

國有林區劣化地之復育

文、圖 ■ 郭幸榮 ■ 國立台灣大學森林環境暨資源學系教授（通訊作者）

劉興旺 ■ 國立台灣大學實驗林管理處技正

一、緒言

人類文明發展過程，先民自森林採集食物、藥材，用木材製作用具及構建庇護場所。時至農耕時代，則砍伐森林以取得耕地供生產糧食，森林的破壞乃不可避免，且隨著人口的增加，森林破壞的面積愈為擴大，山地土壤的沖刷愈趨嚴重，導致一些古帝國的崩潰。由於破壞森林導致環境的劣化，植樹護地的歷史也很久遠，在中國始於秦朝，在歐洲可溯及古羅馬帝國，在日本其森林經營歷史也有2,000年之久。惟森林有系統作業如萌櫟更新、疏伐、修枝、林木育種、人工控制授粉及人工林的建造等，遲至15世紀末葉才在德國逐漸建立，大面積的森林復育則在16世紀始於英國。近代森林復育，則有歐洲、北美洲、澳洲、紐西蘭等國家的森林部門致力於荒廢農地、廢礦地及森林退化的林地進行森林重建。因此，近30年來，在林業較為發達的國家，已執行了多項森林復育計畫，森林保護措施也積極進行，以生產當地居民生活所需的食物與燃料等社會功能，以及發揮水土資源維護及生物保育之生態功能。

面對森林遭受傷害而劣化或消失，森林生態復育乃被設定為最有效的因應策略。惟回顧過去國外所執行復育計畫的成果，仍不乏未臻成功甚或完全挫敗之案例。主要原因是復育的目標樹種不能存活或無法長期與其他樹種競爭而在林分發育過程被淘汰，或復育過程因原有逆境未予紓解而繼續受傷害，致生長表現不佳。導致失敗的其他原因尚有復育樹種或森林不符當地居民的需求，未能達成維護當地社會穩定的功能。因此，森林生態復育策略至目前為止仍難免受質疑。

近代森林生態復育之風潮緣起於美國，企圖將荒廢之農業及畜牧用地、廢礦地重建趨向於自然化之森林，以回復至歐洲移民前之樹種組成及結構，發揮相類似的生態功能。此種森林復育思維引進台灣是近年來的事，為期約為10年，其生態學理有所不足，亟待建立。在施業實務方面，九二一大地震及隨後數次颱風豪雨所破壞之山地森林，一部分由植生自然演替重建新的植群，大部分地區引用生態工法整治崩塌坡面及直播種子或栽植原生樹種苗木予以重建，此種施業過程與方式，近似於森林生態復育，但缺乏將



新林導向自然化之具體目標。可貴的是，已累積各種不同生育地復育森林的案例，可供學習，修正作業過程與方法。本文擬就森林生態復育原理及適合於本地環境之作業方法予以介紹，請各方先進不吝指正。

二、森林生態復育的意涵

一般而言，森林生態系在自然演替過程，耐陰能力強的樹種會逐漸取代耐陰能力弱的需光性樹種，而且不同大小林木會共存於森林生態系內，致冠層的垂直及水平結構會複雜化，其生態功能也逐漸增強而趨於穩定，如目前存在於中高海拔之闊葉樹林或針闊葉混生之天然林即相當接近此種狀態。當人為或天然因素干擾或破壞，則某些林木或樹種會受傷害，嚴重者是全林毀滅，原有的生態功能因而退化或消失。

森林生態復育是指在退化、受傷害甚或消失的森林生態系予以重建的過程，期望重建的生態系近似於天然林，存在於健康且完整狀態，而得以永續。因此，復育的森林生態系之結構及生態功能乃模仿鄰近天然林而重新創立。假若新林僅與天然林略為相似，其環境維護及生態功能低微，如建造以生產木材為目標之人工林，通常不能稱為生態復育。

三、劣瘠地的森林生態復育

國內的山地國有林區及海岸林帶，生態功能明顯退化或已消失的森林而亟需進行森林生態復育者大致可分成四大類：一為崩塌或嚴重地表逕流沖蝕之山坡地及火燒跡地；二為長

期違法變更為農業用途之林地或荒廢之竹林；三為海岸生產力低劣之無林地或地表不穩定、自然更新困難之飛砂土；四為受人為干擾，冠層覆蓋度低於10%之林地或由單一樹種組成之同齡林。本文限於篇幅將只針對崩塌或沖蝕坡地、以及依國土保育計畫所收回違法變更為農業用地之劣化林地二大類，提出森林生態復育方案，供有志者參考。

（一）嚴重沖蝕或崩塌地之森林復育

山地區域因颱風豪雨或地震所造成之大面積嚴重沖蝕或崩塌地，原有之森林受害嚴重甚或破壞殆盡、冠層覆蓋度不及10%者，應進行森林生態復育。過去各林務機關也確曾在受害的林地進行人為生態復育作業，一部分崩塌地則藉由植群自然演替過程予以復育，二者互補進行，以恢復森林的生態及社會功能。從全球環境變遷的趨勢而言，颱風、豪雨的災難往後可能更為頻繁、強烈，因此，山區林地受害之後其微環境變化之瞭解及復育過程之建立，當有助於復育作業之實施。

1. 微環境特性及改善方案

在山區，坡面在自然及生物力量的作用下風化所形成的土壤，在不同坡段會有不同的流動及滯留能力，致有不同的土壤堆積量，其質地、深度、水分滯留能力、肥沃度等性質也因而不同。孕育之森林生態系之樹種組成、冠層之垂直結構也互異，而各具有環境維護及生態功能，惟皆可減少地表逕流及土壤沖蝕。因此，隨著森林的發育及其演替序列的進行，土壤將逐漸加厚。當土壤與

底下母岩間的摩擦力低於土壤與森林的總應力時，土壤的崩塌為自然而不可避免的現象，如未受人為干擾的天然林之崩塌即是，但引發崩塌所歷經的時間通常要數百年之久。當豪雨或強烈地震時，因外力加強，尤其坡腳因築路或洪水巨流沖刷、破壞而失去支撐時，崩塌乃提早發生。

坡面崩塌之後，如再遭豪雨的沖蝕，坡面的土壤繼續向下流動，殘存的土壤淺薄，而且因養分、有機物及細小的黏、粉粒大量流失，致土壤質地粗糙、貧瘠，保水能力低劣，不利於種子的發芽與幼苗的生長，無法展開植群重建。因此，崩塌坡面必須先施以穩定工程，不論將來擬以植生自然復育或人工加速復育皆然。在較為平緩的坡面，以林地的植物枝葉、殘材及石塊予以橫坡堆置，以緩和地表逕流及蓄積土壤，構建適合種子發芽及幼苗生長的微環境。惟在較為陡峭的坡面，此種簡易構造並不穩定，必須以蛇籠盛裝石塊，或以鋼筋水泥砌成擋土牆，方不致於繼續崩塌。穩定坡面的工程也兼具分散及減緩地表逕流、增加水分利用率之功能。施工的詳細內涵請參閱林信輝教授所撰「崩塌地打樁固坡作業」（郭幸榮主編（2006）育林手冊，林務局出版）。

坡面穩定工程完成後，可進一步以稻草或草蓆覆蓋坡面，以截留種子及保留土壤水分供種子發芽之需。稻草分解後另可提供土壤有機質及養分的來源，改善土壤的理化性質。

在下坡段或坡腳的土壤沖積扇，自坡面崩塌而來的土壤及石塊在此處堆積，而且夾雜殘材、枝葉及草叢。土壤堆積量因崩塌的

面積、深度及是否再受流水沖刷而有很大的差異。沖積扇的其他特性為地表不平坦，在孔洞及小凹窪地會有細小土粒沈積，保水力也因而較佳，構成種子發芽的微環境，通常為植物首先出現的微小棲地。因此，在平緩的土壤堆積扇，以石塊及殘材施作橫坡截水及截土的簡易措施通常已可達到穩定地表之目標，且盡量維持地表粗糙，為進行植生自然復育的基礎作業。

2·植生復育

(1) 植群自然復育

在下坡段或坡腳土壤沖積扇，除了有較多的土壤堆積且地表較為穩定外，自中、上坡段隨土壤崩塌而來的種子及根株為最主要的更新材料。這些種子庫以小粒、且有休眠性而耐久藏的種子為主要的組成樹種，在演替序列上為需光性的先驅種為其生態特性，與崩塌前之穩定森林生態系的冠層主要組成樹種屬演替中後期樹種不同，概因後者的種子通常較大而短命，在冠層下可發芽，不是種子庫的主要構成分子。在植群自然重建的演替過程，自鄰近散生林木或森林傳播而來的種子也以小粒隨風散布的種子為主，中、大型種子僅散布於母樹周邊，到達復育地的機會低落，且易被各種齧齒類動物所啃食。另一自然更新材料為原森林組成樹種的根株或小桿材，通常具有強盛的萌櫟能力。因此，擬藉自然力量重建的森林，以下坡段及山腳土壤堆積扇最可能達成，惟期程通常無法有效掌控，樹種組成也與崩塌前的森林生態系有所不同，通常需要數十年甚或數百年



才可達到崩塌前穩定森林生態系狀態。因此，復育的期程及目標生態系是否能符合當地社會之需求，為首先考量、評估的因素。當未能於預定期程內達到預期目標，則應以人工加速復育。

(2) 人工加速復育

1. 參考目標

人工加速復育之準則為，以復育林地鄰近之天然林或次生林為仿效目標，評估復育的新林之樹種組成與結構是否與其相近似，假如新林之樹種組成及結構單純化，如過去所建造之人工林，雖有新林建造，但因其主要功能是木材生產，社會、環境及生物保育等功能低劣，與天然林差異太大，不能稱為生態復育。

2. 復育樹種

復育樹種及種源以當地的原生林或次生林的優勢種為目標，若當地的原生林或次生林已消失，則自相關文獻查尋該地原生樹種，自緯度及海拔相近的原生林採集種子。緯度或海拔落差愈大，復育失敗的可能性就愈高，海拔差距通常以上下500 m以內為理想。

3. 復育材料與方法

以種子直播或苗木栽植方式皆有復育個案採用，二者也皆有其成果與限制，說明如次：

A. 種子直播

a. 適宜樹種：以小粒種子之樹種或灌木，如台灣赤楊、構樹、光臘樹、榕樹類、九芎、台灣欒樹、白匏子、山黃麻、木荷、檉木、茄苳、大頭茶、楓香、苦楝等為適宜直播的樹種。這些樹種的種子在崩塌地、陽光照射

充足的環境下較易發芽。樟樹、烏心石、楠木類、殼斗科樹種等不易在強光且未妥善覆土的環境下發芽，也易遭齧齒類動物所食，非適宜直播復育樹種。種子採集後經去除外種皮、種翅、附屬物、籽粒（郭幸榮，2007）及解除休眠（簡慶德，2009），即可直接播種。若種子未經層積處理，則播種前浸於流水中1~2天，取出在室內使種皮陰乾後立即播種。

b. 播種期：以春雨或梅雨期較為適當，土壤有足夠的水分供發芽之需，且在颱風季節來臨時，幼苗已半木質化，略可抗拒強風、豪雨之傷害而減少死亡率。颱風季節播種則因豪雨致種子易於流失，淪於失敗的可能性較大。



（圖片／高遠文化 攝影／高遠文化）

c·播種量：以實驗室所測得的發芽率及預期成苗株數予以估算，後者通常以10,000株／公頃做為估算基礎。因為種子在林地實際發芽率及幼苗的枯死率在樹種間及不同林地間變異甚大，台灣也缺欠此種資料，無法建議實際需要的播種量。參閱國外相關文獻及溪頭的復育案例，實際播種量至少要有估算的播種量之10倍以上。

d·播種方法：在橫坡截水帶進行撒播。隨後覆蓋土壤，厚約0.5~1 cm為宜；再上覆稻草或草蓆，厚在1 cm以內，以維持土壤的發芽環境。尤其在土壤少、覆土不易的地方，覆草為維持種子發芽微環境的重要工作。

e·除草：幼苗是否能繼續生長，尚受雜草競爭的重大影響，故應視雜草密度及幼苗的生長狀況進行除草作業。

f·成果展望：直播復育的成果在不同生育地間差異甚大，最主要的原因在於崩塌地的物理環境是否有效改善，樹種是否適宜，種子的品質是否優良，播種作業是否完善。大致而言，不論土壤殘存量的多寡，目標樹種皆要與自然發生的植群競爭，致是否得以建立，變異甚大。另因微環境因子不易掌控，且齧齒類動物對大粒種子的為害也通常較對其苗木為大，致復育樹種受到嚴格限制，需再藉助天然演替或人為干預才可達到穩定的森林生態系之目標。

B·苗木栽植

a·復育目標：復育之新林其冠層覆蓋度以30至70%為目標，與一般人工林所期盼覆蓋度70%以上有所不同。冠層未覆蓋之孔隙

地由其他植種自然演替填補，以構成複雜的植種組成及垂直結構。土壤內根系也由喬木、灌木及草本組成，以發揮維護土壤功能。

b·適宜樹種：除了適宜直播復育的樹種外，中、大型種子之烏心石、樟樹、楠木類、殼斗科及具有特殊目標之樹種，皆可在土壤深度逾25 cm之中、下坡段或坡腳沖積扇以苗木栽植方式進行復育。

c·苗木種類：容器（塑膠袋或鉢）苗較裸根苗適宜，因根系帶有土壤，成活率較高。苗木的培育方式、出栽時的大小及形態與一般造林用苗相類似，但要嚴格淘汰劣質及纖細苗。

d·樹種組成及配置：在同一生育地，要多樹種組成，期以趨向於自然化。惟也因為多樹種混植，在林分發育過程樹種間競爭乃不可避免，致部分樹種有被淘汰的威脅。為避免目標樹種減少，將同一樹種以5至10株苗木之小群狀栽植方式配置，可緩和種間競爭，尤以生態習性相近似之樹種最適宜。

e·栽植季節：與一般造林作業類似，在春雨至梅雨期最為適當。降雨不足、土壤乾燥時，延遲至颱風季節進行。

f·栽植位置：在橫坡截水帶掘穴栽植，帶間任由植群進行自然演替。

g·栽植密度：以低密度為宜，每公頃栽植500至1,000株為適當。栽植株數太多，冠層鬱閉後將抑制林下植群的生長與生存。株數太少，未能達於預期的森林功能。

h·除草：例行性除草作業不可免，但僅



刈除栽植帶或栽植穴四周具有競爭性雜草，其他隙地之植物不必刈除，以保留自然發生的植種。

i · 限制因子及對策：栽植復育法的最主要限制因子為土壤深度，薄於25 cm者將嚴重限制目標樹種根系之發育，生長緩慢、低矮。紓解方法為將栽植穴擴大，深度及廣度皆達於50 cm以上，內填表土後栽植，但切忌填入尚未腐熟的枯枝落葉，以免根系無法與土壤密接而形成氣囊，苗木將因無法吸收水分而死亡。

另外，在坡面上坡段的區域，土壤較淺薄、貧瘠，且水分滯留能力較差，新植苗木易受缺水限制，枯死率較高，初期生長表現也較劣。應變方法為以先驅性樹種為主，栽植穴要比一般造林所掘者深且大，植後覆土確實，且栽植穴地表比四周略低以蓄水，上覆雜草或稻草以延緩水分散失。

j · 展望：栽植苗木法可依崩塌坡面不同區塊及山腳土壤沖積扇的微環境狀況選擇適宜樹種予以組合，有效掌控復育時程及未來林分之樹種組成與結構，且可藉隙地的植群自然演替來補強，為世界各國森林生態復育成果最佳的方法。

(二) 長期變更為農業用途林地之復育

林地變更為農業用地之後，若期程較短，土壤有機物尚有殘留，土壤種子庫也有適量的保存。惟隨著農耕期程延長或土壤翻耕次數增多，有機物將逐漸分解或流失而減少，細小土粒也流失，尤以除草劑清除雜草之果園、菜園因缺少地表植物保護，土壤流失最為嚴重，致土壤劣化。土壤種子庫也在耕作過程

解除休眠而發芽，致種子種類及數量皆逐漸減少。其中以菜園最為嚴重，因需進行土壤翻耕而使埋存在土壤的種子出土而發芽，農民當雜草而去除之，只有靠鄰近林木所散布種子來補充，惟通常受組成樹種的種子產量及散布距離之限制。故在森林復育過程，林地首要改善之工作為以農業廢棄物或石塊作橫坡帶狀堆置，以減緩地表逕流沖蝕，構建適宜植群重建的微環境。

1 · 植群自然復育

因為土壤種子庫中的林木種子已缺乏，也沒有林木根株以萌芽更新，故藉土壤種子庫行自然復育的植群以草本植物為優勢，灌木類及喬木類將僅零星出現。在自然演替過程，新播遷而來的種子也以草本植物為主，木本植物種子仍然較為稀少，故自然復育成森林的期程將較為遲延。農耕持續期愈長或土壤翻耕愈頻繁者，對自然復育的衝擊愈大。再自林地管理的角度而言，違法使用林地應早日重建森林，避免衍生新的管理問題，因此，人為加速復育將為較可行的方案。

2 · 人為加速復育

以人為直播種子或栽植苗木提供復育的材料將可縮短復育期程及控制樹種組成與結構。直播種子的方式因為受微環境因子限制及齧齒類動物毀損較多，致樹種選擇的機會以先驅性小粒種子樹種為限，而且剛發芽小苗的枯死率高，致農耕地的復育以苗木栽植方式較為適宜。另外，農民違法利用林地以地勢較為平坦者為多，致土壤理化性質雖因

耕耘作業及地表逕流沖蝕而劣化，惟大多仍有深厚土壤，適宜苗木栽植復育方式。苗木栽植的施作內容及限制因子與前述崩塌坡面之復育相近似，樹種選擇的範圍受生態習性的限制較少，致復育的期程較短，成果通常也較為優良。

若復育林地位於林木經營區內，期盼重建的森林能生產木材，惟仍需兼具發揮生態功能。篩選的樹種需依適地適種的原則外，尚要有快速生長能力且材質符合利用目標，且要以二樹種以上以群狀或帶狀混植方式來建造新林，增加對病蟲害蔓延的抵抗能力，未來木材利用的彈性較大，安全性也較高。

（三）崩塌坡面人工加速復育案例

台大實驗林溪頭營林區杉林溪林道沿線在2001年7月30日因桃芝颱風過境曾造成多處嚴重崩塌坡面，面積最大者約為8公頃，經實施打樁、編柵、砌石、重建排水系統等生態工程以穩定坡面後，在2002年9月撒播台灣赤楊種子，也栽植櫟木之苗木。至2004年5月，只有小面積坡面因豪雨崩塌（未實測面積）。植生重建情形在不同區塊間略有不同，最多

者48種／0.04公頃，株數以台灣赤楊最多，達80株／m²以上，五節芒為次，其他植物尚有栽植的櫟木及自然演替之台灣澤蘭、長梗芋蕨、柔葉金星蕨、黑麥草、台灣青芋等，沒有發現冠層闊葉樹種小苗。2004年9月另進行小面積（2×2 m）刈除赤楊及其他植物，在新形成的小孔隙播種光臘樹、楓香、櫟木、樟樹及紅楠種子。發芽率以光臘樹最佳，約為15%，其次為楓香約為8%。樟樹及紅楠種子雖曾發現有發芽跡象，但皆被齧齒類動物所掘食。2009年12月再踏察林地，植群已繁茂，但優勢種大致因各區塊的土壤堆積情形而有所不同。2004年已出現的小面積崩場地當時未再施作穩定坡面工程，至2009年重建的植物種類稀少，以五節芒為優勢種；在中、上坡段，以台灣赤楊為優勢種，生長良好，高者已逾5 m；在下坡段以長梗芋蕨為優勢種（圖1）。確切植種及結構必須以樣區調查資料為依據，惟可確定的是，目前的植群在樹種組成與結構、環境維護及生態功能應不及天然林，故僅可謂完成復育的初步過程，未來仍需繼續觀測其變動狀況。



圖1 台大實驗林溪頭林區在2001年7月30日桃芝颱風破壞所形成之崩場地及其復育過程與成果。



<p>橫坡蓄水帶</p>	<p>橫坡打樁編柵工程</p>
	
<p>人工撒布種子</p>	<p>2004年5月之植生外貌及小面積崩塌地</p>
	
<p>2009年12月之外貌</p>	<p>2009年12月之外貌</p>
	

圖1 台大實驗林溪頭林區在2001年7月30日桃芝颱風破壞所形成之崩塌地及其復育過程與成果 (續)。



<p>台灣赤楊生長優越，高者逾5 m</p>	<p>各區塊的土壤深度不一，優勢植群也互異</p>
	

圖1 台大實驗林溪頭林區在2001年7月30日桃芝颱風破壞所形成之崩塌地及其復育過程與成果（續）。

四、結語

森林因人為或天然因子的傷害而導致環境、生態或社會功能退化，嚴重者殘存森林的冠層覆蓋度不足10%，則必須進行森林的復育，以重建森林功能。復育的實務作業必須基於生態原則，且新林能趨向於自然化，樹種的組成及結構要參仿附近的天然林。惟至目前為止，復育生態學尚未系統建立，且一部分理論也有待證明或修正。在森林復育實際案例方面，九二一大地震及隨後颱風所重創的林地，

已積極實施復育，早者至今已屆滿10年，值得評估其成果。建議林務局委請學者訪談當時參與工作的人員、檢視檔案及調查現況，重建復育過程，以成功案例供未來仿效。至於違法利用之林地，恢復林業用途後，以栽植苗木方式重建天然化的森林為宜，發揮環境、生態及社會功能為目標，縱使位於林木經營區，新林的木材生產仍需與生態功能列為森林重建的主、次要目標，不宜過度偏倚。🌱



（圖片／高遠文化 攝影／楊美娟）