查期間，曾觀察到四十多隻的小燕鷗一同驅趕闖入繁殖區域上空的魚鷹(*Pandion haliaetus*)。在國外亦有學者研究發現，鴿科鳥類喜好在群聚性生殖的燕鷗巢區附近繁殖，可受益於燕鷗群體攻擊天敵帶來的保護(Nguyen *et al.*, 2006)。在臺灣四個小燕鷗的繁殖地中，也記錄到許多東方環頸鴿或小環頸鴿的巢分布於小燕鷗的巢間，除了對於繁殖棲地的需求相似之外，小燕鷗的群體攻擊帶來的保護，也可能是他們選擇與小燕鷗為鄰的考量。

在調節巢內微氣候部分，本研究結果顯示：使用巢材與否對於小燕鷗巢內的微氣候調節有顯著差異(圖十六、圖十七)。使用巢材的小燕鷗其巢內溫、濕度變

化量較小，在炎熱的中午時分，其巢內溫度可以低於外界環境溫度至  $10^{\circ}\text{C}$ ，其巢內濕度可以高於外界環境濕度 20% 以上，證實巢材的功能與調節小燕鷗巢內微氣候有關，可以使巢內的微氣候較為穩定，提供合適的環境條件，以利巢蛋的孵化。然而，巢材的使用並沒有對親鳥的孵卵時間造成影響(圖十八)，可能是因為巢內微氣候和外界環境的差異未足以大到能造成親鳥行為的改變；也可能是因為較高的捕食壓力，為了避免巢蛋被捕食，親鳥仍需要長時間在巢以保護巢蛋。

雖然在本研究中巢材的使用與否對於巢蛋的孵化成功率沒有直接的影響，但是在許多前人研究中已指出巢內微氣候，特別是孵化時期巢內溫度的變化，影響了蛋的孵化與未來子代出生後的品質，像是子代的體型、性別比例、運動表現、身體代謝、體溫調節、免疫力甚至是面臨壓力時的身體機能狀態等(Hepp *et al.*, 2006; DuRant *et al.*, 2010; Hopkins *et al.*, 2011; Nord and Nilsson, 2011; DuRant *et al.*, 2012; DuRant *et al.*, 2013)。除此之外，適宜的溫度可以加速胚胎發育並減少孵化時間，因而降低巢蛋被微生物感染以及巢蛋被捕食的風險(Nuechterlein and Buitron, 2002; Martin *et al.*, 2007)。因此，良好的巢內微氣候不論對於親鳥、蛋或雛鳥都很重要，並且影響親鳥與子代的適存度，對於鳥類的生態與演化有重要的意涵(DuRant *et al.*, 2013)。

根據宜蘭縣蘭陽溪口沙洲小燕鷗所使用的巢材種類，枯枝木屑、小碎石和人造物(以塑膠為主)，其比熱值經查表對照後得知枯枝木屑  $0.570\text{ (kcal/kg}^{\circ}\text{C)}$ 、小碎石  $0.210\text{ (kcal/kg}^{\circ}\text{C)}$ 、熱固性塑膠聚合物  $1-2\text{ (kcal/kg}^{\circ}\text{C)}$ ，相較於沙洲上的細沙  $0.191\text{ (kcal/kg}^{\circ}\text{C)}$  為大(Perry and Green, 1997)。也就是說在相同的外界環境溫度下，使用巢材的小燕鷗其巢內溫度變化低於無使用巢材的小燕鷗其巢內溫度的變化，與本研究結果相符。這樣的結果可能可以減少親鳥對於調節巢內微氣候的能量消耗，降低孵卵時期生殖壓力；但值得一提的是，親鳥的在巢時間或是說親鳥的努力才是真正影響巢內微氣候變化與巢蛋命運的關鍵因子(Wendeln and Becker, 1999; Nguyen *et al.*, 2006)。宋心怡 (2009) 在澎湖無人島上針對紅燕鷗的

研究發現：親鳥在巢的時候，不同的巢位棲地結構對於其巢內微氣候變化影響並不顯著。在本研究的資料記錄中，也有一巢未使用巢材的巢位，在中午炎熱時分，親鳥可以憑藉著頻繁地出外沾水孵卵，造成巢內濕度短時間內的明顯變化，可見親鳥的行為對於巢蛋的影響是直接而且緊密相關的。

在過往的研究紀錄中，宜蘭縣蘭陽溪口沙洲的小燕鷗巢材使用比例分別為 2011 年 30% 與 2012 年 36% (宜蘭縣野鳥學會, 2011, 2012)，和本研究於 2013 年的調查結果 33.33% 相近。然而，在洪崇航 (2009) 於彰化縣崙尾工業區的調查中，使用巢材的巢位記錄均在礫石地環境，使用巢材的比例在 2007 年為 18.18%，在 2008 年為 14.47%；和本研究 2013 年在礫石地上的調查結果 81.71%，相差甚大；並且本研究在沙丘環境上有記錄到一巢使用巢材的巢位。推測造成彰化縣崙尾工業區礫石地環境使用巢材的巢位比例年間變動這麼大的原因可能為此區地景的變動，由於崙尾工業區在彰濱工業區內為土地開發程度較低的一區，因此成為彰濱工業區內施作工程時堆積工程廢棄土的區域，使得礫石地的面積增加，因而增加了小燕鷗對於礫石地的棲地利用，加上礫石地提供了較多的環境素材可以做為小燕鷗巢材使用的來源，故可能增加礫石地上巢位使用巢材的比例。由此可知，棲地地景的變動對於物種的行為可能有極大的影響力，因此，長期監測棲地的動態在物種保育上是必要的。

### 三、影響孵化成功率的因素

本研究 2013 年於宜蘭縣蘭陽溪口沙洲的調查，小燕鷗的孵化成功率為 54.84%，相較 2011 年的孵化成功率 17% 與 2012 年的孵化成功率 31% 高出許多 (宜蘭縣野鳥學會, 2011, 2012)。因為 2013 年颱風季較晚 (表十二)，第一個發布颱風警報的颱風為 7 月中旬的泰力颱風，減少淹水事件對於小燕鷗繁殖的影響，因此 2013 年的孵化成功率相較於前兩年為佳。

本研究嘗試以二元邏輯式迴歸分析來檢定棲地特徵的各項因子對於孵化成功率的影響，然而，並未能有效篩選出適合的模式與顯著影響孵化成功率的棲地特徵因子(表八)。探討其原因，可能因為造成小燕鷗繁殖失敗的主要因子為水淹、掠食及沙埋(表九)，而巢位棲地特徵提供給小燕鷗的繁殖好處無法與這三個因子帶來的影響抗衡，使巢位棲地特徵對於孵化成功率的沒有顯著的影響。此外，因為宜蘭縣蘭陽溪口沙洲受季風影響，時有強烈的海風吹襲，由於小燕鷗的巢位結構十分鬆散，在強風的吹襲下容易發生蛋滾走或者是被沙土掩埋的情況，因而影響孵化成功率。

在時間序列分析中，透過模式篩選出對於孵化成功率最具影響性的氣候因子，發現以平均孵化期 21 天的最大雨量、平均孵化期 21 天平均溫度和平均孵化期 21 天的平均溫度和平均風速之交互作用因子是影響宜蘭縣蘭陽溪口沙洲 2013 年小燕鷗孵化成功率的主因(表十)。其中，雨量因子的影響有別於洪崇航 (2009) 在彰化縣嵩尾工業區研究時所使用的平均孵化期 21 天的累計雨量，在宜蘭縣蘭陽溪口沙洲影響小燕鷗孵化成功率的是平均孵化期 21 天的最大雨量。可能的原因推測為兩地的降雨強度的差異造成，在嵩尾工業區中土地排水不佳，在連日降雨後容易造成區內淹水不退，使得小燕鷗的巢蛋浸泡於水中不利孵化(劉威廷, 2002; 辜國展, 2005)；相較之下宜蘭縣蘭陽溪口沙洲其沙灘環境利於排水，只有在暴雨侵襲的情況下容易導致淹水事件的發生，造成繁殖失敗。

綜觀本研究與文獻回顧可知：氣候變化導致得降雨和淹水事件，對於緊臨河、海口繁殖的小燕鷗是嚴重影響繁殖結果的因子。因此，若能有效探討小燕鷗繁殖棲地的水文變化，釐清降雨量和淹水事件的關係，可以提供棲地的主管機關經營管理的建議，如：棲地營造時可墊高地面高度，避免淹水發生，以增加小燕鷗繁殖成功的機會。

除了上述的影響因子外，人為干擾的問題一直是小燕鷗的繁殖棲地所面臨的最大挑戰(Holloway, 1993; Catry *et al.*, 2004; Oro *et al.*, 2004; Chan and Dening,

2007; Medeiros *et al.*, 2007; Ratcliffe *et al.*, 2008; Scarton, 2008; 洪崇航, 2009; 宜蘭縣野鳥學會, 2011; Medeiros *et al.*, 2012; 宜蘭縣野鳥學會, 2012)。雖然宜蘭縣蘭陽溪口沙洲位於蘭陽溪口水鳥保護區的核心區域，但由於地理位置之便，沙洲上常有民眾進行耕種、捕抓鰻苗、撿拾漂流木等活動，平時也會有釣客到此垂釣。調查期間，在退潮時候偶會見吉普車開上沙洲。這些行為都會對此處棲息或繁殖的鳥類造成干擾，有時可能會吸引掠食者進入巢區，造成巢蛋的捕食、親鳥棄巢或導致雛鳥死亡率增加，嚴重的話可能會迫使鳥類放棄繁殖棲地。人為干擾直接或間接造成的影響是難以估計與量化的。

#### 四、 棲地經營管理建議

對於群聚性生殖的小燕鷗而言，棲地保育是有效保護其族群永續的方式。由於群聚性生殖的特性，在繁殖季外的其餘時期小燕鷗以個體或小群覓食、遷徙為主，難以界定其非繁殖季節的棲地，因此，對於小燕鷗而言繁殖棲地的保育更顯重要。瞭解小燕鷗的棲地選擇偏好，可以應用於棲地保育和經營上，制定合適的管理策略，提供小燕鷗的棲地需求。一般而言，大尺度的棲地環境是容易被營造的，而小尺度的棲地特徵才可能是影響鳥類對於繁殖巢位需求的重點，包括巢材需求、孵卵育雛和躲避天敵等。本研究不同於前人探討大尺度群聚棲地選擇的研究(Fujita *et al.*, 1994; Catry *et al.*, 2004; Ratcliffe *et al.*, 2008; Scarton, 2008)，著重於小燕鷗的巢位選擇，描述小尺度的棲地特徵，因此，本研究的結果可以提供棲地經營管理或棲地營造時更細節的參考。

透過小燕鷗對於棲地選擇的偏好，依照其對於棲地特徵的需求進一步發展成評估棲地品質的指標，作為繁殖棲地品質的監控參考。而一般而言群聚性生殖的燕鷗類鳥類對於棲地的忠實度高，於繁殖季節時會傾向回到曾經生殖的地點進行繁衍。在本研究宜蘭縣蘭陽溪口沙洲的樣區中觀察時，皆會觀察到宜蘭縣野鳥學會前幾年所捕捉、繫放帶有白、藍色足旗的小燕鷗個體，顯示小燕鷗也有一定的

棲地忠誠度。而這樣的特性可能會導致即使原有的繁殖棲地劣化或遭到破壞，小燕鷗在繁殖季節時期仍會回到原來的繁殖棲地，造成繁殖表現不佳或影響小燕鷗的存活。因此，繁殖棲地品質的監測對於小燕鷗族群的永續發展有其重要性。除了棲地品質外，棲地的變異也是需要被關注的。由於小燕鷗的繁殖棲地大多位於海岸、河口區域，容易受到降雨、潮汐或颱風等因素影響，造成淹水事件發生導致其繁殖棲地地景大改變，使得每年繁殖棲地皆會有所變異(Ratcliffe *et al.*, 2008; Scarton, 2008; 洪崇航, 2009)。根據宜蘭縣野鳥學會(2011, 2012)連續兩年的調查發現宜蘭縣蘭陽溪口沙洲受每年颱風的影響極劇，造成兩年的沙洲輪廓、面積與棲地地景有極大的差異。目前小燕鷗在臺灣的四個繁殖地點皆可能因為氣候事件或是人為活動的影響，造成小燕鷗的繁殖棲地變異，影響小燕鷗的行為與棲地利用，甚至導致小燕鷗拋棄原繁殖棲地而導致該地的小燕鷗族群消失，故各個繁殖棲地的年間變異程度也是值得的關注的議題。

除了棲地的資料外，根據族群生態學的觀點，深入了解小燕鷗的生活史是必須的，探討其在生活史各階段所面臨的壓力、離鳥存活率、第一年的存活率、第二年的存活率、成鳥存活率等因子，可以知道其生活史的哪個階段對於小燕鷗族群的生存是關鍵的影響時期，使主管機構能夠針對明確的目標對象制定合適的保育策略，有效地保護小燕鷗族群。在國外，對於燕鷗各階段的生活史狀態早有不少研究，像是普通燕鷗、紅燕鷗、鷗嘴燕鷗、白額燕鷗等(Langham, 1972; LeCroy and Collins, 1972; Eyler *et al.*, 1999; Dugger *et al.*, 2000)。然而，這樣的研究需要大量的離鳥繫放作業並且可能需要將離鳥圈養在特定的範圍內以便進行觀察與測量。在Roche *et al.* (2014)於美國密蘇里河針對白額燕鷗和笛鵑的離鳥進行繫放與密集的人力觀察，發現除了可以有效獲得離鳥存活率等資料外，更重要的是得知研究人員進行繫放與調查並不會對於離鳥存活率造成負面的影響。若是繫放數量充足也能用以評估其棲地忠實度、每年的存活率等資訊。這些資訊可使小燕鷗的繁殖生物學更加完善，更可作為參數因子，透過模式來預測其族群的未來趨

勢，可以及時發覺並預防其族群可能面臨的困境，使保育計畫的制定與執行更加有效益。

在本研究調查進行期間，除了研究人員的調查活動，在各繁殖地皆有記錄到規模不等的人為活動干擾，包括遊客和釣客進入繁殖區、車輛經過、鳥類攝影、賞鳥者等。雖然無法量化這些人為干擾對於小燕鷗孵化成功率的影響，但是有觀察到當人類進入繁殖區時，小燕鷗親鳥會以俯衝方式展現威嚇行為，希望可以驅趕闖入巢區的不速之客，也會以叫聲引誘離鳥遠離；若是威脅更接近時離鳥則會停止不動讓自身絨羽的保護色融入環境，使人難以發覺。而未孵化的蛋或剛孵化的離鳥因為沒有行動能力而被迫留在原處，缺乏了親鳥的保護，此時巢蛋與離鳥的存活率極低，容易被天敵捕食並且難以抵抗惡劣的天氣條件。為了有效減少人為活動對於小燕鷗繁殖的干擾，可以在小燕鷗的繁殖棲地外圍劃設緩衝區，減緩人類活動的直接影響。而根據Rodgers and Schwikert (2002)的研究建議，燕鷗類鳥類的緩衝區距離約為140公尺。各繁殖地可依照此建議距離並評估現地狀況，制定適合的緩衝區範圍。在前人研究中也提出許多可以有效降低人為干擾的措施，如：在繁殖區外圍設置圍籬、電網、告示牌；在繁殖區內提供離鳥躲避的場域；甚至配置巡守員(Chan and Dening, 2007; Medeiros *et al.*, 2007; Spear *et al.*, 2007; Ratcliffe *et al.*, 2008)。目前，許多物種的保育計畫和在地民眾結合，由專家學者擔任顧問，物種的調查及保育行動則由在地組織負責主導，不但可以維持長期的監測與研究，也可以透過參與使當地民眾對於保育物種有認同感，進而自發性的保護當地的生態資源。更可以結合政府大力推行的環境教育政策，將保育理念融入教育，落實於生活中。

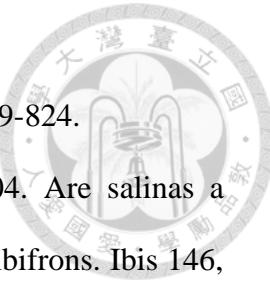
本研究透過探討小燕鷗的棲地需求與巢材的功能，提供小燕鷗的生態基礎資料，也提供相關主管機關在棲地管理和保育決策上新的思維，並且結合前人研究與結果整理，作為在未來保育計畫制定的參考，以建立長期的棲地品質與小燕鷗族群動態的監測為未來努力的目標。

## 陸、 參考文獻



- Amano, T., Yamaura, Y., 2007. Ecological and life-history traits related to range contractions among breeding birds in Japan. *Biological Conservation* 137, 271-282.
- Arnold, J.M., Hatch, J.J., Nisbet, I.C.T., 2006. Effects of egg size, parental quality and hatch-date on growth and survival of Common Tern *Sterna hirundo* chicks. *Ibis* 148, 98-105.
- Barati, A., Etezadifar, F., Esfandabad, B.S., 2012. Nest-site selection and hatching success at a mixed-species colony of Black-winged Stilts *Himantopus himantopus* and Gull-billed Tern *Gelochelidon nilotica*. *Avian Biology Research* 5, 142-146.
- Bertolero, A., Oro, D., Vilalta, A.M., López, M.À., 2005. Selection of foraging habitats by Little Terns *Sterna albifrons* at the Ebro Delta (NE Spain). *Revista Catalana d'Ornitologia* 21, 37-42.
- BirdLife International 2012. *Sterna albifrons*. In: IUCN 2013. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2013.2. <[www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)>. Downloaded on 01 March 2014.
- Brown, C.R., Brown, M.B., 2000. Heritable basis for choice of group size in a colonial bird. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 97, 14825-14830.
- Burger, J., 1977. Nesting behavior of Herring Gulls: invasion into spartina salt marsh areas of New Jersey. *The Condor* 79, 162-169.
- Burger, J., Gochfeld, M., 1991. The Common Tern: its breeding biology and social behaviour. Columbia University Press, New York.
- Burger, J., Gochfeld, M. (Eds.), 1996. Family laridae (gulls), family sternidae (terns).

Lynx Edicions.



- Carey, C., 1980. The ecology of avian incubation. BioScience 30, 819-824.
- Catry, T., Ramos, J., Catry, I., Allen-Revez, M., Grade, N., 2004. Are salinas a suitable alternative breeding habitat for Little Terns *Sterna albifrons*. Ibis 146, 247-257.
- Chan, K., Dening, J., 2007. Use of sandbanks by terns in Queensland, Australia: a priority for conservation in a popular recreational waterway. Biodiversity and Conservation 16, 447-464.
- Clements, J. F., T. S. Schulenberg, M. J. Iliff, B.L. Sullivan, C. L. Wood, and D. Roberson. 2013. The eBird/Clements checklist of birds of the world: Version 6.8 <<http://www.birds.cornell.edu/clementschecklist/download/>>. Downloaded on 01 March 2014.
- Cody, M., 1985. Habitat selection in birds. Academic Press, Orlando.
- Danchin, E., Boulinier, T., Massot, M., 1998. Conspecific reproductive success and breeding habitat selection implications for the study of coloniality. Ecology 79, 2415-2428.
- Devos, K., Anselin, A., Vermeersch, G., 2004. Een nieuwe rode lijst van de broedvogels in Vlaanderen. Instituut voor Natuur, Belgium.
- Dolev, A., Perevolotsky, A., 2004. The red book: vertebrates in Israel, INPA and SPNI Jerusalem.
- Dugger, K.M., Ryan, M.R., Renken, R.B., 2000. Least Tern chick survival on the lower Mississippi river. Journal of Field Ornithology 71, 330-338.
- DuRant, S.E., Hepp, G.R., Moore, I.T., Hopkins, B.C., Hopkins, W.A., 2010. Slight differences in incubation temperature affect early growth and stress endocrinology of wood duck (*Aix sponsa*) ducklings. The Journal of Experimental Biology 213, 45-51.

- DuRant, S.E., Hopkins, W.A., Hepp, G.R., Walters, J.R., 2013. Ecological, evolutionary, and conservation implications of incubation temperature-dependent phenotypes in birds. *Biological Reviews* 88, 499-509.
- DuRant, S.E., Hopkins, W.A., Wilson, A.F., Hepp, G.R., 2012. Incubation temperature affects the metabolic cost of thermoregulation in a young precocial bird. *Functional Ecology* 26, 416-422.
- Eason, P., Rabea, B., Attum, O., 2012. Island shape, size, and isolation affect nest-site selection by Little Terns. *Journal of Field Ornithology* 83, 372-380.
- Eyler, T.B., Erwin, R.M., Stotts, D.B., Hatfield, J.S., 1999. Aspects of hatching success and chick survival in Gull-billed Terns in coastal virginia. *Waterbirds: The International Journal of Waterbird Biology* 22, 54-59.
- Fujita, G., Kawashima, K., Ando, Y., Higuchi, H., 1994. Attraction of the Little Tern to artificial breeding sites using decoys. *Strix* 13, 209-213.
- Fujita, G., Totsu, K., Shibata, E., Matsuoka, Y., Morita, H., Kitamura, W., Kuramoto, N., Masuda, N., Higuchi, H., 2009. Habitat management of little terns in Japan's highly developed landscape. *Biological Conservation* 142, 1891-1898.
- Gill, F.B., 2007. *Ornithology*. W. H. Freeman and Company, New York.
- Gochfeld, M., 1983. Colony site selection by Least Terns: physical attributes of site. *Waterbirds* 6, 205-213.
- Goutner, V., 1990. Habitat selection of Little Terns in the Evros Delta, Greece. *Colonial Waterbirds* 13, 108-114.
- Hanssen, S.A., Hasselquist, D., Folstad, I., Erikstad, K.E., 2005. Cost of reproduction in a long-lived bird: incubation effort reduces immune function and future reproduction. *Proceedings of the Royal Society* 272, 1039-1046.
- Hayashi, E., Hayakawa, M., Staoh, T., Masuda, N., 2005. Breeding status of the Little Tern breeding on the rooftop of the building. *Strix* 23, 143-148.

Hays, H., LeCroy, M., 1971. Field criteria for determining incubation stage in eggs of the Common Tern. *The Wilson Bulletin* 83, 425-429.

Hepp, G.R., Kennamer, R.A., Johnson, M.H., 2006. Maternal effects in Wood Ducks: incubation temperature influences incubation period and neonate phenotype. *Functional Ecology* 20, 308-314.

Holloway, M., 1993. The variable breeding success of the little tern *Sterna albifrons* in South-East India and protective measures needed for its conservation. *Biological Conservation* 65, 1-8.

Hong, S.-B., Woo, Y.-T., Higashi, S., 1998. Effects of clutch size and egg-laying order on the breeding success in the Little Tern *Sterna albifrons* on the Nakdong Estuary, Republic of Korea. *Ibis* 140, 408-414.

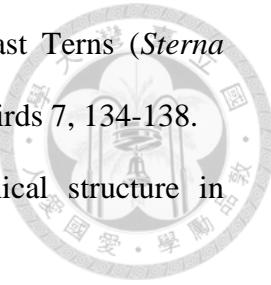
Hopkins, B.C., DuRant, S.E., Hepp, G.R., Hopkins, W.A., 2011. Incubation temperature influences locomotor performance in young wood ducks (*Aix sponsa*). *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological Genetics and Physiology* 315A, 274-279.

Hulsman, K., Smith, G., 1988. Biology and growth of the black-naped tern *Sterna sumatrana*: an hypothesis to explain the relative growth rates of inshore, offshore and pelagic feeders. *Emu* 88, 234-242.

Hustings, F., Borggreve, C., Turnhout, C.v., Thissen, J., 2004. Basisrapport voor de Rode Lijst Vogels volgens Nederlandse en IUCN-criteria. SOVON Vogelonderzoek Nederland, Beek-Ubbergen.

Jenniges, J.J., Plettner, R.G., 2008. Least Tern nesting at human created habitats in central Nebraska. *Waterbirds* 31, 274-282.

Kim, S.-Y., Monaghan, P., 2005. Effects of vegetation on nest microclimate and breeding performance of lesser black-backed gulls (*Larus fuscus*). *J Ornithol* 146, 176-183.



- Kotliar, N.B., Burger, J., 1984. The use of decoys to attract Least Terns (*Sterna antillarum*) to abandoned colony sites in New Jersey. *Waterbirds* 7, 134-138.
- Kristan III, W.B., 2006. Sources and expectations for hierarchical structure in bird-habitat associations. *The Condor* 108, 5-12.
- Kristan III, W.B., Johnson, M.D., Rotenberry, J.T., 2007. Choices and consequences of habitat selection for birds. *The Condor* 109, 485-488.
- Langham, N.P.E., 1972. Chick survival in Terns (*Sterna Spp.*) with particular reference to the Common Tern. *Journal of Animal Ecology* 41, 385-395.
- LeCroy, M., Collins, C.T., 1972. Growth and survival of Roseate and Common Tern chicks. *The Auk* 89, 595-611.
- Lee, W.-S., Kwon, Y.-S., Yoo, J.-C., Song, M.-Y., Chon, T.-S., 2006. Multivariate analysis and self-organizing mapping applied to analysis of nest-site selection in Black-tailed Gulls. *Ecological Modelling* 193, 602-614.
- Mallach, T.J., Leberg, P.L., 1999. Use of dredged material substrates by nesting Terns and Black Skimmers. *The Journal of Wildlife Management* 63, 137-146.
- Marcus, J.F., Dinan, J.J., Johnson, R.J., Blankenship, E.E., Lackey, J.L., 2007. Directing nest site selection of Least Terns and Piping Plovers. *Waterbirds* 30, 251-258.
- Martin, T.E., Auer, S.K., Bassar, R.D., Niklison, A.M., Lloyd, P., 2007. Geographic variation in avian incubation periods and parental influences on embryonic temperature. *Evolution* 61, 2558-2569.
- Mayer, P., Smith, L., Ford, R., Watterson, D., McCutchen, M., Ryan, M., 2009. Nest construction by a ground-nesting bird represents a potential trade-off between egg crypticity and thermoregulation. *Oecologia* 159, 893-901.
- Medeiros, R., Ramos, J., Paiva, V., Almeida, A., Pedro, P., Antunes, S., 2007. Signage reduces the impact of human disturbance on little tern nesting success



- in Portugal. Biological Conservation 135, 99-106.
- Medeiros, R., Ramos, J., Pedro, P., Thomas, R., 2012. Reproductive consequences of nest site selection by Little Terns breeding on sandy beaches. Waterbirds 35, 512-524.
- Ministry of the Environment, Japan. (2008). Japan Biodiversity Information System.  
<http://www.biodic.go.jp/english/J-IBIS.html> > Downloaded on 01 March 2014.
- Morán-López, R., Sánchez Guzmán, J.M., Borrego, E.C., Sánchez, A.V., 2006. Nest-site selection of endangered cinereous vulture (*Aegypius monachus*) populations affected by anthropogenic disturbance: present and future conservation implications. Animal Conservation 9, 29-37.
- Nguyen, L.P., Abraham, K.F., Nol, E., 2006. Influence of Arctic Terns on survival of artificial and natural semipalmated Plover Nests. Waterbirds 29, 100-104.
- Nisbet, I.C.T., Apanius, V., Friar, M.S., 2002. Breeding performance of very old Common Terns. Journal of Field Ornithology 73, 117-124.
- Nord, A., Nilsson, J.-Å., 2011. Incubation temperature affects growth and energy metabolism in Blue Tit nestlings. The American Naturalist 178, 639-651.
- NSW National Parks and Wildlife Service (2003) Little Tern (*Sterna albifrons*) Recovery Plan. NSW NPWS, Hurstville.
- Nuechterlein, G.L., Buitron, D., 2002. Nocturnal egg neglect and prolonged incubation in the Red-necked Grebe. Waterbirds 25, 485-491.
- Ontiveros, D., Caro, J., Pleguezuelos, J. M., 2008. Possible functions of alternative nests in raptors: the case of Bonelli's Eagle. Journal of Ornithology 149: 253-259.
- Oro, D., Bertolero, A., Vilalta, A.M., Lopez, M.A., 2004. The biology of the Little Tern in the Ebro Delta. Waterbirds 27, 434-440.

Ortali, A., 1977. Photographic study of the nest of the least tern *Sterna albifrons*.

Rivista Italiana di Ornitologia 47, 93-109.

Paiva, V.H., Ramos, J.A., Catry, T., Pedro, P., Medeiros, R., Palma, J., 2006.

Influence of environmental factors and energetic value of food on Little Tern *Sterna albifrons* chick growth and food delivery: CapsuleChick diet and early growth parameters differed between birds breeding on natural (sandy beaches) and alternative (salinas) habitats. Bird Study 53, 1-11.

Part, T., Arlt, D., Doligez, B., Low, M., Qvarnstrom, A., 2011. Prospectors combine social and environmental information to improve habitat selection and breeding success in the subsequent year. Journal of Animal Ecology 80, 1227-1235.

Perry, R.H., Green, D.W., 1997. Perry's chemical engineers' handbook. McGraw-Hill, New York

Pickerell, G., 2004. Little Terns *Sterna albifrons*. In: Mitchell, P.I., Newton, S., Ratcliffe, N., Dunn, T.E. (Eds.), Seabird populations of Britain and Ireland. Poyser, London, pp. 339-349.

Piper, W.H., 2011. Making habitat selection more "familiar": a review. Behavior Ecology Sociobiology 65.

Quinn, J.S., Sirdevan, J., 1998. Experimental measurement of nesting substrate preference in Caspian terns, *Sterna caspia*, and the successful colonisation of human constructed islands. Biological Conservation 85, 63-68.

Radovic, D., Cikovic, D., Tutiš, V., Kralj, J., 2007. Croatia Red List: Birds. Institute for Ornithology of CASA, Zagreb.

Ramos, J.A., 1998. Nest-site selection by Roseate Terns breeding on Aride Island, Seychelles. Colonial Waterbirds 21, 438-443.

Ramos, J.A., 2001. Seasonal variation in reproductive measures of tropical Roseate

Terns *Sterna dougallii* previously undescribed breeding patterns in a seabird.

Ibis 143, 83-91.

Ratcliffe, N., Schmitt, S., Mayo, A., Tratalos, J., Drewitt, A., 2008. Colony habitat selection by Little Terns *Sternula albifrons* in East Anglia: implications for coastal management. Seabird 21, 55-63.

Roche, E.A., Shaffer, T.L., Anteau, M.J., Sherfy, M.H., Stucker, J.H., Wiltermuth, M.T., Dovichin, C.M., 2014. Detection probability of Least Tern and Piping Plover chicks in a large river system. The Journal of Wildlife Management 78, 709-720.

Rodgers, J.A., Schwikert, S.T., 2002. Buffer-zone distances to protect foraging and loafing waterbirds from disturbance by personal watercraft and outboard-powered boats. Conservation Biology 16, 216-224.

Saalfeld, S.T., Conway, W.C., Haukos, D.A., Johnson, W.P., 2012. Snowy Plover nest site selection, spatial patterning, and temperatures in the Southern High Plains of Texas. The Journal of Wildlife Management 76, 1703-1711.

Saliva, J.E., Burger, J., 1989. Effect of experimental manipulation of vegetation density on nest-site selection in Sooty Terns. The Condor 91, 689-698.

Scarton, F., 2008. Population trend, colony size and distribution of Little Terns in the lagoon of Venice (Italy) between 1989 and 2003. Waterbirds 31, 35-41.

Schreiber, E.A., Burger, J., 2002. Biology of marine birds. CRC Press, USA.

Seltmann, M.W., Jaatinen, K., Steele, B.B., Öst, M., 2014. Boldness and stress responsiveness as drivers of nest-site selection in a Ground-Nesting Bird. Ethology 120, 77-89.

Serrano, D., Tella, J.L., 2012. Lifetime fitness correlates of natal dispersal distance in a colonial bird. Journal of Animal Ecology 81, 97-107.

Shealer, D.A., Buzzell, J.M., Heiar, J.P., 2006. Effect of floating nest platforms on the

breeding performance of Black Terns. *Journal of Field Ornithology* 77, 184-194.

Sherfy, M.H., Stucker, J.H., Buhl, D.A., 2012. Selection of nest-site habitat by interior least terns in relation to sandbar construction. *The Journal of Wildlife Management* 76, 363-371.

Simmons, R., Cordes, I., Braby, R., 1998. Latitudinal trends, population size and habitat preferences of the Damara Tern *Sternula balaenarum* on Namibia's desert coast. *Ibis* 140, 439-445.

Spear, K.A., Schweitzer, S.H., Goodloe, R., Harris, D.C., 2007. Effects of management strategies on the reproductive success of Least Terns on dredge spoil in Georgia. *Southeastern Naturalist* 6, 27-34.

Suárez, N., Pozzi, L., Yorio, P., 2010. Nest site selection of the Kelp gull (*Larus dominicanus*) in the Beagle Channel, Tierra del Fuego, Argentina. *Polar Biology* 33, 215-221.

Velando, A., Márquez, J.C., 2002. Predation risk and nest-site selection in the Inca tern. *Canadian Journal of Zoology* 80, 1117-1123.

Vleck, C.M., Vleck, D., Rahn, H., Paganelli, C.V., 1983. Nest microclimate, water-vapor conductance, and water loss in heron and tern eggs. *The Auk* 100, 76-83.

Webb, D.R., 1987. Thermal tolerance of avian embryos: A Review. *The Condor* 89, 874-898.

Wendeln, H., Becker, P.H., 1999. Effects of parental quality and effort on the reproduction of common terns. *Journal of Animal Ecology* 68, 205-214.

Wetland International, 2006. Waterbird population estimates- fourth edition. Wetland International Global Series, Wageningen.

Zambrano, R., Warraich, T.N., 2010. Statewide seabird and shorebird rooftop



nesting survey in Florida. In. Florida Fish and Wildlife Conservation Commission, Tallahassee.

呂正仁, 1997. 大肚溪口鶲鴨科、雁鴨科、鷗科、鷺科鳥類群聚及族群變動之研究. 碩士論文. 東海大學, 台中.

宋心怡, 2009. 巢位棲地結構對澎湖紅燕鷗巢位微氣候及孵化率的影響. 碩士論文. 國立中山大學, 高雄.

宜蘭縣野鳥學會, 2011. 2011 蘭陽溪口小燕鷗繁殖生態行為調查成果報告. 宜蘭縣野鳥學會, 宜蘭縣.

宜蘭縣野鳥學會, 2012. 2012 蘭陽溪口小燕鷗繁殖生態行為調查成果報告. 宜蘭縣野鳥學會, 宜蘭縣.

林毓鴻, 2009. 蒼燕鷗與紅燕鷗的巢位辨識. 碩士論文. 國立中山大學, 高雄.

施上粟, 黃國文, 任秀慧, 黃志偉, 朱達仁, 2013. 滯洪池之濕地生態功能評價及改善研究. 經濟部水利署水利規劃試驗所, 台北.

洪崇航, 2009. 影響小燕鷗在崙尾工業區內孵化成功率之因子. 碩士論文. 東海大學, 台中.

辜國展, 2005. 大肚溪口繁殖期東方環頸鴨活動模式之研究. 碩士論文. 東海大學, 台中.

劉小如, 丁宗蘇, 方偉宏, 林文宏, 蔡牧起, 顏重威, 2010. 鷗科. 台灣鳥類誌. 行政院農業委員會林務局, 台北.

劉威廷, 2002. 彰濱工業區水鳥繁殖棲地選擇、繁殖成功率和經營管理之研究. 碩士論文. 東海大學, 台中.

鄭謙遜, 葉金裕, 陳宏賢, 2006. 澎湖活龍灘和小白沙嶼燕鷗巢位選擇與繁殖生態研究. 澎湖縣湖西鄉沙港國民小學, 澎湖.

顏重威, 諸葛陽, 陳水華, 2006. 中國的海鷗與燕鷗. 國立鳳凰谷鳥園, 南投縣鹿谷鄉.

表一、巢位各項棲地特徵與說明。依據 Sherfy *et al.* (2012)的分類，將各棲地特徵比例歸類成不同級別:0 (0%)、1 (>0–5%)、2 (6–15%)、3 (16–30%)、4 (31–45%)、5 (46–70%)、6 (71–100%)。

項目	說明
枯枝木屑	直徑小於 2cm
粗枝條	直徑大於 2cm
植被覆蓋度	
小碎石	直徑小於 2cm
大石頭	直徑大於 2cm
貝殼/蚵殼	
人造物	非自然物質
最近植被距離	由巢中心開始計算，面積超過 $2\text{cm} \times 2\text{cm}$
最近植被平均高	最近植被的平均高度



表二、宜蘭縣蘭陽溪口沙洲小燕鷗巢位棲地特徵的比較。和隨機樣點比較，小燕鷗偏好選擇較高的粗枝條比例與較低的植被覆蓋度地點作為巢位；其中使用巢材的小燕鷗相較無使用巢材的小燕鷗偏好更高的粗枝條比例的巢位。

棲地特徵	巢位			隨機樣點			<i>p</i> 值
	n=59		n=54	mean±SE	mean±SE	n=22	
	mean±SE	mean±SE				mean±SE	
枯枝木屑	1.07±0.05	1.07±0.10	0.669			1.09±0.06	1.05±0.07 0.732
粗枝條	1.10±0.12	0.80±0.13	<b>0.048*</b>			1.41±0.17	0.92±0.15 <b>0.024*</b>
植被覆蓋 度	0.10±0.05	0.37±0.11	<b>0.034*</b>			0.18±0.11	0.05±0.04 0.263
小碎石	0.42±0.06	0.33±0.07	0.793			0.45±0.08	0.41±0.08 0.219
大石頭	0.17±0.05	0.17±0.06	0.221			0.09±0.06	0.22±0.07 0.714
貝殼/蚵殼	0.02±0.02	0.02±0.02	0.950			0.00±0.00	0.03±0.03 0.441
人造物	0.54±0.08	0.54±0.10	0.805			0.73±0.15	0.43±0.10 0.095

\*表 *p* value<0.05

不同級別表示的比例:0 (0%)、1 (>0—5%)、2 (6—15%)、3 (16—30%)、4 (31—45%)、5 (46—70%)、6 (71—100%)

表三、澎湖縣吉貝嶼小燕鷗巢位棲地特徵的比較。和隨機樣點比較，小燕鷗巢位棲地特徵和大環境無差異，但有遠離植被的趨勢，並且避免選擇植被高度過高的地點作為巢位；遠離植被的趨勢在使用巢材的小燕鷗巢位中達顯著。

棲地特徵	巢位			隨機樣點			<i>p</i> 值
	n=56		n=36	mean±SE	mean±SE	n=25	
	mean±SE	mean±SE				mean±SE	mean±SE
枯枝木屑	0.43±0.07	0.42±0.08	0.989	0.36±0.10	0.50±0.10	0.382	
粗枝條	0.07±0.03	0.03±0.03	0.370	0.08±0.06	0.07±0.05	0.851	
植被覆蓋度	1.84±0.10	2.03±0.22	0.916	1.76±0.17	1.90±0.14	0.520	
小碎石	5.34±0.14	5.11±0.23	0.565	5.36±0.18	5.30±0.23	0.823	
大石頭	0.98±0.07	1.03±0.01	0.614	1.00±0.13	0.97±0.09	0.982	
貝殼/蚵殼	0.71±0.06	0.81±0.07	0.326	0.72±0.09	0.70±0.09	0.873	
人造物	0.04±0.03	0.03±0.03	0.835	0.04±0.04	0.03±0.03	0.896	
最近植被距離	24.6±4.93	20.9±5.92	0.053	32.7±9.10	17.4±4.32	<b>0.044*</b>	
最近植被平均高度	2.48±0.16	3.59±0.38	<b>0.043*</b>	2.67±0.24	2.32±0.21	0.417	

\*表 *p* value<0.05

不同級別表示的比例:0 (0%)、1 (>0—5%)、2 (6—15%)、3 (16—30%)、4 (31—45%)、5 (46—70%)、6 (71—100%)；最近植被距離與最近植被平均高度為實際測量值(單位:cm)。

表四、嘉義縣新塭滯洪池南池沙洲小燕鷗巢位棲地特徵的比較。和隨機樣點比較，小燕鷗的巢位環境複雜度較高，並且偏好選擇貝殼(蚵殼)比例較高的地點作為巢位；在此使用巢材與否對於巢位棲地特徵的偏好沒有顯著差異。

棲地特徵	巢位			隨機樣點			有巢材 n=37	無巢材 n=5	p 值			
	n=42		n=14	p 值	mean±SE							
	mean±SE	mean±SE		mean±SE	mean±SE							
枯枝木屑	0.14±0.08	0.14±0.10	0.646	0.16±0.09	0.00±0.00	0.706						
貝殼/蚵殼	1.90±2.15	1.29±1.76	<b>0.023*</b>	1.84±2.09	2.40±0.40	0.180						
人造物	0.07±0.18	0.00±0.00	0.410	0.03±0.08	0.40±0.40	0.546						

\*表 p value<0.05

不同級別表示的比例:0 (0%)、1 (>0—5%)、2 (6—15%)、3 (16—30%)、4 (31—45%)、5 (46—70%)、6 (71—100%)。

表五、嘉義縣新塭滯洪池北池沙洲小燕鷗巢位棲地特徵的比較。和隨機樣點比較，小燕鷗巢位巢位環境複雜度較高，並且偏好選擇貝殼(蚵殼)比例較高的地點作為巢位；在此使用巢材與否對於巢位棲地特徵的偏好沒有顯著差異。

棲地特徵	巢位		隨機樣點		有巢材		無巢材	
	n=7		n=19	p 值	n=5		n=2	p 值
	mean±SE	mean±SE			mean±SE	mean±SE		
枯枝木屑	1.14±0.14	0.95±0.16	0.572		1.20±0.20	1.00±0.00	0.857	
植被覆蓋度	0.14±0.14	0.11±0.26	0.911		0.20±0.20	0.00±0.00	0.857	
貝殼/蚵殼	2.29±0.29	1.37±0.21	<b>0.022*</b>		2.60±0.24	1.50±0.50	0.190	

\*表 p value<0.05

不同級別表示的比例:0 (0%)、1 (>0—5%)、2 (6—15%)、3 (16—30%)、4 (31—45%)、5 (46—70%)、6 (71—100%)。

表六、彰化縣崙尾工業區礫石地小燕鷗巢位棲地特徵的比較。此處由於調查中斷，並未完整收集完資料，故僅就現有的資料進行分析。在礫石地上使用巢材的小燕鷗偏好選擇環境複雜度高的巢位環境，特別是偏好枯枝木屑、大石頭和貝殼(蚵殼)比例較高的巢位。



棲地特徵	有巢材	無巢材	<i>p</i> 值
	n=67	n=15	
	mean±SE	mean±SE	
枯枝木屑	0.66±0.07	0.33±0.13	<b>0.044*</b>
植被覆蓋度	0.88±0.08	1.20±0.30	0.440
小碎石	2.36±0.13	2.07±0.28	0.215
大石頭	3.22±0.11	2.67±0.25	<b>0.038*</b>
貝殼/蚵殼	0.49±0.06	0.20±0.11	<b>0.040*</b>
人造物	0.10±0.04	0.27±0.12	0.098
最近植被距離	68.2±6.17	74.8±22.8	0.627
最近植被平均高度	5.53±0.41	5.87±1.08	0.790

\*表 *p* value<0.05

不同級別表示的比例:0 (0%)、1 (>0—5%)、2 (6—15%)、3 (16—30%)、4 (31—45%)、5 (46—70%)、6 (71—100%)；最近植被距離與最近植被平均高度為實際測量值(單位:cm)。

表七、各繁殖地的棲地類型、巢材種類與巢材使用比例。在不同棲地類型下，小燕鷗使用巢材的種類和使用的比例不相同。

地點	棲地類型	巢材種類	總巢數	使用比例(%)
宜蘭縣蘭陽溪口	沙質沙洲	枯枝木屑、小石塊、人造物	72	33.33
	礫石地	小石塊、枯枝、蚵殼	82	81.71
彰化崙尾工業區	沙丘	枯枝木屑、蚵殼	33	3.03
	珊瑚碎屑混沙	小石塊、珊瑚碎屑	56	28.30
澎湖縣吉貝嶼				
嘉義新塭滯洪池	沉泥質沙洲	蚵殼、貝殼	53	83.02

表八、二元邏輯式迴歸分析檢定各棲地特徵對於孵化成功率的影響。並未篩選出合適的模式與顯著影響的棲地特徵因子。



Binary logistic regression				
模式	影響因子	Wald	Sig.	R Square
I	使用巢材與否	0.098	0.775	0.152
	枯枝木屑	2.060	0.151	
	粗枝條	0.221	0.638	
	植被覆蓋度	0.549	0.459	
	小碎石	1.345	0.246	
	大石頭	0.020	0.887	
	貝殼/蚵殼	0.000	1.000	
II	人造物	1.581	0.209	0.140
	使用巢材與否	0.239	0.625	
	枯枝木屑	1.811	0.178	
	粗枝條	0.195	0.659	
	植被覆蓋度	1.002	0.317	
	小碎石	2.004	0.157	
	人造物	1.985	0.159	
III	使用巢材與否	0.160	0.689	0.136
	枯枝木屑	1.806	0.179	
	植被覆蓋度	1.216	0.270	
	小碎石	1.870	0.171	
	人造物	1.899	0.168	
	使用巢材與否	0.085	0.771	
	枯枝木屑	0.976	0.323	
IV	植被覆蓋度	0.833	0.361	0.092
	人造物	1.783	0.182	
	枯枝木屑	1.563	0.211	
	小碎石	1.362	0.243	
V	人造物	1.747	0.186	0.100
	枯枝木屑	0.880	0.348	
	人造物	1.732	0.188	
VI	人造物	1.846	0.174	0.068
	枯枝木屑	1.732	0.188	
VII	人造物	1.846	0.174	0.047

表九、2013 年宜蘭縣蘭陽溪口沙洲小燕鷗的繁殖結果。



		巢數	比例(%)
孵化成功		51	54.84
孵化失敗		42	45.16
繁殖原因	水淹	11	26.19
	沙埋	6	14.29
失败原因	掠食	11	26.19
	踩破	1	2.38
未知	13	30.95	

表十、使用時間序列分析各氣候因子對於孵化成功率的影響程度。篩選出的影響因子為平均孵化期 21 天的最大雨量、平均孵化期 21 天平均溫度和平均孵化期 21 天的平均溫度和平均風速之交互作用因子，其準確性有 65%，方程式為

$$y_{t,fate} = -0.028x_{t, \text{maxrain}} + 0.348 x_{t, \text{avertemp}} - 0.1798 x_{t, \text{avertemp}} * x_{t, \text{averwind}} ^\circ$$

影響因子	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
孵化期 21 天最大雨量	-0.028	0.011	-2.606	<b>0.020</b>
孵化期 21 天平均溫度	0.348	0.083	4.182	<b>0.001</b>
孵化期 21 天平均溫度*孵化期 21 天平均風速	-0.179	0.043	-4.074	<b>0.001</b>
R-squared	<b>0.650</b>	Mean dependent var	0.627	
Adjusted R-squared	0.603	S.D. dependent var	0.392	
S.E. of regression	0.247	Akaike info criterion	0.193	
Sum squared resid	0.916	Schwarz criterion	0.341	
Log likelihood	1.265	Hannan-Quinn criter.	0.213	
Durbin-Watson stat	2.018			

表十一、宜蘭縣蘭陽溪口沙洲的小燕鷗巢位周圍障礙物位置和最多風向有顯著相關。當地最多風向為東北風，其次為北風和西風，而小燕鷗巢位周圍障礙物位置多在巢位的北方、東北方、西方，兩者有一致性。

方向	5、6月風向出現日數	巢位周圍障礙物出現次數
北	12	27
東北	26	25
東	7	17
東南	0	19
南	0	16
西南	4	17
西	12	20
西北	0	15
<b>Pearson Correlation</b>		0.775
<b>p 值</b>		<b>0.024*</b>

\*表 p value<0.05

表十二、中央氣象局 2011–2013 年 5—9 月發布颱風警報的颱風資訊。

2011 年		2012 年		2013 年	
時間	颱風名稱	時間	颱風名稱	時間	颱風名稱
05/09-05/10	艾利	06/19-06/21	泰利	07/11-07/13	蘇力
05/27-05/28	桑達	06/28-06/29	杜蘇芮	07/17-07/18	西馬隆
06/23-06/25	米雷	07/31-08/03	蘇拉	08/20-08/22	潭美
08/04-08/06	梅花	08/06-08/07	海葵	08/27-08/29	康芮
08/27-08/31	南瑪都	08/14-08/15	啟德	09/19-09/22	天兔
08/21-08/25					
天秤					
08/26-08/28					
09/27-09/28					
杰拉華					



圖一、小燕鷗親鳥與雛鳥。上圖為小燕鷗的繁殖羽；下圖為雛鳥，雛鳥絨羽的保護色佳，粗枝條對可能是雛鳥而言可能有避難所的功能。(照片來源：邱嘉德先生)。



圖二、宜蘭縣蘭陽溪口沙洲棲地環境照。



圖三、彰化縣崙尾工業區礫石地棲地環境照。



圖四、彰化縣崙尾工業區沙丘棲地環境照。



圖五、澎湖縣吉貝嶼棲地環境照。



圖六、嘉義縣新塭滯洪池南池沙洲棲地環境照。



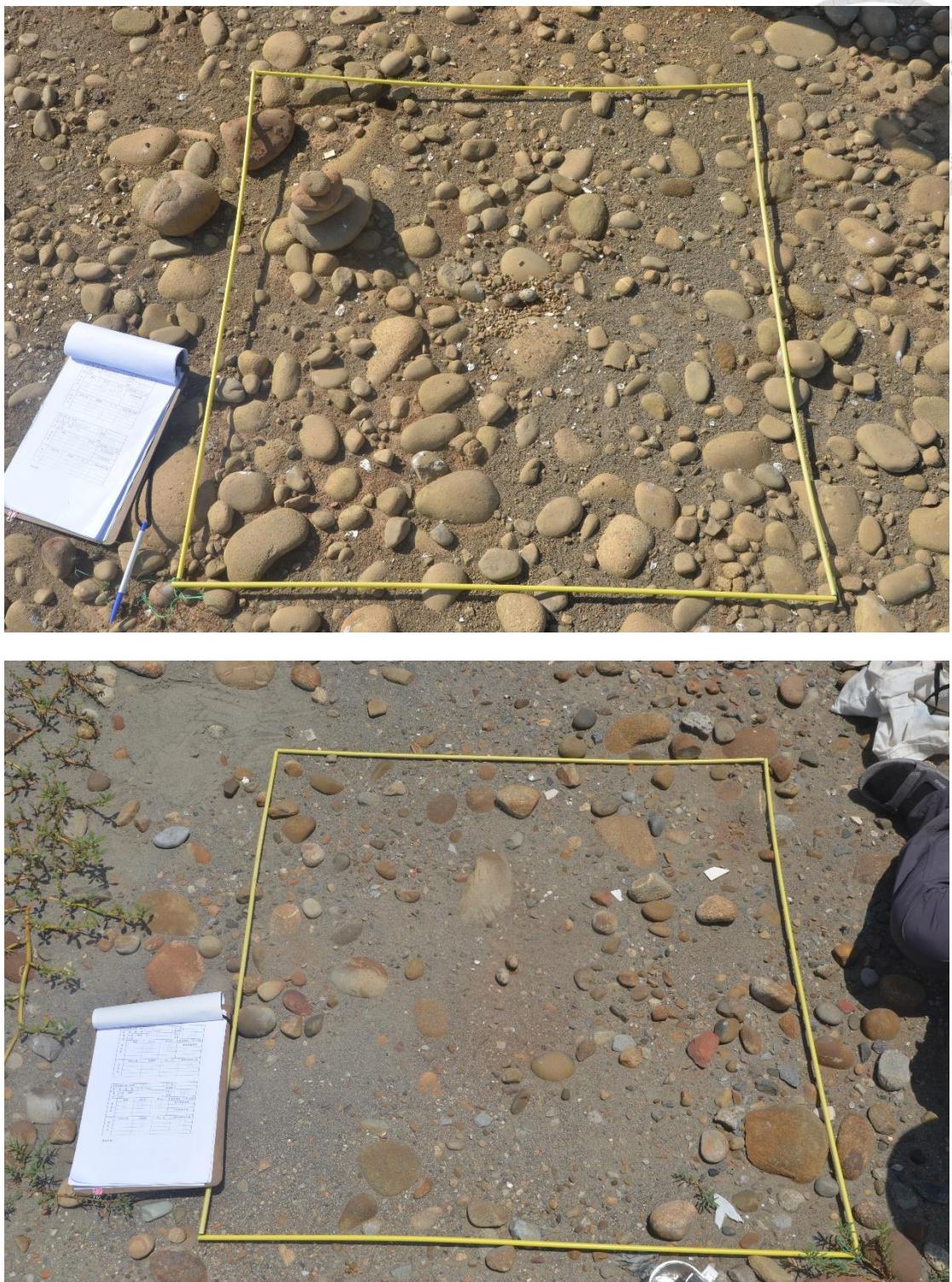
圖七、嘉義縣新塭滯洪池北池沙洲棲地環境照。



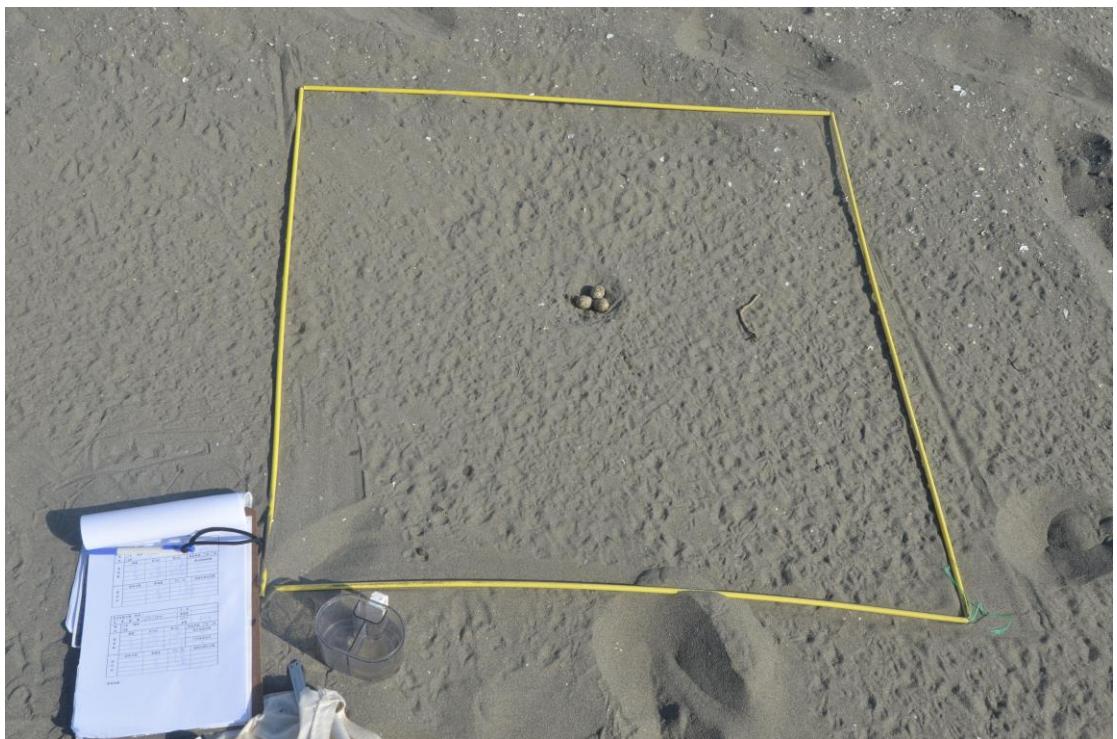
圖八、澎湖縣吉貝嶼小燕鷗巢位。上圖為使用巢材的巢位，下圖為無使用巢材的巢位，照片中的邊框為  $1m \times 1m$  範圍。



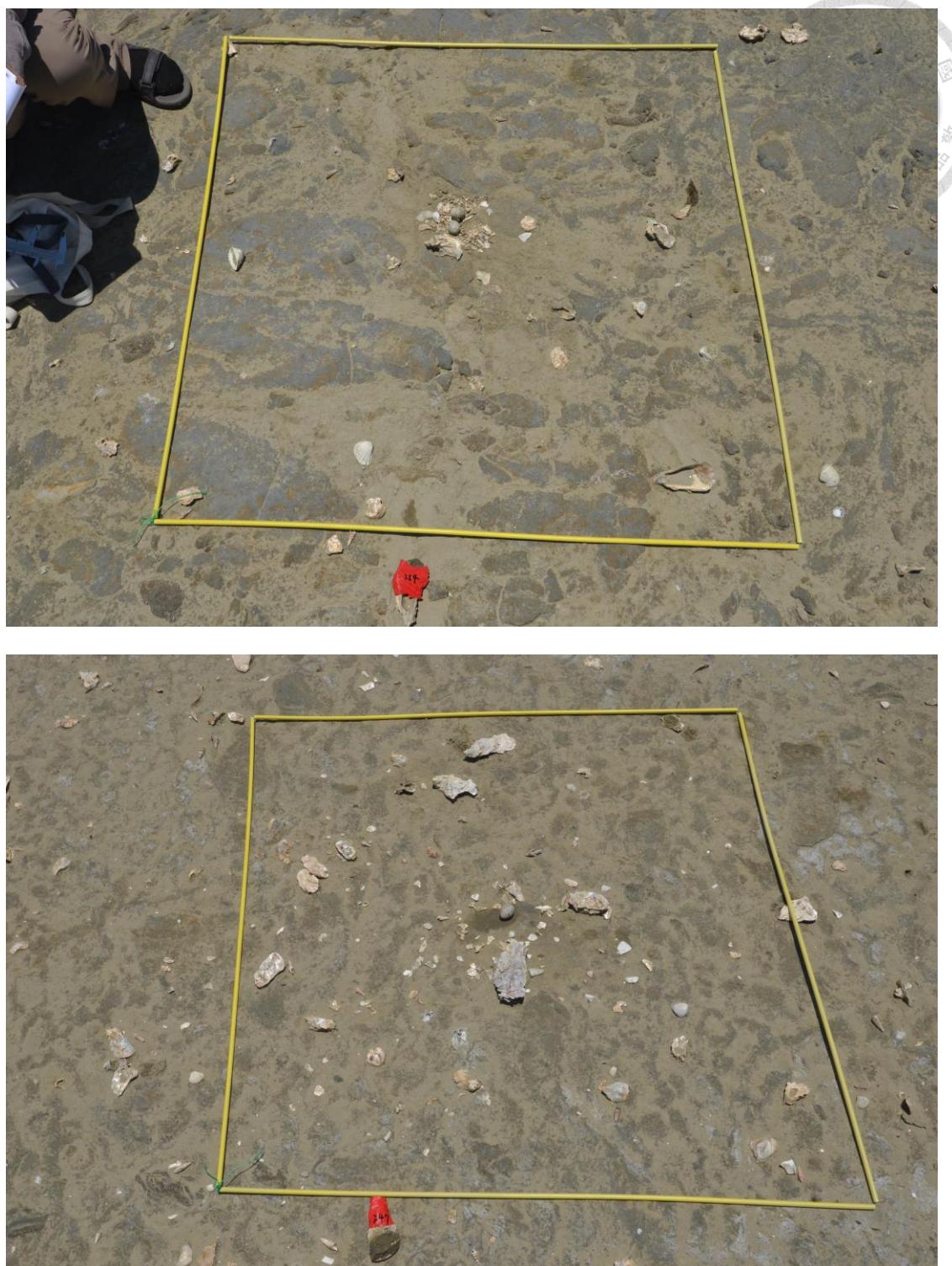
圖九、宜蘭縣蘭陽溪口沙洲小燕鷗巢位照。上圖為使用巢材的巢位，下圖為無使用巢材的巢位，照片中的邊框為  $1\text{m} \times 1\text{m}$  範圍。



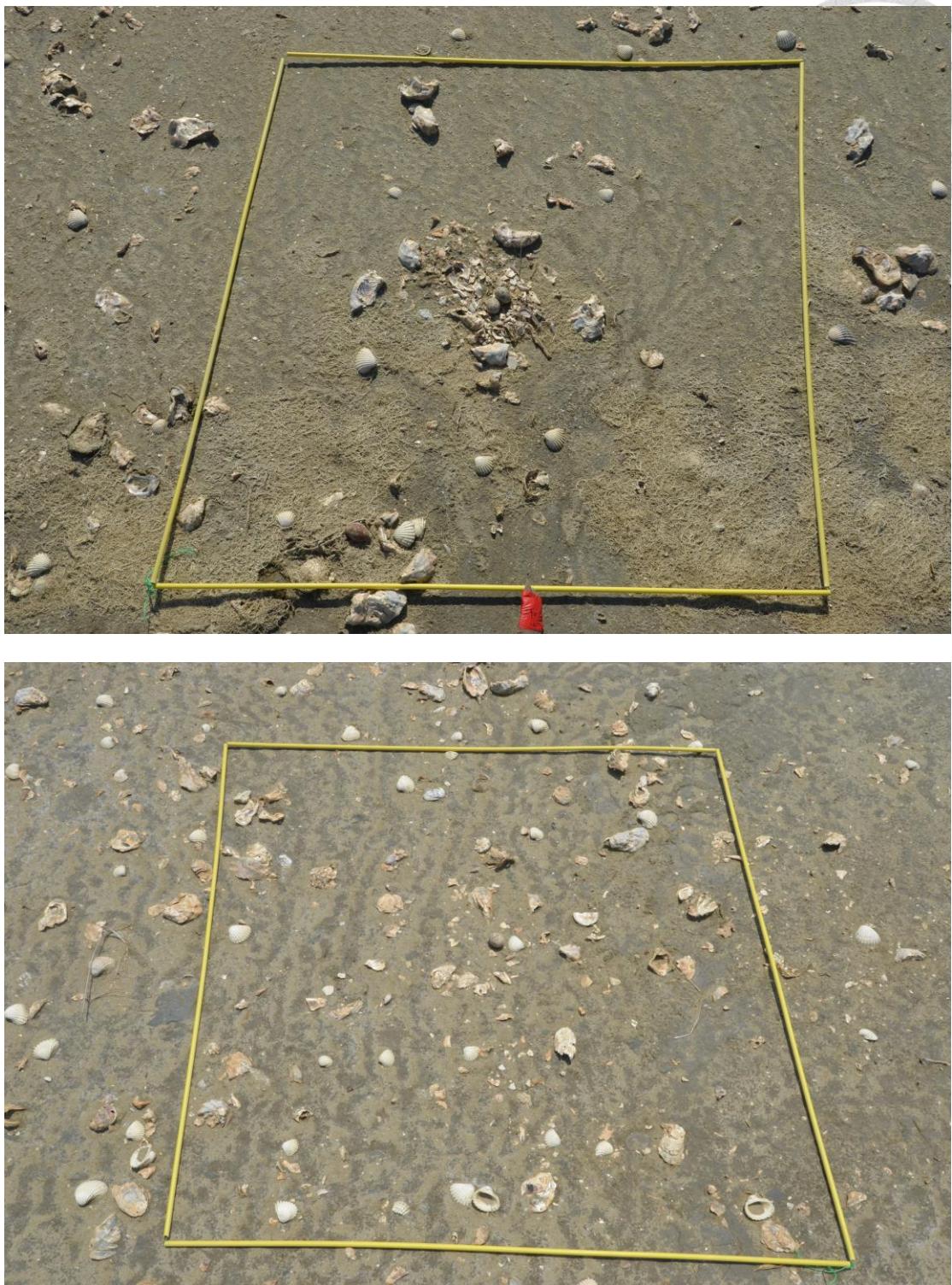
圖十、彰化縣崙尾工業區礫石地小燕鷗巢位。上圖為使用巢材的巢位，下圖為無使用巢材的巢位，照片中的邊框為  $1\text{m} \times 1\text{m}$  範圍。



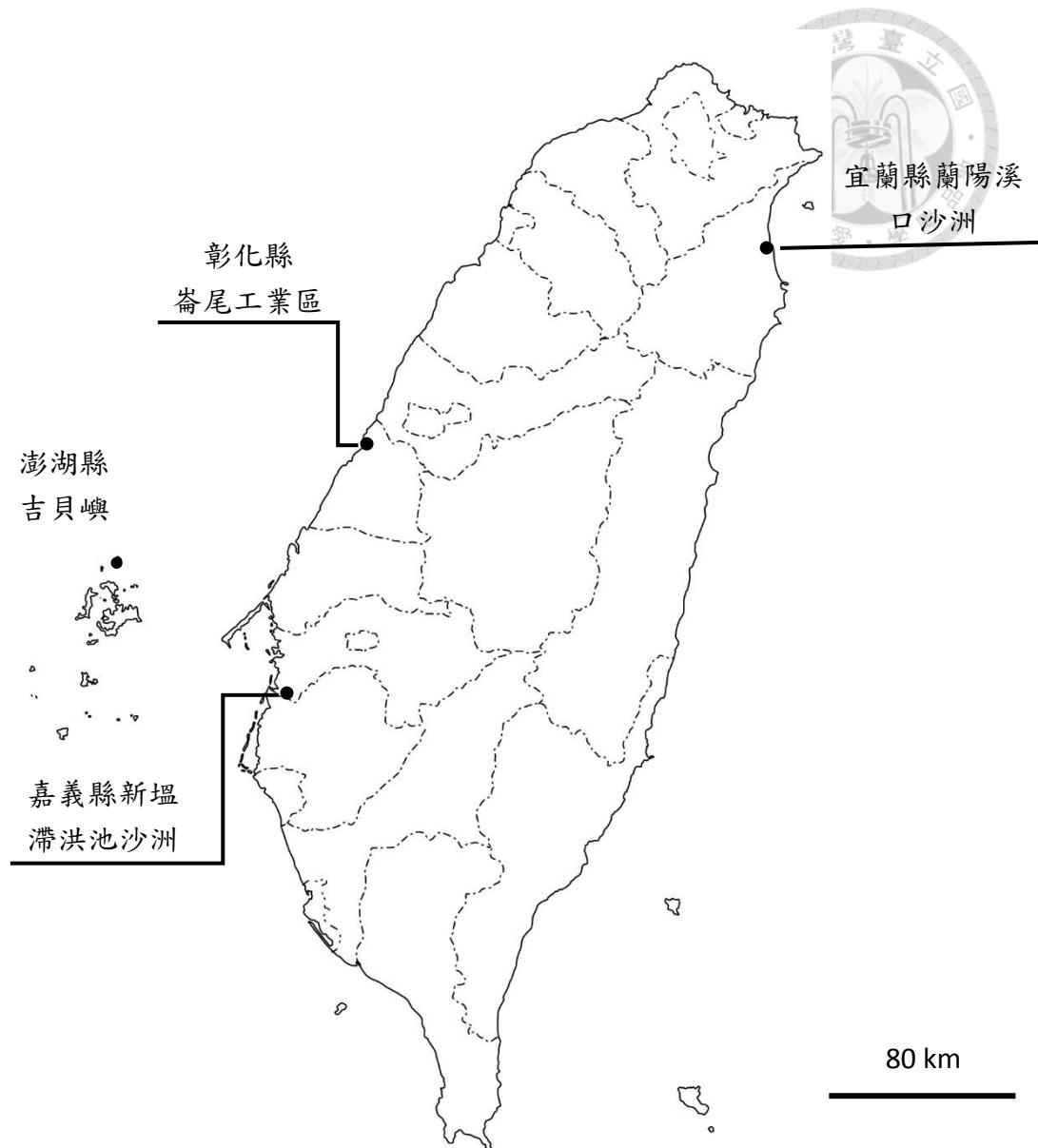
圖十一、彰化縣崙尾工業區沙丘小燕鷗巢位。上圖為使用巢材的巢位，下圖為無使用巢材的巢位，照片中的邊框為  $1\text{m} \times 1\text{m}$  範圍。



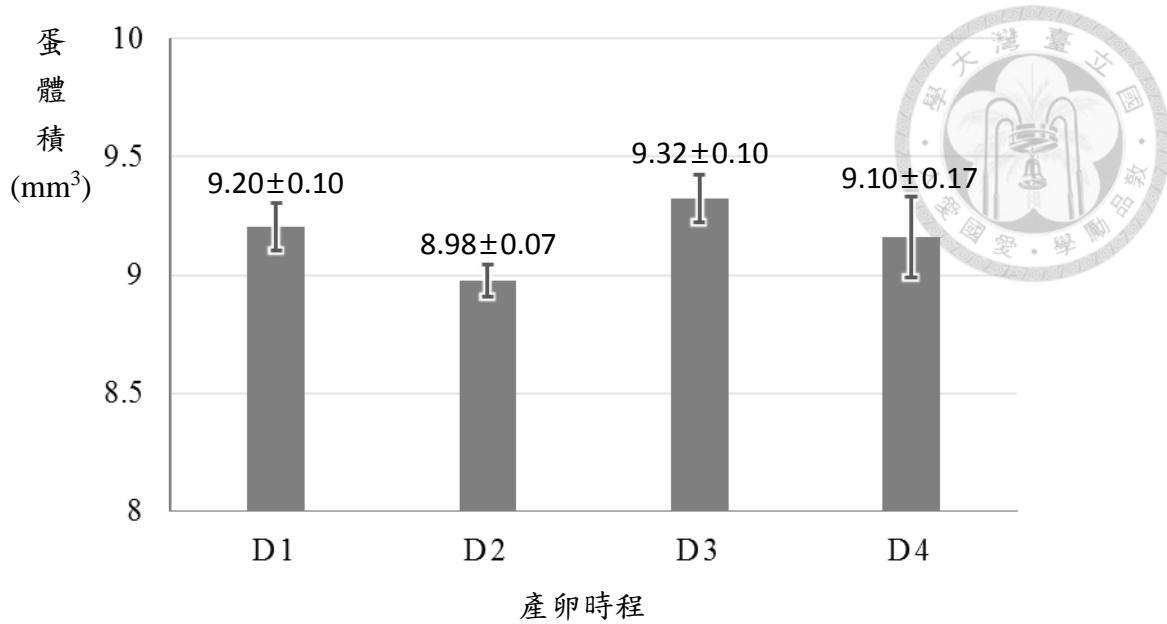
圖十二、嘉義縣新塭滯洪池南池沙洲小燕鷗巢位。上圖為使用巢材的巢位，下圖為無使用巢材的巢位，照片中的邊框為  $1\text{m} \times 1\text{m}$  範圍。



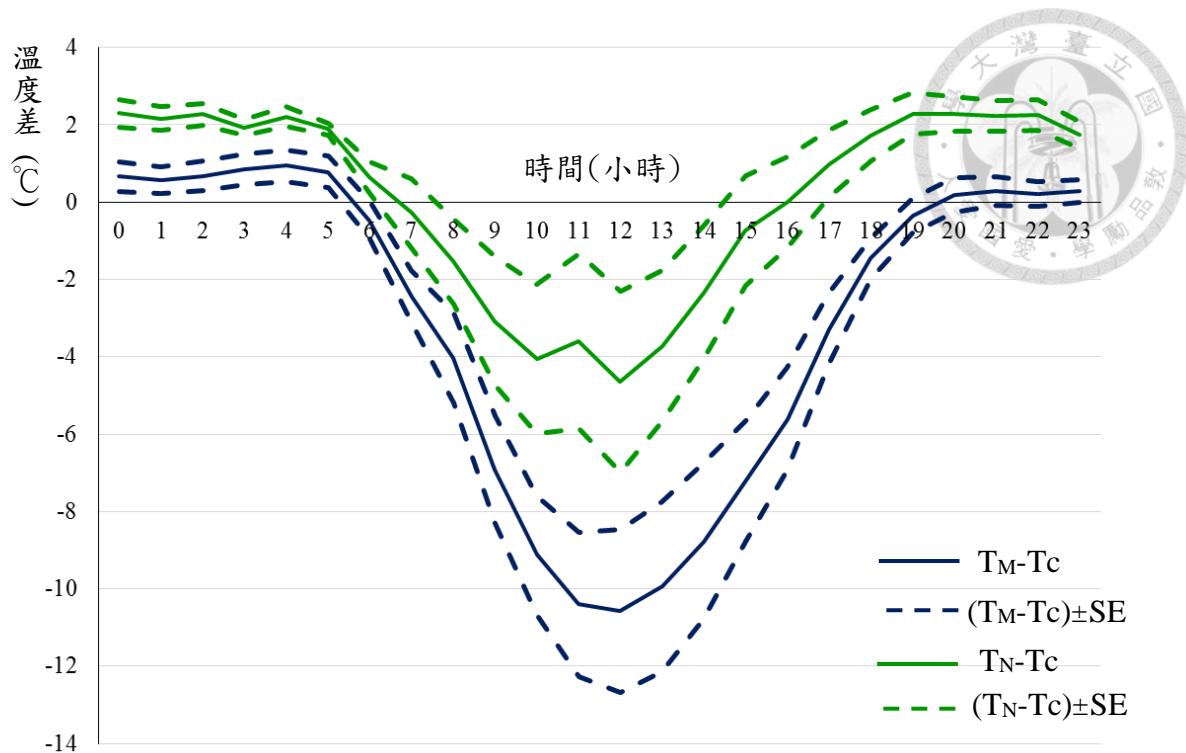
圖十三、嘉義縣新塭滯洪池北池沙洲小燕鷗巢位。上圖為使用巢材的巢位，下圖為無使用巢材的巢位，照片中的邊框為  $1\text{m} \times 1\text{m}$  範圍。



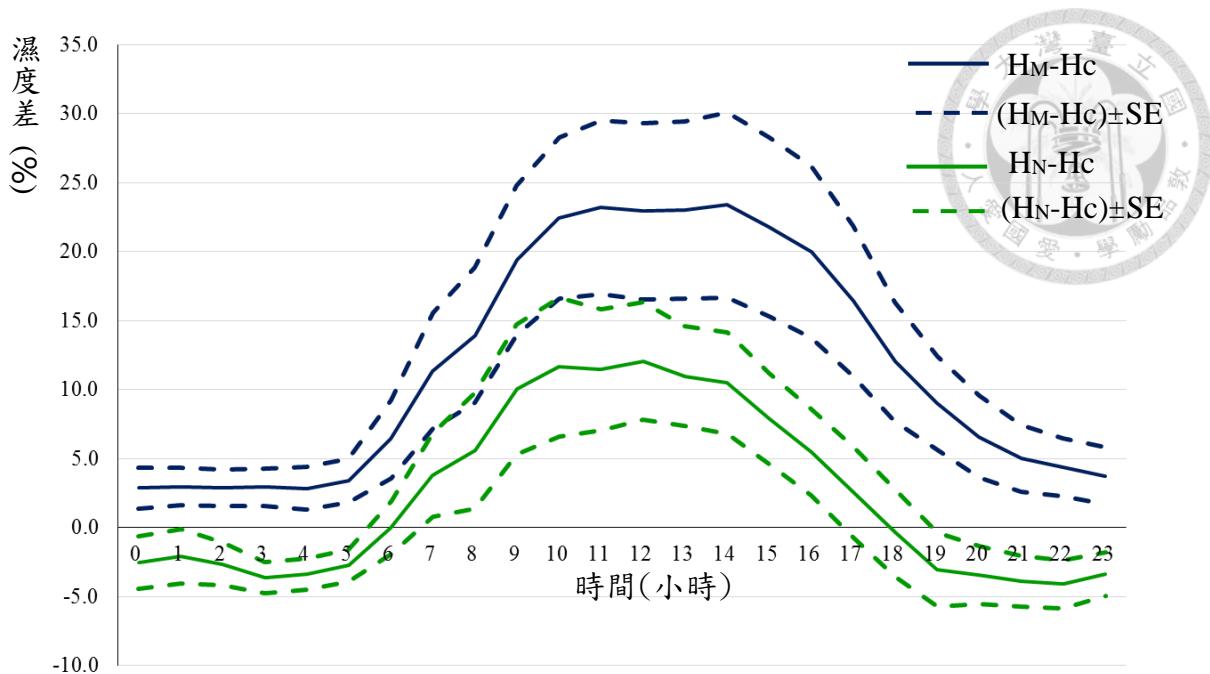
圖十四、小燕鷗在臺灣四個主要的繁殖地點。從北至南分別是宜蘭縣蘭陽溪口沙洲、彰化縣嵩尾工業區、澎湖縣吉貝嶼和嘉義縣新塭滯洪池沙洲，其族群量分別為宜蘭縣蘭陽溪口沙洲約 450 隻，彰化縣嵩尾工業區約 450 隻，澎湖縣吉貝嶼約 100 隻，嘉義縣新塭滯洪池沙洲約 200 隻。



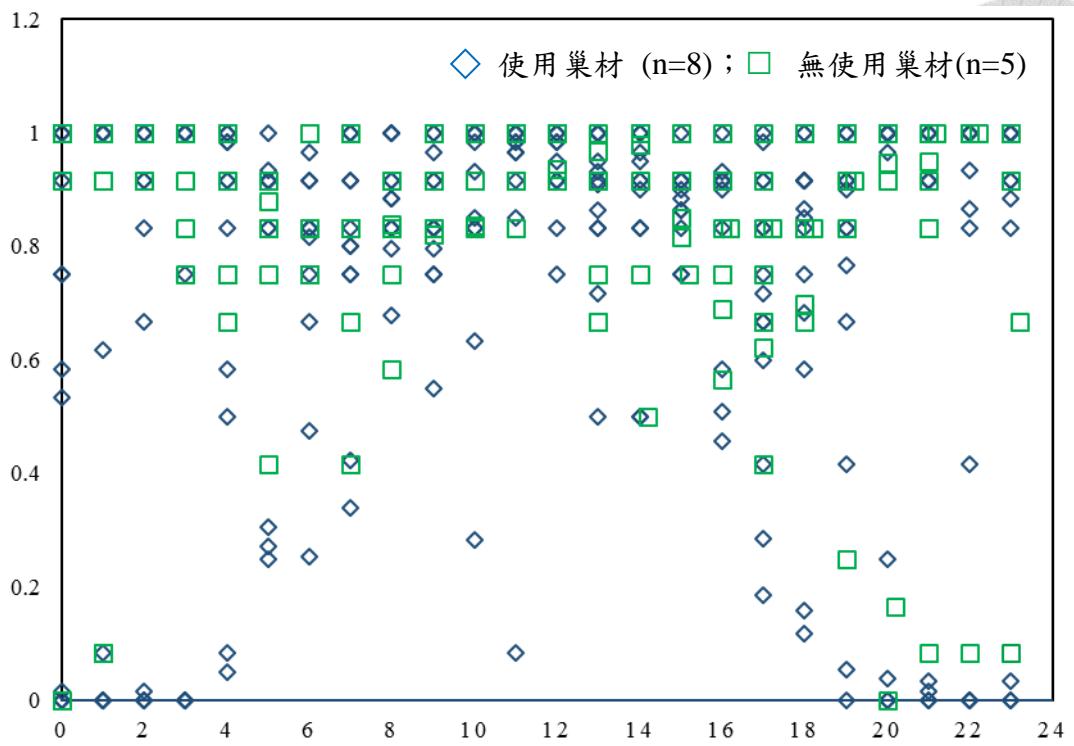
圖十五、宜蘭縣蘭陽溪口沙洲小燕鷗蛋體積在產卵時程上的變異。小燕鷗的蛋體積在不同的產卵時程上有顯著的差異( $p=0.024$ )，在初期的時候有較大的體積，在中後期時蛋體積也有變大的趨勢。



圖十六、宜蘭縣蘭陽溪口沙洲小燕鷗巢位溫度和環境溫度的差異。使用巢材的小燕鷗其巢內溫度和不論和無使用巢材的小燕鷗或環境溫度相比，其巢內溫度較低 ( $p=0.047$ ； $T_M$ :使用巢材的小燕鷗其巢內溫度， $T_N$ :無使用巢材的小燕鷗其巢內溫度， $T_c$ :環境溫度；使用巢材巢數  $n=8$ ，無使用巢材巢數  $n=5$ )。



圖十七、宜蘭縣蘭陽溪口沙洲小燕鷗巢位濕度和環境濕度的差異。使用巢材的小燕鷗其巢內濕度和不論和無使用巢材的小燕鷗或環境濕度相比，其巢內濕度較高( $p=0.036$ ；H<sub>M</sub>:使用巢材的小燕鷗其巢內濕度，H<sub>N</sub>:無使用巢材的小燕鷗其巢內濕度，H<sub>c</sub>:環境濕度；使用巢材巢數 n=8，無使用巢材巢數 n=5)。



圖十八、宜蘭縣蘭陽溪口口小燕鷗使用巢材與否和其親鳥孵卵時間並無關係  
( $p=0.344$ )。

a. 角眼沙蟹



b. 小黃腹鼠

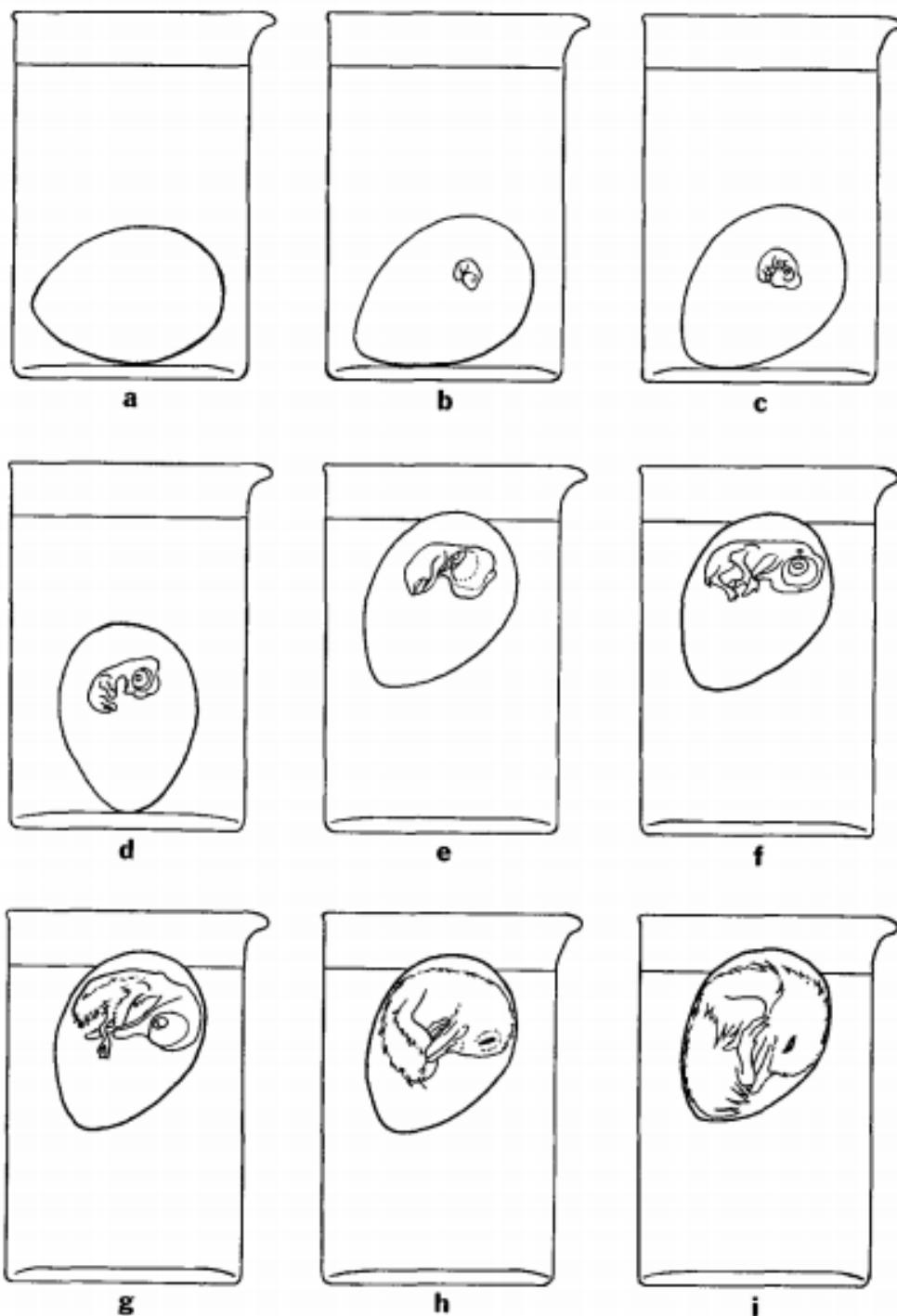
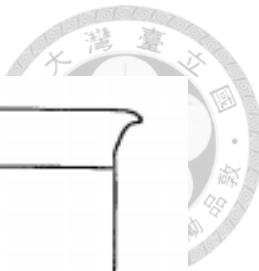


c. 野狗



圖十九、宜蘭縣蘭陽溪口沙洲小燕鷗巢蛋的天敵。a.角眼沙蟹，b.小黃腹鼠，c.野狗。

附錄一、利用漂浮法判斷孵化時程。



漂浮法判斷孵化程度的對照表。利用不同胚胎發育程度時有不同的蛋密度，可依  
蛋在水中的沉浮狀態與角度來推測蛋的孵化程度。(a) 1-2 日，(b) 3-4 日，(c) 5-6  
日，(d) 7-8 日，(e) 9-10 日，(f) 11-12 日，(g) 13-14 日，(h) 15-16 日，(i) 17-18 日，  
在接近孵化日期的時候(g, h, i)主要判斷標準為巢蛋浮出水面的高度(Hays and  
LeCroy, 1971)。

附錄二、本研究 2013 年調查時程安排。

調查樣區	
宜蘭縣蘭陽溪口 彰化縣崙尾工業區 澎湖縣吉貝嶼 嘉義縣新塭滯洪池	
調	04/27(六)
查	05/03(五)
日	05/04(六)
期	05/11(六)
	05/18(六)
	05/23(四)
	05/24(五)
	05/25(六)
	05/26(日)
	05/28(二)
	05/29(三)
	05/31(五)
	06/01(六)
	06/02(一)
	06/06(四)
	06/08(六)
	06/11(二)
	06/12(三)
	06/13(四)
	06/15(六)
	06/18(二)
	06/22(六)
	06/25(二)
	07/02(二)
	07/06(六)
	07/09(二)
	07/11(四)
	07/27(六)
	08/03(六)
	08/17(六)