

應用生態指標探討九份二山崩塌地植生復育變遷之研究

林昭遠⁽¹⁾ 王祥帆⁽²⁾ 莊智瑋⁽³⁾

摘 要

921 地震造成南投縣國姓鄉九份二山大面積岩層崩塌，導致植生及生態環境大規模之破壞，然震災至今已屆六年，崩塌地植生復育變遷有待評估。遙測影像具有多光譜、多時階及多空間解析度之特性，常被應用於環境變遷之研究，本研究以衛星影像監測地震後五年期間之崩塌區位植生復育情形，並配合嵌塊體理論加以量化及描述，探討嵌塊體結構之時空變異、干擾情況及多樣性等。分析結果顯示，植生復育率有逐年恢復之趨勢，從 2000/10/29 至 2004/7/12 間復育率高達 70.1%，其中堆積區位植生復育情況良好，崩塌區位及河道兩側則不利於植群入侵生長。崩塌區位因周遭植群侵入及堆積區位內部植被自然恢復，導致嵌塊體切割呈破碎狀，使復育「優」及「普通」之嵌塊體數目、面積及邊緣有增加趨勢。因此，嵌塊體理論與植生復育情形結合，可進一步了解變遷的過程。

(**關鍵詞**：遙感探測、植生復育率、生態指標、崩塌地)

A Study of Vegetation Recovery for the Landslides in the Chiufenershan Using Ecological Index

Chao-Yuan Lin⁽¹⁾, Hsiang-Fan Wang⁽²⁾, Chin-Wei Chuang⁽³⁾

Professor⁽¹⁾, Graduate Student⁽²⁾, Research Assistant⁽³⁾ Department of Soil and Water Conservation,
National Chung Hsing University

ABSTRACT

This study unvestugate the ecological environment of large-scale hazard caused by 921 earthquake at Guoshing township in Nantou on 21st September, 1999. Satellite images and digital elevation model coupled with GIS were used to extract topographic information and vegetation recovery rate of landslide, according to landscape ecology theory to analyze spatial change, interference dynamics, and biodiversity. The results show that vegetation recovery rate had risen 70.1% between 29th October, 2000 and 12th July, 2004. In the analysis of vegetation recovery sites, it shows deposition sites are suitable for vegetation growth, however, the avalanche sites and riverine area are opposite. The vegetation has intruded from the edge and the interior of the patch, caused the

(1)國立中興大學水土保持學系教授

(2)國立中興大學水土保持學系碩士研究生

(3)國立中興大學水土保持學系研究助理

patch fragmentation. Therefore sizes, areas and edges of the patch increased, shape index and piece fractal dimension flowed vegetation growth, complexity increased of the patch. Accordingly, the vegetation recovery rate association with ecological index can be used to indicate the change processes.

(**Keywords**：Remote sensing, Vegetation recovery rate, Ecological index, Landslide.)

壹、前言

南投縣國姓鄉長石巷一帶於 1999 年 9 月 21 日凌晨，受集集大地震(芮氏規模 7.3)影響，造成大量人員傷亡與房屋毀損，崩塌範圍內之道路、河流更產生位移、毀損或消失，生態環境遭受嚴重迫害。九份二山崩塌區位植生破壞規模極大，該區崩塌地瞬間崩落，造成岩層裸露，植生難以入侵，導致生態環境復原緩慢。

崩塌區位若採用現地調查或航照判釋不但費時費力，且難以監測及評估大範圍崩塌區位之植生復育情形，衛星影像具有多時攝像、大面積涵蓋及快速分析等優點，可與舊有影像比對，得知變遷過程(蕭國鑫，1994)，對崩塌區位植生復育之監測與評估助益極大。

本研究以九份二山南港一號橋集水區為分析對象，利用 921 地震前後期 SPOT 衛星影像進行崩塌區位判釋，分析地震後崩塌區位各評估期衛星影像之植生復育率，並利用嵌塊體理論進行生態指標之分析，探討各評估期植生復育之演替及變遷過程。

貳、研究試區

以九份二山南港一號橋集水區(圖 1)，面積約 3,281ha。行政區域分屬南投縣國姓鄉、埔里鎮、草屯鎮、魚池鄉、水里鄉以及中寮鄉。集水區地勢由西南向東北低斜，高程分布 300~1,300 公尺之間，主要高程分布於 500~900 公尺，占集水區 58.44%；坡度依據水土保持技術規範分為七級，集水區內坡度主要分布以五級坡及六級坡為主，占集水區 57.25%，全區地勢陡峻；坡向分布以東坡向居多，占集水區 20.55%(圖 2)。

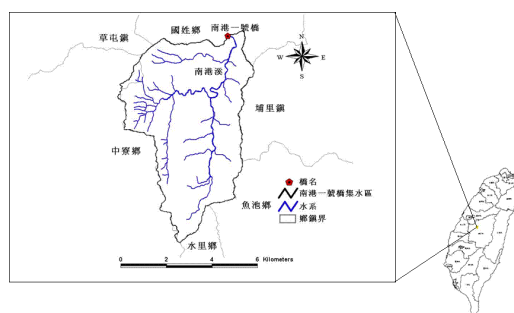


圖 1. 研究試區位置圖
Figure 1. Location of study area.

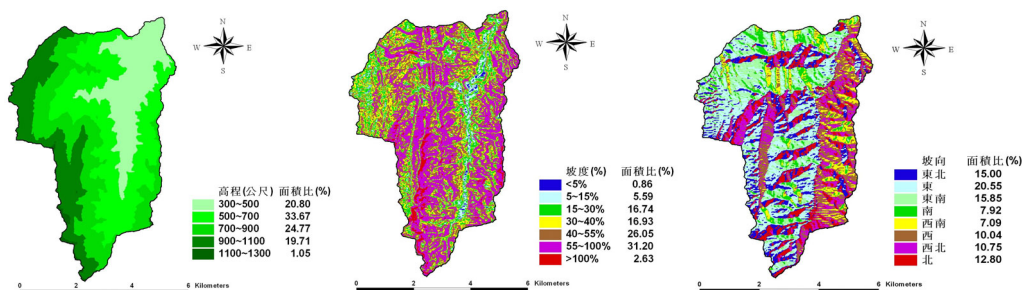


圖 2. 研究試區相關圖資
Figure 2. Maps of site information used for this study.

參、材料與方法

一、研究流程

以影像相減法進行地震前後兩期衛星影像之崩塌區位判釋，再以震災後一年(2000/10/29)、桃芝風災後(2001/12/3)及七二水災後(2004/7/12)等三期衛星影像分析植生復育率及生態指標，探討崩塌區位經不同時期之植生復育狀況及生態結構變遷，研究流程如圖 3 所示。

二、研究材料

(一) 數值地形模型

以林務局農林航測所製作之數值地形模型(Digital Terrain Model, DTM)，進行集水區資訊萃取，包括坡度、坡向及水系網分析。

（二）衛星影像

衛星影像購自中央大學太空及遙測研究中心，為法國 SPOT 之衛星影像。分別為 1999/4/1 (地震前)、1999/9/27、2000/10/29、2001/12/3 及 2004/7/12 等五個時期，用以進行崩場地萃取及植生復育率評估(圖 4)。

三、分析方法

(一) 崩塌區位分析及檢定

因 SPOT 衛星影像感測器所接收的波

段爲綠光、紅光及近紅外光，且綠色植物具有吸收藍光、紅光及強烈反射近紅外光之特性，利用此原理可計算常態化差異植生指標 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)。NDVI 值介於-1~1 之間，其值小於零，屬非植生之雲層、水域及陰影等；值愈大時，代表地表植物生育愈旺盛、植被覆蓋佳(Burgan and Hartford, 1993)。

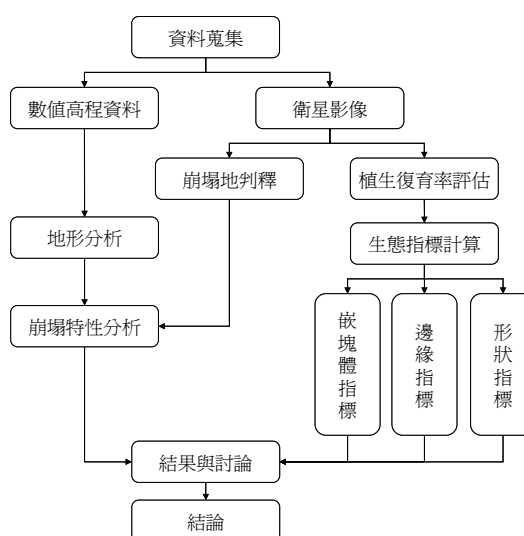


圖 3. 研究流程圖
Figure 3. Flowchart of the study.

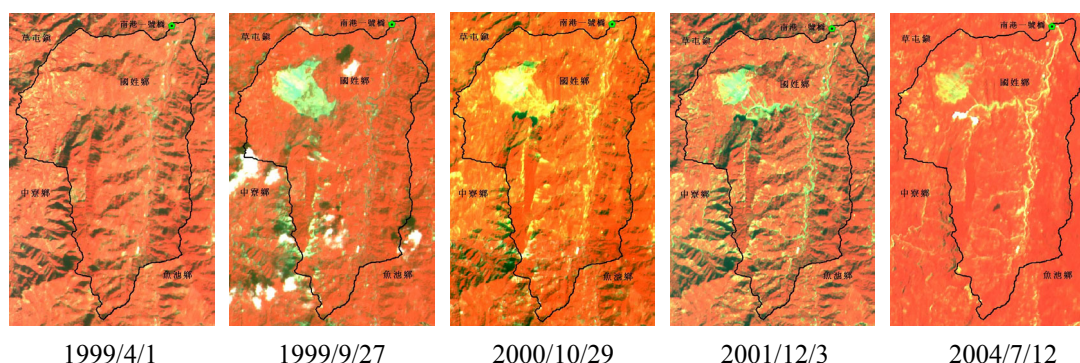


圖 4. 多期衛星影像資料
Figure 4. SPOT satellite images.

$$NDVI = \frac{(IR - R)}{(IR + R)}$$

IR：近紅外光波段。

R：紅光波段。

本研究利用地震前後兩期 SPOT 衛星影像，以影像相減法計算 NDVI 差值為主，Kappa 準確度分析為輔，推求集水區之崩塌區位。崩塌地自動萃取流程(林昭遠，2005)如圖 5 所示。

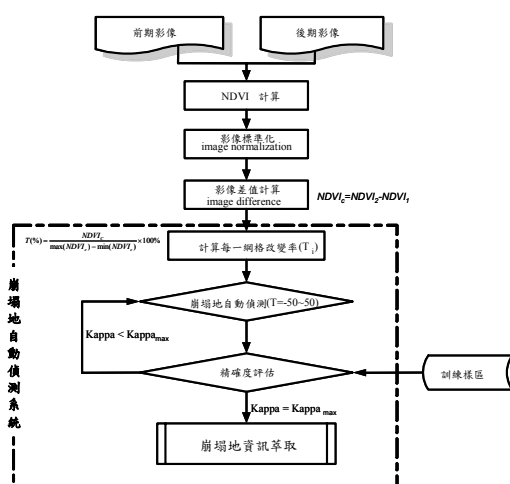


圖 5. 崩塌地自動萃取流程

Figure 5. Flowchart of automated delineation of landslides.

Kappa 準確度分析係由分類過後的崩塌地影像中抽取樣本資料，與實際崩塌地相比對，計算出判釋的精確度，其值越高代表崩塌地萃取精確度越高。Kappa 之計算式如下 (Congalton, 1991)：

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

n：分類矩陣之列數。

N：全部樣點數目。

X_{ii} ：分類矩陣中欄列對角之樣點數目。

X_{i+} ：分類矩陣中各列之樣點數目。

X_{+i} ：分類矩陣中各行之樣點數目。

(二) 植生復育率評估

植生復育率係以崩塌區位地震前之 NDVI0 為參考值，計算任一評估期之 NDVI2 恢復至地震前之百分比，其計算式如下(林昭遠等，2001)：

$$VRR(\%) = \frac{NDVI_2 - NDVI_1}{NDVI_0 - NDVI_1} \times 100\%$$

NDVI0：崩塌前之植生指標。

NDVI1：崩塌初期之植生指標。

NDVI2：評估期之植生指標。

(三) 生態指數計算

景觀係一群彼此間發生交互作用之生態系所組成之異質區域(Forman and Godron, 1986)。嵌塊體理論著重在空間異質性之生態意義及空間與分布之內涵，強調在人為處理與自然現象共同作用下，對於區域生態系統的影響。本研究利用嵌塊體、邊緣及形狀等指標(McGarigal and Marks, 1995)分析崩塌區位植生復育之變遷過程。

1. 嵌塊體指標：

嵌塊體數目及平均嵌塊體大小為敘述嵌塊體之基本統計量。

(1) 嵌塊體數目(NP)：數目的多寡，表示景觀之零散程度。

$$NP = n_i$$

n_i ：景觀內 i 類別的嵌塊體數目。

(2) 平均嵌塊體大小(MPS)：嵌塊體的大小，以公頃表示。

$$MPS = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n_i} \left(\frac{1}{10,000} \right)$$

林昭遠、王祥帆、莊智瑋：應用生態指標探討九份二山崩場地植生復育變遷之研究

a_{ij} ：表示 i 類嵌塊體中第 j 個之面積，
以平方公尺表示。

n_i ：景觀內 i 類別的嵌塊體數目。

$$MSI = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{0.25 p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}}}{n_i}$$

2. 邊緣指標：

邊緣指標為嵌塊體與相鄰的景觀單元的能量、物質及物種的相互作用。

- (1) 邊緣(TE)：嵌塊體邊緣長度為嵌塊體與相關景觀單元之能量、物質及物種的相互作用，以公尺表示。

$$TE = \sum_{k=1}^n e_{ik}$$

e_{ik} ：為景觀中兩相鄰嵌塊體 i、k 邊界長度，以公尺表示。

n ：為嵌塊體的類別數，亦包括景觀邊界。

- (2) 邊緣密度(ED)：表示嵌塊體的邊緣密度，其意義類似邊緣長度，以公尺表示之。

$$ED = \frac{\sum_{k=1}^n e_{ik}}{A}$$

e_{ik} ：為景觀中兩相鄰嵌塊體 i、k 邊界長度，以公尺表示。

n ：為嵌塊體的類別數，亦包括景觀邊界。

A ：為景觀總面積，以平方公尺表示。

3. 形狀指標：

以嵌塊體面積-周長關係為主之指數，藉由此指數可了解許多之生態作用，如動物遷徙、植物林相改變、人為活動等均會影響嵌塊體的形狀，形狀之重要性及對生態之影響性與邊緣效應有密切之相關性。

- (1) 平均形狀指數(MSI)：表示嵌塊體形狀的變化，其值愈接近於 1，則形狀愈接近於圓形。

a_{ij} ：i 類嵌塊體中第 j 個之面積。

n_i ：於景觀內 i 類別的嵌塊體數目。

p_{ij} ：i 類嵌塊體中第 j 個之邊緣長度。

- (2) 平均碎形維度(MPFD)：其值介於 1~2 之間，若值愈大，表示嵌塊體的形狀愈複雜。

$$MPFD = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{2 \ln(0.25) p_{ij}}{\ln a_{ij}}}{n_i}$$

a_{ij} ：表示 i 類嵌塊體中第 j 個之面積。

n_i ：於景觀內 i 類別的嵌塊體數目。

p_{ij} ：表示 i 類嵌塊體中第 j 個之邊緣長度。

肆、結果與討論

一、崩塌區位判釋

921 地震後，九份二山之大量土石順向滑動，於地貌上造成明顯之變化。崩塌區位分析結果顯示，判釋準確度 Kappa 值為 76.8%，整體準確度為 88.4%，誤差矩陣如表 1 所示，最後將分析之崩場地扣除雲層、陰影等干擾值，可得知地震後崩塌區位，面積約為 234ha。

為瞭解崩場地與地形因子之相關性，計算九份二山高程、坡度及坡向等因子之崩塌率如表 2 所示。高程以 500~700m 之區位其崩塌程度較為嚴重，占 9.94%，其次為 1100~1300m 及 700~900m，各占 8.76% 及 8.63%；坡度而言，以七級坡(>100%)最為嚴重，占 35.63%；坡向而言，崩塌方向則為東南坡向居多，占 17.83%，其次為南及東坡向，各占 8.98% 及 8.14%。由上述結果得知坡度陡峭(>100%)區位易造成坡面不穩定性；試區多屬東南坡向崩塌為主。

表 1. 崩場地分類之誤差矩陣
Table 1. The error matrix for landslide classification.

分類成果	崩場地	非崩場地	使用者經度
崩場地	96	0	100.0%
非崩場地	29	125	81.2%
生產者經度	76.8%	100.0%	
整體精確度=88.4%		Kappa=76.8%	

二、植生復育率分析

植生復育率分析結果顯示崩場區位植生有逐漸恢復之趨勢，從 2000/10/29 至 2004/7/12 上升 47.6%(圖 6)。再將植生復育率依植生復育情況分為四類，極差(<0%)、差(0~50%)、普通(50%~100%)、優(>100%)，如圖 7 所示。顯示崩場區位因地震時大量土石順著東南坡向滑動，造成岩層裸露，又因降雨及地表逕流造成表土沖蝕，破壞土壤結

構及植被根系，導致植群入侵及植被生長情況不理想；堆積區位因地震時造成土石堆積，周遭植群易於入侵，生長情況良好且逐漸向崩場區位入侵；河道因溪流持續對兩岸進行沖蝕，造成土壤結構破壞及流失，使植被無法生長，故植生恢復情況不理想，以河道凹岸最為嚴重。

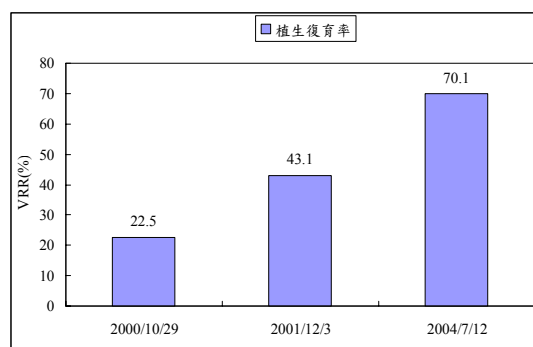


圖 6. 崩場地各期影像之植生復育評估
Figure 6. Vegetation recovery rate of landslides derived from different stages.

表 2. 集水區崩塌率
Table 2. Landslide rate of watershed.

高程(m)	300~500	500~700	700~900	900~1100	1100~1300
總面積(ha)	665.92	1127.20	804.48	641.60	34.72
崩塌面積(ha)	2.56	112.00	69.44	45.60	3.04
崩塌率(%)	0.38	9.94	8.63	7.11	8.76

坡度(%)	<5%	5~15%	15~30%	30~40%	40~55%	55~100%	>100%
總面積(ha)	31.04	214.40	651.52	634.56	901.44	799.20	41.76
崩塌面積(ha)	5.28	26.08	45.44	38.56	54.08	47.52	14.88
崩塌率(%)	17.01	12.16	6.97	6.08	6.00	5.95	35.63

坡向	東北	東	東南	南	西南	西	西北	北
總面積(ha)	471.04	736.96	463.04	281.44	184.64	372.48	305.92	458.40
崩塌面積(ha)	22.72	60.00	82.56	25.28	10.56	12.16	5.60	12.96
崩塌率(%)	4.82	8.14	17.83	8.98	5.72	3.26	1.83	2.83

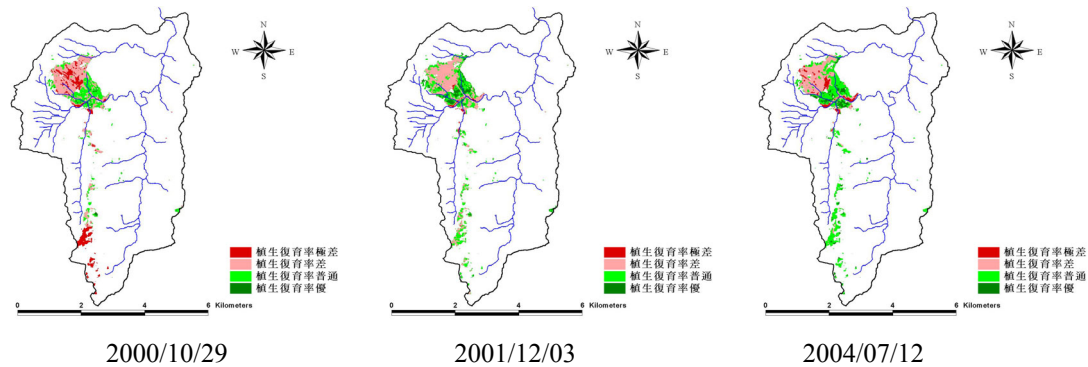


圖 7. 崩場地之植生復育率分布圖

Figure 7. Spatial distribution of vegetation recovery rate at the landslides.

表 3. 各期植生復育之面積分布

Table 3. Distribution of vegetation recovery rate from different areas.

時間 植生復育率	2000/10/29		2001/12/3		2004/7/12	
	面積(ha)	百分比(%)	面積(ha)	百分比(%)	面積(ha)	百分比(%)
極差	50.48	21.57	7.30	3.12	18.88	8.07
差	111.22	47.53	109.50	46.79	83.20	35.55
普通	66.20	28.29	89.55	38.27	105.19	44.95
優	6.11	2.61	27.67	11.82	26.75	11.43
總計	234.02	100	234.02	100	234.02	100

表 4. 崩塌區位植生復育類別之生態指標

Table 4. Ecology index of classification of vegetation recovery rate at the landslides.

時間	植生復育率	<i>NP</i>	<i>MPS</i>	<i>TE</i>	<i>ED</i>	<i>MSI</i>	<i>MPFD</i>
2000/10/29	極差	117	0.4314	15,350	0.03	1.19	1.05
	差	105	1.0592	29,400	0.03	1.24	1.05
	普通	124	0.5338	24,675	0.04	1.21	1.05
	優	72	0.0848	300	0.00	1.12	1.04
2001/12/03	極差	59	0.1236	200	0.00	1.13	1.04
	差	142	0.7711	32,300	0.03	1.20	1.05
	普通	197	0.4545	43,175	0.05	1.26	1.06
	優	125	0.2213	11,350	0.04	1.16	1.04
2004/07/12	極差	45	0.4194	375	0.00	1.23	1.06
	差	79	1.0532	20,025	0.02	1.20	1.05
	普通	149	0.7059	30,175	0.03	1.24	1.06
	優	153	0.1748	11,425	0.04	1.14	1.04

備註：NP=嵌塊體數目；MPS=平均嵌塊體大小；TE=邊緣；ED=邊緣密度；MSI=平均形狀指數；MPFD=平均碎形維度。

三、生態指標之分析

為瞭解崩塌區位內各期植生復育之結構變化，統計各期植生復育之面積分布如表 3 所示，結果顯示 2000 年~2004 年崩場地之植生復育情況，復育優及普通區位由 30.9% 增為 56.38%，表示崩塌區位植生復育情況良好。依植生復育率類別作嵌塊體分析，可發現 2000/10/29 至 2001/12/3 間，集水區西南端及崩塌區位之復育極差區位已有改善(圖 7)，配合表 4 可悉知 2001/12/3「極差」嵌塊體之 NP 較 2000/10/29 減少 58 個，MPS 降低為 0.1236ha，TE 亦由 15,350m 降至 200m；而 2001/12/3「差」及「普通」嵌塊體之 NP，分別較前期增加 37 個及 73 個，TE 亦分別增加 10% 及 75%；堆積區位植生復育情況良好，「優」嵌塊體之 NP 較前期增加 53 個，MPS 增至 0.2213ha，TE 由 300m 增至 11,350m。由圖 7 及表 4 可知悉，嵌塊體 NP、MPS 及 TE 之變動，呈現植生復育「嵌塊體」破碎化的現象，而破碎化的現象意味植生復育良好。2001/12/3 至 2004/7/12 間，可知崩塌區位及河道兩側復育情況已惡化(圖 7)，「極差」嵌塊體之 NP 較前期減少 14 個，MPS 增至 0.4194ha；而 2001/12/3「差」及「普通」嵌塊體之 NP，分別較前期減少 63 個及 48 個，TE 亦分別降低 38% 及 30%；「優」嵌塊體之 NP 較前期增加 28 個，MPS 降低至 0.1748ha。上述結果可知嵌塊體 NP、MPS 及 TE 之變動，植生復育「嵌塊體」呈聚合化的現象，其植生復育良好。

伍、結 論

本研究以衛星影像結合嵌塊體理論，量化評估九份二山南港一號橋集水區崩塌區位植生復育之情形及變遷過程。結果顯示，2001/12/3 崩塌區位因邊緣受周遭植群入侵及堆積區位植被由內部復育，植生復育「嵌塊

體」呈破碎化的現象，植生復育「優」及「普通」區位達 50.09%；2004/7/12 因經過兩年半的演替，植生復育「嵌塊體」呈聚合化的現象，崩塌區位內植生復育「優」及「普通」已高達 56.38%，主要是堆積區位植被生長情況漸佳。將嵌塊體理論與植生復育率結合，可進一步了解植生復育情形變遷的過程，若能加入相關資料，如地質、土壤及生態等調查，即可對景觀生態系統作更深入地了解。

陸、參考文獻

1. 林昭遠、吳瑞鵬、林文賜 (2001)，「921 震災崩場地植生復育監測與評估」，中華水土保持學報，32(1)：59-66。
2. 林昭遠 (2005)，「應用生態指數探討九份二山、華山及草嶺地區植生復育之空間分布與調查分析」，行政院農業委員會水土保持局編印，成果報告書，p.42。
3. 蕭國鑫 (1994)，「遙測與 GIS 結合應用於台北盆地土地利用分類及變遷分析」，遙感探測，21：21-54。
4. Burgan, R. E. and R. A. Hartford (1993), "Monitoring Vegetation Greenness with Satellite Data," USDA Forest Service Intermountain Research Station General Technical Report INT-297, p.14.
5. Congalton, R. G. (1991), "A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data," Remote Sensing of Environment, 37：35-46.
6. Forman, R. T. T. and M. Godron (1986), "Landscape Ecology," John Wiley & Sons, New York, p.8.

95 年 07 月 01 日 收稿

95 年 08 月 15 日 修改

95 年 08 月 22 日 接受