



東海大學環境科學與工程學系

碩士論文

應用冗餘分析探討環境因子與底棲物種
之關係-以彰濱海岸濕地為例

To Discuss the Relationship Between Environmental Factors
and Benthic Species in the Changhua Coastal Wetlands
by Redundancy Analysis

研究生：高彰邑

指導教授： 陳鶴文 博士
 陳維燁 博士

中華民國 104 年 06 月

致謝

轉眼間兩年的時光飛逝，當初懵懵懂懂的自己，在研究所求學的過程之中，得到了許多寶貴的經驗以及能力，學業上，感謝研究所以及研究室的同學一起討論、互相幫忙，讓我在研究所課程之中能夠從容的學習，也感謝老師們的敦敦教誨，不同的課程讓我學到不同方面的研究觀點，在實驗室裡的大家也教會我會很多東西，感謝禹豪學長讓我學習一些資料的編輯，感謝玫華學姊指導繪圖軟體的應用，感謝阿輝學長在生態方面的指導，尤其感謝硯勳學長在地理資訊系統以及研究方法上指導，真的讓我受益良多，特別感謝陳維燁老師及陳鶴文老師作為我的指導教授，兩年下來，不管在課業上或是研究上的悉心指導，讓我在研究方面有不同的思考，數據分析以及資料的整理上能更加得心應手，使得我可以在研究所期間順利的完成本論文，感謝口試委員甯蜀光老師、張揚祺老師以及紀子文老師於論文口試的時候給予我許多珍貴的意見與指正，讓我了解到我所缺少的地方，感謝林惠真老師百忙之中抽空來參加我的口試，儘管老師說只是來旁聽，卻給了我很多很好的建議，讓我的論文更加的完整，也感謝煒錚在英文翻譯上的幫忙，感謝瑋倫在計畫上以及研究上的幫忙，並且花時間和我討論來解決我的問題，還有感謝阿聖、澄喬、啟宇、姿吟、雅今、于婷、金剛、昆翰、瀨儀同學以及人稱四帥的于安、耀州、昱廷、騰瑋學弟在這期間對我協助，感謝我的老朋友耀庭、德宇、睿睿，從大學陪伴我到研究所，這幾年來對我的鼓勵以及一些生活瑣碎或碰到麻煩時的幫助。

最後，最想感謝我的家人，父母親在我求學的一路上，無冤無悔的支持我，鼓勵我，掛心我，以及老弟總是義不容辭的幫忙，讓我能夠心無旁騖的去完成我的學業，全力朝自己的目標邁進。

摘要

環境與生態之間一直是息息相關，台灣四面環海擁有許多濕地，濕地作為一個豐富多樣性的生態系，提供許多重要功能，近年來濕地價值隨著社會大眾認知提高，愈來愈被重視，政府也制定濕地保育法來保護濕地，在維護管理上，若能瞭解環境與生態之間的關係，便能從主要影響的環境因子中優先處理。本研究針對具有最大黑色泥質濕地的彰化海岸來做為研究區域，收集研究區域內環境因子(水質、底質、重金屬)與生態物種(底棲生物)的資料，利用相關分析將環境因子進行初步篩選，再利用主成份分析找出較具有代表性與指標性的因子組合來作為該區域環境綜合評量因子，可以從因子上較迅速的判別主要造成的影響。最後應用於冗餘分析來探討環境綜合評量因子對生態的影響，分析結果顯示大部分的底棲物種與短期內的污染衝擊因子有正相關性，對長期的污染衝擊因子有負相關性，一些螃蟹物種(如萬歲大眼蟹、雙扇股窗蟹)對於棲地的選擇上，受灘地的底質類型影響較大，而貝類在重金屬因子有正相關性，可能是對毒性具有較大的耐性，在潮溝辨識上，位於福興鄉與芳苑鄉外側樣點之潮溝密度較高，但並未與底棲生物數量有明顯對應。

關鍵字:海岸濕地、環境因子、主成分分析、冗餘分析、潮溝

Abstract

There are many wetlands in Taiwan. Only in recent years, their value is becoming the concern of the people, and the governments enact legislations to protect the wetland. For better management, it is desirable to know the relationship between the environment condition and the biological species. In this study, the largest black muddy wetlands in the Taiwan's Changhua wetlands is the study area. We collect the environmental and ecological species data, which are subjected to comprehensive statistical analysis by correlation, PCA, GIS. To employed examine the relationship between the environment and the ecology species by RDA. The result shows that most of benthic biological species have the positive correlation with the short-term's pollution factors, and have the negative correlation with the long-term's pollution factors. The preferred habitat for crab species, like *Macrophthalmus banzai* and *Scopimera bitympana*, is primarily defined by the sediment types. Moreover, the shellfish have the positive correlation with the heavy metal concentration because this is plausible that these species are tolerant to mild metal high toxicity. In the tidal creek's identification, the Fu-xing Township and the Fang-yuan Township have the higher tidal creek density than other township.

Key words: Coastal Wetlands, Environmental factors, Principal Component Analysis, Redundancy Analysis, Tidal Creek.

目錄

摘要	I
Abstrac	II
目錄	III
表目錄	VI
圖目錄	VII
第一章前言	1
1-1 研究緣起	1
1-2 研究目的	2
1-3 論文架構	3
第二章文獻回顧	5
2-1 台灣濕地現況	5
2-1-1 濕地保育法成立緣由	6
2-1-2 沿海濕地	7
2-1-3 底棲生物在濕地上的重要性	10
2-1-4 潮溝	10
2-2 多變量分析方法與應用	12
2-2-1 冗餘分析之應用	14

2-3 衛星影像辨識技術.....	16
2-4 地理資訊系統.....	17
第三章研究方法.....	19
3-1 研究區域建立.....	19
3-2 資料蒐集與整合.....	21
3-3 相關性分析.....	23
3-4 主成份分析.....	24
3-5 冗餘分析.....	26
3-6 空間分析.....	30
第四章結果與討論.....	33
4-1 水文環境、底棲生物與毒性金屬調查結果.....	33
4-2 變數篩選.....	36
4-3 環境指標建立.....	37
4-4 因果關聯分析.....	38
4-5 潮溝影像辨識結果.....	49
4-5-1 潮溝面積.....	56
4-5-2 潮溝密度.....	57
4-5-3 潮溝密度與底棲物種.....	59
第五章結論與建議.....	60

5-1 結論.....	60
5-2 建議.....	61
參考文獻.....	62
附錄.....	65



表目錄

表 3-1-1、各樣點描述	21
表 3-2-1、資料項目表	22
表 4-1-1、環境因子-水質與水文因子	33
表 4-1-2、環境因子-底質因子	34
表 4-1-3、生態物種-底棲生物	35
表 4-1-4、重金屬因子	35
表 4-3-1、主成份分析結果	38
表 4-5-1、各區潮溝面積	56
表 4-5-2、各樣點潮溝面積與密度	57
附錄一、自變數與自變數相關分析全表	65

圖目錄

圖 1-3-1、研究架構圖	4
圖 2-1-4-1、潮溝的類型: (A)細溝、溝槽(B)沖溝(C)小溪(D)水道.....	12
圖 3-1-1、彰化海岸濕地研究樣區	20
圖 3-5-1、冗餘分析之原理架構圖	28
圖 3-5-2、冗餘分析結果圖例	30
圖 3-6-1、實際潮溝照片	32
圖 4-4-1、2013 年 11 月 RDA 分析.....	40
圖 4-4-2、2014 年 1 月 RDA 分析.....	41
圖 4-4-3、2014 年 4 月 RDA 分析.....	42
圖 4-4-4、2014 年 7 月 RDA 分析.....	43
圖 4-4-5、2014 年 11 月 RDA 分析.....	44
圖 4-4-6、2013 年 11 月到 2014 年 11 月 RDA 分析.....	45
圖 4-4-7、2013 年 11 月到 2014 年 11 月底棲生物類別 RDA 分析	46
圖 4-4-8、2013 年 11 月重金屬與底棲生物 RDA 分析.....	47
圖 4-4-9、2014 年 1 月重金屬與底棲生物 RDA 分析.....	48
圖 4-5-1、辨識範圍圖例	49

圖 4-5-2、大城鄉外側灘地	50
圖 4-5-3、芳苑鄉外側灘地 A	51
圖 4-5-4、芳苑鄉外側灘地 B.....	52
圖 4-5-5、芳苑鄉外側灘地 C.....	53
圖 4-5-6、鹿港鎮與線西鄉外側灘地	54
圖 4-5-7、伸港鄉外側灘地	55
圖 4-5-8、彰化海岸全區辨識結果	56
圖 4-5-9、各樣點環域分析圖	58
圖 4-5-10、潮溝密度與底棲生物數量折線圖	59



第一章前言

1-1 研究緣起

台灣四面臨海擁有一千多公里的海岸線，地勢高聳河川坡度陡急，受到地理位置與氣候的影響，再加上充沛的雨量，沖刷力強，河流常攜帶大量泥沙到河口形成廣闊的泥灘地，使得海岸有著多變的地形，依國際濕地(拉姆薩)公約(Ramsar Convention, 1971) 對濕地之定義而言：「不論天然或人為、永久或暫時、靜止泥沼地、泥煤地或水域所構成之地區，包括低潮時水深 6 公尺以內之海域」，台灣東岸瀕臨太平洋，離岸不遠水深即達到數百公尺，很難形成海岸濕地，而台灣西岸具有非常發達的海岸濕地，海岸濕地形成於陸地淡水和海洋鹹水環境之間的交匯處，是個重要的過渡地帶，海岸濕地與河口濕地在濕地生態系之中佔有很高的重要性及生產力，濕地是具有多功能的獨特生態系統，除了提供給許多生物良好的棲息地與營養物質，也因為環境裡不同的特性而擁有豐富的生物多樣性之外，還可以調節氣候、涵養水源、阻緩洪水速度、保護海岸、淨化水質、保留營養鹽、補充地下水、生態觀光等許多功能，如果說森林是大地之肺那麼濕地便可譽為大地之腎(濕地保育法草案，2010；黃淑媚，2012)，但是過去的人對海岸濕地的生態性和重要性不夠瞭解，因此並未重視它，利用價值較低，加上土地取得容易，成為優先選擇當作開發的地區，西岸濕地到處面臨開發的壓力，造成沿岸自然環境遭到破壞，海岸侵蝕流失，生物棲地減少，導致環境中生物多樣性降低。近年來，全球暖化，氣候變遷日益加劇，海平面上升，衝擊海岸地區的生態環境與臨海社區安全，環保意識逐漸抬頭，使得濕地越來越受到社會大眾重視，內政部營建署在 2007 年評定出 75 處國家重要濕地，台灣也在 2013 年通過了濕地保育法來作為確保濕地功能、維護生物多樣性、促進生態保育與明智利用的依據，但在管理維護上較為缺乏，應該對濕地環境以及生活在其中的生物彼此之關

係有相當的了解，進而對濕地管理上有所幫助，底棲生物在濕地環境中除了會受到季節氣候與底泥性質影響外，更會受到環境中的污染程度而改變其組成及分布，由於濕地是水域與陸域之交匯處，所以許多物質都是來自陸源或生物源，像是生物殘渣或是污水帶來的營養物質，濕地中的環境變化常會受到外界因素所影響(胡慎穎，2008；戴立，2011)。

因此，如果能瞭解環境因子的變化對生態物種產生之影響與關係，便能夠找出對濕地生態影響較大的環境因子，在維護管理上便能夠優先處理，可以讓溼地環境較快獲得改善，可供管理者在濕地經營管理上之參考。

1-2 研究目的

本研究探討濕地環境上環境因子對底棲生物之影響，如果能了解環境與底棲生物之間的關係，當濕地受到改變或衝擊時，便能夠較快改善，因此本研究收集的環境因子與底棲生物資料進行彙整與篩選，將因子濃縮成幾個具有代表性或指標性之綜合因子，最後進行因果分析來探討，並利用遙測技術分析探討潮溝密度與生物數量之關係，期望能提供分析結果作為濕地環境維護或改善策略的方向。

1-3 論文架構

本研究流程圖如圖 1-3-1 所示，首先確立研究目的，為了找出主要影響生物之環境因子，使用冗餘分析探討環境因子對生態物種之影響，研究區域為彰化海岸濕地，收集並整理彰化海岸生態環境調查監測相關資料，在進行冗餘分析之前，需要對資料進行前處理，因此，利用相關分析進行自變數之初步篩選，使剩下的自變數之間較具有獨立性，再利用主成份分析尋找具有代表性、指標性環境因子組合作為該地區環境綜合評量因子，最後將主成分分析結果應用冗餘分析 (Redundancy analysis, RDA)，探討環境因子與生物之間的因果關係，另外，使用衛星影像辨識技術，辨識彰化海岸衛星影像圖之潮溝面積，探討潮溝密度和生態物種數量之關係。



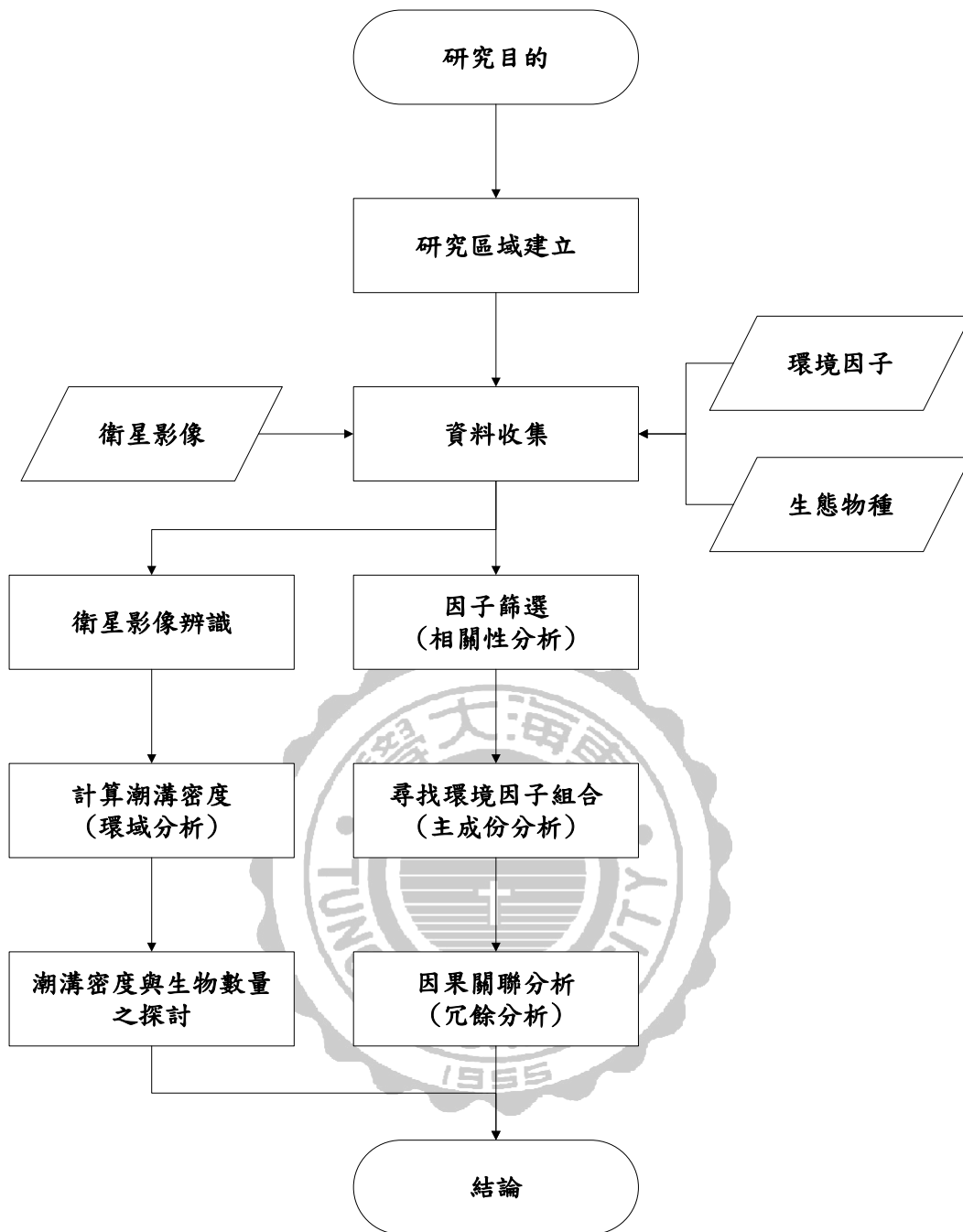


圖 1-3-1、研究架構圖

第二章文獻回顧

2-1 台灣濕地現況

濕地是指陸地與水域之間全年或間歇地被水淹沒的土地，濕地從以前到現在，有很長的一段時間被視為不重要且沒有實用價值的地區，過去基於人定勝天的使命感，以及將它轉而投入更有經濟效益的用途的觀念，在土地需求增加與土地取得不易，種種壓力之下，台灣的海岸地區成了各種土地使用競相角逐的區帶。常以填土或排水的方式建構出農業、漁業、工業用地或是將濕地供為垃圾推置場所，對濕地產生難以回復的傷害以及功能喪失。

濕地對當地的環境而言，最直接的功能在於生態、防洪及淨水。在生態上，它提供給生物作為庇護、覓食及生育時的棲息地。濕地同時是地球上生產力最豐富的生態系之一，估計全世界有三分之二的魚貝類於此生產，經濟效益極高。濕地也是魚類、甲殼類、鳥類及其他野生動物的棲息處，其富含有機質的生態系統是最重要的特徵，在防洪上，濕地就像海綿一樣，具備降低洪患的功能，能夠先儲洪再緩慢洩洪，可以調節水量與補充地下水，減少洪害影響，台灣因地處颱風帶，每逢夏季、秋季颱風常對沿海地區造成海水倒灌以及河口地區的氾濫，在淨水上，能夠用來整治污水，改善水體的水質，以及養份與廢物之間的轉換。因此濕地生態系產生的經濟與社會價值可以說是影響深遠而重要的(林惠真，1998，2003)。

對於臺灣濕地不斷受到的衝擊及破壞，重要棲息環境被切割、零碎化，影響整體生態的永續發展，造成的問題已經不容忽視，營建署 2007 年首度劃設 75 處國家重要濕地，後增加為 83 處。2009 年開始推動濕地復育獎補助作業，並配合行政院國家永續發展委員會推動辦理國家重要濕地保育計畫，與國際濕

地科學家學會簽署 2010~2015 濕地區域策略行動計畫合作備忘錄。目前國家重要濕地保育計畫從 2011 年開始推動，將在 6 年之間投入新臺幣 16 億元進行濕地保育。並且在 2013 年，總統府公告了「濕地保育法」，濕地保育策略有了法律基礎(科學發展，2014)。

2-1-1 濕地保育法成立緣由

在過去，對於濕地進行保育工作相當的少，主要是針對特定指標物種或是明星物種進行保護，又因為這些明星物種的棲地環境為濕地，所以連帶保育濕地生態環境。像是依照文化資產保存法劃設的「自然保留區」、依國家公園法劃設「史蹟保存區、特別景觀區及生態保護區」、依野生動物保育法所劃設的「重要野生動物棲息環境」與「野生動物保護區」，以及一些間接對濕地保育發揮作用的法律，像是依森林法所劃設的「自然保護區」與「森林保護區」，可能對山林草木環境產生保護作用，依漁業法所劃設的「水產動植物繁殖保護區」，可能對海岸灘地、河口灘地產生一定程度的保護作用，依水土保持法所劃設的「特定水土保持區」，可能對沙灘、沙丘、海岸、河岸、河口產生一定程度的保護作用，依發展觀光條例劃設「風景特定區」等，間接對濕地進行保護或保育。僅有環境基本法第 18 條規定：「各級政府應積極保育野生生物，確保生物多樣性；保護森林、潟湖、濕地環境，維護多樣化自然環境」但是在過去的法律之中，濕地並無主管機關，上面所提法律都可能間接保護或保育部分重要濕地，只是並非以濕地生態保育來制定，運用在濕地保育上難免有所限制(內政部營建署，2010)。

在濕地管理上，我國濕地保育與開發的各種資源未能合理整合與適當分配，未建立濕地管理之機關；管理人力經費不足；管理組織系統分歧；缺乏整體管理計畫；缺乏充足的生態資訊以供決策；保育觀念不足，欠缺民眾參與等等問題，導致開發單位及政府機關無明確法令依據進行管理，使得濕地面積與生態功能快速減少、海岸線受到侵蝕，國土嚴重流失；並且減低滯洪防災的功能，對於環境、生態、經濟、社會的影響將難以估計。法律沒有明確定義、欠缺專法、引用其他法令受到限制，難以凸顯濕地功能及重要性，因此，明確的濕地立法，是明確濕地保護政策以及手段的關鍵。濕地保育法成立之後，可能與其他法律有所重疊，但是關於濕地之規劃、保育、利用、經營管理及其他涉及濕地之相關事務，成為優先適用的法案(內政部營建署，2010)。

2-1-2 沿海濕地

依據美國「美國漁業與野生動物署」(U.S. Fish and Wildlife Service)在1979年“美國的濕地深水棲息地的分類”一文中，給予濕地定義為：「濕地是介於陸域與水域系統之間的交匯處，其地下水位接近地面，或有淺層積水。濕地必須符合一至幾個以下特徵：一、必須具有優勢水中植物。二、在表土下某一深度的土壤必須含水。三、在最低限度之期間或頻率內必須為水淹沒或土壤含有飽和之水。」上述定義還指出湖泊與濕地的差異在：低水位時水深2米以上為湖泊；水深不足2米為濕地。台灣濕地保育法中的濕地定義為：「指天然或人為、永久或暫時、靜止或流動、淡水或鹹水或半鹹水之沼澤、瀉湖、泥煤地、潮間帶、水域等區域，包括水深在最低低潮時不超過六公尺之海域。」與拉姆薩公約所定義的較相近。

台灣濕地保育聯盟將濕地主要分為兩種，海岸濕地與淡水濕地，海岸濕地包括海岸沼澤、泥質灘地及紅樹林沼澤等，是隨著海洋潮汐運動而存在的濕地生態體系；淡水濕地則是因為雨水、地下水、伏流水、非感潮河段或溪流、湖泊及池塘所形成的濕地生態系統，包括淡水沼澤、淡水池塘、灌木沼澤、低地闊葉林、木本森林沼澤等。有文獻(方國運，2006)則是由狹義的定義來界定台灣海岸地區濕地之類型，除了天然濕地以外，也隨著人為活動形成不同的人為濕地，依照自然景觀、人為過程及植群特性，將台灣海岸濕地分為以下類型:(1)地層下陷區，(2)河口濕地，(3)瀉湖區，(4)近海淺灘，(5)廢曬鹽田，(6)荒廢魚塭，(7)林間濕地，(8)水畔綠帶，(9)水田。

海岸濕地通常並不是泛指所有的海岸潮濕有水之地區，而是指河水海水之交匯處，會受到潮汐影響的局部而封閉區域，它有一出口通向海，漲潮時海水自海洋流入，而淡水則是來自河川注入，地表或地下水滲入。不論是河口、瀉湖、海灣或者峽灣，都屬於部分封閉的水域，海浪的衝擊受到阻隔，海浪作用力比較小，海潮漲落比較平緩，使得這些區域形成緩流區。自河流上中游沖刷下來的泥沙，或自陸地沖刷下來的沙泥，或有適當海流自海底帶上來以及自其他海灣、河口帶來的沙泥，就在這緩流區沉積下來，形成泥質灘地。泥巴成為海岸濕地最主要的底質。

地形及環境穩定的海岸濕地，會日益沉積沙泥，加上生長在其間的植物的攔截，助長了沙泥的堆積，使泥灘日漸擴展，愈加穩定，而泥灘有較多的沉澱物、腐植質以及有機物，也因泥灘顆粒小、黏性高，不容易隨著海浪拍打而移動，含水量高、滲透性低，適合動物築巢，進而提供了許多生物的生存空間，由潮水帶來的有機碎屑或河川上游的家庭廢水與工業廢水帶來的大量營養鹽，在陽光充足照射之下，微生物生長快速，有機物迅速的被分解，具有大量的生產量，形成了極為特殊的生態系(1998，林惠真；2003，林惠真)。

沿海濕地擁有幾項很重要的價值，濕地生態系統具有整體功能，台灣海岸濕地之主要功能如下(高明瑞、彭仁君，2000；方國運，2006):

- (1) 滋養魚貝類: 海岸濕地是魚、蝦以及貝類的生長場所，除了提供庇護之外，草澤與紅樹林的枯葉成為了水生動物豐富的食物來源。
- (2) 庇護鳥類: 沿海濕地多樣的環境，提供給不同鳥類不同的需求，豐富的魚、蝦、蟹類與底棲生物讓水鳥有多樣且充足的食物選擇，濕地是候鳥遷徙之不可或缺的中際休息站、度冬棲地或是繁殖之重要棲地，這些候鳥有許多是瀕臨絕種且受到國際指名保護的鳥種。
- (3) 提供天然產物: 海岸濕地提供魚類、貝類、魚苗、薪材、藥材等，有助於當地居民之生計，像是魚類與甲殼類，這些漁業資源為每日民生食用魚類之主要來源，如果它們的生長場所遭受污染或破壞，將會減少漁業資源，進而影響到沿海漁民生計。
- (4) 防風與護岸: 濕地上的植物群可以抑制海浪與固定土壤，有效的保護海岸、河岸以及堤岸，也能夠抵擋強風，改善海岸地區的生活環境。
- (5) 蓄水與淨水: 沿海濕地具有良好的蓄水量，可以減緩洪水氾濫，也能夠調節與補充地下水，減少地層下陷，並沉積、淡化、過濾與分解一些污染物，改善與淨化水質。
- (6) 教育與遊憩: 海岸濕地生物多樣性豐富，為重要的基因庫，是許多學術的研究區域與環境教育的戶外教室，可讓民眾賞鳥、貼近自然等生態旅遊之資源，對當地經濟做出貢獻。

2-1-3 底棲生物在濕地上的重要性

當環境受到污染或是衝擊而造成環境改變，除了經由物理以及化學的資料可以得知外，生物經常作為環境狀況的指標。濕地生態系是一種具有豐富生物多樣性的環境，由於濕地位於水陸交界的過渡地帶，生活其中的物種種類包含了藻類、水生植物、無脊椎動物、兩棲類、爬行類、鳥類等，都可被選擇做為濕地環境上的指標生物。不過因為指標物種的生態習性或環境適應能力有所不同，因此並不適合以一概全的方式對所有濕地的進行監測與評估。

以海岸濕地中的甲殼類來說，海岸濕地的潮間帶是最合適甲殼類動物生存的環境，日照充足、數量豐富的藻類與浮游生物，提供了大量的食物，加上河川從上游帶來的營養物，多樣化的地形提供許多避敵場所，更吸引大量的蝦蟹類在此生活。灘地裡的螃蟹種類豐富，包含和尚蟹科、沙蟹科、方蟹科的螃蟹，為泥灘地生態系的特色物種；在這類環境中生存的螃蟹大多以灘地上的有機碎屑為食，環境的變動也會連帶影響螃蟹族群的改變。底棲生物終其一生都生活於水中，或生活史中的幼體階段須於水中發育，對於不同的污染量與污染種類，物種的容忍度有所不同，多數物種的移動性低，種類容易判斷，多數可利用目視鑑種，因此可以做為水域環境狀態好壞因素之一(行政院公共工程委員會，2005)。

2-1-4 潮溝

潮溝(Tidal creeks)是不斷變化的，它們緊密地將陸地與海洋聯繫在一起，潮溝的形成為退潮時，淹上來的海水流回海裡，或是海浪的沖刷，海水會順著低窪處流回海中，經過的時間久了，這些低窪區域就會被沖刷成一條一條的溝槽狀，

為沙泥質潮灘上因潮流作用形成的沖溝，內可能富含生物活動，潮溝是非常具有價值的，它們所提供的生態系統服務，是很難從其他系統得到這麼多，因為潮溝擁有豐富的食物以及給予生物保護的避難場所，讓許多生物作為棲息地，因此潮溝通常為孕育海岸區域內水陸域生態物種的重要搖籃。

我們一般都統稱為潮溝的類型，從文獻(Perillo, 2009)得知可以分為以下幾種(如圖 2-1-4-1)，潮汐細溝(Tidal rills)是非常小的表層凹槽受到後面退潮的影響而拓展，根據表面斜率以及沉積物特徵，細溝有許多不同的形狀，從線性到蜿蜒，甚至是辮狀，在沙灘上，細溝的另一種常見形成方式，是由地下水的排放導致大量具有各種形狀的細溝產生。細溝可以被認為是潮溝初步的形成過程，它們的存留和進一步發展取決於凹槽的深度、土壤特性以及潮汐淹沒的過程，如果凹槽的深度擴展超過 1 公分，細溝就變成了溝槽(Tidal grooves)，溝槽往往會發展到 1~5 公尺甚至更長，通常情況下，它們是線性的蜿蜒扇形，由於強烈的退潮流或地下水，它們會沿著幅度較大以及斜率較高的通道流出。在這一些溝槽集中的地方可能會產生較大擴展，如沖溝(Tidal gullies)或小溪(Tidal creeks)的形成。沖溝(Tidal gullies)的凹槽深度可能高達 1 公尺，寬度也比前面所提的 2 種來得寬，沖溝通過潮汐淹沒而保留並增強，它們可以很容易與其他潮汐水道結合在一起，不同的是，在退潮時，就算缺乏潮水也可以觀察到一些水流，這些水流可能從雨水、濕地或是地下水而來。濕地主要的動態結構是小溪(Tidal creeks)和潮汐水道(Tidal channels)，與其他類型主要區別在於退潮時，一部分仍然會受到潮汐的水而長期性淹沒。另外，在地圖或是衛星影像上，大多數濕地上的潮汐通道，最大的特點在於能夠清楚的顯示出來。

本研究並未探討不同類型的潮溝分別對生物產生的影響，因此仍以整體潮溝對生物的影響為主來探討。

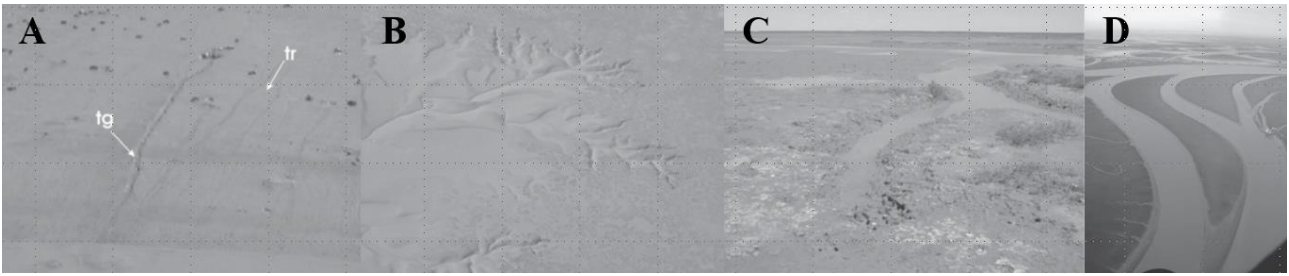


圖 2-1-4-1、潮溝的類型: (A)細溝、溝槽(B)沖溝(C)小溪(D)水道 (Perillo, 2009)

2-2 多變量分析方法與應用

多變量分析應用範圍極廣，起初應用於心理學，現今主要應用於了解變數之間的關係，在各大領域均有應用，包含人類學、物理學、經濟學、教育學、保育學...等（陳耀茂，2001）。

當分析兩個屬量變數 X 與 Y 之間的相關性時，可以使用簡單的相關分析，計算出簡單相關係數，以判斷兩者之間的相關程度大小以及正相關或負相關。當要分析多個屬量變數與一個特定屬量變數之間的相關性時，可以利用複迴歸分析，將分析中所計算得到的判定係數開根號，能夠得到此一變數與另一組多個變數間的複相關係數（林師模，2003）。

有研究指出（Olsen et al., 2012），當所得到數據集的大小和複雜性，使得整體評估困難，運用多變量統計方法可以有效的評估環境模式和污染的來源，最常使用的研究方法為主成份分析（Principle Component Analysis, PCA），目前常以 SPSS 與 SAS 做為多變量分析的軟體。

像是應用在多個水質成份之間的相關性，可有效減少變量的數目，張筑程 (2013) 利用主成分分析鯉魚潭水庫越域引水前後之水質變異特性，結果得出，越域引水之前，因子組成為磷營養因子與藻類因子屬於營養鹽類，明顯受到集水區

內部的非點源污染所影響，越域引水之後，水庫水質組成為蓄水量因子和藻類因子為主要變異因素，顯示越域引水造成蓄水量及放流量的增加，許程翔(2014)利用主成份分析得出影響烏溪流域水質變異的主要項目為 BOD、COD 以及氨氮，水中溫度與導電度次之，雖然與河川污染程度指數 (River Pollution Index, RPI) 以及台灣河川水質指數 (Water Quality Index, WQI) 的評價有些差異，但是主成份分析能夠完整呈現水質污染的特性。也有應用於海域沉積物，江政傑(2006)利用 PCA 分析台灣西南海域沉積物環境中多溴聯苯醚含量分佈的情況，明顯區分出燃燒、石油以及生物三種不同來源之群集。

空氣污染方面，邱瑞仙(2008)應用主成分分析於桃園地區的空氣污染，由污染物濃度與環境條件分析後，結果得出兩樣主要成份，車輛排放廢氣的影響和燃燒化石燃料的影響，推測來源可能是本地以及跨境傳輸。在巴基斯坦有研究 (Kamal, Atif, et al., 2013) 利用主成份分析探討焚化爐附近的廢氣排放與健康風險對人口的影響，得出 C_xH_x 、 H_2S 、 SO_2 和 CO 與 NO_x 、 NO 、 NO_2 、 CO_2 這兩項主成份，結果顯示廢氣排放可能會對周圍的環境以及公眾的健康造成影響。(Nagendra et al., 2003) 在德里，有研究探討城市交通特性與氣象數據，在城市交叉口的測站，交通與氣象特性複雜，可能會導致變量之間具有高度相關，在此情況可以利用主成份分析提供變量一個獨立的線性組合，用它來分析不同時段的交通與氣象數據。

主成份分析主要有兩種功能，一種是簡化線性資料中的變數，能夠使用最精簡的主成份數來取得最大的解釋變異量，以簡化變項間分析的過程；另一種功能則是線性轉換，以解決迴歸變量間共線性的問題，當變項之間具有高度相關的存在時，透過主成份分析就可使新的變項之間成為零相關，接著進一步將各主成份對目標變數作迴歸分析，即可得到個別主成份對應變數之預測能力 (李氏, 2012)，

在本研究將利用主成份分析方法來簡化環境因子數據，利用產生的新變量進行後續分析。

冗餘分析（Redundancy Analysis, RDA）在多變量分析的統計學教科書上經常是被忽視的。冗餘分析是一種直接協調的線性方法，藉由排序分析來了解物種的分佈情形，找出影響群集分佈之相關環境因子，而此方法在生態研究上經常被使用（Ter Braak et al., 1994），本研究應用冗餘分析探討彰化海岸的環境因子與生態物種之間的關係。

2-2-1 冗餘分析之應用

冗餘分析能用來分析多個依變數與自變數之間的關聯性，也是一種約束排序，與在虛擬的梯度上呈現最佳解釋變量的主成分分析不同，差別在於冗餘分析在特定排序軸上探討物種的變化，物種分布之座標排序軸是環境因子的線性組合，因此常應用於了解生物與環境變化間的關係。冗餘分析是一種直接排序的線性方法，在多變量分析的統計學教科書上經常被忽略，有許多應用於生態學的研究，重點在於特定環境因素，例如污染物、管理制度、以及其他人為造成的環境變化，相對的，統計分析不應該只是物種組合的主要變化，要注重的應該是變量造成的影響，因此建議研究應用有限的環境變量來直接排序的方法（Ter Braak et al., 1994）。

國外有許多利用冗餘分析來探討底棲生物與環境因子間的研究，例如有研究在西歐的斯凱爾特河河口探討底棲生物在中鹽性軟質沉積物中的變異性，結果發現大多數底棲動物食表面沉積者與色素含量以及高程具有很高的相關性，而次表層的食沉積物者與沉積物中的泥沙含量呈正相關（Ysebaert et al., 2005）。

波利維亞的研究中，利用冗餘分析探討沉積物金屬濃度與底棲動物群落之關係，在安地斯山脈上長年有密集的採礦活動持續到現在，由於當時缺乏環境保護的意識，礦區已經轉化為嚴重的污染區域對地表水、地下水產生影響，造成酸性礦井排水至河川中，使得河流沉積物上有金屬的累積，底棲動物通常被視為敏感的金屬污染指標，研究結果發現重金屬含量與底棲生物呈現負相關，而底棲生物群落豐富度對於水中 pH 值的具有很高的相關性 (Van Damme et al., 2008)。

在空氣污染方面，阿根廷有研究利用冗餘分析來檢測空氣污染時地衣受到的化學影響，地衣變量被認為是最好的環境解釋變量，將三種地衣移植到相同的環境下，結果發現不同的地衣對不同的污染物有著不同的敏感性，*R. celastri* 主要對石化燃油燃燒時所釋放的污染物有反應，也與周圍的地形水平和樹木覆蓋率有關，*P. microsticta* 和 *C. pilosa* 基本上與工業的排放源有反應，*P. microsticta* 也與周圍地形的建築高度以及樹木覆蓋率有關，*C. pilosa* 只有與建築高度有關，這項研究說明冗餘分析選擇適合的物種作為指標，能夠更容易應用於生物監測 (Gonzalez et al., 2003)。

在沿海地區，歐洲丹麥波羅的海有研究對於沿海貽貝受各類污染物造成的免疫反應之影響，波羅的海是一個有穩定濃度梯度的半封閉海域，生物已經適應這種低鹽度，但是被懷疑更容易受到壓力，應用冗餘分析於分解鹽度與污染的影響，結果發現細胞免疫反應主要是由污染物所影響，而體液因子主要受鹽度影響，表示細胞免疫功能可作為該地區或其他類似區域監測方案的生物標記 (Höher et al., 2012)。

在國內有研究在植物方面應用冗餘分析來比較南仁山土壤性質在不同地形位置之分佈結果與樣帶中的優勢樹種之葉片、樹幹、樹枝的養分濃度之間的關係，結果顯示樣區樹種養分濃度，不但受到樹種特性而異，也會受到環境因子（海拔

高度、地形位置、植物社會及土壤性質)的影響，其中又以海拔高度、坡度及土壤中巨量要素(氮、磷、鉀)的影響較大(吳佳其，2002)。

有研究於雲林縣湖山水庫，以螞蟻作為生態指標，因為螞蟻在各種環境中有明顯的豐富度與多樣性的差異，在生態上具有特定專一性的需求，利用冗餘分析探討螞蟻與環境因子之關聯，找出影響螞蟻種類分布的重要環境因子，結果顯示10 cm 土壤濕度與螞蟻種類的分佈最為相關，是影響該區域螞蟻種類在各樣區分佈性的重要環境因子(徐冬員，2011)。

本研究應用冗餘分析來探討濕地上水文、水質、底質等環境因子與螃蟹、多毛類等底棲生物之間的關係，以找出主要的影響因子，助於能夠較快改善濕地的參考。



2-3 衛星影像辨識技術

遙測影像具有涵蓋範圍廣大、能夠長期監測運用以及不受地形影響等優點，目前識在災害分析、農業應用、森林管理、環境資源調查、地形辨與分類上的發展已相當純熟，不過在面臨複雜與小尺度的分類目標上，仍有其困難度。

影像分類是將多光譜影像的像元值轉換成類別值，不同類別之像元值分別代表地面上的光譜特徵。在影像辨識分類方法中，基本上可分為兩種，監督式分類(Supervised Classification) 與非監督式分類(Unsupervised Classification)。監督式分類法，是圈選出已知的地面實際資料或光譜特性作為訓練樣區，再對其他未知的空間資訊進行光譜類型的辨識，將光譜特性相似者歸為相同一類，其優點為經由人工圈選訓練樣區越精細，準確率相對會上升許多，適合用於地貌較複雜的影

像；缺點為圈選訓練樣區時，需要花費較多的時間。非監督式分類法，是依據使用者所設定的分類數，利用聚集演算的方法聚集成類組，隨後逐一檢查影像各像元之光譜進行集群分析分離類屬。其優點為利用統計方法進行分類，不需事先知道土地覆蓋的情形，可以減少圈選訓練樣區之時間；其缺點為只能判斷分類數目，無法得知分類類別，在精確度方面也因為地貌複雜度不同而造成精確度品質不穩定。

2-4 地理資訊系統

地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)泛指一套可處理空間資料輸入、儲存、選取、分析與展示等功能之電腦輔助系統，可以將我們居住的地球數位化，進而管理或經營地球上的有限資源，使得更有效率的被珍惜與運用，狹義而言，是一種可整合處理地理空間資訊以及其相關描述資訊的電腦軟體，並且可以進行視覺化、操作、分析，及展現地理資料，廣義而言，地理資訊系統為結合電腦軟體、硬體、地理資料、操作人員及作業程序等五大要素，藉以執行效率化的資料收集、儲存、更新、處理、分析、及展現各種地理相關資訊。其中操作人員在地理資訊系統中扮演關鍵性的角色，往往具專業與熟練的地理資訊系統操作人員，可補足地理資訊系統功能上的不足(黃敏郎，2009)。

GIS 具有以下之基本功能(黃國展，2007)：

- (1) 資料輸入：將不同來源或不同格式之資料，處理轉換為電腦可接受之數值(digital)形式資料。
- (2) 資料儲存及管理：符合使用目的之資料儲存結構，不僅節省儲存空間，亦可迅速、正確地尋取及管理資料。

- (3) 資料分析與轉換：地理資訊系統可依不同作業之需要，提供不同之分析功能，且應具資料格式之轉換功能，以利不同資訊系統間資料之互通利用。
- (4) 資料輸出與顯示：原始基本資料或經分析後之成果，可透過各種輸出工具輸出圖形或屬性資料，亦可經由電腦螢幕直接顯示資料。

地理資訊系統之資料結構，依其輸入、儲存與輸出方式，大致可分為 4 數種：

- (1) 向量式地理資料(vector data)：將圖形資料以點、線、面等數值座標結構儲存，來描述物件的圖形資料，適合用於展現不連續的地理現象，並進一步建立空間上之拓撲(topology)關係，例如 ARC/INFO 地理資訊系統。
- (2) 網格式地理資料 (raster data)：將研究區之圖形資料以相同規格之網格架構來儲存，由網格橫列座標定義該像元之位置以及屬性，空間中的點、線、面結構也可用網格式陣列數值 0 與 1 表示，或展示地理資料，例如 ERDAS，IDRISI，MAP 等軟體。
- (3) 文數字屬性資料：不同項目地理資料在空間分佈上有不同之特性，此特性可由文字或數字之屬性資料代表。地理資訊系統主要是結合空間地理資訊與屬性資料，據以從事分析作業。
- (4) 其他較常見之地理資訊之資料結構，如遙測影像、掃描影像等資料，主要是用較特殊之技術及工具獲得地理資料，但其資料之儲存結構仍可歸併成網格式，所差別是其網格較為細小。

第三章研究方法

3-1 研究區域建立

彰化海岸位於台灣中部，濱臨台灣海峽，介於烏溪與濁水溪之間，海岸線總長約 61 公里，因受到烏溪、濁水溪以及大甲溪漂沙影響，形成沖積平原，退潮時海埔灘地寬達 5 公里，海岸坡降平緩，其中北岸的大肚溪口已畫設動物保護區，彰化沿海濕地在台灣西海岸地區擁有最大的泥質灘地與潮間帶面積以及生態多樣性，潮間帶寬廣，擁有豐富的底棲生物資源，如多毛類、貝類、蟹類等，是沿海漁民良好漁獲來源，也提供渡冬水鳥充足的食物，是台灣西部重要的沿岸漁業採集區以及水鳥棲地(方智芳，1998)，近年來的一些開發行為，像是彰濱工業區的開發，改變了原有海岸地形，造成潮間帶的消失；西濱快速道路對棲地環境產生的衝擊，影響水鳥棲息；風力發電廠的設立使得棲地破碎(施月英，2008)；經過國光石化投資案的規劃、環評及撤資退場歷程，使得民眾和政府逐漸重視這片自然海岸與濕地環境，從圖 3-1-1 中可以發現，彰化縣的幾個大型工業區較靠近北部，而工廠也普遍集中在北部，都市化程度北大於南，在面臨不當開發或是過度耗用濕地資源的壓力之下，本研究欲了解環境對生態產生的影響，圖 3-1-1 為彰化海岸濕地之研究樣區圖，圖中標有 10 個樣點為本研究資料監測樣點(水質、底質、底棲生物)之分布位置，表 3-1-1 為各樣點描述。

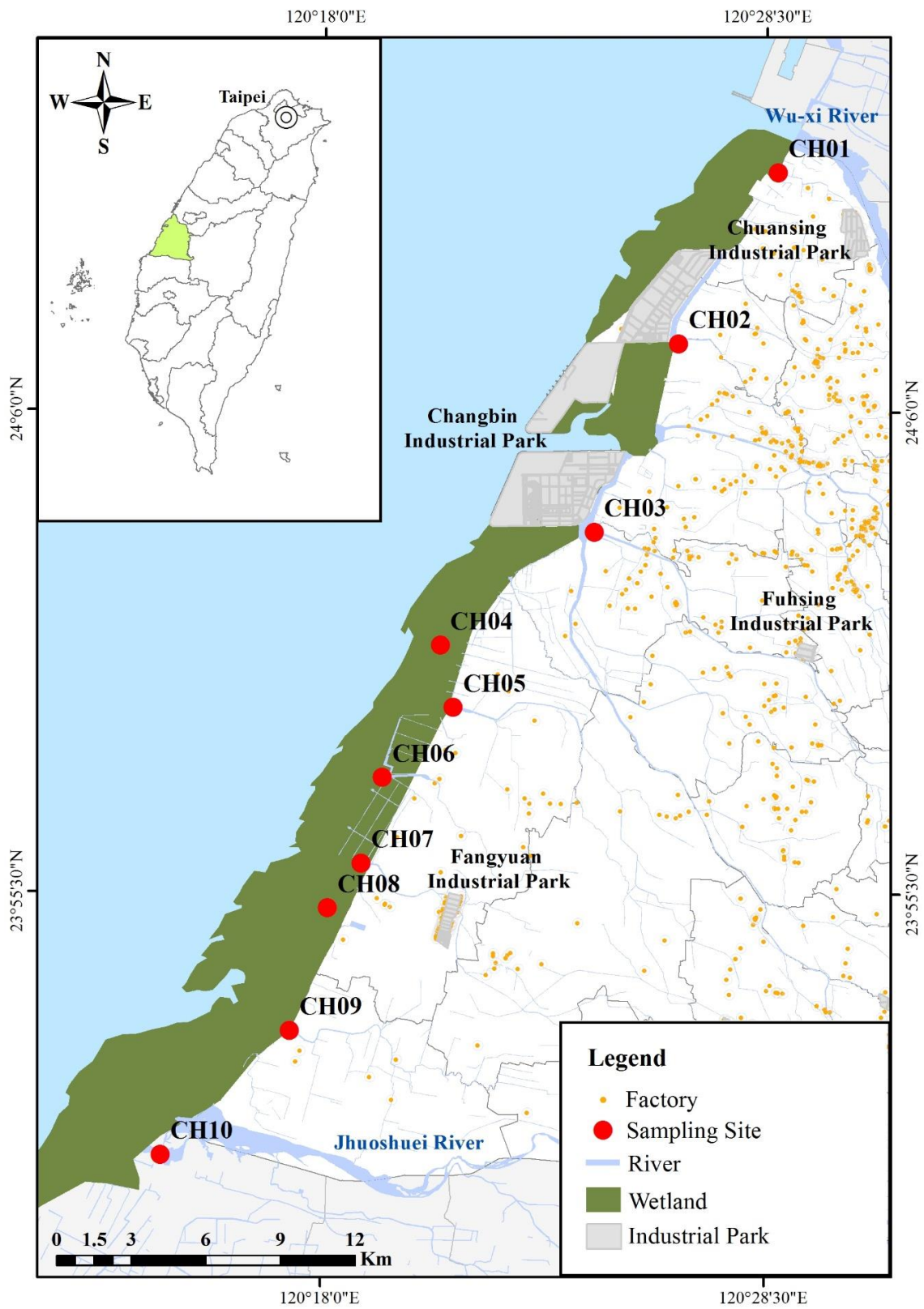


圖 3-1-1、彰化海岸濕地研究樣區

表 3-1-1、各樣點描述

樣點	樣點描述	灘地類型
CH1	大肚溪南岸	泥質灘地
CH2	崙尾東灘	沙質灘地
CH3	鹿港工業區南岸	泥質灘地
CH4	漢寶灘地離岸 1 公里	沙質灘地
CH5	新堡萬興排水口	泥質灘地
CH6	王功後港溪口	沙質灘地
CH7	永興南側海堤	泥質灘地
CH8	芳苑灘地離岸 1 公里	沙質灘地
CH9	魚寮溪口	泥質灘地
CH10	濁水溪口南岸	泥質灘地

3-2 資料蒐集與整合

本研究收集並整理 2013 年 11 月~2014 年 11 月之間，經過 5 次調查之彰化海岸生態環境監測相關資料來進行分析，分別為 2013 年 11 月、2014 年 1 月、2014 年 4 月、2014 年 7 月、2014 年 11 月，在環境因子方面，分別收集了，水質因子：溫度、pH 值、導電度、溶氧、生化需氧量、懸浮微粒、凱氏氮、氨氮、硝酸鹽氮、亞硝酸鹽氮、總磷；底質因子：pH 值、氧化還原電位、砂粒百分率、粉粒百分率、黏粒百分率；水文因子：潮差、淹沒時間、平均流速、流量；另外在 2013 年 11 月~2014 年 1 月之間，有 2 次的底質重金屬調查資料，重金屬項目包含：銅(Cu)、鋅(Zn)、鎳(Ni)、鉻(Cr)、鉛(Pb)、鎘(Cd)；在生態物種方面，以生活在濕地上的底棲生物為主，包含：公代薄殼蛤 (*Laternula anatina*)、北方招潮蟹 (*Uca borealis*)、台灣招潮蟹 (*Uca formosensis*)、台灣厚蟹 (*Helice formosensis*)、西施舌 (*Sanguinolaria diphos*)、沙蠶 (*Nereis*)、秀麗長方蟹 (*Metaplax elegans*)、東方白蝦 (*Exopalaemon orientis*)、長指股窗蟹 (*Scopimera longidactyla*)、淡水泥

蟹 (*Ilyoplax tansuiensis*)、清白招潮蟹 (*Uca lactea*)、短指和尚蟹 (*Mictyris brevidactylus*)、萬歲大眼蟹 (*Macrophthalmus banzai*)、端足目 (*Amphipoda*)、網紋招潮蟹 (*Uca arcuata*)、環紋蛤 (*Raetellops pulchella*)、螻蛄蝦 (*Austinogobia edulis*)、雙扇股窗蟹 (*Scopimera bitympana*)。

整理後的資料項目如表 3-2-1，將環境因子作為自變數，將底棲生物作為依變數。

表 3-2-1、資料項目表

英文代號	中文名稱	英文代號	中文名稱
Temp	水中溫度	Lat ana	公代薄殼蛤
pH	水中 pH 值	Uca bor	北方招潮蟹
EC	水中導電度	Uca for	台灣招潮蟹
DO	溶氧	Hel for	台灣厚蟹
BOD	生化需氧量	San dip	西施舌
SS	水中懸浮微粒	Nereis	沙蠶
KN	凱氏氮	Met ele	秀麗長方蟹
NH ₃ -N	氨氮	Exo ori	東方白蝦
NO ₃ -N	硝酸鹽氮	Sco lon	長指股窗蟹
NO ₂ -N	亞硝酸鹽氮	Ily tan	淡水泥蟹
TP	總磷	Uca lac	清白招潮蟹
pHs	底質 pH 值	Mic bre	短指和尚蟹
Eh	底質氧化還原電位	Mac ban	萬歲大眼蟹
Sand	砂粒百分率	Amphio	端足目
Silt	矽粒百分率	Uca arc	網紋招潮蟹
Clay	黏粒百分率	Rae pul	環紋蛤
TR	潮差	Aus edu	螻蛄蝦
TIT	淹沒時間	Sco bit	雙扇股窗蟹
FV	平均流速		
FR	流量		

3-3 相關性分析

相關性分析是分析多個變數之間的方向與關係程度大小的統計方法，可以從中瞭解變數之間的關係，並協助決策的進行。兩個變數之間的相關分析又稱為簡單相關分析，包含了相關係數的估計與統計推論。兩變數之間的相關方向及程度可利用相關係數來衡量，相關係數的公式如下(3-1):

$$\rho_{XY} = E \left(\frac{X - \mu_X}{\sigma_X} \right) \left(\frac{Y - \mu_Y}{\sigma_Y} \right) = \frac{E(X - \mu_X)(Y - \mu_Y)}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} \quad (3-1)$$

ρ_{XY} 為 X、Y 隨機變數的相關係數， μ_X 、 σ_X 為 X 的平均數與標準差， μ_Y 、 σ_Y 為 Y 的平均數與標準差， σ_{XY} 為 X 與 Y 的共變數。

共變數 σ_{XY} 是用來衡量兩變數變動的方向及其程度，當 X 變大，Y 亦變大時，為正方向共變關係；當 Y 變小時，則為反方向共變關係。 ρ_{XY} 雖是衡量 X、Y 兩個隨機變數的相關的方向及程度，但需要注意的是 ρ_{XY} 所衡量的 X 與 Y 的相關僅指 X、Y 的線性關係。如果 X、Y 是非線性相關，則 ρ_{XY} 不一定能衡量出來。

ρ_{XY} 值介於 -1 到 +1 之間，當 $\rho_{XY}=0$ 時，代表 X、Y 之間無線性關係，但並不表示 X、Y 無關（獨立）0 時，當 $\rho_{XY}=+1$ 表示完全正相關，若介於 0 和 +1 之間代表有正相關性，當 $\rho_{XY}=-1$ 表示完全負相關，若介於 0 和 -1 之間代表有負相關性。

本研究應用相關分析將自變數進行篩選，在本研究中自變數為環境因子，依變數為底棲生物，檢視自變數與自變數之間的相關係數，將自變數中特性相同之變數篩除，選擇出較具代表性的變數來取代其它高相關的變數，增加剩餘變數的獨立性，以利後續分析。

3-4 主成份分析

主成份分析 (Principal Component Analysis, PCA) 是多變量分析方法的一種，主要用來將資料簡化，並萃取出能取代大量變數的少量主成份，這些主成份之間具有獨立性，解釋原始資料變異量不會互相重疊，應用萃取出來的主成份能夠產生新的變數，新變數能夠保有原來多個變數的最多數據內容，而且可以用最少新變數來解釋原始資料的最大總變量。

其主要效果如下：

1. 保留最多的原始數據內容
2. 新變數之間互相獨立
3. 適當的縮減變數個數

若第一組原始變項的線性組合之新變數能解釋最大總變異，此新變數即為第一主成分，第一組原始變相線性組合數學式如下(3-2):

$$X_1^* = W_{11}X_1 + W_{12}X_2 + W_{13}X_3 + \dots + W_{1p}X_p \quad (3-2)$$

其中： X_1^* ： 是第一個主成份

X_p ： 是第 p 的變項

W_{1p} ： 是第 p 個 X 變項對第一個主成份 X_1^* 的加權系數

X_1^* 的變異量等於樣本共變數矩陣的最大特徵值，主成份係數就是最大特徵值中相對特徵向量(eigenvector)的元素。第二組原始變項的線性組合數學式如下(3-3):

$$X_2^* = W_{21}X_1 + W_{22}X_2 + W_{23}X_3 + \dots + W_{2p}X_p \quad (3-3)$$

第二個新變數可以解釋第一個新變數以外之最大總變異量，即是第二主成份，二個主成份 X_1^* 、 X_2^* 彼此間沒有關聯，兩者 Pearson 積差相關係數等於 0，第二個主成分係數也是樣本共變數矩陣最大特徵值中特徵向量的元素， X_2^* 的變異量等於第二個最大特徵值，之後的新變數以此類推。主成份是一組測量變項 X_1 、 X_2 、...、 X_p 的線性組合，這些線性組合之間並不相關，線性組合對測量變項盡可能的有最大解釋變異量，主成份分析可根據資料結構 X_1 、 X_2 、...、 X_p 之共變數矩陣或相關矩陣導出(吳明隆，2008)。

利用主成份分析能夠將大量環境因子濃縮成幾個主要變項，並以新的變項取代舊有的變項，將高複雜化的變數達到縮減變數之成效，並能保留原始數據本身大部分的主要訊息(Astel et. al., 2007)；本研究之自變數透過相關分析篩選，自變數彼此之間獨立性高，再利用主成份分析將多個自變數組合成幾個新的變數，化繁為簡，減少變數項目，最後從分析結果得出具有指標性或代表性的新變數來解釋最多的原有資料大部份的變數，以便於應用冗餘分析。

3-5 冗餘分析

在選擇環境因子與生態物種之相關性分析的方法時，先對生態物種資料進行降趨對應分析 (Detrended Correspondence Analysis, DCA)，求得梯度軸長度 (Lengths of gradient) 如果超過 4，表示選擇單峰模型較適合，如典型對應分析 (Canonical Correspondence Analysis, CCA)，如果小於 3，表示選擇線性模型較適合，如冗餘分析 (Redundancy Analysis, RDA)，如果介於 3 到 4 之間，則單峰與線性模型都適合，不過並非所有數據類型都適合單峰模型，物種數據不是相同量綱的數據或是有樣點的數據為空，就不適合做單峰模型的排序，本研究對物種數據資料進行 DCA 分析，整體上最長的梯度長度介於 3 到 4 之間，兩種模型皆合適，但是有空樣點的數據並不能順利進行 CCA 分析，所以選擇了 RDA 來進行環境因子與生態物種之相關性分析。

冗餘分析 (Redundancy Analysis, RDA) 是多變量分析的一種分析方法，冗餘是解釋變異量的意思。冗餘分析能用來分析多個依變數與自變數之間的關聯性，是一種約束排序模型 (Constrained ordination model)，指在特定排序軸上探討物種的變化，而物種分布之座標排序軸是環境因子的線性組合，每一個排序向量是對象位於保留歐基里德距離空間 (Euclidean distance) 分布的一維投影，縱軸與橫軸上的刻度為每個樣品或是物種在和環境因子進行迴歸分析計算時，所產生的值。冗餘分析也可以說是主成份分析的擴展分析，因為 RDA 就是 PCA 的約束排序，無論是 PCA 或 RDA，這兩種方法都是試圖找出一個新的變量，此新變量可以最佳的預測出物種分佈(依變量)，兩者主要區別在於後者樣品在排序圖中的座標是環境因子的線性組合，它考慮了環境因子對樣品的影響，我們可以得到在某些特定條件下的物種分佈，例如，哪些物種受到特定的環境因子影響。而約束排序法的 RDA 類似於多元多重迴歸，在多元多重迴歸之中，如果有 m 個依變量， p 個環境因子，我們需要估計 $m \times p$ 個迴歸係數，但是在 RDA 裡，假設只使用一個典範軸，我們只需要去估計 $m+p$ 個參數，如果使用兩個軸，只需要 $2 \cdot (m+p)$

個參數，這一點，對於多元多重迴歸 $m \cdot p$ 個參數相比，增加了很大的計算效率 (Leps and Smilauer, 2003)。

環境因子對於依變量的影響被集中在幾個合成的梯度(排序軸)，也稱為典範軸(canonical axes)。

約束排序與非約束排序之間有明顯的區別，非約束排序是虛擬的梯度(潛在的)，約束排序是特定的梯度(環境因子加權和)，這些梯度是根據環境變量之線性組合中所求出，之後再利用梯度來解釋物種的各種變化，其架構如圖 3-5-1 所示。

冗餘分析主要經由兩個步驟(圖 3-5-1):

1. 所有自變數 X 對每一個依變數 Y 做迴歸並計算出期望值。
2. 對模擬值矩陣進行主成份分析以獲得特徵值和特徵向量。

冗餘分析的第一步驟是針對單一依變數與多個自變數進行多重迴歸分析，求出期望值，方程式如(3-4)所示

$$\hat{Y}_{ik} = b_{0k} + b_{ik} X_i + e_{ik} \quad (3-4)$$

其中: \hat{Y}_{ik} : 物種 k 在樣品 i 中所算出的預測個數

X_i : 第 i 個樣品

e_{ik} : 誤差

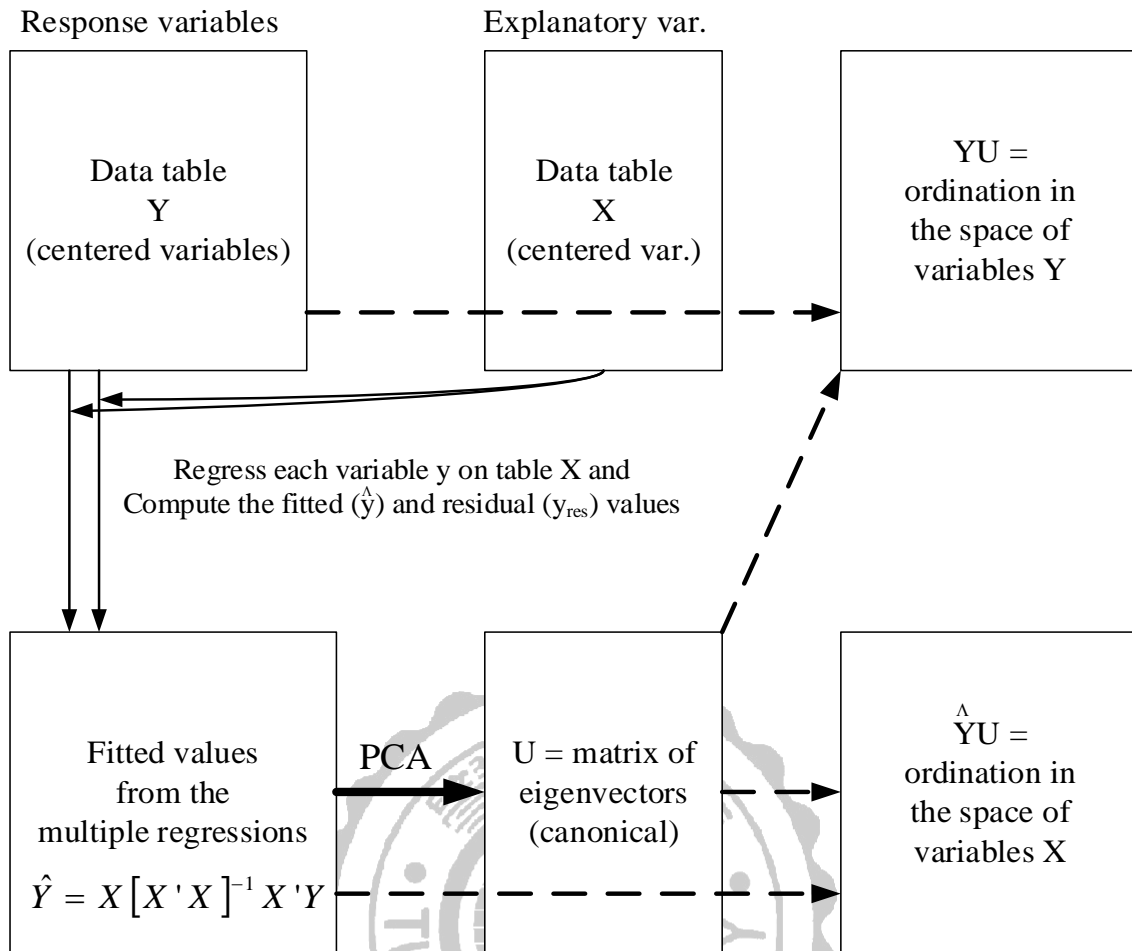


圖 3-5-1、冗餘分析之原理架構圖

將每一個預測出來的個數 \hat{Y}_{ik} 進行主成份分析 (Principle component analysis)，分析過後的結果可得一特徵向量矩陣，此時矩陣為非約束矩陣，接著將非約束矩陣轉軸至 X 變數的空間下如方程式(3-5)所示，形成其約束矩陣，而此約束矩陣則為環境因子的線性組合。

$$X'_i = \sum C_{j1} Z_{ij} \quad (3-5)$$

其中: X'_i : 轉軸至 X 空間的環境因子之線性矩陣

Z_{ij} : 第 i 個樣點於第 j 座標軸之環境變量

C_{j1} : 第 j 座標軸轉換至 X'_i 空間中第一座標軸的迴歸係數

最後將(3-5)帶回至(3-4)，形成新的多重迴歸方程組，如(3-6)所示：

$$\hat{Y}_{ik} = b_{0k} + b_{ik} \left(\sum C_{jl} Z_{ij} \right) + e_{ik} \quad (3-6)$$

而 $b_{ik}c_{jl}$ 則代表為多重迴歸方程之係數值，此中代表含意為 k 物種的豐度取決於環境因子變化的程度。

本研究採用 CANOCO 4.5 版套裝統計軟體，對環境因子以及底棲物種之間的關係進行分析。冗餘分析前數據矩陣有以下的限制條件：依變數 Y 必須是 $N \times P$ 的表格，其中 N 為對象(樣本)之數量， P 為變量之數量，並將變數中心化或標準化，若其變量非均勻比例(如 pH、溫度、濃度...等)，則先經過主成份分析；自變數 X 必須是 $N \times M$ 的表格，其中 M 為自變數之變量數量，並將變數做中心化，標準化則非必要條件。冗餘分析結果圖中(如圖 3-5-2)，小圓圈代表樣點，紅色箭頭代表自變數，藍色箭頭代表依變數，箭頭與箭頭之間的夾角越小，代表彼此間的相關性越高，夾角越大，代表彼此間越沒有相關性，將箭頭做前後延伸，樣點垂直投影至箭頭方向延伸線之投影點到原點的距離，表示樣點與自變數或依變數之正相關的程度，距離越長，代表自變數或依變數與樣點相關程度越高，與箭頭相反方向則代表負相關。

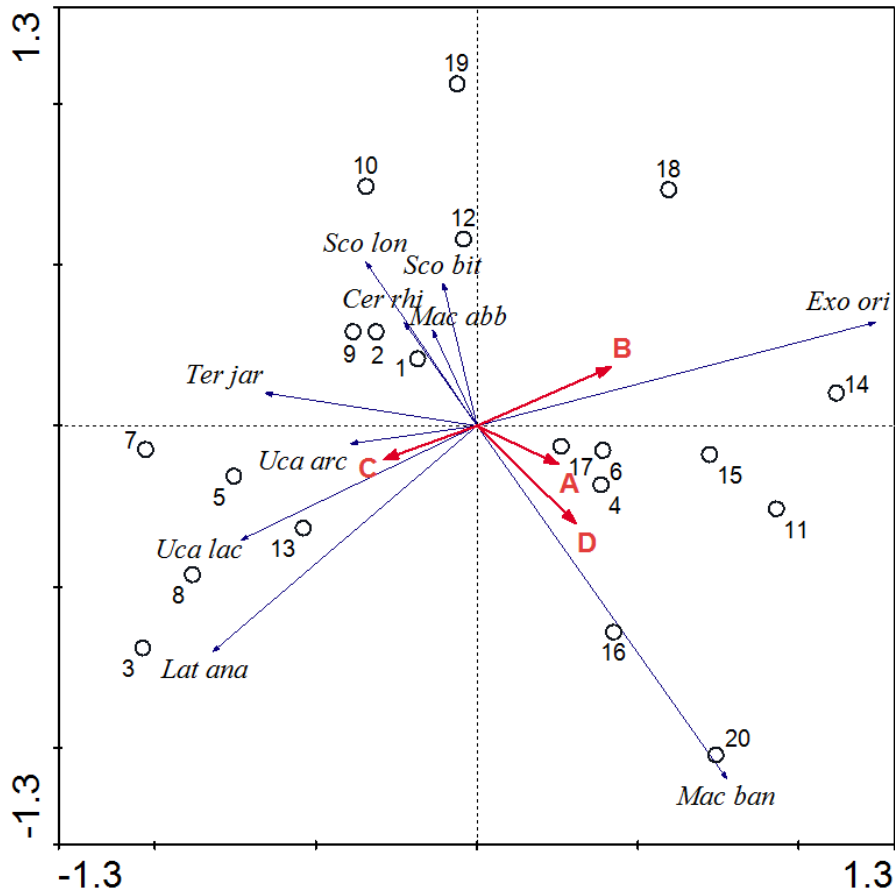


圖 3-5-2、冗餘分析結果圖例

3-6 空間分析及影像辨識

套疊分析 (Overlap Analysis) 是 GIS 重要的空間分析應用，簡單來說，套疊分析就是將二幅以上圖層其圖徵在空間上相互重疊的部份，進行相交、合併、切除等套疊之作用，並將指定圖層圖徵的屬性資料鑲入被套疊圖層的圖徵屬性資料中，換句話說，被套疊圖層圖徵將會因增加其他空間主題圖的屬性資料，因此，不同主題圖藉由互相套疊之後，可以獲得更多的空間資訊，除了省去重新調查與資料輸入的時間之外，可以根據被套疊圖層所增加的屬性資料更進一步的空間分析。

環域分析 (Buffer Analysis) 是 GIS 中相當重要且經常被使用到的功能之一，環域分析的目的主要是針對所指定的點、線、面向量主題圖全部或部分圖徵之空間圖形，以指定之規則把要用來進行空間套疊分析的環域 (Buffer Zone) 繪製出來，通常完成環域範圍的畫設之後，再與其他主題圖進行套疊，以得到環域範圍內更多的空間資訊。其中，點圖徵的環域分析是本次會利用到的方法，點圖徵的環域分析是以點為圓心，並以所指定的距離為環域之半徑範圍(周天穎等,2011)。

本研究為了辨識潮溝(如圖 3-6-1)，所取得的衛星影像圖為內政部營建署所提供的 2010 年夏季彰化海岸影像圖，解析度為 2 公尺，因為潮溝現地觀察困難，所以採用非監督式分類法來進行影像辨識，主要分類成兩種，第一種為潮溝，第二種為潮溝以外的各種類型灘地，首先利用 ERDAS 軟體辨識出範圍內的潮溝以及灘地，再利用 GIS 地理資訊系統之中的環域分析，計算出彰濱海岸濕地各區域的潮溝面積以及各樣點的潮溝密度，最後比較底棲生物數量與潮溝密度之間的關係。

一般而言，影像辨識後的結果，常使用誤差矩陣來評估影像精度，而本研究利用整體分類精度與 Kappa 係數作為影像分類精度評估之標準，其說明如下：

1. 整體分類精度 (Overall Accuracy)

為最簡單的整體描述法，對角之樣點數目總和除以所有樣點數目之總和，因為已經考慮到每個類別相對的權重關係，所以整體精度較具客觀性，公式如下：

$$\text{Overall Accuracy} = \frac{\sum_{i=1}^n X_{ii}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_{ij}} \times 100\%$$

其中 n 為分類矩陣之列數， X_{ii} 為分類矩陣中欄列對角之樣點數目， X_{ij} 為分類矩陣中第 i 列第 j 行之樣點數目。

2. Kappa 係數

Kappa 係數於 1960 年經由 Cohen 所提出，原用來表示分類結果與地面參考真值相近程度，後來被廣泛應用在遙測影像分類之精度評估，Kappa 係數所表示為分類成果與完全隨機分類比較之下，其所減少錯誤的百分比，一般而言，Kappa 係數介於 0 到 1 之間，Kappa 值愈大表示分類精度越高，公式如下 (Congalton, 1991)：

$$Kappa = \frac{N \sum_{i=1}^n X_{ii} - \sum_{i=1}^n (X_{i+} \times X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^n (X_{i+} \times X_{+i})} \times 100\%$$

其中 n 為分類矩陣之列數， X_{ii} 為分類矩陣中欄列對角之樣點數目， X_{i+} 、 X_{+i} 為分類矩陣中各欄及各列之樣點數目， N 為全部樣點數目。



圖 3-6-1、實際潮溝照片

第四章結果與討論

4-1 水文環境、底棲生物與毒性金屬調查結果

本研究蒐集 2013 年 11 月~2014 年 11 月之間，經過 5 次調查的彰化海岸生態環境監測相關資料，整理後的環境因子共 20 項，其中水象因子有 15 項，土象因子有 5 項，底棲物種共 18 種，另有底質重金屬 6 項，資料如下表 4-1-1~表 4-1-4 所示，環境因子數據以 5 次調查資料的平均值呈現，底棲生物以 5 次調查的各樣點總數量呈現，重金屬只有 2 次的調查資料，以平均值呈現。

表 4-1-1、環境因子-水質與水文因子

水質 水文	樣點									
	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10
Temp (°C)	25.13	25.80	26.51	28.58	27.60	26.56	27.10	27.61	25.54	28.00
pH	7.57	7.51	7.70	7.61	7.64	7.78	7.37	7.75	7.66	7.78
EC (mS/cm)	2.22	17.59	20.08	48.50	36.74	43.12	19.27	24.54	27.14	48.64
DO (mg/L)	6.58	5.91	5.38	6.55	5.58	5.03	4.46	7.50	4.61	6.45
BOD (mg/L)	2.98	2.62	4.00	1.46	3.22	4.04	6.04	5.90	5.94	1.78
SS (mg/L)	51.58	47.32	163.16	54.46	175.54	106.62	81.40	182.66	684.46	372.40
KN (mg/L)	5.18	2.80	4.21	0.20	4.99	0.16	4.30	0.85	4.75	0.28
NH ₃ - N(mg/L)	3.78	2.12	4.63	0.56	6.38	1.74	4.66	0.59	6.19	1.58
NO ₂ - N(mg/L)	0.26	0.25	0.12	0.08	0.11	0.11	0.13	0.03	0.07	0.10

資料來源:彰化海岸生態環境調查監測計畫-水質由黃啟裕老師研究室提供

表 4-1-1、環境因子-水質與水文因子(續)

水質 水文	樣點									
	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10
NO ₃ -N(mg/L)	2.36	1.54	0.54	0.60	0.43	0.38	0.84	0.93	0.44	0.60
TP(mg/L)	1.21	1.07	0.89	0.18	1.20	0.61	1.29	1.19	0.98	0.32
TR(m)	0.73	0.62	1.60	1.66	1.41	1.40	1.71	0.44	1.49	1.46
TIT(min)	175.6	153.6	315.2	381.6	268.0	296.4	343.2	185.5	317.2	315.2
FV(m/min)	9.71	9.34	10.52	9.44	10.57	9.78	13.00	9.55	9.55	13.00
FR(m ³ /min)	197.87	710.61	1157.70	276.83	427.23	307.49	545.54	785.93	729.79	545.54

資料來源:彰化海岸生態環境調查監測計畫-水質由黃啟裕老師研究室提供

表 4-1-2、環境因子-底質因子

底質因子	樣點									
	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10
pHs	7.56	7.60	7.63	7.70	7.57	7.57	7.49	7.69	7.22	7.79
Eh	96.80	75.20	-33.20	132.40	4.40	67.00	-3.80	127.60	23.60	-3.00
Sand(g/Kg)	73.92	73.16	41.28	83.30	59.97	71.12	40.02	53.33	10.66	72.01
Silt(g/Kg)	17.50	15.84	47.91	7.90	24.74	16.21	41.62	34.95	66.79	16.62
Clay(g/Kg)	8.57	11.00	15.01	8.80	15.29	12.67	18.36	11.72	22.55	11.37

資料來源:彰化海岸生態環境調查監測計畫-劉兩庭老師研究室提供

表 4-1-3、生態物種-底棲生物

底棲生物	樣點									
	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10
<i>Laternula anatine</i> (N)	14	0	232	0	74	0	4	1	1	19
<i>Uca borealis</i> (N)	12	0	0	0	4	5	0	5	0	0
<i>Uca formosensis</i> (N)	0	5	0	0	0	0	0	0	0	14
<i>Helice formosensis</i> (N)	3	4	0	0	1	1	0	0	0	19
<i>Sanguinolaria diphos</i> (N)	0	0	85	0	13	1	0	1	0	0
<i>Nereis</i> (N)	1	6	15	0	0	0	0	1	8	2
<i>Metaplex elegans</i> (N)	0	0	0	0	3	0	2	0	25	4
<i>Exopalaemon orientis</i> (N)	43	9	1	0	62	3	2	0	22	696
<i>Scopimera longidactyla</i> (N)	0	184	0	7	0	22	0	0	0	0
<i>Ilyoplax tansuiensis</i> (N)	0	0	102	0	2	0	0	0	0	0
<i>Uca lacteal</i> (N)	123	130	43	0	263	102	228	22	0	17
<i>Mictyris brevidactylus</i> (N)	25	0	0	17	1	35	0	0	0	0
<i>Mac ban</i> (N)	83	116	38	0	75	95	25	549	577	130
<i>Amphio</i> (N)	15	1	477	0	0	0	0	0	0	0
<i>Uca arc</i> (N)	27	24	69	0	6	10	10	0	0	90
<i>Rae pul</i> (N)	0	0	3	0	8	0	0	0	10	0
<i>Aus edu</i> (N)	0	0	0	0	1	7	0	3	0	0
<i>Sco bit</i> (N)	30	1	0	320	4	0	0	0	0	0

資料來源:彰化海岸生態環境調查監測計畫-林惠真老師研究室提供

表 4-1-4、重金屬因子

重金屬	樣點									
	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10
Cr(mg/Kg)	48.19	101.93	152.21	73.82	51.43	44.76	63.53	40.13	63.83	50.34
Ni(mg/Kg)	87.67	103.14	99.86	84.59	97.35	90.73	106.28	96.31	99.97	99.67
Cu(mg/Kg)	18.28	77.07	52.81	8.94	19.39	13.86	32.98	12.15	27.83	16.83
Cd(mg/Kg)	1.93	1.55	4.23	2.66	4.77	2.99	5.19	2.26	5.90	4.82
Zn(mg/Kg)	71.72	96.30	164.41	79.53	62.82	54.23	86.55	37.39	69.82	49.82
Pb(mg/Kg)	40.48	51.82	342.26	36.42	37.62	35.25	47.49	43.97	55.07	45.37

資料來源:彰化海岸生態環境調查監測計畫-劉雨庭老師研究室提供

4-2 變數篩選

本研究已將所有整理好的數據資料經過標準化處理，環境因子作為自變數，底棲生物做為依變數，利用相關性分析作為自變數初步篩選因子之方法，找出自變數與自變數之間具有高顯著相關者，選擇較具代表性之自變數，將較不具代表性之自變數刪除，分析結果如表 4-2-1 所示，整體相關分析結果收於附錄一，在底質粒徑的三項因子，砂粒百分率 (Sand)、黏粒百分率 (Clay) 與粉粒百分率 (Silt)，結果顯示砂粒百分率(Sand) 與粉粒百分率 (Silt) 之間相關性很高，三項因子所代表之粒徑範圍分別是：黏粒為 < 0.002 mm、粉粒為 0.002-0.05 mm、砂粒為 0.05-2 mm。因此，將粒徑介於中間的粉粒百分率 (Silt) 予以刪除，使其它因子更具獨立性。而兩個和潮汐相關的因子，潮差與淹沒時間彼此之間也具有高相關性，但是潮差代表地形影響，而淹沒時間代表生物在厭氧環境下的時間長短，所以將兩項因子留下。

經過相關性分析篩選後，將剩餘的環境因子，進行主成分分析，找出較具有指標性、代表性的因子組合。

表 4-2-1、自變數間相關分析篩選

	Sand	Clay	Silt	TR	TIT
Sand	1				
Clay	-.615**	1			
Silt	-.969**	.480**	1		
TR	-.162	.155	.123	1	
TIT	-.166	.234	.124	.881**	1

註: **. 在顯著水準為 0.01 時 (雙尾)

*. 在顯著水準為 0.05 時 (雙尾)，相關顯著。

4-3 環境指標建立

主成分分析可將大量變數以少量的主成份取代，而新的變數又不會損失太多原有數據的訊息，本研究利用此分析尋找環境因子組合來縮減變數，並能夠運用在作為決策上的方向，像是長期性污染就要針對長期管理策略做調整，短期性污染就要針對短期管理策略做調整等等。

將上一節篩選下來的 19 個因子進行主成分分析後，總共萃取出 6 個具有代表性的主成分，累積解釋變異量達到 68.2%，代表可以解釋原始數據 68.2% 的訊息，分析結果如表 4-3-1 所示。主成分 A 包含凱氏氮 (KN)、氨氮 ($\text{NH}_3\text{-N}$)、導電度 (EC)、總磷 (TP)、生化需氧量 (BOD)，這些因子主要代表水體遭受污染時間可能較短，因此命名為短期污染衝擊因子；主成分 B 包含淹沒時間 (TIT)、潮差 (TR)、硝酸鹽氮 ($\text{NO}_3\text{-N}$)、溫度 (Temp.)、亞硝酸鹽氮 ($\text{NO}_2\text{-N}$)，這些因子主要代表水體可能長期遭受污染，命名為長期污染衝擊因子；主成分 C 包含水中 pH 值 (pH)、底質 pH 值 (pHs)、溶氧 (DO)，命名為棲地環境品質因子；主成分 D 包含懸浮微粒 (SS)、砂粒百分率 (Sand)、黏粒百分率 (Clay)，這些因子主要代表底質的物理性質，命名為底質物性因子；主成分 E 包含平均流速 (FV)、氧化還原電位 (Eh)，代表底質的化學性質，命名為底質化性因子；主成分 F 僅包含流量 (FR)，依原本的因子命名為河川流量因子。應用這六項不同環境因子組合產生的綜合評量因子於後續的冗餘分析。

表 4-3-1、主成份分析結果

	轉軸後的成份矩陣					
	主成份 A (短期污染 衝擊)	主成份 B (長期污染 衝擊)	主成份 C (棲地環境 品質)	主成份 D (底質物性)	主成份 E (底質化性)	主成份 F (河川流量)
KN	.846	-.093	-.265	.054	-.037	-.103
NH ₃ -N	.776	.158	-.074	.269	.123	.110
EC	-.636	.420	.016	.114	-.030	.216
TP	.612	-.280	.537	.230	.022	-.067
BOD	.490	.002	.296	.116	-.121	-.378
TIT	-.123	.817	-.201	.173	.119	.190
TR	-.056	.784	-.181	.178	.331	.187
NO ₃ -N	-.005	-.675	-.412	-.205	.051	.087
Temp.	-.007	.670	.144	-.379	-.072	-.007
NO ₂ -N	.435	-.451	-.033	-.281	.119	.305
pH	.078	.187	.756	.058	-.052	-.107
pHs	-.097	.028	.702	-.085	.062	.297
DO	-.317	-.261	.692	-.161	-.001	-.093
SS	-.117	.001	.153	.795	.094	.094
sand	-.366	-.105	.153	-.707	-.128	.332
clay	.298	.184	-.124	.611	-.025	.051
FV	-.040	-.042	.119	.091	.833	.046
Eh	-.118	-.206	.132	-.031	-.734	.217
FR	.073	-.165	-.051	-.041	.148	-.785
解釋變異量 (%)	15.362	15.258	12.405	10.707	7.708	6.750
累積的解釋 變異量	15.362	30.619	43.024	53.731	61.439	68.189

4-4 因果關聯分析

為了瞭解環境因子對生物產生的影響，本研究將利用主成份分析結果之 6 項環境綜合評估因子與底棲生物資料輸入冗餘分析來探討彰化海岸溼地環境因子與底棲生物之間的關係，2013 年 11 月到 2014 年 11 月間的環境因子與底棲生物關係之分析結果如圖 4-4-1 到 4-4-7 所示。圓圈代表樣點，紅色箭頭代表 6 項自

變數也就是綜合評量因子(主成份 A—短期污染衝擊、主成份 B—長期污染衝擊、主成份 C—棲地環境品質、主成份 D—底質物性、主成份 E—底質化性、主成份 F—河川流量)，藍色箭頭代表底棲生態物種。

從 2013 年 11 月的結果圖 4-4-1 中可以看出萬歲大眼蟹 (*Man ban*)、螻蛄蝦 (*Aus edu*)、沙蠶類 (*Nereis*) 對主成分 D 與主成份 F 呈正相關，這些物種可能受底質粒徑大小與流量影響較大，而長指股窗蟹 (*Sco lon*)、清白招潮蟹 (*Uca lac*)、網紋招潮蟹 (*Uca arc*) 與主成份 A、主成分 C、主成份 E 成正相關，這些物種可能受有機廢水還有流速影響較大，而樣點 4 與樣點 5 以及樣點 1 以及樣點 2 與樣點 7 之環境性質和物種類別較相似。



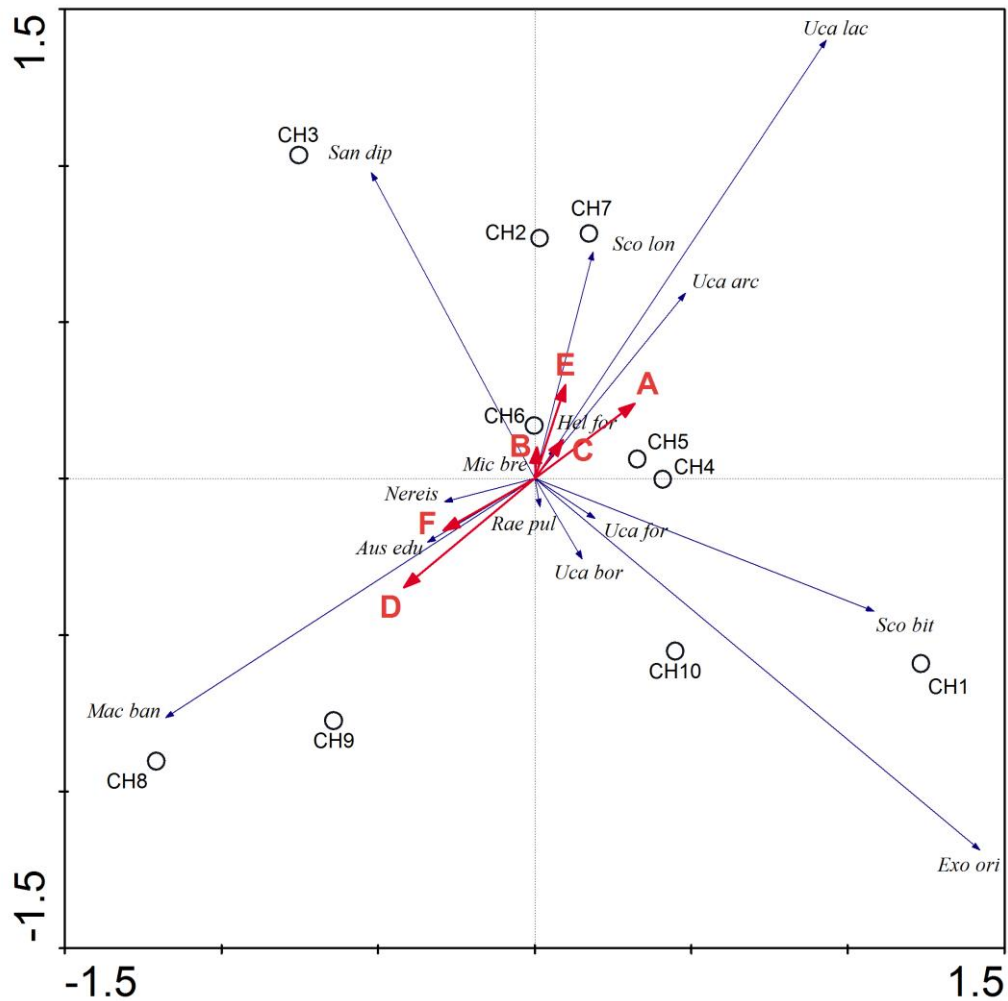


圖 4-4-1、2013 年 11 月 RDA 分析

註：環境因子：主成份 A—短期污染衝擊、主成份 B—長期污染衝擊、主成份 C—棲地環境品質、主成份 D—底質物性、主成份 E—底質化性、主成份 F—河川流量；底棲物種：*Uca bor* (北方招潮蟹)、*Uca for* (台灣招潮蟹)、*Hel for* (台灣厚蟹)、*San dip* (西施舌)、*Nereis* (沙蠶)、*Exo ori* (東方白蝦)、*Sco lon* (長指股窗蟹)、*Uca lac* (清白招潮蟹)、*Mic bre* (短指和尚蟹)、*Mac ban* (萬歲大眼蟹)、*Uca arc* (網紋招潮蟹)、*Rae pul* (環紋蛤)、*Aus edu* (螻蛄蝦)、*Sco bit* (雙扇股窗蟹)。

從 2014 年 1 月的結果圖 4-4-2 中可以看出萬歲大眼蟹 (*Mac ban*)、公代薄殼蛤 (*Lat ana*) 對主成份 D 與主成份 F 呈正相關，這些物種可能受底質粒徑大小與流量影響較大，另外有三種物種與主成分 C 呈正相關，分別是東方白蝦 (*Exo ori*)、台灣厚蟹 (*Hel for*)、沙蠶類 (*Nereis*)，其中東方白蝦 (*Exo ori*) 的相關性最高，而樣點 1、樣點 5、樣點 6 之環境性質和物種類別較相似。

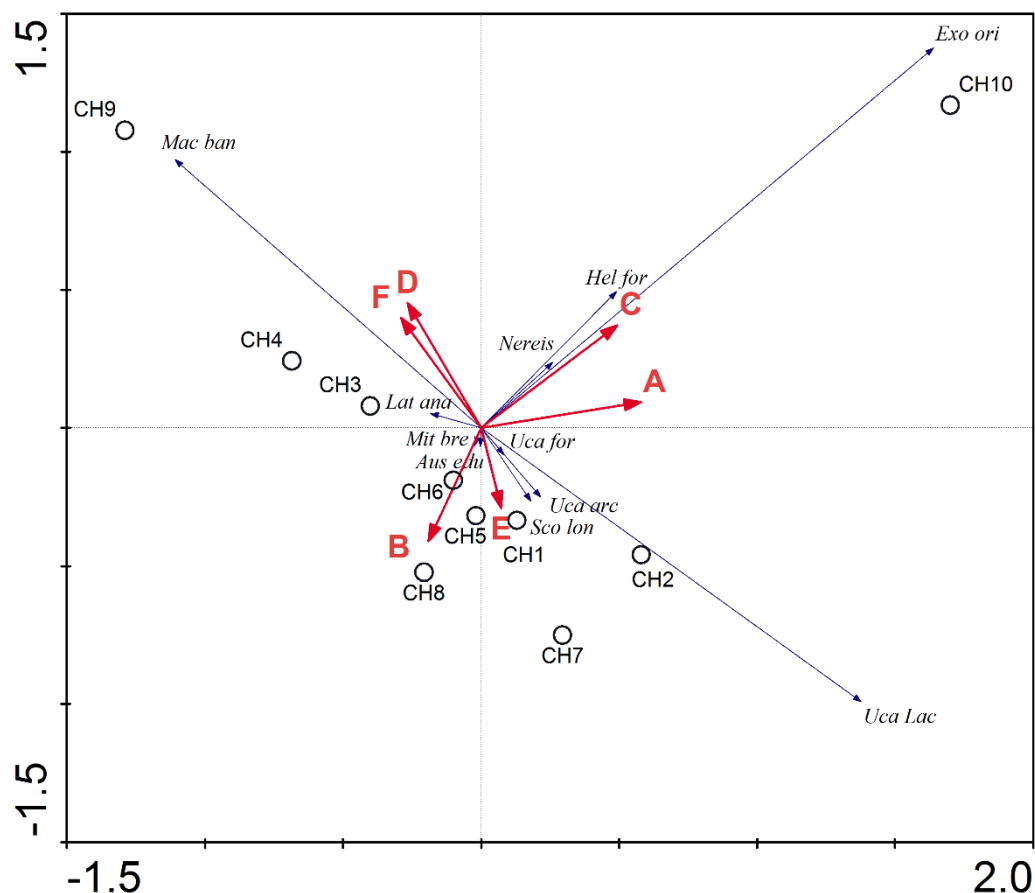


圖 4-4-2、2014 年 1 月 RDA 分析

註：環境因子：主成份 A—短期污染衝擊、主成份 B—長期污染衝擊、主成份 C—棲地環境品質、主成份 D—底質物性、主成份 E—底質化性、主成份 F—河川流量；底棲物種：*Lat ana* (公代薄殼蛤)、*Uca for* (台灣招潮蟹)、*Hel for* (台灣厚蟹)、*Nereis* (沙蠶)、*Exo ori* (東方白蝦)、*Sco lon* (長指股窗蟹)、*Uca Lac* (清白招潮蟹)、*Mic bre* (短指和尚蟹)、*Mac ban* (萬歲大眼蟹)、*Uca arc* (網紋招潮蟹)、*Aus edu* (螻蛄蝦)。

從 2014 年 4 月的結果圖 4-4-3 中可以看出萬歲大眼蟹 (*Mac ban*)、秀麗長方蟹 (*Met ele*) 對主成份 E 呈正相關，這些物種可能受流速影響較大，清白招潮蟹 (*Uca lac*) 對主成份 F 呈正相關，可能受流量影響較大，另外短指和尚蟹 (*Mic bre*)、雙扇股窗蟹 (*Sco bit*)、長指股窗蟹 (*Sco lon*) 與主成分 B 呈正相關，可能受無機廢水影響較大，而樣點 2 與樣點 4 之環境性質和物種類別較相似。

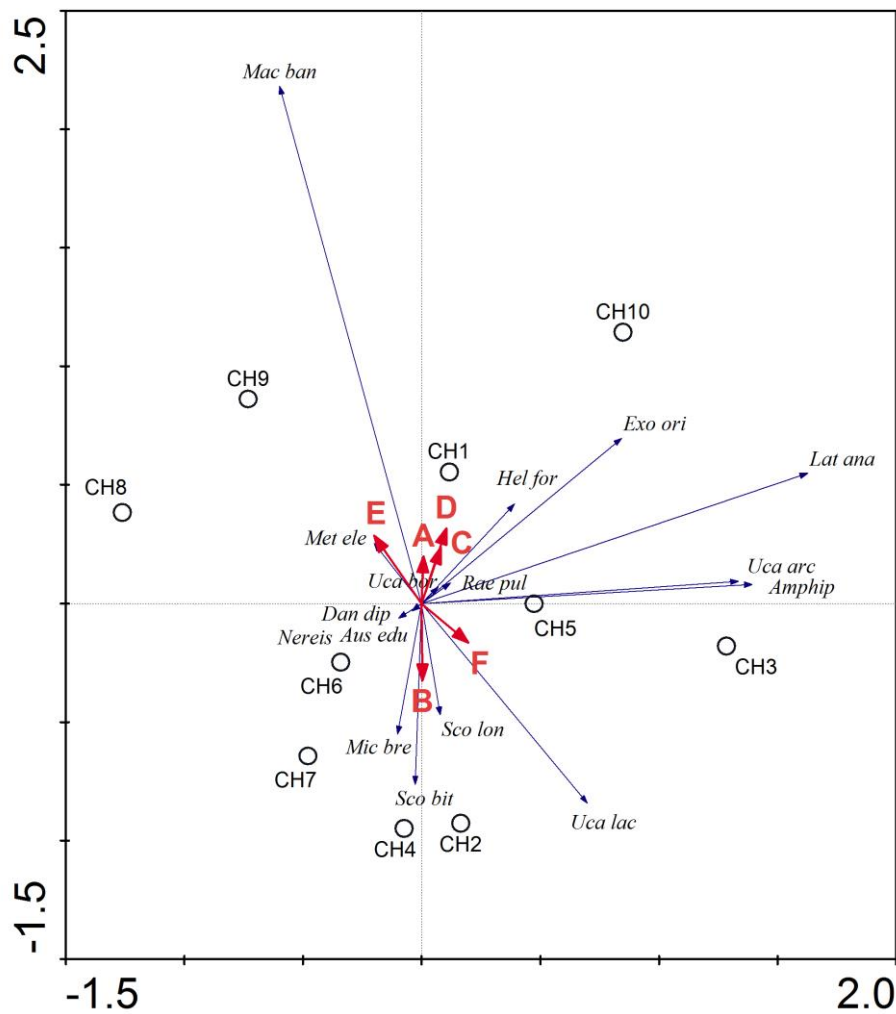


圖 4-4-3、2014 年 4 月 RDA 分析

註：環境因子：主成份 A—短期污染衝擊、主成份 B—長期污染衝擊、主成份 C—棲地環境品質、主成份 D—底質物性、主成份 E—底質化性、主成份 F—河川流量；底棲物種：*Lat ana* (公代薄殼蛤)、*Uca bor* (北方招潮蟹)、*Hel for* (台灣厚蟹)、*Dan dip* (西施舌)、*Nereis* (沙蠶)、*Met ele* (秀麗長方蟹)、*Exo ori* (東方白蝦)、*Sco lon* (長指股窗蟹)、*Uca lac* (清白招潮蟹)、*Mic bre* (短指和尚蟹)、*Mac ban* (萬歲大眼蟹)、*Amphip* (端足目)、*Uca arc* (網紋招潮蟹)、*Rae pul* (環紋蛤)、*Aus edu* (螻蛄蝦)、*Sco bit* (雙扇股窗蟹)。

從 2014 年 7 月的結果圖 4-4-4 中可以看出清白招潮蟹 (*Uca lac*) 與主成份 C 呈正相關，可能受環境酸鹼度以及水中溶氧影響較大，公代薄殼蛤 (*Lat ana*) 與淡水泥蟹 (*Ily tan*) 與主成份 E 呈正相關，雙扇股窗蟹 (*Sco bit*) 與主成份 F 呈正相關，而沙蠶類 (*Nereis*)、網紋招潮蟹 (*Uca arc*)、環紋蛤 (*Rae pul*) 則與主成份 F 呈負相關，樣點 1、樣點 2 與樣點 4、樣點 6 這二群樣點之環境性質和物種類別較相似。

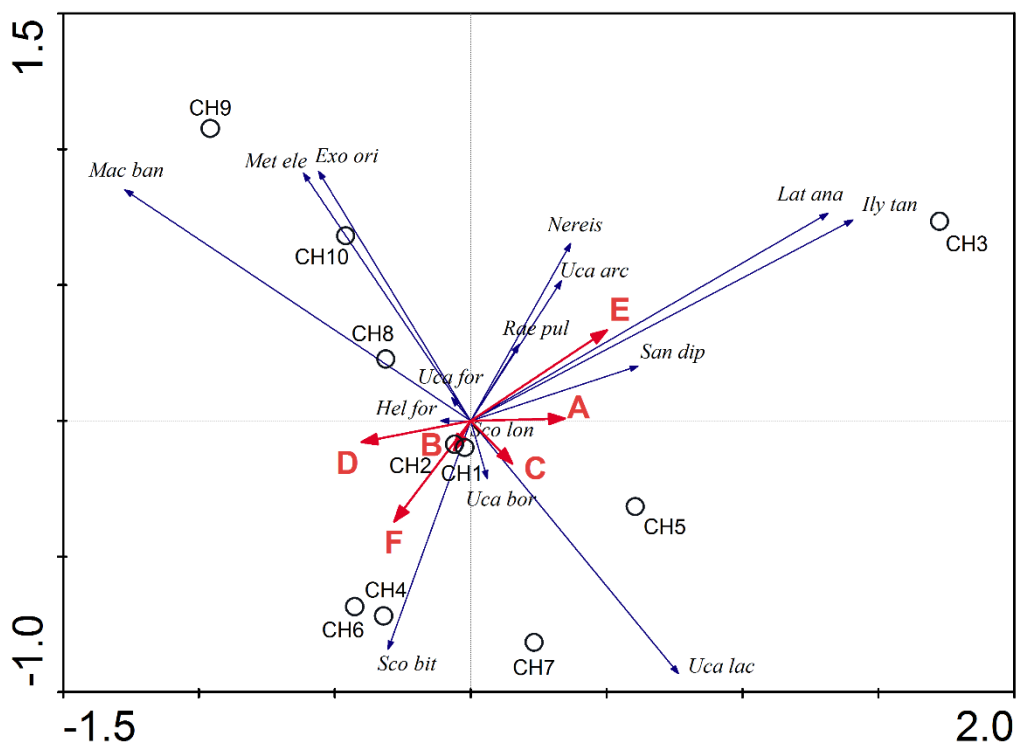


圖 4-4-4、2014 年 7 月 RDA 分析

註：環境因子：主成份 A—短期污染衝擊、主成份 B—長期污染衝擊、主成份 C—棲地環境品質、主成份 D—底質物性、主成份 E—底質化性、主成份 F—河川流量；底棲物種：*Lat ana* (公代薄殼蛤)、*Uca bor* (北方招潮蟹)、*Uca for* (台灣招潮蟹)、*Hel for* (台灣厚蟹)、*San dip* (西施舌)、*Nereis* (沙蠶)、*Met ele* (秀麗長方蟹)、*Exo ori* (東方白蝦)、*Sco lon* (長指股窗蟹)、*Ily tan* (淡水泥蟹)、*Uca lac* (清白招潮蟹)、*Mac ban* (萬歲大眼蟹)、*Uca arc* (網紋招潮蟹)、*Rae pul* (環紋蛤)、*Sco bit* (雙扇股窗蟹)。

從 2014 年 11 月的結果圖 4-4-5 中可以看出環紋蛤 (*Rae pul*) 與主成份 D 呈正相關，公代薄殼蛤 (*Lat ana*) 對主成份 C 與主成份 E 呈正相關，對主成份 B 與主成份 F 呈負相關，樣點 5 與樣點 9 之環境性質和物種類別較相似。

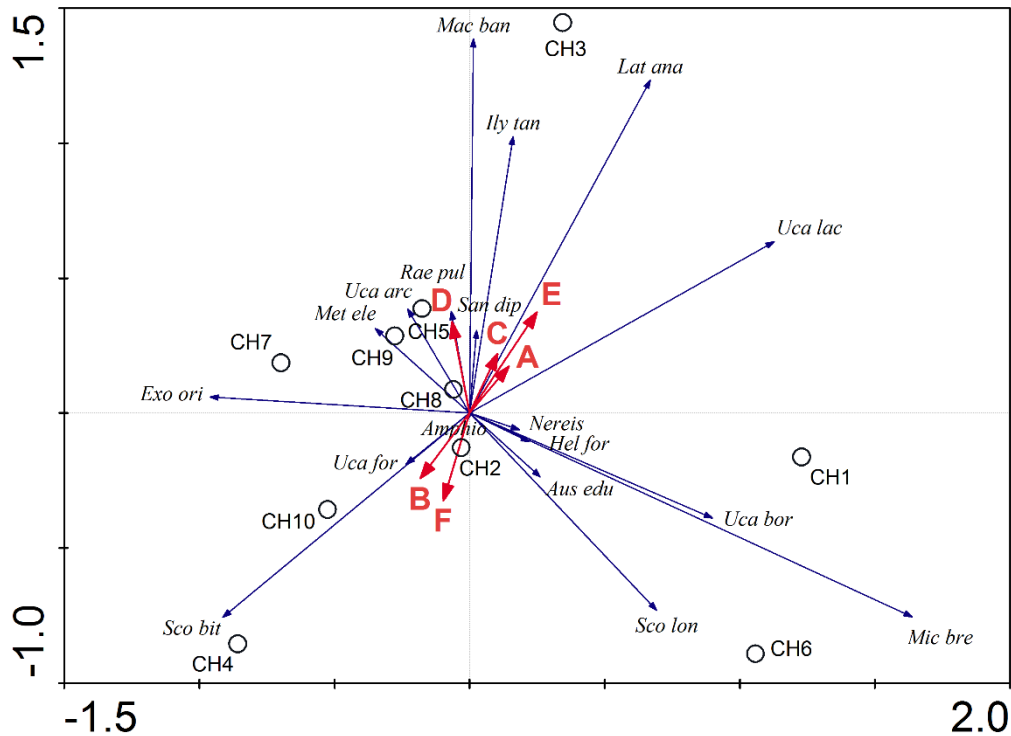


圖 4-4-5、2014 年 11 月 RDA 分析

註：環境因子：主成份 A—短期污染衝擊、主成份 B—長期污染衝擊、主成份 C—棲地環境品質、主成份 D—底質物性、主成份 E—底質化性、主成份 F—河川流量；底棲物種：*Lat ana* (公代薄殼蛤)、*Uca bor* (北方招潮蟹)、*Uca for* (台灣招潮蟹)、*Hel for* (台灣厚蟹)、*San dip* (西施舌)、*Nereis* (沙蠶)、*Met ele* (秀麗長方蟹)、*Exo ori* (東方白蝦)、*Sco lon* (長指股窗蟹)、*Ily tan* (淡水泥蟹)、*Uca lac* (清白招潮蟹)、*Mic bre* (短指和尚蟹)、*Mac ban* (萬歲大眼蟹)、*Amphip* (端足目)、*Uca arc* (網紋招潮蟹)、*Rae pul* (環紋蛤)、*Sco bit* (雙扇股窗蟹)。

從 2013 年 11 月到 2014 年 11 月的結果圖 4-4-6 中可以看出雙扇股窗蟹 (*Sco bit*)、短指和尚蟹 (*Mic bre*) 與長指股窗蟹 (*Sco lon*) 對主成份 B 呈正相關，萬歲大眼蟹 (*Man ban*) 對主成份 C 呈正相關，台灣厚蟹 (*Hel for*)、東方白蝦 (*Exo ori*)、秀麗長方蟹 (*Met ele*) 與台灣招潮蟹 (*Uca for*) 對主成份 D 呈正相關，清白招潮蟹 (*Uca lac*) 與公代薄殼蛤 (*Lat ana*) 對主成份 E 成正相關，淡水泥蟹 (*Ily tan*)、西施舌 (*San dip*) 與端足目 (*Amphio*) 對主成份 F 呈負相關，而樣點 1、樣點 8 與樣點 5、樣點 6 這二群之環境性質和物種類別較相似。

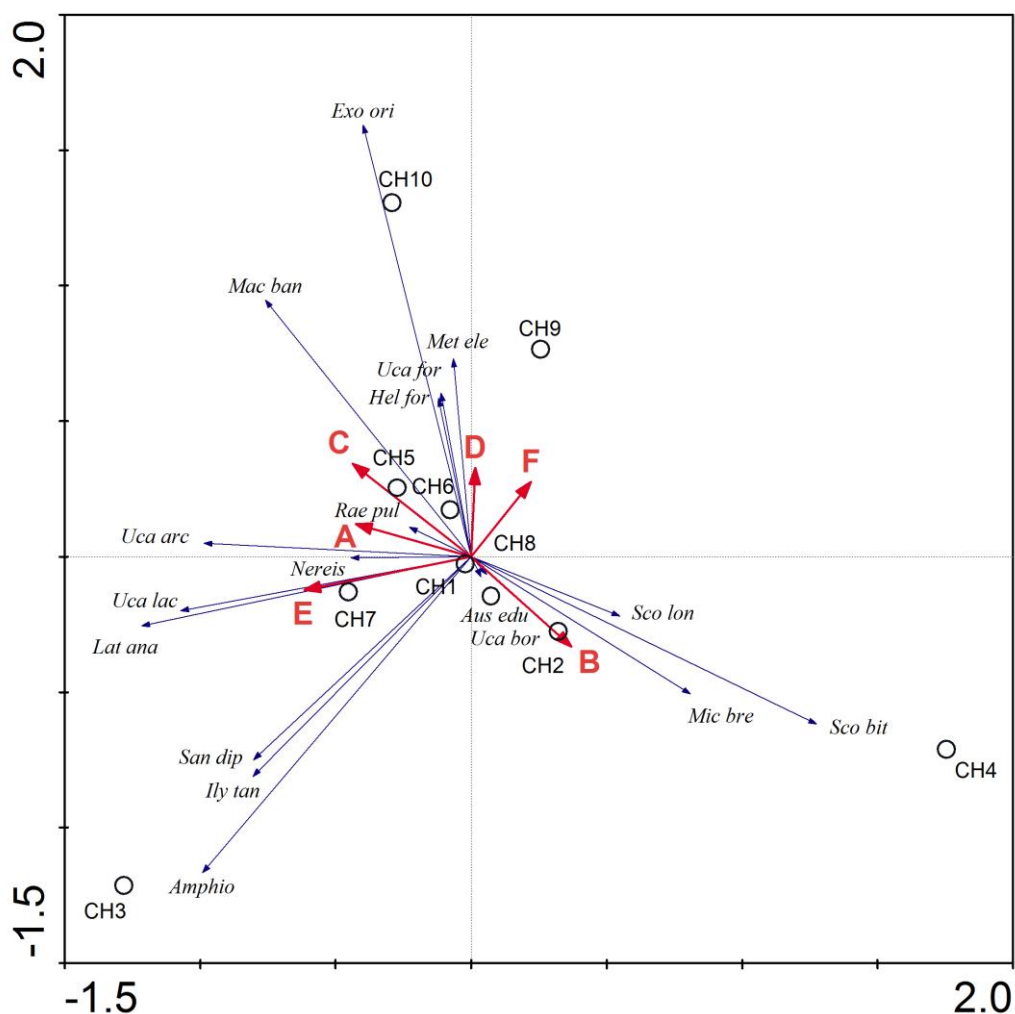


圖 4-4-6、2013 年 11 月到 2014 年 11 月 RDA 分析

註：環境因子：主成份 A—短期污染衝擊、主成份 B—長期污染衝擊、主成份 C—棲地環境品質、主成份 D—底質物性、主成份 E—底質化性、主成份 F—河川流量；底棲物種：*Lat ana* (公代薄殼蛤)、*Uca bor* (北方招潮蟹)、

Uca for (台灣招潮蟹)、*Hel for* (台灣厚蟹)、*San dip* (西施舌)、*Nereis* (沙蠶)、*Met ele* (秀麗長方蟹)、*Exo ori* (東方白蝦)、*Sco lon* (長指股窗蟹)、*Ily tan* (淡水泥蟹)、*Uca lac* (清白招潮蟹)、*Mic bre* (短指和尚蟹)、*Mac ban* (萬歲大眼蟹)、*Amphip* (端足目)、*Uca arc* (網紋招潮蟹)、*Rae pul* (環紋蛤)、*Aus edu* (螻蛄蝦)、*Sco bit* (雙扇股窗蟹)。

依照底棲生物類別分類的結果圖 4-4-7 中，甲殼類 (*Crusta*) 與主成份 D 呈正相關，可能受到底質物理性質影響較大，貝類 (*Shellf*) 與主成份 A、主成份 C、主成份 E 呈正相關，結果與結果圖大致穩合。

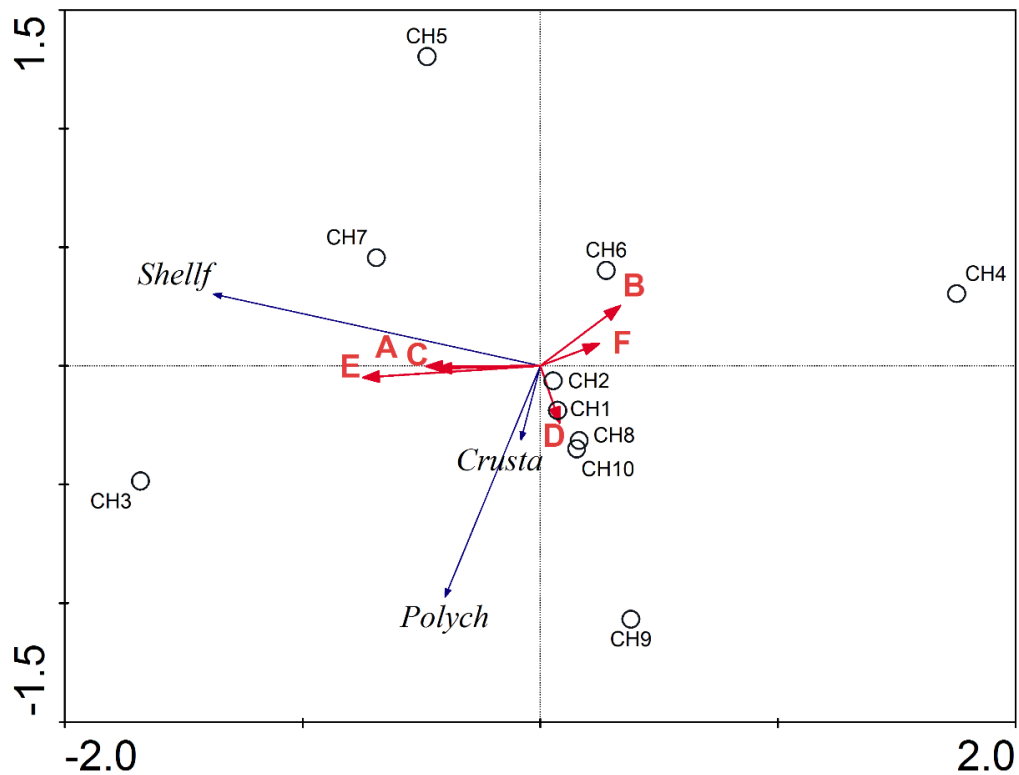


圖 4-4-7、2013 年 11 月到 2014 年 11 月底棲生物類別 RDA 分析

註：環境因子：主成份 A—短期污染衝擊、主成份 B—長期污染衝擊、主成份 C—棲地環境品質、主成份 D—底質物性、主成份 E—底質化性、主成份 F—河川流量；底棲物種：*Crusta* (甲殼類)、*Shellf* (貝類)、*Polych* (多毛類)。

將底質調查的重金屬資料與底棲物種進行冗餘分析，分別為 2013 年 11 月以及 2014 年 1 月總共二次的分析結果如下：

從 2013 年 11 月的底質重金屬與底棲生物結果圖 4-4-8 中，可以發現萬歲大眼蟹 (*Mac ban*) 與鎘 (Cd) 以及鎳 (Ni) 呈正相關性，而大多數的底棲物種皆與重金屬因子呈現負相關性或者無相關性。

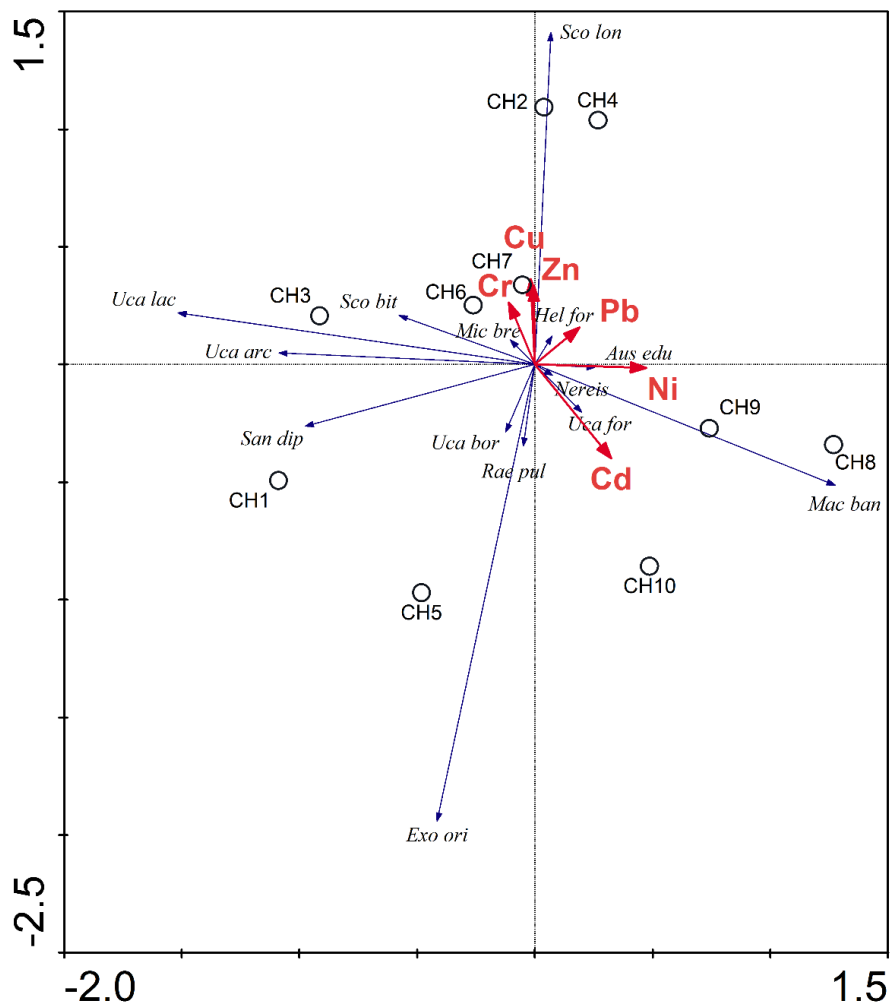


圖 4-4-8、2013 年 11 月重金屬與底棲生物 RDA 分析

註：重金屬因子：Cu(銅)、Zn(鋅)、Ni(鎳)、Cr(鉻)、Pb(鉛)、Cd(鎘)；底棲物種：*Uca bor*(北方招潮蟹)、*Uca for*(台灣招潮蟹)、*Hel for*(台灣厚蟹)、*San dip*(西施舌)、*Nereis*(沙蠶)、*Exo ori*(東方白蝦)、*Sco lon*(長指股窗蟹)、*Uca lac*(清白招潮蟹)、*Mic bre*(短指和尚蟹)、*Mac ban*(萬歲大眼蟹)、*Uca arc*(網紋招潮蟹)、*Rae pul*(環紋蛤)、*Aus edu*(螻蛄蝦)、*Sco bit*(雙扇股窗蟹)。

從 2014 年 1 月的底質重金屬與底棲生物結果圖 4-4-9 中，可以發現萬歲大眼蟹 (*Mac ban*) 與鎘 (Cd) 呈正相關性，公代薄殼蛤 (*Lat ana*) 與鉛 (Pb) 呈正相關性，其餘大多數底棲物種皆與重金屬因子呈現負相關性或者無相關性。

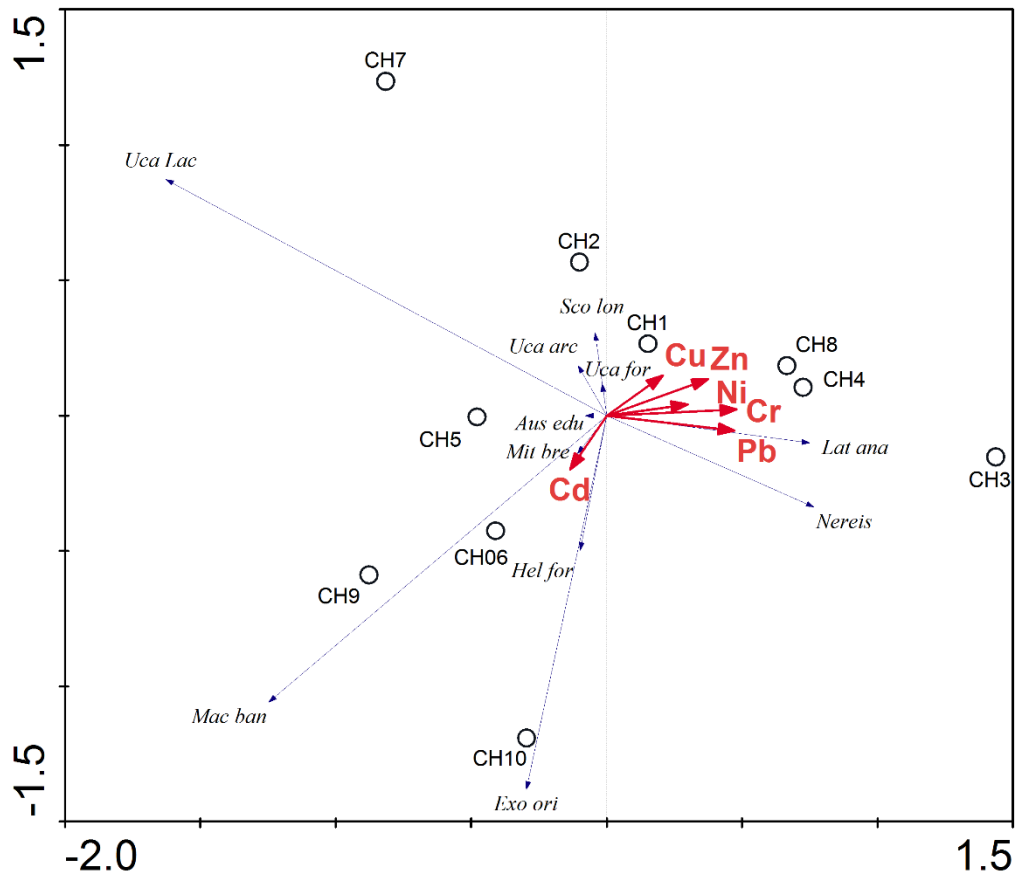


圖 4-4-9、2014 年 1 月重金屬與底棲生物 RDA 分析

註：重金屬因子：Cu (銅)、Zn (鋅)、Ni (鎳)、Cr (鉻)、Pb (鉛)、Cd (鎘)；底棲物種：*Lat ana* (公代薄殼蛤)、*Uca for* (台灣招潮蟹)、*Hel for* (台灣厚蟹)、*Nereis* (沙蠶)、*Exo ori* (東方白蝦)、*Sco lon* (長指股窗蟹)、*Uca Lac* (清白招潮蟹)、*Mit bre* (短指和尚蟹)、*Mac ban* (萬歲大眼蟹)、*Uca arc* (網紋招潮蟹)、*Aus edu* (螻蛄蝦)。

從這 2 次的冗餘分析結果圖來看，明顯可以看出大部份的底棲物種與底質重金屬因子呈現負相關性或者無相關性，較無法忍受重金屬的毒性，其中，較特別的是萬歲大眼蟹 (*Mac ban*) 與鎘 (Cd) 呈正相關性，公代薄殼蛤 (*Lat ana*) 與鉛 (Pb) 呈正相關性，有研究指出，雙殼貝與多毛類的重金屬蓄積能力較螃蟹為高，鎘、鉻、鎘、銻、鎳、鉛、錳、鋁、鐵等金屬以公代的蓄積能力最高(林柏州，2007)。

4-5 潮溝影像辨識結果

使用解析度為 2 公尺的 2010 年夏季彰化海岸衛星影像圖進行非監督式分類法影像辨識，主要目的為辨識潮溝，其他灘地類型則都歸類為灘地，為了減少影像複雜程度與分辨錯誤的可能，先將海岸上選定範圍的影像切割出來(如圖 4-5-1)，切出來的影像中，主要由灘地佔有較大比例，灘地上的潮溝可以更有效的辨識出來，彰濱各鄉鎮沿岸潮溝影像之辨識結果如圖 4-5-2~圖 4-5-7 所示。



圖 4-5-1、辨識範圍圖例

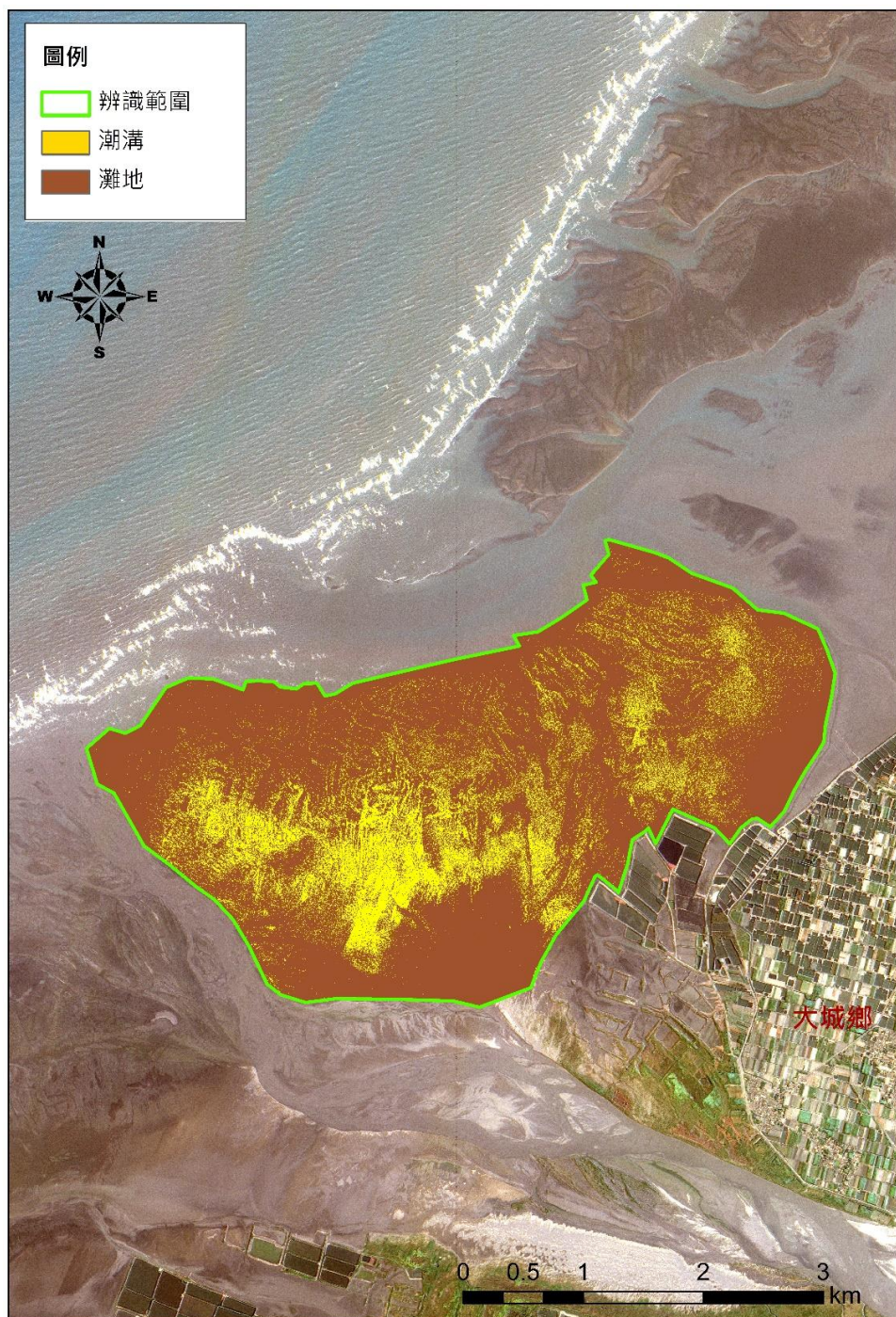


圖 4-5-2、大城鄉外側灘地

總體分類精度	總體 Kappa 值
86.67%	0.7532

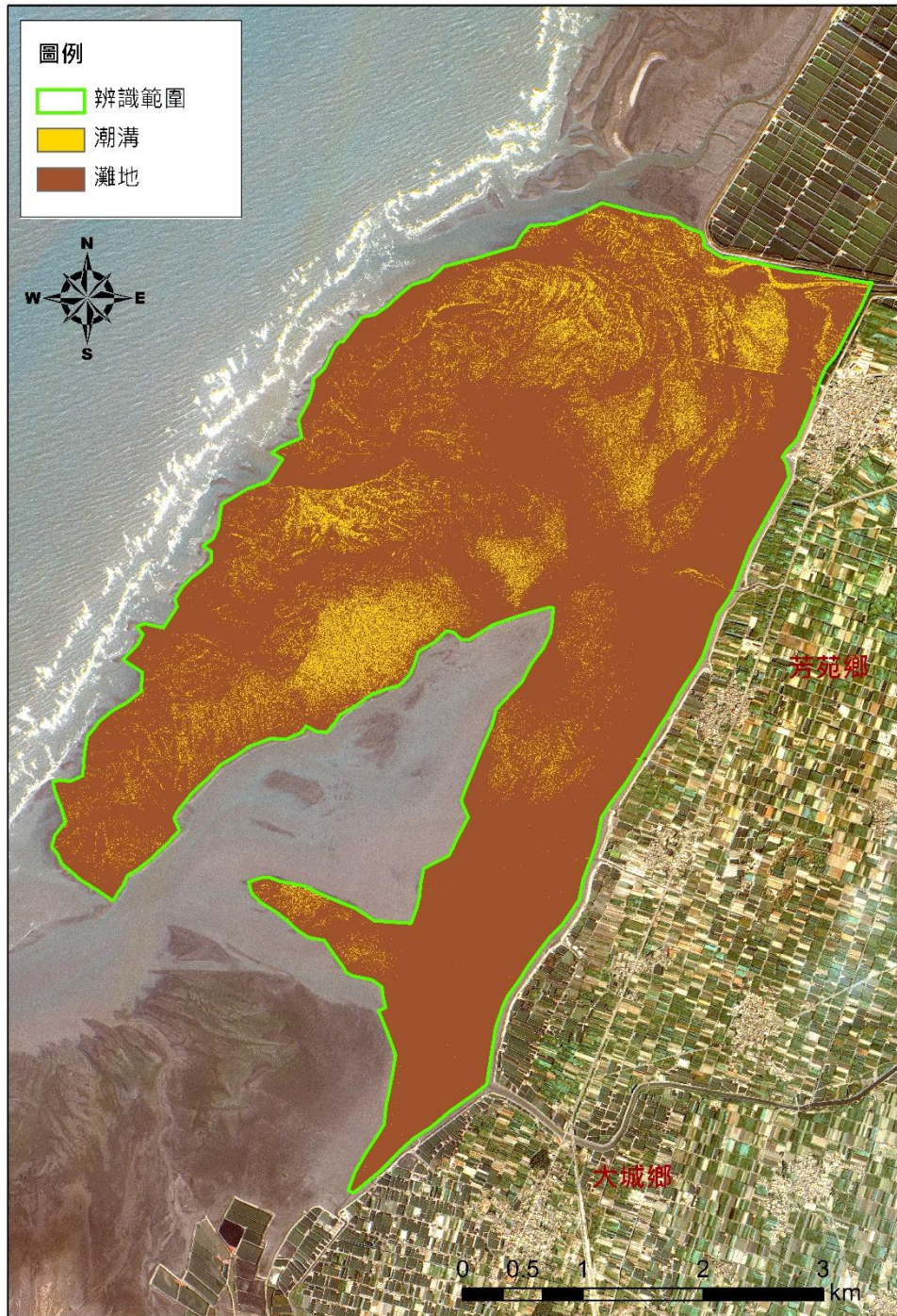


圖 4-5-3、芳苑鄉外側灘地 A

總體分類精度	總體 Kappa 值
83.33%	0.7354



圖 4-5-4、芳苑鄉外側灘地 B

總體分類精度	總體 Kappa 值
93.33%	0.8438

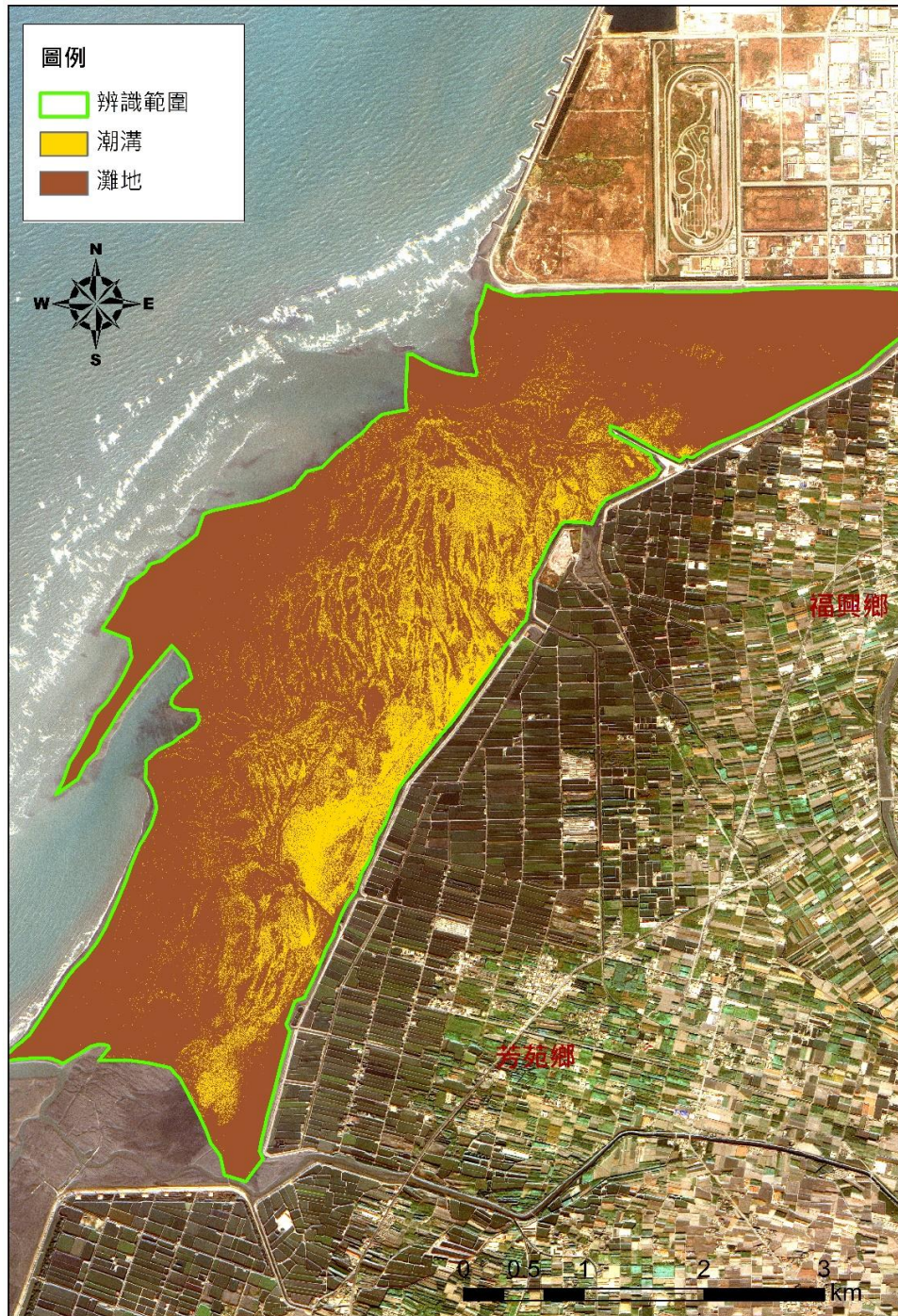


圖 4-5-5、芳苑鄉外側灘地 C

總體分類精度	總體 Kappa 值
90.00%	0.8065

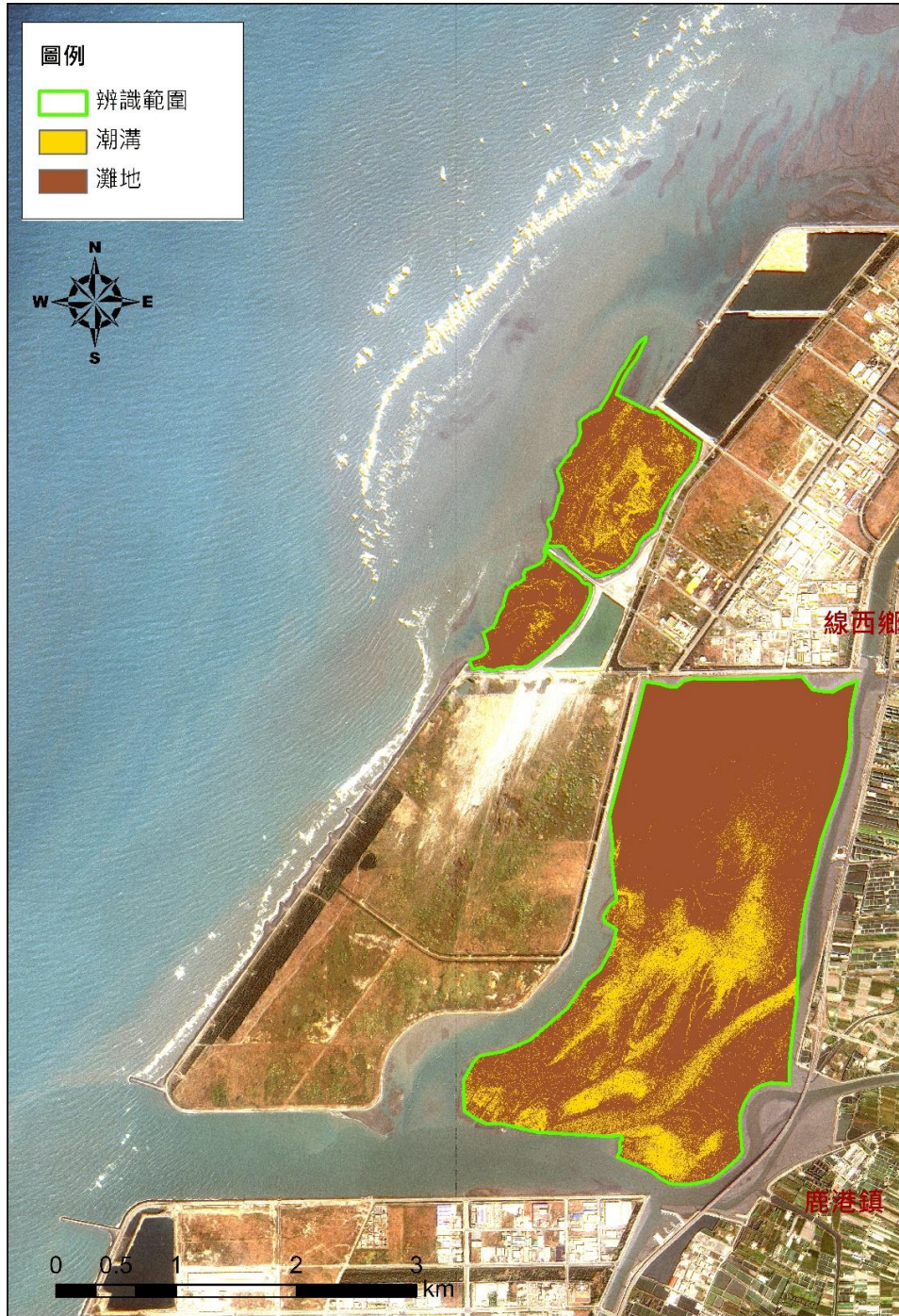


圖 4-5-6、鹿港鎮與線西鄉外側灘地

總體分類精度	總體 Kappa 值
86.67%	0.7674

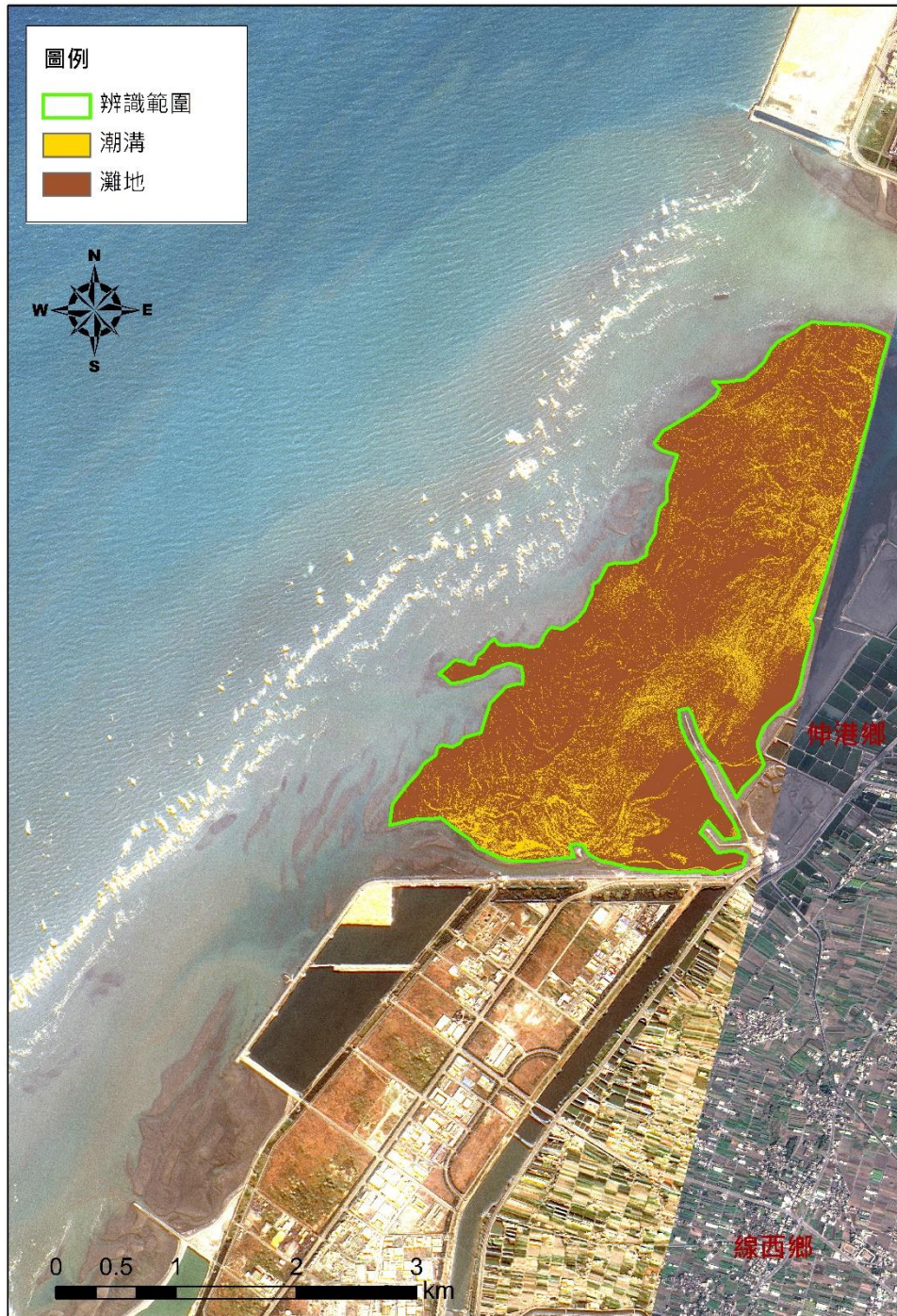


圖 4-5-7、伸港鄉外側灘地

總體分類精度	總體 Kappa 值
86.67%	0.7656

4-5-1 潮溝面積

利用 GIS 軟體從彰化沿海潮溝辨識結果之中計算出潮溝面積，從結果圖 4-5-8 以及表 4-5-1，可以發現芳苑鄉沿海外側灘地較廣闊且較長，因此潮溝面積是較大於其他鄉鎮，其次是大城鄉。

表 4-5-1、各區潮溝面積

區域	大城鄉	大城鄉 芳苑鄉	芳苑鄉	芳苑鄉 福興鄉	鹿港鄉 線西鄉	線西鄉 伸港鄉
面積(Km ²)	1.744	2.370	1.254	3.342	1.770	1.520

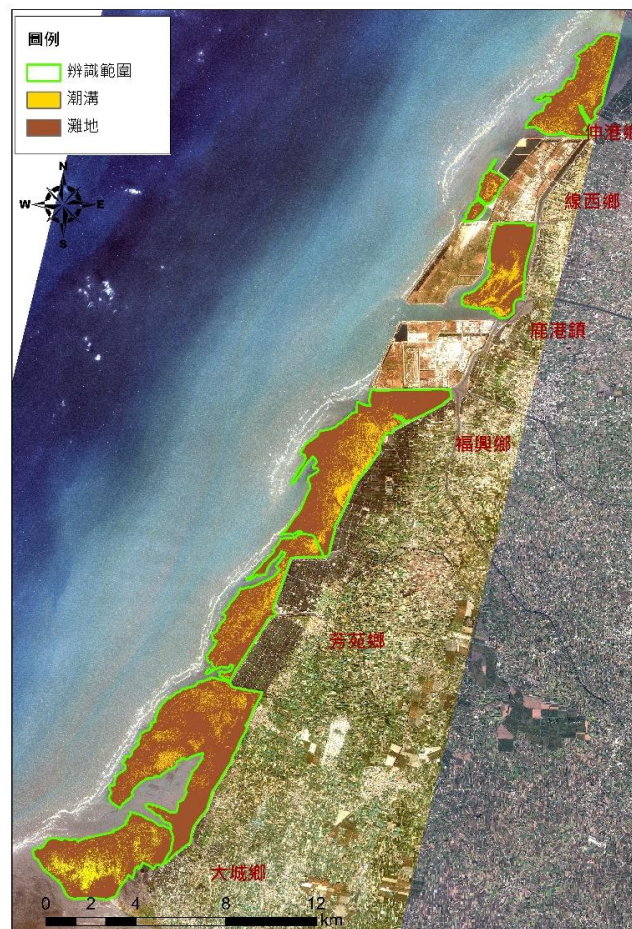


圖 4-5-8、彰化海岸全區辨識結果

4-5-2 潮溝密度

為了計算每個樣點的潮溝密度，本研究使用環域分析，設定各樣點為圓心，環域半徑長度為 1 公里畫圓，進而得到環域空間內的潮灘面積與潮溝面積(圖 4-5-9)，最後利用下面算式求出潮溝密度：

$$\text{潮溝密度} = \frac{\text{潮溝面積}}{\text{灘地面積} + \text{潮溝面積}}$$

表 4-5-2 為經由環域分析後整理出來的各樣點結果，可以發現灘地面積為樣點 4 與樣點 8 最大，其次是樣點 1；在潮溝面積方面，樣點 4 最大，其次是樣點 1、樣點 6、樣點 8；而潮溝密度方面，樣點 4 與樣點 6 密度最高，其次是樣點 7、樣點 1。

表 4-5-2、各樣點潮溝面積與密度

監測樣點	灘地面積(m ²)	潮溝面積(m ²)	潮溝密度
CH1	1261576	297084	0.235486
CH2	242080	100	0.000413
CH3	36160	48	0.001327
CH4	2823860	889644	0.315045
CH5	280428	3364	0.011996
CH6	765460	232396	0.303603
CH7	682576	180696	0.264727
CH8	2574756	221100	0.085872
CH9	703540	352	0.0005
CH10	512900	29424	0.057368

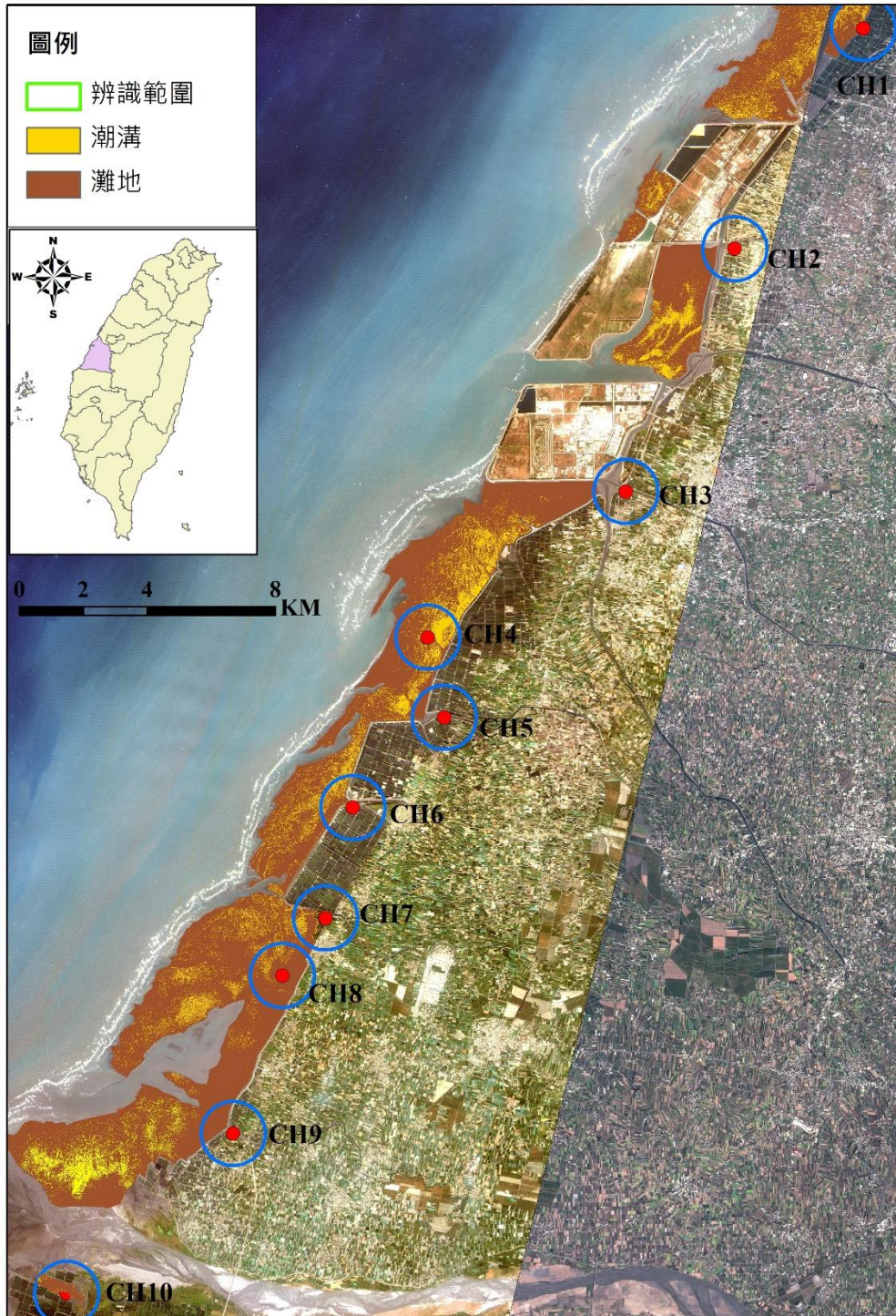


圖 4-5-9、各樣點環域分析圖

4-5-3 潮溝密度與底棲物種

本研究欲探潮溝密度與底棲物種之關係，了解潮溝密度的不同對底棲生物數量的變化，將各樣點的潮溝密度與各樣點底棲生物總數量繪製成折線圖(圖 4-5-10)，紅線代表底棲生物的數量，藍線代表潮溝密度，從圖中可以發現，密度最高的樣點 4、樣點 6 與較高的樣點 7、樣點 1，所對應底棲生物數量並沒有明顯較高，雖然鄰近的樣點上有較高的底棲生物數量，可能是因為灘地很廣，所以潮溝的範圍很大，而本研究的樣點主要都是設置在岸邊，離岸較近，因此跟生物數量分析起來，並沒有很大的關聯性，並不能以此代表潮溝密度的高低會影響底棲生物的多寡。

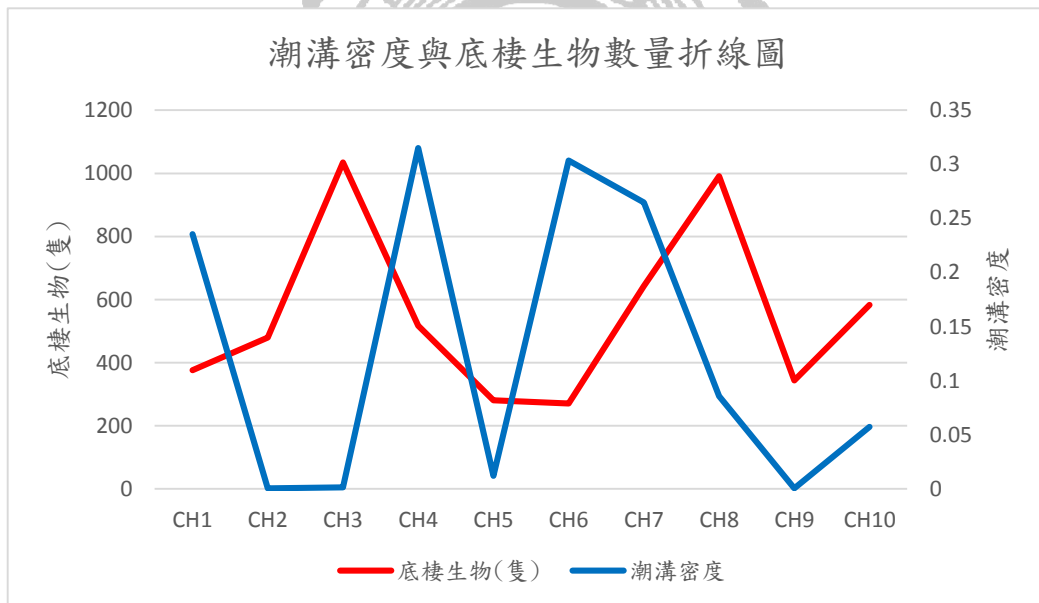


圖 4-5-10、潮溝密度與底棲生物數量折線圖

第五章 結論與建議

5-1 結論

在本研究中使用相關性分析檢視各類環境變數，篩除較不具代表性的變數，而主成份分析能夠濃縮變數以達到減少變數的目的，也為了作為決策使用，將原本 19 項環境變數濃縮成 6 項主成份因子，分別命名為主成份 A—短期污染衝擊、主成份 B—長期污染衝擊、主成份 C—棲地環境品質、主成份 D—底質物性、主成份 E—底質化性、主成份 F—河川流量，這些新變數能夠保有原來多個變數的最多數據之內容。

從 2013 年 11 月到 2014 年 11 月之間，五次的調查資料於冗餘分析之結果，發現萬歲大眼蟹 (*Man ban*) 對主成份 D 一直呈現正相關，而且與樣點 9 有高度的相關性，樣點 9 屬於泥質灘地，顯示該物種對底質粒徑大小較為敏感，而雙扇股窗蟹 (*Sco bit*) 分別在 2014 年 4 月、2014 年 7 月、2014 年 11 月以及 2013 年 11 月~2014 年 11 月的結果圖中與主成份 B 呈正相關，而且與樣點 4 有高度相關性，樣點 4 屬於沙質灘地，短指和尚蟹 (*Mic bre*) 則是在 2013 年 11 月、2014 年 1 月、2014 年 4 月以及 2013 年 11 月~2014 年 11 月的結果圖中與主成份 B 呈正相關，可以看出一些蟹類較明顯的喜好，萬歲大眼蟹 (*Man ban*) 偏愛泥質底質，雙扇股窗蟹 (*Sco bit*) 偏愛棲息在沙質環境，短指和尚蟹 (*Mic bre*) 喜愛沙質環境(蘇曉音，2003)。

主成份 A 屬於有機廢水以及短期內的污染衝擊，主成份 B 屬於無機廢水以及長期的污染衝擊，可以從 2013 年 11 月到 2014 年 11 月之間，五次的調查資料於冗餘分析之結果圖中發現，大部份的底棲物種與主成份 A 呈正相關，而與主成份 B 呈負相關或無相關，能夠作為改善策略之參考。

在底棲生物與重金屬之相關性方面，大部份的底棲物種與底質重金屬因子呈現負相關性或者無相關性，對重金屬的毒性較無法忍受，在 2014 年 1 月的重金屬與底棲生物之冗餘分析結圖中，貝類與多毛類明顯比甲殼類對重金屬呈正相關，雙殼貝與多毛類的重金屬蓄積能力較螃蟹為高(林柏州，2007)，其中較特別的是萬歲大眼蟹 (*Mac ban*)，在兩次的分析結果圖中，和鎘 (Cd) 呈正相關性，以及樣點 9 呈正相關，甲殼類動物經由攝食環境中的食物或是水，而將重金屬累積在體內，主要攝食底泥有機碎屑的物種，可能就會在體內累積重金屬，因此河口蟹類對環境中的鎘、銅、鉛、鋅有累積的能力(林佳曦，2013)，也有可能是因為喜好棲地底質物理性質所產生的影響大於其他環境因素，如果棲地的底質類型受到改變，可能會對一些物種產生很大的影響，經由以上結果，可以作為維護管理策略之考量。

在潮溝方面，福興鄉與芳苑鄉外側樣點的潮溝密度較高，但是各樣點的潮溝密度所對應之底棲生物數量並沒有隨著密度提高而增加，可能是因為各樣點設置在離岸較近的地方，而灘地以及潮溝範圍廣大，所以不能以此代表潮溝密度的高低會影響底棲生物的多寡。

5-2 建議

本研究樣點主要位於各河川出口或水道出口附近，冗餘分析的結果發現大部份的物種與短期污染衝擊因子以及長期污染衝擊因子有相關，出海口環境容易受到河川上游攜帶的污染所影響，由於河段中的河水都是來自於它的集水區，建議後續研究可以取得各流域上的污水排放資料，計算出每個集水區的污染量，進而推估對生物造成影響的來源；對於潮溝部分，本研究因為影像圖資與監測調查資料時間點不相同，所以建議後續研究可以取得和監測調查資料時間點相同

的衛星影像，並將潮溝納入環境因子，進行冗餘分析，以便能更加瞭解潮溝與生物之間的關係。

參考文獻

英文文獻

1. Astel, A., Tsakovski, S., Barbieri, P., & Simeonov, V. "Comparison of self-organizing maps classification approach with cluster and principal components analysis for large environmental data sets." *Water Research* 41.19, pp. 4566-4578 (2007).
2. Convention of Wetlands of International Importance Especially as Waterfowl Habitats (1971).
3. González, C. M., M. L. Pignata, and L. Orellana. "Applications of redundancy analysis for the detection of chemical response patterns to air pollution in lichen." *Science of the total environment* 312.1, pp. 245-253 (2003).
4. Höher, N., Köhler, A., Strand, J., & Broeg, K. "Effects of various pollutant mixtures on immune responses of the blue mussel (*Mytilus edulis*) collected at a salinity gradient in Danish coastal waters." *Marine environmental research* 75, pp. 35-44 (2012).
5. Kamal, A., Ali, U., Ramay, M. I., Younis, S. M. Z., Sumbal, S., Malik, R. N., & Rashid, A. "Principle component analysis of flue gas exhaust and health risk estimates for the population around a functional incinerator in the vicinity of Rawalpindi Pakistan." *Arabian Journal of Chemistry* (2013).
6. Lepš, Jan, and Petr Šmilauer. *Multivariate analysis of ecological data using CANOCO*. Cambridge university press (2003).
7. Legendre, Pierre, and Louis Legendre. "Numerical ecology: second English edition." *Developments in environmental modelling* 20, pp. 579-592 (1998).
8. Nagendra, SM Shiva, and Mukesh Khare. "Principal component analysis of urban traffic characteristics and meteorological data." *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 8.4, pp. 285-297 (2003).
9. Olsen, Roger L., Rick W. Chappell, and Jim C. Loftis. "Water quality sample collection, data treatment and results presentation for principal components analysis—literature review and Illinois River watershed case study." *Water Research* 46.9: 3110-3122 (2012).
10. Perillo, Gerardo ME. "Tidal courses: classification, origin and functionality." *Coastal Wetlands: An Integrated Ecosystem Approach*, Elsevier, Amsterdam 185209 (2009).
11. Ter Braak, C. J. F. "Canonical community ordination. Part I: Basic theory and linear methods." *Ecoscience.*, vol. 1, iss. 2, pp. 127-140 (1994).

12. Van Damme, P. A., Hamel, C., Ayala, A., & Bervoets, L. "Macroinvertebrate community response to acid mine drainage in rivers of the High Andes (Bolivia)." *Environmental Pollution* 156.3, pp. 1061-1068 (2008).
13. Ysebaert, T., Fettweis, M., Meire, P., & Sas, M. "Benthic variability in intertidal soft-sediments in the mesohaline part of the Schelde estuary." *Hydrobiologia* 540.1-3, pp. 197-216 (2005).

中文文獻

1. 方國運，"臺灣自然保育政策及推動現況，生物多樣性：保育篇"，教育部(2006)。
2. 方智芳，"彰濱地區螻蛄蝦採集法對該族群恢復的影響及保育策略之研究"，碩士論文，東海大學環境科學與工程學系(1998)。
3. 江政傑，"台灣西南海域沉積物中持久性有機化合物含量分佈之研究"，碩士論文，國立中山大學海洋環境及工程學系研究所(2006)。
4. 行政院內政部營建署，"國家重要濕地保育計畫(100-105年)核定本"行政院內政部補助計畫(2010)。
5. 行政院內政部營建署，濕地保育法草案(2010)。
6. 行政院公共工程委員會，"建立人工濕地設置與操作作業程序及技術"，行政院(2005)。
7. 吳佳其，"南仁山亞熱帶雨林優勢樹種養分含量與環境因子之關係"，碩士論文，國立臺灣大學農業化學研究所(2002)。
8. 吳明隆，"SPSS 操作與應用多變量分析實務"，五南圖書出版股份有限公司，第 625-644 頁(2008)。
9. 周天穎、葉美伶、吳政庭、簡致遠，"輕輕鬆鬆學 ArcGIS10"，儒林圖書公司，第 1-2 ~ 2-12 頁(2011)。
10. 林佳曦，"利用河口域蟹類作為重金屬污染指標生物之可行性評估"，碩士論文，國立高雄海洋科技大學水產養殖研究所(2013)。
11. 林柏州，"新竹香山溼地船型薄殼蛤(公代)(*Laternularia*)生物學與體內重金屬蓄積之研究"，碩士論文，國立新竹教育大學(2007)。
12. 林師模、陳苑欽，"多變量分析管理上的應用"，雙葉書廊，初版(2003)。
13. 林惠真，"高美溼地生物資源"，台中縣政府(1998)。
14. 林惠真、宋文汀、蘇珊慧，"台中縣海岸溼地生態教室"，台中縣政府(2003)。
15. 邱瑞仙，"桃園地區空氣污染物濃度相關性及地理分布"，碩士論文，國立中央大學環境工程研究所(2008)。
16. 涂冬員，"以螞蟻做為湖山水庫鄰近區域棲地復育試驗之森林生態系指標"，碩士論文，國立彰化師範大學生物學系(2011)。
17. 施月英，"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"，碩士論文，靜宜大學生態學研究所(2008)。
18. 科學發展，497 期，6 ~ 11 頁(2014)。
19. 胡慎穎，"大鵬灣底泥重金屬污染暨貝類生物多樣性調查與生物濃縮效應評估"，碩士論文，大仁科技大學環境管理研究所(2008)。

20. 高明瑞、彭仁君，”自然資源保育與管理”，淑馨出版社(2000)。
21. 張筑程，”鯉魚潭水庫水質因素分析之研究”，碩士論文，逢甲大學水利工程與資源保育學系(2013)。
22. 許程翔，”主成分分析在烏溪流域水質評價之應用”，碩士論文，逢甲大學水利工程與資源保育學系(2014)。
23. 陳錦媽、黃國展，”GIS 與空間決策分析-ArcGIS 入門與進階”，新文京開發出版股份有限公司(2007)。
24. 陳耀茂，”多變量解析方法與應用”，五南圖書出版股份有限公司，初版(2001)。
25. 黃敏郎、劉守恆，”地理資訊系統基礎操作實務”第二版，松岡電腦圖書有限公司，第 1-2~1-4 頁(2009)。
26. 黃淑媚，”以能值理論分析濕地生態經濟系統之研究—以臺灣七股海岸濕地為例”，碩士論文，國立成功大學地球科學系(2012)。
27. 戴立，”鹹水型人工濕地環境因子與底棲無脊椎動物群聚關係之研究”，碩士論文，國立中山大學海洋環境及工程學系(2011)。
28. 蘇曉音，”大肚溪口南岸半封閉圍堤灘地內外底質組成與螃蟹及多毛類群聚差異之研究”，碩士論文，東海大學環境科學系(2003)。



附錄

附錄一、自變數與自變數相關分析全表

	Temp.	pH	EC	DO	BOD	SS	NH ₃ -N	KN	NO ₂ -N	NO ₃ -N	TP	pHs	Eh	Sand	Clay	Silt	TR	TIT	FV	FR	
Temp.	1																				
pH	0.112	1																			
EC	0.211	-0.03	1																		
DO	0.088	.408**	-0.01	1																	
BOD	-0.047	0.233	-0.253	0.003	1																
SS	-0.125	0.112	0.132	0.046	-0.048	1															
NH ₃ -N	0.004	0.005	-.313*	-.364**	0.225	0.261	1														
KN	-0.143	-0.16	-.574**	-.363**	.301*	-0.071	.669**	1													
NO ₂ -N	-0.195	-0.069	-.395**	-0.03	0.048	-0.202	0.134	0.257	1												
NO ₃ -N	-.335*	-.390**	-.313*	0.023	-0.104	-0.202	-0.084	0.127	.315*	1											
TP	-0.22	.341*	-.420**	0.201	.489**	0.171	.473**	.425**	0.182	-0.075	1										
pHs	0.111	.329*	0.159	.394**	-0.023	0.012	-0.108	-.291*	0.055	-.287*	0.218	1									
Eh	-0.047	-0.016	-0.047	0.146	0.059	-0.005	-0.235	-0.08	-0.024	0.101	0.043	0.138	1								
Sand	0.189	-0.016	0.258	.307*	-.291*	-.384**	-.362**	-.388**	0.103	0.168	-0.244	0.216	.308*	1							
Clay	-0.011	-0.011	0.004	-0.262	0.188	0.246	.310*	0.208	0.039	-0.148	0.115	-0.071	-0.155	-.615**	1						
Silt	-0.197	0.065	-.308*	-.290*	0.272	.335*	.335*	.387**	-0.1	-0.157	0.227	-0.256	-.326*	-.969**	.480**	1					
TR	.281*	0.004	.345*	-.330*	-0.114	0.19	0.177	-0.079	-.310*	-.421**	-.299*	-0.054	-.279*	-0.162	0.155	0.123	1				
TIT	.382**	0.004	.374**	-0.268	-0.179	0.134	0.096	-0.147	-.364**	-.371**	-.359*	-0.056	-0.126	-0.166	0.234	0.124	.881**	1			
FV	-0.054	-0.035	-0.026	0.038	0.071	0.141	0.021	-0.065	-0.037	0.02	0.11	0.085	-.341*	-0.091	0.006	0.048	0.249	0.074	1		
FR	-0.109	-0.055	-0.258	0.028	0.144	-0.012	0.053	0.163	0.04	0.052	0.107	-0.085	-0.155	-0.195	-0.052	0.253	-0.18	-0.211	0.015	1	