

國立交通大學

土木工程學系

碩士論文

利用衛星影像探討高美濕地內雲林莞草生長範圍
的變遷研究

Satellite-image-based investigation of vegetation
distribution of *Bolboschoenus planiculmis* in Gaomei
Wetlands

指導教授：張憲國 博士

研究生：湯武仁

中華民國一百零三年六月

利用衛星影像探討高美濕地內雲林莞草生長範圍的變遷研究

研究生：湯武仁

指導教授：張憲國 博士

國立交通大學土木工程學系

摘要

高美濕地是國內知名的沿海濕地之一。稀有保育植物「雲林莞草」在台灣西海岸分布中，高美濕地是最廣的。早期雲林莞草在西部海岸潮間帶均有分布，然而近幾十年來，因土地開發利用，人為行為的介入，促使雲林莞草生長範圍大量減少，而面臨頻於絕種的危機。在國內的雲林莞草研究，多以現地調查方法來探討雲林莞草的生物特性及其環境因子或保護區內生物種的棲息及繁殖等，但尚無探討雲林莞草生長範圍的時間變化，此主題乃為本文的研究主要目的。

本研究使用的方法包括影像處理的技術及植生範圍界定。先以 IHS 轉換法提高衛星影像圖的空間解析度，增加衛星影像辨識能力，以及將多時期影像進行幾何套合等影像前處理之動作，再以常態化差異植生指數判定雲林莞草的生長範圍，進一步本文利用馬可夫隨機場及各影像 NDVI 的植物界定值的平均值，來區分雲林莞草生長密集及稀疏區的範圍。

最後以往昔雲林莞草的生物量時間變化的研究成果修正不同時間影像所計算面積至最高生長量的相同時間，分析在 2006 年至 2011 年的高美濕地內雲林莞草生長範圍。由迴歸的直線顯示雲林莞草的生長範圍有每年減少 $11,981 \text{ m}^2$ 的趨勢。

Satellite-image-based investigation of vegetation distribution of *Bolboschoenus planiculmis* in Gaomei Wetlands

Author : Wu-Ren Tang

Advisor : Dr. Hsien-Kuo Chang

Institute of Civil Engineering National Chiao Tung University

ABSTRACT

Gaomei wetland is one of famous coastal wetlands in Taiwan. *Bolboschoenus planiculmis* is one of protected rare species in the Gaomei wetland, which holds the biggest area distributed by *Bolboschoenus planiculmis* among western coasts of Taiwan. In the early time a large quantity of *Bolboschoenus planiculmis* was well distributed along western coasts of Taiwan. However, it has been suffering from human impact of land utilization for recent decades and being on the verge of extinction. Therefore some investigations by field surveying were carried out on biometric data processes, corresponding surrounding environments and animals in the natural habitat of *Bolboschoenus planiculmis*. The issue of temporal variation of distributed area by *Bolboschoenus planiculmis* in the Gaomei wetland was never discussed and is the aim of the thesis using satellite images.

The methodology of the thesis includes techniques of image processing and area detection of plants. IHS method was used to improve spatial the spatial resolution of satellite images and NDVI was used to distinguish the area distributed by *Bolboschoenus planiculmis* from those by water or by sand. Markov random field (MRF) process with an average NDVI from five satellite images was used to figure out the area intensively and extensively distributed by *Bolboschoenus planiculmis* for each image.

Finally depending on the previous measurement on the temporal variation of quantity of *Bolboschoenus planiculmis* over unit area in the Gaomei wetland

the calculated areas of intensively and extensively distributed by *Bolboschoenus planiculmis* for each image in different time were corrected to those at the same time of maximum quantity over one year. The fitted straight line by linear regression on the data of calculated areas of five satellite images from 2006 to 2011 shows a decreasing trend of total area distributed by *Bolboschoenus planiculmis* at a rate of 11,981 m² per year.



致謝

光陰似水，從考上研究所至今已經兩年，在碩班的求學期間充滿種種的回憶與收穫，首先我要感謝恩師張憲國老師的悉心指導與栽培，指導我做研究應有的態度，且在思考事情的邏輯、簡報製作、口條能力以及論文撰寫都給予我莫大的幫助。在論文口試時承蒙王順寬教授以及溫志中教授在論文初稿方面的寶貴建議使本篇論文能夠順利完成。

非常感謝陪伴我研究生時期的各位成員，包括台穎、又瑞和庭佑學長，在研究上有不懂的地方給予我指導及解惑，以及我的同學 NONO、安佑和岳潤，有你們的陪伴與幫助，讓我在這兩年的求學期間能夠一路順遂。同時感謝親愛的學弟高瑋，平常幫忙分擔許多研究室的事情，隔壁 418 及 419 的學長、同學及學弟們，能跟你們一起打球真的非常開心。最後是勁成、蔚瑋兩位大學長，不論是研究或是喝酒，都給予我非常大的幫助及鼓勵。

由衷的感謝身旁所有幫助及指導我的每一位師長、學長及朋友們。最後感謝我的父母親，因為有你們在這些日子的支持與鼓勵，讓我能夠順利的拿到碩士學位。

目錄

中文摘要	I
英文摘要	II
致謝	IV
目錄	V
圖目錄	VII
表目錄	VIII
第一章 緒論	1
1-1 研究動機與目的	1
1-2 文獻回顧	3
1-3 文章架構	5
第二章 研究背景	7
2-1 研究基地	7
2-2 雲林莞草介紹	7
2-2-1 雲林莞草的生物特性	7
2-2-2 雲林莞草的生長盛衰期	8
2-3 衛星影像圖資料來源	9
2-3-1 SPOT 衛星	9
2-3-2 福爾摩沙衛星二號	11
第三章 影像的前置處理及雲林莞草辨識方法	13
3-1 IHS 轉換法	13
3-2 幾何套合	15
3-3 常態化差異植生指數	16
3-4 馬可夫隨機場	17
3-4-1 馬可夫性質	18
3-4-2 鄰域系統	18
3-4-3 馬可夫隨機場和吉伯斯隨機場	21
3-4-4 馬可夫隨機場應用於影像處理	22
第四章 雲林莞草生長範圍的演變趨勢	24

4-1 以植生指數判定的生長範圍	24
4-2 生長範圍的檢核	25
4-3 生長疏密的範圍判定	27
4-4 考慮生長興衰之生長範圍修正	32
4-5 生長範圍的時間演變	34
第五章 結論與建議	39
5-1 結論	39
5-2 建議	40
參考文獻	42



圖目錄

圖 1-1 高美濕地的雲林莞草生長狀況的近照.....	2
圖 1-2 研究流程	6
圖 2-1 研究基地的地理位置圖(資料來源:台中市政府網站).....	7
圖 2-2 雲林莞草的外觀(圖片來源:高美濕地生態旅遊資訊網).....	8
圖 2-3 雲林莞草的生物量變化(引自卓, 2007)	9
圖 3-1 IHS 轉換法的流程示意圖	14
圖 3-2 植物土壤及水之標準光譜反射曲線(引自 Lillesand & Kiefer, 1994) .	17
圖 3-3 馬可夫鏈的轉移圖、轉移矩陣及樹狀圖	18
圖 3-4 影像的 1~5 階鄰域系統.....	19
圖 3-5 1、2 階之鄰域系統和其 clique 之種類.....	20
圖 4-1 不同年份的常態化差異植生指數(各圖上方的標題為年份及日期) ..	25
圖 4-2 2011 年航照正射影像與衛星影像的常態化差異植生指數的比較	26
圖 4-3 雲林莞草生長疏密的範圍	28
圖 4-4 不同年代的常態化差異植生指數的統計圖	29
圖 4-5 新門檻值的雲林莞草生長疏密的範圍.....	30
圖 4-6 忽略新門檻值小範圍的雲林莞草生長疏密的範圍	31
圖 4-7 雲林莞草 4~9 月的生物量變化	33
圖 4-8 雲林莞草的正規化生物量	34
圖 4-9 修正前後的雲林莞草密集區面積變化趨勢圖	35
圖 4-10 修正前後的雲林莞草稀疏區面積變化趨勢圖	36
圖 4-11 修正前後的雲林莞草總面積變化趨勢圖	37

表目錄

表 2-1 SPOT 系列衛星資料的基本特性.....	10
表 2-2 FORMOSAT-2 衛星資料的基本特性	11
表 2-3 挑選的衛星影像背景資料	12
表 3-1 7 種轉換類型及所需最小控制點數量(引自 Matlab 軟體).....	16
表 4-1 雲林莞草的密集區、稀疏區及總面積的結果	32
表 4-2 修正 05、06 年 4~9 月雲林莞草生物量(單位:g/m ²)	33
表 4-3 修正 4 到 9 月雲林莞草生物量(單位:g/m ²).....	33
表 4-4 修正雲林莞草的密集區、稀疏區及總面積的結果	34
表 4-5 修正前後的面積及迴歸之面積的比較.....	38



第一章 緒論

1-1 研究動機與目的

台灣的濕地大致上可分為「內陸濕地」及「沿海濕地」。內陸濕地是由雨水、地下水等非感潮河段或溪流、湖泊、池塘所形成的濕地生態系統；而沿海濕地則是隨著海洋潮汐運動所形成的濕地生態系統。這些濕地不但具有淨化水質、孕育天然資源、涵養水源、調節洪流及保護海岸線等功能，更是生物棲息及繁衍的重要棲地。

高美濕地是國內知名的濕地之一，因多變的地形環境造就了濕地內的生物多樣性。台中縣政府於民國 93 年 9 月 29 日公告劃設地高美濕地保護區，其範圍北界為大甲溪出海口，東界為西濱快速道路，沿清水鎮海岸堤防，南至經番仔寮海堤、高美一號海堤、高美二號海堤等海堤堤尖，西界為東界長往西至平均低潮線，南以台中港北防沙堤為界。高美濕地面積約 701 公頃，其中珍稀的保育植物「雲林莞草」在高美濕地具有台灣的最大族群分布，成為高美濕地的特色，政府也將高美濕地列為雲林莞草的保護區。

雲林莞草主要分布於東亞地區的海邊沼澤地上，早期台灣在西部海岸潮間帶均有分布，族群相當大，但因土地的開發利用，人為行為的介入，促使雲林莞草生長範圍大量減少，而面臨頻於絕種的危機。在過去大肚溪口伸港潮間曾是台灣最大的雲林莞草的棲息地，由於 1997 年台電高壓電塔的施工和垃圾掩埋場第一期堤防施工工程以及非法魚塢的開發，使得雲林莞草在大肚溪口完全消失。現在雲林莞草僅零星分在宜蘭與西部新竹、台中及彰化的沿海地區，而高美濕地是目前全台僅存最大的一個族群生育地，約 5 公頃以上，如圖 1-1 所示。

高美濕地的雲林莞草在 80、90 年代期間也曾受到頻臨絕種的危機，民國 85 年 11 月間發現遭人為屯填土石，雲林莞草因此被土石埋沒；民國 90 年 8、9 月由第三河川局發包高美海堤工程開始施工，但在施工期間，原生

存海堤邊緣的雲林莞草被工程土石給埋沒，同一時期，北面的雲林莞草也因不明工程而消失殆盡。而近年來每逢假日，高美濕地的遊客川流不息且自行至灘地中戲水破壞雲林莞草及其他植物之自然生態，同時加速濕地陸化的速度。由於雲林莞草緊鄰著堤岸生長，但受到人為踩踏造成濕地底質緻密化，導致雲林莞草不在緊鄰堤岸生長。



圖 1-1 高美濕地的雲林莞草生長狀況的近照

國內目前對於雲林莞草的研究，以現地調查研究雲林莞草的特性、環境因子或是保護區內生物種的棲息及繁殖等，但尚無探討雲林莞草生長範圍的時間變化。如要分析雲林莞草的範圍變化，則須有定期觀測的資料。對於植物面積的監測，如使用傳統人力去量測不僅費時、費力、測量經費亦高，且高美濕地的雲林莞草區域已被列為保護區，還須獲得當地機關的許可，因此現地測量之方法在執行上的困難度較高。近年來遙測技術日益進步，商用光學衛星空間解析度日益提升，且衛星影像具有全面性及機動性的優點，所以常被廣泛運用於各種研究，如海岸灘線的辨識、陸地植被的分布等。光學衛星的空間解析度，從 1972 年 Landsat-1 MSS 的 80 公尺，到 1999 年 Landsat-7 ETM+ 的 15 公尺，2003 年 SPOT-5 的 2.5 公尺與我國於 2004 年發射的 FORMOSAT-2 的 2 公尺，逐漸提升空間解析度。

遙測技術雖已普遍使用於監測植被的分佈，但以陸地植被的監測為主。陸地植被的辨識不容易受到周遭地物的影響，能夠清楚辨識植物及陸地分界。雲林莞草生長於沿海濕地，因潮汐升降，當在高潮位時，海水可能流入雲林莞草生長區域；但在低潮位時，海水退出雲林莞草生長區域，但海灘卻有不同的含水量，因此雲林莞草生長的環境同時包含海水、土壤及植物等三項特性，相對陸地植被的環境複雜，所以使用遙測技術來監測雲林莞草分布的難度高於監測陸地植被。故本研究希望以高精度的 SPOT-5 以及 FORMOST-2 影像，使用影像融合技術更加提升其多頻譜的空間解析度，並利用馬可夫隨機場來處理影像多頻譜中不同波段的植生指標，配合雲林莞草的生長特性，辨識雲林莞草的生長範圍，最後由多年的衛星影像資料所辨識雲林莞草的生長範圍來瞭解其生長範圍的變化趨勢。

1-2 文獻回顧

對於雲林莞草特性之研究，卓(2007)探討影響雲林莞草發芽與生長之環境因子，先針對各地的雲林莞草環境棲地做比較以及調查其物候和生物量，同時採集雲林莞草的種子和球莖進行室內發芽與生長試驗，再對各地的雲林莞草作環境因子分析及草澤面積大小的調查。雲林莞草雖為保育植物，但在水田農地的情形下，由於生長旺盛而影響水稻生長甚鉅，且基於雜草基本定義「生長在不應該生長地方的植物」，所以將視為水田雜草。蔣等人(2009)探討雲林莞草於水稻一、二期作氣候下的生長及繁殖特性，作為擬訂防除策略之參考及依據，蔣和張(2010)對雲林莞草與香附子(*Cyperus rotundus* L.)間的差異性進行比較外，並詳述雲林莞草生長繁殖特性與建議防除方法。

常態化差異植生指標(Normalized difference vegetation index, NDVI)主要應用於遙測技術，將衛星影像資料作 NDVI 轉換，以辨識植物、水體及土壤，亦可被用來當作地表變遷的偵測，Jensen(1995)指出衛星影像資料透過 NDVI 轉換為單波段資料，可消除地形效應及季節不同之誤差，Lillesand and

Kiefer (1994)指出 NDVI 可消除坡度與坡向不同照射之影響，Running 等 (1995)針對美洲地區以 NDVI 為主要指標，並加入生態等現地資料進行植生分類，Lyon 等(1998)比較不同的植生指標，其中 NDVI 方法於變遷偵測上成效較佳，張(2000)以 NDVI 偵測淡水竹圍、台北關渡及八里挖子尾等三處紅樹林區域，並透過影像相減法所得之 NDVI 差異影像，了解不同年植生間植生的變化情形，Zhang (2013)以 NDVI 監測 1982 年至 2006 年科西河流域之植被變化(喜馬拉雅山中部)，且使用 1998 年至 2011 年之實測資料來驗證其研究結果，Jia (2014)以 Landsat ETM+及 MODIS 的衛星影像資料監測中國北方區域的森林覆蓋面積，先將兩組衛星影像之 NDVI 數據融合出空間解析度較高的 NDVI，再以監督式分類法將提高其分類精度，Nash (2014)使用自身迴歸模型(Auto-regression model, AR model)評估 NDVI 的變化來解決容易影響 NDVI 之因素(例季節性之影響、氣候因素的相關變化)，以此方法監測新墨西哥州的植被變化情況。

以衛星影像辨識海岸灘線在國內外逐漸被提出，如 Kurosawa 等人(2001)、Ryu 等人(2008)及 Gilvear 等人(2004)，其皆顯示高空間解析度的衛星影像在地理資訊學及河口與海岸調查上有所幫助。吳(2010)提出以常態化水指數 (NDWI)來提升影像分類的精度，再以最大概似法進行監督式分類，精確擷取衛星影像中灘線之方法，Karsli(2011)提出以 NDWI 為基礎，建立擷取灘線的方法，評估黑海的灘線變化，結果顯示黑海東部的灘線變化較西部明顯，Wang(2013)及(2014)皆使用 NDWI 及自動二值化演算法，檢測環渤海內四個沿海濕地以及萊州灣東岸的灘線變化，陳(2009)提出灘線平移修正法 (one-line shifting method, OSM)分析外傘頂洲，結果顯示自 1999 年以來外傘頂洲面積逐漸變小。

濕地環境複雜，NDVI 在辨識雲林莞草實有誤判的情形，故使用馬可夫隨機場(Markov random field, MRF)處理植生指標。馬可夫隨機場在影像處理、影像分析上皆有成功的應用，Dubes (1989)、Rangarajan and Chellappa (1995)舉例說明馬可夫隨機場在影像處理上的應用，Panjwani and Healy(1995)提出

以非監督式影像分割之馬可夫隨機場模式，此模式分割之演算法是以階層式集群分析法(Hierarchical clustering)為基礎、Park (1996)以條件疊代模式(iterative conditional modes, ICM)應用在影像還原上，在影像上加入各種雜訊，以二階鄰域系統馬可夫隨機場概念使用 ICM 法還原真實的影像，Tardon(2006)則主要探討馬可夫隨機場於影像邊緣檢測的應用上。

1-3 文章架構

本文應用馬可夫隨機場的概念在影像處理，來辨識雲林莞草的範圍變化。整體架構分為五個章節來探討研究流程及方法。

第一章為前言論述，主要說明本文之研究動機及目的，敘述雲林莞草的大量減少、國內對於雲林莞草的研究方向，以及沒有實際測量的數據，故本文以遙測技術監測雲林莞草的範圍變化；文獻回顧則簡述國內對於雲林莞草的各種研究、常態化差異植生指標應用於監測植生變化上以及馬可夫隨機場在影像處理的應用及最後說明本研究文章整體架構。第二章主要介紹研究基地的範圍、雲林莞草的生長特性、光學衛星，以及挑選衛星影像圖需注意影像時間在高美濕地的潮位。第三章為影像的前置處理作業及辨識，主要為 IHS 轉換法增強空間解析度、多時期影像之幾何套合的校正以及介紹常態化植生指標與馬可夫隨機場等辨識雲林莞草之方法及流程詳加說明。第四章結果顯示以植生指數判別雲林莞草的範圍變化、判定雲林莞草生長密疏的範圍以及以卓(2007)生物量的時間變化為依據作面積之修正，最後探討可能影響雲林莞草面積變化的因素。第五章是針對本文研究的結果進行總結並給予建議，以利後續研究參考。

本研究流程示如圖 1-2，圖 1-2 中首先將原始衛星影像藉由 IHS 轉換法提高空間解析度，以及使用幾何套合校正多時期衛星影像，再使用植生指數判定雲林莞草的生長範圍及以馬可夫隨機場判定生長密疏的範圍，最後利用面積修正將不同時期影像修正至同一標準上，進行結果分析。

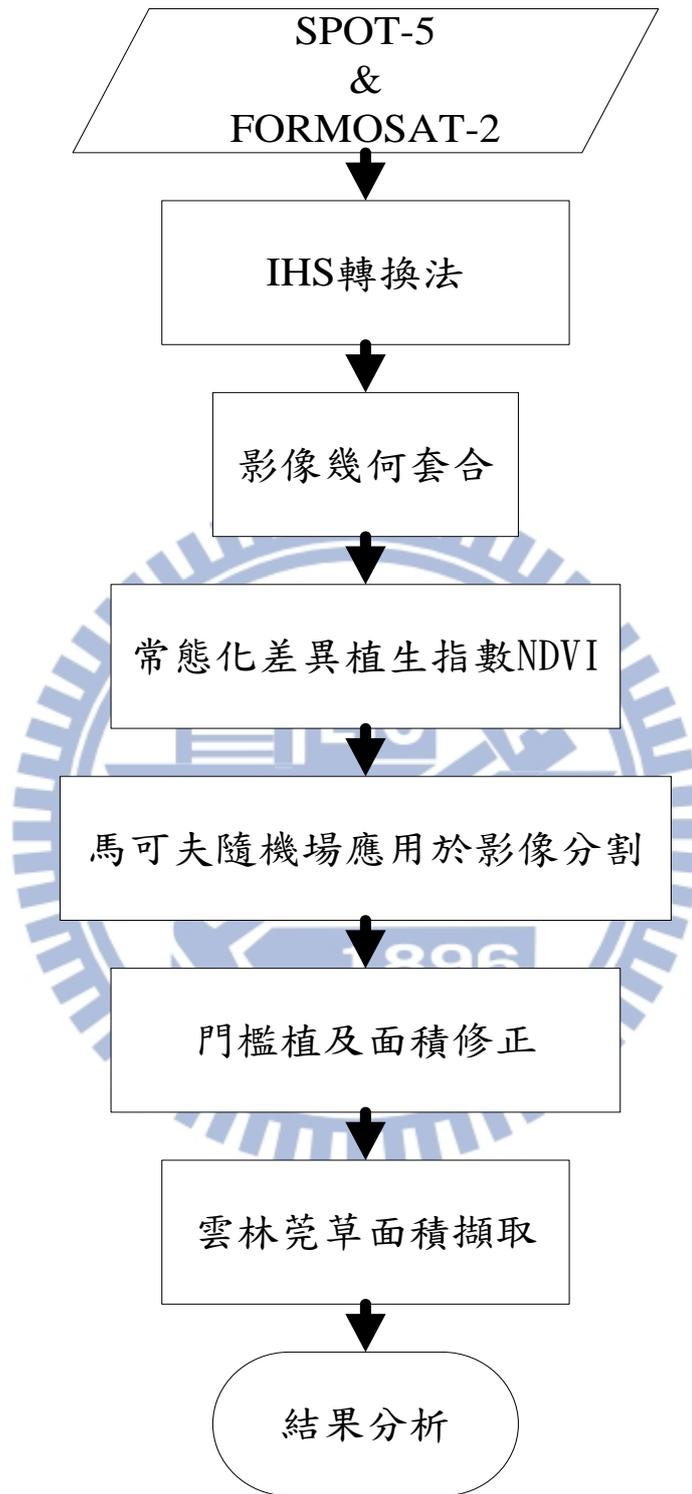


圖 1-2 研究流程

第二章 研究背景

2-1 研究基地

本研究選擇研究基地為台中市清水區高美濕地雲林莞草保護區，由於北側的雲林莞草區有其他保育植物一同生長，對於後續分析雲林莞草面積恐有誤差，故以雲林莞草保護區南側為研究範圍，高美二號海堤南側轉角處至新建之木棧道以南的堤岸，研究範圍的堤岸長度約達 600 公尺，地理位置為圖 2-1 所示。



圖 2-1 研究基地的地理位置圖(資料來源:台中市政府網站)

2-2 雲林莞草介紹

2-2-1 雲林莞草的生物特性

雲林莞草為多年生鹽生性挺水草本單子葉植物，屬於莎草科 (Cyperaceae) 雲林莞草屬 (Bolboschoenus) 植物，學名為 *Bolboschoenus planiculmis*。生長在淺水地區的濕生植物，植物體的高度約 50 公分，有時可達 100 公分，長而匍匐的地下莖，匍匐莖深棕色，終止於塊莖；莖直立，自球莖狀的膨大基部長出，莖實心，無節，橫切面呈三角形。葉序三列，

根生或莖生，葉狹線形，約 2-5mm 寬。花雙性，花軸直立果為瘦果，卵形，約 3-4mm 長，2-3mm 寬，一面凹，一面凸或是雙凸形，頂端具數根尖棘，花色為黃白色，花期 5~6 月。瘦果成熟時黑棕色，在陽光照射下會閃爍發亮；花柱細長而兩叉形，雄蕊 3 枚；花瓣、萼片及雄蕊附生在子房下之花托上，圖 2-2 為雲林莞草的外觀。



圖 2-2 雲林莞草的外觀(圖片來源:高美濕地生態旅遊資訊網)

2-2-2 雲林莞草的生長盛衰期

雲林莞草生長具明顯的季節變化，生長期為 2~8 月，以 7 月份覆蓋度最高，其快速繁殖力使雲林莞草多呈圓形向外拓展，形成大面積的草海；也由於雲林莞草是潮間帶先驅植物，為多種無脊椎動物、招潮蟹、彈塗魚等良好的庇護場所，且吸引大量水鳥前來覓食。8 月後開始老化，11 月時，植株的地上部分大多枯萎，而以其地下根莖渡冬，故其生長有明顯之季節性變化，而地下根莖旺盛的生命力，是雲林莞草除了種子繁殖外，另一個最主要擴展延續生命的方法。圖 2-3 為卓(2007)調查 2005、2006 年雲林莞草的月變化生物量，但卓(2007)在文中提到因颱風所帶來的強勁風力以及巨浪造成的傷害，導致圖 2-3 內雲林莞草生物量最大時期並非在 7、8 月。

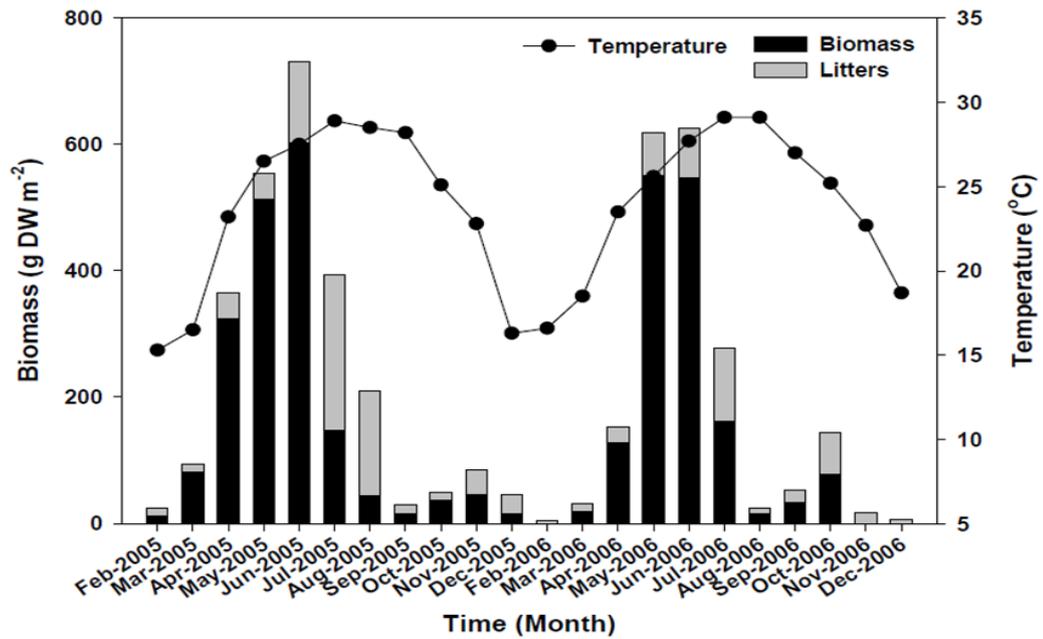


圖 2-3 雲林莞草的生物量變化(引自卓，2007)

2-3 衛星影像圖資料來源

目前商用光學衛星種類繁多且逐漸提高空間解析度，從 1972 年 80 公尺空間解析度的 Landsat-1 MSS，1999 年 Landsat-7 EMT+ 的 15 公尺，直到 2003 年 SPOT-5 衛星的 2.5 公尺空間解析度和 2004 年福爾摩沙衛星二號 (FORMOSAT-2) 以及美國的 IKONOS 與 Quickbird 衛星，影像接近 1 公尺空間解析度。本研究考慮資料取得的方便性，主要以 SPOT-5 系列以及福爾摩沙衛星二號兩種光學衛星影像為主，以下簡述兩種衛星影像特性。

2-3-1 SPOT 衛星

SPOT-5 衛星於 2002 年 5 月 4 日發射升空，SPOT 衛星為太陽同步衛星，平均航高 832 公里，通過台灣上空約為下午 10 點 45 分。軌道與赤道傾斜角 98.77°，繞地球一圈週期約 101.4 分，一天可轉 14.2 圈，每 26 天通過同一地區，除了跟 SPOT-1 至 SPOT-3 一樣擁有單色態光學感測器、多頻譜光學感測器(紅光、綠光、近紅外光)之外，還有 SPOT-4 所搭載的短波紅外光感測器(SWIR)，使得多頻譜影像資料中包含四個波段的影像資料。此外，SPOT-5 搭載了兩組以上所提到的感測器，經由同時拍攝，在經過影像融合

處理可提升其空間解析度到 2.5 公尺，稱超解像模式(Supermode)影像，SPOT 系列衛星所提供的影像示如表 2-1。此外，在定位精度方面，過去 SPOT-1~4 衛星利用載體軌道參數所得到之絕對定位誤差約為 1000 公尺，而 SPOT-5 衛星利用 Star Tracker 與 DORIS 系統進行姿態與軌道位置之定位，在未使用地面控制點且為平坦地形之絕對定位經度可提高到 50 公尺。

表 2-1 SPOT 系列衛星資料的基本特性

衛星代號	感測器	光譜模式	光譜解析度(μm)	空間解析度
SPOT-1~3	HRV	全色態(PAN)	0.50-0.73	10 m
		多頻譜態(XS)	0.50-0.59(綠光段) 0.61-0.68(紅光段) 0.79-0.89(近紅外光段) 1.58-1.75(短波紅外光段)	20 m
SPOT-4	HRV	單色態(M)	0.61-0.68	10 m
		多頻譜態(XI)	0.50-0.59(綠光段) 0.61-0.68(紅光段) 0.79-0.89(近紅外光段) 1.58-1.75(短波紅外光段)	20 m
SPOT-5	HRG	全色態(HM)	0.48-0.71	5 m
		超解像模式(THR)	0.48-0.71	2.5 m
		多頻譜態(HI)	0.50-0.59(綠光段) 0.61-0.68(紅光段) 0.79-0.89(近紅外光段) 1.58-1.75(短波紅外光段)	10 m

本研究目的為探討研究基地面積變化的影響，需使用較高空間解析度的 SPOT 衛星的影像資料。相較於 SPOT 系列的其他衛星，SPOT-5 多頻譜影像資料上有較好的表現，其光譜解析度包含綠光段(0.5 μm -0.59 μm)，紅光段(0.61 μm -0.68 μm)，近紅外光段(0.79 μm -0.89 μm)與短波紅外光段(1.58 μm -1.75 μm)

等四個波段，有益於進行影像判讀及資料分析之用，在單色態方面藉由超解像模式(Supermode)可得到 2.5m 的空間解析度。

2-3-2 福爾摩沙衛星二號

福爾摩沙衛星二號(FORMOSAT-2)於 2004 年 5 月 21 日成功發射，為我國第一個自主性遙測科學衛星，屬於太陽同步衛星，每日繞地球 14 圈，具左右各 45° 傾斜拍攝能力，其掃描像幅寬為 24 公里，攝影模式為衛星本體旋轉同步取樣。福爾摩沙衛星二號具有資源探測與科學研究雙重任務，其資源探測任務是以滿足台灣地區之需求為主，其每日再訪率高且高空間解析度是福爾摩沙衛星二號優於其他商業遙測衛星的地方。此衛星影像資料可應用置土地利用與變遷、農林規劃、環境監控、災害評估、科學研究與教育等方面。其影像空間解析度與感測器光譜模式列如表 2-2，多頻譜不同於 SPOT 系列衛星的四個波段，藍光段(0.45 μ m-0.52 μ m)、綠光段(0.52 μ m-0.60 μ m)、紅光段(0.63 μ m-0.69 μ m)及近紅外光段(0.76 μ m-0.90 μ m)。

表 2-2 FORMOSAT-2 衛星資料的基本特性

衛星代號	感測器	光譜模式	光譜解析度(μ m)	空間解析度
FORMOSAT-2	RSI	全色態(PAN)	0.52-0.82	2m
		多頻譜態(XS)	0.45-0.52(藍光段) 0.52-0.60(綠光段) 0.63-0.69(紅光段) 0.76-0.90(近紅外光段)	8m

本研究利用衛星影像來辨識雲林莞草的範圍變化，因雲林莞草生長期為 2~8 月，在 7 月份覆蓋度最高，而 8 月後開始老化，所以選擇拍攝時間為 7~8 月的衛星影像圖。為了有較正確的結果，需採用較高品質且無雲的影像圖以確保圖像資訊足夠；且考慮到高美濕地雲林莞草保護區會隨著潮汐升降之影響，如果選擇的影像時間為高美濕地漲潮的時候，海水可能流入雲林莞草區域甚至將其淹沒，導致在雲林莞草面積的辨識上造成誤差，所以

事先使用 NAO.99b 潮位模式推算拍攝影像時間在高美濕地的潮位。

本文選用空間解析度較高的 SPOT-5 光學衛星和福爾摩沙衛星二號之衛星影像資料，影像資料須品質佳、日期相近且低於平均潮位，各影像資料如表 2-3 所示，影像日期依序為 2006 年 8 月 29 日、2007 年 7 月 19 日、2008 年 7 月 25 日、2010 年 7 月 19 日、2011 年 7 月 23 日，其低於平均潮位的最小潮差為 0.58m，最大潮差為 1.73m。

表 2-3 挑選的衛星影像背景資料

拍攝日期	拍攝時間	拍攝衛星	座標系統	潮差(m)
2006/08/29	02:33:57	SPOT-5	TWD97	-0.58
2007/07/19	02:08:34	FORMOSAT-2	TWD97	-0.72
2008/07/25	02:03:14	FORMOSAT-2	TWD97	-1.73
2010/07/19	01:54:25	FORMOSAT-2	TWD97	-1.47
2011/07/23	02:29:20	SPOT-5	TWD97	-1.38

第三章 影像的前置處理及雲林莞草辨識方法

本研究主要方法包括：1.影像前置處理 IHS 轉換法；2.影像前置處理影像幾何套合；3.常態化差異植被指數(NDVI)之應用；4.以馬可夫隨機場之影像處理擷取雲林莞草面積位置等 4 個方法。本章節根據衛星影像資料特性，多頻譜的空間解析度上有精進的空間，因此首先使用 IHS 轉換法，將衛星影像圖的多頻譜空間解析度提高，且在比較多時期影像時，須先做影像幾何套合之動作，以避免誤差產生。再以常態化差異植生指數(NDVI)判定雲林莞草的生長範圍，但由於濕地環境較複雜之關係，使植被指數判斷植生時可能受到影響，進而使用馬可夫隨機場處理植生指標以擷取面積位置。

3-1 IHS 轉換法

IHS 色彩空間代表每個 Pixel 都由色相(Hue)、飽和度(Saturation)和亮度(Intensity)三種資訊所組成，IHS 色彩轉換則可有效將多頻譜影像從 RGB 色彩空間，轉換到 IHS 色彩空間中，亮度儲存的是空間細節的資訊，而色相及飽和度儲存色彩資訊。RGB 與 IHS 色彩空間之間的轉換的數學公式，如下(3-1)、(3-2)及(3-3)式。

(1) Hue(色相):

$$H = \begin{cases} \theta & \text{if } B \leq G \\ 360 - \theta & \text{if } B \geq G \end{cases} \quad (3-1a)$$

其中

$$\theta = \cos^{-1} \left\{ \frac{\frac{1}{2}[(R-G) + (R-B)]}{\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}} \right\} \quad (3-1b)$$

(2) Saturation(飽和度):

$$S = 1 - \frac{3}{(R+G+B)} [\min(R, G, B)] = 1 - \frac{\min(R, G, B)}{I} \quad (3-2)$$

(3) Intensity(亮度): RGB 強度的平均。

$$I = \frac{(R + G + B)}{3} \quad (3-3)$$

本文參考前人的研究方法及吳(2010)得知衛星影像的多頻譜影像資訊較全色態影像豐富，其不同波段的組合對於辨識物體有良好的判斷效果，但其空間解析度無法將這項優點加以發揮，而全色態影像的空間解析度較多頻譜影像高，但卻只有單一波段，相較於多頻譜影像的資訊是較少的。本文利用的 IHS 轉換法的流程如圖 3-1 所示。

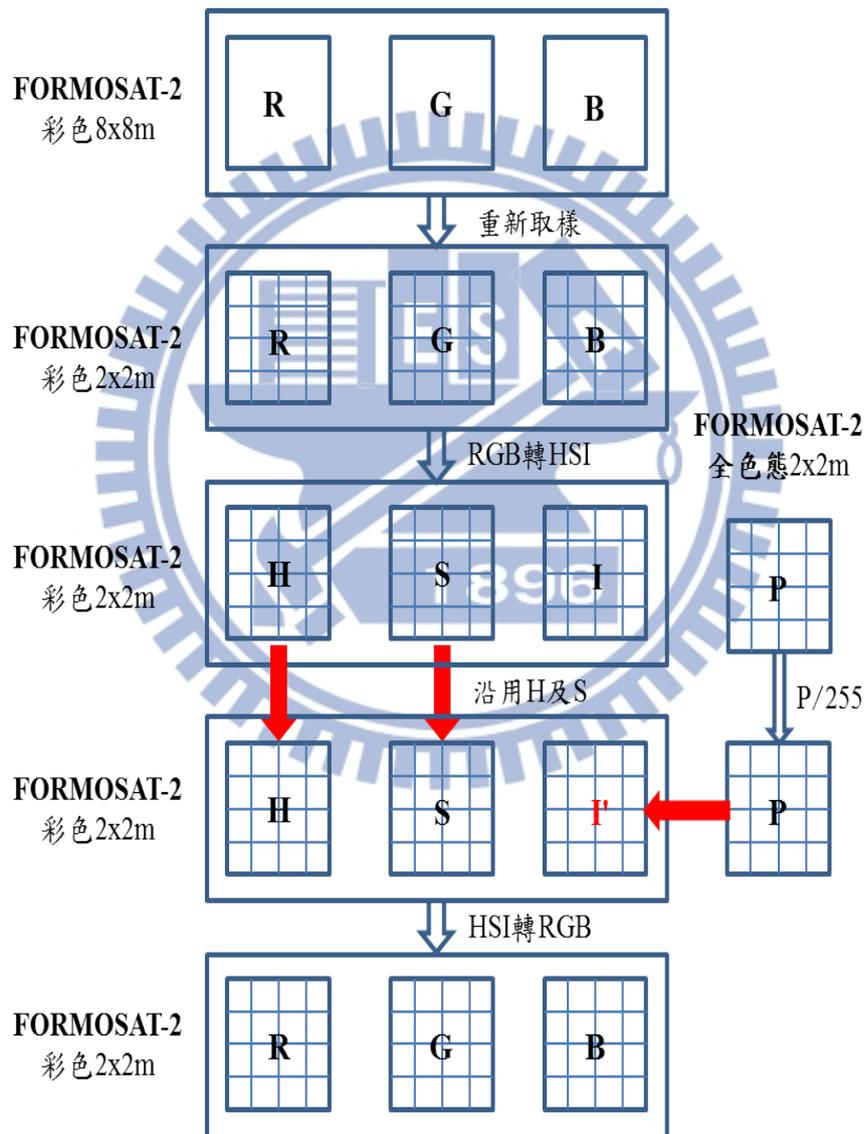


圖 3-1 IHS 轉換法的流程示意圖

本文利用 IHS 轉換法，將高解析度的全色態影像，與低解析度但空間資訊較豐富的多頻譜影像加以融合，獲得具有高解析度的多頻譜融合影像。

首先將多頻譜影像圖 $8 \times 8m$ 的空間解析度，重新取樣成 $2 \times 2m$ 的空間解析度，這時的空間解析度沒有真的提高到 $2 \times 2m$ ，還是原本 $8 \times 8m$ 空間資訊；再將多頻譜影像圖(RGB 色彩空間)轉換到 IHS 的色彩空間，而 IHS 色彩空間中的亮度是以 RGB 組合計算得到，所以亮度即為全色態之黑白影像，若以 $2 \times 2m$ 高解析度的全色態影像取代 IHS 中之亮度，此時 IHS 彩色影像圖便具有 $2 \times 2m$ 的高解析度，再將新的亮度與原來的色相、飽和度轉回 RGB 色彩空間，這時的彩色影像增加原本高解析度全色態影像之空間資訊，形成高解析度的多頻譜融合影像。之後的研究分析，使用高解析度的多頻譜影像圖，可利於提高物體辨識的精確度。

3-2 幾何套合

本研究採用的資料主要由中央大學太空及遙測研究中心(Center for Space and Remote Sensing Research)所購得之 SPOT-5 等級 3 及 FORMOSAT-2 等級 4 的衛星影像，影像雖已經過該中心先行進行幾何校正之處理，但如要比較多時期衛星影像的變化，須先將衛星影像進行幾何套合(Geometric registration of imagery)，如此才可得出可靠的比對結果。幾何套合就是將不同時間、不同波段、不同感測器所拍攝同一地區의影像，依相應像素點之位置及方向互相疊置的作業。本文以 Matlab 商業數學軟體對多時期衛星影像進行幾何套合，Matlab 中的 Image Processing Toolbox(簡稱 IPT)即提供了以控制點為基礎的幾何套合，其操作步驟為:1.將影像讀入 Matlab 中 2.選定影像中固定的控制點 3.保存控制點的位置 4.選定要使用的轉換類型 5.對影像進行幾何套合。

選擇控制點需遵照以下的原則:1.多時期影像上的控制點特徵須一致，如海堤的堤頭 2.控制點不會隨時間變化 3. 須確定轉換類型，不同轉換類型所需的控制點數量不同，轉換類型如表 3-1。如上所述，因該中心已先對衛星影像進行幾何校正，影像並無扭曲、傾斜等情況，所以本研究使用 Nonreflective similarity 類型、選取 8 對控制點進行幾何套合，評估經過幾

何套合後的影像及原始影像，其 RMSE 為 2.55m。

表 3-1 7 種轉換類型及所需最小控制點數量(引自 Matlab 軟體)

Transformation Type	Minimum Control Points
Nonreflective similarity	2 pairs
Similarity	3 pairs
Affine	3 pairs
Projective	4 pairs
Polynomial	6、10、15pairs
Piecewise linear	4 pairs
Lwm(local weighted mean)	6 pairs

3-3 常態化差異植生指數

Rouse 等(1973)所提出的常態化差異植生指數(Normalized difference vegetation index, NDVI)，其原理為健康的綠色植物會強烈吸收紅光波段(Red, 波長約為 0.67 μ m)，且強烈反射近紅外光(NIR, 波長約 0.79 μ m~0.89 μ m)之特性，所以使用可見光中之紅光與近紅外光波段之比值或差值，適合用於監測植生之變化及判斷土壤、水體和植生間的差異。NDVI 比值關係式如(3-4)式所示：

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (3-4)$$

式中 NIR 為近紅外光波段反射強度，Red 為紅光波段反射強度。

上述式子中表達，利用(NIR-Red)即能偵測植物生長量之特性，而將式子除以(NIR+Red)之目的在於使其正規化，正規化的用途是防止除以零的數值誤差，並使比值能限制於-1 與+1 之間以方便做比較；NDVI 之值域如上所述，介於-1~1 之間，指標愈大時，則代表植生量愈多，而指標小於零，通常屬於非植生之水域、道路、建築物及開闢地之土壤。

又本研究參考 Lillesand & Kiefer(1994)提出的標準波譜反射率曲線，如

圖 3-2 所示。由圖中可發現清澈水體對於近紅外光波段的反射率其值接近於零，又反射率最大值落在綠光波段和紅光波段之間，且土壤對於不同波段的反射率恰與水體相反，以上所述特徵非常符合 NDVI 比值關係。

如前段所述，常態化差異植生指數 NDVI 普遍用在監測植生之變化或是判斷影像上植生、土壤及水體的差異。本文在 2-3 節說明選用之影像資料為低潮位之時間，但海灘上仍有不同的含水量，而水體對於近紅外光波段的反射率其值接近於零，所以雲林莞草在植生指標的界定範圍與陸地植物不一樣。故衛星影像圖經 NDVI 轉換後，利用馬可夫隨機場來界定雲林莞草的範圍門檻值，以判斷濕地內之雲林莞草、土壤及水體。

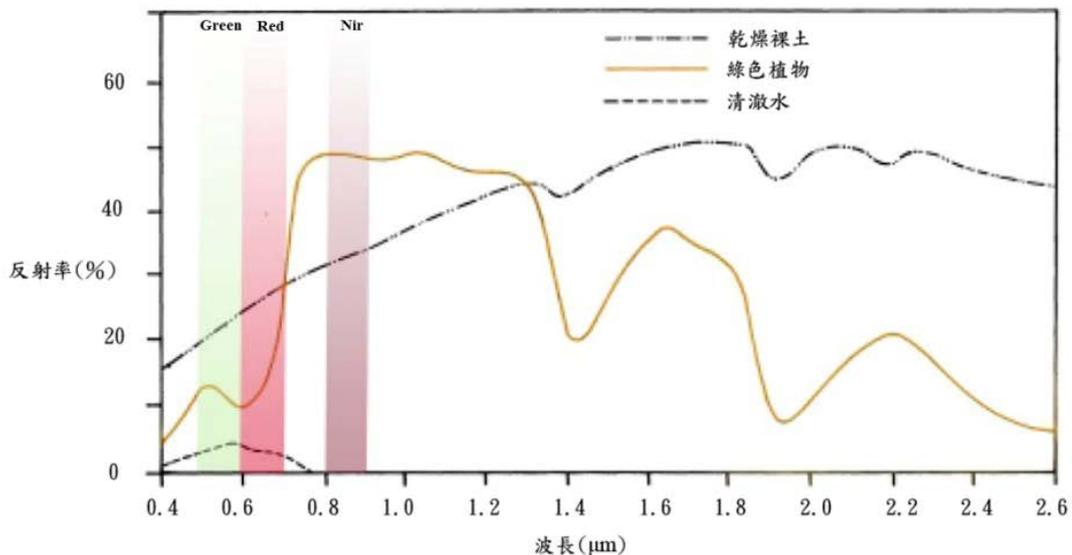


圖 3-2 植物土壤及水之標準光譜反射曲線(引自 Lillesand & Kiefer, 1994)

3-4 馬可夫隨機場

馬可夫隨機場(Markov random field, MRF)的概念已經被廣泛地應用在許多不同領域，例如人口的遷移的預測、土地利用變遷、環境災害預測、疾病醫療追蹤和影像處理，影像處理的應用上馬爾可夫隨機場可應用於邊緣偵測(edge detection)、影像分割(image segmentation)、影像復原(image restoration)、表面重建(surface reconstruction)與紋理分析(texture analysis)。(引自貝式網路課程：<http://bn-course.wikispaces.com/>)

3-4-1 馬可夫性質

在目前以及所有過去事件的條件下，任何未來事件發生的機率，和過去的事件是不相關的（獨立的），而僅和目前的狀態相關的性質稱為馬可夫性質(Markov property)，而具有馬可夫性質的隨機變數之數列或是隨機過程則稱為馬可夫過程(Markov process)或稱馬可夫鏈(Markov chain)。假設一個隨機變數之數列 $S_0, S_1, S_2, \dots, S_n$ 若具有馬卡夫性質，則其機率 $P(S)$ 如(3-6)式所示：

$$P(S_{n+1} = s | S_0, S_1, S_2, \dots, S_n) = P(S_{n+1} = s | S_n) \quad (3-6)$$

式中 S_n 表示時間 n 的狀態，而任何時間點都只有一種狀態。

另外馬可夫鏈可以利用轉移圖(有限狀態機)、轉移矩陣或樹狀圖表示，以下的例子是 a_1, a_2, a_3 三種狀態轉換的馬可夫鏈示如圖 3-3，分別以轉移圖、轉移矩陣及樹狀圖表示。

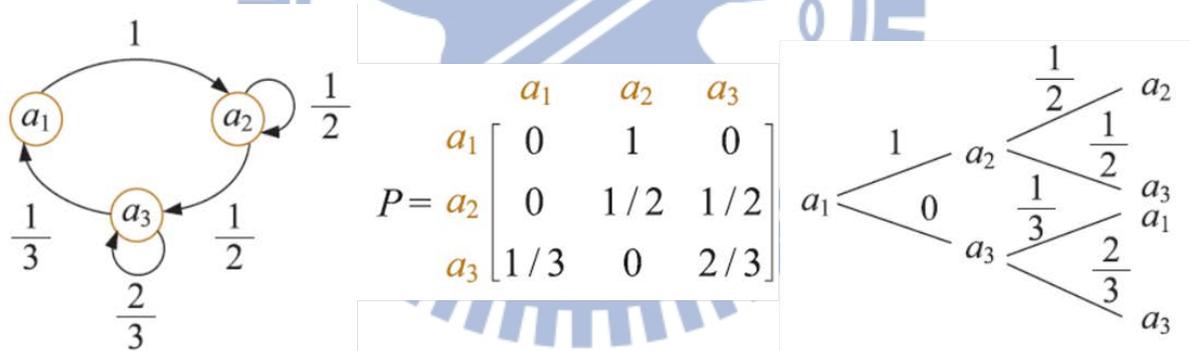


圖 3-3 馬可夫鏈的轉移圖、轉移矩陣及樹狀圖

3-4-2 鄰域系統

假設 S 為一影像且 N 為 S 的鄰域系統(Neighborhood system)，則 S 的鄰域系統定義如(3-7)式所示：

$$N = \{ N_i | \forall i \in S \} \quad (3-7)$$

式中 N_i 為像素 i 所有鄰域的集合。

其鄰域系統的關係包含兩種性質：

(1) 像素 i 位置的鄰域系統不包括 i 本身: $i \notin N_i$

(2) 假設像素 j 為 i 的鄰域，則 i 和 j 互為彼此的鄰域: $j \in N_i \Leftrightarrow i \in N_j$

像素 i 的鄰域集合定義為以半徑 R 範圍內的所有像素點，其定義如(3-8)式所示：

$$N_i = \{ j \in S \mid [dist(pixel_j, pixel_i)]^2 \leq R, j \neq i \} \quad (3-8)$$

式中 $dist(A,B)$ 為 A 和 B 之間的歐基里德距離， R 為整數值。

R 為鄰域系統的階級，用來界定鄰域系統的大小範圍，圖 3-4 為 r 階鄰域系統， $r=1\sim 5$ 包括從 1 階到 5 階鄰域系統所有鄰居像素的集合(以 x 當作像素位置的鄰域系統)

5	4	3	4	5
4	2	1	2	4
3	1	X	1	3
4	2	1	2	4
5	4	3	4	5

圖 3-4 影像的 1~5 階鄰域系統

若有一個 c 的子集合亦為 S 的子集，且該子集合 c 中滿足兩個像素以上可區別的位置符合鄰域系統之性質，則該子集合 c 稱為 clique， C 則為所有 clique 的集合，如(3-9)式所示：

$$C_1 = \{i \mid i \in S\} \quad (3-9a)$$

$$C_2 = \{\{i, i_1\} \mid i_1 \in N_i, i \in S\} \quad (3-9b)$$

$$C_3 = \{\{i, i_1, i_2\} \mid i, i_1, i_2 \in S\} \quad (3-9c)$$

$$C = C_1 \cup C_2 \cup C_3 \quad (3-9d)$$

由上述可知，每一個像素位置的鄰域系統都有其範圍，且隨著鄰域系統階級所設定的範圍，其 clique 之種類以及數目也不盡相同，圖 3-5 為依定義將 1、2 階之鄰域系統和其 clique 之種類。

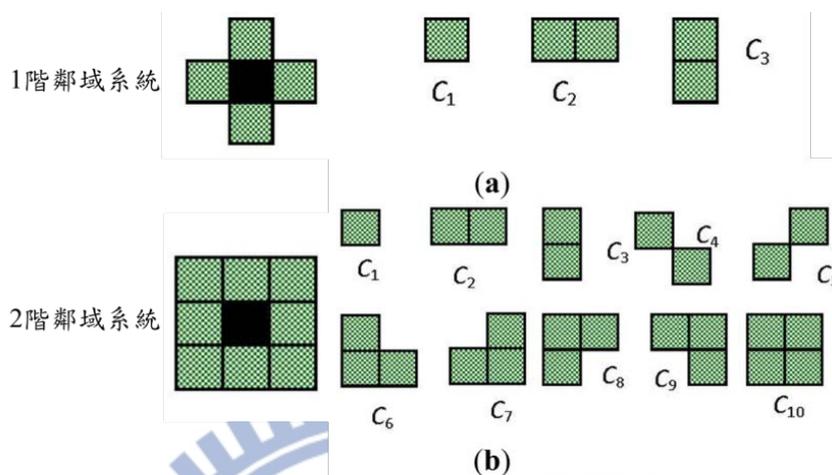


圖 3-5 1、2 階之鄰域系統和其 clique 之種類

本研究參考了物理上著名的 Ising 模式來描述馬可夫隨機場之鄰域系統的性質(Geman, 1990)。令 s 為影像中的某一像素點， t 為上下左右 4 個鄰居點(仍在影像裡面的像素點)， x_s, x_t 分別為 s 點及 t 點像素值，定義 $H(x)$ 為 (3-10) 式：

$$H(x) = -\frac{k}{M} \sum_s x_s - \frac{J}{M} \sum_{\langle s,t \rangle} x_s x_t \quad (3-10)$$

式中 k, J, M 為參數。利用 $H(x)$ 定義一機率 P ,

$$P(x) = \frac{1}{Z} e^{-H(x)}, \quad Z = \sum_{y \in \Omega} e^{-H(y)} \quad (3-11)$$

式中 Ω 為所有影像所成的集合， $D \times D$ 的 2 維影像就有 2^{D^2} 個組合，而 $P(x)$ 就是其影像出現的機率，由於 Z 的運算過於複雜所以使用馬可夫鏈，使得此鏈的極限為 P 然後利用此鏈來逼近原始的 Z 值，如 (3-12) 式所示，令 $X_s(x) = x_s$ ，則

$$P(X_s = x_s | X_r = x_r, r \neq s) = P(X_s = x_s | X_r = x_r, r \in G_s) \quad (3-12)$$

式中 G_s 為鄰居點(仍在影像裡面的像素點)

(3-12)式即為馬可夫隨機場的概念:影像內任何一像素點的狀態只和本身以及其鄰居像素點有關係。

3-4-3 馬可夫隨機場和吉伯斯隨機場

若隨機場 S 考慮一個鄰域系統 N ，且滿足(3-13)、(3-14)式兩種機率特性的時候，便稱之為馬可夫隨機場。而(3-14)式之馬可夫性質又可修改為(3-12)式:

$$P(X = x) > 0 \quad (\text{Positivity}) \quad (3-13)$$

$$P(x_s | x_{x-\{i\}}) = P(x_s | x_{N_s}) \quad (\text{Markov property}) \quad (3-14)$$

若隨機場 S 考慮一個鄰域系統 N ， C 表示 S 中所有的 clique， c 為 C 中的元素，那麼此隨機場符合吉伯斯分佈，如(3-15)式所示，此隨機場 S 稱為吉伯斯隨機場(Gibbs random field, GRF):

$$P(x) = \frac{1}{Z} e^{-\frac{U(x)}{T}} \quad (3-15a)$$

其中

$$Z = \sum e^{-\frac{U(x)}{T}} \quad (3-15b)$$

且

$$U(x) = \sum_{c \in C} V_c(x) = \sum_{\{s\} \in C_1} V_1(x_s) + \sum_{\{s,t\} \in C_1} V_1(x_s, x_t) + \dots \quad (3-15c)$$

式中 $P(x)$ 滿足吉伯斯分佈之機率； Z 為一個正規化的常數，稱為分割函數 (Partition function)； $U(x)$ 稱為能量函數； $V_c(x)$ 為與 clique 相關的位能函數； T 稱為溫度常數，參數 T 控制著 $P(x)$ 的分佈形狀， T 值愈大則 $P(x)$ 的分佈愈平坦，但如果沒有溫度上的考量，參數 T 通常預設為 1。

根據 Hammersley-Clifford 定理(Hammersley and Clifford,1971)，該理論

建立了馬可夫隨機場與吉伯斯隨機場的等效關係，使得在模型建構和統計推論時更具彈性，且可和統計物理關聯起來，因此馬可夫隨機場也可稱為吉伯斯隨機場。

3-4-4 馬可夫隨機場應用於影像處理

若 S 、 R 是二維平面的隨機場， S 為觀測影像， R 為原始影像，如果應用於影像復原的話， R 指的是沒有受到干擾的影像，對影像分割， R 指的是分割好的標記場，一般觀測到的影像 S 是受到一些因素影響，如系統原因、光照條件，都會使影像失真，因此沒辦法從影像 S 直接得到影像 R ，只能根據影像 S 估算出 R ，也就是使用最大事後機率(Maximum a Posteriori, MAP)來估計機率分布，以求出影像可能的分類標記(label,其值以 x 表示)，其定義如(3-16)式所示：

$$\hat{x} = \arg \max_{\omega} P(x|S) \quad (3-16)$$

根據貝氏定理，可以得到(3-17)式

$$P(x|S) = \frac{P(S|x)P(x)}{P(S)} \quad (3-17)$$

假設 $P(S|x)$ 具區間及空間像異性，因此可假設他們彼此之間為條件獨立，得到(3-18)式

$$P(S|x) = \prod_{s \in S} P(S_s | x_s) \quad (3-18)$$

且根據 Hammersley-Clifford 定理，最大事後機率會遵循吉伯斯分布，如(3-19)式

$$P(x|S) = \frac{e^{-U(x|S)}}{Z} \quad (3-19)$$

經由上述的假設條件下，由原來 MAP 估算 \hat{x} 的問題簡化為 $U(x|S)$ 能量函數的最小值，即可求出分割好的標記場，且本文選用疊代條件演算法

(Iterative conditional mode algorithm, ICM)，由於 ICM 演算法的判斷條件較簡單，其在估算 MAP 的速度較快。

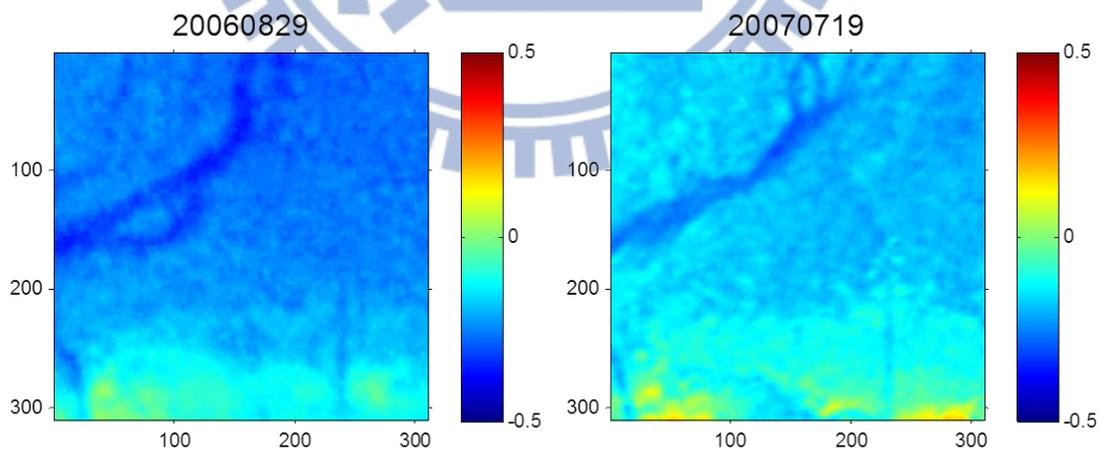


第四章 雲林莞草生長範圍的演變趨勢

本研究將衛星影像資料作 NDVI 轉換，且以 2011 年 7 月 23 日的影像與同位置拍攝的航照正射影像(空間解析為 6cm)做雲林莞草生長範圍的檢核，發現 NDVI 在辨識雲林莞草會出現誤判之情形，故以馬可夫隨機場之方法進行辨識，且判斷雲林莞草生長疏密之範圍，之後再進一步修正生長疏密之門檻值，及以雲林莞草生長興衰之標準進行其面積修正，最後探討雲林莞草生長範圍的時間演變

4-1 以植生指數判定的生長範圍

圖 4-1 為 06、07、08、10、11 年各時期的衛星影像作 NDVI 轉換，各時期植生指數最高分別為 0.03、0.18、0.16、0.16、0.14，且植生指數最高的位置都在各圖中左側(南側水道附近)；而在右側(北側水道附近)，只有 07 年北側水道靠近堤岸的地方之植生指數大於 0，以及 08 年在北側水道附近一些零星的地方有植生指數大於 0 的反應，其餘各時期的北側水道，植生指數近乎小於 0。



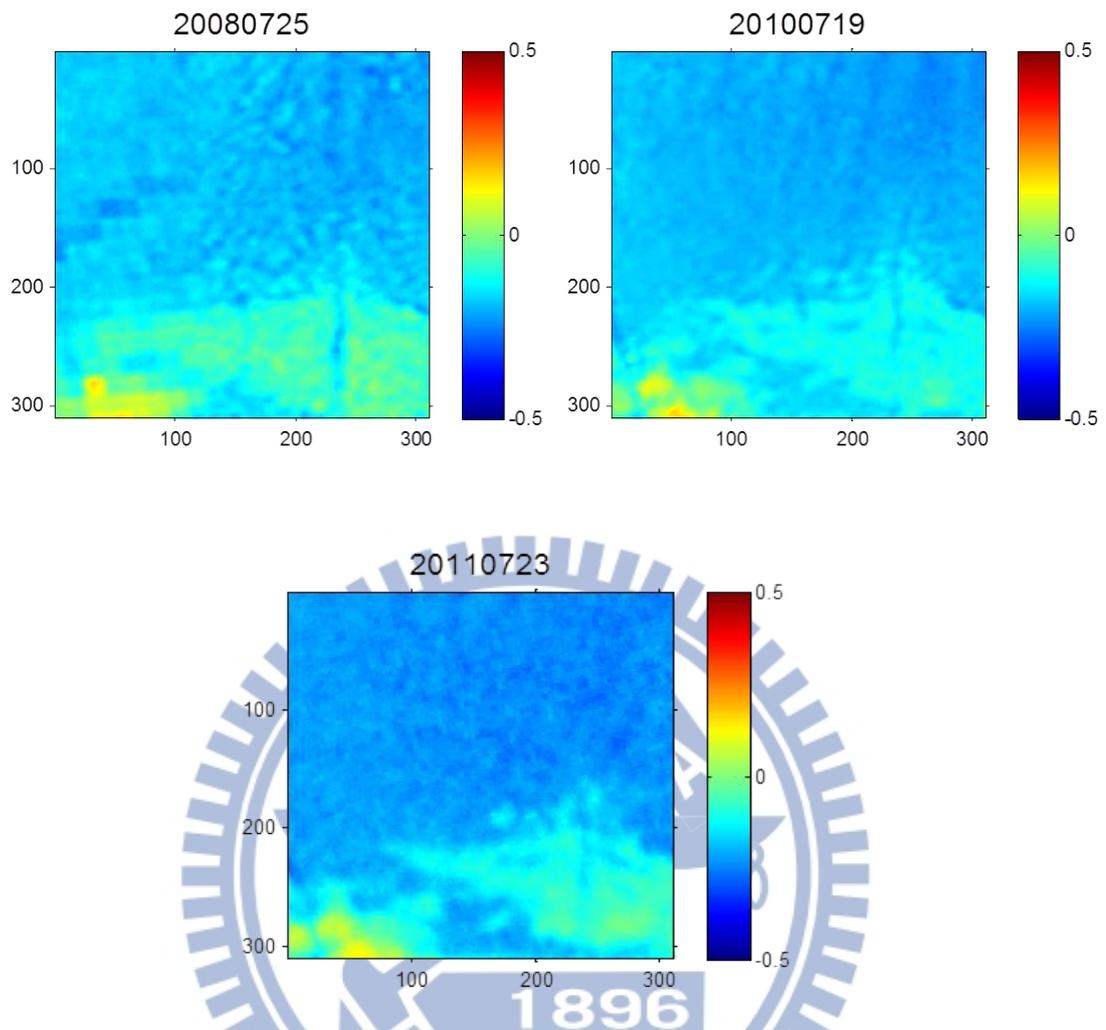


圖 4-1 不同年份的常態化差異植生指數(各圖上方的標題為年份及日期)

4-2 生長範圍的檢核

本文以 2011 年 7 月 23 日的 衛星影像作 NDVI 轉換後與其相同拍攝位置的航照正射影像(資料由自強工程顧問有限公司提供)比較,如圖 4-2 所示。航照正射影像的空間解析度為 6 公分,此航照正射影像的拍攝時間為 2011 年 9 月,且雲林莞草於 8 月開始老化。因拍攝時間不同,所以衛星影像與航照正射影像的雲林莞草面積辨識比較可能會有些差距,但以這兩張圖相比仍可得到一些重要的資訊。

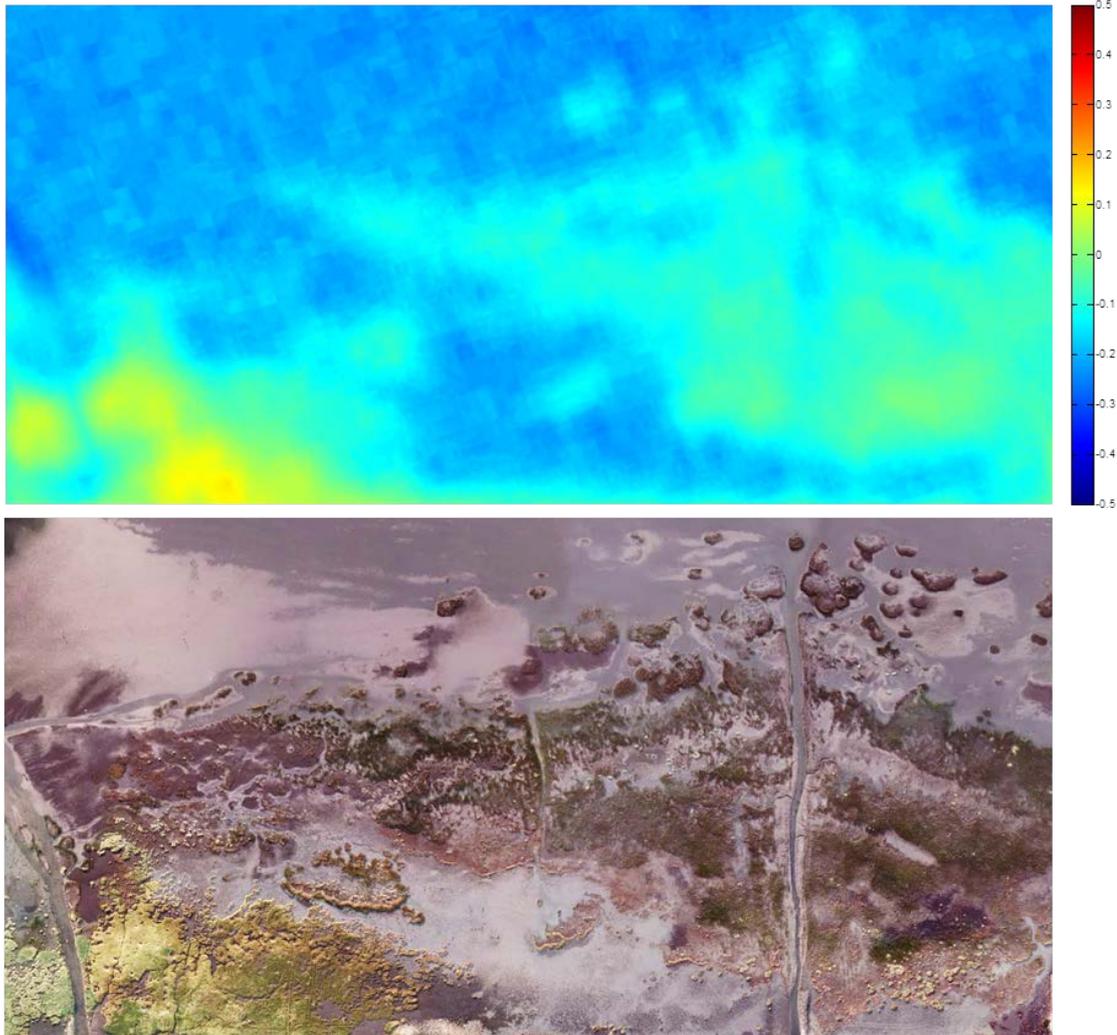


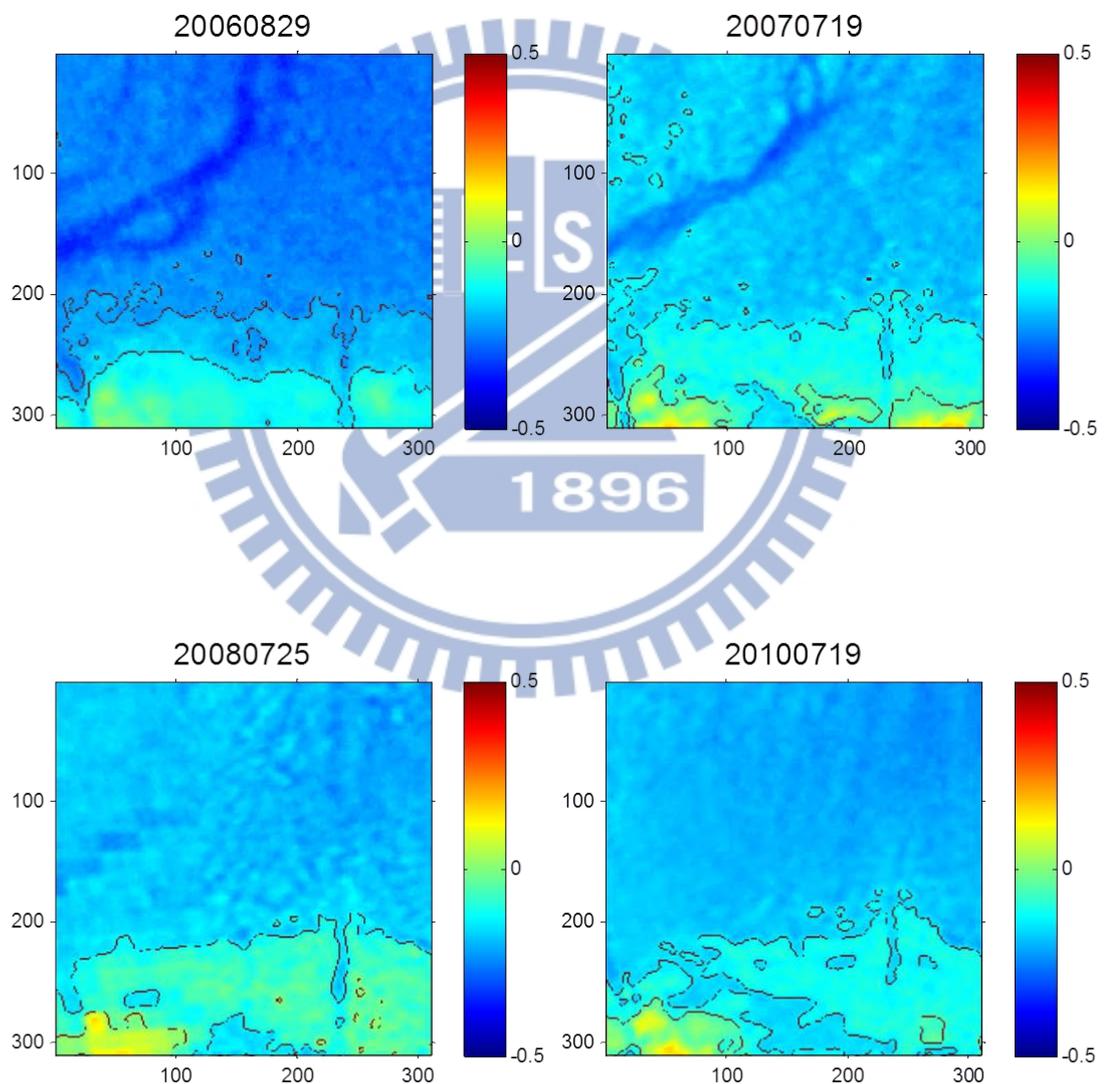
圖 4-2 2011 年航照正射影像與衛星影像的常態化差異植生指數的比較

圖 4-2 中 NDVI 植生指數較高的地方在圖中的左側(南側水道)，植生指數最高為 0.14(大於 0 代表有植物生長)，比較航照正射影像的南側水道也可以發現有雲林莞草生長；而航照正射影像的右側(北側水道)也有雲林莞草，但是莞草大多已開始老化，所以北側水道的莞草顏色較暗，但是 NDVI 圖中的北側水道附近的植生指數介於-0.1~0 之間(小於 0 為非植生之水域、土壤)，將北側水道的雲林莞草誤判為水體或是土壤。

本文在 3-3 節中也有提到雲林莞草生長於沿海濕地，低潮位時，海灘上仍有不同的含水量，而水體對於紅外光波段的反射率極低之因素，故雲林莞草在植生指數的界定範圍與陸地植物不一樣。

4-3 生長疏密的範圍判定

由上節所述因水體對於紅外光波段之反射率的因素，北側水道附近的雲林莞草幾乎被誤判為水體或土壤，故本文進一步使用馬可夫隨機場進行影像分割，界定門檻值，以辨識雲林莞草、水體或土壤，如圖 4-3 所示。圖中各時期影像以馬可夫隨機場之影像分割將雲林莞草的範圍分為兩類，一類為雲林莞草生長密集的区域(後文以密集區稱之)，另一類則為生長稀疏的区域(後文以稀疏區稱之)，雲林莞草之稀疏區在密集區的外圍。



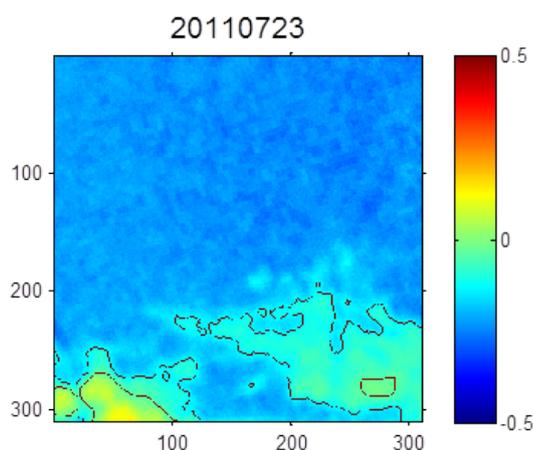


圖 4-3 雲林莞草生長疏密的範圍

比較圖 4-3 各時期 NDVI 的分割情形，發現 2006 年 8 月 29 日與其他 4 個時期的兩類的雲林莞草區域內之植生指數的分類標準有所差異；06 年密集區植生指數的門檻值(Threshold)為-0.14，其他 4 個時期門檻值平均為-0.0675，而 06 年稀疏區植生指數的門檻值為-0.24，其他 4 個時期門檻值平均為-0.1492；密集區及稀疏區的門檻值之差值分別為 0.0725、0.0908，門檻值的差異非常大。

在辨識各時期雲林莞草的變化上，因門檻值的不同會造成誤差，反而將濕地內之水體或土壤判斷成雲林莞草，所以密集區、稀疏區的植生指數之門檻值需要再做修正，以同一個分類標準去判斷各時期雲林莞草生長疏密的範圍。

由於分類的門檻值的不同，故須重新修正各時期密集區、稀疏區的門檻值，圖 4-4 為 07、08、10、11 年的 NDVI 長條統計圖，橫軸為 NDVI、縱軸為出現各植生指數的計數，圖中密集區的門檻值以紅線表示，稀疏區則以綠線表示，小於稀疏區的門檻值為水體或是土壤。

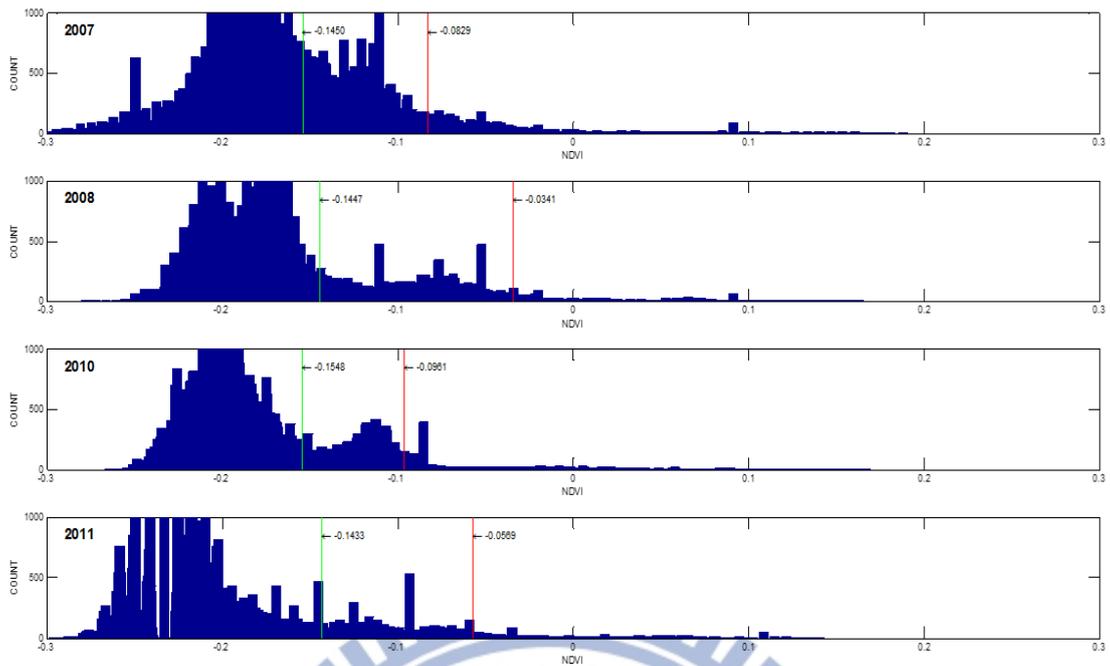


圖 4-4 不同年代的常態化差異植生指數的統計圖

因這四張影像的拍攝日期及密集區、稀疏區的門檻值也較為相近(密集區的門檻值分別為-0.0829、-0.0341、-0.0961、-0.0569，稀疏區的門檻值分別為-0.154、-0.1447、-0.1548、-0.1433)，故將這四張影像的密集區、稀疏區的門檻值分別取平均作為新的門檻值，重新劃分雲林莞草生長疏密的範圍。密集區新的門檻值為-0.0675，稀疏區則為-0.1492，圖 4-5 為以新的門檻值重新劃分密集區及稀疏區的雲林莞草範圍。

本研究主要探討較大範圍的雲林莞草面積，所以較零星且面積較小的雲林莞草予以忽略，如圖 4-6 所示，而表 4-1 則為以新門檻值劃分雲林莞草密集區、稀疏區及總面積的結果。密集區、稀疏區及總面積最大分別為 2008、2007、2008 年，而面積最小皆為 2006 年，推測可能是 2006 年的影像時間已是雲林莞草正在開始老化的時期。

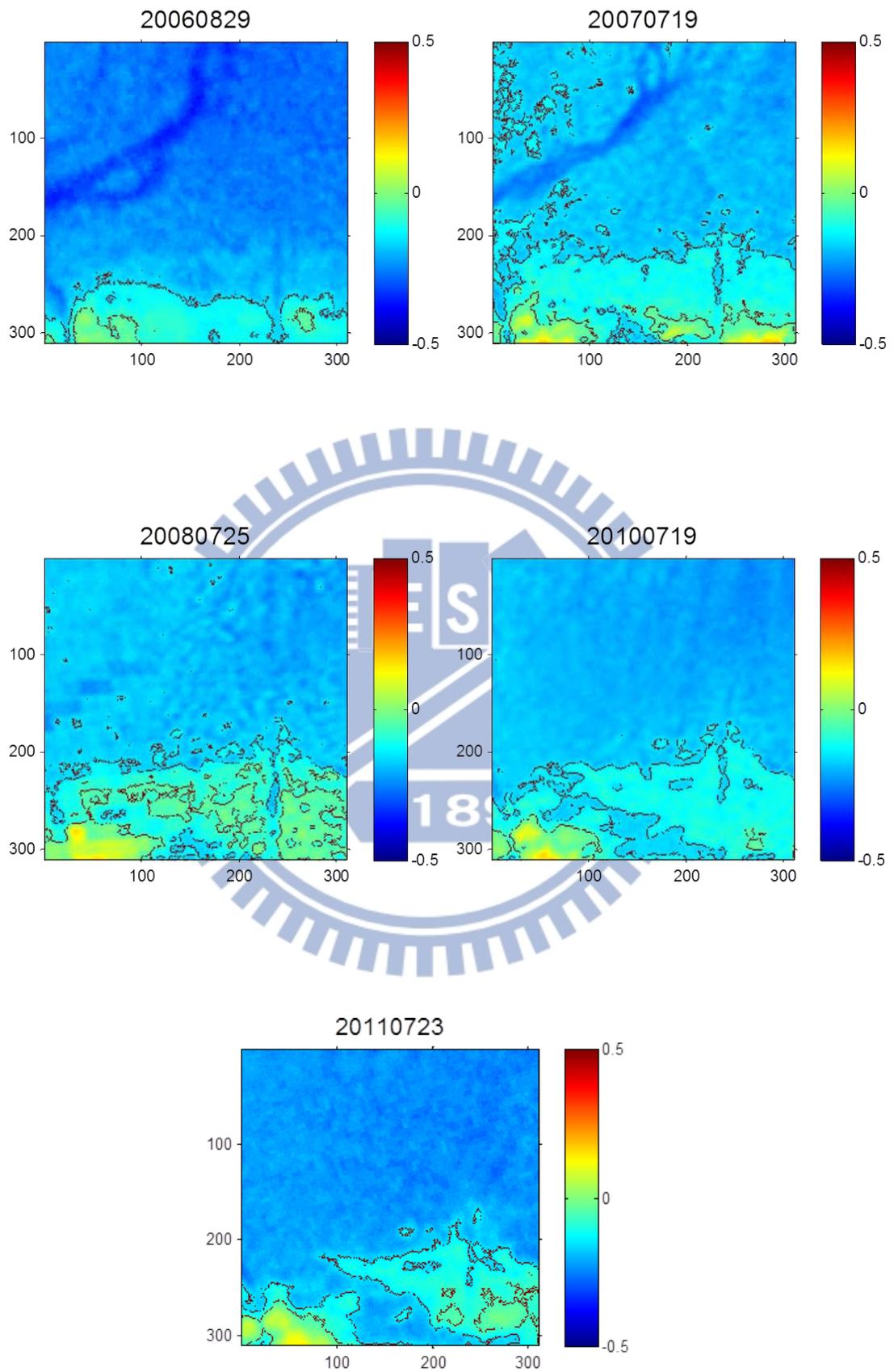


圖 4-5 新門檻值的雲林莞草生長疏密的範圍

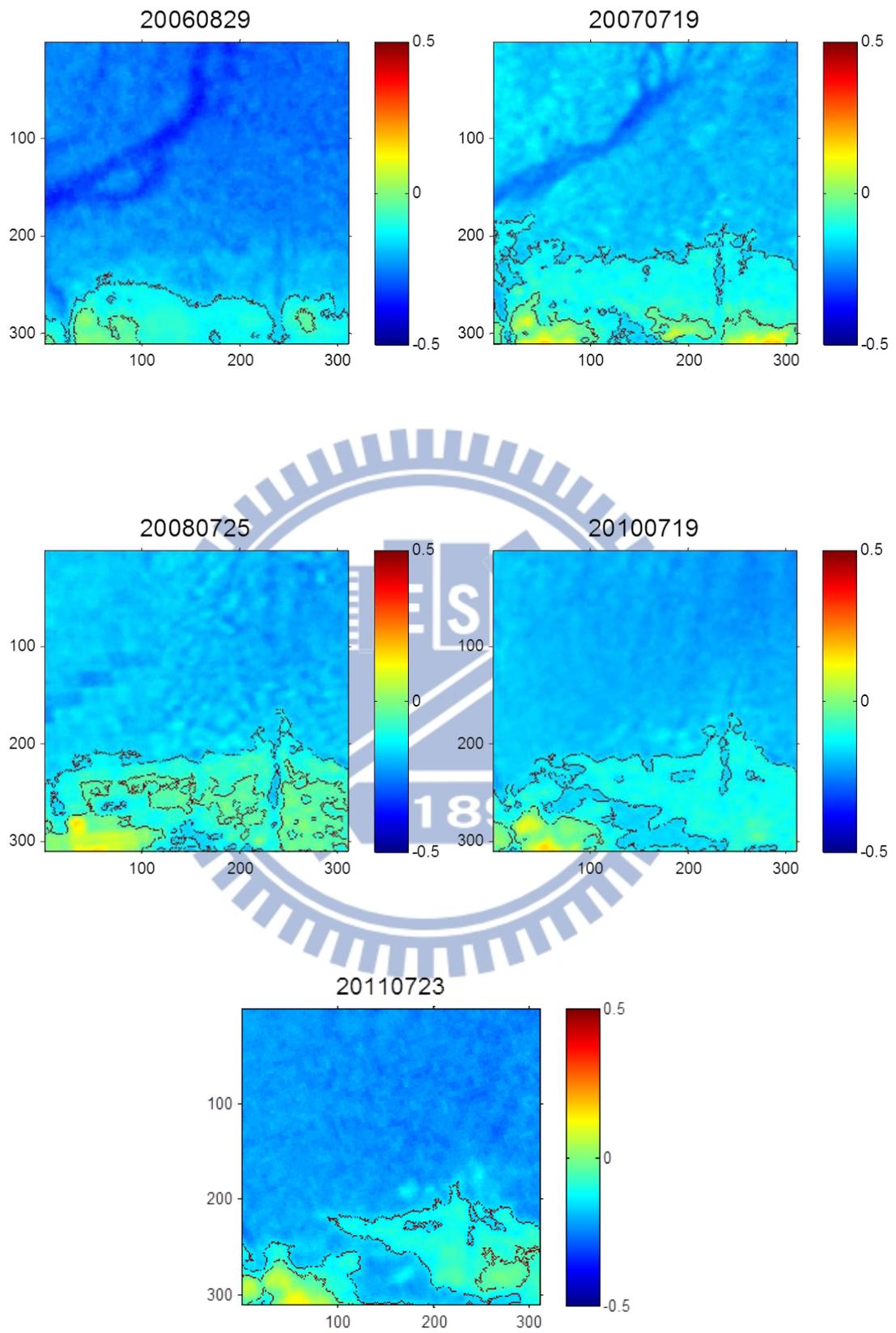


圖 4-6 忽略新門檻值小範圍的雲林莞草生長疏密的範圍

表 4-1 雲林莞草的密集區、稀疏區及總面積的結果

影像拍攝日期	密集區面積(m ²)	稀疏區面積(m ²)	總面積(m ²)
2006/08/29	9188	48784	57972
2007/07/19	23620	91716	115336
2008/07/25	48424	71148	119572
2010/07/19	13724	88416	102140
2011/07/23	19376	60320	79696

4-4 考慮生長興衰之生長範圍修正

本研究主要探討雲林莞草的生長範圍變化，希望修正不同時間影像所計算面積至最高生長量的相同時間，因此提出修正方法，由 2-2 節提到卓(2007)調查 2005、2006 年雲林莞草生物量的月變化(圖 2-3)，以此數據作為面積修正之標準，但圖 2-3 中生物量最大時期非 7、8 月，因此本文先將 05、06 年的雲林莞草生物量的數據做調整。

由於圖 2-3 中 2005 及 2006 年因颱風之關係，導致生物量最大的時候並非在 7、8 月，故先將 7 月份之生物量修正至與該年 6 月分相同、而 8 月份生物量為 7 月份與 9 月分的生物量之總和再取平均如表 4-2，以符合雲林莞草原有的生長趨勢；之後將 05、06 年同月分的生物量(表 4-2)取平均，以及將原日期做調整如表 4-3，調整後的日期依序為 4 月 15 日、5 月 13 日、6 月 13 日、7 月 26 日、8 月 23 日、9 月 26 日；再把 4~9 月的生物量數據作內插，擬合出雲林莞草的 4~9 月的生長趨勢並找到雲林莞草生物量最大的時期示如圖 4-7，圖 4-7 中雲林莞草生物量最大的時候為 7 月 10 日；最後將擬合的雲林莞草生物量數據曲線作正規化示如圖 4-8。圖 4-8 中正規化後指數 1 為 7 月 10 日(正規化指數以 N 表示)，即生物量最大的時期，而本文所選用的影像資料的時間 2006 年 8 月 29 日、2007 年 7 月 19 日、2008 年 7 月 25 日、2010 年 7 月 19 日、2011 年 7 月 23 日之 N 值分別為 0.3726、0.9824、0.9449、0.9824、0.9601。

表 4-2 修正 05、06 年 4~9 月雲林莞草生物量(單位:g/m²)

日期	2005/04/22	2005/05/13	2005/06/10	2005/07/28	2005/08/19	2005/09/23
生物量	299.5	495.4	572.1	572.1	293.96	15.81
日期	2006/04/07	2006/05/13	2006/06/15	2006/07/25	2006/08/27	2006/09/28
生物量	105.45	507.68	505.44	505.44	266.27	27.09

表 4-3 修正 4 到 9 月雲林莞草生物量(單位:g/m²)

日期	04/15	05/13	06/13	07/26	08/23	09/26
生物量	202.475	501.54	538.77	538.77	280.11	21.45

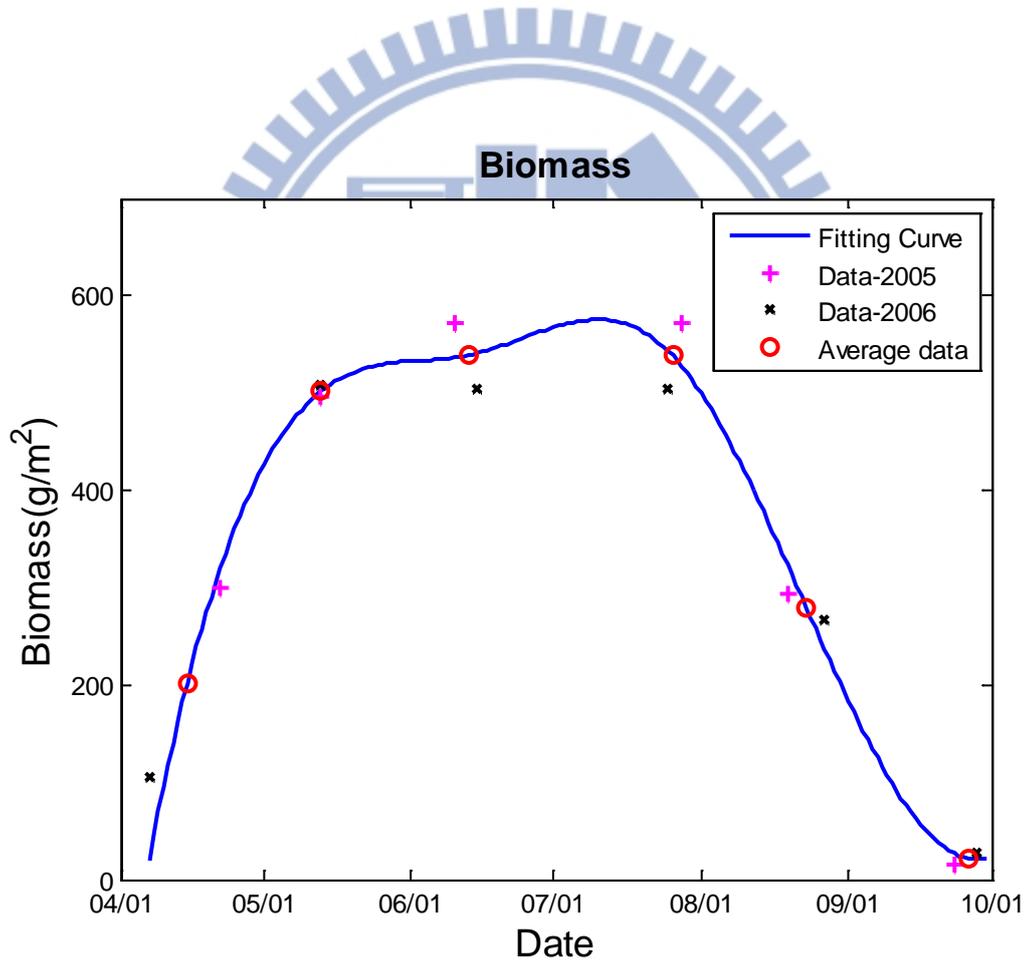


圖 4-7 雲林莞草 4~9 月的生物量變化

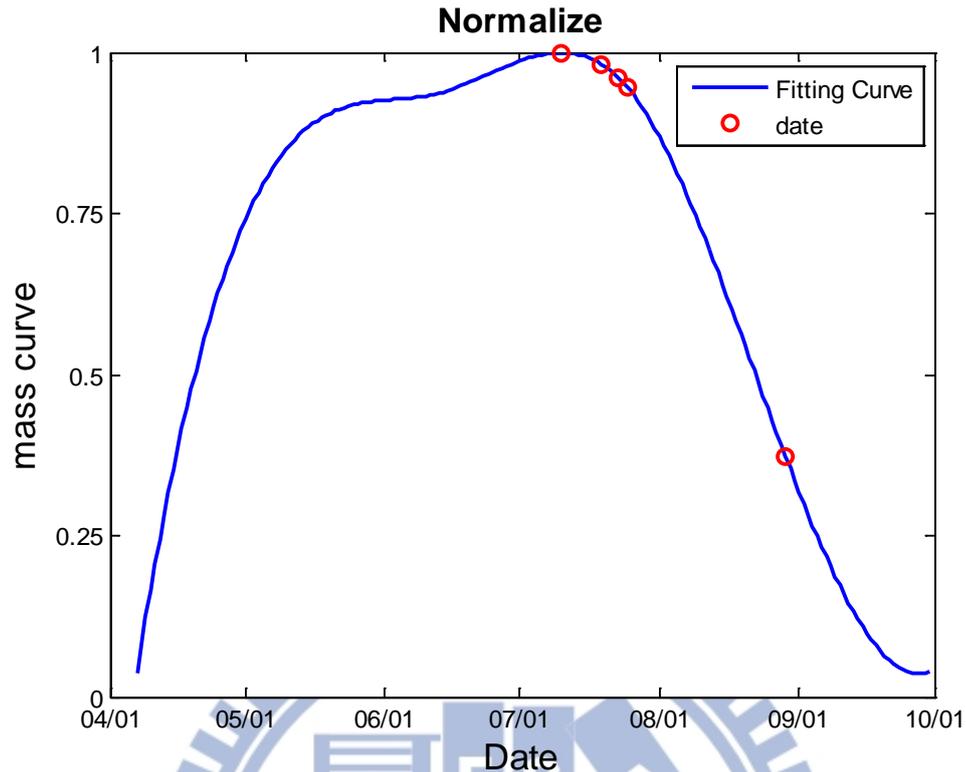


圖 4-8 雲林莞草的正規化生物量

最後面積修正的步驟，即將表 4-1，密集區、稀疏區及總面積除以其對應的影像時間之 N 值，將雲林莞草面積修正至該年生物量最大之時期(7 月 10 日)如表 4-4 所示，表 4-4 中密集區、稀疏區及總面積最大分別為 2008 年、2006 年及 2006 年，面積最小分別為 2010 年、2011 年及 2011 年。

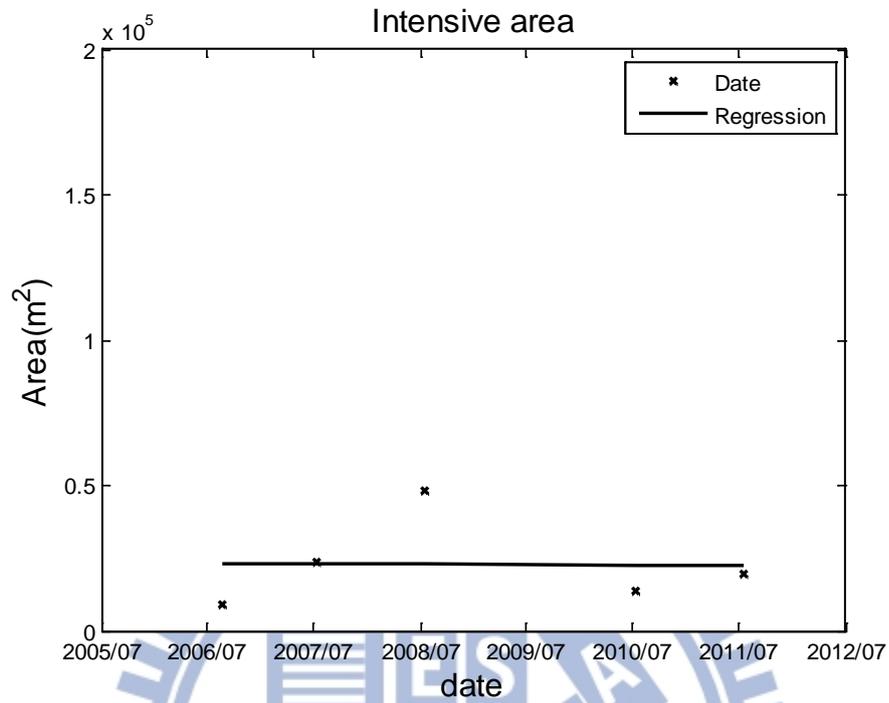
表 4-4 修正雲林莞草的密集區、稀疏區及總面積的結果

影像拍攝日期	密集區面積(m ²)	稀疏區面積(m ²)	總面積(m ²)
2006/07/10	24659.15	130928.61	155587.76
2007/07/10	24043.16	93359.12	117402.28
2008/07/10	51247.75	75296.86	126544.61
2010/07/10	13969.87	90000	103969.87
2011/07/10	20181.23	62826.79	83008.02

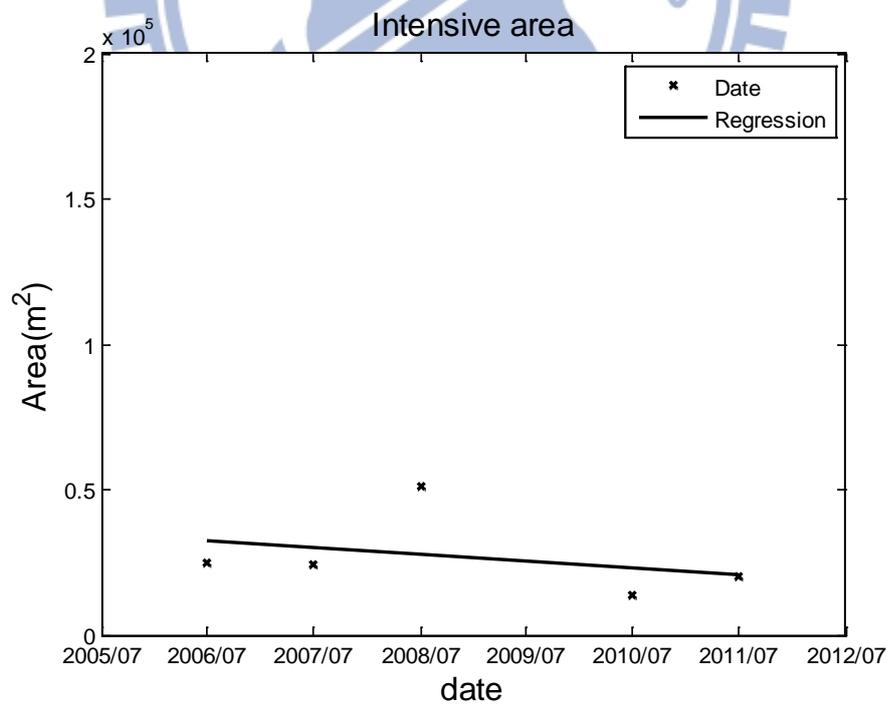
4-5 生長範圍的時間演變

最後將各時期的雲林莞草面積作迴歸分析，圖 4-9 至圖 4-11 為修正前後

雲林莞草密集區、稀疏區及總面積變化趨勢圖，而修正前後之面積和迴歸之面積的 RMSE 計算結果如表 4-5 所示。



(a)修正前



(b)修正後

圖 4-9 修正前後的雲林莞草密集區面積變化趨勢圖

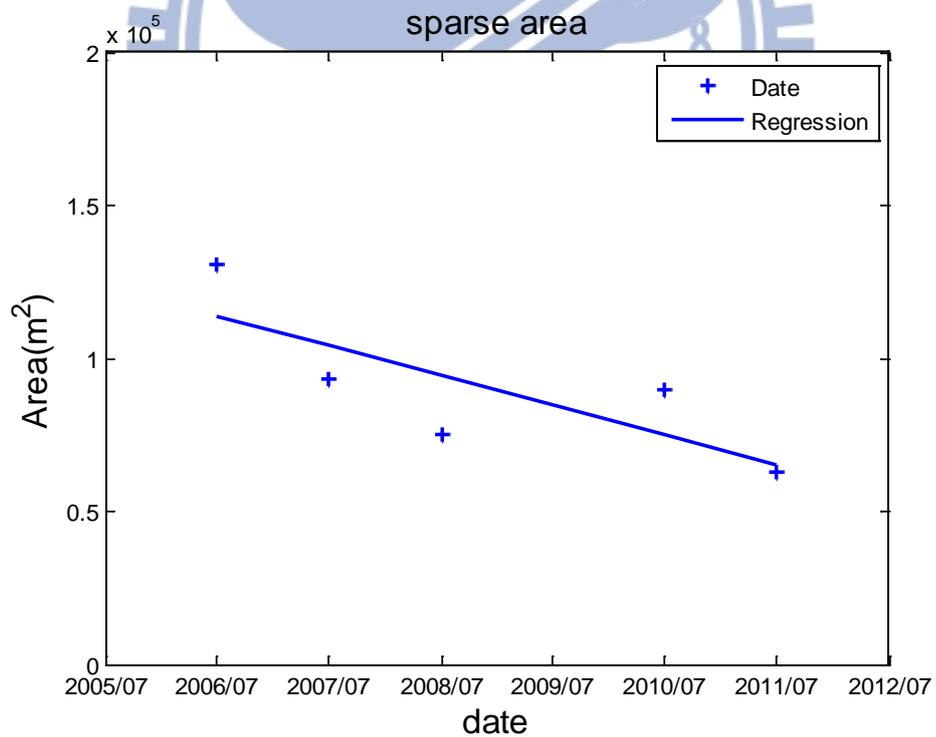
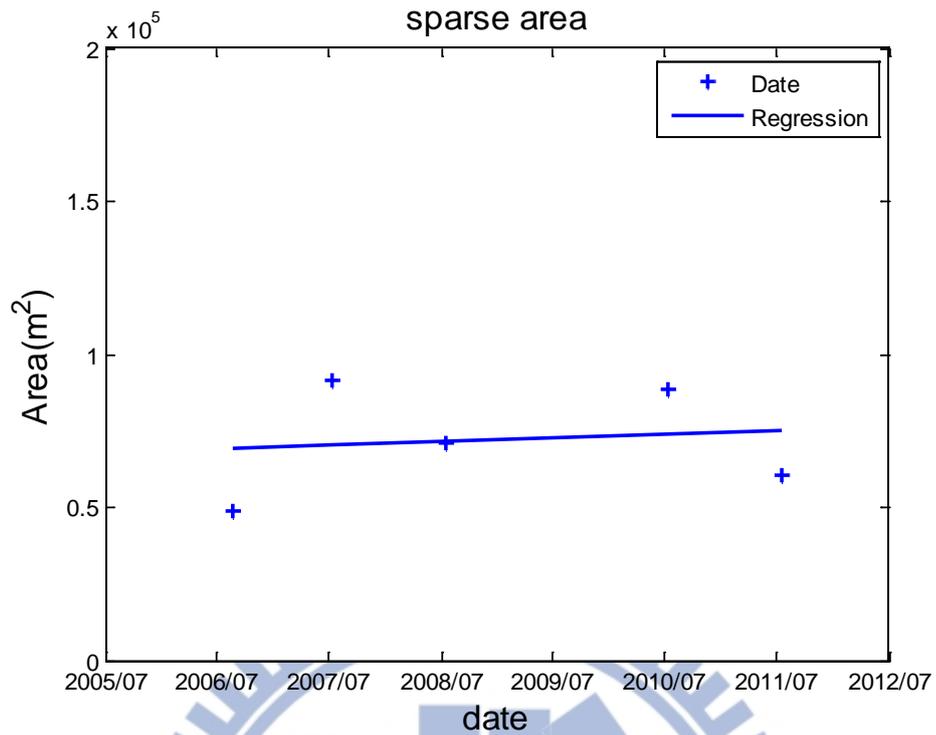
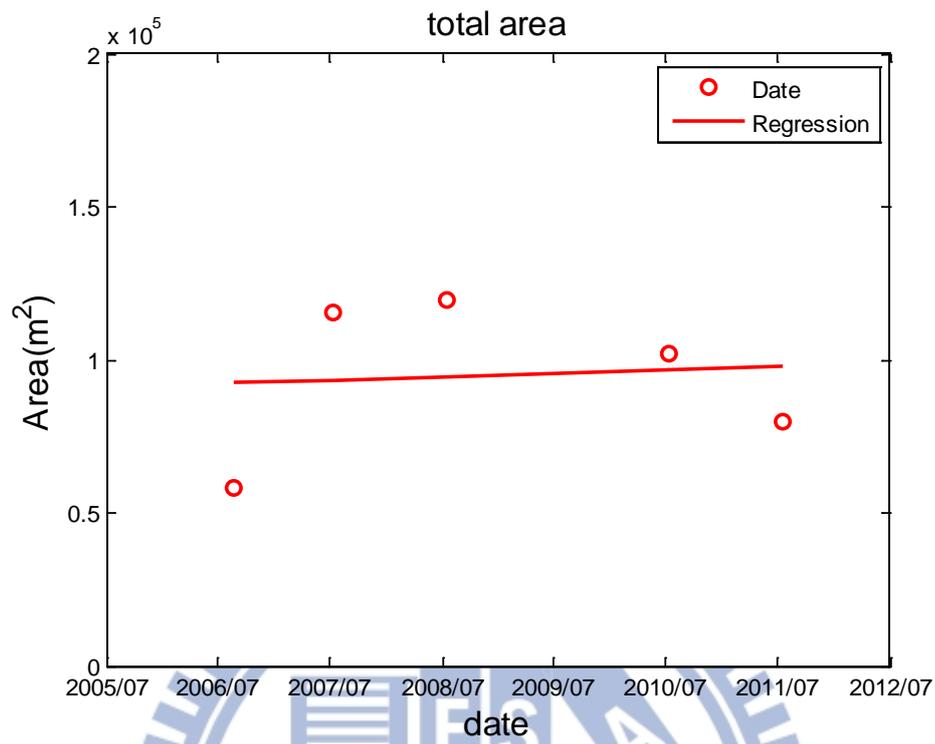
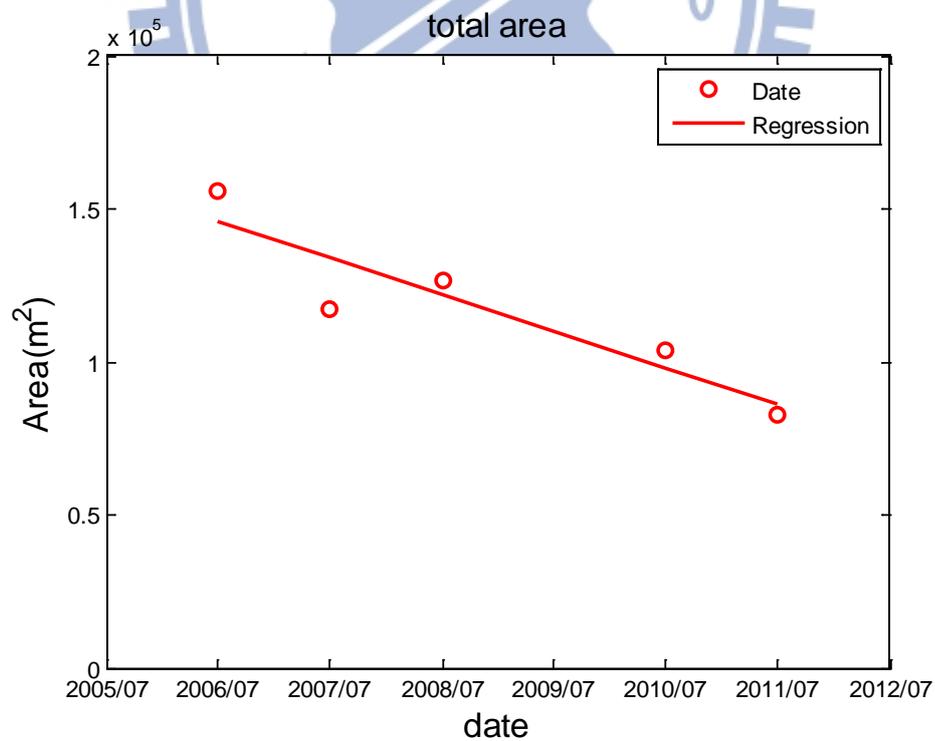


圖 4-10 修正前後的雲林莞草稀疏區面積變化趨勢圖



(a)修正前



(b)修正後

圖 4-11 修正前後的雲林莞草總面積變化趨勢圖

表 4-5 修正前後的面積及迴歸之面積的比較

RMSE(m ²)	密集區面積	稀疏區面積	總面積
修正前	13681.99	16164.26	23036.94
修正後	12101.23	14173.34	9306.68

由表 4-5 可知修正後面積與迴歸之面積的 RMSE 均低於修正前，其中總面積的 RMSE 最低，圖 4-9 至圖 4-11 中修正後之面積(b)作迴歸分析後，發現 2006 年至 2011 年雲林莞草密集區、稀疏區及總面積變化，均呈現負趨勢，雲林莞草密集區每年減少 2,236m²，稀疏區每年減少 9,745m²，總面積為每年減少 11,981m²。



第五章 結論與建議

5-1 結論

雲林莞草早期在台灣西部海岸均有相當大的族群分布，然而近幾十年來，因土地的開發利用，人為行為的介入，促使雲林莞草生長範圍大量減少，而高美濕地為目前全台僅存最大的族群生育地，其餘零星分布在宜蘭、新竹等，且國內使用遙測技術監測河口的植物，多為探討紅樹林的分布之研究，卻尚無探討雲林莞草生長範圍的變化，有鑑於此本文首先提出以遙測技術來監測雲林莞草近年來生長範圍的變化趨勢。

1. 首先對於光學衛星影像之空間解析度不足之問題，本文參考吳(2010)及前人的研究方法得知空間解析度尚有精進的空間，選用空間解析度為 $10\times 10\text{m}$ 的衛星與 $8\times 8\text{m}$ 的 FORMOSAT-2 衛星的影像資料作 IHS 轉換法，將高解析度的全色態影像，與低解析度卻有豐富空間資訊的多頻譜影像融合成較細緻的彩色影像，其解析度提高 4 倍，有助於提升辨識雲林莞草範圍的能力。
2. 衛星影像雖已進行幾何校正之處理，但比較多時期衛星影像的變化，須將衛星影像進行幾何套合，才可得出可靠之比對結果，本研究選取八個控制點進行幾何套合，評估經過幾何套合後的影像及原始影像，RMSE 為 2.55m。
3. 本文先將影像資料做常態化差異植生指數轉換，與空間解析度 6cm 的航照正射影像比較後，發現航照正射影像在北側水道附近有雲林莞草生長，但是在 NDVI 圖中，在北側水道的植生指數卻小於 0，會造成此差異的原因在於沿海濕地環境受到潮汐作用之影響，在低潮位時，海灘上仍有不同的含水量，而水體對於近紅外光波段的反射率其值是接近於零，所以植生指數將北側水道的雲林莞草誤判為水體或是土壤。故進一步使用馬可夫隨機場應用於影像分割之方法來處理植生指數，辨識雲林莞草

的生長範圍，且進一步將雲林莞草的範圍分為兩類，一類為生長密集區域，另一類為生長稀疏區域。經過影像分割處理後，發現對於各時期影像的雲林莞草密集區、稀疏區的範圍分類標準有所差異，故將其中 4 張日期較相近的影像之門檻值的平均值作為多時期影像的新門檻值。

4. 對於探討雲林莞草的範圍變化，本研究希望能比較各時期影像在同一天的雲林莞草面積，因此提出修正方法，引用卓(2007)於 05、06 年每個月之雲林莞草生物量的數據。由於此數據受到颱風之因素，導致 7、8 月的生物量非最大時期，故先將此數據做調整，再將數據正規化後以 N 值表示，最後面積除以對應的影像之間之 N 值。應用此方法修正不同時間影像所計算面積至最高生長量的相同時間。
5. 最後本研究以此辨識雲林莞草之方法以及門檻值與面積之修正，探討南側之雲林莞草保護區的範圍變化，研究結果顯示 2006 年至 2011 年，雲林莞草的生長範圍均呈現負趨勢，密集區的面積每年減少 2236m^2 ，稀疏區的面積每年減少 9745m^2 ，總面積則每年減少 11981m^2 。

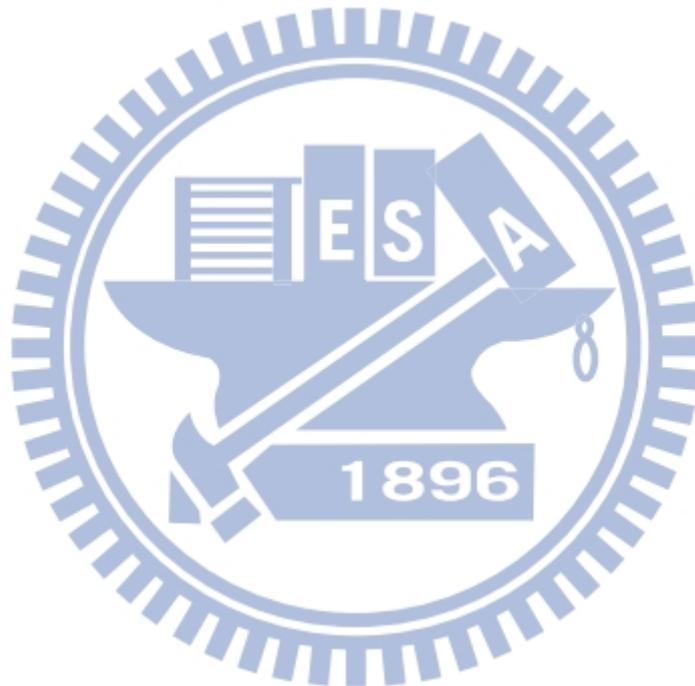
5-2 建議

本文透過遙測技術及馬可夫隨機場應用於影像處理的技術，由衛星影像中推算雲林莞草的範圍變化，期望能在珍稀植物雲林莞草等研究上有所貢獻。針對目前研究的成果提出可改進及修正的部份，以利後續研究方向，簡述如下。

1. 由於需選擇無雲阻擋且低潮位以及時間相近之衛星影像，能夠使用影像資料甚少，如有更多的衛星影像資料，探討雲林莞草的範圍變化能更加準確。
2. 使用常態化差異水勢指數(Normalized difference water index, NDWI)作為辨識雲林莞草的另一種方法，能與常態化差異植生指數之結果做比較。
3. 本文雖主要以遙測技術探討雲林莞草的範圍變化，但如有雲林莞草之實

測資料輔以佐證，此研究結果之可信度能有效提升。

4. 對於本研究的結果，雲林莞草從 2006~2011 年面積逐漸減少的原因，可能是地質變化、底質因素；雖然近年來高美濕地遊客量增加，但在現場有人為管制，人為因素的可能性較小，不過也不排除這項原因。
5. 希望能以本研究結果為基礎，可進一步探討高美濕地灘線之變化研究。



參考文獻

1. 張智傑(2000)，SPOT 衛星植生影像應用於紅樹林覆蓋面積變遷分析之研究，國立海洋大學漁業科學學系，碩士論文。
2. 陳俐穎(2003)，以馬可夫模型為基礎之彩色影像分割，國立成功大學統計學系，碩士論文。
3. 林恆毅(2006)，以移動區域為基礎之視訊物件分割，國立中興大學電機工程學系，碩士論文。
4. 卓盟翔(2007)，影響雲林莞草發芽與生長之環境因子探討，國立中興大學生命科學研究所，碩士論文。
5. 吳家宏(2009)，基於馬可夫隨機場之表格文件擷取系統，國立臺北科技大學電機工程學系，碩士論文。
6. 陳蔚瑋(2009)，衛星影像的灘線辨識及其應用至灘線變遷之研究，國立交通大學土木工程研究所，博士論文。
7. 潘國樑(2009)，遙測學大綱，科技圖書股份有限公司。
8. 蔣永正、方浩宇、蔣慕琰(2009)，台灣水田雜草雲林莞草(*Bolboschoenus planiculmis*)之生長及繁殖特性，*中華民國雜草學會會刊*第三十卷第二期，第 119-128 頁。
9. 蔣永正、張素貞(2010)，苗栗地區水田雜草雲林莞草之發生及其防除，*苗栗區農業專訊*。
10. 吳政杰(2010)，衛星影像灘線辨識之精確度評估研究，國立交通大學土木工程研究所，碩士論文。
11. 張憲國、陳蔚瑋、劉勁成(2011)，台灣海岸地區雲量分布與衛星影像可用率分析，*中華民國第三十三屆海洋工程研討會論文集*，高雄，第

699-704 頁。

12. 程克羽、張家暉、陳建富(2011)，Markov random field。
13. 洪維恩(2012)，Matlab7-程式設計，旗標出版股份有限公司。
14. 台中市政府(2012)，高美野生動物保護區保育計畫書
15. Carper, W. J. and Lillesand, T. M. and Kiefer, P. W. (1990) The Use of Intensity-Hue-Saturation Transformations for Merging Spot Panchromatic and Multispectral Image Data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 56(4), 459-467.
16. Chen, W. W. and Chang, H. K. (2009) Estimation of shoreline position and change from satellite images considering tidal variation, *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 84 ,54–60.
17. Dubes, R. C. and Jain, A. K. (1989) Random field models in image analysis, *Journal of Applied Statistics* 16(2), 131-164.
18. Geman, D. (1990) Random fields and inverse problems in imaging, *Lecture Notes in Mathematics* 1427, 113-193, Springer-Verlag.
19. Jia, K. and Liang, S. and Zhang, L. and Wei, X. and Yao, Y. and Xie, X. (2014) Forest cover classification using Landsat ETM+ data and time series MODIS NDVI data, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 33, 32-38.
20. Karsli, F. and Guneroglu, A. and Dihkan, M. (2011) Spatio-temporal shoreline changes along the southern Black Sea coastal zone, *Journal of Applied Remote Sensing* 5(1), 053545.
21. Lillesand, T. M, and Kiefer, R. W. (1994) *Remote sensing and image interpretation*, John Wiley and Sons.

22. Lyon, J. G. and Yuan, D. and Lunetta, R. S. and Elvidge, C. D. (1998) A change detection experiment using vegetation indices, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 64(2), 143-150.
23. Nash, M. S. and Bradford, D. F. and Wickham, J. D. and Wade, T. G. (2014) Detecting change in landscape greenness over large areas: An example for New Mexico, USA, *Remote Sensing of Environment* 150, 152-162.
24. Panjwani, D. K. and Healey, G. (1995) Markov Random Field Models for Unsupervised Segmentation of Textured Color Images, *IEEE Trans. on PAMI* 17(10), 939-954.
25. Park, J. and Kurz, L. (1996) Image enhancement using the modified ICM method, *Image Processing*, 5(5), 765-771.
26. Rangarajan, A. and Chellappa, R. (1995) Markov random field models in image processing, *The Handbook of Brain Theory and Neural Networks*, M. Arbib, editor, 564-567, MIT Press.
27. Steven, W. R. and Ramakrishna, R. N. (1995) Satellite monitoring of global land cover changes and their impact on climate, *Climatic Change* 31:2-4, 395-413.
28. Tardon, L. and Barbancho, I. and Marquez, F. (2006) A Markov Random Field Approach to Edge Detection, *IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference*, 482-485.
29. Wang, Y. and Hou, X. and Shi, P. and Yu, L. (2013) Detecting Shoreline Changes in Typical Coastal Wetlands of Bohai Rim in North China, *Wetlands*, Volume 33(4), 617-629
30. Wang, Y. and Hou, X. and Jia, M. and Shi, P. and Yu, L. (2014) Remote

Detection of Shoreline Changes in Eastern Bank of Laizhou Bay, North China, *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, doi 10.1007/s12524-014-0361-0.

31. Zhang, Y and Gao, J and Liu, L and Wang, Z and Ding, M and Yang, X (2013) NDVI-based vegetation changes and their responses to climate change from 1982 to 2011: A case study in the Koshi River Basin in the middle Himalayas, *Global and Planetary Change* 108, 139-148.

