

國立台灣大學地理環境資源學系

碩士論文

Graduate Institute of Geography

College of Science

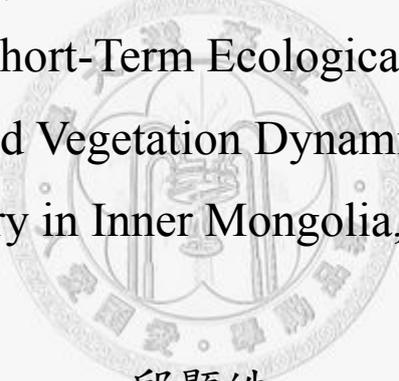
National Taiwan University

Master Thesis

以中尺度成像光譜儀影像

研究中國內蒙古自治區沙漠化時空變化歷程

Monitoring Short-Term Ecological Changes for
Desertification and Vegetation Dynamics Using MODIS
Imagery in Inner Mongolia, China



邱顯皓

Hsien-Hao Chiu

指導教授：朱子豪 博士

Advisor: Tzu-How Chu, Ph.D.

中華民國 97 年 6 月

June, 2008

國立臺灣大學碩（博）士學位論文
口試委員會審定書

以中尺度成像光譜儀影像

研究中國內蒙古自治區沙漠化時空變化歷程

Monitoring Short-Term Ecological Changes for Desertification
and Vegetation Dynamics Using MODIS Imagery in Inner
Mongolia, China

本論文係邱顯皓君（P95228001）在國立臺灣大學地理環境資源學系、所完成之碩（博）士學位論文，於民國 97 年 6 月 30 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明。

口試委員：

朱子豪

（簽名）

（指導教授）

孫志鴻
李瑞陽

謝辭

由於離開書本很久了，回學校作研究總像是徒手摸著石頭過河，忍受著旁人的譏笑或暗地嘲諷，在黑暗中朝未知的向度勇敢探手摸索，藉著不斷的試誤與修正才勉強完成了這本粗劣的拙作，幸虧在學習的路上身邊不斷有人不吝惜地慷慨予我投射溫暖光譜，映照我、引領我，讓我不致於一路跌跌撞撞。

本論文的完成要感謝朱子豪老師的悉心指導，在生活上朱老師更給了我許多人生視野的開拓以及待人處事的思考方式，這是我唸研究所最大的收穫。在專題討論時孫志鴻老師、蔡博文老師、張康聰老師常給予我寶貴的建議，以及在口試時李瑞陽老師亦指導許多珍貴的方向。我親愛的大學同學蛋龍、大頭總是適時的在我論文往不對的方向發散時拉我一把，逸祥也給了我好多有關於遙測的意見。七樓研究生室的裕民、禹璇、青灑、祥雲、尙書、資惠、冀茂，六樓的怡君、宜玲，五樓的美智、慶安、永恆，四樓的育源，三樓實驗室的家豪、香菇和真美麗的大姐，以及專班的小蘭姊、明宏、敏慧、佩蓉、志中、右融、立諄還有姜蘭虹老師，謝謝你們在我研究煩悶時陪我吃飯聊天、聽我大發厥詞發洩不滿情緒，你們是我研究生活上的下午茶，讓我過於緊繃的時候轉移目標不那麼煩惱。最後要感謝我父母及可愛的女友，在學生生活期間我對家裏的貢獻並不大，很感謝你們對我的包容和鼓勵，你們是我在這段人生歷程中最大的背後支持。

在這個畢業季節裡，夏天耀眼的陽光老是讓我睜不開眼睛看不清楚前方的路，但我心裡很清楚，如果我對這個社會有任何一點貢獻，那都是因為你們的關係，謝謝你們。

摘要

衛星影像可用於監測大規模地表變遷現象，不但同時提供了地表的生物、物理特性，也提供了低成本的研究資料，而且輕易跨越了政治與地形的限制。本研究利用 2000-2006 年 Terra 衛星中尺度成像光譜儀 (MODIS) 影像觀察中國內蒙古自治區之地表沙漠化分布及變遷，希望對沙漠治理有基礎幫助。在研究方法上將衛星影像透過去雲、運算等程序，並轉換為修正土壤植被指數 (MSAVI)，並以最大值合成法 (MVC) 產生歷年圖像，以供觀察地表綠度 (Greenness) 之空間分佈與時間變化；理論上在單位研究時間單元 (年) 內綠度最大的時候代表地面的植生量 (Biomass) 最大、最好的植生狀態，有效指示出了「乾燥狀況」最保守估計值。研究最後整合氣候與人為因子進行相關分析以了解現象發生原因。

由歷年的 MSAVI 觀察發現沙漠化並非一不可逆之地表植生退化過程，隨著時間其邊界在年間甚至會有大幅度的變動，大致上在研究期間內並未發現明顯的「退化」，但有發現很明顯的不穩定「波動」情形。因子相關分析方面，研究顯示對短年期的沙漠化現象而言，氣候因子的年累積降雨量是主要的影響地表植被生長的因子，不論是分佈或變動都呈現顯著的相關性與較高的相關值；人為因子，包括耕地面積、有效灌溉面積、羊畜養量及大牲畜畜牧量等，影響相對較有限，其相關係數無論在空間分佈上或時間變遷的分析都呈現較低或不顯著的數值結果，最後並利用空間單元的因子變遷性質濾定出最需要進行治沙計畫的地區，希望研究成果可供相關單位參考。

關鍵字：沙漠化、植被指數、中尺度成像光譜儀、內蒙古、地理資訊系統

Monitoring Short-Term Ecological Changes for
Desertification and Vegetation Dynamics Using MODIS Imagery
in Inner Mongolia, China

Hsien-Hao Chiu

The Graduate Institute of Geography
National Taiwan University
2008

ABSTRACT

Desertification is an environmental problem of major importance in arid environments. Remote sensing has been an efficient technique and comprehensively applied in researching detailed analyses of spatial distribution and surface changing for the phenomenon of desertification.

In this study, we examined the spatial and temporal ecological progress of IMAR in north China between Beijing and the Gobi desert. 2000~2006 biweekly/1 km resolution vegetation indices products, derived from MODIS instrument on Terra, were downloaded from Earth Observing System Data Gateway website. After cloud removal process, MVC method was adopted to produce annual MSAVI map, which conservatively estimate desertification condition. Furthermore, by using correlation analysis, this paper present studies on the relationship between climate, human activity and MSAVI in county-based.

In the research, it shows that desertification is not an unconvertible retrogression of surface greenness, and the contour of isolated MSAVI

values oscillated year by year. During the study duration, we did not detect significant vegetation degradation, but apparent vibration of biomass. Comparing with the 7 images we found the desert area shrunk and spread acutely. In regression analysis, it indicated that annual accumulated precipitation is the principal effective factor and showed higher positive correlation than every human activity factor in spatial distribution and temporal change. The results would provide authorities for arid region management and decision making.

Keywords: desertification, vegetation index, MODIS, IMAR, GIS



目錄

中文摘要	i
英文摘要	ii
目錄	iv
圖目錄	v
表目錄	vi
第一章 緒論	1
第一節 研究動機	1
第二節 研究目的	2
第二章 文獻回顧	3
第一節 沙漠化之定義及其理論背景	3
第二節 沙漠化變遷研究	6
第三節 植被指數	12
第三章 研究方法	19
第一節 研究架構	19
第二節 研究流程	21
第三節 研究區介紹	23
第四節 研究資料處理	25
第五節 分析方法	29
第四章 研究結果與討論	31
第一節 地表植被之空間分布與變化	31
第二節 分析因子資料	36
第三節 迴歸分析	48
第四節 MSAVI 與雨量變遷分析	55
第五章 結論與未來研究	59
第一節 結論	59
第二節 未來研究	62
參考文獻	64
附錄	70

圖目錄

圖 1-1	中國內蒙古地區位置示意圖	2
圖 2-1	沙漠化原因的分類	4
圖 2-2	中國近代歷史上曾發生過沙漠化的地區	6
圖 2-3	額濟納綠洲影像變遷示意圖	7
圖 2-4	薩赫耳地區 NDVI 變遷圖	8
圖 2-5	薩赫耳地區 NDVI 變化檢定圖	8
圖 2-6	2000~2005 中國地區沙漠化變遷	9
圖 2-7	1995 年奈格夫與西奈地區 NDVI 暨雨量比較圖	9
圖 2-8	生長季 NDVI 累積值與季前氣候相關迴歸	10
圖 2-9	土壤、植物、水體光譜反射率及像素值	13
圖 2-10	最大值合成法運算範例	17
圖 3-1	研究架構圖	20
圖 3-2	研究流程圖	22
圖 3-3	研究區示意圖	23
圖 3-5	2000 年二月及六月 B、R、IR 假色影像	26
圖 3-6	影像資料處理方法	27
圖 4-1	研究區歷年 MSAVI 時間變化	31
圖 4-2	2000-2007 年 MSAVI 變遷	33
圖 4-3	MSAVI 年間變遷	35
圖 4-4	研究區歷年年累積雨量時間變化	36
圖 4-5	縣市年累積雨量	37
圖 4-6	歷年單位面積大牲畜數量時間變化	39
圖 4-7	歷年單位面積大牲畜分佈變化	40
圖 4-8	內蒙古歷年單位面積羊群數量時間變化	41
圖 4-9	歷年單位面積羊群分佈變化	42
圖 4-10	歷年單位面積耕種農地時間變化	43
圖 4-11	歷年單位面積有效灌溉農田數量時間變化	43
圖 4-12	歷年耕種面積佔縣市面積百分比變化	44
圖 4-13	歷年有效灌溉面積佔縣市面積百分比	45
圖 4-14	研究區空間單元類型	55
圖 4-15	空間單元類型次數分配長條圖	56
圖 4-16	MSAVI 及雨量因子變遷空間單元分類圖	57

表目錄

表 2-1	常見的植被指數公式表.....	14
表 3-1	地表植被指數分類.....	29
表 4-1	歷年大牲畜年中年末數量 (萬頭).....	38
表 4-2	內蒙古歷年耕地面積統計 (公頃).....	39
表 4-3	迴歸模式參數檢定結果.....	48
表 4-4	2000 年迴歸分析	49
表 4-5	2001 年迴歸分析	50
表 4-6	2002 年迴歸分析	50
表 4-7	2003 年迴歸分析	50
表 4-8	2004 年迴歸分析	50
表 4-9	2005 年迴歸分析	51
表 4-10	2006 年迴歸分析	51
表 4-11	2000-2006 年變遷數值迴歸分析	53



第一章 緒論

第一節 研究動機

沙漠化對人類社會的危害甚大，其影響包括土壤鹽鹼化而使土地退化無法使用，土壤表層硬化，糧食的生產用地會減少而產生糧食安全的危機，沙漠化後不穩定的疏鬆、裸露地使周遭的沙塵暴現象加劇而影響空氣品質，甚至於水資源涵養以及生態系的滅絕等 (Evans and Geerken, 2004; Geerken and Ilaiwi, 2004; Zhang, et al., 2005)。而就全球尺度而言，北美、中亞、澳大利亞和中非為四大沙塵暴產地，而東亞內陸地區沙漠化引起沙塵暴的影響甚至不止是往外擴展到台灣或日本地區，甚至華北地區強力揚起的風沙就可以傳播到達西太平洋 (Lu et al., 2005)。是故，東亞地區的沙漠化，不只是東亞地區單純的在地環境事件，影響的層面及範圍可說是全球性的，對台灣在地而言，東亞地區的沙漠化亦是影響台灣空氣品質的重要環境因子。

因此如何透過有效的方式來監測沙漠化的現象，瞭解並掌握沙漠化的變化趨勢，提供相關單位有所規劃與防範，不管就維持環境生活品質、防範土地退化、永續發展的觀點而言，或是全球人口增加導致的糧食安全問題角度來看，都是個極為重要的課題。

就目前的前人研究而言，利用衛星影像來監測大規模地表沙漠變遷現象是種普遍而有效的方式，因為影像不但同時提供了地表的生物、物理特性，而且也提供了低成本的長期研究資料，而且輕易跨越了政治與地形的限制 (Dall'Olmo and Karnieli, 2002)；多波段的空間資料更可以紀錄地表的連續性變化供研究者分析、運算。但在研究流程

上如何考量在地的環境、生態變化特性取得適當的影像資料來研究仍有一些值得思考、改進的空間。本研究希望利用衛星影像來監測中國北方乾燥地區的沙漠化變遷，並考量環境變遷的特性，針對前人研究方法做出影像資料擷取上的改進。

第二節 研究目的

研究希望藉由分析衛星影像觀察 2000-2006 年間中國內蒙古自治區之沙漠化變遷趨勢，並利用地理資訊系統分析方法瞭解環境地表植被的變遷，希望達到以下研究目的：

1. 了解 2000-2006 年 MSAVI pattern 時間、空間分布變化
2. 配合氣候因子及人爲因子等資料探究地表植被變動之原因
3. 利用空間資料分析方法濾訂出迫切需要治理的土地退化地區

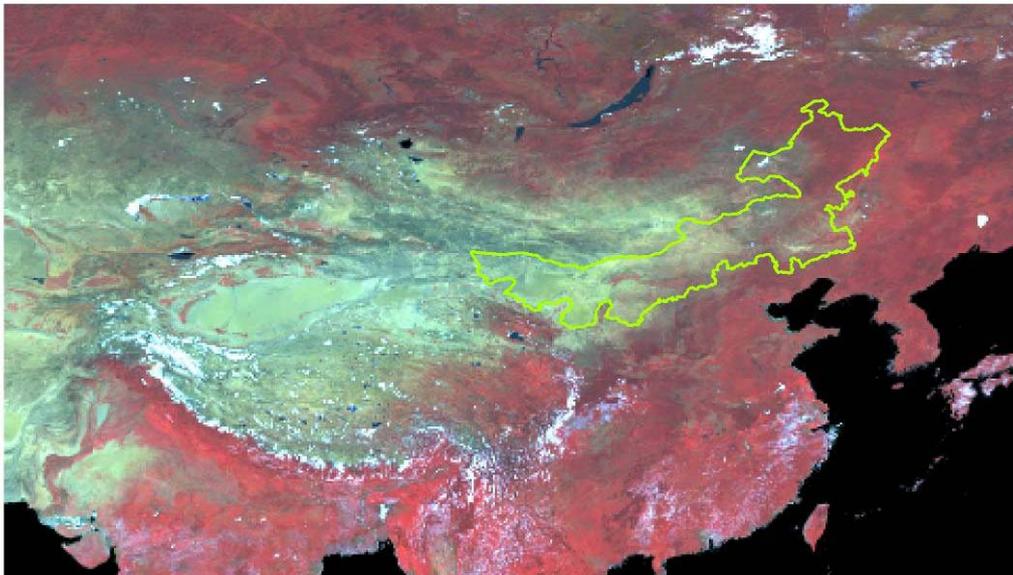


圖 1-1 中國內蒙古地區位置示意圖 (資料來源：TERRA-MODIS 影像)

第二章 文獻回顧

第一節 沙漠化之定義及其理論背景

一、沙漠化現象的定義與特性

沙漠化的沙漠化 (desertification) 的定義繁多，從最早 1949 年的法國生態學者 Aubr'eville 創造了這個名詞後，此後一直沒有統一為大眾接受的精確定義。一開始 Aubr'eville 指出非洲熱帶森林因砍伐與焚燒而造成森林界線後退了 360-400km，而轉變成草原甚至是沙漠景觀的過程，就是沙漠化 (Zha and Gao, 1997; 朱震達, 1994)。Rapp (1974) 指出沙漠化為「因人為或氣候變遷的影響，使得在半乾燥地區的沙漠狀況有所擴展」，類似這樣較為大家接受的定義可說是相當婉轉而且帶有很大的迴旋空間，因為如此定義其實並沒有明確規定一個數值或指標來界定當環境到達哪一種臨界狀況時，或是在氣候、土壤或是植被有什麼變化量才叫做沙漠化。Rhodes (1991) 和 Thomas (1993) 主張應進一步用科學方法釐清發生原因，自然環境變遷引起的長期/有害的影響，應當與人類活動引起的土地退化有所區隔。但是我們可以看到，就連 1994 年聯合國國際防制沙漠化公約 (International Convention to Combat Desertification; CCD) 學者們將沙漠化定義為：「在乾燥、半乾燥或半濕潤地區因各種因素、包含氣候因子與人類活動，所引起的土地退化」，在這樣的定義裡，還是相當模糊不清。

具體言之，大部分學者都大致同意：不論起因於自然或人為因素，當沙漠邊緣地帶因缺乏降水、逕流或涵養水分的能力，使得沙漠的範圍更加擴大的現象，我們稱為沙漠化。沙漠邊緣土地水分缺乏而導致

土地退化的原因相當複雜，不外乎氣候變遷及人為利用兩大類，例如：反聖嬰現象 (La Nina) 的強化導致部分地區降雨減少、氣溫升高，或是因人類在草原地帶過度開墾導致土地可能無法永續利用，都時常見的原因 (Franklin, et al., 2006; Symeonakis and Drake, 2004; Zha and Gao, 1997; 王心源 等，2001; 孟鑫 等，2004; 康相武 等，2005; 裘善文，2004)。

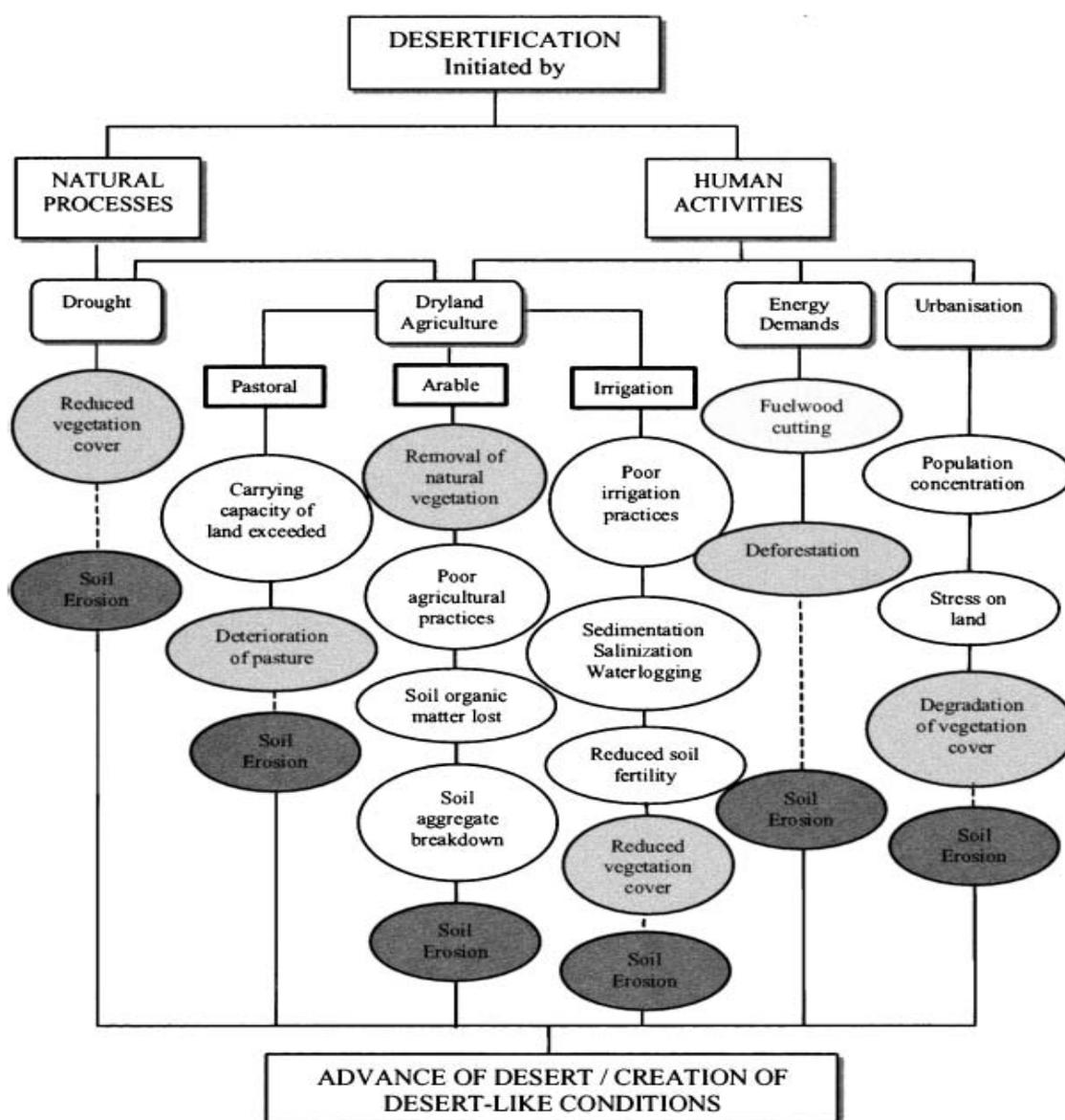


圖 2-1 沙漠化原因的分類 (資料來源：Symeonakis and Drake, 2004)

二、植被指數衰退現象之意義

傳統定義中所謂的「缺乏」和「退化」的量化定義為何？地理氣候學利用地表植被生長的類型的差異，利用雨量與氣溫作為定義產生地表各類區塊的版圖，而根據科本 (Koppen) 氣候分類，「沙漠」便是年雨量小於 250mm 所生的地表植被稀疏之景觀；所以狹義而言我們會界定在中國北方年雨量「退化到」(低於) 250mm 地區為「氣候」上的沙漠地區，雨量變化由大於 250mm 降低到 250mm 以下就變成了沙漠化的過程；廣義來說，假設雨量由 400mm 降低到 256mm 雖不能說是氣候學上的狹義沙漠化，但也可以由以往學者研究裡關注的焦點判斷，此類現象的確有沙漠化趨勢。

其次，由以上文獻得知沙漠化發生的原因繁多，事實上也有些地區雨量大於「沙漠」閾值，但因人為過度開墾或是土地鹽鹼化等原因造成的沙漠化，因此單純由雨量來界定沙漠並不合理，事實上應該回顧到地表的植被狀況之觀察，才能了解地表實際的土地退化現象；若由此觀點推演到光學影像對地表的判識，我們也可以說，假定我們取得的光譜影像資料是正確的，如果我們根據光譜影像資料演算出來地表植被指數所呈現的的綠度 (Greenness) 有大量降低的現象，不論其發生原因是「氣候」或是「人為」，地表確實有發生沙漠化趨勢的變化。

第二節 沙漠化變遷研究

一、相關沙漠化變遷研究

早期的沙漠化調查非常仰賴現場田野調查，透過林林總總的資料整合才能達到大範圍區域研究的整體呈現。這樣的普查資料產出方式，不管是工作產出效率而言，或是研究成果的精確度，受限於技術與科技的關係，就現在的學術標準來看都是既吃力又不見得能獲得準確的資訊。例如圖 2-2 為 Zha and Gao (1997) 年參酌舊有的文獻利用歷史地理學方法及資料所繪製出來的中國沙漠分布圖以及沙漠化地區，從圖上並無法得到精確的沙漠位置及動態變動狀況，也無法得到沙漠化「強度」或地表植生狀況的資料。

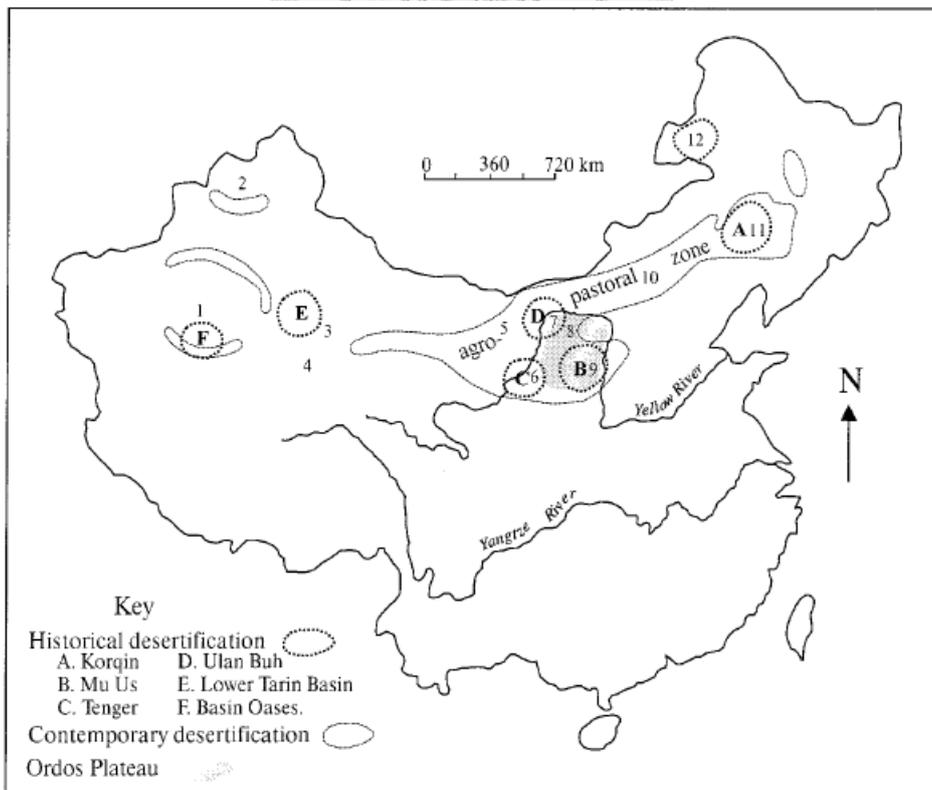


圖 2-2 中國近代歷史上曾發生過沙漠化的地區，圖中數字代表沙漠數量。(資料來源：Zha and Gao, 1997)

隨著各式科技的進步，近年來衛星影像於環境的監測運用越來越廣泛。王心源等 (2001) 利用衛星影像來進行額濟納地區綠洲生態變化的動態監測，如圖 2-3 擷取了 1986 年、1992 年、2000 年橫跨 14 年的 Landsat TM 影像加以比對分析，發現綠洲水體的面積不斷縮小。其研究配合了許多現地調查的當地歷史地理資料，並闡述沙漠化的嚴重性。但其文中並沒有說明影像的拍攝的詳細時間、季節，也或許是影像取得困難的關係，影像的擷取時間頻率也不夠高，無法看出其中較仔細的面積大小變化趨勢，也缺乏較精確的 GIS 面積計量。

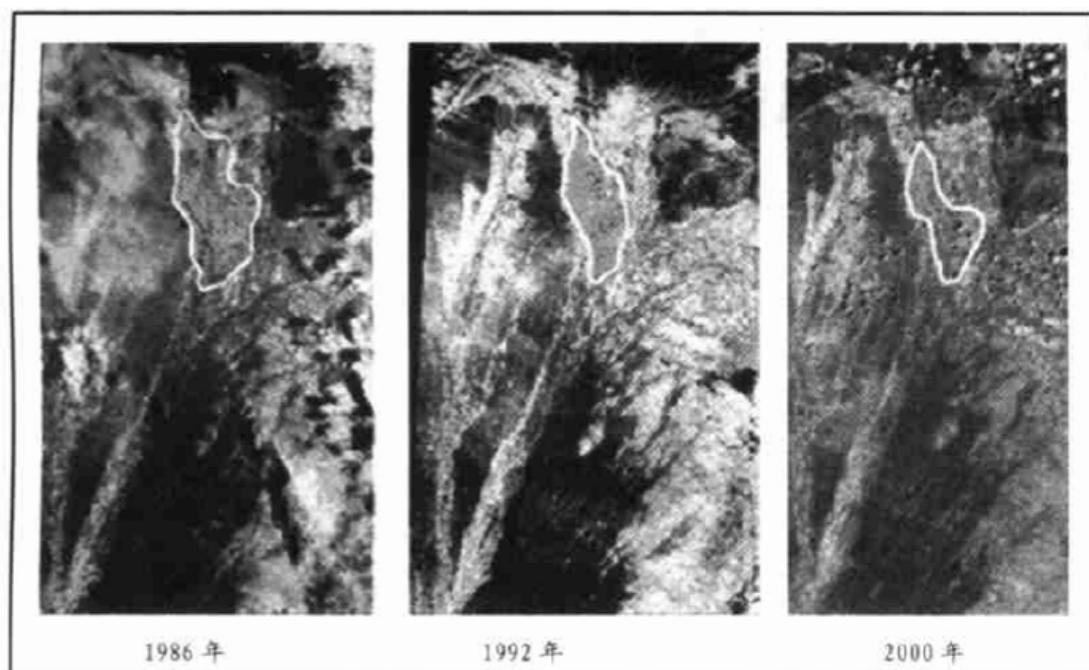


圖 2-3 額濟納綠洲影像變遷示意圖 (資料來源：王心源 等，2001)

Herrmann et al.(2005) 提出擷取 1982-2003 的 AVHRR 影像資料並以 NDVI 指數與雨量資料進行時間與空間分析，觀察非洲撒哈拉沙漠周遭薩赫耳地區 (Sahel) 的沙漠化現象。一般普遍認知認為薩赫耳地區的沙漠化現象為不可逆過程，但從近十年來的光譜資料卻發現，大範圍的季節性綠度 (seasonal greenness) 有顯著性的增加，這樣的研究發現被視為薩赫耳地區乾旱的復甦。這個研究是由時間與空間的綠度

變化的分布 (圖 2-4), 並配合雨量變數與 NDVI 時間變化的相互關係來產生研究結果 (圖 2-5), 研究結果發現薩赫耳地區的 NDVI 值呈現了正向增加的變化, 並且檢定出變化是正向顯著的結論。這對於以往沙漠化研究人為土地開發因子影響之外, 更疊合了氣候因子對沙漠化影響的重要性, 亦證實了非洲地區的 NDVI 對於雨量的同步變化性質。

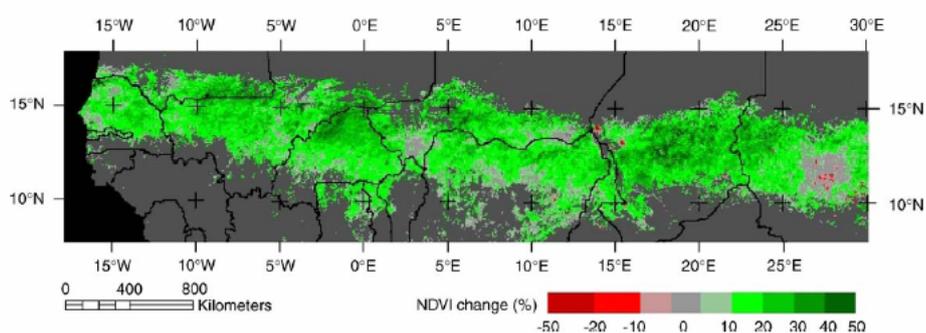


圖 2-4 薩赫耳地區 NDVI 變遷圖。(資料來源：Herrmann, et al., 2005)

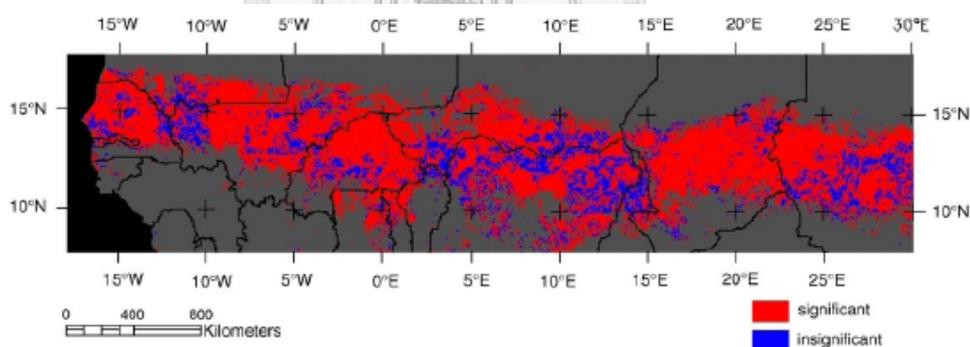


圖 2-5 薩赫耳地區 NDVI 變化檢定圖。
(資料來源：Herrmann, et al., 2005)。

Lin et al. (2006) 根據 MODIS 的 NDVI 影像利用疊圖比較分析的方式發現出沙漠擴張的區域如圖 2-6, 並利用 NDVI 值尋找出負向變動百分比較大的區域, 濾定出容易發生沙漠化的地區, 以提供相關單位治沙的依據。

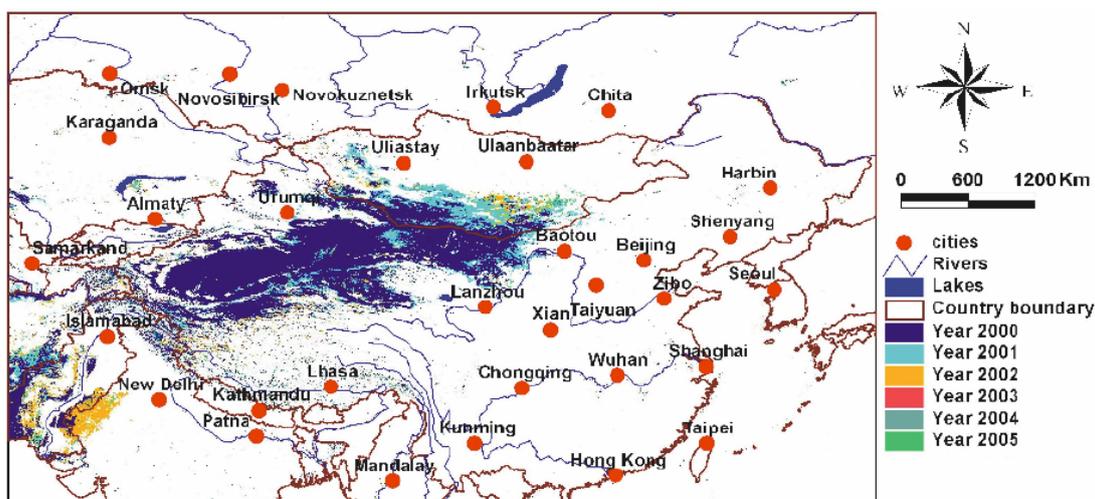


圖 2-6 2000~2005 中國地區沙漠化變遷 (資料來源：Lin, et al., 2006)

Dall'Olmo and Karnieli (2002) 提出利用 1995 年 AVHRR 的 NDVI 和 LST 資料分析西奈半島上橫跨埃及與以色列區域的沙漠植物生態循環，如圖 2-7 他們在此研究中列舉兩地的 NDVI 生長季曲線，同時用以

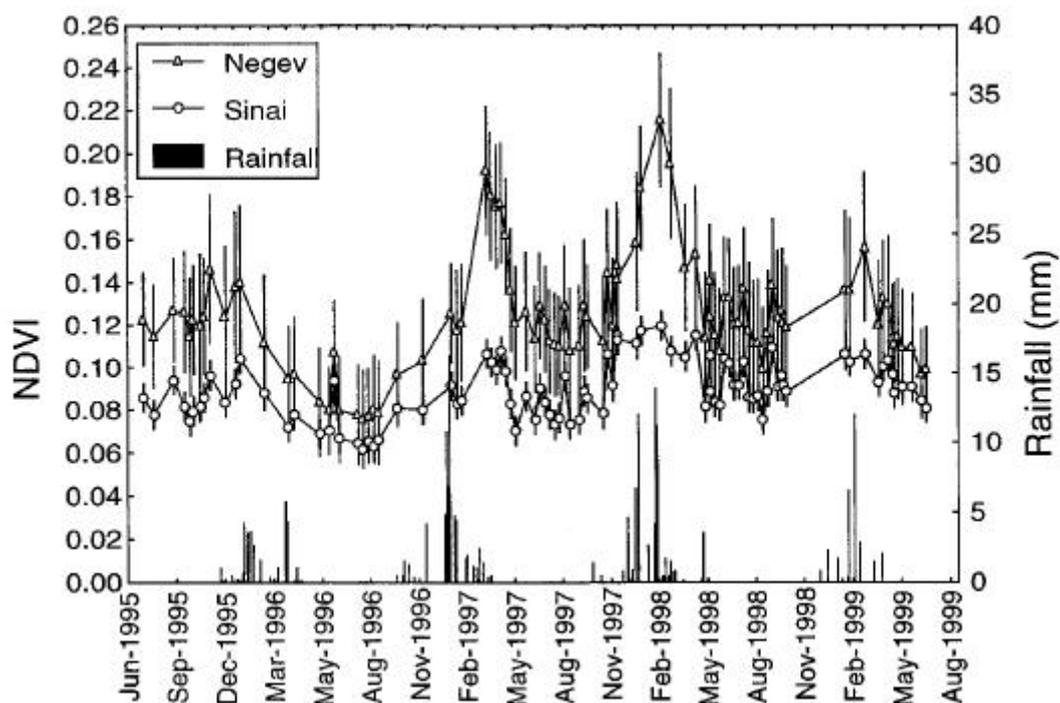


圖 2-7 1995 年奈格夫與西奈地區 NDVI 暨雨量比較圖。
(資料來源：Dall'Olmo and Karnieli, 2002)

比較研究區裡的兩個地區，在相同的氣候、自然環境條件下，因不同的人為土地利用方式，導致了衛星影像上兩個地區有不同的地表植生狀況。

Yu et al. (2004) 研究戈壁沙漠東側的草地邊界變遷，探究其與氣候之間的關連。研究者以 AVHRR 影像資料計算出 NDVI 指數，並且以時間序列的 NDVI (time-series NDVI) 資料配合每月降水量、每月均溫、以及每月實際蒸發散量 (AE ,actual evapotranspiration) 研究發現，戈壁東側的草原邊界變化主要受制於生長季前的氣候 (the

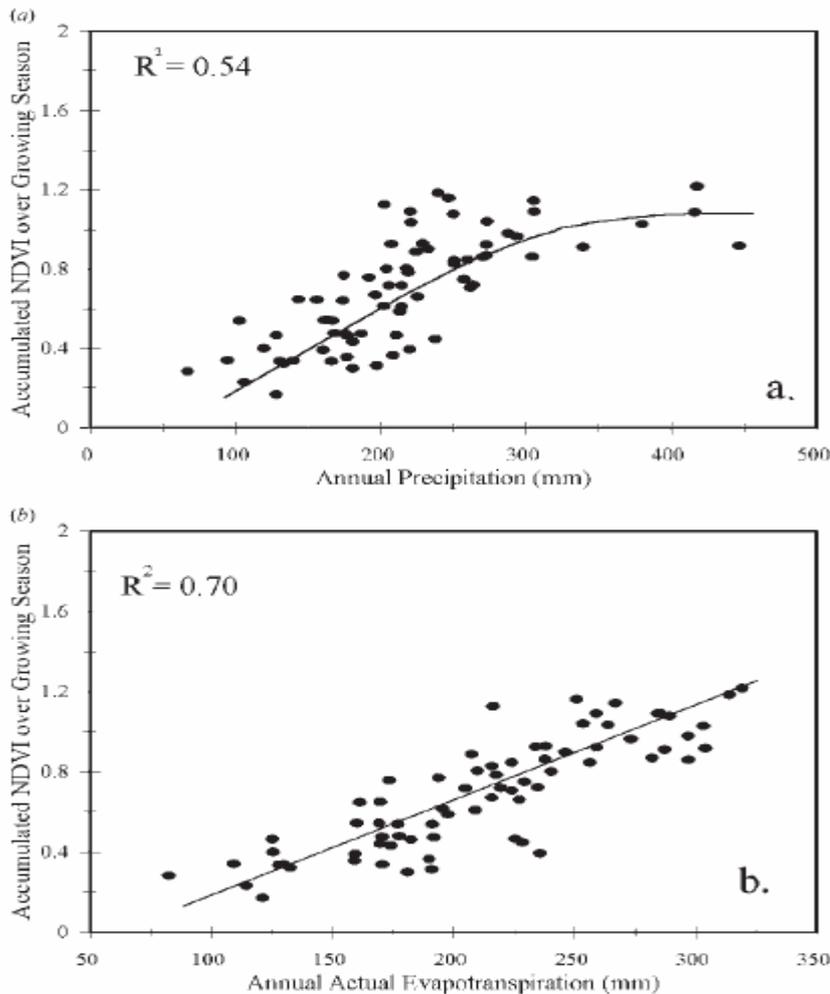


圖 2-8 生長季 NDVI 累積值與季前氣候相關迴歸
(資料來源：Yu, et al., 2004)

"preseason" climate)，如下圖 2-8 所示，在內蒙季前實際蒸發散量是重要因子，蒙古則是季前溫度。

二、小結

從以上的文獻回顧可知道，在影像判識沙漠化的相關研究裡，地表的沙漠化現象隨著時間軸/空間軸產生斂散/移動的變化是研究者的關切基礎。除了研究其如何變化，還要研究其為何變化的原因，也許是氣候的變化導致沙漠邊界的變遷，也許是人為土地利用的方式不同使得地表植生產生不同的變化。研究方向的元素大致上有：沙漠變遷的時間變化、空間變化、區域差異、歸因研究等。

雖然沙漠化的量化定義不明確，但大家都同意沙漠化地區地表植生具有減少的趨勢，因此有許多研究者嘗試著做出地表量化的研究，透過植生的疏密程度及變遷歷程來檢核是否有沙漠化的現象以及沙漠化會發生的相關原因，而將植被指數的數值抽取出來產生時間曲線分析的方式可以強化空間上與時間上的特徵剖析；其中多有學者認為雨量是影響地表植被分佈和變遷的重要因子，此一觀念將在本研究將列入後續分析的基本因子。

第三節 植被指數

一、植被指數回顧

觀察、量測地表事物的方法非常多，遙感探測的方法可以說是一種可以有效、全面性觀測地表事物的一種技術。遙測方法又可以分為航空照相與衛星影像，其方法各有利弊。一般航空照片照相高度較低，相片涵蓋的範圍較小，所以照相所呈現的空間解析度相當大，可以非常清楚地釐清地物狀況，但缺點為飛行的穩定度不好控制，續航能力控制了研究區大小，資料儲存的需求量較大，以及資料需要有相當經驗的判釋者處理等等。衛星影像的空間解析度相對來說較小，而且常會受到天候、雲層的影響而無法看清地物，但成本較低，只要航照的1/7 (董得紅，1996)，衛星影像有計畫地長期定期資料產出，可減少傳統影像處理轉換方式的高勞動量與不彰效率，而且大量的光譜資訊可供研究者做地表事物的推估、推算，可以讓我們有效地瞭解地表事物在時間、空間上的分布、變化狀況。

簡言之，航空照片多用來進行土地覆蓋/利用判釋，而衛星影像卻能以反射光譜推算植被的物理/化學/生理生態特性；相片基本圖不具有時間解析度的優勢，要完成覆蓋大範圍研究區的相片基本圖耗時良久，而且無法對土地覆蓋、利用進行動態監測，所以無法提供研究者探討土地覆蓋在時間序列上的動態變動需要的研究材料 (林孟龍，2004)，而定期產出的衛星影像資料對於大範圍研究區具有高時間解析度的量化推算優勢。

目前，國際上有許多相關研究正在進行，大多利用衛星影像進行土地覆蓋/土地利用的動態監測，其中植被指數 (Vegetation Index) 是

處理衛星影像來觀察地表植物綠度 (Greenness) 變遷時最廣泛應用的一種數值方法，很多研究都聚焦於樹冠型態，或地表植物及樹的分布、變異等。因為植被指數可以有效度量空間上的植被覆蓋狀況，而植被覆蓋面積是一種可以直觀地方區域性生態環境狀況的重要指標，而時間上植物覆蓋面積的變化亦代表了植被生態環境的時間規律變化 (Liu, et al., 2004；金曉媚，2005)。

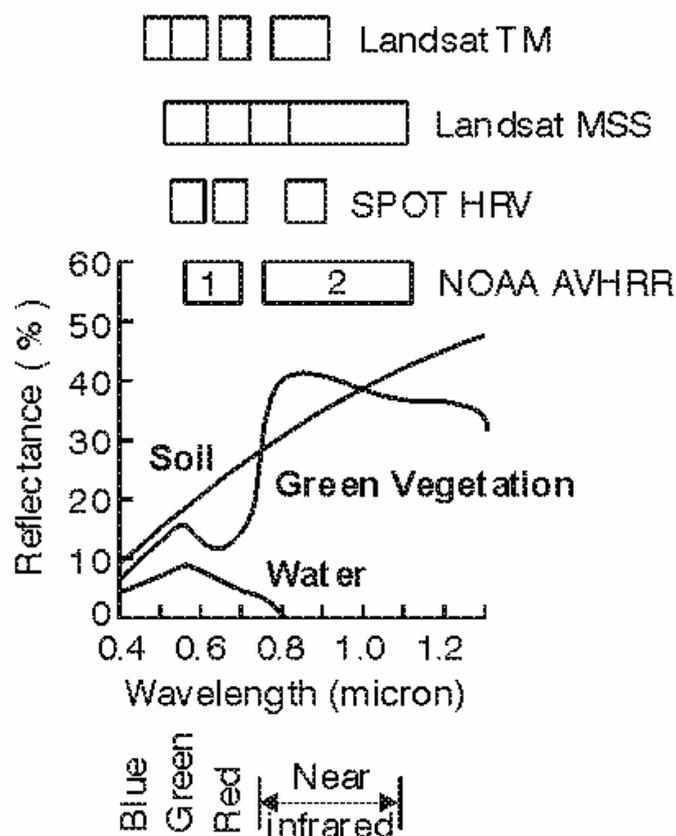


圖 2-9 土壤、植物、水體光譜反射率及像素值
(資料來源：Richard,1993)

所謂植被指數是指將接收自衛星的光譜資料，經由線性或非線性的邏輯運算，而產生一種能顯示地表植生狀況、密度高低等現象的指數。一般最常利用可見光中的紅光波段 (600~700nm) 及近紅外光波段

(700~1100nm) 等兩個波段的數值來運算，因為如上圖 2-9 所示，一般植物的葉綠素進行光合作用會吸收紅光，而近紅外光則是對植被差異、植生長勢最敏感的波段，所以利用這兩種波段數值的排列組合運算，可以產生出推估植物狀況的指數。

例如 NDVI 的值應該是介於 $+1 \sim -1$ 之間變化。一般而言，裸露地的 NDVI 值很低，近於 0，一般的草地可能是 0.2~0.3，生長狀況良好茂密的區域，例如熱帶雨林的 NDVI 值可能介於 0.6~0.8，不同的地區可能會有不同的反射值造成 NDVI 的差異。固然植被指數的高低可以代表地表的植生狀況的茂密程度，但是當我們在影像上看到相同光譜值時，有時是不同地表物質的組合產物。Senay and Elliot (2000) 研究美國奧克拉荷馬州報告中指出，不同土地等級的牧場會顯現出不同的植生覆蓋樣貌。有樹的牧場 NDVI 值會比一般草地還高，但是沒有樹的牧場 NDVI 值卻會比一般草地低。所以我們在看到有疑問的光譜資料不能只是利用主觀的判斷猜測，可能要進一步到現地考察、求證，或利用科學文獻研究資料驗證的方式加以確定。

常見的植被指數有差異植被指數 (Difference vegetation index, DVI)、近紅外光百分比植被指數 (Infrared percentage vegetation index, IPVI)、土壤調整植被指數 (Soil adjusted vegetation, SAVI)、修正型土壤調整植被指數 I (Modified Soil adjusted vegetation index, MSAV)、常態化差異植被指數 (Normalization difference vegetation index, NDVI)、加權差異植被指數 (Weighted difference vegetation index, WDV) 、比值植被指數 (Ratio vegetation index or simple ratio, RVI or SR)、以及強化植被指數 (Enhanced Vegetation Index, EVI) 等。這些不同的植被指數在不同的區域會有不同的表現效果，因此在選用時應考量使用之時地與狀況，選用比較適當的植被指數在研究上使用。

表 2- 二-1 常見的植被指數公式表 (資料來源：本研究繪製)

DVI ⁺ (Difference Vegetation Index).	$DVI = \rho_n - \rho_r$
RVI or SR ⁺ (Ratio Vegetation Index or Simple Ratio).	$RVI = \frac{\rho_n}{\rho_r}$
IPVI ⁺ (Infrared Percentage Vegetation Index).	$IPVI = \frac{\rho_n}{\rho_n + \rho_r}$
NDVI ⁺ (Normalized Difference Vegetation Index).	$NDVI = \frac{\rho_n - \rho_r}{\rho_n + \rho_r}$
WDVI ⁺ (Weighted Difference Vegetation Index)	$WDVI = \rho_n - a \times \rho_r; a = \text{slope of soil line}$
SAVI ⁺ (Soil Adjusted Vegetation).	$SAVI = \frac{(\rho_n - \rho_r) \times (1 + L)}{\rho_n + \rho_r + L}$
MSAVI1 ⁺ (Modified Soil Adjusted Vegetation).	$MSAVI = \frac{(\rho_n - \rho_r)}{(\rho_n + \rho_r + L)} \times (1 + L); L = 1 - 2 \times a \times NDVI \times WDVI;$ $a = \text{slope of soil line}$
MSAVI2 ⁺ (Modified Soil Adjusted Vegetation).	$I_{MSAVI} = \frac{2\rho_n + 1 - \sqrt{(2\rho_n + 1)^2 - 8(\rho_n - \rho_r)}}{2}$

二、修正土壤調整植被指數 (MSAVI)

在近代的沙漠化研究中最常為研究者所運用的植被指數是 NDVI，已被證實可以有效代表地面的乾濕、降雨狀況與植生狀態，但其中部分學者認為，由於 NDVI 會受到地表散射、土地濕潤的干擾而有所影響研究結果，1988 年 Huete 所提出的土壤調整植被指數 (Soil adjusted vegetation index, SAVI) 或 1994 年 Qi 等所提出的修正型土壤

調整植被指數 (Modified Soil adjusted vegetation index, MSAVI) 更能有效辨別出地面的植生狀況 (Barbosaa, et al., 2006; Geerken and Ilaiwi, 2004; Hountondji, et al., 2006; Baugh and Groeneveld,2006)。此外，MSAVI 可減小 SAVI 中裸土對植被指數的影響 (田慶久與閩祥軍，1998)。

Qi et al. (1994) 提出了 MSAVI 的概念，SAVI 是 MSAVI 的前身。若要求得 SAVI 的最佳計算結果，則土壤調整因子 L 必須隨著植被目前的狀態反向地變動其數值；但這對於大多缺乏實際地面資料的地區來說，是不容易以 SAVI 來進行計算的。本研究之研究區範圍廣大，難有一致性的 L 值帶入 SAVI，故採用 Qi 提出的第二代 MSAVI (在許多文獻中稱為 MSAVI(2) 或 MSAVI₂) 作為代表性之植被指數。在 MSAVI(2) 中，雖然在方程式中沒有出現土壤調整因子 L，但有使用疊代 L 方程在其中，會自我調整到最佳狀態。MSAVI(2) 可以直接從衛星影像資料或近地面光譜輻射觀測資料得到，對於從衛星影像直接求解區域中的植被指數較為方便又可以消除土壤的影響。為行文之便，在第三章開始本文所稱之 MSAVI 即為筆者所選用之 MSAVI(2)。

三、MSAVI 在地實證應用

在半乾燥地區的植被指數應用中，NDVI 的應用相當廣泛，並且發現不錯的效果 (Li et al., 2007 ; Barbosaa, et al., 2006 ; Lin et al., 2006 ;Senay and Elliott, 2000)，但也有人認為 MSAVI 才能真正消除觀察地表現象時土壤背景影響之干擾(Wang et al.,2007 ; Liu et al.,2007 ; Baugh and Groeneveld,2006 ; Kondo et al., 1998)。

就近期的在地實證研究而言，Li et al.(2007)於中國內蒙古自治區的錫林浩特地區使用 Landsat TM 衛星影像研究 RVI、NDVI、SAVI、

MSAVI 以及 RSR 等植被指數與植生量的關聯，研究發現 NDVI 在高解
 低度影像中對草原植生量的有最好的模擬效果；但 Liu et al.(2007) 於
 內蒙古地區利用 MODIS 影像研究地表植生量與 DVI, RVI, NDVI, SAVI
 及 MSAVI(2) 之關係，發現 MSAVI(2)與 RVI 在中解析度衛星影像的
 利用上、於廣泛面積的劑量上，對於地表覆蓋率有比較正確的估算效
 果。

故由以上文獻中可得知，NDVI 及 MSAVI 在半乾燥地區都可能有
 不錯的表現，但基於研究地區近沙漠部份有大量裸露地，且本研究之
 影像來源為中解析度之 MODIS 影像，故應當採用 MSAVI，理論上可
 以得到最佳的地表覆蓋狀況。

四、最大值合成法

本研究採用的最大值合成法 (Maximum Value Composite, MVC)
 是目前最為廣泛使用的一種衛星影像處理方法其優點為在影像在經過
 品管、去雲等步驟之後將影像每個像素採取期間最大值合成為新的代
 表性圖像。此方法對大氣散射的考量，新產生圖像的組成傾向於「最
 晴朗」的像元，並且儘量去除了雲霧和大氣的影響。最大值合成法由
 於方法原理簡單，而且產品消除了大氣散射與雲霧的影響，所以廣受
 到大家的喜愛利用。(Lin,et al,2006；楊濤與張建明，2006)

$$\begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 5 & 0 \\ \hline 5 & 7 & 9 \\ \hline 6 & 4 & 2 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|c|c|} \hline 8 & 1 & 4 \\ \hline 5 & 0 & 3 \\ \hline 7 & 2 & 9 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 8 & 5 & 4 \\ \hline 5 & 7 & 9 \\ \hline 7 & 4 & 9 \\ \hline \end{array}$$

圖 2-10 最大值合成法運算範例

其優點第一個為最大值去除了各地的環境差異因子的影響，而且採用最大值的方式可突顯與地表一般背景值表現的平均之差異，因為各地的緯度、地形不同影響會導致植生的生長狀態不一致，此方法可以知道在研究單位時間內各地當年份植被生長最旺盛的時節、最大的覆蓋程度是到何種狀態，第二個優點為可以減少雲的干擾 (contamination)，本法利用其他時段的最大值影像取代因去雲變成 no data 的像元，可減少因像元資料佚失導致無法分析的困擾。但是最大值合成法也有缺點就是：圖像可能將地表的反射值高估，而且像元所紀錄的較高反射值造成較差的分辨性 (Huete et al., 1992; Cihlar et al., 1994; Lind and Fensholt, 1999)；但換個角度來說，本研究是利用最保守的估計方式來看待乾燥地區的變遷，在此方法的觀察下，乾燥地區的植生狀態不會被低估。



第三章 研究方法

第一節 研究架構

就傳統氣候學對沙漠的定義而言，已無法滿足現今沙漠化研究領域內的多元定義與多樣性的發生原因，因此合理的沙漠化觀察應回顧到地表生長植被狀況，不論是受到鹽鹼化、過度開發、溫度升高、降雨減少或其他因素影響導致土地退化，地表植被的退化即為沙漠化的現象。傳統的沙漠化研究是以文字敘述其空間分布，輔以傳統度量工具來表示地表變化狀況；近年來多轉為以數學、資訊化的變遷研究、預測模式為主，並大量使用遙測 (Remote Sensing; RS) 技術與地理資訊系統 (Geographical Information System; GIS) 工具以處理大量的空間資訊，因此除了現象發生的型態、強度之外，空間分布亦可以做出不同以往的量化分析精確研究。本研究利用衛星影像轉換植被指數的技術來釐定地表的植生分佈，指數研究的部份參酌前人就內蒙古地區之實證研究為驗證基礎，選用 MSAVI 觀察地表植生狀況。

本研究想要達到的最終目的，即是利用整合衛星影像資料、運算出植被指數，並觀察其空間、時間變化，觀察其土地沙漠化的變化趨勢，並且輔以氣候因子與人為因子來探究研究期間、研究區內發生變化之原因。

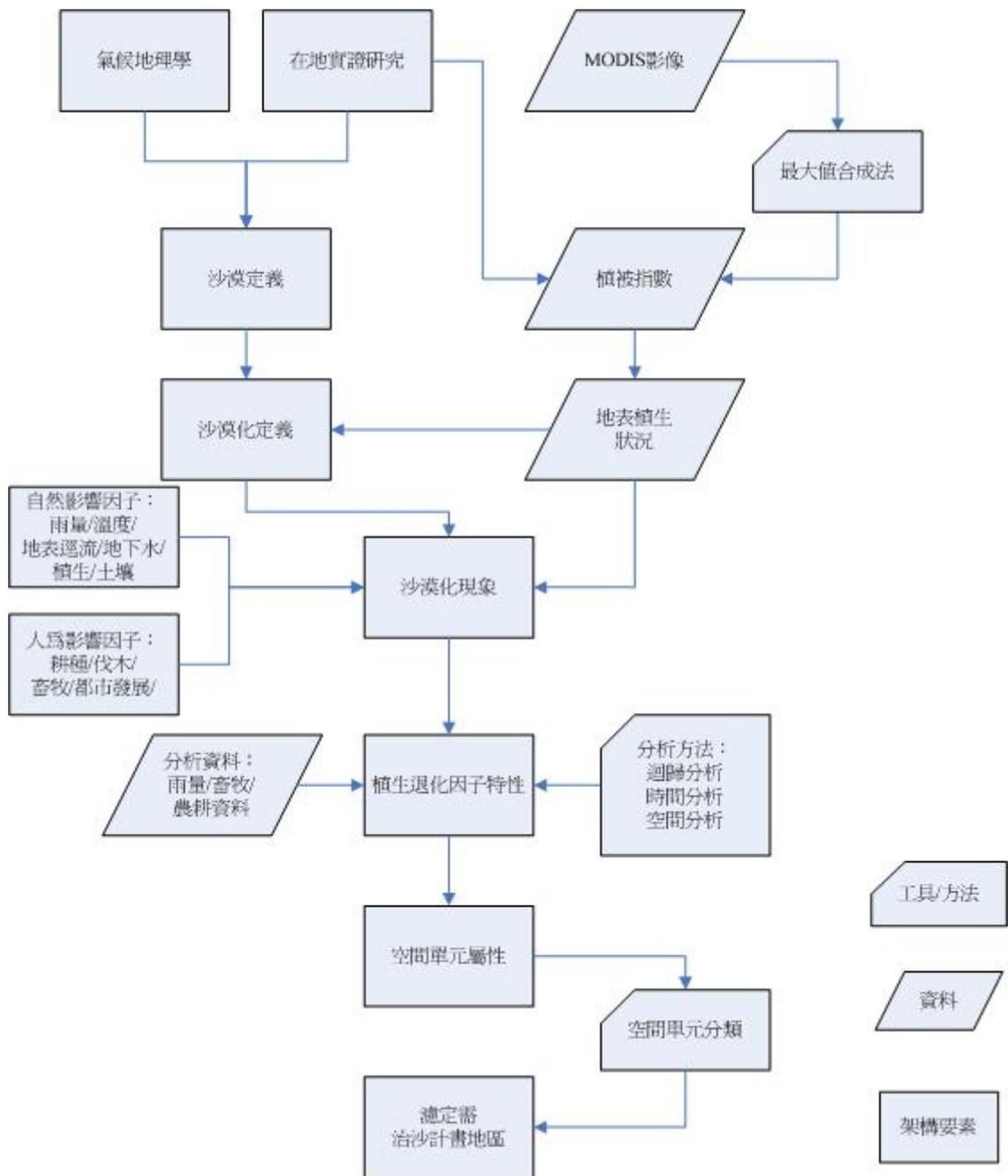


圖 3-1 研究架構圖

第二節 研究流程

本研究的研究目的是透過擷取遙測影像並產出具空間圖像的 MSAVI 資料，最後希望能了解沙漠化的變動趨勢與變動原因。首先回顧了有關沙漠化時空變遷研究、植被指數研究、最大值合成法研究等文獻，釐清所謂沙漠化的概念以及植被指數與沙漠化觀察之間的相關性，再進一步進入資料處理的大量、繁複的工作流程。去雲的手續使得本研究的資料相對變得殘缺，但也可以比較能真實呈現地表真實狀況。

當有了初步處理過的時空資料之後，首先要產生各年度的最大值合成影像，因為理論上在單位研究時間單元（年）內綠度（Greenness）最大的時候代表地面的植生量（Biomass）最大，最好的植生狀態指示出了半乾燥地區的「乾燥狀況」最保守估計值，如果我們將這些年度間的最保守估計值作數學運算處理便可以得到地面「乾燥狀況」。所以我們處理了七個年度的最大值合成影像，作為年度代表性影像。

有了七個年度的代表性影像之後，開始了主要的分析工作。首先利用 GIS 軟體觀察比較各年度的 MSAVI、雨量、單位面積畜牧量、單位面積耕種農田、單位面積有效灌溉農田之時空變化。

第二部份則是以氣候因子與人為因子以「縣」為空間單元進行與 MSAVI 之迴歸分析，分別以整體一般性資料迴歸分析、每年之迴歸分析、與研究期間首尾變遷量之迴歸分析。

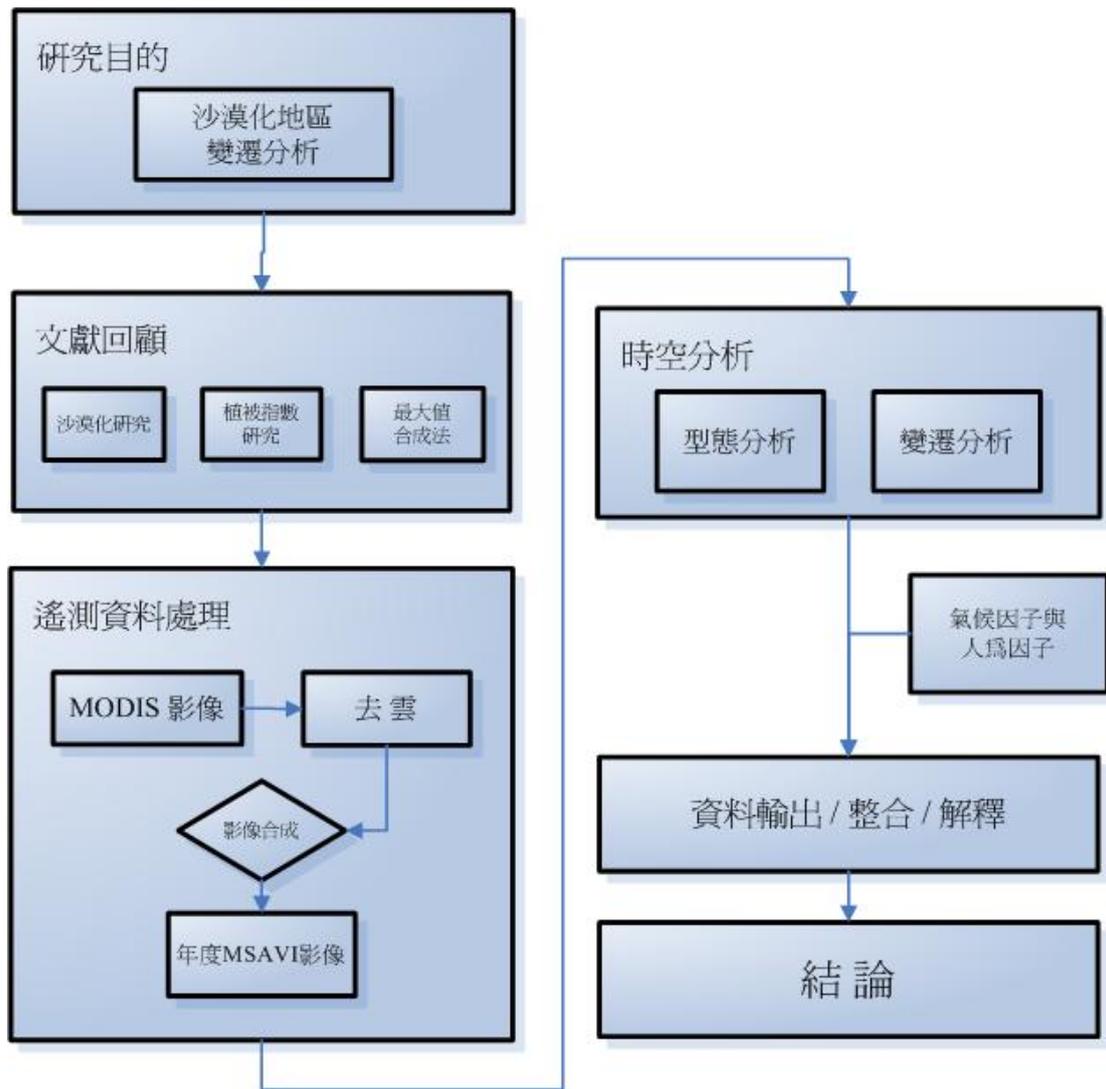


圖 3-2 研究流程圖

第三節 研究區介紹

本研究之研究區為中國內蒙古自治區 (Inner Mongolia Autonomous Region, IMAR) 位於台灣西北方約兩千公里處，雖距離遙遠，但冬季乾燥地區揚起之沙塵卻隨冬季季風經長距離運送吹拂至台灣、對台灣空氣品質影響甚鉅。

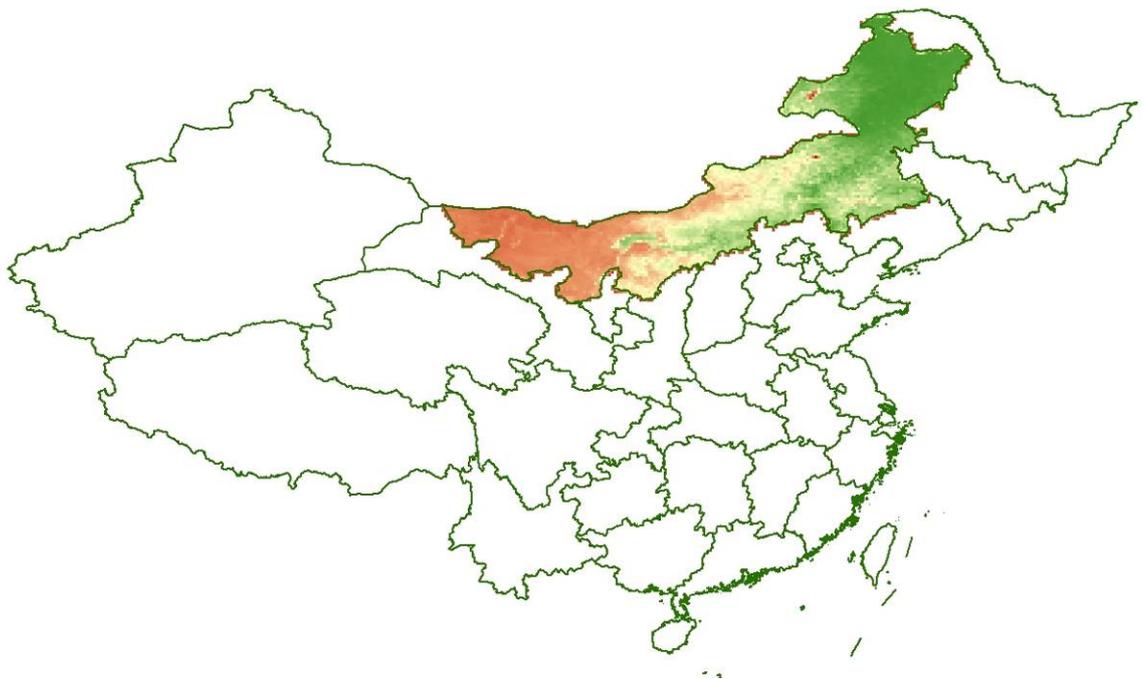


圖 3-3 研究區示意圖

研究區面積約 118.3 萬平方公里，位於著名的戈壁大沙漠東側，其中 73.3% 為草原 (86.7 平方公里)，森林佔 17.6% (20.8 平方公里)，區內分為呼倫貝爾市、包頭市、呼和浩特市、興安盟、通遼市、赤峰市、錫林郭勒盟、烏蘭察布市、鄂爾多斯市、巴彥淖爾市、烏海市、阿拉善盟等十二個區，以及下屬的 101 個縣級單位 (內蒙古自治區統計局，2007)。

東南方有黃河流經，為著名的河套地區所在地，西方則是乾燥的戈

壁沙漠一部分。全區年平均氣溫在 $-3.9^{\circ}\text{C} \sim 9.8^{\circ}\text{C}$ ，幅員廣大的北部地區全年平均低於 0°C ，南部則 $5 \sim 10^{\circ}\text{C}$ 之間其餘地區介於 $0 \sim 5^{\circ}\text{C}$ 。本區的年降雨量在 $14 \sim 684\text{mm}$ 之間，以西方的阿拉善盟雨量最少，全年不足 50mm ，而過了中間過渡區之後的呼倫貝爾市北部、興安盟東部、通遼市南部、赤峰市南部都在 500mm 以上，在氣候上過渡性非常強。全年日照 $2285 \sim 3840$ 小時，大風日數 $0 \sim 80$ 日，主要的氣象災害有乾旱、大風、揚沙、沙塵暴、高溫、暴雨、洪澇和冰雹等，2005年阿拉善盟拐子湖測量到有氣象紀錄以來的最高溫 41.2°C 。(中國氣象年鑑編輯部，2007)



第四節 研究資料處理

一、研究素材

Terra 衛星是美國地球觀測系統 (Earth Observation System, EOS) 計畫中一系列衛星中在 1999 年 12 月第一顆開始運轉的衛星，在這顆衛星上共有 ASTER、CERES、MISR、MODIS、MOPITT 等五種不同目的的感測儀。其中中尺度成像光譜儀 (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS) 每一到二天以 36 個波段 250m-1km 的解析度橫掃地球一次，以分佈在 0.4~14 μ m 的電磁波譜範圍裡面，觀測地表的陸地、雲、水氣、海洋水色、浮游生物植被、地表溫度、大氣溫度、臭氧等，適合對陸地表面、生物圈、大氣圈及海洋等進行長期而持續的監測。

NASA 的 MODIS 的 Vegetation Indices 產品可說是接續 NOAA 的 AVHRR 之後改進的心血結晶，由於 MODIS 的紅光通道 (620-670nm) 較 AVHRR 的紅光通道 (550-680nm) 狹窄，故反射值較易飽和，也就是說對於紅光的反射比較敏感，更加適合用於辨識地表植生的生長狀況，尤其是對於辨識地表是否為裸露地更加有效率。

本研究之研究區規模屬為大尺度，故採用 MODIS 解析度 1km，16 天週期的 Vegetation Indices 產品為研究素材。

二、去雲處理

下圖 3-4 左側為 2000 年二月影像，右側為 2000 年六月影像，從這兩張圖可以看出季節不同也會有不同的植生狀況，但本研究區冬季的雲霧會嚴重影響地表植生狀況的辨識。

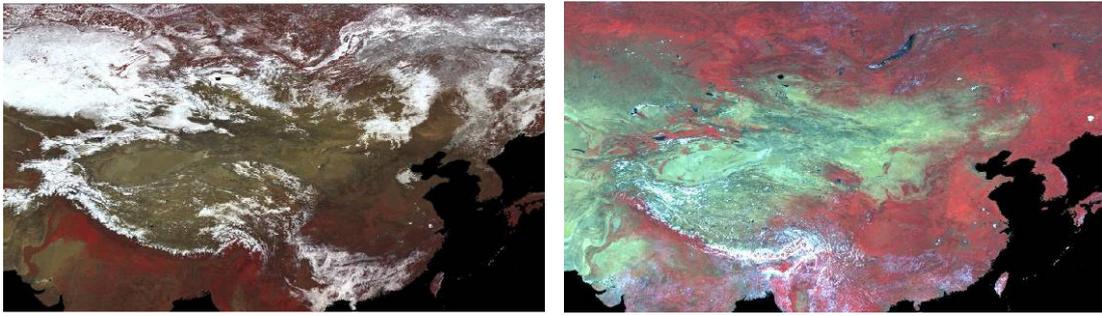


圖 3-4 2000 年二月及六月 B、R、IR 假色影像，本研究繪製。
(資料來源：TERRA-MODIS 影像)

衛星影像中雲的干擾 (contamination) 往往造成地表判識上的困擾，薄雲可將影像由 RGB 轉換成 HIS 系統，再假設薄雲霧的加入等於使影像加入白色，即 RGB 三者提高，因此僅改變光譜的亮度或飽和度值，色相並無改變，藉此可偵測並去除薄雲霧 (徐逸祥，2006)，而厚雲僅能偵測、去除，我們並無法得知雲下的狀況。厚雲一般去除方法有兩種，第一種是利用其他衛星承載的儀器偵測出雲圖，例如在 MODIS 中前兩個 band 就是和界定雲的邊界有關，可以提供同步拍攝的雲圖，取出 mask，再將原圖去雲。第二種方式則是將影像轉為灰階，再由灰階影像中設定白色較高的值閾取出雲的 mask，再將 mask 套入原圖中去除之。第一種方式對於本研究的 MSAVI 16day 合成圖並不適用，因為合成的雲圖的方式可能會產生過大的雲區，去除過多的植被影像像素。第二種方式手續則是有些繁雜，所以針對本研究設計出較簡單的程式取代之。

經過個人經驗觀察發現雲的反射值在 Vegetation Indices 產品中的藍光 (459~479nm)、紅光 (620~670nm) 和近紅外光 (841~876nm) 等波段的反射值高低與厚雲有關，因此利用 ERDAS IMAGINE 軟體輸入這三個波段閾值的交集，將符合條件的像素去除，即可產生完成去雲的植被影像圖。

三、資料處理流程

本研究採用 MODIS 解析度 1km，16 天週期的 Vegetation Indices 產品為研究素材，將波段資料下載以後經過去雲等處理程序後再產生出可分析的研究材料，與一般直接下載產品分析的方法不盡相同。

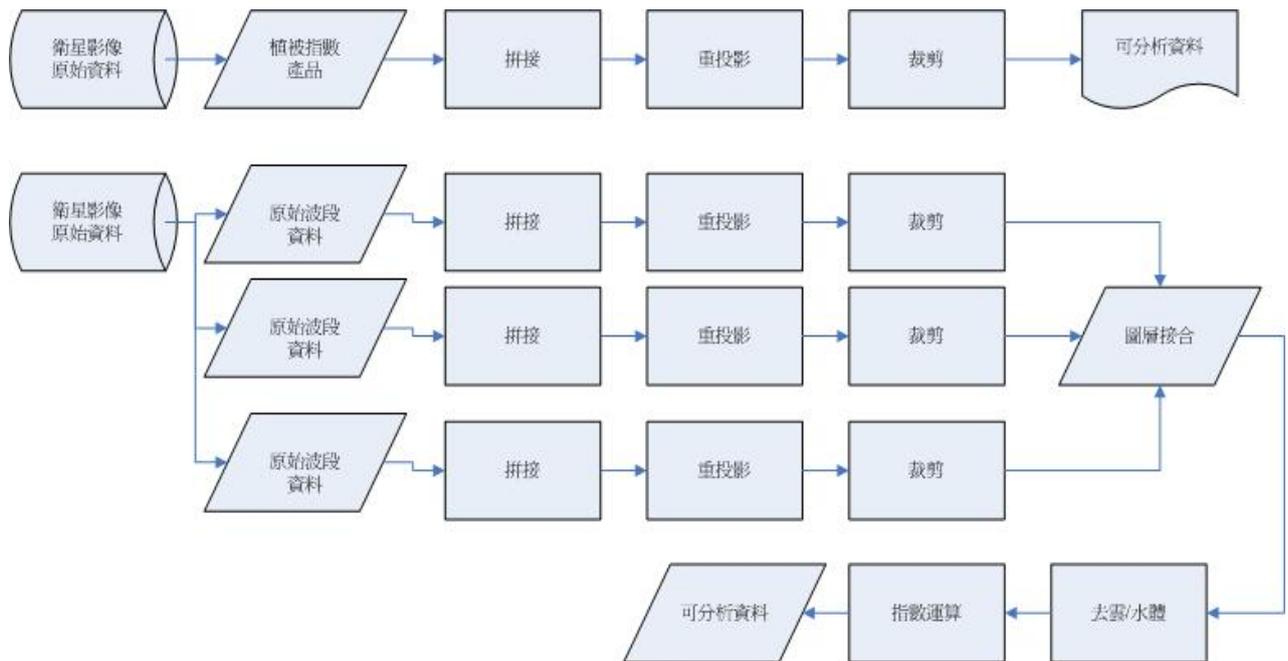


圖 3-5 影像資料處理方法，本研究之資料處理方法如圖中之下方流程，上方為一般未經去雲程序的資料處理方式。

四、分析因子資料來源

除衛星影像資料外，研究區在地資料的蒐集並不容易；氣候資料有許多測站的資料有佚失不全或統計方式不一的狀況，在考量資料品質狀況及資料完整而採用 IRI 的雨量資料，而人為因子的資料亦因距離研究區遙遠不易搜納，最後只採用較完整的、邏輯上會直接影響地表綠度的耕地及畜牧統計資料。而資料來源的敘述如下：

1. 本研究之相關分析資料採用氣候因子以年度累積雨量為代表，資料採自由美國國家海洋暨大氣管理局氣候計畫辦公室

(NOAA's Climate Program Office) 與哥倫比亞大學 (Columbia University) 所合作成立的國際氣候與社會研究所 (The International Research Institute for Climate and Society, IRI) 的 LDEO Climate Data Library 所提供的全球降雨影像，空間解析度 2.5 度，下載 2000-2006 年月份降雨資料；其資料來源為全球降雨及氣候中心 (Global Precipitation Climatology Centre, GPCC) 的世界氣候研究計畫 (World Climate Research Programme, WCRP)。

2. 人爲因子部份則採用研究區內中國內蒙古自治區統計局的 2001-2007 年「內蒙古統計年鑑」中所載 2000-2006 年每縣之大牲畜 (包含牛、馬、驢、騾、駱駝等) 畜牧量、羊畜牧量、耕種面積、有效灌溉面積等，與人類利用土地時可能影響土地沙漠化有關之相關數據資料。

第五節 分析方法

爲了解 2000-2006 年內蒙古地區之沙漠化現象，本研究希望觀察 MSAVI 分佈與變動狀況，並了解氣候因子與人爲因子對其分佈、變遷之影響；欲觀察 MSAVI 之分佈與變動，端賴 GIS 軟體之展示與 raster 資料運算處理功能，而取得空間單元資料之後的分析，統計方法是最普遍的方式。

一、資料分類

在 MSAVI 資料展示的部份本研究 MSAVI 分類引用楊濤與張建明 2006 年於寧夏的研究分類如下表 3-1，一般所指涉的狹義「沙漠」便是指植被指數最低的弱植被覆蓋的地區。

表 3-1 地表植被指數分類

植被指數	土地類型
0	水體
0-0.121	弱植被覆蓋區
0.121-0.300	稀疏植被覆蓋區
0.300-0.450	低植被覆蓋區
0.450-0.600	中植被覆蓋區
0.600-0.750	高植被覆蓋區
0.750-1.000	密集植被覆蓋區

(資料來源：楊濤與張建明，2006)

而資料展示之軟體採用 ArcMap 9.0 製作出 2000-2006 年共七張植被指數分類圖以供研究觀察，變遷部份則採用 Erdas Imagine 的 Change detection 模組展示以年爲週期變動時的前後期變遷狀況。

二、統計分析方法

有關植被指數與多個觀察因子之間的研究，有許多是採用線性迴歸 (Linear Regression) 的方式：Koller and Upadhyaya (2001) 研究植被

指數與蕃茄產量的推估，Yu et al.(2004) 利用氣候因子與植被指數進行迴歸分析探求氣候影響等，而有較少文獻是採用相關分析 (Relation analysis)，例如 Lim (2003) 研究區域氣候、二氧化碳肥料效應與地表淨生產力的關係。迴歸分析可說是積差相關係數的擴大，在相關分析時我們探討的是兩變項間的關係，而迴歸分析通常可以探討多個變項間關係 (王保進，2006)。若用數學式表示通常可以寫成：

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon$$

其中 Y_i 為樣本觀察值、 X 為自變項實際值， β 則為迴歸分析所要進行估計的未知數，代表自變數每代表一個單位的量所造成依變項的改變量，因此用於本研究可分析衛星影像所轉換之植被指數為依變項，而 X 自變項分別帶入累積雨量、大牲畜畜量、羊畜量、耕地面積、有效灌溉面積等，而歸納出以下的統計模型：

$$M = \beta_0 + \beta_1 P + \beta_2 F + \beta_3 S + \beta_4 C + \beta_5 I + \varepsilon$$

其中 M 代表植被指數， P 為累積雨量， F 為大牲畜畜養量， S 為羊畜養量， C 為耕地面積， I 為有效灌溉面積。

為了解研究期間內各因子整體常態性的對應關係，首先會將植被指數表現特別高的異常年剔除，將 2000-2006 年 (扣除 2003 年) 共 6 年的全部資料進行迴歸分析，再以每年的資料分別進行具資料獨立性的單年迴歸分析以了解每年各因子對植被指數的貢獻狀況。

第四章 研究結果與討論

第一節 地表植被之空間分布與變化

一、歷年植被指數分佈

本研究將下載自美國地質調查所的 EOS Data Gateway 網站所提供 2000-2006 年 NASA Terra 衛星 MODIS 影像之雙週全球植被指數產品，經過去雲、植被指數演算、年度最大值合成法等處理程序，利用 Arc GIS 9.0 之 Zonal Statistics 功能取得每縣市之 MSAVI 平均值如附錄一，並整理出歷年平均值、最大值、最小值之 temporal pattern 如下圖 4-1 所示，MSAVI 整體而言平均值在 2003 年有上升的現象，2003 年的平均值比整體平均值增加了 15.79%，而最小值的表現尤其明顯，不過最大值的表現在各年之間一直是持平的。

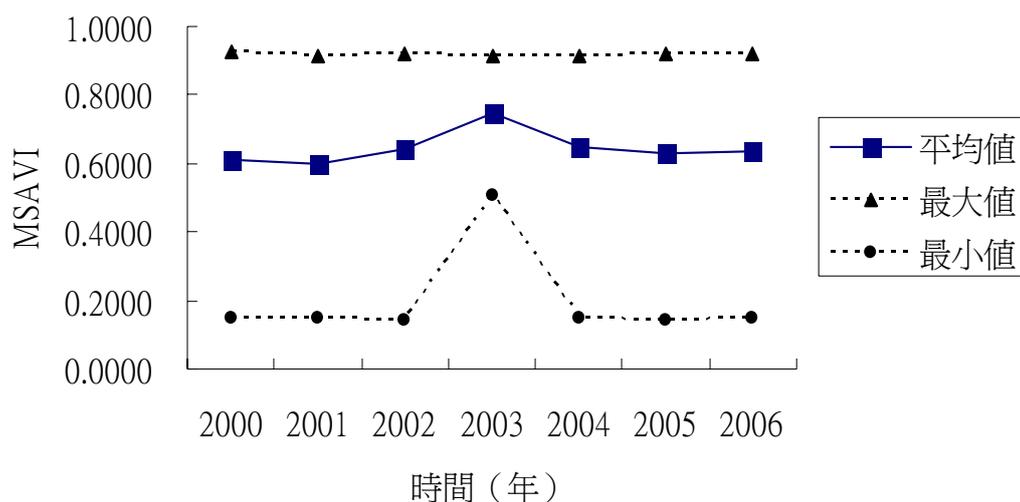


圖 4-1 研究區歷年 MSAVI 時間變化

經處理後的 MODIS 衛星影像換算為 MSAVI 指數，並利用最大值合成法產出 2000-2007 年度影像並將其按研究定義分類如下，其中可以看出 2003 年研究區內的植被生長狀況茂盛、有普遍在各個空間上大量升高之情形，一般視為沙漠的弱植被覆蓋區可說從研究區中消失了，而稀疏植被覆蓋區邊界在這個年度退縮到相當西邊的地方，取而代之的是中、高植被覆蓋區，在 2004 年以後又恢復到概似於 2002 年的分佈狀況。從這樣的地表植被變動情形來看，密集植被覆蓋區的變動並不大相對是較穩定的地區，而受到某些因素的影響弱植被覆蓋區和稀疏植被覆蓋區以及中、高植被覆蓋區容易在空間上相互抗衡拉鋸擺動。其中河套地區較不受一般的變遷影響，地表綠度始終維持在一定的水準。

就一般人的觀念而言沙漠化似乎應當是一種不可逆的地表生態惡化過程，但就圖 4-2 顯示，沙漠地區的邊界是會變動的，而且範圍相當大，其中究竟是氣候的因素還是人為因子的影響，後面章節會有繼續討論。

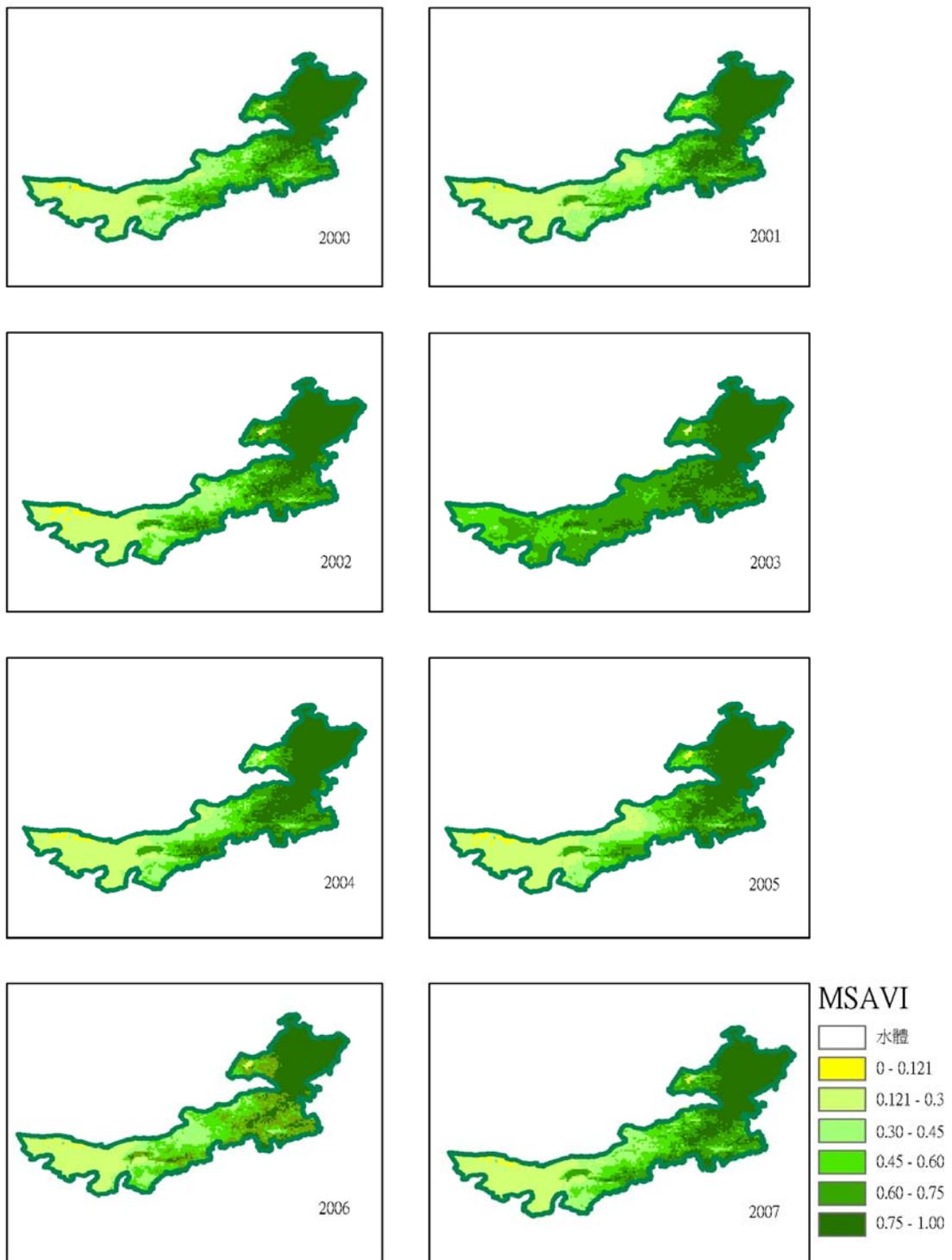


圖 4-2 2000-2007 年 MSAVI 變遷

二、植被指數變遷

圖 4-3 利用 Erdas Imagine 的 Change detection 模組運算得到的 MSAVI 年間變遷示意圖，可以清楚的看到明顯變遷（變遷量 >10%）的地區，在 2003 年的前後由於沙漠邊界的大量遷移，所以大部分的明顯遷移發生地區都是在 2000 年為基準、MSAVI 0.45 以下的地帶，也就是說一般生長狀況比「低植被覆蓋區」更低的低方。

除了 2003 年前後，在 2004 年以後年間的變化量就比較小，趨於比較穩定的狀態，比較少有大規模的變動。若以 2000 年為基準來陳述就是說，一般強度較高的變遷好發在 MSAVI 0.3 ~ 0.75 的地方，也就是說在沙漠邊緣的外側的半乾燥地帶、本研究採用定義之低、中、高植被覆蓋區，是一般比較容易發生地表變遷的土地敏感地帶，而相對來說較高度覆蓋的密集植被覆蓋區以及較低植被覆蓋的弱植被覆蓋區和稀疏植被覆蓋區反而是在一般年度相對比較穩定的地區，在年度間比較沒有發生地表植生的變化。

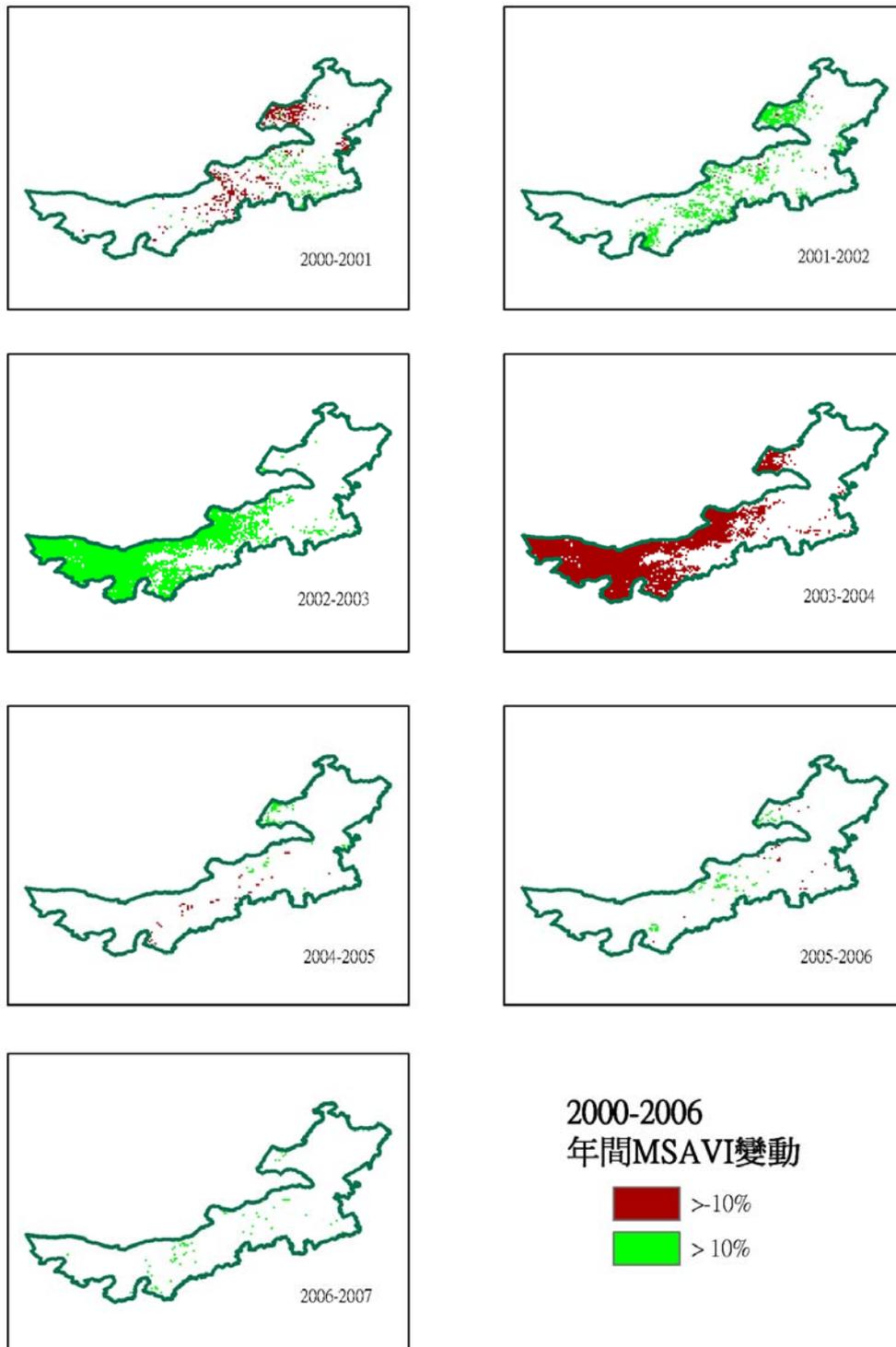


圖 4-3 MSAVI 年間變遷

第二節 分析因子資料

爲了解地表植被的分佈、變遷原因，本研究嘗試利用所蒐集之氣候因子（每年各縣市累積雨量）與人爲土地利用因子（每年各縣市大牲畜數量、羊隻數量、耕地面積、有效灌溉面積）進行相關分析。

一、氣候因子資料

本研究將下載自 LDEO Climate Data Library 所提供 2000-2006 年每月之全球降雨影像，並利用 Arc GIS 之 Zonal Statistics 功能取得每縣市之年累積降雨量如附錄二所示。而整體而言如圖 4-4 所示，在 2003 年的雨量增加至最高，之後逐漸減少回復到 2000 年的水準，而 2003 年最大值比 2000-2006 年研究期間的總平均高出 23.46% 之多。

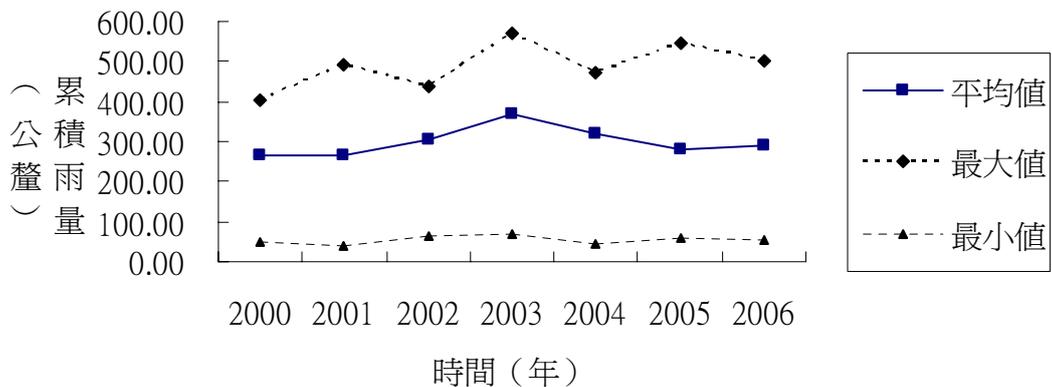


圖 4-4 研究區歷年年累積雨量時間變化

就面量圖 4-5 的空間展示觀察，雨量東方多西方少，在靠近大興安嶺的地區至少都有 300 公釐的年雨量，而位於最西部的額濟那納旗始終不足 100 公釐。2003 年累積雨量在空間上有全面性的普遍升高，有一半以上的區域都超過 300 公釐，整個東方以及南方都有非常明顯的

雨量增加狀況。

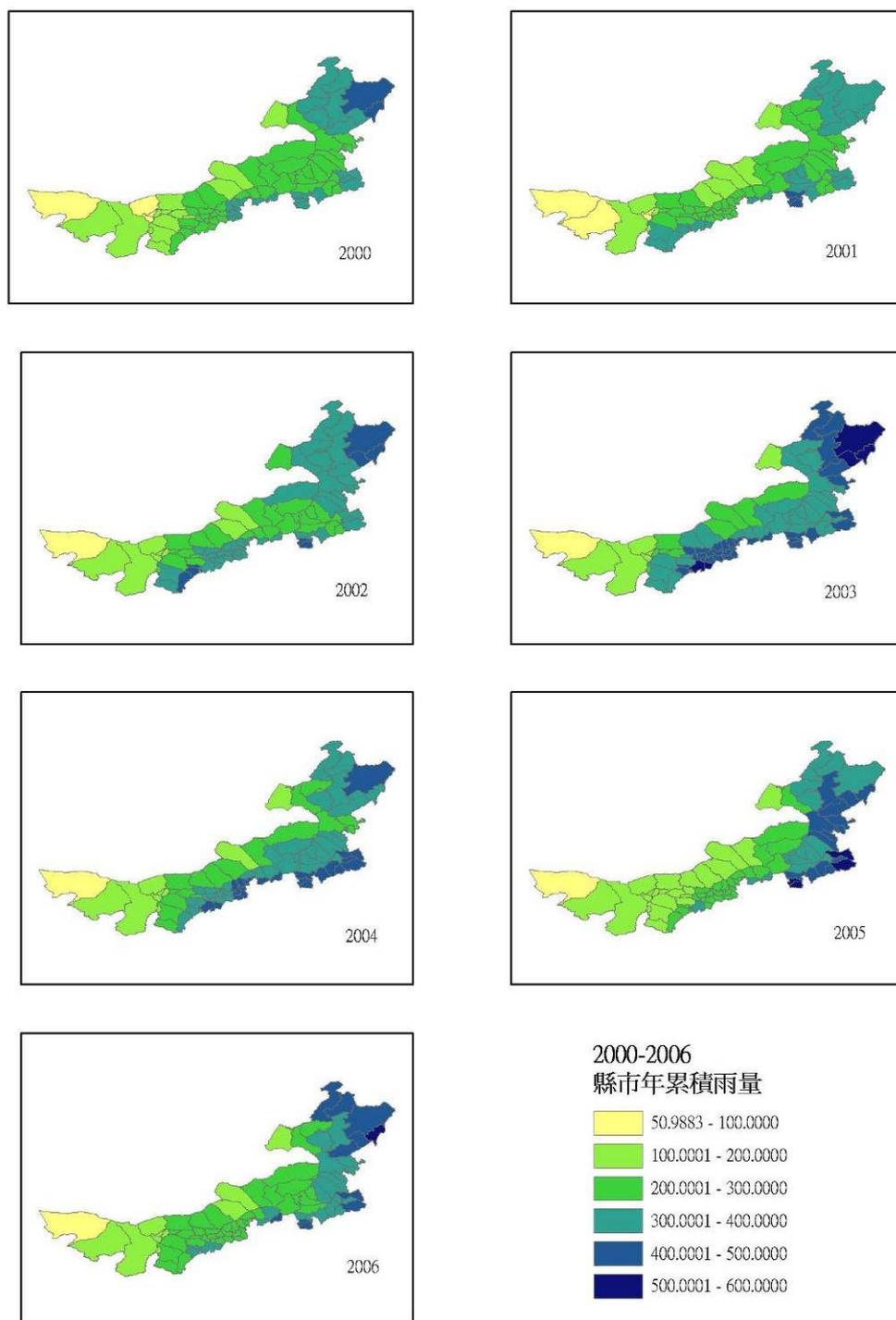


圖 4-5 縣市年累積雨量

二、人為因子資料

在許多文獻都有提到人為過度開發是土地退化的重要因素，在初步資料了解發現與草地植被生長有關的大牲畜包含除了騾、馬、牛、螺、駱駝等在研究期間有年年增加的趨勢，由 2000 年的 636.1 萬頭增加至 2006 年的 830.6 萬頭，七年間約增加 1.31 倍，；羊群數量更是驚人，由 2000 年的 3561.6 萬頭年年增加至 2006 年的 5584.9 萬頭，總數增加了 1.57 倍；由這些牲畜數量的增加情形來看來看，這樣的現象可能會對於草原敏感帶造成某種程度的環境壓力。

而耕地面積則大致由 2000 年的 7299970 公頃減少到 2002 年的 6503067 公頃，再逐年增加至 2006 年的 7381908 公頃，2006 年的最大值和 2002 年的最小值共相差 1.14 倍。有效灌溉面積相對耕地面積而言小得多，大約和耕地面積的數量比是 7：2，兩者不是先是 2002 年達到最小值之後，一路攀升到 2006 年的最大值，最大最小值相差了 1.24 倍。

大牲畜、耕地面積、有效灌溉面積三者資料似乎有個共同的趨勢就是：自 2000 年之後，到 2002 年數量會到達低點，然後一路攀升至 2006 年的最高點；而這樣的趨勢和先前章節觀察到的雨量變化以及 MSAVI 變化的高低起伏趨勢剛好相反；而羊群的總數是年年增加，趨勢一路向上、過程中並沒有減少的年度。

表 4-1 歷年大牲畜及羊群數量 (萬頭)

	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年
大牲畜	636.1	546.2	542.6	615.2	714.2	780.6	830.6
羊	3561.6	3616.2	3933.4	4587.8	5304.0	5392.1	5584.9

表 4-2 內蒙古歷年耕地面積統計 (公頃)

	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年
耕地面積	7299970	7061685	6503067	6767659	7108364	7187293	7381908
有效灌溉面積	2125457	2126472	2124343	2226079	2363523	2555421	2641584

另外我們把大牲畜、羊、耕種面積、有效灌溉面積等項目除以縣市的面積來觀察，可以把這項資料視為觀察空間上人為土地使用「強度」表現的一個指標，可獲得附錄三、四、五、六等資料，筆者並將之彙整整體資料繪製在圖表以及面量圖上觀察時間變化可以得到以下結果：

如圖 4-6 所示，大牲畜的平均值隨時間一路上揚，顯示各地畜養大牲畜的平均畜養強度的趨勢是上升的，最大值和最小值與平均值的差異非常大，顯示出各地的牲畜畜養狀況落差非常大；值得注意的是最大值之誇張變化，顯示出在某些地方正進行高密度的飼養，而且單位面積強度上升的很快，也許和中國推行圈牧的政策、或因應經濟發展的肉品需求有關。

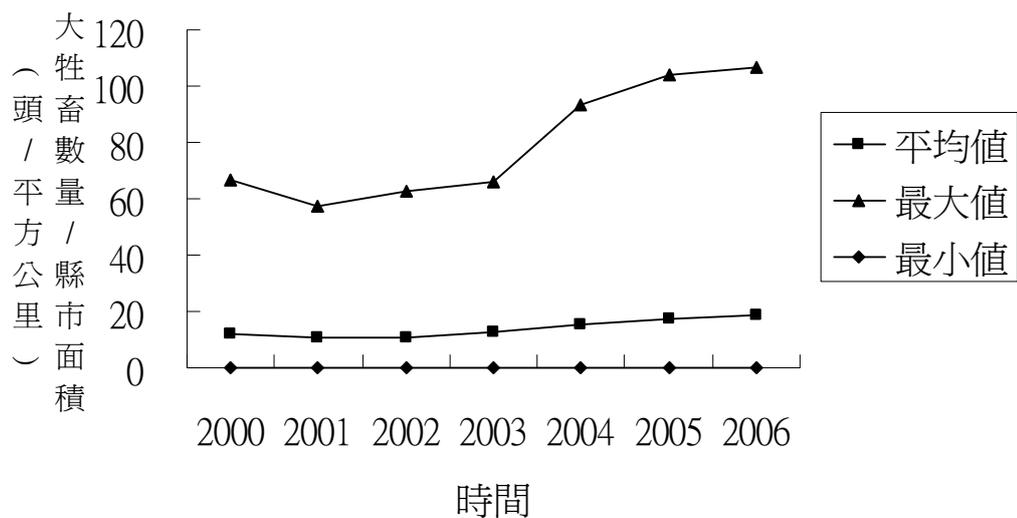


圖 4-6 歷年單位面積大牲畜數量時間變化

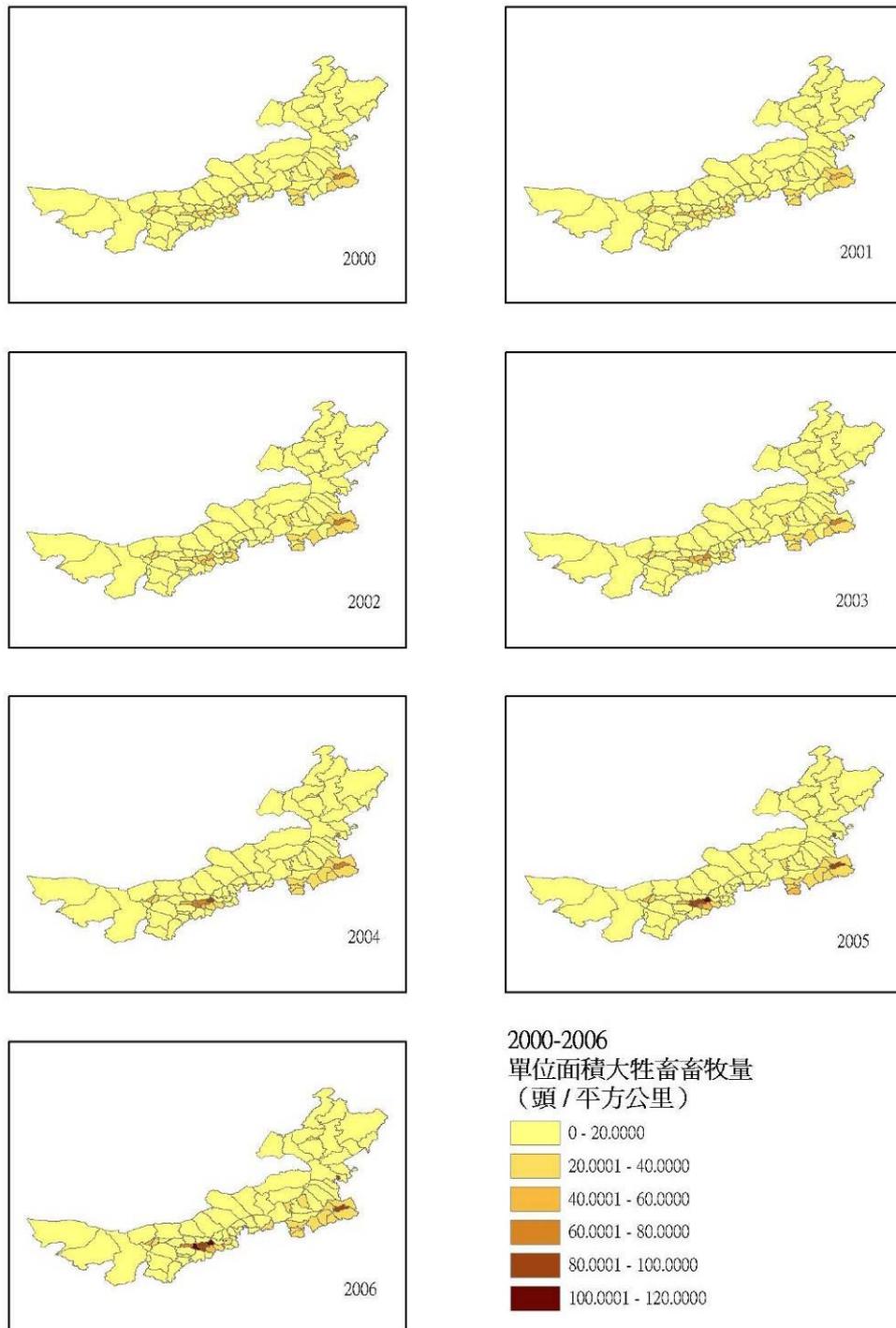


圖 4-7 歷年單位面積大牲畜分佈變化

由圖 4-7 亦可以發現，雖然整體的畜牧量有增加，但是按本研究的分級標準而言，在空間上並不是整體增加，增加的地區大多數分佈在

河套地區附近，特別是卓資縣、土默特左旗等單位面積的畜牧量別高，另外在內蒙古東南方敖漢旗附近亦是增加的地區。

而圖 4-8 為內蒙古歷年單位面積羊群數量的變化，在內蒙古單位面積羊群的數量較大牲畜的數量大了近十倍，而且數量年年增加，有些縣市甚至平均每平方公里畜養了八百多隻羊，而其最大值的成長趨勢和大牲畜相仿，在 2003 年以後有快速的近兩倍成長，顯示出這些空間單元在 2003 年以後畜養強度大大的增加。

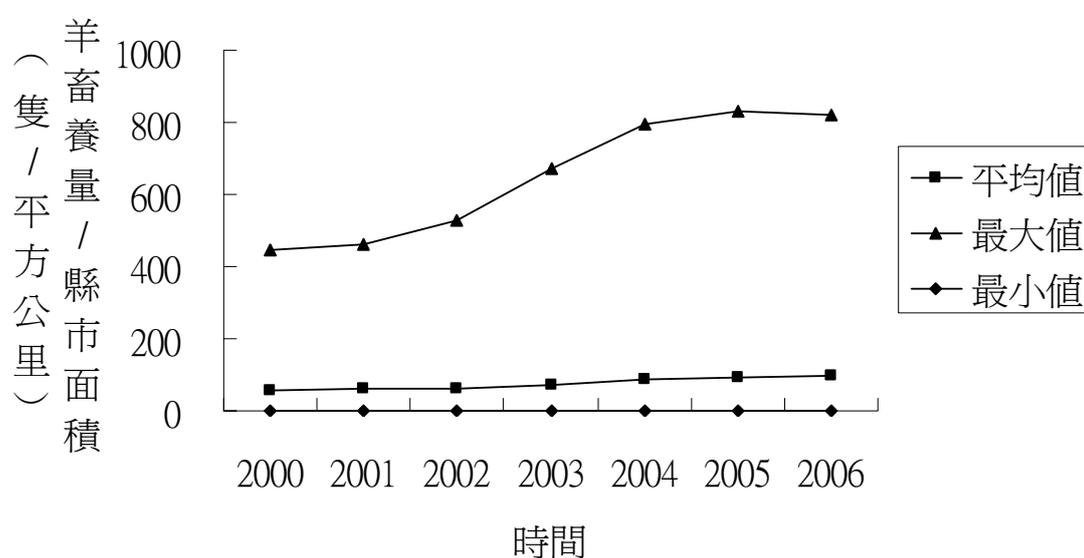


圖 4-8 內蒙古歷年單位面積羊群數量時間變化

由圖 4-9 可以觀察到羊群畜養強度的空間分佈，其中羊畜養強度較高的縣市都集中在內蒙中段的草原地帶；其中除了河套地區的畜養強度很高以外，自札賚特旗、科爾沁右翼前旗至巴林左旗、巴林右旗等一帶為畜養的中心，較大牲畜的畜養更偏北方。此觀察和前文第一節所觀察到的歷年 MSAVI 的變遷好發地點，在空間上大致有疊合的現象，也許羊的畜養和植被變化有其相關性，其數值驗證文後進一步探討。

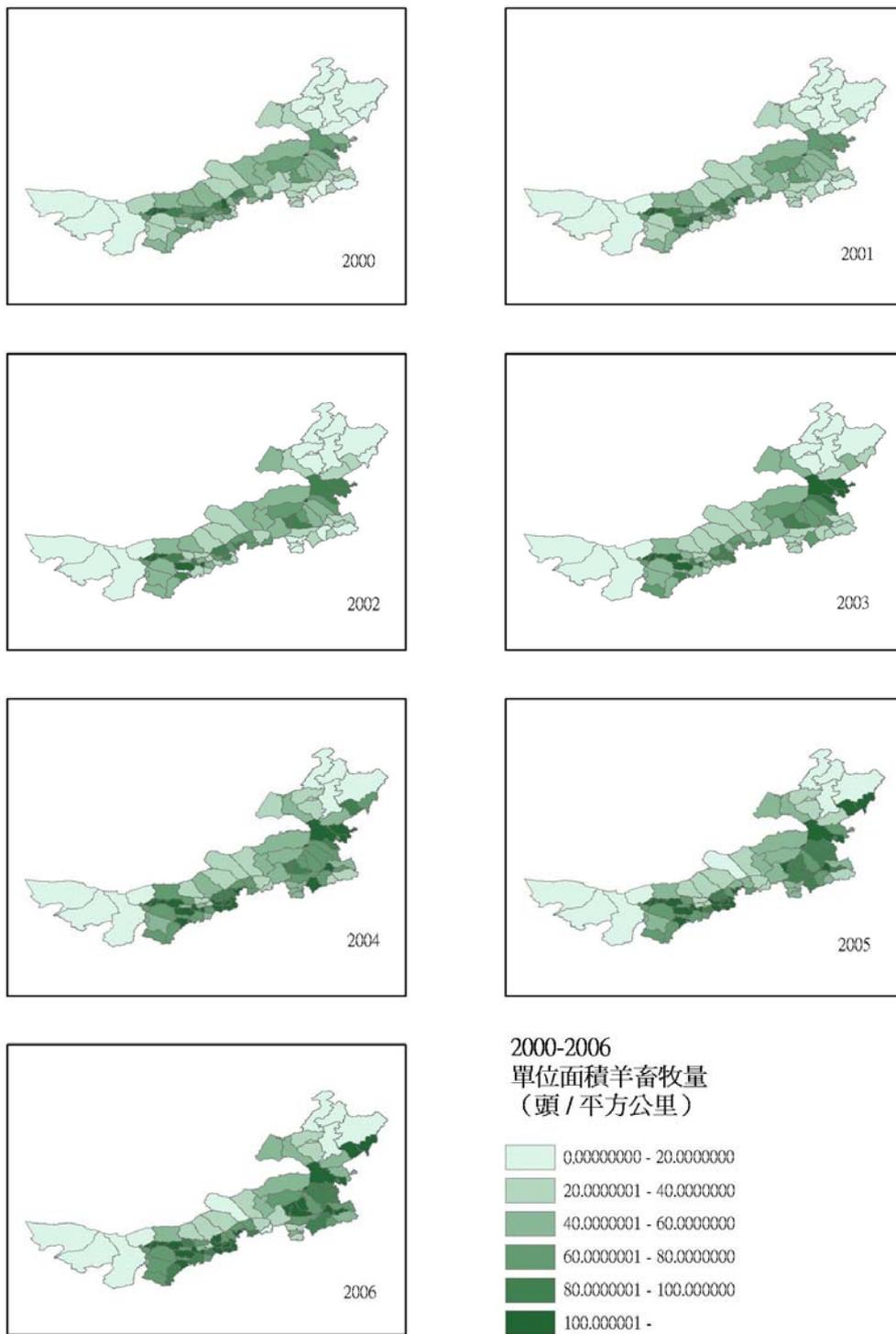


圖 4-9 歷年單位面積羊群分佈變化

而至於耕種面積和有效灌溉面積等因子如圖 4-10 及 4-11 所示，其平均值變動未如大牲畜因子般的變化明顯，顯示出農地的使用強度隨著時間軸的變動並不大，而我們比較關注的，這些因子雖然變動百分比不高，但對於地表植被生長的影響如何？是否有相關性？這些因子的變動是不是也會影響地表植被的生長情形？這些問題將於第四節繼續討論。

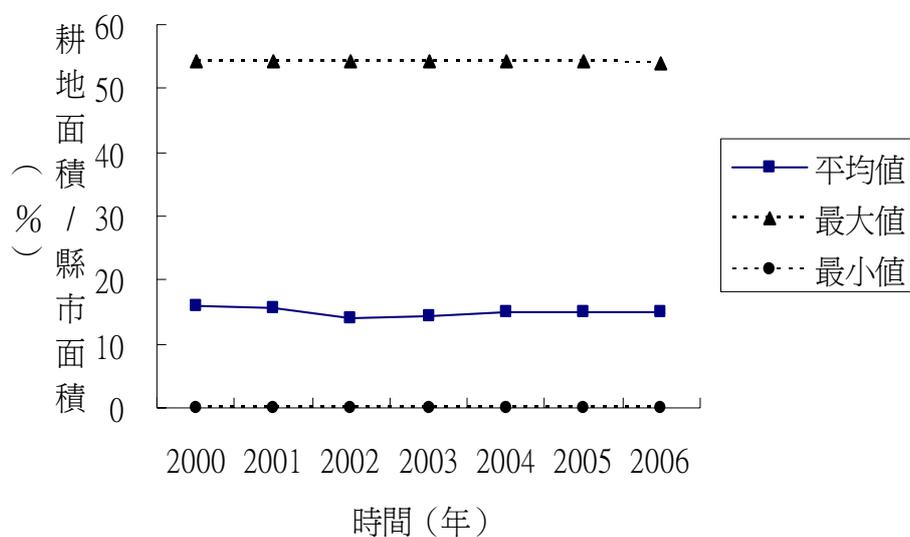


圖 4-10 歷年單位面積耕種農地時間變化

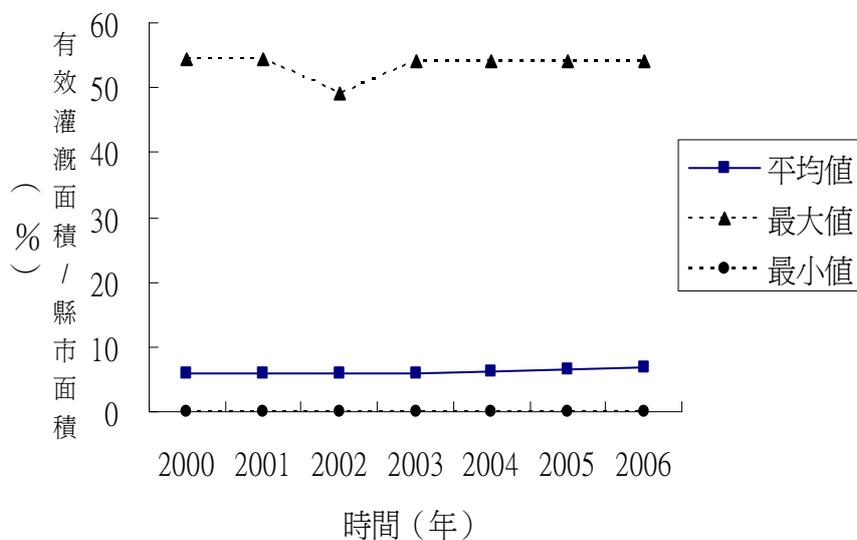


圖 4-11 歷年單位面積有效灌溉農田數量時間變化

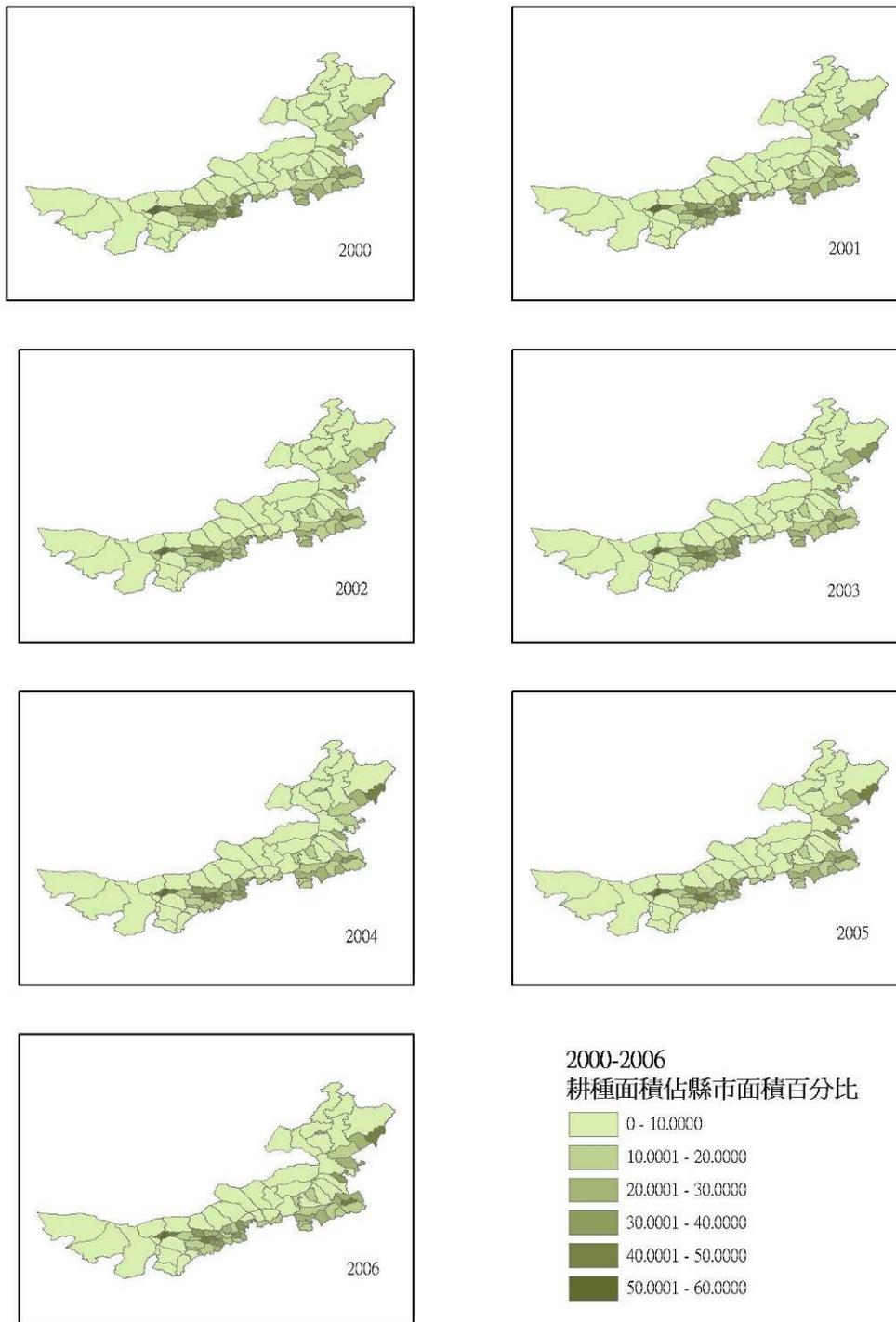


圖 4-12 歷年耕種面積佔縣市面積百分比變化

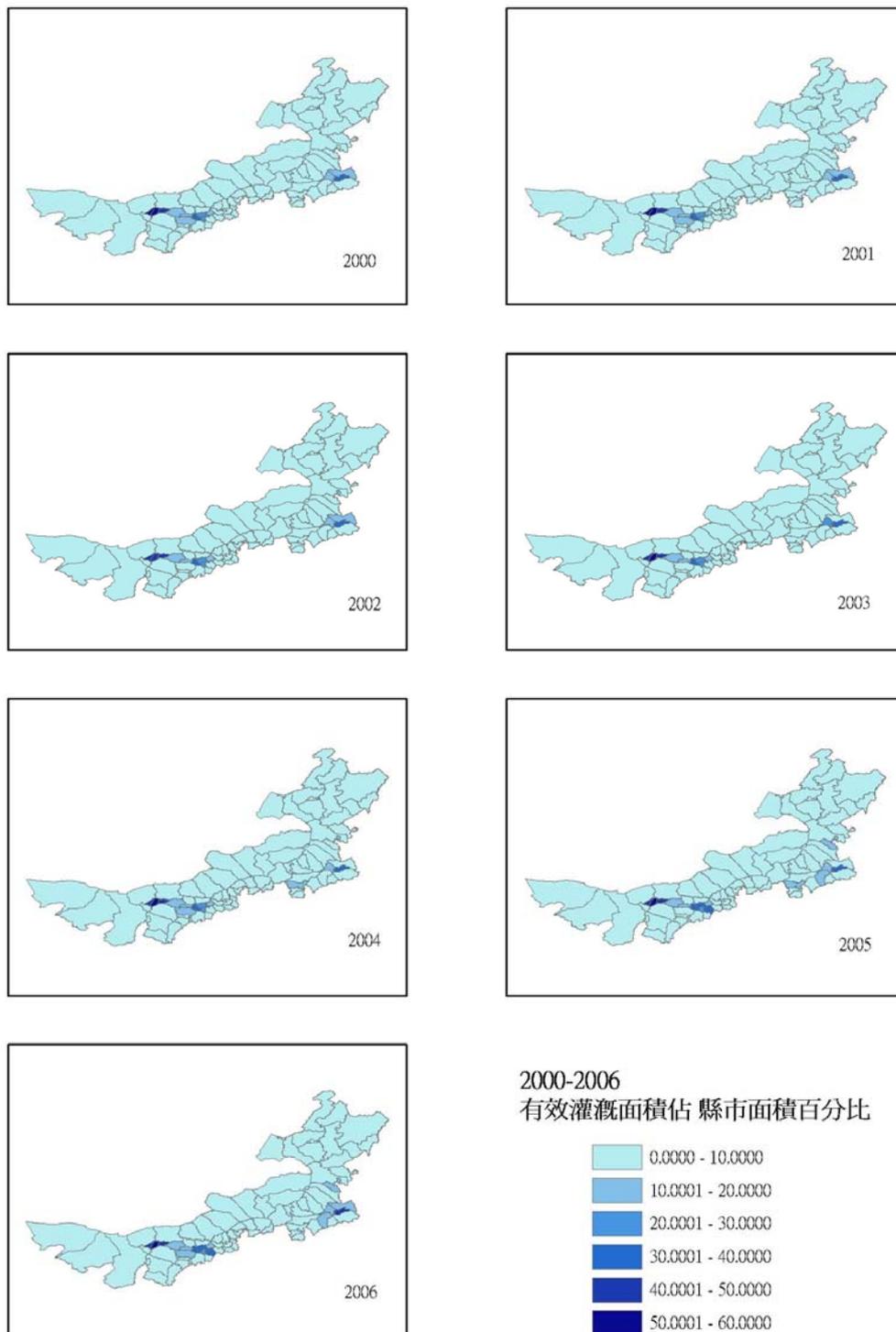


圖 4-13 歷年有效灌溉面積佔縣市面積百分比

如圖 4-12 所示，整體上來說耕種活動強度較高的部份與大牲畜的畜養狀況類似，都集中在河套地區以及東南方。耕種面積不僅總數變

化比較小，耕種面積之面量圖上的空間變化亦沒有明顯的改變，意即近年內蒙古地區並沒有明顯的、大面積的增加耕種的狀況。

而觀察圖 4-13 可得知，有效灌溉面積的分佈要比耕種比例更小、面積更少，與耕種面積相同的是亦多分佈在河套地區以及東南方，東方及東北方雖然雨量多，但是緯度高、高程大且溫度低故農田分佈不多；而就時間變遷而言空間上得變化亦不大，都在既有的分佈核心區域附近稍做變動。

三、小結

由以上資料觀察與分析可得知部份的研究區環境特性，在研究期間內年累積雨量與大牲畜、羊等畜養情形有較大的變動，而耕種面積與有效灌溉面積的時空變化量相對而言是比較小的。就年累積雨量的觀察，發現其時序上的變動與植被指數的時間變化有類似的行為，兩者一起攀升到 2003 年達到最高點後，再下滑至 2006 年時有概似於 2000 年的狀態。就人為因子的整體數量而言，本研究所觀察的大牲畜、耕種面積、有效灌溉面積等三個因子在時序上的變化與空間上的分佈都有類似的狀況：自 2000 年之後，到 2002 年數量會到達低點，然後一路攀升至 2006 年的最高點，時間變化的趨勢恰與 MSAVI 相反；空間上這些人為因子都是以西南方河套地區的臨河市以及東南方的通遼市為兩個重要的核心，尤其是河套地區無論是畜牧量或耕種的單位面積量都很大。羊與大牲畜兩者的畜養時間變化上，最大值線呈現同步的變化，配合因子的歷年空間分布變化圖觀察，顯示出畜養總數的增加並未明顯擴張畜養的區域，但在空間上的特定地點畜養強度有明顯的提昇現象，意味著畜牧行為在空間上的聚集與收斂集中發生在某些空間單元，限制了畜牧數量在空間上的擴散現象。而羊的畜養在空間分

布大致與 MSAVI 的歷年變動好發地區疊合，隱含著羊的畜牧分布影響 MSAVI 的空間變化，而其空間上因子間的相關性更待文後進一步討論研究。



第三節 迴歸分析

本研究利用重要的氣候因子-累積雨量，以及所蒐集之人為因子-大牲畜畜牧量、羊畜牧量、耕地面積與有效灌溉面積等資料，以內蒙古自治區內縣為空間單元與 MSAVI 進行多元線性迴歸分析，其分析結果如下，M 代表模式應變數 MSAVI，自變數有 F 為大牲畜資料、S 為羊資料、C 為耕種面積資料、I 為有效灌溉面積資料，而 P 為降雨資料，自變數與依變數後若有數字則代表年份，本研究之統計分析之軟體為 SPSS 13.0。

一、歷年迴歸分析

首先為了瞭解 2000-2006 年各因子整體的一般性表現，因此將所有歷年因子資料納入線性迴歸分析得到如下表 4-1 的結果，其中分析資料由於 2003 年植被指數表現特別高，視為異常值剔除暫時不參與分析。

表 4-3 迴歸模式參數檢定結果

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	.154	.019		8.297	.000
F	.000	.000	.046	1.149	.251
C	.001	.001	.080	1.747	.081
I	.002	.001	.109	1.980	.048
P	.001	.000	.729	23.265	.000
S	.000	.000	.094	2.337	.020

由上表得知，在本次分析中的未標準化迴歸模型為：

$$M = 0.154 + 0.000F + 0.001C + 0.002I + 0.001P + 0.000S + \varepsilon_i$$

而標準化的迴歸模型為：

$$M = 0.046F + 0.080C + 0.109I + 0.729P + 0.094S + \varepsilon_i$$

在此項分析中，未標準化的迴歸模型顯示出每項因子與依變項的關係都是正相關，而從已標準化的迴歸模型可以得知，P(雨量)為影響最大的重要因子，在本模型中對於植被指數的貢獻遠大於其他因子，其次具有灌溉系統功能的有效灌溉面積對植被指數的貢獻是居第二位；而羊和大牲畜的畜養因子雖然在模式中對植被指數貢獻偏低，但也都是正向的，意味著環境綠度越高的地方，越可以畜養更多的牲畜，在這個模式裡面看不到畜牧因子對環境較負面的破壞。

藉由這個模型我們可以得知整體歷年各因子對於植被指數的貢獻粗略概況，但不同年間資料一起進行迴歸分析可能會有資料獨立性問題，因此以下進行單年之迴歸分析。

二、單年迴歸分析

首先筆者將 2000-2006 年每一個年份的累積雨量、大牲畜畜牧量、羊畜牧量、耕地面積及有效灌溉面積等資料與 MSAVI 資料以縣市級為空間資料單元分別按年進行迴歸分析，獲得分析結果如下表 4-5、4-6、4-7、4-8、4-9、4-10、4-11 等：

表 4-4 2000 年迴歸分析

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	.007	.043		.156	.876
F2000	-.003	.001	-.185	-2.131	.036
C2000	-.001	.001	-.051	-.553	.582
I2000	.006	.002	.335	3.022	.003
P2000	.002	.000	.968	13.931	.000
S2000	.001	.000	.206	2.343	.022

表 4-5 2001 年迴歸分析

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.172	.055		3.134	.002
	F2001	.001	.002	.080	.640	.524
	C2001	.001	.002	.044	.342	.733
	I2001	.004	.003	.250	1.687	.095
	P2001	.001	.000	.633	7.231	.000
	S2001	.000	.000	-.072	-.663	.509

表 4-6 2002 年迴歸分析

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.074	.067		1.101	.274
	F2002	.003	.002	.225	1.810	.074
	C2002	.000	.002	-.017	-.115	.909
	I2002	.000	.003	.012	.070	.944
	P2002	.002	.000	.664	7.440	.000
	S2002	.000	.000	.171	1.401	.165

表 4-7 2003 年迴歸分析

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.518	.033		15.775	.000
	F2003	.001	.001	.184	1.253	.214
	C2003	-.002	.001	-.271	-1.677	.097
	I2003	.001	.002	.094	.449	.655
	P2003	.001	.000	.688	6.357	.000
	S2003	.000	.000	.240	1.547	.126

表 4-8 2004 年迴歸分析

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.163	.058		2.833	.006
	F2004	.001	.001	.113	.910	.366
	C2004	.002	.002	.152	1.124	.264
	I2004	-.001	.003	-.071	-.411	.682
	P2004	.001	.000	.628	7.029	.000
	S2004	.000	.000	.154	1.153	.252

表 4-9 2005 年迴歸分析

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.191	.032		6.018	.000
	F2005	.001	.001	.105	1.158	.250
	C2005	.001	.002	.057	.559	.578
	I2005	.000	.002	-.009	-.073	.942
	P2005	.001	.000	.820	12.960	.000
	S2005	.000	.000	.220	2.287	.025

表 4-10 2006 年迴歸分析

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.090	.040		2.230	.029
	F2006	.001	.001	.145	1.559	.123
	C2006	-.001	.001	-.050	-.453	.652
	I2006	9.42E-005	.002	.006	.048	.961
	P2006	.002	.000	.830	12.380	.000
	S2006	.000	.000	.288	2.924	.004

由上表得知，歷年的未標準化迴歸模型為：

$$M_{2000} = 0.007 - 0.003F - 0.001C + 0.006I + 0.002P + 0.001S + \varepsilon_i$$

$$M_{2001} = 0.172 + 0.001F + 0.001C + 0.004I + 0.001P - 0.000S + \varepsilon_i$$

$$M_{2002} = 0.074 + 0.003F - 0.000C + 0.000I + 0.002P + 0.000S + \varepsilon_i$$

$$M_{2003} = 0.518 + 0.001F - 0.002C + 0.001I + 0.001P + 0.000S + \varepsilon_i$$

$$M_{2004} = 0.163 + 0.001F + 0.002C - 0.001I + 0.001P + 0.000S + \varepsilon_i$$

$$M_{2005} = 0.191 + 0.001F + 0.001C - 0.000I + 0.001P + 0.000S + \varepsilon_i$$

$$M_{2006} = 0.090 + 0.001F - 0.001C + 0.0000942I + 0.002P + 0.000S + \varepsilon_i$$

其中，2000、2001、2002、2005、2006 年的耕種面積因子以及 2002、2003、2004、2005、2006 年的有效灌溉面積因子並未達顯著水準。由

以上歷年未標準化迴歸模型可得知，歷年各因子對於依變項植被指數的關係不見得都是正相關，每年都有一到二項因子與依變項表現出負相關，唯一每年都與植被指數有正向關係的就只有降雨因子，其中耕地面積因子與依變項的負相關在七年之中出現了四次，也許和許多旱田耕地稀疏、或耕種引起的土地退化有關。

而歷年的標準化的迴歸模型為：

$$M_{2000} = -0.185F - 0.051C + 0.335I + 0.968P + 0.206S + \varepsilon_i$$

$$M_{2001} = 0.080F + 0.044C + 0.250I + 0.633P - 0.072S + \varepsilon_i$$

$$M_{2002} = 0.225F - 0.017C + 0.012I + 0.664P + 0.171S + \varepsilon_i$$

$$M_{2003} = 0.184F - 0.271C + 0.094I + 0.688P + 0.240S + \varepsilon_i$$

$$M_{2004} = 0.113F + 0.152C - 0.071I + 0.628P + 0.154S + \varepsilon_i$$

$$M_{2005} = 0.105F + 0.057C - 0.009I + 0.820P + 0.220S + \varepsilon_i$$

$$M_{2006} = 0.145F - 0.050C + 0.006I + 0.830P + 0.288S + \varepsilon_i$$

由以上標準化迴歸模型得知，降雨因子一直是最重要的、對於植被指數貢獻最大的因子，在 2000 年 Beta 值甚至高達 0.968，為歷年之最大值。

在狀況最特殊的 2003 年中，普遍 MSAVI 上升，但累積雨量因子並沒有特別高，在 2003 年前後的模型因子權數相對來說是偏低的，意味著 2003 年前後雨量增加雖然造成普遍的植被生長，但其變化量並未和累積雨量呈現高度相關。就第二節及第三節的討論中亦指出，MSAVI 在 2003 的表現較一般年的整體平均值高出 15.79%，但雨量卻是高出 23.46%，顯示出短年期的雨量分佈、時序變化雖然可以帶動 MSAVI

的改變，但高過某個雨量時並沒有辦法即時帶動 MSAVI 的等比例提升變化。

在一般認知中羊和大牲畜的畜養可能會對土地造成破壞，在歷年迴歸模型中除了 2000 年大牲畜因子及 2001 年羊因子以外，其他年份並無法顯著說明畜養因子對植被指數沒有貢獻。畜牧因子的模型權數也說明了，畜養活動越集中的地方地表並不會呈現植被越稀少，但反過來說，也許太乾燥的地方並不適合畜牧，所以畜牧亦集中在地表綠度高的地方，也可能是因為政策上在畜牧量比較大的地方施行圈牧有助於牧地外圍植被的生長，因此大範圍來看單位面積蓄牧量強度越高的地方植被生長狀況卻越好。

三、變遷迴歸分析

本研究接著將參與分析之各項數值資料取首年與末年進行相減，以 SPSS 進行線性迴歸分析欲觀察各項因子的變動之間與依變項植被指數之關聯性，其中獲得表 4-12 之分析結果：

表 4-11 2000-2006 年變遷數值迴歸分析

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.009	.006		1.353	.180
	F0-6	.000	.000	.156	1.558	.123
	C0-6	-.004	.001	-.374	-3.546	.001
	I0-6	.002	.001	.160	1.610	.111
	P0-6	.000	.000	.350	3.262	.002
	S0-6	-3.38E-005	.000	-.054	-.554	.581

如表 4-12 所示為 2000 年與 2006 年各因子差值之迴歸分析，由表中可得知其未標準化迴歸模型為：

$$M_{0-6} = 0.009 + 0.000F - 0.004C + 0.002I + 0.000P - 0.0000338S + \varepsilon_i$$

$$M_{0-6} = 0.156F - 0.374C + 0.160I + 0.350P - 0.054S + \varepsilon_i$$

由表中可以發現在所有因子當中，仍舊是以累積雨量最高，但並未如預期般的具有很高的權數，也許和植生到達雨量閾值之後的影像線性特徵不同的影像飽和性質有關，或者是植生到達某個雨量閾值之後的生長特性改變；若結合本節上一段分析結果會發現，累積雨量雖然和 MSAVI 在「空間分佈」上有中高度相關，但是變「時間變遷」上卻只有輕度相關。

在模型中耕地面積和羊的畜養是呈現負相關的狀況，顯示出植被指數增加的地區，耕地面積和羊的畜養並沒有貢獻；亦即在研究期間內，耕地增加越多的地方，植被指數反而越下降，值得有關當局的注意，而羊的畜養因子亦是負相關，雖然在本迴歸模型中並未達顯著水準，但亦值得觀察注意。



第四節 MSAVI 與雨量變遷分析

由以上分析可得知，雨量確實是一個影響地表沙漠化的重要因子，因此本節根據 MSAVI 及雨量資料的變遷特性，MSAVI 增加、不變、減少，以及雨量增加、不變、減少兩個因子各三種狀況將空間單元區分為九個類型；其中所謂的「不變」本研究以 $\pm 10\%$ 以內的數值變化作為分類之標準：

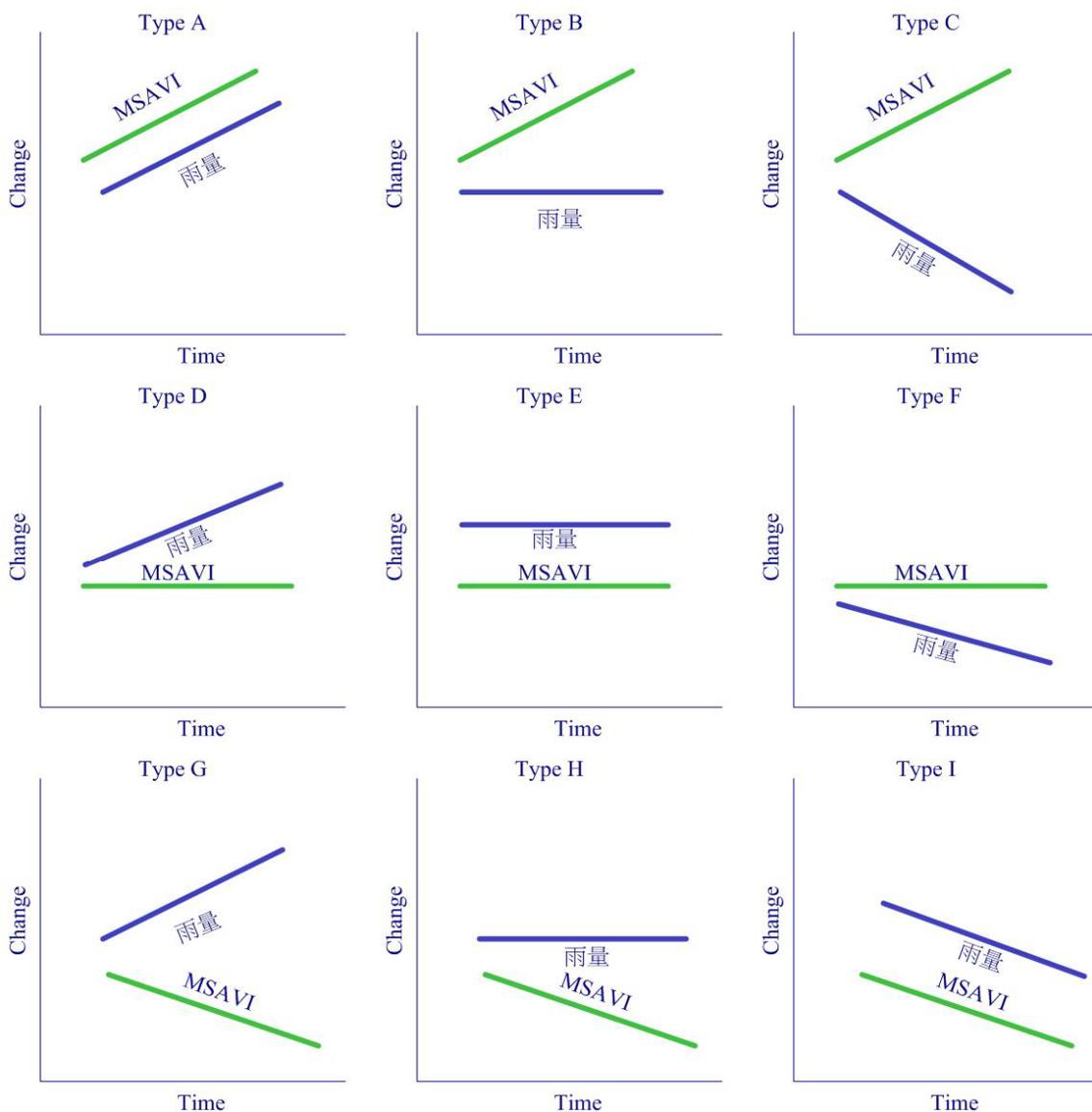


圖 4-14 研究區空間單元類型

由前文章節中分析可得知，雨量因子與 MSAVI 的表現與分布呈現較高的相關性，因此理論上來說，Type A、Type E、Type I 呈現雨量與 MSAVI 同向變動的空間單元存在數量應該不少。而若由空間單元的因子屬性看來，我們比較關心的空間單元應當是 MSAVI 下降的區域，以及 MSAVI 沒有和雨量同步變化的區域。

在這項變遷分析結果當中，Type C、Type G、Type H 等空間單元類型並沒有出現；Type C 及 Type G 是極端的類型，若出現則代表 MSAVI 的變動與雨量因子完全反向，亦代表該空間單元的特性強烈悖離迴歸分析的結果；Type H 則意味著雨量沒有變動的狀況下，MSAVI 卻下降，亦即該地區的非雨量因子嚴重影響地表植生的生長。而其中出現的空間單元類型，Type A、Type E、Type I 出現的次數並沒有想像中的高，出現次數最高的 Type D 意味著有很多空間單元雨量有明顯增加，但植生指數卻沒有大量的變動，再這一點與章節的分析有著共同的類似結果，在研究區內雨量的分佈與 MSAVI 的分佈呈現高度相關，但是變遷卻只是中低相關，顯示出雨量雖然有些為帶動植生成長，究竟是超過某個閾值以後植生生長量與植被指數的對應曲線為非

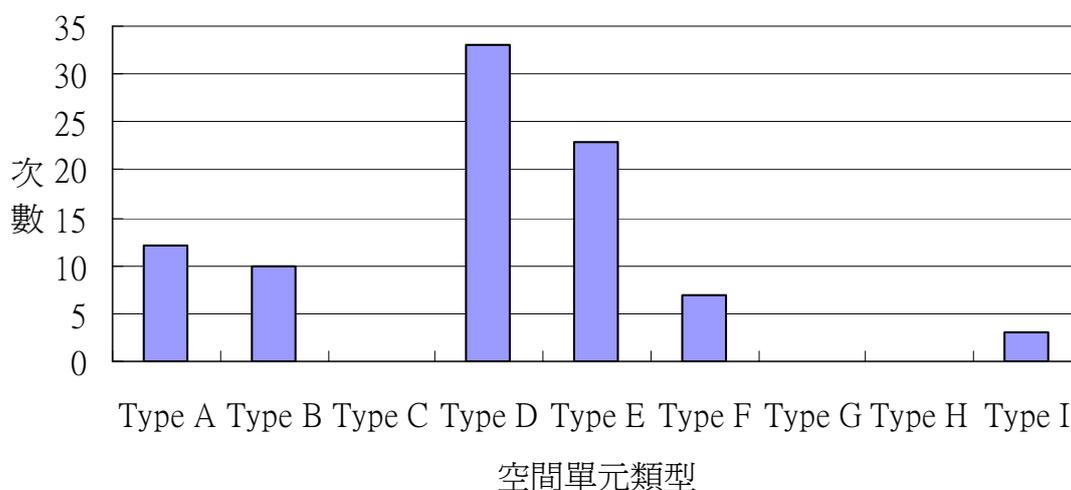


圖 4-15 空間單元類型次數分配長條圖

線性呢？抑或是超過某個雨量閾值之後的植生生長特性改變？這個原因有待進一步詳細的研究。而 TYPE B 和 Type F 較特別；Type B 代表著雨量增加不明顯，但 MSAVI 明顯增加，Type F 代表雨量下降，但是 MSAVI 卻沒有明顯改變，發生原因也許和農作行為或灌溉系統有關，需要更細緻的資料進一步查證。

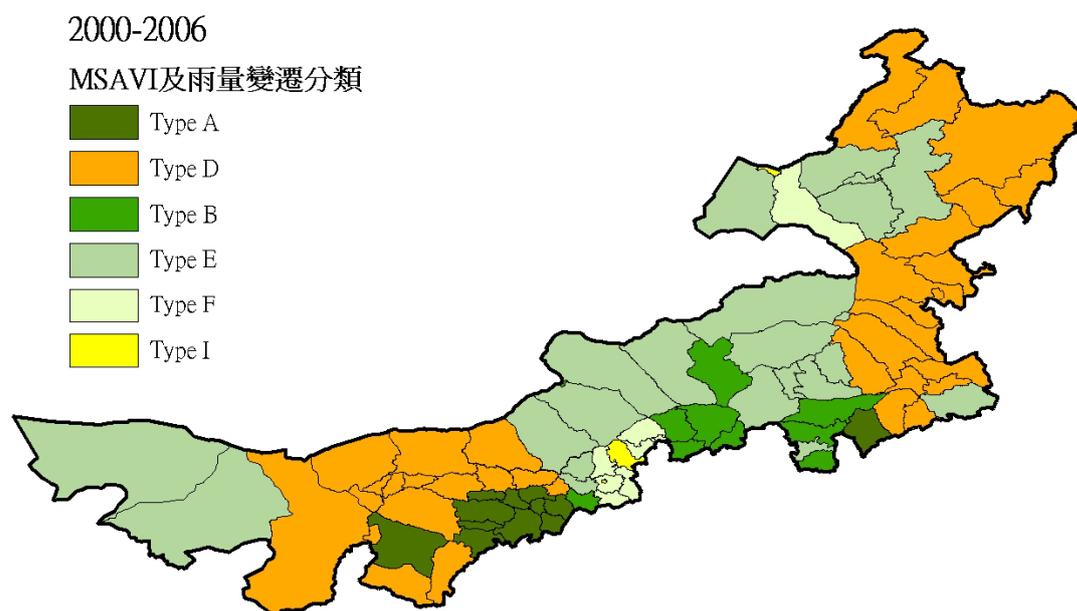


圖 4-16 MSAVI 及雨量因子變遷空間單元分類圖

由圖 4-16 可以觀察這六類空間單元的分佈，其中最特殊的就是 Type D，此型空間單元發生的次數最高，而且意味著雖然雨量有大幅增加，但是 MSAVI 卻沒有大幅提昇，說明著這些地區有非雨量的因子干擾著地表植生的生長，Type D 在空間上的分佈分為兩大區塊，有一部分分佈在東部的高植被覆蓋區及密集植被覆蓋區，而另一個區塊卻是分佈在稀疏植被覆蓋區；在東部地區可以解釋成森林分佈區在雨量有所變動時植被指數的變遷比較不明顯，甚至森林的水分涵養作用造成雨水無法完全短時間內作用在植被的生長上，而西部的 Type D 群聚區卻隱含著沙漠外圍稀疏植被覆蓋區內雨水

對植物沒有正向的生長有作用，也許存在過度墾伐或放牧等超過環境覆載力土地利用行為存在，或是降雨型態使水土不易保持易於流失；發生此現象若不是需要管制農牧行為，就是需要治沙計畫，是最需要關注保育、悉心土地管理的區域。



第五章 結論與未來研究

第一節 結論

本研究材料取自美國太空總署 Terra 衛星所承載中尺度成像光譜儀影像，藉由地表的綠度變遷以觀察中國內蒙古自治區沙漠化的變化趨勢。透過 GIS 方法整合、運算衛星影像產出植被指數分佈，產出具代表性的歷年影像，藉以觀察地表沙漠化現象之分佈與變動，並整合氣候因子與人為因子探求、討論現象發生之原因。

在藉由文獻回顧的方法考證國外及研究區在地實證研究，選擇了 MSAVI 植被指數作為觀察地表植被生長狀況的依據，並且利用最大值合成法去除雲霧與大氣之干擾，突顯與地表一般背景值表現的平均之差異，以利用最大覆蓋及最旺盛植生的狀況來推算一年之中沙漠化現象的最保守估計之空間分佈。

由歷年的 MSAVI 分佈圖觀察發現沙漠化並非一不可逆之退化過程，隨著時間年度推進，其邊界在年間會有大幅度的變動，甚至僅在一年之間降雨增加情形下原本的低裸露地會大面積出現明顯植被，而隔年雨量減少便退化至原來的狀態。各因子的觀察與迴歸分析結果如下：

1. **植被分布不穩定**：在研究期間內並未發現明顯的「退化」，但有發現很明顯的不穩定「波動」情形。MSAVI 數值大致在空間上呈現東高西低的狀況，由最東邊的密集植被覆蓋區至最西邊的弱植被覆蓋區，本區可說是地表植被變化的過渡帶，而年間強度較高的變動多發生在本研究採用定義之低、中、

高植被覆蓋區，可說是一般比較容易發生地表變遷的土地敏感地帶。

2. **因子具空間集中趨勢**：本研究採用累積降水量、單位面積耕種田地、單位面積有效灌溉田地、單位面積大牲畜畜牧量、單位面積羊畜牧量等進行迴歸分析研究。就研究期間變化觀察而言，雨量因子的變動幅度比人為因子的變動程度要還要大；歷年累積雨量東多西少，在 2003 年時為大量增加的高峰期，而空間上歷年的大牲畜資料和耕地面積、有效灌溉面積顯示農、牧業在分佈上有空間集中趨勢，其分佈都是以西南方河套地區的臨河市以及東南方的通遼市為兩個重要的核心向外分佈，尤其是河套地區，無論是畜牧量或耕種的單位面積土利用強度都很高；而羊畜養強度較高的縣市都集中在內蒙中段的草原地帶，與 MSAVI 容易發生變遷的區域大致在空間上相疊合的。
3. **雨量因子最具影響**：在本研究歷年迴歸模型中依變項 MSAVI 與累積降水量有正向的、顯著的最大貢獻，而與單位面積羊、大牲畜的畜養呈現權數較小的正向貢獻。
4. **雨量波動較植被指數大**：依據 MSAVI 影像發現其中 2003 年地表綠度大幅變動，累積雨量亦大幅增加、幅度亦較強，但在 2003 年前後雨量因子模型權數相對是較低的狀態，顯示出雨量影響在高降雨量時影響較小。累積雨量雖然和 MSAVI 在「空間分佈」上有高度相關，但是變「時間變遷」上卻只有輕度相關，顯示出雨量對於 MSAVI 雖然是重要的影響因子，但是雨量波動較 MSAVI 的波動為大，也許和植生的生長

特性，當到達雨量閾值之後的影像線性特徵不同有關。

5. **濾訂需治理之空間單元：**研究最後利用 MSAVI 與雨量資料的變化特性篩選出降雨量增加但地表植被卻未同向增加之地區，該篩選區域坐落於沙漠外圍的稀疏植被覆蓋區，顯示出該地區植被復育不易，為需要關注、施行治沙保育計畫之處。

因此本研究以較大之空間尺度、整合各項自然、人文因子對植被指數之間的相互影響，並利用資料變遷之特性找出需要治沙、保育的區塊，值得相關單位關注。

雖然本研究顯示對短年期的沙漠化現象而言，氣候才是主要的影響地表植被生長的因子，不僅相關程度高，其變動性亦較大，因此造成整體地表綠度不斷隨著時間推進在空間上甩動，而短期內人類的耕種、畜牧影響是相對有限的，不僅變動相對較小，相關程度亦較低；但並不代表人類可以恣意開發妄圖等待氣候循環協助環境自行回復原貌，反而應當用更審慎的態度、更嚴謹的規格限制環境的開發，尊重大自然環境的承載力，以防止土地開發對於環境緩慢的啃蝕而不自覺。

第二節 未來研究

本研究企圖整合多項自然以及人爲因子一起討論，藉由因子間的相關分析來整合討論各種因子的相互影響。在資料取得方面爲觀察大範圍地表而採取衛星影像轉換植被指數的觀測方式，作爲觀測地表土地是否退化之依據；並採用雨量影像與統計年鑑資料進行相關分析，在分析上並整合空間的觀察與時間的變遷。依據筆者在研究過程中所獲得的經驗發現有幾許需要改進的地方：

1. 植被指數的採用雖根據科學文獻而選取號稱可有效消除土壤干擾的 MSAVI，但筆者未至現地驗證進行實證的實驗證明植被指數的有效性究竟可以到達何種程度。而採用的最大值影像合成法雖然有其優點，但有部份數值高估的事實，或許可採用其他影像合成方式試做並加以比較。
2. NDVI 的採用在現今許多環境研究被廣爲採用，或許後續研究中可以將 NDVI 資料納入比較，發現其與 MSAVI 之異同與優缺點，亦可和其他地區研究接軌比較。
3. 筆者所蒐集到的雨量資料對研究分析空間單元而言，其影像單元之空間解析度過小，或許後續研究者能找到空間解析度更高的資料，研究分析結果可能會有更好的結果。
4. 在內蒙古中段草原地區是植被指數容易發生變遷的地區，亦是羊畜養量較大的地方，在後續研究應該可以針對這個地區的空間聚焦，進行更細緻化的研究。
5. 由於遷就資料品質與資料取得的原因，時、空解析度較高的

影像不得已被概括化，後續研究理應可以針對特定區域、特定時間將較高時空解析度的影像進行分析或描述。



參考文獻

中文文獻

王心源、郭華東、王長林、劉浩 (2001) 額濟納旗綠洲生態環境的遙感動態監測分析，水土保持通報，21 (1):60-62。

王保進 (2006) 英文視窗版 SPSS 與行為科學研究，第三版，台北：心理出版社。

中國氣象年鑑編輯部 (2007) 中國氣象年鑑，2007 年版，北京：氣象出版社。

內蒙古自治區統計局 (2007) 內蒙古統計年鑑，2000-2007 年版，北京：中國統計出版社。

朱震達 (1994) 中國荒漠化問題研究的現狀與展望，地理學報，49:650-659。

李華東與延清 (1999) SPOT 衛星影像的判讀與識別，裝備指揮技術學院學報，10 (3):41-45。

田慶久與閻祥軍 (1998) 植被指數研究進展，地球科學進展，13 (4):327-333。

孟鑫、李立華、孟祥彬 (2004) 荒漠化、沙漠化及沙塵暴的危害及治理，林業科技，29:22-23。

林孟龍 (2004) 以景觀層級界定生物多樣性保育範圍—中尺度資源衛星 MODIS 影像的應用，國立台灣大學地理環境資源學研究所博士論文。

- 金曉媚 (2005) 黑河流域天然植被的面積變化研究，地學前緣，
12:166-169。
- 邱皓政 (2005) 量化研究法 (二)：統計原理與分析技術，修訂版，台
北：雙葉書廊。
- 徐逸祥 (2006) 遙測影像之雲霧偵測及干擾去除，國立臺灣大學地理環
境資源研究所碩士論文。
- 楊濤與張建明 (2006) 基於 NDVI 數據的寧夏地區植被覆蓋變化研
究，中國科技論文在線，中圖分類號 K903
- 康相武、吳紹洪、楊勤業、夏富強、馬欣、劉自強與楊佩國 (2005) 區
域沙漠化程度評價研究進展、問題及分析，乾旱區地理，
28:330-335。
- 董得紅 (1996) 大比例尺 TM 衛星影像圖在全省沙漠化土地普查與監
測中的應用，青海環境，6 (3) :118-120。
- 裘善文 (2004) 中國東北平原西部沙漠化現狀、成因及其治理途徑研
究，中國沙漠，24:124-128。

英文文獻

- Barbosa, H.A., Huetea, A.R. and Baethgen, W.E. (2006) A 20-year study of NDVI variability over the Northeast Region of Brazil, *Journal of Arid Environments*, 67: 288-307.
- Baugh, W.M. and Groeneveld, D.P. (2006) Broadband vegetation index performance evaluated for a low-cover, *International Journal of Remote sensing*, 27 (21): 4715-4730
- Cihlar, J. and Howarth, J. (1994) Detection and removal of cloud contamination from AVHRR composite images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 32: 583-589.
- Dall'Olmo, G. and Karnieli, A. (2002) Monitoring phenological cycle of desert ecosystems using NDVI and LST data derived from NOAA-AVHRR imagery, *International Journal of Remote sensing*, 23 (19): 4055-4071.
- Evans, J. and Greerken, R. (2004) Discrimination between climate and human-induced dryland degradation, *Journal of Arid Environments*, 57 (4): 535-554.
- Franklin, K.A., Lyons, K., Nagler, P.L. Lampkin, D., Glenn, E.P., Molina-Freaner, F., Markow, T. and Huete, A.R. (2006) Buffelgrass (*Pennisetum ciliare*) land conversion and productivity in plains Sonora, Mexico, *Biological conservation*, 127 (1): 62-71.
- Geerken, R. and Ilaiwi, M. (2004) Assessment of rangeland degradation and development of a strategy for rehabilitation, *International*

Journal of Remote sensing, 90 (4): 490-504.

Herrman, S.M., Anyamba, A. and Tucker, C.J. (2005) Recent trends in vegetation dynamics in African Sahel and their relationship to climate, *Global Environment Change – Human and Policy Dimensions*, 15 (4): 394-404.

Hountondji, Y.C., Sokpon, N. and Ozer, P. (2006) Analysis of the vegetation trends using low resolution remote sensing data in Burkina Faso (1982-1999) for the monitoring of desertification, *International Journal of Remote sensing*, 27 (5-6): 871-884.

Huete, A.R., Hua, G., QI, J., Chehbouni, A. and Van Leeuwen, W.J.D. (1992) Normalization of multidirectional red and NIR reflectance with the SAVI, *Remote Sensing of Environment*, 41: 143–154.

Koller, M. and Upadhyaya, S.K. (2001) Relationship between a Soil Adjusted Vegetation Index and processing tomato yield, *2001 Annual International Meeting*, Sacramento:ASAE

Li, S.Y., Li, X.B. and Ying G. (2007) Vegetation indexes-biomass models for typical semi-arid steppe - A case study for xilinhot in northern China, *Zhiwu Shengtai Xuebao*, 31 (1): 23-31

Lim, C.K. (2003) *Vegetation dynamics using AVHRR/NDVI: regional climate, co2 fertilization and crop yield relations*, Ph.D. dissertation, George Mason University, Fairfax, Virginia.

Lin, M.L., Chu, C.M., Shih, Y.J., Wang, Q.B., Chen, G.W., Wang, S., Tao, Y.H. and Lee, Y.T. (2006) Assessment and monitoring of

desertification using satellite imagery of MODIS in east Asia,
*Proceedings of SPIE - The International Society for Optical
Engineering*, 6411 (641123): 1-9.

Lind, M. and Fensholt, R. (1999) The spatio-temporal relationship
between rainfall and vegetation development in Burkina Faso,
Danish Journal of Geography, Special Issue, 2: 43–55.

Liu, Z.Y., Huang, J.F. and Wu, X.H. (2007) Comparison of vegetation
indices and red-edge parameters for estimating grassland cover from
canopy reflectance data, *Journal of integrative plant biology*, 49 (3):
299-306

Liu, X.D., Yin, Z.Y., Zhang, X.Y. and Yang, X.C. (2004) analyses of the
spring dust storm frequency of northern China in relation to
antecedent and concurrent wind, precipitation, vegetation, and soil
moisture condition, *Journal of Geophysical Research – Atmospheres*,
109 (D16): 16.

Lu, D., Zuang, W.X. and Li, H.Z. (2005) Mesoscale characteristics of dust
storms and mineral dust aerosol's spectral optical depth over
Northern China, *Proceedings of SPIE - The International Society for
Optical Engineering*, 5832 (1): 172-181

Richard, J.A. (1993) *Remote sensing digital image analysis : an
introduction*, New York : Springer-Verlag.

Senay, G.B. and Elliott, R.L. (2000) Combining AVHRR-NDVI and
landuse data to describe temporal and spatial dynamics of
vegetation, *Forest Ecology and Management*, 128: 83-91.

- Symeonakis, E. and Drake, N. (2004) Monitoring desertification and land degradation over sub-Saharan Africa, *International Journal of Remote sensing*, 25 (3): 573-592.
- Wang, H., Li, X.B., Li, X., Ying, G. and Fu, N. (2007) The variability of vegetation growing sea son in the northern China based on NOAA NDVI and MSAVI from 1982 to 1999, *Acta Ecologica S in ica*, 27 (2) : 0504-0515.
- Yu, F., Price, K.P., Ellis, J., Feddema, J.J. and Shi, P. (2004) Interannual variations of the grassland boundaries bordering the eastern edges of the Gobi Desert in central Asia, *International Journal of Remote sensing*, 25 (2): 327-346.
- Zha, Y. and Gao, J. (1997) Characteristics of desertification and its rehabilitation in China, *Journal of Arid Environment*, 37: 419-432.
- Zhang, J.Y., Dong, W.J. andFu, C.B. (2005) Impact of land surface degradation in northern China and southern Mongolia on regional climate, *Chinese Science Bulletin*, 50 (1): 75-81

附錄

- 附錄 一 內蒙古自治區各縣市 MSAVI 平均值
- 附錄 二 內蒙古自治區各縣市單位面積累積年雨量表
- 附錄 三 內蒙古自治區各縣市單位面積大牲畜飼養數量
- 附錄 四 內蒙古自治區各縣市單位面羊畜養數量
- 附錄 五 內蒙古自治區各縣市單位面積耕種農地
- 附錄 六 內蒙古自治區各縣市單位面積有效灌溉農地

附錄 七 內蒙古自治區各縣市 MSAVI 平均值

縣市名稱	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年
呼和浩特市	0.6675	0.6302	0.7445	0.7809	0.7664	0.7336	0.7087
市轄區							
土默特左旗	0.6402	0.6481	0.7346	0.7966	0.7637	0.7183	0.7353
托克托縣	0.5887	0.5857	0.6625	0.7334	0.7015	0.6279	0.6915
和林格爾縣	0.5790	0.5482	0.6490	0.7147	0.6969	0.6446	0.6889
清水河縣	0.5426	0.4913	0.6430	0.6930	0.6517	0.6286	0.6695
武川縣	0.6101	0.5427	0.6641	0.7320	0.6916	0.6210	0.6024
包頭市市轄區	0.5043	0.5517	0.6227	0.6882	0.5869	0.5256	0.5735
土默特右旗	0.6323	0.7076	0.7366	0.7792	0.7220	0.6748	0.6964
固陽縣	0.5290	0.4454	0.6074	0.7113	0.6087	0.4735	0.5114
達爾罕茂明安 聯合旗	0.4009	0.4018	0.4378	0.6817	0.4283	0.3412	0.3977
烏海市市轄區	0.2787	0.2547	0.3238	0.5556	0.2913	0.2495	0.2913
赤峰市市轄區	0.6500	0.7252	0.7657	0.7939	0.7689	0.7835	0.7677
阿魯科爾沁旗	0.6497	0.7541	0.7215	0.7816	0.7729	0.7559	0.6980
巴林左旗	0.7310	0.8280	0.8008	0.8123	0.8235	0.8260	0.7782
巴林右旗	0.6222	0.7362	0.6957	0.7417	0.7256	0.7134	0.6770
林西縣	0.6956	0.7773	0.7636	0.7791	0.8012	0.7747	0.7562
克什克騰旗	0.7274	0.7205	0.7515	0.8061	0.7720	0.7339	0.7541
翁牛特旗	0.5475	0.6184	0.6227	0.7263	0.6381	0.6337	0.6032
喀喇沁旗	0.7712	0.8197	0.8358	0.8596	0.8417	0.8454	0.8470
寧城縣	0.7262	0.8447	0.8429	0.8700	0.8601	0.8658	0.8724
敖漢旗	0.6447	0.7338	0.7093	0.7730	0.7237	0.7774	0.7360
海拉爾市	0.8207	0.7702	0.8205	0.8020	0.7619	0.8009	0.7620
滿洲裡市	0.7107	0.5590	0.7354	0.7382	0.5089	0.6715	0.5961
扎蘭屯市	0.9106	0.8614	0.9037	0.8960	0.8847	0.9039	0.9001
牙克石市	0.9272	0.9088	0.9173	0.9124	0.9150	0.9186	0.9173

額爾古納市	0.9186	0.9031	0.8987	0.8982	0.8973	0.9008	0.9007
根河市	0.9229	0.9084	0.9067	0.8970	0.9013	0.9009	0.9030
阿榮旗	0.9223	0.8936	0.9069	0.8872	0.8806	0.9120	0.9057
莫力達瓦達斡爾族自治旗	0.8968	0.8958	0.8964	0.8848	0.8772	0.9105	0.8965
鄂倫春自治旗	0.9255	0.9155	0.9083	0.8962	0.9161	0.9192	0.9126
鄂溫克族自治旗	0.8790	0.8407	0.8772	0.8612	0.8404	0.8708	0.8476
新巴爾虎右旗	0.5941	0.4826	0.6372	0.6538	0.4048	0.5569	0.6160
新巴爾虎左旗	0.7494	0.6278	0.7450	0.7505	0.6471	0.6987	0.7093
陳巴爾虎旗	0.8316	0.7349	0.8180	0.8289	0.7615	0.8297	0.7711
烏蘭浩特市	0.8036	0.7544	0.8070	0.8545	0.7796	0.8497	0.8380
科爾沁右翼前旗	0.8616	0.8214	0.8488	0.8712	0.8449	0.8805	0.8706
科爾沁右翼中旗	0.7250	0.7388	0.7437	0.8112	0.7731	0.7837	0.7334
扎賚特旗	0.8314	0.7465	0.7960	0.8579	0.7926	0.8519	0.8496
突泉縣	0.7780	0.7739	0.7712	0.8456	0.8148	0.8481	0.8073
通遼市	0.7723	0.8149	0.8005	0.8422	0.8277	0.8379	0.8062
霍林郭勒市	0.7300	0.7139	0.7208	0.7976	0.7898	0.7818	0.7384
科爾沁左翼中旗	0.7125	0.7167	0.7121	0.7938	0.7308	0.8063	0.7243
科爾沁左翼後旗	0.7045	0.7381	0.7213	0.7646	0.7357	0.7566	0.7071
開魯縣	0.7170	0.7530	0.7448	0.7950	0.7780	0.7594	0.7613
庫倫旗	0.6219	0.6797	0.6771	0.7576	0.6873	0.7417	0.6665
奈曼旗	0.6120	0.6877	0.6567	0.7545	0.6764	0.7066	0.6712
扎魯特旗	0.7258	0.7883	0.7535	0.8155	0.8108	0.8056	0.7483
二連浩特市	0.2752	0.2195	0.3012	0.6244	0.2601	0.2469	0.3078
錫林浩特市	0.5374	0.5159	0.6135	0.7507	0.6234	0.6112	0.5960
阿巴嘎旗	0.4965	0.4872	0.5197	0.7000	0.5116	0.5179	0.5421
蘇尼特左旗	0.4180	0.3270	0.3923	0.6565	0.3472	0.3040	0.3964
蘇尼特右旗	0.3822	0.2706	0.3527	0.6439	0.3740	0.2876	0.4194
東烏珠穆沁旗	0.6337	0.6447	0.6564	0.7451	0.6865	0.6850	0.6464
西烏珠穆沁旗	0.6603	0.7326	0.7279	0.7792	0.7629	0.7508	0.7164
太僕寺旗	0.6781	0.6380	0.6905	0.7735	0.7529	0.6594	0.8047
鑲黃旗	0.5630	0.4226	0.4847	0.6911	0.5432	0.4650	0.5599
正鑲白旗	0.5516	0.4933	0.5320	0.7094	0.6026	0.5053	0.6082
正藍旗	0.5874	0.5692	0.5940	0.7258	0.6400	0.5869	0.6697
多倫縣	0.6285	0.6799	0.6639	0.7424	0.7412	0.7073	0.7774
集寧市	0.6219	0.5611	0.6250	0.6779	0.6356	0.5925	0.5574
豐鎮市	0.6527	0.5308	0.6546	0.7185	0.7360	0.6921	0.7130
卓資縣	0.6914	0.5985	0.7466	0.7826	0.7850	0.7195	0.6986

化德縣	0.6563	0.5894	0.6261	0.7315	0.6877	0.5728	0.6508
商都縣	0.6376	0.5764	0.6157	0.7190	0.6692	0.5944	0.5670
興和縣	0.6556	0.5459	0.6210	0.7245	0.7204	0.6645	0.6841
涼城縣	0.6489	0.5701	0.7176	0.7429	0.7602	0.7140	0.7148
察哈爾右翼前旗	0.6769	0.5889	0.6938	0.7351	0.7478	0.6910	0.6768
察哈爾右翼中旗	0.6465	0.5696	0.6124	0.7392	0.6861	0.6022	0.5842
察哈爾右翼後旗	0.6210	0.5328	0.6008	0.7132	0.6575	0.5855	0.5624
四子王旗	0.4125	0.3416	0.4229	0.6769	0.4219	0.3387	0.4376
東勝市	0.4388	0.4673	0.4996	0.6875	0.5327	0.5167	0.5131
達拉特旗	0.4337	0.4537	0.4699	0.6256	0.4649	0.4677	0.4830
准格爾旗	0.4239	0.4608	0.5123	0.6771	0.5295	0.5321	0.5387
鄂托克前旗	0.3943	0.3867	0.4795	0.6976	0.4308	0.3747	0.3791
鄂托克旗	0.3468	0.3199	0.4279	0.6603	0.3901	0.3317	0.3992
杭錦旗	0.3058	0.2861	0.3380	0.6258	0.3260	0.3061	0.3178
烏審旗	0.3862	0.3844	0.4205	0.7124	0.4200	0.4116	0.4134
伊金霍洛旗	0.4689	0.4463	0.5150	0.7258	0.5198	0.5392	0.5345
臨河市	0.6855	0.7057	0.6950	0.7578	0.7024	0.6928	0.7094
五原縣	0.6748	0.7021	0.7161	0.7644	0.6950	0.6921	0.7043
磴口縣	0.3601	0.3480	0.3871	0.5937	0.3690	0.3700	0.3774
烏拉特前旗	0.4888	0.5155	0.5547	0.7043	0.5423	0.4779	0.4873
烏拉特中旗	0.3503	0.3196	0.3753	0.6341	0.3413	0.3088	0.3287
烏拉特後旗	0.2117	0.2014	0.2420	0.5908	0.2266	0.2126	0.2221
杭錦後旗	0.6756	0.6775	0.6871	0.7815	0.6856	0.6673	0.6868
阿拉善左旗	0.2025	0.2020	0.2211	0.6032	0.2151	0.1992	0.2031
阿拉善右旗	0.1731	0.1690	0.1841	0.5963	0.1844	0.1795	0.1786
額濟納旗	0.1462	0.1500	0.1407	0.5052	0.1463	0.1408	0.1486

附錄 八 內蒙古自治區各縣市單位面積累積年雨量表

縣市名稱	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年
呼和浩特市	243.3012	245.9173	345.3307	470.9055	334.8661	209.2913	274.6949
市轄區							
土默特左旗	243.3012	245.9173	345.3307	470.9055	334.8661	209.2913	274.6949
托克托縣	243.3012	245.9173	345.3307	470.9055	334.8661	209.2913	274.6949
和林格爾縣	243.8915	246.9015	345.6585	471.4307	335.7846	210.2972	275.5916
清水河縣	295.7151	333.2734	374.4495	517.4955	416.3988	298.5890	354.2862
武川縣	243.3012	245.9173	345.3307	470.9055	334.8661	209.2913	274.6949
包頭市市轄區	195.2884	224.2344	275.6347	365.5874	289.9512	162.8274	234.4265
土默特右旗	243.3012	245.9173	345.3307	470.9055	334.8661	209.2913	274.6949
固陽縣	216.3870	233.7626	306.2616	411.8677	309.6886	183.2450	252.1215
達爾罕茂明安 聯合旗	209.0477	223.8974	291.5842	393.3887	294.6508	174.4791	242.2737
烏海市市轄區	128.1909	193.5945	264.2303	206.6752	177.8976	115.1102	170.0492
赤峰市市轄區	363.3490	446.8146	379.8201	456.5492	441.3210	484.3454	379.9510
阿魯科爾沁旗	290.1431	295.1592	290.0202	330.1384	370.2716	352.3617	320.1807
巴林左旗	298.2402	308.7047	293.0079	332.2500	350.5630	300.8563	269.4626
巴林右旗	298.1513	308.5628	292.9548	332.2324	350.8468	301.4949	270.1013
林西縣	298.2402	308.7047	293.0079	332.2500	350.5630	300.8563	269.4626
克什克騰旗	272.3490	247.6559	260.4404	349.3476	335.8272	249.8075	272.6434
翁牛特旗	296.4431	305.9504	292.1001	332.2877	357.3822	316.1253	284.4708
喀喇沁旗	384.5728	491.8346	408.1181	497.0669	470.9055	544.1575	415.9665
寧城縣	384.5728	491.8346	408.1181	497.0669	470.9055	544.1575	415.9665
敖漢旗	349.5279	371.7398	361.9356	425.8858	467.7792	487.8128	398.8633
海拉爾市	316.3861	257.8472	354.3189	367.7251	294.3124	337.8032	300.6848
滿洲裡市	256.6313	185.2084	309.9967	274.5968	232.4238	249.0977	223.1591
扎蘭屯市	344.5372	324.2297	393.7568	446.6537	332.3454	428.3583	407.9576
牙克石市	356.0922	341.5829	384.2425	438.6434	333.1295	402.0063	387.4859
額爾古納市	364.0667	382.5035	330.5201	428.4553	349.1024	372.8157	414.4142
根河市	369.9335	391.5794	325.6702	453.2033	353.2438	387.5352	404.1735
阿榮旗	394.5423	351.3489	427.2171	546.3864	370.9972	444.4323	491.6305
莫力達瓦達斡 爾族自治旗	402.6485	351.1223	436.6870	568.4319	379.6910	447.9482	503.5029
鄂倫春自治旗	402.0730	370.1675	403.7178	536.6539	412.2376	388.3111	469.2879
鄂溫克族自治旗	325.2789	274.5651	366.0574	384.4430	302.8497	354.1653	320.9602
新巴爾虎右旗	196.6537	148.9064	297.3696	198.8356	166.1327	179.6500	199.4835
新巴爾虎左旗	288.2837	206.6798	317.9016	315.5338	267.7189	287.2342	237.8446

陳巴爾虎旗	307.6311	244.8422	337.5982	352.0393	285.9359	321.7958	279.9962
烏蘭浩特市	285.1594	295.6240	347.9469	376.7244	303.4724	455.2087	376.7244
科爾沁右翼前旗	286.4300	288.4290	348.9890	377.2022	299.1279	446.1654	368.3799
科爾沁右翼中旗	284.2743	290.2857	327.9040	358.5050	327.5575	427.4427	364.6988
扎賚特旗	293.5881	272.4450	361.6435	412.5464	292.9363	494.1916	396.7428
突泉縣	285.1594	295.6240	347.9469	376.7244	303.4724	455.2087	376.7244
通遼市	322.1898	304.9683	306.9807	365.3418	408.2913	445.9538	382.1591
霍林郭勒市	272.0787	251.1496	327.0177	313.9370	269.4626	308.7047	256.3819
科爾沁左翼中旗	362.3575	323.6178	330.6512	404.0750	425.5062	501.1853	402.2425
科爾沁左翼後旗	377.3714	330.5882	339.4981	418.5520	431.9408	521.8283	409.7494
開魯縣	285.1594	287.7756	285.1594	329.6339	392.4213	395.0374	363.6437
庫倫旗	290.3551	292.9711	291.3941	337.2973	400.2144	404.2595	368.1896
奈曼旗	297.0699	299.6859	299.4515	347.2013	410.2868	416.1783	374.0653
扎魯特旗	283.6264	284.8563	304.3956	337.5808	355.9074	394.2963	350.0149
二連浩特市	130.8071	104.6457	128.1909	188.3622	120.3425	81.1004	130.8071
錫林浩特市	253.7657	206.6752	238.0689	358.4114	324.4016	214.5236	272.0787
阿巴嘎旗	209.5638	166.1010	214.8442	290.3477	248.0027	171.3939	224.0700
蘇尼特左旗	166.6597	125.5419	166.1764	235.1863	180.1485	126.2610	177.2480
蘇尼特右旗	184.6314	144.5862	184.8005	258.8721	204.1192	141.2777	184.7003
東烏珠穆沁旗	246.5589	222.7864	327.5552	280.8722	243.9902	250.7852	229.7683
西烏珠穆沁旗	275.4039	258.7787	282.3546	334.7764	321.0679	269.7524	265.6214
太僕寺旗	375.6541	341.0174	342.4929	451.9659	440.0633	376.3892	395.4754
鑲黃旗	293.4304	242.3072	293.4307	392.8954	355.2867	244.7067	252.6692
正鑲白旗	279.0625	235.8084	263.8420	363.9504	332.5219	253.3263	290.0524
正藍旗	291.9298	249.4191	269.3632	386.6528	360.2756	267.1899	314.8224
多倫縣	373.7899	341.1025	336.4888	447.2295	437.2245	380.1573	406.5060
集寧市	327.0177	274.6949	327.0177	434.2795	400.2697	274.6949	269.4626
豐鎮市	327.0177	274.6949	327.0177	434.2795	400.2697	274.6949	269.4626
卓資縣	279.5320	258.3715	337.4050	455.0544	363.1713	237.5964	272.4305
化德縣	327.0177	274.6949	327.0177	434.2795	400.2697	274.6949	269.4626
商都縣	327.0177	274.6949	327.0177	434.2795	400.2697	274.6949	269.4626
興和縣	327.0177	274.6949	327.0177	434.2795	400.2697	274.6949	269.4626
涼城縣	290.2485	262.0551	335.0611	450.3662	371.5438	245.9691	271.7607
察哈爾右翼前旗	327.0177	274.6949	327.0177	434.2795	400.2697	274.6949	269.4626
察哈爾右翼中旗	282.3490	259.3398	336.7891	453.8220	365.3724	239.7972	272.2546
察哈爾右翼後旗	327.0177	274.6949	327.0177	434.2795	400.2697	274.6949	269.4626
四子王旗	209.0082	197.9285	267.5370	368.8544	263.3937	168.2793	223.5899
東勝市	237.1299	381.3684	404.2673	429.3139	379.7536	242.9800	313.0274

達拉特旗	201.8900	240.4680	286.9007	373.9582	301.5491	174.2707	245.0957
准格爾旗	298.3863	337.7258	375.9337	519.8700	420.5542	303.1401	358.3424
鄂托克前旗	178.3090	309.4929	351.9370	319.4415	285.9651	174.6257	242.0941
鄂托克旗	178.9452	310.1536	351.6888	322.1574	288.0053	176.1530	243.1476
杭錦旗	167.2370	242.8693	269.3603	306.0860	269.6870	150.2467	219.5103
烏審旗	211.9075	387.1890	410.7343	395.0374	358.4114	214.5236	290.3917
伊金霍洛旗	231.2646	382.7218	405.7710	421.3430	374.7905	236.3623	307.7633
臨河市	122.0183	138.9719	189.0960	224.3628	181.9816	115.7385	159.7956
五原縣	162.2008	209.2913	227.6043	293.0079	258.9980	130.8071	206.6752
磴口縣	99.4134	99.4134	167.4331	185.7461	138.6555	107.2618	133.4232
烏拉特前旗	162.2008	209.2913	227.6043	293.0079	258.9980	130.8071	206.6752
烏拉特中旗	159.7372	204.9801	225.2434	288.7989	254.2760	129.8832	203.8009
烏拉特後旗	99.8124	100.1114	167.8155	186.4276	139.4201	107.4114	133.8888
杭錦後旗	99.4134	99.4134	167.4331	185.7461	138.6555	107.2618	133.4232
阿拉善左旗	124.6681	137.6639	197.4409	185.7006	146.5134	116.8736	147.4368
阿拉善右旗	112.9868	96.1866	138.2809	141.4396	110.3705	116.6673	116.9949
額濟納旗	50.9883	40.4755	62.0106	66.3937	43.3295	58.7258	53.0244

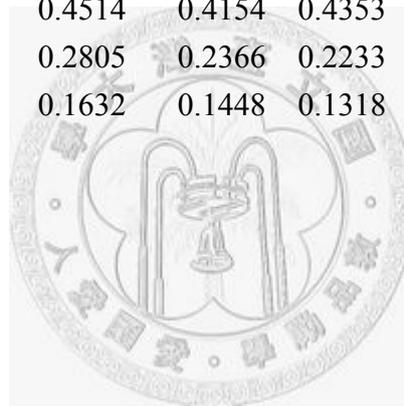


附錄 九 內蒙古自治區各縣市單位面積大牲畜飼養數量

縣市名稱	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年
呼和浩特市	26.7377	29.8424	43.3272	64.7359	93.2345	103.8462	106.4875
市轄區							
土默特左旗	26.8437	31.5634	36.3201	48.4513	62.7581	81.7847	86.6888
托克托縣	36.5575	37.9284	40.5179	49.7334	59.7867	73.1912	85.1485
和林格爾縣	15.4954	18.1417	20.7292	27.3743	34.1958	40.7233	44.5457
清水河縣	9.9335	6.4008	7.2403	8.0098	9.1640	8.9892	14.1308
武川縣	4.7083	3.2549	2.9273	4.2579	9.6827	9.7236	5.9365
包頭市市轄區	25.6051	42.0953	20.0454	34.3041	45.4236	56.8457	69.2133
土默特右旗	25.5068	32.4324	36.4865	49.7044	68.2855	84.4595	100.2956
固陽縣	3.6248	2.5493	3.0472	5.2579	6.7118	7.3890	7.9865
達爾罕茂明安 聯合旗	1.0501	0.6323	0.7509	2.5123	3.9745	4.3810	4.1664
烏海市市轄區	6.8415	5.1881	3.9339	3.5348	3.9339	4.0479	3.4778
赤峰市市轄區	20.1498	20.3476	20.6585	24.0780	32.5279	34.3225	36.9789
阿魯科爾沁旗	15.2525	14.5173	15.0464	16.7571	16.2968	17.1007	16.0495
巴林左旗	15.2540	12.9748	12.9450	14.2708	16.8926	18.9185	20.2592
巴林右旗	9.3118	8.4477	8.6612	9.7591	9.8201	10.8773	10.3385
林西縣	17.4422	15.1030	22.0697	24.8919	19.8322	21.1543	23.0359
克什克騰旗	10.0711	8.1120	7.3719	8.7360	9.4036	8.9537	8.1798
翁牛特旗	13.5415	13.4152	13.7266	15.0732	16.4619	18.1788	18.0357
喀喇沁旗	18.4590	17.9016	17.6066	19.6393	22.0984	22.3279	24.4590
寧城縣	31.5912	25.7375	28.7340	33.0778	38.5134	41.9512	29.5935
敖漢旗	18.6400	18.4591	20.2315	21.8230	24.7167	27.4898	27.4898
海拉爾市	15.6944	15.9722	18.1250	20.9722	23.4722	29.2361	30.6944
滿洲裡市	7.9023	8.0460	6.1782	6.6092	6.1782	6.1782	6.1782
扎蘭屯市	4.0655	4.2262	4.7798	5.6369	6.7321	8.7083	8.3333
牙克石市	1.0257	1.0982	1.2033	1.4063	2.0841	2.2943	2.4792
額爾古納市	1.3679	1.4643	1.5321	1.7857	2.1143	2.6571	2.8321
根河市	0.1272	0.1323	0.1526	0.1068	0.1475	0.1984	0.1526
阿榮旗	2.0807	2.6030	3.4734	5.4298	7.5106	10.7602	11.4482
莫力達瓦達斡 爾族自治旗	3.3714	4.3048	6.2286	8.7714	11.4286	12.3143	12.3714
鄂倫春自治旗	0.2492	0.3043	0.3946	0.5184	0.8946	1.1070	1.4816
鄂溫克族自治旗	5.1750	4.9239	5.0808	5.4210	6.0018	7.2419	7.0483
新巴爾虎右旗	4.3383	2.5217	2.3703	2.3504	1.9441	1.8485	1.6094
新巴爾虎左旗	4.1182	3.2409	3.4045	3.7955	4.1636	4.0636	4.1545

陳巴爾虎旗	4.6197	3.9496	4.0676	4.3413	4.8414	5.9220	6.2665
烏蘭浩特市	18.3938	17.3575	27.5907	37.9534	70.2073	80.0518	84.3264
科爾沁右翼前旗	6.3690	5.2852	4.4903	5.4813	5.2077	5.6052	6.0232
科爾沁右翼中旗	13.1072	12.5616	12.0555	12.9692	13.7974	10.4976	12.8969
扎賚特旗	6.0995	5.7785	5.1364	6.6317	6.9190	8.6593	9.8589
突泉縣	10.3958	9.3542	8.9167	9.0833	11.3542	13.5000	15.5833
通遼市	66.9988	57.2852	62.5778	66.2516	70.5791	80.3238	88.0448
霍林郭勒市	9.2308	9.7436	10.9402	12.1368	12.6496	15.3846	16.4103
科爾沁左翼中旗	23.1373	22.0161	20.1610	18.5404	22.1690	25.8485	32.5961
科爾沁左翼後旗	26.3914	24.0310	23.8045	25.6946	30.6332	32.6888	33.6556
開魯縣	22.5267	21.8360	21.8806	25.2897	29.4786	31.0383	39.7950
庫倫旗	27.5269	25.7419	24.4301	26.0430	29.5054	31.4839	35.8925
奈曼旗	19.4581	17.6847	17.7094	19.8892	22.6724	23.9901	33.4975
扎魯特旗	11.5163	10.2949	9.5504	9.6551	10.4985	13.6858	13.6276
二連浩特市	17.4346	2.4907	0.0249	0.0498	0.7472	0.7472	0.3238
錫林浩特市	2.2615	1.2884	1.1787	1.5831	2.2341	2.5151	2.4191
阿巴嘎旗	4.1282	2.4442	2.4987	2.7788	2.9279	2.6151	2.6842
蘇尼特左旗	2.7819	1.5471	1.2611	1.3428	1.7369	1.6785	1.4537
蘇尼特右旗	1.4336	0.4319	0.5832	0.5832	0.7524	0.5254	0.4452
東烏珠穆沁旗	4.9091	2.6577	2.4630	2.3064	1.9340	1.7161	1.5531
西烏珠穆沁旗	7.3457	4.6356	4.0472	4.0472	4.3593	3.8645	4.5598
太僕寺旗	11.3251	6.3811	6.2374	7.9908	9.9166	8.6519	9.1406
鑲黃旗	7.2900	2.4689	2.5661	2.6439	3.4215	2.6633	2.5272
正鑲白旗	8.9944	5.4545	5.1167	5.9212	6.7900	6.0981	6.8544
正藍旗	12.5608	9.5544	8.9025	9.7198	10.7998	10.2841	11.6852
多倫縣	10.4624	10.0749	10.5657	11.2116	12.8391	19.1682	22.0873
集寧市	6.9378	6.9378	9.5694	14.5933	28.7081	28.7081	33.4928
豐鎮市	18.6021	16.2352	14.4601	16.9009	17.3447	17.1967	19.6746
卓資縣	16.1911	13.7865	13.8185	13.2414	18.8522	18.7881	17.5056
化德縣	22.9917	16.0269	8.8247	9.1808	9.5766	9.6557	10.5659
商都縣	11.7100	8.7593	7.0864	6.7147	7.4349	7.4117	7.8299
興和縣	22.7402	22.3422	21.1768	16.8846	17.1404	18.1353	17.9363
涼城縣	19.9942	18.4005	17.0096	19.3277	23.1237	23.5004	23.8482
察哈爾右翼前旗	23.4979	22.5926	22.0988	21.3169	20.0000	19.3416	23.6214
察哈爾右翼中旗	9.6667	7.5000	6.4286	7.5000	9.7143	9.8095	11.7857
察哈爾右翼後旗	12.5690	5.5220	4.0231	5.3379	7.0208	6.9419	7.0734
四子王旗	1.0909	0.5538	0.5247	0.4830	0.8036	0.8036	0.9952
東勝市	3.7420	2.9857	2.7866	3.9809	5.1354	5.2150	6.6879

達拉特旗	7.7148	7.5928	7.9712	8.2886	8.5449	9.8389	11.6699
准格爾旗	4.5497	3.9130	3.6212	4.0589	3.4753	3.4222	2.9845
鄂托克前旗	1.5599	1.1905	1.1084	1.5928	3.0870	3.4729	4.5402
鄂托克旗	0.7327	0.6130	0.5582	0.6429	0.8622	0.8772	1.1364
杭錦旗	1.5077	0.8411	0.7988	0.7777	1.0263	0.9946	1.0580
烏審旗	2.3787	2.2671	2.7394	4.5427	6.4921	8.2095	7.6428
伊金霍洛旗	4.4205	3.8814	3.6658	3.1626	3.9173	3.6119	4.6361
臨河市	27.7825	26.5081	27.9949	30.9686	33.3900	37.5106	34.3246
五原縣	11.5925	10.9105	10.6699	13.3975	13.0766	12.7958	12.5150
磴口縣	4.3197	3.8397	3.8637	5.0636	6.4315	7.9914	8.3033
烏拉特前旗	4.4543	3.4644	2.7421	2.7555	2.8892	2.7154	2.3676
烏拉特中旗	0.4416	0.3291	0.2728	0.3117	0.3550	0.3637	0.2684
烏拉特後旗	0.6580	0.3852	0.2367	0.2608	0.2929	0.3089	0.3691
杭錦後旗	33.7861	30.6735	30.2773	36.3894	45.5574	46.3497	44.9915
阿拉善左旗	0.5882	0.4514	0.4154	0.4353	0.5248	0.5671	0.5808
阿拉善右旗	0.3762	0.2805	0.2366	0.2233	0.2140	0.2326	0.3456
額濟納旗	0.1859	0.1632	0.1448	0.1318	0.1222	0.1230	0.1091



附錄 十 內蒙古自治區各縣市單位面羊畜養數量

NAME99	2000年	2001年	2002	2003	2004	2005年	2006年
呼和浩特市市轄區	64.7359	48.8879	32.5301	34.0593	27.9425	28.1742	34.3837
土默特左旗	82.9646	82.3009	54.7198	43.0310	42.3673	39.9705	52.5811
托克托縣	143.9452	133.5110	131.3024	124.6002	115.5369	111.9573	104.1127
和林格爾縣	49.0150	48.1329	40.0470	50.8086	76.1541	81.2114	89.9735
清水河縣	57.4676	33.5082	33.5782	36.6562	40.1889	70.3043	75.3061
武川縣	60.7984	48.4749	36.7861	25.6909	30.1945	28.2293	78.2395
包頭市市轄區	73.6762	63.8427	42.0197	47.0121	56.8835	63.4644	62.7458
土默特右旗	95.3125	94.9324	83.8260	95.7770	106.0811	112.2466	122.5084
固陽縣	67.1978	54.7899	32.8819	47.0225	66.5804	70.9420	97.2515
達爾罕茂明安 聯合旗	51.0755	44.0637	40.6933	35.9679	30.8756	26.2237	28.6739
烏海市市轄區	31.4709	34.9487	43.9567	44.1847	50.2281	54.1049	54.3900
赤峰市市轄區	20.9552	20.4748	16.1227	20.3193	40.6387	43.2811	30.0551
阿魯科爾沁旗	48.9385	45.2216	55.5479	60.0687	66.8774	74.8677	64.0879
巴林左旗	52.8527	49.5606	66.1403	79.6663	78.7129	85.4313	127.2158
巴林右旗	65.6094	75.5922	90.9220	91.4913	92.7722	92.9450	112.5546
林西縣	37.1981	38.8508	82.8884	86.9819	97.8897	100.3305	101.0170
克什克騰旗	35.8148	42.9449	46.8534	40.6134	51.9518	49.2043	27.4222
翁牛特旗	25.9216	30.5588	35.0109	37.7041	72.8749	82.1663	73.6156
喀喇沁旗	23.8361	23.3443	19.5082	30.4262	47.3770	48.7213	52.5574
寧城縣	30.5691	22.3461	17.3519	22.6249	42.0674	46.0395	31.8467
敖漢旗	16.2286	20.9911	31.9146	61.6108	100.5546	96.9375	96.5758
海拉爾市	17.5694	15.9722	14.3056	17.7778	25.9722	31.1111	22.7083
滿洲裡市	58.6207	54.1667	56.1782	57.6149	54.5977	54.5977	54.3103
扎蘭屯市	12.4405	15.1190	21.8988	31.7143	45.3810	39.3393	55.0714
牙克石市	0.8119	0.9931	1.3918	2.6749	4.1501	5.1577	5.5564
額爾古納市	1.9321	2.2643	2.9893	4.0929	6.4250	6.6357	7.2393
根河市	0.2238	0.2391	0.2950	0.3306	0.4476	0.7020	0.5545
阿榮旗	16.3724	25.0104	36.4669	55.0278	85.2193	133.6815	140.8439
莫力達瓦達斡爾族 自治旗	5.4000	8.5619	18.2000	31.0667	72.3810	128.5238	108.9905
鄂倫春自治旗	0.6221	1.0050	2.3462	3.6104	6.8612	9.0853	8.9833
鄂溫克族自治旗	12.8303	12.5059	14.9233	17.8745	21.3019	26.7490	24.4467
新巴爾虎右旗	34.9574	35.7541	41.0206	45.2155	37.9771	47.5022	43.4587
新巴爾虎左旗	32.9273	31.9818	38.8909	43.9409	49.4727	41.7182	40.1273
陳巴爾虎旗	16.0344	16.3364	17.7473	19.5357	23.2163	26.8781	27.1612

烏蘭浩特市	81.7358	78.1088	83.6788	69.1710	69.9482	85.6218	82.2539
科爾沁右翼前旗	60.8465	67.7677	85.8839	150.3845	119.1071	100.7123	107.3032
科爾沁右翼中旗	42.8055	53.7369	70.5778	82.0351	75.4223	84.7302	90.7316
扎賚特旗	56.5515	66.8582	89.9214	133.5220	118.2225	65.4473	54.9717
突泉縣	86.1042	73.6667	84.0000	111.6042	86.2917	98.5625	85.7292
通遼市	35.4919	26.1519	22.1046	32.1606	78.4558	93.5243	183.5305
霍林郭勒市	144.1026	142.0513	147.8632	162.7350	165.4701	146.4957	315.0427
科爾沁左翼中旗	27.4182	29.8644	30.3945	39.6901	40.8113	50.8817	79.2987
科爾沁左翼後旗	11.8282	14.1887	17.5420	23.9875	32.0704	39.7526	48.7675
開魯縣	28.6096	33.2219	34.9376	64.5499	117.1123	137.4777	197.6381
庫倫旗	20.4301	21.3333	20.1075	28.5161	35.3118	47.3118	70.7957
奈曼旗	17.8448	13.7315	12.3768	23.9778	61.9581	78.4360	84.5567
扎魯特旗	49.6830	42.2905	55.1562	60.6002	72.8785	99.1392	94.4221
二連浩特市	4.2341	0.0000	0.0000	9.7385	10.4359	10.9838	7.5467
錫林浩特市	52.2889	47.2108	46.9709	55.7634	57.8947	55.5373	50.6785
阿巴嘎旗	42.4674	39.1285	41.0781	39.2740	37.3718	36.0515	31.6942
蘇尼特左旗	25.7553	24.1790	21.8846	20.0163	21.2073	18.6123	15.4129
蘇尼特右旗	37.1355	20.8005	26.5527	29.4243	33.4936	22.4790	20.4666
東烏珠穆沁旗	48.7209	45.8029	53.0206	50.8602	46.0695	44.9438	44.6603
西烏珠穆沁旗	66.0620	69.6768	75.9082	68.8210	57.9095	54.4462	60.1917
太僕寺旗	47.0250	47.8011	60.5346	60.7933	79.9655	73.6419	81.8913
鑲黃旗	86.1003	62.7138	76.0303	65.3577	76.1858	57.2706	66.0964
正鑲白旗	74.3524	70.1689	66.5809	56.5728	64.7627	59.2759	66.2108
正藍旗	38.3635	37.7116	30.8912	24.9270	27.6124	26.3670	26.1919
多倫縣	76.1044	78.4035	75.3294	61.1212	38.0780	34.1255	7.1816
集寧市	28.9474	29.4258	37.7990	35.8852	98.3254	74.6411	79.1866
豐鎮市	44.0828	41.0133	45.4512	56.3240	197.5962	214.6080	287.0932
卓資縣	66.4636	65.3415	67.1369	88.5540	134.4662	147.7717	120.2629
化德縣	74.6735	102.2161	89.4737	78.5516	130.9854	125.2473	119.5884
商都縣	56.9703	66.4730	65.7063	42.0539	88.2435	78.7639	71.5846
興和縣	34.5367	38.0614	38.2604	87.0381	184.9346	192.9790	191.3303
涼城縣	43.5236	36.9168	32.9470	56.4764	115.1840	124.3987	130.1072
察哈爾右翼前旗	88.8066	86.0494	86.0905	98.9300	162.9218	183.4156	184.6091
察哈爾右翼中旗	89.5476	85.0000	97.7381	67.1905	86.8333	92.8810	103.2381
察哈爾右翼後旗	104.2598	94.1625	95.4773	96.1346	99.0534	81.7775	66.5790
四子王旗	43.6417	32.7823	34.5603	33.7650	41.6889	33.7941	35.7428
東勝市	15.0080	425.9554	0.0000	59.7134	66.4411	69.5860	61.0271
達拉特旗	47.9614	90.3320	101.8799	158.5815	237.6709	227.9907	236.5845

准格爾旗	23.6106	30.2295	31.3835	50.9086	64.2128	63.6424	84.4542
鄂托克前旗	50.8949	45.8046	55.1642	64.1708	74.5402	70.9770	79.1461
鄂托克旗	35.1525	35.7606	42.0803	47.9964	54.8545	51.6697	61.4833
杭錦旗	36.8989	35.4229	43.6703	55.1182	64.4871	64.9421	77.2364
烏審旗	44.3366	43.2289	52.1254	59.1670	71.8678	73.7055	90.5453
伊金霍洛旗	66.1635	71.4286	84.7799	89.4160	107.9066	110.0090	120.0000
臨河市	286.2362	358.5811	527.0178	672.2175	764.1037	767.3322	759.3033
五原縣	211.9535	224.1476	232.6113	364.3000	388.5680	392.0979	386.1613
磴口縣	61.4591	63.7629	65.2988	72.4262	78.8337	79.7456	74.5860
烏拉特前旗	98.4484	96.3483	90.5163	107.0626	159.5907	168.8336	168.8068
烏拉特中旗	47.9737	44.9861	48.7357	59.2743	60.5819	54.9186	55.4945
烏拉特後旗	23.7513	16.8104	17.6088	17.8495	18.5276	18.9609	17.1194
杭錦後旗	446.6893	459.7623	495.8687	639.8415	797.1138	828.2400	822.6938
阿拉善左旗	11.2757	11.1289	11.4000	13.0329	13.8325	12.1425	10.8678
阿拉善右旗	2.3675	1.8557	2.1083	2.6493	2.6560	2.2280	2.1203
額濟納旗	1.0122	0.9363	0.8673	0.8141	0.6108	0.5523	0.5043



附錄 十一 內蒙古自治區各縣市單位面積耕種農地

縣市名稱	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年
呼和浩特市	32.4106	31.5241	30.3800	30.3791	30.0385	28.5477	28.1121
市轄區							
土默特左旗	41.2316	42.2566	41.9617	41.9126	41.9945	42.1486	42.1862
托克托縣	34.0267	33.7258	31.2490	30.7997	30.7692	32.6184	32.6070
和林格爾縣	34.4152	34.3517	33.2079	31.2532	31.3020	31.1464	31.1208
清水河縣	23.9654	22.7758	21.4935	20.0311	19.0483	19.0483	22.8485
武川縣	30.3345	29.2958	28.1228	26.9286	26.8145	26.6782	26.6452
包頭市市轄區	20.4433	20.6929	18.5038	20.6853	19.3355	19.3241	19.2311
土默特右旗	43.4882	43.4882	43.4882	43.4890	43.4890	43.4890	43.4865
固陽縣	39.5618	38.3509	38.0582	38.1633	38.0372	37.8929	37.9036
達爾罕茂明安聯合旗	5.1171	3.1288	3.0243	4.8564	4.4075	4.2351	4.2253
烏海市市轄區	3.9749	3.9350	3.6716	3.6545	3.4635	3.5998	3.7561
赤峰市市轄區	22.7774	22.6962	21.7041	20.9325	25.4058	24.0486	25.0612
阿魯科爾沁旗	6.6783	7.0537	6.7423	6.1162	5.7818	6.1490	6.3555
巴林左旗	16.5860	16.1789	15.0441	13.4938	15.4295	15.7560	15.8878
巴林右旗	4.4075	3.9545	3.7509	3.5089	4.0321	4.0189	5.0983
林西縣	18.4971	15.2428	16.6158	17.1879	16.5131	15.5655	15.5655
克什克騰旗	3.9876	3.9162	3.4823	3.0389	2.8336	2.7072	3.2910
翁牛特旗	12.1393	12.2107	11.6474	11.1210	11.7806	12.2458	12.3466
喀喇沁旗	18.4675	17.9830	16.6197	15.6495	15.4193	14.3564	14.3010
寧城縣	24.9384	23.8769	21.0941	20.0762	19.7763	19.4149	19.5786
敖漢旗	21.4721	20.6342	18.3156	19.8053	21.4327	20.4958	23.3243
海拉爾市	25.6035	25.0201	24.1326	23.8340	23.8340	21.7194	21.6243
滿洲裡市	4.3089	2.6422	2.6422	2.6422	2.6422	2.6422	2.6422
扎蘭屯市	11.0386	11.0386	10.4755	10.4755	13.7003	13.5571	13.1533
牙克石市	4.1637	4.1637	4.1637	4.1477	4.0255	4.3470	4.4940
額爾古納市	5.4916	5.4457	5.4457	5.4394	5.4394	5.9407	5.6579
根河市	0.1103	0.1103	0.1103	0.1103	0.1103	0.1103	0.1103
阿榮旗	19.9875	19.6617	19.6617	24.0744	24.0744	24.0817	23.5291
莫力達瓦達斡爾族自治旗	25.6978	25.5105	25.5128	32.0635	43.7460	43.7460	42.4761
鄂倫春自治旗	1.5139	1.4773	2.2254	2.2097	3.1888	3.1926	3.1740
鄂溫克族自治旗	2.3681	1.9910	0.9376	1.5844	1.5841	0.7151	1.4961
新巴爾虎右旗	0.0725	0.0127	0.0127	0.0127	0.0127	0.0127	0.0127
新巴爾虎左旗	1.5366	1.4792	1.3794	1.3794	1.3636	1.3636	1.3636
陳巴爾虎旗	3.8528	3.7490	3.7490	4.1485	5.3196	4.1485	4.0689

烏蘭浩特市	36.9041	36.9301	34.2098	32.8886	32.6865	33.5013	33.4689
科爾沁右翼前旗	8.7938	8.7938	8.2705	7.9190	7.8796	7.8796	8.3784
科爾沁右翼中旗	6.1848	5.9876	6.6476	6.5345	6.5351	6.5351	6.5351
扎賚特旗	18.8409	18.4295	17.0981	17.1969	17.6307	21.4254	26.6302
突泉縣	24.1458	26.0000	24.3979	23.0083	22.9671	30.2571	30.2571
通遼市	39.9844	35.2842	39.1351	38.2712	38.1522	38.3817	43.6803
霍林郭勒市	30.0051	26.8376	22.2222	21.5385	22.4017	22.4017	22.3761
科爾沁左翼中旗	20.6054	20.4536	19.3181	19.1968	19.2720	20.0794	20.8215
科爾沁左翼後旗	14.4456	14.0859	11.8082	11.7847	16.1756	16.4097	17.4259
開魯縣	24.2447	23.9082	23.3133	22.9218	22.9975	23.0336	23.0365
庫倫旗	24.4796	22.9656	22.1333	21.3441	21.4155	21.0963	19.7596
奈曼旗	14.6281	12.9483	12.0406	11.3756	11.6700	15.7542	16.1472
扎魯特旗	7.0122	6.9953	6.4520	6.2107	6.1912	7.3315	8.5969
二連浩特市	0.0075	0.0075	0.0075	0.0822	0.0822	0.0822	0.0822
錫林浩特市	1.3466	1.6372	0.9416	0.9204	0.9923	1.0691	1.0650
阿巴嘎旗	0.0298	0.0298	0.0298	0.0196	0.0298	0.0476	0.0476
蘇尼特左旗	0.0155	0.0222	0.0379	0.0598	0.0584	0.0584	0.0584
蘇尼特右旗	0.1304	0.0882	0.1291	0.1055	0.1135	0.1260	0.1077
東烏珠穆沁旗	0.7967	0.5586	0.4365	0.3788	0.3766	0.5954	0.5937
西烏珠穆沁旗	0.1288	0.2041	0.1845	0.1734	0.0883	0.0883	0.0851
太僕寺旗	21.6815	21.6815	20.0517	17.7177	16.0362	15.0388	16.7289
鑲黃旗	0.6124	0.7096	0.4374	0.4374	0.4374	0.4374	0.3771
正鑲白旗	3.6058	3.4497	3.1730	2.7450	2.5310	2.3089	2.2767
正藍旗	2.2456	1.8447	1.7396	1.1860	1.7202	1.7075	1.8613
多倫縣	16.3601	13.8207	12.1157	10.2222	14.6396	13.1077	13.0896
集寧市	3.7871	3.1100	3.5885	2.8947	18.7799	18.7799	18.7799
豐鎮市	41.3720	41.1501	29.5858	24.9371	20.3143	19.1938	19.1901
卓資縣	19.3748	17.5120	13.6999	15.1715	14.1135	14.1135	14.1135
化德縣	28.5239	26.4978	24.1393	26.1179	24.2976	21.9628	21.9628
商都縣	35.2649	33.4178	25.3741	37.8717	37.5720	35.7458	35.8573
興和縣	36.8931	36.8306	18.2860	33.1399	31.5463	29.4599	29.3860
涼城縣	26.3431	25.9635	13.8800	17.5601	17.5601	17.5601	17.5601
察哈爾右翼前旗	40.9259	38.6749	27.4362	33.4667	30.2428	30.2016	30.0782
察哈爾右翼中旗	25.4833	25.4833	18.0405	18.0405	21.0929	20.9333	20.9333
察哈爾右翼後旗	14.9408	13.9758	11.3332	18.5014	14.0389	13.4946	13.3053
四子王旗	6.2238	5.7995	2.2402	5.0161	4.7751	4.5686	4.5686
東勝市	16.7158	13.4992	13.4992	14.3873	13.9889	13.8455	12.9506
達拉特旗	18.0334	16.8066	15.4883	14.7754	14.7266	14.7266	14.7266

准格爾旗	14.9702	14.5908	13.4302	11.4042	11.1117	11.2800	11.2010
鄂托克前旗	1.0567	1.1034	1.1177	1.3030	1.6420	1.9130	2.2271
鄂托克旗	0.4775	0.4411	0.4346	0.5157	0.5791	0.6903	0.7957
杭錦旗	3.4354	3.2878	3.1096	3.1098	3.0162	3.1047	3.2550
烏審旗	2.2877	2.2009	2.4058	2.5530	2.6372	2.9802	3.2716
伊金霍洛旗	7.9245	7.9299	7.9497	7.1310	7.0927	5.7826	6.3355
臨河市	54.3415	54.3415	54.1844	54.1844	54.1844	54.1844	53.9979
五原縣	44.2038	44.1998	44.4324	44.4083	46.1793	48.0907	48.3883
磴口縣	9.1769	9.1769	10.4536	10.2808	9.9592	9.6429	9.5455
烏拉特前旗	20.2862	19.9599	19.2764	19.0182	19.0563	19.0717	18.9098
烏拉特中旗	3.3148	3.1189	3.0343	2.8897	2.9249	2.9600	2.9528
烏拉特後旗	0.2034	0.2034	0.2299	0.2175	0.2303	0.2303	0.2145
杭錦後旗	50.0091	50.0091	49.1964	48.3928	48.3928	48.3928	48.0215
阿拉善左旗	0.2354	0.2276	0.2346	0.2360	0.2693	0.2815	0.2903
阿拉善右旗	0.0195	0.0241	0.0271	0.0320	0.0413	0.0417	0.0417
額濟納旗	0.0174	0.0189	0.0210	0.0254	0.0251	0.0284	0.0518



附錄 十二 內蒙古自治區各縣市單位面積有效灌溉農地

縣市名稱	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年
呼和浩特市市轄區	13.0273	13.3285	12.0171	13.2081	13.4555	12.9073	13.0663
土默特左旗	27.3709	27.4816	27.4816	27.8982	28.9307	30.6095	30.6372
托克托縣	23.6101	22.3899	23.5506	23.9650	24.1081	24.7936	24.8949
和林格爾縣	4.0106	4.3134	4.4134	4.6092	4.9156	31.1464	31.1208
清水河縣	0.6995	1.0948	1.0948	1.1011	1.1011	1.1011	1.1116
武川縣	2.1024	2.3255	2.3664	2.4217	2.3746	2.3889	2.4565
包頭市市轄區	12.9852	13.0564	12.8434	13.0034	12.2632	12.2632	12.1759
土默特右旗	38.7078	38.7078	38.8484	30.8117	34.9700	35.0498	38.7133
固陽縣	2.5652	2.6509	2.6509	2.6509	2.7837	2.6509	2.6578
達爾罕茂明安聯合旗	0.4923	0.4923	0.5064	0.7113	0.7113	0.7255	0.7467
烏海市市轄區	3.6089	3.9350	3.6716	3.6545	3.4635	3.5998	3.5040
赤峰市市轄區	9.0892	9.0893	9.4882	9.3846	10.5348	10.5336	6.6983
阿魯科爾沁旗	1.0697	1.1926	1.2469	1.6069	1.6207	1.5894	1.6290
巴林左旗	4.2410	3.6681	4.2433	4.2504	4.2927	4.7214	4.9926
巴林右旗	0.9203	0.8735	0.8729	0.9869	1.1911	1.2619	1.2667
林西縣	5.5889	6.3183	5.9397	6.2563	6.1810	6.2756	6.2782
克什克騰旗	0.6006	0.5919	0.5691	0.5689	0.5647	0.5761	0.5761
翁牛特旗	3.7670	4.0929	4.1240	4.1975	4.3356	4.6601	4.8572
喀喇沁旗	5.9151	6.0715	5.8685	5.8380	5.8797	5.0764	5.1997
寧城縣	8.0836	5.8537	5.9345	6.1324	7.8832	8.0681	8.0681
敖漢旗	3.4494	3.8558	4.3540	4.6529	6.1323	6.8220	6.8220
海拉爾市	0.9236	1.3889	1.1625	2.4028	2.5417	2.7965	2.9375
滿洲裡市	2.1983	2.2557	2.3707	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
扎蘭屯市	1.6190	2.0369	0.2510	0.2510	0.2894	0.3282	0.3940
牙克石市	0.0243	0.0489	0.0660	0.0758	0.0855	0.1000	0.1145
額爾古納市	0.0293	0.0411	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
根河市	0.0056	0.0056	0.0076	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
阿榮旗	2.1578	2.7166	0.2578	0.4974	3.1667	3.2993	3.4430
莫力達瓦達斡爾族自治旗	2.9714	3.6581	4.0867	4.0857	1.1370	1.2339	3.5079
鄂倫春自治旗	0.0013	0.0037	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
鄂溫克族自治旗	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
新巴爾虎右旗	0.0000	0.0006	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
新巴爾虎左旗	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
陳巴爾虎旗	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
烏蘭浩特市	8.8860	7.5259	10.1684	6.5544	11.7915	11.7902	11.7902
科爾沁右翼前旗	1.0730	1.0730	1.3688	2.6286	2.7243	2.8103	2.8103

科爾沁右翼中旗	0.4943	0.6744	0.7921	2.6622	3.0466	3.0466	3.0466
扎賚特旗	2.4618	2.4609	3.4747	5.2277	5.2277	6.5264	6.5264
突泉縣	2.4063	2.4021	7.6125	8.6542	9.5223	12.4056	12.4056
通遼市	37.1538	33.6239	32.3288	39.4928	36.2024	36.7914	42.3269
霍林郭勒市	0.3419	0.5983	0.7983	0.7402	0.7402	0.7402	0.5128
科爾沁左翼中旗	13.5980	13.1642	13.1811	7.8338	7.9121	9.1885	15.2890
科爾沁左翼後旗	5.3793	4.8341	5.8645	5.8645	6.1597	6.7213	6.9550
開魯縣	18.9209	18.9439	17.8365	22.4465	17.8431	18.4650	18.4730
庫倫旗	3.1540	3.4495	3.9699	3.5441	4.4925	1.4989	1.8852
奈曼旗	5.8179	4.4317	4.9261	5.1983	5.3560	10.3695	10.5751
扎魯特旗	1.9274	2.1217	3.6015	3.3300	3.2486	3.2602	3.2532
二連浩特市	0.0075	0.0075	0.0075	0.0324	0.0822	0.0822	0.0822
錫林浩特市	0.0555	0.1069	0.1117	0.1590	0.1508	0.1953	0.1939
阿巴嘎旗	0.0022	0.0022	0.0025	0.0036	0.0298	0.0476	0.0476
蘇尼特左旗	0.0155	0.0222	0.0379	0.0598	0.0584	0.0584	0.0584
蘇尼特右旗	0.0312	0.0312	0.0672	0.0623	0.0703	0.0828	0.0712
東烏珠穆沁旗	0.0195	0.0178	0.0180	0.0180	0.0307	0.0324	0.0334
西烏珠穆沁旗	0.0174	0.0259	0.1649	0.1649	0.0874	0.0874	0.0851
太僕寺旗	1.5924	1.9776	2.3599	2.7508	3.0526	3.3774	3.3774
鑲黃旗	0.0311	0.0544	0.0816	0.0816	0.0816	0.0816	0.0816
正鑲白旗	0.2333	0.2848	0.4006	0.4216	0.5760	0.8785	0.9622
正藍旗	0.0866	0.2082	0.2121	0.3084	0.3084	0.4096	0.4096
多倫縣	1.4570	1.3485	1.4157	0.8473	0.9636	1.2064	1.3692
集寧市	1.6029	1.2919	1.2919	1.6029	2.0096	3.9952	3.1890
豐鎮市	2.5629	1.6346	2.4371	1.6494	1.8898	1.7825	1.7825
卓資縣	2.0295	2.0295	2.0295	2.0327	2.0327	2.0327	2.0327
化德縣	0.8983	0.9300	0.9220	0.7915	0.9656	0.9893	0.9759
商都縣	4.7212	4.8002	2.8996	5.2649	5.2672	4.9303	0.5809
興和縣	4.9204	5.5486	5.5486	6.5048	6.9784	7.0523	7.0523
涼城縣	4.7725	4.8392	4.8392	4.8392	4.8392	4.8392	4.8392
察哈爾右翼前旗	7.3128	7.7325	8.1111	8.6387	7.5720	8.0453	8.0457
察哈爾右翼中旗	3.6286	3.6286	3.6286	3.6286	3.6286	3.6286	3.6286
察哈爾右翼後旗	1.4436	1.4199	1.5488	1.7747	0.7100	0.6521	2.1036
四子王旗	0.7095	0.7303	0.7749	0.8053	0.8419	0.9102	0.8533
東勝市	1.6680	1.6425	1.3153	1.1182	1.1182	1.4291	0.8748
達拉特旗	10.8557	10.2543	7.9749	9.5618	12.2070	8.6267	10.7837
准格爾旗	1.2973	0.8357	0.9842	0.9829	1.3246	1.3377	1.3412
鄂托克前旗	1.0427	1.1037	1.1177	1.3030	1.6420	1.9130	2.2271

鄂托克旗	0.3957	0.4122	0.4291	0.5157	0.5791	0.6903	0.7957
杭錦旗	1.8807	1.9738	2.0378	2.0870	2.7509	2.4279	2.2147
烏審旗	2.1151	2.1443	2.1640	2.3018	2.4968	2.8398	3.1311
伊金霍洛旗	2.8571	3.1285	3.4447	3.4609	3.5813	6.0446	3.6999
臨河市	54.3415	54.3415	49.2268	54.1844	54.1844	54.1844	53.9979
五原縣	44.1837	44.1998	44.4324	44.4083	46.1793	48.0907	48.3883
磴口縣	9.1769	9.1769	8.2457	6.1452	9.9592	9.3473	9.2498
烏拉特前旗	14.3780	14.3258	14.3325	14.2483	14.2029	14.4056	14.2029
烏拉特中旗	2.3788	2.4377	2.0666	1.1910	2.0431	2.0714	2.0642
烏拉特後旗	0.2034	0.2034	0.2299	0.1740	0.2175	0.1699	0.1541
杭錦後旗	50.0091	50.0091	49.1964	48.3928	48.3928	48.3928	48.0215
阿拉善左旗	0.0000	0.0000	0.0000	0.1990	0.2910	0.2961	0.2968
阿拉善右旗	0.0000	0.0000	0.0000	0.0306	0.0444	0.0460	0.0000
額濟納旗	0.0000	0.0000	0.0000	0.0205	0.0540	0.0564	0.0518

