

## 崩塌地植生復育適用評估因子之分析研究

陳志豪<sup>[1]\*</sup> 鄭旭涵<sup>[2]</sup> 彭心燕<sup>[2]</sup> 林信輝<sup>[2]</sup>

**摘要** 近年處理坡地崩塌問題，常採用植生工程之方式以達穩定邊坡的功效，然而坡地植生的生長情況尚無具體量化的標準，以致不易客觀評估坡地植生復育成效。爰此，本研究於石門水庫集水區以及臺中雙崎崩塌地，共選擇 43 處坡地，設置 70 個植物樣區進行調查，並以列表比較法進行植被類型之分類，採用降趨對應分析（DCA）將樣區依物種組成進行排序，藉由降趨對應分析之樣區排序結果，將樣區分布之第 1 及第 2 序列軸與植生調查因子進行皮爾森相關性檢定，找出具鑑別不同植物社會能力之因子作為評估指標。坡地植生分析結果將植物社會分類為初期向陽森林、初期背陽森林、過渡時期草地、人工噴植草生植被以及拓殖期草地，並分別找出其指標植物種群。植生指標篩選出 5 類適用之項目，共含括 11 個評估因子，分別為(1)覆蓋度指標：包含綠覆蓋、木本植物覆蓋度、地被植物覆蓋度及層次累計覆蓋度；(2)物種多樣性：包含植生種數以及辛浦森指數；(3)原生種比例：包含樣區原生種覆蓋度以及原生種相對覆蓋度；(4)植物層次：植物社會層次；(5)演替序列：包含演替階段以及演替度，用以建置完整與簡易評估表格。依據完整或簡易評估方式將植生現況分類為不理想、尚可、次理想以及最理想之等級。評估結果「最理想」與「次理想」等級的植生多為自然演替或以木本植物噴植工法處理之地區，多已恢復至森林狀態；「尚可」與「不理想」等級之植生，多為地被裸露程度較高，或具外來種等議題的植被狀態。

**關鍵詞**：植生、評估指標、崩塌、坡地、復育。

## Research on Evaluating Factors for Vegetation Restoration of Landslide Area

Zhi-Hao Chen<sup>[1]\*</sup> Jero-Hertz Jeng<sup>[2]</sup> Hsin-Yen Peng<sup>[2]</sup> Shin-Hwei Lin<sup>[2]</sup>

**ABSTRACT** In recent years, many landslide areas have undergone vegetation projects for slope stabilization and restoration. However, it is not easy to objectively estimate the effects of vegetation restoration on a slopeland without proper quantitative criteria. This study selected 43 cases from Shihmen Reservoir Watershed and Shuangchi, setting up 70 vegetation plots and survey. Data from the vegetation plots were analyzed by tabular comparison and detrended correspondence analysis (DCA) to find the indicator species of vegetation and select the criteria for the revegetation effects. According to the results of tabular comparison, 70 plots can be classified into five vegetation types: (1) primary forest on sunny slope. (2) primary forest on shady slope. (3) transitional grassland. (4) artificial grassland. (5) colonizing grassland. Indicator species groups were also found from

[1] 觀察家生態顧問有限公司

Observer Ecological Consultant Co., Ltd., Taichung 402, Taiwan, R.O.C.

[2] 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, R.O.C.

\*Corresponding Author. E-mail address: palauuta@gmail.com

each vegetation type. There are 11 factors significantly related to axis 1 or axis 2 of the DCA results. These can be divided into five categories: (1) coverage indicator, including total vegetation coverage, woody plant coverage, understory coverage, and sum of each vegetation layer coverage. (2) Species diversity, including the number of plant species and Simpson's index of diversity. (3) ratio of native plants, including native plant coverage and the relative coverage of native plants in each plot. (4) number of vegetation layers (structure layers of plant community). (5) succession seral, including the succession stage and the degree of succession(DS). This study also established a complete criteria table with 11 factors and a simple criteria table with five factors (each one represents a category) to estimate the effects of the vegetation restoration. Using a criteria table, we classified the vegetation into bad, acceptable, good, and perfect levels. According to the data from the 70 plots, good and perfect level plots were usually treated by spraying with woody plant seeds or natural succession. Bad and acceptable level plots were usually exposed and covered with exotic species.

**Key Words:** vegetation, evaluating factors, landslide, restoration.

## 一、前言

國內外有關崩塌裸露地之研究，多著重於崩塌地發生之力學機制、崩塌潛勢分析、安定性分析、工程防治方法等面向之試驗研究。對於判斷崩塌地植生復育成效之相關研究，包括所需配合的環境因子、植生群落特性分析以及植被演替趨勢推估之綜合性探討等資料仍佔少數。而植生狀態的評估研究中 (Holmes *et al.*, 2005; 石英, 2003; 陳麗琴等, 2005; 張東柱, 2003; 馮喬舒, 2009; 龐元勳與湯宗達, 1997), 多憑調查者豐富經驗而以定性之方式判別生育地良劣, 或以大尺度的方式進行 (Lin *et al.*, 2005; Steve *et al.*, 2006), 較少以物種尺度而定量的評估資料。本研究擬藉由調查分析坡地治理工程後不同演替時期的崩塌地植生, 進行植被分類以瞭解植生演替系列, 並將探討不同演替階段下, 植生類型由裸露轉變為草生地進而到達森林階段之過程以及植生狀況優劣的轉換, 尋求量化的植生評估標準, 藉以做為崩塌地植生復育成效評估的指標因子。

## 二、研究方法

### 1. 研究範圍

研究區域選定水保局轄區內之石門水庫集水區崩塌地以及臺中雙崎地區的 921 地震崩塌地, 樣區分別分布於泰崗溪集水區、白石溪集水區、玉峰溪集水區、石門水庫庫區以及雙崎地區, 海拔範圍介於 360 m 至 1,600 m 之間。樣區選定原則以水保局轄區內之坡地

為主 (水土保持局, 2009), 挑選主要道路以及產業道路兩旁有崩塌地工程處理、河溪工程處理或自然演替狀態的坡面進行調查, 並以可獲得工程資料者為優先挑選。共選擇 43 處工程治理地點 (圖 1), 設置 70 個植物樣區進行分析。

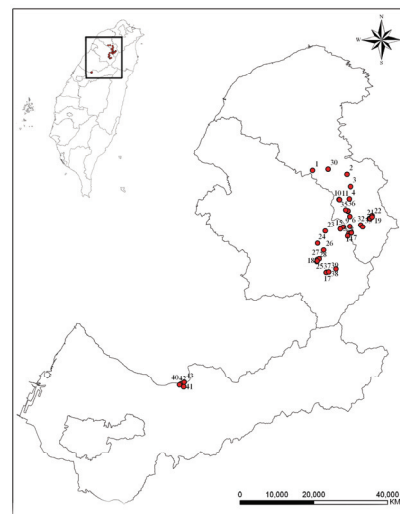


圖 1 研究選擇之 43 處治理工程位置

Fig.1 43 selected engineering structures

### 2. 植被類型分類

本研究於石門水庫集水區以及臺中雙崎地區之坡地, 包括治理工程範圍及周邊未受工程干擾的自然植被, 共挑選 70 個具代表性之植被樣區, 樣區由 4 個小

區組成，每個小區大小為 5 m x 5 m，樣區面積為 100 m<sup>2</sup>，調查樣區內植物種類及其覆蓋度，以樣區物種之相對頻度及相對優勢度為介量，計算物種的重要值指數 (importance value index, IVI)。將物種重要值與樣區製作成矩陣資料，並以階層式群集分析法 (hierarchical cluster analysis) (Wishart, 1969; McCune and Grace, 2002) 以及雙向指標種分析 (TWINSpan, Two-Way Indicator Species Analysis) (Hill, 1979; 蘇鴻傑, 1996) 進行植生群落分析，再參考兩者之分析結果以列表比較法 (tabular comparison) (Mueller-Dombois and Ellenberg, 1974; 蘇鴻傑、劉靜榆, 2004) 進行植生群落分類。

### 3. 評估指標

#### (1) 資料調查與分析

本研究調查記錄樣區之環境條件與植生狀況，環境條件含括海拔高度、坡度、坡向以及含石率；植生狀況資料蒐集包含綠覆蓋度、木本植物覆蓋度、地被植物覆蓋度、層次累計覆蓋度、植生種數、辛浦森指數、樣區原生種覆蓋度、原生種相對覆蓋度、植物社會層次、演替階段、演替度、木本植物小苗數量、動物指標、海拔高度、坡度、坡向、含石率，共計 17 項因子。

原生種相對覆蓋度係指樣區原生種覆蓋度與樣區內所有物種覆蓋度之百分比；層次累計覆蓋度係指草本、灌木、植株生長高度低於 4m 之喬木及藤本植物以及高度 4m 以上之喬木及藤本植物覆蓋度，共計 4 層植物社會層次之覆蓋度總合；植物社會層次分為第一喬木層 (植株高度大於 4m 之喬木)、第二喬木層 (高度小於 4m 之喬木)、灌木層 (高度小於 4m 之灌木) 以及草本層；演替階段分為拓殖期 (裸露或外來種優勢入侵)、初期 (演替初期草本物種優勢)、中期 (演替初期之先驅樹種優勢) 以及後期 (演替中後期物種優勢) 共 4 期；動物指標以鳥類與蝶類為代表，分別使用鳥類種數、鳥類隻次、蝶類種數以及、蝶類隻次為指標；辛浦森指數 (Simpson's index of diversity, D)， $D = 1 - \sum (n_i / N)^2$ ， $n_i$  為第  $i$  種植物個體數， $N$  為總個體數；演替度 (degree of succession, DS) 為量測植物社會演替發展之數值，係 Numata (1961) 所建立，用以評估植物社會演

替狀態，公式如下。

$$DS = \sum_{i=1}^n \frac{dy}{n} \cdot v \quad (1)$$

$d$ ：試區內植物之優勢度； $y$ ：生活年限； $n$ ：區域面積內之植物種數； $v$ ：植物覆蓋地面之比率

調查結果以 PC-ORD 軟體 (McCune and Mefford, 1999) 進行降趨對應分析 (detrended correspondence analysis, DCA) (Hill and Gauch, 1980)，並進行植物社會組成分布序列軸 (以第 1 及第 2 序列軸為主) 與各評估因子之相關性檢定。檢定結果中採用與分布軸最相關之植生評估項目，綜合評估序列軸 1 (Axis1)、序列軸 2 (Axis2) 所代表之生態意義，即可得到不同植物社會樣區於假想之評估因子軸上的排序，並挑選與序列軸 1、序列軸 2 相關性較高的植生評估項目作為鑑別植物社會能力較高的評估因子。

#### (2) 評估因子分級方法

將調查與分析結果，挑選具代表性之評估因子，將 70 個樣區評估因子資料之數值由低至高排序後，對評估因子進行分級並賦予分數，分級係依累積次數百分率 25%、50%、75% 為切分點，區分為 4 級。排序第 1-17 者為不理想等級，賦予 1 分；第 18-35 者為尚可等級，賦予 2 分；第 36-52 者為次理想等級，賦予 3 分；第 53-70 者為最理想等級，賦予 4 分。將評估因子分級後，歸納所有評估因子屬性為 5 類型植生指標，分別為覆蓋度指標、物種多樣性、原生種比例、植物層次以及演替序列，每類型植生指標得分計算方法為其所屬之評估因子得分之算數平均數。

## 三、結果與討論

### 1. 植被類型分類

依列表比較法區分為 5 種植被類型，分別為(1)初期向陽森林、(2)初期背陽森林、(3)過渡時期草地、(4)人工噴植草生植被以及(5)拓殖期草地 (表 1)。(又讀者如需參閱「植群分類列表」請向作者聯絡)。

#### (1) 初期向陽森林

該植被類型係由木本植物組成之森林植被，包含 13 個樣區，皆為植物組成較為複雜之社會。本研究調查樣區之工程治理年限多不長，因此能

演替至此之植被類型多為未受工程施作干擾或自然演替的地區，多位於向陽環境。指標種群含括椴木、雀梅藤、青剛櫟、山黃梔、槭葉石叢、蔓黃菀、臺灣馬藍、狹葉櫟、西南冷水麻、牛奶榕、木荷、山枇杷、頂芽狗脊蕨、大星蕨、長梗紫麻、江某、山蘇花。優勢植物為山枇杷、賊仔樹、檉、野桐、臺灣赤楊、芒、羅氏鹽膚木等。

#### (2) 初期背陽森林

該植被為森林類型，多位於背陽環境，包含 11 個樣區。植被類型可能於整治過程中噴植木本植物後復育成效良好，或為自然演替的地區。指標種群含括糙莖菝葜、桂竹、山棕、菊花木、菲律賓賓榕、白匏子、大葉楠、海金沙、長梗紫麻、江某。優勢植物為芒、水麻、大花咸豐草等。

#### (3) 過渡時期草生地

該植被類型為廣分布之植物社會，係由草本植物組成之草生地植被，包含 26 個樣區。各樣區多經工程處理，常見之工程有型框、木本苗木栽植、防砂壩工程、混凝土坡面處理、百喜草噴植、馬纓丹栽植等。本植被類型缺乏明顯的指標植物，屬於草生地過渡至森林環境之過渡植被，常可見木本植物小苗散生其中，優勢植物以芒、大花咸豐草最為重要，其他優勢種如山葛、水麻、密花芋麻、臺灣何首烏、水雞油、山芙蓉等。

#### (4) 人工噴植草生植被

該植被類型為施工後噴植賽芻豆或羅滋草之草生地植被，包含 7 個樣區。該處主要工程有防

砂壩及型框等類型。指標種含括賽芻豆、羅滋草，優勢植物以賽芻豆、羅滋草最為重要，其他優勢種如芒、大花咸豐草等，植物相多為單調。

#### (5) 拓殖期草生地

該植被類型為地被裸露率高之草生地植被，包含 13 個樣區。演替至此植被類型所需時間較短，平均僅需半年以上，為演替時間短暫或干擾頻度高的植被，該類型常見之干擾有自然崩塌、河流沖刷，常見之治理工程為掛網噴植，若未來干擾頻度降低，將可能持續發展而演替至過渡時期草生地。指標種群含括苦滇菜、金色狗尾草、臺灣澤蘭，優勢植物為芒、臺灣澤蘭、水麻、揚波、臺灣何首烏等。

本研究所分型之人工噴植草生植被，優勢物種為賽芻豆與羅滋草，以多年生草本植物為主，生長快速且容易蔓延覆蓋，造成地被鬱閉，容易使其他木本植物小苗不易侵入，隨演替時間延長，該植被類型不易隨之改變，有延遲自然演替之現象。若經人工除草或自然崩塌等干擾，形成之孔隙可提供其他草本或木本植物侵入之空間，孔隙空間之植生演替方向隨生物及環境因子不同而有很大的差異。整體而言，干擾後的裸露坡面通常往拓殖期草生地方向演替，此時有部分原生或外來草本植物侵入，但表土裸露程度高，較缺乏植被保護。經歷過渡時期草生地後，地被優勢的大型草本植物覆蓋，且有先驅木本植物苗木拓殖，之後隨時間演替為不同的森林狀態，達到邊坡穩固與水土保持之效果。

表 1 植被類型之環境條件與干擾類型

Table 1 Environment and disturbance of vegetation type

植被類型	樣區海拔範圍 (m)	平均含石率(%)	平均年限 (年)	平均坡度 (°)	工程或自然干擾類型
初期向陽森林	580~1586	44	11	52	工程施作未干擾或經自然演替
初期背陽森林	327~662	38	9	47	多為工程未干擾之植被，部分具小面積自然崩塌
過渡時期草生地	382~1004	74	2	36	型框工程、防砂壩工程、百喜草噴植、馬纓丹栽植
人工噴植草生植被	462~828	31	2	37	防砂壩或型框等工程、賽芻豆、羅滋草噴植
拓殖期草生地	974~1535	69	1	40	鋪網噴植、自然崩塌、防砂壩工程、流水干擾

### 2. 坡地植生現況評估指標

#### (1) 評估因子與樣區物種組成之關係

本研究以降趨對應分析 (DCA) 將樣區分布依照物種重要值組成於假想之空間軸上進行排序，樣區間彼此距離越相近，代表其物種組成越相似，藉此瞭解樣區於假想空間中分布之距離關係。本研究將 70 個樣區資料進行降趨對應分析，並套疊列表比較法之植被分類結果 (圖 2)，顯示相同植物社會之樣區於降趨對應分析中距離較近，不同植物社會之樣區距離較遠。圖中左半部樣區屬於類群 1 與類群 2 之植物社會，為森林植群；右半部屬於類群 3、類群 4 以及類群 5 之植物社會，為草地植群，右下角為賽芻豆、羅滋草優勢之植物社會，獨立為一類型，右上角出現物種如金色狗尾草、臺灣澤蘭、苦瀨菜等，以中至低海拔演替初期之物種為主，右半部中段之樣區出現物種則以低海拔優勢物種，如芒、大花咸豐草、密花芋麻、臺灣何首烏等居多。

依降趨對應分析結果，分別將序列軸 1、序列軸 2 座標與樣區評估指標資料進行皮爾森相關性檢定 (Pearson's correlation analysis test)

(圖 2、表 2)。結果顯示，與檢定結果相關程度最高者分別為植物社會層次、木本植物覆蓋度、演替階段以及樣區原生種覆蓋度。與第 1 軸高度相關 ( $0.7 \leq |r| \leq 1$ ) 之評估因子有木本植物覆蓋度、樣區原生種覆蓋度、原生種相對覆蓋度，植物社會層次、演替階段，表示於第 1 軸左邊之樣區木本植物覆蓋度高、樣區原生種覆蓋度高、原生種相對覆蓋度高，植物社會層次複雜、演替屬於較後期之階段，因此第 1 軸主要代表植物社會組成之複雜程度，往左為植物相複雜之植物社會，往右則為植物相較單純之植物社會。

#### (2) 評估因子篩選

本研究篩選 17 項評估因子，挑選出 11 項適用的因子，分別為含綠覆蓋、木本植物覆蓋度、地被植物覆蓋度、層次累計覆蓋度、植生種數、辛浦森指數、樣區原生種覆蓋度、原生種相對覆蓋度、植物社會層次、演替階段以及演替度。淘汰 6 種分析與操作上較為困難之評估因子，分別為木本植物小苗數量、動物指標，以及海拔高度、坡度、坡向、含石率，原因論述如下。

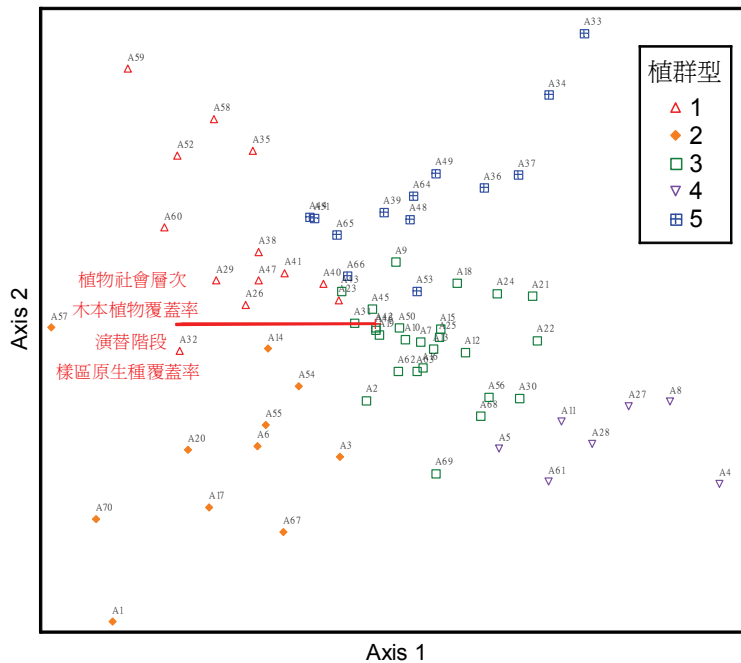


圖 2 DCA 第一及第二軸與評估因子之相關性檢定分析

Fig.2 Pearson's correlation analysis test of factors significantly related to axis1 or axis2 of DCA results

備註：類群 1-初期向陽森林、2-初期背陽森林、3-過渡時期草地、4-人工噴植草生植被、5-拓殖草地

表 2 DCA 各軸與評估因子間之皮爾森相關性檢定

Table 2 Pearson's correlation analysis test of evaluating factors to axes of DCA results

評估因子	軸 1	軸 2	軸 3
綠覆蓋	-0.465*	-0.228	-0.126
木本植物覆蓋度	-0.761*	-0.032	-0.036
地被植物覆蓋度	0.316*	-0.321*	-0.140
層次累計覆蓋度	-0.580*	-0.222	-0.197
植生種數	-0.681*	-0.036	0.060
辛浦森指數	-0.416*	-0.056	0.015
樣區原生種覆蓋度	-0.763*	-0.038	-0.081
原生種相對覆蓋度	-0.705*	0.313*	0.096
植物社會層次	-0.772*	0.022	-0.022
演替階段	-0.772*	-0.065	0.020
演替度	-0.495*	0.094	0.017

備註：\*表示環境因子與 DCA 前三軸相關性達極顯著水準 ( $p < 0.01$ )

## ① 木本植物小苗數量

木本小苗於不同樣區間之差異極大，統計分析中降區對應分析 (DCA) 第 1 軸與評估指標之相關性檢定結果，亦呈現第 1 軸與木本植物小苗數量無關 ( $r=0.007$ ,  $p=0.53$ )，故未採用木本植物小苗數量為評估指標。探討此統計結果之原因，可由樣區資料解釋，最多小苗之樣區可高達 119 株，最低者為 0 株，造成此差異係因崩塌地木本苗木栽植普遍所致。

## ② 動物指標

本研究欲得知不同演替階段之植物社會中，是否有不同的動物出現，或有較多的動物隻次。動物資料挑選鳥類及蝶類進行調查。以 DCA 第 1 序列軸與鳥類及蝶類種類與數量進行相關性檢定，結果顯示 DCA 前 3 軸與鳥類及蝶類種類與數量皆無關 (表 3)，表示在於坡地環境中，動物種類與數量難以鑑別不同的植物社會狀況，需更進一步分析與討論。

表 3 動物因子與 DCA 前 3 序列軸之皮爾森相關性檢定

Table 3 Pearson's correlation analysis test of animal factors to axes of DCA results

	鳥類種數	鳥類隻次	蝶類種數	蝶類隻次
軸 1	0.24 ( $p=0.18$ )	0.22 ( $p=0.22$ )	0.02 ( $p=0.90$ )	0.06 ( $p=0.74$ )
軸 2	0.10 ( $p=0.58$ )	0.20 ( $p=0.27$ )	0.01 ( $p=0.96$ )	0.19 ( $p=0.29$ )
軸 3	0.07 ( $p=0.70$ )	0.03 ( $p=0.89$ )	0.01 ( $p=0.95$ )	0.03 ( $p=0.89$ )

括弧內為相關係數之  $p$ -value；所有資料顯示動物指標與 DCA 前 3 軸之皮爾森相關性檢定皆未達顯著水準

## ③ 環境因子

環境考量下的評估指標包含海拔高度 (m)、坡度 ( $^{\circ}$ )、坡向 ( $^{\circ}$ ) 以及含石率 (%), 4 者皆為可能影響植生演替之環境因子，故於挑選後以 DCA 前 3 軸座標與 4 項環境因子指標進行皮爾森相關性檢定 (表 4)。

表 4 環境因子與 DCA 前 3 軸之皮爾森相關性檢定

Table 4 Pearson's correlation analysis test of environment factors to axes of DCA results

	海拔(m)	坡度( $^{\circ}$ )	水分梯度級	含石率(%)
軸 1	0.09	-0.40**	-0.13	0.25*
軸 2	0.76**	-0.01	-0.07	0.24*
軸 3	0.21	-0.08	-0.11	0.09

\*\*表示相關性達極顯著水準 ( $p < 0.01$ ), \*表示達顯著水準 ( $p < 0.05$ )

海拔高度顯示與第 2 軸有關 ( $r=0.76$ ,  $p < 0.01$ )，為鑑別不同植物社會良好之因子，但海拔高度並無優劣之分別，以海拔高度難以說明何種植物社會為較良好的植被，僅為影響植物社會分布之因子；坡度與第 1 軸呈負相關，相關係數不高，僅為 0.4 ( $p < 0.01$ )，故坡度雖可分出不同植物社會，但有較多例外之可能；坡向可轉換為水分梯度級 (Day and Monk, 1974)，將水分梯度與 DCA 前 3 軸座標進行相關性分析，分析結果顯示 DCA 前 3 軸與水份梯度皆無關，表示坡地植物社會不易隨坡向改變而有所差異；含石率與第 1 軸呈正相關，但相關係數不高，僅為 0.25 ( $p < 0.01$ )，故含石率雖會影響植物社會分布，但並非影響植物社會組成主要之因子，因此本計畫不使用上述環境因子作為評估指標，而僅列入背景資料之原因。

## (3) 評估指標分級標準

將調查與分析結果，揀選具代表性之評估因子，對評估因子依分級標準進行分級並賦予分數，不理想等級給予 1 分，尚可等級給予 2 分，次理想等級給予 3 分，最理想等級給予 4 分。各評估因子依分級方式分級完成後，將分級標準整理如表 5。

## (4) 評估指標操作

操作過程以 10 樣區 (編號 A61~A70) 為例，整理出欲操作樣區之評估因子資料，依評估

因子分級標準將每項評估因子給予 1~4 分（表 6）。將評估因子中同性質者合併，做為 5 類型的植生指標（表 7），得分越高者植生狀況越良好。操作中各樣區之分級依據評估因子分級方式，採用 70 個樣區資料作為樣本，不同等級所對應之植生指標總分切分標準為 8.5、10.5 以及

16 分，故樣區得分大於 16 分者屬於植生現況最理想之樣區，植生類型皆已演替至森林狀態，其中排名 1 與 2 的地區，物種組成接近演替中期之種類，為調查結果中最良好之地區，此類森林之物種數多，林下具優勢之草本植物，但不為特別優勢之物種佔據，物種間彼此競爭達動態平衡。

表 5 植生指標分級

Table 5 Criteria of evaluating factors

植生指標	評估因子	分級標準			
		不理想	尚可	次理想	最理想
覆蓋度	綠覆蓋 (%)	值≤30	30<值≤65	65<值≤90	90<值
指標	木本植物覆蓋度 (%)	值=0	0<值≤15	15<值≤55	55<值
	地被植物覆蓋度 (%)	值≤20	20<值≤30	30<值≤45	45<值
	層次累計覆蓋度 (%)	值≤20	20<值≤60	60<值≤100	100<值
物種	植生種數 (種/100m <sup>2</sup> )	值≤15	15<值≤20	20<值≤30	30<值
多樣性	辛浦森指數	值≤0.62	0.62<值≤0.78	0.78<值≤0.87	0.87<值
原生種	樣區原生種覆蓋度 (%)	值≤10	10<值≤30	30<值≤65	65<值
比例	原生種相對覆蓋度 (%)	值≤55.8	55.8<值≤91.5	91.5<值≤98.8	98.8<值
植物層次	植物社會層次	1 層	2 層	3 層	4 層
演替序列	演替階段	拓殖期	演替初期	演替中期	演替後期
	演替度	值≤11.5	11.5<值≤31.6	31.6<值≤45.1	45.1<值

表 6 樣區各評估因子評估結果（以樣區編號 A61~A70 為例）

Table 6 Evaluated result of evaluating factors

植生指標	評估因子	A61	A62	A63	A64	A65	A66	A67	A68	A69	A70
覆蓋度	綠覆蓋 (%)	2	2	1	2	2	1	3	2	4	4
指標	木本植物覆蓋度 (%)	3	2	2	2	2	1	3	2	2	4
	地被植物覆蓋度 (%)	3	1	1	3	2	1	3	4	4	1
	層次累計覆蓋度 (%)	3	2	2	2	1	1	4	3	3	4
物種	植生種數 (種/100m <sup>2</sup> )	2	3	1	2	1	1	4	3	2	4
多樣性	辛浦森指數	2	3	3	2	3	1	4	3	1	4
原生種	樣區原生種覆蓋度 (%)	2	2	2	2	2	1	4	3	1	4
比例	原生種相對覆蓋度 (%)	1	2	3	3	3	4	2	1	1	4
植物層次	植物社會層次	2	1	1	1	1	1	3	1	1	4
演替序列	演替階段	2	1	1	1	1	1	3	2	1	4
	演替度	3	2	2	2	2	3	3	1	3	4

表 7 樣區之 5 類植生指標評分結果

Table 7 Evaluated result of 5 category evaluating factors

植生指標	A61	A62	A63	A64	A65	A66	A67	A68	A69	A70
覆蓋度指標	2.75	1.75	1.5	2.25	1.75	1	3.25	2.75	3.25	3.25
物種多樣性	2	3	2	2	2	1	4	3	1.5	4
原生種比例	1.5	2	2.5	2.5	2.5	2.5	3	2	1	4
植物層次	2	1	1	1	1	1	3	1	1	4
演替序列	2.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2	3	1.5	2	4
植生指標總分	10.75	9.25	8.5	9.25	8.75	7.5	16.25	10.25	8.75	19.25

排名 3 至 8 的森林以演替前期之次生林為主，林下有較優勢的芒或台灣蘆竹等植物存在，又有外來種干擾之地區，為演替初期的森林，植物社會常具 3 層結構；樣區得分大於 10.5 分且小於等於 16 分者屬於植生現況次理想之樣區，為草地過渡到森林之植生等級，多為綠覆蓋高之草地或具 2 層結構以下之次生林。

次理想植生類型中排名 9 至 12 者為演替前期之次生林，植物社會結構常 2 層，地被層常具優勢之草種；排名 13 至 16 者，草本植物優勢但已有許多木本植物覆蓋之地區，具有可發展至森林之能力；排名 17 與 18 者多為覆蓋度高之草地，植被層次 1 至 2 層；樣區得分大於 8.5 分小於等於 10.5 分者屬於植生現況尚可之樣區，地被裸露程度低，已有許多物種侵入；樣區得分小於等於 8.5 者屬於植生現況不理想之樣區，地被裸露呈度最高，或僅有少數外來草植物優勢生長。

#### (5) 完整坡地植生與棲地復育成效評估指標

完整坡地植生與棲地復育成效評估指標係以本研究建立之完整植生指標進行評估，評估時將樣區調查資料整理後，填入完整坡地植生與棲地復育成效評估表（表 8），求得植生指標總分，且比照評估指標之分級標準切分，切分點為 8.5、10.5 及 16，得知現階段植生狀況屬於不理想、尚可、次理想或最理想之植生狀態，建立完整坡地植生與棲地復育成效評估表格。

完整坡地植生與棲地復育成效評估方法優點為評估資料充足，可對現地植生狀況做較完整之描述與分析，瞭解植被類型、物種組成，缺點則為需進行樣區調查，相對耗時而費工，且需要室內作業。

#### (6) 簡易坡地植生與棲地復育成效評估指標

簡易坡地植生與棲地復育成效評估指標方式是由 5 類型植生指標中分別挑選出最具代表性之簡易坡地植生與棲地復育成效評估指標，係將各評估因子得分與樣區植生指標總分進行皮爾森相關性檢定（表 10），以相關程度最高者代表該植生指標。所挑選之植生指標中，覆蓋度指標以木本植物覆蓋度為代表（ $r=0.89, p<0.01$ ），物種多樣性以植生種數為代表（ $r=0.85, p<0.01$ ），原生種比例以樣區原生種覆蓋度為代表（ $r=0.95, p<0.01$ ），植物層次以植物社會層次表示（ $r=0.93, p<0.01$ ），演替序列以演替階

段為代表（ $r=0.94, p<0.01$ ）。

評估時係調查所挑選之簡易坡地植生與棲地復育成效評估指標，將數值填入簡易坡地植生與棲地復育成效評估表格（表 20），並求得簡易坡地植生與棲地復育成效評估總分，將此總分依分級標準分級（以 7、10、16.7 分為切分點，區分為不理想、尚可、次理想、最理想之植物社會），建立簡易坡地植生與棲地復育成效評估指標表格。簡易坡地植生與棲地復育成效評估指標優點為快速且省工，無需進行每木調查及複雜計算，僅需於固定大小之樣區內記錄植生種數、原生種覆蓋度，而木本植物覆蓋度、植物社會層次與演替階段則以工程整體範圍評估，此動作可於現地完成。簡易坡地植生與棲地復育成效評估指標缺點為相近之植生狀態解析力較差，較不易區別，且僅能得知 5 項簡易坡地植生與棲地復育成效評估因子資訊。

植物生態人員於現地評估植生狀態時，持簡易坡地植生與棲地復育成效評估表格，無需進行複雜運算即可得到簡易坡地植生與棲地復育成效評估指標總分，比對簡易坡地植生與棲地復育成效評估因子分級標準，可將評估地點歸類為不理想、尚可、次理想或最理想之植生狀態。

## 四、結 論

1. 本研究將坡地植生分為 5 種類型，分別為初期向陽森林（以椴木、雀梅藤、青剛櫟、山黃梔等為指標）、初期背陽森林（以山棕、菊花木、菲律賓榕、白袍子等為指標）、過渡時期草地（以極優勢之芒、大花咸豐草為指標）、人工噴植草生植被（以極優勢之羅滋草及賽芻豆為指標）以及拓殖期草地（以苦滇菜、金色狗尾草、臺灣澤蘭為指標）。
2. 挑選出 5 類型之植生指標：(1) 覆蓋度指標，包含綠覆蓋、木本植物覆蓋度、地被植物覆蓋度及層次累計覆蓋度。(2) 物種多樣性，包含植生種數以及辛浦森指數。(3) 原生種比例，包含樣區原生種覆蓋度以及原生種相對覆蓋度。(4) 植物層次，即植物社會層次。(5) 演替序列，包含演替階段以及演替度。並將植生指標所屬的評估因子分為 4 等級，分別為不理想、尚可、次理想以及最理想等級。
3. 建立完整坡地評估表，並以 5 類植生指標之總分代表樣區植生狀況，植生指標分為 4 等級，所對應之植生指標分級切分點為 8.5、10.5 以及 16 分。



表 8 完整坡地植生與棲地復育成效評估

Table 8 Criteria table of vegetation and habitat restoration

評估指標	說	明	評分	
綠覆蓋度 (%)	綠覆蓋度代表植物社會的豐富度，植物覆蓋越茂密，顯示該區環境較為穩定，且植生復育情形佳，能提供的水土保持效益亦最高。			
	最理想	次理想	尚可	不理想
	90 以上	65~90	30~65	30 以下
木本植物覆蓋度 (%)	樣區內喬木及灌木覆蓋樣區面積之百分比率。一般認為木本植物生長所需時間較草本長，木本植物生長茂密之地區常被認為處於演替較後期之階段，植生狀況良好。			
	最理想	次理想	尚可	不理想
	55 以上	15~55	0~15	0
地被植物覆蓋度 (%)	為樣區內所有草本、草質藤本以及木質藤本植物覆蓋樣區面積之百分比率。一般之次級演替初期地被植物覆蓋度較後期為低，演替時間越長預期地被植物覆蓋度越高。			
	最理想	次理想	尚可	不理想
	45 以上	30~45	20~30	20 以下
層次累計覆蓋度 (%)	層次累計覆蓋度指(1)草本覆蓋度、(2)灌木覆蓋度、(3)高度 4m 以下喬木及藤本植物覆蓋度以及(4)高度 4m 以上喬木及藤本植物覆蓋度，4 層植物社會層次之覆蓋度總合。			
	最理想	次理想	尚可	不理想
	100 以上	60~100	20~60	20 以下
植生種數 (種 /100m <sup>2</sup> )	代表植物社會的多樣性，植生種類越多樣，顯示該區植物的多樣性越高。			
	最理想	次理想	尚可	不理想
	30 以上	20~30	15~20	15 以下
辛浦森指數	單位面積內隨機挑選兩物種，兩物種為不同種之機率，穩定之植物社會，其物種組成常較初形成之植物社會複雜，辛浦森指數有較高之趨勢。			
	最理想	次理想	尚可	不理想
	0.87 以上	0.78~0.87	0.62~0.78	0.62 以下
原生種覆蓋度 (%)	樣區內所有原生種覆蓋樣區面積之百分比率，原生種覆蓋度高，表示該地區原生種生長良好，為植生條件較好之地區。			
	最理想	次理想	尚可	不理想
	65 以上	30~65	10~30	10 以下
原生種相對覆蓋度 (%)	指樣區 (100 m <sup>2</sup> ) 原生種覆蓋度與樣區內所有物種覆蓋度之百分比率，代表植物社會受外來種威脅情形，原生種相對覆蓋度越高，顯示該區植生受外來種競爭較少。			
	最理想	次理想	尚可	不理想
	98.8 以上	91.5~98.8	55.8~91.5	55.8 以下
植物社會層次	代表植物社會空間結構的複雜度，層次越多，代表其植物社會組成越複雜，越趨向天然林環境。			
	最理想	次理想	尚可	不理想
	具四層以上結構	具三層結構	具二層結構	具一層結構或裸露
演替階段	代表植物群聚隨環境及時間變遷而發生變化的階段，也就是由初期演替階段之植物優勢到中後期演替階段之植物優勢社會。			
	最理想	次理想	尚可	不理想
	演替中後期物種優勢【後期】	演替初期之先驅樹種優勢【中期】	演替初期草本物種優勢【初期】	裸露或外來種優勢入侵【拓殖期】
演替度	代表植物群聚隨環境及時間變遷而發生變化的階段，演替度高者屬於演替後期地區。			
	最理想	次理想	尚可	不理想
	45.1 以上	31.6~45.4	11.5~31.6	11.5 以下

植生指標總分  
 植生現況 (最理想、次理想、尚可、不理想)  
 坡地完整評估總分比照評估指標之切分標準以 8.5、10.5、16 為切分點，分為不理想、尚可、次理想、最理想之植物社會，不理想等級給予 1 分，尚可等級給予 2 分，次理想等級給予 3 分、最理想等級給予 4 分

表 9 簡易坡地植生與棲地復育成效評估指標表格

Fig.9 Pearson's correlation analysis test of score to evaluating factors


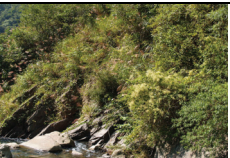
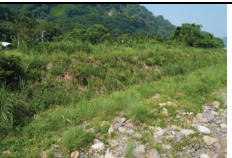

















評估指標	說	明	評分	
木本植物 覆蓋度 指數 (%)	評估範圍內喬木及灌木覆蓋樣區面積之百分比率。一般認為木本植物生長所需時間較草本長，木本植物生長茂密之地區常被認為處於演替較後期之階段，植生狀況良好。			
	最理想	次理想	尚可	不理想
	55 以上。	15~55。	0~15。	0。
				
	代表植物社會的多樣性，植生種類越多樣，顯示該區植物的多樣性越高。			
植生 種數 (種 /100 m <sup>2</sup> )	最理想	次理想	尚可	不理想
	30 以上。	20~30。	15~20。	15 以下。
				
	樣區內所有原生種覆蓋樣區面積之百分比率，原生種覆蓋度高，表示該地區原生種生長良好。			
	原生 種族 群量	最理想	次理想	尚可
65 以上。		30~65。	10~30。	10 以下。
				
代表植物社會空間結構的複雜度，層次越多，代表其植物社會組成越複雜，越趨向天然林環境。				
植物 社會 層次		最理想	次理想	尚可
	具四層以上結構	具三層結構	具二層結構	具一層結構或裸露
				
	代表植物群聚隨環境及時間變遷而發生變化的階段，即由演替初期至後期之過程。			
	演替 序列	最理想	次理想	尚可
中後期物種優勢【後期】		先驅樹種優勢【中期】	初期之草本物種優勢【初期】	裸露或外來種優勢【拓殖期】
				
簡易評估指標總分				
植生現況（最理想、次理想、尚可、不理想）				
簡易評估總分以 7、10、16.7 分為切分點，區分為不理想、尚可、次理想、最理想之植物社會				

表 10 植生指標總分與評估因子之皮爾森相關性檢定  
Table 10 Simple criteria table of vegetation and habitat restoration

植生指標	評估因子	植生指標總分與評估因子之 r 值
	綠覆蓋	0.80*
覆蓋度指標	木本植物覆蓋度	0.89*
	地被植物覆蓋度	0.01
	層次累計覆蓋度	0.86*
物種多樣性	植生種數	0.85*
	辛浦森指數	0.51*
原生種比例	樣區原生種覆蓋度	0.95*
	原生種相對覆蓋度	0.49*
植物層次	植物社會層次	0.93*
	演替階段	0.94*
演替序列	演替度	0.48*

\*表示評估因子間之相關性達極顯著水準 ( $p < 0.01$ )

4. 建立簡易坡地植生與棲地復育成效評估指標, 所挑選之評估因子為木本植物覆蓋度、植生種數、樣區原生種覆蓋度、植物社會層次以及演替階段。簡易指標總分分為 4 等級, 所對應之總分切分點為 7、10 以及 16.7 分。
5. 完整坡地植生與棲地復育成效評估以及簡易坡地植生與棲地復育成效評估之分級, 不理想與尚可之植生等級, 多為綠覆蓋度低, 木本植物覆蓋度低, 植物社會 1 至 2 層結構者, 或有高綠覆蓋度但為單一優勢外來植物佔據之樣區; 次理想之植生等級, 多為綠覆蓋度高, 木本植物覆蓋度 15% 至 55% 間, 植物社會結構多為 3 層以下之結構; 最理想之植生等級為綠覆蓋度高、木本植物覆蓋度高、植物社會層次複雜之樣區。

## 參考文獻

- 石英 (2003), 「陸域生態完整性評估準則之建立~以基隆河瑪陵坑流域為例」, 國立台北大學資源管理研究所碩士論文。
- 水土保持局 (2009), 「坡地保育治理地區植生群落與棲地環境變遷評估成果報告」, 行政院農業委員會。
- 馮喬舒 (2009), 「崩塌地植生復育成效及其演替系列之研究」, 國立中興大學水土保持學系研究所碩士論文。
- 張東柱 (2003), 「美國林務署調查森林健康的指標—森林資源與分析」, 臺灣林業 29(5): 31-38。
- 陳麗琴、林俊成、劉瓊霖, (2005) 「從美國 Tillamook 大火到現今 Tillamook 州有林之形成-林分結構化經營之森林經營模式」, 臺灣林業 31(5): 67-73。
- 龐元勳、湯宗達, (1997) 「基隆河生態品質與環境衝擊評估」, 行政院環保署, EPA-86-G103-03-20。
- 蘇鴻傑、劉靜榆, (2004) 「論植相社會學之植群分類法」, 臺大實驗林研究報告 18(3): 129-151。
- 蘇鴻傑, (1996) 「植群生態多變數分析法之研究 (IV) 植群分類法及其相關環境因子之分析」, 臺灣省立博物館年刊 39: 249-268。
- Day, F.P., and C.D. Monk(1974), "Vegetation patterns on a southern Appalachian watershed," *Ecology*, 55: 1064-1074.
- Hill, M.O. (1979), "TWINSPAN - A FORTRAN Program for Arranging Multivariate Data in an Ordered Two-way Table by Classification of the Individuals and Attributes," *Ecology and Systematics*, Cornell University, pp.90, Ithaca, New York.
- Hill, M.O., and H.G. Gauch(1980), "Detrended correspondence analysis: an improved ordination technique," *Vegetatio*, 42: 47-58.
- Holmes, J., P. Papas, and J. Holmes(2005), "The Index of wetland condition conceptual framework and selection of measures," Department of Sustainability and Environment, The Victorian Government Department of Sustainability and Environment Melbourne. pp. 1-71,
- Lin, W.T., W.C. Chou, C.Y. Lin, P.H. Huang, and J. S. Tsai(2005), "Vegetation recovery monitoring and assessment at landslides caused by earthquake in Central Taiwan," *Forest. Ecol. Manag.*, 210: 55-66.
- McCune, B., and J.B. Grace(2002), "Analysis of ecological communities, MjM software Design," Gleneden Beach, Oregon, USA. pp. 1-300,
- McCune, B., and M.J. Mefford(1999), "PC-ORD: Multivariate analysis of ecological data," MjM software, Gleneden Beach, Oregon, U.S.A.
- Mueller-Dombois, D., and H. Ellenberg(1974), "Aims and Methods of Vegetation Ecology," John Wiley & Sons Ltd., pp. 1-547, New York.
- Numata, M. (1961), "Ecology of grassland in Japan," *Jour. Coll. Art. Sci.*, 3: 327-342.

Steve, P., M.E. Ruse, and K. C. NG(2006),  
“Assessment of natural terrain landslide risk  
in Hong Kong: An engineering geological  
perspective,” IAEG, paper 299: 1-11.  
Wishart, D. (1969), An algorithm for hierarchical  
classifications, *Biometrics*, 25: 165-170.

---

2010年3月19日 收稿

2010年9月9日 修正

2010年12月7日 接受

(本文開放討論至2011年9月30日)