

# EVI在觀測中國北部植被退化之應用

陳勇志 黃世任  
國立台灣海洋大學 海洋環境資訊系

## 摘要

本研究主要是利用 MODIS(Moderate resolution Imaging Spectroradiometer) 陸地反射率與植被指數產品觀測中國北部植被退化之情形。鑑於 EVI(Enhanced Vegetation Index)在土壤區的訊號比 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)的訊號強且可同時抑制大氣氣溶膠(Aerosol)與葉冠背景(canopy background)的影響,故本研究選用巴丹吉林沙漠為土壤樣本去評估 EVI 土壤值域,用其判斷有植被區與非植被之土壤區的標準,並觀察 2001 年至 2004 年春季期間中國北部植被退化之情形。研究顯示,就 EVI 土壤總面積而言,以 2001 年春季期間植被退化面積最大。就 EVI 土壤位置變化而言,位於外蒙古的滿達林沙漠及達賴拉塔山附近,在 2004 年春季期間仍有大範圍的植被退化現象。

關鍵字: MODIS, EVI, NDVI

## 一、前言

Liu和Huete(1995)分別在數種不同覆蓋程度(LAI (Leaf Area Index)=0~3.6)的農作物區收集四種不同亮度及水分含量的土壤,探討不同能見度(分別為5km和100km)下的NDVI(Normalized Difference Vegetation Index,其定義如(1)式)與LAI之關係。得到三項結果,第一,當土壤亮度愈大時,NDVI值愈低。第二,當大氣能見度愈低時,NDVI值愈低。第三,在高植被區(LAI≥2),NDVI受土壤亮度的影響程度變小,但NDVI受大氣氣溶膠(Aerosol)衰減的程度愈大;相反地,在低植被區(LAI≤1),NDVI受土壤亮度的影響程度變大,但NDVI受大氣氣溶膠衰減的程度並不明顯。也就是說,土壤和大氣氣溶膠的影響是相互作用的,其中一個因素減小時,另一個因素可能會增加。因此Huete等(1996)引入一個反饋項(feedback term)來同時對二者作修正,這就是增強化植被指數(Enhanced Vegetation Index, EVI),其公式如(2)式:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + \rho_{Red}} \dots\dots\dots(1)$$

$$EVI = \left( \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + C_1 \rho_{Red} - C_2 \rho_{Blue} + L} \right) \times G \dots\dots\dots(2)$$

其中  $\rho_{NIR}$  為近紅外光反射率,  $\rho_{Red}$  為紅光反射率,  $\rho_{Blue}$  為藍光反射率。EVI 是使用土壤調整係數 L 與擬合係數  $C_1$  和  $C_2$  對 NDVI 同時進行土壤與大氣氣溶膠之修正,  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $G$  與  $L$  分別取 6、7.5、2.5 和 1。

EVI 與 NDVI 相較之下, EVI 具有下列幾項優勢,第一, Huete 等(1997)使用 Landsat TM (Thematic Mapper) 資料在納米比亞國家公園的稀樹灌木區作 NDVI 與 EVI 的比較,其結果顯示,當土壤亮度減小

時, NDVI 約增加 0.1 個單位,而 EVI 僅有 0.02 個單位之變化量。其表示 EVI 比 NDVI 較有效地抑制土壤背景的影響。

第二, Ferreira 等(2003)對熱帶大草原(位於巴西利亞國家公園內)的五種不同植被生態區,作乾季與溼季的 NDVI (或 EVI) 相對變量之比較,其研究結果顯示, EVI 在五種不同生態區中,其對乾溼季變化的敏感度較 NDVI 高。另外 Ferreira 等(2003)也以此五種生態區加入五種不同的大氣模式,然後觀察乾季與溼季的 NDVI (或 EVI) 相對變量,其結果顯示,在未經大氣訂正前, EVI 較能抑制極端性的大氣氣溶膠影響。另外 Miura 等(1998)使用 MODIS(Moderate resolution Imaging Spectroradiometer)資料去計算數種不同的植被指數之結果指出,對巴西的熱帶森林區而言,在相同混濁的大氣條件下,其 NDVI 與無氣溶膠污染的 NDVI 之相對誤差百分比可達 60%以上,但對 EVI 而言,其相對誤差百分比僅在 10%以下。Miura 等(2001)研究結果也指出,對大陸型氣溶膠而言, EVI 能減少因氣溶膠對 NDVI 產生誤差的 60%。可見 EVI 較能大幅度地抑制大氣氣溶膠的影響。

第三, Huete 等(1999)指出在相同的能見度下,在高密度的植被區(LAI≥3), NDVI 幾乎呈現飽和之狀態。但對 EVI 而言,當 LAI≥3 時,其與 LAI 仍然維持很好的近似線性相關,故 EVI 可防止高密度植被區所產生的飽和問題。

第四, Huete 等(2002)使用 MODIS 16 日複合植被指數產品來分析一個氣候型態差異大的地區,發現在沙漠區(無植被的土壤區),其 EVI 之訊號比

NDVI 的訊號強。綜合上面所述得知，EVI 比 NDVI 更能忠實地反應地表植被覆蓋之情形，故在本研究中，將利用 EVI 能同時抑制大氣氣溶膠與葉冠背景之影響且在無植被區的訊號比 NDVI 的訊號強之特性，用其觀察中國北部在春季期間植被退化之時空變化。

## 二、資料獲得與收集時間

關於資料獲得來源的部分，主要是採用美國航空暨太空總署(National Aeronautics and Space Administration, NASA)的 GES (Goddard Earth Science) 資料分送中心之 Terra 衛星酬載之中解析度成像光譜儀(MODIS) 1km 解析度之 16 日複合植被指數產品(內容包括紅光與近紅外光反射率、NDVI 與 EVI)。

其資料已作大氣訂正(訂正項目包括水汽、二氧化碳與臭氧之吸收、卷雲影響、地表各向異性之影響、Raleigh 散射與氣溶膠散射)(Vermote 等, 1997; Vermote 和 Vermeulen, 1999)。關於資料收集時間的部分，由於 Terra 衛星發射時間限制，所提供的資料是從 2000 年 4 月 6 日開始，所以本文僅針對 2001 至 2004 年春季期間(3 月 21 日至 4 月 6 日)資料進行分析。

## 三、研究區域

本研究區域在緯度 30.00°N~49.71°N，經度 91.19°E~131.11°E，其區域所涵蓋範圍如圖二藍色粗實線所圈選的位置。本研究區域有涵蓋中國境內的部分有中國的中、北部及中國東北地區，未涵蓋中國境內的主要有外蒙古東部和北韓地區。本研究區域總面積約 627.9x10<sup>4</sup>km<sup>2</sup>，其總面積大小約全中國大陸總面積的 59.8%。在本研究區域中，依據中國植被類型之分佈(如圖 1)(黃和陳, 1988)，大致可歸納成三種植被群落。第一種植被群落是以經度 105°E，緯度 38°N 為中心地帶的乾旱與半乾旱區(如圖 1 黃色及紅色系列的圖示)，其包括荒漠與灌木草原等。

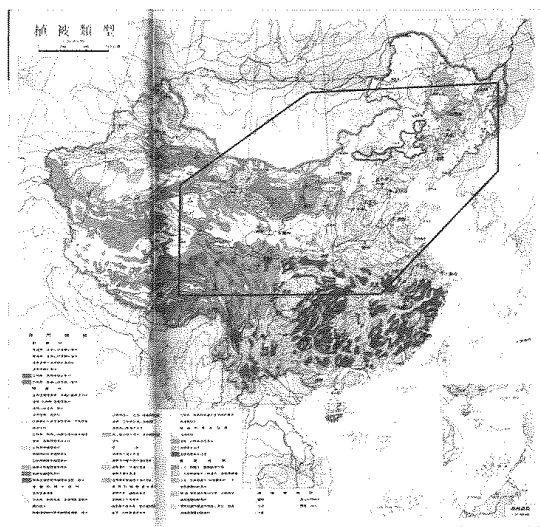


圖 1：中國的植被類型。圖中藍色粗實線為本研究區

域，綠色及紅色粗實線為本研究區域內的非植被區(黃和陳, 1988)。

第二種植被群落是以經度 115°E，緯度 35°N 為中心地帶的農業植被區(如圖 1 淺藍色的縱線紋路及淺紫色的橫線紋路的圖示)，其包括常綠果樹園及經濟林等。第三種植被群落是以經度 98°E，緯度 33°N 為中心地帶的草甸與草本沼澤區(如圖 1 紫色的圖示)，其包括溫帶、亞熱帶高寒草甸及草本沼澤等。就本研究區域而言，屬於非植被區的範圍，大致可分成兩個大區域，第一個大區域在圖 1 綠色粗實線所圈選的區域，該區域包括內蒙古的巴丹吉林沙漠、修爾騰霍勒雷沙漠、毛素烏沙漠及新疆維吾爾自治區的庫穆格沙漠之西側。第二個大區域在圖 1 紅色粗實線所圈選的區域，該區域主要包括內蒙古的以林塔拉沙漠。

## 四、研究方法

從 Huete 等(1997)及 Miura 等(1998)的研究結果顯示，EVI 比 NDVI 較有效地抑制大氣氣溶膠與葉冠背景的影響，而且 EVI 在無植被的土壤區之訊號比 NDVI 的訊號強(Huete 等, 2002)。故 EVI 比 NDVI 更能展現地表真實的植被活動之訊息。因此，本研究將以中國巴丹吉林沙漠為非植被區之樣本，然後評估出該樣本區的 EVI 值域，接著利用其值域來界定有植被區與非植被區，並與圖 1 作比較。最後將評估出非植被區的 EVI 值域應用在 2001 至 2004 年春季期間中國北部植被退化的觀測。所謂「植被退化」，在本研究中是指從有植被區退化至無植被的土壤區，並非意指從高植被退化到較低的有植被區。

在評估土壤區的 EVI 值域之方法中，本研究將從光譜反射特性的角度，來評估非植被的土壤區之 EVI 值域，下面將分成兩個小節作說明：

### (一) 土壤的光譜特性

Liang (2004)與 Baret 等(1993)皆指出土壤在紅光與近紅外光反射率的散佈圖中呈高度線性正相關，經線性迴歸後此方程可寫成如(3)式，此擬合後的直線方程則稱為「土壤線 (soil line)」。

$$\rho_{\text{NIR}} = \gamma \rho_{\text{Red}} + b \dots\dots\dots(3)$$

其中  $\rho_{\text{NIR}}$  為近紅外光反射率， $\rho_{\text{Red}}$  為紅光反射率， $\gamma$  為土壤線斜率， $b$  為土壤線之截距。

Baret 等(1993)曾經收集前人對不同土壤型態的研究結果指出，大部分的土壤型態，其土壤線斜率值在 1.2 附近，故該斜率值將其訂為土壤線斜率的理論值。

### (二) 評估EVI土壤值域

為了利用 EVI 的值域來界定有植被區與非植被之土壤區，本研究選用巴丹吉林沙漠為本研究之土壤樣

本(圖 2 紅線區)來評估其所對應之 EVI 值域。巴丹吉林沙漠是中國第三、世界第四大沙漠，是中國極為乾旱的地區之一。圖 2 為在此沙漠區內，MODIS 500m 解析度的真色影像 (True color image)，可明顯地看出有一條條如波浪狀的沙漠色像元，此現象係可能來自的高大沙山與沙丘群受到強風影響所致。

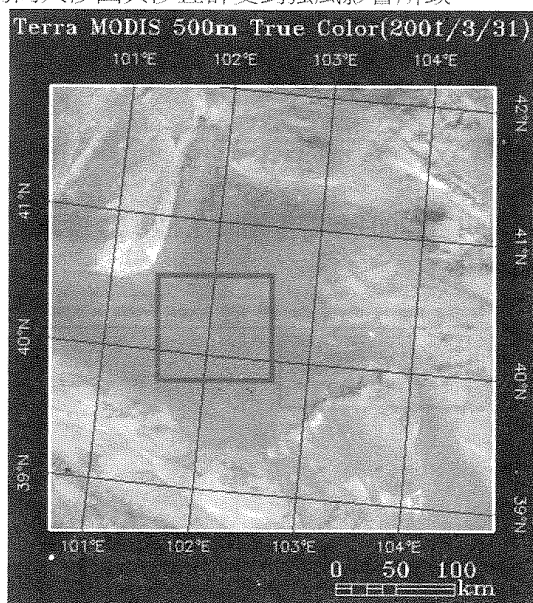


圖 2：巴丹吉林沙漠之 MODIS 500m 解析度的真色影像。樣本區的經緯度位置：39.876°N~40.618°N；101.548°E~102.722°E。

為了進一步瞭解該沙漠區的土壤之光譜特性，本研究選出圖 2 的紅線區(緯度：39.876°N~40.618°N；經度：101.548°E~102.722°E)為樣本區，然後透過 MODIS 植被指數產品的品質指標，將水體、陰影、冰雪、殘雲等影響之像元排除，以分析巴丹吉林沙漠在 2001 至 2004 年春季期間的紅光與近紅外反射率與土壤線的關係(如表 1)。

從表 1 可知，其紅光與近紅外光反射率皆有高度的正相關 ( $R^2 \geq 0.91$ ) 且擬合方程的斜率值皆落在理論值 1.2 附近，表示該樣本區屬於土壤的光譜特性。若在樣本區取 2001 至 2004 年相同的研究時間求其紅光反射率所出現次數的直方圖則可發現，此四年的紅光反射率值皆介於 Baret 等(1993)所分類的中等亮度土壤區的反射率範圍 ( $0.15 \leq \text{紅光反射率} \leq 0.3$ )，如圖 3 所示。

由於 EVI 的土壤值域無法直接由紅光與近紅外光反射率的頻譜空間求得，故先透過紅光與近紅外光反射率的頻譜空間找出土壤分佈的等值線，然後依據此等值線評估出相應的 NDVI 值域。最後根據 NDVI 與 EVI 的高度相關性去反求 EVI 土壤值域。關於評估 NDVI 土壤值域的部分，本研究依據 Baret 等(1993)所分類的中等亮度土壤區 ( $0.15 \leq \text{紅光反射率} \leq 0.3$ ) 的紅光反射率之值域範圍，而本研究樣本區土壤的紅光反射率最小值為 0.15，最大值為 0.3，然後將此二值分

別代入表 1 中所擬合的土壤線方程，則可分別求出四年 NDVI 的最大值與最小值，整理後如表 1 所示。

從表 1 中取四年之中最大的「NDVI 最大值」來當完全無植被的土壤區之上限值，同時取 NDVI 等於零為植物行光合作用之下界，也就是說非植被的土壤區之 NDVI 值界定在 0~0.091，而有植被區之 NDVI 值域在 0.091~1 之間。

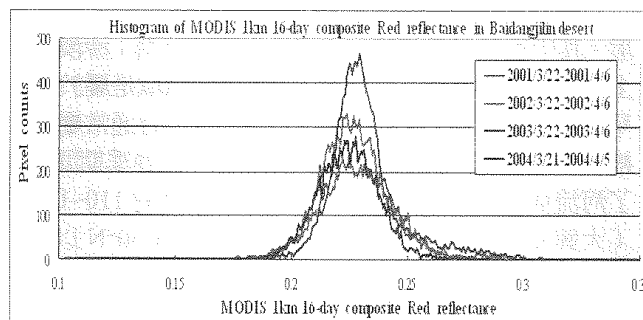


圖 3：2001 至 2004 年巴丹吉林沙漠的紅光反射率值出現次數之直方圖

表 1：巴丹吉林沙漠的土壤線方程與 NDVI 值域之評估值

年份	土壤線斜率	土壤線截距	NDVI <sub>soil</sub> 最小值	NDVI <sub>soil</sub> 最大值	R <sup>2</sup>
2001	1.12	0.012	0.074	0.091	0.91
2002	1.26	-0.019	0.063	0.090	0.97
2003	1.18	-0.002	0.077	0.080	0.94
2004	1.22	-0.008	0.077	0.088	0.94

表 2：巴丹吉林沙漠的 EVI 與 NDVI 之擬合方程及 EVI 土壤上限值之評估值

年份	斜率	截距	R <sup>2</sup>	EVI <sub>soil</sub> 最大值
2001	0.625	0.0038	0.81	0.061
2002	0.826	-0.014	0.82	0.061
2003	0.714	-0.0021	0.77	0.063
2004	0.694	-0.0042	0.84	0.059
平均值				0.061

確定 NDVI 的土壤值域後，後續是找出 NDVI 與 EVI 之相關性，並依據此關係反求 EVI 土壤值域。本研究將樣本區內，求取這四年的 EVI 與 NDVI 散佈圖與其資料的相關性(如表 2)。表 2 顯示出此四年的 EVI 與 NDVI 皆具有高度的相關性 ( $R^2 \geq 0.77$ ) 且其斜率值在 0.625 至 0.826 之間，表示資料的分佈變動不大。故可利用此高度線性相關之特性，將 NDVI 土壤區上限值 ( $\text{Max NDVI}_{\text{soil}} = 0.091$ ) 代入各個年份的擬合方程，即可求出每個年份的 EVI 土壤上限值，然後求其四年的平均值視為 EVI 土壤上限值 ( $\text{Max EVI}_{\text{soil}} = 0.061$ )，因此非植被的土壤區之 EVI 值界定在 0~0.061，而有植被區的 EVI 值域在 0.061~1 之間。後

面將採用此結果作兩項分析，第一項是從一維空間的角度來觀察異於常年的植被退化之情形，第二項是對 EVI 非植被區的土壤值域作遮罩 (mask) 來觀察其二維空間變化。

## 五、結果與討論

### (一) 跨年間等緯度線之剖面變化

圖 3 為 2001 年春季 16 日複合 EVI 之空間變化情形。其中藍色為負值區，通常是水體或冰雪；沙漠色與土黃色代表植被較少的區域，通常這些值域是屬於半乾旱區或極乾旱區；當 EVI 值大於 0.2 以上時通常屬於植被較多的區域，故以綠色系列來表示。在春季期間，除了河流與湖泊外，在緯度 45°N 以上，經度約 110~120°E (大興安嶺以西與外蒙古之東部) 或緯度 30°N 以下，經度約 90~100°E (青康藏高原) 附近皆有大範圍且明顯的藍色覆蓋區域。從產品控制指標得知是屬於冰雪像元。在此，本研究不討論冰雪的問題，而是著重 EVI 值大於零時，在空間剖面上的跨年變化。

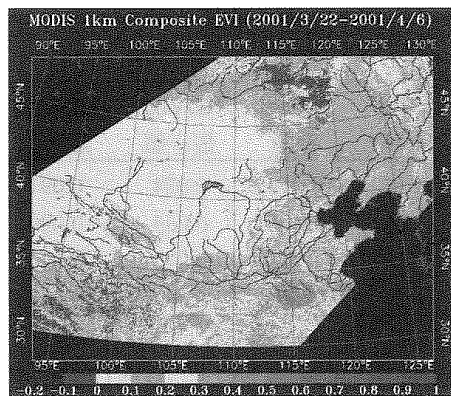


圖 3：2001 年春季期間 16 日複合之 EVI

為了明確說明上述 2001 至 2004 年春季期間的空間剖面變化，本研究分別以 (經度從 100°E 至 118°E) 35°N、(經度從 100°E 至 118°E) 40°N 與 (經度從 100°E 至 128°E) 45°N 三條緯度線來觀察跨年間 EVI 在空間剖面上的變化。

在緯度 35°N 的剖面上 (如圖 4)，其 EVI 值有整體性高於 40°N 與 45°N 的剖面線之 EVI 值，且在 2001 年時，位於經度 102°E 附近，其植被有明顯地退化現象 (紅色線落至 EVI 土壤值域的上限值 (土黃色的虛線) 之下)。在緯度 40°N 的剖面上 (如圖 5) 並無明顯地退化現象。在緯度 45°N 的剖面上 (如圖 6)，在 2001 年時，位於經度 128°E 附近也有植被退化之情形 (紅色線落至 EVI 土壤值域的上限值 (土黃色的虛線) 之下)。另外在經度 118°E~119°E 附近的位置，其 2001 年的 EVI 值小於零，其現象可能來自冰雪影響，故此處無法辨識植被退化之情形。整體來說，從同緯度不同年間的空間剖面分析之結果，在 2001 年春季期間，位於緯度 35°N、經度 102°E 與緯度 45°N、經

度 128°E 處皆有植被退化至非植被的土壤區之情形。

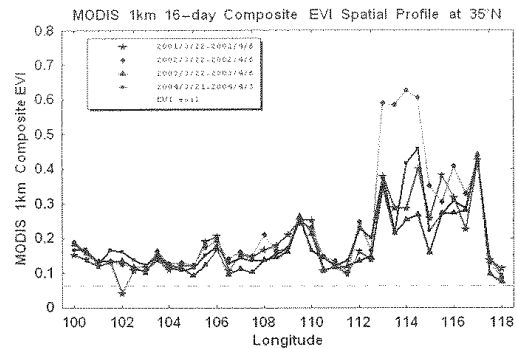


圖 4：2001 至 2004 年春季期間在北緯 35 度線上 EVI 之剖面變化

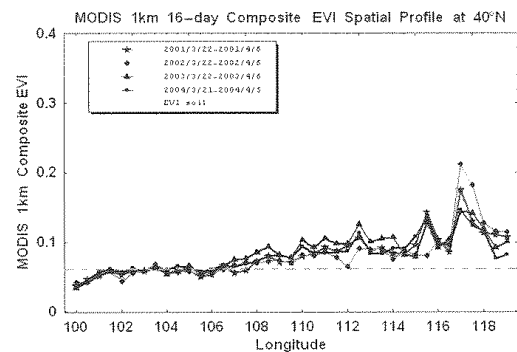


圖 5：2001 至 2004 年春季期間在北緯 40 度線上 EVI 之剖面變化

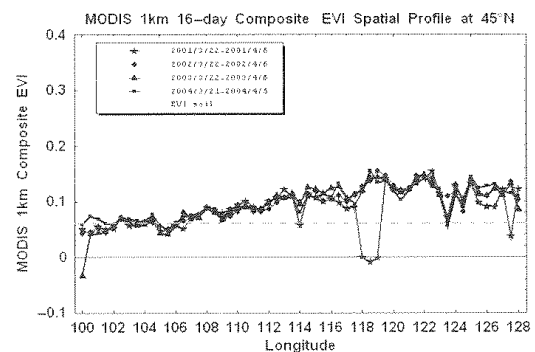


圖 6：2001 至 2004 年春季期間在北緯 45 度線上 EVI 之剖面變化

### (二) 跨年間研究區域的土壤像元增減變化

為了觀察跨年間研究區域的土壤像元增減變化，在此對 EVI 非植被區的土壤值域 (EVI > 0.061) 作遮罩來觀察其在不同年間之二維空間變化，其結果如圖 7 至圖 10 所示。由圖 7 至圖 10 分別與圖 1 綠色粗實線所圈選的區域 (非植被區) 互相比較結果知，綠色粗實線圈選的區域絕大部分皆落在圖 7 至圖 10 的黃色像元所分佈的範圍內。而在圖 1 紅色粗實線所圈選的區域，由於該區域的 EVI 值域皆在 0.1 至 0.2 之間，故在圖 7 至圖 10 中並無出現土壤像元的分佈，此因本研究的 EVI 土壤值域較嚴格所致。雖然如此，但主體的

部分（指圖 1 綠色粗實線所圈選的區域）已評估到。

依圖 7 至圖 10 的土壤位置，於緯度 45°N 以上的區域，在 2001 年的 EVI 土壤分佈圖（如圖 7）中，經度約 110°E 至 113°E、115°E 至 122°E 及 125°E 至 130°E 之三個區域中有出現土壤位置（沙漠色的像元之位置）。在 2002 年的 EVI 土壤分佈圖（如圖 8）中，可明顯地發現，在緯度 45°N 以上且屬於 EVI 土壤的位置，其出現區域很少。而在 2003 年的 EVI 土壤分佈圖（如圖 9）中，緯度約 45°N 以上，經度約 107°E 至 113°E 及 117°E 至 122°E 的區域有土壤區域出現。在 2004 年的 EVI 土壤分佈圖（如圖 10）中，緯度約 45°N 以上，經度約 105°E 至 112°E 及 117°E 至 123°E 的區域有土壤區域出現。為了明確地表示各年份的土壤總面積，本研究依據 MODIS 植被指數產品的像元解析度（1km），將每個像元的面積大小當成 1km<sup>2</sup>，然後計算圖 7 至圖 10 的 EVI 土壤像元總數，則可得出各年份的土壤總面積，最後整理成表四。從土壤總面積來觀察（參見表 3），仍以 2001 年最大（133.3267x10<sup>4</sup>km<sup>2</sup>），而在 2004 年最小（111.7591x10<sup>4</sup>km<sup>2</sup>）。為了進一步突顯不同年間的土壤像元位置之變化，在此選用 2004 年（EVI 土壤總面積最小）為標準並與其他年份的 EVI 土壤位置作比較。此比較的結果顯示，雖然 2004 年 EVI 土壤總面積最小，但位於緯度 45°N 以上在經度 105°E 至 113°E（外蒙古的滿達林沙漠附近）與經度 115°E 至 121°E（大興安嶺的達賴塔拉山附近）之區域，其與 2001、2002、2003 年相較之下有明顯地大範圍植被退化之情形。

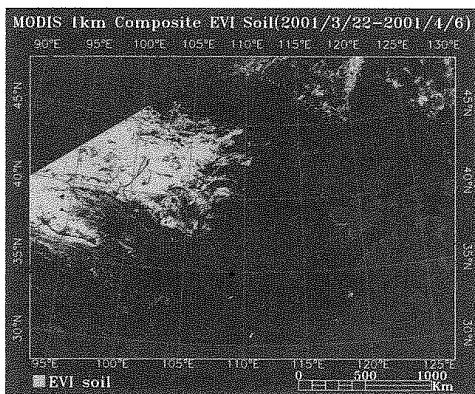


圖 7：2001 年春季期間 EVI 土壤像元的分佈圖

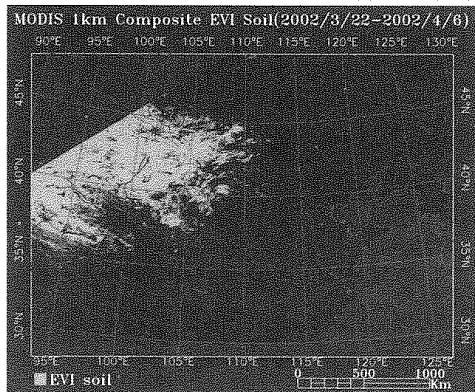


圖 8：2002 年春季期間 EVI 土壤像元的分佈圖

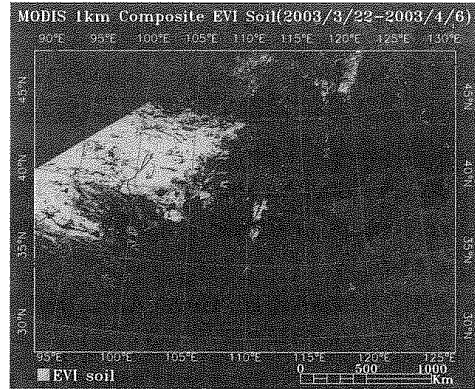


圖 9：2003 年春季期間 EVI 土壤像元的分佈圖

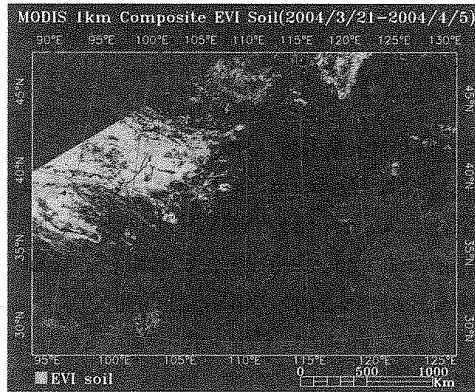


圖 10：2004 年春季期間 EVI 土壤像元的分佈圖

表 3：2001 至 2004 年本研究區域的 EVI 土壤總面積

年份	EVI 土壤總面積 (單位：10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup> )	佔總面積百分比 (%)
2001	133.3267	21.23
2002	118.3875	18.85
2003	119.4619	19.03
2004	111.7591	17.8

## 六、結論

本研究使用美國 NASA 的 GES 資料分送中心之 MODIS 1km 解析度之 16 日複合植被指數產品。以巴丹吉林沙漠為土壤樣本去評估 EVI 土壤值域，用其判斷有植被區與非植被的土壤區之標準，然後觀察 2001 年至 2004 年春季期間中國北部植被退化之時空變化。經研究得到兩個主要結果，第一個結果，從 EVI 土壤總面積來分析，以 2001 年春季期間植被退化面積最大。第二個結果，從 EVI 土壤位置變化來分析，位於外蒙古的滿達林沙漠及大興安嶺的達賴塔拉山附近，在 2004 年仍有大範圍的植被退化之現象。

## 七、誌謝

本研究承蒙行政院國家科學委員會研究計畫(NSC 93-2611-M019-012 及 NSC94-2611-M-019-014) 支持得以順利完成。另外感謝美國航空暨太空總署(NASA) 的 GES(Goddard Earth Science)資料分送中心提供的 MODIS 資料，謹此誌謝。

## 八、參考文獻

- 黃台香、陳曉雯, 1988:“博覽中國-地圖專題索引”, 中國百科出版社, 第 71 頁。
- Baret, F., Jacquemoud, S., and Hanocq, J. F., 1993:“The soil line concept in remote sensing”, *Remote Sens. Rev.*, 7, 65-82.
- Ferreira, L. G., Yoshioka, H., Huete A. R., and Sano, E. E., 2003:“Seasonal landscape and spectral vegetation index dynamics in the Brazilian Cerrado: An analysis within the large-scale biosphere-atmosphere experiment in Amazonia (LBA)”, *Remote Sens. Environ.*, 87, 534-550.
- Liang, S., 2004:“Quantitative remote sensing of land surfaces”, John Wiley & Sons, 249-252.
- Liu, H. Q., and Huete, A. R., 1995:“A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise”, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 33(2), 457-465.
- Huete A. R., Justice C., and van Leeuwen, W., 1996:“MODIS vegetation index (MOD13), EOS MODIS algorithm theoretical basis document”, Version 1.
- Huete, A. R., Liu, H. Q., Batchily, K., and van Leeuwen, W., 1997:“A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS”, *Remote Sens. Environ.*, 59, 440-451.
- Huete A. R., Justice C., and van Leeuwen, W., 1999:“MODIS vegetation index (MOD13), EOS MODIS algorithm theoretical basis document”, Version 3.
- Huete, A. R., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., and Ferreira L. G., 2002:“Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices”, *Remote Sens. Environ.*, 83, 195-213.
- Miura T., Huete A. R., van Leeuwen W. J. D., and Didan, K., 1998:“Vegetation detection through smoke-filled AVIRIS images: An assessment using MODIS band pass”, *J. Geophys. Res.*, 103(D24), 32001-32011.
- Miura, T., Huete, A. R., Yoshioka, H., and Holben, B. N., 2001:“An error and sensitivity analysis of atmospheric resistant vegetation indices derived from dark target-based atmospheric correction”, *Remote Sens. Environ.*, 78, 284-298.
- Vermote, E. F., Saleous, C. O., Justice, Y. J., Privette, J. L., Remer, L., Roger, J. C., and Tanre, D., 1997:“Atmospheric correction of visible to middle-infrared EOS-MODIS data over land surfaces: Background, operational, algorithm and validation”, *J. Geophys. Res.*, 102(14), 17131-17141.
- Vermote, E. F., and Vermeulen, A., 1999:“MODIS atmospheric correction algorithm: spectral reflectance (MOD09). Algorithm technical background document”, Version 4.0.