

摘要

小燕鷗(*Sterna albifrons*)是台灣的保育類鳥種，台灣本島最大的繁殖族群位於彰濱工業區，其中的崙尾區目前廠商進駐率最低，適合觀察其繁殖生態。本研究調查 2007 與 2008 年小燕鷗在崙尾工業區內的孵化成功率，探討在繁殖期間的降雨量與砂丘和礫石地環境的巢位選擇對孵化成功率的影響。結果顯示兩年的孵化成功率分別為 17%(總巢數 46 巢)與 31%(總巢數 103 巢)，其中三週累積雨量與每週孵化成功巢數的相關性分析結果在 2007 年達顯著的負相關性($r=-0.665, p=0.036$)、在 2008 年則無顯著之相關性，推測孵化成功率可能與降雨造成的大規模淹水有關，且以 2007 年的情形較為嚴重。另一個可能造成孵化成率差異的原因可能是兩年棲地利用的情形不盡相同(在 2007 年主要為沙丘 76%、2008 年則為礫石地 73%)。各因子(巨棲地、微棲地、巢材、高度、坡度)對孵化成功率的影響程度以二元式邏輯迴歸(Binary logistic regression)進行分析篩選，結果顯示在降雨量適中的情況下(2008 年)，影響孵化成功率最重要的因子是巨棲地類型的選擇($R\text{ Square}=0.232, p=0.013$)，且在結果中以礫石地環境能夠提供較高的孵化成功率，而在沙丘環境中孵化成功率較低的原因可能為下列幾項：(1)掩蔽度較低 (2)結構不穩定 (3)人為干擾 (4)溫度變化較大。在兩年的觀察中發現降雨造成的淹水情形對礫石地環境中的巢來說是一大威脅，選擇在沙丘上築巢雖能免受水淹卻另有其他因素的干擾。

關鍵字：小燕鷗、孵化成功率、棲地利用、人為干擾

Abstract

Little Tern (*Sterna albifrons*) is listed as Category 2 species in Wildlife Conservation Law, and its largest population in the Taiwan main island breeds in the Changhua Coastal Industrial Park. Because a large portion of the Lun-Wei compartment of the Changhua Coastal Industrial Park has yet been developed, thus making the locale suitable to observe Little Tern's breeding ecology. In this study, the influences of rainfall and habitat selection between sand dune and gravel on the hatching success of Little Tern in the Lun-Wei Industrial Park between 2007 and 2008 were investigated. Results showed that the hatching success rates were 17% (46 total nests) in 2007 and 31% (103 total nests) in 2008. The correlation between the three-week accumulative rainfall and the weekly count of the successful hatching nests was significant for 2007 ($r=-0.665$, $p=0.036$) but was not significant for 2008, suggesting that the flooding cause by heavy rainfall may have played a major role in the low rate of hatching success in 2007. The difference in the proportion of habitat use between 2007 (76% in sand dune) and 2008 (73% in gravel) may also be a reason that causes the variation in hatching success. By using the binary logistic regression technique to analyze factors influencing the breeding success (e.g., macro habitat, micro habitat, nest material, slope, height), we observed that, with moderate intensity of rainfall (2008), the most important factor was the type of macro habitat ($R^2=0.232$, $p=0.013$), and that gravel habitat could provide higher breeding success than sand dune. The reasons that sand dune provided lower breeding success could be attributed to a combination of the following factors: (1) less possibility to camouflage, (2) unstable structure, (3) human disturbance, and (4) high variation in temperature. In summary, observation over the two-year period indicates that flooding caused by heavy rainfall should be the main threat to the nests on gravel habitat; however, the nests on sand dune were threatened by other factors.

Keyword: little tern, hatching success, habitat use, human disturbance

壹、前言

彰濱工業區在地理位置上南北緊鄰重要的大肚溪口野生動物保護區與漢寶水鳥濕地，區內由北而南分為線西、崙尾與鹿港工業區。總面積 2,587 公頃，而其中已售出的 833 公頃的土地中至 2007 年為止，運轉中與建廠中的土地面積僅佔 64% (529 公頃)，其他未建廠、停工或尚未售出的閒置土地面積高達目前造地面積的 80% (2058 公頃) (中興工程顧問公司 2007)。

彰濱工業區大規模的填海造陸工程破壞了彰化特有的廣大面積潮間帶灘地，而至今這些工業區仍有 80% 以上的土地被擱置、荒廢，並未達到當初開發預期的經濟發展目標，而根據東海大學環境科學研究所長期執行的調查結果顯示，彰濱工業區內閒置的土地是度冬期和過境期水鳥重要的休息地，同時亦是多種水鳥重要的夏季繁殖地。彰濱工業區內目前已有記錄的繁殖水鳥種類超過 11 種，其中還包含小燕鷗(*Sterna albifrons*)、燕鴿(*Glareola maldivarum*)和彩鷗(*Rostratula benghalensis*)為珍貴稀有保育鳥類，近幾年的調查結果更顯示崙尾區約有超過 100 對的小燕鷗和東方環頸鴿(*Charadrius alexandrinus*)、80-100 對的燕鴿和 10 對以上的彩鷗在區內繁殖，另外還有可能超過 200 對的其他水鳥如高蹺鴿(*Himantopus himantopus*)、小鸕鶿(*Tachybaptus ruficollis*)、小環頸鴿(*Haradrius dubius*)在此區築巢(劉 2002)。

小燕鷗(*Sterna albifrons*)是在海岸、潟湖與河川出海口區域廣泛分布的典型海鳥，但自 19 世紀以來小燕鷗的族群數量在世界各地(英國、法國、比利時、德國、西班牙、西班牙..等)都不斷的在減少，其主要原因就是人類開發行為造成的棲地破壞所導致(Cramp *et al.*, 1983)。在台灣方面，過去只有在澎湖群島與大肚溪口有較大量的繁殖紀錄(劉 2002；鄭等 2006)，其他地區如新竹香山與蘭陽溪口也只有來自賞鳥人士零星的紀錄。而其中彰濱工業區填海造陸形成的大面積礫石地環境正好符合小燕鷗的繁殖需求，再加上距離覓食地區近、人為干擾少的特點使得彰濱工業區成為台灣本島最大型的小燕鷗繁殖地(劉 2002)。

崙尾工業區為彰濱工業區內目前土地開發程度最低的一區，區內建設目前僅

有英華威風力發電集團建設的 24 部風力發電機組與尚在環評階段的彰工火力發電廠預定地，也因此彰濱工業區內的水鳥繁殖、棲息與過境族群大多集中於崙尾工業區內部。崙尾工業區內的景觀以礫石地、沙地、沙丘、草生地與木麻黃防風林為主，但每年區內植被、沙丘與積水的覆蓋面積受到氣候的變化影響很大，也不易測量。區內的積沙問題並非自然現象，而是起因於 1996 年在崙尾工業區北方興建的海洋公園北堤阻斷了潮水浸潤肉粽角灘地的路線，使得部份灘地裸露在強勁的東北季風下且在每年冬季將大量的風砂帶進崙尾工業區，進而形成了當地特殊的飛沙與沙漠景觀(蔡 2007)。在近十年內出現了沙丘地形之後研究人員也發現部分的東方環頸鴿與小燕鷗會利用沙丘築巢，而過境期的鐵嘴鴿也會利用沙丘作為滿潮時的棲息地。在國外的研究中已發現許多種類的燕鷗在面臨原始棲地消失、縮減的困境下會利用一些替代的棲地(Alternative Habitat)進行繁殖，例如渠道、煤灰掩埋場、河堤、鹽沼、鹽田甚至屋頂(Burget and Lesser 1978；Voigts 1999；Catry *et al.*, 2004；DeVoult *et al.*, 2006)，但關於利用這些替代型的棲地會對小燕鷗的繁殖情況造成何種程度的影響，目前只有 Catry 等(2004)在葡萄牙的研究有較詳細與完整的紀錄，而對於在不同棲地間繁殖的小燕鷗在繁殖成功率、繁殖族群與數量上是否有差異，在國內尚未有這方面的研究。

彰化海岸一帶適合水鳥棲息與覓食的天然泥灘地歷年來在大大小小的工程開發案下逐漸縮減與消失，而彰濱工業區目前雖然提供了一個可供小燕鷗群聚繁殖的暫時性棲地，但未來隨著工業區的開發與廠商的進駐、亦或在東北季風的吹襲與植被入侵之下，適合小燕鷗繁殖的棲地終有一天將消失殆盡，我們必須去了解小燕鷗對工業區內環境的利用情形與繁殖狀況和目前面臨的困境，才能進而決定棲地經營管理與物種保育上的策略。而本研究的目的即為：以目前繁殖族群密度最高的崙尾工業區西北段做為實驗地，調查小燕鷗在此區的孵化成功率、棲地利用情形與繁殖失敗原因，並研究小燕鷗在沙丘與礫石地環境中的孵化成功率與繁殖族群是否有差異，以了解沙丘地形是否適合小燕鷗繁殖，並提出一些經營管理策略，提供相關之主管機關未來在土地利用、物種保育上的新思維。

貳、文獻回顧

一、研究物種特徵

小燕鷗(*Sterna albifrons*)為體長 22~24cm 的小型鷗科鳥類，在世界上的溫、熱帶區域廣泛分布著六種亞種，在台灣出現的小燕鷗屬於分布於東亞、東南亞的 *Sterna sinensis* 亞種，目前台灣僅在彰濱工業區與澎湖有較大量的繁殖族群紀錄，也是台灣本島唯一有繁殖紀錄的燕鷗(鄭等 2006)。小燕鷗的雌雄體色相似，繁殖季時嘴喙呈黃色、末端為黑色，上嘴基部有一黑色過眼線，並延伸至眼後上方，額白色部分自嘴基伸至眼後方，腳呈橘黃色，而非繁殖季時嘴喙與腳皆呈黑褐色(圖十七)。常於河口、潟湖、魚塭、沼澤、池塘等近海且有乾淨水源處的淺灘處以俯衝的方式捕捉小魚、甲殼類、軟體動物、水生動物等為食。夏季時(5~7 月)在抵達繁殖地之後，會花幾天熟悉環境、擇偶配對之後才會開始築巢繁殖，通常在濱海空曠且低植被覆蓋的地面行疏鬆的群聚性繁殖，巢距範圍 0.36~34 公尺，築巢利用的地形總類繁多：沙灘、沙丘、礫石地、珊瑚礁岩碎屑、曬鹽場、泥地都有紀錄(Cramp *et al.*, 1983; Holloway 1993; Catry *et al.*, 2004; 鄭等 2006)。巢型通常為直徑約 10.5cm 深 2.5cm 的圓形凹槽，偶會使用鄰近的植物、小石塊或是貝殼碎片作為巢材；產卵間隔 1~2 天、每巢產 1~3 顆蛋、孵卵期為 18~22 天、三顆巢蛋全部孵化約需 4~5 天。雛鳥出生後數小時內即具有行動能力並且由親鳥帶至附近植被或是陰暗處躲藏，但仍須由親鳥餵食扶養 19~20 天之後才能飛行離開且通常需要經過兩年以上才具有繁殖能力(Cramp *et al.*, 1983)。

二、繁殖族群紀錄

台灣大肚溪口的小燕鷗在每年的 4 月抵達，5 月開始繁殖直至 8 月才離開台灣，繁殖高峰期在 5~6 月這段時間，築巢時利用的主要棲地類型為礫石地、短草地與沙灘(劉 2002; 顏等 2006); 在澎湖後袋子嶼與活龍灘上的小燕鷗的繁殖季則較早開始(4 月)，且繁殖高峰集中在 5 月，巢位多數選擇珊瑚碎屑與沙混

合的環境(鄭等 2006)；在大陸方面的紀錄中，北京地區的小燕鷗在 4~7 月間繁殖且營巢在水域附近的沼澤草叢中(顏等 2006)。世界各地的小燕鷗族群都因人為干擾和捕食者的獵食而有減少的趨勢(Cramp *et al.*, 1983; Holloway 1993)，在國內呂(1997)對 1987 至 1996 年大肚溪口水鳥族群變化的研究中同樣發現小燕鷗在族群數量上有減少的趨勢，且其他鷗科鳥類的分布地區也較往年減少；整理 1997 至 2005 年東海大學環境科學研究所生態實驗室所執行的彰濱工業區鳥類調查計畫的資料也發現小燕鷗的數量在近年同樣有下降的現象，可能與近年廠商進駐或植被覆蓋增加導致適合繁殖的棲地縮減有關(圖一)。

三、繁殖棲地變遷與繁殖成功率

計算族群的繁殖成功率可以了解物種的族群動態是否穩定，繁殖成功率的計算應該包括孵化成功率(hatching success)與雛鳥存活率(fledging success)，兩者的影響因子也各自不同，而通常雛鳥的存活率會較孵化成功率為低且高孵化率也不代表雛鳥的存活率較高(Holloway 1993)。因小燕鷗的雛鳥在出生後不久即具有行動能力，在國外的研究中通常使用籬笆或鐵絲網將巢區包圍以利觀察(Holloway 1996; DeVault *et al.*, 2006; Paiva *et al.*, 2006)，但在巢距較大且人為干擾程度較高的崙尾工業區中並不適合使用這種方法，所以在本研究中僅探討孵化成功率。小燕鷗的繁殖研究在國外並不多，其中針對繁殖棲地變遷的情形，以 Catry 等(2004; 2006)在葡萄牙南部的 Ria Formosa 地區有較完整且持續的研究紀錄。歐洲地區的小燕鷗在過去的紀錄中，主要利用的繁殖棲地為沿海地區與近海的內陸河川或湖泊，甚至部份的人造棲地也會利用，根據 Catry 等(2004)在葡萄牙的研究中指出，自 20 世紀後在人為開發的壓力之下許多的自然棲地都已消失，而小燕鷗的繁殖棲地也部份轉移至曬鹽場，且在研究中也發現在不同棲地間的族群數量與繁殖成功率並沒有顯著的差異，也就是說當地的曬鹽場是適合小燕鷗繁殖的替代性棲地。Holloway(1993)在印尼的研究也發現小燕鷗會使用多種類型的棲地(貝殼沙灘、沙地、儲水池、廢棄曬鹽場)繁殖，但在研究結果

中發現各個棲地中的繁殖成功率差異很大，最主要的原因為各繁殖地的捕食壓力不同所導致，而當地繁殖失敗的主因主要是野狗的捕食巢蛋行為。

孵化成功率比較的部分除了國外研究小燕鷗的文獻之外，另外與分布在北美洲的小燕鷗的近親-白額燕鷗(Least tern, *Sterna antillarum*)的相關研究文獻做比較(表一)，白額燕鷗同樣自 19 世紀以來在獵捕、棲地破壞與農藥濫用等的人為因素下，族群數量呈現劇烈的下降，且在 1985 年被美國聯邦政府歸類為瀕臨滅絕物種，目前也有較多關於白額燕鷗繁殖生態與經營管理方面的研究。但與小燕鷗不同的是，部分的白額燕鷗族群為內陸型的水鳥，會利用內陸的河床或是湖泊繁殖，因此繁殖成功率與河川的動態息息相關(Dugger *et al.*, 2002)。白額燕鷗在美國也同樣有因原始棲地縮減而利用其他替代型棲地的現象，DeVoults 等(2006)在美國印地安納州對在 Gibson Lake 區域繁殖的白額燕鷗的研究中發現，白額燕鷗主要利用的繁殖地為湖中央的長堤，但卻必須與 Ring-billed gull (*Larus delawarensis*)競爭同樣的繁殖棲地，且 Ring-billed gull 也會捕食白額燕鷗的雛鳥與巢蛋，在 2003 年轉移至附近捕食壓力較小的煤灰掩埋場或是河道繁殖的白額燕鷗最後卻因大雨造成的淹水而導致孵化成功率只有 20%。

整理文獻中小燕鷗主要的繁殖失敗原因大多來自下列幾項：(1)人為干擾：主要為人為活動造成的間接影響或是直接的撿拾或破壞巢蛋；(2)捕食者：小燕鷗的捕食者很多如空中的各種猛禽或是大型的鷗科、鵲鴿科、鴉科鳥類與地面上的野狗、野貓、及各種中小型哺乳類動物都會捕食小燕鷗的雛鳥或是巢蛋；(3)淹水：淹水的原因主要為連續性的大雨、河川暴漲、潮汐或颱風等，對巢蛋造成的影響除了直接將巢蛋沖走之外，也會使巢蛋失溫造成胚胎死亡(Cramp *et al.*, 1983；Holloway 1993；Hong *et al.*, 1998；劉 2002；鄭等 2006；Medeiro *et al.*, 2007)。另外一點值得注意的是溫度的影響，在辜(2005)的研究中發現環境溫度與東方環頸鴿親鳥的在巢率有顯著的正相關關係，但在鷗科鳥類中關於溫度對於繁殖成功率的影響情況的研究很少，其中 Salzman(1982)研究美國加州地區的 Western Gull (*Larus occidentalis*)發現，在 1979 年 7 月熱浪侵襲加州的 Santa

Barbara 島之後，對島上各地點的繁殖區造成了 0~90% 的雛鳥死亡，也就是說，溫度對於不同的繁殖棲地中造成的影響情形有因地而異的情形。

四、親鳥品質

使用產卵時間、巢蛋的體積大小或巢蛋數量等繁殖表現(Breeding performance)來判斷親鳥品質(Parental quality)的優劣程度在許多的鷗科鳥類研究中是常被使用的方法(Nibset *et al.*, 1998,2002; Ramos 2001; Arnold *et al.*, 2004,2006)。但是，親鳥品質(Parental quality)一詞本身有許多的解釋如：(1)巢蛋的大小或數量(2)產卵時間的先後(3)能夠哺育雛鳥的食物量(4)親鳥體重等，而親鳥品質對繁殖成功率而言更是從擇偶、交配到撫養雛鳥各個階段都有不同程度的影響 (Wendeln and Becker 1999)。在產卵時間先後的部份來說，在 1980 年時 Massey 與 Atwood (1981)在美國加州發現在繁殖季後期築巢的白額燕鷗大都是來自第一次築巢的年輕個體(2 歲)，與少部分在前期繁殖失敗的年長個體(3 歲以上)，而且也發現繁殖季後期的巢蛋數量與繁殖成功率都較前期為低，而繁殖失敗的主因是親鳥棄巢。在印尼的研究中 Holloway (1993)也發現在繁殖季後期築巢的小燕鷗產下的巢蛋數量較少，且有很高比例的親鳥棄巢而導致繁殖失敗。其他種類的燕鷗研究也發現類似的現象，且推測和食物資源也有重要的關係(Østnes *et al.*, 1997; Hong *et al.*, 1998)，以 Ramos (2001)在葡萄牙對紅燕鷗 (Roseate tern, *Sterna dougalli*)的研究為例，作者發現在繁殖季初期築巢、產卵的大部分是較有經驗或是較為年長的個體，但在食物資源不足、種間與種外競爭的壓力下這些成鳥會傾向於提早產卵，產下的卵體積較小且在數量上也較少，另外，巢蛋的體積大小會直接影響到雛鳥出生後的重量，而重量較輕的雛鳥在存活率與生長速率上也相對的較低。而 Arnold 等(2004)對普通燕鷗(Common tern, *Sterna hirundo*)雛鳥存活率的研究更進一步指出，影響巢蛋品質(大小與重量)的因素不只是親鳥的體質，食物資源與產卵時機同樣也會造成影響，且在晚期築巢的親鳥在食物資源短缺與本身體質低落的情況下能夠撫育雛鳥的能力相對較

低，以至於在繁殖後期的成功率普遍較前期低。在食物資源影響方面的研究也指出相較於其他種鳥類，燕鷗屬鳥類產卵需要花費母鳥相當高的能量，且巢蛋體積與數量的高低可以反應出母鳥近日的能量攝取狀況(Moore *et al.*, 2000)。

Catry 等(2004)在葡萄牙的研究中發現曬鹽場上的小燕鷗繁殖時間開始的較晚，產下的卵在大小和數量上也較天然棲地(沙灘)上的小，進而推測在曬鹽場上繁殖的小燕鷗是來自年齡較小、體質較差的族群。但 Medeiro 等(2007)在同樣的地區進行三年的研究後，並沒有發現這樣的差異，作者認為巢蛋形質在時間上的變異應該比棲地間的變化更大、也更為重要。因此在利用巢蛋的形質評估棲地品質優劣之前，還必須考慮到親鳥品質與時間、環境之間交互關係的問題。

五、繁殖期食物需求

崙尾區內小燕鷗的覓食區域分布在附近海域、水道和魚塭，依照小燕鷗進出繁殖地的飛行路線與方向推論主要的覓食區域應是在崙尾北方的海洋公園一帶(劉 2002；施 2008)。對許多水鳥來說，食物的供給量對繁殖成功率來說是很重要且易受影響的，而對小燕鷗這類需要哺育雛鳥的水鳥來說，選擇巢位的同時也必須考慮在覓食地之間往返花費的時間與能量(Paiva *et al.*, 2008)。前人研究中已有相當多關於食物資源如何影響繁殖成功率的研究，研究的物種也相當廣泛，在許多鷗科鳥類的研究中都指出食物的供給量會直接影響到雛鳥存活率(Chick survival rate)與雛鳥的生長率(Chick growth rate)(Langham 1972；Suddaby and Ratcliffe 1997；Anderson *et al.*, 2007)，其中對於食物供給量的影響因子又可分為(1)外部環境因素如：天氣、海況、潮汐、水深、風速、覓食地的距離與食物豐富度(Dunn 1974；Monaghan *et al.*, 1989；Smith 1990；Paiva *et al.*, 2006,2008；Catry *et al.*, 2006)；(2)個體的差異如：親鳥的年齡與身體狀況(Wendeln and Becker 1999；Arnold *et al.*, 2004)。延續前述在葡萄牙的研究，Catry 等(2006)發現，風速與潮汐都會影響小燕鷗成鳥帶回巢中餵食雛鳥的食物量，且在不同棲地環境中(曬鹽場與沙灘)餵食的食物量與雛鳥的成長率也顯著不同(以沙灘環境中較

高)，而作者認為這應是覓食區域不同造成的差異，且 Pavira 等(2006)在同樣地區的研究也支持這樣的說法。在另一篇關於 Arctic Tern (*Sterna paradisaea*)的研究中，作者發現兩個島嶼上的 Arctic Tern 繁殖族群在巢蛋體積、巢蛋大小與孵化成功率上都相似，但在雛鳥的存活率與生長率卻有很大的差異，而其原因便是其中一個島嶼附近海域缺少適當的食物資源所致(Monaghan *et al.*, 1989)。在 Jaquemet 等(2007)的研究也指出，在西南印度洋地區繁殖的烏領燕鷗(Sooty Tern, *Sterna fuscata*)繁殖的時機與繁殖地鄰近的海況有顯著的關係，而其原因便是與食物資源的豐富度有關。綜合以上所述，食物資源不僅影響著燕鷗的繁殖成功率，更與其繁殖時間和地點的選擇有很重要的關係。

六、棲地經營管理

小燕鷗可以接受的繁殖棲地類型雖然很廣泛，但是任何非自然的棲地在沒有人為主動管理的情況下，棲地的品質終究會隨著時間而下降，在 Catry 等(2004)的研究中就指出，雖然小燕鷗利用葡萄牙海岸的曬鹽場繁殖已經有相當長的一段時間，但是在近年來因經濟環境的變遷，許多曬鹽場已經荒廢或是改建為魚塭或是農田，其中荒廢掉的曬鹽場在無人管理的情況下植被覆蓋度很快就超過了小燕鷗可以接受的範圍，而魚塭或是農田都因人為干擾太大而不適合小燕鷗繁殖。在這樣的情況下，無論是天然的棲地或是替代型的棲地都是需要經營管理以保持在良好的狀態。實際的操作實驗在 Medeiro 等(2007)的研究中進行，作者聘請管理員在繁殖區駐守並且豎立警告標誌以降低遊客的干擾，結果在實驗中證實有進行管理的繁殖區的繁殖成功率比沒有管理行為的繁殖區高出 34 倍。作者認為像是小燕鷗這類夏季時會在沙灘上繁殖的水鳥，很容易因為遊客造成的干擾而放棄選擇適合的繁殖地而轉向其他品質較低落的繁殖地，若不設法維持繁殖棲地的品質，適合水鳥繁殖的棲地將不斷的消失。以澎湖的活龍灘燕鷗保護區為例，鄭等(2006)針對在保護區繁殖的小燕鷗研究發現孵化成功率僅有 8%，大部份失敗原因為遊客破壞與島上其他掠食者的捕食，作者認為澎湖的

無人島嶼眾多且分布廣闊，在管理上較為困難，但除了主管機關的管理工作應該更主動積極之外，若能輔導當地漁民組成保育管理委員會，協助從事保育管理工作，應該能達到更好的效果。

在原始棲地縮減且無法復原的情況下，藉由人工建設的巢島、浮筏或是漂浮平台營造適合燕鷗繁殖的環境在國外已經有許多成功的案例(Quinn and Sirdevan 1998；Crawford *et al.*, 2003)，Shealer 等(2006)在美國 Wisconsin 州的 Grassy Lake 設置漂浮平台以提供 Black Tern (*Chidonias niger*)繁殖利用，經過兩年的觀察後發現在繁殖初期利用平台繁殖的 Black Tern 數量較自然棲地(河床)高，平台上的巢蛋體積也較自然棲地中的族群高，顯示利用平台的 Black Tern 是族群中品質較高的個體，且因沒有降雨、淹水的威脅，平台上的繁殖族群在繁殖成功率也較自然棲地中高。

關於彰濱工業區，劉(2002)與辜(2005)在研究中都指出工業區若持續開發、建廠則此區所有的繁殖地最終將會消失，因此經營管理的首要工作應是選擇合適的繁殖地規劃成水鳥繁殖保護區加以保留，其中辜(2005)更指出各種水鳥繁殖密度最高的崙尾工業區西北段式最適合規劃為保護區的地段。

參、研究地點與方法

一、研究地點

彰濱工業區於 1977 年政府核准編訂為工業用地，全區自 1979 年開始抽沙填海造地工程，至 1971 年因經濟不景氣而暫緩停工直至 1987 年復工，至今仍处于未完工階段，總開發面積為 3,643 公頃，目前完成造地 2,587 公頃；區內目前已售土地面積 833 公頃，僅占已開發面積 32%，進駐廠商 370 家，主要產業為金屬、化學與塑膠材料製品工廠。地理位置北起伸港鄉田尾排水口，南達鹿港鎮員林排水口，南北長 12 公里，東西寬 3.5 至 4.5 公里；北接大肚溪口野生動物保護區，南臨屬於鳥類重要棲地(Important Bird Area)的漢寶溼地與大城溼地。彰濱工業區內目前土地閒置率最高的為崙尾工業區，此區內部大面積的礫石地型與部分低窪地區的積水環境常常在滿潮的時候吸引數量與種類眾多的水鳥棲息，在夏季也有多種水鳥繁殖的紀錄，但歷年來工程進度與植被覆蓋的情形對鳥類族群有著不同程度的影響，且在每年冬季自北方海洋公園飛揚過來的積沙對本區地貌影響極大，一年四季可呈現不同的面貌。

崙尾工業區的氣候屬台灣西南部溫暖冬季寡雨型氣候，區內年均溫 22.3°C，平均年雨量 1,013 公釐，降雨天數約 72 天，多集中於 5 至 8 月的梅雨季與颱風季節。區內的地表土質為抽砂填海造地工程時埋填的卵礫石與自海洋公園吹襲而來的沉泥質海沙為主。植被種類在短草地主要為白茅草(*Imperata cylindrical*)、田菁(*Sesbania cannabiana*)、大花咸豐草(*Bidens pilosavar. radiata*)與馬鞍藤(*Imomoea pes-caprae ssp. brasiliensis*)；防風林地區為木麻黃(*Casuarina equisetifolia*)、黃槿(*Hibiscus tiliaceus L.*)與草海桐(*Scaevola sericea*)，積水低窪處則以鹽定(*Suaeda maritima*)、蘆葦(*Phragmites communis*)與香蒲(*Typha angustifolia*)為主(施 2008)。

本研究樣區位於彰濱工業區中段的崙尾工業區(緯度 24° 7' 29''N；經度 120° 24' 39''E)內西北段位置(圖二)，面積約 13 公頃，區內目前建設除 24 座風力發電機組外並無其他廠商進駐。在崙尾工業區的東方為已停止開發的工業區

預定地，現為一泥質潮間帶灘地，且部分水鳥會在此區覓食。北方則為一因突堤效應堆積而形成的潮間灘地，俗稱海洋公園，由於面積不大，且土質粒徑較大、有機質含量不高，可提供水鳥覓食的底棲生物量不多，所以並不能成為主要的覓食區，但因滿潮時仍留有未淹沒之灘地常能吸引大量鸕鶿科水鳥在漲潮期間休息。研究樣區的東方界線為造陸工程時期留下大型卵石堆置區，區內部分較平坦的沙丘地有小燕鷗與東方環頸鴉的築巢紀錄，而大石塊下的陰影處也很適合小燕鷗的雛鳥躲避，在此區以東為植被覆蓋度較高的高莖草地與木麻黃防風林；在樣區的西方與南方地區其中有部分在過去有零星的繁殖族群紀錄，但在近年都已被高覆蓋度的高莖草所覆蓋，並不適合小燕鷗繁殖，故本研究中的調查範圍定於圖二的位置。

二、調查時間與方法

2007 年的調查時間開始的較晚，自 5 月中旬開始每週調查一次，至 7 月底再無尋獲新的巢蛋之後結束。2008 年自 4 月起每週調查一次，直至 5 月 12 日發現小燕鷗出現在崙尾區後調查頻度增加為每週兩次、每次間隔 2~3 日。調查的時間定在下午的 15:00 至 17:00 以避免在烈日下因干擾使得親鳥離巢過久後造成巢蛋溫度過高而死亡，巢位的尋找方式以徒步進行並以 8 倍雙筒望遠鏡尋找坐巢中的親鳥或是跟隨地面上的腳印以找出巢位與巢區，尋獲巢位後的紀錄工作同樣為避免干擾過大，而以 10 分鐘為限。調查紀錄資料分為下列各項：

1. 巢位標記：尋獲巢位之後使用 GPS 將每一巢定位，另外在 2007 年使用長約 40 公分，寬約 3 公分的木棍豎立在巢位的西方 2 公尺處以標示巢位，但在當年發生遊客將木棍移除且破壞巢蛋的行為，故在 2008 年改為使用較小型的標記物：長約 15cm 貼上灰色膠帶的竹篾，並在膠帶位置寫上巢位標號，且數立距離增加至約 4 公尺。
2. 巢蛋測量：在每一顆巢蛋上以油性簽字筆寫下編號，紀錄巢蛋數(C1~C3)後使用漂浮法判斷孵化情況並拍照紀錄，再以游標尺測量蛋的長和寬

(只有 08 年有進行巢蛋長寬的測量), 並由前人研究中的公式換算為
體積:

$$\text{體積} = 0.4866 \times \text{長} \times \text{寬}^2 / 1000 \quad (\text{單位: mm}^3)$$

(Coulson 1963; Hong *et al.*, 1998; Catry *et al.*, 2004)

3、環境紀錄

巢位環境紀錄項目依參考文獻(Buger and Lesser 1978; 劉 2002; 鄭等 2006)

與研究樣區現地狀況區分為下列各項目:

. 巨棲地: 巢位範圍 2m 內的棲地類型, 分為兩類:

(1) 礫石地: 沙與礫石交雜的環境

(2) 沙丘: 因積沙而形成的高於地表的沙丘環境

. 微棲地: 巢位範圍 20cm 內的棲地類型, 其中分別定義為

(1) 沙: 完全由直徑小於 1mm 的細砂所組成的環境

(2) 沙礫: 細沙中夾雜直徑不超過 10cm 的小石塊

(3) 沙礫石: 沙礫中又包含有直徑超過 10cm 的大石塊

(4) 沙石: 僅由細砂與直徑超過 10cm 的石塊組成的環境

. 高度: 高度參考過去最高淹水紀錄而分為二類:

(1) 低於 50cm (2) 高於 50cm

. 坡度: 利用坡度計紀錄每個巢位的坡度, 分為三類:

(1) 0~5° (2) 5~10° (3) 大於 10°

. 巢材: 紀錄是否有使用巢材, 並另外紀錄巢材的組成材料。

(1) 有使用 (2) 未使用

4、產卵時程(Laying period)

因小燕鷗的巢蛋數為 1 至 3 顆, 在考慮產卵間隔時間與漂浮法誤差的情形, 並參考 Catry 等(2004)與 Medeiros 等(2007)使用的方法, 決定以 15 天為單位將五月至七月這段時間區分為 6 個時程(D1~D6), 每一顆巢蛋經由

漂浮法判斷出孵化程度並往回推算出產卵的時程(圖四),藉以歸類每一巢的產卵時程,以利後續的數據統計分析,並在結果與討論中分別以繁殖初期(D1~D2)、繁殖中期(D3~D4)、繁殖後期(D5~D6)描述其變化。因 2007 與 2008 年在 D6 時期之後皆未尋獲巢蛋,故在統計分析只包括 D1 至 D5 時程。

5、漂浮法(Egg flotation method):

漂浮法是利用蛋的比重會隨著胚胎發育程度改變的原理,將蛋至入適當水溫的水中,以其沉浮狀態、角度來判斷胚胎發育程度(Hay and LeCroy 1971),並參考 Hay and LeCroy(1971)發表的普通燕鷗漂浮法結果與胚胎發育階段對照表(圖四)以推斷出每一顆巢蛋的孵化情形。

6、孵化成功率判定與計算

小燕鷗的雛鳥在出生後數小時內即有行動能力,不易觀察與紀錄,故在調查期間若發現巢中有一隻或以上的雛鳥孵化即判定為整巢的孵化成功,若在接近孵化日期的調查日中發現巢蛋消失且沒有發現破壞痕跡時同樣紀錄為成功;超過孵化日期五日已上仍未孵化、或是未見親鳥有孵卵行為則紀錄為親鳥棄巢;巢蛋若在孵化日期之前消失則觀察巢位附近是否有留下線索(浸水、腳印、輪胎印、蛋殼碎片)而判斷失敗原因為:降雨、捕食、人為破壞或是不明的未知原因(劉 2002)。而孵化成功率的計算部分,對於群聚性繁殖且繁殖成功率不穩定的小燕鷗而言,直接計算成功的巢在所有巢中的百分比會較為正確(Johnson 1979)。

7、雨量資料

使用行政院環境保護署在網站上公佈的 2007 至 2008 年線西觀測站的雨量紀錄。

三、資料處理與統計分析

全部資料以 SPSS 15.0 套裝軟體分析，並依欲了解的問題分別使用不同的統計方法：

1. 棲地利用情形在時間上的變化：

利用的卡方檢定(Chi-Square)中的獨立性檢定檢驗兩年中巨棲地的利用情形在不同產卵時程中是否有差異。

2. 為解巢蛋體積與數量在時間與空間上的變化，進行下列分析：

- (1) 使用無母數分析中的 Kruskal-Wallis test 分析在五個產卵時程中的平均巢蛋體積與巢蛋數間的差異，並使用 Mann-Whitney U Test 分析兩種巨棲地與兩年間的巢蛋體積與巢蛋數上的差異，因 2007 年沒有進行巢蛋形值的測量，故在巢蛋體積的分析項目只包含 2008 年的數據。
- (2) 使用 Spearman 等級相關性分析檢測在 2007 年與 2008 年中平均巢蛋數量與產卵時程上的相關性。
- (3) 因 2008 年的巢蛋體積在產卵時程與巨棲地中都呈現顯著性的差異，為了解兩因子對巢蛋體積的影響程度，使用廣泛線性模式(Generalized Linear Models)分析巢蛋體積在產卵時程與巨棲地中的變化，在設定方面將產卵時程與巨棲地兩因子設定為主要影響因子(Main effect)，並加入巨棲地×產卵時程此項交互作用(Interaction)的因子進行分析。

3. 各因子對孵化成功率的影響程度：

- (1) 以二元式邏輯迴歸(Binary logistic regression)分析來檢定各項因子(巨棲地、微棲地、巢材、高度、坡度、產卵時程)對孵化成功率的影響程度，在分析中將孵化成功率定義為二元式分類：0(失敗)與 1(成功)，再以 Stepwise 方法篩選出最適合的模式與因子。
- (2) 為了解雨量對繁殖狀況的影響，參考並修正劉(2002)使用的方法，並且

因小燕鷗巢蛋平均的孵化期為 21 天，故以 Spearman 相關性分析兩年五月至七月間過去三週累積的雨量與當週孵化成功巢數(在該週成功孵化的總巢數)做相關性分析。

肆、結果

研究結果分為下列三項：一、比較棲地利用情形在兩年間與年內的變化情形，二、為了解小燕鷗族群在棲地中是否有差異，以平均巢蛋數量與體積做為指標，比較其在時間與空間上的變化，三、兩年間的孵化成功率與各影響因子之間的關係。

一、棲地利用情形

2007 年與 2008 年在棲地利用的情形上有很大的差異，在 2007 年以沙丘地型為主(76%)，而 2008 年則以礫石地環境為主(73%)；而年內的差異在卡方檢定中發現僅在 2008 年中兩種棲地的利用情形在時間上有顯著的差異(Chi-Square tests, $\chi^2=11.591, p=0.021$)，且繁殖季中後期利用礫石地環境的巢數較高(圖六)。

2007 與 2008 都有紀錄到使用巢材的記錄，其中所有使用巢材的巢位均在礫石地環境中，比例上來說在 2008 年巢材使用的比例較高(2007 年：4.35%, $n=2$ ；2008 年：10.68%, $n=11$)，使用的材料主要為鄰近的小石塊，其他如蚵殼碎片、木頭碎片與樹枝也有紀錄。

二、平均巢蛋數量與體積的變化

1. 平均巢蛋數量與體積在時間上的變化

在 2007 年與 2008 年的比較結果中發現 2008 年巢蛋數量較 2007 為高($2.19 \pm 0.611, p=0.002$, 表二)，且兩年都以 2 顆蛋的巢數較多(2007 年：48%；2008 年：59%)。在年內巢蛋體積與數量的變化方面，2007 年中的巢蛋數量在時間上並無顯著的變化(Kruskal Wallis test, $\chi^2=9.916, p=0.078$)；而 2008 年的巢蛋數量與體積大小在時間上都有顯著的變化(Kruskal Wallis test, 巢蛋數量: $\chi^2=12.234, p=0.015$ ；巢蛋體積 $\chi^2=35.874, p<0.001$)。在 Spearman 相關性分析的結果中發現巢蛋數量在 2007 與 2008 都與時間呈顯著性的負相關(2007 年: $r=-0.303, p=0.041$ ；2008 年: $r=-0.309, p=0.001$)，顯示巢蛋數量在兩年中都呈現隨時間下降的趨勢。2008 年兩種巨棲地環境中的巢蛋體積在時間上的變化情形相似，在繁殖季初期(D1)較高、之後下降到約六月初(D3)時回升(圖六)，但需注意的是繁

殖季後期(D4~D5)的沙丘環境中的樣本數較少(5 巢)。

2. 平均巢蛋數量與體積在巨棲地中的變化:

2007 與 2008 年兩種巨棲地間的平均巢蛋數量都未達顯著性的差異(2007 年： $p=0.716$ ；2008 年： $p=0.541$ ，表三)。但 2008 年兩種巨棲地環境中的平均巢蛋體積呈現顯著性的差異($p=0.001$ ，表三)，且以礫石地環境中的平均巢蛋體積較高(礫石地： $8.99\pm 0.97\text{ mm}^3$ ；沙丘： $8.27\pm 1.02\text{ mm}^3$ ，表三)。

3. 廣泛線性模式(Generalized Linear Models)分析結果

因 2008 年的棲地利用與巢蛋體積在時間上都有顯著性的差異，故進一步使用廣泛線性模式分析產卵時程和巨棲地對巢蛋體積的影響，結果發現只有巨棲地 \times 產卵時程此交互作用因子達到顯著性水準($p=0.003$ ，表四)，顯示巢蛋體積的變異應是來自兩項因子交互作用下的結果，故後續討論在敘述巢蛋體積的變化時應同時考慮產卵時程與巨棲地兩項因素影響下的變化。並且，在圖六中可發現兩巨棲地環境中的巢蛋體積在時間上的變化趨勢相似，且在初期的差異並不大，但在 D2 之後可發現棲地間的巢蛋體積以礫石地環境較高。

三、孵化成功率

兩年的繁殖概況並不同，在 2007 年共尋獲 48 巢，其中 8 巢成功孵化，孵化成功率為 17%；2008 年尋獲 103 巢，其中 31 成功孵化，孵化成功率為 30%。兩年繁殖失敗的原因主要都是降雨，在 2007 年因降雨造成的繁殖失敗比例為 84% ($n=32$ ，圖七)；在 2008 年則為 67% ($n=48$ ，圖七)，其他失敗原因所佔比例不高，大部分為難以界定的未知原因。兩年雨量分布的情形不同(圖八)，造成的影響程度也不同，在 Spearman 相關性分析的結果中顯示 2007 年的三週累積雨量對孵化成功巢數有顯著的負相關性($r=-0.665$, $p=0.036$)，而在 2008 年則無顯著之相關性($r=0.265$, $p=0.381$)，顯示降雨對 2007 年的繁殖情況有很大的負面影響。

利用二元式邏輯回歸分析在 2007 年與 2008 各因子(巨棲地、微棲地、巢材、

高度、坡度、產卵時程)對孵化成功率影響程度的結果中，使用的模式在 2007 年有 82.6%準確率，模式篩選出的影響因子為產卵時程，但未達顯著性的水準；模式在 2008 年有 75%準確率，篩選出的影響因子為巨棲地與產卵時程(表五)，但其中僅巨棲地有達顯著性的水準($p=0.013$, 表五)，而在巨棲地中以礫石地環境的孵化成功率較高(37%, 表六)。進一步分析 2008 年不同巨棲地下各自的影響因子發現，在礫石地中的影響因子為產卵時程但未達顯著水準，在沙丘環境中孵化成功的巢數僅有兩巢，樣本數太少故不進行分析(表七)。

伍、討論

2007 年與 2008 年研究樣區的環境略有不同，在 2008 年繁殖季之前的降雨量較 2007 為少(圖八)，使得樣區內數個長年積水的水池乾涸，且在 2008 年植被覆蓋的面積較 2007 年減少許多(圖三)。而 2008 年沙丘分布的位置與面積也與 2007 年有所不同，甚至在月間也有部份不同。因樣區內部環境在時間上的變異太大，故在本研究中並無使用隨機樣點來檢驗小燕鷗在樣區內對築巢地點是否有偏好，僅能以事後觀察的方式描述小燕鷗在樣區內棲地利用(habitat use)的情形，並進一步討論在不同環境下的繁殖族群、孵化成功率與其影響因子的差異，以了解沙丘地形是否適合小燕鷗繁殖。整體而言，2008 年樣區內部的棲地類型以礫石地環境佔的比例較 2007 年高(圖三)。以下依序討論 1.小燕鷗在崙尾工業區內的棲地利用情形；2.不同棲地環境中的親鳥品質差異；3.影響孵化成功率的主因。

一、棲地利用情形

2007 年小燕鷗利用的棲地以沙丘環境為主，在 2008 年則以礫石地環境為主。但兩年的棲地環境受到氣候的影響而有些許差異，以 2007 年而言在 6 月 4 日至 6 月 12 日這段時間就累積了約 460 公釐的雨量(圖八)，比 2008 年的任何一月累積雨量都高出許多。而且崙尾工業區內的土地排水能力不佳，在如此密集的降雨之後造成區內大規模的淹水，直至六月底仍有部份區域積水未退，且在七月初的降雨過後又再次淹水。在大部份地勢較低的礫石地都處於淹水狀態時，對小燕鷗來說當地的棲地可利用性(habitat availability)就降低許多。而且，降雨對棲地造成的影響還有下列幾項:水位上升、氣溫降低、濕度上升、土壤溫度下降..等，這些因素都可能影響鳥類對棲地的選擇(Weston and Elgar 2000)。在本區過去的研究中也指出降雨過後植物快速生長的情況將使合適的繁殖地減少，進而對水鳥繁殖成功率產生間接的影響(劉 2002；辜 2005)。在 2008 年方面，因此年的降雨分布情形較為分散，大雨(24 小時累積降雨量超過 50mm，交通部中央氣象局)發生的次數也較少(圖八)，故淹水的區域較小且維持的時間也較短，對棲地可利用性的影響較小，因此，氣候因素可能是

造成 2008 年礫石地環境利用比例較高的原因。

在棲地的使用時機方面，Catry 等(2004)發現在繁殖初期的小燕鷗主要利用的繁殖棲地為沙灘，並認為這代表與曬鹽場相較之下沙灘環境應是品質較佳的繁殖棲地，Shealer 等(2006)也以此為根據推論人造漂浮平台的棲地品質較原始棲地更能吸引 Black Tern。但在本研究中發現繁殖季初期的小燕鷗兩種棲地都會利用，推測在繁殖季初期兩種巨棲地類型對小燕鷗來說並無優劣之分。在兩年的巨棲地利用與產卵時程間的獨立性分析中，僅 2008 年有達顯著性的差異($p=0.021$)，且 2008 年礫石地環境利用的比例有隨時間而增加的趨勢(圖五)，推測造成此現象的可能原因如下：

1. 人為干擾

Burger (1998)指出燕鷗這類群聚性繁殖的鳥類對人為干擾是非常敏感的。在本研究中兩年的調查都發現有各式車輛(摩托車、休旅車、吉普車、沙灘摩托車)進入繁殖區內，且活動範圍都集中在沙丘上，應與近年流行的「颯沙」活動有關(圖十三)。在 2008 年自 5 月 26 日開始發現有車輛與遊客進出繁殖區，且此情形在週末更加頻繁。而沙丘地形利用的比例也在這段時間(D2)之後漸漸下降(圖五)。

2. 二次築巢

在前人研究已發現普通燕鷗與白額燕鷗的繁殖族群在遭遇大規模的繁殖失敗(如淹水或被捕食)時，會選擇不同的地點同步進行二次築巢(Massey and Atwood 1981；Jacob *et al.*, 1999)。在本研究中繁殖季初期兩種棲地被利用的比例接近，且都未繁殖成功，但在之後可發現繁殖成功的巢位大都在礫石地環境中，且在沙丘上築巢的比例也逐漸下降(圖五)。其原因必須以繁殖失敗的主因-降雨來說明，在 2008 年降雨最頻繁的六月期間因降雨造成了許多巢蛋的失敗，在觀察中發現降雨對沙丘與礫石地環境中的巢蛋影響方式並不同，降雨對沙丘中的巢蛋影響方式是將巢蛋沖走，而對礫石地環境中主要的影響方式則是淹水。在 2008 來說，幾次降雨造成的淹水面積並不大，對部份巢區並沒有造成影

響，可是沙丘環境中的巢蛋在降雨與人為破壞的情況下，全年繁殖成功的巢數僅有兩巢。考慮沙丘上的人為干擾與普遍的繁殖失敗情形，推論在 2008 年繁殖季初期選擇沙丘地形繁殖的小燕鷗族群在遭遇繁殖失敗之後在第二次築巢時可能會轉而選擇利用礫石地，進而造成沙丘地形利用比例下降的現象，但此項推論必須經由長期的親鳥繫放才能夠證實。

二、巢蛋數量與體積的變化

前人研究中指出遷徙性的鳥類在繁殖季中大部分都有平均巢蛋數量隨著時間減少的趨勢(Dhondt *et al.*, 2002)，在本研究中也發現同樣的下降現象，且與國外其他種燕鷗的研究結果一致(Massey and Atwood 1981; Medeiros *et al.*, 2007)，推測在本研究中繁殖季後期築的巢可能是來自在前期繁殖失敗的成鳥的二次築巢或是較年輕的個體，亦或是食物資源減少造成的影響。2007 年的巢蛋數量較 2008 年小的現象參考前人研究的結果，可能原因為食物資源的短缺(Ramos 2001; Dhondt *et al.*, 2002)，或是繁殖族群的差異所導致(Medeiro *et al.*, 2007)。但值得注意的是在 2007 年的調查頻度較低，可能有許多巢蛋尚未全部產完即被判斷為失敗，進而造成平均巢蛋數低估的情形。與其它研究中的小燕鷗平均巢蛋數量相比，亞熱帶地區如：葡萄牙在 2003 年為 2.71 顆、2004 年 2.30 顆、2005 年 2.46 顆(Medeiro *et al.*, 2007)，韓國 1995 年 2.48 顆、1996 年 2.35 顆(Hong *et al.*, 1998)；熱帶地區如：印尼 2.05(Holloway 1993)，澎湖 1.68 ± 0.57 (鄭 2006)，本研究(2007： 1.83 ± 0.709 ；2008： 2.19 ± 0.611)。平均巢蛋數量在熱帶地區較低的情形，可能為環境資源與氣候上的差異所造成的結果(Ramos 2001; Dhondt *et al.*, 2002)。

2008 年巢蛋體積大小在時間上的變化情形較為特別(圖六)，在繁殖初期巢蛋體積較高的現象與國外普通燕鷗的研究符合，代表繁殖季初期的巢蛋可能是來自體質較佳、較年長的個體的個體(Nisbet *et al.*, 2002)，而隨後上升的現象與國外另一篇普通燕鷗的研究結果類似，此現象可能原因為較晚產卵的親鳥在繁殖地停留時間較久，能量上累積的時間也較久所導致的結果，或是較晚築巢(或第二次築巢)的親鳥會

藉由產下體積較大的巢蛋以補償在晚期繁殖帶來的劣勢(Arnold *et al.*, 2006)。但此說法並無法解釋巢蛋數量在時間上減少的現象，參考國外普通燕鷗與紅燕鷗的前人研究，推測此現象應是親鳥在體質狀況、產卵時間、產卵數與巢蛋品質(體積大小或重量)之間存在著 trade-off 的機制((Moore *et al.*, 2000 ; Ramos 2001)。而且，燕鷗屬鳥類的雛鳥都需要親鳥哺育才能夠存活，故在食物資源不足的情況下選擇產下較高的巢蛋數可能必須付出整體雛鳥成長率與存活率降低的代價，也就是說，食物資源是限制巢蛋數量的一個重要因素(Langham 1972 ; Suddaby and Ratcliffe 1997 ; Robinson *et al.*, 2001)。綜合以上各點，推論在本研究中在繁殖季中後期築巢的成鳥可能會選擇犧牲產卵數以換取品質較佳(體積較大)的巢蛋，而這樣的現象可能與繁殖季後期因種間或種內的競爭造成食物資源較缺乏的情形有關(Ramos 2001 ; Arnold *et al.*, 2004)，但實際情況仍需要進行更深入的操控實驗與親、幼鳥繫放才能證實。整體而言，由巢蛋體積與數量在時間上的變化推測在繁殖季初期的巢應該是來自體質較佳、較年長的個體，且此趨勢在不同巨棲地環境中也相同(圖六)。

比較不同棲地中巢蛋體積與巢蛋數的變化後，發現 2008 年在礫石地環境中的巢蛋體積顯著較高($8.99 \pm 0.97 \text{mm}^3$, $p < 0.001$, 表三)，但還需考慮時間因素造成的影響(Medeiros *et al.*, 2007)。在本研究中進一步利用廣泛線性模式分析產卵時程與巨棲地對巢蛋體積的影響程度，在結果中發現巢蛋體積的變異主要來自巨棲地與產卵時程兩項因子的交互作用(表四)，即在比較巨棲地中的巢蛋體積時必須考慮產卵時程上的變化。以本研究中的結果而言，在圖六可發現兩種巨棲地中的巢蛋體積在時間上的變化趨勢相似，且在繁殖季初期的差異並不大，兩棲地間的巢蛋體積差異在中後期才呈現，與棲地利用在時間上變化的情形相似(圖五)。依繁殖季初期在兩種棲地中的巢蛋體積與利用比例差異不大的現象，推論兩種棲地在繁殖季初期對小燕鷗來說應無優劣之分。而之後沙丘環境中的巢蛋體積較礫石地環境低的原因應與棲地利用比例隨時間下降的現象有關，即在繁殖季中後期人為干擾開始出現的影響下，親鳥品質較佳的小燕鷗族群應會傾向於在干擾程度較低的礫石地環境中築巢。

三、孵化成功率

兩年間氣候的因素的差異造成繁殖情況有很大的不同，以下分別討論兩年的情形：

1. 2007 年進入繁殖季之後的降雨主要集中在六月中，近兩週持續性的大雨造成全區嚴重的淹水也破壞了許多巢蛋，而築巢高峰在降雨量稍減後出現(圖九) 與劉(2002)的研究結果相同。但之後持續許久的陰天也使得至 6 月底仍有部份低窪地區積水未退，且在七月初的降雨過後又再次的大規模淹水，造成築巢高峰期發現的巢蛋又再次全部失敗。故 2007 年成功孵化的巢都集中在七月(圖十)。
2. 2008 年的築巢高峰約發生在 6 月間，期間雖然也有幾次降雨，但並未造成持續、嚴重的淹水問題，七月中旬過後因卡玫基颱風導致樣區內嚴重的淹水且之後再無尋獲新的巢蛋(圖十一)。而在 6 月期間間歇性的降雨之後持續將近一個月的好天氣也提供小燕鷗一個完整的繁殖期(大於平均孵化日 21 天)，孵化成功的巢也都集中在 6 月之後(圖十二)。

整體而言，2007 年的孵化成功率較 2008 年為低的原因應是降雨因素造成的影響，在相關性分析中三週累積雨量與孵化成功巢數的關係僅在 2007 年有顯著的負相關。劉(2002)指出彰濱工業區內單日降雨超過 10 公釐或連日降雨累積超過 20 公釐即有可能造成區內東方環頸鴿與小燕鷗繁殖失敗，若連日累積雨量超過 300 公釐，則可能造成大規模的繁殖失敗，而藉由在繁殖季中發生上述事件的次數與連續大雨之間的時間間隔時間是否大於孵化期可以判斷該年是否適合水鳥繁殖。若以此為判定標準，則可發現在 2007 年連續大雨間的時間間隔均不足 20 日，且連續降雨累積雨量也遠超過 300 公釐；反觀 2008 年的雨量分布，在時間間隔上有兩個時段超過 20 日，成功孵化的巢也大致集中於這個時段(第 1~5 周與第 8~12 周，圖十二)，且連續降雨累積雨量也未超過 300 公釐。由以上可判斷 2008 年應屬於較適合水鳥繁殖的年份，而結果也顯示 2008 年的孵化成功率與總巢數高出 2007 年許多。

在二元式邏輯迴歸分析中，模式篩選出對孵化成功率最具影響性的因子在 2008 年為巨棲地類型與產卵時程，在 2007 年則為產卵時程。在產卵時程因素方面，2007 與 2008 年中孵化成功的巢數在時間上分別集中於繁殖中期與後期(圖十，圖十二)，如前所述，雨量與降雨分布的方式主導著每年小燕鷗孵化成功率的高低，在本研究中產卵時程在兩年都是重要影響因子的原因應是受到降雨的影響。而在巨棲地類型方面，雖然在 2008 年還是有高達 66% 的巢蛋因降雨而繁殖失敗，但在相關性分析中雨量與繁殖成功的巢數並達到顯著水準，且在邏輯迴歸分析中也顯示巨棲地環境的選擇是唯一達顯著的影響因子，推測在 2008 年對小燕鷗的孵化成功與否而言，除產卵時間的選擇之外，選擇在適當的棲地更是重要的因素。在 2008 年的野外調查發現部份礫石地環境因地勢較高而未受淹水影響(以 2008 年的降雨程度而言)，加上此年沙丘地形上的人為干擾較頻繁，最後在結果中發現 2008 年小燕鷗在礫石地環境中的孵化成功率高於沙丘地形，顯示除降雨之外，應該還有其他次要因素影響孵化成功率，推論如下：

1. 掩蔽度較低

小燕鷗巢蛋的顏色為灰白色至棕色帶有形狀不一的黑紫色斑點，在崙尾工業區的礫石環境中保護色非常好，使用肉眼尋找通常需要走近至巢位 1 至 2 公尺處才能夠清楚辨識巢位，且在觀察中發現只有在礫石地環境中築巢的個體會使用巢材，在前人研究中也指出使用巢材可增加巢位的掩蔽度以躲避利用視覺捕食的部份掠食者(Szentirmai and Szekely 2002；鄭等 2006)。但在沙丘環境中巢蛋的顏色無法融入環境背景，且巢位挖掘過的痕跡非常容易辨識，甚至在天候狀況良好的時候還能藉由跟隨沙丘上的足跡找到巢位(圖十四)。巢位暴露最大的風險便是容易吸引捕食者或人類，而崙尾工業區內主要的捕食者則是野狗(劉 2002)。雖然在兩年的調查中捕食者造成繁殖失敗的紀錄僅有兩筆，但在一些繁殖調查研究中指出，捕食者造成的繁殖失敗通常不容易被調查人員發現留下的痕跡，且有些巢可能在調查人員發現前就已經被捕食(Nibset and Welton 1984)，

因此在本研究中捕食者造成的繁殖失敗應有低估的情形。

2. 結構不穩定

選擇較高的沙丘地形雖然可以使小燕鷗避過淹水的困境，但值得注意的是，繁殖區內的沙丘主要成因是來自風吹沙的堆積，大部分結構都十分鬆散，在大雨沖刷或是強風吹襲之下很容易使得巢蛋隨雨水流走或是被沙土掩埋(圖十五)，在本研究中也發現巢蛋被風沙掩埋 (2 巢)與幼鳥在出生後兩小時內即被風沙掩埋致死的紀錄(1 隻個體)。

3. 人為干擾

如同在棲地利用結果中討論的情形，2008 年人為干擾的頻率很高且都集中在沙丘上，近兩年在風力發電機組完工之後，在週末常有攝影者前來拍照取景，或是遊客至繁殖區北方的海洋公園一帶戲水、海釣，對小燕鷗的繁殖地與覓食地皆造成很大的干擾。其中影響程度最劇的還是直接進入繁殖區在沙丘上試車、飆沙的各式車輛。在野外調查中發現車輛是由利用風力發電機下的維修通道進入崙尾區後，活動範圍都集中在樣區的沙丘上，且多半為成群結隊的車隊一起進入樣區內。在前人的研究中指出水鳥是易受干擾的鳥類，且人為干擾可能會造成親鳥棄巢、繁殖地改變、雛鳥存活率降低或是吸引捕食者進入巢區，甚至使水鳥放棄繁殖地(Safina and Burger 1983；Holloway 1993；Burger 1998；Ruhlen *et al.*, 2003)。本研究在 2007 年發現沙丘上有人為標記巢位的記號與疑似遊客撿拾巢蛋的情形，在 2008 年則人為破壞與標記巢位的情形(圖十六)，雖然比例不高，但間接造成的影響難以估計。

4. 溫度變化較大：

礫石地中的小石塊主要為磚石、水泥及各種沉積岩碎塊，比熱值經查表後發現大約介於 0.2~0.4(kcal/kg°C)之間較沙丘上的細沙 0.19 (kcal/ kg°C)為大，也就是說在同樣的氣溫下，沙丘上的溫度變化量應高出礫石地許多。在台灣炎熱的夏季環境之下，選擇在沙丘上築巢的親鳥勢必支付較多的時間與心力在維持

巢蛋的溫度上(辜 2005)，但在本研究沒有紀錄親鳥孵巢的行為與時間，無法了解溫度對繁殖成功率實際的影響。

進一步分析 2008 年在不同巨棲地中各別的主要孵化成功率影響因子，結果發現在礫石地環境中主要影響成功率的因子仍為產卵時程。無論是在礫石地或沙丘中築巢，同樣都必須面對降雨造成的威脅，其中產卵時程與孵化成功率的因果關係在前段討論中已說明主要是受到降雨的影響，在礫石地中成功孵化的巢也集中在雨量較少的繁殖季中後期 (圖十二)。而降雨在砂丘環境中主要的影響方式為將巢蛋沖走，在這樣的情形下，對砂丘環境而言坡度應是影響巢蛋是否能在降雨後存活的重要因素，但 2008 年在沙丘環境中的樣本數只有 27 巢，雖然其中 2 巢成功孵化的巢位都是在坡度較緩的環境中，但因樣本數過少無法進行統計分析。另外，還必須考慮沙丘環境在降雨與強風的影響下的坡度變化，這些因素都有可能造成低估或是高估其影響性的結果。

陸、結論與建議

2007 至 2008 年在崙尾工業區本研究調查的樣區內，小燕鷗繁殖失敗主因為降雨，與過去劉(2002)的結果相同，其中降雨量分布的情形更主導著整個繁殖季產量的高低。降雨量分布的情形不僅影響孵化成功率，也會影響小燕鷗在棲地環境利用上的選擇，而在淹水情形較不嚴重的情況下(2008 年)繁殖族群主要利用的棲地環境為礫石地。在 2008 年的觀察中發現小燕鷗在繁殖季初期兩種棲地類型都會利用，棲地利用上的差異是中後期在人為干擾的影響下才逐漸呈現。巢蛋體積在棲地上的變化與棲地利用在時間上變化的情形相似，在繁殖中後期才呈現差異，推測在本研究中繁殖初期的兩種棲地對小燕鷗來說應無優劣之分，2008 年沙丘地形在繁殖季中後期人為干擾的影響下，才呈現與礫石地環境在巢蛋品質上的差異。

目前國外文獻對於燕鷗屬中的巢蛋品質(數量、體積、重量)、親鳥品質(體重、身長、哺育能力..等)與繁殖成功率(孵化成功率與雛鳥存活率)之間的交互關係尚未有一制性的結果，大部分研究僅證實巢蛋品質可直接影響雛鳥出生的體重，但是雛鳥的生長率與存活與否仍需仰賴親鳥的哺育能力(體質、經驗..等)，且此階段對於雛鳥或親鳥的外在影響因子相當多(天候、海況、捕食者、競爭..等)，在各文獻的研究中也導致各種不同的結果。本研究中僅探討小燕鷗的孵化成功率，並未研究雛鳥的存活率，未來研究者若能設法調查小燕鷗雛鳥的存活率，並進行親鳥的繫放與觀察哺育雛鳥的狀況，相信更能釐清親鳥品質與繁殖成功率的相關性問題。

本研究的結果顯示在降雨量適中的情況下(2008 年)，影響孵化成功率最重要的因子是巨棲地類型的選擇。以 2008 年而言，在兩種巨棲地環境中以礫石地環境能夠提供較高的孵化成功率，而沙丘地形中成功率較低的原因推測為下列幾項：(1)掩蔽度較低 (2)結構不穩定 (3)人為干擾 (4)溫度變化較大。

綜合以上各點，崙尾工業區內降雨造成的淹水問題是歷年來繁殖失敗的主因，而淹水情形縱然對礫石地上的巢來說是一大威脅，但選擇在砂丘上築巢未必能由相對的高度獲得完全的優勢，以 2008 年的結果來說是一個很好的案例。在兩年的觀察

中也發現除降雨之外崙尾工業區內的人為干擾情形也很嚴重，解決區內排水問題與人為干擾情形應是首要任務，若再不找出合乎經濟效應與生態保育的處置、管理方式，崙尾區將可能成為每年可吸引上百對水鳥繁殖卻無法提供可維持族群數量的繁殖成功率的生態陷阱(Ecological Trap)。除了無法避免與改變的天候因素之外，若能改善區內人為干擾與野狗數量的問題，應能增進全區的繁殖成功率，其中淹水的情形可以藉由各種措施如：挖掘排水溝渠、墊高土層、建築巢島等方式改善(劉 2002；辜 2005；蔣 2008)，或利用鳥聲、假鳥將鳥群誘導至不易淹水的地段繁殖(Jeffries and Brunton 2001)；而人為干擾與野狗捕食的問題則可藉由圍籬、電網、警告標誌、提供掩蔽物或是移除(捕捉或獵殺)捕食者的方式改善(Anderson and Devlin 1999；Medeiros *et al.*, 2007；Ratcliffe *et al.*, 2008)。在前人研究中已提出許多針對彰濱工業區內營造水鳥繁殖地的相關建議(劉 2002；辜 2005；蔣 2008)。而目前最大的困難仍在於土地所有或管理權的取得問題，彰濱工業區屬經濟部工業局所管轄，區內土地部分為丁種建築用地，編定屬供工廠及有關工業設施建築之用。在劉(2002)的研究中曾建議向經濟部提出將部分丁種建築用地解編之後，依都市土地利用管制規則第三條編定為生態保護用地以解決土地取得之問題。而這些建議相關主管機關若能採納並實行，相信在未来可以提供更大、更穩定的環境吸引更多的水鳥前來此地繁殖，也能提供其他多種水鳥在過境期與渡冬期的休息地，將閒置多年的工業區用地開創出生態與教育的新價值。

柒、参考文献

- Anderson, J. G. T., and Devlin, C. M. 1999. Restoration of multi-species seabird colony. *Biological Conservation* 90:175-181
- Anderson, S. K., Roby, D. D., Lyons, D. E., and Collis, K. 2007. Relationship of Caspian Tern foraging ecology to nesting success in the Columbia River estuary, Oregon, USA. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 73:447-456.
- Arnold, J. M., Hatch, J. J., and Nibset, I. C. T. 2004. Seasonal declines in reproductive success of the Common Tern *Sterna hirundo*: timing or parental quality? *Journal of Avian Biology* 35:33-45
- Arnold, J. M., Hatch, J. J., and Nibset, 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
- Burger, J., and Lesser, F. 1978. Selection of colony sites and nest sites by Common Terns *Sterna Hirundo* in ocean county, New Jersey. *IBIS* 120:433-449
- Burger, J. 1998. Effects of motorboats and personal watercraft on flight behavior over a colony of Common Terns. *The Condor* 100:528-534
- Catry, T., Ramos, J., Catry I., Allen-Revez, M., and Grade, N. 2004. Are Salinas a suitable alternative habitat for breeding Little Tern? *IBIS* 14:247-257
- Catry, T., Ramos, J., Martins, J., Filipa. P., Sandra, T., Paiva, V. H., Almeida, A., Luis, A., Palma, J., and Andeade, P. 2006. Intercolony and annual differences in the diet and feeding ecology of Little Tern adults and chicks in Portugal.
- Crawford, M., Simpson, M. Schneider, and S. 2003. Designing an island habitat for the interior Least Tern. ASAE AGCO design Competition Committee. Oklahoma. USA.
- Cramp, S., K. E. L. Simmons, D. J. Brooks, N. J. Collar, E. Dunn, R. Gillmor, P. A. D.Hollom, R. Hudson, E. M. Nicholson, M. A. Ogilive, P. J. S. Olney, C. S. Roselaar,

- K. H. Voous, D. I. M. Wallace, J. Wattel, and M. G. Wilson. 1983. Handbook of the birds of Europe the middle east and north Africa: the birds of the Western Palearctic. Volume IV. Terns to Woodpeckers. Oxford University Press, Oxford.
- DeVoult, T. L., and Douglas, M. B., Castrale, J. S., Mills, C. E., Hays, T., Rhodes, Jr. O. E. 2006. Nesting success and status of the least tern breeding colony at Gibson lake in Southwestern Indiana. *Proceedings of the Indiana Academy of Science* 115(1):53-59
- Dhondt, A. A., Kast, T. L, and Allen, P. E. 2002. Geographical differences in seasonal clutch size variation in multi-brooded bird species. *IBIS* 144:646-651
- Dunn, E. K. 1974. The role of environmental factors in the growth of tern chicks. Department of Zoology, University of Durham.
- Dugger, K. M., Ryan, M. R., Galat, D. L., Renken, R. B., and Smith, J. W. 2002. Reproductive success of the interior Least Tern (*Sterna amillarum*) in relation to hydrology on the lower Mississippi river. *River Research and application* 18:97-105
- Hays, H., and LeCory M. 1979. Field criteria for determining incubation stage in eggs for the Common Tern. *Wilson bulletin* 83:425-429
- Holloway, M. 1993. The variable breeding success of the Little Terns *Sterna albifrons* in South-east India and protective measures needed for its conservation. *Biological Conservation* 65:1-8
- Hong, S. B., Woo, Y. T., and Higashi. S. 1998. Effect 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
- Jacob G., Wendeln, H., and Becker, P. H., 1999. Nest-site turnover in Common Terns: possible problems with re-nest studies. *IBIS* 141:489-506
- Jaquemet, S., Le Corre, M., and Quartly, G. D. 2007. Ocean control of the breeding regime of the Sooty Tern in the southwest Indian Ocean. *Deep-Sea Research* 54:130-142.

- Johnson, D. H. 1979. Estimation nest success: the Mayfield method and an alternative. *Auk* 96:651-661
- Langham, N. P. E. 1972. Chick survival in terns (*Sterna Spp.*) with particular reference to the Common Tern. *Animal Ecology* 41:385-395.
- Massey, B. W., and Atwood J. L. 1981. Second-wave nesting of the California Least Tern: age composition and reproductive success. *The Auk* 98:596-605.
- Medeiros, R., Ramos, J., A. Paiva, V. H., Almeida, A., Pedro, P., and Antunes, S., 2007. Signage reduces the impact of human disturbance on Little Tern nesting success in Portugal. *Biological Conservation* 135:99-106
- Monaghan, P., Uttley J. D., Burns, M. D., Thaine, C. and Blackwood, J. 1989. The relationship between food supply, reproductive effort and breeding success in Arctic Terns *Sterna paradisaea*. *Journal of Animal ecology* 58:261-274.
- Moore, D. J., Williams, T. D., and Morris, R. D. 2000. Mate provisioning, nutritional requirements for egg production, and primary reproductive effort of female Common Terns *Sterna hirundo*. *Journal of Avian biology* 31:193-196.
- Monaghan, P., Uttley, J. D., Burns, M. D., Thine, C., and Blackwood, J. 1989. The relationship between food supply, reproductive effort and breeding success in Arctic Tern *Sterna paradisaea*. *Journal of Animal Ecology* 58:261-274
- Nibset, I. C. T., and Welton M. J. 1984. Seasonal variation in breeding success of Common Terns: consequence of predation. *The Condor* :53-59
- Nibset, I. C. T., Spendelow, J. A., and Hatfield, J. S., Zingo, J. M., Gough, G. A. 1998. Variations in growth of Roseate Tern chicks: II . Early growth as an index of parental quality. *The Condor* 100:305-315
- Nibset, I. C. T., Apanius, V., and Friar, M. S. 2002. Breeding performance of vary old Common Tern. *Journal of Field Ornithology* 73(2):117-124
- Paiva, V. H., Ramos, J. A., Catry, T., Pedro, P., Medeiros, R., and Palma, J. 2006.

- Influence of environmental factors and energetic value of food on Little Tern *Sterna albifrons* chick growth and food delivery. *Bird Study* 53:1-11
- Paiva, V. H., Ramos, J. A., Martins, J., Almeida, A., and Carvalho, A. 2008. Forging habitat selection by Little Terns *Sterna albifrons* in an estuarine lagoon system of southern Portugal. *IBIS* 150:18-31
- Quinn, J. S., and Sirdevan, J., 1998. Experimental measurement of nesting substrate preference in Caspian Tern, *Sterna caspia*, and the successful colonization of human constructed island. *Biological Conservation* 85:63-68
- Ramos, J. A. 2001. Seasonal variation in reproductive measures of tropical Roseate Terns *Sterna dougllii*: previously undescribed breeding patterns in a sea bird. *IBIS* 143:83-91
- Ratcliffe, M., Craik, C., Helyar, A., Roy, S., and Scott, M. 2008. Modelling the benefits of American Mint *Mustela vison* management options for terns in west Scotland. *IBIS* 150:114-121
- Robinson, J. A., Hamer, J. C., and Chivers, L. S. 2001. Contrasting brood sizes in Common and Arctic Tern: the roles of food provisioning rates and parental brooding. *The Condor* 103:108-117
- Ruhlen, D. T., Abbott, S., Stenzel, L. S., and Page, G. W. 2003. Evidence that human disturbance reduces Snowy Plover chick survival. *Journal of Field Ornithology* 74(3):300-304.
- Salzman, A. G. 1982. The selective importance of heat stress in Gull nest location. *Ecology* 63(3):742-751
- Shealer, D. A., Buzzell, J. M., and Heiar, K. P. 2006. Effect of floating nests platforms on the breeding performance of Black Terns. *Journal of Field Ornithology* 77(2):187-194
- Smith, G. C. 1990. Factors Influencing egg laying and feeding in Black-naped Terns

- Sterna sumatrana*. EMU 90:88~96
- Suddaby, D., and Ratcliffe, N. 1997. The effects of fluctuating food availability on breeding Arctic Terns (*Sterna paradisaea*). The Auk 114(3):527-530.
- Szentirmai, I., and Szekely, T. 2002. Do Kentish Plover regulate the amount of their nest material? An experimental test. Behavior 139:847-859.
- Voigts, D. K. 1999. Observation of a colony of roof-nesting Least Terns, 1988-1997. Florida Field Naturalist 27(3):103-108
- Wendeln, H., and Becker P. H. 1999. Effects of parental quality and effort on the reproduction of Common Terns. Journal of Animal Ecology 68:205-214.
- Weston, M. A., and Elgar, M. A. 2000. The effect of major rainfall event on Hooded Plovers on a salt-lake in Western Australia. EMU 100:64-69
- Østnes J. E., Jensen C., Ostheim. J., and Bech. C. 1979. Physiological characteristics of Arctic Tern *Sterna paradisaea* chicks in relation to egg volume. Polar research 16(1):1-8
- 中興工程顧問股份有限公司。2007。彰濱工業區開發工程環境監測、規劃研究及其他工作期中審查會報告。中興工程顧問股份有限公司。台北
- 呂正仁。1997。大肚溪口鷓形目、燕鴨科、鷺科鳥類群聚族群變動之研究。碩士論文。東海大學。台中。
- 東海大學環境科學研究所。1997-2005。彰化濱海工業區開發工程環境監測計畫-鳥類監測計畫。經濟部工業局。台北。
- 施月英。2008。海岸風力發電基對鳥類群聚的影響-彰濱工業區崙尾風力場為例。碩士論文。靜宜大學。台中。
- 蔡嘉陽。2007。彰濱工業區肉粽角的沙塵暴。彰化海岸保育行動聯盟電子報。彰化。
- 辜國展。2005。大肚溪口繁殖及東方環頸鴉活動模式之研究。碩士論文。東海大學。台中。

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。

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。

蔣忠祐、劉威廷、辜國展、陳炳煌、洪崇航。2008。彰濱工業區內營造水鳥繁殖地

之經營管理策略。第七屆海峽兩岸鳥類學術研討會。台北。

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。

表一、前人研究中的小燕鷗與白額燕鷗繁殖成功率與失敗主因列表

鳥種	地點	作者	孵化成功率	失敗主因
小燕鷗	葡萄牙	Catry et al., 2004	曬鹽場 46.9%	捕食
			海灘 45.7~48.6%	捕食
	葡萄牙	Medeiros et al., 2006	曬鹽場 40.5~66.4%	捕食與淹水
			海灘 26.7~59.2%	捕食與人為
	韓國	Hong et al., 1998	77%	降雨與捕食
白額燕鷗	印尼	Holloway 1993	36%	捕食
	美國 Indiana 洲	DeVault et al., 2006	2003 年 20.5%	淹水
			2004 年 15.4%	捕食
	美國 Mississippi 河 下游	Dugger et al., 2002	1986~1993 年 1.09 雛鳥/每對親鳥	淹水

表二、2007與2008年的平均巢蛋數比較:2008年的平均巢蛋數量顯著較2007高。

年份	總巢數	巢蛋數			平均值 (Mean±S.D)	Mann-Whitney U Test $\chi^2(p)$
		1	2	3		
2007	46	16	22	8	1.83±0.709	9.379 (0.002)**
2008	103	7	61	31	2.19±0.611	

*表p value<0.05

**表p value<0.01

表三、2007與2008兩種巨棲地環境中的平均巢蛋數量與體積比較:2008年兩巨棲地環境中的平均巢蛋體積呈現顯著的差異，且以礫石地環境較高。

年份	影響因子	沙丘		礫石地		Mann-Whitney U Test $\chi^2(p)$
		n	Mean±S.D	n	Mean±S.D	
2007	巢蛋數	35	1.80±0.677	11	1.91±0.831	0.133 (0.716)
2008	巢蛋數	28	2.11±0.786	75	2.23±0.535	0.290 (0.59)
	巢蛋體積	27	8.27±1.02	71	8.99±0.97	10.734 (0.001)**

*表p value<0.05

**表p value<0.01

表四、廣泛線性模式分析2008年產卵時程和巨棲地對平均巢蛋體積的影響程度。

影響因子	Generalized Linear Models $\chi^2(p)$
巨棲地	2.648 (0.104)
產卵時程	3.339 (0.068)
巨棲地×產卵時程	8.768 (0.003)*

*表p value<0.05

**表p value<0.01

表五、二元式邏輯迴歸分析2007與2008年對孵化成功率影響因子列表。

年份	影響因子	Binary Logistic Regression		
		Wald	Sig.	R Square
2007	產卵時程	2.949	0.708	0.243
2008	巨棲地	6.196	0.013*	0.232
	產卵時程	6.005	0.199	

*表p value<0.05

**表p value<0.01

表六、2008年兩種巨棲地環境中的孵化成功率比較。

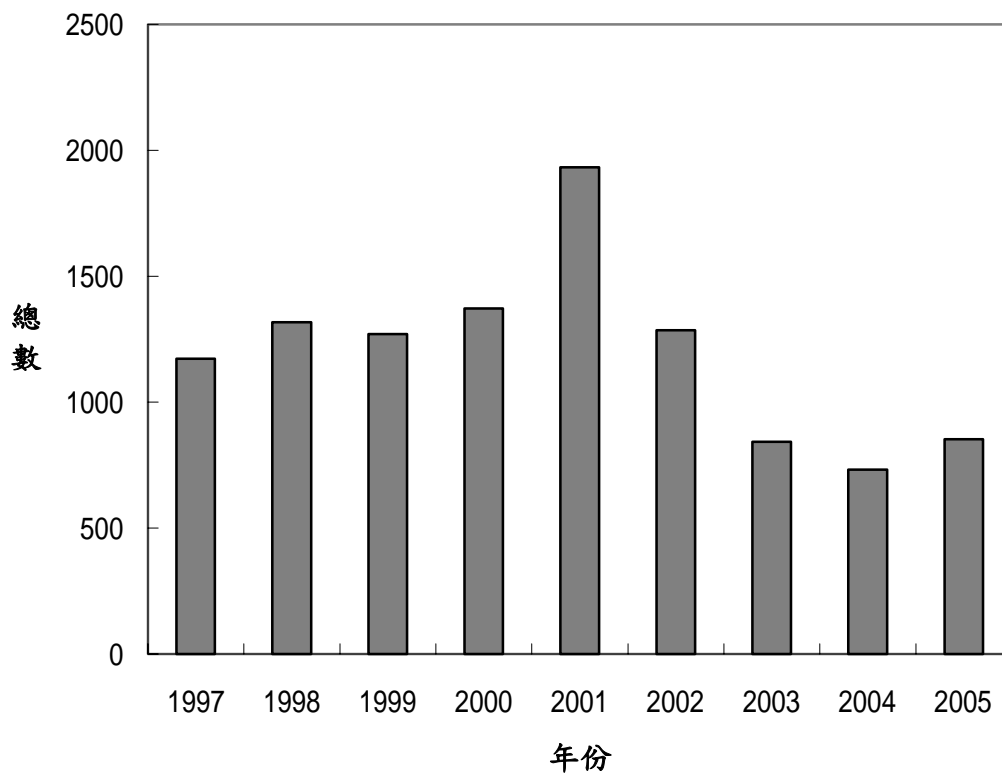
影響因子		失敗巢數	成功巢數	孵化成功率
巨棲地	沙丘	26	2	16%
	礫石地	47	28	37%

表七、二元式邏輯迴歸分析2008年沙丘與礫石地中對孵化成功率影響因子列表：
沙丘環境因孵化成功巢數過少(2巢)故不進行分析。

巨棲地	影響因子	Binary Logistic Regression		
		Wald	Sig.	R Square
沙丘	-	-	-	-
礫石地	產卵時程	7.582	0.108	0.183

*表p value<0.05

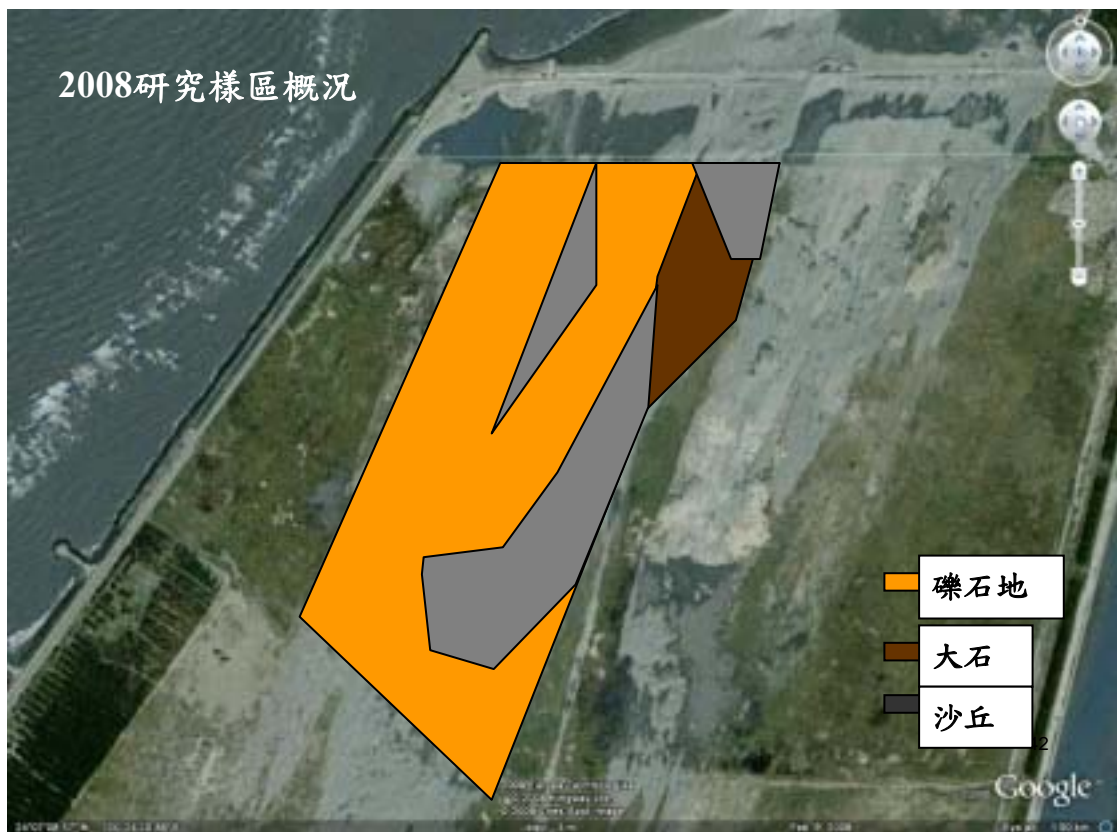
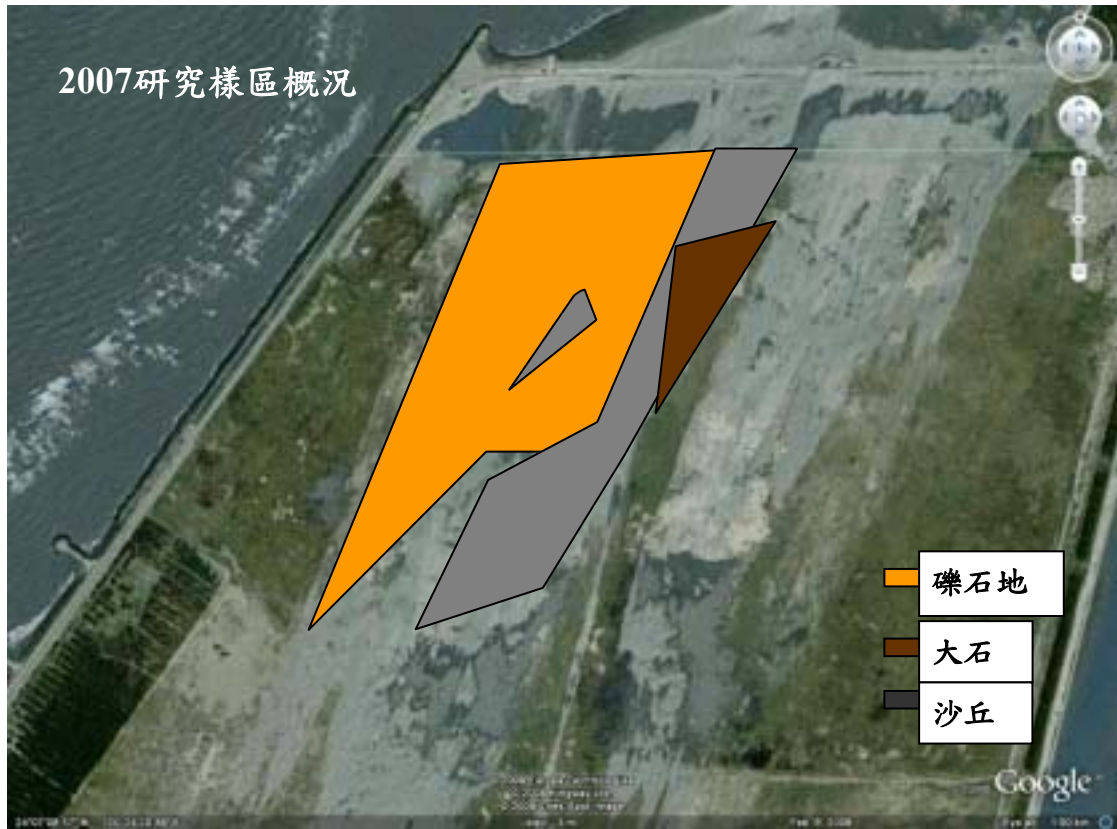
**表p value<0.01



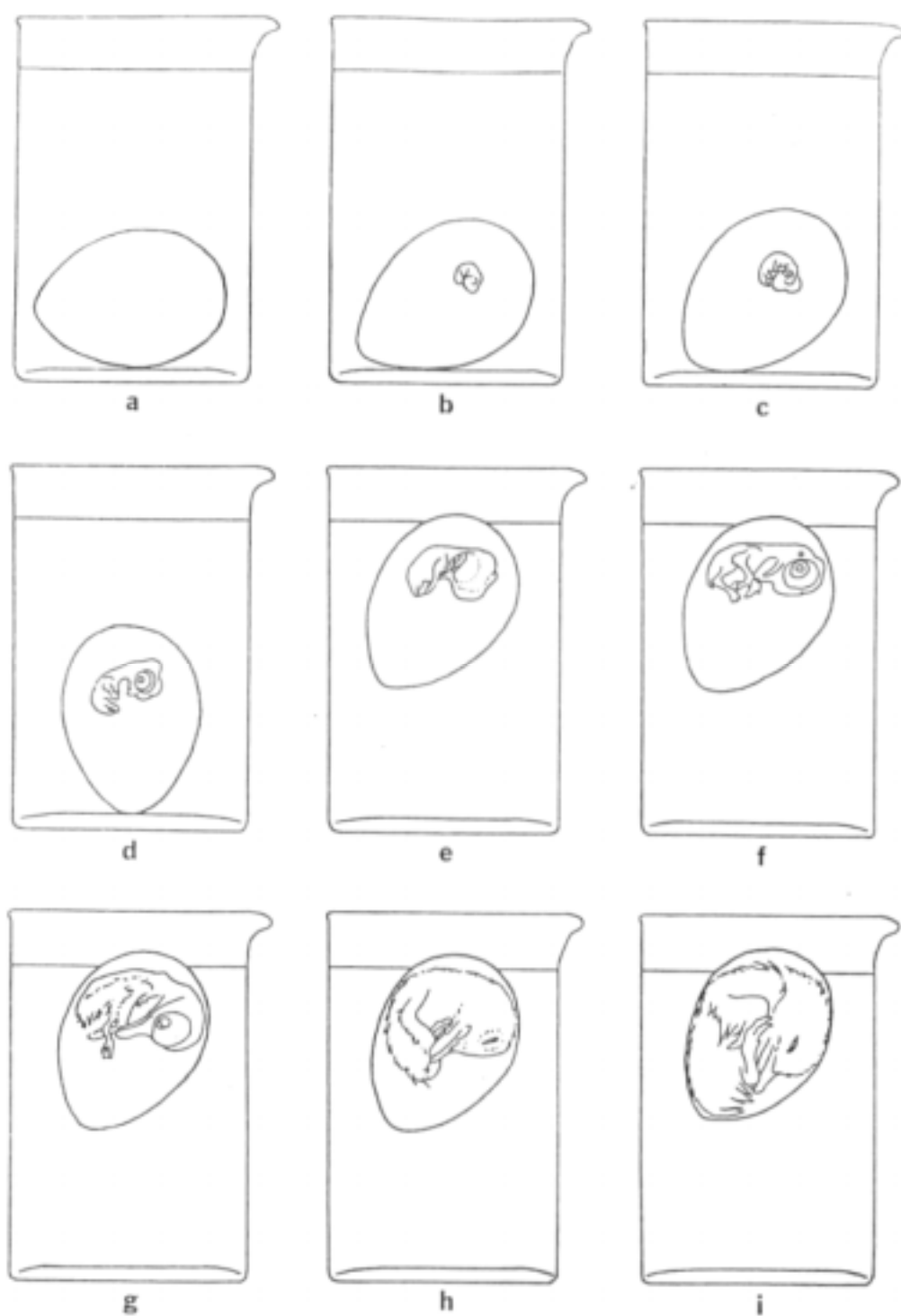
圖一、1997年至2005年彰濱工業區內小燕鷗族群數量:在2001至2005年間小燕鷗族群數量有遞減的現象。



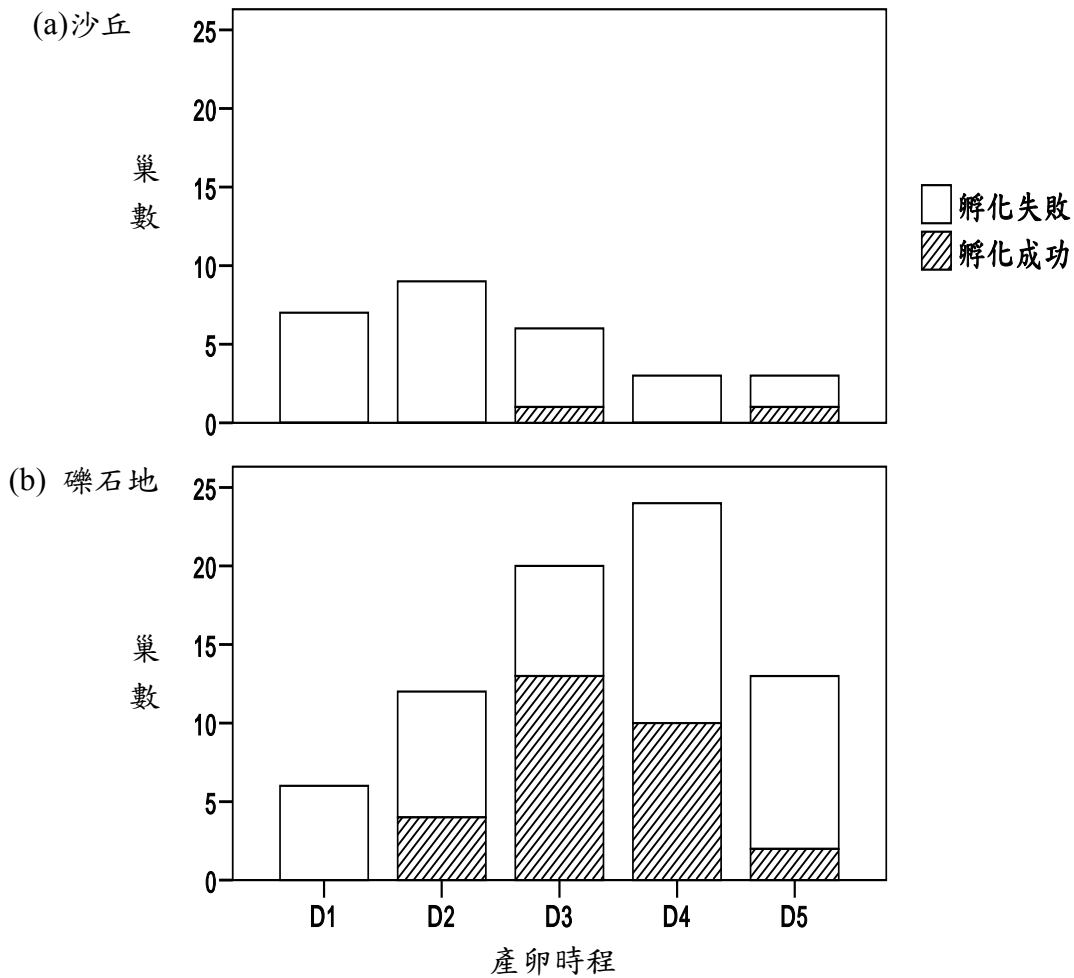
圖二、彰濱工業區全景圖:紅框處為本研究樣區(本圖取自 Google Earth 軟體)。



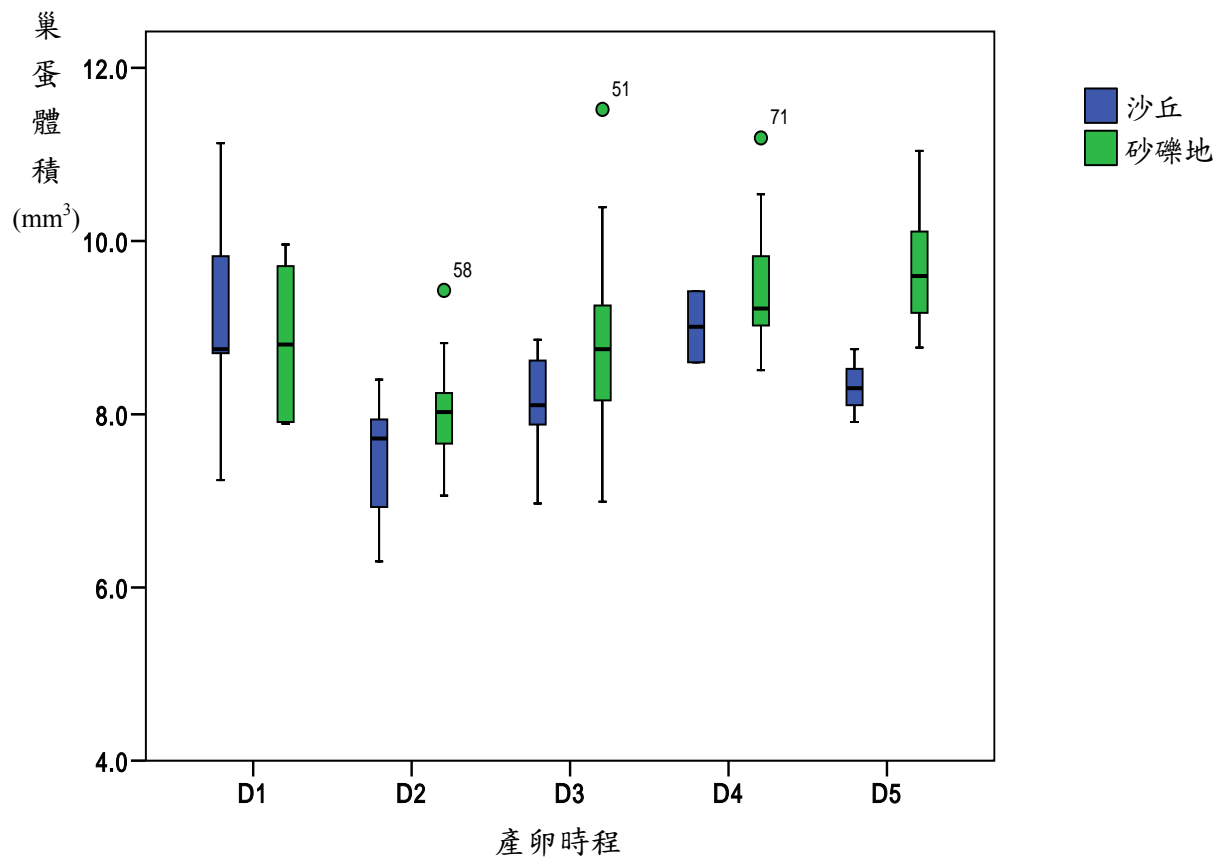
圖三、兩年研究樣區棲地類型分布概況:圖中未標識之地區大部份為高覆蓋度的植被或積水的大水池(本圖取自 Google Earth 軟體)。



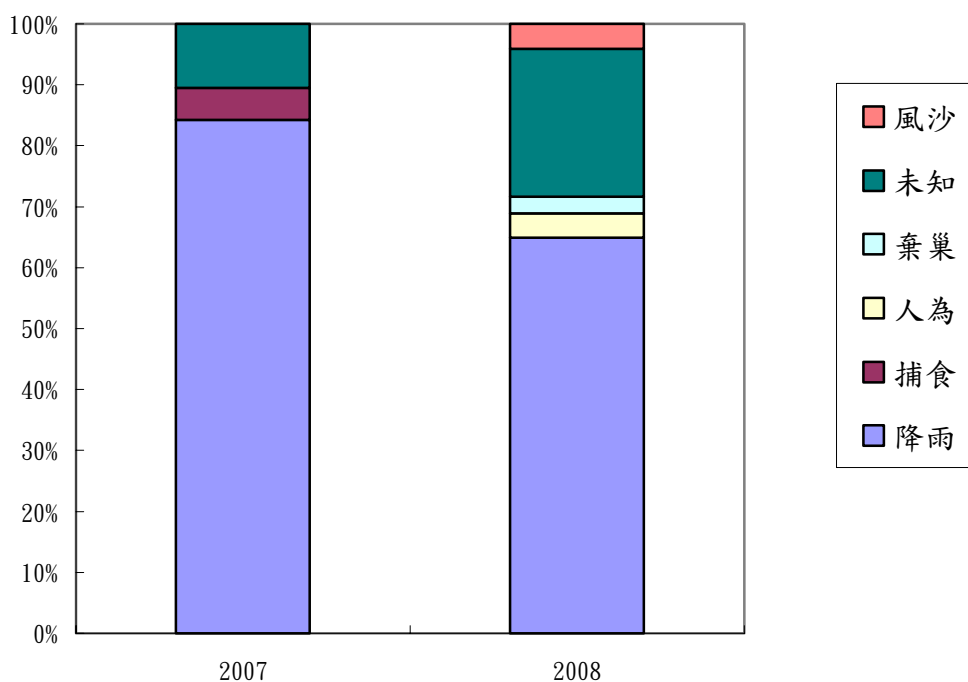
圖四、漂浮法對照表:(a)1-2日，(b)3-4日，(c)5-6日，(d)7-8日，(e)9-10日，(f)11-12日，(g)13-14日，(h)15-16日，(i)17-18日(Hay & LeCroy 1971)，在接近孵化日期時(g,h,i)主要的判斷標準為巢蛋浮出水面的高度。



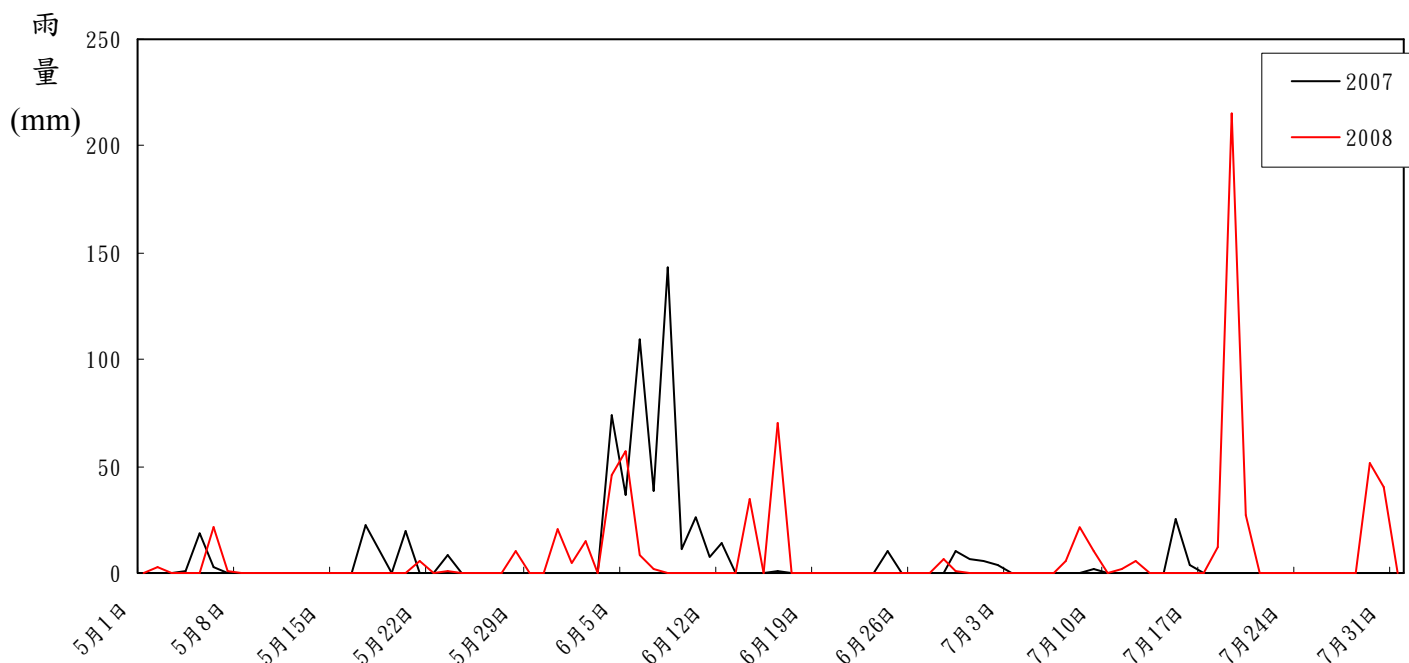
圖五、2008年棲地利用與孵化成功巢數在產卵時程上的分布情形: 2008年巨棲地的利用情形在產卵時程在中有顯著差異(Chi-Square tests, $\chi^2=11.591$, $p=0.021$)，圖(a)與圖(b)分別為沙丘與礫石地環境中的巢數在產卵時程上的分布情形，斜線代表的是在其中成功孵化的巢數。



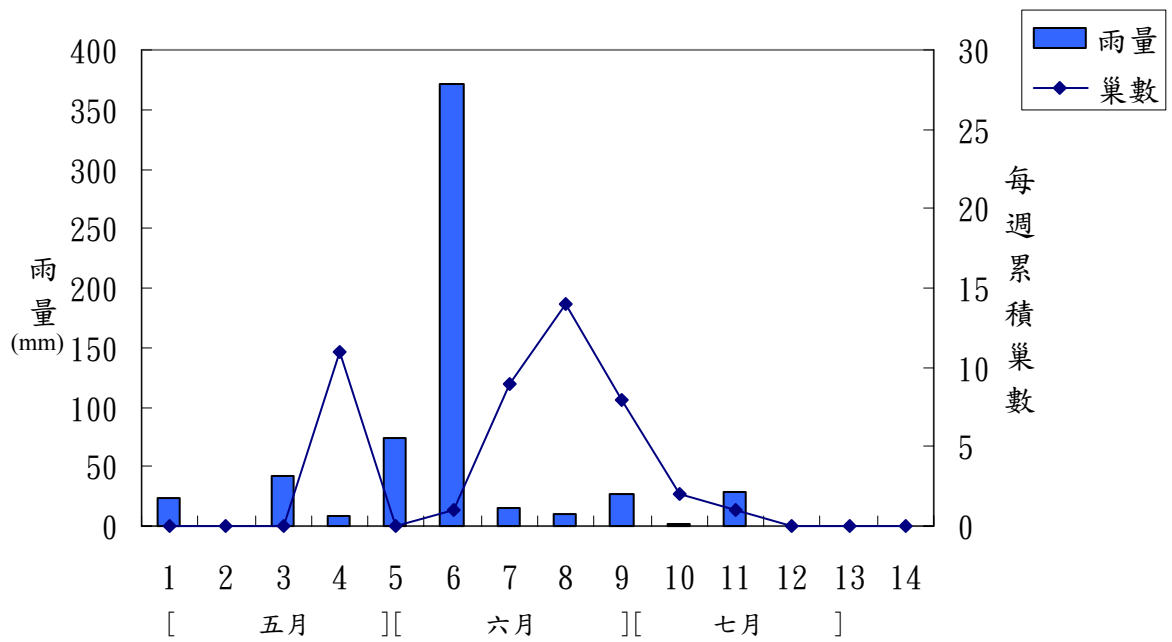
圖六、2008年兩種巨棲地環境中的巢蛋體積在產卵時程上的箱型圖：兩種巨棲地環境中的巢蛋體積在產卵時程上的變化都有顯著的差異(Kruskal Wallis Test: 礫石地: $\chi^2=23.717$, $p=0.015$; 沙丘: $\chi^2=12.328$, $p=0.001$)。



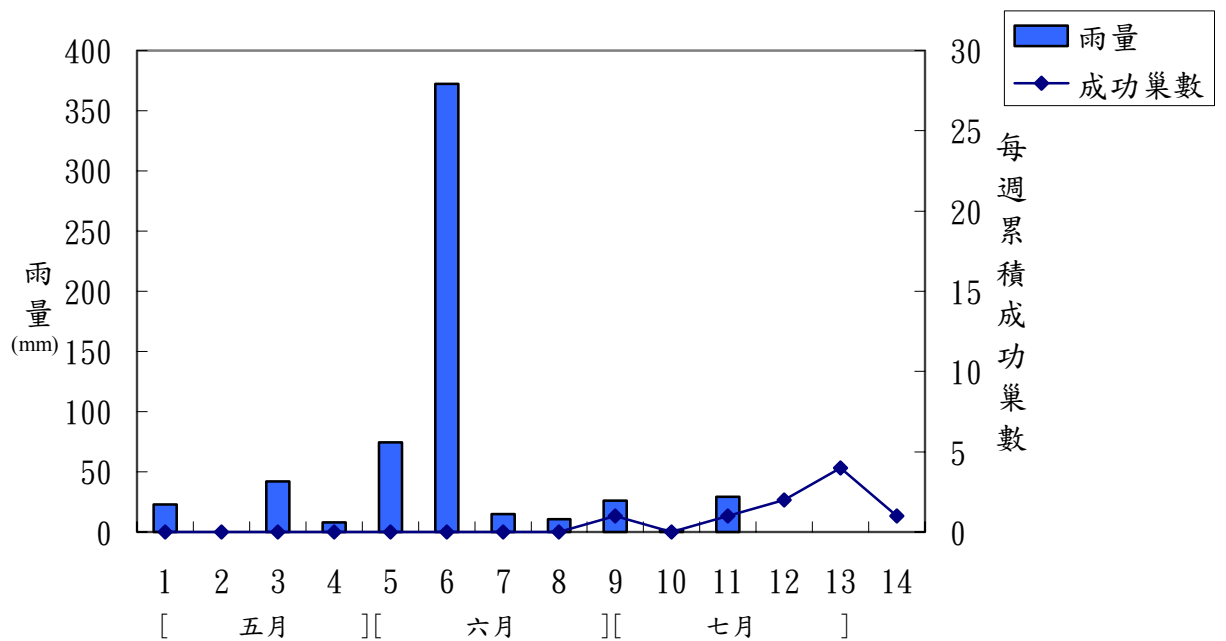
圖七、2007 與 2008 年各繁殖成功失敗原因比例圖：兩年都以降雨造成的繁殖失敗為主，比例分別為 2007 年: 84% (n=32), 2008 年: 67% (n=48)。



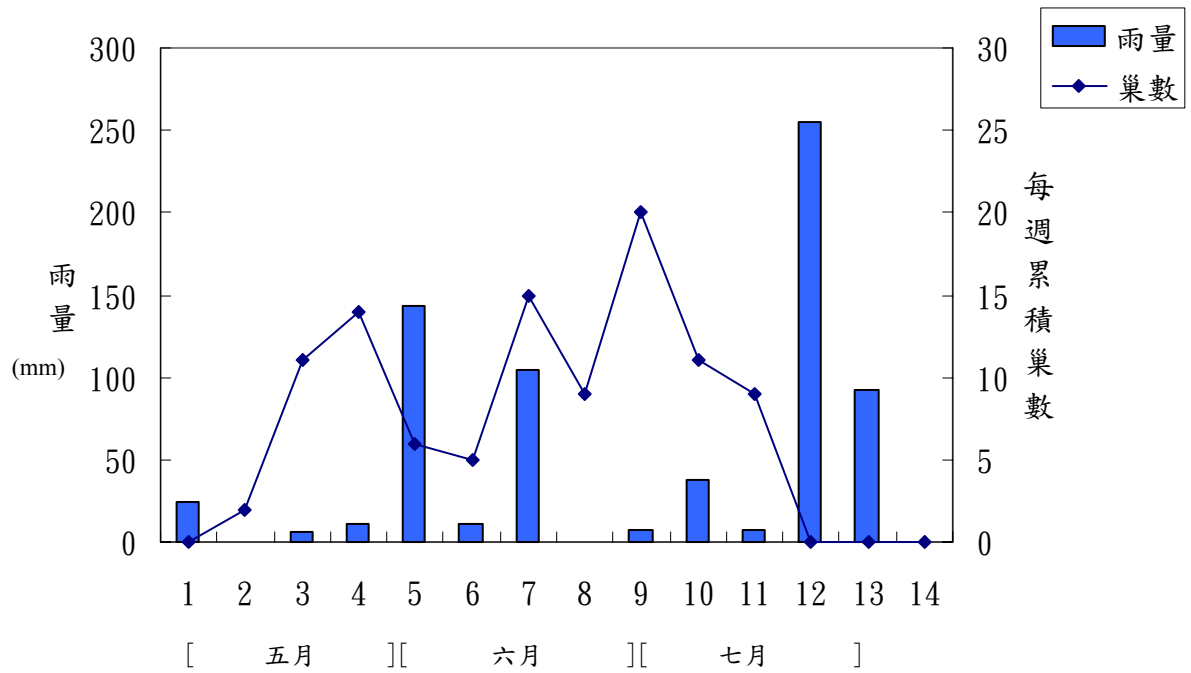
圖八、2007 與 2008 年雨量分布曲線圖: 2007 年的降雨量(黑線)集中在六月初至六月間，造成了嚴重的淹水情形；2008 年的降雨較為分布(紅線)，但在七月中登陸的颱風帶來豐沛且集中的雨量，也造成全區大規模的淹水。



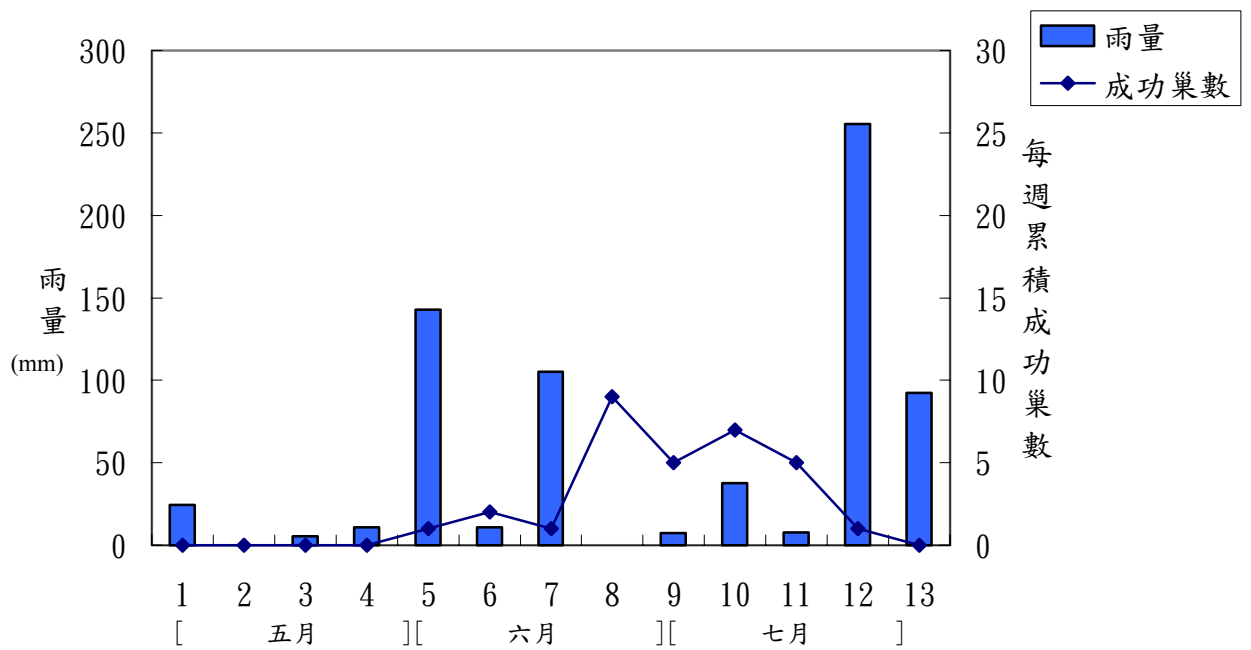
圖九、2007年每週累積雨量與築巢數比較圖。



圖十、2007年每週累積雨量與成功孵化巢數比較圖。



圖十一、2008年每週累積雨量與築巢數比較圖。



圖十二、2008年每週累積雨量與成功孵化巢數比較圖。



圖十三、崙尾工業區內的人為干擾情形:下圖沙丘上帶有白漆的木樁為小燕鷗巢位的標記物，距離巢位約4公尺。



圖十四、沙丘與礫石地環境中的掩蔽度比較:上圖的巢位有使用巢材(小石塊)，下圖巢位附近的痕跡為親鳥的足跡。



圖十五、遭風沙掩埋與被雨水沖離巢位的巢蛋。



圖十六、遭人為標記與破壞的巢。



圖十七、小燕鷗親鳥與雛鳥:下圖為亞成鳥(照片來源:蔡嘉揚博士)。