

## 崩塌地植生重建之軌跡與目標：復育生態學觀點下的提議

邱清安<sup>[1][2]</sup> 徐憲生<sup>[1]</sup> 林信輝<sup>[3]</sup> 陳韋志<sup>[4]\*</sup>

**摘要** 復育生態學是近年來環境科學的重要議題，為了將生態復育之理念應用於崩塌地之植生重建，本文以復育生態學觀點提出新的概念化圖示，來說明崩塌地之生態系功能與結構的植生重建軌跡與目標。目前崩塌地之植生重建，已能藉由傳統的植生工法快速恢復已退化生態系之基本的功能（如生物量、植生覆蓋率），但其生態結構（如層次、物種多樣性）僅有少部分回復，未來可將崩塌地植生重建之目標，由草本植物覆蓋延伸至建造初期階段的森林，亦即在崩塌發生後由地被植物快速生長覆蓋以求穩定及減少沖蝕，並蘊含多物種、多層次之潛力促進崩塌地未來演替朝向後期森林發展，使崩塌地治理兼顧到初期綠覆達成及後期能有更多的植物種類、更為深入的根系、更穩固的生態結構功能。

**關鍵詞：**復育生態學、崩塌地植生重建、生態結構與功能。

## The Trajectory and Goal of Landslide Revegetation: A Proposal from the Viewpoints of Restoration Ecology

Ching-An Chiu<sup>[1]</sup> Hsien-Sheng Hsu<sup>[2]</sup> Shin-Hwei Lin<sup>[3]</sup> Wei-Chih Chen<sup>[4]\*</sup>

**ABSTRACT** In recent years, restoration ecology has become an important issue in environmental sciences. To apply the concept of ecological restoration to repair landslide, we propose new illustrations to clarify the trajectory and goal of landslide revegetation expressed in terms of the two major characteristics of ecological structure and function. Traditional vegetation engineering methods can quickly recover fundamental ecological functions such as biomass and vegetation cover ratio, but are inadequate when it comes to recovering ecological structures such as stratum and biodiversity. The future goal of landslide restoration should be extended from establishing grass vegetation simply for slope stability and erosion reduction to developing early-successional-stage forests to store more species and strata in succession. The trajectory and goal of landslide revegetation proposed by this paper can allow for vegetation recovery in the early phase as well as more stable ecological structure in the late phase.

**Key Words:** Restoration ecology, Landslide revegetation, Ecological structure and function.

### 一、前言

臺灣是全球發生崩塌的熱點之一 (Dilley, 2005; Nadim et al., 2006; Petley, 2012)，其中植生重建 (revegetation) 在崩塌地治理中愈來愈受重視，如 2010 年生態工程 (Ecological Engineering) 期刊出版植群與坡地穩定 (Vegetation and Slope Stability) 之專刊 (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/09258574/36/3>)，以及 2012 年於加拿大舉行的第三屆土壤生物與生態工程 (Soil Bio- and Eco-engineering) 研討會 (<http://www.waswac.org/newsShow.asp?id=251&fileSort=20>) 之主題，均顯示利用植群特性可改善坡地之穩定 (The Use of Vegetation to Improve Slope Stability)。

現今臺灣崩塌地整治常以植生導入與工程併行，利用植物本身優良保水及固土功效，來減少表土流失與崩塌 (吳建宏等，2013)，以達到坡面穩定及與周邊自然環境調和之效果，期能有助於維護生態環境平衡及植物多樣性，達到永續保育發展目標 (林信輝，2008；陳志豪等，2010)；因此，植生重建是崩塌地整治的重要項目之一，近年來除了重視崩塌地之植生覆蓋率 (vegetation cover ratio) 的回復外，也不斷省思如何恢復崩塌地生態系之完整性與健康度 (integrity and health) (SE-RI, 2004)，期望在崩塌發生後快速完成地被植物覆蓋以求穩定及減少沖蝕，之後由林木接替生長以完成崩塌地之森林化 (林德貴、林信輝，2009)，充分將生態學理論應用於崩塌地整治 (Walter and Shiels, 2013)，此一目標可引介近年蓬勃發展的生態

[1] 國立中興大學實驗林管理處

Experimental Forest, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan

[2] 國立中興大學森林學系

Department of Forestry, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan

[3] 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

[4] 國立屏東科技大學生物資源研究所

Graduate Institute of Bioresources, National Pingtung University of Science and Technology, Pingtung 912, Taiwan

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

態復育 (ecological restoration) 之相關概念來與植生復育相結合；緣此，本文擬由復育生態學之觀點出發，提出一個新的概念化圖示來說明崩場地之生態系功能與結構的植生重建之軌跡與目標。

## 二、復育生態學之內涵與改善選項

恢復受損生態環境雖然是一個古老的想法，但直到 1985 年 Aber and Jordan 才提出「復育生態學 (restoration ecology)」一詞，之後，復育生態學隨即成為環境科學領域的重點議題之一 (Dobson et al., 1997; Hobbs and Harris, 2001; Roberts et al., 2009)，相關的研究報告也快速增加 (圖 1)，僅於 2010-2014 年間即可在 Thomson Reuters Web of Science 資料庫中檢索到 1,617 篇 SCI 報告。簡言之，復育生態學是一門研究修復受損生態系之科學，其操作與實踐通常被稱之為生態復育，依國際生態復育學會 (Society for Ecological Restoration International, SERI) 所提之定義 (SERI, 2004)：生態復育是指協助已退化、受損或毀壞之生態系復原的過程 (the process of assisting the recovery of an ecosystem that has been degraded, damaged, or destroyed)。

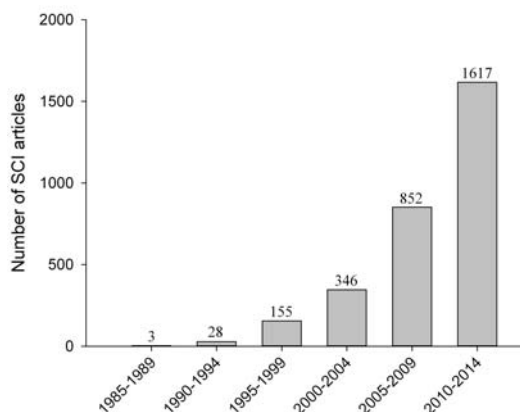


圖 1 1985~2014 年迅速增加的復育生態學 SCI 報告

Fig.1 The very rapid rise in number of restoration ecology SCI articles during 1985-2014

改善已退化、受損或毀壞生態系之途徑可能具有多種不同的目標與過程，因此在相關的領域中也衍生出 restoration、rehabilitation、replacement、reclamation、remediation 等諸多術語 (Jackson et al., 1995; Bradshaw, 1997; Krystyna et al., 1997; Robinson and Handel, 2000; Higgs, 2003; SERI, 2004; Stephanie et al., 2005; Li, 2006; Andre and James, 2007; Walter and Shiels 2013; 張新時, 2010)，代表人為介入 (intervention) 之不同程度及做法；然而廣義的 restoration 相當於口語上的 recover、repair，包含了 rehabilitation、reclamation、狹義的 restoration。針對受損生態系之不同的改善選項，可用圖 2 來說明 (Bradshaw, 1987, 1997, 2004; Hobbs et al., 2007; Grenfell et al., 2007; 邱清安, 2012)，其中各種狀態之說明如下：

A：受損生態系之現今情況，亦即本文之崩場地，仍保有部分的土壤及植物繁殖體 (種子、無性繁殖器官)，部分微生育地環境仍適合植物生長，可較快速啟動次級演替

(secondary succession)，包括殘存植物再生、繁殖體遷入、競爭、取代等過程，通常數十至百年即能恢復至接近原來形相 (physiognomy)。

A'：受損生態系持續發生退化現象，如未經整治之崩場地持續發生崩塌及土壤流失，即  $A \rightarrow A'$ ，此時缺乏土壤及植物繁殖體，生態系之功能及結構均退化接近於零，須待土壤再次生成堆積、植物繁殖體傳播到達及定殖 (colonization) 後，才重新啟動初級演替 (primary succession)，恢復至原有形相可能須耗費數百至數千年。

D：可能的原始生態系、健康而完整的生態系，也是自然演替或人為復育完成後的終極目標或最終理想狀態；在復育生態學中，通常將 D 稱之為參照生態系 (reference ecosystem)，可做為設計生態復育計畫的模版 (template)，並做為後期之復育成效評估的基準 (benchmark) (Clewell, 2000; Goebel et al., 2005)，亦即參照生態系與復育後的生態系二者之間的結構與功能等屬性是類似的 (SERI, 2004; Cortina et al., 2006)。在強調恢復自然原始生態系之領域 (圖 2)，以人力介入來加速生態系恢復之選項有：(1) 復健 (rehabilitation) — 恢復已退化生態系之結構與功能，但其結構與功能可能僅部分回復到退化前生態系之狀況，亦即  $A \rightarrow D$  的某個中途點 (或稱之為參照情況 reference condition)；(2) 復育 (restoration) — 在圖 2 中專指狹義的復育，特別強調完全恢復原始的生態系之結構與功能，亦即回復至 D 點，因此只採用當地原生物種 (locally native, indigenous species)，甚至考量基因多樣性僅使用當地之種源，以具有完整及健康的生態系為恢復之目標，通常須要投入較高的人力、經費、時間等才可達成。

B：經過施作之後，土地恢復至可接受之狀態，在本文被視為崩場地經植生工程後，完成草本植物覆蓋坡面之情況。由  $A \rightarrow B$  之過程多使用於工程領域，可譯之為生態改造 (ecological replacement / reclamation) 以與上述之狹義的生態復育 (ecological restoration *sensu lato*，完全使用原生種且遵循自然演替軌跡，通常成本高且耗時久) 相區別，常須先進行物理環境之改善，如植生導入作業 (植生工法) 前的坡面穩定工程；由  $A \rightarrow B$  通常可較自然演替更快速地恢復已退化生態系之基本的功能 (function，如生物量 (biomass)、植生覆蓋率 (Vegetation Cover Ratio, VCR) 等)，但其生態系結構 (structure，層次 (stratum)、物種多樣性 (biodiversity) 等) 可能僅部分回復到退化前生態系之狀況。

## 三、崩場地復育之植生重建軌跡與目標

崩場地之植生工程以追求坡面穩定及達成坡面快速綠化之首要目標，但近年在生態工法及保育意識之抬頭，在考量回復崩場地之生態系功能 (如綠覆率) 時，更希望能同時兼顧恢復生態系結構 (如層次、生物多樣性)，亦即以人為介入之方

法，在崩塌發生後由地被植物快速生長覆蓋以求坡面穩定及減少沖蝕，並依自然演替進程由林木接替生長，以期在恢復為森林後能有更多的植物種類、更為深入的根系、更穩固的動態平衡 (dynamic equilibrium)，因此將裸露的崩塌地恢復為演替最後階段之極盛相 (climax) 森林，可謂植生工程及崩塌地森林化之終極目標 (Walter and Shiels, 2013)。

本文基於復育生態學之觀點提出圖 3 之崩塌地植生重建之軌跡與目標，相關說明如下：

## 1. 植生重建之軌跡

坡地發生崩塌之後，常伴隨著地表原有植被的消失與土壤的裸露，為避免坡面土壤再度被沖蝕流失，通常是以植生工程方法來達成坡面快速綠化覆蓋，植生重建所選用之種類概為發芽率高、生長快速且均勻的草種，其過程即圖 2 之 A → B；然近年來許多研究已逐漸重視地被草種由林木取代後的演替進程 (林德貴、林信輝, 2009; 吳建宏等, 2013; Walter and Shiels, 2013)，亦即圖 3 之 A → B → C 的軌跡。以下為圖 3 所闡述的崩塌地植生復育之理想的演替進程：

A→B：為一般崩塌地植生工程均可達成之目標，但為考量後續演替序列的發展，宜避免賽芻豆 (*Macroptilium atropurpureus*)、羅滋草 (*Chloris gayana*) 等強勢外來草種。

B→C：為本文所特別強調之初期森林建造，除了應避免使用強勢外來草種造成演替阻礙之外，如何促進崩塌地之苗木增補 (seedling recruitment) 為未來的研究重點，包括突破 (1) 種源限制 (source/production limitation)、(2) 散播限制 (dispersal/dissemination limitation)、(3) 發芽限制 (germination limitation)、(4) 建成限制 (establishment limitation) (Standish et al., 2007; Mendoza et al., 2009; 邱清安、徐憲生, 2015)，提供林木種子或繁殖體，改善阻礙林木發芽、生長之環境條件 (Walker and del Moral, 2009)。

C→D：當崩塌地初期森林完成，即大致已完成崩塌地植生復育之基本要求，隨後可依循演替規律，逐步由初期森林演替至後期森林。若有更高的復育需求及經費，欲加速初期森林演替至更成熟的完整生態系，因演替後期樹種之種子通常屬於大粒種子，自然傳播進入崩塌地定殖常需較久之時間，故可考慮實施二次復育介入 (intervention)，亦即補植演替後期樹種之種子或苗木，藉以提升生物多樣性 (Miyawaki, 2004; de la Peña-Domene et al., 2013)。

## 2. 植生重建之目標

傳統的崩塌地植生重建之目標，多僅重視崩塌地經植生工程後，完成草本植物覆蓋之情況，即以 B 為崩塌地植生重建為目標；然近年更企求崩塌地之森林化，就復育生態學之觀點而言，希望達成崩塌地之演替初期階段的森林，並蘊含崩塌地未來演替朝向多樹種、多層次森林之潛力，亦即以 C 為崩塌地植生重建為目標，初期森林建造之理念亦應融入於工程前設計階段、植生工程操作階段、工程後評估階段。

圖 4 為與圖 3 相互對照之崩塌地、植生草種覆蓋、初期森林、後期森林之相片。在圖 3B 代表植生草種完成地表覆蓋之

階段 (即圖 4B)，圖 3C 代表初期森林之階段 (即圖 4C)，本文建議將崩塌地復育之植生重建的目標由圖 3 之 B 延伸至 C，許多報告指出此將有助於崩塌地之穩定及植群演替之發展，如 Burri et al. (2009) 研究發現，密集的灌叢林木有助於改善崩塌地之土壤團粒穩定度，建議利用加速植群發展、提升土壤形成過程 (如累積細微土壤顆粒、有機物質和菌根繁殖體) 的復育方法來增加了土壤團粒穩定度；根據 Osman and Barakbah (2011) 研究植物演替對坡地穩定之報告顯示，混植先驅樹種樣區具較高生物量及根長密度，同時在 2 年後生物多樣性亦增加，而對照的草本及豆科爬藤樣區則是具有最低演替速率與最低地上生物量，迴歸分析之結果也顯示自然演替過程與邊坡穩定具有極顯著的正相關。當崩塌地之深根性樹種出現越多，除了達到物種多樣性外，表示坡面愈能達到穩定 (林信輝等, 2010)，因此，初期森林實為未來崩塌地植生重建之重要目標。

圖 3 之 B 與 C 的差別可用生態系之結構與功能來說明，圖 3B 為單層覆蓋地表之植生草類 (即圖 4B)，就圖 3 之橫軸而言，其結構之層次為單層地被，種類多樣性則依播撒之植生草種而異，但多為常用水土保持草種 (林信輝, 2000, 2008; 江介倫等, 2009)，如百喜草 (*Paspalum notatum*)、多年生黑麥草 (*Lolium perenne*) 等，就圖 3 之縱軸而言，這些草種因生長快速且於短期內能全面覆蓋，因此能較快地提高生態系之生物量及植生覆蓋率等功能面向。若在設計崩塌地植生工程時，以演替初期階段的森林為植生重建之目標，快速以水土保持草種達成坡面覆蓋以減少沖蝕 (即圖 3B、圖 4B)，同時建造初期森林使未來崩塌地能朝向多樹種、多層次森林之演替潛力 (即圖 3C、圖 4C)，因此將崩塌地復育之植生重建的目標由 B 延伸至 C，則能夠同時兼顧生態系之結構與功能的提升，達成更完善的崩塌地植生復育。表 1 為圖 4C 之崩塌地初期森林的實地調查資料 (邱清安, 未發表資料)，由 4 個 5 m × 5 m 的樣區中，共出現 19 種原生植物，未發現外來種，而在喬木層中以臺灣赤楊 (*Alnus formosana*)、阿里山榆 (*Ulmus uyematsui*) 為主，在 100 m<sup>2</sup> 中共有 21 株，在地被層中則有青楓 (*Acer serrulatum*)、阿里山千金榆 (*Carpinus kawakamii*)、木荷 (*Schima superba*)、紅檜 (*Chamaecyparis formosensis*) 等林木幼樹，以及臺灣八角金盤 (*Fatsia polycarpa*)、多種懸鉤子屬 (*Rubus* spp.) 等灌木，顯示圖 4C 之初期森林 (即圖 3C) 在物種多樣性、生物量、根系等多種生態系結構與功能均優於圖 4B 之水土保持草種所覆蓋 (即圖 3B)。

為達成崩塌地初期森林之建造 (即圖 3C、圖 4C)，理想之進程為水土保持草種於植生工程一兩年後即消退，當崩塌地初期具有數量較多之木本植物，不僅能促進崩塌地植生復育及演替序列進行，初期森林也較能抵擋外來種入侵而避免演替由進化轉為退化之情形 (林信輝等, 2010)，例如，避免水土保持草種一賽芻豆、羅滋草因過度強勢生長形成單純植相，致使其他木本植物無法順利定殖生長，造成整治復育成效受到質疑 (賴曉翔, 2009)，此等植物類似國外之芒萁屬植物 (*Dicranopteris* spp., 蔓性蕨類) (Walker et al., 1996; Russell et al., 1998) 蝶豆 (*Clitoria ternatea*) (Velázquez and Gómez-Sal, 2009) 也常形成長期的單一優勢種，因太過於強勢而阻礙後續演替之進行，未

來宜避免使用。因此，選用合宜的水土保持草種為達成初期森林建造的一關鍵問題，Ortega-Pieck et al. (2011) 即指出外來草種常形成單一優勢及高生物量，明顯阻礙演替初期樹種定殖及次級演替；Hagen et al. (2014) 於挪威之研究，亦顯示引進的外來草種—紫羊茅 (*Festuca rubra*) 對原生的矮樺木 (*Betula nana*) 之發芽、定殖、生長具有抑制作用，並減低崩場地之物種豐富度。

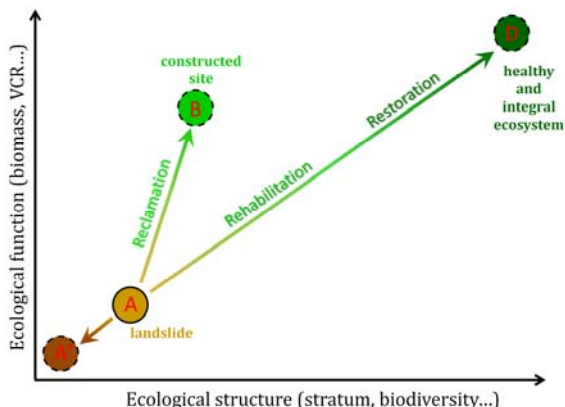


圖 2 改善受損生態系之不同選項 (復育、復健、改造) 可用結構與功能 2 個主要的生態特徵來表示。A 為崩場地；A' 為受損生態系持續發生退化，如持續沖蝕；B 為經過施作後土地恢復至可接受之狀態，如崩場地經植生工程後完成草本植物覆蓋之情況；D 為可能的原始生態系、健康而完整的生態系

**Fig.2 The different options (restoration, rehabilitation, and reclamation) for the improvement of a degraded ecosystem can be expressed in terms of the two major characteristics of structure and function. A: landslide. A': a continued decline on the degraded ecosystem (landslide). B: a constructed site on landslide improved by traditional revegetation. D: the desired and original ecosystem with integrity and health**

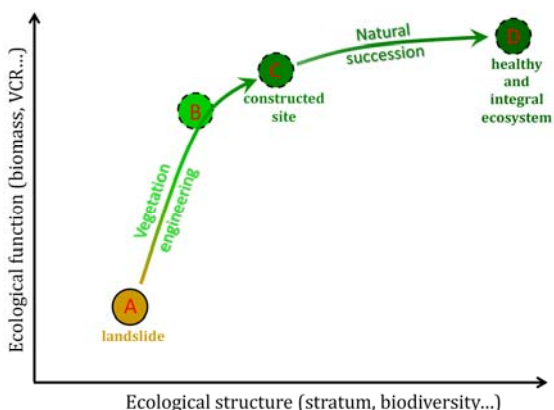


圖 3 本文建議崩場地之植生重建的目標應延伸至 C，以建造演替初期階段的森林，促使其恢復的軌跡為 A → B → C → D

**Fig.3 The goal of landslide revegetation should extend to C to construct the early-successional forest. The recovery trajectory on landslide should be A → B → C → D**

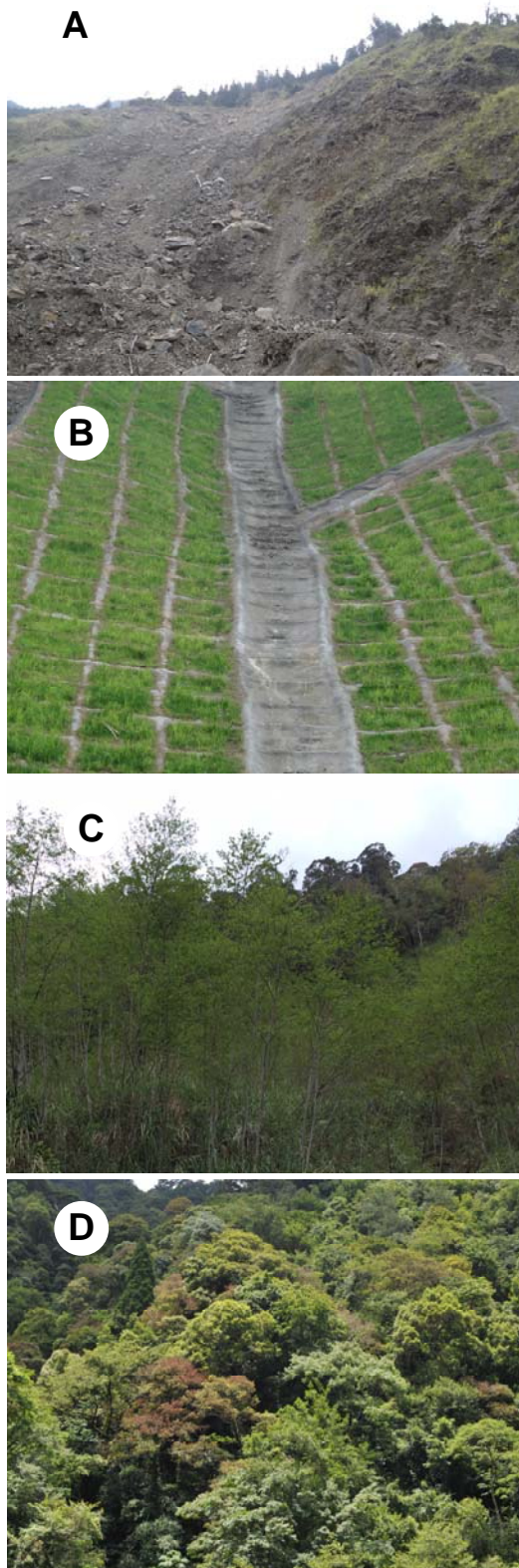


圖 4 A：崩塌造成地表裸露；B：植生草種完成地表覆蓋；C：演替初期森林；D：演替後期森林。A, B, C, D 等階段如同圖 3 所示

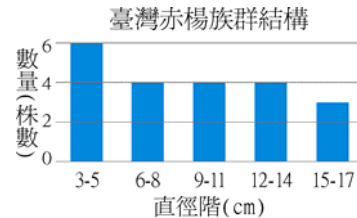
**Fig. 4 A: landslide; B: grass revegetation covering the landslide; C: early-successional forest on landslide; D: late-successional forest. The A, B, C, and D stages are also shown on Fig. 3**



表 1 崩塌地演替初期森林之種類組成、重要值、林木族群結構

Table 1 Species composition, important value index, and tree population structure of early-successional forest on a landslide site

地被層		喬木層	
植物種類	重要值	植物種類	重要值
五節芒 <sup>H</sup>	96.06	落新婦 <sup>H</sup>	6.05
高粱泡 <sup>S</sup>	13.90	臺灣八角金盤 <sup>S</sup>	5.95
廣葉鋸齒雙蓋蕨 <sup>H</sup>	12.55	紅檜 <sup>T</sup>	3.57
榕葉懸鉤子 <sup>S</sup>	11.63	腺葉懸鉤子 <sup>S</sup>	3.08
青楓 <sup>T</sup>	9.03	大葉南蛇藤 <sup>S</sup>	3.00
史氏鱗毛蕨 <sup>H</sup>	7.31	有骨消 <sup>S</sup>	3.00
阿里山千金榆 <sup>T</sup>	6.70	腺萼懸鉤子 <sup>S</sup>	3.00
小毛蕨 <sup>H</sup>	6.20	紅梅消 <sup>S</sup>	2.95
木荷 <sup>T</sup>	6.05	總計	200.00



註1：邱清安 (未發表資料)：2014年調查大鹿林道18 K之崩塌地 (因2004年艾莉颱風造成)，週邊植群主要為暖溫帶闊葉林。  
 註2：H表草本 (Herb)；S表灌木 (Shrub)；T表喬木 (Tree)。

未來在臺灣崩塌地的水土保持草種 (含原生及外來)、基材種類及配比、適用的原生木本植物種類、如何促進木本種子發芽及苗木建立 (seed germination and seedling establishment) 等仍有待進一步試驗研究，期能在崩塌地治理上，快速由水土保持草種覆蓋坡面，並加速達成崩塌地初期森林之建造與後續之演替序列推進，而兼顧到生態系之結構與功能的恢復。

#### 四、結論

臺灣崩塌地的整治及植生復育，經過多年來之研究，已有相當成熟且完備的工法和技術，然近年來蓬勃發展的復育生態學是環境科學的重要議題，著重於生態學理論與環境復育操作實務相結合，為實際應用在崩塌地之植生重建工作，本文以圖示引介復育生態學之概念與演替途徑，並提議未來崩塌地之植生重建的目標，由傳統之植生草種覆蓋延伸至初期森林建造 (圖 3B→圖 3C；圖 4B→圖 4C)，以促使崩塌地能藉由植生工法快速達到草本植生覆蓋及減低沖蝕，並於植生工法中規畫多樹種、多層次之潛力以建造初期森林，以使崩塌地能加速回復原有之生物量、植生覆蓋等生態功能以及生物多樣性、層次等生態結構。本文所提議之演替初期森林 (圖 3C、圖 4C) 在植生復育之重要性，未來可體現在三方面：(1) 做為植生重建規劃設計時的目標、(2) 做為植生工法操作執行時的依據、(3) 做為評估植生復育是否成功時的準則，亦即演替初期森林建造可應用在工程前設計階段、植生工程操作階段、工程後評估階段。

#### 參考文獻

- [1] 江介倫、黃國禎、邱宏彬、黃澍瑩 (2009)，「臺灣常用覆蓋草類覆蓋率之研究」，農業工程學報，55(4)，90-99。(Chiang, J.L., Huang, K.C., Chiu, H.P., and Huang, C.Y. (2009). "A coverage study of cover grass commonly used in Taiwan." *Journal of Taiwan Agricultural Engineering*, 55(4), 90-99. (in Chinese))
- [2] 吳建宏、謝明廷、林信輝 (2013)，「崩塌地噴植處理植生演替機制調查研究—以南投縣埔里鎮卓社林道為例」，水土保持學報，45(1)，481-496。(Wu, C.H., Sie, M.T., and Lin, S.H. (2013). "Investigation on spray planting vegetation succession mechanism in collapse area - case study of Jhuoshe forest trail, Puli township, Nantou county." *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 45(1), 481-496. (in Chinese))
- [3] 林信輝 (2000)，「水土保持草類之特性與應用」，中華民國雜草學會會刊，21(1)，51-58。(Lin, S.H. (2000). "Character and application of soil-conserving grasses." *Weed Sci. Bull.* 21(1), 51-58. (in Chinese))
- [4] 林信輝 (2008)，坡地植生工程暨植生調查應用手冊，行政院農業委員會水土保持局。(Lin, S.H. (2008). *Manual of slopland vegetation engineering and investigation method*. Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan, Taiwan, ROC. (in Chinese))
- [5] 林信輝、彭心燕、馮喬舒 (2010)，「921 地震崩塌地植生復育及其演替系列個案調查分析」，水土保持技術，5(2)，83-93。(Lin, S.H., Peng, S.Y., and Feng, C.S. (2010). "A case study analysis on revegetation and plant succession series in landslides after 921 Chi-Chi Earthquake." *Journal of Soil and Water Conservation Technology*, 5(2), 83-93. (in Chinese))
- [6] 林德貴、林信輝 (2009)，國有林崩塌地森林化之研究，行政院農業委員會林務局。(Lin, D. G., and Lin, S. H. (2009). *Study on the Reforestation of Landslide Areas in National Forest*. Forestry Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan, Taiwan, ROC. (in Chinese))
- [7] 邱清安 (2012)，「復育生態學之初探」，中華林學季刊，45(2)，289-298。(Chiu, C.A. (2012). "A preliminary exploration of restoration ecology." *Quarterly Journal of Chinese Forestry*, 45(2), 289-298. (in Chinese))
- [8] 邱清安、徐憲生 (2015)，「面對退化地之抉擇：被動的自生演替恢復 vs. 主動的人為生態復育」，林業研究季刊，

- 37(2), 85-98. (Chiu, C.A., and Hsu, H.S. (2015). "An optimal approach to degraded land: passively natural recovery by spontaneous succession vs. actively ecological restoration by human intervention." *Quarterly Journal of Forest Research*, 37(2), 85-98. (in Chinese))
- [9] 張新時 (2010), 「關於生態重建和生態恢復的思辨及其科學涵義與發展途徑」, 植物生態學報, 34(1), 112-118. (Zhang, X.S. (2010). "An intellectual enquiring about ecological restoration and recovery, their scientific implication and approach." *Chinese Journal of Plant Ecology* 34(1), 112-118. (in Chinese))
- [10] 陳志豪、鄭旭涵、彭心燕、林信輝 (2010), 「崩塌地植生復育適用評估因子之分析研究」, 中華水土保持學報, 41(4): 296-307. (Chen, Z.H., Jeng, J.H., Peng, H.Y., and Lin, S.H. (2010). "Research on evaluating factors for vegetation restorat of landslide area." *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 41(4), 296-307. (in Chinese))
- [11] 賴睽翔 (2009), 「崩塌地噴植地區植物初期生長對入侵演替機制影響之研究」, 國立中興大學水土保持學系碩士論文. (Lai, K.S. (2009). *Study on Plant Primarily Growth and Succession Mechanism following Hydroseeding Treatment of Landslide Areas*, Master Thesis, National Chung Hsing University, Taiwan, ROC. (in Chinese))
- [12] Andre, F.C., and James, A. (2007). *Ecological Restoration*. Connecticut Avenue, NW, Suite 300, Washington, DC.
- [13] Bradshaw, A.D. (1987). "Restoration: An acid test for ecology". pp. 23-29. In: Jordon, W.R., Gilpin, M.E., and Aber, J.D. (eds). *Restoration Ecology: A Synthetic Approach to Ecological Research*. Cambridge University Press, Cambridge.
- [14] Bradshaw, A.D. (1997). "What do we mean by restoration?" pp. 8-14. In: Urbanska, K.M., Webb, N.R., and Edwards, P.J. (eds). *Restoration Ecology and Sustainable Development*. Cambridge University Press, Cambridge.
- [15] Bradshaw, A.D. (2004). "The role of nutrients and the importance of function in the assembly of ecosystems." pp. 325-340. In: Vicky, M.T., Richard, J.H., Tim, N., and Stefan, H. (eds). *Assembly Rules and Restoration Ecology*. Connecticut Avenue, NW, Suite 300, Washington, D.C.
- [16] Burri, K., Graf, F., and Böll, A. (2009). "Revegetation measures improve soil aggregate stability: a case study of a landslide area in Central Switzerland." *Forest Snow and Landscape Research*, 82(1), 45-60.
- [17] Clewell, A.F. (2000). "Restoring for natural authenticity." *Ecological Restoration*, 18(4), 216-217.
- [18] Cortina, J., Maestre, F.T., Vallejo, R., Baeza, M.J., Valdecantos, A., and Pérez-Devesa, M. (2006). "Ecosystem structure, function, and restoration success: Are they related?" *Journal for Nature Conservation*, 14(3), 152-160.
- [19] de la Peña-Domene, M., Martínez-Garza, C., and Howe, H. F. (2013). "Early recruitment dynamics in tropical restoration." *Ecological Applications*, 23(5), 1124-1134.
- [20] Dille, M. (2005). *Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis*. World Bank Publications, Washington, D.C.
- [21] Dobson, A.P., Bradshaw, A.D., and Baker, A.J.M. (1997). "Hopes for the future: restoration ecology and conservation biology." *Science*, 277, 515-522.
- [22] Goebel, P.C., Wyse, T.C., and Corace III, R.G. (2005). "Determining reference ecosystem conditions for disturbed landscapes within the context of contemporary resource management issues." *Journal of Forestry*, 103(7), 351-356.
- [23] Grenfell, M.C., Ellery, W.N., Garden, S.E., Dini, J., and van der Valk, A.G. (2007). "The language of intervention: a review of concepts and terminology in wetland ecosystem repair." *Water SA*, 33, 43-50.
- [24] Hagen, D., Hansen, T.I., Graae, B.J., and Rydgren, K. (2014). "To seed or not to seed in alpine restoration: introduced grass species outcompete rather than facilitate native species." *Ecological Engineering*, 64, 255-261.
- [25] Higgs, E. (2003). *Nature by Design: People, Natural Processes, and Ecological Restoration*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- [26] Hobbs, R.J., and Harris, J.A. (2001). "Restoration ecology: repairing the earth's ecosystems in the new millennium." *Restoration ecology*, 9(2), 239-246.
- [27] Hobbs, R.J., Walker, L.R., and Walker, J. (2007). "Integrating restoration and succession." pp. 168-179. In: Walker, L.R., Walker, J., and Hobbs, R.J. (eds). *Linking Restoration and Ecological Succession*. Springer, New York.
- [28] Jackson, L., Lopoukhine, N., and Hillyard, D. (1995). "Ecological restoration: a definition and comments." *Restoration Ecology*, 3, 71-75.
- [29] Krystyna, M.U., Nigel, R.W., and Peter, J.E. (1997). *Restoration Ecology and Sustainable Development*. Cambridge University Press, Cambridge.
- [30] Li, M.S. (2006). "Ecological restoration of mineland with particular reference to the metalliferous mine wasteland in China: a review of research and practice." *Science of the Total Environment*, 357, 38-53.
- [31] Mendoza, I., Gómez-Aparicio, L., Zamora, R., and Matías, L. (2009). "Recruitment limitation of forest communities in a degraded Mediterranean landscape." *Journal of Vegetation Science*, 20, 367-376.
- [32] Miyawaki, A. (2004). "Restoration of living environment based on vegetation ecology: theory and practice." *Ecological Research*, 19(1), 83-90.
- [33] Nadim, F., Kjekstad, O., Peduzzi, P., Herold, C., and Jaedicke, C. (2006). "Global landslide and avalanche hotspots." *Landslides*, 3(2), 159-173.
- [34] Ortega-Pieck, A., López-Barrera, F., Ramírez-Marcial, N., and García-Franco, J.G. (2011). "Early seedling establishment of two tropical montane cloud forest tree species: The role of native and exotic grasses." *Forest Ecology and Management*, 261(7), 1336-1343.
- [35] Osman, N., and Barakbah, S.S. (2011). "The effect of plant succession on slope stability." *Ecological Engineering*, 37(2), 139-147.
- [36] Petley, D. (2012). "Global patterns of loss of life from landslides." *Geology*, 40(10), 927-930.

- [37] Roberts, L., Stone, R., and Sugden, A. (2009). "The rise of restoration ecology." *Science*, 325, 555.
- [38] Robinson, G.R., and Handel, S.N. (2000). "Directing spatial patterns of recruitment during an experimental urban woodland reclamation." *Ecological Applications*, 10, 174-188.
- [39] Russell, A.E., Raich, J.W., and Vitousek, P.M. (1998). "The ecology of the climbing fern *Dicranopteris linearis* on windward Mauna Loa, Hawaii, USA." *Journal of Ecology*, 86, 765-779.
- [40] Society for Ecological Restoration International Science and Policy Working Group (SERI) (2004). *The SER International Primer on Ecological Restoration*. SERI, Tucson, Arizona, USA. <<http://www.ser.org>>
- [41] Standish, R. J., Cramer, V. A., Wild, S. L., and Hobbs, R. J. (2007). "Seed dispersal and recruitment limitation are barriers to native recolonization of old-fields in western Australia." *Journal of Applied Ecology*, 44(2), 435-445.
- [42] Stephanie, M., Daniel, V., and Nigel, D. (2005). *Forest Restoration in Landscape: Beyond Planting Trees*. Springer, New York.
- [43] Velázquez, E., and Gómez-Sal, A. (2009). "Changes in the herbaceous communities on the landslide of the Casita Volcano, Nicaragua, during early succession." *Folia Geobotanica*, 44(1), 1-18.
- [44] Walker, L.R., and del Moral, R. (2009). "Lessons from primary succession for restoration of severely damaged habitats." *Applied Vegetation Science*, 12, 55-67.
- [45] Walker, L.R., Zarin, D.J., Fetcher, N., Myster, R.W., and Johnson, A.H. (1996). "Ecosystem development and plant succession on landslides in the Caribbean." *Biotropica*, 28(4), 566-576.
- [46] Walter, L.R., and Shiels, A.B. (2013). *Landslide Ecology*. Cambridge University Press, Cambridge.

---

2016年01月06日 收稿

2016年02月19日 修正

2016年03月14日 接受

(本文開放討論至 2016 年 12 月 31 日)