

九九峰地區九二一地震崩塌植生指數變遷分析

Change Detection for Vegetation from Landslides of the 921 Earthquake at Mt. Jiujiufong with the NDVI Analysis

陳添水

Tien-Shui Chen

行政院農業委員會特有生物研究保育中心 南投縣集集鎮民生東路1號

Endemic Species Research Institute, Jiji, Nantou, Taiwan

摘要

本研究主要蒐集九九峰地區1999年至2004年之SPOT衛星影像進行影像植生指數分析，以探討該地區九二一地震崩塌後植群逐年之變遷情形。本研究區以埔里事業區第8至20林班為研究分析範圍，由常態化差異植生指數 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) 變遷分析結果，顯示九二一地震前植被覆蓋極為茂密，NDVI之平均值高達0.61，而地震後多數山頭崩落之土石大量堆積於局部溪谷坡腳，平均值劇降為0.37；地震後至桃芝颱風前為植被回復期，此近二年期間氣候較為穩定，植被逐漸回復覆蓋，2001年平均值已提高至0.54；桃芝颱風後至敏督利颱風後期間為變動期，此三年期間歷經桃芝與敏督利颱風挾帶豪雨之沖刷，植生指數則呈現變動情形。

Abstract

Vegetation recovery at Mt. Jiujiufong after the 921 earthquake of 21 September 1999 in Taiwan was investigated with the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) analysis. The time-series of seven SPOT satellite images for a period between 1999 to 2004 for an area covered by the 8th to 20th forest compartments in the Puli Working Circle were used. The results showed that the vegetation was flourished with the NDVI value of 0.61 prior to the earthquake, the value reduced to 0.37 immediately after the earthquake due to severe landslides. Then, the vegetation recovered gradually for nearly two years under stable weather conditions, and the NDVI value increased to 0.54 prior to Typhoon Toraji. For the three-year period between Typhoon Toraji of July 2001 and Typhoon Mindulle of July 2004, the NDVI values fluctuated widely with weather conditions at the mean value of 0.45, due to land erosion from rainfalls.

關鍵詞：常態化差異植生指數、植生、變遷、崩塌、九九峰

Key words: Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), vegetation, change, landslide, Mt. Jiujiufong

收件日期：94年3月4日

接受日期：94年5月31日

Received: March 4, 2005

Accepted: May 31, 2005

緒 言

由於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊之相互碰撞，使得台灣之地層易變形、斷裂錯動引發地震，地震次數相當頻繁。1999年9月21日凌晨所發生芮氏規模7.3之強烈地震，造成位於震央附近之南投縣及台中縣市重大災害，其中位於烏溪北岸之九九峰因地層屬頭料山層，岩性多為膠結差之礫石且坡度陡峭，產生嚴重崩塌，山頭呈現一片光禿景象。國內外專家學者基於自然生態保育、教育與觀光價值，殷切建議將該地劃設為自然保留區，行政院農業委員會遂依據文化資產保存法於2000年5月22日公告成立「九九峰自然保留區」，面積為1,198.4466 ha。九二一地震造成中部山區多處崩塌，大量土石崩落在山區河谷，於2001年7月底桃芝颱風侵襲，挾帶豐沛雨量引發土石流，2004年7月初又受敏督利颱風暨強盛西南氣流帶來強風豪雨之影響，亦造成中南部地區嚴重災情。

九二一地震前有關九九峰地區之調查報告僅廖(1992)研究該區之植群生態，發現維管束植物有112科295屬393種，並區分為4個植群型，惟該研究範圍僅限於南投縣草屯鎮與國姓鄉區域，並未涵括台中縣霧峰鄉與太平市區域。九二一地震後諸多研究單位積極投入九九峰地區之調查與研究，相關研究報告

陸續發表，如林等(2000)曾應用地理資訊系統之空間分析方法，評估九九峰集水區內崩塌地之特性，並推算崩塌地治理權重，以評估崩塌地治理之優先順序。林等(2001)曾以九九峰地震前後之SPOT衛星影像進行分析，量化崩塌區位及植生復育之情形，提供植生復育區位資訊，作為崩塌地監測與治理評估之用。黃(2002)曾以九二一地震與桃芝颱風前後4期SPOT衛星影像評估九九峰崩塌地植生恢復之狀態，發現歷經二年多植生稍有恢復，並建議該區崩塌地除急需處置者外，仍以自然恢復為宜。林等(2003)曾研究比較九九峰山坡基腳殘存樹林與崩塌土石掩埋區鳥類組成差異，評估地震後鳥類組成變化與植被回復之關係，指出該區地震後植被大都處於間歇性干擾的演替初期，而棲息的鳥類也以樹林邊緣及次生林鳥種為主，建議九九峰自然保留區之經營管理應注意非邊緣性森林鳥種之生態需求。林等(2004)曾以衛星影像資料監測九九峰地區九二一震災前後之崩塌地變遷及植生復育情形，結果顯示地震後二年(桃芝颱風前)植生已恢復50%以上。陳(2005)曾蒐集九九峰地區相關圖層資料，以地理資訊系統及影像處理軟體進行處理與分析，數據顯示海拔高度及坡度皆與九二一地震造成之崩塌有密切相關。本研究主要以九九峰地區之衛星影像進行影像植生指數分析，探討該地區

九二一地震崩塌植群逐年之變遷情形，俾提供相關單位擬定經營管理計畫及決策之參考。

材料與方法

一、研究區環境概況

九九峰地區位於南投縣與台中縣交界處之烏溪北岸，涵括南投縣草屯鎮、國姓鄉及台中縣霧峰鄉、太平市等4個鄉鎮市(圖1)。本研究區以埔里事業區第8至20林班為研究分析範圍，海拔高度由100多公尺至最高790.2m(第五版像片基本圖火炎山9520-II-

082)，其中位於300m至500m之間面積將近占61.57%，坡度為五級坡以上(>40%)面積約占68.34%，顯見該區多為陡峭尖銳之山峰與深溝。九二一地震前之土地利用類型多為天然植被，人為開墾區域多位於鄰近村落或溪谷較平緩之處，其中以天然闊葉混淆林面積最大，將近占58.65%。九九峰自然保留區內海拔高度大多超過400m，坡度為六級坡以上面積占70.10%，地勢較區外高且陡峭，甚易崩塌，為九二一地震主要崩塌區域(陳 2005)。九二一地震後林務局南投林區管理處曾於九九峰保留區外之溪谷土石崩塌堆積處以原生樹種進行人工造林；另一財團法人基金會亦

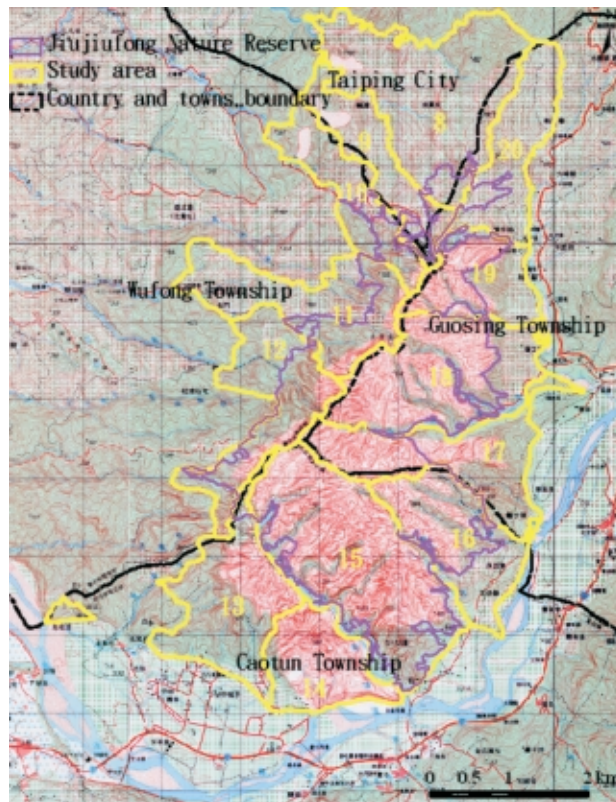


圖1. 九九峰地區研究範圍圖(黃色數字及黃線為第8至20林班)。

Fig. 1. The study area at Mt. Jiujiufong, Taiwan (yellow numbers and lines, the 8th to 20th forest compartments).

曾委託民間航空公司於九九峰外圍山壁崩塌地，以直昇機撒播方式進行造林試驗，惟歷經幾次豪雨與土石流之沖刷後，其成效難以彰顯。

距離九九峰地區較近之氣象觀測站為中央氣象局草屯雙冬站(C1H940)，惟該站僅有降雨資料，其1994年至2003年之統計資料見表1。降雨量主要集中於6月至8月，月平均降雨量皆超過400 mm，其中以8月之463.8 mm為最大；10月至翌年1月降雨量稀少，尤以11月之5.4 mm為最少，年平均降雨量為2,220.9 mm。月平均降雨日數與月平均降雨量情況相仿，以8月之19.0日為最多，最少為11月之2.7日，年平均降雨日數為113.2日。惟九二一地震後重要之氣候變化有2001年10月至2002年4月連續長達7個月乾旱期合計雨量僅78.5 mm；另根據該觀測站之逐日雨量資料，達到24小時累積雨量達130 mm以上之「豪雨」標準計有6日，分別為2001年7月30日(桃芝颱風)與8月28日單日降雨各為203.5 mm與143.0 mm；2004年7月2日至4日(敏督利颱風)單日降雨分別為134.0 mm、160.5 mm、250.5 mm，此3日合計為545.0 mm，以及當年8月25日(艾利颱風)單日降雨為220.5 mm。

二、材料與設備

(一)衛星影像資料

本研究所使用之法國SPOT衛星影像資料是向中央大學太空及遙測研究中心價購，影像皆為等級3(即之前Level 10)處理之產品，已

作系統改正，且使用地面控制點及林務局農航所40m網格數值地形模型資料完成精密幾何糾正，並以最近法(Nearest Neighborhood, NN)之重新取樣方式投影套合在台灣二度橫麥卡脫地圖投影座標系統上。所使用影像中2幅為1999年九二一地震前後拍攝，之後每年(2000年至2004年)各取1幅影像，共計挑選7幅影像，其屬性資料詳見表2，其中除1幅(1999年9月)為九二一地震後不久影像外，餘6幅影像為6月或7月拍攝，適值植被之生長期，影像為SPOT 1或SPOT 2衛星所拍攝之多波段影像，具有綠光、紅光及近紅外光等3個波段，影像之解像力為20m，拍攝當時之衛星入射角、太陽方位角與仰角除1999年9月影像差異較大外，其餘影像因拍攝日期相近，所以上述各種角度相差在8°之內，以降低植被生長與地形陰影所產生之差異。

(二)其它圖檔資料

其它圖檔資料包括康訊科技所提供之1/25,000地形圖影像、行政院主計處所提供之村里行政界線資料庫、林務局所提供之林小班圖與林班圖等。

(三)主要研究工具

主要研究分析軟體包括ERDAS IMAGINE遙測影像處理系統軟體、ESRI ArcView地理資訊系統軟體、Ulead PhotoImpact影像處理軟體、Microsoft Excel統計分析軟體及Microsoft Word文書處理軟體等。

表1. 中央氣象局草屯雙冬氣象觀測站(C1H940)1994年至2003年降雨統計資料

Table 1. Monthly and yearly means of precipitations (mm) and numbers of precipitation (days) at the Shuangtung Observatory of Taiwan Central Weather Bureau for 1994 to 2003

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Yearly
Precipitation (mm)	42.8	97.0	85.4	139.2	259.1	446.9	434.3	463.8	175.8	41.5	5.4	30.0	2220.9
Number of precipitation (days)	6.7	9.0	8.8	10.2	13.1	17.4	17.8	19.0	10.5	4.3	2.7	4.6	113.2

表2. 九九峰地區SPOT XS影像之屬性表

Table 2. Sources of SPOT XS images for Mt. Jiujiufong

Date	Time (a.m.)	Image code	Satellite number	Incidence	Azimuth	Elevation
24 June 1999	10:34:15	I0004105	SPOT2	-18.9°	87.2°	71.5°
27 Sep. 1999	10:37:15	I0003776	SPOT1	-10.4°	144.3°	60.2°
25 July 2000	10:29:37	I0003777	SPOT1	-24.8°	96.6°	68.8°
2 July 2001	10:54:36	I0004353	SPOT1	18.9°	89.9°	75.7°
20 June 2002	10:33:33	I0005456	SPOT2	-16.8°	87.3°	70.8°
10 July 2003	10:28:09	I0007688	SPOT2	-24.4°	89.4°	68.5°
12 July 2004	10:50:45	I0007038	SPOT2	-20.9°	93.2°	73.8°

三、研究方法

(一)文獻及圖檔資料蒐集

蒐集整理相關調查報告與參考文獻，並取得研究區之相關數值影像資料等。

(二)現場勘查

攜帶相關地圖、照片及影像至現場勘查比對，以瞭解研究區植被覆蓋及崩塌之變化情形。

(三)影像資料處理與分析

1.植生指數分析

因研究區多為陡峭尖銳之山峰與深溝，易受地形陰影效應之影響，Lillesand and Kiefer (1994)指出常態化差異植生指數(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)可消除坡度與坡向造成不同太陽照射之影響，而Lyon *et al.* (1998)曾以7種植生指數偵測Mexico Chiapas地區之植被變遷指出NDVI最不受地形因子影響且直方圖唯一呈常態分布，NDVI差異方法於變遷偵測產生最佳結果。本研究遂採用目前已被廣泛應用之NDVI進行變遷分析，此植生指數是由Rouse *et al.*於1973年最早提出應用在Landsat MSS影像上(Jensen 1986)，其計算式為

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

其中NDVI：常態化差異植生指數

NIR：近紅外光輻射值

R：紅光輻射值

為瞭解植被空間變化之情形，以IMAGINE軟體求算各期衛星影像之NDVI值後，分別作植生指數之分級，惟植被因類型、覆蓋度與地形等呈現不同輻射值之變化，研究文獻亦多決定其變遷門檻值少有予以分級，僅謝及鄭(1995)曾將福山地區分為0.0-0.3、0.3-1.0間以0.1值等級距分級，共分為8級；謝(1996)曾將東勢林區之大安事業區以控制聚集演算分為5級(非等級距)，然本研究區陡峭之地形實難以詳細區分類別等級，遂僅將NDVI值分為3個等級，分別為低指數區(值小於0.3，主要為崩塌裸露區及少許植被覆蓋)、中指數區(值介於0.3與0.5之間，主要為草地、灌叢或稀疏森林)、高指數區(值為0.5以上，主要為茂密森林)。

2.其它圖檔資料處理與研究區切取

為排除人為嚴重干擾區域，本研究以埔里事業區第8至20林班為研究分析範圍(圖1)，總面積約為3,050 ha。本研究以ArcView軟體將獲取之其它圖檔資料轉換為(.shp)向量式圖層，並製成第8至20林班研究區與自然保留

區向量圖層，另以Spatial Analyst模組將其轉換為(.img)網格檔作為切取網格影像或圖層之基準。

3.圖層製作與資料分析

將NDVI影像之直方圖以PhotoImpact軟體進行截取處理，以ArcView軟體套疊相關圖層與地圖物件後轉檔輸出，另將所蒐集降雨、影像與切取圖層屬性資料等以Excel軟體處理分析。

結果與討論

本研究所使用之7幅SPOT衛星影像如圖2，為了解各影像之實際情況與利於比對影像間之差異，所有影像未作任何顯揚(enhancement)，影像中紅色代表植被覆蓋良好區域，水藍色則代表崩塌裸露、溪流或雲層，由圖顯示僅1999年9月與2000年7月此2幅小部分區域有雲層。研究區於九二一地震前水藍色主要位於溪流外，植被覆蓋極為茂密(圖2A)；地震後水藍色區域劇增，顯示地震造成大量崩塌裸露(圖2B)；於桃芝颱風之前水藍色區域漸減，顯示崩塌裸露區植被逐漸回復(圖2C, 2D)；桃芝颱風後水藍色區域增加(圖2E)，之後水藍色區域又減少(圖2F)，至敏督利颱風之後水藍色區域又稍增且主要位於溪谷(圖2G)，顯示受颱風挾帶豪雨之沖刷，植被覆蓋呈現變動。茲將影像植生指數分析結果區隔3期分述如下：

一、九二一地震前後期間

研究區1999年6月NDVI影像之直方圖呈現單峰分布(圖3A)，NDVI之平均值高達0.61，值小於0.3之面積有21.31 ha，僅占研究區面積之0.7%(表3)，主要位於仙洞指坑溪與乾溪溪床(圖5A)，而大於0.5面積有2,878.73 ha，占高達94.39%，顯示研究區在九二一地震前植被覆蓋甚為茂密；1999年9月地震後影

像之直方圖大幅向左位移，轉變為左低右高之雙峰分布(圖3B)，NDVI平均值劇降為0.37，小於0.3之面積劇增為1,075.75 ha (35.27%)(表3)，大於0.5之面積劇降為1,063.12 ha (34.86%)，顯示九二一地震造成研究區大量崩塌裸露(圖5B)，而位於研究區北端之第20林班據陳(2005)研究分析結果六級坡以上(>55%)面積僅23.91%，為所有林班中較平緩者，崩塌面積僅占5.85%為最小者。

九九峰自然保留區於九二一地震前NDVI影像之直方圖為單峰分布(圖4A)，NDVI平均值為0.60與上述研究區相近，值小於0.3之面積僅1.44 ha，占保留區面積之0.12%(表4)，大於0.5面積有1,147.17 ha(高達95.67%)，顯示地震前區內植被覆蓋亦相當茂密(圖5A)；九二一地震之後影像NDVI直方圖大幅向左位移，轉變為左高右低之雙峰分布(圖4B)，平均值劇降為0.25，此與研究區為左低右高之雙峰分布，平均值為0.37，兩者相較顯示保留區崩塌裸露之相對面積較高，小於0.3之面積劇增為750.11 ha (62.56%)(表4)，大於0.5之面積劇降為136.93 ha (11.42%)，以及由圖亦顯示保留區為地震主要崩塌裸露區(圖5B)。

二、地震後至桃芝颱風前期間

研究區2000年7月(地震後近一年)NDVI影像直方圖轉變為左偏斜單峰分布(圖3C)，平均值稍提高至0.44，小於0.3之面積降為702.71 ha (23.04%)(表3)，大於0.5之面積增為1,541.69 ha (50.55%)，顯示植被已稍微回復(圖5C)；2001年7月(地震後近二年)影像直方圖仍為左偏斜單峰分布(圖3D)，但已向右移集中，平均值已提高至0.54，小於0.3之面積降為232.13 ha (7.61%)(表3)，大於0.5之面積增為2,148.61 ha (70.45%)，顯示植被覆蓋漸密(圖5D)，而黃(2002)就二年多之監測分析結果崩塌地植生已稍有恢復，然大多出現在基腳及近山腰處。



圖2. 九九峰研究區SPOT衛星3/2/1波段組合影像。

Fig. 2. The images of Mt. Jiujufong by SPOT 3/2/1 on 24 June 1999 (A), 27 Sep. 1999 (B), 25 July 2000 (C), 2 July 2001 (D), 20 June 2002 (E), 10 July 2003 (F), and 12 July 2004 (G) (red hues, the areas with vegetation; blue hues, areas with landslide).

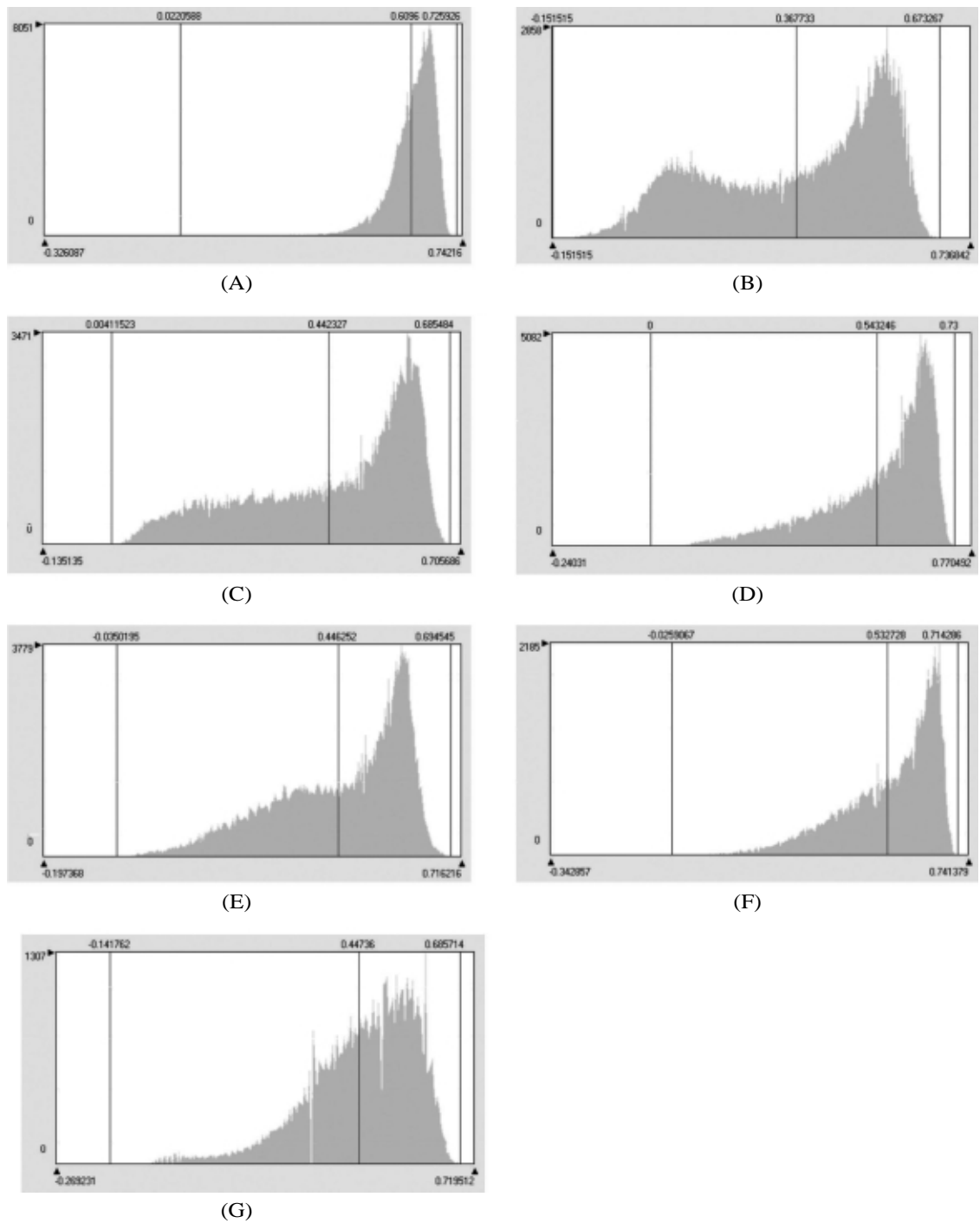


圖3. 九九峰研究區NDVI影像直方圖。

Fig. 3. The histograms of the NDVI images of Mt. Jiujufong on 24 June 1999 (A), 27 Sep. 1999 (B), 25 July 2000 (C), 2 July 2001 (D), 20 June 2002 (E), 10 July 2003 (F), and 12 July 2004 (G).

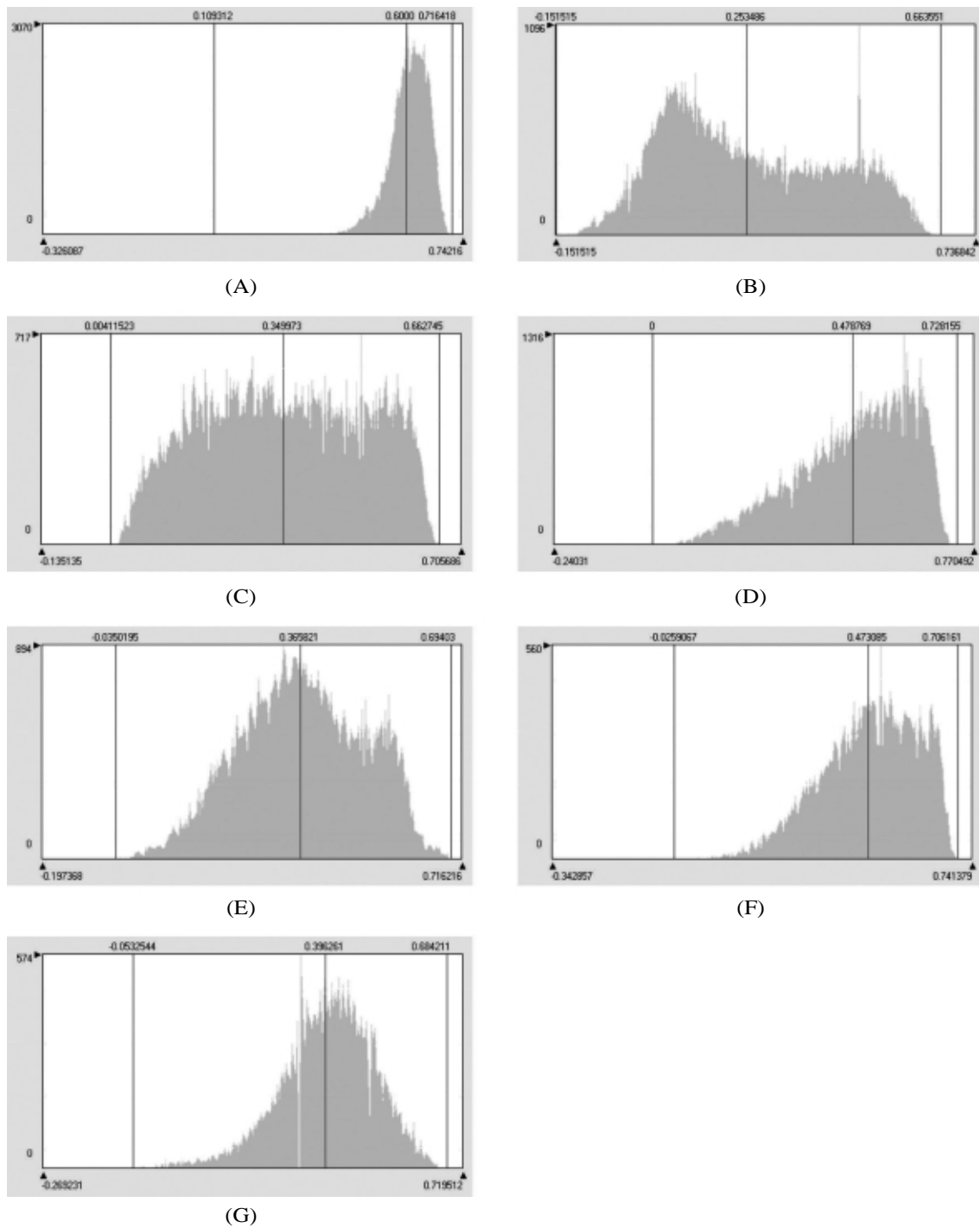


圖4. 九九峰自然保留區NDVI影像直方圖。

Fig. 4. The histograms of the NDVI images of the Jiujufong Nature Reserve on 24 June 1999 (A), 27 Sep. 1999 (B), 25 July 2000 (C), 2 July 2001 (D), 20 June 2002 (E), 10 July 2003 (F), and 12 July 2004(G).

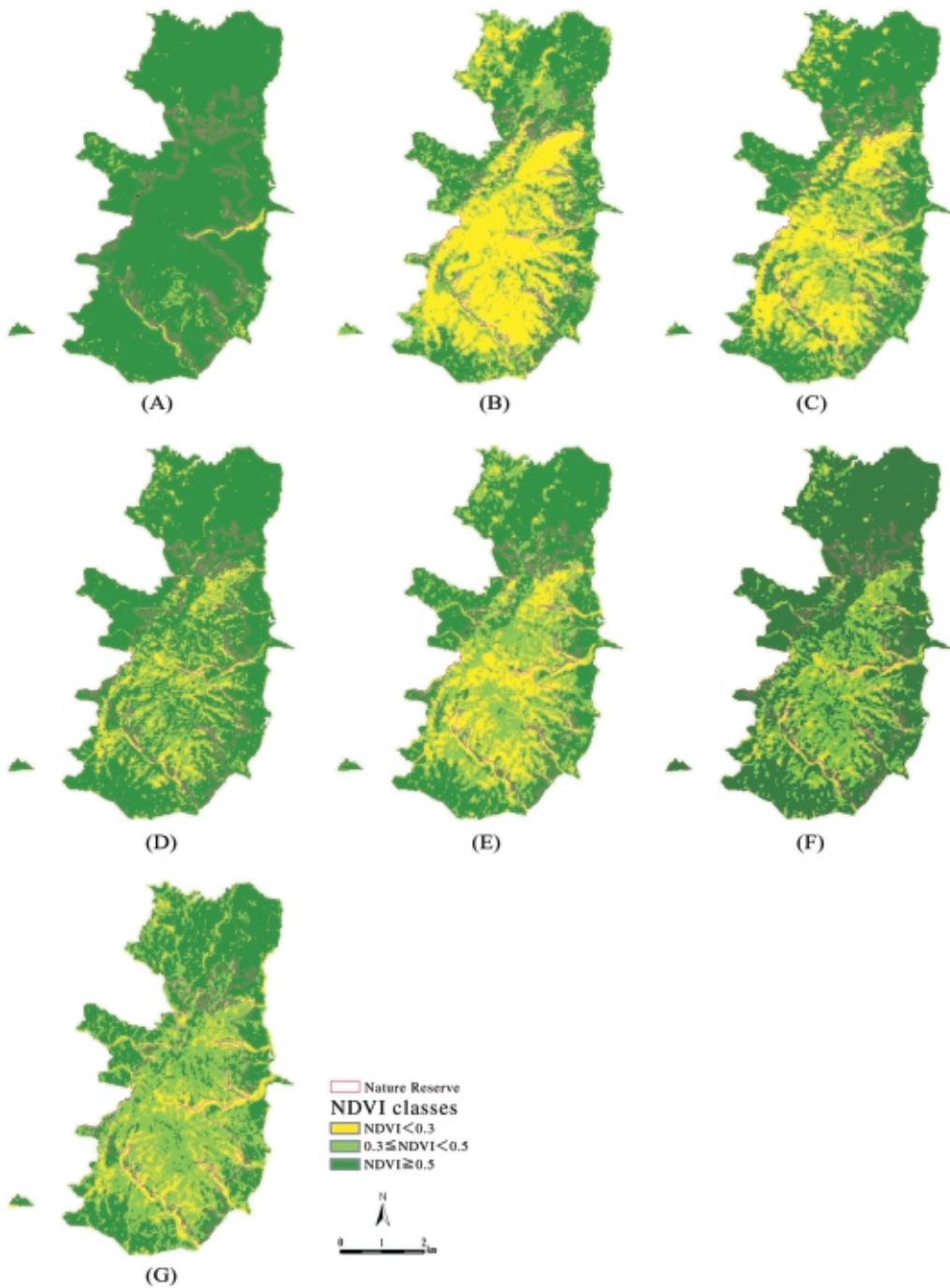


圖5. 九九峰研究區NDVI值分級影像。

Fig. 5. The NDVI classified images of Mt. Jiujufong on 24 June 1999 (A), 27 Sep. 1999 (B), 25 July 2000 (C), 2 July 2001 (D), 20 June 2002 (E), 10 July 2003 (F), and 12 July 2004 (G).

表3. 九九峰研究區NDVI值分級面積

Table 3. Areas (ha) (relative areas, % in parentheses) of NDVI classes at Mt. Jiujiufong

Date	NDVI<0.3	0.3≤NDVI<0.5	NDVI≥0.5
24 June 1999	21.31 (0.70)	149.83 (4.91)	2878.73 (94.39)
27 Sep. 1999	1075.75 (35.27)	911.00 (29.87)	1063.12 (34.86)
25 July 2000	702.71 (23.04)	805.47 (26.41)	1541.69 (50.55)
2 July 2001	232.13 (7.61)	669.13 (21.94)	2148.61 (70.45)
20 June 2002	557.06 (18.27)	1045.81 (34.29)	1447.00 (47.44)
10 July 2003	190.24 (6.24)	818.38 (26.83)	2041.25 (66.93)
12 July 2004	380.40 (12.47)	1392.87 (45.67)	1276.60 (41.86)

表4. 九九峰自然保留區NDVI值分級面積

Table 4. Areas (ha) (relative areas, % in parentheses) of NDVI classes at the Jiujiufong Nature Reserve

Date	NDVI<0.3	0.3≤NDVI<0.5	NDVI≥0.5
24 June 1999	1.44 (0.12)	50.45 (4.21)	1147.17 (95.67)
27 Sep. 1999	750.11 (62.56)	312.02 (26.02)	136.93 (11.42)
25 July 2000	495.08 (41.29)	435.95 (36.36)	268.03 (22.35)
2 July 2001	155.07 (12.93)	434.32 (36.22)	609.67 (50.85)
20 June 2002	389.19 (32.46)	582.30 (48.56)	227.57 (18.98)
10 July 2003	117.29 (9.78)	540.52 (45.08)	541.25 (45.14)
12 July 2004	206.74 (17.24)	782.99 (65.30)	209.33 (17.46)

自然保留區2000年7月NDVI影像直方圖轉變為平緩之單峰分布(圖4C)，平均值稍提高至0.35，小於0.3之面積降為495.08 ha (41.29%)(表4)，大於0.5之面積增至268.03 ha (22.35%)，植被已稍微回復(圖5C)；2001年7月影像直方圖轉變為左偏斜單峰分布(圖4D)，平均值提高至0.48，小於0.3之面積降為155.07 ha (12.93%)(表4)，大於0.5之面積增至609.67 ha (50.85%)，顯示保留區內植被亦逐漸回復覆蓋(圖5D)。

三、桃芝颱風後至敏督利颱風後期間

2001年7月底遇桃芝颱風挾帶豪雨侵襲，且歷經2001年10月至2002年4月長達7個月之異常乾旱期，研究區2002年6月(桃芝颱風後近一年即地震後近三年) NDVI影像直方圖卻反向左位移，轉變為左偏斜之近似雙峰分布(圖3E)，平均值降為0.45，小於0.3之面積增為557.06 ha (18.27%)(表3)，大於0.5之面積降為1,447.00 ha (47.44%)，顯然原有植被受颶風豪雨沖刷與長期乾旱致使落葉或枯黃，導致植物綠度降低(圖5E)；至2003年7月(桃芝颱風後二年即地震後近四年) 影像直方圖又回復為左偏斜單峰分布(圖3F)，平均值提高至0.53，

小於0.3之面積降至190.24 ha (6.24%)(表3)，大於0.5之面積增為2,041.25 ha (66.93%)，顯示植被歷經一年多較穩定之氣候後又有回復現象(圖5F)；然2004年7月初再遇敏督利颱風侵襲，連續3日降下豪雨，由該颱風過後9日之影像(地震後近五年)直方圖雖仍為左偏斜單峰分布(圖3G)，但向左位移，平均值又降為0.45，小於0.3面積增為380.40 ha (12.47%)(表3)，大多位於山谷與溪床，而大於0.5之面積降為1,276.60 ha (41.86%)，顯然植被受颱風豪雨沖刷或土石覆蓋之影響，植物指數再次降低(圖5G)。

自然保留區於歷經桃芝颱風挾帶豪雨侵襲與乾旱後，其2002年6月NDVI影像直方圖反向左位移，轉變為左偏斜之近似雙峰分布(圖4E)，平均值降為0.37，小於0.3之面積增為389.19 ha (32.46%)(表4)，大於0.5之面積增為227.57 ha (18.98%)，顯然植被受颱風豪雨與長期乾旱之影響(圖5E)；至2003年7月影像直方圖又回復為左偏斜單峰分布(圖4F)，平均值提高至0.47，小於0.3之面積降至117.29 ha (9.78%)(表4)，大於0.5之面積增為541.25 ha (45.14%)，顯示植被又有回復狀況(圖5F)；但2004年7月初再受敏督利颱風豪雨侵襲，影像直方圖向左位移轉變為單峰分布(圖4G)，平均值降為0.40，小於0.3面積增為206.74 ha (17.24%)(表4)，而大於0.5之面積降為209.33 ha (17.46%)，顯示植被再次受颱風豪雨沖刷而覆蓋度降低(圖5G)。

以植生指數進行變遷分析時，影像接收日期、太陽高度角、衛星入射角、雲層、植被生長狀況等皆為其重要之影響因子，尤如九九峰地區多為陡峭尖銳之山峰與深溝，受地形陰影效應影響嚴重，於挑選影像須審慎考量上述影響因子，以減低誤差。有關九九峰地區九二一地震崩塌變遷監測研究，如黃(2002)述及其所選用1999年至2001年4期SPOT影像為春季3月與冬季11月，可能對於草本植

生產生存在與否之差異，進而影響NDVI值變異與植生恢復之判定，另雖使用多期影像相對幅射同態化，但難以消除不同生長季節之植生差異。林等(2004)亦選用1999年至2001年SPOT影像，然所用5期影像之接收日期皆為不同月份。本研究所用1999年至2004年7幅影像，除1幅為9月外，餘6幅影像為6月或7月拍攝，適值植被之生長期，且影像之太陽高度角介於 60.2° - 75.7° ，較前者之 43.7° - 55.0° 高，故較能消除前述之困擾，並降低地形陰影效應之影響。

結 論

由植生指數變遷分析結果，本研究區於九二一地震前除溪床植被易遭豪雨洪水沖刷裸露外，幾乎為植物所覆蓋，NDVI之平均值高達0.61，而地震後多數山頭崩落之土石大量堆積於局部溪谷坡腳，部分溪床植被猶存，NDVI平均值劇降為0.37；九二一地震後至桃芝颱風前為回復期，此近二年期間氣候較為穩定，植被逐漸回復覆蓋，2001年NDVI平均值已提高至0.54；桃芝颱風後至敏督利颱風後期間為變動期，此三年期間歷經桃芝與敏督利颱風挾帶豪雨之沖刷，植生指數呈現(0.45-0.53-0.45)變動。綜觀地震後近五年九九峰地區植被已逐漸回復覆蓋，惟溪谷區域之植被易遭洪水沖刷，而自然保留區因為地震主要崩塌裸露區，植被雖有回復，仍尚未很穩定，植生指數易受颱風豪雨之影響而變動。

謝 誌

承蒙特有生物研究保育中心長官對本研究計畫之支持、督促與勉勵，林務局、行政院主計處及康訊科技公司等單位提供相關圖檔資料，組內同仁蘇小姐美如協助圖檔資料

取得及陳小姐怡姝協助資料蒐集與繕打，謹申謝忱。

引用文獻

- 林昭遠、林文賜、王清賢、陳素珠。2000。應用地理資訊系統於集集震災崩塌地之評估。水土保持學報32(3): 139-148。
- 林昭遠、吳瑞鵬、林文賜。2001。921震災崩塌地植生復育監測與評估。中華水土保持學報32(1): 59-66。
- 林文賜、黃碧慧、林昭遠、周文杰。2004。921震災崩塌地特性分析及變遷監測之研究。中華水土保持學報 35(2): 141-149。
- 林瑞興、許富雄、姚正得、艾台霖。2003。九二一地震後台灣九九峰鳥類組成變化與植被回復之關係。特有生物研究5(2): 47-59。
- 陳添水。2005。應用地理資訊系統於九九峰九二一地震崩塌分析。特有生物研究 7(1): 69-87。
- 黃凱易。2002。九九峰自然保留區地覆變遷之監測與分析。林業研究季刊 24(3): 35-48。
- 廖秋成。1992。南投雙冬火災山地區植群生態與植物區系之研究。國立中興大學實驗林研究報告14(1): 1-60。
- 謝漢欽、鄭祈全。1995。福山地區SPOT多期影像植生綠度分析。林業試驗所研究報告季刊 10(1): 105-120。
- 謝漢欽。1996。應用SPOT衛星影像與地理資訊林地土地利用型綠度分析。台灣林業科學 11(1): 77-86。
- Jensen, J. R. 1986. Introductory digital image processing: A remote sensing perspective. Prentice-Hall, New Jersey.
- Lillesand, T. M. and R. W. Kiefer. 1994. Remote sensing and image interpretation. John

Wiley and Sons.

- Lyon, J. G., D. Yuan, R. S. Lunetta and C. D. Elvidge. 1998. A change detection experiment using vegetation indices. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 64(2): 143-150.