

應用 IDRISI 遙測影像程式於地滑地變遷之研析

劉家宏^[1] 馮正一^{[1]*} 楊明德^[2] 黃志彰^[3]

摘要 本研究探討 IDRISI 遙測影像分析程式於地滑地變遷之應用，應用各種植生指標於地滑地判釋及植生復育監測之探討。本研究使用 SPOT 及 FORMOSA2 衛星影像，以 IDRISI 程式進行植生指標計算，比較各種植生指標於地滑地變遷判釋之優劣。應用各種植生指標對於地滑地判釋結果，顯示 Distance-based 植生指標雖優於 Slope-Based 植生指標，但因計算 Distance-based 分析中之參數需利用裸露地之光譜資料求得，對於應用於大範圍監測時，會因裸露地資訊不易取得而導致計算上資料缺乏之困難。

關鍵詞：IDRISI、遙測、地滑、植生指標。

Application of IDRISI Remote Sensing Image Program to Landslide Changes

Jia-Hong Liu^[1] Zheng-Yi Feng^{[1]*} Ming-Der Yang^[2] Jih-Jang Huang^[3]

ABSTRACT This study applies the remote sensing images analysis program, IDRISI, to monitor and analyze the various vegetation indices of the landslide area. From this, topographic changes due to landslides and their suitability for vegetative restoration can be examined. Satellite images of SPOT and FORMOSA2 were input into the IDRISI program to calculate the vegetation indices to compare the effectiveness of the various vegetation indices in interpreting landslides. It is concluded distance-based indices are generally better than slope-based indices. However, distance-based index analysis requires parameters estimated from the spectra of barren surfaces. This spectra information may not be available in many areas and may cause calculation difficulties.

Key Words: IDRISI, remote sensing, landslide, vegetation index.

一、前言

利用衛星影像遙感探測技術進行地滑地變遷研究，不僅可針對崩塌之擴大進行監測，亦可得復育或整治績效評估。本研究應用 IDRISI 程式 (Eastman and Clark Lab, 2009) 分析衛星影像進行多種植生指標計算，因衛星可進行較大範圍且持續的影像蒐集

利於變遷監測，利用文獻中相關植生指標以及 IDRISI 程式之植生指標模組 VegIndex 所列舉之數項植生指標，經由本研究針對各植生指標進行分離度評估分析後，選擇分離度較佳之數個植生指標作為辨識地滑地的工具之一，並將各指標分析後之結果進行比較，以評估各植生指標應用於地滑地變遷之敏感度辨識。

本研究選定苗栗八燕坑一處地滑地作為本研究之

[1] 國立中興大學水土保持學系
Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan

[2] 國立中興大學土木工程學系
Department of Civil Engineering, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan

[3] 國立屏東科技大學土木工程系
Department of Civil Engineering, National Pingtung University of Science and Technology, Pingtung 912, Taiwan

*Corresponding Author. E-mail address: tonyfeng@nchu.edu.tw

試區，以衛星影像（SPOT 與 FORMOSA2 衛星影像）之光譜波段應用 IDRISI 程式進行植生指標計算。植生指標即是利用植物在紅光波段以及近紅外光波段的光譜反射特性，來反映地表狀況，藉由指標值的大小變化表示一地區內地表植物生長變遷情形。選定植生指標後，本研究以 IDRISI 程式中之 VegIndex 模組（簡稱 VI 模組）計算求得，模組中已有內建之植生指標，內建指標詳如 2.3 節，本研究以程式中的 Image Calculator 模組進行波段運算求得。針對地滑地辨識比較，首先利用試區之航照，將地滑地範圍數化成圖檔，用以切取各植生指標，比較所選定之各植生指標對於地滑地辨識之成果。

二、研究方法

1. 研究試區

研究試區位於苗栗縣銅鑼鄉八燕坑野溪的一處地滑地（如圖 1 中虛線所框選範圍），屬於後龍溪流域的雞隆河集水區內，該處地滑地的地質為新第三紀沉積岩，經現地調查後，居民口述於 2006 年 6 月 9 日所發生之地滑，應為豪雨所造成。由於地滑所造成的堆積土石可能成為土石流的材料來源之一，地滑地尚未穩定，若經再次降雨易引發二度的崩塌，除了會影響一旁的保全對象（地滑地旁有一戶保全對象，約 10 人），亦會造成更多的土石堆積在野溪中。

將土石流潛勢溪流、地滑地位置等圖資展示於 GIS，由位置圖可發現距離地滑地下方約 220m 處有一土石流潛勢溪流（苗縣 DF023）。在高強度降雨時，此地滑地之堆積土石將有可能沿著八燕坑野溪而流入苗縣 DF023，恐將造成更嚴重的土砂災害或土石流，危及下游地區的保全對象。

2. 遙測影像資料

本研究使用之圖籍資料有航照影像及衛星影像，航照影像為地滑發生前一期（2004/07）如圖 2 所示、及地滑發生後兩期（2006/10、2007/04），後期影像精度為 10m/pixel、1/1000 之正射影像，如圖 3、4 所示。藉由地滑發生前後期之航照影像可以觀察出地滑地發生位置，並利用 ArcGIS（ESRI, 2009）將地滑發生區位數化成向量檔，以利後續分析。經由地滑地前期以及後期的航照（圖 2~4）中比對，可看出：

(1) 地滑地是以東北向西南的方向滑動，圖中虛線範

圍為地滑地範圍。

(2) 圖 2 與圖 3 中以黑色線矩形為一水塔（經現地勘查）約位移了 70 公尺。

(3) 在地滑發生後的兩期航照中可以看出裸露地的植生已有漸漸生長之情形。

(4) 由航照中可看出崩塌地有向源侵蝕、再擴大之現象（圖 3、圖 4 中由白色線條所選之矩形）。

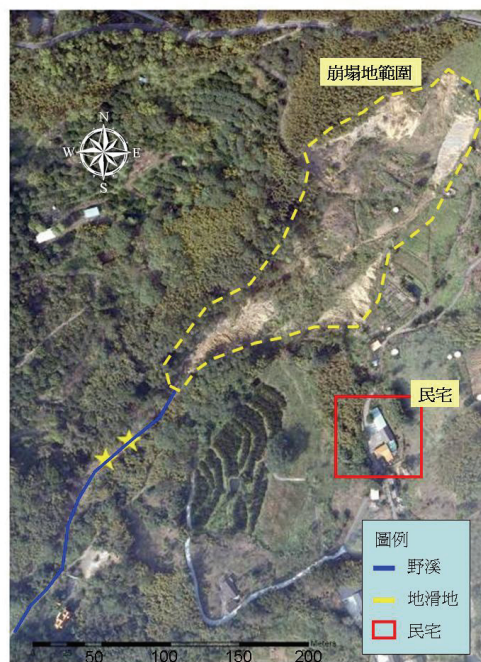


圖 1 研究試區位置

Fig.1 The location of this study

為利植生指標辨識，本研究使用之衛星影像為二期 SPOT 影像（SPOT4-2006/03/17、SPOT5-2006/09/24）及二期福衛二號影像（2006/03/03、2006/07/20），以比較各植生指標對於地滑地的判釋。因 SPOT 與福衛二號兩者解析度不同（SPOT 衛星影像之解析度為 20m/pixel，福衛二號之解析度為 8m/pixel），故也比較其解析度是否對分析結果之影響。在邊坡植生監測方面，研究中使用了 9 期衛星影像，分別為 2006 年 03/17、09/24、11/06、2007 年 03/30、05/07、09/14、11/14、2008 年 02/17、03/05，經由航照初步判釋結果發現地滑地堆積區的部份有植生生長情形，所以利用衛星影像對地滑地進行植生變遷偵測。



圖 2 地滑前 (2004/07)

Fig.2 Before the landslide(2004/07)

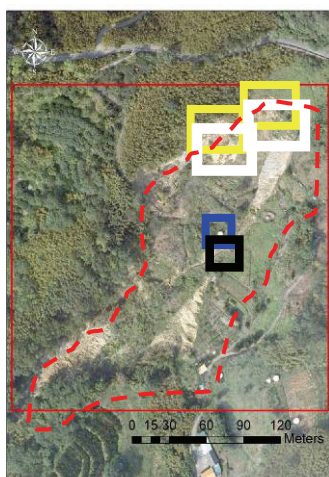


圖 3 地滑後 (2006/10)

Fig.3 After the landslide(2006/10)



圖 4 地滑後 (2007/04)

Fig.4 After the landslide(2007/04)

3. 植生指標

Jackson & Huete 在 1991 年提出將 Vegetation Indices 分成兩大類：Slope-Based、Distance-Based。

Slope-based 指標為利用紅光波段及近紅外光波段計算而得，即利用數值之加、減、乘、除等簡易方式計算便可求得，Slope-Based 之植生指標如表 1 中，第 1 項至第 7 項，公式中 NIR 為近紅外光波段之輻射值，RED 為紅光波段之輻射值，其中 NDVI 為目前被廣泛使用之植生指標。

Distance-based 植生指標係依據植生指標 (PVI) 中土壤線 (Soil Line; Richard and Wiegand, 1977) 的觀念，其目的在於減少土壤亮度所造成的影響，尤其針對植生稀疏的地區以及像元 (pixel) 內混合了植物以及土壤背景的資訊。土壤線代表以紅光與近紅外光所組成的雙光譜圖中所描述之典型土壤特徵，計算土壤線方式為擷取數個衛星影像之裸露土壤樣本，以樣本之紅光波段及近紅外光波段經線性迴歸 (分別以紅光波段為自變數或近紅外光波段為自變數) 計算求之，所得之斜率 (slope) 與截距 (intercept) 即後續所指之土壤線參數，示意如圖 5 所示，圖中 Rp5 為紅光反射值，Rp7 為近紅外光反射值，Rgg5 與 Rgg7 為 (Rp5, Rp7) 與土壤線垂直的相對 (X, Y) 座標。Distance-Based 植生指標即是應用兩參數以修正植生指標並減低土壤亮度等因素所造成之影響。

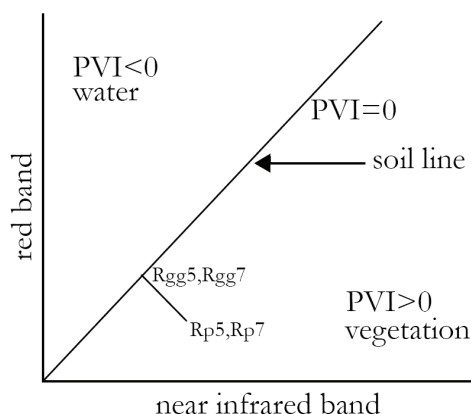


圖 5 PVI 植生指標與土壤線示意圖 (Eastman, J. R. and Clark Labs, 2009)

Fig.5 PVI vegetation index and the soil line

與土壤線有關公式中 (表 1 中第 8 項至 19 項)，a 表示土壤線的截距，b 表示土壤線的斜率，而不同公式計算時所採用之因變數亦不同如表 2 所示。

本研究中所分析之各植生指標如表 1 所示。其中第 1 項至第 7 項為 Slope-Based 指標；第 8 項至第 19 項為 Distance-Based 指標，各指標之定義與公式亦可參看 IDRISI 程式手冊。

而第 20、21 項指標為本研究從文獻中搜尋到的相關指標，其中 GEMI 指標為 Pinty 和 Verstraete 於 1992 年所提出，研究結果顯示該指標對於一般的植生狀態是敏感的，而 BAI 植生指標為 Chuvieco 等

人於 2002 年所提出，此一指標多用於森林火災監測，（2006），故將上述兩種植生指標列入研究分析中。為監測經火災後產生之裸露地（Lasaponara,

表 1 本研究分析所應用之植生指標（Eastman and Clark Labs, 2009）

Table 1 Vegetation index used in this study

植生指標名稱	簡稱	作者,年份	公 式
1 The Ratio Vegetation Index	Ratio	Rouse <i>et al.</i> , 1974 ^[14]	$Ratio = \frac{NIR}{RED}$
2 The Normalized Difference Vegetation Index	NDVI	Rouse <i>et al.</i> , 1974 ^[14]	$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED}$
3 The Transformed Vegetation Index	TVI	Deering <i>et al.</i> , 1975 ^[5]	$TVI = \sqrt{\frac{NIR-RED}{NIR+RED} + 0.5}$
4 The Corrected Transformed Vegetation Index	CTVI	Perry and Lautenshlarger, 1984 ^[10]	$CTVI = \frac{NDVI+0.5}{ NDVI+0.5 } \times \sqrt{ NDVI+0.5 }$
5 Thiam's Transformed Vegetation Index	TTVI	Thiam, 1997 ^[15]	$TTVI = \sqrt{ NDVI+0.5 }$
6 The Simple Ratio Vegetation Index	RVI	Richardson and Wiegand, 1977 ^[13]	$RVI = \frac{RED}{NIR}$
7 The Normalized Ratio Vegetation Index	NRVI	Baret and Guyot, 1991 ^[3]	$NRVI = \frac{RVI-1}{RVI+1}$
8 The Perpendicular Vegetation Index	PVI	Richard and Wiegand, 1977 ^[13]	$PVI = \sqrt{(R_{gg5}-R_{p5})^2 + (R_{gg7}-R_{p7})^2}$
9 The Perpendicular Vegetation Index I	PVI ₁	Perry and Lautenschlage, 1984 ^[10]	$PVI_1 = \frac{(bxNIR-RED+a)}{\sqrt{b^2+1}}$
10 The Perpendicular Vegetation Index II	PVI ₂	Walther and Shabaani, 1991 ^[16]	$PVI_2 = \frac{(NIR-a)x(RED+b)}{\sqrt{a^2+1}}$
11 The Perpendicular Vegetation Index III	PVI ₃	Qi <i>et al.</i> , 1994 ^[12]	$PVI_3 = axNIR - bxRED$
12 Difference Vegetation Index	DVI	Richardson and Wiegand, 1977 ^[13]	$DVI = bxNIR - RED$
13 The Ashburn Vegetation Index	AVI	Ashburn, 1978 ^[1]	$AVI = 2.0 \times NIR - RED$
14 The Soil-Adjusted Vegetation Index	SAVI	Huete, 1988 ^[6]	$SAVI = \frac{NIR-RED}{(NIR+RED+L)} \times (1+L)$
15 The Transformed Soil-Adjusted Vegetation Index I	TSAVI ₁	Baret <i>et al.</i> , 1989 ^[2]	$TSAVI_1 = \frac{ax((NIR-a)(RED-b))}{RED+axNIR-axb}$
16 The Transformed Soil-Adjusted Vegetation Index II	TSAVI ₂	Baret <i>et al.</i> , 1991 ^[3]	$TSAVI_2 = \frac{ax(NIR-axRED-b)}{RED+axNIR-axb+0.08x(1+a^2)}$
17 The Modified Soil-Adjusted Vegetation Index I	MSAVI ₁	Qi <i>et al.</i> , 1994 ^[12]	$MSAVI_1 = \frac{NIR-RED}{NIR+RED+L} \times (1+L)$
18 The Modified Soil-Adjusted Vegetation Index II	MSAVI ₂	Qi <i>et al.</i> , 1994 ^[12]	$MSAVI_2 = \frac{2xNIR+1-\sqrt{(2xNIR+1)^2-8x(NIR-RED)}}{2}$

植生指標名稱	簡稱	作者,年份	公 式
19 The Weighted Difference Vegetation Index	WDVI	Richardson and Wiegand, 1977 ^[13]	$WDVI=NIR-b \times RED$
20 Global Environmental Monitoring Index	GEMI	Pinty and Verstraete, 1992 ^[11]	$GEMI = \frac{\gamma \times (1-0.25 \times \gamma) - (RED-0.125)}{1-RED}$ $\gamma = \frac{(2 \times (NIR^2 - RED^2) + 1.5 \times NIR + 0.5 \times RED)}{NIR + RED + 0.5}$
21 Burned Area Index	BAI	Chuvieco <i>et al.</i> , 2002 ^[4]	$BAI = \frac{1}{((cRED-RED)^2 + (cNIR-NIR)^2)}$

註：RED=紅光波段反射值；NIR=近紅外光波段反射值；土壤線中的參數 a 表示土壤線的截距，b 表示土壤線的斜率（計算方式如前述）；L 值取決於植生的密度，對於植生稀疏區域 L=1.0、植生密度中等區域使用 L=0.5、而在高植生密度區域則使用 L=0.25（Huete,1988）；cRED 與 cNIR 為紅光、近紅外光之參考反射值，根據文獻分別為 0.1 與 0.06（Chuvieco *et al.*, 2002）。

表 2 各植生指標土壤線參數計算之變數選擇（Eastman and Clark Labs, 2009）

Table 2 Variable selection of the soil line parameters of the vegetation index

植生指標	PVI	PVI ₁	PVI ₂	PVI ₃	DVI	TSAVI ₁	TSAVI ₂	WDVI	MSAVI ₁
自變數 (independent)	NIR	NIR	RED	RED	NIR	RED	RED	NIR	NIR
因變數 (dependent)	RED	RED	NIR	NIR	RED	NIR	NIR	RED	RED

一般而言，植生指標之數值表示植生密度，數值高代表植生密度高，數值低代表植生密度低。然而部分植生指標則否，例如 Slope-Based 指標中，RVI 與 NRVI 之值越高代表植生密度越低，值越低則植生密度越高。

為了評估各植生指標對於地滑地辨識之適用性，研究中藉由分離度指標 SI (separability index) 作為評估各指標之敏感程度，計算公式如公式(1)所示 (Kaufman and Remer, 1994)。

$$SI = \frac{|m_s - m_{ns}|}{\sigma_s + \sigma_{ns}} \quad (1)$$

公式中 m_s 為地滑地範圍內植生指標之平均值，而 m_{ns} 則為非地滑地範圍內植生指標之平均值； σ_s 為地滑地範圍內植生指標之標準差，而 σ_{ns} 為非地滑地範圍內植生指標之標準差，經由計算可得每一植生指標之 SI 值，若 SI 值大於 1 則表示該植生指標對於地滑地之辨識有較佳的結果 (Lasaponara, 2006)。

5. 邊坡植生變遷監測

地滑地發生時，原始邊坡上的植生跟著土體一起滑落，經第二次現地勘察後（地滑發生後間隔一年），

發現土體堆積區植生茂密，由航照圖亦發現堆積區的植生密度提高。本研究針對地滑地範圍進行植生變遷偵測，研究材料為 9 期 SPOT 衛星影像，利用 VegIndex 模組將衛星影像分別轉換為植生指標，再以相同植生指標為一群組，進行植生變遷分析。

6. 植生指標分析

本研究除了藉由 IDRISI 程式計算出各植生指標外，亦應用不同植生指標於地滑地判釋分析，分析流程如圖 6 所示，一般變遷分析中，常使用的方式為相減或相除的方式來比較前後期的差異，而本研究之變遷分析方式分為差異性（相減）與比例性（相除）兩種，探討不同方式下之分析結果比較。

- (1) 差異性變遷分析：本研究利用 IDRISI 程式中 Image Calculator 模組進行植生指標運算，以後期之植生指標減去前期植生指標，此差值稱之為差異性變遷分析。
- (2) 比例性變遷分析：本研究利用 IDRISI 程式中 Image Calculator 模組進行植生指標運算，以後期植生指標除以前期植生指標，此比值稱之為比例性變遷分析。

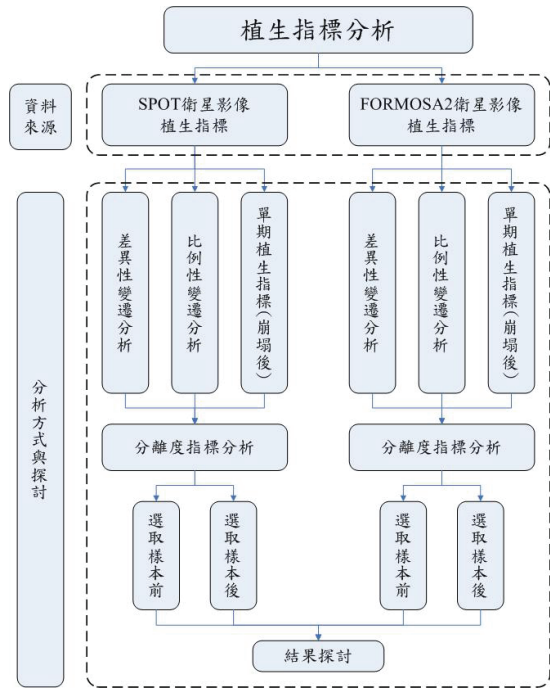


圖 6 植生指標分析流程圖

Fig.6 Flowchart of the vegetation index analyses

- (3) 單期植生指標分析：本研究使用崩塌後之單期植生指標
- (4) 分離度指標分析：分離度指標分析方式如前文所

述。

- (5) 樣本篩選後之分離度指標：考慮因網格內並非僅含有崩塌及非崩塌（植生）之資訊，所以另選取地滑地範圍及非地滑地範圍（植生）之樣本後進行分離度指標計算。

三、結果與討論

1. 植生指標-SPOT

計算 Distance-Based 植生指標需加入土壤線參數，為求得不同時期之植生指標，需使用不同之土壤線參數，而土壤線參數需經影像線性迴歸求得，且因自變數不同所求得之土壤線參數亦也有所不同，故需分別以紅光波段或近紅外光波段為自變數分別求得土壤線參數。應用 SPOT 衛星影像計算之植生指標結果圖層及差異性變遷分析部分如圖 7 所示，比例性變遷分析部分如圖 8 所示。

2. 植生指標-FORMOSA2

應用 FORMOSA2 衛星影像計算之植生指標結果圖層及差異性變遷分析部分如圖 9 所示，比例性變遷分析如圖 10 所示。

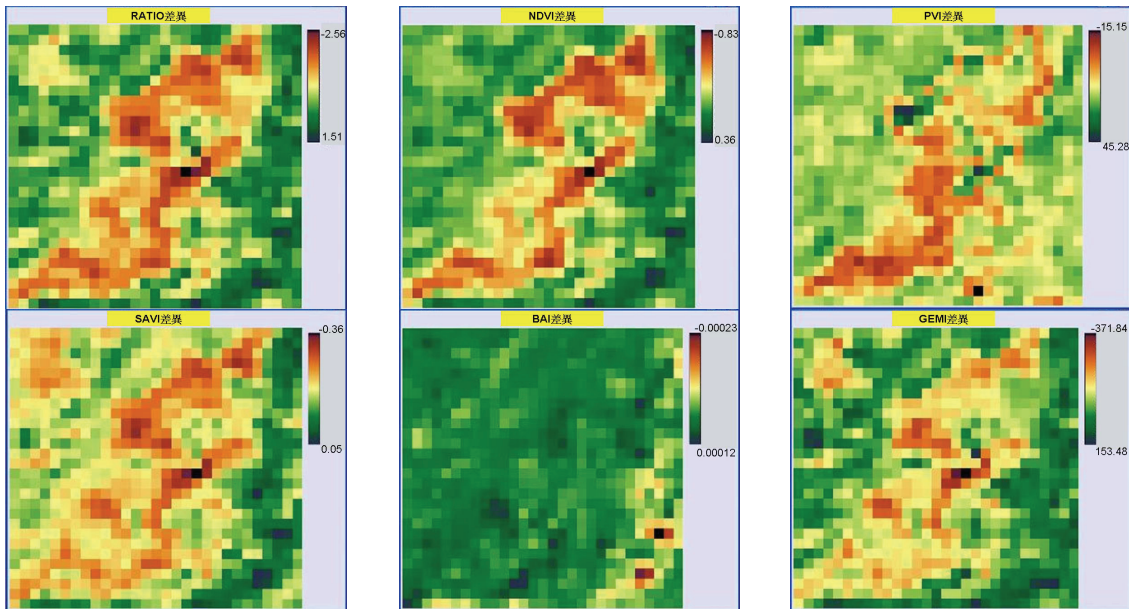


圖 7 植生指標計算結果與差異性變遷分析 - SPOT

Fig.7 Variation analyses of the vegetation index - SPOT

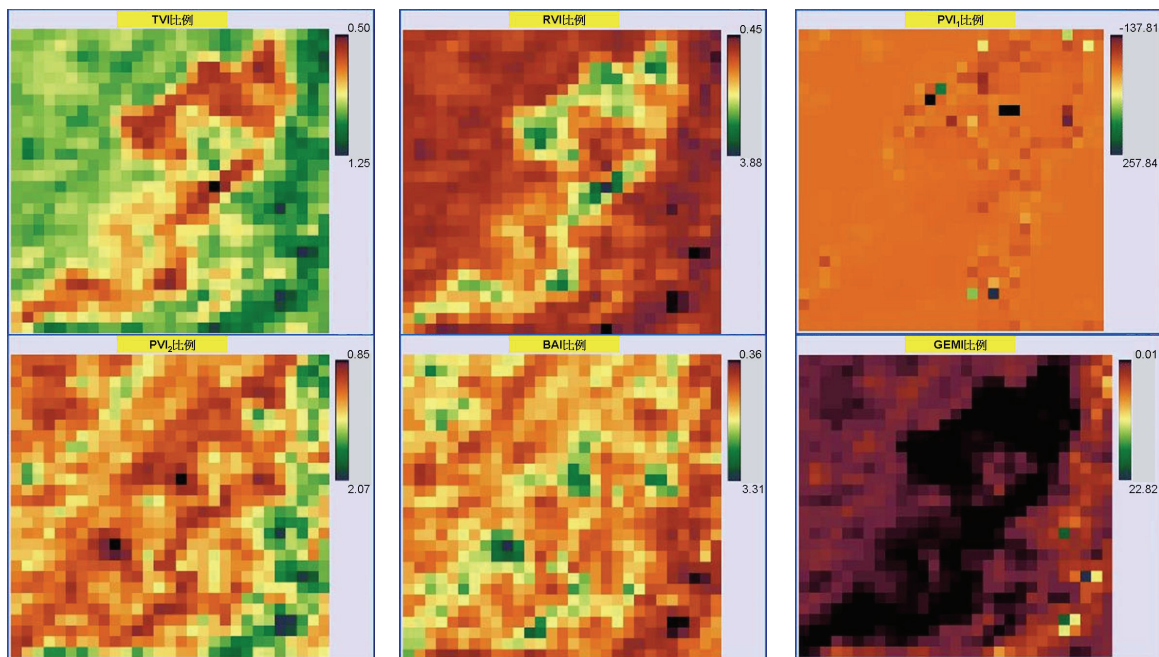


圖 8 植生指標計算結果與比例性變遷分析 - SPOT

Fig.8 Proportional variation analyses of the vegetation index - SPOT

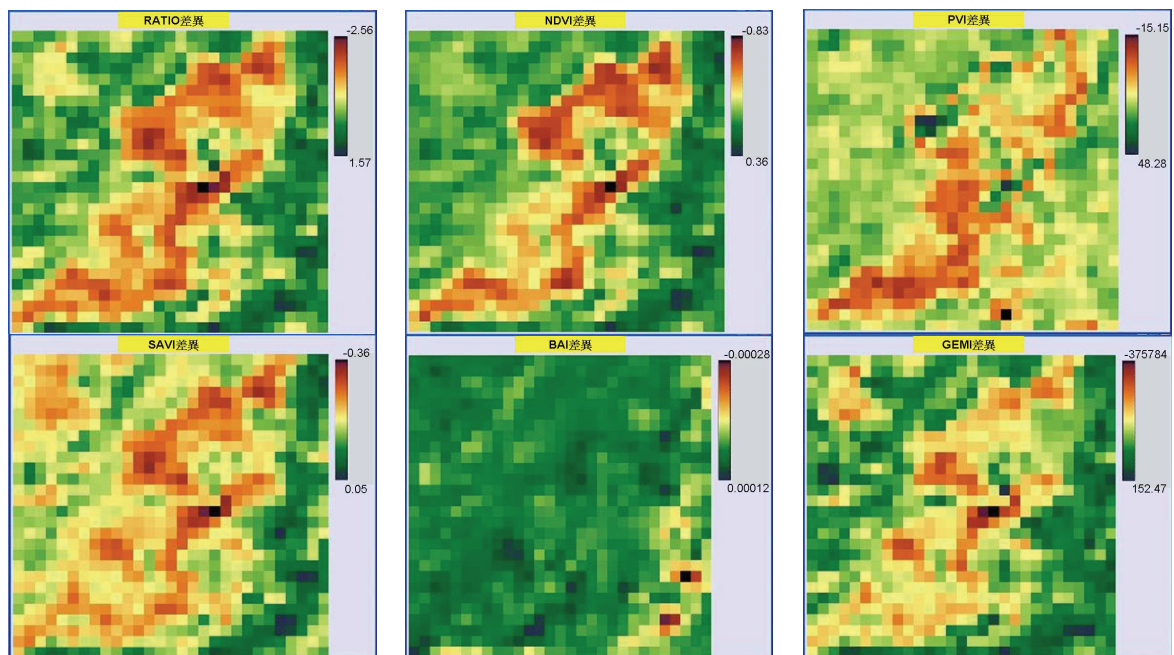


圖 9 植生指標計算結果與差異性變遷分析 (FORMOSA2)

Fig.9 Variation analyses of the vegetation index - FORMOSA2

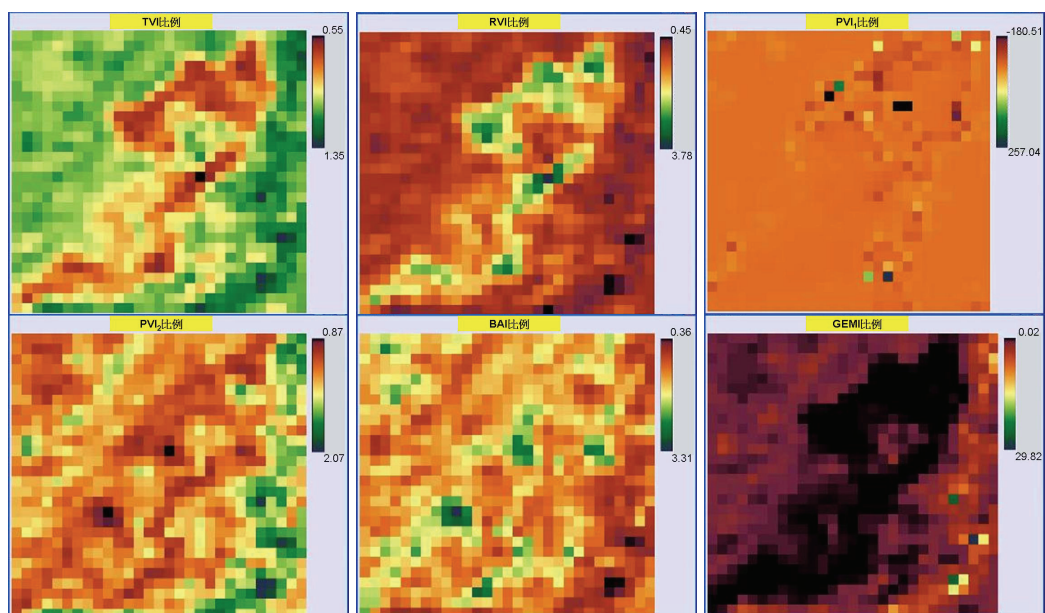


圖 10 植生指標計算結果與比例性變遷分析 (FORMOSA2)

Fig.10 Proportional variation analyses of the vegetation index - FORMOSA2

3. 分離度指標

本研究進行分離度指標計算分析時係以 SPOT 及 FORMOSA2 兩衛星影像所計算之植生指標分別探討各指標之分離度，經初步分析後發現若將整幅植生指標僅分為地滑地範圍以及非地滑地範圍（植生）兩類型進行分析，結果發現無論是精度較低之 SPOT 植生指標或者是精度較高之 FORMOSA2 植生指標，各植生指標之分離度指標值都偏低。這是因為在有限解析度之網格中，同時含有崩塌及非崩塌區之植生資訊，故我們在分析中將這些資訊混合之網格以人工排除後，進行分離度指標計算。在有限解析度之網格中，擁有一種以上資訊之網格，稱之「混合像元」（如圖 11 所示）。圖中左側為地表資訊示意圖，中間虛線範圍內不規則圖形的部份為地滑地範圍，右側為資訊網格化示意圖，由圖中可觀察出地表資訊網格化後，單一網格內皆為地滑地資訊的僅佔少數，大部分網格除了包含地滑地資訊之外，還包含其餘資訊如植生。而計算植生指標時係以網格為單位進行計算，所以網格內所包含資訊種類會影響後續分析指標之結果。

選取地滑地樣本時，為避免地滑地與非地滑地之樣本混合了其資訊而影響植生指標高低，並左右分離度指標的結果。所以選取原則為「網格內皆為地滑地資訊為主」之「純像元 (pixel value)」作判釋，並

以航照為判釋基準，即表示該像元內所含資訊只有崩塌地，研究中稱此動作為「萃取」；非地滑地選取原則為「網格內皆為植生資訊」為主，同樣以地滑地前後期之航照為比較之基準，同一網格中於地滑地前後期航照判釋皆為植生者則選取為非地滑地之樣本。研究結果證明經萃取後之分離度指標有較佳之分離度指標分析成果。

4. 分析結果討論

由 SPOT 衛星影像計算之植生指標，經萃取後其分離度指標雖有明顯提升，但分離度指標值仍小於 1，原因應為 SPOT 衛星影像網格內所含之資訊所造成，SPOT 衛星影像之網格較 FORMOSA2 衛星影像之網格大，所包含之資訊可能較為廣泛。故本研究在評估植生指標於判釋地滑地之優劣時，SPOT 衛星影像所計算植生指標之分離度指標值採用 0.5。而 FORMOSA2 進行評估時則採用 1.0 為地滑地判釋優劣之標準，大於此標準值則評估為判釋結果良好。

本研究應用之植生指標在探討上分為三類，(1) Slope-Based (2) Distance-Based (3) Other，不屬於 Slope-Based 以及 Distance -Based 類之植生指標，在本研究中歸類於 Other 中討論。因萃取後較萃取前有良好之結果（分離度指標前者大於後者），故以下針對萃取後之各類植生指標，以分離度指標作為

評估標準進行討論。分離度指標分析結果如表 3 所示。

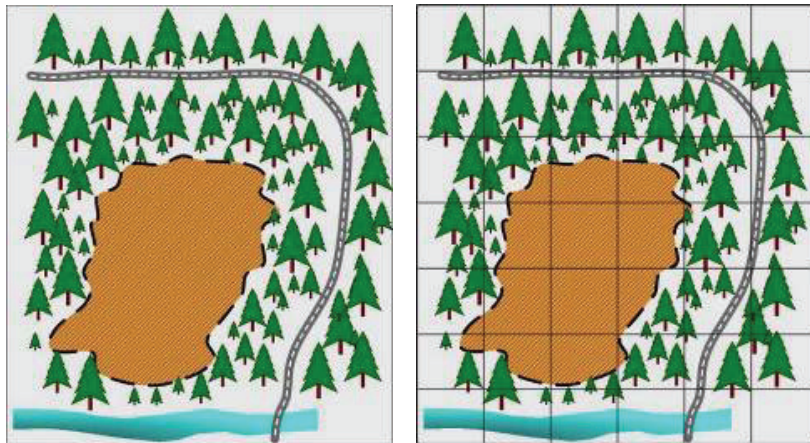


圖 11 地表資訊示意圖 (左) 與資訊網格化示意圖 (右)

Fig.11 Surface information (left) and Raster information (right)

表 3 植生指標分離度分析結果統計表

Table 3 Separability of vegetation index

植生指標	SPOT		FORMOSA2		單期植生指標 (崩塌後)	
	差異性	比例性	差異性	比例性	SPOT	FORMOSA2
Slope-Based index						
(1)Ratio	0.51	0.54	0.69	0.69	0.56	1.36
(2)NDVI	0.51	0.53	0.79	0.73	0.56	1.25
(3)TVI	0.49	0.49	0.80	0.80	0.54	1.21
(4)CTVI	0.49	0.49	0.80	0.80	0.54	1.21
(5)TTVI	0.49	0.49	0.80	0.80	0.54	1.21
(6)RVI	0.46	0.46	0.81	0.80	0.51	1.16
(7)NRVI	0.51	0.53	0.79	0.73	0.56	1.25
Distance-Based index						
(8)PVI	0.31	0.07	0.91	0.14	0.41	0.15
(9)PVI ₁	0.26	0.12	1.22	0.25	0.08	0.87
(10)PVI ₂	0.72	0.77	0.82	0.64	0.79	0.83
(11)PVI ₃	0.51	0.91	0.85	0.96	0.97	0.88
(12)DVI	0.28	0.05	1.22	1.27	0.08	0.87
(13)AVI	0.62	0.65	1.22	1.35	0.70	1.20
(14)SAVI	0.49	0.66	0.83	1.55	0.69	1.21
(15)TSAVI ₁	0.21	0.48	1.48	1.70	0.36	1.09
(16)TSAVI ₂	0.37	0.31	1.26	1.50	0.10	0.95
(17)MSAVI ₁	0.62	0.64	1.14	1.46	0.69	1.21
(18)MSAVI ₂	0.61	0.64	1.10	1.45	0.69	1.22
(19)WDVI	0.84	0.88	0.68	0.82	0.94	0.78
Other index						
(20)GEMI	0.45	0.60	0.93	1.19	0.56	1.31
(21)BAI	1.41	0.90	0.32	0.26	0.60	0.59

1. Slope-Based index:

Slope-Based 指標對於地滑地判釋之分離度指標在不同解析度、萃取前後等方面，各植生指標對於地滑地之解釋能力皆略相等。

(1) 差異性變遷分析：

- a. 資料來源為 SPOT 衛星影像時，根據分離度指標結果得知 Ratio、NDVI、NRVI 有較佳的判釋結果（分離度指標大於 0.5）。
- b. 資料來源為 FORMOSA2 衛星影像時，以分離度指標而言，無較佳的判釋結果（分離度指標均小於 1.0）。

(2) 比例性變遷分析：

- a. 資料來源為 SPOT 衛星影像時，根據分離度指標結果得知 Ratio、NDVI、NRVI 有較佳的判釋結果（分離度指標大於 0.5）。
- b. 資料來源為 FORMOSA2 衛星影像時，以分離度指標而言，無較佳的判釋結果（分離度指標均小於 1.0）。

研究中發現 TVI、CTVI 與 TTVI 之分離度指標不論在哪一種分析中皆相等。根據 TVI、CTVI 與 TTVI 三者之公式中 NDVI 需小於 0.5 方可得其間之差異，而本研究經計算後發現，崩塌區內 NDVI 值均大於 -0.5，故經計算後得到的 TVI、CTVI、TTVI 之結果均相等。

2. Distance-Based index:

Distance-Based 指標對於地滑地判釋之分離度在不同解析度、萃取前後等各方面，各植生指標對於地滑地之解釋能力各有優劣，以下分別敘述之。

(1) 差異性變遷分析：

- a. 資料來源為 SPOT 衛星影像時，根據分離度指標結果得知 PVI₂、PVI₃、AVI、MSAVI₁、MSAVI₂、WDVI 有較佳的判釋結果（分離度指標大於 0.5）。
- b. 資料來源為 FORMOSA2 衛星影像時，根據分離度指標結果得知 PVI₁、DVI、AVI、TSAVI₁、TSAVI₂、MSAVI₁、MSAVI₂ 有較佳的判釋結果（分離度指標大於 1.0）。

(2) 比例性變遷分析：

- a. 資料來源為 SPOT 衛星影像時，根據分離度指標結果得知 PVI₃、AVI、SAVI、MSAVI₁、MSAVI₂、WDVI 有較佳的判釋結果（分離度指標大於 0.5）。

- b. 資料來源為 FORMOSA2 衛星影像時，根據分離度指標結果得知 DVI、AVI、SAVI、TSAVI₁、TSAVI₂、MSAVI₁、MSAVI₂ 有較佳的判釋結果（分離度指標大於 1.0）。

3. Other index:

本研究將不屬於 Slope-Based index 以及 Distance-Based index 之指標，如 GEMI 與 BAI 指標歸於 Other index。

(1) 差異性變遷分析：

- a. 資料來源為 SPOT 衛星影像時，根據分離度指標結果得知 BAI 有較佳的判釋結果（分離度指標大於 0.5）。
- b. 資料來源為 FORMOSA2 衛星影像時，根據分離度指標結果得知 GEMI 有較佳的判釋結果（分離度指標大於 1.0）。

(2) 比例性變遷分析：

- a. 資料來源為 SPOT 衛星影像時，根據分離度指標結果得知 GEMI 與 BAI 均有較佳的判釋結果（分離度指標大於 0.5）。
- b. 資料來源為 FORMOSA2 衛星影像時，根據分離度指標結果得知 GEMI 有較佳的判釋結果（分離度指標大於 1.0）。

研究中發現 BAI 指標在使用 SPOT 衛星影像所計算之植生指標進行分離度指標分析時，在差異性變遷分析以及比例性變遷分析皆有不錯之成效，但若使用 FORMOSA2 衛星影像所計算之植生指標進行分離度指標分析，可由分離度指標發現其效果皆不佳。

4. 單期植生指標（崩塌後）

藉由單期植生指標進行分離度指標分析可觀察對於辨識地滑地之解釋能力，分析之結果作為後續時間序列分析參考之指標。

- (1) 資料來源為 SPOT 衛星影像時，根據分離度指標結果得知，Slope-Based 指標均有不錯之判釋結果（分離度指標大於 0.5）；Distance-Based 指標中以 PVI₂、PVI₃、AVI、SAVI、MSAVI₁、MSAVI₂、WDVI 有較佳之判釋結果（分離度指標大於 0.5）；Other index 以 GEMI、BAI 有較佳之判釋結果（分離度指標大於 0.5）。
- (2) 資料來源為 FORMOSA2 衛星影像時，根據分離度指標結果得知 Slope-Based 指標均有不錯之判釋結果（分離度指標大於 1.0）；Distance-Based 指標中以 AVI、SAVI、

TSAVI₁、MSAVI₁、MASVI₂有較佳之判釋結果(分離度指標大於 1.0); Other index 以 GEMI 有較佳之判釋結果(分離度指標大於 1.0)。

因進行邊坡植生變遷監測時所使用之衛星影像為 SPOT 衛星影像, 故利用 SPOT 衛星影像所分析之各植生指標可依據各分離度指標結果(分離度指標結果參照表 2) 做為選擇之依據。Slope-Based 指標中選擇 NDVI; Distance-Based 指標中選擇 PVI₃、WDVI; Other index 則選擇 BAI 及 GEMI。

整體而言, 本研究分析後發現衛星影像之空間解析度會影響分離度指標之大小, 而研究範圍的崩塌面積大小也會影響到其成果。分析時藉由萃取可提升分離度指標值, 可瞭解該植生指標對於地滑地的解釋能力, 其分析誤差來源包含:

- (1) 衛星影像之空間解析度大小: 研究中使用的衛星影像空間解析度分別為 20 m (SPOT) 與 8 m (FORMOSA2)。
- (2) 地滑地面積大小: 本研究範圍內之地滑地約為 17,000 m²。
- (3) 萃取: 本研究進行分離度指標分析時, 分為萃取前與萃取後, 萃取係以人工方式並以航照為選定標準。

(4) 土壤線參數: 研究所計算土壤線參數之線性影像回歸時, 所得之相關係數並不高。

5. 邊坡植生變遷監測

研究中所進行分析的區域如圖 12 所示。分析中所擷取範圍包含(1)地滑地擴大行為, 如圖中崩 1~崩 5 所示, 並以實線框選之矩形範圍。(2)堆積區植生生長情形, 如圖中註明堆積區並以虛線線條所框選之範圍。(3) 為區分植生變異比較, 取一對照之未崩塌區域-植生區, 如圖中註明植生區並以白斜線表示其範圍。

研究中所選擇的植生指標分別為(1)NDVI (2)PVI₃ (3)WDVI (4)BAI (5)GEMI, 其中 NDVI 為 Slope-Based 指標中廣泛地被使用於植生變遷方面; 依據單期植生指標辨識地滑地分離度指標結果而選擇了 PVI₃ 及 WDVI; 而 BAI 為監測裸露地所設計之植生指標; GEMI 則是在分離度指標評估下均有良好之結果, 故選此植生指標, 分析結果如下分別敘述:

1. 地滑地擴大行為探討:

圖中 Site1 ~ Site5 分別為圖 12 中崩 1~崩 5 以實線框選之矩形範圍, 而 Vegetation 為圖 12 中植生區以白斜線表示之範圍, 為比較 Site1~Site5 所選擇之對照區域。

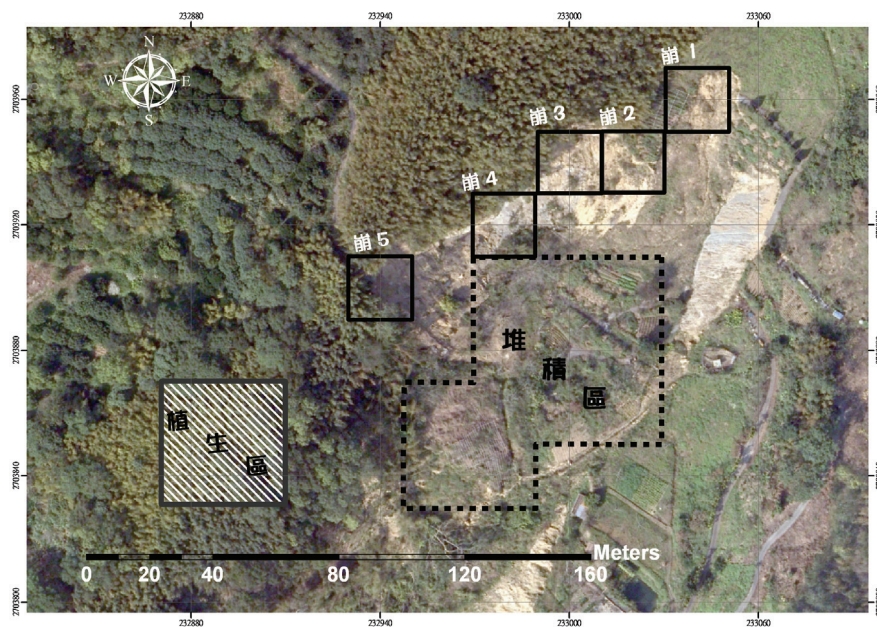


圖 12 植生變遷監測分析區位

Fig.12 Monitored areas for the vegetation changes

- (1) 在各分析結果中可發現，大致上植生變遷之行為與現地情形是符合的，即在 2006 年 3 月至 9 月之間，此期間內之崩塌下陷區植生有明顯變化之趨勢，推測因崩塌發生而影響植生指標迅速地變化，各分析結果如圖 13 所示。
- (2) 而 Site1~Site5 之中，Site1 與 Site2 之植生指標反應與其他三者不同，推測為因地滑發生前，其植生並不茂盛而植生指標低，且發生地滑時所影響之植生範圍並不大且因夏季植生指標上升，所以植生指標較原來高。
- (3) 以 PVI₃ 為分析之植生指標中，因 PVI₃ 指標其數值差距過大，導致於圖 13 中並未能明顯觀察出其崩塌區與植生區之差異。
- (4) PVI₃ 及 WDV_I 為分析之指標時，於 2006 年 9 月至 2007 年 3 月與 2007 年 11 月至 2008 年 3 月，其指標變異情形與 NDVI 相反。
- (5) 由分析結果可知，NDVI、PVI₃、WDVI 與 GEMI 指標，指標之高低與植生情形為正相關，而 BAI 指標則為負相關，即 BAI 指標越大代表辨識區植生量越少。但於 2006 年 11 月後之變化卻與 NDVI 大致相同，不符合 BAI 指標對於植生之相關性。BAI 指標分析結果之值皆為極小數值，此點待後續分析驗證。

2. 堆積區植生復育探討：

圖 14 中 Accumulation 為所選之堆積區範圍，Vegetation 為所選之矩形植生區範圍，作為參考比較之依據，利用各不同植生指標分析之結果如圖 14 所示。

- (1) 分析結果中可得知，大致上植生變遷之行為與現地情形是符合的，如在 2006 年 11 月後，堆積區植生指標有明顯的上昇（與植生情形為正相關之各植生指標），推測堆積區之植生有增加之可能。
- (2) PVI₃ 及 WDV_I 為分析之指標時，於 2006 年 9 月至 2007 年 3 月與 2007 年 11 月至 2008 年 3 月，其指標變異情形與 NDVI 相反，此部分與崩塌地植生變遷分析中有同樣之情形。
- (3) 在 2007 年時，從 8 月起至年底共有 6 個颱風侵台，故分析中在 2007/09/14 至 2008/02/17 之間，推測其植生指標下降原因受颱風影響（8 月 7 日帕布颱風、8 月 8 日梧提、8 月 16 日聖帕颱風、9 月 17 日韋帕、10 月 4 日柯羅莎颱風、11 月 26 日米塔颱風）。
- (4) 依據航照與現場調查之結果可知，研究區內之崩塌堆積區確實有植生自然復育之情形。

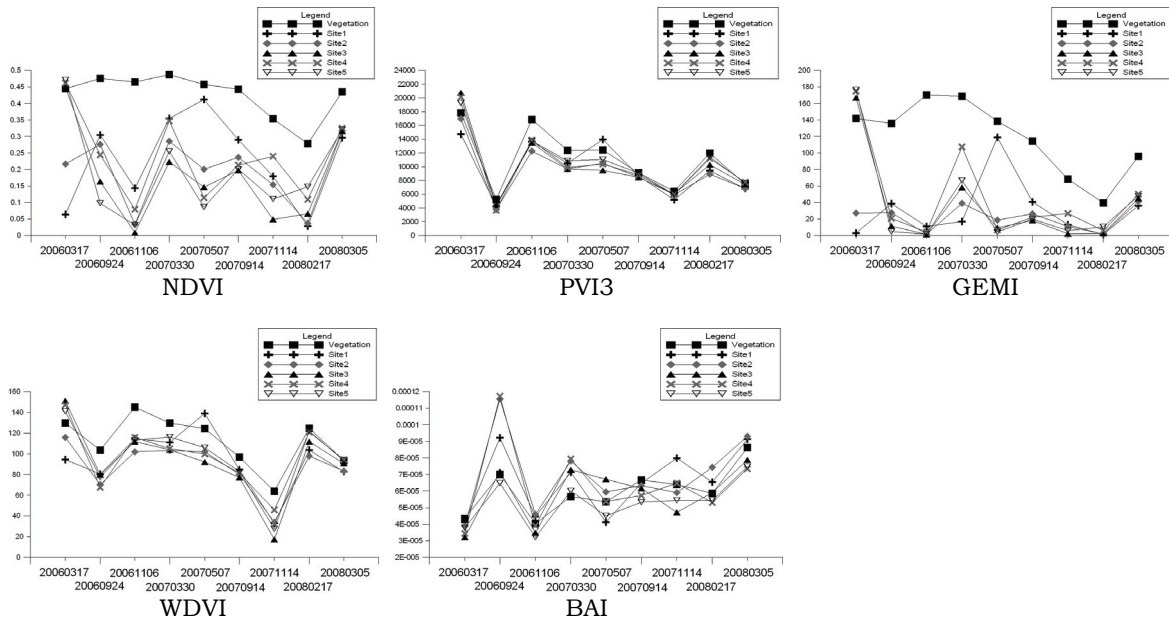


圖 13 崩塌下陷區植生變遷偵測

Fig.13 Detection of the vegetation changes in the depletion area

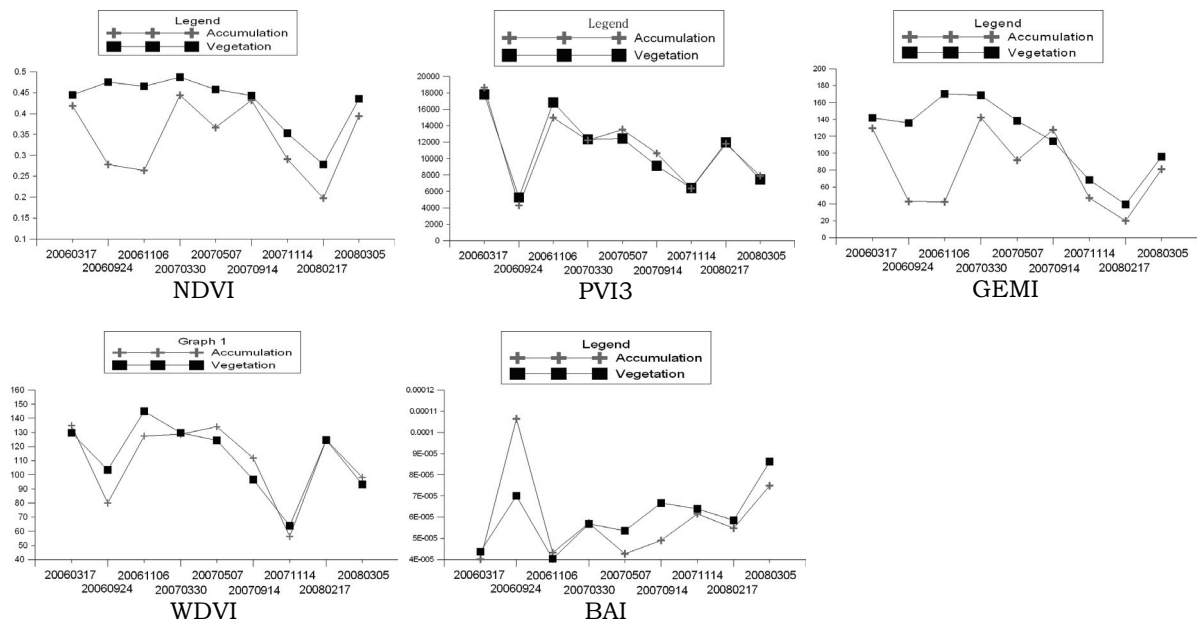


圖 14 堆積區植生變遷偵測

Fig.14 Detection of the vegetation changes in the accumulation area

四、結論與建議

本研究應用遙測技術於地滑地變遷分析，包含應用衛星影像之植生指標於地滑地辨識、邊坡植生變遷，茲將結果整理並歸納了下列結論：

1. 研究中使用多種植生指標對於地滑地判釋進行探討，依據本地滑地之試驗結果顯示，研究中所使用之植生指標對於地滑地判釋有一定的成果。其中各 Slope-based 植生指標之地滑地判釋能力無明顯差異，均有不錯之成果。本研究之 Distance-based 植生指標，其分析結果較優於 Slope-Based 植生指標。
2. 計算 Distance-based 分析時需藉由土壤線參數加入計算以求得，而土壤線參數需利用裸露地之光譜資訊求得，對於將其應用於大範圍監測時，會因裸露地資訊不易取得導致土壤線參數不易計算或因樣本數過少而無法得到精確且客觀之土壤線參數，造成指標值計算不正確，而計算土壤線參數時也須考慮到線性迴歸之相關性大小，相關性的程度會對研究結果有所影響。因此在分析計算上 Slope-Based 植生指標比 Distance-Based 植生指標較便利。
3. 將植生指標作為邊坡植生變遷監測之工具，並結合 IDRISI 程式相關分析工具，進行堆積區以及崩塌

區植生監測，研究結果顯示以 NDVI、PVI₃、WDVI、GEMI 有較佳結果。

另外，根據在研究中遭遇到的一些問題與經驗，提供幾點建議供後續研究參考：

1. 本研究所應用之植生指標並非為全部，後續研究在進行相關植生指標分析時，可將其餘植生指標列入一起分析比較。研究分析所得對於地滑地判釋有較佳解釋能力之植生指標，日後可考慮將相關有利於地滑地判釋之植生指標，綜合分析提升地滑地判釋之精確度。
2. 在分析過程中發現植生指標分析結果會受(1)衛星影像之空間解析度大小(2)地滑地面積大小等因素影響。後續相關研究在分析時需注意。
3. 邊坡植生變遷分析中有些許問題，如 PVI₃ 與 WDWI 於某時間內之變化與 NDVI 相異、BAI 用於植生變遷偵測之適用性等，建議後續研究列入考量。

參考文獻

- Ashburn, P. (1978), "The vegetative index number and crop identification", *The LACIE Symposium Proceedings of the Technical Session*, 843-850.
- Baret, F., G. Guyot and D. Major (1989) "TSAVI:

- A Vegetation Index Which Minimizes Soil Brightness Effects on LAI and APAR Estimation”, *12th Canadian Symposium on Remote Sensing and IGARSS'90*, Vancouver, Canada, 4.
- Baret, F. and G. Guyot (1991), “Potentials and Limits of Vegetation Indices for LAI and APAR Assessment”, *Remote Sensing and the Environment*, 35: 161-173.
- Chuvieco E., M.P. Martin and A. Palacios (2002), “Assessment of different spectral indices in the red-near-infrared spectral domain for burned land discrimination”, *Int. J. Remote Sensing*, Vol.23, No.23, pp.5103-5110.
- Deering, D.W., J.W. Rouse, R.H. Haas and J.A. Schell (1975), “Measuring Forage Production of Grazing Units From Landsat MSS Data”, *Proceedings of the 10th International Symposium on Remote Sensing of Environment*, II, 1169-1178.
- Eastman, J. R. and Clark Labs (2009), IDRISI Andes 15.01, User Manuals, Clark University.
- ESRI (2009), “ArcGIS 9.X User Manuals”, Environmental Systems Research Institute, Inc.
- Huete, A.R. (1988), “A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI)”, *Remote Sensing and the Environment*, 25: 53-70.
- Jackson, R.D. and A.R. Huete (1991), “Interpreting vegetation indices.” *Prev. Vet. Med.*, 11: 185-200.
- Kaufman, Y. J. and L. Remer (1994), “Detection of forests using mid-IR reflectance: An application for aerosol studies,” *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 32(3), 672-683.
- Lasaponara, R. (2006), “Estimating spectral separability of satellite derived parameters for burned areas mapping in the Calabria region by using SPOT-Vegetation data,” *Ecological modelling*, Vol.196, pp.265-270.
- Perry, C.Jr. and L.F. Lautenschlager (1984), Functional Equivalence of Spectral Vegetation Indices”, *Remote Sensing and the Environment*, 14: 169-182.
- Pinty, B. and M.M. Verstraete (1992), “GEMI: A non-linear index to monitor global vegetation from satellites”, *Vegetation*, 101:15-20.
- Qi, J., Chehbouni A., A.R. Huete, Y.H. Kerr, and S. Sorooshian (1994), “A Modified Soil Adjusted Vegetation Index”, *Remote Sensing and the Environment*, 48: 119-126.
- Richardson, A.J and C.L. Weigand (1977), “Distinguishing vegetation from soil background information,” *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 43: 1541-1552.
- Rouse, J.W.Jr., R.H. Haas, D.W. Deering, J.A. Schell and J.C. Harlan (1974), “Monitoring the Vernal Advancement and Retrogradation (Green Wave Effect) of Natural Vegetation”, *NASA/GSFC Type III Final Report*, Greenbelt, MD., 371.
- Thiam, A.K. (1997), “Geographic Information Systems and Remote Sensing Methods for Assessing and Monitoring Land Degradation in the Sahel: The Case of Southern Mauritania”, Doctoral Dissertation, Clark University, Worcester Massachusetts

2010年11月13日 收稿

2010年11月30日 修正

2010年12月13日 接受

(本文開放討論至2011年9月30日)