

行政院農業委員會林務局林業發展計畫

107 年度細部計畫結案報告書

計畫名稱：利用衛星追蹤與重金屬累積資訊作為海鳥重要棲
息地指標 (2/3)

Using Satellite Tracking and Heavy Metal Accumulation as a
Reference for Marine Important Bird Areas

107 林發-08.1-保-25(1)

執行機關：國立臺灣大學

計畫主持人：袁孝維教授

107 年 12 月

摘要

107 年度馬祖地區的鳳頭燕鷗分別至鐵尖島、蛇山島和瀏泉礁繁殖。鐵尖島約 500 隻的繁殖群因無法確認的原因於 06 月 01 日棄巢。蛇山島的繁殖群受到瑪麗亞颱風的直襲而導致繁殖失敗。瀏泉礁可能也受到颱風的影響，僅有約 25 隻幼鳥存活。根據今年於燕鷗保護區的燕鷗族群調查，鳳頭燕鷗於馬祖保護區最大的族群出現在 6 月中旬，約有 1450 隻；黑嘴端鳳頭燕鷗的最大族群量出現在 5 月底，8 隻，其餘時間則穩定觀察到的數量為 4 至 5 隻。今年度嘗試在觀察小屋外加一條廊道，但因未達期望且不適用於鐵尖島，因故提前拆除。在植被清除的部分，透過去年空拍計算巢位與環境建模的巢位偏好分析，擴大了棲地整理的面積，提供更多的空間給燕鷗作為繁殖使用。繁殖季前的天敵移除作業，並未在鐵尖捕抓到老鼠，僅在中島捕獲 1 隻小黃腹鼠，需要繼續監測老鼠的族群量，進一步控制其族群的擴張，避免造成燕鷗繁殖的危害。燕鷗繫放作業總計在澎湖縣雞善嶼繫放鳳頭燕鷗成鳥 38 隻，在連江縣瀏泉礁繫放幼鳥 22 隻，一共 60 隻個體。並在 38 隻成鳥中挑選 5 隻體重足夠的個體進行衛星追蹤，在 22 隻幼鳥中挑選 10 隻體重足夠的進行 GPS-UHF 追蹤記錄器的追蹤。燕鷗繫放個體目擊記錄有 25 筆，來自馬祖、鐵墩島及澎湖。鳳頭燕鷗北返的路線和南遷的路徑相似，並直接抵達前一年的繁殖棲地，可見鳳頭燕鷗對其繁殖棲地有一定的忠誠度。截至 107 年 12 月 10 日，目前仍有衛星訊號回傳的個體數量為 10 隻。秋季遷徙的路線和去年衛星追蹤的結果相似，106 年裝置衛星發報器的個體仍舊回到相同的度冬地。107 年度於澎湖縣雞善嶼裝置衛星發報器的 5 隻個體則都是到菲律賓度冬，有 1 隻個體的路徑特別，沿著中國大陸沿海往中南半島飛，但在越南的時候改往西方飛越海洋抵達菲律賓。重金屬濃度檢測則發現澎湖鳳頭燕鷗成幼鳥胸羽中的重金屬濃度鋅已經超過文獻中認定對鳥類產生負面影響的危害值，且銅和砷可能是澎湖地區潛在的污染危機。其中重金屬砷在先前的研究中也發現馬祖地區的鳳頭燕鷗幼鳥胸羽中的濃度高於成鳥胸羽，應要持續監測並觀察是否會對鳳頭燕鷗族群的造

成影響。在蛋的型質方面，馬祖的蛋在蛋長、蛋寬和蛋殼厚度上皆顯著大於澎湖地區，代表其供應蛋孵化的養分較為充足，也可代表親鳥的繁殖品質較佳，應該是相對好的繁殖狀態。然而，馬祖地區鳳頭燕鷗的繁殖狀況年間差異大，可能外在環境存有未知的限制因子，影響最後的繁殖成果。未來的短程目標應以維持並增加黑嘴端鳳頭燕鷗族群量為優先並且對於其活動分布有更深入的了解，持續監測人為營造的繁殖棲地狀況，避免生態陷阱的產生；並且和浙江自然博物館與南韓團隊建立穩定的訊息交流平台，以掌握燕鷗族群的整體動態。

目錄

壹、 前言	1
一、 擬解決問題	2
二、 研究目標	3
貳、 研究方法.....	5
一、 研究地點	5
二、 實施方法	6
(一) 棲地環境調查與營造.....	6
(二) 聲音與影像監視系統架設.....	6
(三) 燕鷗繫放作業.....	7
(四) 燕鷗胸羽、蛋殼和重金屬濃度檢測.....	7
(五) 燕鷗蛋殼厚薄度監測.....	8
(六) 裝置衛星發報器 5 組及 10 組 GPS-UHF 追蹤記錄器.....	8
(七) 維護海峽兩岸黑嘴端鳳頭燕鷗保育資訊網.....	9
(八) 參與海峽兩岸交流會議.....	9
(九) 出席國際研討會並發表本計畫研究成果.....	9
(十) 發布臺灣黑嘴端鳳頭燕鷗族群現況於國際鳥類保育組織或期刊之電子報中.....	10
參、 執行成果.....	11
一、 棲地環境監測與營造.....	12
二、 自動影像與聲音記錄器架設.....	20
三、 燕鷗繫放	24
四、 燕鷗胸羽、蛋殼和食魚之重金屬濃度檢驗.....	28
五、 燕鷗蛋殼厚薄度檢測.....	33
六、 裝置衛星發報器和 GPS-UHF 追蹤記錄器	36
七、 維護海峽兩岸黑嘴端鳳頭燕鷗保育資訊網.....	43
八、 參與海峽兩岸交流會議.....	45
九、 出席國際研討會並發表本計畫研究成果.....	49
十、 發布臺灣黑嘴端鳳頭燕鷗族群現況於國際鳥類保育組織或期刊之電子報中	50
肆、 結論與建議.....	51
伍、 參考文獻.....	54
附錄一、繫放記錄	56
附錄二、2014 年至 2018 年鳳頭燕鷗樣本之重金屬濃度檢測結果	59

圖目錄

圖 1、馬祖列島燕鷗保護區各島嶼位置。	5
圖 2、於 2015 年繫放之黑嘴端鳳頭燕鷗(A74)確認於蛇山島參與繁殖。紅圈處可見 A74 個體帶有的白色足旗。	11
圖 3、工作人員於鐵尖島上用割草機整理過高的植被。	13
圖 4、保留移除的植被平鋪於地表以減緩雨水沖蝕和土壤流失。	13
圖 5、擺設燕鷗假鳥模型吸引真鳥。	14
圖 6、於觀察小屋架設太陽能板供電給回播系統。	14
圖 7、以角鋼和黑色遮光網搭建的廊道。	15
圖 8、於繁殖季前在島嶼上設置小型哺乳類陷阱 SHERMAN LIVE TRAP。	16
圖 9、SHERMAN LIVE TRAP 捕抓到非移除目標物種—中國石龍子。	17
圖 10、SHERMAN LIVE TRAP 捕抓到移除目標物種—小黃腹鼠。	17
圖 11、鳳頭燕鷗偏好相對高度比較高、植被覆蓋率相對低以及地表斜率小的環境作為巢位。	18
圖 12、根據燕鷗巢位分布之預測模式，推估鐵尖島上燕鷗築巢的可能性分布。顏色越深表示燕鷗在此築巢的可能性越高。	19
圖 13、比較今年度(2018 年)和去年度(2017 年)島上植被清除後空拍照，可見 2018 年的植被清除區域明顯增加許多。	19
圖 14、自動相機於鐵尖島上的架設位置，不同編號代表不同台自動相機。	20
圖 15、05 月 30 日上午 08:15 鳳頭燕鷗抵達鐵尖島。紅圈中為鳳頭燕鷗。	21
圖 16、05 月 30 日上午 10:30 鳳頭燕鷗停棲於鐵尖島頂上(紅箭號處)。	21
圖 17、05 月 31 日上午 08:15，鳳頭燕鷗開始於鐵尖島頂爭奪巢位。	22
圖 18、06 月 01 日上午 11:00 鳳頭燕鷗仍穩定停棲於鐵尖島上。	22
圖 19、06 月 01 日上午 11:15 鳳頭燕鷗開始於空中盤旋，不回巢。	23
圖 20、06 月 01 日下午 16:30 鳳頭燕鷗全數離開，只剩下棄蛋。	23
圖 21、於澎湖縣雞善嶼架設霧網進行鳳頭燕鷗繫放作業。	24
圖 22、挑選體重足夠背負發報器的個體進行衛星追蹤。	25
圖 23、於瀏泉礁繫放鳳頭燕鷗幼鳥，以藍色色環白色編碼標示。	25
圖 24、大陸記錄到馬祖 2017 年繫放的鳳頭燕鷗成鳥在鐵墩島繁殖。	27
圖 25、鳥友 FRANCISCA WU 於澎湖成功水庫記錄到馬祖 2017 年繫放的鳳頭燕鷗成鳥 C76。	27
圖 26、重金屬鋅在成鳥胸羽和幼鳥胸羽中的濃度已超過和接近危害值 100PPM(紅色線標示)，可能會對澎湖地區的鳳頭燕鷗造成危害。	29
圖 27、澎湖地區鳳頭燕鷗幼鳥胸羽中的重金屬銅濃度高於成鳥胸羽中的重金屬銅濃度，顯示銅可能是澎湖地區潛在的汙染危機。	31
圖 28、澎湖地區鳳頭燕鷗幼鳥胸羽中的重金屬砷濃度高於成鳥胸羽中的重金屬砷濃度，顯示砷可能是澎湖地區潛在的汙染危機。	31

圖 29、馬祖地區鳳頭燕鷗的蛋長大於澎湖地區鳳頭燕鷗的蛋長($P=0.027$)。.....	34
圖 30、馬祖地區鳳頭燕鷗的蛋寬大於澎湖地區鳳頭燕鷗的蛋寬($P<0.001$)。.....	35
圖 31、馬祖地區鳳頭燕鷗的蛋殼厚度大於澎湖地區鳳頭燕鷗的蛋殼厚度($P=0.002$)。.....	35
圖 32、106 年度繫放之衛星發報器個體北返路線。.....	40
圖 33、107 年度於澎湖縣雞善嶼 5 隻裝置衛星發報器的鳳頭燕鷗南遷路徑。.....	41
圖 34、當年繁殖成功的個體會盡快返回度冬地，遷徙的天數較短($P<0.05$)。.....	42
圖 35、黑嘴端鳳頭燕鷗保育資訊網網站。.....	44
圖 36、2018 年海峽兩岸中華鳳頭燕鷗保育交流研討會合照。.....	45
圖 37、107 年 6 月至 8 月 3 隻 106 年度裝置衛星發報器個體的活動熱點資訊。.....	46
圖 38、大陸連江縣外海四母嶼近照。.....	47
圖 39、四母嶼島上環境照片，枯黃被壓扁的植被是鳳頭燕鷗的繁殖巢區。.....	47
圖 40、四母嶼島上的鳳頭燕鷗棄蛋。.....	48
圖 41、四母嶼島上的燕鷗幼鳥屍體。.....	48
圖 42、研究團隊參與「INFORMATION EXCHANGE AND PROMOTION OF SEABIRD RESEARCH AND CONSERVATION IN PACIFIC OCEAN」圓桌會議合照。.....	49
圖 43、本研究團隊發表於國際期刊 BIRD CONSERVATION INTERNATIONAL 的研究文獻。.....	50

表目錄

表 1、107 年度燕鷗足旗資訊回報記錄。	26
表 2、105 年度至 107 年度衛星發報器繫放追蹤的相關資料(截至 107 年 12 月 10 日)。	38

壹、前言

黑嘴端鳳頭燕鷗在 IUCN 紅皮書中被列為極危物種，2000 年在馬祖列島燕鷗保護區再度被發現(BirdLife International, 2017; Liang *et al.*, 2000)。臺灣的馬祖和澎湖、大陸的五峙山群島和韭山列島以及南韓靈安郡是目前已知的 5 個繁殖地，其中僅有南韓的繁殖族群與黑尾鷗混群，其他的繁殖族群皆和大鳳頭燕鷗共域活動(袁孝維，2016)。為瞭解兩種燕鷗在海峽間的移動情形和繁殖動態，2013-2016 年間起本團隊在馬祖列島燕鷗保護區透過直接觀察、架設自動相機與繫放等方式監測其族群動態(袁孝維，2013 - 2017)。

本研究與台北市野鳥學會、澎湖縣野鳥學會、浙江自然博物館、福建觀鳥會與國際鳥盟合作同步進行繁殖族群調查，確認黑嘴端鳳頭燕鷗的族群量有 100 隻，突破過去不到 50 隻的歷史紀錄(袁孝維，2015)。更透過繫放 424 隻大鳳頭燕鷗與 1 隻黑嘴端鳳頭燕鷗，持續累積兩岸的目擊記錄，確認兩岸的燕鷗為關連族群，未來兩岸的持續合作將更為重要(袁孝維，2013 - 2017)。透過 2008 與 2016 年的大鳳頭燕鷗衛星追蹤資訊，我們也確認馬祖地區的大鳳頭燕鷗有兩條遷徙路線，在秋季南遷時沿著南中國海岸，一是沿著海岸飛往東南亞緬甸和柬埔寨，二是在廣東省汕尾市轉向飛往菲律賓。且據追蹤資訊可發現 7-8 月間燕鷗除馬祖之外在浙江溫州、金門、廣東汕尾與海南島都有活動熱點出現，可能為潛在的繁殖地或重要的覓食地(台北市野鳥學會，2008；袁孝維，2016)。

此外，在海洋氣候環境與歷年(2008 - 2016)燕鷗族群變化的關係分析中，我們發現夏季的海水葉綠素濃度和燕鷗族群有顯著正相關，海水表面溫度距平值則會造成燕鷗族群負面的影響，顯示馬祖周圍海域的基礎生產量可能是影響燕鷗族群量的關鍵因子(袁孝維，2016)。而藉由分析燕鷗的胸羽與蛋殼中的重金屬含量，我們也發現燕鷗體內的的重金屬累積情形在年間的變異很大，且汞在蛋殼及成、幼鳥胸羽的累積有增加趨勢，而砷在幼鳥胸羽中濃度大於成鳥胸羽，可能為馬祖地

區潛在的污染物，應持續監測污染物對燕鷗族群造成的影響(袁孝維，2015 - 2017)。

2016 年我們也首度確認燕鷗有夜間棄巢的現象，顯示繁殖巢區可能有潛在的天敵威脅，同年也開始發現鐵尖嶼上有小黃腹鼠出現，因此天敵移除與夜間監測將會是未來重要的工作(袁孝維，2016)。

一、 擬解決問題

1. 營造適宜棲地維護黑嘴端鳳頭燕鷗與大鳳頭燕鷗繁殖島嶼環境，以監測燕鷗族群數量、繁殖成功率及其族群限制因子，如：天敵、環境污染或自然災害…等，並持續監測馬祖地區燕鷗族群動態。
2. 透過衛星追蹤資料判視燕鷗重要活動熱點，以分析大尺度之海鳥重要棲息地範圍作為生物多樣性保育的參考，和小尺度之燕鷗覓食/活動範圍與環境偏好，以推估其潛在繁殖棲地與可能的分布範圍。
3. 檢測大鳳頭燕鷗胸羽、蛋殼與食魚的重金屬濃度並建立資料庫，探討環境污染物對燕鷗繁殖或族群的影響並瞭解環境污染物對於海洋生態系影響程度及時空變化。

二、 研究目標

(一) 全程目標

1. 於繁殖季前進行島嶼棲地環境監測，營造適合燕鷗繁殖的植被環境並且移除潛在的掠食者。
2. 透過島上觀察站的設置，輔以自動影像記錄器和聲音記錄器監測燕鷗繁殖巢區狀況，以掌握繁殖動態並加強夜間觀察，作為評估燕鷗族群成長趨勢參考。
3. 透過檢驗燕鷗胸羽、蛋殼以及食魚重金屬濃度及監測蛋殼厚薄度變化，瞭解環境汙染對於燕鷗生存與繁殖的影響，建立燕鷗胸羽、蛋殼和食魚等重金屬濃度資料庫。
4. 利用衛星發報器輔以繫放標誌作業追蹤燕鷗的移動與遷徙，分析重要地理分布資訊，作為海洋保護區與重要棲息地的熱點參考資訊，進而促進建立兩岸與東亞遷徙線上各國的保育合作。
5. 建構海峽兩岸燕鷗族群動態資訊與研究合作關係，匯集與交流各繁殖地黑嘴端鳳頭燕鷗與大鳳頭燕鷗之關聯族群動態資訊，作為大尺度保育策略與族群評估之參考。
6. 釐清黑嘴端鳳頭燕鷗族群數量、生活史與潛在地理分布。

(二) 本年度目標

1. 進行棲地環境監測與營造 2 次。
2. 架設自動影像與聲音記錄器 6 台。
3. 標誌大鳳頭燕鷗或黑嘴端鳳頭燕鷗共計 50 隻。
4. 檢驗燕鷗胸羽、蛋殼和食魚之重金屬濃度各 20 個樣本。
5. 檢測燕鷗蛋殼厚薄度 20 隻。
6. 裝置 5 組衛星發報器以及 10 組 GPS-UHF 追蹤記錄器。
7. 維護海峽兩岸黑嘴端鳳頭燕鷗保育資訊網 10 次。
8. 參與海峽兩岸交流會議 1 次。
9. 出席國際研討會並發表研究成果 1 次。
10. 發布臺灣黑嘴端鳳頭燕鷗族群現況於國際鳥類保育組織或期刊之電子報中 1 次。

貳、 研究方法

一、 研究地點

馬祖列島燕鷗保護區成立於 2000 年 1 月 26 日，保護區範圍涵蓋東引鄉之雙子礁，北竿鄉之三連嶼、中島、鐵尖、白廟、進嶼，南竿鄉之瀏泉礁，與莒光鄉之蛇山共 8 座島嶼(圖 1)。8 座島嶼均為孤立於各鄉外之無人島嶼，附近海域漁產豐富，平時除漁民前往捕魚、採集海產外，人跡罕至，造就為多種海鳥繁殖棲息的群聚地(劉用福 2008；張壽華 2008)。保護區之主要保護目標為以這些島嶼作繁殖地區的白眉燕鷗、紅燕鷗、蒼燕鷗、大鳳頭燕鷗、黑尾鷗、岩鷺、叉尾雨燕七種鳥類。在管理方面，為避免人為干擾，連江縣政府已劃設各保護區島礁低潮線向海面延伸 100 m 為緩衝區，觀光與漁業行為均被管制在此範圍外活動。

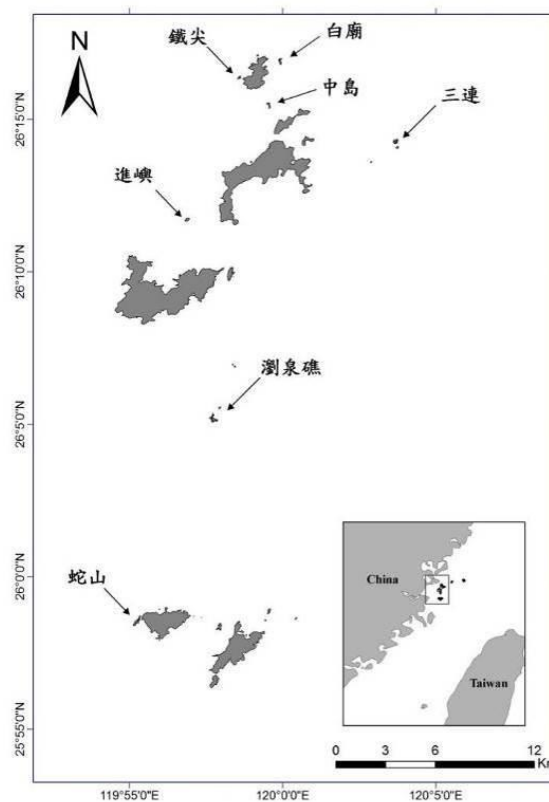


圖 1、馬祖列島燕鷗保護區各島嶼位置。

二、 實施方法

(一)棲地環境調查與營造

根據團隊過去之植被調查資料顯示，保護區內各座島嶼的植被環境隨季節、氣候與燕鷗繁殖擾動有相當大的變化。本計畫將延續過去的調查工作，在繁殖季前後進行各島嶼前在天敵移除及採樣包含土壤、棄蛋、鳥屍樣本等。若於繁殖季前發現環境不利於燕鷗繁殖利用(如植被高度過高、坡度過陡、植物種類不適宜燕鷗進駐等)，將利用小型器具進行小規模的棲地營造。

(二)聲音與影像監視系統架設

為加強燕鷗保護區內每座島嶼的燕鷗繁殖影像紀錄資訊，研究人員擬於繁殖季前登島架設 5-10 台具夜視與廣角功能之紅外線自動攝影機。紅外線自動相機是藉由高感度度的被動式紅外線動作感應器來偵測感應範圍內動作中或溫度異於環境的物體，觸發後即自動攝錄高解析相片或影片。相較於傳統底片式相機，影像都是直接儲存於機身內部的 SD 記憶卡中，在儲存容量與運作時間上都較傳統相機高出數倍。屆時依照拍攝目的設定定時每 0.5 至 1 小時拍照或錄影。在繁殖季結束後，研究人員將登島回收自動相機，檢視相片並透過自動相機的資料瞭解繁殖狀況。另外也將利用防水防塵的聲音紀錄器，長時間區段性、週期性的記錄背景聲音。放置在調查樣區一段時間後再收回至實驗室內，利用軟體或人工分析記錄到的物種，甚至可利用鳴叫聲來估計周圍的鳥類族群數量。視燕鷗保護區內各島嶼的面積大小與地形，一個島嶼放置 1 至 2 台聲音記錄器較為適合。

(三) 燕鷗繫放作業

為避免干擾，繫放工作將於繁殖後期確認未有仍孵巢之燕鷗成鳥後進行。捕捉方式將使用霧網，於晨昏間登島架設網具後離開，在海面上靜待鳥隻因視線不明中網再趨船登島解網，每次繫放工作時間以不超過兩小時為限。待捕捉到燕鷗成鳥或幼鳥後，將測量基本量值如：嘴喙長、翼長、附蹠長、體重、體長與換羽情形。在個體標誌部分，研究人員將在燕鷗成鳥左腳繫上金屬環、右腳繫代表臺灣之上白下藍編碼足旗，雛鳥則繫上金屬環與色環作為標記。若燕鷗族群因人為過度干擾而有棄巢或是鳥隻傷亡之疑慮時則應停止繫放工作。今年度除馬祖列島外，也將評估至澎湖、韭山或五峙山列島之大鳳頭燕鷗與黑嘴端鳳頭燕鷗繁殖地進行繫放之可能性。

(四) 燕鷗胸羽、蛋殼和重金屬濃度檢測

1. 樣本前處理

使用有效位數小數點後四位之電子天平，秤量適量樣品，至入 40ml 的耐溫耐酸螺蓋瓶中。加入 10ml 的硝酸(70% HNO₃, ACS 級)後蓋上螺旋蓋(含 TF 墊片)，放置通風櫥中靜置 9 小時。再將樣品放置於加熱版上，確認無蒸氣外溢的情況下緩緩加熱至 90°C 持續 6 小時使樣本酸解至液體呈現透明。待酸液冷卻後以去離子水定量至 20ml，再使用 0.45 μ m 濾膜過濾液體，並儲存於抗酸的 PP 材質離心館中待分析。

2. 重金屬檢測

前處理過後的樣品，皆使用感應耦合電漿質譜儀檢測八大重金屬濃度：鉛、鋅、銅、鎳、鉻、鎘、砷、汞。此儀器具有高靈敏度與多元素同時分析之優點，因此適合進行生物樣本之檢測，國內外已有多篇利用此方法檢測鳥類樣本之文獻。

檢測前將挑選數個樣品進行全波長偵測，以挑選較無干擾與合適的檢測波長，每一樣品應三重覆檢測，若發現三重覆出現異常數值，則再從新分析此樣品一次，樣品之分析結果應以 ppm 為表示單位。

(五)燕鷗蛋殼厚薄度監測

於繁殖季末登島採集燕鷗棄蛋，將棄蛋從腰部剖開，使用清水洗淨蛋內組織並將蛋膜移除，取蛋腰部 9 個點使用精度可至 0.001mm 之雙圓頭測微儀量測蛋殼厚度，再取其平均作為蛋殼厚度。

(六)裝置衛星發報器 5 組及 10 組 GPS-UHF 追蹤記錄器

配合燕鷗繫放執行，本計畫將裝置 5 組衛星發報器(Micro-wave 生產之 PTT 太陽能衛星發報器或同級品，重量 9.5 克) 和 10 組 GPS-UHF 追蹤記錄器(Ecotone，重量 5.5 克)，以發報器重量不超過燕鷗體重 5%為原則，挑選體重超過 190 克的燕鷗以繞腳背負的方式將發報器裝置於燕鷗體背上。在衛星發報器正常可接收到訊號的狀態之下，至少接收至六個月為原則。GPS-UHF 追蹤記錄器則可透過 UHF 接受器下載記錄器中 GPS 點位資訊，但需記錄器於位於接受器半徑 800 公尺內，故將用於收集繁殖季的活動點位，以分析活動範圍與環境偏好。又 GPS-UHF 追蹤記錄器可儲存 GPS 點位並以太陽能充電，於燕鷗遷徙時雖然無法即時獲取資料，但可於 2019 年以接受器下載點位，以獲得更精準的點位資料。

(七)維護海峽兩岸黑嘴端鳳頭燕鷗保育資訊網

持續維護並更新海峽兩岸黑嘴端鳳頭燕鷗保育資訊網，並視大陸資安政策調整網域位置以便大陸研究人員檢閱。網站主頁內容目前規劃包含黑嘴端鳳頭燕鷗簡史、馬祖列島燕鷗保護區、保育現況與威脅、未來展望、研究團隊介紹。除在主頁介紹相關研究背景外，本網站也可利用網誌共同作者方式定期、多方更新資訊，文章列表目前初步規劃分為活動資訊、觀察記錄與研究主題。未來將視情形增加文章列別，並定時上傳燕鷗監測訊息與相關保育活動消息。

(八)參與海峽兩岸交流會議

為促進兩岸研究團隊的合作共識、資訊交流與了解黑嘴端鳳頭燕鷗於浙江地區的概況與繁殖情形，擬於今年度燕鷗繁殖季前後由本計畫主持人至大陸浙江地區參訪，並出席與浙江自然史博物館研究團隊舉辦之海峽兩岸燕鷗保育交流會議，行程共計 4 日。

(九)出席國際研討會並發表本計畫研究成果

整理歷年來的研究成果，於第 27 屆世界鳥類學大會 (27 th International Ornithological Congress, Vancouver, Canada) 上發表，與國際研究人員分享並交流保育物種之研究、保育的資訊，以及利用衛星發報器瞭解海洋重點保育區域，作為執行物種保育研究的參考。

(十)發布臺灣黑嘴端鳳頭燕鷗族群現況於國際鳥類保育

組織或期刊之電子報中

依據「2017 黑嘴端鳳頭燕鷗保育研討會」的討論與共識，民眾與當地賞鷗業者希望研究團隊能將歷年來的研究成果與資訊公開，提供他們認識黑嘴端鳳頭燕鷗的族群保育現況。此外，也讓國際關心鳥類保育的人士與組織瞭解臺灣對於瀕危物種保育的努力，今年度將結合歷年研究成果與 2018 年現況，撰寫臺灣黑嘴端鳳頭燕鷗保育現況文章投稿至國際鳥類保育組織或期刊所發行的電子報，例如：National Audubon Society、Waterbird、East Asian-Australasian Flyway Partnership 等，增加國際上對於黑嘴端鳳頭燕鷗的認識以及瞭解臺灣主管機關與研究單位的努力。

參、 執行成果

107 年度研究團隊綜合歷年燕鷗繁殖島嶼記錄、棲地環境狀況、海巡與魚船巡護以及生態賞鷗觀光發展，選定鐵尖島作為誘引大鳳頭燕鷗以及黑嘴端鳳頭燕鷗的基地，並將中島列為候補棲地，作為燕鷗棄巢後可選擇的替代棲地。107 年度馬祖地區的大鳳頭燕鷗分別至蛇山島、鐵尖島和瀏泉礁繁殖。其中鐵尖島的族群約 500 隻，共產下 259 顆蛋，但最後於 06 月 01 日以棄巢作終。蛇山的族群約 400 隻，其中有確認 3 個黑嘴端鳳頭燕鷗的巢位，但因受到瑪麗亞颱風直撲馬祖，導致繁殖失敗。但值得欣慰的是我們觀察到於 2015 年第一隻繫放的黑嘴端鳳頭燕鷗，藍旗編碼 A74，在蛇山島確認有參與繁殖(圖 2)。瀏泉礁的族群約在 6 月中旬抵達，數量最多的時候可達 1000 隻，受到瑪麗亞颱風影響後，僅剩約 100 至 300 隻族群和約 25 隻的幼鳥存活。107 年度鳳頭燕鷗於馬祖保護區最大的族群出現在 6 月中旬，約有 1450 隻；黑嘴端鳳頭燕鷗的最大族群量出現在 5 月底，8 隻，其餘時間則穩定觀察到的數量為 4 至 5 隻。



圖 2、於 2015 年繫放之黑嘴端鳳頭燕鷗(A74)確認於蛇山島參與繁殖。紅圈處可見 A74 個體帶有的白色足旗。

107 年期間研究團隊執行了棲地環境整理營造、天敵移除、自動相機與聲音記錄器架設、燕鷗繫放、衛星發報器繫放、黑嘴端鳳頭燕鷗保育網維護以及參與海峽兩岸與國際交流研討會，執行成果分述如後。

一、 棲地環境監測與營造

(一)繁殖棲地營造

107 年挑選鐵尖島執行大鳳頭燕鷗與黑嘴端鳳頭燕鷗繁殖島嶼的棲地營造。於繁殖季前(05 月 12 日)研究團隊與台北市野鳥學會在鐵尖島上進行燕鷗繁殖棲地營造，並出動小型機具將島上過於茂密與高聳的植被清除(圖 3)。研究團隊保留移除的植被並將其平鋪於島上地表，以減緩雨水沖蝕和避免土壤流失，同時也可提供燕鷗築巢時的巢材需求(圖 4)。棲地植被環境移除後，於鐵尖島上放置 24 隻大鳳頭燕鷗假鳥作為吸引真鳥之用(圖 5)。同時，檢視島上的觀察小屋結構和以偽裝帳遮蔽小屋，重新架設電池、太陽能板、回播系統、聲音記錄器以及自動照相機(圖 6)。

另外，依據在「2017 黑嘴端鳳頭燕鷗保育研討會」，美國奧瑞岡大學 Daniel Roby 教授的建議，今年度我們新造一個廊道連接觀察小屋，給監測人員登島時候使用，希望能降低對繁殖燕鷗的影響。因此我們嘗試建造一段約 10 公尺的廊道來使用(圖 7)。然而，島上風力強大，廊道受風壓大，主要的角鋼結構容易變形導致廊道損毀。此外，廊道位置侷限了監測人員登島的地點與方向，增加了人員登島時候的危險性。幾經討論與考量後，我們認為廊道不適合於鐵尖島的環境，因為鐵尖島面積小，只要監測人員登島便已造成繁殖燕鷗的驚擾，此時快速進入觀測小屋，才是降低干擾最好的方式，因此便趁鐵尖島燕鷗棄巢後(06 月 13 日)，再度清理島上環境的時候將廊道拆掉了。



圖 3、工作人員於鐵尖島上用割草機整理過高的植被。



圖 4、保留移除的植被平鋪於地表以減緩雨水沖蝕和土壤流失。



圖 5、擺設燕鷗假鳥模型吸引真鳥。



圖 6、於觀察小屋架設太陽能板供電給回播系統。



圖 7、以角鋼和黑色遮光網搭建的廊道。

(二)繁殖季前移除潛在天敵

本研究團隊於大鳳頭燕鷗繁殖季前夕分別於04月19日至04月22日登上鐵尖島及中島各設置10個小型哺乳類陷阱 Sherman live trap (圖8)，使用的餌料為花生醬加地瓜。經過3天的連續的捕抓，於鐵尖島並無捕抓到任何小型哺乳類或其他物種；而中島於第1天捕抓到4隻中國石龍子(*Eumeces chinensis*)(圖9)和1隻小黃腹鼠(*Rattus losea*)(圖10)，第2天捕抓到1隻中國石龍子，第3天捕抓到4隻中國石龍子。由於中國石龍子並不是移除的目標物種，因此我們直接將中國石龍子現地野放。小黃腹鼠則以斷頸法處理移除。去年106年度我們在鐵尖島和中島皆未捕抓到小型哺乳類的原因可能和台北市野鳥學會於105年度年末在島嶼上設置鼠藥食餌台，進行較長時間的除鼠作業有關(台北市野鳥學會，2016)。而去年106年度末，並未持續設置鼠藥食餌台，是否因此使得中島的小黃腹鼠又重新建立新的族群，未來要持續關注與瞭解。如果中島的小黃腹鼠族群有增加的趨勢，移除作業的努力可能就要再增加，避免鼠群造成燕鷗繁殖的危害。



圖8、於繁殖季前在島嶼上設置小型哺乳類陷阱 Sherman live trap。



圖 9、Sherman live trap 捕抓到非移除目標物種——中國石龍子。



圖 10、Sherman live trap 捕抓到移除目標物種——小黃腹鼠。

(三)繁殖季中燕鷗繁殖島嶼空拍

107 年度研究團隊與台北市野鳥學會於 05 月 12 日使用空拍機進行鳳頭燕鷗繁殖島嶼—鐵尖島的空拍拍攝，記錄了棲地營造後鐵尖島的樣貌。根據 2017 年使用空拍機進行鳳頭燕鷗和黑嘴端鳳頭燕鷗的巢位偏好分析，除了可以更精準便捷的地確認兩種燕鷗的巢數外，也能定位黑嘴端鳳頭燕鷗的巢位，進一步可以執行燕鷗巢位分布之預測模式。結果顯示鳳頭燕鷗的巢位分布與相對高度、植被覆蓋率和地表斜率有關。鳳頭燕鷗偏好相對高度高、植被覆蓋率低以及地表斜率小的環境作為巢位(圖 11)。然而，黑嘴端鳳頭燕鷗的巢位和任何環境因子皆無顯著相關，僅偏好在鳳頭燕鷗繁殖密度高的地點築巢。根據上述結果，我們可以推測鳳頭燕鷗偏好的巢位環境，尋找築巢可能性大於 50%的區域，視為燕鷗潛在的繁殖巢位(圖 12)，可透過棲地的經營管理，創造環境適合與面積足夠的繁殖棲地。

依據分析的結果，107 年度我們團隊在執行棲地營造的時候，嘗試將部分潛在繁殖區域的植被加以清理，創造出比較大的空間，提供鳳頭燕鷗和黑嘴端鳳頭燕鷗繁殖使用。並且透過空拍機的照片，我們可以明顯的看出今年度(107 年)和去年度(106 年)鐵尖島島頂植被移除的面積差異，今年度島頂的植被移除區域大幅增加(圖 13)。

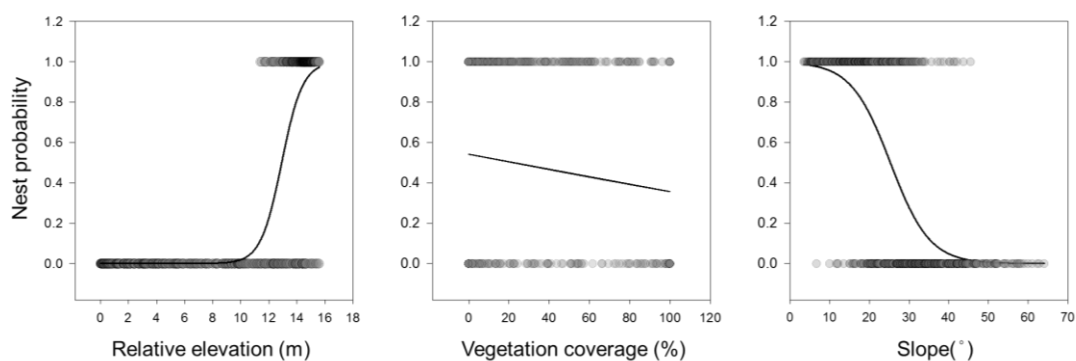


圖 11、鳳頭燕鷗偏好相對高度比較高、植被覆蓋率相對低以及地表斜率小的環境作為巢位。

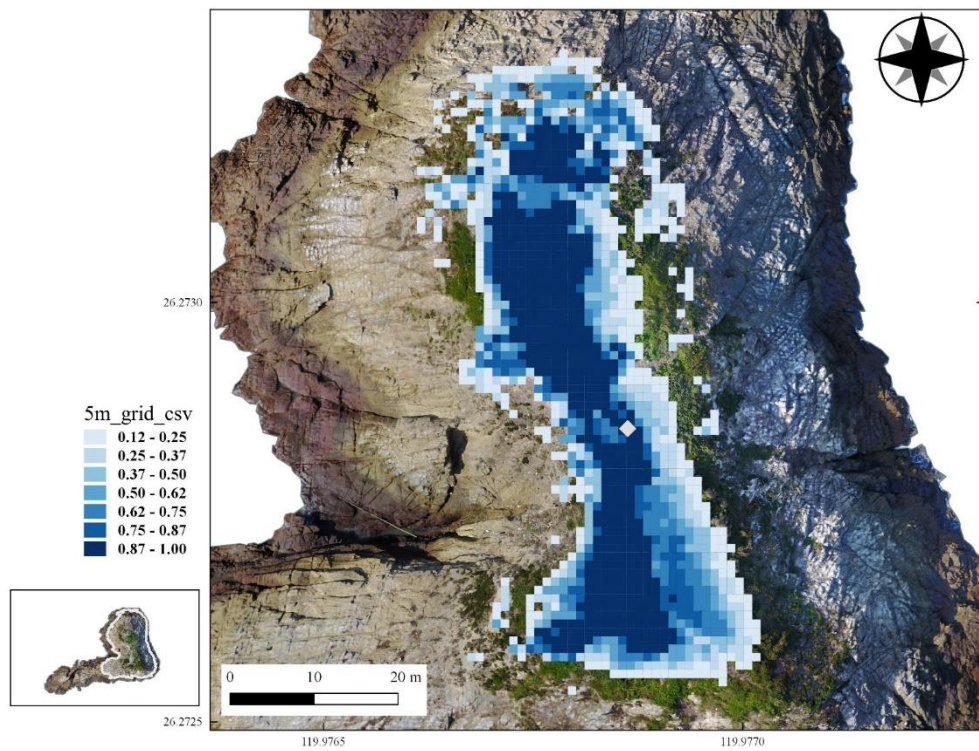


圖 12、根據燕鷗巢位分布之預測模式，推估鐵尖島上燕鷗築巢的可能性分布。

顏色越深表示燕鷗在此築巢的可能性越高。



圖 13、比較今年度(2018 年)和去年度(2017 年)島上植被清除後空拍照，可見 2018

年的植被清除區域明顯增加許多。

二、自動影像與聲音記錄器架設

107 年度研究團隊於 05 月 13 日在鐵尖島上設置 1 台聲音記錄器，機型為 Wildlife Acoustics, SM3；於 05 月 09 日在鐵尖島設置 7 台自動相機，機型為 Reconyx 自動相機(圖 14)。本次聲音記錄器的運作狀況不佳，僅由架設日(05 月 13 日)紀錄聲音至 05 月 29 日，可能受環境高溫、高濕、高鹽影響而異常，尚未記錄到鳳頭燕鷗抵達鐵尖島的時間。在聲音記錄器中，僅有白眉燕鷗的叫聲以及零星的鳳頭燕鷗叫聲。

根據自動相機的照片來看，鳳頭燕鷗族群於 05 月 30 日上午 08:15 出現在鐵尖島，10:30 開始下來島頂，到 05 月 31 日 08:15 開始大量停棲於島頂爭奪巢位，數量並快速增加，一直待到 06 月 01 日上午 11:15 後，從照片發現鳳頭燕鷗一直在空中盤旋不下來，直到 16:30 的時候，全部鳳頭燕鷗就離開了鐵尖島(圖 15 至圖 20)。由於島上的聲音記錄器和自動相機並未有記錄到異常的聲音或畫面；而經詢問由連江縣政府產業發展處設立於高登島的高倍攝影機，因為那幾天剛好遇到了軍事演習活動，因故關閉了攝影機，也未記錄到關鍵時間點的影像。雖然缺少直接證據，但經由在研究團隊在第 27 屆世界鳥類學大會以及海峽兩岸中華鳳頭燕鷗保育交流研討會中和國際專家學者討論，目前推測最大的可能影響因子為猛禽，但仍需要未來更多的資料來驗證。

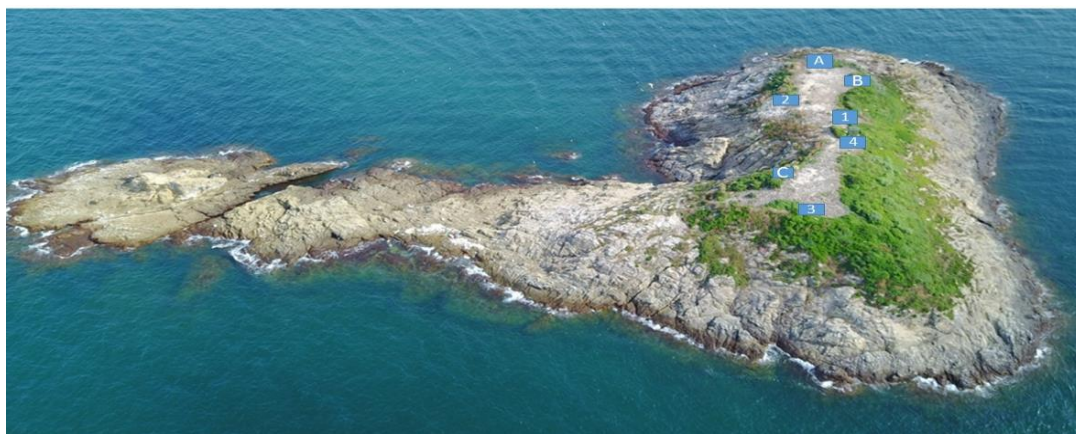


圖 14、自動相機於鐵尖島上的架設位置，不同編號代表不同台自動相機。



圖 15、05 月 30 日上午 08:15 鳳頭燕鷗抵達鐵尖島。紅圈中為鳳頭燕鷗。



圖 16、05 月 30 日上午 10:30 鳳頭燕鷗停棲於鐵尖島頂上(紅箭號處)。



圖 17、05 月 31 日上午 08:15，鳳頭燕鷗開始於鐵尖島頂爭奪巢位。



圖 18、06 月 01 日上午 11:00 鳳頭燕鷗仍穩定停棲於鐵尖島上。



圖 19、06 月 01 日上午 11:15 鳳頭燕鷗開始於空中盤旋，不回巢。



圖 20、06 月 01 日下午 16:30 鳳頭燕鷗全數離開，只剩下棄蛋。

三、 燕鷗繫放

107 年度因為鐵尖島鳳頭燕鷗棄巢，蛇山的族群又因為瑪麗亞颱風全數消失，今年度鳳頭燕鷗主要的繫放工作則是於 07 月 27 日至 07 月 31 日前往澎湖縣雞善嶼執行，以架設霧網方式進行繫放作業(圖 21)，共計繫放鳳頭燕鷗成鳥 38 隻，其中挑選體重足夠背負 5g 衛星發報器的鳳頭燕鷗 5 隻進行衛星追蹤研究(圖 22)。目前 5 隻個體的衛星發報器訊號接仍穩定回傳。

馬祖地區則在 08 月 10 日至 08 月 13 日於瀏泉礁繫放幼鳥 22 隻(圖 23)，並挑選 10 隻體重足夠背負 5.5gGPS-UHF 追蹤記錄器的個體進行追蹤，期待來年能回收到其遷徙移動的資料。



圖 21、於澎湖縣雞善嶼架設霧網進行鳳頭燕鷗繫放作業。



圖 22、挑選體重足夠背負發報器的個體進行衛星追蹤。



圖 23、於瀏泉礁繫放鳳頭燕鷗幼鳥，以藍色色環白色編碼標示。

107 年度燕鷗繫放個體目擊記錄有 25 筆(表 1)，其中 20 筆記錄來自於大陸鐵墩島，4 筆來自馬祖，1 筆來自澎湖。來自大陸鐵墩島的足旗目擊紀錄分別有記錄到 2013 年至 2017 年在馬祖燕鷗保護區繫放的鳳頭燕鷗成鳥(圖 24)。今年大陸鐵墩島發現較多隻以往在馬祖繁殖的鳳頭燕鷗，推測可能是今年馬祖地區的繁殖狀況不佳，鳳頭燕鷗改變了對繁殖地的選擇，遷移到大陸的繁殖地點參與繁殖。由此可見，大陸和臺灣的繁殖燕鷗棲地是息息相關的並且同等重要的，可在一地發生危急狀況的時候，由其他棲地提供安全的保障，分散繁殖風險。馬祖當地的足旗目擊記錄共 4 筆，其中一筆是 2015 年繫放的黑嘴端鳳頭燕鷗 A74，今年度在蛇山島前的沙灘上被目擊；其餘三筆紀錄為 2008 年繫放的鳳頭燕鷗成鳥 1 隻(白藍足旗無編碼)；2015 年繫放的鳳頭燕鷗成鳥 1 隻(藍旗編碼 A44)以及 2017 年繫放的鳳頭燕鷗幼鳥 1 隻(藍環 P4)。今年度很特別的是，在澎湖回報了 1 隻於 2017 年繫放的鳳頭燕鷗成鳥(圖 25)。這筆紀錄是馬祖繫放的燕鷗第一次在澎湖被目擊到，證實了馬祖和澎湖兩地的燕鷗彼此有交流，屬於同一個大族群。

表 1、107 年度燕鷗足旗資訊回報記錄。

募集地點	大陸		馬祖		澎湖
	鳳頭燕鷗	鳳頭燕鷗	黑嘴端鳳頭燕鷗	鳳頭燕鷗	鳳頭燕鷗
繫放年\物種					
2008		1			
2013	1				
2014	3				
2015	11	1	1		
2016	2				
2017	3	1			1



圖 24、大陸記錄到馬祖 2017 年繫放的鳳頭燕鷗成鳥在鐵墩島繁殖。



圖 25、鳥友 Francisca Wu 於澎湖成功水庫記錄到馬祖 2017 年繫放的鳳頭燕鷗成鳥 C76。

四、 燕鷗胸羽、蛋殼和食魚之重金屬濃度檢驗

研究團隊已於燕鷗繫放作業時完成採集重金屬樣本，今年度採集樣本與個數分別為：馬祖幼鳥胸羽樣本 22 個；澎湖成鳥胸羽樣本 31 個、幼鳥胸羽樣本 24 個、蛋殼樣本 29 個(雞善嶼採集 21 個，後袋仔嶼採集 8 個)以及食魚樣本 20 個。樣本採集後由研究團隊執行重金屬濃度檢測分析前處理作業，完成後將樣本送至臺灣大學生物資源暨農學院共同儀器中心檢驗。

檢測結果為：

- (1) 馬祖鳳頭燕鷗幼鳥胸羽樣本的平均重金屬濃度為鉻 0.74 ± 0.43 ppm、鎳 1.11 ± 0.61 ppm、銅 7.86 ± 1.73 ppm、鋅 79.63 ± 11.90 ppm、砷 0.37 ± 0.08 ppm、鎘 0.18 ± 0.10 ppm、汞 1.37 ± 0.24 ppm、鉛 0.64 ± 0.69 ppm。
- (2) 澎湖鳳頭燕鷗成鳥胸羽樣本的平均重金屬濃度為鉻 3.22 ± 2.63 ppm、鎳 1.90 ± 0.84 ppm、銅 7.86 ± 2.24 ppm、鋅 187.28 ± 105.96 ppm、砷 0.19 ± 0.08 ppm、鎘 0.18 ± 0.34 ppm、汞 1.90 ± 0.71 ppm、鉛 1.16 ± 1.82 ppm。
- (3) 澎湖鳳頭燕鷗幼鳥胸羽樣本的平均重金屬濃度為鉻 1.03 ± 0.50 ppm、鎳 1.46 ± 1.34 ppm、銅 9.50 ± 2.98 ppm、鋅 101.91 ± 24.37 ppm、砷 0.44 ± 0.13 ppm、鎘 0.07 ± 0.06 ppm、汞 1.72 ± 0.52 ppm、鉛 1.25 ± 1.99 ppm。
- (4) 澎湖雞善嶼鳳頭燕鷗蛋殼樣本的平均重金屬濃度為鉻 0.22 ± 0.16 ppm、鎳 0.09 ± 0.02 ppm、銅 16.46 ± 5.12 ppm、鋅 8.17 ± 3.77 ppm、砷 0.015 ± 0.004 ppm、鎘 0.004 ± 0.004 ppm、汞 0.06 ± 0.01 ppm、鉛 0.018 ± 0.017 ppm。澎湖後袋仔嶼鳳頭燕鷗蛋殼樣本的平均重金屬濃度為鉻

0.13 ± 0.14 ppm、鎳 0.09 ± 0.03 ppm、銅 10.07 ± 10.02 ppm、鋅 4.36 ± 3.96 ppm、砷 0.012 ± 0.003 ppm、鎘 0.002 ± 0.002 ppm、汞 0.09 ± 0.01 ppm、鉛 未達儀器偵測值。

(5) 澎湖鳳頭燕鷗食魚樣本的平均重金屬濃度為鉻 4.50 ± 3.74 ppm、鎳 1.59 ± 1.04 ppm、銅 2.44 ± 1.16 ppm、鋅 38.33 ± 20.07 ppm、砷 5.41 ± 3.35 ppm、鎘 0.07 ± 0.04 ppm、汞 0.14 ± 0.14 ppm、鉛 0.32 ± 0.14 ppm。

分析結果顯示：107 年澎湖鳳頭燕鷗成、幼鳥胸羽中的重金屬濃度鋅已經超過文獻中認定對鳥類產生負面影響的危害值 100ppm(圖 26)。這現象和馬祖地區的鳳頭燕鷗成、幼鳥相似(袁孝維，2017)。重金屬鋅在適量的時候可以增強鳥類蛋殼的韌性和蛋黃大小，但若過量的時候則會造成鋅中毒，影響鳥類健康和蛋的品質(Smith, 1995)。

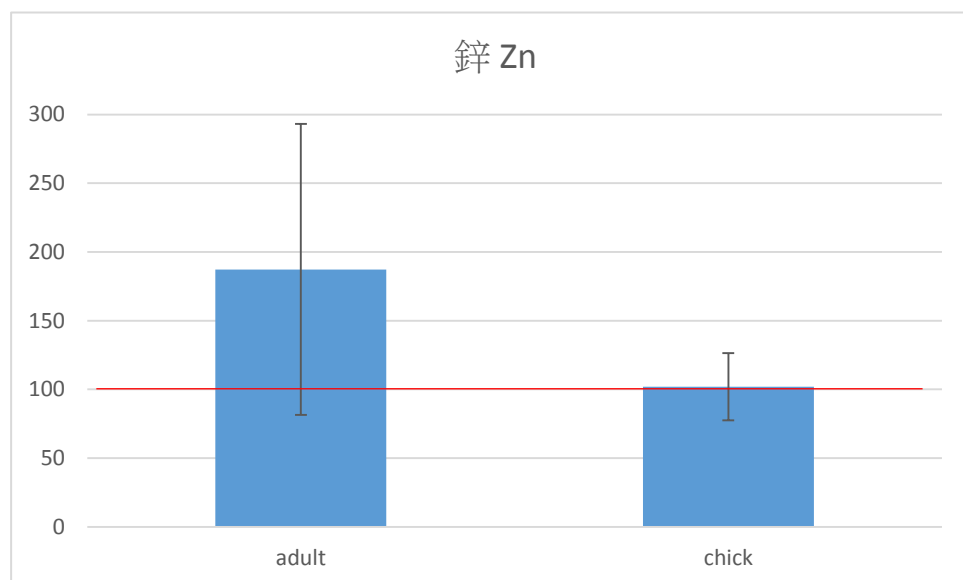


圖 26、重金屬鋅在成鳥胸羽和幼鳥胸羽中的濃度已超過和接近危害值 100ppm(紅色線標示)，可能會對澎湖地區的鳳頭燕鷗造成危害。

此外，因為幼鳥胸羽中的重金屬來源主要來自親代遺傳以及當地食物資源，所以幼鳥胸羽中的濃度對於當地環境健康狀態較有代表性。因此，值得注意的是 107 年度澎湖地區鳳頭燕鷗幼鳥胸羽中重金屬銅和砷濃度顯著高於成鳥胸羽中的濃度($p<0.05$)，顯示銅和砷可能是澎湖地區潛在的汙染危機。其中重金屬砷在袁孝維(2016, 2017)的研究中也發現馬祖地區的鳳頭燕鷗幼鳥胸羽中的濃度高於成鳥胸羽，應要持續監測並觀察是否會對鳳頭燕鷗族群的造成影響。

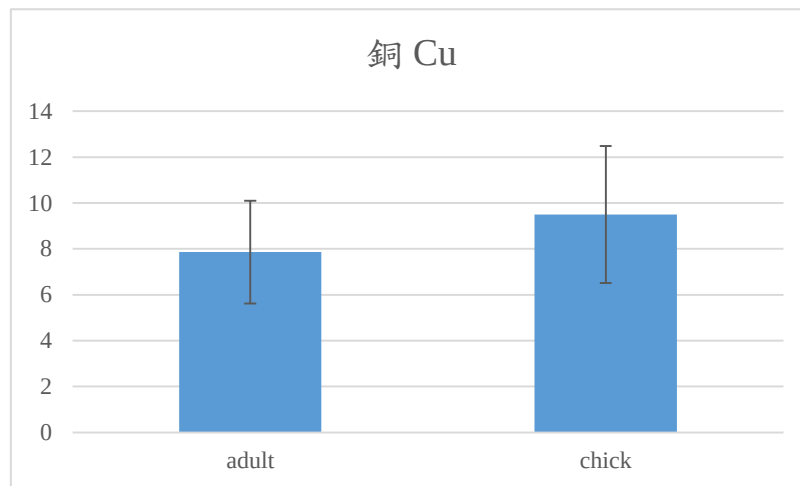


圖 27、澎湖地區鳳頭燕鷗幼鳥胸羽中的重金屬銅濃度高於成鳥胸羽中的重金屬銅濃度，顯示銅可能是澎湖地區潛在的汙染危機。

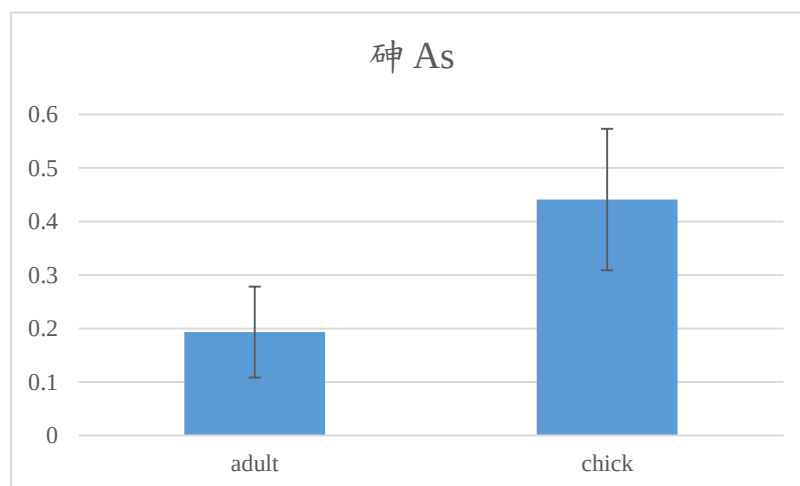


圖 28、澎湖地區鳳頭燕鷗幼鳥胸羽中的重金屬砷濃度高於成鳥胸羽中的重金屬砷濃度，顯示砷可能是澎湖地區潛在的汙染危機。

107 年度馬祖和澎湖地區的鳳頭燕鷗幼鳥胸羽中的重金屬濃度比較，發現：兩地區胸羽中的鎳和鉛濃度沒有差異，僅有馬祖地區的幼鳥胸羽中鎘濃度高於澎湖地區幼鳥胸羽中濃度($p<0.05$)，其餘幼鳥胸羽中的重金屬濃度鉻、銅、鋅、砷、汞濃度皆為澎湖地區高於馬祖地區($p<0.05$)。這樣的結果可能是因為鳳頭燕鷗成鳥的覓食範圍大，在澎湖繁殖的鳳頭燕鷗成鳥其覓食範圍涵蓋到臺灣本島西海岸的工業區外海，是否因此導致成鳥所捕抓的食物中含有較多的重金屬含量，未來應持續監測並更進一步的釐清原因。

我們將今年度(107)的澎湖地區的鳳頭燕鷗成鳥胸羽、蛋殼和食魚中的重金屬濃度和去年度(106)馬祖地區的樣本比較。在成鳥胸羽中，兩地燕鷗成鳥胸羽中的鎳和鎘濃度無差異；澎湖地區中金屬濃度高於馬祖地區的有砷濃度；其餘鉻、銅、鋅、砷、鉛和汞濃度為馬祖地區的成鳥胸羽胸羽含量較澎湖地區的多。在蛋殼中的鉻、鎳和鋅濃度沒有顯著差異，銅和汞濃度以澎湖地區的蛋殼含量較高，而砷、鎘和鉛濃度則以馬祖地區的幹殼含量高。在食魚的樣本中，澎湖地區的食魚中砷和汞的濃度偏高，馬祖地區的食魚則以鉛濃度較高，其他鉻、鎳、銅、鋅和鎘的濃度兩地沒有明顯差異。

雖然檢測結果在部分重金屬含量有區域性的差異，但並未見到一致的趨勢。可能是因為環境中的重金屬的含量隨著時間和空間變化，並非均質的永久存在，因此僅有 1 年的比較，無法確認其趨勢差異與變化。

五、 燕鷗蛋殼厚薄度檢測

研究團隊於澎湖縣雞善嶼採集鳳頭燕鷗棄蛋 26 顆以及於後袋仔嶼採集鳳頭燕鷗棄蛋 8 顆，並完成蛋長、蛋寬及蛋殼厚薄度測量。澎湖縣雞善嶼平均鳳頭燕鷗蛋長為 56.66 ± 2.01 mm (n=26)，蛋寬為 38.47 ± 1.05 mm (n=26)，蛋殼厚度為 0.219 ± 0.014 mm (n=21)；澎湖縣後袋仔嶼平均鳳頭燕鷗蛋長為 49.73 ± 9.43 mm (n=8)，蛋寬為 38.68 ± 2.14 mm (n=8)；蛋殼厚度為 0.238 ± 0.011 mm (n=8)。研究團隊亦嘗試將蛋殼厚度與其檢驗出的重金屬濃度作相關性分析，試圖確認重金屬濃度是否會影響蛋殼厚度品質，分析結果八大重金屬濃度和蛋殼厚度並無相關性。

我們將今年度(107)的澎湖地區鳳頭燕鷗的蛋長、蛋寬和蛋殼厚度與去年度(106)在馬祖地區鳳頭燕鷗的蛋型質相比較，發現馬祖地區的蛋在蛋長、蛋寬和蛋殼厚度上皆顯著大於澎湖地區的鳳頭燕鷗蛋型質(圖 29 至圖 31)。一般而言，蛋的型質越大，蛋的體積則會越大，代表著供應蛋孵化的養分較為充足，也可代表親鳥的繁殖品質較佳，應該是相對好的繁殖狀態。然而，馬祖地區鳳頭燕鷗的繁殖狀況年間差異大，不如澎湖地區的鳳頭燕鷗繁殖狀況穩定。即便成鳥或巢蛋有較好的繁殖品質，可能外在環境存有未知的限制因子，影響最後的繁殖成果。

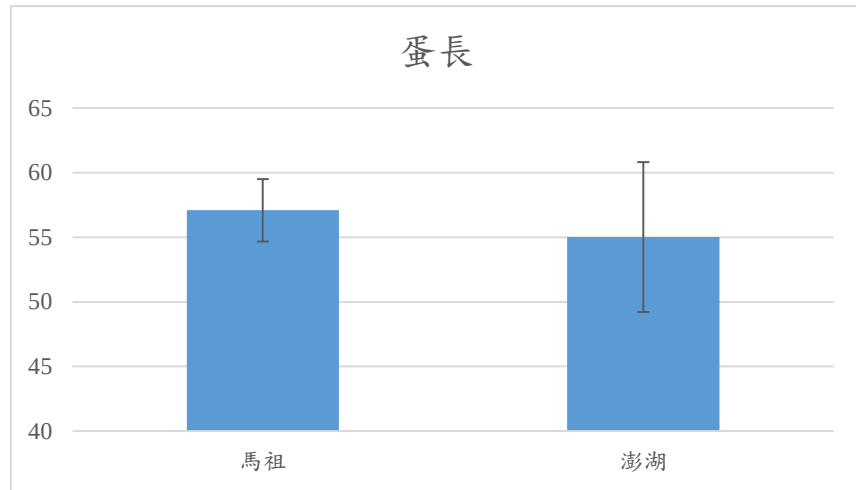


圖 29、馬祖地區鳳頭燕鷗的蛋長大於澎湖地區鳳頭燕鷗的蛋長($p=0.027$)。

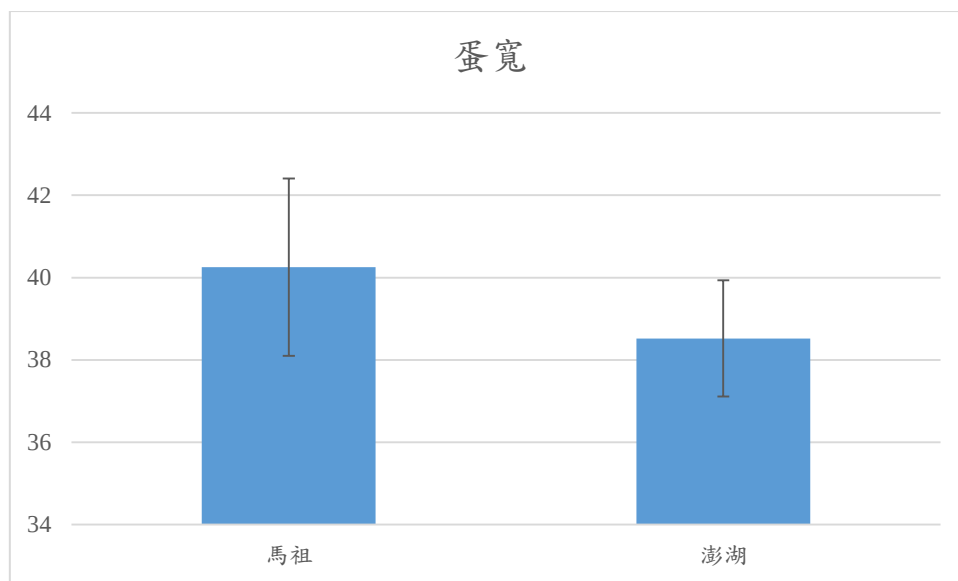


圖 30、馬祖地區鳳頭燕鷗的蛋寬大於澎湖地區鳳頭燕鷗的蛋寬($p<0.001$)。

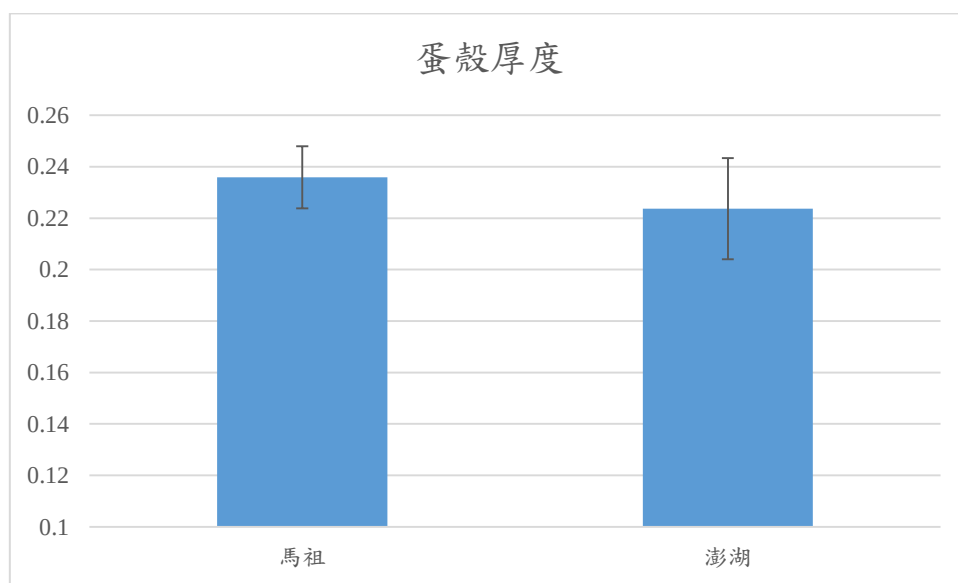


圖 31、馬祖地區鳳頭燕鷗的蛋殼厚度大於澎湖地區鳳頭燕鷗的蛋殼厚度 ($p=0.002$)。

六、裝置衛星發報器和 GPS-UHF 追蹤記錄器

衛星發報器的繫放已於 07 月 27 日至 07 月 31 日以及 08 月 10 日至 08 月 13 日的繫放作業中完成。7 月的繫放作業是於澎湖縣雞善嶼完成，共計繫放 38 隻鳳頭燕鷗成鳥，挑選體重足夠的 5 隻個體背負衛星發報器。8 月的繫放作業則是於連江縣瀏泉礁完成，繫放 22 隻當年出生的鳳頭燕鷗幼鳥，挑選體重足夠的 10 隻個體背負 GPS-UHF 追蹤記錄器。

107 年度研究團隊所使用的衛星發報器為目前最輕型 5g 的發報器，研究團隊在繫放個體中挑選體重足夠背負 5g 衛星發報器的大鳳頭燕鷗 5 隻，平均體重為 $295.44 \pm 8.74\text{g}$ ；5g 衛星發報器和 1g 裝置鐵氟龍繩重量約佔大鳳頭燕鷗體重的 2%，符合發報器的重量不超過個體體重的 5% 的限制。背負 GPS-UHF 追蹤記錄器的 10 隻個體平均體重為 $236.34 \pm 13.44\text{g}$ ，5.5g GPS-UHF 追蹤記錄器和 1g 裝置鐵氟龍繩重量約佔鳳頭燕鷗幼鳥體重的 2.6 至 2.9%，也符合發報器的重量不超過個體體重的 5% 的限制。因此，裝置衛星發報器和 GPS-UHF 追蹤記錄器的鳳頭燕鷗個體，已盡可能降低影響其健康與飛行之虞慮(Bridge *et al.*, 2011)。

研究團隊於 106 年度裝置於 9 隻鳳頭燕鷗身上的衛星發報器皆成功於 107 年度北返，鳳頭燕鷗開始北返的時間從今年度(107 年)的 03 月 09 日至 07 月 09 日不等，抵達繁殖地的時間也從 04 月 24 日至 07 月 09 日不等，個體間的差異大，沒有明顯的選擇偏好，北返所花費的天數從最短 3 天到最長 92 天(表 2)。北返的路線和南遷的路徑相似(圖 32)，並直接抵達前一年的繁殖棲地，未有飛到其他地點探勘的跡象，可見鳳頭燕鷗對其繁殖棲地有一定的忠誠度。通常有較高的棲地忠誠度的鳥類，其對於繁殖棲地的連結往往和繁殖成果相關，如果繁殖成果佳，來年的棲地忠誠度也會越高。反之，亦然。因此，如何提升或穩定鳳頭燕鷗在馬祖燕鷗保護的繁殖成果，是保育燕鷗資源的重要課題。另外，從繁殖季衛星訊號分布的模式來看，9 隻個體中推測有 4 隻繁殖成功、2 隻繁殖失敗、3 隻沒有繁殖或繁殖失敗，繁殖的地點位於臺灣澎湖縣雞善嶼 1 隻，中國連江縣四母嶼 3

隻。

表 2、105 年度至 107 年度衛星發報器繫放追蹤的相關資料(截至 107 年 12 月 10 日)。

ID	banded site	deployed date	end day	No. of days since deployment	1st fall migration date	arrival at wintering date	NO. of days for fall migration	繁殖成功與否	1st wintering site	no. of days for wintering	1st spring fly date	arrival at breeding site date	NO. of days for spring migration	繁殖成功與否	2nd fall migration date	arrival at wintering date	NO. of days for fall migration	2nd wintering site
161483	Matsu	2016/7/7	2017/1/17	194	2016/7/30	2016/11/26	119	Fail	Myanmar									
161484	Matsu	2016/7/7	2016/12/11	157	2016/7/9	2016/11/24	138	Fail	Myanmar									
161485	Matsu	2016/7/7	2016/7/19	12	-	-	-	-	-									
161486	Matsu	2016/7/7	2016/7/16	9	-	-	-	-	-									
161487	Matsu	2016/7/7	2016/11/24	140	2016/7/11	2016/11/2	114	Fail	Myanmar									
161489	Matsu	2016/7/7	2016/8/4	28	-	-	-	-	-									
161490	Matsu	2016/7/7	2017/1/9	186	2016/7/23	2016/9/1	40	Fail	Philippines									
161491	Matsu	2016/7/7	2016/7/21	14	-	-	-	-	-									
161492	Matsu	2016/7/7	2016/7/9	2	-	-	-	-	-									
170823	Matsu	2017/6/29	2018/9/9	437	2017/9/7	2017/9/18	11	suc	Philippines	204	2018/4/10	2018/7/9	90	no breeding	2018/9/8	-	-	
170824	Matsu	2017/6/29	2018/9/24	452	2017/8/30	2017/10/2	33	suc	Philippines	198	2018/4/18	2018/5/19	31	fail	-	-		
170825	Matsu	2017/6/29	2018/12/10	529	2017/8/21	2017/9/1	11	suc	Vietnam	214	2018/4/3	2018/6/12	70	fail	2018/8/8	2018/8/19	11	Vietnam
170826	Matsu	2017/6/29	2018/12/10	529	2017/10/2	2017/10/4	2	suc	Philippines	278	2018/7/9	2018/7/12	3	no breeding	2018/8/13	2018/8/26	13	Philippines
170827	Matsu	2017/6/29	2018/12/10	529	2017/8/5	2017/8/30	25	suc	Cambodia	220	2018/4/7	2018/6/4	58	suc	2018/8/28	2018/9/8	11	Cambodia

ID	banded site	deployed date	end day	No. of days since deployment	1st fall migration date	arrival at wintering date	NO. of days for fall migration	繁殖成功與否	1st wintering site	no. of days for wintering	1st spring fly date	arrival at breeding site date	NO. of days for spring migration	繁殖成功與否	2nd fall migration date	arrival at wintering date	NO. of days for fall migration	2nd wintering site
170828	Matsu	2017/7/18	2018/7/9	356	2017/9/13	2017/9/27	14	suc	Thailand	191	2018/4/6	2018/5/14	38	no breeding	-	-	-	-
170829	Matsu	2017/7/18	2018/12/10	510	2017/9/1	2017/10/26	55	suc	Myanmar	134	2018/3/9	2018/6/9	92	suc	2018/8/28	2018/10/23	56	Myanmar(在 欽洲灣停很 久
170830	Matsu	2017/7/21	2018/12/10	507	2017/9/12	2017/9/25	13	suc	Myanmar	212	2018/4/25	2018/5/2	7	suc	2018/9/15	2018/9/30	15	Myanmar
170832	Matsu	2017/7/18	2018/8/25	403	2017/9/22	2017/10/6	14	suc	Myanmar	190	2018/4/14	2018/4/24	10	suc	-	-	-	-
60689	Penghu	2018/7/28	2018/12/10	135	2018/9/9	2018/9/15	6	suc	Philippines									
60690	Penghu	2018/7/28	2018/12/10	135	2018/9/29	2018/10/30	31	suc	Philippines(北邊聚集再繞中南半島)									
60717	Penghu	2018/7/28	2018/12/10	135	2018/9/13	2018/9/14	1	suc	Philippines									
60721	Penghu	2018/7/28	2018/12/10	135	2018/8/1	2018/9/24	54	fail	Philippines									
60742	Penghu	2018/7/28	2018/12/10	135	2018/8/25	2018/9/24	30	suc	Philippines									

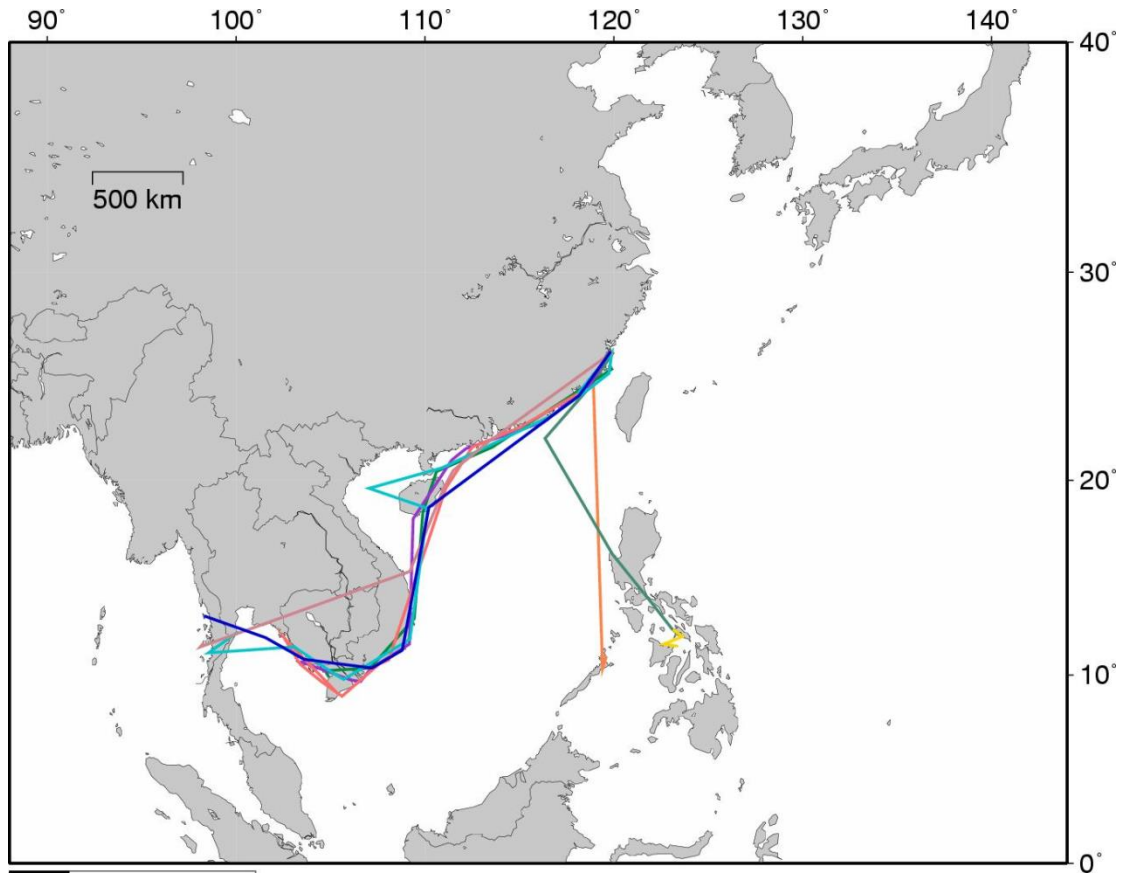


圖 32、106 年度繫放之衛星發報器個體北返路線。

截至 107 年 12 月 10 日，106 年度裝置衛星發報器的個體仍有 5 隻個體持續有訊號回傳，加上今年度(107 年)新裝置了 5 隻個體，目前仍有訊號回傳的個體數量為 10 隻。106 年度裝置衛星發報器的個體在 107 年度南遷的路徑和度冬地和 106 年度的一樣，南遷的秋季遷徙的路線分為兩個方向：一是沿著中國大陸沿海往東南亞國家越南(n=1)、柬埔寨(n=1)和緬甸(n=2)度冬；二是順著臺灣西部海岸或中國大陸沿海往西南方向到菲律賓(n=1)度冬。107 年度於澎湖縣雞善嶼裝置衛星發報器的 5 隻個體則都是到菲律賓(n=5)度冬，其中 4 隻的南遷路徑和馬祖繫放的個體是一樣的路徑，順著臺灣西部海岸或中國大陸沿海往西南方向到菲律賓，有 1 隻個體則是沿著中國大陸沿海往中南半島飛，但在越南的時候改往西方飛越海洋抵達菲律賓(圖 33)。

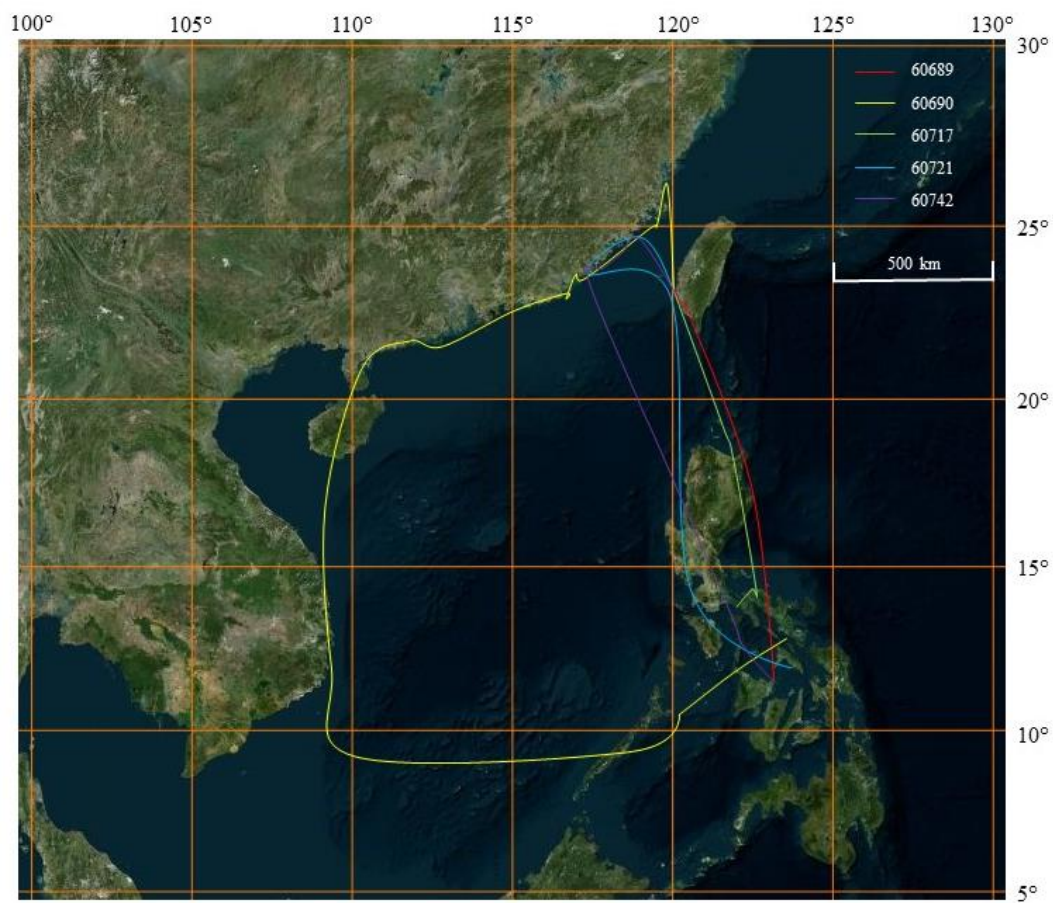


圖 33、107 年度於澎湖縣雞善嶼 5 隻裝置衛星發報器的鳳頭燕鷗南遷路徑。

分析繁殖成功對於鳳頭燕鷗南遷時間長短的影響，發現當年繁殖成功的個體南遷至度冬地的天數相較於繁殖失敗或未繁殖的個體少(圖 34， $p < 0.05$)，平均需要 20.9 ± 17.3 天即可從繁殖地遷徙至度冬地。而繁殖失敗或未繁殖的個體則平均需要 52.8 ± 18.9 天才會從繁殖地遷徙到度冬地。可能因為遷徙對於鳥類而言是嚴峻的過程，可能會導致生命的喪失，因此繁殖成功帶有幼鳥的親鳥會盡快帶著幼鳥飛往度冬地棲息，避免遷徙過程中不可預測的危險。

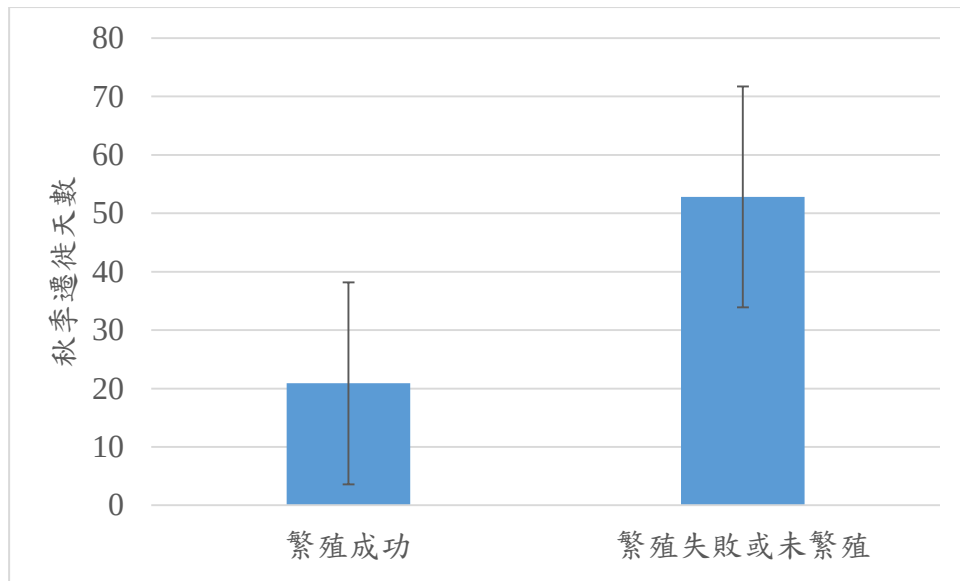


圖 34、當年繁殖成功的個體會盡快返回度冬地，遷徙的天數較短($p<0.05$)。

七、 維護海峽兩岸黑嘴端鳳頭燕鷗保育資訊網

107 年度整理臺灣黑嘴端鳳頭燕鷗和大鳳頭燕鷗的相關新聞，發布於黑嘴端鳳頭燕鷗保育資訊網(<https://crosstrait.wordpress.com/>)(圖 35)，相關資訊如下：

- (1) 燕鷗季即將報到 地區列管 8 座無人島礁保護區 4 月起實施管制 (馬祖日報 2018/04/25)
- (2) 賞鷗季即將登場 燕鷗先遣部隊飛抵中島 (馬祖日報 2018/05/05)
- (3) 誘鳥計畫啟動 今年再度選定鐵尖島 (馬祖日報 2018/05/15)
- (4) 神話之鳥編號「A74」連 3 年都回馬祖 26 日現身西莒 (馬祖日報 2018/05/25)
- (5) 神話之鳥 帶男友回馬祖 (自由時報 2018/05/30)
- (6) 4 至 9 月為燕鷗繁殖季 產發處呼籲民眾勿進入及靠近燕鷗保護區 (馬祖日報 2018/06/09)
- (7) 西莒蛇山驚現神話之鳥坐巢孵蛋 (馬祖日報 2018/06/09)
- (8) 鐵尖島數百隻燕鷗棄巢 集體「跳島」 (馬祖日報 2018/06/14)
- (9) 燕鷗族群調查 鳳頭燕鷗劉泉礁繁殖 神話之鳥蛇山穩定孵巢- (馬祖日報 2018/06/28)
- (10) 林務局副局長廖一光抵馬 關心燕鷗保護區及地質公園推動情形 (馬祖日報 2018/07/18)
- (11) 鳳頭燕鷗不敵颱風威力 西莒島幼鳥無一倖存 繁殖失敗 (環境資訊中心 2018/08/03)
- (12) 許神話之鳥一個未來 兩岸、韓國專家齊聚 (中新網 2018/09/17)

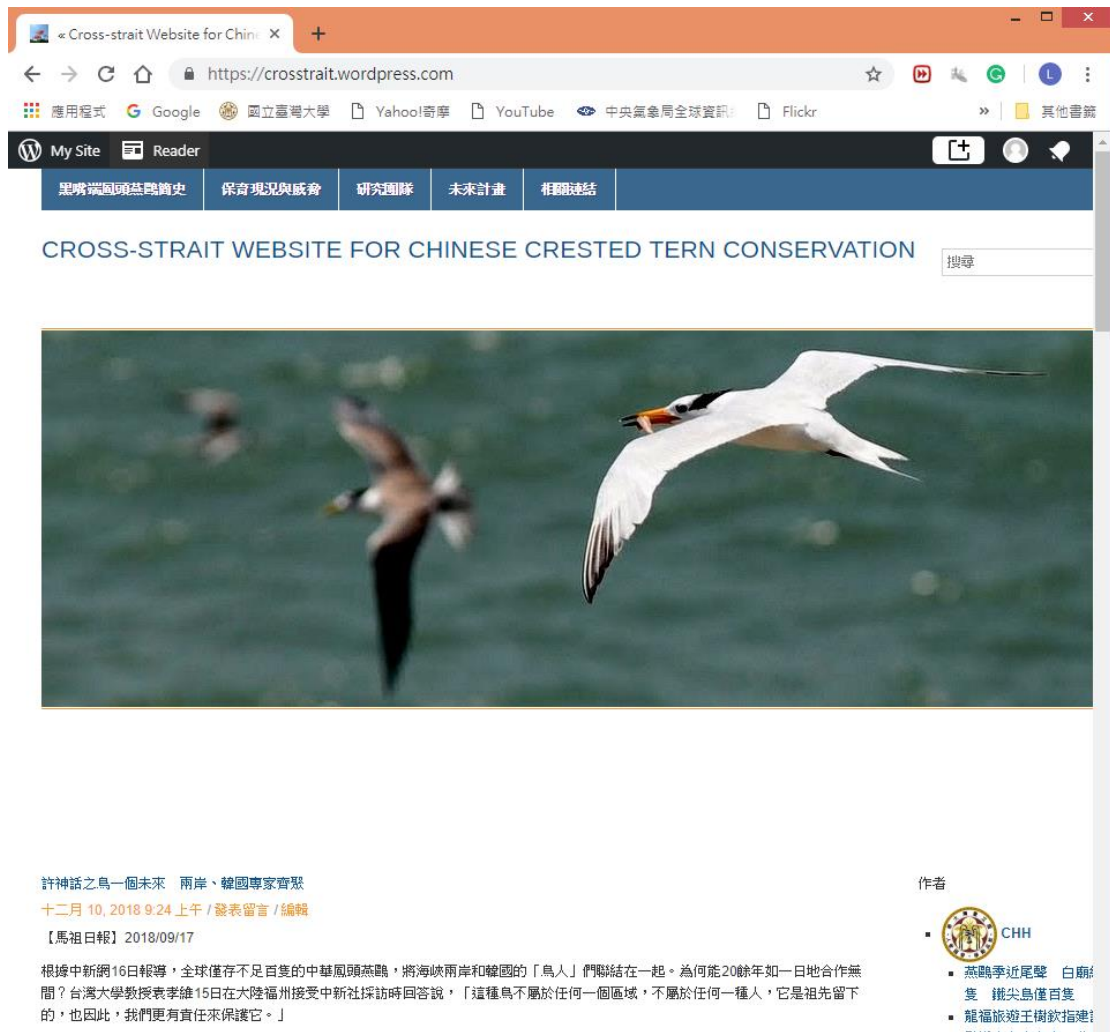


圖 35、黑嘴端鳳頭燕鷗保育資訊網網站。

八、 參與海峽兩岸交流會議

本研究團隊主持人袁孝維教授以及其博士生張樂寧於09月14日至09月18日到大陸福建省福州市參加「2018年度海峽兩岸中華鳳頭燕鷗保育交流研討會」(圖36)。和浙江自然博物館陳水華博士團隊以及韓國生態研究院 Yunk Young Lee 研究員討論與交流黑嘴端鳳頭燕鷗的現況與未來保育作為。在此會議上，由黑嘴端鳳頭燕鷗不同繁殖地的研究團隊分享自己國家內黑嘴端鳳頭燕鷗繁殖的概況與面臨到的威脅因子。袁教授和大家分享了我們近年來做衛星發報器追蹤的成果，報告了「臺灣大鳳頭燕鷗與黑嘴端鳳頭燕鷗之活動範圍與遷徙路徑」。陳水華博士是以研究人員直接居住在島上監測鳳頭燕鷗和中華鳳頭燕鷗繁殖狀況，介紹近距離與密集監測的功能與其必要性，報告了「近距離監測揭示中華鳳頭燕鷗繁殖群面臨的新威脅」。韓國李研究員則向大家分享了黑嘴端鳳頭燕鷗在韓國與黑尾鷗共域繁殖繁殖的狀況，報告了「韓國中華鳳頭燕鷗保育現況」。



圖 36、2018 年海峽兩岸中華鳳頭燕鷗保育交流研討會合照。

本研究團隊除了參與研討會外，更利用這次赴福州開會的機會，安排了一趟實地探訪。探訪的地點主要是藉由研究團隊於 106 年度裝置的衛星發報器 3 隻個體在 107 年度 6 至 8 月中回傳的熱點島嶼，地點位於大陸連江縣外海的小島—四母嶼(圖 37)。根據衛星發報器回傳的資料，我們推測 107 年度鳳頭燕鷗可能於四母嶼有繁殖，因此希望能找到這座島嶼，進一步瞭解實際狀況。

在會議後，研究團隊抵達定海區，由定海租船出海前往四母嶼(圖 38)。在抵達四母嶼後，在島礁旁看到約有 200 隻鳳頭燕鷗成鳥和 20 隻幼鳥。之後，研究人員登島檢視島上環境，發現有燕鷗繁殖的痕跡，一片枯掉被壓扁的植被(圖 39)、棄蛋(圖 40)和一些夭折的幼鳥屍體(圖 41)，可以證實四母嶼的確有鳳頭燕鷗繁殖。此外，更令人興奮的是研究人員在登島後，目擊到 1 隻黑嘴端鳳頭燕鷗成鳥飛過，並且有攻擊與驅離研究人員的行為。因此，我們推測幼鳥群中可能有 1 隻黑嘴端鳳頭燕鷗的幼鳥。透過我們 106 年裝置的衛星發報器個體的活動資訊，再次發現鳳頭燕鷗的新繁殖地(首次是在金門母嶼)，並且真的發現了黑嘴端鳳頭燕鷗的蹤跡，顯示使用衛星發報器追蹤大鳳頭燕鷗來推測黑嘴端鳳頭燕鷗活動的策略是可行的。

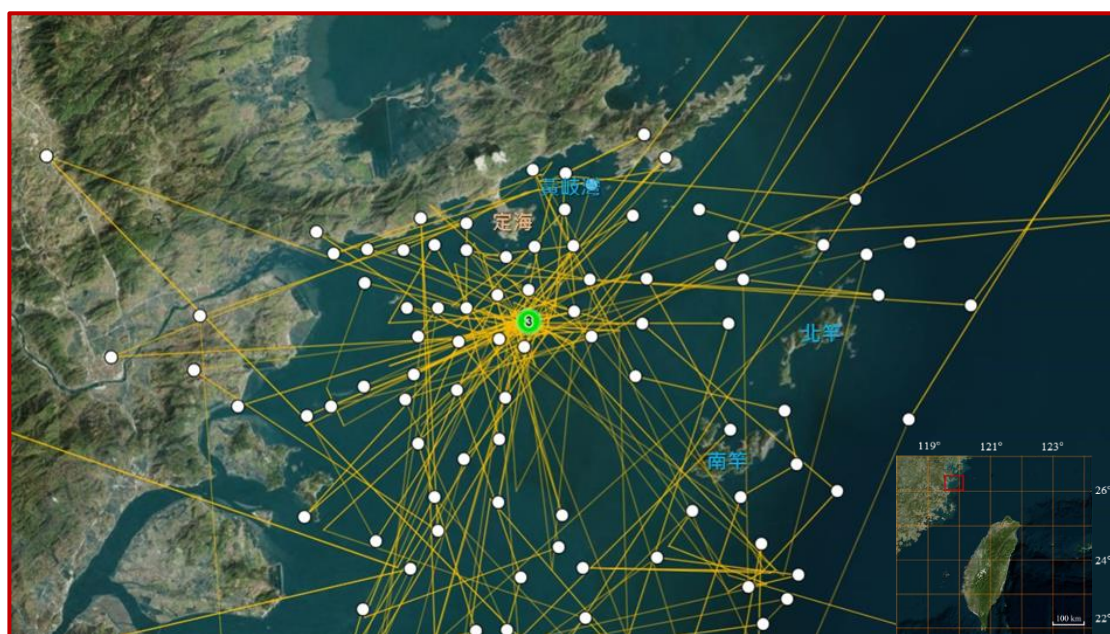


圖 37、107 年 6 月至 8 月 3 隻 106 年度裝置衛星發報器個體的活動熱點資訊。



圖 38、大陸連江縣外海四母嶼近照。



圖 39、四母嶼島上環境照片，枯黃被壓扁的植被是鳳頭燕鷗的繁殖巢區。



圖 40、四母嶼島上的鳳頭燕鷗棄蛋。



圖 41、四母嶼島上的燕鷗幼鳥屍體。

九、出席國際研討會並發表本計畫研究成果

本研究團隊於 08 月 19 日至 08 月 26 日到加拿大溫哥華參與 2018 年「世界鳥類學大會 (International Ornithological Congress)」。本研究團隊共計發表了口頭報告 1 篇「Applicaion of unmanned aerial vehicle on the nest site census and management of Chinese crested terns, *thalasseus bernsteini*, in Taiwan」以及海報展示 2 篇「Population trends of the critically endangered Chinese crested tern in Matsu archipelago, Taiwan」、「Fall migration routes, stopovers, and wintering sites of Greater crested tern in Taiwan as determined by satellite telemetry」。同時研究團隊也參與了「Information exchange and promotion of seabird research and conservation in Pacific ocean」圓桌會議，與來自香港、日本、美國研究海鳥生態的國際學者討論未來在太平洋海鳥研究團隊的訊息交流與合作的可能，並和與會的大家報告臺灣繁殖燕鷗的族群狀態以及目前臺灣對於海鳥研究的現況與資料分布的狀況，讓國際上能更認識臺灣對於海鳥保育工作的執行與重視。



圖 42、研究團隊參與「Information exchange and promotion of seabird research and conservation in Pacific ocean」圓桌會議合照。

十、發布臺灣黑嘴端鳳頭燕鷗族群現況於國際

鳥類保育組織或期刊之電子報中

本研究團隊原預計將黑嘴端鳳頭燕鷗繁殖族群趨勢整理投稿至國際鳥類保育組織或期刊中的電子報中，但經過博士候選人洪崇航的努力，本研究團隊的歷年成果成功被國際期刊 Bird Conservation International 接受，並正式發表，發表題目為「Trends in numbers of the Critically Endangered Chinese Crested Tern *Thalasseus bernsteini* and sympatrically nesting Greater Crested Tern *T. bergii* in the Matsu Archipelago, Taiwan」，目前已可以公開查詢到：<http://dx.doi.org/10.1017/S0959270918000369>(圖 43)。



圖 43、本研究團隊發表於國際期刊 Bird Conservation International 的研究文獻。

肆、 結論與建議

一、依據燕鷗巢位偏好，擴大棲地整理的面積

透過空拍機的發展與應用，研究團隊已經以空拍機作為輔助，結合人力調查，讓燕鷗族群監測效益提升。更透過空拍機的攝相，建立繁殖棲地的 3D 模型，可將多種環境因子量化用以計算分析。配合燕鷗巢位的定位，用科學的方法推算出燕鷗繁殖時所偏好的因子，進而在經營管理的時候，可以依據科學結果實際應用於燕鷗生態保育上。今年度(107 年)研究團隊首次嘗試依據鳳頭燕鷗對於巢位棲地的偏好推算鐵尖島上可被其利用的巢區範圍，並且擴大棲地整理面積。可惜的是，今年鐵尖島在鳳頭燕鷗族群聚集下來的初期，就受到不明原因干擾而導致棄巢，無法直接驗證擴大棲地整理面積是否有助於繁殖燕鷗族群的穩定。但可以推測的是，如果我們能提供更多適合的環境作為燕鷗繁殖的巢區，應該可以降低鳳頭燕鷗間的巢位競爭壓力或者增加鐵尖島對於繁殖鳳頭燕鷗的負荷，吸引更多鳳頭燕鷗前來。

二、持續監控並設法移除天敵

目前在馬祖列島燕鷗保護區中，最穩定常見的天敵為遊隼和小黃腹鼠。由於齧齒類通常會造成地面繁殖鳥類嚴重的繁殖失敗甚至是攻擊親鳥導致成鳥死亡，又研究團隊中的洪崇航博士候選人曾在大陸伍峙山移地研究時，記錄到老鼠在繁殖季末期會有偷竊燕鷗蛋的行為，因此，鼠類族群的監控與移除是必要的。研究團隊每年會在燕鷗繁殖季節開始前，進行鼠類族群的移除，同時也持續記錄鼠類族群的消長。此外，遊隼的侵擾也是值得注意，根據研究團隊和大陸陳水華博士的團隊交流，遊隼的侵擾會導致鳳頭燕鷗有夜間棄巢的行為發生。因此，大陸的團隊正在評估移除遊隼的必要性。然而，遊隼在臺灣也屬於保育類，是否應經人為移除圈養，或有其他作為，可能需要更多層面的討論。

三、加強人員監測頻率，確立干擾因子

相較於大陸地區的鳳頭燕鷗繁殖群的監測團隊直接住在島上天天監控，並且配有即時影像的監控設備，可在島上直接觀察鳳頭燕鷗繁殖群的動態，馬祖地區因為島嶼面積較小，不適合研究人員直接居住於島上觀測。去年度(106 年)研究團隊已經開始嘗試在鐵尖島上搭建觀測小屋，提供研究人員躲藏與長時間監測鳳頭燕鷗族群行為的地方。如此一來，便能更加掌握繁殖燕鷗的動態。然而，除了單次觀察時間增加外，適度的頻率也將有助於研究人員偵查繁殖群的異狀，可以在第一時間發現異狀，也能彌補自動相機或自動錄音器無法完整偵測異樣的缺失。根據今年度(107 年)的所採集的澎湖燕鷗蛋和 106 年度馬祖採集的燕鷗蛋形質比較，可知馬祖的蛋形質相較澎湖地區大，可推測馬祖地區的鳳頭燕鷗成鳥繁殖品質應相對較佳。然而馬祖地區的繁殖狀況非常不穩定，必有我們未察覺的因子在限制或干擾鳳頭燕鷗的繁殖。為了盡早確認限制因子，適當的增加監測頻率有其必要性，才能更有效益的瞭解造成棄巢或繁殖失敗的原因。未來可嘗試在同一年份，採集兩地的蛋樣本比較與驗證，會更有說服力。

四、重金屬濃度的長期監測，特別是鋅和砷

重金屬污染物監測已執行至第 5 年，雖然目前因年間變異大並未有明顯趨勢變化，仍提供我們值得注意的方向，像是重金屬鋅和砷對於大鳳頭燕鷗族群的可能影響。除了持續累積長期的監測資料外，應該也擴大樣本採集數量或項目，例如增設採集地點等，以更瞭解重金屬在整個繁殖燕鷗生態中的潛在危害。同時也應須持續累積每年度的檢測資料，掌握環境變動訊息。此外，除了探討重金屬污染物對於大鳳頭燕鷗體內的累積外，更應嘗試取得生態系中環境背景值的重金屬濃度變化，以更完整瞭解重金屬於生態系的流動與影響，建立長期的重金屬監測資料庫。

五、持續繫放作業與衛星追蹤研究

馬祖地區至 2008 年即開始了燕鷗繫放作業，多年下來開始逐漸有回收目擊資料的累積，可以提供研究人員燕鷗遷移的資訊。除了馬祖地區外，大陸閩江口、鱔魚灘甚至是舟山群島、韭山列島的繁殖地都曾目擊過馬祖地區繫放的大鳳頭燕鷗，可知海峽兩岸的大鳳頭燕鷗應屬於一個大族群，兩岸各自的保育也對這個大族群有同樣的重要性。自衛星追蹤計畫啟動後，我們對於鳳頭燕鷗的遷徙路徑有更深入的瞭解，雖然今年度(107 年)已是第三年度的衛星追蹤研究，但每年仍持續有突破與新發現。除了發現不同遷徙路徑外，也藉由即時的衛星訊號探知鳳頭燕鷗族群可能的移動資訊，在遭遇到突發事件或惡劣天氣等突發狀況的干擾後，可以追蹤鳳頭燕鷗的移動模式與地點，進而瞭解突發狀況對於整個族群的影響。今年也透過鳳頭燕鷗的衛星追蹤，成功尋找到一個新的繁殖棲地與黑嘴端鳳頭燕鷗。此外，在熟悉衛星發報器的安裝技術後，未來可更有信心應用於瀕危物種——黑嘴端鳳頭燕鷗上。

六、參與國內、外研討會，分享瀕危物種保育經驗

近年來，臺灣、大陸和南韓在保育黑嘴端鳳頭燕鷗不遺餘力。除了在各自繁殖地確保棲地品質，同時持續監測棲地的生態環境條件，以避免生態陷阱的產生。也各自建立有效管理的棲地並保護在地的黑嘴端鳳頭燕鷗，使黑嘴端鳳頭燕鷗能保有數個穩定的族群，分散其生存風險。每年三地的研究人員都會在繁殖季節的時候，透過 e-mail 維繫保育網絡與交流，以即時掌握燕鷗族群整體動態。此外，每年定期的在國內、外交流會議上，也盡量參與及分享研究團隊對於瀕危物種保育的成果與執行方法，提供國內、外學者借鏡與交流，相互切磋經驗與技術，改善保育研究作為，進而提升保育效益。同時，也讓國際知道臺灣對於瀕危物種的保育也克盡其職，為地球的生態與生物多樣性所努力。

伍、 參考文獻

- 台北市野鳥學會，2008。馬祖列島燕鷗保護區海鳥資訊監測衛星追蹤計畫。連江縣政府。連江縣。
- 台北市野鳥學會，2016。馬祖列島燕鷗保護區鳳頭燕鷗誘鳥計畫。連江縣政府。連江縣。
- 袁孝維，2013。馬祖地區鳳頭燕鷗繁殖族群動態之研究(1/4)。行政院農業委員會林務局。台北。
- 袁孝維，2014。馬祖地區鳳頭燕鷗繁殖族群動態之研究(2/4)。行政院農業委員會林務局。台北。
- 袁孝維，2015。馬祖地區鳳頭燕鷗繁殖族群動態之研究(3/4)。行政院農業委員會林務局。台北。
- 袁孝維，2016。馬祖地區鳳頭燕鷗繁殖族群動態之研究(4/4)。行政院農業委員會林務局。台北。
- 袁孝維，2017。利用衛星追蹤與重金屬累積資訊作為海鳥重要棲息地指標 (1/3)。行政院農業委員會林務局。台北。
- 張壽華。2008。馬祖地區鳥類資源暨其生態旅遊之研究。臺灣海洋大學環境生物與漁業科學研究所碩士論文。
- 劉用福。2008。馬祖列島燕鷗保護區經營管理之研究。臺灣海洋大學環境生物與漁業科學研究所碩士論文。
- BirdLife International, 2017. *Thalasseus bernsteini* (amended version of 2016 assessment). The IUCN Red List of Threatened Species 2017.
- Bridge, E.S., Thorup, K., Bowlin, M.S., Chilson, P.B., Diehl, R.H., Fle'ron, R.W., Hartl, P., Kays, R., Kelly, J.F., Roinson, W.D. & Wikelski, M., 2011.

Technology in the move: recent and forthcoming innovations for tracking migratory birds. *BioScience*. 61, 689–698.

Liang, C. T., Chang, S. H., Fang, W. H., 2000. Discovery of a breeding colony of Chinese Crested Terns. *Oriental Bird Club Bull.* 32, 18-19.

Smith, A., 1995. Zinc toxicosis in a flock of hispaniolan amazon. *Proc Ann Conf Assoc Avian Vet.* p447-453.

附錄一、繫放記錄

一、 燕鷗成鳥繫放記錄

隻數	環號	鳥種	年齡	標記	編碼	備註
1	E14302	鳳頭燕鷗	2+	足旗	P53	
2	E14304	鳳頭燕鷗	2+	足旗	P54	
3	E14305	鳳頭燕鷗	2+	足旗	P55	衛星發報器 60742
4	E14306	鳳頭燕鷗	2+	足旗	P56	
5	E14307	鳳頭燕鷗	2+	足旗	P57	
6	E14308	鳳頭燕鷗	2+	足旗	P58	
7	E14309	鳳頭燕鷗	2+	足旗	P59	
8	E14310	鳳頭燕鷗	2+	足旗	P60	衛星發報器 60690
9	E14311	鳳頭燕鷗	2+	足旗	P61	
10	E14312	鳳頭燕鷗	2+	足旗	P62	
11	E14313	鳳頭燕鷗	2+	足旗	P63	
12	E14314	鳳頭燕鷗	2+	足旗	P65	
13	E14315	鳳頭燕鷗	2+	足旗	P64	
14	E14316	鳳頭燕鷗	2+	足旗	P66	
15	E14317	鳳頭燕鷗	2+	足旗	P67	
16	E14318	鳳頭燕鷗	2+	足旗	P68	
17	E14319	鳳頭燕鷗	2+	足旗	P69	
18	E14320	鳳頭燕鷗	2+	足旗	P70	
19	E14321	鳳頭燕鷗	2+	足旗	P71	衛星發報器 60721
20	E14322	鳳頭燕鷗	2+	足旗	P72	

隻數	環號	鳥種	年齡	標記	編碼	備註
21	E14323	鳳頭燕鷗	2+	足旗	P73	
22	E14324	鳳頭燕鷗	2+	足旗	P74	
23	E14325	鳳頭燕鷗	2+	足旗	P75	足旗上下相反
24	E14326	鳳頭燕鷗	2+	足旗	P76	
25	E14327	鳳頭燕鷗	2+	足旗	P77	
26	E14328	鳳頭燕鷗	2+	足旗	P78	
27	E14329	鳳頭燕鷗	2+	足旗	P79	衛星發報器 60717
28	E14330	鳳頭燕鷗	2+	足旗	P80	
29	E14331	鳳頭燕鷗	2+	足旗	P81	
30	E14332	鳳頭燕鷗	2+	足旗	P82	
31	E14333	鳳頭燕鷗	2+	足旗	P83	
32	E14334	鳳頭燕鷗	2+	足旗	P84	衛星發報器 60689
33	E14335	鳳頭燕鷗	2+	足旗	P85	
34	E14336	鳳頭燕鷗	2+	足旗	P86	
35	E14337	鳳頭燕鷗	2+	足旗	P87	
36	E14338	鳳頭燕鷗	2+	足旗	P88	
37	E14339	鳳頭燕鷗	2+	足旗	P89	
38	E14340	鳳頭燕鷗	2+	足旗	P90	

二、 燕鷗幼鳥繫放記錄

隻數	環號	鳥種	年齡	標記	編碼	備註
1	E14341	鳳頭燕鷗	0	色環	89	
2	E14342	鳳頭燕鷗	0	色環	90	
3	E14344	鳳頭燕鷗	0	色環	Y9	
4	E14345	鳳頭燕鷗	0	色環	P9	
5	E14346	鳳頭燕鷗	0	色環	Y8	
6	E14347	鳳頭燕鷗	0	色環	Y7	
7	E14348	鳳頭燕鷗	0	色環	Y6	
8	E14349	鳳頭燕鷗	0	色環	Y5	
9	-	鳳頭燕鷗	0	色環	Y4	未上金屬環
10	E14350	鳳頭燕鷗	0	色環	Y3	
11	-	鳳頭燕鷗	0	色環	Y2	未上金屬環
12	-	鳳頭燕鷗	0	色環	Y1	未上金屬環
13	-	鳳頭燕鷗	0	色環	Y0	未上金屬環
14	-	鳳頭燕鷗	0	色環	X9	未上金屬環
15	-	鳳頭燕鷗	0	色環	X8	未上金屬環
16	-	鳳頭燕鷗	0	色環	X7	未上金屬環
17	-	鳳頭燕鷗	0	色環	X6	未上金屬環
18	-	鳳頭燕鷗	0	色環	X5	未上金屬環
19	-	鳳頭燕鷗	0	色環	-	太小，未上金屬環 和色環
20	-	鳳頭燕鷗	0	色環	X4	未上金屬環
21	-	鳳頭燕鷗	0	色環	X3	未上金屬環
22	-	鳳頭燕鷗	0	色環	X2	未上金屬環

附錄二、2014 年至 2018 年大鳳頭燕鷗蛋殼、成鳥胸羽、幼鳥胸羽以及食魚中重金屬濃度檢測結果。

八大重金屬濃度檢測(ppm)									
樣本	年	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Hg	Pb
蛋殼	2014	0.206±0.0539	0.282±0.1398	1.33±0.3432	11.849±3.0684	0±0	0±0	-	8.615±3.5362
	2015	0.3192±0.1722	0.1892±0.0698	0.8969±0.4113	12.4023±6.7212	0.01±0.0118	0.0246±0.0128	0.0654±0.0463	0±0
	2016	0.0838±0.0345	0.0675±0.0302	0.6292±0.2438	10.78±9.3856	0.0879±0.0521	0.0113±0.0053	0.9425±0.8264	0.2125±0.1609
	2017	0.24 ± 0.11	0.1 ± 0.01	0.81 ± 0.26	8.64 ± 3.47	0.04 ± 0.02	0.01 ± 0.01	0.04 ± 0.03	0.42 ± 0.25
幼鳥	2015	8.0555±5.0131	5.1015±2.1832	119.5115±89.9509	281.043±388.3551	1.5545±1.1503	0.959±2.9082	0.9335±0.8991	1.308±5.7014
	2016	5.1137±4.2213	1.59±1.1211	56.2457±38.1716	79.1129±12.9698	0.2266±0.1255	0.0483±0.0303	8.0846±1.1273	0.4517±0.9431
	2017	5.93 ± 3.99	1.61 ± 1.6	8.14 ± 1.11	1229.17 ± 1131.29	0.24 ± 0.08	0.14 ± 0.07	1.02 ± 0.62	8.72 ± 3.25
	2018	0.74 ± 0.43	1.11 ± 0.61	7.86 ± 1.73	79.63 ± 11.90	0.37 ± 0.08	0.18 ± 0.10	1.37 ± 0.24	0.64 ± 0.69
成鳥	2014	16.88±3.5523	2.79±1.3905	20.2167±0.8316	138.1433±56.3062	0±0	8.6867±1.2582	-	14.1933±6.7448
	2015	7.4075±5.531	4.0763±2.0891	1193.2656±3218.9682	162.5356±64.9773	0.3956±0.3001	0.2644±0.1136	1.6013±0.7504	3.1363±6.0961
	2016	4.2921±1.6118	1.6395±0.8888	7331.4837±9369.3838	102.7332±55.4417	0.1879±0.1525	0.0937±0.0341	40.2026±28.5181	0.6021±1.6112
	2017	8.30 ± 9.56	1.63 ± 0.84	8.69 ± 1.4	716.93 ± 774.67	0.12 ± 0.05	0.27 ± 0.2	4.17 ± 1.86	11.43 ± 5.26
食魚	2017	2.87 ± 4.11	0.72 ± 0.76	4.03 ± 3.67	41.6 ± 21.13	1.75 ± 0.42	0.08 ± 0.11	0.05 ± 0.04	1.01 ± 0.46