

國立台灣大學生命科學院生態學與演化生物學研究所



碩士論文

Institute of Ecology and Evolutionary Biology

College of Life Science

National Taiwan University

Master Thesis

鷓鴣類岸鳥在魚塭環境的群棲地選擇與偏好

Roost Selection and Preference of Shorebirds

(Scolopacidae and Charadriidae) in an Aquacultural

Environment

黃馨儀

Hsing-Yi Huang

指導教授：李培芬 博士

Advisor: Pei-Fen Lee, Ph.D.

中華民國 102 年 7 月

July 2013

國立臺灣大學碩士學位論文
口試委員會審定書

鶻類岸鳥在魚塭環境的群棲地選擇與偏好

Roost Selection and Preference of Shorebirds
(Scolopacidae and Charadriidae) in an
Aquacultural Environment

本論文係黃馨儀君（學號R99B44020）在國立臺灣大學生態學與演化生物學研究所完成之碩士學位論文，於民國102年07月11日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

臺灣大學生態學與演化生物學研究所

李培芬 博士

李培芬

臺灣大學生態學與演化生物學研究所

沈聖峰 博士

沈聖峰

臺灣大學生態學與演化生物學研究所

謝志豪 博士

謝志豪

特有生物保育中心

林瑞興 博士

林瑞興

所長

黃文媛

(簽名)

誌謝



能夠完成我的碩士論文研究，要感謝我的指導教授李培芬老師，給我機會並支持我的研究。感謝瑞興學長、沈聖峰老師及謝志豪老師在百忙中抽空擔任我的口試委員，仔細地針對我的論文提出指正。

漫長的研究之路上有許多挫折，我幸運地遇到小柯學長、芳儀學姐、欽國學長、采諭學姐及宛均學姐，感謝他們一路上熱心地給我許多指導與鼓勵，而他們對於學術研究的認真與堅持是我學習的榜樣。感謝小連學長提供機會讓我能彰化王功順利進行研究。感謝專業的蔣忠佑學長與文傑學長，與我分享許多關於水鳥的知識與經驗，讓我受益良多。感謝所有幫助過我的學長姐與同學們。

感謝曾擔任調查幫手的 Yura、亞融、怡茹、軒羽、家琪、威捷及鈺璋等人，因為有你們的幫忙，才能順利地完成每一次的調查，且在冬天淒風苦雨又灰黯的王功，你們的陪伴為調查增添許多溫暖與動力。謝謝好夥伴暍寶一起去了很多地方抓鳥與看鳥，也一起在論文的苦海中掙扎並互相打氣。謝謝空間生態研究室的每一個成員，這是一個溫馨和諧的大家庭，能夠認識大家並在這裡生活三年是我的榮幸。

最後感謝我的爸媽，無條件地支持我且尊重我的決定，讓我能朝著夢想前進。

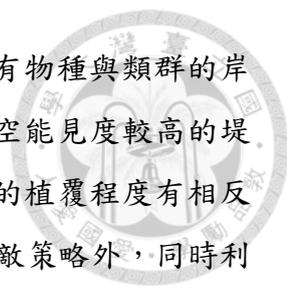
摘要



鷗類岸鳥度冬或過境棲地可分為覓食棲地與群棲地，後者指滿潮時岸鳥從潮間帶飛至內陸成群休息之棲地，兩者缺一不可。台灣彰化海岸屬東亞澳遷徙線上一重要度冬地與過境地，養殖區的魚塭堤岸成為岸鳥主要的滿潮群棲地。過去在自然環境進行的研究指出掠食風險與能量限制是影響岸鳥群棲地選擇的主要因素，但極少有針對魚塭環境的研究。魚塭環境和自然環境的差異可能影響岸鳥在此環境的群棲地選擇。本研究的目的包括(1) 確認岸鳥在魚塭環境的群棲地利用具選擇性，並比較不同岸鳥的群棲環境偏好差異。(2) 比較各環境變數之相對重要性，以瞭解岸鳥在魚塭環境的群棲地選擇主要受何種因素影響。

2011年10月至2012年5月在彰化濱海養殖區進行鳥類調查，並利用實地測量與遙測影像取得6種環境變數，包括堤長、植覆等級、天空能見度、覓食地距離、底質種類及可否避風。利用群集分析將樣本數較小的物種依使用堤岸的相似度分群後，用單變數分析比較使用堤岸和整體堤岸的環境變數差異，確認岸鳥在魚塭環境的群棲地利用具選擇性，並比較不同物種間的偏好差異。最後用廣義線性模式及模式平均法，比較各環境變數之相對重要性。

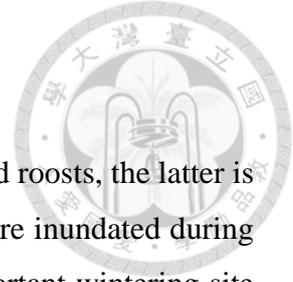
研究期間共記錄到鷗類岸鳥18種，共使用147條魚塭堤作為群棲點，東方環頸鵒(*Charadrius alexandrinus*)數量和堤數最高，其次為黑腹濱鵒(*Calidris alpina*)。群集分析將東方環頸鵒和黑腹濱鵒以外的16種岸鳥分成兩群，類群1包括太平洋金斑鵒(*Pluvialis fulva*)、青足鵒(*Tringa nebularia*)、小青足鵒(*Tringa stagnatilis*)及赤足鵒(*Tringa totanus*)，類群2包括灰斑鵒(*Pluvialis squatarola*)、反嘴鵒(*Xenus cinereus*)、大杓鵒(*Numenius arquata*)、大濱鵒(*Calidris tenuirostris*)、鐵嘴鵒(*Charadrius leschenaultii*)、蒙古鵒(*Charadrius mongolus*)、翻石鵒(*Arenaria interpres*)、紅胸濱鵒(*Calidris ruficollis*)、三趾濱鵒(*Calidris alba*)、紅腹濱鵒(*Calidris canutus*)、彎嘴濱鵒(*Calidris ferruginea*)及黃足鵒(*Tringa brevipes*)。單變數分析結果顯示所有物種與類群的岸鳥會選擇長度較長、距覓食地較近、能避風且天空能見度較高的堤岸群棲。類群1多數利用植覆較多的土堤，其他岸鳥則偏好植覆較少的水泥堤群棲。模式平均結果顯示，堤長、天空能見度、植覆等級及底質種類是六項環境變數中相對較重要的。



本研究確認岸鳥在魚塭環境下的群棲地利用具選擇性，所有物種與類群的岸鳥在魚塭環境中會選擇長度較長、距覓食地較近、能避風且天空能見度較高的堤岸群棲，以降低掠食風險並節省能量花費。不同物種對於堤岸的植覆程度有相反的偏好，可能是由於類群 1 的岸鳥在群棲時除了以成群作為避敵策略外，同時利用植覆增加自身的隱蔽性。過去許多研究探討岸鳥的成群避敵行為，卻較少探討不同岸鳥的避敵策略差異，未來值得針對此現象做更進一步之觀察與研究。六項環境變數中，掠食風險相關的堤長與天空能見度是影響岸鳥群棲地選擇的主要環境變數之一，顯示出魚塭環境由於被許多人為建物切割且存在較多視覺遮蔽，缺少自然海岸中連續大面積且空曠的群棲地，可能使岸鳥在此環境群棲面臨較高的掠食風險。

關鍵字：岸鳥、群棲地、棲地選擇、棲地偏好、魚塭、堤岸

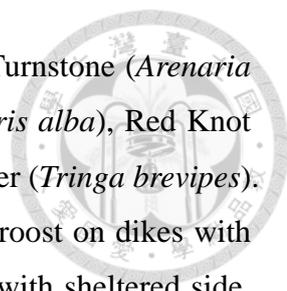
Abstract



The habitats of shorebirds can be divided to foraging habitat and roosts, the latter is the area in which shorebirds rest in flocks when the intertidal flats are inundated during high tide period. The coastal area of Chang-Hua, Taiwan is an important wintering site and also a stopover site on the East Asian – Australasian Flyway. The nutrient rich mudflat in the central west-coast has been the major feeding habitat for thousands of shorebirds. However the neighboring land area is now occupied by man-made landscapes, forcing the shorebirds to roost on aquacultural ponds' dikes during high-tide. Previous studies conducted in natural coasts indicated that predation risk and energy limitation are the major factors affecting roosts selection. However few studies has been made in aquacultural environment. Thus, the aim of this study is: (1) To verify whether the usage of roosting habitat of shorebirds is selective, and to compare the habitat preferences between different species. (2) To compare the relative importance of environmental variants.

Bird surveys were conducted monthly from October, 2011 to May, 2012. The sample area is the aquacultural zone located in Fangyuan Township, Changhua County. Six environment variants of dikes were collected through fieldwork and remote-sensing images. Length, vegetation coverage and sky visibility are the variants related to predation risk. Distance to feeding site, substrate type and shelter are related to energy limitation. Cluster analysis is used upon species of small sample size, to cluster them into groups based on the similarity of the dikes they used. Univariate analysis is used to determine whether there is environment preference of roosts selection. Model analysis is used to compare the relative importance of variants.

In the period, 18 species, 52922 individuals were recorded, which totally used 147 dikes as their roosts. Kentish Plover (*Charadrius alexandrinus*) had the highest abundance and number of dikes used, followed by Dunlin (*Calidris alpina*). Except these two species, two groups were made by cluster analysis. Group 1 includes Pacific Golden Plover (*Pluvialis fulva*), Greenshank (*Tringa nebularia*), Marsh Sandpiper (*Tringa stagnatilis*) and Redshank (*Tringa totanus*). Group 2 includes Grey Plover (*Pluvialis squatarola*), Terek Sandpiper (*Xenus cinereus*), Eurasian Curlew (*Numenius arquata*), Great Knot (*Calidris tenuirostris*), Greater Sand Plover (*Charadrius*



leschenaultii), Lesser Sand Plover (*Charadrius mongolus*), Ruddy Turnstone (*Arenaria interpres*), Red-necked Stint (*Calidris ruficollis*), Sanderling (*Calidris alba*), Red Knot (*Calidris canutus*), Curlew Sandpiper (*Calidris ferruginea*) and Tattler (*Tringa brevipes*). The result of univariate analysis indicated that all species prefer to roost on dikes with longer length, higher visibility, shorter distance to feeding site and with sheltered side. The preference for vegetation coverage of group 1 is opposite to other species. The result of model analysis indicated that length, sky visibility, vegetation coverage and substrate are more important than other factors.

This study verifies that like in natural coasts, roosts selection of shorebirds in aquacultural environment is also affected by predation risk and energy limitation. Different preference for vegetation coverage among species shows that different anti-predation strategies might be used. Besides flocking, shorebirds of group 1 possibly use camouflage simultaneously as their anti-predation strategy when roosting. Predation risk is the major factor affecting roosts selection of shorebirds. This might be attributed to the characteristic of aquacultural environment, which usually has fewer large roosting area and more visual obstruction than natural coasts due to the existence of complicated artificial buildings.

Keywords: shorebird, roost, habitat selection, preference, aquaculture, dike

目錄



口試委員會審定書	i
誌謝	ii
摘要	iii
Abstract.....	v
目錄	vii
圖目錄	ix
表目錄	x
前言	1
棲地選擇	1
群棲地選擇	2
掠食風險假說	2
能量限制假說	3
岸鳥利用魚塭環境群棲	3
研究方法	5
研究樣區	5
鳥類調查	5
環境變數	6
分析方法	8
各物種之群棲地選擇	8
小樣本數物種之分群	8
環境變數之相對重要性	9
全模式建立及診斷	9
模式選擇及模式平均	10
結果	11
鳥類調查結果	11
環境變數判視正確率	11
小樣本物種數之分群結果	11

各物種與類群的群棲地選擇	12
全模式診斷結果	12
環境變數之相對重要性	12
討論	14
各物種與類群的群棲地選擇	14
魚塭環境中影響群棲地選擇的主要因素	14
能量限制相關的環境變數重要性較低	15
微棲地選擇受氣候影響	16
結論	17
參考文獻	18



圖目錄



圖 1、彰化芳苑鄉濱海地區岸鳥棲地型態	22
圖 2、研究樣區示意圖	23
圖 3、視野遮蔽柵格圖	24
圖 4、NDVI 柵格圖	25
圖 5、最後裸露泥灘地範圍	26
圖 6、風大時岸鳥利用堤岸斜面避風貌	27
圖 7、所有岸鳥使用堤岸與整體堤岸樣本之空間分布	28
圖 8、岸鳥出現次數的空間分布	29
圖 9、小樣本數物種依使用堤岸相似度分群	30
圖 10、使用堤岸和整體堤岸的環境變數比較（連續變數）	31
圖 11、使用堤岸和整體堤岸的環境變數比較（類別變數）	32

表目錄



表 1、六項魚塭堤岸環境變數	33
表 2、岸鳥調查結果	34
表 3、岸鳥群棲於堤岸之頻率分布	35
表 4、利用 Mann-Whitney U test 比較使用堤岸和整體堤岸的環境變數結果	36
表 5、利用 χ^2 test 比較使用堤岸和整體堤岸的環境變數結果 (類別變數)	37
表 6、出現機率全模式之合適度檢定 (Hosmer-Lemeshow test) 結果	38
表 7、出現機率全模式之殘差空間自相關檢定結果	39
表 8、出現機率全模式之變異數膨脹指數 (GVIF)	40
表 9、各物種與類群的模式選擇結果	41
表 10、各環境變數的相對重要性及平均係數	42

前言



鶺鴒科 (Scolopacidae) 及鴝科 (Charadriidae) 鳥類多數時間生存在海岸環境，大部分具有遠距離遷徙能力並且廣泛分布於世界各地。在春季時遷徙性岸鳥會北遷至較高緯度的地區繁殖，在冬季時則會南遷至較低緯度的地區度冬。岸鳥在遷徙線上的分布地區可依照不同生存目的分成繁殖地、度冬地及過境地。

在岸鳥的度冬地和過境地，可將牠們的棲地分成覓食地與群棲地。岸鳥通常以潮間帶灘地上的無脊椎動物或/和甲殼類為主食，當海水因潮汐變化而淹沒潮間帶，岸鳥會移動至較高處沙洲或近岸內陸地區，成群聚在一起休息以待潮水退去，其所在處被稱作群棲地 (roosts)。過去研究顯示，當群棲地受到干擾時會造成當地岸鳥族群減少 (Burton *et al.* 1996)；另有研究指出，若附近缺乏合適的群棲地，即使是良好的覓食地也可能不被岸鳥利用 (Dias *et al.* 2006)。由此可見，覓食地和群棲地對岸鳥來說是缺一不可的。

目前全球的遷徙性岸鳥族群呈減少的趨勢，其中一主因是遷徙線上的度冬地與過境地受人為破壞 (Wetlands International 2010)。對於那些依賴海岸生存的岸鳥來說，自然海岸的開發，使牠們的合適棲地不斷減少，甚至使一些保育類物種面臨危機 (Zöckler *et al.* 2010, Yang *et al.* 2011)。自然海岸的開發中，近海陸域的開發又較潮間帶更容易執行，而前者正好是岸鳥群棲地的可能分布環境。當前岸鳥的群棲地保育是重要的，瞭解牠們的群棲地選擇及偏好將有助於保育策略的擬定。

棲地選擇

棲地 (habitat) 是指一個地區，其所具有的資源及條件由於能滿足某生物生存或繁殖的需要而被佔據 (Thomas and Parker 1979)。任何一個能提供生物生存所需資源的地區就可說是此生物的棲地，包括繁殖地、度冬地或遷徙走廊等。棲地選擇 (habitat selection) 是動物依照其天性或後天學習行為，選擇最能滿足本身生存需要的棲地所作之決定 (Hutto 1985)。棲地偏好則是指棲地選擇的結果。Johnson (1980) 認為棲地選擇的過程是有階層性的，譬如在地理範圍的選擇可定義為第

一階選擇；在此範圍中，個體或群體的活動範圍 (home range) 可定義成下一階選擇，隨著環境尺度縮小可繼續分層。由於不同環境尺度下資源的範圍 (range) 不同，且每一階層的選擇是在上一階層某些環境條件滿足的情況下所做的更細步的選擇，因此動物在棲地選擇中，對特定資源的偏好是受環境尺度影響的 (Johnson 1980)。

棲地能否滿足動物生存的需求，受棲地的資源所決定，影響變數可能包括食物多寡、掠食風險、競爭、環境結構或功能的特性等。而在大自然中，各種資源的可用量 (availability) 是不均衡且會變動的，當可用量改變時，資源的使用也會受影響而跟著改變。因此若要對動物的棲地選擇作正確的推論，應將使用棲地 (used habitat) 和可用 (available) 或沒使用 (unused) 的棲地比較，當兩者資源比例不同或條件有差異時，則可推論動物在棲地的使用上是有選擇性的 (Manly *et al.* 2004)。

群棲地選擇

對於度冬或過境的鷗、鵝科岸鳥而言，提高存活率及身體品質對其適存度 (fitness) 具有重要的影響。而掠食風險與能量限制假說是過往在探討自然海岸及鹽田環境岸鳥群棲地選擇時，最被支持的兩個假說 (Rosa *et al.* 2006, Rogers *et al.* 2006a, Peters and Otis 2007, Dias 2009, Zharikov and Milton 2009)。

掠食風險假說

過去研究顯示，岸鳥群棲時的掠食風險可能受群棲地周遭的遮蔽物以及群棲地的大小所影響 (Rogers *et al.* 2006a, Peters and Otis 2007, 賴彥辰 2009)。岸鳥通常選擇空曠且顯眼的環境群棲，並採用成群作為避敵策略，所產生的共同警戒、稀釋效應及混淆效應能降低牠們被掠食的機會 (Cresswell 1994)。群棲地周遭的遮蔽物除了會影響個體對同伴及天敵的能見度外 (Metcalf 1984, Fernández-Juricic *et al.* 2005)，較高的遮蔽物也可能成為猛禽突襲前躲藏的處所。群棲地的大小則會決定群棲地所能容納的岸鳥數量，而同伴的數量則影響著上述三項成群所伴隨的避敵效應。因此岸鳥為了降低掠食風險，應會選擇周遭遮蔽物少且面積較大的群棲地。



能量限制假說

過去研究顯示岸鳥群棲時的能量限制可能受到覓食地距離、干擾程度及微棲地的影響 (Rogers *et al.* 2006a, Peters and Otis 2007, Zharikov and Milton 2009)。Piersma *et al.* (1993) 的研究中顯示岸鳥一天於覓食地和群棲地間通勤所花的能量可達每日能量花費的 10%。若花費過多的能量於通勤上可能使整體能量分配失衡，尤其在食物不充裕的情況下。因此岸鳥為了節省能量花費，應會盡量選擇離覓食地較近的群棲地。

當岸鳥受到干擾時，驚飛也會花費一定的能量。Rogers *et al.* (2006b) 的研究中估計當地岸鳥驚飛所花費的能量可達每日能量花費的 20%。Burton *et al.* (1996) 的研究則顯示當干擾程度過高時，岸鳥會放棄原本的群棲地。因此為了避免驚飛次數過多而花費過多能量，岸鳥應會選擇干擾程度小的地方群棲。

微棲地同樣和能量花費有關，不同的微棲地將會影響岸鳥群棲時的體溫調節。在氣溫高時，岸鳥可能會選擇較潮溼的底質，藉由身體和底質間的傳導作用降低體溫；在氣溫低時，選擇於能避風的環境能減少熱能的喪失。在不同溫度條件下，選擇合適的微棲地將能節省維持體溫所花費的能量，並且避免過熱或失溫而使生理機能受損。

岸鳥利用魚塭環境群棲

為了經濟發展，全球許多自然海岸與鹽田已被開發成養殖魚塭 (Barter and Xu 2004, Schaeffer-Novelli *et al.* 2006, Yasué and Dearden 2009, Catry *et al.* 2011)，在臺灣西部海岸也面臨相同的情況，且岸鳥在滿潮時會利用魚塭堤岸群棲，其不隨機的分布形式顯示出牠們對環境可能具選擇性 (賴彥辰 2009)。過去的群棲地選擇研究多位於自然海岸或鹽田環境下進行 (Rosa *et al.* 2006, Rogers *et al.* 2006a, Peters and Otis 2007, Dias 2009, Zharikov and Milton 2009)，在魚塭環境的研究仍是缺乏的。

不同物種由於天生習性不同，所選擇的群棲環境應有差異。在自然海岸的研究顯示不同物種會選擇不同的群棲環境 (Peters and Otis 2007, Zharikov and Milton 2009)。賴彥辰 (2009) 的研究顯示東方環頸鴿與黑腹濱鶉兩種常見岸鳥在魚塭環

境所選擇之群棲環境相似。目前對於其他物種在魚塭環境的群棲地選擇仍是未知。

另一方面，養殖魚塭和自然海岸的環境差異可能影響岸鳥的群棲地選擇。養殖區中的魚塭、堤岸、道路和房舍等人為建物將環境切割，能利用的群棲地普遍較小且分散，不像自然海岸中通常有較大面積且連續的群棲環境。對於採用成群作為避敵策略的岸鳥來說，缺乏大面積群棲地將不利於此策略的實行。此外，魚塭環境由於人為建物較多，可能產生較多的視覺遮蔽。對於習慣於空曠環境生存的岸鳥來說，較多的視覺遮蔽會讓牠們無法及早發現掠食者存在。因此，我們推測魚塭環境由於普遍缺乏大面積群棲地且較多視覺遮蔽，使岸鳥在此環境群棲面臨較高的掠食風險。

因此，依據掠食風險假說，本研究測量直接與群棲地面積有關的魚塭堤岸長度，以及與視覺遮蔽度有關的天空能見度與植覆等級，並預期為了降低掠食風險，岸鳥傾向堤岸長度較長與天空能見度較佳的群棲地棲息。另就能量限制假說，本研究測量群棲地與覓食地距離、可否避風和底質種類，並預期岸鳥傾向選擇覓食地距離近、可避風與易於散熱的底質。最後，就分析的結果比較不同物種間群棲地偏好的差異，並比較前述變數對群棲地選擇的相對重要性，以瞭解岸鳥在魚塭環境的群棲地選擇主要受何種因素影響。

研究方法



研究樣區

台灣的彰化海岸由於大肚溪和濁水溪所夾帶之泥沙在沿岸沉積，形成廣大的潮間帶泥灘地，每年吸引大量的鸕鶿類岸鳥到此覓食（圖 1），是東亞澳遷徙線上一重要度冬地與過境地(Bamford *et al.* 2008)。泥灘地往北延伸至彰濱工業區南端，往南延伸至麥寮工業區北端在退潮時面積約 1000 公頃(參考中華民國海軍水道圖)。鄰近的陸域環境已被開發成養殖區、工業區、住宅區及農地等人為環境。其中養殖區分布於最靠海的區域，其面積達 1200 公頃，養殖類型以文蛤為主，同時混養魚類及蝦類（洪金德 2008）。

研究樣區設於彰化縣芳苑鄉的漢寶、新寶及王功地區（圖 2）。樣區總面積約 1800 公頃，與緊鄰的潮間帶泥灘地隔有水泥海堤。從內政部國土繪測中心所繪製的土地利用圖層顯示，樣區內以養殖魚塢為主，其他較少數之利用類型還包括農地、住宅、漁港、河道、紅樹林及防風林。本區屬副熱帶季風氣候，十月至隔年三月季風強勁，主要風向為北北東，平均風速 6.24 公尺/秒；四月至九月時風力較弱，在六月至七月時風向轉為南至西南。氣溫方面，最高溫攝氏 36.1 度，最低 11.9 度，年平均 24.1 度（經濟部工業局 2011）。本區的潮汐屬半日潮，平均潮差約 3 公尺（李昆霖 2006）。據觀察，在大潮（農曆初一及十五前後）滿潮前後一個半小時之時段，海水會完全淹沒泥灘地。在滿潮時段，養殖魚塢成為此區岸鳥的主要群棲地。由於文蛤養殖的水深約 50 公分，且養成期約 10–15 個月(劉富光 *et al.* 2001)，除了一年一次的收成放乾期外，岸鳥通常無法於魚塢池內覓食或休息，僅能利用魚塢的堤岸群棲（圖 1）。

鳥類調查

鳥類調查從 2011 年 10 月至 2012 年 5 月，一個月一次，總共八次。每月的調查皆在農曆初一或十五的前後四天中進行，時段為滿潮前後一個半小時內。在上述大潮日的滿潮時段，由於泥灘地完全被海水淹沒，在此時進行調查可確保大部分的岸鳥皆已飛至堤防以內的陸域環境群棲。每次調查依固定樣線移動，並用雙

筒望遠鏡搜尋周遭的魚塭堤岸是否有岸鳥存在。在發現 10 隻以上的岸鳥群棲時，則以單筒望遠鏡確認種類及數量，同時利用航照地圖確認堤岸位置，記錄以上資訊。樣線及搜尋範圍幾乎包含樣區內所有區域，因此可視為是樣區內之普查。每次整個樣區之調查皆在連續的四天內完成。



環境變數

選用 6 項環境變數，包括：天空能見度、堤岸長度、植覆等級、覓食地距離、可否避風和底質種類。前三項與掠食風險有關，後三項則與能量限制有關（表 1）。所有環境變數皆應用遙測影像量測，其中天空能見度、底質種類及植覆等級之量測則輔以實地調查才完成。以下為各環境變數之量測方式：

天空能見度

為了降低掠食風險，岸鳥可能會選擇天空能見度較高的堤岸群棲，除了能較容易觀察猛禽存在外，也可避免周圍有高遮蔽物供猛禽躲藏。群棲點的天空能見度主要受周圍遮蔽物之高度及距離決定，因此先以實地目測的方式得到樣區內所有自然及人工遮蔽物之高度（以 0.5 公尺為最小判別單位）。調查者先受高度判別之訓練以提高判別之準確率及精準度，且所有測量皆由同一人執行，以避免不同調查者差異所產生之誤差。接著將此高度資料輸入樣區的土地利用圖層，即得到高度圖層。利用此高度圖層、群棲點位置及 ArcGIS 軟體的 Solar radiation 工具，可產生以群棲點為中心的視野遮蔽柵格圖（viewshed raster）。此視野遮蔽柵格圖的產生原理是先搜尋一個點的各方位被遮蔽之最大仰角，也就是陸地（包含遮蔽物）與天空交界之仰角，接著將這些代表交界之仰角定位於半球體座標系統，最後將此半球體投影成 2D 的圓，以柵格圖呈現（圖 3）。圖中黑色區域代表群棲點的天空半球體中天空被遮蔽的部分，藍色代表天空的部分。最後將天空所占的柵格數除以整個圓的柵格數即得天空能見度比例。

堤岸長度

為了降低掠食風險，岸鳥可能選擇較長的堤岸，因為較長的堤岸能容納較多

的同伴，利於成群所產生的避敵效應。本研究將堤岸定義為隔開兩水體（養殖池或河道溝渠）之長形建物，在測量時，若堤岸與其他堤岸垂直相交，則交界處的左右視為兩條不同的堤岸。利用農航所拍攝之 1/5000 正射化影像及 ArcGIS 軟體將堤岸數化成線狀圖形後，可批次計算出所有群棲點堤岸之長度（公尺）。

植覆等級

岸鳥為了降低掠食風險，可能選擇於植覆較少的堤岸群棲，因為植覆較少能讓岸鳥間彼此較靠近，且視覺遮蔽較少，也有利於觀察同伴或天敵的狀況。先利用福衛二號於 2011 年 11 月 2 日拍攝之紅外光影像（解析度 8m^2 ）及 ArcGIS 軟體中的影像分析功能（Image Analysis）產生 NDVI 柵格圖。和彩色影像有明顯植被的部分（防風林、荒草地）做比對，當柵格的 NDVI 介於 86~159 時代表此柵格有植被。選取有植被的柵格並轉成 8m^2 的網格（圖 4），同時也將堤岸數化成 8m^2 的網格，接著將各堤岸有植被網格數除以堤岸網格數，算出堤岸的植被覆蓋比例（0-100%），最後再將此比例分成三個等級，即得植覆等級變數（等級 1:0-33%，等級 2:34-67%，等級 3:68-100%）。上述結果同樣利用實地調查所記錄之植覆程度作比對，計算判別準確率。

覓食地距離

為了節省能量花費，岸鳥應選擇距離覓食地較近的堤岸群棲。據觀察，此區岸鳥在大潮滿潮前約一個半小時之時段才會飛入魚塭區，因此採用滿潮前最後裸露泥灘地之最近距離作為覓食地距離。應用福衛二號紅外光波段影像，可清楚辨別最後裸露泥灘地與水之分界。所選之影像拍攝日期為 2007 年 1 月 31 日（農曆 12 月 23 日），拍攝時間距滿潮約 40 分鐘前。此時間差較理想的時間差小，但由於當天屬小潮，推測裸露泥灘範圍應和大潮前一個半小時之裸露泥灘範圍差異不大。和其他在大潮日滿潮前一個半小時所拍攝之可見光影像作比較後，確認兩者之裸露灘地範圍差異不大（圖 5）。確認最後裸露泥灘地範圍後，利用 ArcGIS 軟體量測群棲堤岸至最後裸露泥灘地之最近距離，作為覓食地距離（公尺）。

可否避風

為了節省能量，岸鳥可能選擇於能避風的堤岸斜面上群棲，以減少熱能的損失（圖 6）。而堤岸的斜面可否避風，則受到風向與堤岸走向所決定。由於在調查

期間本區主要風向為北北-東，因此定義可避風之堤岸走向方位角為 67.5~157.5 度或 247.5~337.5 度，不可避風之堤岸走向方位角為 337.5~0~67.5 度或 157.5~247.5 度。利用 ArcGIS 軟體的 Linear Directional Mean 工具計算出所有堤岸走向之方位角後，再依上述標準判定為可避風或不可避風。



底質種類

當氣溫高時，岸鳥可能選擇於較利於散熱的底質上群棲，以節省體溫調節所花的能量，並避免過熱造成生理機能失調。樣區內的堤岸可分成水泥堤與土堤。利用福衛二號於 2011 年 11 月 2 日拍攝之彩色影像（解析度 8m²）及 ArcGIS 軟體中的 Image Classification 對影像中之堤岸進行監督式分類，得到所有堤岸之底質種類，接著利用實地調查所記錄的底植種類資料和上述結果比較，計算判別準確率。

分析方法

各物種之群棲地選擇

由於部分物種的樣本數較小不適於分析，因此先利用群集分析將小樣本物種依使用堤的相似度分群。接著利用單變數分析比較各物種與分群所群棲的堤岸和樣區內整體堤岸的環境變數是否有差異，以確認岸鳥的群棲地利用是否具選擇性，並比較不同物種與分群的群棲環境偏好是否有差異。

小樣本數物種之分群

由於除了兩種常見種東方環頸鴿和黑腹濱鶇外，其他物種的樣本數（使用堤數）太小不適於建立模式，因此先將這些物種依照使用堤岸的相似度進行群集分析，再依分群結果進行後續的模式分析。首先利用各物種在堤上有/無出現的資料建立相似性指數之矩陣。相似性指數是採用適用於二項變數的 Jaccard Index，所採用的分群方式為 Ward's Method，此分群法會使所有群內變異之加總為最小 (Orloci 1967)。為了確認分群結果是否可信，利用 bootstrap analysis 計算各群的 p-value。當某群的 p-value 大於 0.95 時，代表此分群由取樣誤差所導致之機率小於 0.05，可信賴此分群結果 (Suzuki and Shimodaira 2006)。



代表樣區整體堤岸之樣本

具觀察岸鳥在樣區內的移動能力強，可在漢寶、王功及永興三區間自由移動，代表岸鳥是在整個樣區中進行群棲地選擇。因此抽樣時，從樣區所有堤岸中（3328 條）隨機抽出 350 條堤岸，作為代表樣區內整體堤岸之樣本（圖 7）。

單變數分析

利用單變數分析比較各物種與類群所群棲的堤岸（有鳥堤）和整體堤岸的六項環境變數是否有差異，以確認其群棲地利用是否具選擇性，並比較不同物種與類群間之選擇是否有差異。在比較環境變數時，由於覓食地距離、天空能見度及堤長這三種連續變數的分布並非常態，且經轉換後仍非常態，因此採用 Mann-Whitney U test (Mann and Whitney 1947)；而底質種類、可否避風及植覆等級皆為類別變數，因此採用 χ^2 test。

環境變數之相對重要性

為瞭解岸鳥在群棲地選擇時，六項環境變數之相對重要性，本研究利用廣義線性模式，建立六項環境變數與岸鳥出現機率之關係，並利用模式平均的結果進行推論。

全模式建立及診斷

選用廣義線性模式 (Generalized Linear Model, GLM) 中的二項分布模式建立各物種與類群的出現機率全模式。建立全模式的樣本以堤岸為單位，應變數為二項分布，1 代表某物種或類群曾出現於此堤岸，0 則代表不曾出現於此堤岸。自變相包括 6 項環境變數，其中堤長、天空能見度、覓食地距離為連續變數，植覆等級、底質種類及可否避風為類別變數。

為了確認全模式適合觀察資料，利用適合二項分布模式的 Hosmer-Lemeshow test (Hosmer and Lemeshow 1980) 進行合適度檢定。其統計值代表在將樣本分成 n 組後，每一組觀測機率和預測機率差異之加總，此值會符合自由度 $n-2$ 之 χ^2 分布，

當顯著時表示差異太大，模式不適合觀察資料。

當多元共線性存在會使迴歸係數估計值產生偏差 (Farrar and Glauber 1967)，因此檢查環境變數間是否存在多元共線性是必要的。檢測方法採用適合自變相具類別變數的 Generalized Variance Inflation Factors (GVIF) (Fox and Monette 1992)，此指數代表各環境變數係數估計值的變異數在加入其他環境變數後會膨脹多少。

模式之殘差具空間自相關時便違反樣本間為獨立之假設，可能使環境變數的迴歸係數估計值產生偏差 (Cliff and Ord 1970)，因此採用 Moran's I 顯著測驗檢查全模式之殘差是否具空間自相關。首先用全模式中各樣本之座標產生樣本間的距離權重矩陣(距離之倒數)，再利用此矩陣及殘差即可計算出殘差的 Moran's I 指數，此指數界於-1 至 1 之間且符合常態分佈。進行顯著性測驗時，當 $p < 0.05$ 可拒絕“殘差沒有空間自相關”之虛無假說，也就是各樣本之殘差具空間自相關 (Gittleman and Kot 1990)。對於有空間自相關之全模式處理方式為增加一 Autocovariate 到自變相，此變數適於用來代表動物因內部作用 (如種間吸引) 使鄰近樣本間的變數值較相似的現象 (F. Dormann *et al.* 2007)。加入後模式從原本的 $y = X\beta + \varepsilon$ 變成 $y = X\beta + \rho A + \varepsilon$ ，其中 X 代表自變相， β 代表其係數數列，A 代表 Autocovariate， ρ 代表其係數。產生此變數需決定鄰近樣本之影響距離，在分析時採用重複測試的方式，找出能使全模式空間自相關不再顯著 ($p > 0.1$) 的最小影響距離。

模式選擇及模式平均

模式平均法是綜合多個可能模式之結果進行推論之方法，本研究利用此方法推論各環境變數的相對重要性 (Burnham and Anderson 2002)。當全模式建立並診斷完成後，產生所有可能的模式組合並計算各模式之 AICc，選擇 AIC differences ≤ 2 之模式，重新計算 Akaike weights (ω_i) 後再進行模式平均。模式平均時，利用 ω_i 可計算各環境變數之相對重要性。相對重要性之計算方式為將某環境變數在各模式出現時的 ω_i 相加，其值最大為 1，最小為 0，前者代表此變數在所有模式中皆有出現，後者代表此變數在所有模式中皆沒有出現。

結果



鳥類調查結果

2011 年 10 月至 2012 年 5 月的 8 次調查中，共記錄到鷗科岸鳥 13 種，鴿科岸鳥 5 種，共出現於 147 條魚塭堤岸（表 2）（圖 7）。147 條堤岸中，僅被記錄到 1 次岸鳥出現的堤岸佔 46%，2 次的佔 20%，3 次以上的佔 34%（表 3）（圖 8）。所有岸鳥中，以東方環頸鴿（*Charadrius alexandrinus*）的數量最高且使用堤數最多，其單次最大量 4838 隻，8 次調查共出現於 103 條堤；其次為黑腹濱鴿（*Calidris alpina*），其單次最大量 3070 隻，共出現於 80 條堤（表 2）。由於鐵嘴鴿（*Charadrius leschenaultii*）和蒙古鴿（*Charadrius mongolus*）在實地調查時容易混淆，因此將此兩物種合併。

環境變數判視正確率

將 147 條有實地調查的堤岸和衛星影像判視結果比對，植覆等級判視正確的堤岸共 132 條，正確率為 89.80%。底質種類判視正確的堤岸共 124 條，正確率為 84.35%。

小樣本物種數之分群結果

依照各物種使用堤岸的相似度進行群集分析，將東方環頸鴿和黑腹濱鴿以外的 16 種岸鳥分成兩群（ $p\text{-value} > 0.95$ ）（圖 9）。類群 1 包括：太平洋金斑鴿（*Pluvialis fulva*）、青足鴿（*Tringa nebularia*）、小青足鴿（*Tringa stagnatilis*）及赤足鴿（*Tringa totanus*）。類群 2 包括：灰斑鴿（*Pluvialis squatarola*）、反嘴鴿（*Xenus cinereus*）、大杓鴿（*Numenius arquata*）、大濱鴿（*Calidris tenuirostris*）、鐵嘴鴿（*Charadrius leschenaultii*）、蒙古鴿（*Charadrius mongolus*）、翻石鴿（*Arenaria interpres*）、紅胸濱鴿（*Calidris ruficollis*）、三趾濱鴿（*Calidris alba*）、紅腹濱鴿（*Calidris canutus*）、彎嘴濱鴿（*Calidris ferruginea*）及黃足鴿（*Tringa brevipes*）。



各物種與類群的群棲地選擇

利用單變數分析比較各物種與類群所使用的堤岸和整體堤岸的六項環境變數結果顯示，所有物種與類群所使用的堤岸其堤岸長度、覓食地距離及能否避風三項環境變數與整體堤岸有顯著差異 ($p < 0.05$) (表 4、表 5)，皆選擇長度較長、距覓食地較近且能避風的堤岸群棲 (圖 10、圖 11)。

天空能見度在東方環頸鴿、黑腹濱鵲及類群 2 所使用的堤岸與整體堤岸間有顯著差異 ($p < 0.05$)，在類群 1 接近顯著 ($p < 0.1$) (表 4)，皆選擇天空能見度較高的堤岸群棲 (圖 10)；

植覆等級在東方環頸鴿、黑腹濱鵲及類群 2 所使用的堤岸與整體堤岸間有顯著差異 ($p < 0.05$)，皆選擇於植覆等級較低的堤岸群棲；類群 1 對此環境變數則沒有選擇性 (表 5)，但其所使用的堤岸之植覆等級和其他岸鳥不同，類群 1 會於植覆等級較高的堤岸群棲 (圖 11)。

底質種類在東方環頸鴿與類群 1 所使用的堤岸與整體堤岸間有顯著差異 ($p < 0.05$)，在黑腹濱鵲與類群 2 則接近顯著 ($p < 0.1$) (表 5)；其中類群 1 和其他岸鳥所選擇的底質種類不同，前者選擇於土堤群棲，後者則選擇於水泥堤群棲 (圖 11)。

全模式診斷結果

所有物種與類群的出現機率全模式之合適度檢定皆不顯著 ($p > 0.1$) (表 6)，表示模式適用於觀察資料。所有全模式之殘差皆顯著空間自相關 ($p < 0.05$)，在加入 Autocovariate 於自變相後，空間自相關不再顯著 ($p > 0.1$) (表 7)。所有全模式之自變相的 GVIF 皆在 2 以下，表示沒有多元共線性的問題 (表 8)。

環境變數之相對重要性

選擇各物種與類群的所有可能模式中 AIC differences ≤ 2 之模式，東方環頸鴿選出 4 個，黑腹濱鵲選出 3 個，類群 1 選出 4 個，類群 2 選出 5 個 (表 9)。各物種與類群以上述所選出之模式各自進行模式平均。以下為模式平均之結果：

堤長、天空能見度、植覆等級及底質種類是六項環境變數中相對較重要的，



這四項變數的相對重要性在三個以上的物種與類群中超過 0.5 (表 10)。其中，堤長是東方環頸鴿、黑腹濱鶉及類群 1 是最重要的變數之一，重要性皆為 1；對類群 2 也有一定重要性，重要性為 0.62。天空能見度是黑腹濱鶉最重要的環境變數之一，重要性為 1；對類群 1 與類群 2 也有一定重要性，其重要性分別為 0.79 與 0.82；對東方環頸鴿則較不重要，其重要性為 0.19。植覆等級是東方環頸鴿、黑腹濱鶉及類群 2 是最重要的環境變數之一，重要性皆為 1，對類群 1 則較不重要，重要性為 0。底質種類是黑腹濱鶉是最重要的環境變數之一，重要性為 1；對東方環頸鴿與類群 2 也有一定重要性，重要性分別為 0.81 與 0.72；對類群 1 則較不重要，重要性為 0.24。

覓食地距離與可否避風是六項環境變數中較次要的，這兩項變數的相對重要性僅在兩個以下的物種或類群中超過 0.5 (表 10)。覓食地距離是東方環頸鴿與類群 1 是最重要的環境變數之一，重要性皆為 1；對黑腹濱鶉與類群 2 則較不重要，重要性分別為 0.26 和 0。可否避風是類群 2 最重要的環境變數之一，重要性為 1，對東方環頸鴿、黑腹濱鶉及類群 1 則較不重要，重要性分別為 0.2、0.2 及 0.15。

討論



各物種與類群的群棲地選擇

本研究確認岸鳥在魚塭環境下的群棲地利用具選擇性，所有物種與類群的岸鳥在魚塭環境中會選擇長度較長、距覓食地較近、能避風且天空能見度較高的堤岸群棲。此結果符合預期，也就是岸鳥為了降低掠食風險，會選擇在面積較大且視野較好的群棲地，以容納較多的同伴產生成群避敵的效應，並且較容易發現天敵的存在；而為了節省能量花費，會選擇在距離覓食地較近的群棲地以節省通行所花費的能量，並且選擇在能避風的微棲地群棲以節省熱能的損失。

另一方面，類群 1 的岸鳥多數在植被較多的土堤上群棲，其他岸鳥則多數在植被較少的水泥堤上群棲，此差異可能是由不同物種在群棲時採用不同避敵策略所致。許多研究指出岸鳥在覓食時，會利用結群產生的共同警戒、稀釋效應及混淆效應降低掠食風險 (Christopher H. Stinson 1980, Myers 1980, Cresswell 1994, Barbosa 1997, Beauchamp and Ruxton 2008)。理論上岸鳥群棲時若僅依賴結群作為避敵策略，植覆少的堤岸應是最有利此種策略的環境，因為植覆少能讓彼此較靠近，且較容易觀察到同伴的警戒行為。類群 1 的岸鳥多數群棲於植覆多的土堤，可能反映出另一種形式的避敵策略，也就是藉由植覆增加自身的隱蔽性，讓掠食者較難發現其存在。除了群棲地的微棲地差異外，結群方式的差異也支持以上論點。從本研究的資料顯示，東方環頸鴿、黑腹濱鴿及類群 2 的岸鳥群棲時結群數量較多（上百隻，有時甚至達上千隻）且較密集，類群 1 的岸鳥結群數量較少（通常不超過一百隻）且個體間較分散。雖然後者利用結群所產生的避敵效應較前者低，卻較有利於隱蔽性這種避敵策略。從以上證據推測東方環頸鴿、黑腹濱鴿及類群 2 的岸鳥群棲時以結群作為主要的避敵策略，因此多數群棲於植覆較少的水泥堤；而類群 1 岸鳥除了結群外，可能同時利用隱蔽性作為另一項避敵策略，因此多數群棲於植覆較多的土堤。

魚塭環境中影響群棲地選擇的主要因素

堤岸長度和天空能見度皆為影響岸鳥群棲地選擇的主要變數之一，可能是由

於魚塭環境特性所致。堤岸長度對所有物種與類群的重要性皆超過 0.5，並且是 3 種物種與類群最重要的環境變數之一。Dias (2009) 在鹽田環境的研究也有類似的情形，其結果顯示鹽田的面積是影響岸鳥選擇的主要環境變數。鹽田環境和魚塭環境皆屬人為環境，被許多不同形式的人為建物切割，缺乏像自然海岸中連續且大面積的群棲地，對採用成群作為避敵策略的岸鳥來說，能容納一定數量同伴的群棲地是重要的，因此使得群棲地的大小成為影響岸鳥在魚塭環境群棲地選擇的主要環境變數之一。

另一方面，天空能見度對 3 種物種與類群的重要性皆超過 0.5。此結果和自然海岸所進行的研究結果不同，其視覺遮蔽並非最主要影響群棲地選擇的變數 (Rogers *et al.* 2006a, Zharikov and Milton 2009)。推測此差異是由於在魚塭環境相較於自然海岸有較多的人為建物產生較多的視覺遮蔽，對於習慣在空曠環境生存的岸鳥來說，較多的視覺遮蔽將使牠們無法即早發現掠食者存在而增加掠食風險，因此使得天空能見度成為影響岸鳥在魚塭環境群棲地選擇的主要變數之一。

綜合以上顯示出魚塭環境由於結構較複雜，缺乏大面積群棲地且視覺遮蔽較多，可能使岸鳥面臨較高的掠食風險，因此使得堤岸長度與天空能見度成為影響岸鳥在此環境群棲地選擇的主要環境變數。

能量限制相關的環境變數重要性較低

覓食地距離的重要性較低，可能由於本樣區的覓食地距離近所致。過去研究記錄岸鳥的通行距離最大可達 20 公里 (Mitchell *et al.* 1988)，相較之下本研究的通行距離並不算遠 (最近 1.1 公里，最遠 4.4 公里)，最遠的通勤距離所需花費的能量可能還在岸鳥可接受的範圍內。Rogers *et al.* (2006a) 有類似的結果，其覓食地距離重要性較低，可能是由於其覓食灘地和本樣區一樣沿海岸線連續分布，因此距離較近。在 Zharikov and Milton (2009) 的研究中，覓食地距離是最重要的變數，和掠食風險相關的變數影響則較小，但其覓食地距離最遠僅 0.56 ± 1.29 公里，和本研究與 Rogers *et al.* (2006a) 差異不大。推測會影響覓食地距離重要性的另一因素為研究範圍尺度。Zharikov and Milton (2009) 所研究之海岸線約 100 公里，較 Rogers *et al.* (2006a) 與本研究大許多 (50 公里以下)。在不同尺度下，影響棲地選擇的

環境變數可能跟著改變。覓食地距離相較於視野及群棲地大小是較大尺度的環境變數，在較大範圍的樣區下，其重要性可能提高。

岸鳥在群棲時受到干擾而驚飛也會花費能量 (Rogers *et al.* 2006b)，雖然本研究沒有測量各堤岸的干擾程度，但據觀察當地最主要的干擾來自當地漁民，他們針對魚塭進行的工作頻度並不高，且由於沒有廢棄魚塭且養殖的類型一致，因此各魚塭受到干擾的頻度差異不大；此外即使岸鳥因干擾而驚飛，當干擾源離去時岸鳥通常會飛回原本的堤岸。由以上觀察推測干擾對本區岸鳥的群棲地選擇影響不大。

微棲地選擇受氣候影響

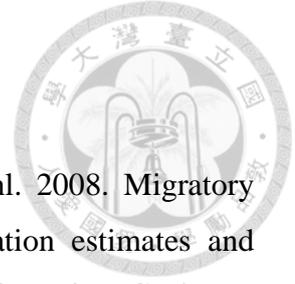
單變數分析結果顯示除了類群 1 之外，其他岸鳥並不會選擇在易於散熱的土堤群棲，但會利用具背風面的堤岸避風。此結果和 Peters and Otis (2007) 在溫帶地區的研究結果相似，其顯示岸鳥會偏好能避風的環境群棲。然而 Rogers *et al.* (2006a) 於熱帶進行的研究則指出，岸鳥在白天會偏好潮濕的底質群棲。本研究樣區處於亞熱帶，在 10 月至隔年 5 月之氣候不會讓岸鳥產生過熱的問題。相反的，面對冬季濱海地區盛行且強勁的東北季風，於能避風的堤岸群棲能減少維持體溫所花費的能量。然而本區在夏季的氣溫偏高且季風薄弱，雖然本研究並沒有涵蓋此季節，但據觀察當本區氣溫偏高時，群棲的岸鳥會持續張開喙部，而此行為即是岸鳥散熱的一種方式 (Amat and Masero 2004)。因此推測 8-9 月較早到達此區的過境岸鳥可能會有過熱的問題，而此期間岸鳥對群棲地的選擇有可能改變。

結論

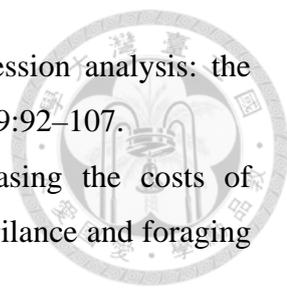
本研究確認岸鳥在魚塭環境下的群棲地利用是有選擇性的，所有物種與類群的岸鳥在魚塭環境中會選擇長度較長、距覓食地較近、能避風且天空能見度較高的堤岸群棲，以降低掠食風險並節省能量花費。不同物種會選擇不同植覆程度的堤岸群棲，顯示岸鳥在群棲時除了以成群作為避敵策略外，有一些物種可能會同時利用隱蔽性來減少掠食風險。過去許多研究探討岸鳥的成群避敵行為，卻較少去探討不同岸鳥的避敵策略差異，未來值得針對此現象做更進一步之觀察及研究。

六項環境變數中，和掠食風險相關環境變數重要性較高，其中包括堤長與天空能見度，顯示出魚塭環境由於被許多人為建物切割，缺少大面積連續的群棲地且具較多視覺遮蔽，可能使岸鳥面臨較高的掠食風險。另一方面，本區可能由於覓食地距離近且氣候並不極端，因此岸鳥所面臨的能量限制較小。然而彰濱海岸目前仍面臨著開發壓力，當岸鳥的覓食地或群棲地受破壞使食物資源減少或通行距離增加，能量限制壓力將提高，當達到一臨界值時，可能導致岸鳥為了減少能量花費而折衷於安全條件較次等的地點群棲，此情況將不利於岸鳥的生存。

參考文獻



- Bamford, M., D. Watkins, W. Bancroft, G. Tischler, and J. Wahl. 2008. Migratory shorebirds of the East Asian-Australasian Flyway: population estimates and internationally important sites. *Wetlands International-Oceania*, Canberra, Australia.
- Barter, M., and Q. Xu. 2004. Northward shorebird migration surveys in 2004 at three Yellow Sea sites in Jiangsu and Shandong provinces. *Stilt* 46:2–8.
- Burnham, K. P., and D. R. Anderson. 2002. *Model selection and multi-model inference: a practical information-theoretic approach*, 2nd edition. Springer, New York.
- Burton, N. H. K., P. R. Evans, and M. A. Robinson. 1996. Effects on shorebird numbers of disturbance, the loss of a roost site and its replacement by an artificial island at Hartlepool, Cleveland. *Biological Conservation* 77:193–201.
- Catry, T., J. A. Alves, J. Andrade, H. Costa, M. P. Dias, P. Fernandes, A. Leal, P. M. Lourenço, R. C. Martins, and F. Moniz. 2011. Long-term declines of wader populations at the Tagus estuary, Portugal: a response to global or local factors? *Bird Conservation International* 21:438–453.
- Cliff, A. D., and K. Ord. 1970. Spatial autocorrelation: a review of existing and new measures with applications. *Economic Geography* 46:269–292.
- Cresswell, W. 1994. Flocking is an effective anti-predation strategy in redshanks, *Tringa totanus*. *Animal Behaviour* 47:433–442.
- Dias, M. 2009. use of salt ponds by wintering shorebirds throughout the tidal cycle. *Waterbirds* 32:531–537.
- Dias, M. P., J. P. Granadeiro, M. Lecoq, C. D. Santos, and J. M. Palmeirim. 2006. Distance to high-tide roosts constrains the use of foraging areas by dunlins: Implications for the management of estuarine wetlands. *Biological Conservation* 131:446–452.
- Dormann, C. F., J. M. McPherson, M. B. Araújo, R. Bivand, J. Bolliger, G. Carl, R. G. Davies, A. Hirzel, W. Jetz, W. D. Kissling, I. Kühn, R. Ohlemüller, P. R. Peres-Neto, B. Reineking, B. Schröder, F. M. Schurr, and R. Wilson. 2007. Methods to account for spatial autocorrelation in the analysis of species distributional data: a review. *Ecography* 30:609–628.

- 
- Farrar, D. E., and R. R. Glauber. 1967. Multicollinearity in regression analysis: the problem revisited. *The Review of Economics and Statistics* 49:92–107.
- Fernández-Juricic, E., R. Smith, and A. Kacelnik. 2005. Increasing the costs of conspecific scanning in socially foraging starlings affects vigilance and foraging behaviour. *Animal Behaviour* 69:73–81.
- Fox, J., and G. Monette. 1992. Generalized collinearity diagnostics. *Journal of the American Statistical Association* 87:178–183.
- Gittleman, J. L., and M. Kot. 1990. Adaptation: statistics and a null model for estimating phylogenetic effects. *Systematic Zoology* 39:227–241.
- Hosmer, D. W., and S. Lemeshow. 1980. Goodness of fit tests for the multiple logistic regression model. *Communications in Statistics - Theory and Methods* 9:1043–1069.
- Hutto, R. L. 1985. Habitat selection by nonbreeding, migratory land birds. Pages 455–476 *Habitat selection in birds*. Academic Press, Orlando, Fla.
- Johnson, D. H. 1980. The comparison of usage and availability measurements for evaluating resource preference. *Ecology* 61:65–71.
- Manly, B. F., L. McDonald, and D. L. Thomas. 2004. *Resource selection by animals: statistical design and analysis for field studies*, 2nd edition. Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Mann, H. B., and D. R. Whitney. 1947. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *The Annals of Mathematical Statistics* 18:50–60.
- Metcalfe, N. B. 1984. The effects of habitat on the vigilance of shorebirds: Is visibility important? *Animal Behaviour* 32:981–985.
- Mitchell, J. R., M. E. Moser, and J. S. Kirby. 1988. Declines in midwinter counts of waders roosting on the Dee estuary. *Bird Study* 35:191–198.
- Orlci, L. 1967. An agglomerative method for classification of plant communities. *Journal of Ecology*:193–206.
- Peters, K. A., and D. L. Otis. 2007. Shorebird roost-site selection at two temporal scales: is human disturbance a factor? *Journal of Applied Ecology* 44:196–209.
- Piersma, T., R. Hoekstra, A. Dekinga, A. Koolhaas, P. Wolf, P. Battley, and P. Wiersma. 1993. Scale and intensity of intertidal habitat use by knots *Calidris canutus* in

- the Western Wadden Sea in relation to food, friends and foes. Netherlands Journal of Sea Research 31:331–357.
- Rogers, D. I., Battley, P. F., Piersma, T., Van Gils, J. A., & Rogers, K. G. (2006a). High-tide habitat choice: insights from modelling roost selection by shorebirds around a tropical bay. *Animal Behaviour*, 72, 563–575.
- Rogers, D. I., T. Piersma, and C. J. Hassell. 2006b. Roost availability may constrain shorebird distribution: Exploring the energetic costs of roosting and disturbance around a tropical bay. *Biological Conservation* 133:225–235.
- Rosa, S., A. L. Encarnação, J. P. Granadeiro, And J. M. Palmeirim. 2006. High water roost selection by waders: maximizing feeding opportunities or avoiding predation? *Ibis* 148:88–97.
- Schaeffer-Novelli, Y., G. Cintrón-Molero, and Clemente Coelho, Jr. 2006. Managing shorebird flyways: shrimp aquaculture, shorebird populations and flyway integrity. Pages 812–816 *Waterbirds Around the World*. The Stationery Office, Edinburgh, UK.
- Suzuki, R., and H. Shimodaira. 2006. Pvcust: an R package for assessing the uncertainty in hierarchical clustering. *Bioinformatics* 22:1540–1542.
- Thomas, J. W., and J. L. Parker. 1979. *Wildlife habitats in managed forests: the Blue Mountains of Oregon and Washington*. Wildlife Management Institute, Washington, D.C.
- Wetlands International. 2010. *State of world's waterbirds 2010*. (Simon Delany, Szabolcs Nagy, and Nick Davidson, Eds.) . Wetlands International, Ede, The Netherlands.
- Yang, H.-Y., B. Chen, M. Barter, T. Piersma, C.-F. Zhou, F.-S. Li, And Z.-W. Zhang. 2011. Impacts of tidal land reclamation in Bohai Bay, China: ongoing losses of critical Yellow Sea waterbird staging and wintering sites. *Bird Conservation International* 21:241–259.
- Yasué, M., and P. Dearden. 2009. The Importance of Supratidal Habitats for Wintering Shorebirds and the Potential Impacts of Shrimp Aquaculture. *Environmental Management* 43:1108–1121.
- Zharikov, Y., and D. A. Milton. 2009. Valuing coastal habitats: predicting high-tide roosts of non-breeding migratory shorebirds from landscape composition. *Emu*

109:107–120.

Zöckler, C., E. E. Syroechkovskiy, And P. W. Atkinson. 2010. Rapid and continued population decline in the Spoon-billed Sandpiper *Eurynorhynchus pygmeus* indicates imminent extinction unless conservation action is taken. *Bird Conservation International* 20:95–111.

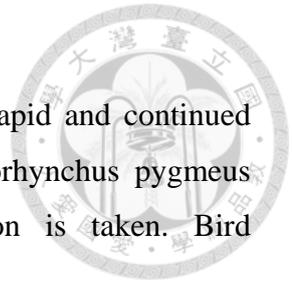
李昆霖. 2006. 濁水溪流域海岸帶特徵. 國立台灣大學碩士論文, 台北市.

洪金德. 2008. 文蛤與牡蠣養殖的回顧與展望. *陽光彰化* 12:30–33.

國光石化科技股份有限公司. 2011. 海岸地形變遷之模式模擬評估報告書. 經濟部工業局, 台北市.

劉富光, 何雲達, 郭仁杰, 廖一久. 2001. 優質文蛤的養殖技術. *農政與農情* 114:91–96.

賴彥辰. 2009. 彰濱地區兩種鸕鶿科鳥類日間滿潮利用養殖魚塭堤岸為休息地微環境偏好之研究. 東海大學碩士論文, 台中市.



(a)



(b)



圖 1、彰化芳苑鄉濱海地區岸鳥棲地型態。(a) 岸鳥於潮間帶泥灘地覓食 (b) 岸鳥於魚塭堤岸群棲

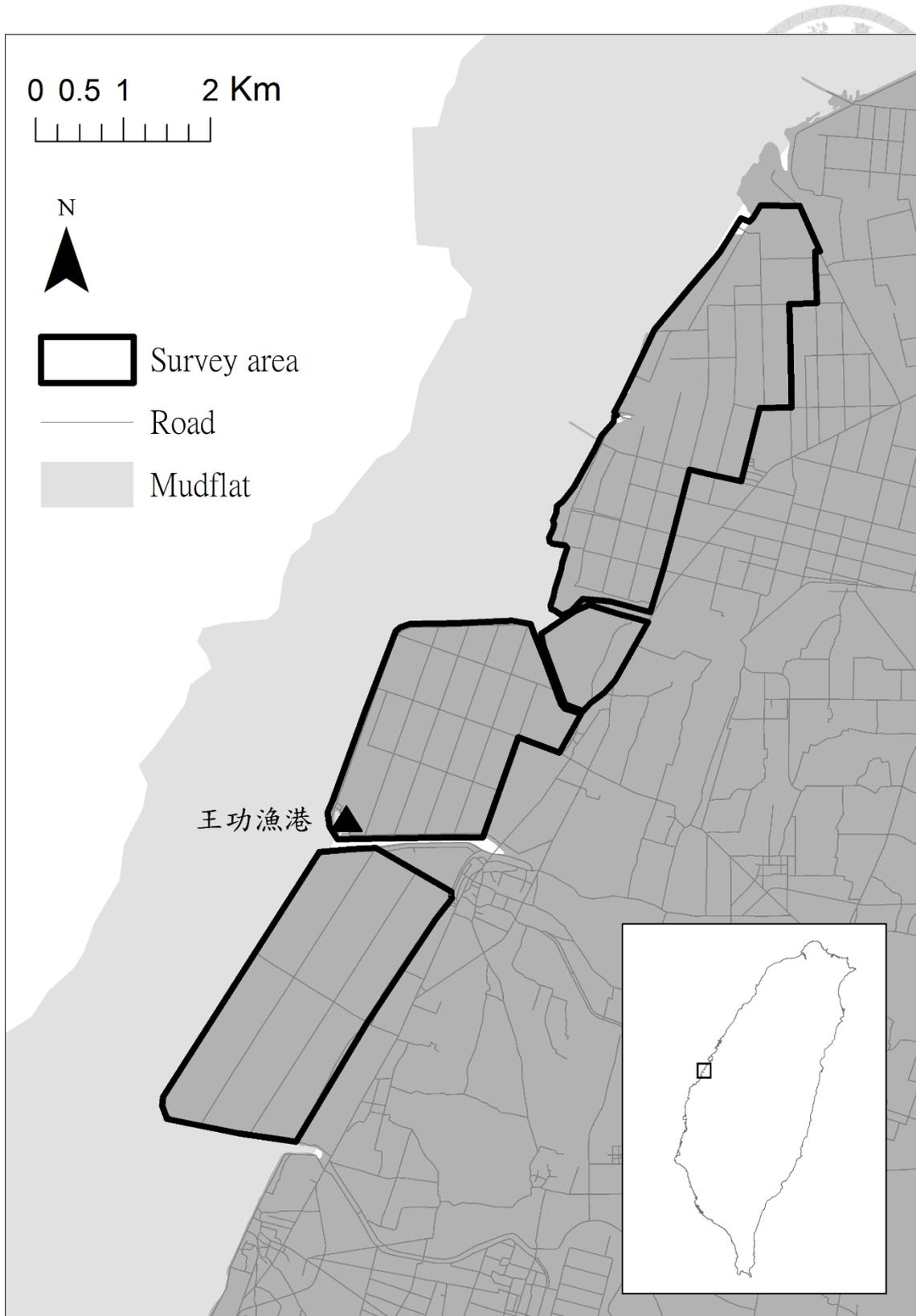


圖 2、研究樣區示意圖

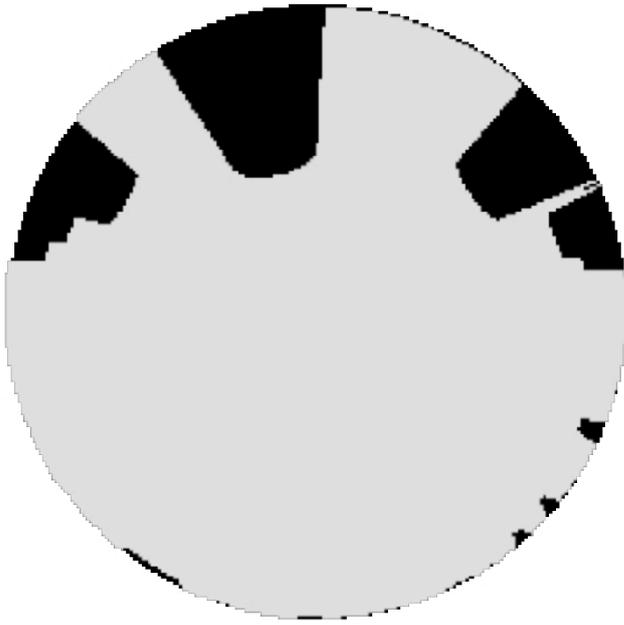


圖 3、視野遮蔽柵格圖。黑色區域代表天空半球體中天空被遮蔽的部分，淺灰色區域代表天空沒被遮蔽的部分

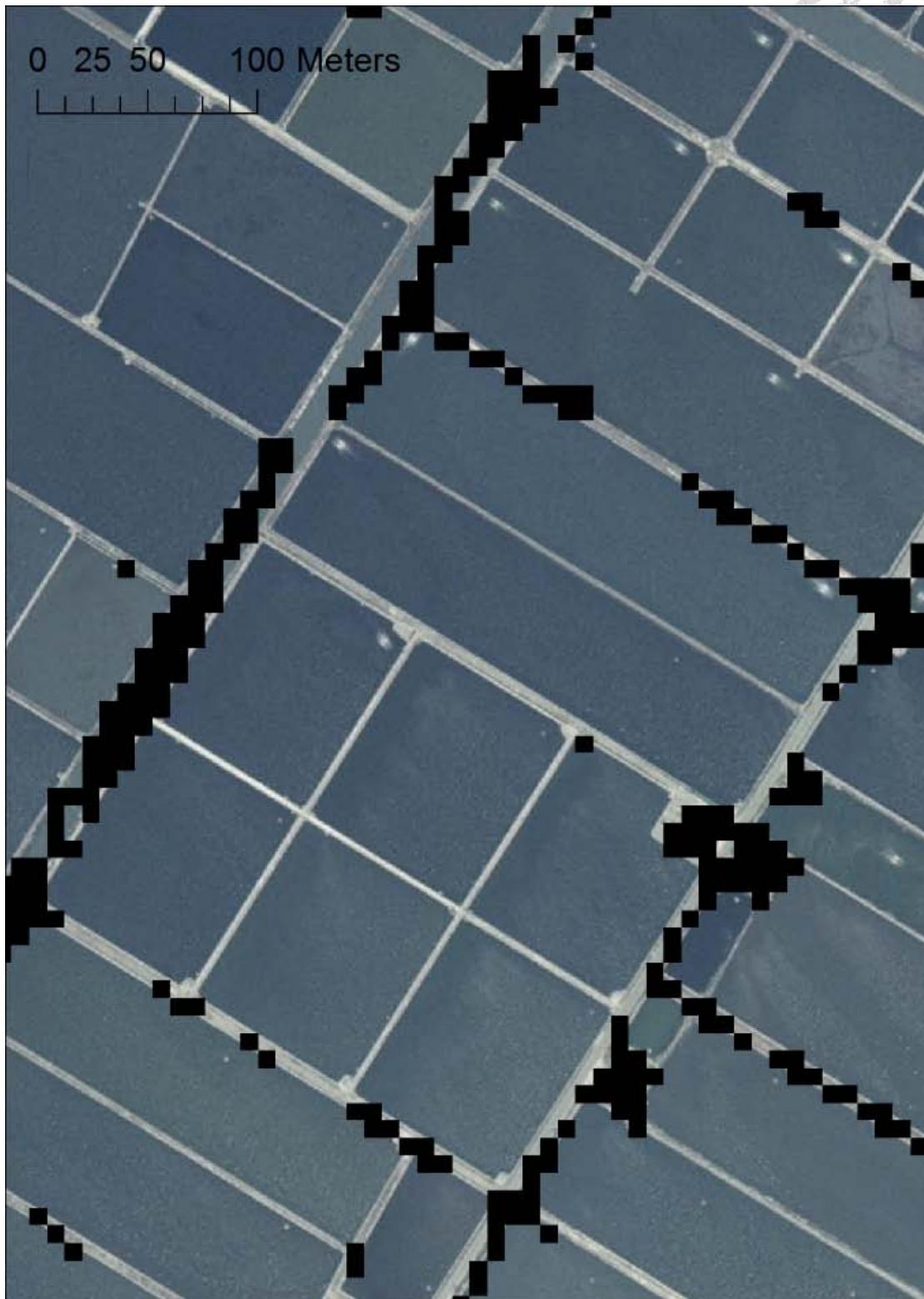
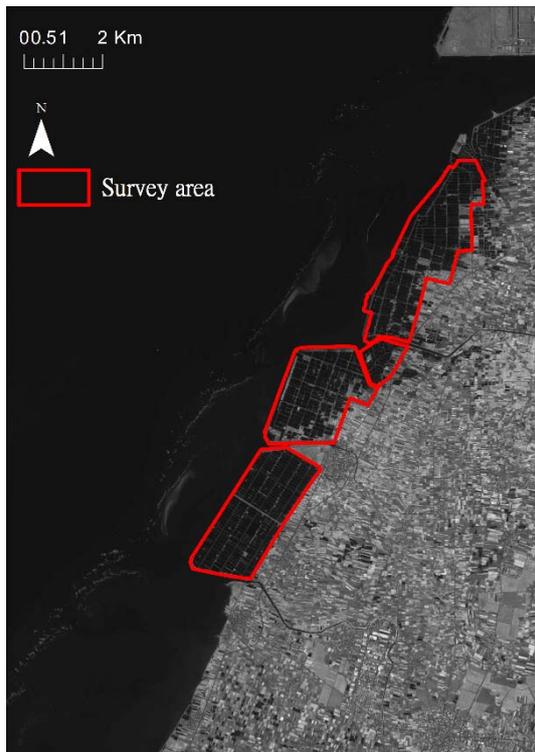


圖 4、NDVI 柵格圖。黑色柵格為有植被存在之區域，其 NDVI 介於 86~159 間。
底圖為農航所正射化影像

(a)



(b)



圖 5、最後裸露泥灘地範圍。(a) 福衛二號紅外光影像，拍攝於 2007 年 1 月 31 日滿潮前 40 分鐘，當日屬小潮。(b) 福衛二號可見光影像，拍攝於 2010 年 11 月 3 日滿潮前 1 小時 30 分鐘，當日屬大潮



圖 6、風大時岸鳥利用堤岸斜面避風貌

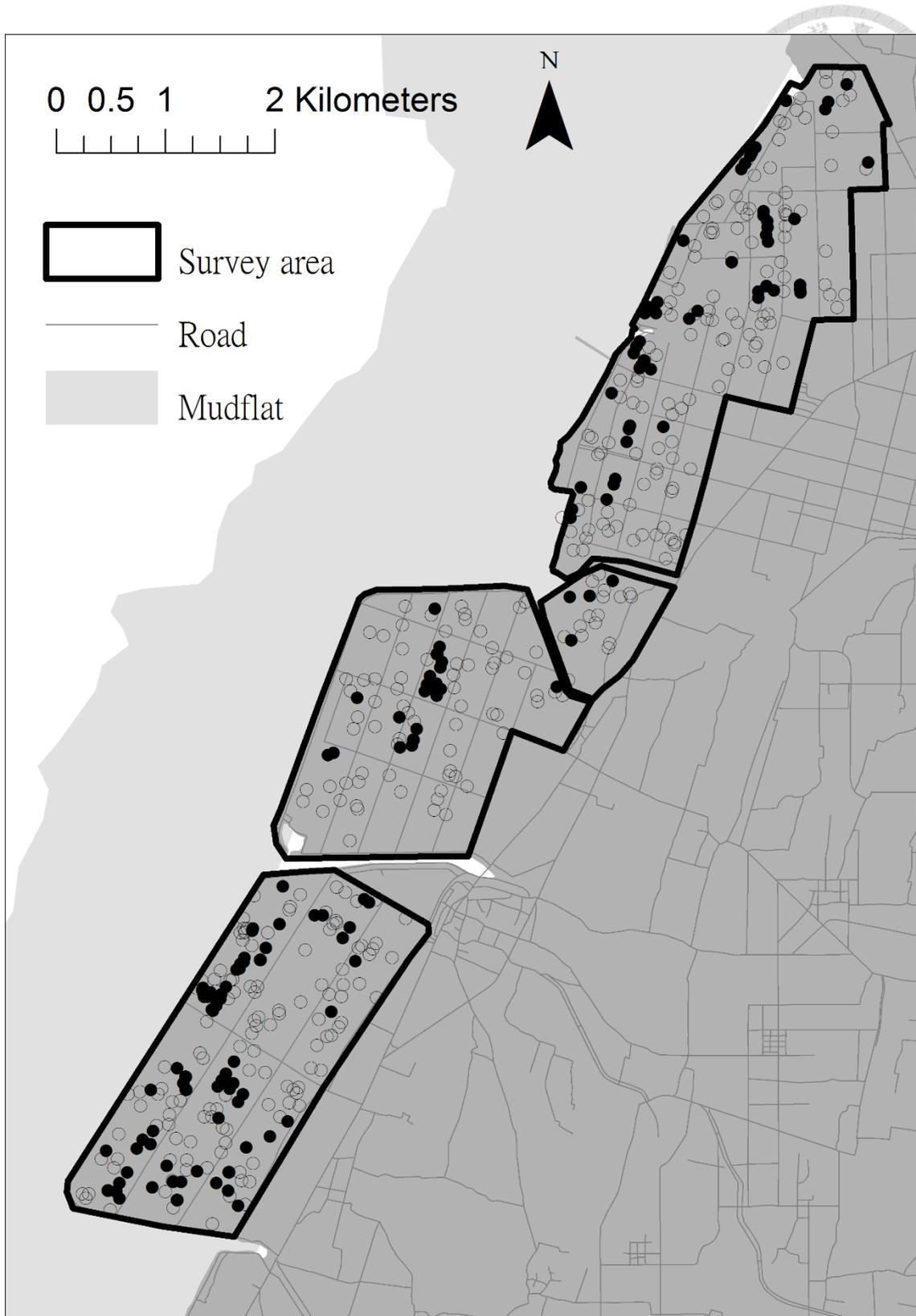


圖 7、所有岸鳥使用堤岸與整體堤岸樣本之空間分布。黑色實心圓為 147 條曾被岸鳥用來群棲的堤岸中心點位置，空心圓為 350 條代表整體堤岸樣本之中心點位置

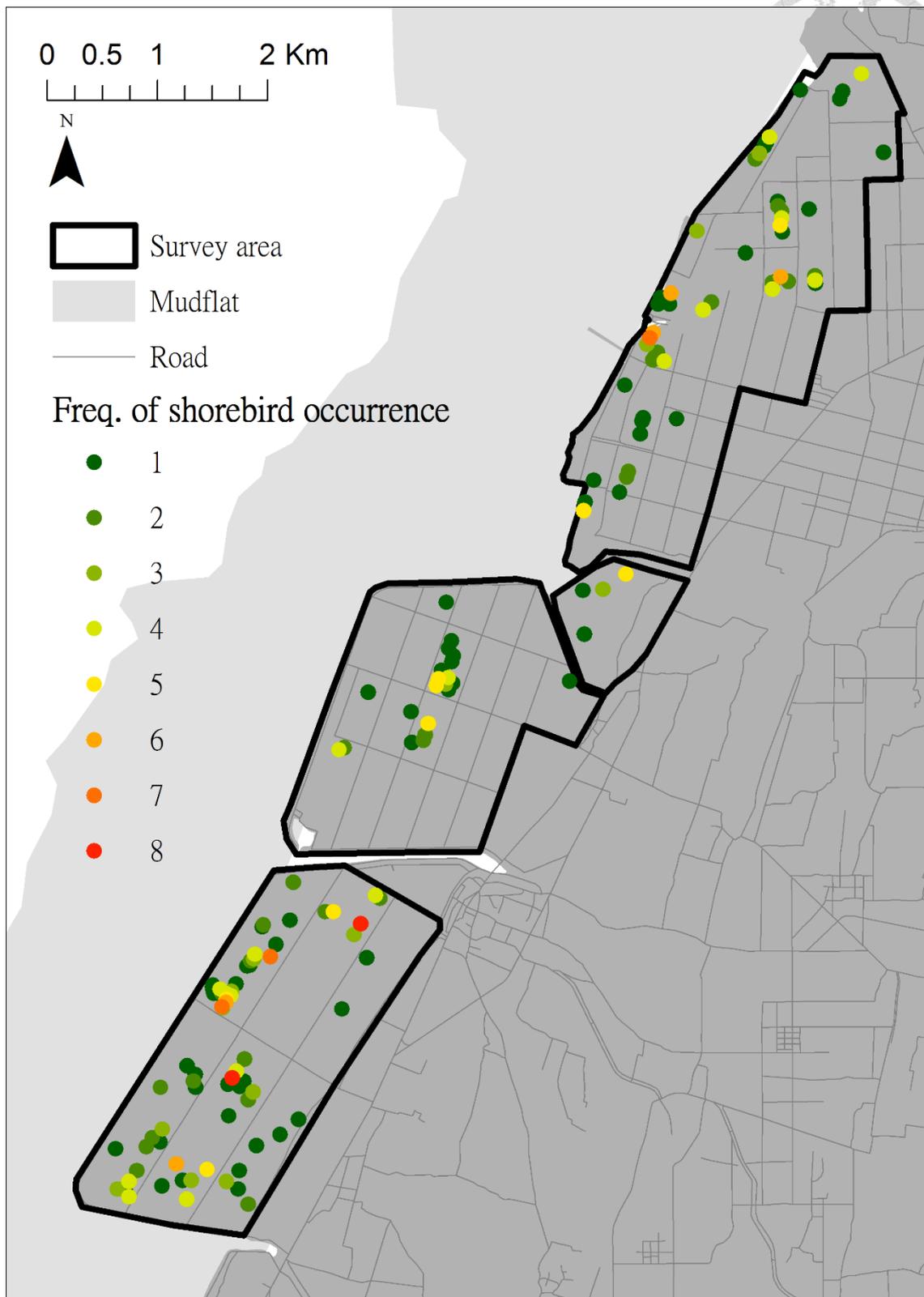


圖 8、岸鳥出現次數的空間分布。實心圓代表曾有岸鳥群棲的堤岸中心點，不同顏色代表 8 次調查中岸鳥出現的次數

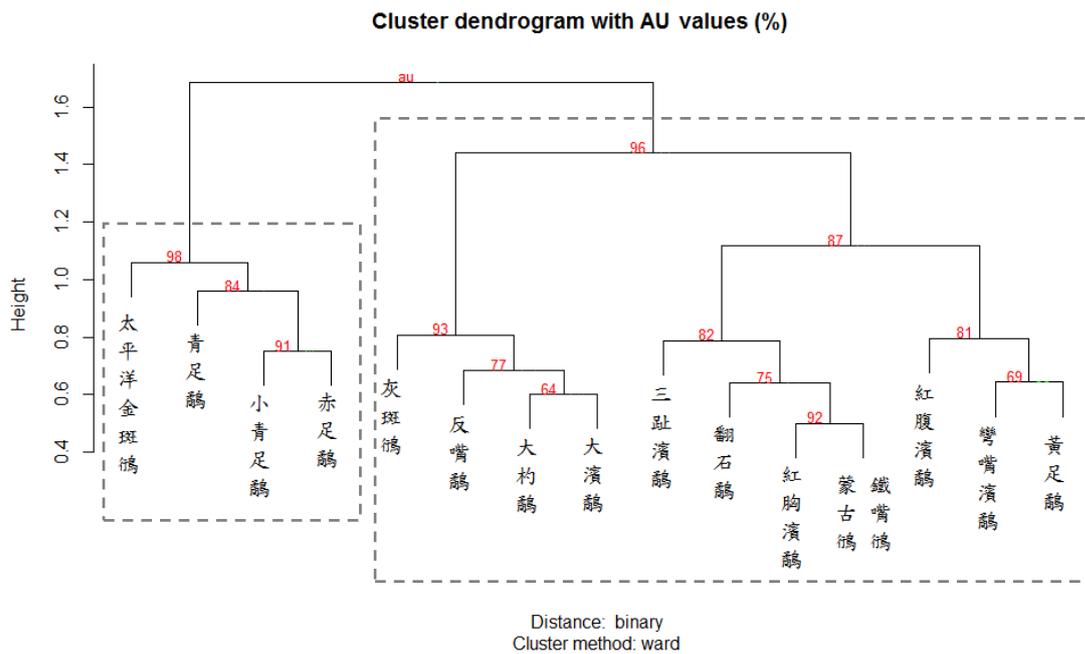


圖 9、小樣本數物種依使用堤岸相似度分群。依 $au > 95$ 的標準，可分成兩群。au 是由 multi-scale bootstrap resampling 算得之 p-value。當某群的 $au > 95$ 表示此分群由資料誤差所產生的機率小於 0.05，可信類此分群結果

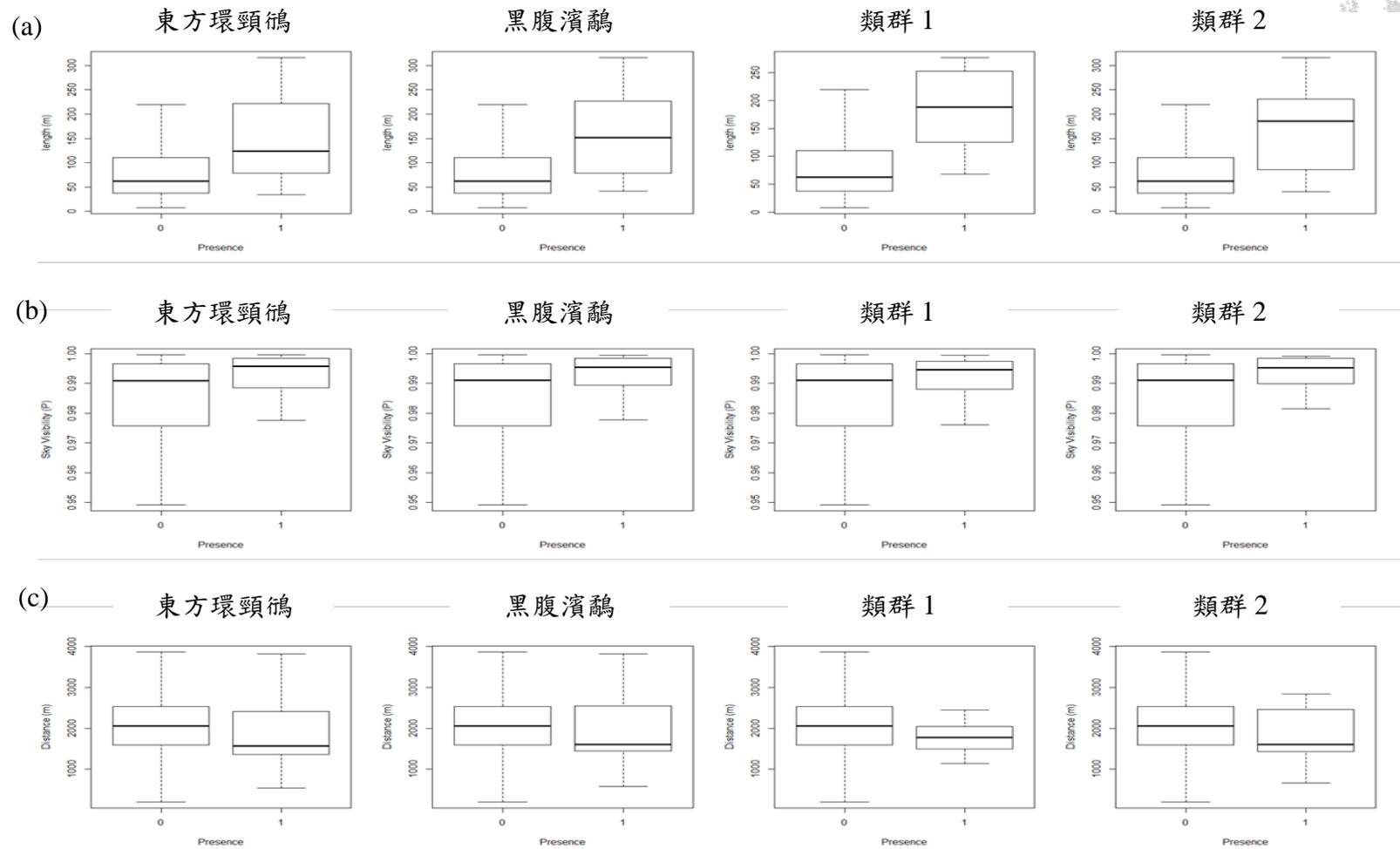


圖 10、各物種與類群所使用堤岸和整體堤岸的環境變數比較（連續變數）。橫軸的 1 代表使用堤岸，0 代表整體堤岸 (a) 堤長 (b) 天空能見度 (c) 覓食地距離

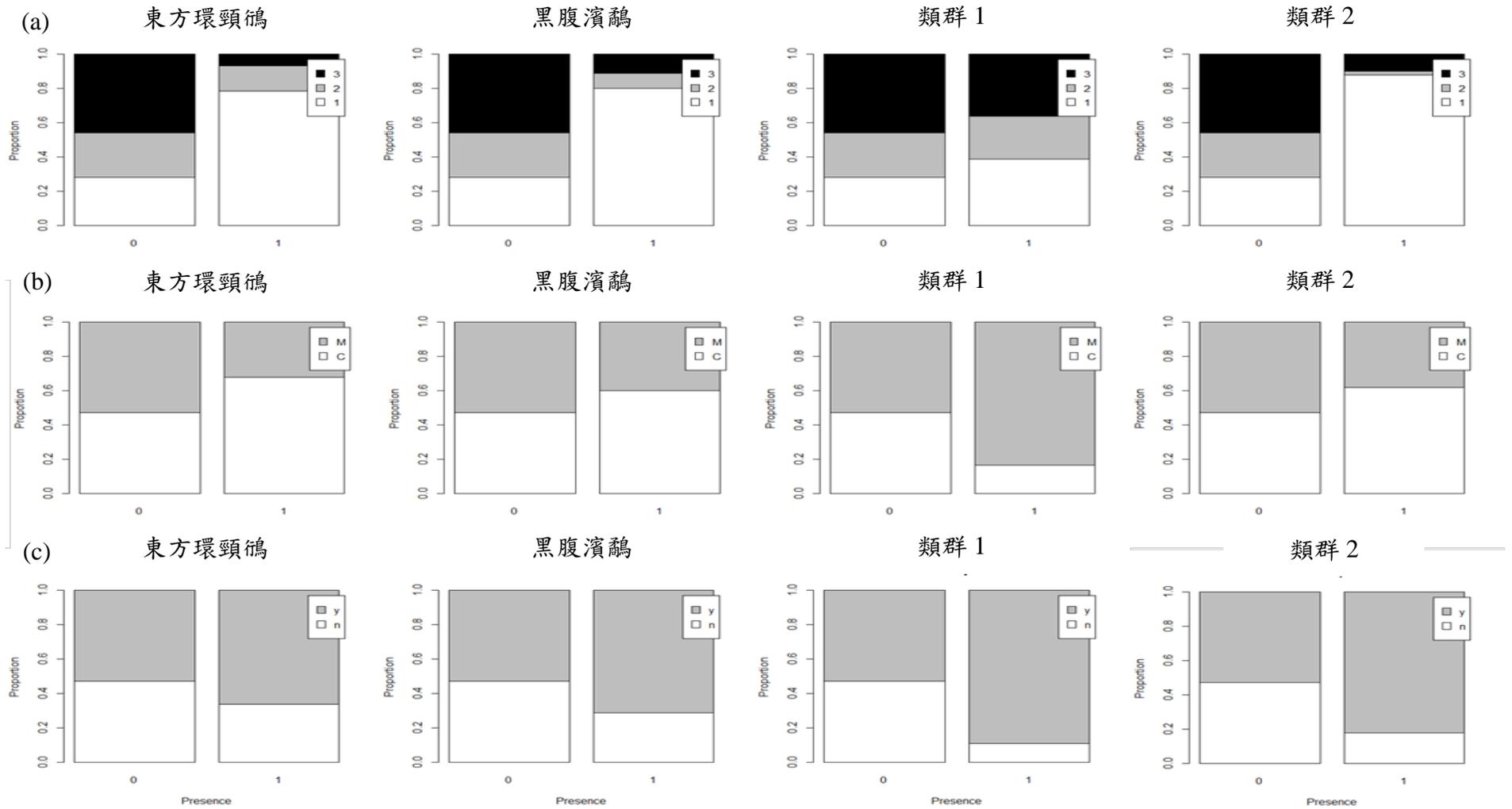


圖 11、各物種與類群所使用堤岸和整體堤岸的環境變數比較(類別變數)。橫軸的 1 代表使用堤岸, 0 代表整體堤岸 (a) 植覆等級, 1: 覆蓋面積比 0-33%, 2: 34-67%, 3: 68-100% (b) 底質種類, M: 土, C: 水泥 (c) 可否避風, y: 可, n: 否



表 1、六項魚塭堤岸環境變數

環境變數	描述	測量方式
掠食風險相關		
堤長	堤岸長度 (公尺)	遙測
天空能見度	以堤岸中心為中心的天空半球中未被遮蔽物遮住的天空所佔比例 (%)	遙測+實測
植覆等級	堤岸被植被覆蓋的面積比例，分成 3 等級： 0-33% (1)、34-67% (2)、68-100% (3)	遙測，以實測確認 認判別準確率
能量限制相關		
覓食地距離	堤岸中心點至滿潮前最後裸露泥灘地的最近距離 (公尺)	遙測
可否避風	堤岸的斜面可否避風，分成 2 類： 可 (y) 和否 (n)	遙測
底質種類	堤岸的材質，分成 2 類： 水泥 (C) 和土 (M)	遙測，以實測確認 認判別準確率

表 2、岸鳥調查結果。使用堤數為 2011 十月至 2012 五月的 8 次調查中，岸鳥總共使用的堤岸數，隻次為每次調查到數量之加總

物種	使用堤數	隻次	單次最大量	最大量月份
東方環頸鵒	103	20455	4838	12
黑腹濱鵒	80	14408	3070	3
鐵嘴/蒙古鵒	30	3280	1893	4
翻石鵒	25	4447	947	5
青足鵒	21	775	181	5
灰斑鵒	19	1182	256	2
紅胸濱鵒	15	936	768	3
太平洋金斑鵒	15	444	234	3
黃足鵒	13	1168	1168	5
三趾濱鵒	10	821	229	11
大杓鵒	8	2955	1120	12
大濱鵒	6	1506	1506	4
彎嘴濱鵒	6	185	169	5
反嘴鵒	5	164	131	4
赤足鵒	3	71	50	11
小青足鵒	2	44	44	11
紅腹濱鵒	2	81	81	5
所有物種	147	52922	9358	12
類群 1	36	1334		
類群 2	50	16725		

表 3、岸鳥群棲於堤岸之頻率分布

岸鳥群棲次數	堤岸數	百分比
1	67	46%
2	29	20%
3	14	10%
4	18	12%
5	9	6%
6	5	3%
7	3	2%
8	2	1%
	147	100.00%

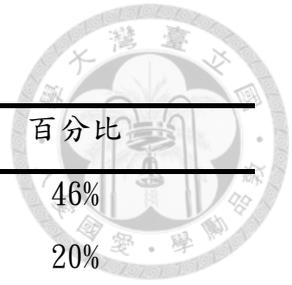


表 4、利用 Mann-Whitney U test 比較各物種與類群所使用堤岸和整體堤岸的環境變數結果。Np 為調查期間所使用堤岸數，Na 為整體堤岸樣本數

物種與類群	樣本數		堤長		天空能見度		覓食地距離	
	Np	Na	W	<i>p</i>	W	<i>p</i>	W	<i>p</i>
東方環頸鴿	103	350	26222	<0.001	23367	<0.001	13968	<0.001
黑腹濱鶇	80	350	21044	<0.001	18214	<0.001	11803	0.029
類群 1	36	350	10535	<0.001	7424	0.078	4683	0.011
類群 2	50	350	13592	<0.001	11596	<0.001	6967	0.020

表 5、利用 χ^2 test 比較各物種與類群所使用堤岸和整體堤岸的環境變數結果（類別變數）。Np 為調查期間所使用堤岸數，Na 為整體堤岸樣本數

物種與 類群	樣本數		植覆等級 (df=2)		底質種類 (df=1)		能否避風 (df=1)	
	Np	Na	χ^2	<i>p</i>	χ^2	<i>p</i>	χ^2	<i>p</i>
東方環頸鴿	103	350	88.03	<0.001	12.99	<0.001	5.07	0.024
黑腹濱鶇	80	350	74.14	<0.001	3.81	0.051	8.22	0.004
類群 1	36	350	1.97	0.374	11.08	<0.001	15.79	<0.001
類群 2	50	350	68.11	<0.001	3.29	0.070	13.96	<0.001

表 6、各物種與類群的出現機率全模式之合適度檢定 (Hosmer - Lemeshow test) 結果。N₁ 為有鳥堤樣本數，N₀ 為無鳥堤樣本數

Model	N ₁	N ₀	χ^2	df	<i>p</i>
東方環頸鴿	102	102	9.31	8	0.32
黑腹濱鶇	80	80	2.88	8	0.94
類群 1	36	36	4.09	8	0.85
類群 2	50	50	6.25	8	0.62

表 7、各物種與類群的出現機率全模式之殘差空間自相關檢定結果。 p_a 代表對原模式之殘差進行空間自相關顯著檢定之結果， p_b 則是新增一 Autocovariate 至自變相產生新模式後，對新模式之殘差進行檢定之結果。 N_1 為有鳥堤樣本數， N_0 為無鳥堤樣本數

Model	N_1	N_0	p_a	p_b
東方環頸鴿	102	102	<0.01	0.10
黑腹濱鶉	80	80	<0.01	0.21
類群 1	36	36	0.01	0.11
類群 2	50	50	<0.01	0.35

表 8、各物種與類群的出現機率全模式之變異數膨脹指數 (GVIF)

自變相\物種	東方環頸鴿	黑腹濱鴿	類群 1	類群 2
堤長	1.27	1.28	1.19	1.30
底質種類	1.13	1.20	1.11	1.17
可否避風	1.27	1.23	1.11	1.22
植覆等級	1.02	1.05	1.09	1.04
覓食地距離	1.14	1.09	1.15	1.17
天空能見度	1.02	1.03	1.03	1.06
Autocovariate	1.07	1.00	1.00	1.00

表 9、各物種與類群的模式選擇結果。此表顯示各物種所有可能之模式組合中， $\Delta AIC \leq 2$ 之模式。自變相中，有被納入模式之環境變數以 “+” 或迴歸係數表示，“NA” 代表未被納入模式。此表的 ω_i 為選出 $\Delta AIC \leq 2$ 之模式後重新計算的 Akaike weights，用於後續計算環境變數的相對重要性及平均係數

模式	覓食地 距離	堤長	植覆 等級	可否 避風	天空 能見度	底質 種類	Auto- covariate	常數	R ²	df	logLik	AICc	ΔAIC	ω_i
東方環頸鴿														
1	-0.00073	0.01356	+	NA	NA	+	155.17	0.71	0.71	7	-64.12	142.80	0.00	0.43
2	-0.00077	0.01216	+	+	NA	+	162.94	0.68	0.71	8	-63.81	144.37	1.56	0.20
3	-0.00096	0.01250	+	NA	NA	NA	152.56	0.88	0.70	6	-66.01	144.46	1.65	0.19
4	-0.00076	0.01331	+	NA	4.57	+	153.45	-3.73	0.71	8	-63.86	144.46	1.66	0.19
黑腹濱鵲														
1	NA	0.00818	+	NA	48.32	+	1032.31	-47.65	0.65	7	-56.97	128.68	0.00	0.54
2	-0.00032	0.00819	+	NA	47.16	+	1033.81	-45.95	0.66	8	-56.60	130.15	1.47	0.26
3	NA	0.00721	+	+	49.77	+	1034.12	-49.20	0.66	8	-56.83	130.61	1.93	0.20
類群 1														
1	-0.00095	0.00903	NA	NA	26.73	NA	962.37	-26.11	0.44	5	-35.48	81.87	0.00	0.40
2	-0.00105	0.00773	NA	NA	31.11	+	957.41	-30.62	0.46	6	-34.80	82.90	1.03	0.24
3	-0.00094	0.01055	NA	NA	NA	NA	933.89	-0.01	0.39	4	-37.26	83.12	1.26	0.21
4	-0.00101	0.00842	NA	+	27.26	NA	960.79	-27.02	0.45	6	-35.28	83.85	1.98	0.15
類群 2														
1	NA	0.01037	+	+	93.03	+	893.43	-94.63	0.75	8	-27.54	72.68	0.00	0.32
2	NA	NA	+	+	120.98	+	864.85	-121.51	0.73	7	-29.13	73.49	0.80	0.22
3	NA	0.01313	+	+	NA	+	896.98	-2.61	0.73	7	-29.31	73.85	1.17	0.18
4	NA	NA	+	+	111.75	NA	823.52	-112.51	0.71	6	-30.60	74.11	1.43	0.16
5	NA	0.00754	+	+	87.76	NA	835.36	-89.33	0.73	7	-29.72	74.67	1.99	0.12

表 10、各環境變數的相對重要性及平均係數。相對重要性為所有包含此環境變數的模式之 Akaike weights 加總。平均係數為環境變數於各模式中的標準化係數乘以 Akaike weights 之加總

環境變數	東方環頸鴿		黑腹濱鶉		類群 1		類群 2	
	相對重要性	平均係數	相對重要性	平均係數	相對重要性	平均係數	相對重要性	平均係數
堤長	1	2.13	1	1.39	1	1.42	0.62	1.17
天空能見度	0.19	0.06	1	2.42	0.79	1.25	0.82	4.15
植覆等級-2	1	-1.45	1	-1.19	0		1	-13.24
植覆等級-3	1	-3.01	1	-2.21	0		1	-1
覓食地距離	1	-1.08	0.26	-0.11	1	-1.46	0	
底質種類-土	0.81	-0.78	1	-1.67	0.24	0.16	0.72	-0.99
可否避風-可	0.2	0.09	0.2	0.07	0.15	0.06	1	2.3