



東海大學環境科學與工程學系

碩士論文

地貌變遷對鷓鴣科水鳥休息地之衝擊評估

-以彰濱工業區為例

Effect of Landscape Change on Long-term Shorebird Monitoring

Project at Changhua Coastal Industrial Park

研究生：林小仔

指導教授：陳維燁 博士

陳鶴文 博士

中華民國 107 年 7 月

東海大學碩士班研究生
論文指導教授推薦書

環境科學與工程學系林小仔君所提之論文

題目：地貌變遷對鸕鶿科水鳥休息地之衝擊評估-以彰濱工業區為例

Effect of Landscape Change on Long-term Shorebird
Monitoring Project at Changhua Coastal Industrial Park

係由本人指導撰述，同意提付審查。

指導教授：陳鶴文 (簽章)
陳維璋

107年7月7日

東海大學環境科學系碩士班

論文口試委員審定書

環境科學與工程學系碩士班林小仔君所提之論文

題目：地貌變遷對鸕鶿科水鳥休息地之衝擊評估-以彰濱工業區
為例

Effect of Landscape Change on Long-term Shorebird
Monitoring Project at Changhua Coastal Industrial Park

經本委員會審議，認為符合碩士資格標準。

論文口試委員召集人 程添芬 (簽章)

委員 程添芬

陳懿文

田孝威

陳維輝

中華民國 101 年 7 月 7 日

致謝

大學到研究所畢業大約五年的時間中，充滿著許多回憶，不論是大學四年與朋友一起讀書玩樂的時光或是在研究所期間和研究室的夥伴們互相幫助與學習，這些記憶都歷歷在目，彷彿前幾天才發生一樣；大三時未知的五年一貫生活與環境系統分析與管理研究悄悄地走入我的生活中，內心是充滿期待又害怕，讀書期間也遇到不少的挑戰與困難，很高興有指導教授陳維燁老師以及陳鶴文老師給我許多建議，幫助我學會邏輯性思考以及獨立解決問題的能力。

另外也很感謝研究室的助理鈺雯、曲廷、憶萍、姿吟、暉寶學姊、傢祥學長、蔣忠祐學長、硯勛學長在論文上的指導與協助，還有教導我學會 ERDAS 軟體和 GIS 的安哥、昱廷、大川，以及寫論文時期一起奮鬥的熊、Choco、欣宜，互相勉勵並督促彼此，對生活的瑣事特別的照顧以及包容我的壞脾氣，陪我度過研究生生涯中最艱難的論文製作時期。

最後，感謝我的家人在我求學的路上，無條件的支持我、鼓勵我，雖然因為忙碌不常回家也會擔心我有無吃飽睡足，但無時無刻的叮嚀與掛心，讓我能夠心無旁騖的專心在課業上，選擇自己想要的路。

摘要

台灣位於候鳥東亞澳遷徙路線之中心位置，其中彰化海岸擁有全台最大的潮間帶灘地，提供水鳥在過境、繁殖與度冬良好的棲息地，也是國際重要濕地之一。隨著工業發展，彰濱工業區的規劃與開發的過程，縮減了自然灘地以及休息地面積大小，造成該區域的鳥類數量減少、濕地重要性下降。而填海造地後雖然改變當地棲地類型，但閒置土地卻也形成鸕鶿科水鳥良好的休息地。因此，本研究為了瞭解彰濱工業區開發面積變動與鳥類族群變動的原因，利用衛星遙測影像辨識與地理資訊系統(GIS)判讀工業區歷年土地利用之裸露地面積變化，透過與歷年鳥類族群數量進行統計分析，探討地貌變遷對鳥類族群的變動影響。依據開發時程選擇 2003、2007 至 2011 及 2017 等七個年度進行監督式分類，結果發現，土地開發期間鳥類數量皆有大量減少再變穩定的趨勢。研究結果希望提供未來在水鳥休息地棲地面臨土地及工廠在開發時程參考，開發時應配合鳥類繁殖時節而調整以提供開發時程改善、鳥類復育棲地保護及生態補償方法之參考。

關鍵字：衛星遙測、水鳥、地貌變遷、監督式分類

Abstract

Taiwan is one of important site for shorebirds along the middle of the East Asian-Australasian Flyway (EAAF). There is the largest intertidal mudflat in Changhua coast, which provided the feeding habitats for shorebirds in migration and wintering seasons. With the economic development, the intertidal zone in Changhua coast disappeared due to reclamation in Changhua Coastal Industrial Park (CCIP) that caused shorebirds to leave mudflat and look for roosting site in inland area. However, extensive gravel land by reclaimed in industrial area was the best roosting sites before. Some gravel lands became factories and gravel lands by human development or natural succession and were no longer suitable for shorebirds. In order to understand the effect of landscape changes on shorebird populations, we use satellite remote sensing and unsupervised classification to analyze the area of land types of CCIP and compare monitoring data of shorebirds.

Key words: Remote sensing, Shorebirds, Landscape change, Supervised classification



目錄

致謝	I
摘要	II
ABSTRACT	III
目錄	IV
表目錄	VII
圖目錄	IX
第一章 前言	1
1.1 研究緣起	1
1.2 研究目的	3
第二章 文獻回顧	4
2.1 衛星遙測介紹與應用	4
2.1.1 資源衛星介紹	4
2.1.2 地表組成分類方法	5
2.1.3 衛星遙測應用	6
2.2 鸕鶿科水鳥介紹與重要棲地準則介紹	8
2.2.1 鸕鶿科水鳥介紹	8
2.2.2 重要鳥類棲地準則	9

2.3	休息地介紹	10
2.3.1	休息地重要性	10
2.3.2	休息地的選擇	11
2.3.3	休息地與棲地消失對水鳥的影響程度	11
第三章	研究樣區與方法	13
3.1	研究樣區	13
3.1.1	彰濱工業區開發時程簡介	14
3.1.2	崙尾工業區	15
3.2	研究架構	17
3.3	衛星影像處理	18
3.3.1	衛星影像選取與樣區切割	18
3.3.2	衛星影像辨識	20
3.3.3	精確度評估	23
3.4	數據與統計分析	27
3.4.1	鳥類數據收集	27
3.4.2	棲地面積與鳥類數量之關聯性	27
第四章	結果與討論	29
4.1	衛星影像辨識	29
4.1.1	監督式分類圈選訓練樣區	29

4.1.2 崙尾西區衛星影像辨識結果.....	34
4.1.3 切割後鷓鴣科水鳥主要停棲範圍.....	43
4.2 崙尾西區鷓鴣科鳥類數據分析	49
4.2.1 線性規劃	52
第五章 結論與建議.....	56
5.1 結論	56
5.2 建議	56
第六章 參考文獻.....	58



表目錄

表 2-1 分類方法比較表.....	6
表 3-1 彰濱工業區產業用地面積及公告租售概況.....	14
表 3-2 衛星名稱與影像時間.....	19
表 3-3 誤差矩陣表.....	24
表 3-4 KAPPA 係數分級表.....	26
表 4-1 FORMOSAT-2 取樣點資料.....	30
表 4-2 SPOT-5 取樣點資料.....	30
表 4-3 2003 年崙尾西區監督式分類精確度評估.....	35
表 4-4 2007 年崙尾西區監督式分類精確度評估.....	36
表 4-5 2008 年崙尾西區監督式分類精確度評估.....	37
表 4-7 2010 年崙尾西區監督式分類精確度評估.....	39
表 4-8 2011 年崙尾西區監督式分類精確度評估.....	40
表 4-9 2017 年崙尾西區監督式分類精確度評估.....	41
表 4-10 崙尾西區面積變化.....	42
表 4-11 鸕鶿科水鳥主要停棲範圍面積變化.....	44

表 4-12 崙尾工業區鳥類數量統計.....49

表 4-13 線性規劃方程式結果.....53



圖目錄

圖 2-1 鷓鴣科水鳥覓食地地形.....	10
圖 2-2 鷓鴣科水鳥休息地地形.....	11
圖 3-1 研究樣區.....	13
圖 3-2 崙尾區預計開發用地示意圖.....	15
圖 3-3 研究流程圖.....	17
圖 3-4 崙尾西區水鳥總族群數量統計.....	18
圖 3-5 衛星影像裁切前後示意圖.....	19
圖 3-6 訓練樣區選取示意圖.....	21
圖 3-7 合併樣本訓練區光譜值.....	21
圖 3-8 監督式分類示意圖.....	22
圖 3-9 地表分類結果示意圖.....	23
圖 3-10 精確度評估抽樣示意圖.....	26
圖 4-1 水體取樣範例.....	31
圖 4-2 建物取樣範例.....	31
圖 4-3 礫石地取樣範例.....	32
圖 4-4 防風林取樣範例.....	32

圖 4-5 植被取樣範例.....	33
圖 4-6 SPOT-5 土地類別取樣範例.....	33
圖 4-7 2003 年崙尾西區監督式分類辨識結果	35
圖 4-8 2007 年崙尾西區監督式分類辨識結果	36
圖 4-9 2008 年崙尾西區監督式分類辨識結果	37
圖 4-10 2009 年崙尾西區監督式分類辨識結果	38
圖 4-11 2010 年崙尾西區監督式分類辨識結果.....	39
圖 4-12 2011 年崙尾西區監督式分類辨識結果.....	40
圖 4-13 2017 年崙尾西區監督式分類辨識結果	41
圖 4-14 崙尾西區面積變化直條圖.....	42
圖 4-15 鷓鴣科水鳥主要停棲面積變化直條圖	44
圖 4-16 2003 年鷓鴣科水鳥主要停棲範圍辨識結果	45
圖 4-17 2007 年鷓鴣科水鳥主要停棲範圍辨識結果	45
圖 4-18 2008 年鷓鴣科水鳥主要停棲範圍辨識結果	46
圖 4-19 2009 年鷓鴣科水鳥主要停棲範圍辨識結果	46
圖 4-20 2010 年鷓鴣科水鳥主要停棲範圍辨識結果	47
圖 4-21 2011 年鷓鴣科水鳥主要停棲範圍辨識結果.....	47

圖 4-22 2017 年鷓鴣鴿科水鳥主要停棲範圍辨識結果 48

圖 4-23 鴿科鳥種與總鴿科族群統計圖..... 50

圖 4-24 鷓鴣科鳥種與總鷓鴣科族群統計圖..... 51



第一章 前言

1.1 研究緣起

近幾十年來，隨著工商業的發展以及都市擴張等因素使得人們對海岸資源的需求逐漸變大，也使得海岸地區的生態資源遭受到破壞，海岸資源的開發有許多形式，而編訂工業區是最主要的項目之一，根據經濟部工業局統計台灣地區的總工業開發面積為 79,182.94 公頃，其中彰化縣工業區面積佔全台灣地區總工業面積 11.42%，僅次於雲林地區排名第二，主要是兩大縣市都有大面積的工業區規劃開發，在雲林縣是雲林離島基礎式工業區，彰化縣為彰濱工業區。彰濱工業區北至大肚溪線西工業區，南至鹿港工業區，兩地皆緊鄰台灣中部重要的水鳥棲息地，對於水鳥來說，大多會聚集在海岸線，特別是大肚溪口的寬廣潮間帶以及周遭的溼地地形是水鳥在東亞澳遷徙路線上重要的過境停棲地與度冬地，停棲地的選擇包含裸露地、灘地、水池及岸邊，彰化濱海工業區內水鳥以鷸、鴿科為主，種類超過 20 種(中興工程顧問公司委託東海大學鳥類監測計畫，2015)。

Brown *et al.* (2000)提出影響鷸鴿科水鳥的族群量的主要原因為棲地的破壞與消失，原有濕地的改變，影響到原本利用濕地覓食與休憩的水鳥，閒置的土地卻也提供原本濕地所缺乏的地形(辜國展, 2005)，此外，海水潮汐現象也會影響鳥類行為模式，未漲潮時，裸露的泥灘地提供鳥類良好的覓食地；在漲潮時，海水淹沒泥灘地，會使水鳥會從覓食地離開尋找休息地，而在退潮時則從休息地回到覓食地(Hale, 1983)。彰化濱海工業區周圍以及附近大肚溪口的泥灘地吸引多種鳥類前來覓食，而鳥類族群中大多屬於遷徙性候鳥，其中以鷸鴿科水鳥為最大族群，鷸科(Scolopacidae)及鴿科(Charadriidae)的水鳥通常選擇平坦、貧瘠無植被或植被稀疏的環境，包括沿海潮間帶、河海口、卵石、礫石等地形築巢繁殖，彰濱工業區在填海造地後的土地閒置率高，有部分低窪的地區會有積水情況，且大面

積礫石地形環境正好符合鸕鶿科水鳥的棲地需求，且開發程度低、干擾程度小、距離覓食地近，卵石礫石形成的地表類型提供鳥類良好休息地與繁殖地。

工業區的施工建廠、人為活動、車輛與道路的增加以及環境污染等因素皆會直接或間接的影響地貌，使地貌環境改變，進而影響水鳥族群量的分布，由於目前台灣對於溼地的鳥類保護仍著重於鳥類覓食地，但鳥類休息地的重要性不亞於覓食地，卻相對較不被重視，覓食地通常位於河海口交界處，受到漲退潮影響一天通常僅會有數小時被淹沒，而休息地地貌如果受到環境汙染以及人為活動等因素干擾產生改變，則會使鳥類在覓食後漲潮期間沒有地方可以停棲，鳥類有可能會放棄在此區域覓食，而休息地除了提供水鳥在春秋過境的短暫棲息之外，在夏季也會有大量的族群利用繁殖，所以當休息地地貌改變時，遷徙性水鳥無法利用休息地進行繁殖，進而造成鳥類總族群數量減少。由此可知，休息地和覓食地對水鳥來說是同等重要，僅有良好的覓食地無法吸引水鳥到該區使用，必須同時附有良好的休息地，才會被水鳥利用(Battley *et al.*, 2003)。

因此本研究以彰化濱海工業區中開發程度較晚的崙尾工業區環境為樣區，利用衛星遙測進行地貌辨識，了解不同年度的地貌變化，並搭配中興顧問股份有限公司委託東海大學的鳥類調查計畫之鳥類數據以及工業區開發時程，探討地貌變遷對鸕鶿科水鳥族群的影響以及關聯性，透過研究成果對未來工業區的開發以及棲地復育等經營做建議。

1.2 研究目的

彰化濱海工業區的地理位置以及良好的棲地環境條件吸引眾多鳥類聚集，而影響鳥類數量的因素有棲地的消失與破壞、捕食者或天敵之攻擊、微氣候因子干擾、工業開發時程及程度，這些種種原因都會影響到遷徙性鳥類的數量，其中崙尾工業區相較其他區域的開發時程較晚，且填海造地後閒置的土地提供較為優勢的棲地類型，提供鳥類進行繁殖行為以及遷徙過程中暫時停棲的區域。

本研究為了瞭解崙尾工業區內棲地地貌的改變對鳥類族群變動的程度，透過鳥類數據調查以及不同年份的衛星影像圖，進行整合性分析，利用衛星影像辨識方法與地理資訊系統分析工業區歷年土地景觀獲取不同棲地類型之數據，以探討影響鸕鶿科水鳥之重要因素，以便於日後開發土地之參考依據。其內容如下：

1. 地貌改變(礫石地面積)與鳥類族群變動(滿潮休息數量)的關係。
2. 透過資料分析，探討彰濱工業區水鳥選擇滿潮休息地面積之最小參考值。
3. 藉由結果提供未來工業區執行棲地補償機制、復育規劃之重要參考依據。

第二章 文獻回顧

2.1 衛星遙測介紹與應用

衛星遙測(Remote Sensing)是指利用衛星(Satellite)、航空器等載具間接偵測目標物的電磁波輻射波長來獲取地球表面和大氣資訊的方法，衛星監測的內容包含氣溫、地表組成、地表高度；其應用範圍也廣，可以將獲取到的資料經過辨識、處理、分析後運用於災害監測、氣象監測、地圖繪製，土地規劃等，近幾年為了節省時間並及時且廣泛的研究地表變遷的狀況，衛星遙測已經成為目前主要的應用工具。

2.1.1 資源衛星介紹

資源衛星指的是用來探測地表自然資源的衛星，利用衛星上裝設的感測器接收地表輻射的不同波長獲取地表資訊，依照輻射來源的不同可以區分為光學衛星及雷達衛星兩種。光學衛星裝設的感測器是以被動式感測方法的衛星，儀器僅被動接收電磁波，就稱為被動遙測；雷達衛星則是主動發射電磁波並接受反射波，就稱為主動遙測。目前利用雷達來偵測地表及大氣地都屬於主動遙測。整體而言，衛星遙測有以下優點：

1. 廣域性

可拍攝樣區全景面積與相鄰的位置，大範圍取地表資料，根據太空及遙測研究中心公告，如福爾摩沙衛星二號之影像有 24*24 公里的取像範圍、SPOT-5 衛星影像有 60*60 的取像範圍。

2. 多光譜特性

依照測量儀器的不同，所測量之波長也不同，可選擇所需波段及光譜值製作不同主題性的應用。

3. 快速性

相較以往以人工的方式進行地面調查再紀錄的方法節省許多時間以及大量的人力資源，衛星影像可以迅速取得所需之影像。

2.1.2 地表組成分類方法

利用衛星遙測將地表組成做分類是目前最常見分類方法之一，其中像元式分類是最受到廣泛應用的，像元式分類主要是利用多光譜影像的像元(Pixel)進行計算與處理再分類成不同類別，主要分為監督式分類法與非監督式分類法近年由於地貌辨識的理論及技術進步，出現類神經網路分類法、次像元分類法及資料庫分類法(劉其輝, 2005)，詳細介紹如下，並將五種分類方法特性做統整性比較，如表 2-1 所示。

1. 監督式分類

主要是利用衛星收集地表真實反射的光譜資料進行辨識，因此需要先對資料做人工樣區的選取再進行數學函數的運算將地表做分類，優點在於利用人工辨識，因此準確度較為穩定，但花費時間會隨地貌複雜性的不同而有所不同，常用的數學函數包含最短距離法、平行六面體法、最大概似法等。

2. 非監督式分類

通常稱為聚類(Clustering)，主要是利用數學運算原理分析圖像的光譜像元，並依照光譜特性利用集群分析(Cluster Analysis)反覆計算使光譜達分離，優點為自動化程度高，花費時間短只需要設定一開始要分類的數目及最後人工合併類似區即可，精確度會因為地貌型態不同而有不同。常用函數有迭代自組織數據分析技術(ISODATA)及 K-means 演算法。

3. 類神經網路分類

此分類方法具有學習的功能且可以加入其他資訊輔助辨識，如空間資訊，主要是利用人工智慧的方法調整每單元間的連結，使網路達到功能，因模式的基本架構不同，有不同的發展特性，目前常用於影像分類的模式為倒傳遞類神經網路，

優點在於加入人工智慧方法輔助辨識因此精確度較以往方法高，但此方法須製作樣本檔案及範例檔案等，耗費的處理程序也相對複雜許多。

4. 次像元分類

類似於傳統多光譜監督式分類，也需要訓練樣區的圈選，不同的是需要依照固定程序進行特徵推導及分類，優點是可以將分類類別再細分以提高精確度，但因此技術還未完全成熟，操作上還有許多可討論的地方，穩定度也會因資料屬性而有不同。

5. 知識庫分類

收集專家的知識、經驗和經驗整合到知識庫中，透過邏輯推導的方式將資料轉換成電腦可以判讀的字元，轉換過程中可以將複雜的工作程序正規化變成明確的規則，是一個符合邏輯演算的方法且節省時間，但專家知識與經驗不易納入資料庫中且轉換過程受到操作員的認知及主觀性影響。

表 2-1 分類方法比較表

	監督式	非監督式	類神經網路	次像元	知識庫
花費時間	普通	短	長	長	長
操作難度	普通	低	極高	高	高
準確度穩定性	穩定	極低	穩定	不穩定	穩定
準確度	可	低	佳	佳	佳
可分類類別	依使用者自訂	無法自動判斷類別	依使用者自訂	針對單一類別細分	依使用者自訂

2.1.3 衛星遙測應用

地表組成的變遷及土地利用最常使用衛星遙測做研究，包含災害發生前後的

改變、植被的變遷、生態棲地的變化皆可以運用衛星影像遙測觀察歷年變化。根據研究方法及目的不同大致有以下分類：

1. 防災

風災與地震等的發生使位在板塊交界處的台灣發生土石流及山崩等自然災害，因此災前預防與災後重建等資料收集和分析是提供未來防災及裸露地變遷管理之重要參考依據。歷年研究採用監督式分類中最大似然法辨識 2004 年 8 月之福爾摩沙二號衛星影像 (FORMOSAT-2) 及利用高程差技術分析航空攝影測量 5m DEM 以及 LiDAR DEM 影像圖，最後再使用 GIS 套疊分析圈選崩塌的高危險區域及水土保持加強區域，以提供防災資訊(劉晃丞, 2006)；為了解 2009 年發生的莫拉克風災發生前後因河道破壞出現之大量裸露地面積變化量，採用監督式分類中最大概似法、馬式距離法與非監督式分類的 ISODATA 與 K 平均群集法，四種方法辨識 2009 年 1 月 16 日及 2009 年 10 月 31 日兩張福爾摩沙衛星二號的影像，比較總體精度結果顯示 ISODATA 法優於最大概似法，其次為馬式距離法，最後為 K-means 法，因此採用 ISODATA 法之辨識結果，其精確度分別為 90% 與 88.5%(王憶婷, 2016)。

2. 生態

墾丁國家公園周遭新開發觀光區及休憩地，以至於國家公園的棲地類型改變，為探討歷年棲地利用及地貌的變化選取 1988、1997、2001、2003、2009 之 SPOT 衛星影像以監督式分類進行研究，總體精確度皆達 90% 以上(陳朝圳, 2009)。

孟加拉國野生保護區使用監督式分類對該區 2005、2010、2015 三年森林面積變化進行辨識，總體經度皆達 80% 以上，有助於管理與規劃該區的生態保護園區的生物豐度與多樣性(Islam *et al.*, 2018)。

3. 土地變化

曾文水庫位於台南縣及嘉義縣交界處，總容量為全省最大之水庫，水庫集水區的因災後的崩塌狀況對水庫的利用具有極大影響，因此 1997 年有研究利用衛星遙測中最大概似法與貝式機率結合分類特徵及分散度指標，將曾文水庫衛星

影像圖分類。結果發現利用分散度幫助選取需要之訓練區可提高分類時的準確率，並高達 87% 以上(郭育全, 1997)。

2.2 鸕鶿科水鳥介紹與重要棲地準則介紹

2.2.1 鸕鶿科水鳥介紹

水鳥包含雁鴨科、鷺科、鷗科以及鸕鶿科等鳥類，其中鸕鶿科水鳥(shorebird)分成鸕科(Scolopacidae)鶿科(Charadriidae)兩種，外貌特徵為細長的腳，停留方式有度冬、春秋過境及留鳥，常利用漲退潮的灘地或濕地進行覓食，利用棲地類型因海水高低潮而有所不同，有灘地、河口、沙洲、沼澤及水田地帶，而彰濱工業區內主要棲地類型包含礫石地、灘地、水池及岸邊等，依照科別不同做以下介紹：

1. 鸕科(Scolopacidae)

廣布於世界各地，全世界共 23 屬 92 種，台灣有 17 屬 46 種，而彰濱工業區包含 27 種，大部分繁殖於阿拉斯加、俄羅斯等高緯度區域，度冬地主要在南半球，如澳洲地區，體長約 12 至 66mm，為中小型涉水岸鳥，在潮間帶、河口、沙洲等灘地覓食，如圖 2-2，主要食物以水生無脊椎動物及魚為主食，漲潮後會飛往高灘地、礫石地、魚塭及澤地等地區休息等待退潮。

2. 鶿科(Charadriidae)

分布於全球各地，全世界共 10 屬 66 種，台灣有 3 屬 12 種，而彰濱工業區包含 6 種，主要食物包括昆蟲、蠕蟲和其他無脊椎動物，體長約 12 至 38mm，屬於中小型涉水岸鳥，鶿科繁殖行為、生活習性與鸕科相似。目前有繁殖紀錄之鶿科水鳥為東方環頸鶿以及小環頸鶿兩種(東海大學環境科學與工程學系, 1997-2017)。

2.2.2 重要鳥類棲地準則

在海岸環境棲息的鳥類以棲息於溼地環境最多，其中數量最多的是鸕鶿科水鳥，大部分鸕鶿科水鳥主要屬於候鳥，會隨不同季節有遷徙行為發生，為了保育遷徙性候鳥，國際鳥盟(Bird Life International)提出重要鳥類棲息地(Important Bird Area ,IBA)的概念，通常重要鳥類與生物多樣性地區具有以下特徵(Gilbert Pearson, 1922)：

- (1) 對保護鳥類與其他生物多樣性具有國際意義的地方
- (2) 被世界公認具保護落實工具
- (3) 適用於實際保護行動的特殊區域
- (4) 使用完整標準化準則並進行辨別
- (5) 結合廣泛的方法以保護及可持續利用的自然環境

重要鳥類與生物多樣性地區的選定是由各國家內部專業組織根據國際鳥盟頒布的準則評定一個或多個重要鳥類保護區(David Li Zuo Wei *et al.*, 2009)。依照 IBA 國際共用的劃設準則，共區分為四大類：

A1 準則:全球受威脅的物種(Globally Threatened Species)

該地區通常會有大量全球受威脅物種或其他全球保護物種，其物種記載在於 1988 年國際鳥盟所頒布的 IUCN 鳥類紅皮書中(目前最新版本更新到 2017 年)，如大杓鷗、黑腹濱鷗及斑尾鷗。

A2 準則:受限範圍的物種(Restricted-range Species)

該地區主要族群為受限範圍物種，該物種活動範圍小且對環境依賴度很高，該區域將定義為特有鳥種區或次要區。例如台灣特有鳥類。

A3 準則:生物群落限制物種(Biome- restricted Assemblages)

保護對象為特定生態族群且該族群只選定特定生態環境棲息。

A4 準則:群聚性鳥種(Congregations)

該地區定期擁有大量水鳥且數量達遷徙線族群 1% 以上或總數量超過兩萬隻水鳥且種類超過一種以上，如大量春秋過境或度冬候鳥，如黑腹濱鷗、翻石鷗。

2.3 休息地介紹

2.3.1 休息地重要性

海水漲退潮會影響到水鳥活動模式，在低潮時水鳥會在潮間帶的泥灘地上覓食(如圖 2-1)，但漲潮時隨海水逐漸覆蓋泥灘地，水鳥會選擇未被潮水覆蓋的灘地或飛往內陸停棲休息(如圖 2-2)，一個良好的休息地，又稱為暫時停棲地(Stopover)可以使水鳥減少能量消耗、降低被捕食的機率(Hale, 1983; Rogers *et al.*, 2006a)，但是水鳥休息地的選擇以及休息地與特有環境、生物因子與人為活動等之間的關聯性較少人研究(Rehfishch *et al.*, 1996)，因此研究水鳥休息地的選擇是相當重要的。

Studds *et al.* (2017)研究指出，中國黃海遷徙族群受到人為活動及全球變化的影響，而遷徙過程中的休息地如何影響物種遷徙的因素鮮少被研究，為了瞭解影響因素因此利用科學數據評估在黃海潮間帶休息的水鳥數量，比較遷徙距離、繁殖地範圍大小或鳥種體型等因素，結果顯示當地休息地面積縮減達 65% 以上，是影響水鳥數量最重要的因素，因此可得知中途停留棲息地的變化會嚴重影像水鳥族群的變化。



圖 2-1 鸕鶿科水鳥覓食地地形



圖 2-2 鵲鴿科水鳥休息地地形

2.3.2 休息地的選擇

水鳥對於休息地的選擇可能受到許多因子影響，包含能量的消耗、獵食者的攻擊、食物豐度以及棲地偏好(Rogers *et al.*, 2006b; Gillespie Caitlyn R., 2017)，其中主要影響水鳥選擇休息地的原則有兩大項，一是能量消耗低，水鳥在遷徙時需要大量的能量消耗，因此為了節省能量，會選擇距離覓食地相近的地方作為休息地(Wiersma and Piersma, 1994)，但是如果還有其他因素如干擾較低、當地微氣候等都有可能影響到水鳥休息地的選擇；二是捕食機率，捕食者的捕食動作可能導致水鳥驚飛，而攻擊行為會是水鳥容易受傷，甚至嚴重一點會使水鳥放棄原本的休息地(Rogers *et al.*, 2006b)。

Piersma *et al.* (2006)在阿拉斯加的研究顯示，當地潮間帶地形吸引水鳥與貓頭鷹棲息，但由於獵食者的干擾對水鳥活動時間及範圍有很大的影響，因此水鳥主要集中在白天覓食與休息，夜晚則是避開獵食者的活動區域棲息，並形成一個生態循環。

2.3.3 休息地與棲地消失對水鳥的影響程度

近年來有許多研究顯示許多水鳥種類面臨重大棲地喪失的危機，包括人為干擾以及不同形式的棲地退化造成的威脅，如汙染、獵物資源耗竭、肉食性動物增加等因素都會造成水鳥族群量持續遞減，由於種種影響因素會持續發生，因此必

須採取相關保護措施，如棲息地變化控管及棲地復育等方式，並解決其他威脅，防止水鳥數量瀕臨絕種的危機(Brown *et al.*, 2000)。

Gary L. Sprandel *et al.* (1997)在佛羅里達的研究指出在非繁殖區域，當地水鳥生活在開闊的環境，長期暴露在寒風中，能量消耗迅速，且春季時需要長途遷徙往返繁殖地，並進行繁殖，因此度冬族群的水鳥需要在遷徙前攝取大量的脂肪及增加肌肉組織以維持良好狀態。而棲地的開發、污染人為干擾等會導致部分區域水鳥密度增加，以及覓食成功機率降低。

J. D. Goss-Custard *et al.* (1991)在英國研究也指出，長時間或短時間的棲地改變會影響到水鳥族群的數量，造成水鳥密度增加、競爭增加、鳥類族群重新分布，甚至個體死亡的情況發生。



第三章 研究樣區與方法

3.1 研究樣區

本研究樣區位於彰化濱海工業區中的崙尾西區，如圖 3-1，其經緯度座標為(24°07'29.0"N,120°24'39.0"E)，區內目前已造地面積為 744 公頃，公共建設除 2006 年建造的數座風力發電機及 2017 年進駐的台灣電力公司承包的太陽光電新建工程外並無其他廠商或工程進駐開發。



圖 3-1 研究樣區

3.1.1 彰濱工業區開發時程簡介

彰化濱海工業區位在彰化縣西部海岸地區，北至大肚溪線西工業區，南至鹿港工業區，隨著彰濱工業區因應產業發展需要，於 1977 年政府核准編定為工業用地，1979 年開始抽砂填海造陸，使得灘地面積逐漸縮減與消失，1981 年因為面臨經濟危機而暫緩施工，於 1987 年經濟景氣逐漸好轉，隔年行政院指示保留用地的線西、崙尾、鹿港三區，視需要分期開發並使用管理，1992 年通過環境影響評估審查，由經濟部工業局辦理開發工作，採分期分區的方式進行開發，據工業產業網站統計，彰濱工業區預計總開發面積為 3643 公頃，目前完成造地面積 2587 公頃。根據彰濱工業區服務中心統計(統計至 105 年 7 月底)顯示，開發中工業區土地銷售量如表 3-1，此表顯示出租售比例皆有八成以上，鹿港工業區已造地完成。

表 3-1 彰濱工業區產業用地面積及公告租售概況

單位：公頃

區別	造地面積	產業用地面積	產業用地面積					
			已公告	已租售	已公告 未租售	租售/ 已公告	已造地 未公告	未造地
線西	703	642	461	461	0	100%	0	170*
崙尾	744	722	179.3	151.9	27.4	84.71%	244	299
鹿港	1,150	810	707.7	635.1	72.6	89.74%	102	0
總計	2,597	2,174	1,348	1,248	100	92.58%	346	469

3.1.2 崙尾工業區

1. 崙尾工業區概述

依經濟部工業區產業公告得知，至 2017 年 3 月止，崙尾西區已完成造地工程，公共設施部份則尚未施工，面積約 744 公頃；崙尾東區尚未完成造地，規劃面積約 600 公頃，相較其他區別，崙尾區整體開發較晚，自 1995 開始填土，至 1999 年填土完成，在工廠尚未進駐前，土地將會呈現閒置狀態，加上某些低窪地區會因降雨而積水，這些土地類別提供水鳥暫時性的休息地。

根據產業公告，區內規劃成四大區域，其中包含金屬表面處理專區、電鍍專用處理區、環保用地預定地及太陽能光電區如圖 3-2，並響應 2013 年環境影響評估審查委員會提出應進行棲地補償措施，預計於海洋公園區進行此項措施(彰化海岸生態調查監測計畫，2015)。近期，閒置已久的崙尾西區於 2017 年公告出售，目前進駐廠商僅一家為台灣電力公司，並籌劃設置彰工電廠，設置太陽光光電發電系統，預計 2019 年 10 月完工。



圖 3-2 崙尾區預計開發用地示意圖

2. 歷年研究

崙尾西區開發後閒置的寬闊礫石地及少量植被生長的地形，除了提供鷓鴣科水鳥暫時休息地之外，礫石地環境對鷓鴣科水鳥來說適合地面築巢，形成重要的繁殖地。工業開發、植被生長、地表覆蓋度及因東北季風吹拂造成地貌改變，種種因素都與鳥類數量的增減息息相關。因此有許多相關研究皆選擇此區作為研究樣區，研究題材如下：

(1) 繁殖孵化率

探討 1998、1999 兩年工業區內影響東方環頸鴉(Kentish plover)與小燕鷗(Little Terns)築巢的棲地選擇及影響鳥類繁殖原因並對工業區內進行繁殖地調查，發現孵化成功率變化落差大，而梅雨季的降雨也是影響孵化率的因素之一(劉威廷, 2002)。

另外，2007、2008 兩年小燕鷗(Little Terns)孵化率之研究中，發現在巢位棲地選擇上以礫石地有較高的孵化率，而 2007 年主要地形為沙丘為主，經研究發現除了降雨淹水的原因會影響孵化率之外，其他原因可能為人為干擾、結構不穩定及溫度變化等因素(洪崇航, 2009)。

(2) 活動範圍

2003 年 4 月至 2004 年 8 月為止，利用無線電追蹤方式討論東方環頸鴉活動範圍與繁殖期在巢時間，結果發現夜間活動範圍均較日間大，藉由活動範圍亦可得知活動範圍內的淡水水域利用率極高，是重要的覓食地。透過結果建議繁殖復育方法為在親鳥主要活動範圍內增加或提供水域環境，將會滿足繁殖期間的覓食需求以便提高繁殖成功率及密度(辜國展, 2005)。

(3) 風力發電

在 2005 至 2007 年三年間包含鳥類繁殖期與非繁殖期，設置的風力發電機建造前後與運轉期間之間的比較，結果顯示水鳥族群減少 25%、風力發電機運轉期間鳥類飛行路線也遠離 100 公尺以上，也有因運轉期間發生碰撞傷亡的鳥類(施月英, 2007)。

3.2 研究架構

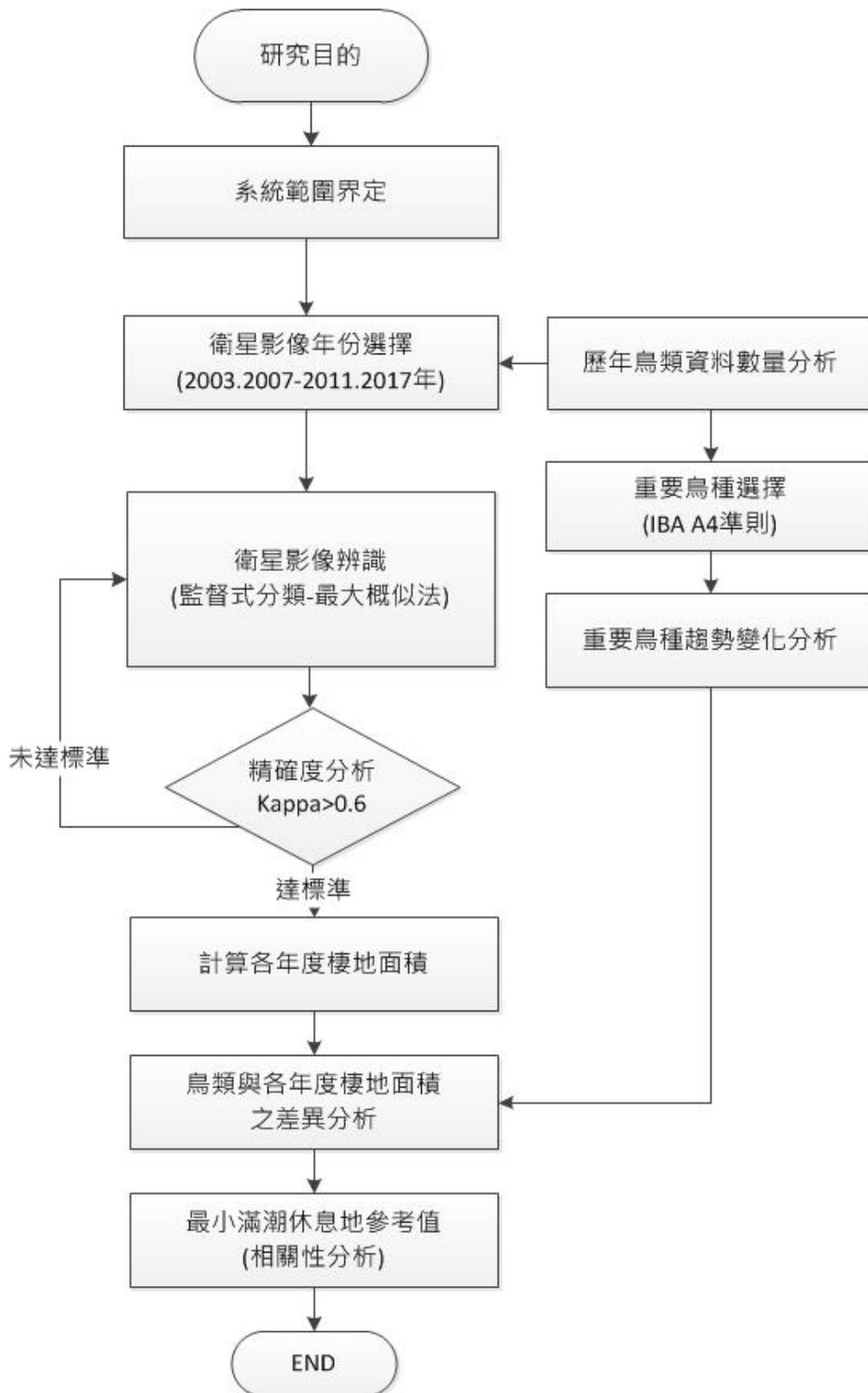


圖 3-3 研究流程圖

3.3 衛星影像處理

3.3.1 衛星影像選取與樣區切割

本研究目的在探討彰化濱海工業區中崙尾西區之鳥類族群變動與地貌改變的關係，在選擇衛星影像年份上考慮崙尾西區歷年鳥類族群波動(如圖 3-4)、衛星影像時間與空間解析度及工業區重要開發時程，選擇使用影像能涵蓋整個彰化濱海沿岸及空間解析度為 2.5m*2.5m 及年度為 2007 至 2011 與 2017 年的 FORMOSAT-2 衛星影像作為分析數據的來源，因 FORMOSAT-2 是於 2004 年開始運作，故 2003 年的衛星影像圖層採用空間解析度為 10m*10m 的 SPOT-5 衛星，再使用衛星遙測影像處理軟體 ERDAS IMAGINE 2013 將研究樣區從彰化濱海工業區中切割出來，如圖 3-5，再以監督式分類進行地表辨識，並隨機抽樣測試精確度，衛星影像詳細資訊如表 3-2 所示。



圖 3-4 崙尾西區水鳥總族群數量統計



衛星影像原圖



裁切後衛星影像圖層

圖 3-5 衛星影像裁切前後示意圖

表 3-2 衛星名稱與影像時間

年份	日期	衛星名稱	解析度(m)	資料來源
2003	6 月 21 日	SPOT-5	10*10	中興顧問股份有限公司
2007	10 月 18 日	FORMOSAT-2		自行購買
2008	11 月 12 日	FORMOSAT-2		自行購買
2009	11 月 27 日	FORMOSAT-2		自行購買
2010	10 月 16 日	FORMOSAT-2	2.5*2.5	自行購買
2011	10 月 16 日	FORMOSAT-2		自行購買
2017	4 月 12 日	FORMOSAT-2		中興顧問股份有限公司

3.3.2 衛星影像辨識

衛星影像是由衛星接收地表多種光譜特徵反射後形成個別像元(pixel)所組合而成的圖像，衛星影像辨識則是將影像中不同的光譜特徵進行分類，利用真實地表資訊的光譜特性為根據進行其他未知區域影像空間的光譜辨識；辨識方法中最常見的衛星影像辨識技術大致分為兩大類，一是監督式分類法(Supervised Classification)，二是非監督式分類法(Unsupervised Classification)。由文獻及分類方法比較之後的結果，為了使辨識精確度較為穩定且快速，因此採用監督式分類中最大概似法(Method of Maximum Likelihood)做為本研究辨識地貌變遷的方法，針對本研究所選取的監督式分類介紹如下：

1. 監督式分類法(Supervised Classification)

衛星影像分類法中，監督式分類法主要是利用地表真實資料(已知地表覆蓋類型)進行光譜辨識，所以應先針對研究對象或地區，採取樣本以建立分類標準或分類規則，爾後依此標準進行影像分類，是一種受控制及監督的影像類別辨識方法，優點為因為是利用人工辨識選擇訓練樣區，因此辨識精確度較為穩定，但花費時間較長。監督式分類法可分以下三大步驟：

(1) 訓練樣區選取

利用人工的方式圈選已知地貌作為樣本訓練區(Training Areas)，以所選取的訓練區為基礎計算光譜值，如圖 3-6，此步驟是非監督式分類法所缺少的，主要目的可以降低完全依賴電腦分析地表組成中混和像元的誤差值。訓練區樣本數適合以圖像之波段數的 10~100 倍的像元素作為訓練樣本(林金樹, 2001)，由於衛星圖層之波段為紅光、綠光與藍光三個波段，而本研究樣區內類別有水體、礫石地、建物、防風林以及植被五種土地類型，因此將樣區分為此五種土地類別，並將各分類類別將各選取 40 個訓練樣本，共 200 個訓練樣本區，最後再將 200 個訓練樣本的光譜值合併(Merge)為五個訓練樣本(圖 3-7)以此作為分類演算的基礎。

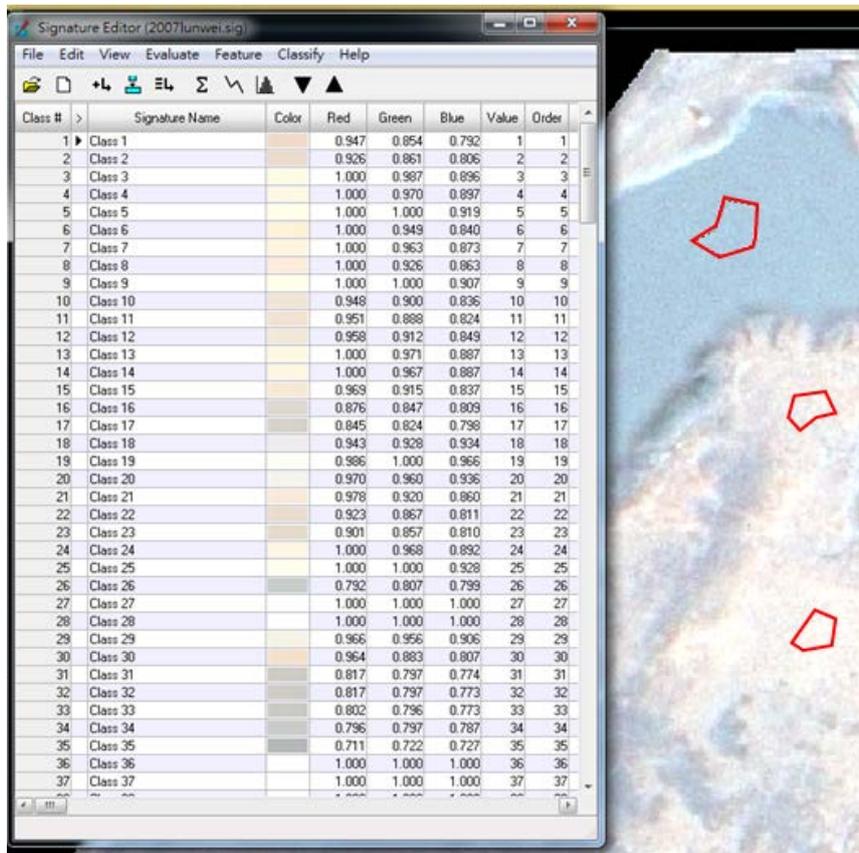


圖 3-6 訓練樣區選取示意圖

Class #	Signature Name	Color	Red	Green	Blue	Value	Order	Count	Prob.	P	I	H	A	FS
1	building		0.985	0.935	0.867	241	241	1626	1.000	✓	✓	✓	✓	
2	water		0.774	0.816	0.798	242	242	2768	1.000	✓	✓	✓	✓	
3	windbreak		0.647	0.683	0.707	243	243	3767	1.000	✓	✓	✓	✓	
4	grass		0.714	0.722	0.730	244	244	3377	1.000	✓	✓	✓	✓	
5	gravel land		0.848	0.808	0.775	245	245	2968	1.000	✓	✓	✓	✓	

圖 3-7 合併樣本訓練區光譜值

(2) 分類演算

以訓練樣區所計算的光譜值作為基礎準則，利用特定的辨識函數辨識除了訓練樣區以外的未知樣區，常用的函數有最大概似法、最短距離法與平行六面體法。本研究選擇使用函數為最大概似法，最大概似法做法為取得各像素(或稱資料點) (x_1, x_2, \dots, x_n) 後從中找到估計值，並在所有估計值中尋找最大可能性的值，監督式分類示意圖如圖 3-8 所示，優點在於圈選的訓練區數目愈多則精確

度越高，但此方法容易搞混在地貌組成邊界的混和像元，最大概似法公式如下：

$$L(\hat{\theta}(x)|x) = f(x|\hat{\theta}(x)) = \max\{f(x, \theta), \theta \in \Omega\} = \max\{L(\theta, x), \theta \in \Omega\}$$

其中：

$\hat{\theta}(x)$ ：估計值(estimated value)

θ ：參數(parameter)

x ：資料點(data point)

f ：函數(function)

L ：似然函數(likelihood function)

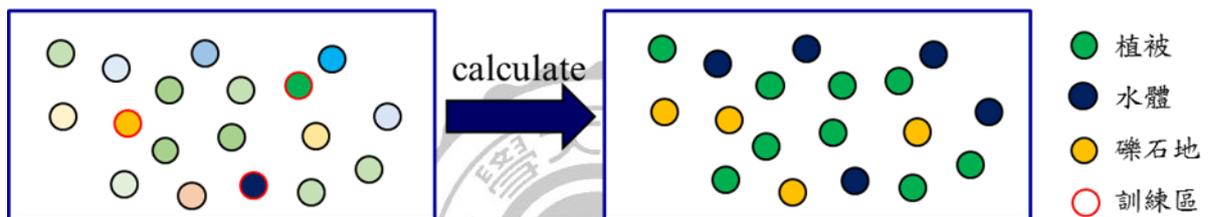


圖 3-8 監督式分類示意圖

(3) 輸出

影像經運算過後，辨識結果(如圖 3-9)將以主題圖的形式、不同地貌類型的分類統計表或是用於軟體如地理資訊系統(Geographic information systems ,GIS)的記錄方式輸出(Lillesand, 2000)。



圖 3-9 地表分類結果示意圖

3.3.3 精確度評估

地表分類的過程中可能會有分類錯誤的情況產生，特別是在像元的光譜值是介於模糊地帶時，因此為了準確評估實地探勘之真實地貌與衛星影像圖層的差異度，衛星遙測圖層經過辨識後必須用精確度評估才能得知影響圖層的分類結果是否有達到使用者的需求，本研究使用目前最常被使用的精確度評估方法誤差矩陣(Error Matrix)，如表 3-3 所示，作為監督式分類後評估方法。

表 3-3 誤差矩陣表

真實地貌 分類結果	A	B	C	...	總計	使用者精度 x100%
A	X_{11}	X_{12}	X_{13}	...	X_{ni}	$\frac{X_{ii}}{\sum_{i=1}^n X_{ni}}$
B	X_{21}	X_{22}	X_{23}	...	X_{ni}	
C	X_{31}	X_{32}	X_{33}	...	X_{ni}	
⋮	⋮	⋮	⋮	X_{ii}	⋮	
總計	X_{in}	X_{in}	X_{in}			
生產者精度 x100%						$\frac{X_{ii}}{\sum X_{in}}$
總體精度 x100%	$\frac{\sum_{i=1}^n X_{ii}}{N}$ Kappa					$\frac{N \sum_{i=1}^n X_{ii} - \sum_{i=1}^n (X_{in} \cdot X_{ni})}{N^2 - \sum_{i=1}^n (X_{in} \cdot X_{ni})}$

此矩陣的做法是將真實地貌與分類地貌用矩陣的方式排列後，就能呈現誤判的數值，進而分析誤差百分比。實際做法為將樣區內的真實地貌以隨機抽樣的方式採樣，再以人工逐一辨識每個抽樣點的真實地貌(如圖 3-10)，最後再比對監督式分類與人工辨識之間的結果差異，依照地表種類計算出精確度。依據誤差矩陣數據可以計算出四種常見的精確度：整體精度(Overall Accuracy)、使用者精度(Producer's Accuracy)、生產者精度(User's Accuracy)及 Kappa 係數，各項說明如下：

1. 整體精度(Overall Accuracy)

代表誤差矩陣中對角線被正確分類種數目與像元總數目的比例

$$\text{公式如下：} O_A = \frac{\sum_{i=1}^n X_{ii}}{N} \times 100\%$$

其中， O_A 為整體精度， N 為樣點數總和， X_{ii} 為誤差矩陣中被分類正確的樣本數目

2. 使用者精度(Producer's Accuracy)

表示分類類別被正確歸類的比例，即分類類別與實際類別一致的機率

$$\text{公式如下：} U_A = \frac{X_{ii}}{\sum_{i=1}^n X_{ni}} \times 100\%$$

其中， U_A 為使用者精度， X_{ii} 為誤差矩陣中被分類正確的樣本數目， X_{ni} 為矩陣中各列的網格數目。

3. 生產者精度(User's Accuracy)

針對單一分類類別的精度表示，為預測分類正確的樣本數目佔實際地表該類別總數目的比例

$$\text{公式如下：} P_A = \frac{X_{ii}}{\sum X_{in}} \times 100\%$$

其中， P_A 為生產者精度， X_{ii} 為誤差矩陣中被分類正確的樣本數目， X_{in} 為矩陣中各欄的網格數目。

4. Kappa 係數

表示分類結果與實際狀態的相似程度，Kappa 係數結合使用者精度和生產者精度常被應用在衛星影像分類精確度分析上

$$\text{公式如下：} Kappa = \frac{N \sum_{i=1}^n X_{ii} - \sum_{i=1}^n (X_{in} \cdot X_{ni})}{N^2 - \sum_{i=1}^n (X_{in} \cdot X_{ni})} \times 100\%$$

其中， N 為樣點數總和， X_{ii} 為矩陣中欄列對角線的樣本數目， X_{in} 、 X_{ni} 為矩陣中各欄、列的網格數目。

Kappa 係數介於 0-1 之間，針對係數分級做整理後為如表 3-4，因此通常影像分類後期望數值大於 0.6 (J Richard Landis, 1977)。

表 3-4 Kappa 係數分級表

Kappa	Consistency degree
<0.2	Poor
$0.2 \leq 0.4$	Fair
$0.4 \leq 0.6$	Moderate
$0.6 \leq 0.8$	Good
$0.8 \leq 1$	Excellent

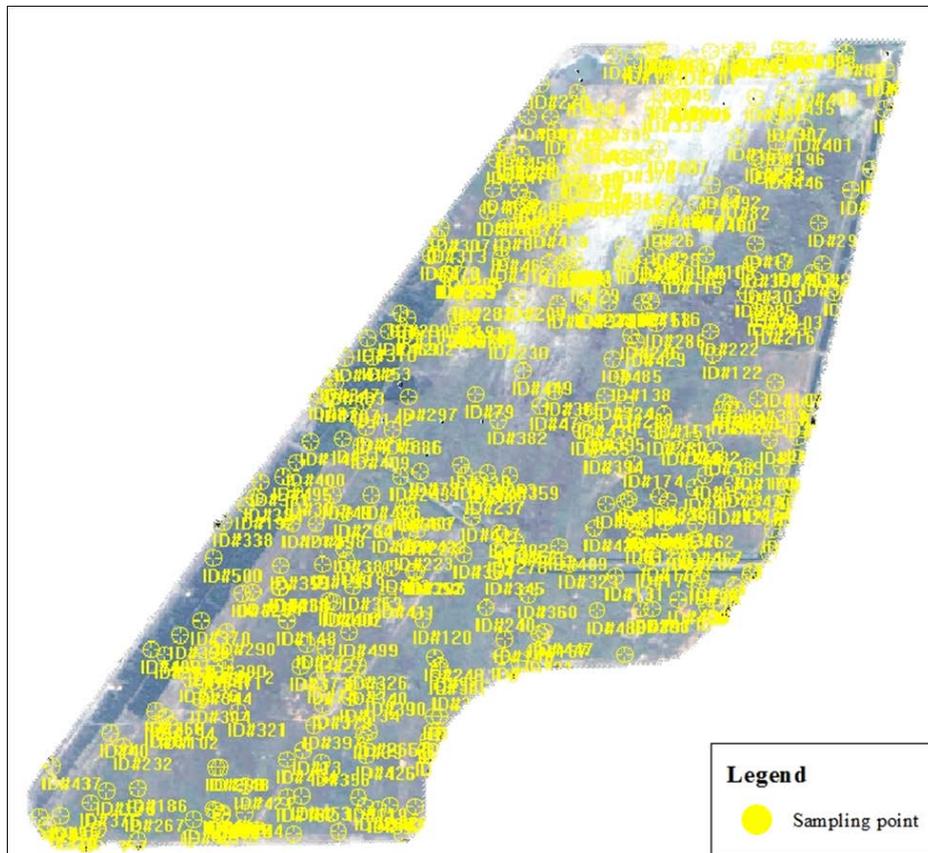


圖 3-10 精確度評估抽樣示意圖

3.4 數據與統計分析

3.4.1 鳥類數據收集

彰化濱海工業區崙尾西區鳥類調查資料來源為中興顧問股份有限公司委託東海大學鳥類調查計畫，調查年份為 2000 年 1 月至 2017 年 9 月為止，調查時間為每一個月進行一次，紀錄滿潮前後兩小時水鳥選擇於何種棲地類型與族群數量，潮水高度則是參考中央氣象局潮汐資料表，選擇適合的潮水進行調查，調查期間使用單、雙筒望遠鏡記錄調查範圍中停棲在休息地的水鳥數量及鳥種。

3.4.2 棲地面積與鳥類數量之關聯性

線性規劃 (Linear Programming)最佳化，指的是面對一項問題時，利用設定目標函數和限制條件式優化目標函數，透過線性規劃求解的方式得到適合目標函數的最佳解答(最大值或是最小值)，線性規劃是在運籌學研究中發展最快、應用廣泛、方法較為成熟且運用於科學管理的數學方法之一，線性規劃問題包含整數規劃、隨機規劃和非線性規劃，從實際問題建立數學模型通常有三個步驟：

1. 根據所要達到的目的找到決策變數
2. 由決策變數和所要達到的目的確定目標函數
3. 依照決策變數所受到的限制條件決定限制條件(限制式)

線性規劃求出的結果可能出現以下三種情況：

- (1) 存在唯一一個最佳解答
- (2) 存在無窮多個最佳解答
- (3) 不存在最佳解答

在本研究中，主要探討彰化濱海工業區崙尾西區水鳥滿潮休息地地貌變遷是否對鷓鴣科水鳥族群數量變化有影響，決策變數的數值為彰化濱海工業區崙尾西區地貌辨識結果經過歸一化的地貌類別比例以及工業區中五種重要鳥種以及以科別為區分的鳥類數量，目標函數為水鳥的預測數量與實際數量的最小誤差

值，限制式為鳥類數量必須為整數解，利用線性規劃求解探討彰濱工業區地貌與鸕鶿科水鳥族群的參考最小值。



第四章 結果與討論

本章節對兩大項結果做探討：一是彰化濱海工業區內崙尾西區做監督式分類，再對鸕鷀科水鳥主要活動範圍做裁切，並計算比較七個年度之棲地分類面積，二是利用統計方法將棲地面積與鳥類數量做相關性分析，分析地貌變遷與鳥類族群變動的關係，進而探討滿潮休息地面積之最小參考值。

4.1 衛星影像辨識

Bortels *et al.* (2011)的研究指出衛星遙測適用於長期監測鳥類在遷徙路上中途停棲點的地貌變化，因此本研究利用 ERDAS 軟體以最大概似分類法針對七個年度彰化濱海工業區內崙尾西區衛星影像圖進行監督式分類，將影像分類為水體、礫石地、建物、防風林以及植被五種土地類別，分類過程與結果討論分為崙尾西區全區以及裁切後鸕鷀科水鳥主要停棲範圍，詳細討論如下：

4.1.1 監督式分類圈選訓練樣區

監督式分類以人工方式圈選訓練樣區，依照衛星影像圖所使用的衛星不同而有不同的取樣點資料，各類別訓練樣區的光譜特性如表 4-1 與表 4-2 所示，因 2003 年樣區中沒有建物存在，因此在圈選訓練區樣本時僅分類成水體、植被、防風林及礫石地四大類，其餘 2007 年至 2011 年與 2017 年之衛星影像圖均分類為水體、植被、防風林、礫石地及建物五種土地類別，圖 4-1~4-5 為 FORMOSAT-2 衛星影像圖的五種土地類別的取樣範例，圖 4-6 為 SPOT-5 衛星影像圖五種土地類別取樣範例，以圈選的取樣點資料作為尚未圈選為訓練樣區的未知地貌之基礎，辨識七個年度的衛星影像圖層，並加以探討各年度辨識結果。

表 4-1 FORMOSAT-2 取樣點資料

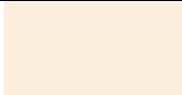
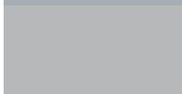
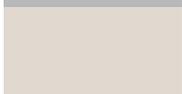
類別編號	名稱	顏色	紅光	綠光	藍光	取樣總數
1	建物		0.985	0.935	0.867	40
2	水體		0.774	0.816	0.798	40
3	防風林		0.647	0.683	0.707	40
4	植被		0.714	0.722	0.730	40
5	礫石地		0.848	0.808	0.775	40

表 4-2 SPOT-5 取樣點資料

類別編號	名稱	顏色	紅光	綠光	藍光	取樣總數
1	水體		0.454	0.573	0.570	40
2	植被		0.762	0.649	0.634	40
3	防風林		0.602	0.514	0.530	40
4	礫石地		0.773	0.879	0.866	40

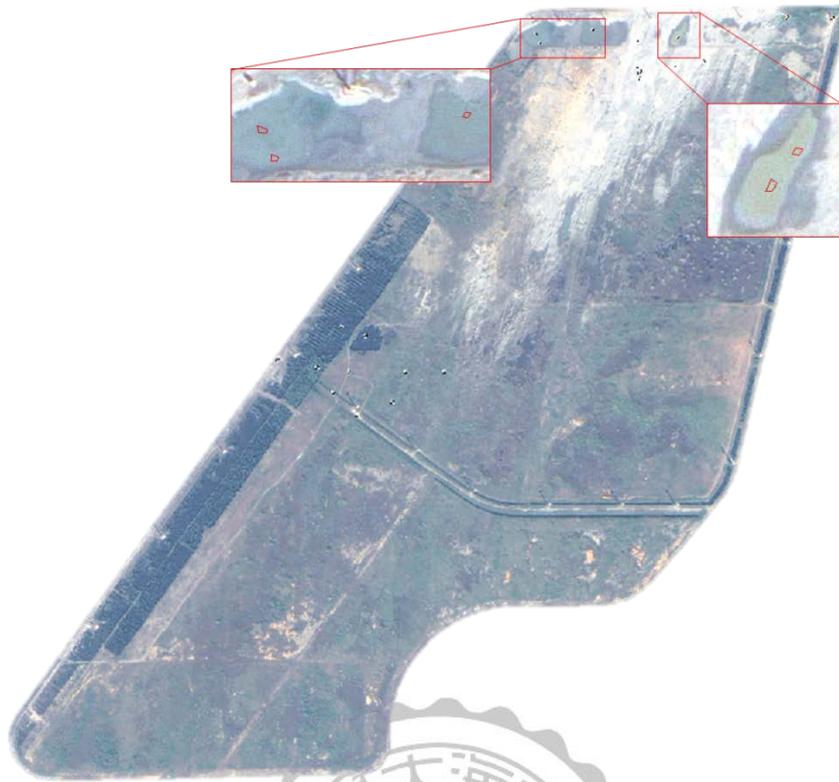


圖 4-1 水體取樣範例



圖 4-2 建物取樣範例

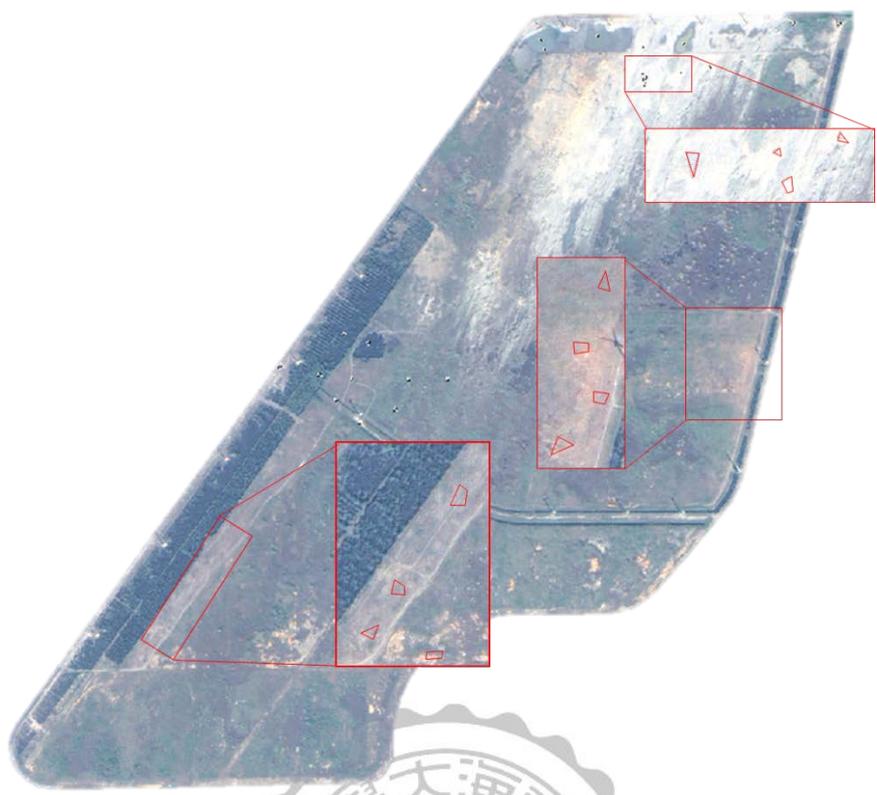


圖 4-3 礫石地取樣範例



圖 4-4 防風林取樣範例



圖 4-5 植被取樣範例

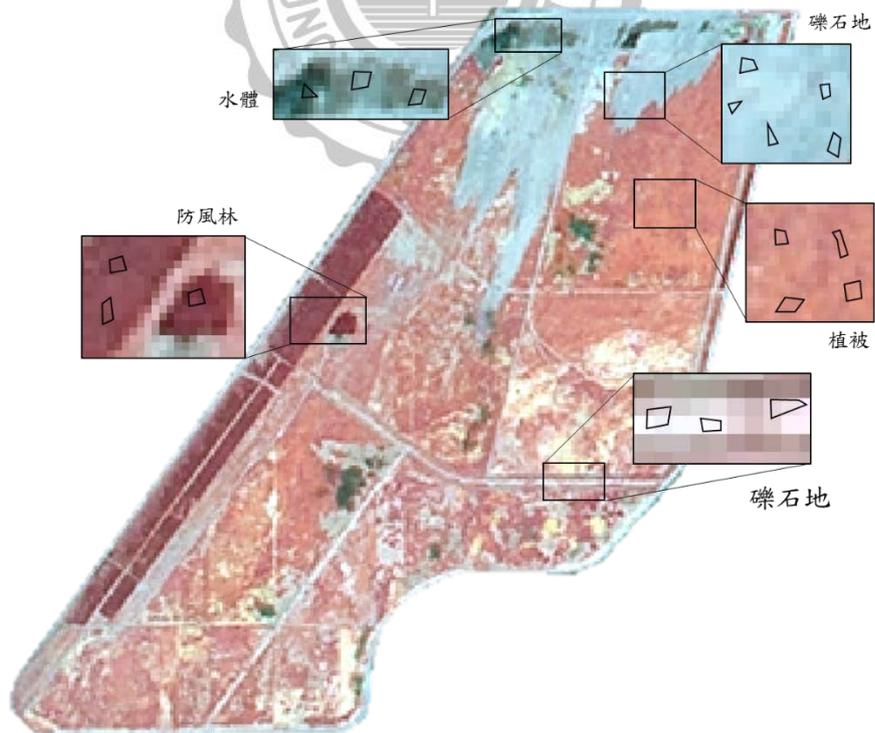


圖 4-6 SPOT-5 土地類別取樣範例

4.1.2 崙尾西區衛星影像辨識結果

4. 辨識類別呈現與地貌改變因素

2003 年、2007 年至 2011 年以及 2017 年崙尾西區辨識總面積範圍落在 742.77 到 757.52 公頃之間，樣區中深綠色區域為防風林，鮮綠色區域為植被，淺藍色區域為水體，咖啡色區域為建物，米白色區域為礫石地。

風力發電機於 2005 年 9 月開始打樁並在 2006 年試運轉，因此 2003 年辨識結果無建物面積，從 2007 年後辨識結果才有建物存在，但於 2017 年建物辨識光譜值與植被混淆，使建物面積無法呈現於結果中；防風林辨識面積介於 50.78 到 244.14 公頃，在 2008 年達高峰，植被面積因閒置時間及雨量多寡生長的速度不同，最少為 232.95 公頃，最多為 517.13 公頃；礫石地面積會隨著植被死亡而裸露出來，或是冬季受到東北季風影響有飄砂的現象等因素介於 135.13 至 400.02 公頃；水體則是因當月降雨量以及蒸發量不同，使雨水累積於低窪地區的量有所不同，介於 7.54 到 80.25 公頃。

2. 結果探討與精確度分析

辨識結果中水體中含有少量植被與防風林等類別，其原因可能為類別之光譜值過於相似，導致分類結果互相混淆，或是水體中含有綠色藻類或植物，因此造成水體的誤判。

經過分類結果精確度評估選取 350 個抽樣點，抽樣點與辨識結果透過誤差矩陣所計算出的各項精確度數值，包含生產者精度、使用者精度、總體精度以及 Kappa 值，透過精確度評估可以了解圖層在辨識過程造成的誤差以及辨識結果的參考價值，結果呈於表 4-3~4-9，分類結果如圖 4-7~4-13，經過精確度分析後說明衛星圖層皆達參考價值，因此將不同年度辨識結果面積以統計長條圖統計顯示(圖 4-14、表 4-10)。

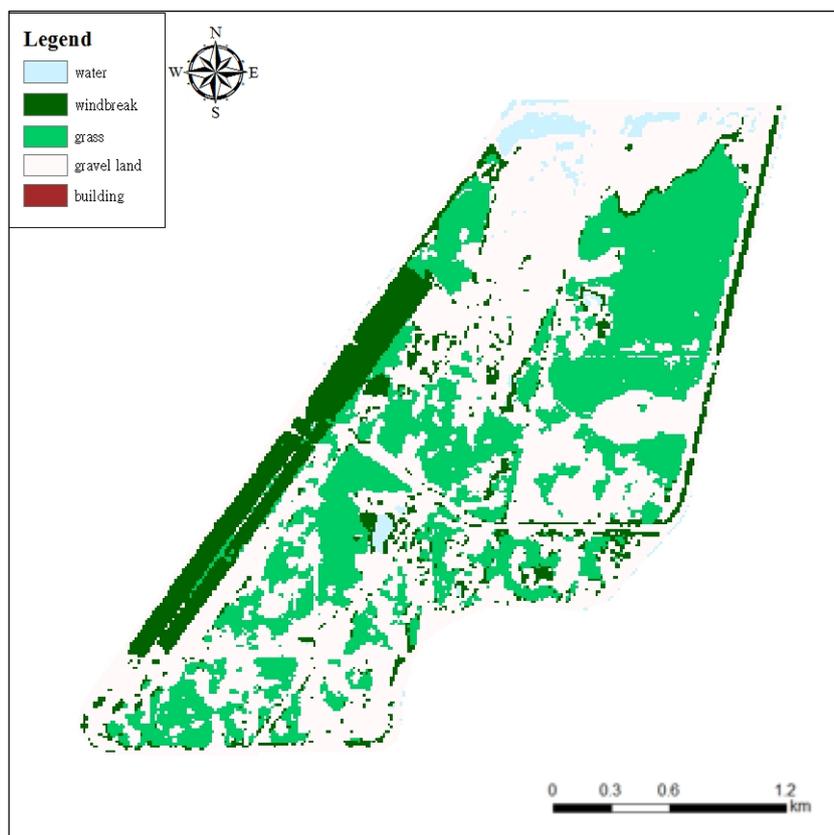


圖 4-7 2003 年崙尾西區監督式分類辨識結果

表 4-3 2003 年崙尾西區監督式分類精確度評估

真實地貌 分類結果	building	water	windbreak	grass	gravel	total	使用者精度 x100%
building	---	---	---	---	---	---	---
water	---	8	0	0	0	8	100.00%
windbreak	---	2	41	0	3	46	89.13%
grass	---	0	1	125	2	128	97.66%
gravel land	---	0	0	1	167	168	99.33%
total	---	10	42	126	172	350	
生產者精度 x100%	---	80.00%	97.62%	99.21%	96.99%		
總體精度 x100%	97.43%		Kappa			0.9649	

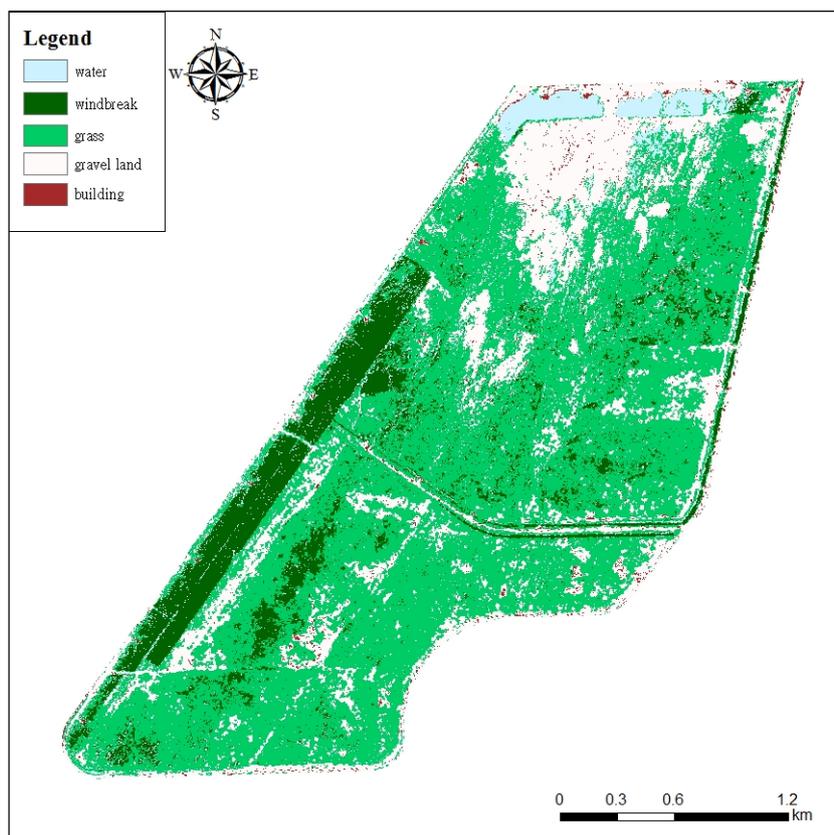


圖 4-8 2007 年崙尾西區監督式分類辨識結果

表 4-4 2007 年崙尾西區監督式分類精確度評估

真實地貌 分類結果	building	water	windbreak	grass	gravel	total	使用者精度 x100%
building	1	0	0	1	3	5	20.00%
water	1	1	1	1	2	6	16.67%
windbreak	0	1	27	14	0	42	64.29%
grass	0	3	3	171	33	210	81.43%
gravel land	1	21	1	1	63	153	65.04%
total	3	26	32	188	101	350	
生產者精度 x100%	33.33%	3.85%	84.38%	90.96%	56.61%		
總體精度 x100%	73.14%		Kappa		0.5738		

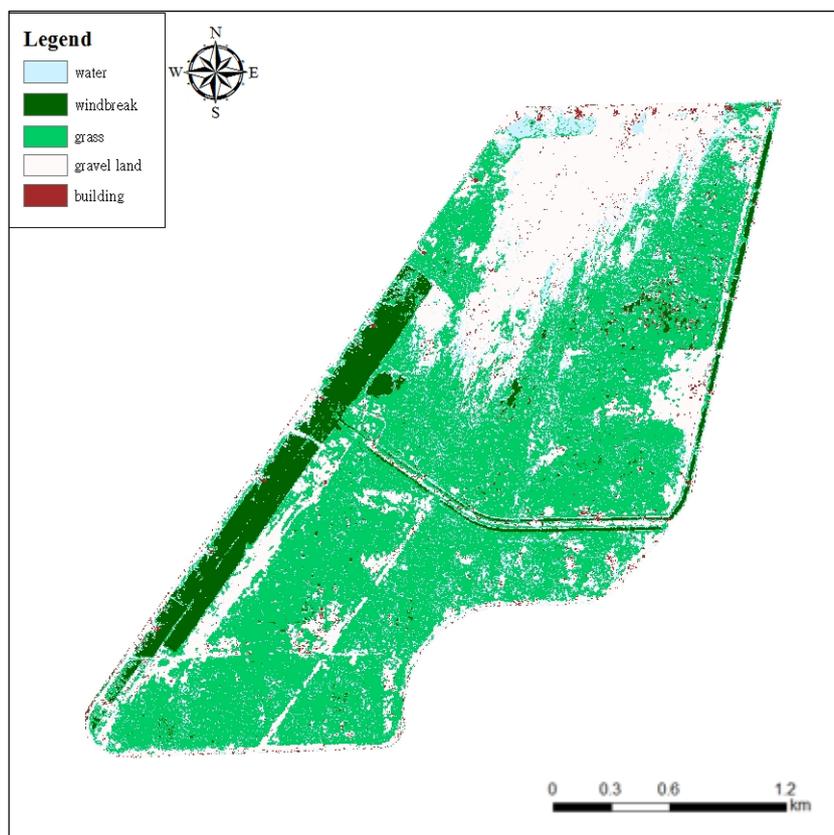


圖 4-9 2008 年崙尾西區監督式分類辨識結果

表 4-5 2008 年崙尾西區監督式分類精確度評估

真實地貌 分類結果	building	water	windbreak	grass	gravel	total	使用者精度 x100%
building	4	0	0	0	1	5	80.00%
water	0	11	1	11	4	27	40.74%
windbreak	0	14	10	0	3	27	37.04%
grass	0	7	0	159	22	188	84.57%
gravel land	0	0	0	19	84	103	72.47%
total	4	32	11	189	114	350	76.57%
生產者精度 x100%	100.00 %	34.38%	90.91%	84.13%	85.30%		
總體精度 x100%	76.57%		Kappa			0.6281	

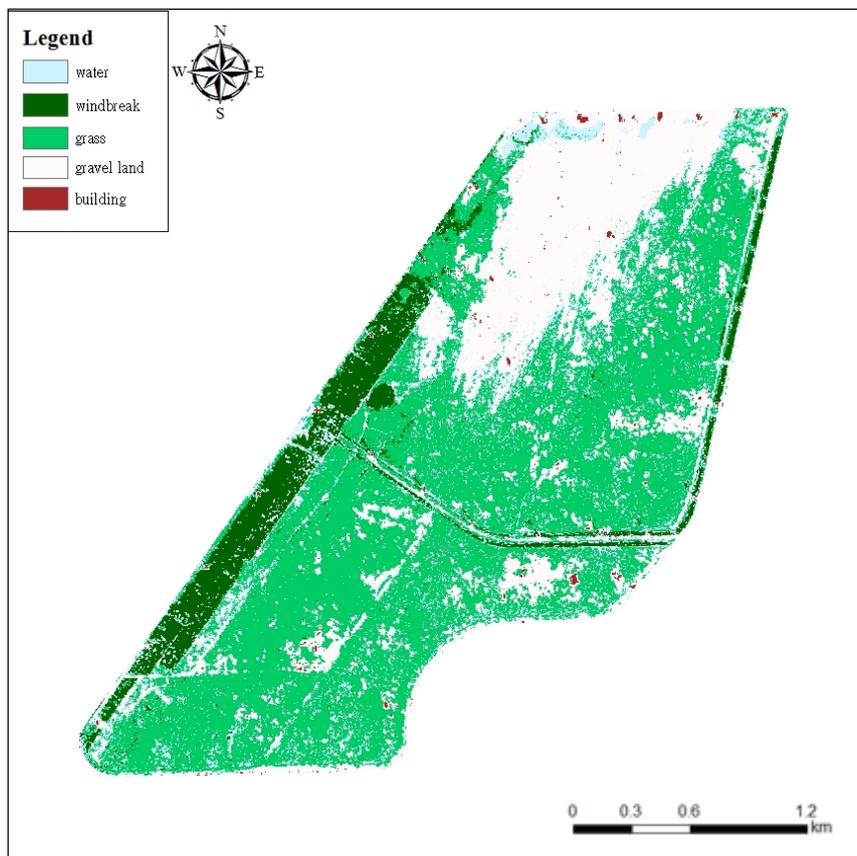


圖 4-10 2009 年崙尾西區監督式分類辨識結果

表 4-6 2009 年崙尾西區監督式分類精確度評估

真實地貌 分類結果	building	water	windbreak	grass	gravel	total	使用者精度 x100%
building	0	0	0	0	0	0	---
water	0	7	1	11	4	23	30.43%
windbreak	0	0	27	1	0	28	96.43%
grass	0	0	2	193	5	200	96.50%
gravel land	1	2	1	0	95	99	96.2%
total	1	9	31	205	104	350	
生產者精度 x100%	---	100.00 %	87.10%	93.24%	92.00%		
總體精度 x100%	92.00%		Kappa			0.8692	

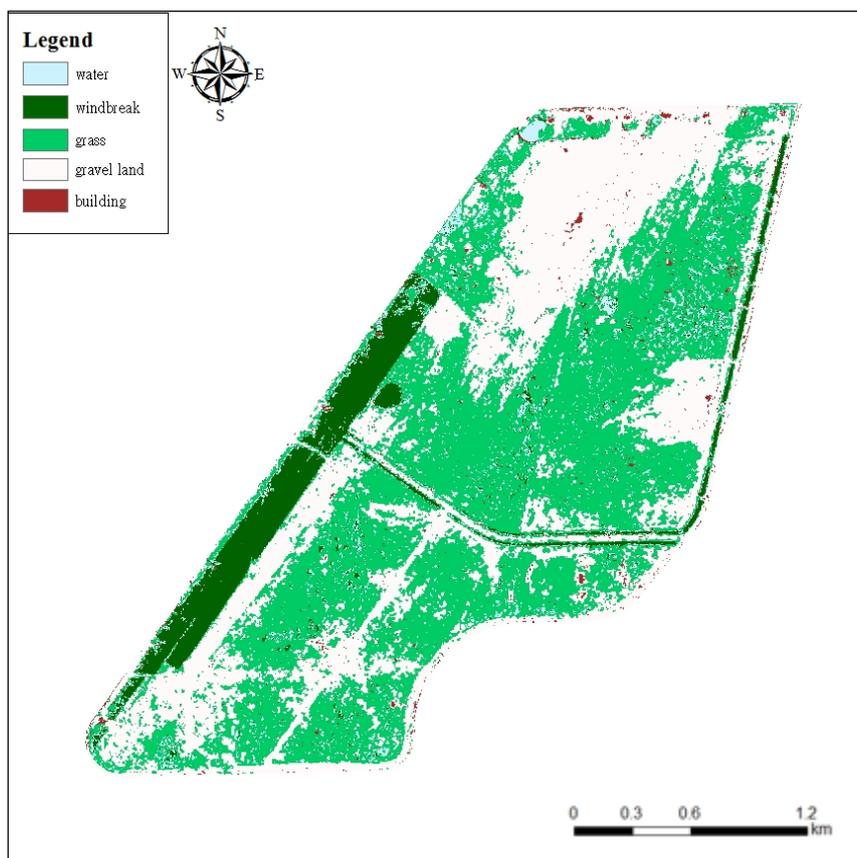


圖 4-11 2010 年崙尾西區監督式分類辨識結果

表 4-7 2010 年崙尾西區監督式分類精確度評估

真實地貌 分類結果	building	water	windbreak	grass	gravel	total	使用者精度 x100%
building	0	0	0	1	1	2	0.00%
water	0	1	5	4	0	10	10.00%
windbreak	0	0	19	0	0	19	100.00%
grass	0	2	0	161	2	165	97.58%
gravel land	2	0	2	1	149	154	95.60%
total	2	3	26	167	152	350	
生產者精度 x100%	0.00%	33.33%	73.08%	96.41%	97.92%		
總體精度 x100%	94.00%		Kappa			0.9104	

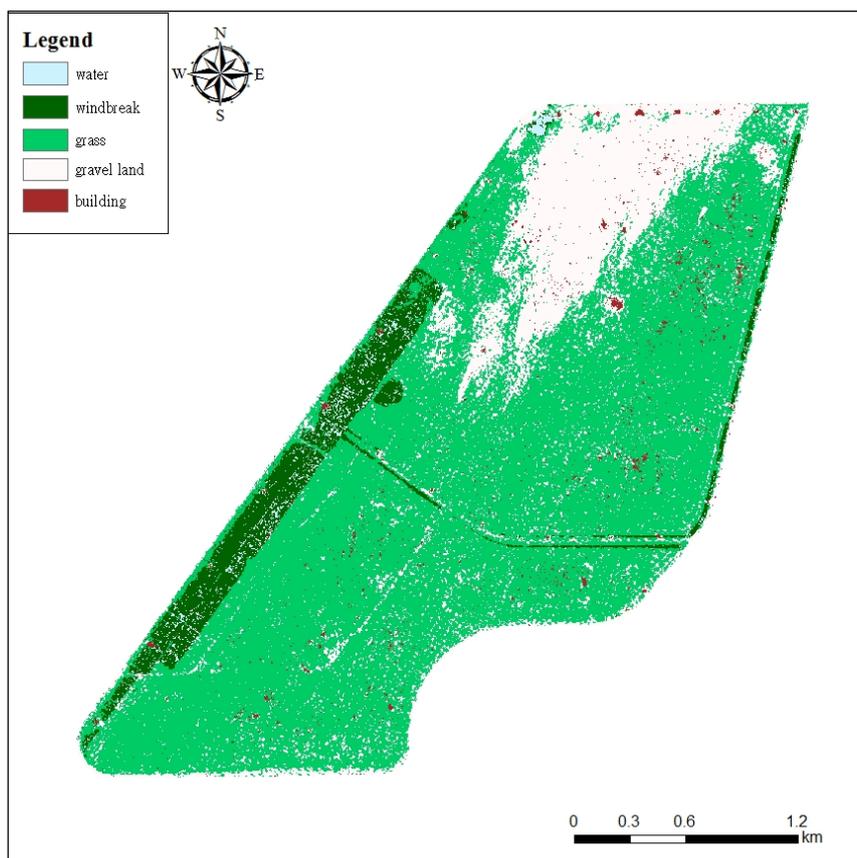


圖 4-12 2011 年崙尾西區監督式分類辨識結果

表 4-8 2011 年崙尾西區監督式分類精確度評估

真實地貌 分類結果	building	water	windbreak	grass	gravel	total	使用者精度 x100%
building	1	0	0	2	0	3	33.33%
water	0	0	1	0	0	1	0.00%
windbreak	0	0	26	2	0	28	92.86%
grass	0	1	6	241	4	252	95.63%
gravel land	0	0	0	15	51	66	92.59%
total	1	1	33	260	55	350	
生產者精度 x100%	100.00 %	0.00%	78.79%	92.69%	64.78%		
總體精度 x100%	86.00%		Kappa			0.6849	

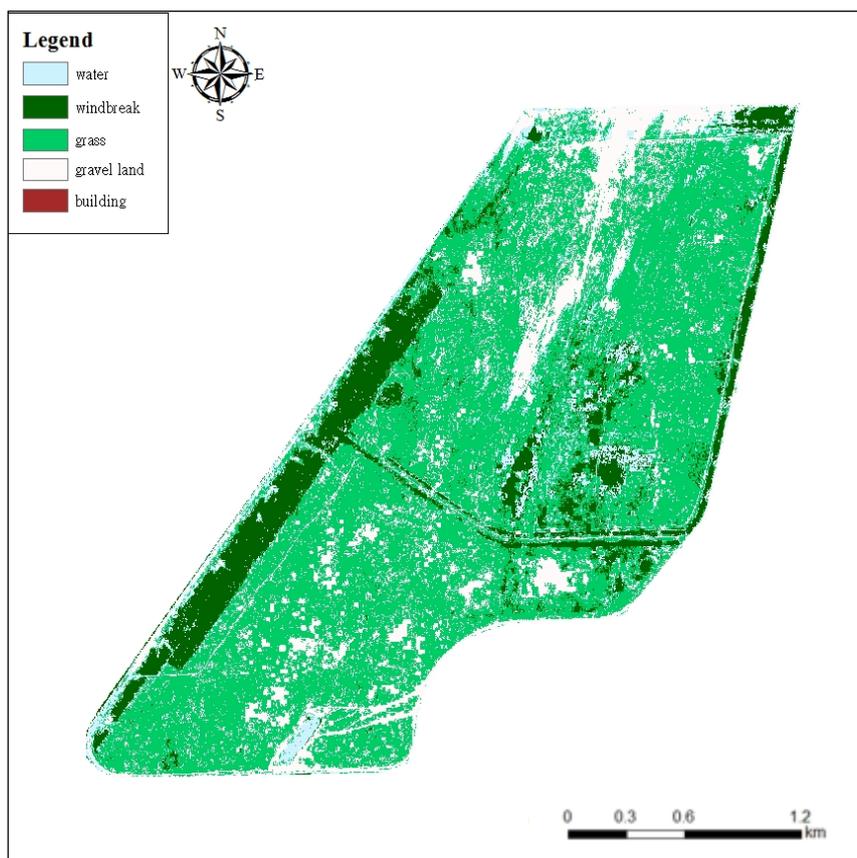


圖 4-13 2017 年崙尾西區監督式分類辨識結果

表 4-9 2017 年崙尾西區監督式分類精確度評估

真實地貌 分類結果	building	water	windbreak	grass	gravel	total	使用者精度 x100%
building	---	---	---	---	---	---	---
water	1	9	9	7	6	32	28.13%
windbreak	44	0	0	0	0	44	100.00%
grass	0	0	2	211	4	217	97.24%
gravel land	11	0	1	3	42	57	91.90%
total	56	9	12	221	52	350	
生產者精度 x100%	---	100.00%	78.57%	95.48%	86.88%		
總體精度 x100%	90.57%		Kappa			0.8354	

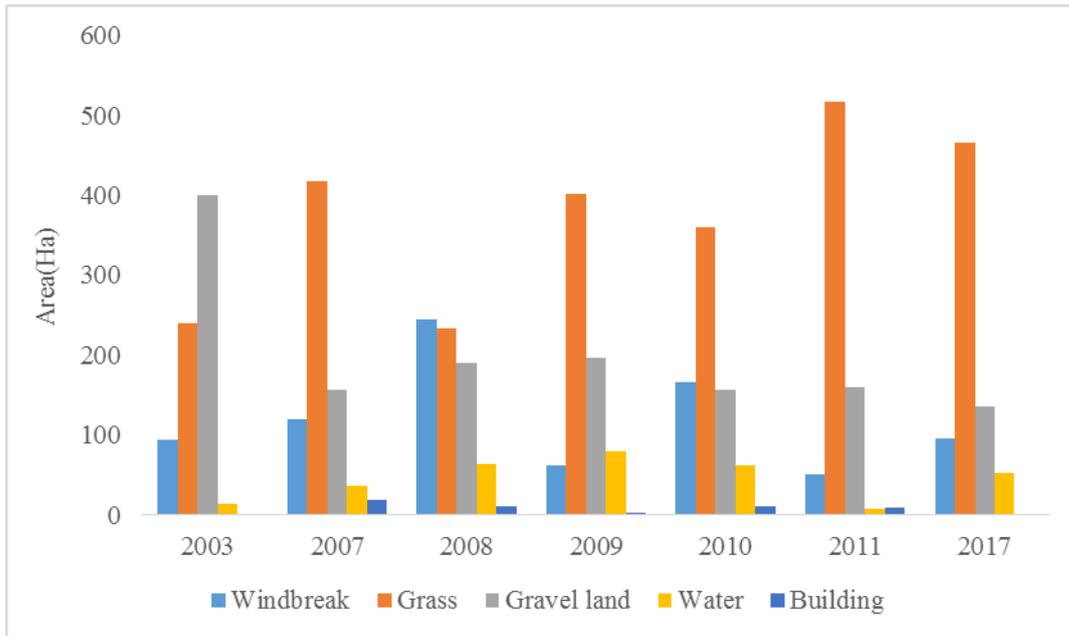


圖 4-14 崙尾西區面積變化直條圖

表 4-10 崙尾西區面積變化

年份	地貌面積 (公頃)						SUM
	Windbreak	Grass	Gravel	Water	Building		
2003	94.0453	239.874	400.021	14.3935	0	748.3338	
2007	119.94	417.213	156.1798	36.4508	18.768	748.5516	
2008	244.137	232.946	190.6102	64.1708	11.6968	743.5608	
2009	61.5196	401.174	196.3792	80.2516	3.4424	742.7668	
2010	166.234	360.755	156.8968	61.9284	11.7032	757.5174	
2011	50.7776	517.128	159.3286	7.5384	9.3232	744.0958	
2017	95.4396	465.736	135.1342	52.1717	0	748.4815	

4.1.3 切割後鷓鴣科水鳥主要停棲範圍

1. 偏好棲地選擇與切割

(Ge *et al.* (2006); Jorgensen (2007); Nebel *et al.* (2008))的研究中提到鷓鴣科水鳥偏好廣闊且開放的棲地類型，如人為活動的開發與干擾、植被覆蓋率、較高水位的灘地以及環境的食物豐富度皆是影響水鳥棲息的重要因素，因此對於崙尾西區開發較且開闊的區域來說，提供一個良好的休息地，在崙尾西區，鷓鴣科水鳥主要利用之地貌類別為寬闊的礫石地與少部分水體，因此為了瞭解鷓鴣科主要停棲範圍的面積變化(表 4-11、圖 4-15)，將主要停棲範圍從崙尾西區切割出來，分離鷓鴣科不會使用的地貌(如防風林與植被)，裁切總面積會因為利用地貌不同，大小也有所不同，裁切後各年度類別鷓鴣科水鳥主要停棲範圍面積如圖 4-16~4-22。

2. 各年度面積變化

2003 年開始礫石地面積有明顯減少的趨勢，從原本的 110.99 公頃減少到 2017 年面積為 14.45 公頃，面積比例減少 12.08%，減少主要原因為植被生長與否；水體面積在 2003 年、2007 年至 2009 年因當月降雨量較多，因此在低窪地區有明顯的水體累積，面積分別為 10.78、16.38、14.94 及 13.30 公頃。

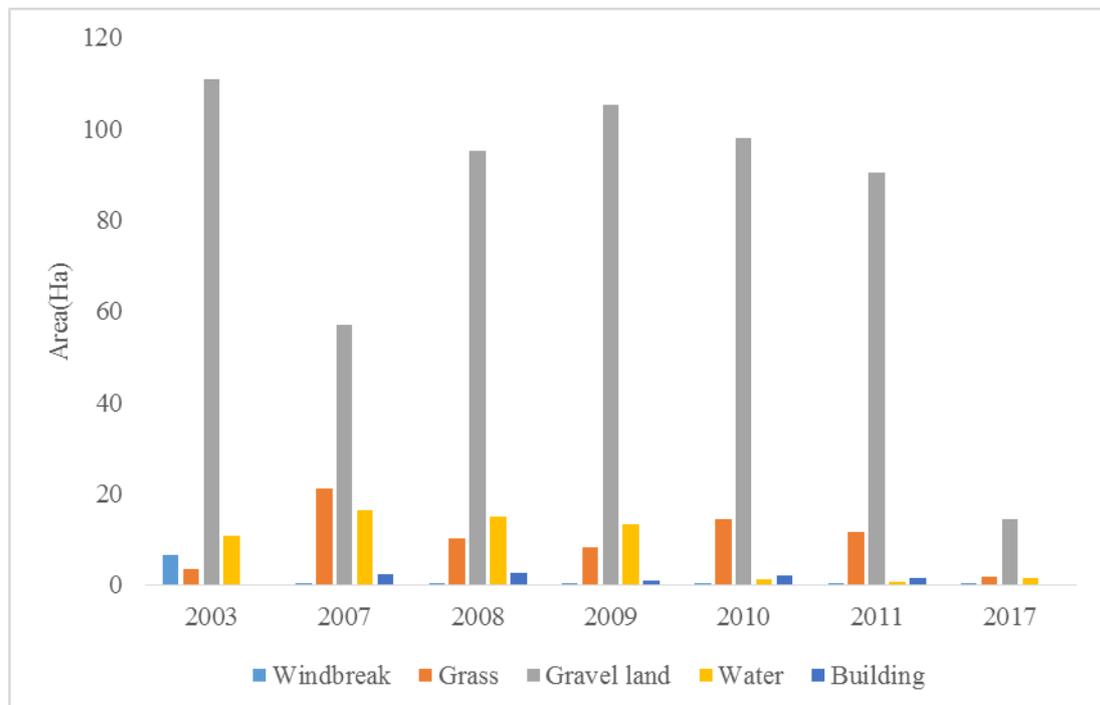


圖 4-15 鸚鵡科水鳥主要停棲面積變化直條圖

表 4-11 鸚鵡科水鳥主要停棲範圍面積變化

年份	地貌面積 (公頃)	Windbreak	Grass	Gravel	Water	Building	SUM
2003		6.52208	3.42971	110.9877	10.7764	0	131.7159
2007		0.3008	21.024	56.97	16.3844	2.2636	96.9428
2008		0.0348	10.0976	95.086	14.9356	2.686	122.84
2009		0.1704	8.0972	105.1416	13.2984	0.9704	127.678
2010		0.0412	14.4344	98.0328	1.3272	2.0248	115.8604
2011		0.2492	11.4876	90.4828	0.7512	1.5196	104.4904
2017		0.049725	1.81665	14.45039	1.36485	0	17.68162

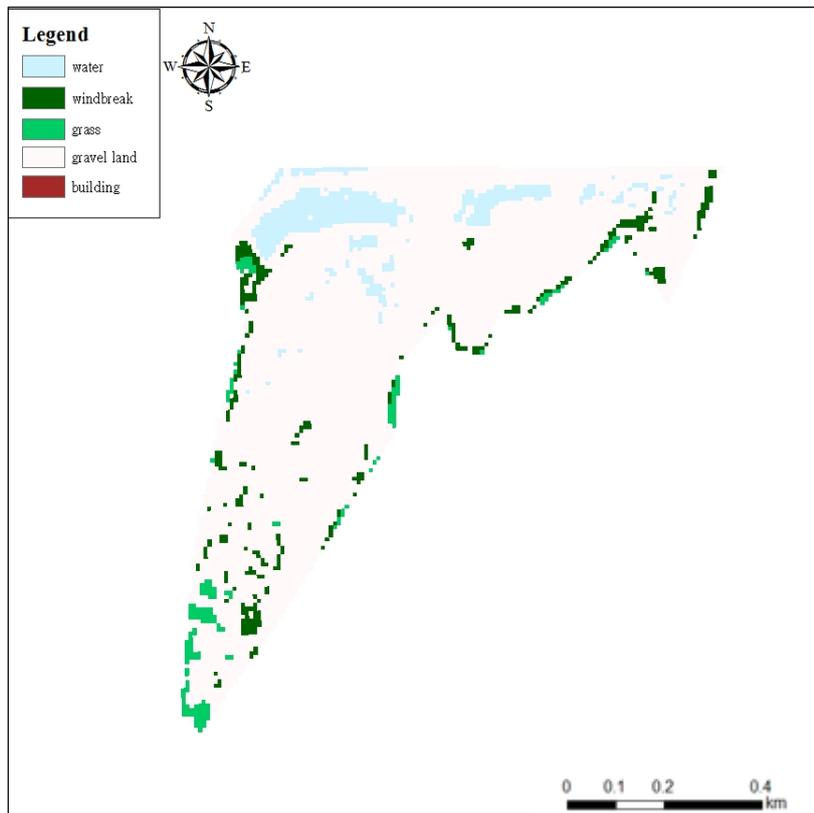


圖 4-16 2003 年鵲鴿科水鳥主要停棲範圍辨識結果

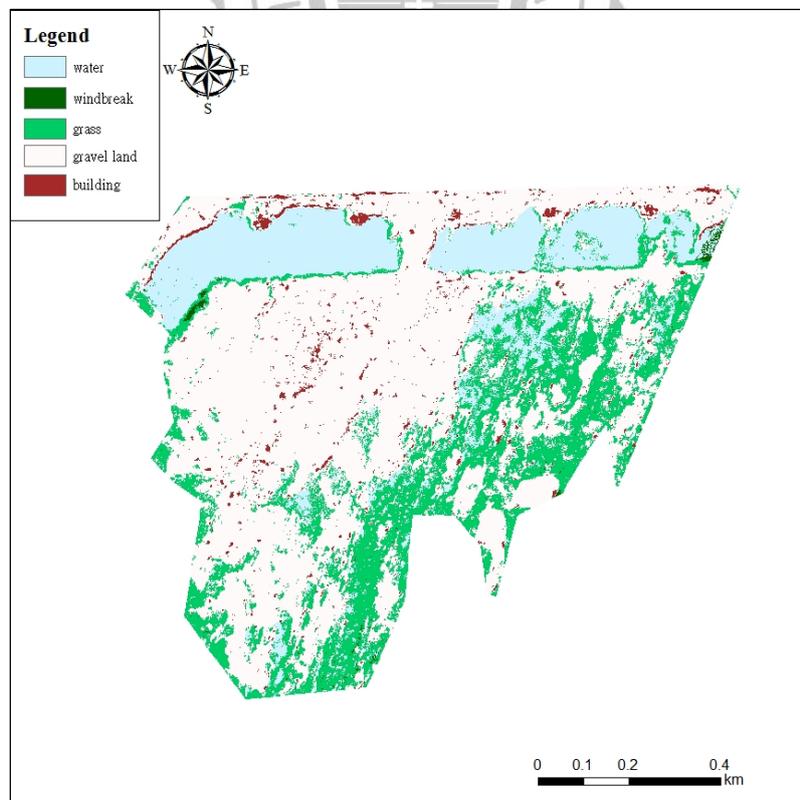


圖 4-17 2007 年鵲鴿科水鳥主要停棲範圍辨識結果

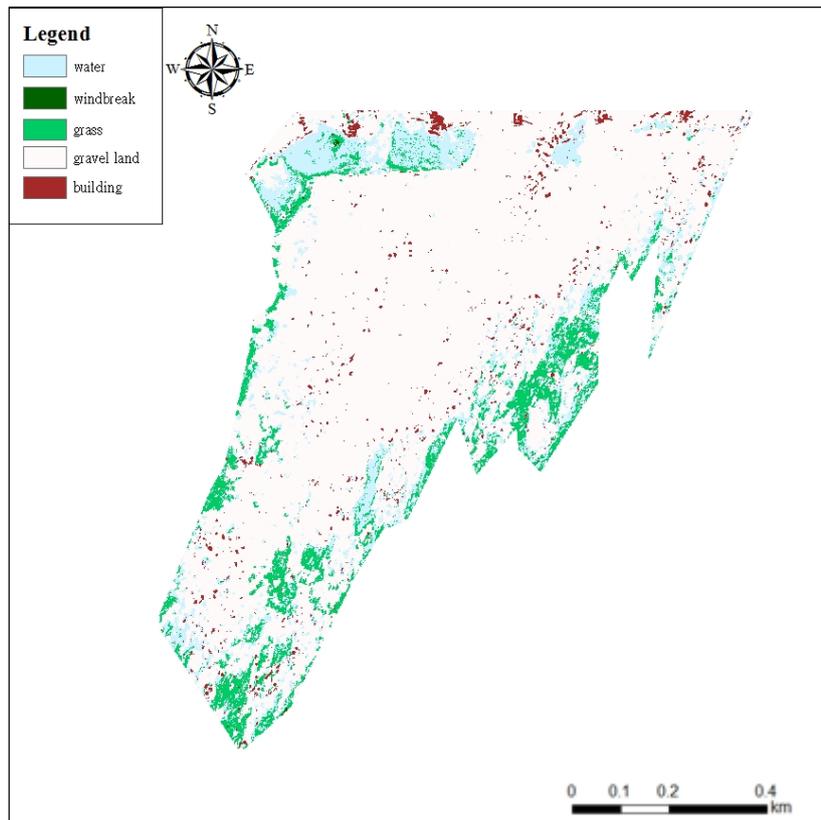


圖 4-18 2008 年鷓鴣科水鳥主要停棲範圍辨識結果

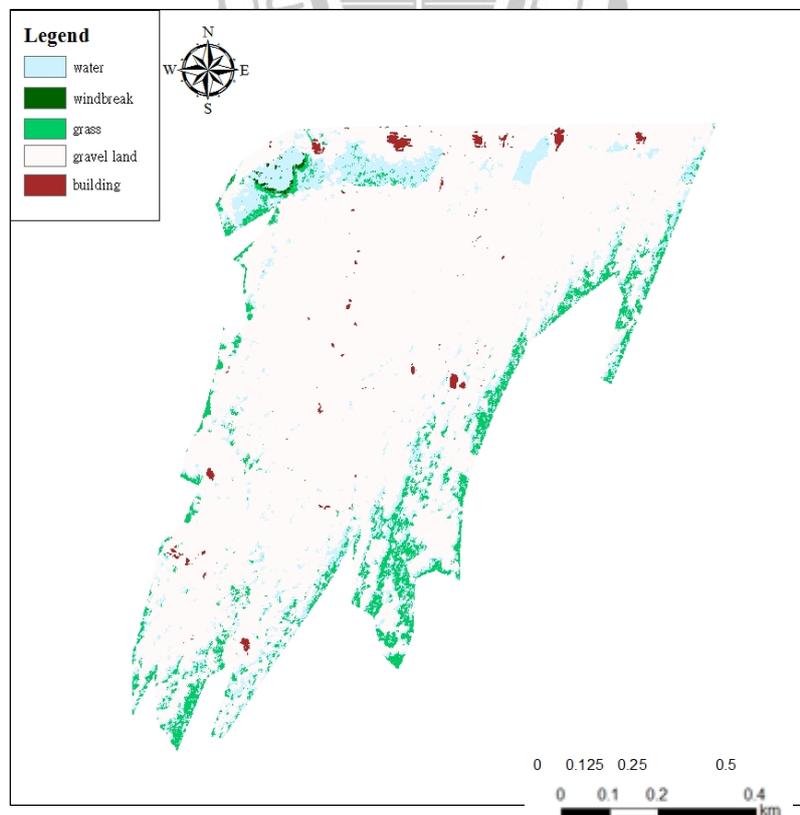


圖 4-19 2009 年鷓鴣科水鳥主要停棲範圍辨識結果

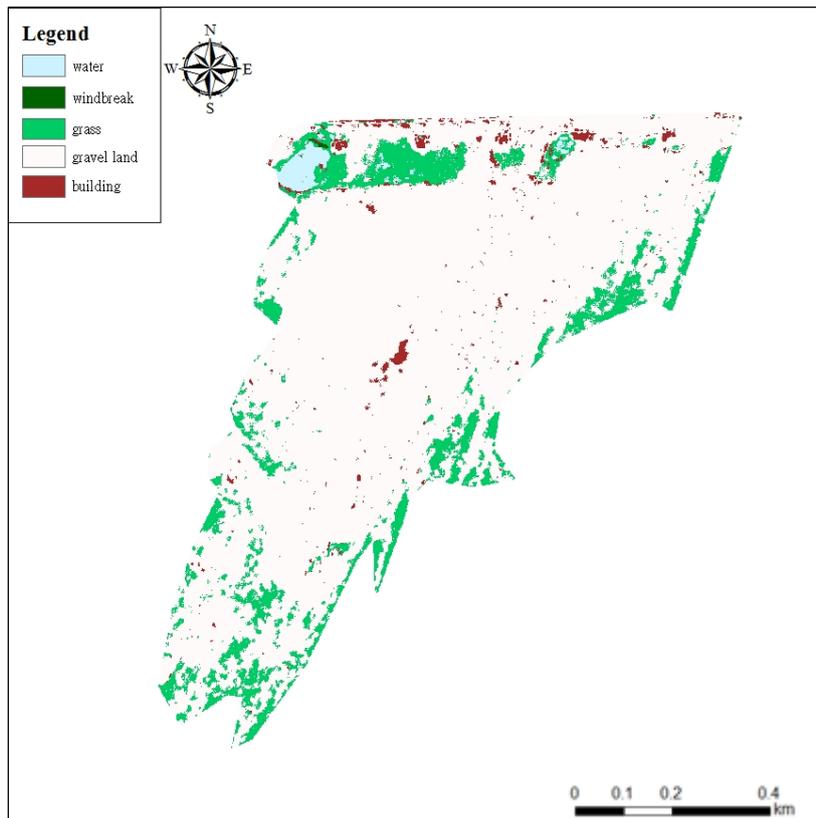


圖 4-20 2010 年鷓鴣科水鳥主要停棲範圍辨識結果

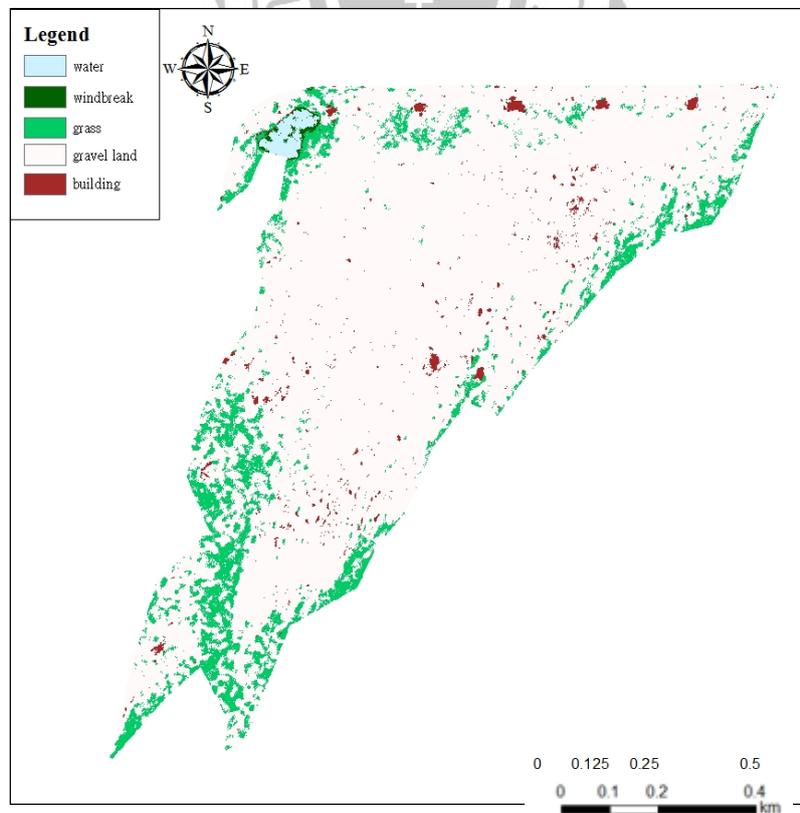


圖 4-21 2011 年鷓鴣科水鳥主要停棲範圍辨識結果

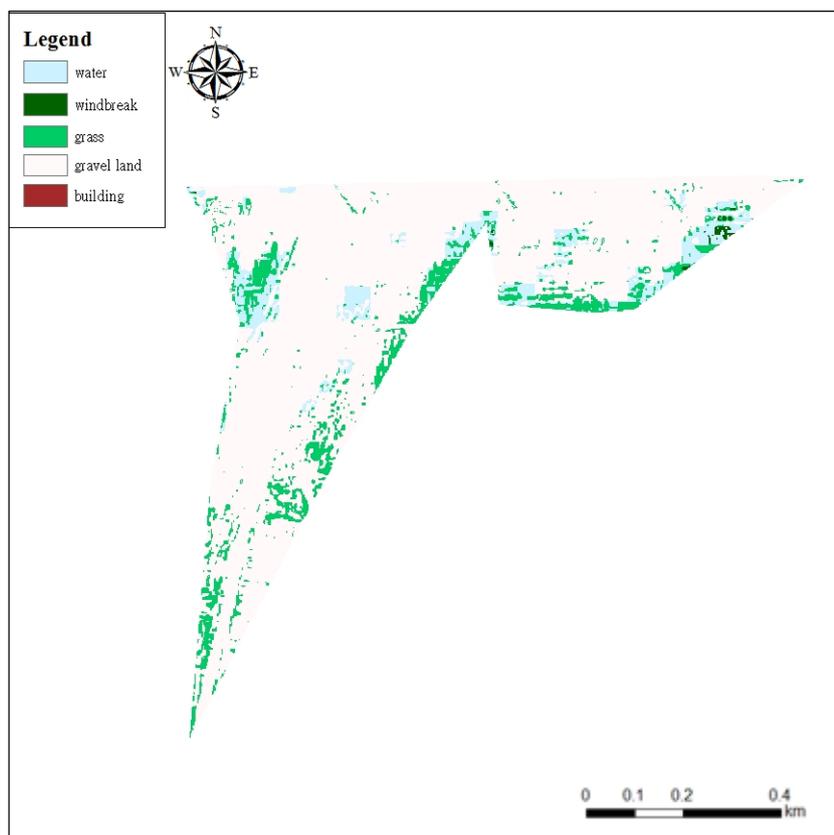


圖 4-22 2017 年鵞鵝科水鳥主要停棲範圍辨識結果

經過誤差矩陣計算出七個年度衛星影像分類結果的精確度，各分類類別的精確度可能會有數值較低或是缺失值，例如建物的辨識效果較不理想，其原因可能為光譜特性容易與周圍的植被混淆，而建物面積相較其他分類類別來說比例較小，且本研究主要探討的為礫石地，而礫石地的生產者精度與使用者精度均在可接受範圍內，且整體 Kappa 值落在 0.57~0.96 之間，總體精確度也介於 73.14%~97.43%之間，屬於中等以上的辨識度，對分類結果的準確度來說並無明顯的影響，因此七個年度的辨識結果皆具有參考價值。

4.2 崙尾西區鷓鴣科鳥類數據分析

1. 鳥種組成

崙尾工業區棲地類型會吸引多種鳥類停棲，包含陸鳥及水鳥兩種，比例上已水鳥居多，水陸鳥比例大約 20%與 80%，其中水鳥族群中以鷓鴣科水鳥站主要族群，比例佔 85%以上，數量如表 4-12 所示。

表 4-12 崙尾工業區鳥類數量統計

(1/2)

類別	年份									
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
陸鳥	436	660	1287	336	1637	861	271	180	227	255
水鳥	13214	13244	8466	1876	9142	8067	9785	6468	7093	10055
鷓鴣科	12597	11494	8043	1688	8594	7056	9331	6072	6684	9450
水陸鳥總計	13650	13904	9753	2212	10779	8928	10056	6648	7320	10310

(2/2)

類別	年份									總計
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017		
陸鳥	271	185	255	597	692	442	426	177	9195	
水鳥	10584	3156	7094	1721	3527	3007	1584	1752	119835	
鷓鴣科	8813	2128	6237	964	2600	2358	1093	1574	106776	
水陸鳥總計	10855	3341	7349	2318	4219	3449	2010	1929	129030	

2. 重要鳥種選擇

鷓鴣科水鳥多為遷徙性族群，針對遷徙性族群國際鳥盟訂定重要鳥類棲地準則(IBA 準則)，以此準則保護瀕臨絕種之族群，而彰化濱海工業區中符合 IBA 準則的鳥種有八種，大多是數量達遷徙縣 1% 族群量(IBA A1 準則)，由於本研究樣區以崙尾西區為主，而崙尾工業區中棲息鳥種符合 IBA 準則的鳥種有黃足鷓、黑腹濱鷓、翻石鷓、東方環頸鴿、鐵嘴鴿五種，因此選定此五種鳥類作為鳥類分析的主要族群依據。

以重要鳥種與科別的不同來做分析(圖 4-23、圖 4-24)，圖 4-23 可看出在鴿科族群中優勢鳥種為東方環頸鴿，數量平均皆 60% 以上，而 2010 年清砂工程，對鷓鴣科族群影響較大，原因與鷓鴣科偏好礫石、小卵石等棲地類型的習性有關；而從圖 4-24 可以得知從 2000 年到 2017 年優勢鳥種與鷓鴣科總族群波動較大，較無一定的趨勢，但明顯從 2000 後整體的數量就迅速下降，在 2015 年前優勢鳥種以黑腹濱鷓數量最多。

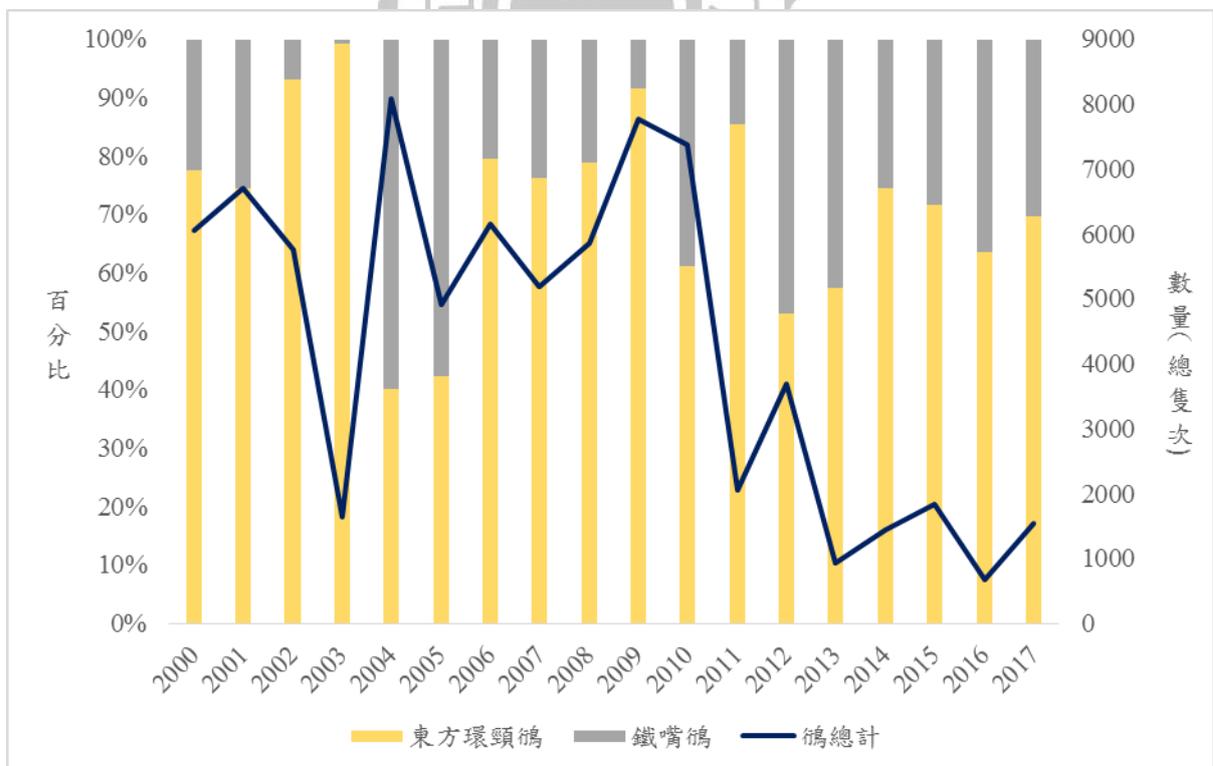


圖 4-23 鴿科鳥種與總鴿科族群統計圖

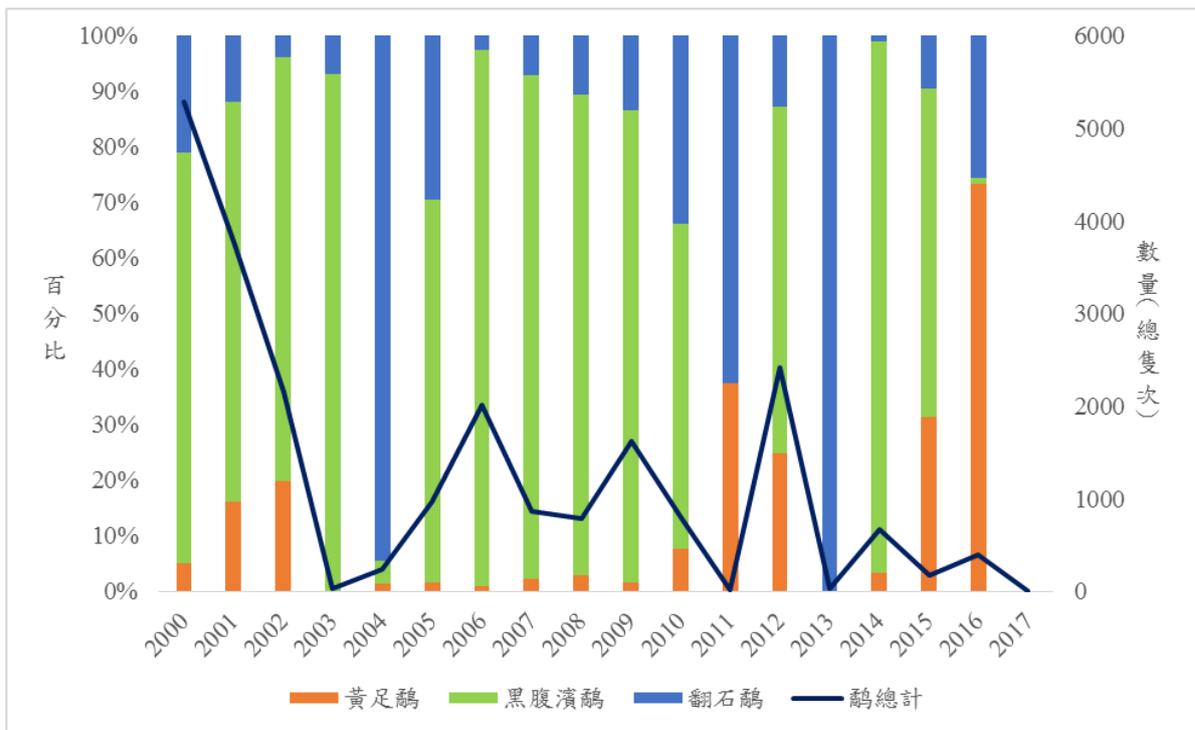


圖 4-24 鵲科鳥種與總鵲科族群統計圖

3. 歷年鵲科水鳥變化

Nebel *et al.* (2008)的研究指出，人為開發的干擾以及棲地破碎程度會影響鳥類族群量的分布與數量，因此針對鵲科與鵲科的科別不同做分析(圖 4-24)，由圖可看出 2001 年以前鳥類數量穩定且多達 13000 隻以上，2003 年鳥類族群急速下降，減少 10000 隻，其原因為鳥類主要都停棲在海洋公園，2005 年因風力發電機打樁工程開始，2006 年風力發電機試運轉，使得鳥類總族群下降，2007 年後因土地閒置較無開發，鳥類族群數量有逐漸增加的趨勢，此時鳥類族群多集中於海洋公園與崙尾工業區。彰濱工業區的海洋公園是位於線西工業區以及崙尾工業區交界處的灘地，此灘地鄰近崙尾工業區，提供水鳥覓食以及短暫休息的棲地

當海洋公園之高灘地因海水漲潮而淹沒時，大量鳥類則會飛往崙尾工業區休憩，因冬季受東北季風影響，北方會有飄砂現象，讓崙尾區大量細砂堆積，因此 2010 年海洋公園進行清砂工程，此工程使海洋公園棲地改變，從 2010 年開始鳥類數量持續下降，主要原因是人為開發導致主要停棲地減少，使總族群量起伏不

定。

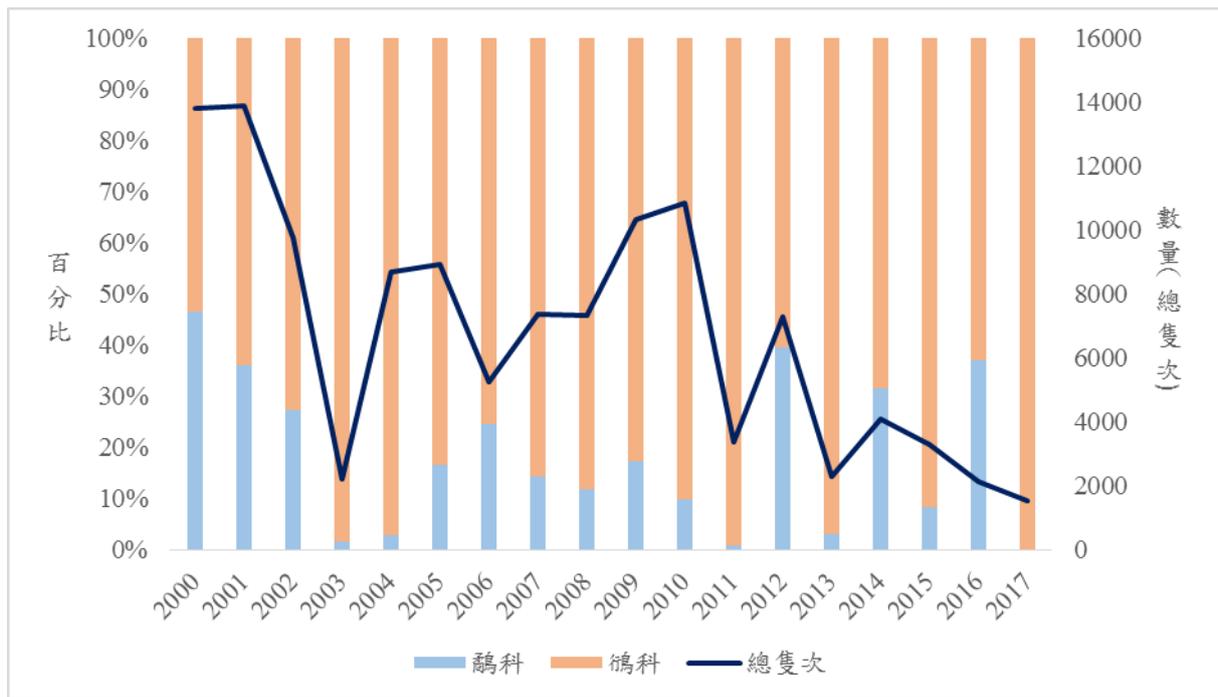


圖 4-25 科別與總族群量統計圖

4.2.1 線性規劃

Gillespie Caitlyn and Fontaine Joseph (2017)的研究提到，地貌面積變化以及破碎程度會影響鸚鴿科水鳥在東亞澳遷徙路線中選擇中途停棲點的因素，因此為了解不同地貌面積的變遷與鳥類數量的關聯程度，使用線性規劃分析，藉由訂定的目標函數找出面積與鳥類數量的最佳參考數值。崙尾工業區西區提供鸚鴿科水鳥良好的休息地，樣區內共區分為五大土地類別，包含水體、礫石地、建物、防風林以及植被，而建物並不會被鸚鴿科水鳥所使用，因此決策變數為彰化濱海工業區地貌辨識結果經過歸一化的地貌類別比例後所計算出的係數(礫石地(a)、水體(b)、防風林(c)、植被(d))以及工業區中五種重要鳥種以及以科別為區分的鳥類數量(e)，目標函數為預測數量與實際數量的最小值($\min \sum (y - \hat{y})^2$)，限制式為 e 為整數解($e \geq 0$)，利用線性規劃求解的方式求得目標函數的最佳解答。其中地

貌歸一化的原因是，每個年度水鳥所使用的面積總和不同，因此將土地以百分比比例的方式計算，去除掉總面積加總不同的問題；而限制式 e 必須為整數解的原因在，e 為鳥類數量。

依線性規劃計算得出方程式($Y = aX_1 + bX_2 + cX_3 + dX_4 + e$)，其中 X 為土地類別，Y 為鳥類數量，a,b,c,d 為係數，e 為鳥類數量，從方程式可以解釋，當 a,b,c,d 均為 5 的時候，則表示土地類別均增加 5%，對於 Y 就會有 $5a+5b+5c+5d+e$ 的總和的鳥類數量增加，經由線性規劃所計算出的結果方程式如表 4-13 所示。

表 4-13 線性規劃方程式結果

	礫石地	水體	防風林	植被	常數
黃足鵒	21.18308	0	-427.509779	44.45217	0
黑腹濱鵒	67.2956	1995.27	-4803.36022	901.6598	2
翻石鵒	0.8937	0	-15.5208725	0.377638	0
東方環頸鵒	8.445939	21.6988	-50.5060817	-38.5672	920
鐵嘴鵒	0.661205	0	-68.5647602	15.50065	376
鵒科	131.3558	1714.37	-6631.50602	1009.318	53
鵒科	2214.845	3790.98	-11156.4211	-2041.14	33

1. 黃足鵒

透過線性規劃分析的結果可以看出在防風林對黃足鵒族群量有最明顯的影響，當每增加百分之一比例的防風林面積會減少約 430 隻的數量，而礫石地與植被面積的增加相較於防風林，鳥類數量增加較少，其方程式如下：

$$Y = 21.18308X_1 - 427.509779X_3 + 44.45217X_4$$

2. 黑腹濱鵲

透過線性規劃分析的結果可以看出在防風林與水體對黑腹濱鵲族群量有最明顯的影響，當每增加百分之一比例的防風林面積會減少約 4800 隻的數量，而每增加百分之一比例的水體面積的增加會增加約 2000 隻的鳥類數量，其方程式如下：

$$Y = 67.2956X_1 + 1995.27X_2 - 4803.36022X_3 + 901.6598X_4 + 2$$

3. 翻石鵲

透過線性規劃分析的結果可以看出在防風林翻石鵲族群量有最明顯的影響，當每增加百分之一比例的防風林面積會減少約 15 隻的數量，其方程式如下：

$$Y = 0.8937X_1 - 15.5208725X_3 + 0.377638X_4$$

4. 東方環頸鵲

透過線性規劃分析的結果可以看出在防風林與植被面積對東方環頸鵲族群量有最明顯的影響，當每增加百分之一比例的防風林面積會減少約 50 隻的數量，而每增加百分之一比例的植被面積增加會減少約 40 隻的鳥類數量，其方程式如下：

$$Y = 8.445939X_1 - 68.5647602X_3 - 38.5672X_4 + 920$$

5. 鐵嘴鵲

透過線性規劃分析的結果可以看出在防風林面積對鐵嘴鵲族群量有最明顯的影響，當每增加百分之一比例的防風林面積會減少約 50 隻的數量，其方程式如下：

$$Y = 0.661205X_1 + 21.6988X_2 - 50.5060817X_3 + 15.50065X_4 + 376$$

6. 鵲科

透過線性規劃分析的結果可以看出在水體、防風林與植被的面積改變對鵲科

族群量有明顯的影響，當每增加百分之一比例的水體面積會增加約 1700 隻的數量，每增加百分之一比例的植被面積的增加會增加約 1000 隻的鳥類數量，每增加百分之一比例的防風林面積的增加會減少約 6500 隻的鳥類數量，其方程式如下：

$$Y = 131.3558X_1 + 1714.37X_2 - 6631.50602X_3 + 1009.318X_4 + 53$$

7. 鴿科

透過線性規劃分析的結果可以看出在礫石地、水體、防風林與植被的面積改變對鴿科族群量均有明顯的影響，其中以防風林面積的影響最大，當每增加百分之一比例的礫石地面積會增加約 2200 隻的數量，每增加百分之一比例的水體面積的增加會增加約 3800 隻的鳥類數量，每增加百分之一比例的防風林面積的增加會減少約 10000 隻的鳥類數量，每增加百分之一比例的植被面積的增加會減少約 2000 隻的鳥類數量其方程式如下：

$$Y = 2214.845X_1 + 3790.98X_2 - 11156.4211X_3 - 2041.14X_4 + 33$$



第五章 結論與建議

5.1 結論

本研究以彰化濱海工業區崙尾西區為研究樣區探討鷓鴣科水鳥族群主要停棲地的地貌變化(植被、防風林、礫石地以及水體)對符合重要鳥類棲地準則之鳥類(翻石鷓、黃足鷓、黑腹濱鷓、鐵嘴鷓以及東方環頸鷓)以及以科別區分的鳥類數量有何關係，利用線性規劃的方式分析獲得以下結論：

1. 以五種重要鳥類的分析數據來看，防風林與植被兩種的面積的增加，會使重要鳥種的數量明顯減少，在相同面積下，防風林與植被的生長會縮減到鷓鴣科鳥類所使用的空曠地，因此會降低鳥類利用此棲息地的機會
2. 以鷓鴣科族群的數據顯示，水體的面積增加會使數量增加，此數據符合鷓鴣科族群的偏好水體較多且具有空曠礫石地的生態習性。
3. 以鷓鴣科族群的數據顯示，當地礫石地面積與水體的面積增加，亦會使鷓鴣科族群數量增加，此數據也符合鷓鴣科族群偏好礫石地的生態習性。
4. 透過分析結果得知，影響鷓鴣科水鳥數量的因子最主要的因子是礫石地面積、水體面積以及植被的覆蓋面積的多寡。

5.2 建議

1. 在地貌辨識的過程中，會有混和像元的問題，造成地貌類別的誤判，因此建議在圈選訓練樣區樣本時，避免圈選過於相似的像元，或是簡化欲分類的地貌類別，提高辨識的精確度。
2. 在線性規劃分析中，因為數據數量較少，因此在分析的結果可能會有些許的誤差，因此建議為來在分析數據時可以收集更多筆的資料，以取得更加準確地結果。

3. 近年來彰化海岸的開發、風力發電機的架設、抽砂填海造地以及清砂工程等，對彰化濱海工業區崙尾西區的生態環境造成棲地改變，建議減少對當地的開發行為，減少對鳥類的衝擊影響以提高鳥類對土地的利用程度。
4. 未來保育方面可以根據本研究為範例以及數據分析結果以建議未來土地開發時應對生物之棲地或鳥類休息地適當的補償面積，降低環境變遷對水鳥的衝擊程度，使生態環境得以永續發展。



第六章 參考文獻

Battley, P.F., Rogers, D.I., Piersma, T., Koolhaas, A., 2003. Behavioural evidence for heat-load problems in Great Knots in tropical Australia fuelling for long-distance flight. *Emu - Austral Ornithology* 103, 97-103.

Bortels, L., Chan, J.C.W., Merken, R., Koedam, N., 2011. Long-term monitoring of wetlands along the Western-Greek Bird Migration Route using Landsat and ASTER satellite images: Amvrakikos Gulf (Greece).

Journal for Nature Conservation 19, 215-223.

Brown, S.C., Hickey, C., Harrington, B., Sciences, M.C.f.C., 2000.

United States shorebird conservation plan. Manomet Center for Conservation Sciences.

David Li Zuo Wei, Andrea Bloem, Simon Delany, Quintero, G.M.a.J.O., 2009. Status of Waterbirds in Asia. Wetlands International, Selangor, MALAYSIA

Gary L. Sprandel, Jeffery A. Gore, Cobb, D.T., 1997. Winter Shorebird Survey.

Ge, Z., Wang, T., Zhou, X., Shi, W., 2006. Seasonal change and habitat selection of shorebird community at the South Yangtze River Mouth and North Hangzhou Bay, China. *Acta Ecologica Sinica* 26, 40-47.

Gilbert Pearson, J.T.D., 1922. *birdLife International*.

Gillespie Caitlyn, R., Fontaine Joseph, J., 2017. Shorebird stopover habitat decisions in a changing landscape. *The Journal of Wildlife Management* 81, 1051-1062.

Gillespie Caitlyn R., F.J.J., 2017. Shorebird stopover habitat decisions in a changing landscape. *The Journal of Wildlife Management* 81, 1051-1062.

Hale, E.H.W.G., 1983. Eric Hosking's WADERS. Pelham Books London, UK.

Islam, K., Jashimuddin, M., Nath, B., Nath, T.K., 2018. Land use classification and change detection by using multi-temporal remotely sensed imagery: The case of

Chunati wildlife sanctuary, Bangladesh. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* 21, 37-47.

J Richard Landis, G.G.K., 1977. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. pp. 159-174.

J. D. Goss-Custard, R. M. Warwick, R. Kirby, S.M., R. T. Clarke, B. Pearson, W. E. Rispin, Rose, S.E.A.L.V.D.D.a.R.J., 1991. Towards Predicting Wading Bird Densities from Predicted Prey Densities in a Post-Barrage Severn Estuary. pp. 1004-1026.

Jorgensen, J.G., McCarty, J.P. & Wolfenbarger, L.L. , 2007. Landscape and habitat variables affecting Buff-breasted Sandpiper *Tryngites subruficollis* distribution during migratory stopover in the Rainwater Basin, Nebraska, USA.

Lillesand, T.M.a.K., R.W., 2000. Remote Sensing and Image Interpretation. John Wiley & Sons, Inc. , USA.

Nebel, S., Porter, J.L., Kingsford, R.T., 2008. Long-term trends of shorebird populations in eastern Australia and impacts of freshwater extraction. *Biological Conservation* 141, 971-980.

Piersma, T., Gill Jr, R.E., de Goeij, P., Dekinga, A., Shepherd, M., Ruthrauff, D.R., Tibbitts, T.L., 2006. Shorebird avoidance of nearshore feeding and roosting areas at night correlates with presence of a nocturnal avian predator. *Wader Study Group Bulletin* 109, 73-76.

Rehfish, M., Clark, N., Langston, R., Greenwood, J., 1996. A Guide to the Provision of Refuges for Waders: An Analysis of 30 Years of Ringing Data from the Wash, England.

Rogers, D., Battley, P., Piersma, T., Van Gils, J., Rogers, K., 2006a. High-tide habitat choice: insights from modelling roost selection by shorebirds around a tropical bay.

Rogers, D.I., Piersma, T., Hassell, C.J., 2006b. Roost availability may constrain shorebird distribution: Exploring the energetic costs of roosting and disturbance around a tropical bay. *Biological Conservation* 133, 225-235.

Studds, C.E., Kendall, B.E., Murray, N.J., Wilson, H.B., Rogers, D.I., Clemens, R.S., Gosbell, K., Hassell, C.J., Jessop, R., Melville, D.S., Milton, D.A., Minton, C.D.T., Possingham, H.P., Riegen, A.C., Straw, P., Woehler, E.J., Fuller, R.A., 2017. Rapid

population decline in migratory shorebirds relying on Yellow Sea tidal mudflats as stopover sites. *Nature Communications* 8, 14895.

Wiersma, P., Piersma, T., 1994. Effects of Microhabitat, Flocking, Climate and Migratory Goal on Energy Expenditure in the Annual Cycle of Red Knots.

王憶婷, 2016. 應用衛星影像監測裸露地變遷之研究. 地理學系. 國立高雄師範大學, 高雄市, p. 91.

東海大學環境科學與工程學系, 1997-2017. 彰化濱海工業區開發工程環境監測計畫-鳥類監測計畫. 台北.

林金樹, 2001. 影像參數加權統計法 PN 指標於土地利用型高光譜特徵選粹上之研究. *航測及遙測學刊* 6(2), pp.1-20.

施月英, 2007. 海岸風力發電機對鳥類群聚的影響-彰濱工業區崙尾風力場為例. 生態學研究所. 靜宜大學, 台中市, p. 179.

洪崇航, 2009. 影響小燕鷗在崙尾工業區內孵化成功率之因子. 環境科學與工程學系. 東海大學, 台中市, p. 53.

郭育全, 1997. 分散度指標應用於遙測影像分類特徵選取之研究. 農業工程學系. 國立臺灣大學, 台北市, p. 71.

陳朝圳, 鍾., 吳守從, 陳建璋, 李崇誠, 劉冠良, 謝依達, 金絜之, 王慈憶, 陳建文, 陳桂嘉, 吳坤真, 2009. 遙感探測應用於棲地現況調查計畫. 國立屏東科技大學.

辜國展, 2005. 大肚溪口繁殖期東方環頸鴿活動模式之研究. 環境科學系. 東海大學, 台中市, p. 52.

劉其輝, 2005. 結合遙測與地理資訊系統於都市發展之研究-以桃園縣（復興鄉除外）為例. 地政研究所. 國立政治大學, 台北市, p. 118.

劉威廷, 2002. 彰濱工業區水鳥繁殖棲地選擇、繁殖成功率和經營管理之研究. 環境科學系. 東海大學, 台中市, p. 87.

劉晃丞, 2006. 應用高程差與福衛二號影像共同判釋新崩塌地. 地球科學系碩博士班. 國立成功大學, 台南市, p. 81.

