

宜蘭縣政府

105~106 年度無尾港與蘭陽溪口重要濕地
(國家級)小燕鷗繁殖調查計畫

成果報告書

國立臺灣大學

106 年 10 月

摘要

本計畫於 106 年記錄到四個小燕鷗的繁殖地點，分別為位於無尾港重要濕地的新城溪口北岸沙灘，以及位於蘭陽溪口重要濕地的蘭陽溪口南岸沙灘、五結堤防道路外河岸灘地和新南路外河岸灘地。小燕鷗的最大族群數量以目擊記錄法為 119 隻，以巢位數推算繁殖族群則為 160 隻。和過往的族群記錄相比，今年的小燕鷗族群數量為自 2011 年以來最低，並且有下降的趨勢。兩濕地整體孵化率為 55.5%，為歷年最高記錄，但因大雨淹水事件導致幼鳥存活率低，繁殖季後期僅觀察到 1 隻幼鳥。狗捕食、大雨淹水和棄巢為小燕鷗孵化失敗的主因。106 年小燕鷗平均窩卵數為 2.07 顆 (n=155)；平均巢蛋體積 8.7969cc (n=149)；平均蛋殼厚度 0.1063mm (n=34)；在巢蛋體積和蛋殼厚度中，無尾港重要濕地皆高於蘭陽溪口重要濕地。透過巢位繫放與追蹤記錄器的資訊，可知小燕鷗平均離巢距離 $289\pm 473\text{m}$ ，活動範圍為 0.617km^2 (n=1)，可做為監測河口濕地和沿海生態系指標物種。

蘭陽溪口重要濕地的水域底泥重金屬鉛、銅、鎳、鉻、鎘和汞濃度高於無尾港重要濕地，但鋅和砷濃度在兩重要濕地並無差異，其中鎳和砷介於底泥品質指標上、下限值間，應加強監測頻率。此外，兩濕地的重金屬汙染的程度為無汙染至低-中度汙染。在小燕鷗成鳥胸羽的重金屬檢測結果為：無尾港重要濕地的小燕鷗胸羽鉛濃度高且超過 4ppm 危害值；蘭陽溪口重要濕地的小燕鷗胸羽鉻和鎘濃度高；此外鋅濃度雖然在兩濕地小燕鷗胸羽中無差異，但已超過 100ppm 危害值。在小燕鷗蛋殼中各重金屬在兩濕地中並無差異。在兩地食魚中，無尾港重要濕地的食魚鋅和銅濃度較高，汞濃度較低，其他重金屬濃度兩濕地並無差異。相互比較底泥、胸羽、蛋殼和食魚的相關性發現：水域底泥和食魚的重金屬汞濃度呈現中度正相關；成鳥胸羽和蛋殼的重金屬鎘濃度呈現中度正相關；成鳥體重和成鳥胸羽的重金屬銅濃度呈現中度正相關；蛋殼中銅和鋅的濃度和蛋體積大小呈現高度負相關。其中鎘和鋅的影響可能和小燕鷗巢蛋品質下降有關，值得未來探究。

根據今年的研究成果，建議未來可朝持續執行小燕鷗繁殖與重金屬(鉛、鋅、鎘、汞)監測、環境經營管理(底泥重金屬鎳和砷的監測，以及野狗和人為干擾的議題)以及小燕鷗繁殖棲地營造，以提供兩濕地的保育規劃與生態系風險評估。

目 錄

壹、	計畫緣起.....	1
貳、	計畫目標.....	2
參、	計畫範圍.....	3
一、	蘭陽溪口重要濕地.....	3
二、	無尾港重要濕地.....	4
肆、	工作項目.....	5
一、	小燕鷗繁殖族群監測與繁殖表現調查.....	5
二、	小燕鷗覓食範圍調查.....	5
三、	水域底泥採樣	5
四、	重金屬樣本（胸羽、底泥、食魚）檢測.....	7
五、	文獻與資料收集與分析.....	7
六、	工作項目檢核表.....	8
伍、	調查方式.....	9
一、	小燕鷗繁殖族群監測與繁殖表現調查.....	9
二、	小燕鷗覓食範圍調查.....	10
三、	水域底泥採樣	11
四、	重金屬(胸羽、底泥、食魚) 樣本檢測.....	11
五、	文獻、資料之收集與分析.....	14
陸、	結果與討論.....	15
一、	小燕鷗繁殖族群監測與繁殖表現調查.....	15
二、	小燕鷗覓食範圍調查.....	28
三、	水域底泥採樣	32
四、	重金屬樣本檢測.....	34
五、	文獻資料收集與分析.....	84
柒、	結論.....	100
捌、	參考文獻.....	103
附錄一、	小燕鷗繁殖調查計畫之調查日程記錄。.....	110
附錄二、	小燕鷗每週族群量調查記錄.....	112
附錄三、	各繁殖地每週野狗族群量調查記錄.....	113
附錄四、	小燕鷗繫放記錄.....	114
附錄五、	期中報告審查會議委員意見與回覆.....	117
附錄六、	期末報告審查會議委員意見與回覆.....	122

表 目 錄

表 1、各採集樣點之 TWD97 經緯度座標	7
表 2、小燕鷗繁殖巢位數量週變化.....	18
表 3、小燕鷗於各棲地的繁殖概況.....	21
表 4、小燕鷗於各棲地孵化失敗原因.....	22
表 5、宜蘭地區歷年小燕鷗孵化率與失敗主因整理.....	23
表 6、各繁殖地巢蛋窩卵數比例.....	24
表 7、各繁殖棲地非小燕鷗的巢位種類與數量.....	27
表 8、無尾港與蘭陽溪口重要濕地水域底泥採樣作業時程表.....	32
表 9、底泥品質重金屬指標項目及其上、下限值規定.....	33
表 10、重金屬樣本種類與檢測數量.....	34
表 11、本研究結果和環境保護署(2002, 2006)、陳韋廷(2016)於新城溪和蘭陽溪 檢測河川底泥重金屬含量資料整理.....	36
表 12、水域底泥重金屬鉛濃度檢測值.....	37
表 13、水域底泥重金屬鋅濃度檢測值.....	38
表 14、水域底泥重金屬銅濃度檢測值.....	39
表 15、水域底泥重金屬鎳濃度檢測值.....	40
表 16、水域底泥重金屬鉻濃度檢測值.....	41
表 17、水域底泥重金屬鎘濃度檢測值.....	42
表 18、水域底泥重金屬砷濃度檢測值.....	43
表 19、水域底泥重金屬汞濃度檢測值.....	44
表 20、水域底泥重金屬鋁濃度檢測值.....	45
表 21、整理 Wedepohl(1995)地殼元素組成濃度資料.....	50
表 22、重金屬汙染風險評估—地質積累指數法.....	52
表 23、重金屬汙染風險評估—富集因子.....	52
表 24、小燕鷗成鳥胸羽中鉛濃度檢測值.....	54
表 25、小燕鷗成鳥胸羽中鋅濃度檢測值.....	54
表 26、小燕鷗成鳥胸羽中銅濃度檢測值.....	55
表 27、小燕鷗成鳥胸羽中鎳濃度檢測值.....	55
表 28、小燕鷗成鳥胸羽中鉻濃度檢測值.....	56
表 29、小燕鷗成鳥胸羽中鎘濃度檢測值.....	56
表 30、小燕鷗成鳥胸羽中汞濃度檢測值.....	57
表 31、小燕鷗蛋殼鉛濃度檢測值.....	62
表 32、小燕鷗蛋殼鋅濃度檢測值.....	63
表 33、小燕鷗蛋殼銅濃度檢測值.....	63
表 34、小燕鷗蛋殼鎳濃度檢測值.....	64
表 35、小燕鷗蛋殼鉻濃度檢測值.....	64

表 36、小燕鷗蛋殼鎘濃度檢測值.....	65
表 37、小燕鷗蛋殼砷濃度檢測值.....	65
表 38、小燕鷗蛋殼汞濃度檢測值.....	66
表 39、小燕鷗食魚鉛濃度檢測值.....	72
表 40、小燕鷗食魚鋅濃度檢測值.....	72
表 41、小燕鷗食魚銅濃度檢測值.....	72
表 42、小燕鷗食魚鎳濃度檢測值.....	73
表 43、小燕鷗食魚鉻濃度檢測值.....	73
表 44、小燕鷗食魚鎘濃度檢測值.....	74
表 45、小燕鷗食魚砷濃度檢測值.....	74
表 46、小燕鷗食魚汞濃度檢測值.....	75
表 47、水域底泥和食魚胸羽的重金屬濃度的相關性分析.....	81
表 48、成鳥胸羽和蛋殼的重金屬濃度的相關性分析.....	82
表 49、成鳥體重和成鳥胸羽重金屬濃度的相關性分析.....	82
表 50、蛋殼重金屬濃度和蛋殼厚薄度的相關性分析.....	83
表 51、臺灣各地小燕鷗繁殖概況與威脅.....	87
表 52、無尾港與蘭陽溪口重要濕地範圍內水質測站資料.....	92

圖 目 錄

圖 1、蘭陽溪口重要濕地範圍.....	3
圖 2、無尾港重要濕地範圍.....	4
圖 3、兩處重要濕地範圍內的小燕鷗繁殖地底泥採樣點位置.....	5
圖 4、小燕鷗於無尾港重要濕地的繁殖地點與巢位.....	16
圖 5、小燕鷗於蘭陽溪口重要濕地的繁殖地點與巢位.....	16
圖 6、小燕鷗每週族群量變化.....	17
圖 7、2011-2017 年小燕鷗最大族群量	20
圖 8、各繁殖地野狗出沒頻率.....	23
圖 9、各繁殖棲地巢蛋體積.....	25
圖 10、小燕鷗蛋殼厚度.....	26
圖 11、藍旗編碼 Y2 小燕鷗及其背負的追蹤記錄器 pinpointGPS-40077.....	28
圖 12、走入式陷阱(左)和弓網(右)架設。	30
圖 13、個體在蘭陽溪口重要濕地活動範圍.....	31
圖 14、水域底泥鉛濃度.....	1
圖 15、水域底泥鋅濃度.....	46
圖 16、水域底泥銅濃度.....	1
圖 17、水域底泥鎳濃度.....	47
圖 18、水域底泥鉻濃度.....	48
圖 19、水域底泥鎘濃度.....	48
圖 20、水域底泥砷濃度.....	49
圖 21、水域底泥汞濃度.....	49
圖 22、水域底泥重金屬汙染風險評估－環境污染因子.....	51
圖 23、小燕鷗成鳥胸羽鉛濃度.....	57
圖 24、小燕鷗成鳥胸羽鋅濃度.....	58
圖 25、小燕鷗成鳥胸羽銅濃度.....	59
圖 26、小燕鷗成鳥胸羽鎳濃度.....	60
圖 27、小燕鷗成鳥胸羽鉻濃度.....	60
圖 28、小燕鷗成鳥胸羽鎘濃度.....	61
圖 29、小燕鷗成鳥胸羽汞濃度.....	61
圖 30、小燕鷗蛋殼鉛濃度.....	67
圖 31、小燕鷗蛋殼鋅濃度.....	67
圖 32、小燕鷗蛋殼銅濃度.....	68
圖 33、小燕鷗蛋殼鎳濃度.....	68
圖 34、小燕鷗蛋殼鉻濃度.....	69
圖 35、小燕鷗蛋殼鎘濃度.....	69
圖 36、小燕鷗蛋殼砷濃度.....	70

圖 37、小燕鷗蛋殼汞濃度.....	70
圖 38、小燕鷗食魚鉛濃度.....	76
圖 39、小燕鷗食魚鋅濃度.....	76
圖 40、小燕鷗食魚銅濃度.....	77
圖 41、小燕鷗食魚鎳濃度.....	78
圖 42、小燕鷗食魚鉻濃度.....	79
圖 43、小燕鷗食魚鎘濃度.....	79
圖 44、小燕鷗食魚砷濃度.....	80
圖 45、小燕鷗食魚汞濃度.....	80
圖 46、行政院環境保護署全國環境水質監測系統於兩重要濕地的水質測站.....	90
圖 47、無尾港與蘭陽溪口重要濕地範圍內河川流域測站檢驗水體重金屬銅濃度.....	97
圖 48、無尾港與蘭陽溪口重要濕地範圍內河川流域測站檢驗水體重金屬鋅濃度.....	97
圖 49、無尾港與蘭陽溪口重要濕地範圍內河川流域測站檢驗水體重金屬砷濃度.....	98
圖 50、無尾港與蘭陽溪口重要濕地範圍內河川流域測站檢驗水體重金屬錳濃度.....	98
圖 51、無尾港與蘭陽溪口重要濕地範圍內沿海海域測站檢驗水體重金屬銅濃度.....	99
圖 52、無尾港與蘭陽溪口重要濕地範圍內沿海海域測站檢驗水體重金屬鋅濃度.....	99

壹、計畫緣起

小燕鷗在臺灣受野生動物保育法所保護，列名為二級珍貴稀有種保育類。每年夏季(4~7 月)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紀錄的燕鷗科鳥類(鄭謙遜等，2006)。在臺灣主要繁殖地為宜蘭(蘭陽溪出海口、新城溪出海口)、彰化(彰濱工業區崙尾區)，及澎湖(吉貝島、青螺濕地)。小燕鷗屬於鷗科中較小型的鳥種，體長約22-24 公分，外形雌雄鳥同型。和大多數的海鳥相比，小燕鷗的覓食範圍相對的小，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; 顏重威等, 2006)，有時也會捕抓昆蟲或蠕蟲(劉小如等, 2010)。

目前在國際自然保護聯盟瀕危物種紅色名錄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，因此被列為無危(least concern)物種(BirdLife International, 2016)。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、易危、瀕危或極危的保育級別(Devos *et al.*, 2004; Dolev and Perevolotsky, 2004; Hustings *et al.*, 2004; Radovic *et al.*, 2007; Ministry of the Environment, 2008)。在臺灣，2014 年全台小燕鷗的族群量約有 1400 隻，其中宜蘭縣約 450 隻(張樂寧, 2014)；2015 年宜蘭縣約 250~300 隻(陳韋廷, 2016)，其族群量為臺灣各繁殖地之首，每年繁殖季平均約百巢的繁殖記錄(張樂寧, 2014；陳韋廷, 2016)。由此可知，宜蘭縣是臺灣小燕鷗重要的繁殖棲地。

然而，自 2010 年確認小燕鷗於蘭陽溪口水鳥保護區繁殖以來，每年的孵化率受到颱風、捕食與人為干擾等因素而有很大的波動(宜蘭縣野鳥學會, 2011, 2012; 張樂寧, 2014)。

而在2016年陳韋廷(2016)的探討小燕鷗體內重金屬的生物累積與巢蛋品質的研究中更發現無尾港重要濕地的小燕鷗蛋殼厚度有較其他繁殖地較薄的現象，推測此地區可能遭受較高的重金屬污染風險。這些造成小燕鷗孵化率不佳或巢蛋品質低落的因子，皆有可能成為小燕鷗族群下降的潛在原因，並且和其繁殖棲地環境的狀況有極大的關係。

國外已有以多種高營養階層物種或單一物種作為生態系健全與否的長期監控指標，以全面瞭解生態系內棲地環境狀況及時空變化(Dietz *et al.*, 2013)。小燕鷗由於食物種類相當廣泛，屬於高營養階層生物，且覓食範圍小，又容易觀察，因此適合作為河口濕地與沿海生態系的指標監測物種。因此，本計畫擬依小燕鷗的特性，分析其體內與其食物、環境之重金屬含量，並監測其繁殖表現概況以評估其重金屬暴露風險，建立監測與評估程序，作為兩處重要濕地長期生態監測方式與經營管理績效評估之方法。

貳、計畫目標

藉由無尾港與蘭陽溪口重要濕地（國家級）指標物種小燕鷗族群數量與繁殖監測，建立小燕鷗胸羽、食魚與環境的重金屬濃度資料庫，作為二處重要濕地保育利用措施檢討的依據。

參、計畫範圍

一、蘭陽溪口重要濕地

調查範圍為蘭陽溪口重要濕地範圍(圖 1)，本濕地位於蘭陽溪口，為蘭陽大橋以東之河川地，北起過嶺國小東側約 300 公尺處，南至五結區域性衛生掩埋場北側，海域部分至等深線 6 公尺處¹。



圖 1、蘭陽溪口重要濕地範圍。

¹國家重要濕地保育計畫，<http://wetland-tw.tcd.gov.tw/WetLandWeb/wetland.php?id=153>。營建署城鄉發展分署，上網日期：106 年 9 月 11 日。

二、 無尾港重要濕地

調查範圍位於無尾港重要濕地範圍內(圖 2)，本濕地位於新城溪口，北起蘇澳區域性衛生掩埋場，南至蘇澳港北側約 450 公尺處，西以利工三路、新城溪堤防、鄉道宜 42 為界，海域部分至等深線 6 公尺處²。



圖 2、無尾港重要濕地範圍。

²國家重要濕地保育計畫，<http://wetland-tw.tcd.gov.tw/WetLandWeb/wetland.php?id=155>。營建署城鄉發展分署，上網日期：106 年 9 月 11 日。

肆、 工作項目

一、 小燕鷗繁殖族群監測與繁殖表現調查

於 106 年的 3 至 8 月間，每週至兩濕地進行 1 次小燕鷗族群調查，並視繁殖狀況在接近幼雛孵化階段增加至每週兩次。每次調查工作包含：巢位找尋、巢位環境量測、巢蛋量測與繁殖狀況確認。

二、 小燕鷗覓食範圍調查

於 106 年 3 至 8 月每週 1 次進行小燕鷗成鳥的繫放，捕抓之成鳥需紀錄嘴長、全頭長、飛羽長、跗蹠長、體重，並挑選體重合適的成鳥繫上代表台灣地區的上白旗下藍旗標誌，另挑選 20 隻體重充足、符合追蹤記錄器重量不超過體重 3-5% 的成鳥掛上重量約 1.5-1.7g 的追蹤記錄器，以確認繁殖期間的小燕鷗覓食地點。

三、 水域底泥採樣

於 106 年 3 月至 8 月間，每月至兩濕地進行 1 次範圍水域的底泥採集，作重金屬檢測分析，採樣點位置如圖 3 所示，採樣點位置座標如表 1。

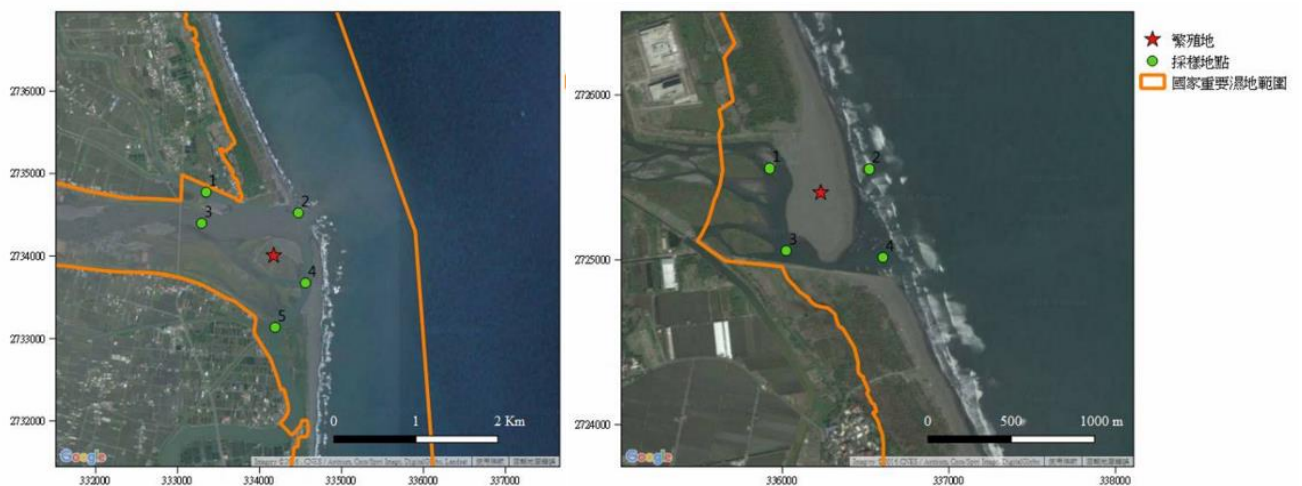


圖 3、兩處重要濕地範圍內的小燕鷗繁殖地底泥採樣點位置。

表 1、各採集樣點之 TWD97 經緯度座標。

採集樣點	座標 X	座標 Y
蘭陽溪口樣點 1	333083	2734874
蘭陽溪口樣點 2	334612	2734337
蘭陽溪口樣點 3	333190	2734372
蘭陽溪口樣點 4	334563	2733547
蘭陽溪口樣點 5	334157	2733112
新城溪口樣點 1	335819	2725269
新城溪口樣點 2	336112	2725325
新城溪口樣點 3	335866	2725075
新城溪口樣點 4	336156	2725144

四、 重金屬樣本（胸羽、底泥、食魚）檢測

依照行政院環境保護署公告的「重金屬檢測方法總則（NIEA M103.02C）」標準執行重金屬濃度檢測，並進行水域的重金屬污染程度評估。

五、 文獻與資料收集與分析

收集鷗科鳥類相關的重金屬毒理研究報告，並收集宜蘭縣重金屬污染相關資料，並評估宜蘭縣小燕鷗族群可能面臨的毒害風險。

六、工作項目檢核表

項次	工作項目	辦理情形
一	小燕鷗繁殖族群 監測與繁殖表現 調查	自 03 月起至 08 月進行調查，共執行 40 次調查，總參與調查人次 126 人，調查日程記錄詳如附錄一。
二	小燕鷗覓食範圍 調查	自 05 月 13 日至 07 月 24 日止，進行 18 天次的巢內繫放作業，共捕抓 31 巢次，繫放小燕鷗成鳥 43 隻，並挑選體重充足、符合追蹤記錄器重量不超過體重 3-5% 的成鳥 21 隻上追蹤記錄器（繫放記錄詳如附錄四）。
三	水域底泥採樣	自 03 月至 08 月期間，每月完成無尾港重要濕地的 4 個水域底泥採樣點以及蘭陽溪口重要濕地的 5 個水域底泥採樣點的採集作業，採樣作業期程請表 8。
四	重金屬樣本檢測	本研究計畫自 03 月至 8 月於無尾港和蘭陽溪口重要濕地採集並分析水域底泥樣本 54 個、成鳥胸羽樣本 18 個、蛋殼樣本 20 個以及食魚樣本 21 個。
五	文獻資料收集與 分析	完成文獻回顧與探討：小燕鷗族群現況與危機、臺灣小燕鷗繁殖概況與威脅、重金屬汙染對鳥類的影響與檢測、臺灣探討鳥類和重金屬汙染的研究、重金屬檢測資料蒐集與分析。

伍、 調查方式

一、 小燕鷗繁殖族群監測與繁殖表現調查

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的親鳥或是跟隨地面上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。除了本研究團隊的每週至少 1 次的例行調查外，本計畫也和宜蘭縣野鳥學會合作，於繁殖季前討論與確認調查方法。結合在地民眾力量，增加調查頻度與努力量，本研究團隊也彙整及確認宜蘭縣野鳥學會的調查資訊，提供研究計畫更詳實的資料。調查紀錄資料分為下列各項：

1. 巢位標記：

使用 GPS 將每一巢定位，並將尋獲日期、巢蛋數量寫於長約 30cm，直徑約 1cm 的木棍，將木棍豎立於巢位旁 2m 處。另外，也將對每巢拍照以記錄其周圍環境。

2. 巢蛋測量：

使用游標尺測量蛋的長和寬，並使用前人研究的公式換算巢蛋的體積，公式如下：

$$\text{體積} = 0.4866 \times \text{長} \times \text{寬}^2 \div 1000$$

(單位：cc, Hong *et al.*, 1998)

3. 繁殖紀錄：

小燕鷗雛鳥在孵化後數小時內即有行動能力，且親鳥會使用聲音引導幼鳥躲藏，因此不易觀察與紀錄，故本研究的孵化成功率以巢為單位。若調查期間只要發現一隻以上的雛鳥孵化，即判定為整巢孵化成功，若在接近孵化日期發現巢蛋消失，且周圍沒有破壞痕跡，亦紀錄為成功；若在接近孵化日期之前發現巢蛋消失，或於孵化日期 5 日以上仍未孵化或未見親鳥孵巢，則觀察周圍遺留的證據(例如：浸水、腳印、輪胎印、沙痕、蛋殼碎片、蛋液)來判定失敗原因。在調查過程中，確認孵化成功或失敗的巢蛋碎片也將收集回實驗室進行蛋殼厚度量測，並留存於-20 度冰箱中。

4. 幼鳥胸羽採樣：

於繁殖季期間使用 8 倍雙筒望遠鏡觀察幼鳥位置，當發現幼鳥後，研究人員將以手抄網捕抓以進行繫放工作，依照幼鳥體型與換羽程度判斷孵化週數，之後採集約 0.02g 的胸羽。採集後的胸羽放入聚乙烯封口袋保存，整個過程以不超過 10 分鐘為原則，採集後立即於現地釋放幼鳥，若在過程中發現幼鳥受傷，將立即停止一切研究作業，並評估是否須送回動物醫院治療，若無需送回，將視受傷狀況評估能否就地野放。

二、 小燕鷗覓食範圍調查

將小燕鷗成鳥繫上足旗與追蹤記錄器，以瞭解宜蘭縣小燕鷗覓食的水域範圍，可供未來棲地之經營管理與保育計畫之擬定。

1. 繫放：

於小燕鷗下蛋至少 7 天後以弓網(bownet)或走入式陷阱(walkin trap)進行巢內繫放；以及於小燕鷗繁殖末期群聚時，觀察其群聚位置於夜間架設霧網進行繫放。捕抓的成鳥將進行形質測量，包含：嘴長、全頭長、飛羽長、跗蹠長、體重，並繫上代表臺灣的白、藍足旗與中華野鳥協會編碼的金屬腳環，為避免影響小燕鷗，操作過程不超過 30 分鐘為原則，完成後將小燕鷗原地放飛。

2. 追蹤記錄器：

於成鳥繫放過程中，挑選 20 隻挑選體重充足的成鳥綁上重量約 1.5~1.7g 的追蹤記錄器，使追蹤記錄器與線材重量不超過鳥體重量的 5%，因此無影響小燕鷗健康與飛行之虞慮(Bridge *et al.*, 2011)。固定追蹤記錄器方式為繞腳式 (leg-loop) 固定法。此外也將對上追蹤記錄器的成鳥進行 30 分鐘的觀察，確認其行為未受追蹤記錄器影響後才進行下一個繫放工作。

三、 水域底泥採樣

為了解小燕鷗繁殖環境周邊之汙染物背景值，將挑選數處小燕鷗覓食水域與上游渠道採集深度 15 公分之淺層底泥，採樣方式依照環境保護署公告之底泥採樣辦法(NIEA S104.31B)，放入聚乙烯封口袋內，之後放入-20°C 冰箱中保存。

四、 重金屬(胸羽、底泥、食魚) 樣本檢測

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，置入 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 0.45μm 濾膜過濾液體，並儲存於抗酸的 PP 材質離心管中待分析。前處理過程每 25 個樣本會製作 1 個僅含水和硝酸的空白樣本，以確認前處理過程中未受到汙染。

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，國內已有多篇利用此方法檢測鳥類樣本之文獻(陳玄暉, 2008; 陳韋廷, 2016)。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，則再重新分析此樣品一次，樣品之分析結果應以 ppm 為表示單位。重金屬濃度分析將請臺灣大學生農學院共同儀器中心檢測，其儀器的偵測極限範圍在 0.02-0.1ppb。檢測重金屬濃度時，每檢測 10 個樣本後會檢測已知濃度的標準液(50ppb)確認分析過程未污染或樣本損失。

3. 重金屬污染風險評估：

將捕食水域的底泥重金屬以三個常用的污染指數—污染因子 (contamination factor, CF)、地質累積指數(index of geoaccumulation, Igeo) 以及富集因子(enrichment factor, EF) 進行換算，可用來評估水域的重金屬污染程度。

(1) 污染因子

使用水域底泥的重金屬濃度與環境中重金屬之背景濃度的比值作為評估重金屬污染風險的指數 (Zhao *et al.*, 2015)。

$$CF = C_{\text{Heavymetal}} / C_{\text{Background}}$$

根據 CF 值的大小，可將污染風險分為以下 4 種污染風險程度：

$CF \leq 1$ ，表示低污染

$1 < CF \leq 3$ ，表示低至中度污染

$3 < CF \leq 6$ ，表示中度污染

$CF > 6$ ，表示高污染

(2) 地質累積指數

地質累積指數考慮自然地質組成的背景值影響，也考量了人為活動對重金屬來源的影響，以反映重金屬分布的自然變化特徵，可以判別人為活動對環境的影響，作為區分人為活動影響的重要參數(Zhao *et al.*, 2015)。

$$I_{geo} = \log_2(C_{\text{Heavymetal}} / 1.5 \times C_{\text{Background}})$$

根據 I_{geo} 的數值，可將污染風險分為以下 7 種污染程度：

$I_{geo} \leq 0$ ，未受污染

$0 < I_{geo} \leq 1$ ，低度至中度污染

$1 < I_{geo} \leq 2$ ，中度污染

$2 < I_{geo} \leq 3$ ，中度至高度污染

$3 < I_{geo} \leq 4$ ，高度污染

$4 < I_{geo} \leq 5$ ，重度污染

$I_{geo} > 5$ ，嚴重重度污染

(3) 富集因子

因為分析底泥的重金屬含量時，會受到自然界地殼中原本存有的重金屬含量影響，因此為了要區分是否是地殼組成成分導致檢測濃度差異，需要利用不因人為活動而改變含量的因子來做校正。由於鋁為地殼組成元素之一，其含量不易受到人為活動影響，因此本研究使用鋁濃度作為環境背景值的校正(Kemp *et al.*, 1976)，可適當判別檢測出的重金屬濃度是否是人為污染或自然濃度。因此，計算富集因子的公式為：水域底泥的某重金屬濃度與鋁濃度的比值相對於地殼元素中某重金屬濃度與鋁濃度的比值

$$EF = (C_{\text{Heavymetal}} / C_{\text{Al}}) / (C_{\text{metal*background}} / C_{\text{Al*background}})$$

當 $EF < 1$ ，表示重金屬的主要來源為地殼組成物質；當 $EF > 1$ ，表示重金屬的含量大於地殼組成濃度，可能有非地殼組成成分的其他外部輸入。

五、 文獻、資料之收集與分析

收集鷓鴣科鳥類相關的重金屬毒理研究報告，以利於評估宜蘭縣小燕鷗族群可能面臨的毒害風險，並供未來適時作出對策與工業區污染之管制。此外亦收集宜蘭縣重金屬污染相關資料，以利於瞭解過去與現況的污染源，供未來長期經營管理與整治之需。同時完成下列文獻資料回顧與探討：

- 小燕鷗族群現況與危機
- 臺灣小燕鷗繁殖概況與威脅
- 重金屬污染對鳥類的影響與檢測
- 臺灣探討鳥類和重金屬污染的研究
- 重金屬檢測資料蒐集與分析

陸、 結果與討論

一、 小燕鷗繁殖族群監測與繁殖表現調查

106 年度小燕鷗繁殖族群監測與繁殖表現調查自 03 月起至 08 月進行調查，共執行 40 次調查，總參與調查人次 126 人，調查日程記錄詳如附錄一。

研究團隊於無尾港與蘭陽溪口重要濕地共記錄到 4 個小燕鷗主要的繁殖地點 (圖 4、圖 5)，分別為位於無尾港重要濕地範圍內的新城溪口北岸沙灘(以下簡稱新城溪口)，以及位於蘭陽溪口重要濕地範圍內的蘭陽溪口南岸沙灘(以下簡稱蘭陽溪口)、五結堤防道路外河岸灘地(以下簡稱五結)和新南路外河岸灘地(以下簡稱為新南)。

小燕鷗於 4 月中旬陸續抵達無尾港與蘭陽溪口重要濕地，蘭陽溪口最早於 04 月 15 日記錄到 6 隻小燕鷗的出現，其次於 04 月 28 日新城溪口也記錄到 2 隻小燕鷗的出現。然而，到 5 月第一週時，研究團隊僅在新城溪口和蘭陽溪口記錄到 8 巢小燕鷗的巢位。而相較調查記錄到的小燕鷗族群量 52 隻(新城溪口 6 隻，蘭陽溪口 46 隻)，仍有近七成(36 隻)的小燕鷗未參與繁殖，因此研究團隊推測：應該有尚未被發現的繁殖棲地存在。為了確認小燕鷗是否有其他未知的繁殖棲地，研究團隊的調查範圍由原本主要的新城溪出海口北岸沙灘和蘭陽溪出海口沙洲擴增至無尾港與蘭陽溪口重要濕地的所有涵蓋範圍。透過增加調查的努力量，於 5 月研究團隊確認了五結和新南的這兩個繁殖棲地。

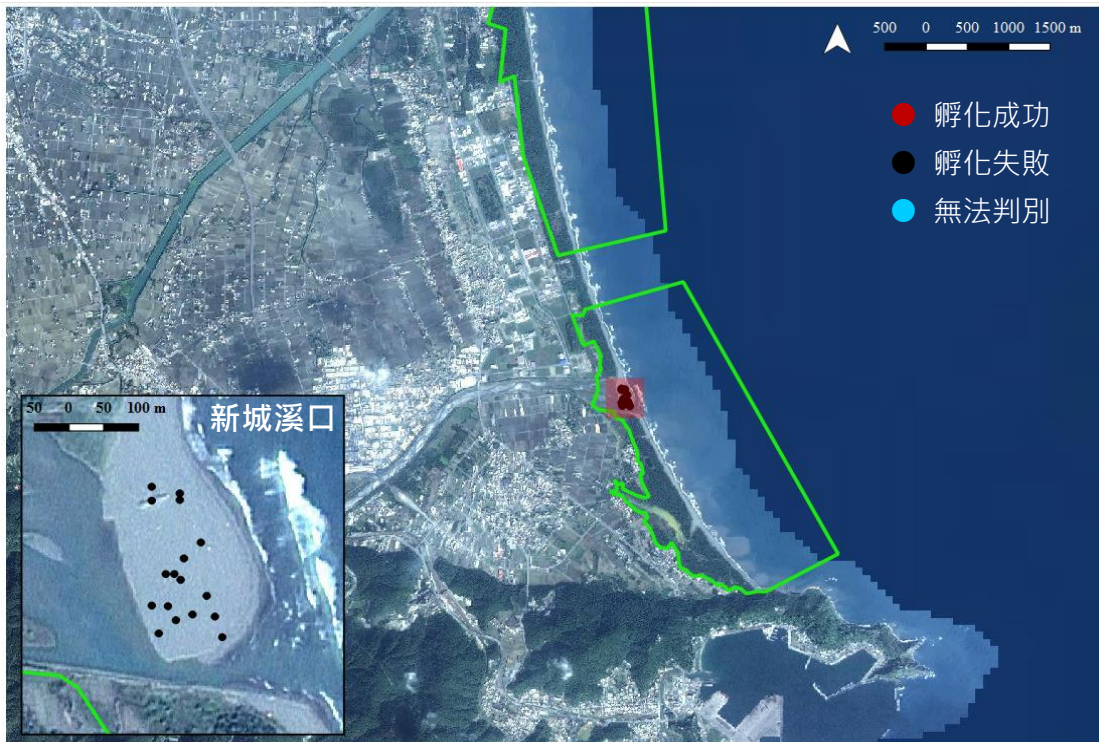


圖 4、小燕鷗於無尾港重要濕地的繁殖地點與巢位。

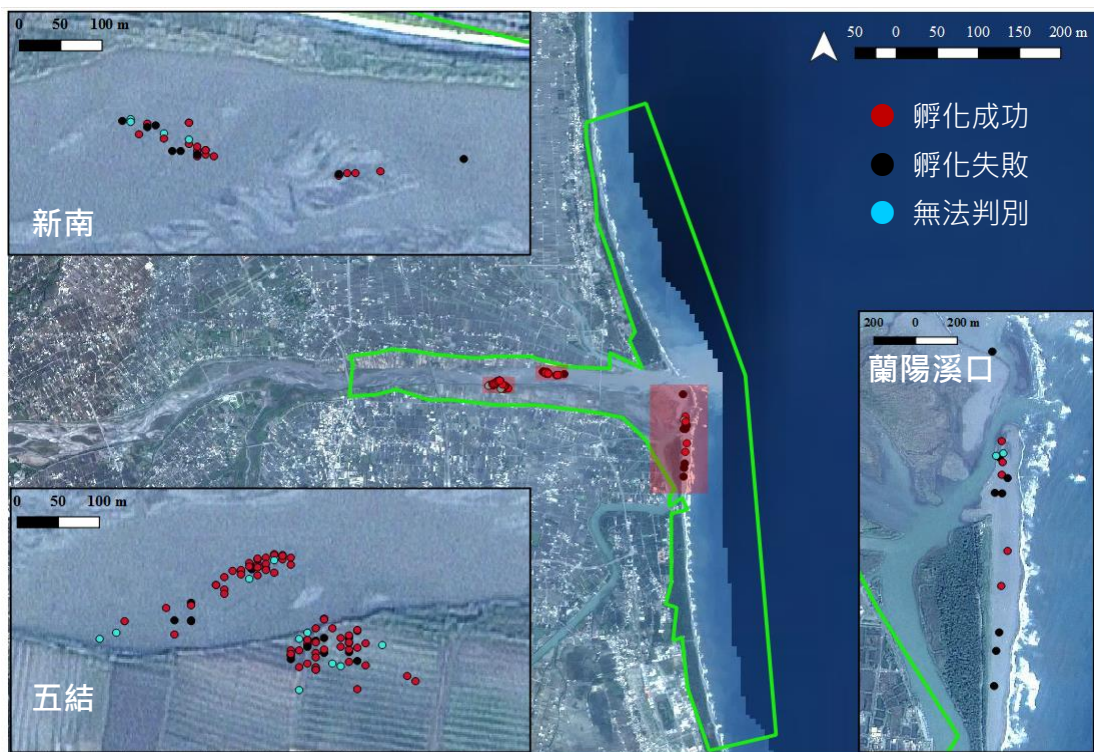


圖 5、小燕鷗於蘭陽溪口重要濕地的繁殖地點與巢位。

透過小燕鷗每週族群量目擊調查記錄(圖 6、附錄二)可知：4 地小燕鷗每週調查族群量變化大，4 月中至 5 月初以蘭陽溪口南岸的族群量最多，5 月中旬後則以五結的小燕鷗族群量最大。今年度各繁殖地單次記錄到小燕鷗最大族群量為新城溪口 22 隻、蘭陽溪口 46 隻、五結 80 隻以及新南 16 隻，整體單次調查最大量為 119 隻。族群數量上和張樂寧(2014)的調查數量 450 隻落差大。

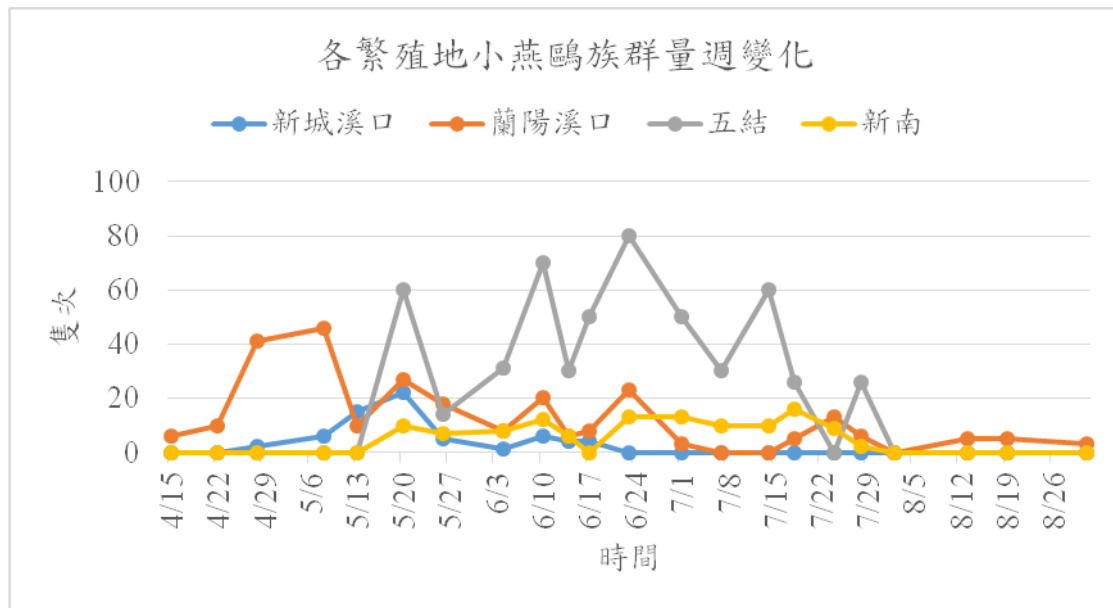


圖 6、小燕鷗每週族群量變化：各繁殖地單次記錄到小燕鷗最大族群量為新城溪口 22 隻、蘭陽溪口 46 隻、五結 80 隻以及新南 16 隻。

為了更準確推估無尾港與蘭陽溪口重要濕地的小燕鷗繁殖族群，研究團隊透過漂浮法推估小燕鷗巢蛋的孵化階段(Hays and LeCrop, 1971)，反推小燕鷗巢蛋的下蛋起始日，再結合研究團隊實地調查巢蛋的結束日，計算每週小燕鷗的巢位數量變化，藉此推估小燕鷗的繁殖族群量(表 2)。由此可知，單週最大巢位數量與繁殖族群量分別為：新城溪口 14 巢 28 隻、蘭陽溪口 11 巢 22 隻、五結 59 巢 118 隻以及新南 18 巢 36 隻。經整合 4 地巢位數量週變化後，推估今年度無尾港與蘭陽溪口重要濕地的小燕鷗繁殖族群為 160 隻。

表 2、小燕鷗繁殖巢位數量週變化：以巢位數量推估小燕鷗繁殖族群量，推估今年度無尾港與蘭陽溪口重要濕地的小燕鷗繁殖族群為

	新城溪口							蘭陽溪口							五結							新南							總巢數									
05/01-05/07	3	5																																			8	
05/08-05/14	3	5	4	2				1	1	1							16													2								32
05/15-05/21		5	4	2	1	1		1	1	1	3	2	2				16	12												2	2							52
05/22-05/28				2	1	1	1		1	1	3	2	2	1	1		16	12	2											2	2	1						48
05/29-06/04					1	1			1			2	2	1	1	1	16	12	2											2	2	1						42
06/5-06/11													2		1	1	2				1	1	13	9					7	1							38	
06/12-06/18													2		1	1	2				1	1	13	9	1	29			7	1	1	7					76	
06/19-06/25															1	2				1	13	9	1	29	6			7	1	1	7	2				80		
06/26-07/02															1	2						13	9		29	6		7	1	1	7	2				78		
07/03-07/09															1	2							9		29	6			1		7	2				57		
07/10-07/16																															8							
單週最大巢數	14							11							59							18							80									
單週最大族群量	28							22							118							36							160									

160 隻。

*底色中數字表示當時的巢位數量。

**繁殖族群量以巢位數乘2計算。

不論是目擊調查記錄或以巢位計算繁殖族群，今年度所記錄到的族群量和往年比較相對減少許多(圖 7)。整理宜蘭地區自 2011 年以來的小燕鷗族群量調查，發現 2017 年的族群量為歷年最低記錄，並且族群有下降趨勢。為了避免小燕鷗的族群記錄受到調查人員、調查方式與調查時間的差異造成誤差，本研究團隊認為以巢位推算的繁殖族群是相對準確與具有代表性的數據。因為宜蘭地區有兩種不同遷留狀態的小燕鷗，夏候鳥與過境鳥，兩者在調查時節都有可能在宜蘭地區出現，但夏候鳥小燕鷗才能適當反應出宜蘭兩重要濕地的狀態，作為當地的生態指標。

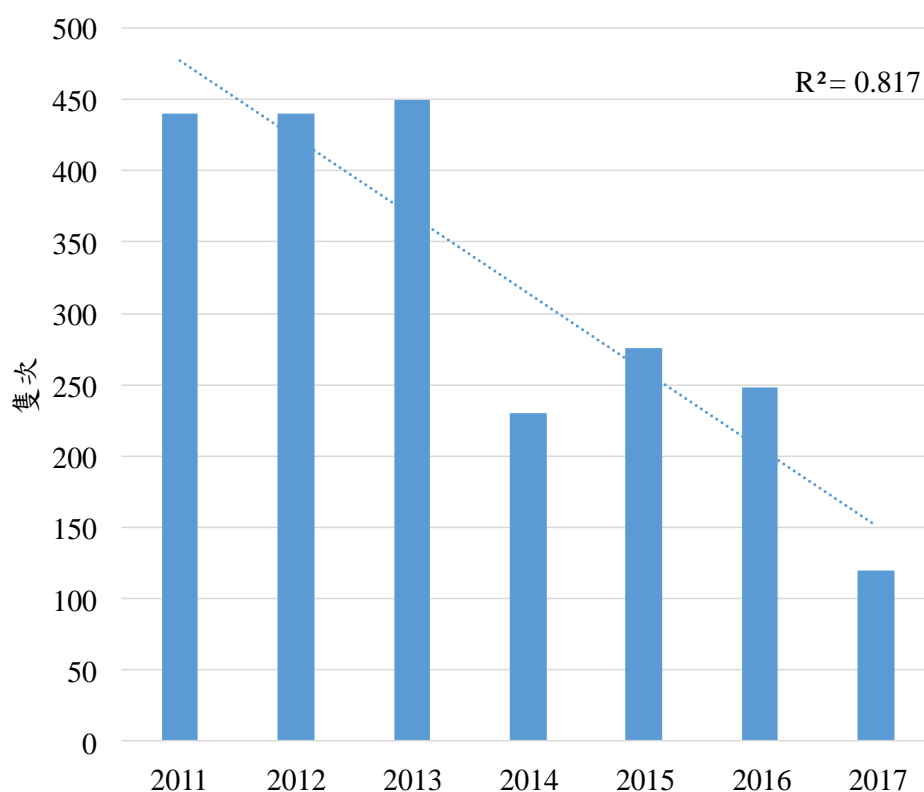


圖 7、2011-2017 年小燕鷗最大族群量：2017 年為歷年族群量最低記錄，並且小燕鷗族群有逐年下降趨勢。

在無尾港與蘭陽溪口重要濕地中，小燕鷗 5 月上旬先於無尾港重要濕地的新城溪口繁殖，接著 5 月中旬才於蘭陽溪口重要濕地的蘭陽溪口、五結和新南開始繁殖。今年度研究團隊在無尾港與蘭陽溪口重要濕地範圍內記錄到 155 巢小燕鷗的巢蛋(表 3)，分別為新城溪口 17 巢、蘭陽溪口南岸 15 巢、五結 94 巢以及新南 29 巢，以五結記錄到的小燕鷗巢數最多，是小燕鷗最主要的繁殖棲地。

整體而言，今年度無尾港與蘭陽溪口重要濕地的小燕鷗整體孵化率為 55.5%，各棲地的孵化率依高低分別為五結(70.2%)、蘭陽溪口(33.3%)、新南(51.7%)和新城溪口(0%)。這邊特別要注意的是本研究所使用的孵化成功定義為：一巢中有一顆蛋成功孵化即視為孵化成功，因此，55.5%指得是小燕鷗巢蛋的孵化成功率。自小燕鷗蛋孵化到幼鳥長大至可飛行仍需 3-4 週的時間，期間小燕鷗的幼鳥仍然面臨許多威脅，如：天敵捕食、天氣惡劣等，才能平安長大加入其族群，維持族群量的動態穩定。雖然今年度整體 55.5%的孵化率相較以往的調查結果 17-54.8%看似是小燕鷗繁殖狀況不錯的一年(宜蘭縣野鳥學會，2011、2012；張樂寧，2014)。但是今年度在小燕鷗巢蛋孵化後至幼鳥尚未學會飛行的時期，恰逢多次梅雨鋒面與颱風帶來大雨，導致河水淹沒河岸沙灘，大雨直接或間接影響了小燕鷗幼鳥的存活。因此，今年度小燕鷗整體的孵化率高，但幼鳥的存活率不佳。研究團隊僅在後期調查目擊與捕獲 1 隻一週以上大小的幼鳥。

表 3、小燕鷗於各棲地的繁殖概況。

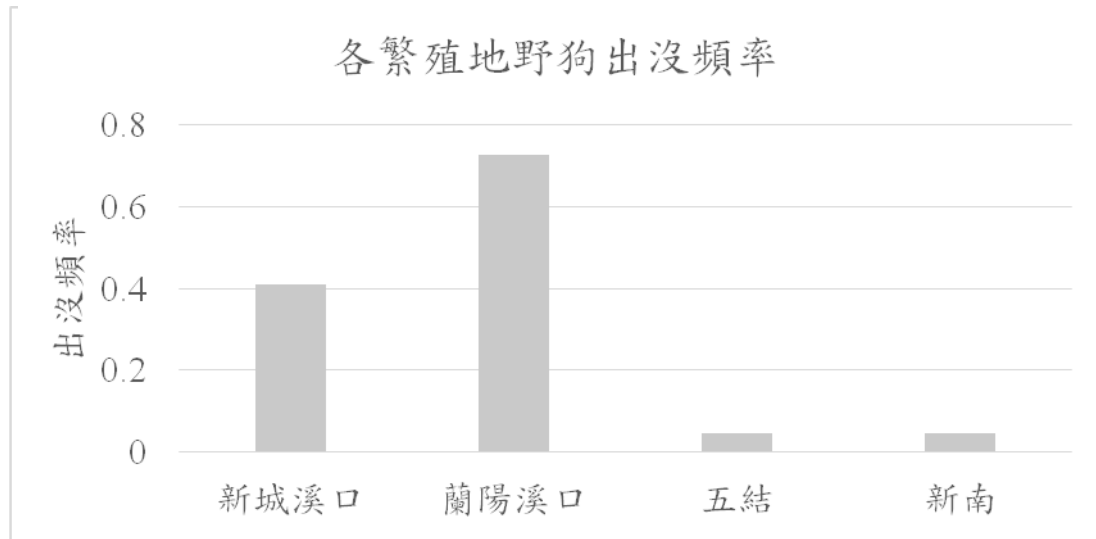
	新城溪口	蘭陽溪口南岸	五結	新南	整體
記錄巢數	17	15	94	29	155
孵化成功	0	5	66	15	86
孵化失敗	17	8	17	9	51
無法辨別	0	2	11	5	18
孵化率	0.0%	33.3%	70.2%	51.7%	55.5%

分析小燕鷗孵化失敗的原因雖 4 地狀況各有不同，整體而言以天候因素(大雨)、棄巢和野狗捕食為小燕鷗是否孵化成功最主要的影響因子(表 4)。例如：五結和新南因位於蘭陽溪河道兩旁，受 06 月 01 日至 06 月 05 日梅雨鋒面、07 月 07 日熱帶性低氣壓和 07 月 29 日尼莎颱風帶來的雨量，棲地因溪水增漲而淹沒或受到沖蝕，使得小燕鷗巢蛋浸泡於水中多日失溫或遭溪水沖走，是五結和新南小燕鷗孵化失敗的主要原因。而在新城溪口和蘭陽溪口則以野狗捕食小燕鷗巢蛋導孵化失敗的比例高，根據本研究觀察野狗是以隨機主義方式尋得小燕鷗巢蛋位置並將以捕食，而非針對性的捕食結果。唯新城溪口與蘭陽溪口的野狗出沒數量與頻度高(圖 8、附錄三)，增加了野狗捕食小燕鷗巢蛋的威脅。未來若能適時移除野狗族群或保持野狗於一定的族群量下，將可以減輕小燕鷗巢蛋被野狗捕食的壓力。此外，棄巢也是值得注意的部分，除了自然的天候因素外，可能存有其他干擾因子，像是野狗或人類活動等，迫使小燕鷗放棄巢蛋。

表 4、小燕鷗於各棲地孵化失敗原因。

	新城溪口		蘭陽溪口南岸		五結		新南		全部	
失敗巢數	17		8		17		9		51	
狗捕食	8	47.1%	3	37.5%	0	0%	0	0%	11	21.6%
沙埋	3	17.6%	2	25.0%	0	0%	0	0%	5	9.8%
棄巢	2	11.8%	2	25.0%	6	35.3%	4	44.4%	14	27.5%
大雨	0	0%	0	0%	10	58.8%	4	44.4%	14	27.5%
無法判別	4	23.5%	1	12.5%	1	5.9%	1	11.2%	7	13.7%

圖 8、各繁殖地野狗出沒頻率：以新城溪口和蘭陽溪口出沒頻率為高。



和歷年宜蘭地區小燕鷗的孵化率比較(表 5)，今年度蘭陽溪口重要濕地和新城溪口重要濕地的孵化率分別為歷年最大值 62.3%與最小值 0%，而歷年小燕鷗孵化率為 10 -54.8%，年間變動大。而自 2011 至 2017 年小燕鷗孵化失敗的主要原因皆和淹水事件的影響有關，可能是因為繁殖期和梅雨季、颱風期重疊所導致，但是否有受到氣候變遷仍須累積更長期資料與進一步探討。

表 5、宜蘭地區歷年小燕鷗孵化率與失敗主因整理。

地點	作者	孵化成功率	失敗主因
蘭陽溪口	宜蘭鳥會, 2011	17%	颱風導致的淹水
蘭陽溪口	宜蘭鳥會, 2012	31%	淹水
蘭陽溪口	張樂寧, 2014	54.8%	淹水和被掠食
蘭陽溪口	陳韋廷, 2016	10%	淹水和被掠食
無尾港	陳韋廷, 2016	29%	淹水和被掠食
蘭陽溪口	本計畫, 2017	62.3%	捕食、棄巢、大雨淹水
無尾港	本計畫, 2017	0%	被捕食

今年度記錄到的 155 巢小燕鷗巢位，平均窩卵數為 2.07 ± 0.61 顆，以窩卵數 2 顆的巢位($n=97$)數量最多，其次為窩卵數 3 顆的巢位($n=35$)，而窩卵數 1 顆的巢位($n=23$)數量最少(表 6)。4 個繁殖地的窩卵數並無顯著差異($p=0.580$)。若以兩重要濕地做劃分，其窩卵數也無顯著差異($p=0.997$)。

表 6、各繁殖地巢蛋窩卵數比例

	新城溪口		蘭陽溪口南岸		五結		新南		整體	
窩卵數 = 1	5	29.4%	1	6.7%	13	13.8%	4	13.8%	23	14.8%
窩卵數 = 2	6	35.3%	9	60.0%	61	64.9%	21	72.4%	97	62.2%
窩卵數 = 3	6	35.3%	5	33.3%	20	21.3%	4	13.8%	35	22.6%
總巢數	17		15		94		29		155	

小燕鷗整體巢蛋體積平均為 8.7969 ± 0.8821 cc ($n=149$)，各棲地巢蛋體積依大小為新城溪口(9.0837 ± 0.6380 cc, $n=14$)、五結(8.7716 ± 0.8042 cc, $n=92$)、新南(8.7620 ± 1.2502 cc, $n=29$)、和蘭陽溪口(8.7121 ± 0.6399 cc, $n=14$) (圖 9)。4 個繁殖地的巢蛋體積並無顯著差異($p=0.070$)，但若以兩重要濕地做劃分，無尾港重要濕地的小燕鷗巢蛋體積顯著高於蘭陽溪口重要濕地的小燕鷗巢蛋體積($p=0.017$)，顯示無尾港重要濕地的小燕鷗親鳥品質可能相對佳，或是因為蘭陽溪口重要濕地的小燕鷗可能部分來自無尾港重要濕地繁殖失敗的個體，因為再次下蛋而導致巢蛋體積下降。值得注意的是 2017 年的巢蛋平均體積相較於張樂寧(2014)的調查蘭陽溪口巢蛋體積平均 9.15cc 和陳韋廷(2016)的調查蘭陽溪口和新城溪口巢蛋體積平均 9.03cc 來得更小了，是否意味著此處的小燕鷗的繁殖品質下降或環境無法提供充足的能量補充，未來需嘗試釐清原因。

小燕鷗整體蛋殼厚薄度為 0.1063 ± 0.0108 mm ($n=34$)，各棲地依蛋殼厚薄度排序分別為新城溪口(0.1135 ± 0.0060 mm, $n=7$)、蘭陽溪口(0.1106 ± 0.0071 mm, $n=9$)、新南(0.1012 ± 0.0047 mm, $n=7$)和五結(0.0999 ± 0.0133 mm, $n=11$)，其中新城溪口的蛋殼厚度顯著大於五結與新南的蛋殼厚度(圖 10, $p_a=0.049$ 、 $p_b=0.051$)。若以兩重要濕地做劃分，無尾港重要濕地的小燕鷗蛋殼厚度相較蘭陽溪口重要濕地的小燕鷗蛋殼厚度厚(圖 10, $p_c=0.015$)。和巢蛋體積一樣，蛋殼厚度的差異顯示無尾港重要濕地的小燕鷗親鳥品質可能相對佳，或是因為蘭陽溪口重要濕地的小燕鷗可能部分來自無尾港重要濕地繁殖失敗的個體，因為再次下蛋而導致蛋殼較薄。

兩重要濕地的蛋殼厚度和 2015 年的調查結果—新城溪口 0.0741mm 和蘭陽溪口 0.0917mm(陳韋廷, 2016)—比較，今年度的蛋殼厚度較厚。然而，和國外小燕鷗蛋殼厚度比較，希臘的愛可信三角洲(Axios Delta)的小燕鷗蛋殼厚度為 0.23mm(Goutner *et al.*, 1997)以及德國的西波羅的海(Western Baltic Sea)沿岸的小燕鷗蛋殼厚度範圍為 0.15-0.20mm(Thyen *et al.*, 2000)，兩重要濕地的小燕鷗蛋殼厚度皆小於上述兩地點。除了亞洲小燕鷗和歐洲小燕鷗的亞種不同可能造成的差異外，是否有其他因子影響蛋殼的厚薄度，值得未來追縱與調查。

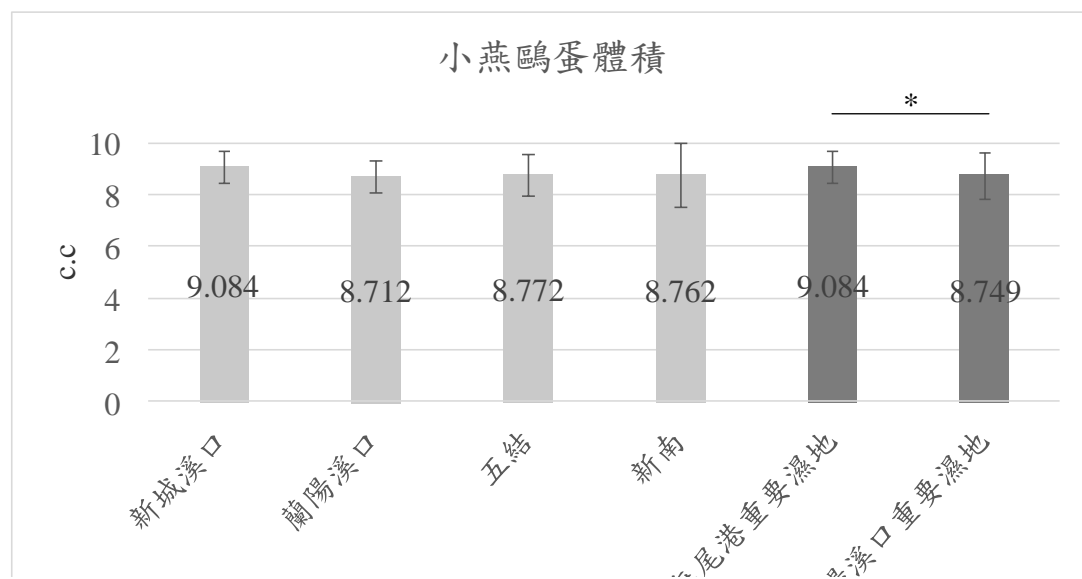


圖 9、各繁殖棲地巢蛋體積：4 個繁殖地的巢蛋體積並無顯著差異($p=0.070$)；但無尾港重要濕地顯著高於蘭陽溪口重要濕地($p=0.017$)。

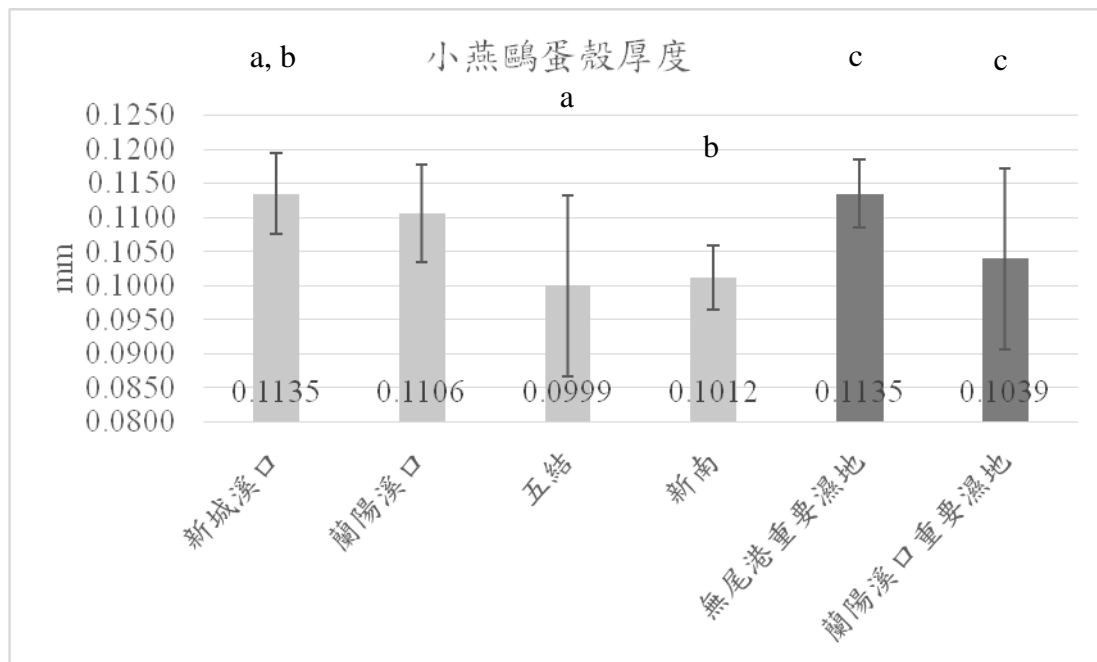


圖 10、小燕鷗蛋殼厚度：新城溪口顯著大於新南與五結 ($p_a=0.049$ 、 $p_b=0.051$)；無尾港重要濕地相較蘭陽溪口重要濕地厚($p_c=0.015$)。

另外，在調查中也在無尾港與蘭陽溪口重要濕地記錄到其他鳥種的繁殖巢位，依數量多寡分別為小環頸鴿 8 巢、東方環頸鴿 8 巢、夜鷹 5 巢和小雲雀 1 巢，於各繁殖棲地所記錄的鳥種與巢位數量，請見表 7。

表 7、各繁殖棲地非小燕鷗的巢位種類與數量

	新城溪口	蘭陽溪口	五結	新南	整體
小雲雀	0	0	0	1	1
小環頸鴿	2	1	2	3	8
東方環頸鴿	4	1	2	1	8
夜鷹	0	0	3	2	5

二、 小燕鷗覓食範圍調查

巢內繫放的執行為了避免過早干擾使得小燕鷗棄巢，因此本研究於小燕鷗下蛋 7 天後才進行巢內捕抓，並且盡量避免同 1 天捕抓同 1 巢的 2 隻親鳥都上追蹤記錄器。第 1 次巢內繫放的時間為 05 月 13 日，至 07 月 24 日止，本研究已進行 18 天次的巢內繫放作業，共計捕抓 31 巢次，繫放小燕鷗成鳥 43 隻，並挑選體重充足、符合追蹤記錄器重量不超過體重 3-5% 的成鳥 21 隻上追蹤記錄器(繫放記錄請見附錄四)。上追蹤記錄器的個體平均體重為 51.6g，記錄器約佔小燕鷗體重的 3.2%。今年度本團隊成功重複捕獲 1 隻個體(藍旗編碼 Y2)，回收追蹤記錄器(pinpointGPS-40077)(圖 11)。



圖 11、藍旗編碼 Y2 小燕鷗及其背負的追蹤記錄器 pinpointGPS-40077。

因受限追蹤記錄器的電量，可記錄 GPS 點位點數有限。一開始因本研究主要工作項目是為瞭解小燕鷗覓食活動範圍，且為避免巢捕食、巢破壞或棄巢等不確定因素發生，原預計嘗試在繫放後盡快回收，因此在追蹤記錄器的排程設定上是從繫放隔日的清晨 04 點開始，每 10 分鐘記錄 1 筆 GPS 點位資料。然而，嘗試重複捕抓時發現小燕鷗對於弓網陷阱存在的反應明顯且警覺性提高，會降落在巢位附近停留活動但不願意回巢，使得短時間內要回收追蹤記錄器的難度增加。

因應此狀況，本研究團隊將追蹤記錄器的排程設定改設為繫放後第 1~3 天的上午 08:30~10:00 和第 1~2 天的下午 16:30~18:00 每 20 分鐘記錄 1 筆 GPS 點位資料；並於 106 年 09 月 23 日(秋分)和 107 年 03 月 31 日(春分)上午 08:00~09:30，每 20 分鐘記錄 1 筆 GPS 點位資料；以及於 106 年 12 月 15 日(度冬地)上午 08:00~10:00，每 1 小時記錄 1 筆 GPS 點位資料。若短期內成功回收追蹤記錄器可獲得活動範圍資料，若 106 年未順利回收，隔年(107 年)回收也可獲得遷徙與度冬地的資訊。度冬地的日期設置參考本研究團隊先前利用地理紀錄器(geolocator)探討小燕鷗的遷徙路徑而定。

此外，本研究團隊也嘗試改以走入式陷阱(walkin trap)(圖 12-左)替代弓網(圖 12-右)執行重複捕抓，雖然小燕鷗對巢位附近架設陷阱仍有警覺，但幾番嘗試後，終於成功回收 1 顆追蹤記錄器(藍旗編碼 Y2 個體)並讀取出資料。



圖 12、走入式陷阱(左)和弓網(右)架設。

透過藍旗編碼 Y2 個體的追蹤記錄器回收，我們可以知道其平均離巢活動距離為 289 ± 473 m，最大離巢距離為 1,407 m。以最小凸多邊形法(Minimum convex polygon method)分析藍旗編碼 Y2 個體的活動範圍，連接最外圍的活動點位成為一凸多邊形區域，此區域即為活動範圍(White and Garrott, 1990)，可知小燕鷗的活動範圍面積為 0.617 平方公里(圖 13)。小燕鷗的覓食活動範圍多不超過 4 公里(Bertolero *et al.*, 2005; Thaxter *et al.*, 2012)，這樣的活動距離相對大多數的海鳥來說較小，加上小燕鷗屬高營養階層生物，使小燕鷗可作為河口濕地與沿海生態系的指標監測物種，反應生態系的健全與否。



圖 13、個體在蘭陽溪口重要濕地活動範圍，右圖為左圖紅色區塊放大圖，★為巢位、●為 06/07 活動點位、●為 06/08 活動點位、●為 06/09 活動點位，- 為最小凸多邊形計算出的活動範圍(0.617 km²)。

三、 水域底泥採樣

本研究團隊於 03 月至 08 月期間，每月完成無尾港重要濕地的 4 個水域底泥採樣點以及蘭陽溪口重要濕地的 5 個水域底泥採樣點的採集作業，採樣作業期程請表 8。今年度共計有無尾港重要濕地底泥樣本 24 個和蘭陽溪口重要濕地底泥樣本 30 個。

表 8、無尾港與蘭陽溪口重要濕地水域底泥採樣作業時程表。

日期	調查內容
2017-03-11	水域底泥採樣點確認
2017-03-12	水域底泥採樣點確認
2017-03-24	3 月水域底泥採樣
2017-04-28	4 月水域底泥採樣
2017-05-26	5 月水域底泥採樣
2017-06-23	6 月水域底泥採樣
2017-07-24	7 月水域底泥採樣
2017-08-13	8 月水域底泥採樣

依據行政院環境保護署的推行，底泥品質管理已納入「土壤及地下水汙染整治辦法」中，並發布「底泥品質指標之分類管理及用途限制辦法」，規範重金屬、有機化合物以及農藥等污染物的上、下限值，如表 9。底泥指標的上、下限值主要是以人體健康與生態安全的意義作為考量，參考國外長期研究調查結果，經統計後取出可能對敏感底棲小型生物造成最大影響率 50% 及 25% 的濃度分別訂出上、下限值。可提供本研究底泥樣本重金屬檢測結果的比對，作為監測頻率與環境生態安全的評估。

表 9、底泥品質重金屬指標項目及其上、下限值規定。

重金屬	上限值(ppm)	下限值(ppm)
砷(As)	33.0	11.0
鎘(Cd)	2.49	0.65
鉻(Cr)	233	76.0
銅(Cu)	157	50.0
汞(Hg)	0.87	0.23
鎳(Ni)	80.0	24.0
鉛(Pb)	161	48.0
鋅(Zn)	384	140

四、重金屬樣本檢測

今年度研究團隊於無尾港和蘭陽溪口重要濕地採集水域底泥樣本 54 個、成鳥胸羽樣本 18 個、蛋殼樣本 20 個以及食魚樣本 21 個(表 10)。今年度受到天氣因素影響(大雨)直接或間接影響了雛鳥的存活，研究團隊僅在後期調查目擊與捕獲 1 隻一週以上大小的幼鳥。為此，研究團隊撿拾孵化失敗的巢蛋，以蛋殼樣本替代幼鳥胸羽樣本，作為小燕鷗在無尾港與蘭陽溪重要濕地環境的重金屬累積參考。

所有採集樣本皆由研究團隊完成前處理作業後，送至臺灣大學生物資源暨農學院共同儀器中心進行重金屬濃度檢測。在前處理過程中，每操作 25 個樣本研究團隊會製作 1 個僅含水和硝酸的空白樣品送檢，以確保檢測樣品在進行前處理的過程中未被污染。在樣品送檢過程中，共同儀器中心每檢測 10 個樣品後會檢測 1 個已知濃度的標準液(汞:3ppb、其他元素:50ppb)檢測精密度，以確認分析過程無污染或樣本損失。

表 10、重金屬樣本種類與檢測數量。

	無尾港重要濕地		蘭陽溪口重要濕地		總計
	新城溪口	蘭陽溪口	五結	新南	
底泥	24		30		54
食魚	10		11		21
胸羽	8	4	4	2	18
蛋殼	5	5	5	5	20
空白					5

(1) 水域底泥重金屬濃度

無尾港與蘭陽溪口重要濕地的水域底泥重金屬濃度檢測值如表 12-表 20。在無尾港重要濕地四月採樣點 3 的銅和鎘濃度、採樣點 4 的鎘濃度、五月採樣點 2 的鉛濃度以及八月採樣點 1 的鉻濃度出現高檢測值結果。經確認在分析過程的三重覆值檢測均無異樣，故仍保留這 5 個樣品檢測值作為記錄，但在分析時不使用這 5 個資料，以免造成結果偏差。值得注意的是這 5 個異常皆出現在無尾港重要濕地範圍內，為了人類健康與生態系功能恆定應多留意是否是可能人為因素導致異常值的出現。

水域底泥重金屬濃度檢測結果：無尾港重要濕地的水域底泥(n=24)各重金屬平均濃度為：鉛 18.954 ± 13.957 ppm、鋅 97.429 ± 88.186 ppm、銅 17.551 ± 7.377 ppm、鎳 33.227 ± 10.359 ppm、鉻 25.188 ± 8.226 ppm、鎘 0.073 ± 0.034 ppm、砷 26.733 ± 9.017 ppm、汞 0.035 ± 0.017 ppm 和鋁 12213.5 ± 3005.3 ppm。蘭陽溪口重要濕地的水域底泥(n=30)各重金屬平均濃度為：鉛 20.559 ± 7.34 ppm、鋅 84.969 ± 54.25 ppm、銅 27.355 ± 12.545 ppm、鎳 37.769 ± 12.135 ppm、鉻 30.079 ± 9.752 ppm、鎘 0.179 ± 0.116 ppm、砷 22.102 ± 7.205 ppm、汞 0.093 ± 0.074 ppm 和鋁 16201.6 ± 6017.4 ppm。

本研究計畫檢測濃度和陳韋廷(2016) 2015 年 6 月採集的底泥檢測鉛、鎘和汞的結果比較(表 11)，本研究計畫兩重要濕地中，僅有鉛濃度比 2015 年來的高。在蘭陽溪流域部分，本計畫結果相較環境保護署(2002)的檢驗值而言，本研究計畫分析出的汞濃度仍維持小於 0.16ppm；鉛、鋅、鉻和鎘的檢測值有降低；銅、鎳和砷的濃度有增加(表 11)。而新城溪流域因為環境保護署的測站非位於河口，而是較上游的龍德大橋、新城橋和武荖坑，且數值和其他檢驗值差異較大，本研究計畫僅整理資料列表提供參考，不建議直接進行比較。此外，從三年的資料來看，暫無法看出重金屬濃度在時間上的變化趨勢，未來應持續執行底泥重金屬濃度變化監測。

表 11、本研究結果和環境保護署(2002，2006)、陳韋廷(2016)於新城溪和蘭陽溪檢測河川底泥重金屬含量資料整理。

	環保署(2006)	環保署(2002)	陳韋廷(2016)		本研究(2017)	
	新城溪	蘭陽溪	新城溪	蘭陽溪	新城溪	蘭陽溪
Pb(ppm)	32.07	22.13	13.05	12.63	18.954	20.5590
Zn(ppm)	97.18	109.5	-	-	97.429	84.9692
Cu(ppm)	40.9	24.46	-	-	17.551	27.3552
Ni(ppm)	101.75	32.25	-	-	33.227	37.7694
Cr(ppm)	127.31	59.3	-	-	25.188	30.0790
Cd(ppm)	2.02	0.208	1.27	0.93	0.073	0.1789
As(ppm)	7.3	11.3	-	-	26.733	22.1025
Hg(ppm)	0.139	<0.16	0.32	0.26	0.035	0.0931

在水域底泥重金屬檢測的結果中，蘭陽溪口重要濕地的鉛、銅、鎳、鉻、鎘和汞濃度顯著高於無尾港重要濕地，而鋅和砷濃度在兩重要濕地間並無太大差異(錯誤! 書籤的自我參照不正確。-圖 21)。和底泥品質指標上、下限值比較，各採樣點的鉛、銅、鉻、鎘和汞的濃度皆小於底泥品質指標的下限值；鋅濃度僅在無尾港重要濕地採樣點 1 (142.25ppm)略高於下限值(140ppm)；而鎳和砷的濃度在各採樣點皆介於底泥品質指標的上、下限值。

表 12、水域底泥重金屬鉛濃度檢測值。

鉛	無尾港重要濕地					蘭陽溪口重要濕地					
	1	2	3	4	每月平均	1	2	3	4	5	每月平均
3 月	14.199	15.432	14.365	16.712	15.177 ± 11.27	18.020	16.592	17.536	18.555	16.808	17.502 ± 0.733
4 月	14.028	13.972	17.995	13.585	14.895 ± 1.798	17.676	25.299	22.536	21.991	14.739	20.448 ± 3.756
5 月	15.730	50201.072*	76.508	15.954	36.064 ± 28.598	29.341	14.418	13.777	7.204	20.913	17.131 ± 7.49
6 月	14.319	14.279	24.030	13.641	16.567 ± 4.317	22.381	21.809	20.387	23.371	53.478	28.285 ± 12.633
7 月	14.604	45.389	13.638	14.404	22.009 ± 13.503	22.401	16.032	23.017	18.411	21.798	20.332 ± 2.676
8 月	16.632	11.988	11.551	12.985	13.289 ± 1.999	22.455	16.782	21.359	18.847	18.840	19.657 ± 2.016
樣點平均	14.919 ± 0.946	20.212 ± 12.637	26.348 ± 22.786	14.547 ± 1.346	--	22.045 ± 3.85	18.489 ± 3.797	19.769 ± 3.215	18.063 ± 5.204	24.429 ± 13.206	--
整體平均	18.954 ± 13.957					20.559 ± 7.34					

*不列入計算

表 13、水域底泥重金屬鋅濃度檢測值。

鋅	無尾港重要濕地					蘭陽溪口重要濕地					
	樣點	1	2	3	4	每月平均	1	2	3	4	5
3 月	178.145	74.311	162.527	135.373	137.589 ± 74.305	27.663	42.301	70.221	139.948	88.787	73.784 ± 39.329
4 月	48.720	70.378	63.363	61.600	61.015 ± 7.821	184.019	155.320	186.070	36.742	55.075	123.445 ± 64.496
5 月	461.874	66.078	42.114	37.261	151.832 ± 179.335	23.437	39.377	12.928	18.720	99.962	38.885 ± 31.779
6 月	33.902	51.547	151.106	55.557	73.028 ± 45.808	56.409	50.191	71.734	64.529	260.457	100.664 ± 80.228
7 月	55.424	191.281	50.788	52.654	87.537 ± 59.92	88.766	63.862	69.214	90.653	124.382	87.375 ± 21.283
8 月	74.683	72.408	67.344	79.849	73.571 ± 4.494	84.711	72.105	87.527	85.513	98.451	85.661 ± 8.387
樣點平均	142.13 ± 150.58	87.67 ± 46.93	89.54 ± 48.384	70.382 ± 31.68	--	77.501 ± 53.815	70.526 ± 39.618	82.949 ± 51.695	72.684 ± 39.332	121.186 ± 65.567	--
平均	97.429 ± 88.186					84.969 ± 54.25					

表 14、水域底泥重金屬銅濃度檢測值。

銅	無尾港重要濕地					蘭陽溪口重要濕地					
	1	2	3	4	每月平均	1	2	3	4	5	每月平均
3 月	15.589	17.546	16.054	19.514	17.18 ± 135.16	18.898	19.830	36.054	23.239	20.879	23.78 ± 6.305
4 月	11.949	12.680	975.221*	15.297	13.309 ± 1.437	21.778	28.504	29.986	26.439	19.205	25.182 ± 4.075
5 月	12.420	12.243	12.860	14.595	13.03 ± 0.931	23.448	25.194	16.057	9.000	32.556	21.251 ± 8.065
6 月	16.796	22.028	30.971	16.833	21.657 ± 5.783	24.014	22.020	24.791	26.344	86.589	36.752 ± 24.958
7 月	16.791	45.709	16.719	17.250	24.117 ± 12.468	28.545	21.632	27.813	39.449	36.809	30.85 ± 6.465
8 月	22.351	12.459	11.812	13.210	14.958 ± 4.297	27.403	25.520	28.399	25.562	24.698	26.316 ± 1.367
樣點平均	15.98 ± 3.44	20.44 ± 11.84	17.68 ± 6.9	16.12 ± 2.03		24.014 ± 3.253	23.783 ± 2.906	27.183 ± 6.027	25.006 ± 8.87	36.789 ± 23.117	
平均	17.551 ± 7.377					27.355 ± 12.545					

*不列入計算

表 15、水域底泥重金屬鎳濃度檢測值。

鎳	無尾港重要濕地					蘭陽溪口重要濕地					
樣點	1	2	3	4	每月平均	1	2	3	4	5	每月平均
3 月	28.257	32.966	28.500	34.260	30.996 ± 12.146	33.661	34.178	34.319	35.650	30.523	33.666 ± 1.703
4 月	27.119	28.182	30.604	30.530	29.109 ± 1.506	34.138	41.745	37.743	39.566	31.465	36.931 ± 3.7
5 月	30.198	29.078	31.605	32.105	30.746 ± 1.19	36.723	30.262	29.050	14.062	36.718	29.363 ± 8.286
6 月	30.033	29.227	53.141	30.787	35.797 ± 10.029	39.074	34.405	37.284	41.510	96.692	49.793 ± 23.564
7 月	28.945	73.653	29.043	30.358	40.5 ± 19.149	41.962	34.748	40.434	38.406	38.959	38.902 ± 2.417
8 月	47.297	25.891	26.635	29.039	32.215 ± 8.785	39.979	34.848	37.641	38.251	39.085	37.961 ± 1.744
樣點平均	31.98 ± 6.93	36.5 ± 16.75	33.26 ± 9.03	31.18 ± 1.64		37.59 ± 3.03	35.03 ± 3.39	36.08 ± 3.61	34.57 ± 9.34	45.57 ± 23.11	
平均	33.227 ± 10.359					37.769 ± 12.135					

表 16、水域底泥重金屬鉻濃度檢測值。

鉻	無尾港重要濕地					蘭陽溪口重要濕地					
	樣點	1	2	3	4	每月平均	1	2	3	4	5
3 月	18.769	22.027	19.523	24.264	21.15 ± 13.02	23.249	23.204	25.910	26.521	22.697	24.32 ± 1.57
4 月	29.016	25.548	28.196	26.841	27.4 ± 1.32	29.373	28.578	28.489	26.579	27.355	28.08 ± 0.99
5 月	25.746	26.210	25.515	26.159	25.91 ± 0.29	39.292	27.117	24.633	13.008	35.221	27.85 ± 9.126
6 月	20.677	20.269	37.413	21.851	25.05 ± 7.16	30.588	27.316	32.754	37.583	75.914	40.83 ± 17.86
7 月	19.745	58.367	19.471	20.870	29.61 ± 16.60	30.970	25.384	29.082	31.677	30.707	29.56 ± 2.26
8 月	89.542*	20.136	20.556	22.164	20.95 ± 0.87	29.309	31.272	27.452	30.801	30.337	29.83 ± 1.36
樣點平均	22.79 ± 3.935	28.76 ± 13.45	25.11 ± 6.39	23.69 ± 2.24		30.46 ± 4.70	27.15 ± 2.51	28.05 ± 2.58	27.7 ± 7.55	37.04 ± 17.79	
平均	25.188 ± 8.226					30.079 ± 9.752					

*不列入計算

表 17、水域底泥重金屬鎘濃度檢測值。

鎘	無尾港重要濕地					蘭陽溪口重要濕地					
	1	2	3	4	每月平均	1	2	3	4	5	每月平均
3 月	0.103	0.117	0.101	0.136	0.114 ± 0.59	0.100	0.095	0.119	0.142	0.143	0.12 ± 0.02
4 月	0.054	0.053	1197.358*	4.197*	0.053 ± 0	0.153	0.294	0.278	0.165	0.165	0.211 ± 0.062
5 月	0.065	0.041	0.035	0.060	0.05 ± 0.012	0.142	0.182	0.073	0.053	0.234	0.137 ± 0.067
6 月	0.077	0.072	0.132	0.075	0.089 ± 0.025	0.135	0.119	0.607	0.148	0.531	0.308 ± 0.215
7 月	0.083	0.125	0.073	0.083	0.091 ± 0.02	0.155	0.118	0.151	0.130	0.209	0.153 ± 0.031
8 月	0.035	0.029	0.024	0.031	0.03 ± 0.004	0.159	0.155	0.143	0.128	0.140	0.145 ± 0.011
樣點平均	0.069 ± 0.022	0.073 ± 0.037	0.073 ± 0.04	0.077 ± 0.034		0.141 ± 0.02	0.16 ± 0.066	0.229 ± 0.18	0.128 ± 0.035	0.237 ± 0.136	
平均	0.073 ± 0.034					0.179 ± 0.116					

*不列入計算

表 18、水域底泥重金屬砷濃度檢測值。

砷	無尾港重要濕地					蘭陽溪口重要濕地					
	1	2	3	4	每月平均	1	2	3	4	5	每月平均
3 月	15.242	15.491	16.176	20.335	16.81 ± 8.63	18.068	19.403	17.315	20.423	20.263	19.09 ± 1.22
4 月	33.912	32.426	35.415	32.479	33.56 ± 1.227	17.946	25.548	22.251	21.397	15.951	20.62 ± 3.36
5 月	32.538	31.729	32.621	33.702	32.65 ± 0.7	19.748	16.093	16.815	9.113	22.476	16.85 ± 4.48
6 月	14.969	17.068	28.676	16.252	19.24 ± 5.5	22.713	22.506	23.016	23.808	55.787	29.57 ± 13.12
7 月	18.509	40.002	18.863	17.786	23.79 ± 9.37	25.244	19.029	25.570	23.400	23.991	23.45 ± 2.35
8 月	47.447	29.303	27.690	32.956	34.35 ± 7.8	25.382	19.612	24.235	22.836	23.137	23.04 ± 1.94
樣點平均	27.1 ± 11.91	27.67 ± 8.7	26.57 ± 6.93	25.59 ± 7.56		21.52 ± 3.11	20.37 ± 2.97	21.53 ± 3.33	20.16 ± 5.08	26.93 ± 13.17	
平均	26.733 ± 9.017					22.102 ± 7.205					

表 19、水域底泥重金屬汞濃度檢測值。

汞	無尾港重要濕地					蘭陽溪口重要濕地					
	樣點	1	2	3	4	每月平均	1	2	3	4	5
3 月	0.053	0.055	0.050	0.069	0.057 ± 0.066	0.082	0.058	0.055	0.076	0.079	0.07 ± 0.011
4 月	0.017	0.023	0.021	0.021	0.021 ± 0.002	0.060	0.082	0.122	0.092	0.080	0.087 ± 0.02
5 月	0.033	0.019	0.023	0.028	0.026 ± 0.005	0.072	0.055	0.049	0.029	0.123	0.066 ± 0.032
6 月	0.040	0.044	0.072	0.040	0.049 ± 0.013	0.075	0.080	0.079	0.074	0.462	0.154 ± 0.154
7 月	0.041	0.059	0.037	0.038	0.044 ± 0.009	0.074	0.054	0.083	0.066	0.108	0.077 ± 0.018
8 月	0.017	0.016	0.017	0.016	0.016 ± 0.0003	0.082	0.069	0.176	0.075	0.120	0.105 ± 0.04
樣點平均	0.034 ± 0.013	0.036 ± 0.018	0.037 ± 0.019	0.035 ± 0.017		0.074 ± 0.007	0.066 ± 0.011	0.094 ± 0.044	0.069 ± 0.019	0.162 ± 0.135	
平均	0.035 ± 0.017					0.093 ± 0.074					

表 20、水域底泥重金屬鉛濃度檢測值。

鉛	無尾港重要濕地					蘭陽溪口重要濕地					
	樣點	1	2	3	4	每月平均	1	2	3	4	5
3 月	9164.303	10888.029	9935.976	11650.299	10409.7 ± 5386.1	9684.170	10575.888	9510.968	13244.548	9640.618	10531.2 ± 1408.2
4 月	13526.358	13254.566	15411.938	15853.104	14511.5 ± 1135.9	11697.006	16978.629	19955.718	13734.910	20437.873	16560.8 ± 3416.8
5 月	9543.455	8577.433	16310.112	10011.166	11110.5 ± 3046.2	18580.115	17287.843	15703.967	7606.049	22357.775	16307.1 ± 4874.7
6 月	11460.600	11583.183	22448.576	11665.339	14289.4 ± 4711.252	15987.012	15555.394	21197.004	25105.053	40350.557	23639 ± 9069.6
7 月	11172.671	14532.238	10950.082	11546.384	12050.3 ± 1448.7	17875.495	13707.148	15653.573	11244.679	16309.397	14958.1 ± 2288
8 月	8622.279	10190.602	12829.935	11995.889	10909.7 ± 1629.1	16589.212	13445.811	17187.035	13749.126	15094.640	15213.2 ± 1488
樣點平均	10581.6 ± 1669.3	11504.3 ± 1954.1	14647.8 ± 4150.9	12120.4 ± 1786.8		15068.8 ± 3259	14591.8 ± 2313.6	16534.7 ± 3756.4	14114.1 ± 5360.7	20698.5 ± 9677.9	
平均	12213.522 ± 3005.304					16201.574 ± 6017.449					

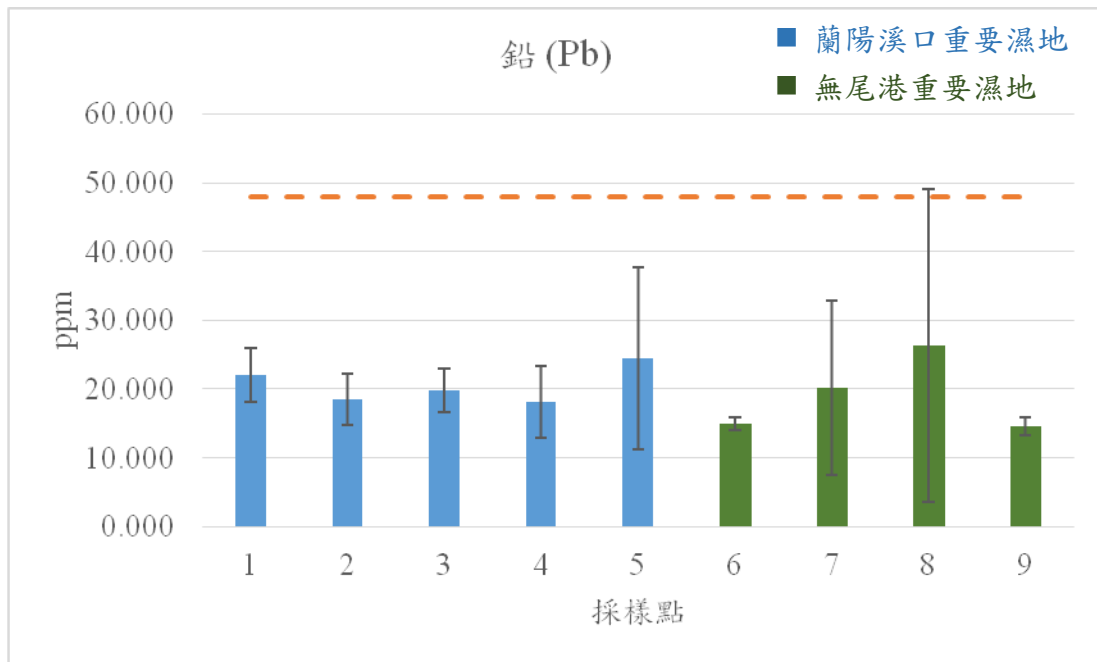


圖 14、水域底泥鉛濃度：蘭陽溪口重要濕地高於無尾港重要濕地($p < 0.001$)，但各樣點的檢測值都小於底泥品質下限值 48ppm(橘色虛線)。

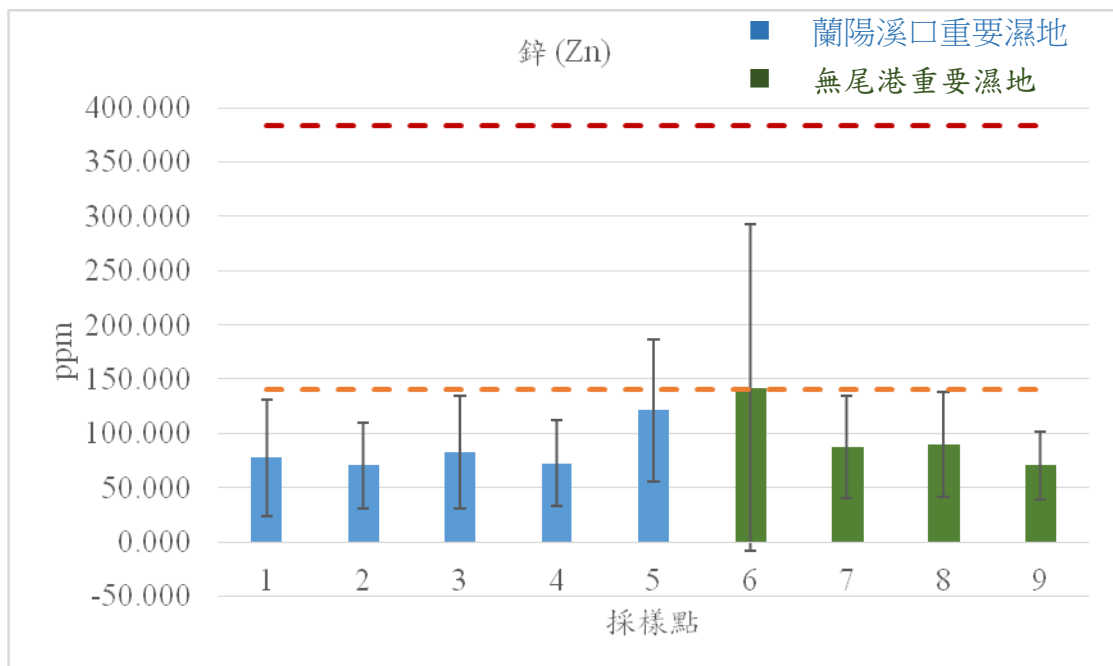


圖 15、水域底泥鋅濃度：兩重要濕地間無差異($p = 0.862$)，僅採樣點 6 的檢測值 (142.13ppm) 超過底泥品質下限值 140ppm(橘色虛線)，其餘採樣點的檢測值皆小於底泥品質下限值。

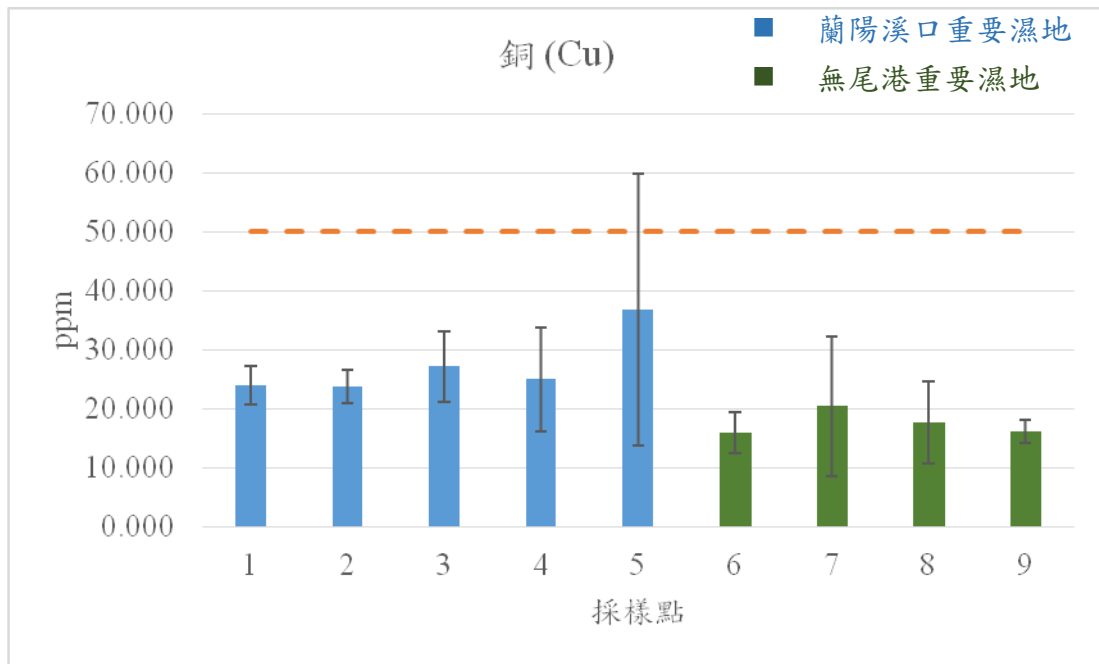


圖 16、水域底泥銅濃度：蘭陽溪口重要濕地高於無尾港重要濕地($p < 0.001$)，各樣點的檢測值都小於底泥品質下限值 50ppm(橘色虛線)。

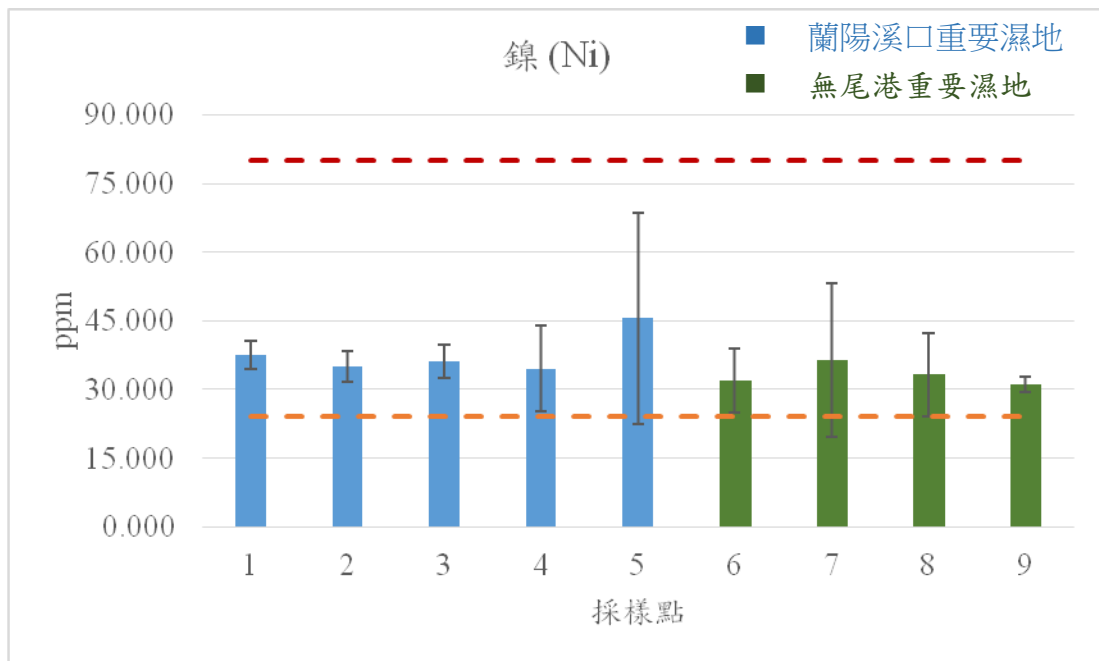


圖 17、水域底泥鎳濃度：蘭陽溪口重要濕地高於無尾港重要濕地($p < 0.001$)，各採樣點的檢測值皆介於底泥品質上、下限值 24-80ppm 間(下限值：橘色虛線，上限值：紅色虛線)。

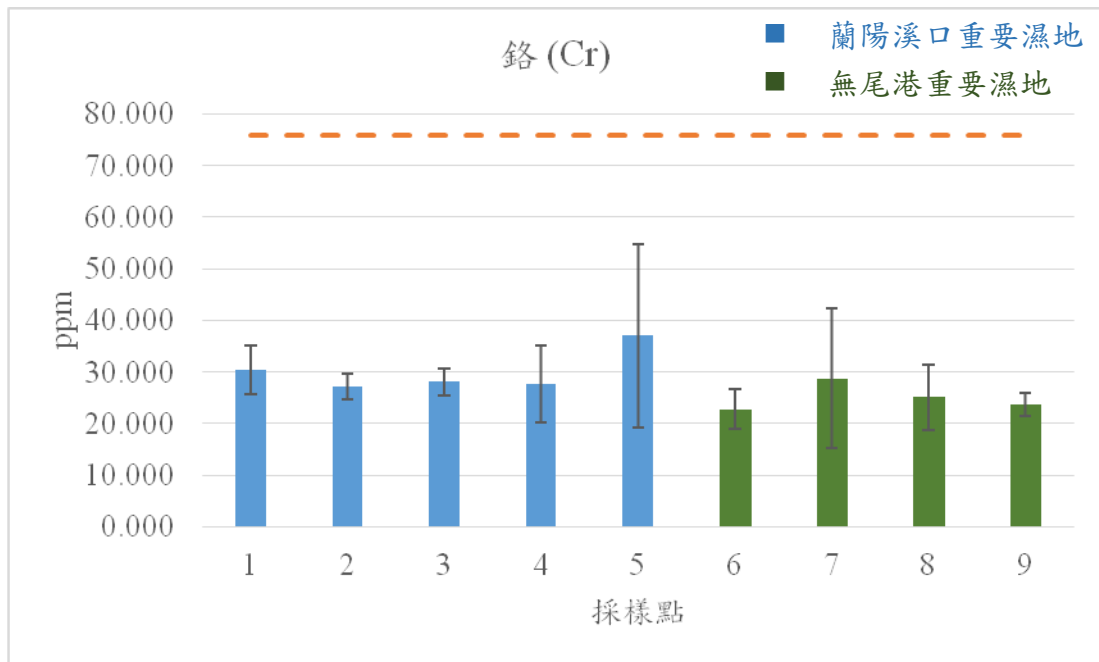


圖 18、水域底泥鉻濃度：蘭陽溪口重要濕地高於無尾港重要濕地($p < 0.001$)，各採樣點的檢測值都小於底泥品質下限值 76ppm(橘色虛線)。

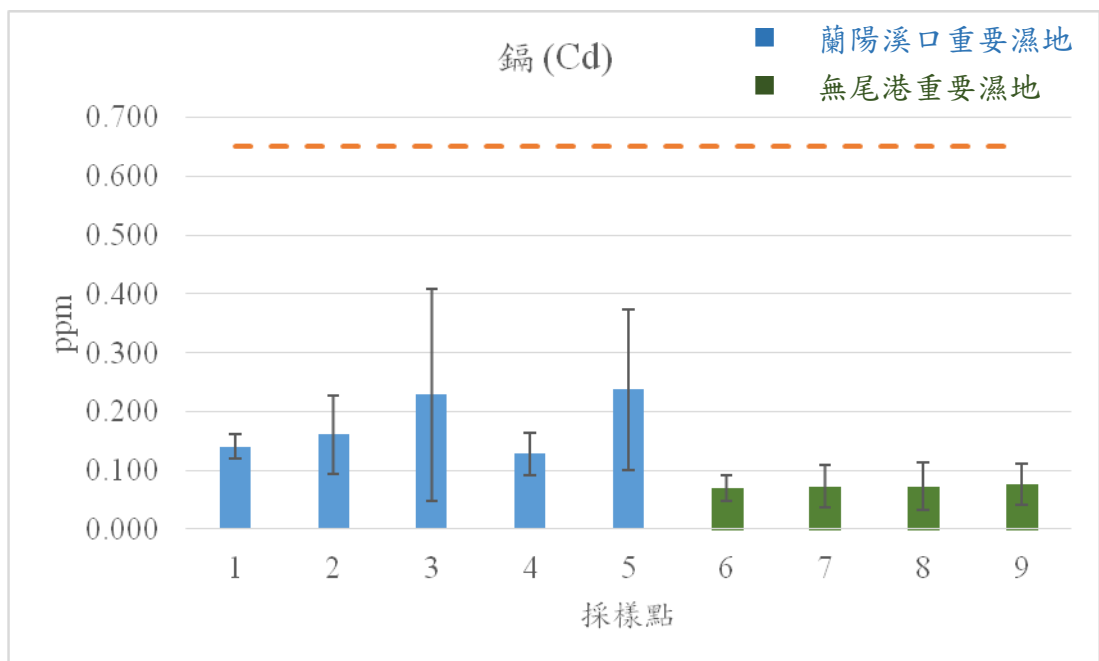


圖 19、水域底泥鎘濃度：蘭陽溪口重要濕地高於無尾港重要濕地($p < 0.001$)，各樣點的檢測值都小於底泥品質下限值 0.65ppm(橘色虛線)。

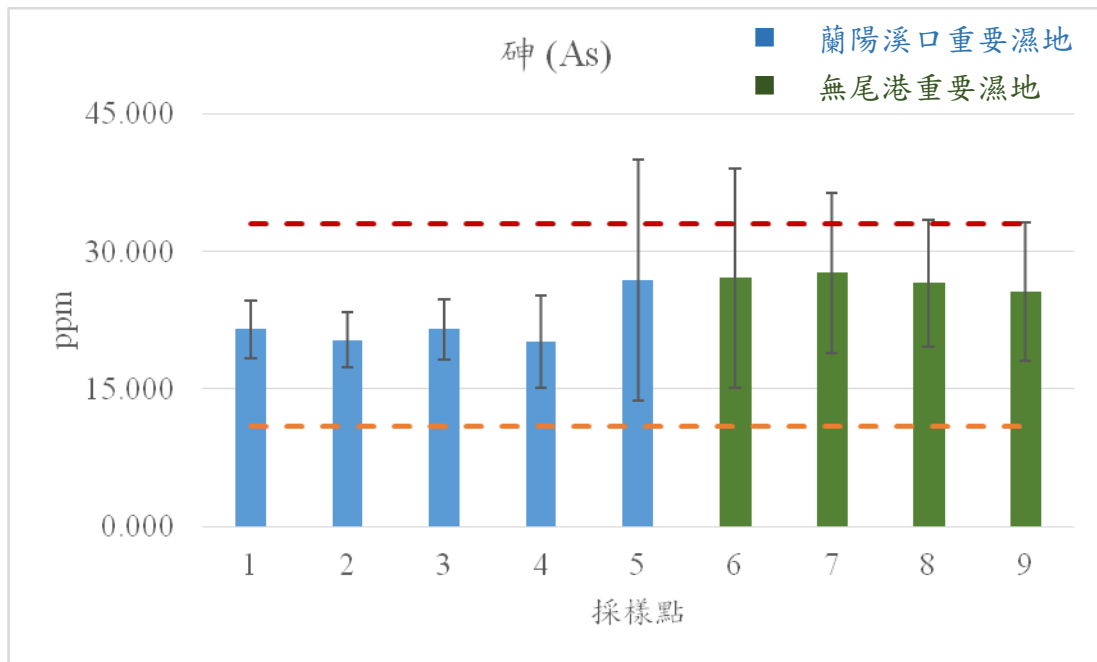


圖 20、水域底泥砷濃度：兩重要濕地間無差異($p=0.117$)，但各樣點檢測值大多介於底泥品質上、下限值 11-33ppm 間(下限值：橘色虛線，上限值：紅色虛線)。

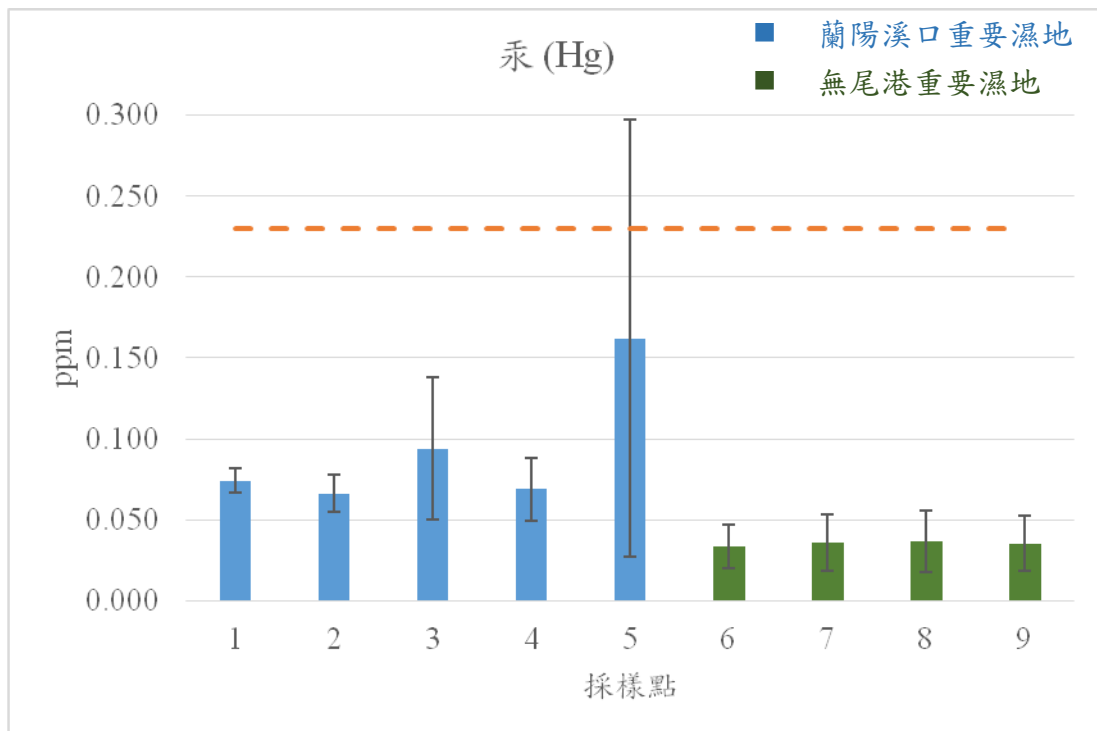


圖 21、水域底泥汞濃度：蘭陽溪口重要濕地高於無尾港重要濕地($p<0.001$)，僅採樣點 5 部分檢測值超過底泥品質下限 0.23ppm(橘色虛線)，其餘樣點檢測值都小於底泥品質下限值 0.23ppm。

為評估無尾港與蘭陽溪口重要濕地的重金屬污染狀況，研究團隊使用環境污染因子、地質積累指數法和富集因子加以探討。本研究中重金屬背景值均採用 Wedepohl(1995)的地殼元素組成濃度(表 21)，其中蘭陽溪口重要濕地的背景值亦會以環境保護署(2002)檢測蘭陽溪河川底泥中重金屬含量作為背景值比較。

表 21、整理 Wedepohl(1995)地殼元素組成濃度資料。

	Pb	Zn	Cu	Ni	Cr	Cd	As	Hg	Al
地殼濃度	14.8 ppm	65 ppm	25 ppm	56 ppm	126 ppm	4 ppm	1.7 ppm	40 ppm	7.96%

1. 環境污染因子

在無尾港重要濕地中，銅、鎳、鉻、鎘和汞的 CF 值皆小於 1，鉛和鋅的 CF 值介於 1 - 3，而砷的 CF 值大於 6(圖 22)。可知無尾港重要濕地的銅、鎳、鉻、鎘和汞為低污染，鉛和鋅屬於低-中度污染，而砷於高污染。在蘭陽溪口重要濕地中(圖 22)，不論以環境保護署(2002)的數據作為背景值，鉻、鎘和汞的 CF 值皆小於 1，屬於低污染。銅和鎳的 CF 值以環境保護署(2002)的數據作為背景值的時候較高，但仍屬於低-中度污染。鉛、鋅和砷的 CF 值以 Wedepohl(1995) 的數據作為背景值的時候較高，其中鉛和鋅僅屬於低-中度污染，砷則為高污染。

整體而言，根據環境污染因子的指數換算，兩重要濕地的受到鉛、鋅、銅、鎳、鉻、鎘和汞的污染威脅僅是低-中污染程度，砷元素則屬於低-中至高度污染。然而，在砷元素部分，若以當地過往的數據作為背景值時(環境保護署，2002)，蘭陽溪口重要濕地砷的 CF 值僅為 1.956，屬於低-中污染程度；而以地殼組成濃度作為背景值時(Wedepohl, 1995)，砷的 CF 值為 13.001；兩者數據相差甚大，應是與宜蘭土壤中所含砷的背景濃度較高有關(江漢全，1993)。

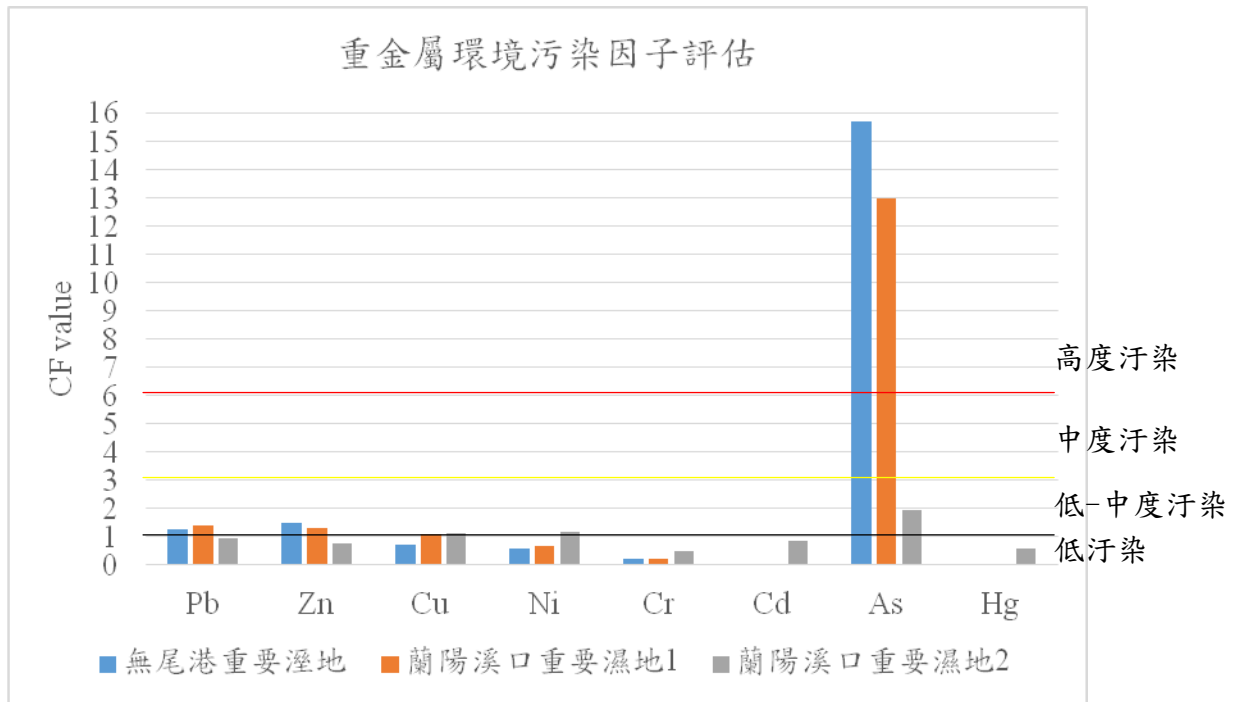


圖 22、水域底泥重金屬污染風險評估—環境污染因子：兩重要濕地的受到鉛、鋅、銅、鎳、鉻、鎘和汞的污染威脅僅是低至低-中污染程度，砷元素則屬於低-中至高度污染。蘭陽溪口重要濕地 1 是使用 Wedepohl(1995)的地質元素濃度資料作為背景值；蘭陽溪口重要濕地 2 則是使用環境保護署(2002)的檢測資料作為背景值。

2. 地質累積指數法

在無尾港與蘭陽溪口重要濕地中，鉛、鋅、銅、鎳、鉻、鎘和汞金屬 Igeo 值皆小於 0，屬於污染程度第 0 級，水域底泥樣本品質為未受到污染(表 22)。僅有砷元素，在無尾港重要濕地中 Igeo=3.39，屬於第 4 級高度污染；在蘭陽溪口重要濕地中，若以地殼組成濃度為背景值，Igeo=3.166，和無尾港重要濕地一樣屬於屬於第 4 級高度污染；若以過往的數據作為背景值時(環境保護署，2002)，Igeo=0.657，屬於第 1 級低度污染。可見當地地殼元素含量為影響砷元素 Igeo 值的主要關鍵。

表 22、重金屬汙染風險評估—地質積累指數法：在兩重要濕地中，鉛、鋅、銅、鎳、鉻、鎘和汞金屬 Igeo 值皆小於 0，屬於汙染程度第 0 級，未受到汙染；僅有砷元素，在無尾港重要濕地屬於第 4 級高度汙染，在蘭陽溪口重要濕地中，若以地殼組成濃度為背景值，屬於第 4 級高度汙染；若以過往的數據作為背景值時，屬於第 1 級低度汙染。蘭陽溪口重要濕地 1 是使用 Wedepohl(1995)的地質元素濃度資料作為背景值；蘭陽溪口重要濕地 2 則是使用環境保護署(2002)的檢測資料作為背景值。

	無尾港重要溼地		蘭陽溪口重要濕地 1		蘭陽溪口重要濕地 2	
	Igeo	汙染程度	Igeo	汙染程度	Igeo	汙染程度
Pb	-0.228	無汙染	-0.111	無汙染	-0.691	無汙染
Zn	-0.001	無汙染	-0.198	無汙染	-0.951	無汙染
Cu	-1.095	無汙染	-0.455	無汙染	-1.064	無汙染
Ni	-1.338	無汙染	-1.153	無汙染	-0.542	無汙染
Cr	-2.908	無汙染	-2.652	無汙染	-1.820	無汙染
Cd	-6.365	無汙染	-5.068	無汙染	-2.099	無汙染
As	3.390	高度汙染	3.116	高度汙染	0.657	低度汙染
Hg	-10.725	無汙染	-9.331	無汙染	-2.759	無汙染

3. 富集因子

因環境保護署 2002 年於蘭陽溪流域檢測的河川底泥重金屬未包含鋁，因故富集因子的背景值以 Wedepohl(1995)的地質元素濃度資料作為背景值。無尾港與蘭陽溪口重要濕地中，鉛、鋅、銅、鎳、鉻、鎘、砷和汞 EF 值皆小於 1(表 23)，表示其來源主要為地殼性物質。

表 23、重金屬汙染風險評估—富集因子：鉛、鋅、銅、鎳、鉻、鎘、砷和汞 EF 值皆小於 1，表示其來源主要為地殼性物質。

	無尾港重要溼地	蘭陽溪口重要濕地
Pb	0.00000309	0.00000253
Zn	0.00000977	0.00000642
Cu	0.00000458	0.00000538
Ni	0.00000387	0.00000331
Cr	0.00000130	0.00000117
Cd	0.00000012	0.00000022
As	0.00010249	0.00006388
Hg	0.00000001	0.00000001

(2) 成鳥胸羽重金屬濃度

小燕鷗成鳥胸羽中重金屬濃度檢測值如表 24-表 30。無尾港與蘭陽溪口重要濕地的小燕鷗成鳥胸羽(n=18)中各重金屬平均濃度為：鉛 11.094 ± 9.604 ppm、鋅 148.164 ± 195.699 ppm、銅 12.337 ± 3.610 ppm、鎳 3.11 ± 2.768 ppm、鉻 25.989 ± 31.072 ppm、鎘 0.543 ± 0.407 ppm 和汞 2.58 ± 0.862 ppm。今年度在小燕鷗成鳥胸羽中的砷濃度的檢測值皆小於感應耦合電漿質譜儀的偵測極限值，顯示小燕鷗受到重金屬砷威脅的可能相對小。

進一步分析，蘭陽溪口重要濕地的小燕鷗成鳥胸羽的鎘濃度顯著高於無尾港重要濕地的小燕鷗成鳥胸羽(圖 28, $p=0.008$)；在 4 個繁殖棲地中又以五結的鎘濃度最高、新南和蘭陽溪口次之、新城溪口最低($p=0.052$)，但 4 繁殖地的小燕鷗胸羽鎘濃度皆小於危害值 2ppm(Burger and Gochfeld, 2004)。在鉻濃度上，蘭陽溪口重要濕地的小燕鷗成鳥胸羽也高於無尾港重要濕地的小燕鷗成鳥胸羽，其統計結果趨近於顯著(圖 27, $p=0.051$)。然而，在鉛濃度上則是無尾港重要濕地的小燕鷗成鳥胸羽的相較蘭陽溪口重要濕地的小燕鷗成鳥胸羽高(圖 23, $p=0.041$)，且 4 個繁殖地的小燕鷗胸羽鉛濃度已超過文獻危害 4ppm(Burger and Gochfeld, 2004)，可能對小燕鷗會有不好的影響，但 4 繁殖地的鉛濃度並無差異。其他重金屬鋅、銅、鎳和汞的濃度，兩濕地的小燕鷗成鳥胸羽樣本並無太大差異，但值得注意的是兩重要濕地的小燕鷗胸羽鋅濃度皆超過 100ppm 危害值(Smith, 1995)，可能對小燕鷗造成危害。(圖 24-圖 26、圖 29)。

表 24、小燕鷗成鳥胸羽中鉛濃度檢測值。

鉛	無尾港重要濕地		蘭陽溪重要濕地	
	新城溪口	蘭陽溪口	五結	新南
個體 1	25.007	3.039	7.044	7.688
個體 2	11.137	11.958	19.06	8.93
個體 3	10.421	3.013	7.955	
個體 4	9.474	13.152	4.868	
個體 5	27.555			
個體 6	16.695			
個體 7	41.585			
個體 8	6.492			
棲地平均	18.546 ± 11.212	7.790 ± 4.783	9.732 ± 5.501	8.309 ± 0.621
濕地平均	18.546 ± 11.212		8.671 ± 4.703	

表 25、小燕鷗成鳥胸羽中鋅濃度檢測值。

鋅	無尾港重要濕地		蘭陽溪重要濕地	
	新城溪口	蘭陽溪口	五結	新南
個體 1	133.101	76.986	75.644	133.268
個體 2	132.547	75.143	934.773	86.637
個體 3	93.747	72.582	135.723	
個體 4	214.259	51.262	61.508	
個體 5	42.364			
個體 6	98.938			
個體 7	79.733			
個體 8	99.707			
棲地平均	111.7996 ± 47.2614	68.993±10.356	301.912±366.44	109.953±23.315
濕地平均	111.7996 ± 47.2614		170.353 ± 256.176	

表 26、小燕鷗成鳥胸羽中銅濃度檢測值。

銅	無尾港重要濕地		蘭陽溪重要濕地	
	新城溪口	蘭陽溪口	五結	新南
個體 1	12.727	12.699	11.154	10.1
個體 2	11.582	14.089	24.985	12.968
個體 3	10.041	10.732	10.181	
個體 4	11.666	11.693	10.297	
個體 5	6.536			
個體 6	10.189			
個體 7	15.174			
個體 8	12.938			
棲地平均	11.357±2.383	12.303±1.244	14.154±6.265	11.534±1.434
濕地平均	11.357±2.383		12.89±4.228	

表 27、小燕鷗成鳥胸羽中鎳濃度檢測值。

鎳	無尾港重要濕地		蘭陽溪重要濕地	
	新城溪口	蘭陽溪口	五結	新南
個體 1	4.880	2.301	0.854	2.232
個體 2	8.143	2.05	12.125	1.186
個體 3	4.418	0.799	4.356	
個體 4	1.976	4.11	1.513	
個體 5	1.050			
個體 6	3.551			
個體 7	2.429			
個體 8	3.176			
棲地平均	3.703±2.048	2.315±1.182	4.712±4.477	1.709±0.523
濕地平均	3.703±2.048		3.152±3.21	

表 28、小燕鷗成鳥胸羽中鉻濃度檢測值。

鉻	無尾港重要濕地		蘭陽溪重要濕地	
	新城溪口	蘭陽溪口	五結	新南
個體 1	21.647	18.562	11.324	18.113
個體 2	6.605	29.86	144.528	21.501
個體 3	9.37	6.667	18.749	
個體 4	24.743	47.407	12.792	
個體 5	7.88			
個體 6	5.711			
個體 7	10.322			
個體 8	7.129			
棲地平均	11.676±6.835	25.624±15.014	46.848±56.464	19.807±1.694
濕地平均	11.676±6.835		32.95±38.721	

表 29、小燕鷗成鳥胸羽中鎘濃度檢測值。

鎘	無尾港重要濕地		蘭陽溪重要濕地	
	新城溪口	蘭陽溪口	五結	新南
個體 1	0.494	0.374	1.221	0.455
個體 2	0.258	0.438	1.702	0.787
個體 3	0.068	0.292	0.441	
個體 4	0.269	0.635	0.255	
個體 5	0.039			
個體 6	0.295			
個體 7	0.154			
個體 8	0.12			
棲地平均	0.212±0.139	0.435±0.127	0.905±0.586	0.621±0.166
濕地平均	0.212±0.139		0.66±0.44	

表 30、小燕鷗成鳥胸羽中汞濃度檢測值。

汞	無尾港重要濕地		蘭陽溪重要濕地	
	新城溪口	蘭陽溪口	五結	新南
個體 1	1.63	2.553	3.771	1.454
個體 2	2.589	1.572	3.462	2.488
個體 3	1.996	2.229	4.817	
個體 4	3.531	2.758	1.808	
個體 5	3.219			
個體 6	2.673			
個體 7	3.172			
個體 8	2.031			
棲地平均	2.605±0.634	2.278±0.449	3.465±1.08	1.971±0.517
濕地平均	2.605±0.634		2.691±1.006	

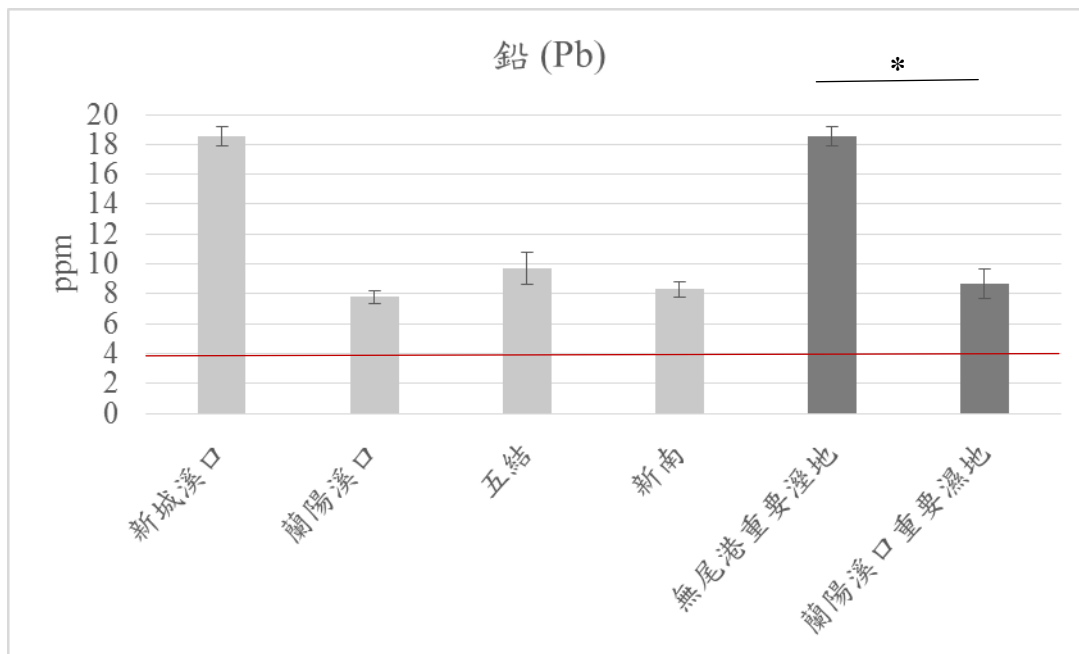


圖 23、小燕鷗成鳥胸羽鉛濃度：無尾港重要濕地高於蘭陽溪口重要濕地 ($p=0.041$)，四個繁殖地並無顯著差異，但皆超過 4ppm 危害值(紅線)。

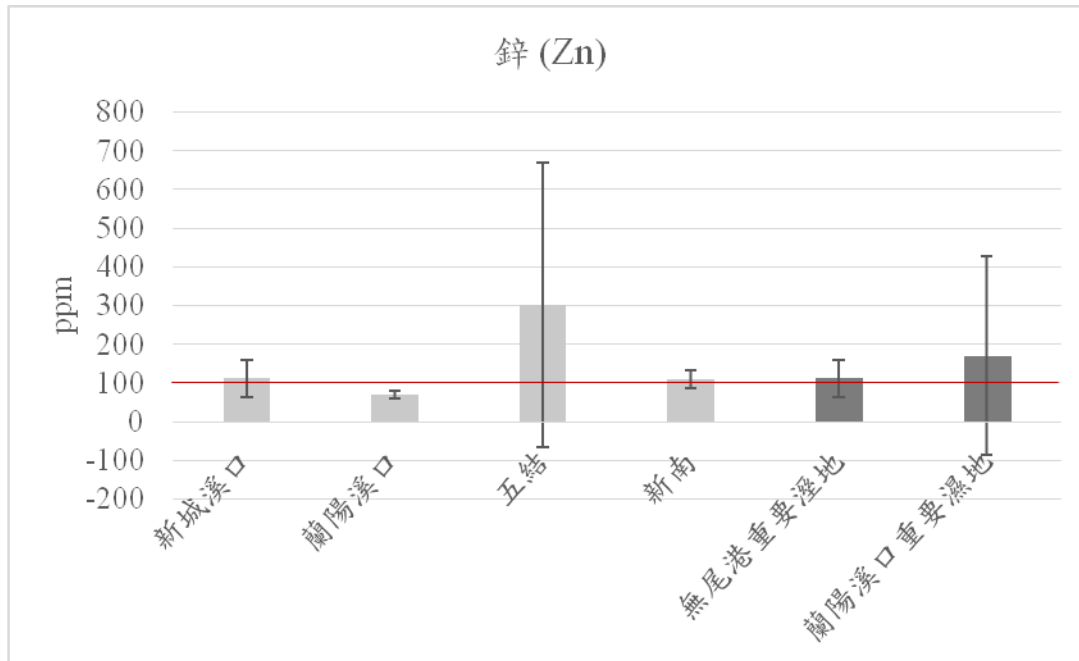


圖 24、小燕鷗成鳥胸羽鋅濃度：兩重要濕地並無顯著差異($p=0.374$)，四個繁殖地也無顯著差異($p=0.203$)，但兩重要濕地皆超過 100ppm 危害值。

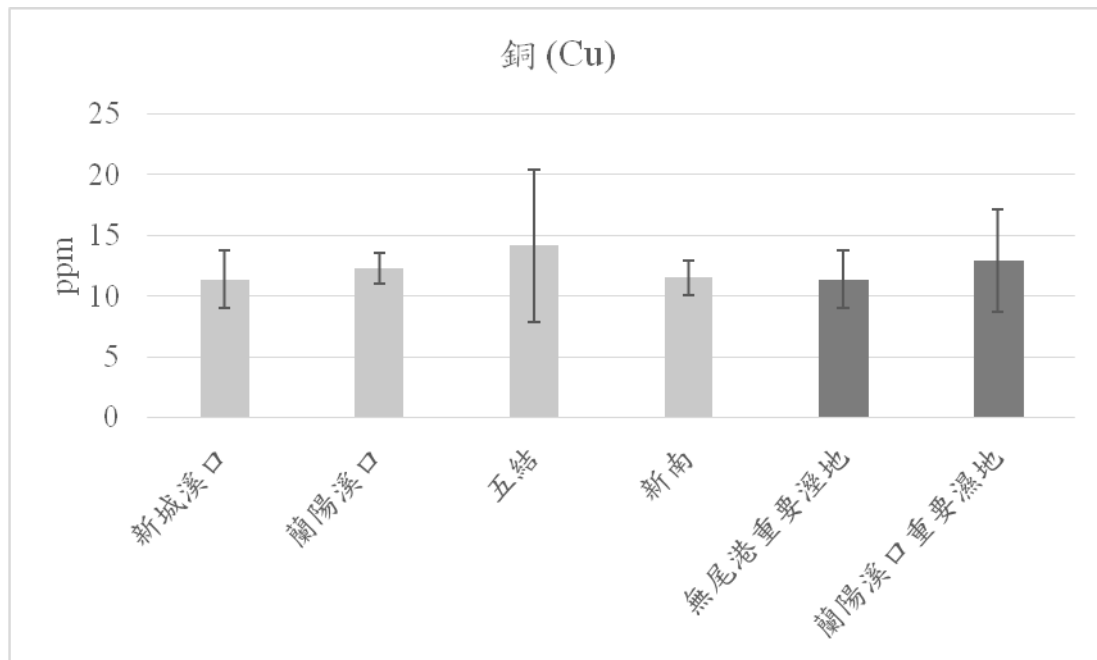


圖 25、小燕鷗成鳥胸羽銅濃度：兩重要濕地並無顯著差異($p=0.657$)，四個繁殖地也無顯著差異($p=0.868$)。

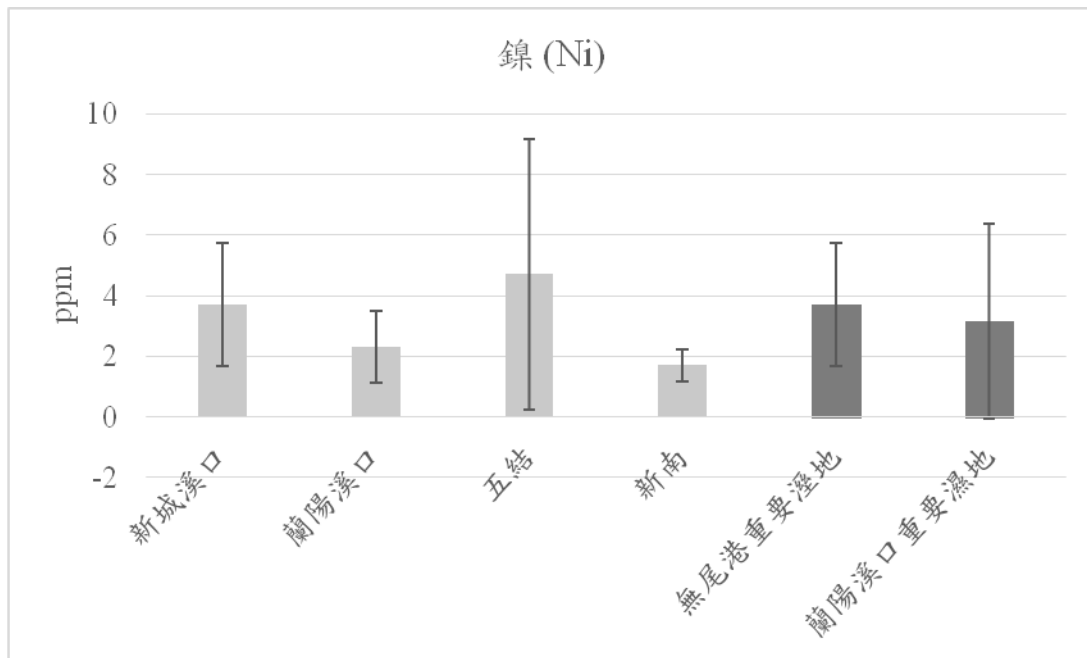


圖 26、小燕鷗成鳥胸羽鎳濃度：兩重要濕地並無顯著差異($p=0.214$)，四個繁殖地也無顯著差異($p=0.515$)。

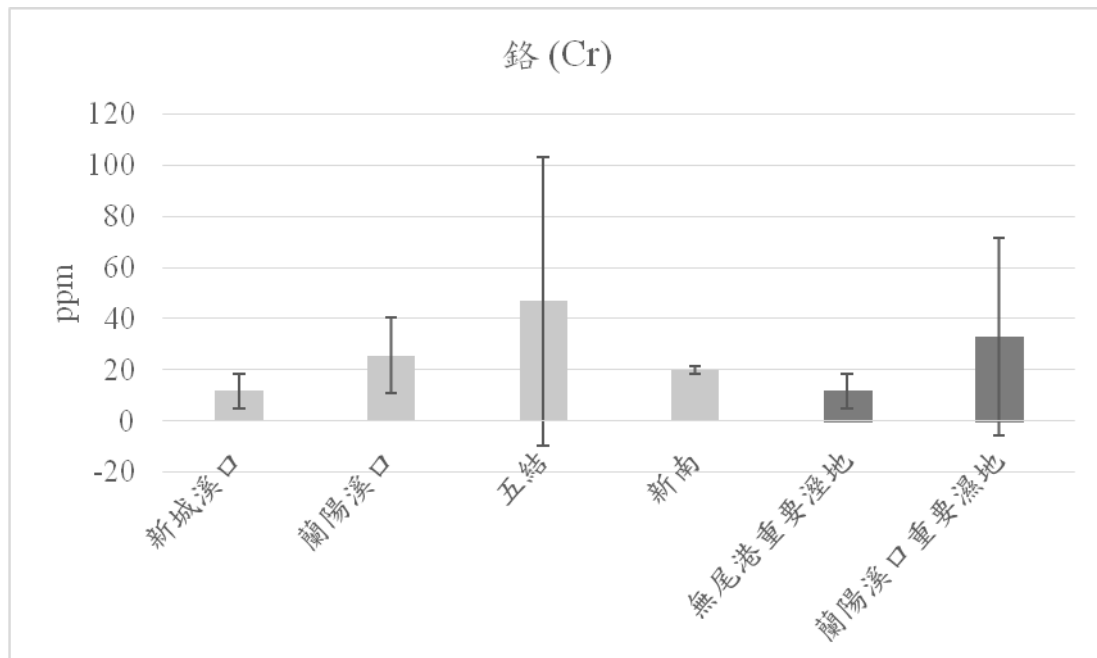


圖 27、小燕鷗成鳥胸羽鉻濃度：蘭陽溪口重要濕地高於無尾港重要濕地，其統計結果趨近顯著($p=0.051$)，四個繁殖地也無顯著差異($p=0.281$)。

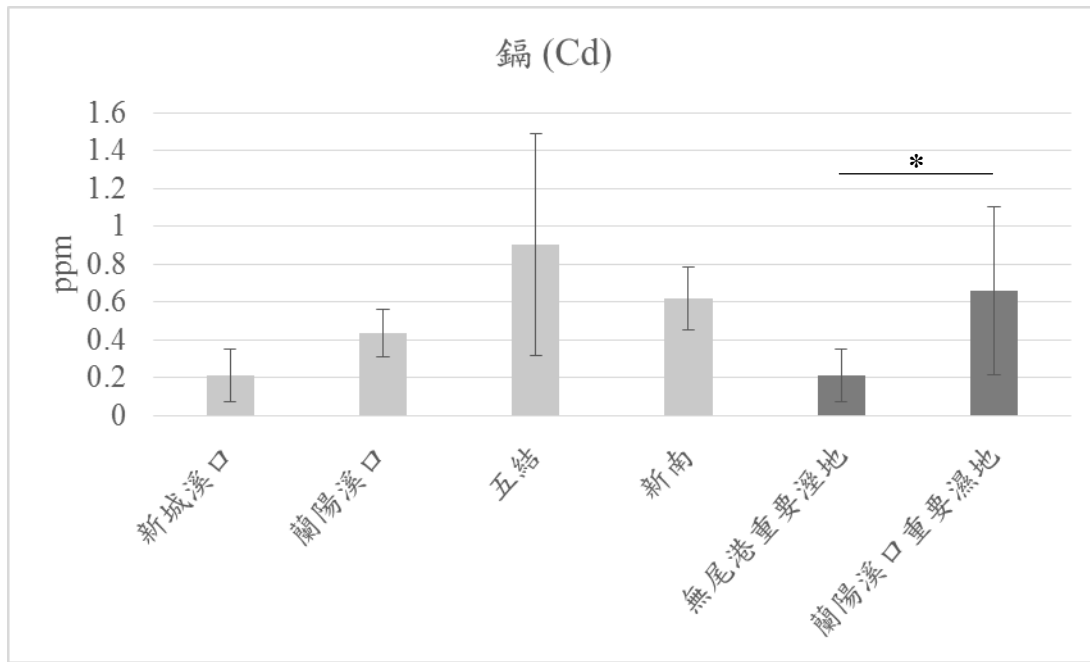


圖 28、小燕鷗成鳥胸羽鎘濃度：蘭陽溪口重要濕地高於無尾港重要濕地 ($p=0.008$)；四個繁殖地的差異也趨近於統計上的顯著，依鎘濃度大小依序為五結、新南、蘭陽溪口和新城($p=0.052$)且 4 繁殖地的小燕鷗胸羽鎘濃度皆小於 2ppm 危害值。

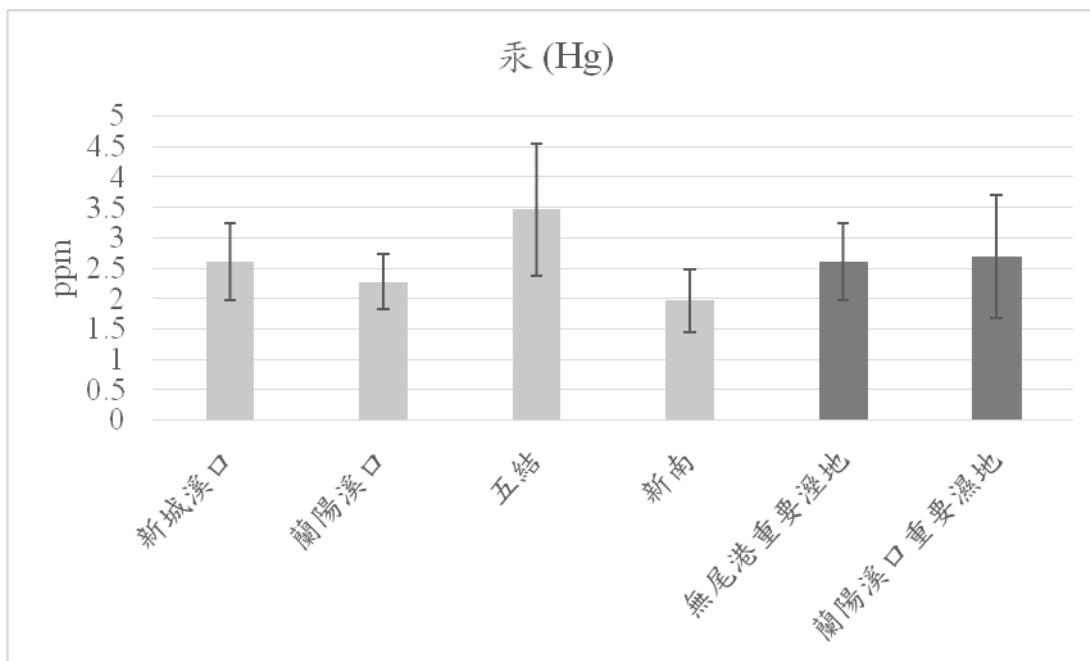


圖 29、小燕鷗成鳥胸羽汞濃度：兩重要濕地並無顯著差異($p=0.859$)，四個繁殖地也無顯著差異($p=0.205$)。

(3) 蛋殼重金屬濃度

小燕鷗蛋殼中重金屬濃度檢測值如表 31 - 表 38。無尾港與蘭陽溪口重要濕地的小燕鷗蛋殼(n=20，砷濃度 n=7)中各重金屬平均濃度為：鉛 0.843 ± 0.603 ppm、鋅 10.675 ± 18.209 ppm、銅 1.838 ± 0.907 ppm、鎳 0.579 ± 0.666 ppm、鉻 1.87 ± 1.172 ppm、鎘 0.027 ± 0.019 ppm、砷 0.174 ± 0.280 ppm 和汞 0.058 ± 0.168 ppm。

進一步分析，無尾港與蘭陽溪口重要濕地的蛋殼重金屬濃度並無差異(圖 30 - 圖 37)；四個繁殖棲地中僅有鉻濃度達顯著差異(圖 34, $p=0.011$)，濃度大小依序為新南、蘭陽溪口、新城溪口和五結，其中五結的鉻濃度顯著低於其他三個繁殖棲地。

表 31、小燕鷗蛋殼鉛濃度檢測值。

鉛	無尾港重要濕地		蘭陽溪重要濕地	
	新城溪口	蘭陽溪口	五結	新南
蛋殼 1	0.577	1.199	1.863	0.646
蛋殼 2	0.304	0.986	1.064	0.818
蛋殼 3	1.426	1.475	1.111	0.443
蛋殼 4	0.407	0.493	1.345	0.261
蛋殼 5	0.252	0.949	0.957	2.765
棲地平均	0.593 ± 0.431	1.020 ± 0.324	1.268 ± 0.323	0.987 ± 0.909
濕地平均	0.593 ± 0.431		1.092 ± 0.601	

表 32、小燕鷗蛋殼鋅濃度檢測值。

鋅	無尾港重要濕地		蘭陽溪重要濕地	
	新城溪口	蘭陽溪口	五結	新南
蛋殼 1	10.507	3.373	6.183	17.709
蛋殼 2	6.239	29.588	11.559	6.229
蛋殼 3	3.951	74.066	12.107	8.590
蛋殼 4	1.264	6.023	54.019	7.197
蛋殼 5	1.790	4.538	2.086	5.744
棲地平均	4.750±3.374	23.517±27.071	17.191±18.779	9.094±4.416
濕地平均	4.750±3.374		16.601±20.079	

表 33、小燕鷗蛋殼銅濃度檢測值。

銅	無尾港重要濕地		蘭陽溪重要濕地	
	新城溪口	蘭陽溪口	五結	新南
蛋殼 1	1.062	4.859	2.054	2.114
蛋殼 2	2.124	2.437	1.609	0.921
蛋殼 3	1.901	2.108	2.127	1.234
蛋殼 4	1.551	1.512	2.991	0.526
蛋殼 5	1.298	1.580	2.330	2.935
棲地平均	1.587±0.387	2.499±1.229	2.222±0.451	1.546±0.869
濕地平均	1.587±0.387		2.089±0.992	

表 34、小燕鷗蛋殼鎳濃度檢測值。

鎳	無尾港重要濕地		蘭陽溪重要濕地	
	新城溪口	蘭陽溪口	五結	新南
蛋殼 1	0.519	0.700	0.281	0.747
蛋殼 2	0.374	0.504	0.527	0.599
蛋殼 3	0.586	2.176	0.431	0.220
蛋殼 4	0.291	0.307	0.365	0.758
蛋殼 5	0.321	0.265	0.270	2.949
棲地平均	0.418±0.115	0.790±0.710	0.375±0.096	1.055±0.967
濕地平均	0.418±0.115		0.740±0.749	

表 35、小燕鷗蛋殼鉻濃度檢測值。

鉻	無尾港重要濕地		蘭陽溪重要濕地	
	新城溪口	蘭陽溪口	五結	新南
蛋殼 1	3.875	2.099	0.696	2.002
蛋殼 2	1.347	1.075	0.788	2.074
蛋殼 3	1.538	5.136	0.844	1.424
蛋殼 4	1.057	1.564	0.597	2.516
蛋殼 5	2.113	1.393	0.509	3.593
棲地平均	1.986±1.006	2.253±1.479	0.687±0.122	2.322±0.725
濕地平均	1.986±1.006		1.754±1.216	

表 36、小燕鷗蛋殼鎘濃度檢測值。

鎘	無尾港重要濕地		蘭陽溪重要濕地	
	新城溪口	蘭陽溪口	五結	新南
蛋殼 1	0.025	0.072	0.028	0.017
蛋殼 2	0.014	0.053	0.016	0.008
蛋殼 3	0.068	0.048	0.026	0.009
蛋殼 4	0.020	0.013	0.029	0.011
蛋殼 5	0.019	0.007	0.020	0.017
棲地平均	0.029±0.020	0.039±0.025	0.024±0.005	0.012±0.004
濕地平均	0.029±0.020		0.025±0.018	

表 37、小燕鷗蛋殼砷濃度檢測值。

砷	無尾港重要濕地		蘭陽溪重要濕地	
	新城溪口	蘭陽溪口	五結	新南
蛋殼 1	0.291	NA	NA	NA
蛋殼 2	NA	0.093	0.011	0.032
蛋殼 3	NA	NA	NA	NA
蛋殼 4	NA	NA	NA	0.001
蛋殼 5	0.018	NA	NA	0.830
棲地平均	0.154±0.137	-	-	0.288±0.384
濕地平均	0.154±0.137 (n=2)		0.193±0.032 (n=5)	

表 38、小燕鷗蛋殼汞濃度檢測值。

汞	無尾港重要濕地		蘭陽溪重要濕地	
	新城溪口	蘭陽溪口	五結	新南
蛋殼 1	0.048	0.080	0.061	0.038
蛋殼 2	0.036	0.032	0.037	0.037
蛋殼 3	0.034	0.028	0.031	0.025
蛋殼 4	0.020	0.033	0.021	0.021
蛋殼 5	0.017	0.018	0.023	0.802
棲地平均	0.031±0.011	0.038±0.022	0.035±0.014	0.184±0.309
濕地平均	0.031±0.011		0.086±0.192	

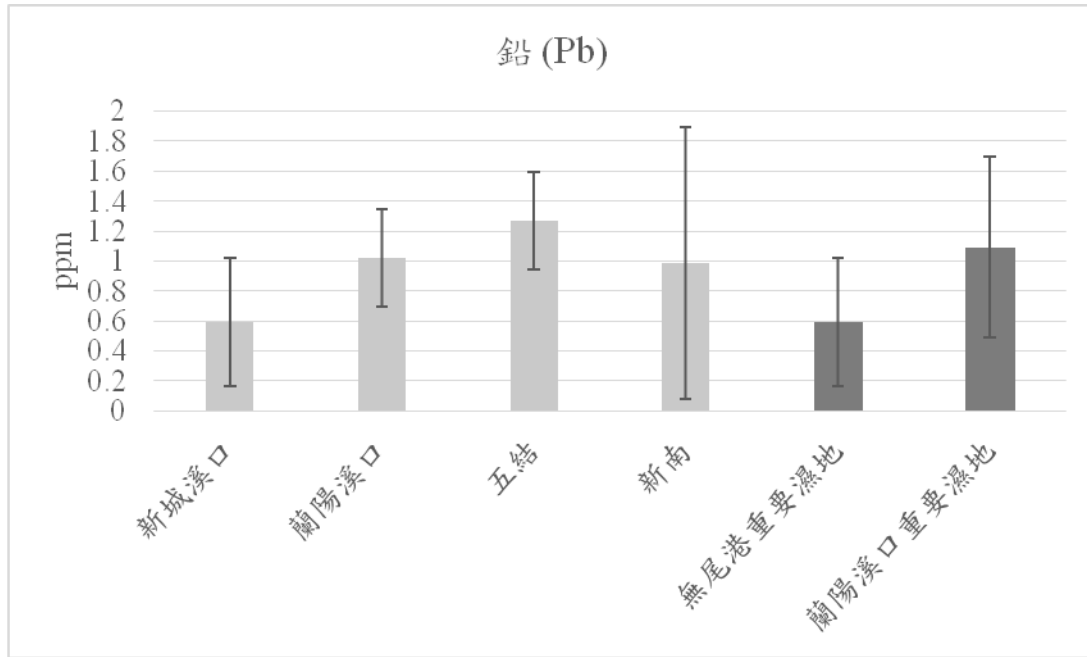


圖 30、小燕鷗蛋殼鉛濃度：兩重要濕地並無顯著差異($p=0.074$)，四個繁殖地也無顯著差異($p=0.131$)。

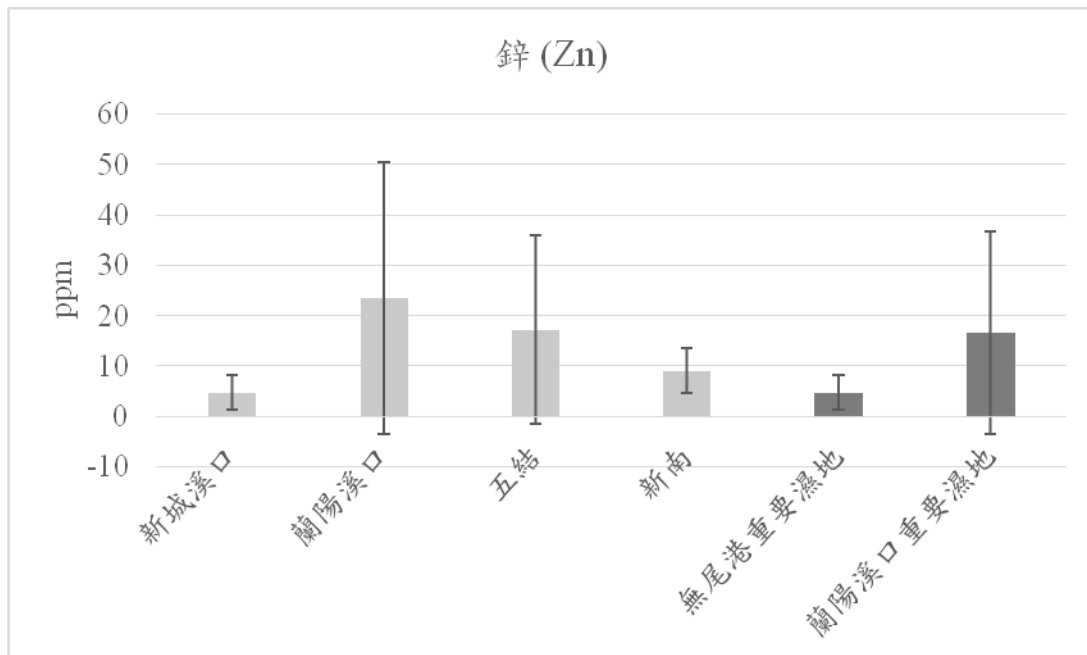


圖 31、小燕鷗蛋殼鋅濃度：兩重要濕地並無顯著差異($p=0.089$)，四個繁殖地也無顯著差異($p=0.392$)。

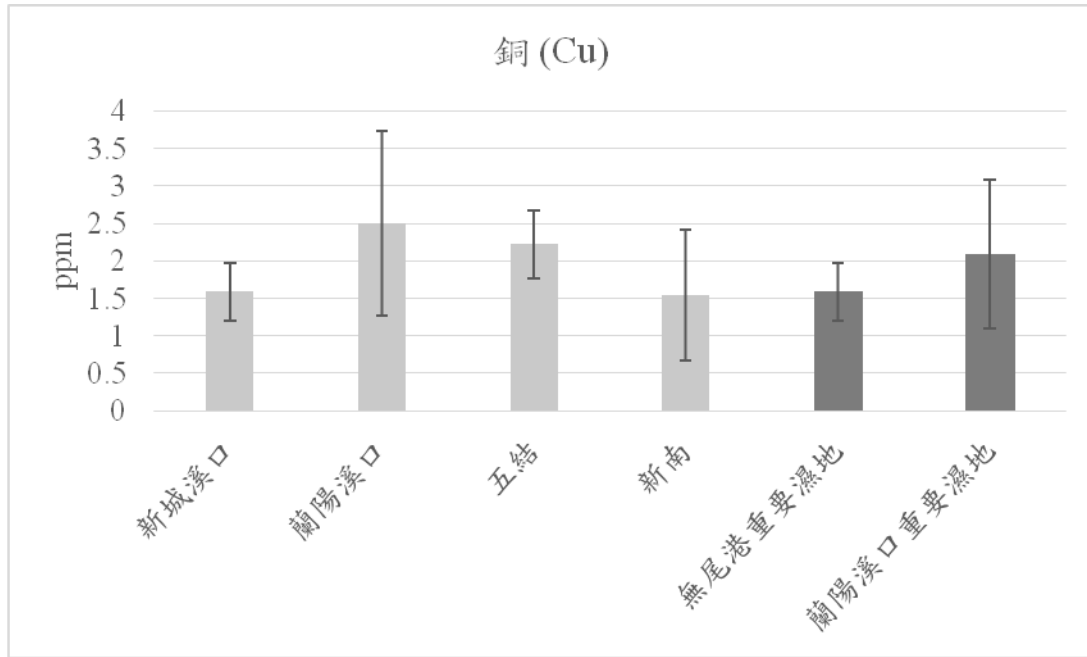


圖 32、小燕鷗蛋殼銅濃度：兩重要濕地並無顯著差異($p=0.239$)，四個繁殖地也無顯著差異($p=0.202$)。

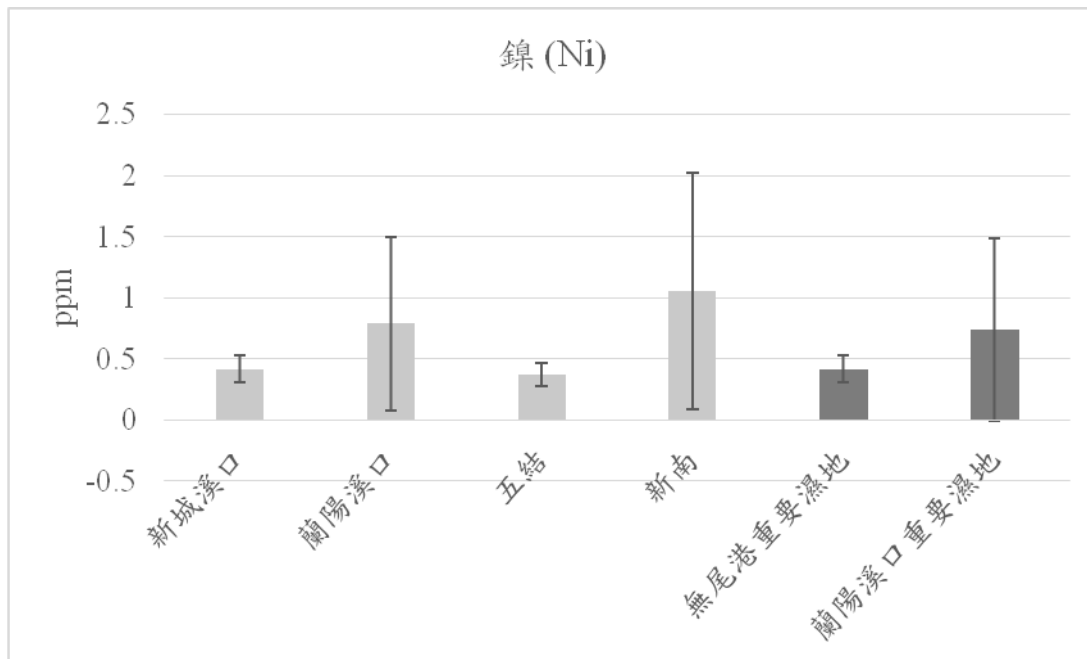


圖 33、小燕鷗蛋殼鎳濃度：兩重要濕地並無顯著差異($p=0.631$)，四個繁殖地也無顯著差異($p=0.342$)。

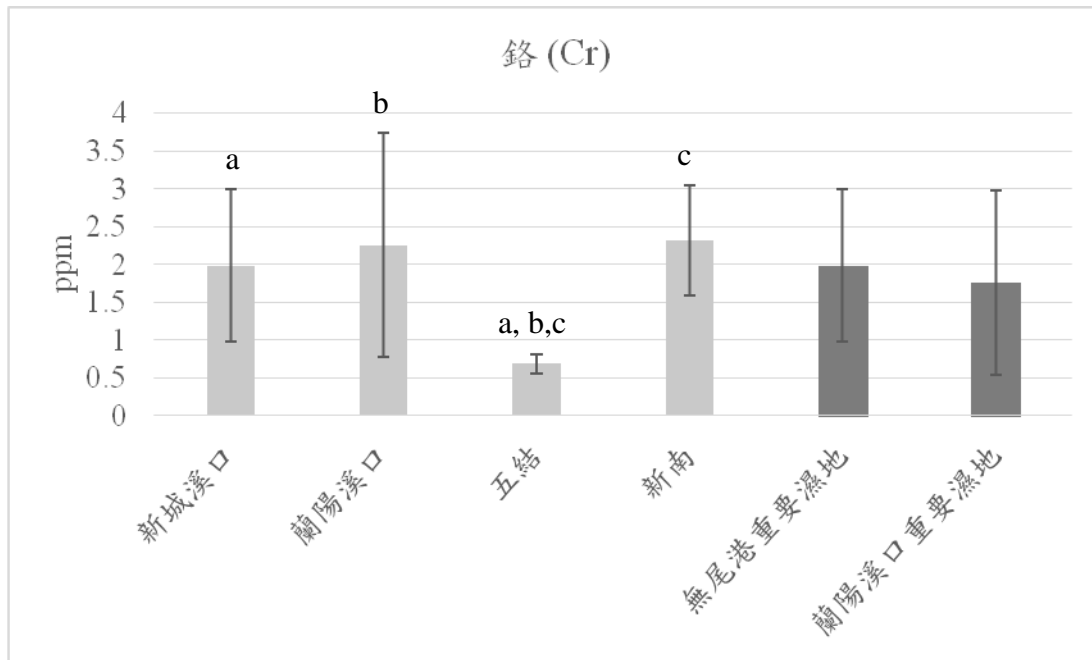


圖 34、小燕鷗蛋殼鉻濃度：兩重要濕地並無顯著差異($p=0.513$)，四個繁殖棲地達顯著差異($p=0.011$)，其中五結的鉻濃度顯著低於其他三個繁殖棲地 ($p_a=0.016$, $p_b=0.01$, $p_c=0.002$)。

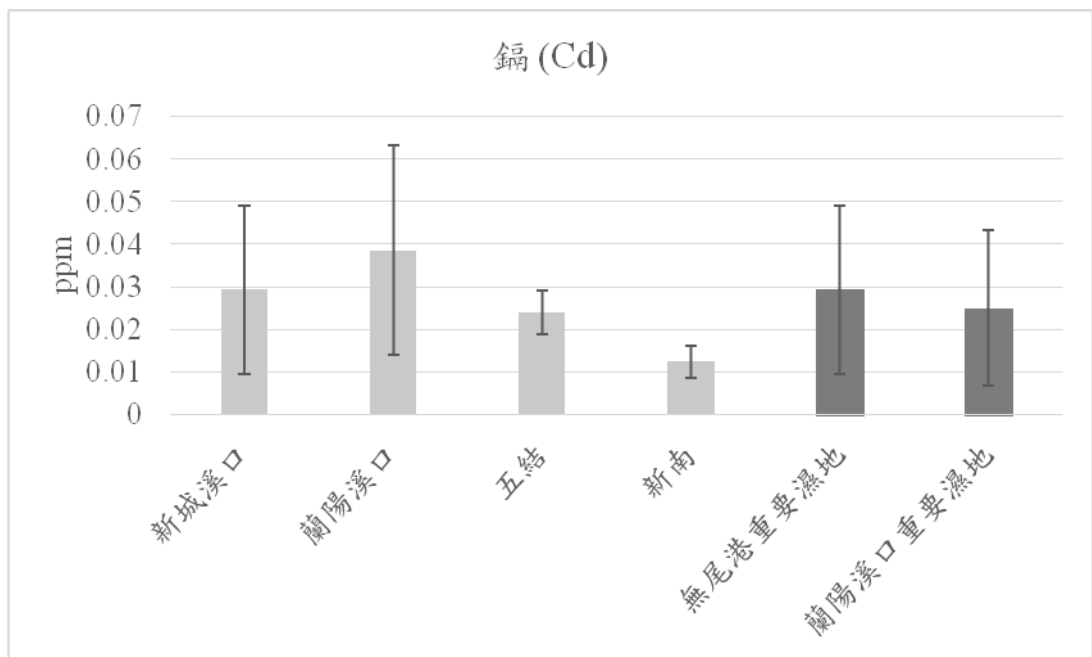


圖 35、小燕鷗蛋殼鎘濃度：兩重要濕地並無顯著差異($p=0.513$)，四個繁殖地也無顯著差異($p=0.146$)。

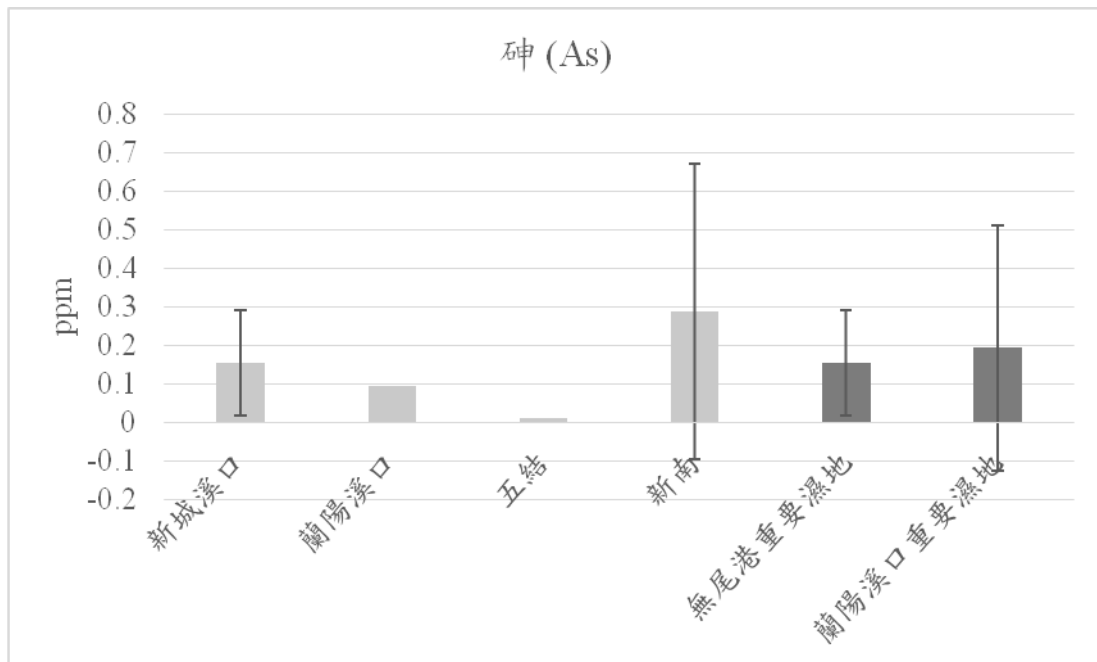


圖 36、小燕鷗蛋殼砷濃度：兩重要濕地並無顯著差異($p=0.699$)，四個繁殖地因可測得的樣品砷濃度太少而無法分析。

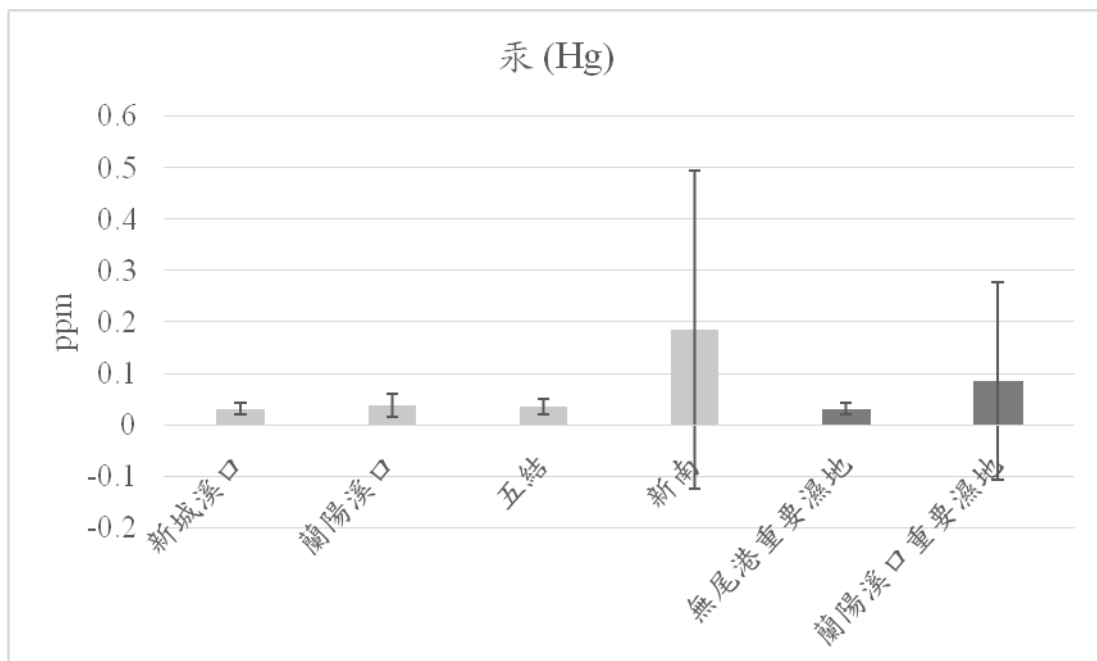


圖 37、小燕鷗蛋殼汞濃度：兩重要濕地並無顯著差異($p=0.57$)，四個繁殖地也無顯著差異($p=0.875$)。

(4) 食魚重金屬濃度

無尾港與蘭陽溪口重要濕地的小燕鷗食魚重金屬濃度檢測值如表 39-表 46。無尾港重要濕地的小燕鷗食魚各重金屬平均濃度為：鉛 58.826 ± 31.362 ppm、鋅 121.285 ± 77.166 ppm、銅 100.035 ± 47.725 ppm、鎳 29.661 ± 14.193 ppm、鉻 47.645 ± 23.375 ppm、鎘 0.541 ± 0.245 ppm、砷 71.13 ± 29.171 ppm 和汞 0.033 ± 0.011 ppm。蘭陽溪口重要濕地的小燕鷗食魚各重金屬平均濃度為：鉛 213.388 ± 533.919 ppm、鋅 75.497 ± 83.666 ppm、銅 57.492 ± 19.642 ppm、鎳 44.582 ± 24.574 ppm、鉻 41.503 ± 19.866 ppm、鎘 0.887 ± 0.635 ppm、砷 90.404 ± 21.557 ppm 和汞 0.088 ± 0.036 ppm。

進一步分析，無尾港重要濕地的食魚鋅和銅濃度相較蘭陽溪口重要濕地的食魚來得高(圖 39， $p_{Zn}=0.023$ ；圖 40， $p_{Cu}=0.049$)。而蘭陽溪口重要濕地的食魚汞濃度則大於無尾港重要濕地的食魚汞濃度(圖 45， $p=0.001$)。其他金屬鉛、鎳、鉻、鎘和砷濃度，兩濕地的小燕鷗食魚樣本並無太大差異(圖 38、圖 41-圖 44)。

鉛	新城溪口	蘭陽溪口
食魚 1	59.072	1900.612
食魚 2	101.193	52.473
食魚 3	97.002	46.174
食魚 4	96.410	43.439
食魚 5	50.029	64.767
食魚 6	25.456	78.492
食魚 7	82.752	48.428
食魚 8	28.456	11.325
食魚 9	29.019	63.072
食魚 10	18.867	19.123
食魚 11		19.362
平均	58.826 ± 31.362	213.388 ± 533.919

表 39、小燕鷗食魚鉛濃度檢測值。

表 40、小燕鷗食魚鋅濃度檢測值。

鋅	新城溪口	蘭陽溪口
食魚 1	75.825	24.003
食魚 2	110.275	37.165
食魚 3	131.703	NA
食魚 4	136.671	40.728
食魚 5	122.373	70.578
食魚 6	46.846	86.905
食魚 7	336.030	39.288
食魚 8	113.442	60.480
食魚 9	70.455	317.087
食魚 10	69.230	70.999
食魚 11		7.742
平均	121.285±77.166	75.497±83.666

表 41、小燕鷗食魚銅濃度檢測值。

銅	新城溪口	蘭陽溪口
食魚 1	93.058	85.775
食魚 2	160.708	67.335
食魚 3	154.500	31.454
食魚 4	142.630	57.851
食魚 5	148.950	79.873
食魚 6	62.157	77.526
食魚 7	110.116	52.221
食魚 8	60.214	28.931
食魚 9	38.064	66.972
食魚 10	29.955	55.796
食魚 11		28.673
平均	100.035±47.725	57.492±19.642

表 42、小燕鷗食魚鎳濃度檢測值。

鎳	新城溪口	蘭陽溪口
食魚 1	29.675	84.674
食魚 2	46.289	56.538
食魚 3	40.010	36.833
食魚 4	47.205	51.482
食魚 5	42.036	63.044
食魚 6	10.841	76.040
食魚 7	38.374	50.717
食魚 8	16.009	8.553
食魚 9	14.459	36.668
食魚 10	11.709	7.831
食魚 11		18.021
平均	29.661±14.193	44.582±24.574

表 43、小燕鷗食魚鉻濃度檢測值。

鉻	新城溪口	蘭陽溪口
食魚 1	48.047	72.693
食魚 2	74.742	51.941
食魚 3	66.094	23.247
食魚 4	77.062	45.816
食魚 5	63.330	55.658
食魚 6	16.606	62.839
食魚 7	64.102	50.300
食魚 8	29.684	11.155
食魚 9	20.537	48.812
食魚 10	16.247	15.802
食魚 11		18.272
平均	47.645±23.375	41.503±19.866

表 44、小燕鷗食魚鎘濃度檢測值。

鎘	新城溪口	蘭陽溪口
食魚 1	0.630	1.095
食魚 2	0.786	0.697
食魚 3	0.779	0.868
食魚 4	0.832	0.543
食魚 5	0.617	0.868
食魚 6	0.212	0.660
食魚 7	0.748	0.476
食魚 8	0.367	0.340
食魚 9	0.238	2.790
食魚 10	0.205	0.833
食魚 11		0.590
平均	0.541±0.245	0.887±0.635

表 45、小燕鷗食魚砷濃度檢測值。

砷	新城溪口	蘭陽溪口
食魚 1	131.063	125.768
食魚 2	91.329	106.744
食魚 3	80.428	72.093
食魚 4	88.855	100.658
食魚 5	70.958	109.422
食魚 6	57.700	96.683
食魚 7	83.821	78.304
食魚 8	37.041	50.019
食魚 9	36.053	96.901
食魚 10	34.052	97.226
食魚 11		60.630
平均	71.13±29.171	90.404±21.557

表 46、小燕鷗食魚汞濃度檢測值。

汞	新城溪口	蘭陽溪口
食魚 1	0.042	0.068
食魚 2	0.023	0.090
食魚 3	0.023	0.157
食魚 4	0.025	0.060
食魚 5	0.059	0.092
食魚 6	0.024	0.078
食魚 7	0.024	0.055
食魚 8	0.035	0.100
食魚 9	0.038	0.083
食魚 10	0.035	0.148
食魚 11		0.032
平均	0.033±0.011	0.088±0.036

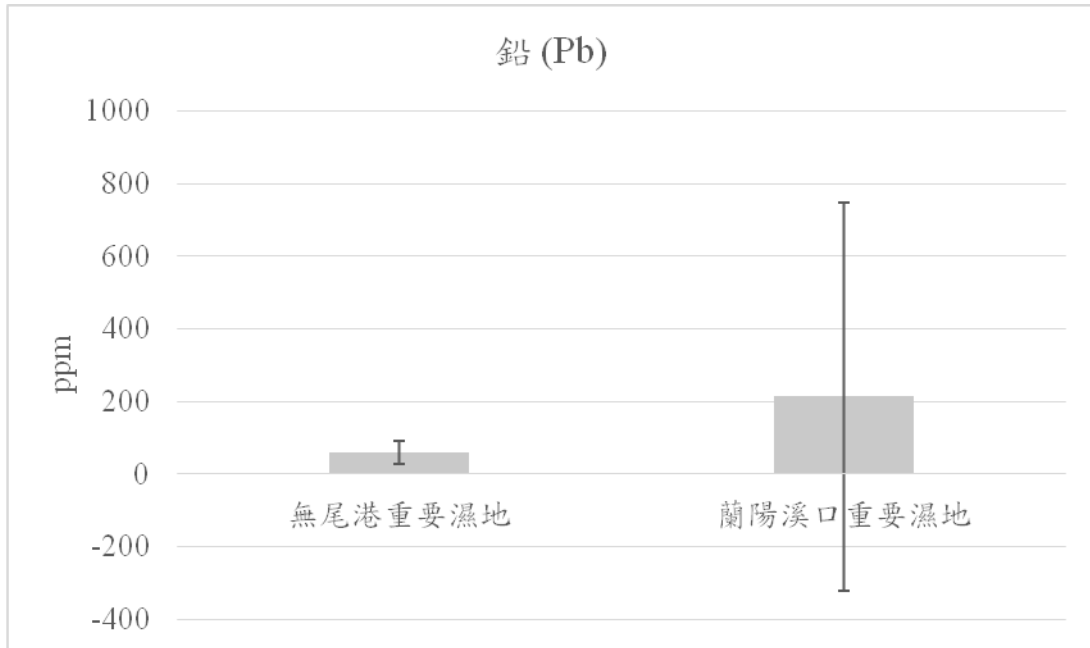


圖 38、小燕鷗食魚鉛濃度：兩重要濕地無顯著差異($p=0.573$)。

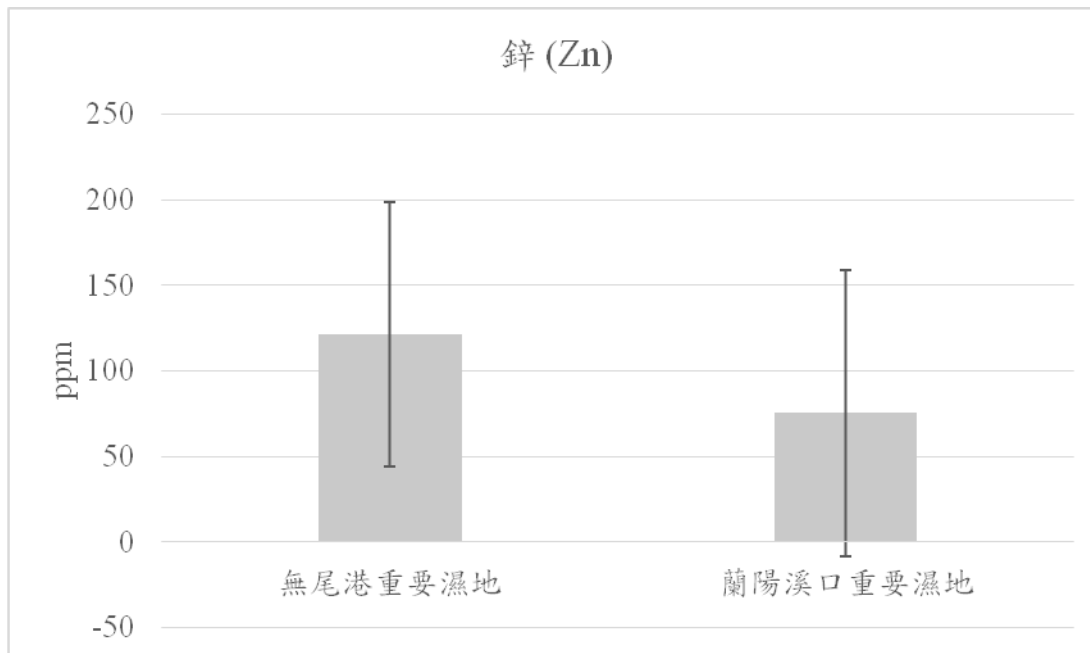


圖 39、小燕鷗食魚鋅濃度：無尾港重要濕地大於蘭陽溪口重要濕地($p=0.023$)。

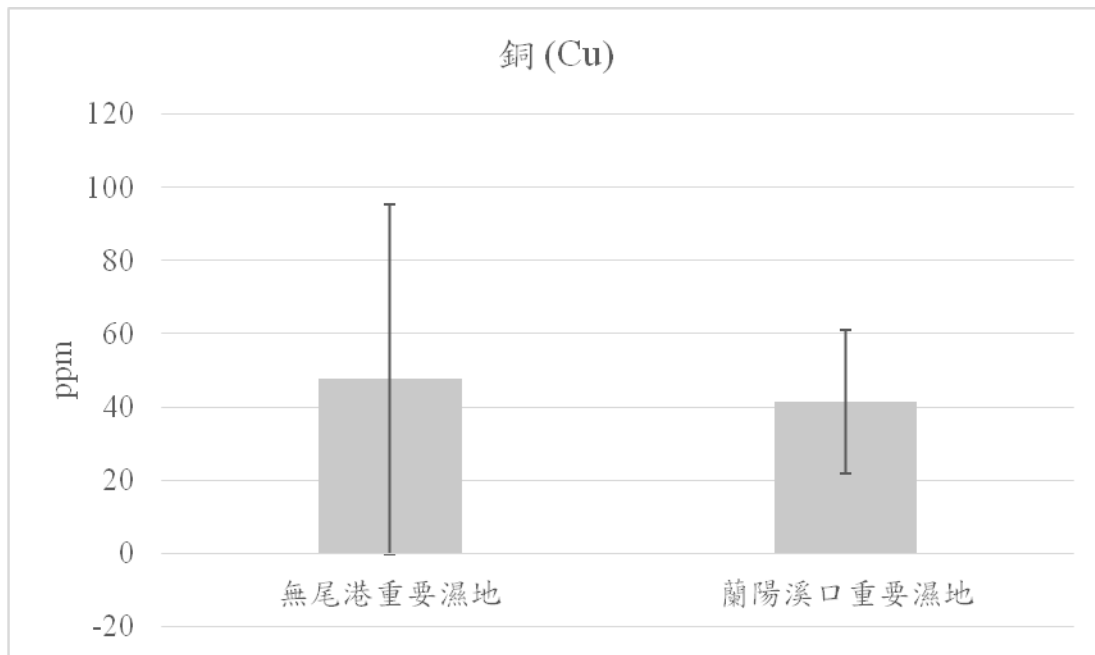


圖 40、小燕鷗食魚銅濃度：無尾港重要濕地大於蘭陽溪口重要濕地($p=0.049$)。

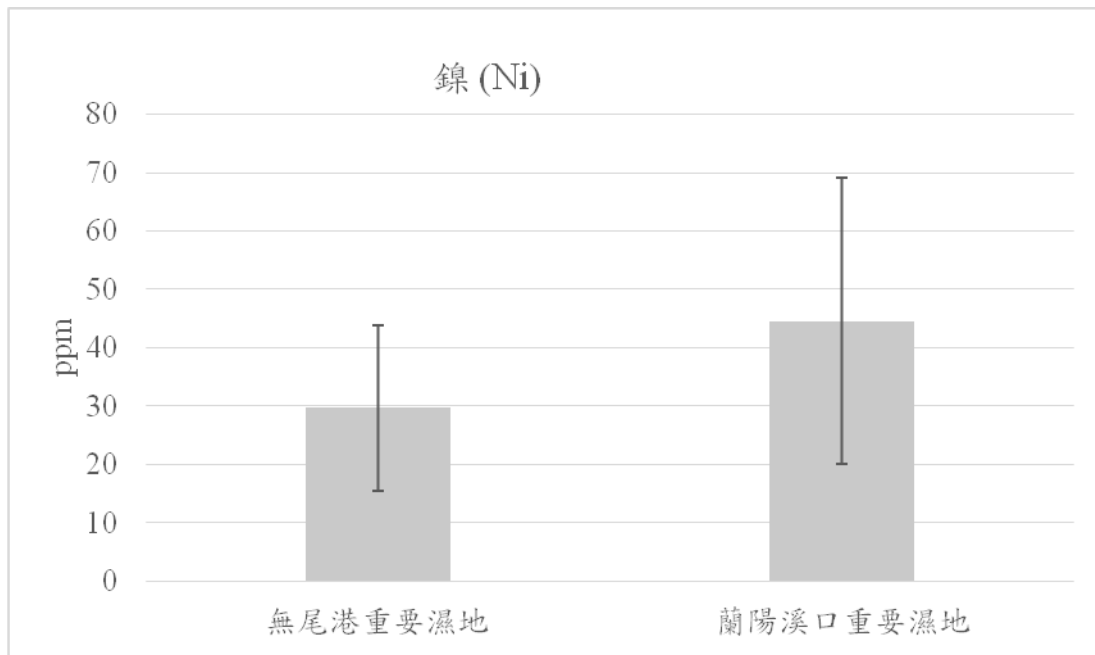


圖 41、小燕鷗食魚鎳濃度：兩重要濕地無顯著差異($p=0.181$)。

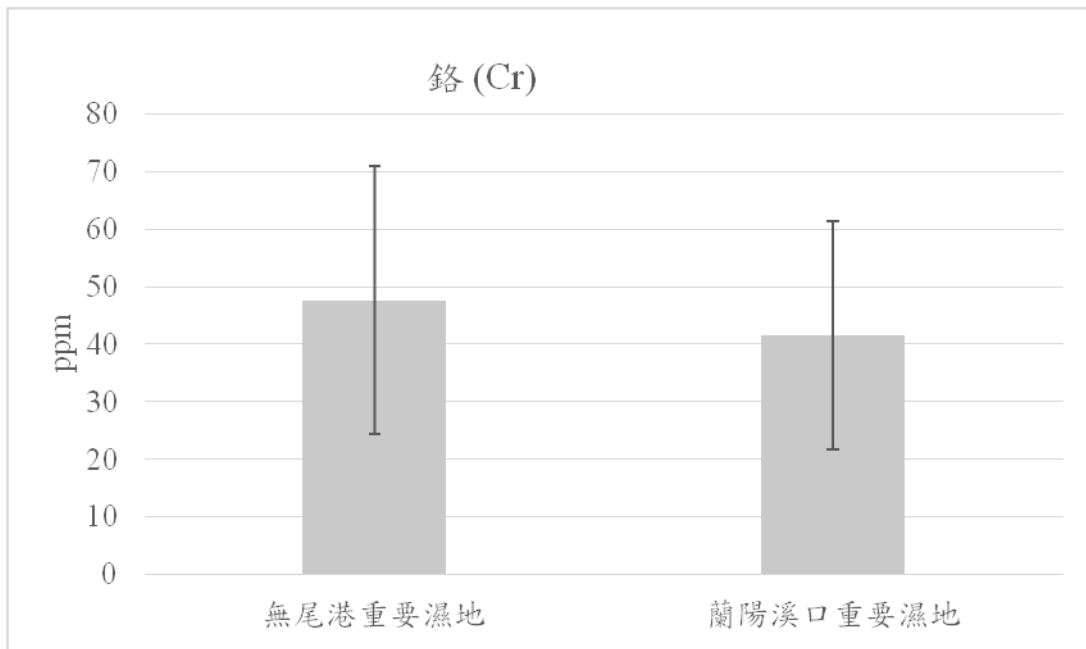


圖 42、小燕鷗食魚鉻濃度：兩重要濕地無顯著差異($p=0.36$)。

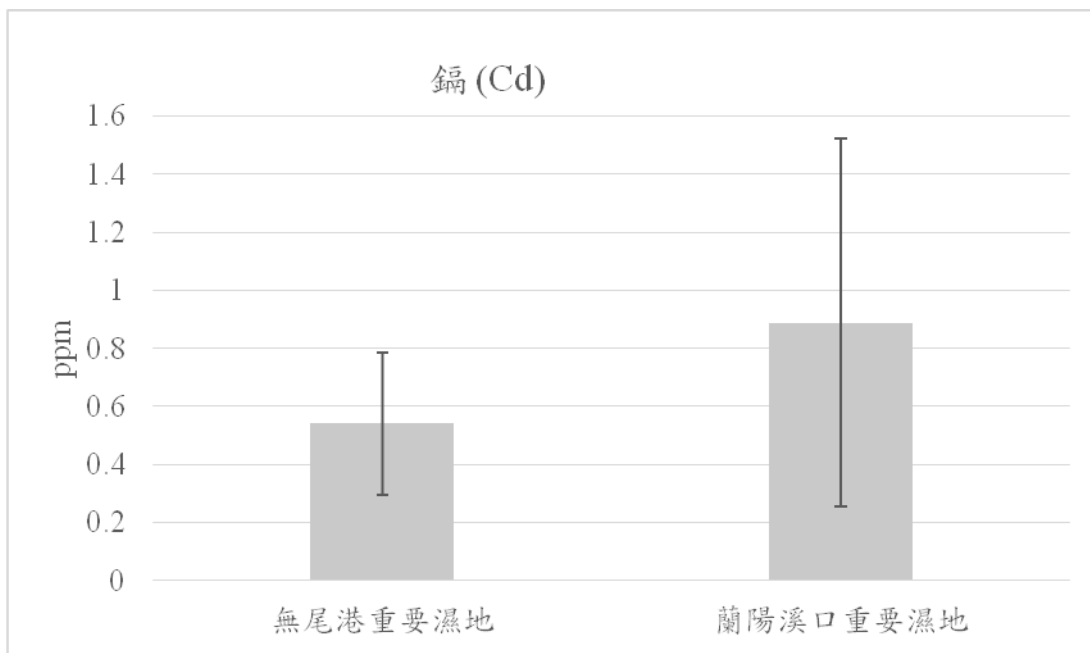


圖 43、小燕鷗食魚鎘濃度：兩重要濕地無顯著差異($p=0.121$)。

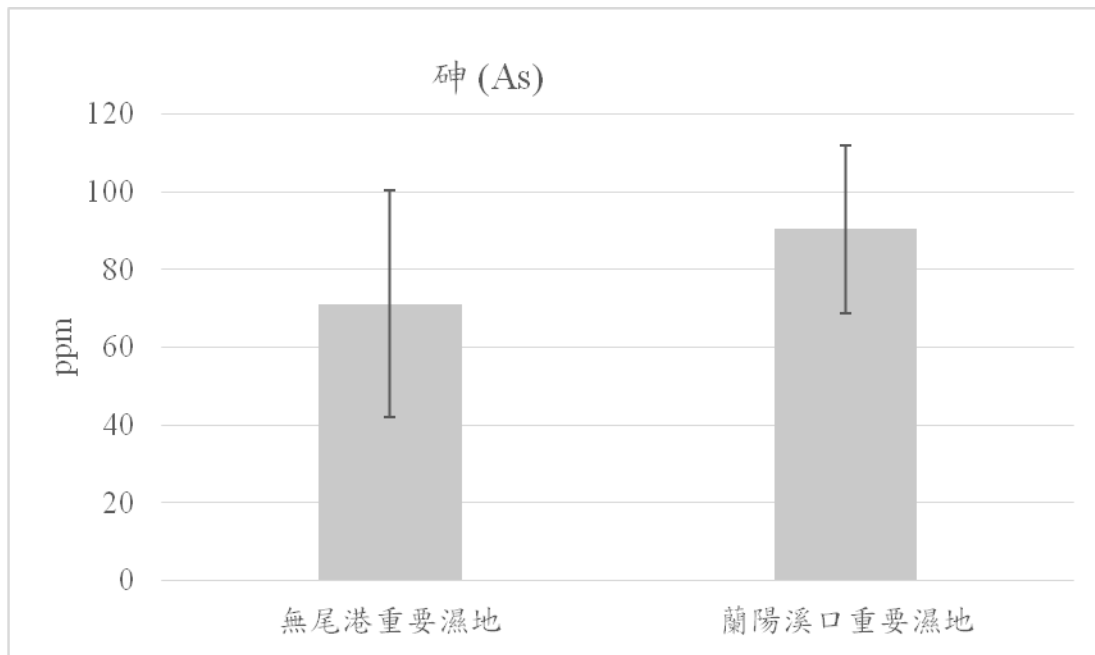


圖 44、小燕鷗食魚砷濃度：兩重要濕地無顯著差異($p=0.078$)。

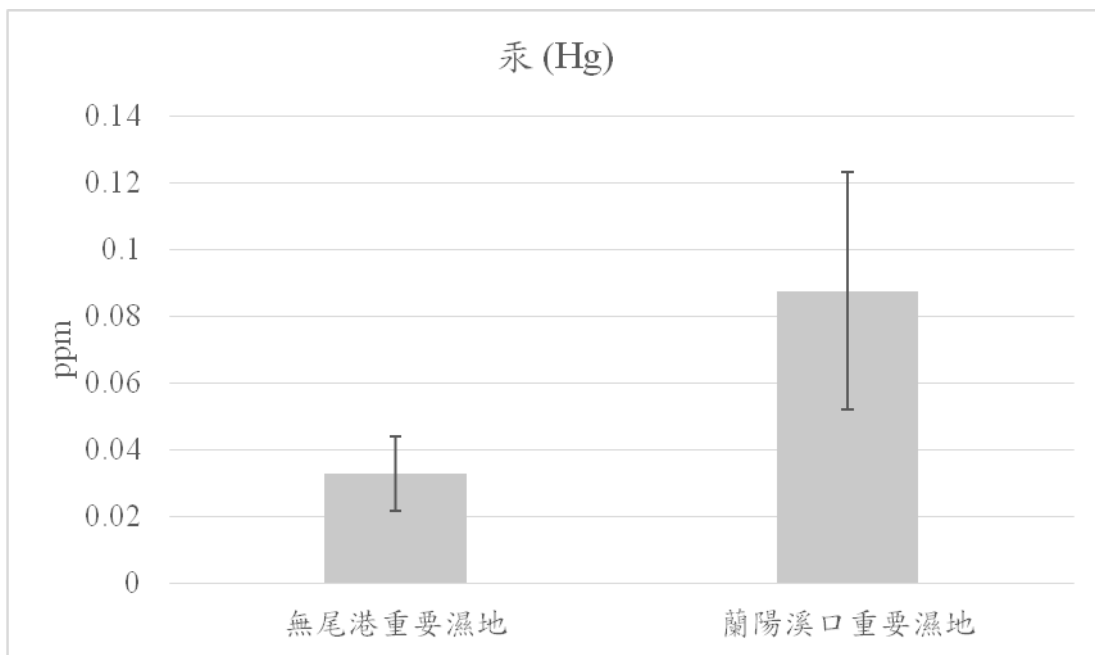


圖 45、小燕鷗食魚汞濃度：蘭陽溪口重要濕地高於無尾港重要濕地($p=0.001$)。

(5) 相關性分析

將檢測出的水域底泥、成鳥胸羽、蛋殼和食魚檢測的重金屬濃度做相關性分析，以初步瞭解生態系環境和營養階層中的重金屬流動與累積的狀況，提供經營管理者作為參考。要特別注意的是，相關係數僅能說明兩者關係密切，而無法解釋兩者間的因果關係。透過相關係數的絕對值，可表示兩者間的相關程度：

<0.2，極低度相關

0.2-0.4，低度相關

0.4-0.6，中度相關

0.6-0.8，高度相關

>0.8，極高度相關

a、 水域底泥和食魚的重金屬濃度的相關性

水域底泥和食魚的銅和汞濃度的相關性顯著，其中汞呈現中度正相關(表 47)。因為汞金屬沉降後，容易被水域環境的微生物轉化成高神經毒的甲基汞，之後迅速累積於水生生物體內 (Scheuhammer, 1987; Scheuhammer *et al.*, 2007; Dietz *et al.*, 2013)。

表 47、水域底泥和食魚胸羽的重金屬濃度的相關性分析。

		食魚濃度	
		Cu	Hg
水域 底泥	Cu	-0.496*	
	Hg		0.474***

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$

b、成鳥胸羽和蛋殼的重金屬濃度的相關性

成鳥胸羽和蛋殼的鎘濃度的相關性顯著，呈現中度正相關(表 48)。下蛋是母鳥將體內重金屬排出體外的方式之一，因此在小燕鷗成鳥有較高的重金屬濃度時，產生的蛋也含有較高的重金屬濃度(Eeva *et al.*, 1997)。此外，值得注意的是鎘會干擾鈣質的吸收與代謝，造成窩卵數減少與蛋殼變薄的現象，影響巢蛋品質(Ando, 1978; Scheuhammer, 1987; Burger, 2008)。

表 48、成鳥胸羽和蛋殼的重金屬濃度的相關性分析。

	蛋殼 Cd 濃度
成鳥胸羽 Cd 濃度	0.515*

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$

c、成鳥體重和成鳥胸羽重金屬濃度的相關性

成鳥體重和成鳥胸羽的銅濃度的相關性顯著，呈現中度正相關(表 49)。因為重金屬可透過三種途徑累積於生物體內，食入、吸入和黏膜接觸，其中以食入的方式最主要的方式。當小燕鷗的體重約高的時候，可以顯示小燕鷗吃得也比較多，進而累積較多的重金屬於體內。

表 49、成鳥體重和成鳥胸羽重金屬濃度的相關性分析。

	成鳥胸羽 Cu 濃度
成鳥體重	0.55*

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$

d、 蛋殼重金屬濃度和蛋體積大小的相關性

蛋殼中銅和鋅重金屬濃度和蛋體積大小的相關性顯著，其中銅和鋅濃度呈現高度負相關(表 50)。鋅在適量的時候可以增強蛋殼韌性和蛋黃的大小，然而在超過一定的量時，則會造成鋅中毒，影響健康和蛋品質。因此，是否可能因為鋅導致蛋體積變小及蛋殼薄，未來可以持續追蹤 (Smith, 1995)。

表 50、蛋殼重金屬濃度和蛋殼厚薄度的相關性分析。

		蛋體積
蛋殼重金屬濃度	Cu	-0.6*
	Zn	-0.618*

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$

五、 文獻資料收集與分析

(1) 小燕鷗族群現況與危機

根據 Wetlands International (2015)的評估，全球小燕鷗的族群量約為 190,000 至 410,000 隻。在 2016 年國際自然保護聯盟瀕危物種最新更新的紅色名錄中，雖然記錄著小燕鷗的族群量是下降的趨勢，但由於小燕鷗屬於廣泛分佈且族群下降趨勢仍未達保育警戒標準，目前並未符合急迫需要被保育的條件，因此被仍列為無危(least concern)物種(Birdlife International, 2016)。然而，在許多小燕鷗分布的國家中，如：義大利、西班牙、葡萄牙、英國、日本、臺灣等，因其研究指出其國內小燕鷗族群下降趨勢，已將小燕鷗提列為需要被保育的級別(Devos *et al.*, 2004; Dolev and Perevolotsky, 2004; Hustings *et al.*, 2004; Radovic *et al.*, 2007; Ministry of the Environment, 2008)。

世界各地小燕鷗族群減少的原因主要和人為干擾、捕食壓力以及淹水事件有關。

- a、 **人為干擾**：人類活動和小燕鷗的繁殖棲地重疊，像是開發、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)。
- b、 **捕食壓力**：天敵的影響來自於空中的猛禽、同水域棲息活動的大型鷗科、鷺科、鸕鶿科、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。

- c、**淹水事件**：氣候因素導致的連續性豪雨、潮汐或颱風等容易造成小燕鷗於海岸或河口的沙灘或沙洲棲地大規模的淹水，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，造成整個族群的孵化失敗(Holloway, 1993; Hong *et al.*, 1998; Ratcliffe *et al.*, 2008; Scarton, 2008; 洪崇航, 2009; 宜蘭縣野鳥學會, 2012)。

除此之外，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、有機氯汙染和重金屬汞的累積等，也對小燕鷗族群的生存造成一定的影響(Choi *et al.* 2001; Oro *et al.*, 2004; Ratcliffe *et al.*, 2008; Thyen *et al.* 2000)。

(2) 臺灣小燕鷗繁殖概況與威脅

小燕鷗在臺灣四地的繁殖棲地類型不同，繁殖時間也有些許的差異。小燕鷗在臺灣各地的孵化率變異大，但整體來說「淹水事件」是影響孵化成功與否最大的因子(表 51)。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，其巢位多利用珊瑚碎屑與沙混合的棲地(鄭謙遜等, 2006)。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)。在宜蘭縣蘭陽溪出海口沙洲的小燕鷗，其繁殖地點以沙灘為主，偶有利用泥灘地的記錄。雖然整個繁殖區位於蘭陽溪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撿拾漂流木等，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)、張樂寧(2014)以及過往本團隊自主研究的調查, 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 2011-2017 年的孵化成功率範圍為 17-55.5%, 詳細請見表 5。宜蘭地區應是目前持續執行小燕鷗繁殖監測最久的地區。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: 礫石地與沙丘。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。在嘉義新塭滯洪池沙洲的小燕鷗則大約 4 月開始繁殖, 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)。經本研究整理也發現宜蘭地區的小燕鷗族群有下降的趨勢(圖 7)。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。

表 51、臺灣各地小燕鷗繁殖概況與威脅(族群量是參考張樂寧(2014)的調查資料)。

時間	地點	棲地類型	孵化率	威脅	族群量
2006	澎湖	珊瑚碎屑	8%	人為干擾、捕食	200 (青螺) 100 (吉貝)
2008	彰化	礫石地	37%	大雨淹水	450
2008	彰化	沙丘	16%	人為干擾	
2011 2017	宜蘭	沙灘	17 - 55.5%	大雨淹水、捕食	450
2013	嘉義	泥質沙洲	-	淹水	200

(3) 重金屬污染對鳥類的影響與檢測

重金屬在自然環境中因難以降解而具有累積性，不論是來自於自然循環或人為活動的重金屬污染物皆容易隨著食物鏈累積於生物體內，而在食物鏈位階較高的生物便容易因生物累積作用而受到重金屬污染影響(Eagles-Smith *et al.*, 2009)。

重金屬中毒對生物個體會造成不可回復性的傷害，而重金屬污染所造成的傷亡會隨著暴露濃度和暴露時間有所差異，同時也可能會影響其族群生存與永續。在鳥類研究中，重金屬中毒除了影響鳥類個體的生理病變外，也影響鳥類的行為，如：覓食效益降低、飛行或行走行為失調、防衛行為減少等(Hoffman *et al.*, 2005; Pedersen and Saether, 1999; White *et al.*, 1978; Wolfe *et al.*, 1998)。此外，探討重金屬對於鳥類繁殖所造成的負面影響是重要的議題(Burger, 1995)。鳥類曝露於重金屬污染的環境下，可能會導致其生育能力下降，又因為母鳥可透過下蛋將體內的重金屬排出體外，例如：汞以甲基汞型態排出，可至少排出約 20%(Lewis *et al.*, 1993)。因此當母鳥體內的重金屬濃度高時，蛋也會有較高的重金屬濃度，造成孵化成功率和幼鳥存活率的下降(Lewis *et al.*, 1993)。

在探討重金屬對鳥類造成影響的研究中，以甲基汞與汞

是最常見於水鳥體內也多被探討的重金屬污染物。因為在汞毒物進入環境中後，會在大氣、地表和水體中不斷循環，直到汞進入了海洋或湖泊的沉積物中或成為穩定的礦物化合物。在水體中有機汞容易形成，並透過水域生態系的食物鏈累積，使得食魚性的高營養位階動物，如燕鷗，體內汞濃度較高(Eagles-Smith *et al.*, 2009)。因此在無尾港與蘭陽溪口重要濕地的生態系中，小燕鷗與環境的汞濃度風險評估是值得持續關注的。

目前已多篇文獻指出重金屬藉由生物累積作用間接或直接造成海鳥的繁殖失敗或族群下降(Eagles-Smith *et al.*, 2009; Lee *et al.*, 2012)；也透過長期監測生態系中高營養階層物種的重金屬濃度，以更全面的瞭解生態系的重金屬危害程度及時空變化(Dietz *et al.*, 2013)。

而有別以往需要肌肉或臟器組織作為樣品進行重金屬濃度檢測，現在已可以在不造成鳥隻傷亡的情況下透過鳥類胸羽、血液或蛋殼檢測重金屬含量並與其所處背景環境(水質、土壤、底泥)比較而瞭解重金屬毒物累積情形 (陳玄暉, 2008；Burger and Gochfeld, 2004; Lindberg, 1984)。以 Burger and Gochfeld (2004)的研究為例，1971 至 2002 年間，在美國新澤西州(New Jersey)巴尼特海灣(Barnegat Bay)島嶼上繁殖的普通燕鷗(*Sterna hirundo*)其蛋殼的重金屬含量與巴尼特海灣的重金屬鉛、鎘濃度變化趨勢呈現一致，顯示海鳥可作為評估環境重金屬變化趨勢的生物指標。

(4) 臺灣探討鳥類和重金屬污染的研究

在臺灣，目前有 6 篇探討鳥類與重金屬污染相關的研究，依時間順序分別為：陳玄暉(2008) 檢測彰化沿海的黑腹濱鵲胸羽，發現胸羽內的銅與鉛金屬濃度較高，其中鉛可能與漢寶溪口的沉積物有關。傅文翔(2009) 嘗試以食物鏈高階消費者的鷺鷥作為環境指標，並發現水體環境中的重金屬濃度透過生物放大與累積效應，累積至鷺鷥胸羽的濃度可為水體濃度的百倍、千倍甚至萬倍。張智堯(2012)以黑鳶作為環境指標檢視自 1970 年以來黑鳶胸羽的重金屬濃度年變化和工業發展的關係，發現黑鳶胸羽的鉛和汞濃度和土壤中重金屬濃度有很高的相關性。池語軒(2014)和王琮源(2014)分別以翠鳥和粉紅鸚嘴作為生態指標瞭解環境中重金屬可能造成的生態風險，並認為農牧產業所使用的肥料可能會導致重金屬留存於環境中造成生態的影響。陳韋廷(2016)針對宜蘭縣小燕鷗的重金屬研究發現環境中的鉛、鎘濃度可透過食物鏈傳遞至小燕鷗雛鳥體內，且重金屬濃度越高的區域小燕鷗的窩卵數少、蛋體積小以及蛋殼也比較薄。以上研究皆透過一生物指標來探討環境中重金屬的累積與傳輸，提供可比較的監測數據評估生態風險，以瞭解重金屬對於生態環境的危害情形。

(5) 重金屬檢測資料蒐集與分析

本研究團隊整理行政院環境保護署全國環境水質監測資訊網的 2013-2017 年資料，將無尾港與蘭陽溪口重要濕地範圍內的測站資料整理如表 52，其中包含河川流域：蘭陽溪流域的蘭陽大橋和噶瑪蘭橋測站、冬山河流域的清水大閘測站以及沿海流域：宜蘭蘇澳沿海海域的蘭陽溪口和新城溪口測站(圖 46)。

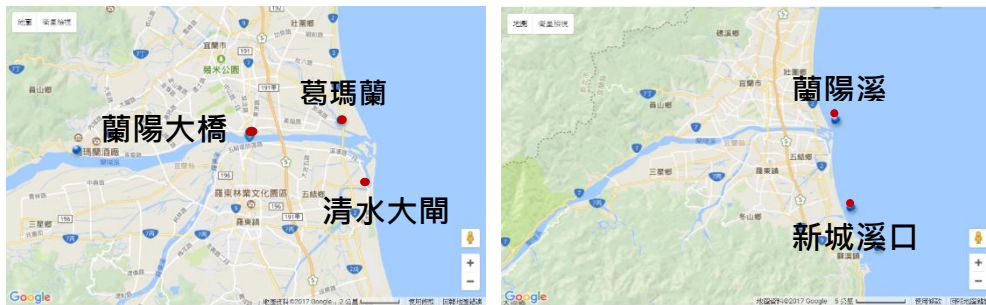


圖 46、行政院環境保護署全國環境水質監測系統於兩重要濕地範圍內的水質測站，包含河川流域(左圖)：蘭陽溪流域的蘭陽大橋和噶瑪蘭橋測站、冬山河流域的清水大閘測站以及沿海流域(右圖)：宜蘭蘇澳沿海海域的蘭陽溪口和新城溪口測站。

在河川流域測站檢驗的水體，其鎘、鉛、鉻和汞的濃度幾乎低於儀器可檢驗出的最小值，砷、銅、鋅和錳則穩定可被檢驗出，但檢驗出的濃度多符合行政院環境保護署公告的「地面水體分類及水質標準」中針對保護人體健康的重金屬於水質中的基準值：銅 0.03ppm、鋅 0.5ppm、砷 0.05ppm、錳 0.05ppm。其中蘭陽溪流域的蘭陽大橋和噶瑪蘭橋測站因為屬於相同的流域其重金屬檢測值相關性高，在銅和鋅的含量大於清水大閘測站(圖 47、圖 48)，砷的含量則小於清水大閘測站(圖 49)，而錳的濃度在 3 個河川流域測站中含量相似(圖 50)。在沿海海域測站所檢驗的水體，鉻和鉛濃度維持穩定；鉻和汞濃度幾乎低於儀器可檢驗出的最小值；銅和鋅濃度在蘭陽溪口測站和新城溪口測站變化趨勢相近，但以新城溪口測站所測得的濃度較高(圖 51、圖 52)。

在海域沿岸沉積物中的重金屬濃度與變化中，余養城

(2008)分析 2003-2007 年臺灣北部桃竹、台北、基隆和北宜四個分海範圍近岸的測站底泥樣品，發現北宜海域相較其他海域而言，砷、汞、銅金屬濃度平均含量高，各重金屬依平均濃度大小為鋅(76.71ppm)、銅(48.92ppm)、鉻(39.13ppm)、砷(30.14ppm)、鉛(23.06ppm)、鎘(0.99ppm)、汞(0.5ppm)，其中又以銅和砷濃度變化大。但和世界各地近岸重金屬平均濃度相比較，臺灣北部海域的重金屬含量並無異常。

在河川底泥重金屬檢測部分，環境保護署 2002 年在蘭陽溪流域有執行河川底泥重金屬濃度檢驗，各種重金屬依平均濃度大小為鋅(109.5ppm)、鉻 (59.3ppm)、鎳(32.25ppm)、銅(24.46ppm)、鉛(22.13ppm)、砷(11.3ppm)、鎘(0.208ppm)、汞(<0.16ppm)。經底泥品質基準比較顯示，2002 年蘭陽溪流域的底泥 10 個測站中有 8 個測站檢測結果為中度汙染以及 2 個測站檢測結果為嚴重汙染³。新城溪流域則於 2006 年執行河川整體調查，河川底泥重金屬濃度檢驗，各種重金屬依平均濃度大小為鉻 (127.31ppm)、鎳 (101.75ppm)、鋅 (97.18ppm)、銅(40.9ppm)、鉛(32.07ppm)、砷(7.3ppm)、鎘 (2.02ppm)、汞(0.139ppm)。經底泥品質基準比較顯示，2002 年蘭陽溪流域的底泥 3 個測站中 3 個測站檢測結果為嚴重汙染，但推測皆是地質原因所造成³。陳韋廷 2015 年也針對蘭陽溪口與新城溪口底泥中的鉛、鎘和汞進行檢測，蘭陽溪口的鉛為 12.63ppm、鎘 0.93ppm、汞 0.26ppm，新城溪口的鉛為 13.05ppm、鎘 1.27ppm、汞 0.32ppm。從蘭陽溪口流域和新城溪口流域三年的資料來看，暫無法看出重金屬濃度在時間上的變化趨勢。

³ 資料來源：行政院環境保護署「全國環境水質監測資訊網」-河川整體調查結果：
<https://wq.epa.gov.tw/Code/Theme/Overall.aspx>

表 52、無尾港與蘭陽溪口重要濕地範圍內水質測站資料

採樣分區	測站名稱	採樣日期	鎘	鉛	六價鉻	砷	汞	銅	鋅	錳	銀	硒
蘭陽溪流域	蘭陽大橋	2017/3/9	<0.001	<0.003	<0.002	0.0016	<0.0003	<0.001	0.011	0.154	<0.001	<0.001
蘭陽溪流域	蘭陽大橋	2016/12/8	<0.001	<0.003	<0.002	0.0018	<0.0003	0.005	0.034	0.134	<0.001	--
蘭陽溪流域	蘭陽大橋	2016/9/8	<0.001	0.005	<0.002	0.0029	<0.0003	0.007	0.032	0.204	<0.001	--
蘭陽溪流域	蘭陽大橋	2016/6/4	<0.001	<0.003	<0.002	0.0009	<0.0003	0.002	0.006	0.047	<0.001	--
蘭陽溪流域	蘭陽大橋	2016/3/4	<0.001	<0.003	<0.002	0.0007	<0.0003	0.004	0.019	0.069	<0.001	<0.001
蘭陽溪流域	蘭陽大橋	2015/12/4	<0.001	<0.003	<0.002	0.0007	<0.0003	0.004	0.02	0.073	<0.001	--
蘭陽溪流域	蘭陽大橋	2015/9/2	<0.001	0.039	<0.002	0.0023	<0.0003	0.034	0.117	0.908	<0.001	--
蘭陽溪流域	蘭陽大橋	2015/6/3	<0.001	0.008	<0.002	0.0028	<0.0003	0.003	0.015	0.072	<0.001	--
蘭陽溪流域	蘭陽大橋	2015/3/4	<0.001	<0.003	<0.002	0.0013	<0.0003	0.005	0.015	0.09	<0.001	<0.001
蘭陽溪流域	蘭陽大橋	2014/12/2	<0.001	0.011	<0.002	0.0013	<0.0003	0.007	0.023	0.174	<0.001	--
蘭陽溪流域	蘭陽大橋	2014/9/5	<0.001	0.005	<0.002	0.0022	<0.0003	0.005	0.019	0.131	<0.001	--
蘭陽溪流域	蘭陽大橋	2014/6/5	<0.001	0.006	<0.002	0.0039	<0.0003	0.01	0.037	0.187	<0.001	--
蘭陽溪流域	蘭陽大橋	2014/3/6	<0.001	<0.003	<0.002	0.001	<0.0003	0.002	0.011	0.05	<0.001	<0.001
蘭陽溪流域	蘭陽大橋	2013/12/3	<0.001	<0.003	<0.002	0.0008	<0.0003	0.002	0.007	0.04	<0.001	--
蘭陽溪流域	蘭陽大橋	2013/9/4	<0.001	0.016	<0.002	0.0075	<0.0003	0.018	0.069	0.49	<0.001	--
蘭陽溪流域	蘭陽大橋	2013/6/6	<0.001	0.017	<0.002	0.0031	<0.0003	0.007	0.029	0.356	<0.001	--
蘭陽溪流域	蘭陽大橋	2013/3/4	<0.001	<0.003	0.002	0.0026	<0.0003	0.002	0.006	0.084	<0.001	<0.001
蘭陽溪流域	噶瑪蘭橋	2017/3/9	<0.001	0.01	<0.002	0.0017	<0.0003	0.025	0.097	0.173	<0.001	<0.001
蘭陽溪流域	噶瑪蘭橋	2016/12/8	<0.001	<0.003	<0.002	0.0022	<0.0003	0.006	0.077	0.173	<0.001	--

採樣分區	測站名稱	採樣日期	鎘	鉛	六價鉻	砷	汞	銅	鋅	錳	銀	硒
蘭陽溪流域	噶瑪蘭橋	2016/9/8	<0.001	<0.003	<0.002	0.0045	<0.0003	0.003	0.018	0.134	<0.001	--
蘭陽溪流域	噶瑪蘭橋	2016/6/4	<0.001	<0.003	<0.002	0.0013	<0.0003	0.004	0.005	0.043	<0.001	--
蘭陽溪流域	噶瑪蘭橋	2016/3/4	0.001	0.004	<0.002	0.0011	<0.0003	0.012	0.044	0.082	<0.001	<0.001
蘭陽溪流域	噶瑪蘭橋	2015/12/4	<0.001	<0.003	<0.002	0.0012	<0.0003	0.005	0.023	0.075	<0.001	--
蘭陽溪流域	噶瑪蘭橋	2015/9/2	<0.001	0.047	<0.002	0.0037	0.0004	0.041	0.144	1.07	<0.001	--
蘭陽溪流域	噶瑪蘭橋	2015/6/3	<0.001	0.014	<0.002	0.0034	<0.0003	0.008	0.044	0.092	<0.001	--
蘭陽溪流域	噶瑪蘭橋	2015/3/4	<0.001	0.01	<0.002	0.0014	<0.0003	0.005	0.027	0.104	<0.001	<0.001
蘭陽溪流域	噶瑪蘭橋	2014/12/2	<0.001	<0.003	<0.002	0.0009	<0.0003	0.007	0.022	0.09	<0.001	--
蘭陽溪流域	噶瑪蘭橋	2014/9/5	<0.001	0.009	<0.002	0.0034	<0.0003	0.008	0.025	0.224	<0.001	--
蘭陽溪流域	噶瑪蘭橋	2014/6/5	<0.001	0.003	<0.002	0.0049	<0.0003	0.012	0.061	0.213	<0.001	--
蘭陽溪流域	噶瑪蘭橋	2014/3/6	<0.001	<0.003	<0.002	0.0011	<0.0003	0.003	0.017	0.025	<0.001	<0.001
蘭陽溪流域	噶瑪蘭橋	2013/12/3	<0.001	0.007	<0.002	0.0008	<0.0003	0.002	0.029	0.039	<0.001	--
蘭陽溪流域	噶瑪蘭橋	2013/9/4	<0.001	0.012	<0.002	0.0069	<0.0003	0.013	0.062	0.416	<0.001	--
蘭陽溪流域	噶瑪蘭橋	2013/6/6	<0.001	0.009	<0.002	0.0076	<0.0003	0.01	0.035	0.238	<0.001	--
蘭陽溪流域	噶瑪蘭橋	2013/3/4	<0.001	<0.003	<0.002	0.0029	<0.0003	0.003	0.014	0.084	<0.001	<0.001
冬山河流域	清水大閘	2017/3/9	<0.001	<0.003	<0.002	0.0047	<0.0003	<0.001	<0.002	0.07	<0.001	<0.001
冬山河流域	清水大閘	2016/12/8	<0.001	<0.003	<0.002	0.0036	<0.0003	0.001	0.012	0.084	<0.001	--
冬山河流域	清水大閘	2016/9/8	<0.001	<0.003	<0.002	0.0097	<0.0003	0.002	0.009	0.132	<0.001	--
冬山河流域	清水大閘	2016/6/4	<0.001	<0.003	<0.002	0.0092	<0.0003	0.004	0.019	0.093	<0.001	--
冬山河流域	清水大閘	2016/3/4	<0.001	<0.003	<0.002	0.0052	<0.0003	0.002	0.015	0.113	<0.001	<0.001

採樣分區	測站名稱	採樣日期	鎘	鉛	六價鉻	砷	汞	銅	鋅	錳	銀	硒
冬山河流域	清水大閘	2015/12/4	<0.001	<0.003	<0.002	0.0042	<0.0003	0.002	0.012	0.169	<0.001	--
冬山河流域	清水大閘	2015/9/2	<0.001	0.005	<0.002	0.007	<0.0003	0.002	0.007	0.171	<0.001	--
冬山河流域	清水大閘	2015/6/3	<0.001	0.008	<0.002	0.0114	<0.0003	0.003	0.021	0.151	<0.001	--
冬山河流域	清水大閘	2015/3/4	<0.001	<0.003	<0.002	0.0066	<0.0003	0.003	0.017	0.106	<0.001	<0.001
冬山河流域	清水大閘	2014/12/2	<0.001	0.005	<0.002	0.0066	<0.0003	0.004	0.017	0.09	<0.001	--
冬山河流域	清水大閘	2014/9/5	<0.001	0.005	<0.002	0.0112	<0.0003	0.002	0.012	0.106	<0.001	--
冬山河流域	清水大閘	2014/6/5	<0.001	<0.003	<0.002	0.0087	<0.0003	0.003	0.021	0.075	0.001	--
冬山河流域	清水大閘	2014/3/6	<0.001	<0.003	0.002	0.0066	<0.0003	0.002	0.007	0.113	<0.001	<0.001
冬山河流域	清水大閘	2013/3/4	<0.001	0.003	<0.002	0.0065	<0.0003	0.002	0.007	0.103	<0.001	<0.001
宜蘭蘇澳沿海海域	蘭陽溪口	2017/2/22	1E-05	0.0001	<0.001		<0.0003	0.0002	0.0041			
宜蘭蘇澳沿海海域	蘭陽溪口	2016/11/16	2E-05	0.0007	--		<0.0003	0.0006	0.0071			
宜蘭蘇澳沿海海域	蘭陽溪口	2016/8/19	<0.00001	0.0002	--		<0.0003	0.0003	0.0067			
宜蘭蘇澳沿海海域	蘭陽溪口	2016/5/20	1E-05	<0.0001	--		<0.0003	0.0003	0.0033			
宜蘭蘇澳沿海海域	蘭陽溪口	2016/1/21	1E-05	0.0002	<0.001		<0.0003	0.0005	0.0052			
宜蘭蘇澳沿海海域	蘭陽溪口	2015/11/13	1E-05	<0.0001	--		<0.0003	0.0003	0.0051			
宜蘭蘇澳沿海海域	蘭陽溪口	2015/8/28	2E-05	<0.0001	--		<0.0003	0.0002	0.0028			
宜蘭蘇澳沿海海域	蘭陽溪口	2015/5/20	2E-05	<0.0001	--		<0.0003	0.0002	0.0039			
宜蘭蘇澳沿海海域	蘭陽溪口	2015/1/27	2E-05	<0.0001	<0.001		<0.0003	0.0003	0.0059			
宜蘭蘇澳沿海海域	蘭陽溪口	2014/11/14	2E-05	0.0002	--		<0.0003	0.0002	0.0116			
宜蘭蘇澳沿海海域	蘭陽溪口	2014/8/20	1E-05	<0.0001	--		<0.0003	0.0003	0.0054			

採樣分區	測站名稱	採樣日期	鎘	鉛	六價鉻	砷	汞	銅	鋅	錳	銀	硒
宜蘭蘇澳沿海海域	蘭陽溪口	2014/5/23	2E-05	0.0002	--		<0.0003	0.0006	0.0093			
宜蘭蘇澳沿海海域	蘭陽溪口	2014/2/25	2E-05	<0.0001	<0.001		<0.0003	0.0005	0.0033			
宜蘭蘇澳沿海海域	蘭陽溪口	2013/10/31	<0.00001	<0.0001	--		<0.0003	<0.0001	0.0023			
宜蘭蘇澳沿海海域	蘭陽溪口	2013/8/23	2E-05	0.0002	--		<0.0003	0.0009	0.0125			
宜蘭蘇澳沿海海域	蘭陽溪口	2013/5/9	1E-05	<0.0001	--		<0.0003	0.0005	0.0075			
宜蘭蘇澳沿海海域	蘭陽溪口	2013/2/6	1E-05	0.0001	<0.001		<0.0003	0.0002	0.003			
宜蘭蘇澳沿海海域	新城溪口	2017/2/22	1E-05	0.0002	<0.001		<0.0003	0.0002	0.0044			
宜蘭蘇澳沿海海域	新城溪口	2016/11/16	1E-05	0.0008	--		<0.0003	0.0003	0.0088			
宜蘭蘇澳沿海海域	新城溪口	2016/8/19	<0.00001	0.0001	--		<0.0003	0.0003	0.0045			
宜蘭蘇澳沿海海域	新城溪口	2016/5/20	<0.00001	0.0003	--		<0.0003	0.0004	0.0085			
宜蘭蘇澳沿海海域	新城溪口	2016/1/21	1E-05	0.0002	<0.001		<0.0003	0.0009	0.0086			
宜蘭蘇澳沿海海域	新城溪口	2015/11/13	1E-05	0.0002	--		<0.0003	0.0013	0.0122			
宜蘭蘇澳沿海海域	新城溪口	2015/8/28	1E-05	<0.0001	--		<0.0003	0.0002	0.0052			
宜蘭蘇澳沿海海域	新城溪口	2015/5/20	2E-05	<0.0001	--		<0.0003	0.0003	0.0036			
宜蘭蘇澳沿海海域	新城溪口	2015/1/27	2E-05	0.0001	<0.001		<0.0003	0.0004	0.0062			
宜蘭蘇澳沿海海域	新城溪口	2014/11/14	2E-05	<0.0001	--		0.0005	0.0003	0.0172			
宜蘭蘇澳沿海海域	新城溪口	2014/8/20	1E-05	0.0002	--		<0.0003	0.0004	0.0063			
宜蘭蘇澳沿海海域	新城溪口	2014/5/23	1E-05	0.0002	--		0.0005	0.0004	0.0079			
宜蘭蘇澳沿海海域	新城溪口	2014/2/25	1E-05	0.0002	<0.001		<0.0003	0.0005	0.0066			
宜蘭蘇澳沿海海域	新城溪口	2013/10/31	1E-05	0.0002	--		<0.0003	0.0002	0.0038			

採樣分區	測站名稱	採樣日期	鎘	鉛	六價鉻	砷	汞	銅	鋅	錳	銀	硒
宜蘭蘇澳沿海海域	新城溪口	2013/8/23	1E-05	0.0002	--		<0.0003	0.001	0.0118			
宜蘭蘇澳沿海海域	新城溪口	2013/5/9	1E-05	0.0001	--		<0.0003	0.0005	0.0074			
宜蘭蘇澳沿海海域	新城溪口	2013/2/6	1E-05	<0.0001	<0.001		<0.0003	0.0003	0.0059			

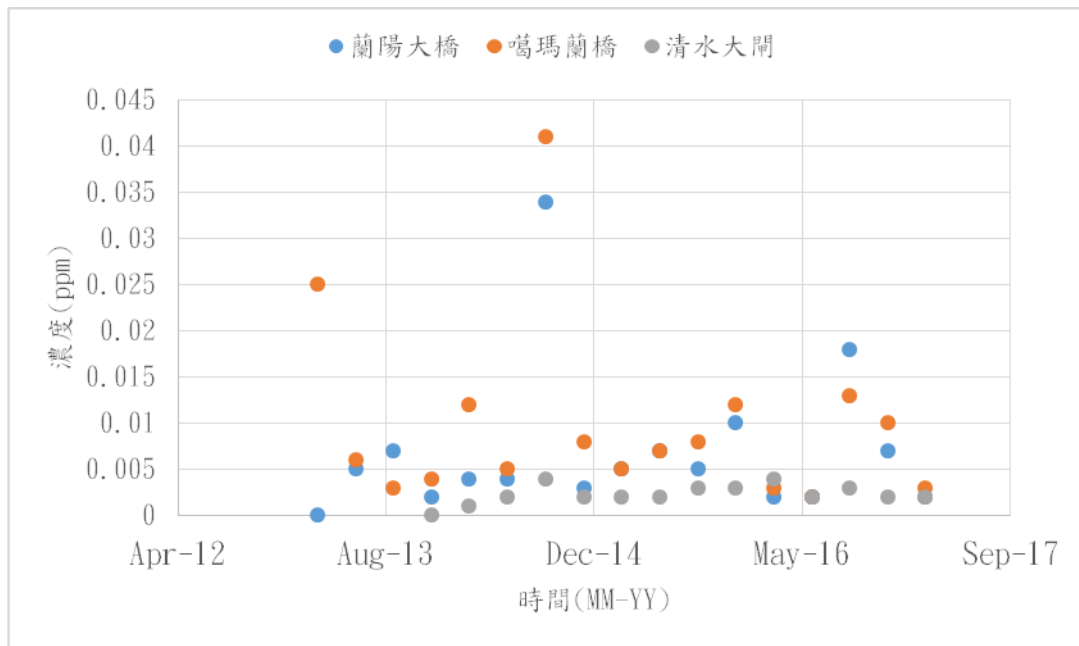


圖 47、無尾港與蘭陽溪口重要濕地範圍內河川流域測站檢驗水體重金屬銅濃度。

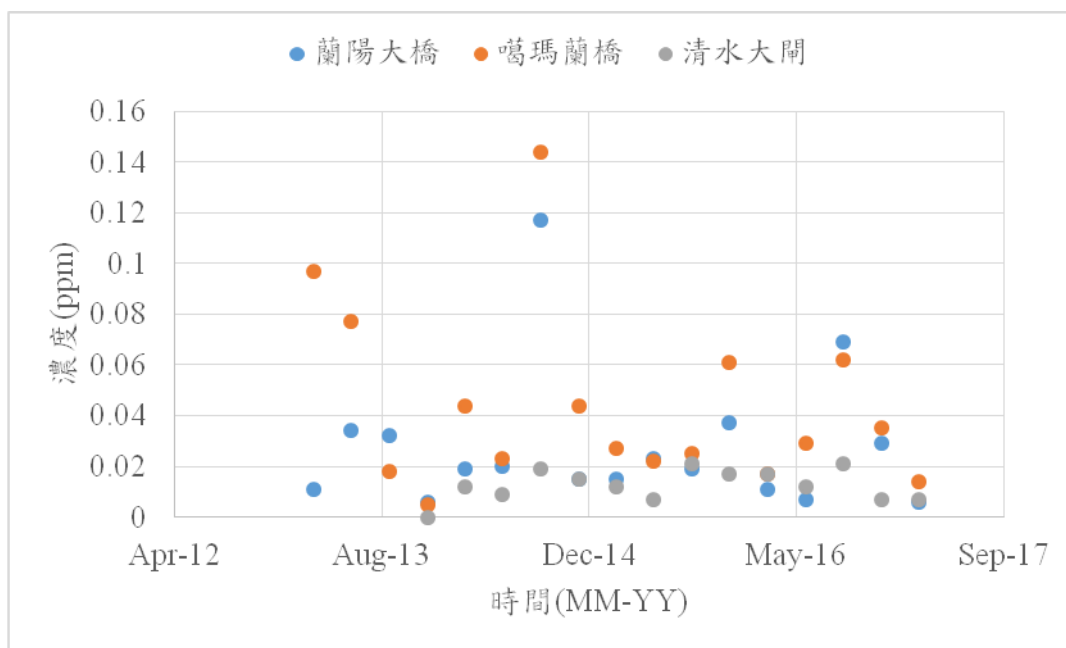


圖 48、無尾港與蘭陽溪口重要濕地範圍內河川流域測站檢驗水體重金屬鋅濃度。

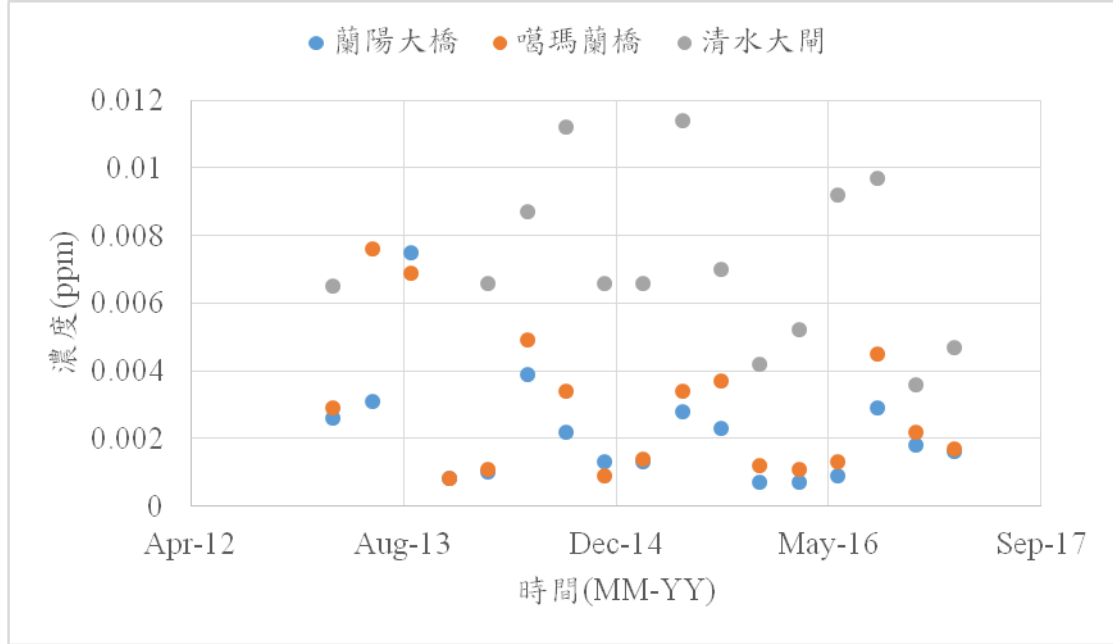


圖 49、無尾港與蘭陽溪口重要濕地範圍內河川流域測站檢驗水體重金屬砷濃度。

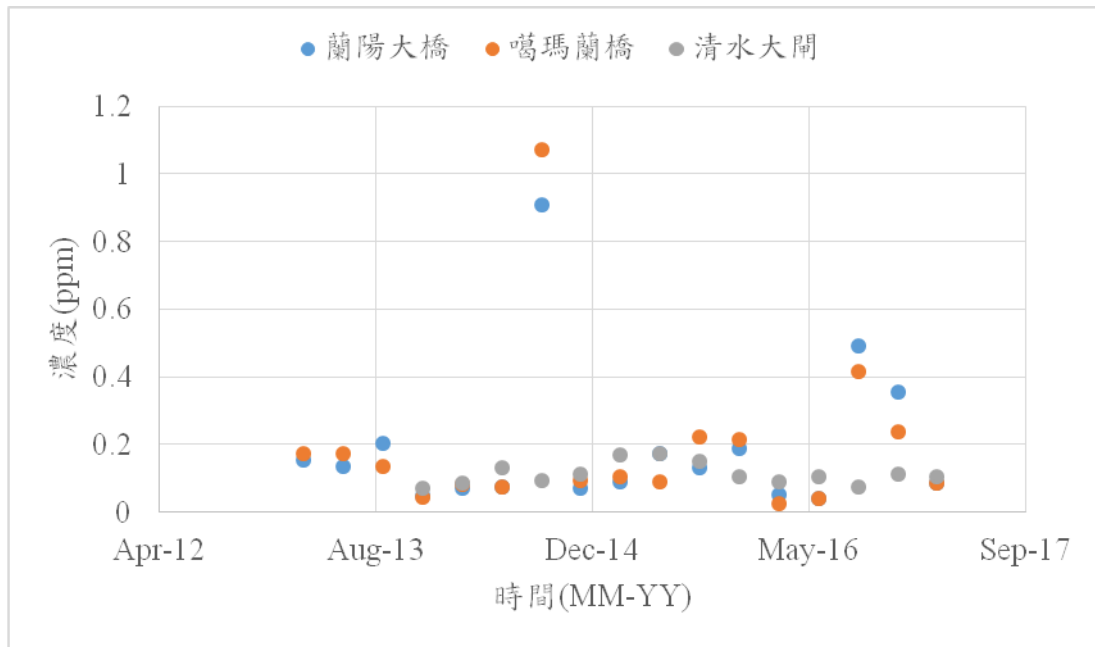


圖 50、無尾港與蘭陽溪口重要濕地範圍內河川流域測站檢驗水體重金屬錳濃度。

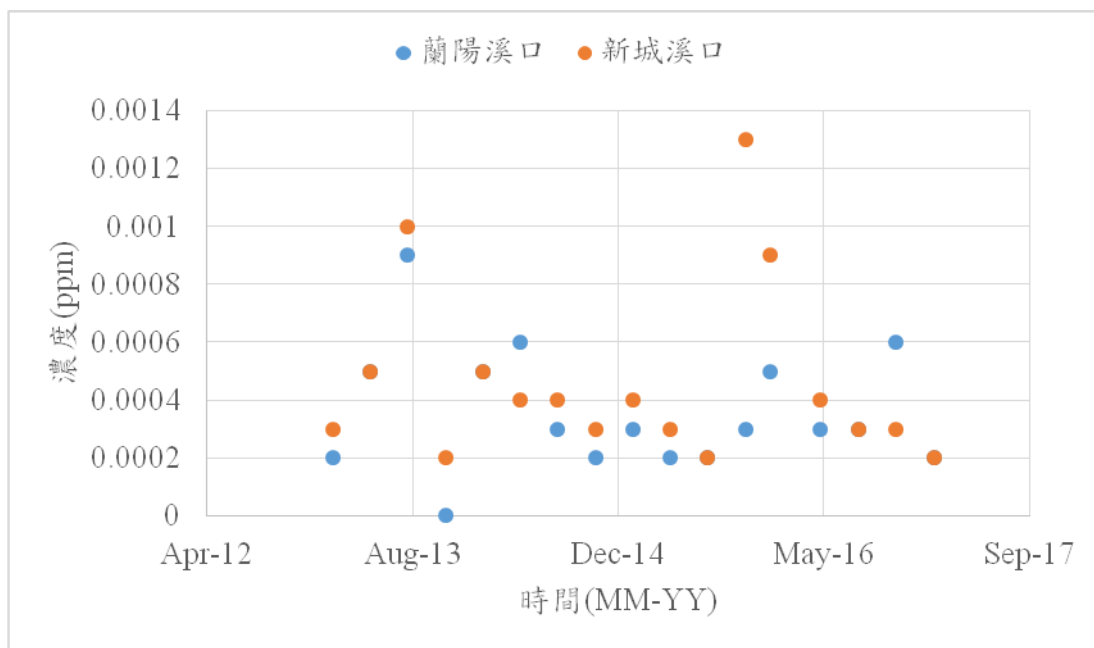


圖 51、無尾港與蘭陽溪口重要濕地範圍內沿海海域測站檢驗水體重金屬銅濃度。

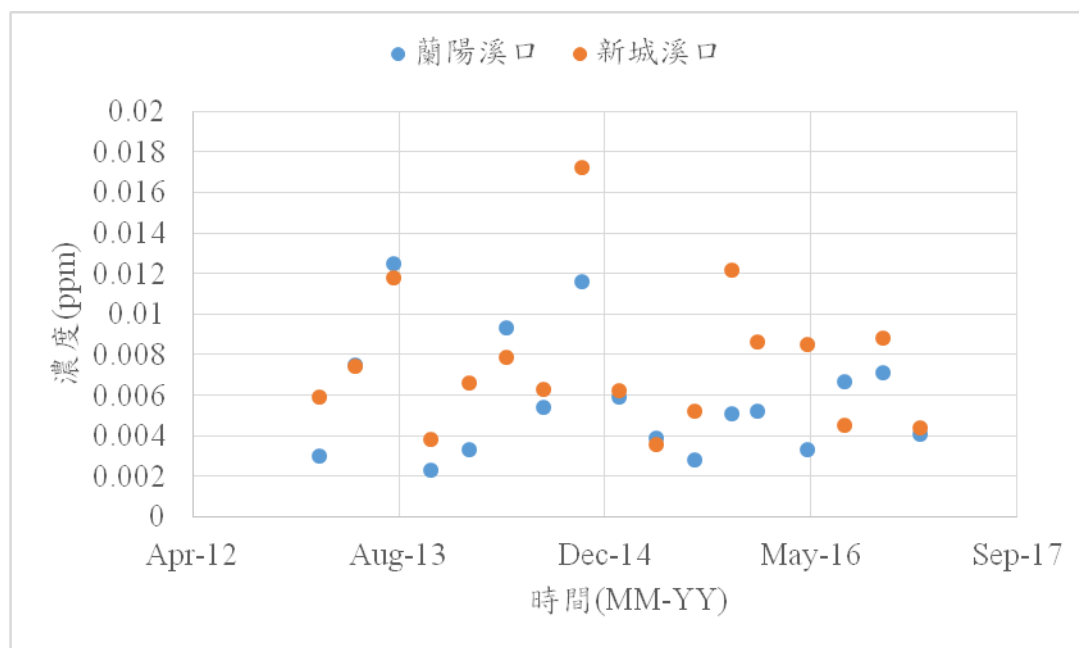


圖 52、無尾港與蘭陽溪口重要濕地範圍內沿海海域測站檢驗水體重金屬鋅濃度。

柒、 結論

今年度小燕鷗的目擊最大族群量為 119 隻，相較過往的 3、400 隻的記錄而言，今年的數量相對的小。然而，在兩重要濕地出現的小燕鷗可能有不同的遷留狀態，部分是繁殖的夏候鳥，部分是遷徙的過境鳥，兩者都會在 3 至 8 月間出現在調查範圍，因而可能導致每年族群數量調查的差異。為了更準確描述兩重要濕地的小燕鷗繁殖族群量，本研究透過巢位的使用時間去推估繁殖族群量，作為未來比較兩重要濕地繁殖族群動態變遷的依據，可以更精確瞭解當地小燕鷗族群的消長趨勢。

今年度兩重要濕地的整體孵化率 55.5%，是自 2011 年調查以來最高，然而卻受天氣因素(大雨)導致幼鳥的存活率低。因此，在使用孵化率作為繁殖表現呈現與探討族群成長趨勢時，仍需多方思量其他因子對整體繁殖表現好壞的影響。根據族群生態學的觀點，在探討物種的保育計畫時需要瞭解其在生活史各階段所面臨的壓力、孵化率、雛鳥存活率、第一年的存活率、第二年的存活率、成鳥存活率等因子，以釐清其生活史的哪個階段對於族群永續是關鍵的影響期，使我們能夠制定合適的保育策略，保護其族群。

此外，今年度的調查發現：小燕鷗的巢蛋體積相較 2013 年和 2015 年的調查來得小，蛋殼厚度雖然高於 2015 年的調查，但相較歐洲的小燕鷗的蛋殼厚度，兩重要濕地的蛋殼厚度仍是相對較薄。這顯示小燕鷗的巢蛋品質不是很好，可能是小燕鷗親鳥品質不佳或二次下蛋(renest)所導致。初步看來，巢蛋品質並未對孵化成功與否造成明顯的影響，但這顯示在生態系中存有未知的限制因子會影響小燕鷗適存度，建議應針對小燕鷗巢蛋體積和蛋殼厚度進行持續性的監測，並嘗試釐清造成巢蛋品質不佳的原因。

透過小燕鷗的覓食活動範圍調查，可以知道小燕鷗於繁殖季時的活動範圍小。加上小燕鷗屬於高營養階層的生物且對繁殖棲地的忠誠度高，使得小燕鷗可以成為監測河口濕地與沿海生態系的指標物種，用以評估生態系的健康狀態，及早發現生態系中可能的潛在問題。同時也能將小燕鷗繁殖的

巢區做為劃設兩重要濕地核心保育的參考資訊。而透過增設追蹤記錄器的長期定位排程，未來我們將有機會瞭解小燕鷗的遷徙路徑、停棲點和度冬地等資訊，可進一步和其他國家共同合作探究小燕鷗的遷徙生態，瞭解全球尺度小燕鷗的現況與威脅因子，透過國際合作更完善小燕鷗的保育研究。

近年小燕鷗於兩重要濕地範圍內繁殖地點的變異，可能和人為干擾與棲地劣化關係較大。建議可在小燕鷗繁殖區域設立重要濕地告示牌與小燕鷗繁殖生態的解說教育牌，透過加強教育宣導改善人為干擾，特別是車輛進入繁殖巢區的問題。野狗捕食是造成小燕鷗巢蛋失敗的主因之一，若能在兩重要濕地範圍內加強野狗族群的控管，可減少小燕鷗巢蛋受野狗捕食的壓力。此外，在國外透過棲地營造改善與提供燕鷗的繁殖棲地已經行之有年。在自然棲地劣化或有極高的繁殖失敗可能，若可以瞭解小燕鷗對於繁殖棲地的偏好，將可以嘗試營造出替代的棲地，提供小燕鷗更安全與有保障的繁殖地(Fujita *et al.*, 2009)。今年度在執行計畫調查時，本團隊也發現蘭陽溪口的工程作業多，建議外來在小燕鷗繁殖棲地範圍內的相關工程作業，應建議邀請鳥類與生態的專家學者出席提供建議。藉此透過資源整合與各單位合作，共同保育與合理利用溼地。

本研究透過水域底泥、小燕鷗成鳥胸羽、蛋殼和食魚樣本的重金屬檢測，建立兩重要濕地環境、以及小燕鷗成鳥胸羽、蛋殼和食魚樣本的重金屬濃度資料庫，並透過簡單的分析瞭解兩重要濕地的重金屬污染風險評估與生態系中環境與生物重金屬含量相關性。

不論透過環境污染因子、地質累積指數法或富集因子的公式換算，無尾港與蘭陽溪口重要濕地的重金屬污染風險評估皆呈現兩重要濕地的水域底泥環境受到重金屬污染的程度應為無污染至低-中度污染。雖然砷元素所換算出來的 CF 和 Igeo 指數值偏高，但應該是與宜蘭土壤中所含砷的背景濃度較高有關，而非外部輸入源。但須注意的是，兩重要濕地的鎳和砷檢測濃度介於環境保護署制定的底泥品質重金屬指標的上、下限值，未來應加強監測頻率。

在相關性分析中，水域底泥和成鳥胸羽、蛋殼與食魚中的各重金屬濃度相關性僅有少數顯著相關性。然而，在陳韋廷(2016)的調查中，指出底泥的鉛與鎘可能藉由食物鏈進入小燕鷗幼鳥體內。本研究中也發現成鳥胸羽的鎘濃度和蛋殼的鎘濃度呈現中度正相關。國外文獻更指出鎘會影響了鈣質的吸收與代謝，使得蛋殼變薄影響巢蛋品質(Ando, 1978; Scheuhammer, 1987; Burger, 2008)。未來應長期監測小燕鷗巢蛋品質與胸羽鎘濃度，評估鎘是否對小燕鷗的巢蛋品質有所影響。

除此之外，今年度小燕鷗成鳥胸羽中鉛濃度超過 4ppm 危害值，鋅濃度超過 100ppm 危害值，可能會對小燕鷗造成生理或行為造成不可回復的傷害，是急需要進行持續監測並探討是否會對小燕鷗的繁殖造成影響。而食魚的汞濃度和底泥的汞濃度呈現中度正相關，又汞被認為是水域生態系中最易累積兩造成危害的重金屬(Scheuhammer, 1987; Scheuhammer *et al.*, 2007; Dietz *et al.*, 2013)，因此本研究建議也應將汞列入長期監測的重金屬元素之一。

根據今年的研究成果，未來建議可朝三大重點持續努力：

1. 小燕鷗繁殖與重金屬(鉛、鋅、鎘、汞)監測
2. 環境經營管理(底泥重金屬鎳和砷的監測，以及野狗和人為干擾的議題)
3. 小燕鷗繁殖棲地營造

以瞭解宜蘭地區小燕鷗繁殖族群現況與繁殖品質，針對造成其族群威脅因子提出改善的策略，並以小燕鷗作為兩重要濕地的指標物種，持續監測生態系中可能的重金屬危害與影響，提供兩重要濕地的保育規劃與生態系風險評估。

捌、 參考文獻

- 王琮源，2014。太魯閣國家公園粉紅鸚嘴羽毛重金屬含量之研究。碩士論文，東華大學自然資源與環境學系。
- 江漢全，1993。八十二年度宜蘭縣土壤污染防治調查計劃成果報告，國立宜蘭技術學院檢驗中心。
- 池語軒，2014。東港溪普通翠鳥(*Alcedo atthis*)羽毛內重金屬含量研究。碩士論文，屏東科技大學野生動物保育研究所。
- 呂正仁，1997。大肚溪口鶻鵒科、雁鴨科、鷗科、鷺科鳥類群聚及族群變動之研究。東海大學，台中。
- 余養城，2008。台灣北部海域沉積物中重金屬分布之主成分分析研究。碩士論文。國立臺灣海洋大學，基隆市。
- 宜蘭縣野鳥學會，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。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。
- 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。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。東海大學，台中。
- 陳玄暉，2008。彰濱海岸黑腹濱鶻胸羽中之鎘、銅與鉛含量。碩士論文。東海大學。臺中。
- 陳韋廷，2016。利用胸羽檢測小燕鷗體內重金屬濃度之研究。(未發表)
- 張智堯，2012。黑鳶(*Milvus Migrans*)羽毛內重金屬(鉛、鎘、汞、砷)含量之時間變化。碩士論文，屏東科技大學野生動物保育研究所。
- 張樂寧，2014。小燕鷗巢位選擇與巢材功能之探討。碩士論文。臺灣大學。臺北。
- 傅文翔，2009。利用鷺科幼鳥的胸羽作為監測區域性重金屬

污染之探討-以臺中市中港鷺鷥營巢處為例。碩士論文，東海大學環境科學系。

- 劉小如、丁宗蘇、方偉宏、林文宏、蔡牧起、顏重威，2010。鷗科。In: 顏重威，劉小如，方偉宏 (Eds.)，台灣鳥類誌。行政院農業委員會林務局，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。
- 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。
- Amano, T., Yamaura, Y., 2007. Ecological and life-history traits related to range contractions among breeding birds in Japan. *Biological Conservation* 137, 271-282.
- Ando, M., Sayato, Y., Osawa, T., 1978. Studies on the disposition of cadmium in bones of rats after continuous oral administration of cadmium. *Toxicology and Applied Pharmacology*. 46(3), 625-32.
- 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. 2016. *Sterna albifrons*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016. Available at: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-.RLTS.T22694656A86737634.en>. (Accessed: 25/08/2017).
- 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.
- Burger, J., 1995. A risk assessment for lead in birds. *Toxicol Environ Health* 45(4), 369-396.

- Burger, J., Gochfeld, M., 1996. Family Laridae (gulls), family Sternidae (terns). Lynx Edicions.
- Burger, J., 2008. Assessment and management of risk to wildlife from cadmium. *Science of the Total Environment*. 389, 37-45.
- Burger, J., Gochfeld, M., 2004. Marine Birds as Sentinels of Environmental Pollution. *EcoHealth*. 2004, 263-274.
- Choi, J. W.; Matsuda, M.; Kawano, M.; Min, B. Y.; Wakimoto, T. 2001. Accumulation Profiles of Persistent Organochlorines in Waterbirds from an Estuary in Korea. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 41: 353-363.
- Devos, K., Anselin, A., Vermeersch, G., 2004. Een nieuwe rode lijst van de broedvogels in Vlaanderen. Instituut voor Natuur, Belgium.
- Dietz, R., Sonne, C., Basu, N., Braune, B., O'Hara, T., Letcher, R.J., Scheuhammer, T., Andersen, M., Andreasen, C., Andriashek, D., Asmund, G., Aubail, A., Baagoe, H., Born, E.W., Chan, H.M., Derocher, A.E., Grandjean, P., Knott, K., Kirkegaard, M., Krey, A., Lunn, N., Messier, F., Obbard, M., Olsen, M.T., Ostertag, S., Peacock, E., Renzoni, A., Riget, F.F., Skaare, J.U., Stern, G., Stirling, I., Taylor, M., Wiig, O., Wilson, S., Aars, J., 2013. What are the toxicological effects of mercury in Arctic biota? *Science of the Total Environment*. 443, 775–790.
- Dolev, A., Perevolotsky, A., 2004. The red book: vertebrates in Israel, INPA and SPNI Jerusalem.
- Eagles-Smith, C. A., Ackerman, J. T., De La Cruz, S. E., & Takekawa, J. Y., 2009. Mercury bioaccumulation and risk to three waterbird foraging guilds is influenced by foraging ecology and breeding stage. *Environmental*

Pollution,157(7), 1993-2002.

- 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.
- Goutner, V., Charalambidou, I., Albanis, T.A., 1997. Organochlorine Insecticide Residues in Eggs of the Little Tern (*Sterna albifrons*) in the Axios Delta, Greece. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 58(1), 61-66.
- Hays, H., LeCroc, M., 1971. Field criteria for determining incubation stage in eggs of the common tern. *The Wilson Bulletin* 83, 425-429.
- Hoffman, D.J., Spalding, M.G., Frederick, P.C., 2005. Subchronic effects of methylmercury on plasma and organ biochemistries in great egret nestlings. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 24(12), 3078-3084.
- 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.
- 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.
- Kemp, A. L. W., Thomas, R. L., Dell, C. I., and Jaquet, J. M.,

1976. Cultural impact on the geochemistry of sediments in lake. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*. 33, 440-462.
- Lee, D.-P., Lee, K.-G., Nam, D.-H., 2012 Population declines and heavy metal exposure of Swinhoe's Storm Petrels (*Oceanodroma monorhis*) breeding on the southwest coast of Korea. *Marine Pollution Bulletin*. 64(12), 2645-2649.
- Lewis, S.A., Becker, P.H., Furness, R.W., 1993. Mercury levels in eggs, tissues, and feathers of herring gulls *Larus argentatus* from the German Wadden Sea Coast. *Environmental Pollution*. 80(3), 293-299
- 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 10. 01. 2017.
- 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.
- Pedersen, H.C., Saether, M., 1999. Effects of cadmium on parental behavior in free-living willow ptarmigan hens. *Ecotoxicology*. 8(1), 1-7.
- 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.
- Radovic, D., Cikovic, D., Tutiš, V., Kralj, J., 2007. Croatia Red List: Birds. Institute for Ornithology of CASA, Zagreb.
- Ratcliffe, N., Schmitt, S., Mayo, A., Tratalos, J., Drewitt, A., 2008. Colony habitat selection by Little Terns *Sterna albifrons* in East Anglia: implications for coastal management. *Seabird* 21, 55-63.
- 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.
- Scheuhammer, A. M., 1987. The chronic toxicity of aluminum, cadmium, mercury, and lead in birds: A review. *Environmental Pollution*. 46(4), 263-295.
- Scheuhammer, A.M., Meyer, M.W., Sandheinrich, M.B., Murray, M.W., 2007. Effects of environmental methylmercury on the health of wild birds, mammals, and fish. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*. 36, 12-19.
- Smith, A., 1995. Zinc toxicosis in a flock of hispaniolan amazon. *Proc Ann Conf Assoc Avian Vet*. p447-453.
- Thaxter, C., Lascelles, B., Sugar, K., Cook, A.S., Roos, S., Bolton, M., Langston, R., Burton, N.H., 2012. Seabird foraging ranges as a preliminary tool for identifying candidate Marine Protected Areas. *Biological Conservation*. 156, 53-61.
- Thyen, S., Becker, P.H. Behmann, H., 2000. Organochlorine and mercury contamination of little terns (*Sterna albifrons*) breeding at the western Baltic Sea, 1978–96. *Environmental Pollution*. 108(2), 225-238.
- Wedepohl, K. H., 1995. The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 59(7), 1217-1232.

- Wetlands International. 2015. Waterbird Population Estimates. Available at: wpe.wetlands.org. (Accessed: 25/08/2017).
- White, D.H., Finley, M.T., 1978. Uptake and retention of dietary cadmium in mallard ducks. *Environmental Research*. 17(1), 53-59.
- White, G. C., and Garrott, R. A., 1990. *Analysis of Wildlife Radio-tracking Data*. Academic Press, San Diego. 383pp.
- Wolfe, M.F., Schwarzbach, S., Sulaiman, R.A., 1998. Effects of mercury on wildlife: a comprehensive review. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 17(2), 146-160.
- Zhao, D., Wan, S., Yu, Z., Huang, J., 2015. Distribution, enrichment and sources of heavy metals in surface sediments of Hainan Island rivers, China. *Environmental Earth Sciences*. 74, 5097-5110.

附錄一、小燕鷗繁殖調查計畫之調查日程記錄。

次數	日期	調查內容	人數
1	2017-03-11	繁殖族群監測與繁殖表現調查、水域底泥採樣點確認	2
2	2017-03-12	繁殖族群監測與繁殖表現調查、水域底泥採樣點確認	2
3	2017-03-18	繁殖族群監測與繁殖表現調查	1
4	2017-03-24	新城溪口棲地維護管理現勘	5
5	2017-03-24	水域底泥採樣	2
6	2017-03-31	蘭陽溪口河中沙洲棲地整理討論	5
7	2017-04-03	繁殖族群監測與繁殖表現調查	2
8	2017-04-15	繁殖族群監測與繁殖表現調查	5
9	2017-04-22	繁殖族群監測與繁殖表現調查、蘭陽溪口河中沙洲整理棲地之假鳥和自動相機設置	5
10	2017-04-28	繁殖族群監測與繁殖表現調查、水域底泥採樣	2
11	2017-05-08	繁殖族群監測與繁殖表現調查	2
12	2017-05-10	繁殖族群監測與繁殖表現調查	1
13	2017-05-13	繁殖族群監測與繁殖表現調查、日本學者現地參訪小燕鷗繁殖棲地、小燕鷗繫放作業	13
14	2017-05-14	繁殖族群監測與繁殖表現調查	6
15	2017-05-19	繁殖族群監測與繁殖表現調查、小燕鷗繫放作業	4
16	2017-05-20	繁殖族群監測與繁殖表現調查、小燕鷗繫放作業	6
17	2017-05-22	繁殖族群監測與繁殖表現調查、小燕鷗繫放作業	2
18	2017-05-26	繁殖族群監測與繁殖表現調查、水域底泥採樣	2
19	2017-05-27	繁殖族群監測與繁殖表現調查、小燕鷗繫放作業	5
20	2017-05-30	繁殖族群監測與繁殖表現調查、小燕鷗繫放作業	3
21	2017-06-04	繁殖族群監測與繁殖表現調查、小燕鷗繫放作業	2
22	2017-06-05	繁殖族群監測與繁殖表現調查、小燕鷗繫放作業	2
23	2017-06-06	繁殖族群監測與繁殖表現調查、小燕鷗繫放作業	2
24	2017-06-10	繁殖族群監測與繁殖表現調查、小燕鷗繫放作業	5
25	2017-06-13	繁殖族群監測與繁殖表現調查、小燕鷗繫放作業	2
26	2017-06-14	繁殖族群監測與繁殖表現調查、新城溪口附近施作觀景平台及步道之可行性評估現勘	1
27	2017-06-17	繁殖族群監測與繁殖表現調查	2
28	2017-06-23	繁殖族群監測與繁殖表現調查、水域底泥採樣	2

次數	日期	調查內容	人數
29	2017-06-24	繁殖族群監測與繁殖表現調查、小燕鷗繫放作業	5
30	2017-06-26	繁殖族群監測與繁殖表現調查、小燕鷗繫放作業	4
31	2017-07-01	繁殖族群監測與繁殖表現調查、小燕鷗繫放作業	2
32	2017-07-07	繁殖族群監測與繁殖表現調查、小燕鷗繫放作業	4
33	2017-07-14	繁殖族群監測與繁殖表現調查、小燕鷗繫放作業	2
34	2017-07-18	繁殖族群監測與繁殖表現調查、小燕鷗繫放作業	2
35	2017-07-24	繁殖族群監測與繁殖表現調查、水域底泥採樣、小燕鷗繫放作業	2
36	2017-07-28	繁殖族群監測與繁殖表現調查、假鳥與自動相機撤移作業	3
37	2017-08-02	繁殖族群監測與繁殖表線調查	2
38	2017-08-13	繁殖族群監測與繁殖表現調查、水域底泥採樣	3
39	2017-08-19	繁殖族群監測與繁殖表現調查	2
40	2017-08-31	繁殖族群監測與繁殖表現調查	2

*總參與計畫調查人次 126 人。

附錄二、小燕鷗每週族群量調查記錄

調查日期	新城溪口	蘭陽溪口	五結	新南
04/15	0	6	0	0
04/22	0	10	0	0
04/28	2	41	0	0
05/08	6	46	0	0
05/13	15	10	0	0
05/20	22	27	60	10
05/26	5	18	14	7
06/04	1	8	31	8
06/10	6	20	70	12
06/14	4	6	30	6
06/17	4	8	50	0
06/23	0	23	80	13
07/01	0	3	50	13
07/07	0	0	30	10
07/14	0	0	60	10
07/18	0	5	26	16
07/24	0	13	0	9
07/28	0	6	26	2
08/02	0	0	0	0
08/13	0	5	0	0
08/19	0	5	0	0
08/31	0	3	0	0
單次記錄 最大族群量	22	46	80	16

附錄三、各繁殖地每週野狗族群量調查記錄

調查日期	新城溪口	蘭陽溪口	五結	新南
04/15	0	1	0	0
04/22	0	4	0	0
04/28	2	5	0	0
05/08	0	11	0	0
05/13	3	4	0	0
05/20	3	9	0	0
05/26	2	13	1	0
06/04	3	2	0	0
06/10	0	0	0	0
06/14	2	0	0	0
06/17	0	7	0	0
06/23	3	5	0	0
07/01	0	8	0	0
07/07	0	0	0	0
07/14	0	0	0	0
07/18	0	8	0	0
07/24	0	18	0	1
07/28	0	5	0	0
08/02	2	0	0	1
08/13	0	0	0	0
08/19	0	9	0	0
08/31	2	6	0	0
單次記錄 最大族群量	3	18	1	1
出沒頻率	0.41	0.72	0.05	0.05

附錄四、小燕鷗繫放記錄

環號	巢編號	編碼旗	編碼	嘴長	全頭	跗蹠	翼長	重量	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	備註
B22745	5	B	09	31.40	62.40	17.90	185.0	55.0	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	
B20425	14	B	P9	31.36	62.49	17.74	174.0	50.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	pinpointGPS
B22747	14	B	A0	31.58	64.14	17.40	184.0	54.0	F	F	F	F	S	S	S	S	S	S	pinpointGPS
B22720	17	B	74	34.02	65.51	16.80	182.0	50.0	F	F	F	F	S	S	S	S	S	S	pinpointGPS
B22733	21	B	88	29.20	60.60	16.50	180.0	54.0	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	
B20438	23	B	Y2	30.60	60.80	17.30	169.0	51.0	S	S	S	S	S	S	S	S	S	M	pinpointGPS
B50414	23	B	N6	32.00	64.60	17.30	188.0	56.0	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	
B22625	25	B	T0	30.76	63.84	18.05	172.0	52.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	pinpointGPS
B20432	26	B	T8	29.80	62.30	17.30	179.0	57.0	M	M	S	M	V	V	S	S	S	S	pinpointGPS
B20415	29	-	-	30.70	62.20	17.70	186.5	48.0	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	左腳斷
B20419	29	B	T5	34.80	68.10	18.40	191.5	48.7	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	pinpointGPS
B22680	37	B	43	29.36	61.77	17.34	176.0	53.1	F	F	F	F	S	S	S	S	S	S	pinpointGPS
B20420	38	B	T6	31.60	64.60	17.00	184.0	48.0	S	F	F	F	S	S	S	S	S	S	pinpointGPS
B50410	38	B	N2	30.00	61.90	15.70	183.5	44.0	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	
B20426	47	B	T2	29.10	60.90	18.40	185.0	49.8	F	F	F	F	S	S	S	S	S	S	
B20427	47	B	T3	34.40	67.30	17.60	187.0	48.9	F	F	F	F	S	S	S	S	S	S	
B29086	48	B	J5	29.15	61.05	17.70	190.0	50.0	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	

環號	巢編號	編碼旗	編碼	嘴長	全頭	跗蹠	翼長	重量	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	備註
B50405	48	B	K7	29.70	61.10	16.20	180.0	47.3	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	
B41313	49	B	T1	32.75	65.72	16.64	185.0	52.0	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	pinpointGPS
B50401	59	B	K3	32.09	62.84	16.97	184.0	47.3	F	F	S	S	S	S	S	S	S	S	
B20433	64	B	T9	35.07	66.95	18.45	193.0	51.0	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	pinpointGPS
B20434	69	B	X5	34.44	68.46	17.24	191.0	51.0	F	F	S	S	S	S	S	S	S	S	
B22700	70	B	X6	31.60	63.80	18.00	186.0	50.0	M	S	S	V	M	M	S	S	S	S	pinpointGPS
B20428	71	B	T4	29.00	61.50	17.30	186.5	51.6	F	F	F	F	F	S	S	F	F	V	pinpointGPS
B20443	75	B	Y7	33.94	67.75	16.93	181.0	56.0	2	M	M	M	M	M	M	S	S	V	pinpointGPS
B20444	75	B	Y8	29.74	61.24	13.05	173.0	52.0	2	3	S	S	V	V	V	V	V	V	
B20445	77	B	Y9	34.40	66.30	16.60	183.0	56.0	F	F	2	V	V	S	S	S	S	S	
B20431	86	B	T7	32.25	65.25	18.68	180.0	51.0	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	
B22728	98	B	81	30.40	61.40	18.30	179.0	50.7	S	F	F	F	S	S	S	S	S	S	
B20435	105	B	X7	31.70	63.95	17.32	179.0	51.3	F	S	S	S	S	S	S	S	S	S	pinpointGPS
B20437	106	B	Y1	31.20	64.90	18.30	187.0	51.0	S	S	S	S	S	S	S	S	M	M	pinpointGPS
B20439	106	B	Y3	29.80	61.20	17.90	183.0	50.3	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	
B20436	113	B	X8	29.70	62.30	17.10	172.0	50.0	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	pinpointGPS
B20440	113	B	Y4	32.60	65.00	18.00	182.0	53.7	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	
B22699	115	B	N7	31.90	61.90	16.60	184.5	50.6	F	F	F	F	F	S	S	S	S	S	
B20416	125	B	Y0	33.30	65.40	17.20	180.0	56.0	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	
B20417	125	B	X9	31.20	62.90	17.10	186.0	50.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	pinpointGPS
B22744	128	B	06	29.90	62.20	17.30	178.5	65.0	F	F	F	F	S	S	S	S	S	S	

環號	巢編號	編碼旗	編碼	嘴長	全頭	跗蹠	翼長	重量	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	備註
B20422	173	B	Y6	32.53	64.37	17.99	186.0	55.0	1	S	S	S	S	S	S	S	S	S	pinpointGPS
B20446	173	B	A00	31.20	64.90	18.60	184.0	62.0	5	3	V	V	V	V	V	V	M	M	
B20441	180	B	Y5	31.54	64.45	16.17	176.0	50.0	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	pinpointGPS
B29096	200	B	H2	30.64	63.27	17.88	177.5	51.0	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	pinpointGPS
B29093	-	B	0H	31.32	62.87	17.90	182.0	52.0	M	S	S	S	S	M	M	M	M	M	

附錄五、期中報告審查會議委員意見與回覆

委員	委員意見	執行團隊回覆
張 智 欽 委 員	期前作業、調查作業 SOP 及文獻探討十分週延，給予肯定。	感謝委員肯定。
	報告書中第 14 頁繁殖失敗主要原因：狗捕食及大雨是根據地形判斷或大雨後水位變化而判定？野狗破壞或僅觀察其出現頻度？	本計畫的調查執行中有目擊野狗捕食巢蛋的行為。野狗捕食巢蛋的判定可透過巢位周圍留下的狗腳印、抓痕，以及野狗會將整顆蛋在口中壓扁吃食，並吐出部分碎裂蛋殼，而噴出的蛋液也會使得沙子結塊，透過上述特徵，可判定為野狗捕食。大雨導致的孵化失敗通常是大規模的影響，如：棲地淹水或棲地崩壞，如：沙洲被沖毀，通常可觀察到巢蛋泡水、被泥沙掩埋或沖走消失。大雨造成孵化失敗的判定除上述特徵外，仍須和實際天氣和地景變化狀況相對應。
	報告書中第 21 頁「目前尚未捕獲符合採集條件之小燕鷗雛鳥」，在幼鳥胸羽的重金屬採樣有無替代方案，例如：檢驗蛋殼作為替代。	感謝委員意見。今年因小燕鷗幼鳥數量極少，本計畫以蛋殼替代幼鳥胸羽作為重金屬檢測樣本(p.59)。
	重金屬背景資料以水質重金屬為依據，水質與土壤底質可能會有差異，能否蒐集土壤重金屬比對？	感謝委員意見。除水質重金屬資料外，本計畫已蒐集新城溪與蘭陽溪河川底泥重金屬含量，以及北宜海域沿岸沉積物的重金屬含量資料(p.86-87)。
	底泥重金屬檢測希望有盲測及重複檢測。	謝謝委員建議。本計畫在重金屬檢測樣本中會加入已知濃度的標準品與空白樣本的檢測，以確保檢測的正確性，避免檢測誤差(p.10-11)。
	報告書中圖 13-18 重金屬濃度檢測之不同採樣點的濃度分布現象，有些是高度相關或穩定，有些則否，請環保局協助提供相關資料以利	謝謝委員意見。經確認，新城溪與蘭陽溪流域的河川底泥資料為環保署分別於 2006 年和 2002 年執行河川整體調查時檢測(p87)。

委員	委員意見	執行團隊回覆
	<p>釐清污染源等。</p> <p>建議報告書中的地圖可以放大，會比較清楚。</p>	<p>感謝委員意見。我們於期末報告呈現時會將地圖放大，以利閱讀。</p>
陳宏瑜委員	<p>本計畫至期中報告前已完成原先規畫之工作項目，未完成部分應於期末報告前完成。</p>	<p>感謝委員肯定。本計畫會持續依照預計期程完成應執行的工作項目。</p>
	<p>重金屬檢測部分已完成採樣工作，其數據之分析如何結合小燕鷗體內之重金屬與環境重金屬予以明確說明。</p>	<p>感謝委員意見。從文獻探討可知，重金屬可透過生物放大與生物累積效應進入至生物體中，並透過食物鏈的串聯在食物鏈高位階的消費者體內會累積較高的濃度。本計畫將藉由檢測小燕鷗胸羽重金屬濃度和所處背景環境重金屬濃度比較進而瞭解重金屬毒物累積情形的可能性，提供環境生態健康與否的評估依據。本計畫在探討小燕鷗胸羽中金屬濃度和其所處環境重金屬濃度之關係時，因重金屬從環境進入生物體內累積的機制複雜未明，會謹慎地從結果分析討論，避免做過多的解釋與推論。</p>
	<p>在重金屬文獻資料收集與分析中，本次報告僅蒐集水質測站資料，是否於期末報告中增加其他海岸沉積物重金屬之分析資料。</p>	<p>感謝委員意見。除水質重金屬資料外，本計畫已蒐集新城溪與蘭陽溪河川底泥重金屬含量，以及北宜海域沿岸沉積物的重金屬含量資料(p.86-87)。</p>
	<p>在CF與Igeo汙染指數換算時，預計將採用之背景值為何，應予說明。</p>	<p>CF與Igeo指數換算時，將採用Wedepohl(1995)的地殼元素組成濃度(表21)，其中蘭陽溪口重要濕地的背景值亦會以環境保護署(2002)的蘭陽溪河川底泥中重金屬含量作為背景值比較。</p>
	<p>請於期末報告中評估是否增列過去歷史本縣轄內各繁殖地的生殖概況。</p>	<p>本計畫已彙整歷年宜蘭縣小燕鷗生殖概況資訊，增列於期末報告之文獻回顧的內容中(表5)。</p>
	<p>本計畫建議增加針對未來縣府辦理無尾港與蘭陽溪口國家重要溼</p>	<p>感謝委員建議。本計畫可依執行成果於期末報告中增列於兩重要濕</p>

委員	委員意見	執行團隊回覆
王建源委員	地的保育利用計畫或措施的建言，例如核心區域、復育區的範圍、禁止或限制行為或措施、河川局疏濬工作的方法等等。	地中對於二級珍貴稀有鳥類—小燕鷗的保育經營管理建議(p.96-98)。本團隊亦樂意協助縣府和其他單位針對小燕鷗的保育或其他可能造成小燕鷗影響的作業行為進行跨領域的討論與提供鳥類生態方面的建議。
	補述記錄巢數的評估方法。	巢位調查方式是人員徒步進行並以望遠鏡觀察小燕鷗行為如：孵巢、沾水回巢等行為或是跟隨地面上腳印找到小燕鷗巢位(p.8)。
	針對保育工作提出短期可以作為的工作，讓縣府可爭取補助或編列預算。	感謝委員建議。本計畫可依執行成果於期末報告中增列於兩重要濕地中對於二級珍貴稀有鳥類—小燕鷗的保育經營管理建議(p.96-98)。
李芳菁委員	為何幼鳥胸羽相較成鳥胸羽比較能表現當地環境的重金屬潛勢？	鳥類透過食物鏈累積體內重金屬，也可透過羽毛生長排出體內重金屬，因此可透過檢測羽毛中金屬濃度瞭解鳥類體內的重金屬累積狀況。小燕鷗是遷徙性的鳥類，成鳥在抵達繁殖地宜蘭時已停止換羽，因而其胸羽之重金屬濃度可能反應的是度冬地的環境狀況。幼鳥則是在宜蘭生長，吃當地的食物，檢測其胸羽之重金屬濃度相較成鳥的胸羽更可反應宜蘭在地的環境狀況。
	小燕鷗族群量與繁殖成功率是否能和過去的資料比較，以瞭解宜蘭地區小燕鷗族群的狀況。	每年小燕鷗的族群量是動態的變化，需長時間的監測方能表現出族群變化的趨勢，單一年份的族群量波動可能受偶發因子如：天氣、疾病等影響。本計畫會彙整歷年宜蘭縣小燕鷗族群量與生殖概況資訊於期末報告之文獻回顧的內容中(圖7、表5)。
	關於小燕鷗四散各地的原因是否	小燕鷗為群聚性生殖的鳥類，依據

委員	委員意見	執行團隊回覆
	和以往並未廣泛調查有關？或是小燕鷗本來就會這樣選擇？	國外研究可知，小燕鷗族群量至少要到 50 隻，才能讓繁殖族群穩定在一地生殖。在今年族群量少的狀況下，小燕鷗應更集中方能獲得較好的繁殖結果。然而，目前的繁殖棲地可能存有尚未發現的原因導致棲地品質不佳，使得小燕鷗族群無法穩定於一定繁殖。未來可透過長期監測與研究更進一步瞭解原因並找出相對應的管理方式。
環 保 局	鉛、鎘、汞標準為 0.1mg/L, 0.01mg/L, 0.002mg/L。基本上都沒有超標，濃度都很低，為何鳥體內超標應再了解食物鍊	環境中的重金屬可透過生物放大與生物累積效應進入至生物體中，並透過食物鏈的串聯在食物鏈高位階的消費者體內會累積較高的濃度，也較容易被檢測出來。依據國外文獻，可藉由生物體內重金屬濃度和所處背景環境重金屬濃度比較進而瞭解重金屬毒物累積情形，提供環境生態健康與否的評估依據。而因重金屬從環境進入生物體內累積的機制複雜未明，本計畫會謹慎地就現有資料的結果分析討論，避免過多的解釋與推論。
	砷、錳是地質關係一定會超標，但銅、鋅和農業經營、生活汙水有關，應源頭管理。	感謝委員建議。本計畫在做重金屬濃度檢測結果分析與討論時，會多加留意自然因素所造成的背景值影響，並嚴謹地推估因果關係，提供評估建議。
	垃圾問題必須源頭管理、教育訓練立法管制。底泥檢測應向河川局索取。	謝謝委員意見。經確認，新城溪與蘭陽溪流域的河川底泥資料為環保署分別於 2006 年和 2002 年執行河川整體調查時檢測(p87)。
	棲地穩定應考量人為干擾及封閉性，河川局必須有效引導營造。	感謝委員建議。針對河川局在小燕鷗繁殖棲地流域進行疏浚作業如何和縣府做小燕鷗保育的經理管理搭配，本團隊可協助縣府和河川局討論，提供生態保育的建議。

委員	委員意見	執行團隊回覆
農業處	小燕鷗縣的調查、繫放記錄及重金屬檢測報告，請以附件方式至於期末報告。	已將相關調查數據置於期末報告內容與附錄中。
	請於期末報告中第肆章增列工作項目檢核表，內容包含工作項目及辦理日期。	已增列工作項目檢核表於期末報告中(p.7)。

附錄六、期末報告審查會議委員意見與回覆

委員	委員意見	執行團隊回覆
張 智 欽 委 員	期中審查意見多已修正或說明。	感謝委員之肯定。
	整體而言調查研究方法嚴謹，邏輯思維清晰，資料文獻收集豐富，給予肯定。	感謝委員之肯定。
	補摘要及增加圖片的完整，例如：圖四和圖五的調查地點標示，並加入比例尺。	感謝委員之建議，已依照委員建議修改(圖四、圖五)。
	蛋殼替代幼鳥胸羽的重金屬，其關聯性如何應有較清楚論證。	幼鳥胸羽最能反應棲地的污染狀況，其次為蛋殼。因為根據文獻，母鳥可透過下蛋將體內的重金屬排出至蛋和蛋殼中(p.83)。
	圖 21，Pb 環境污染因子兩個濕地似無差異，表 23 新城溪口的成鳥羽毛 Pb 濃度似乎較高，能否解釋?	小燕鷗成鳥胸羽的重金屬，主要來自其抵達臺灣繁殖前換羽所累積，通常應是遷徙前換羽，可能兩濕地的小燕鷗停棲點和度冬地不同有關，造成不一樣的 Pb 累積。
	重金屬濃度蘭陽溪口高於新城溪口，與宜蘭地區工業區分布似乎不太符合，請環保局留意這個現象。	感謝委員之建議。
	在宜蘭地區小燕鷗繁殖失敗主要因素，可能是淹水，這是單一事件或普遍性?近年其他地區研究是否類似結果?	由於小燕鷗在河床或沙洲繁殖，因此極易受淹水與降雨影響，根據本研究整理臺灣地區和宜蘭地區小燕鷗孵化率與失敗原因，可知淹水事件在每年與各地都是常見影響孵化成功的原因(表 5、表 51)。
	富集因子中使用地殼 Crust 的濃度做換算，請問文獻主要是用地殼，還是用其他的字詞?	查詢到之文獻使用 continental crust 一詞，余養城(2008)的沿岸沉積物中金屬濃度之分析也是使用地殼濃度作為背景值。
	強烈建議有關小燕鷗繁殖調查之研究，能持續調查。	感謝委員之建議，未來若有機會，我們會繼續研究調查。

委員	委員意見	執行團隊回覆
李 芳 菁 委 員	相關性分析部分，可以解釋更清楚。	感謝委員之建議，已補充說明於報告中(p77)。
	宜蘭小燕鷗數量是否下降?是否為全球趨勢?	若以目擊記錄的族群量為基準，宜蘭地區 2011-2017 年的族群量顯示有下降的趨勢(圖 7)。以全球尺度來看，小燕鷗的族群量也呈現下降趨勢(p.80)，但由於小燕鷗屬於廣泛分佈且族群下降趨勢仍未達保育警戒標準，目前並未符合急迫需要被保育的條件。
環 保 局	蘭陽溪口及新城溪口水質檢測之重金屬銅與鋅濃度，均符合保護人體健康相關環境基準值。	感謝委員提供資訊，已補充至報告內容中(p.86)。
	無尾港及蘭陽溪重要濕地水域底泥品質指標項目重金屬鎳及砷濃度高於下限值且低於上限值，建議貴處應針對上述項目增加檢測頻率。	感謝委員之建議，已補充至報告內容中，建議未來增加鎳和砷的檢測頻率。
	簡報中提及小燕鷗孵化失敗原因為被掠食與捕食，此兩原因是否一致?	此兩原因一致，已於報告書內容中統一用詞。
	在結論中提及宜蘭是輕度至中度污染，然而文內亦提及有些重金屬是地質因素所致，此結論是否為經判斷後的客觀結果。	此結果為使用三個重金屬污染風險評估指標，進行換算後的結果，報告中依據結果客觀呈現。砷元素部分因有環境保護署(2002)的資料，可使用當地背景值換算，其重金屬污染評估結果相較使用 Wedepohl(1995)作為背景值為低，因此推論應是宜蘭地質中砷元素含量高於平均地殼中砷含量所導致。另已針對三種重金屬污染風險程度表示統一翻譯用詞，已於報告書中修正，避免混淆。

委員	委員意見	執行團隊回覆
農業處	<p>從報告中，得知小燕鷗可作為沿海生態系的指標，若在經費有限前提下，能否建議哪些事項可持續監測，與可具體施行的項目。</p>	<p>經過這一年的普查報告，可以確定三個大主軸，分別為繁殖調查、遷徙路線與重金屬檢測，未來在經費有限下，重金屬可考慮縮減成監測有疑慮的項目如：鎘、鉛、鋅、鎳、砷。關於可具體施行的項目，兩濕地的小燕鷗繁殖期間常遭受人為干擾、流浪狗獵食之影響，是否能加設警告或宣導標語，與棲地整治來減少流浪狗之影響，可於未來討論。</p> <p>此外，今年在蘭陽溪口沙洲的植被移除，因挖掘不夠深而失敗。未來可考慮挖更深，並搭配假鳥與鳥音誘引，引誘小燕鷗來此繁殖。</p>
	<p>有些成鳥羽毛重金屬濃度高於危害值，是否有觀察到實際的影響，及是否需透過政策面去改善。</p>	<p>野生動物的重金屬中毒事件，主要為慢性中毒，需要長時間累積才易觀察出影響，除非是急性中毒，才有機會於野外觀察。今年僅一次觀察到蒙古鐵嘴有疑似中毒之現象，送台北鳥會救傷中心後仍死亡。</p> <p>關於政策面，蘭陽溪與新城溪口經常有工程擾動底泥，與垃圾野埋造成汙染物釋出，可考慮減少或禁止類似行為發生。</p>
	<p>浮島的部分，未來可能爭取計畫來實驗操作，希望能了解材質、施工過程與經費相關資料。</p>	<p>在美國有不少浮島用於燕鷗保育成功之案例，目前台灣尚未有相關案例，若貴單位未來有想實驗操作，我們會盡全力給予幫助，監測浮島的小燕鷗繁殖狀況。</p>

委員	委員意見	執行團隊回覆
農業處	<p>若有下一個計劃，重點需放哪裡？能否整理一份總結與未來事項。</p>	<p>未來可持續進行 GPS 追蹤，回收今年度繫放之 GPS，瞭解小燕鷗之遷徙路線，與在保護區的活動範圍。今年有幾種濃度較高的重金屬，未來亦可持續監測，瞭解是否造成小燕鷗之影響。</p> <p>會於報告書加入今年研究總結，並列出未來可行事項，供貴單位參考。</p>
	<p>淹水可能難以控制，但人為干擾或被掠食，這些因子是否有辦法控制，例如公告禁止進入，或是河道挖成壕溝，隔絕野狗入侵。有哪些作為可保證哪些因子能夠下降。</p>	<p>使用浮島或挖深河道，也許可減少野狗影響，未來可考慮施行。</p> <p>今年繁殖季有不少人為干擾事件，設立警告牌或禁止進入，亦可施行。</p>
	<p>請增加研究成果後續因應對策跟建議部分的篇幅。</p>	<p>已將該內容彙整於結論(p95-97)。</p>