

育林策略於 生物多樣性保育之應用

文、圖／郭幸榮（國立臺灣大學環境暨資源學系名譽教授）

自 1980 年代晚期以來，林業發展趨勢以多功能永續經營為目標，育林作業須以生態學理為基礎來規劃及施作，即生態育林，建造健康、穩定、可永續經營的森林。國內生態育林主要施作對象可概分為 2 大類，其一為過去所建造人工林的撫育或更新，另一種是被外力干擾而受嚴重傷害的森林生態系之修復或重建。

人工林在未達到輪伐期前，適合規劃施行系列疏伐作業，創造適宜林木生長及其他生物棲息的环境，以改善林木的生長及加強生態保育功能，也可提昇林木的抗風能力，減少颱風為害以維持長期穩定。疏伐也是延長輪伐期的基礎作業，以生產大徑木，以及創造頽頂木、枯立木及倒木等天然林所具有以孕育生物多樣性的元素。人工林若已達輪伐期，則規劃適宜的伐採、更新作業法，建造臺灣原生針、闊葉種混生的新林分，加強新林分的穩定性及環境維護、生態保育功能，以維永續經營。

森林生態系難免遭受外在強烈干擾因子的傷害。在受傷害的森林生態系，必須依傷害程度、林木生長所需林地資源之可用性、交通狀況、所在經營分區等因素來規劃生態修復或重建工程，使森林功能早日恢復。

生物多樣性與森林健康及永續經營的關係

生物多樣性 (biodiversity) 指在任一生物群體內於不同層級的生命變化。在森林區域內，通常分成 4 級，即基因多樣性 (genetic diversity)、物種多樣性 (species diversity)、生態系多樣性 (ecosystem diversity) 及地景多樣性 (landscape diversity)。

森林生態系由林木及其他動、植物組成，致其所具有之水土資源維護、生態保育、減碳及生產對人類有意義、有價值的物品等功能之強弱，乃取決於生物多樣性的動態。當森林受到外力干擾，若其所蘊藏的內在調適能力可維持樹種組成及冠層垂直結構 2 項孕育生物多樣性的主要元素未明顯改變，功能也未減損，則可認為此種林況（指樹種組成及冠層垂直結構所綜合的外在表現）為健康、穩定狀態，可維持森林永續經營。惟若干擾的強度超過森林可自行調適的生態門檻，生物多樣性受到傷害，森林功能也隨之減損，稱為森林劣化 (forest degradation)。至於人為蓄意針對目標樹種或特定徑級林木予以伐採，

致結構複雜度及樹種多樣性弱化，雖森林生產力尚可維持，仍視為劣化。因此，定期調查森林生態系生物多樣性的動態及林況是否改變，為評估森林功能的基礎，也是森林永續經營的必要工作。

森林生態系所蘊藏而影響其穩定性及功能的內在本質為耐力（resistance）及恢復力（resilience）。當森林受外力輕度干擾但尚未超過內在調適能力而未受明顯傷害，即為耐力。例如當林木受病、蟲或強風等外力干擾導致單株或少數林木倒伏、死亡，所創造的孔隙可在短期內由周邊林木擴展枝條或苗木庫加速生長來填補，孔隙未擴大、林況未改變，即其耐力可紓解此種程度的干擾。另如林木根系與菌根菌結合成菌根之共生體系，可加速林木生長，也提昇其在較貧瘠或缺水環境的耐力門檻而受害。

森林生態系的恢復力指其受到外力的重大干擾，已超過自行調適能力之生態門檻而受到傷害，經一段時間逐漸自行恢復健康狀態的能力。例如森林內食葉性昆蟲族群受鳥類抑制而只出現慢性輕微干擾，並未爆發急性、大面積嚴重傷害。另如森林主要組成樹種為藉蟲媒授粉樹種，可分泌蜜源供媒介授粉昆蟲吸食而協助授粉，以生產種子供維護生態系之健康與功能。當上述鳥類或授粉昆蟲受到嚴重傷害而失去應有功能之後，森林健康與功能將受嚴重傷害，恢復力也嚴重弱化。

這些案例可資證實森林生態系的恢復力乃生物多樣性的整體表現。在基因層級，使物種可在環境因子變幅下生存下來，而成為生態系恢復力的基本來源。在

物種的層級，因生態系內的各組成物種有其特性及功能，可在生態系受害後重新繁衍而占有棲地。在生態系層級，則為生態系內各組成物種及結構所彙整的恢復力。在地景層級，由於各生態系間的異質性，可供評估不同物種間所具有功能的相異性或重疊性，以作為受傷害森林生態系重建的資材。

以育林策略促進森林生物多樣性

1. 人工林經營目標及對生物多樣性的正面負面效應

建造人工林以生產木材已有 300 年以上的歷史，在周詳規劃及審慎操作下，可達成預期的木材生產目標。但為了達到最大量符合規格木材之生產，乃以針葉樹種（原生或外來種）取代原生闊葉樹種，導致闊葉樹種的遺傳資源受到嚴重傷害。又因採取高密度、同齡純林、短輪伐期模式，人工林的林況與天然林或次生林完全不同，其環境維護、生物多樣性保育的功能嚴重劣化，無法與天然林相比擬，也遜於次生林。因此，環境學家、生物學家及森林學家乃呼籲育林作業必須以生態學理為基礎，建造較健康、可永續經營的人工林。

緣於人工同齡純林的生物多樣性確實已弱化，如仍以生物多樣性來推定森林的健康狀態，並不符合林業實務需求，必須另建立不同的評估方案。由於人工林在冠層鬱閉之後，林木間競爭愈趨劇烈，生長緩慢的被壓木淪於死亡，留存的林木株數隨林齡增長而呈反「J」型曲線模式減少。因此，若林木實際株數超過或低於此理

論模式之預期變域，即認為失去健康狀態。超過者，需進行疏伐以降低密度；不足者，栽植補強，為林業實務上較容易施作的方案。

全世界木材的需求量隨著人口增加及經濟發展而增加。至目前為止，人工林的木材產量及材質尚無法滿足需求，仍要砍伐天然林來補足。但近 20 年來，因人工林的面積及產能持續增加，致天然林的砍伐面積有減少的趨勢。在國內，如果加強創新國產人工林木材用途及改變使用習慣，提昇國產材在木材消費市場之占有率，則可減輕對熱帶雨林闊葉樹材的依賴，也是國內人工林經營對熱帶雨林生物多樣性保育及減少碳庫排放具有實質作為。

林業保育署目前將林木經營區內林道可修護、通行的人工林列為積極經營的對象，育林作業必須以生態學理為基礎，詳予規劃，審慎執行，以維原設定的木材生產目標，以及導引新建人工林的林況複雜化，提昇生態及環境服務功能，建構永續經營的基礎。

2. 加強疏伐作業

人工建造的高密度同齡林在冠層鬱閉後，生長緩慢的被壓木雖被淘汰，但新創造的空間仍然不能滿足留存木所需，生長減緩，年輪寬度漸趨狹窄，致直徑要生長到預期的尺寸需歷經較長時間，而且幹形細長，抵抗強風的能力減弱，易受颱風為害。林內光度也在冠層鬱閉後下降，冠層下大多數植物生長不佳，種類少且稀疏，地表覆蓋不足，森林功能愈趨失衡、劣化。

紓減國有林地過去所建造人工同齡純林生態劣化的最可行方案，是在輪伐期前進行系列多次疏伐，長期維持林木及其他植群生長所需的合宜環境，導引林木長期均勻生長成大徑木，塑造抗風能力較強的幹形，冠層下植群的生長也可獲得改善。疏伐所產生的廢棄木材、粗枝經截短後與細枝、葉散置於林地，可增加地表覆蓋度，也提供昆蟲及分解菌的棲息環境及食物來源。綜合這些正面效應，經疏伐的人工林，木材生產量雖減少，其他功能卻得以提昇。

在相鄰的林分間，若於不同時間、採用不同模式疏伐，則可創造林分間的異質性，更可強化地景尺度內的森林功能。

3. 延長輪伐期

因為疏伐作業得以創造適宜林木長期穩定生長的環境，以及導引森林各項功能間趨於平衡，成為塑造延長輪伐期的基礎。

輪伐期若自目前所定的 20 至 50 年延長至 60 年以上，甚至超過 100 年，則當林分年齡超過平均連年生長率最大的年齡後，生長將會衰退，主伐的木材之平均年生產量會減少，若將疏伐所減少的產量予以合計會更多。惟因可生產價格較高的無節、材質較優良的大徑木，而可彌補材積生產量減少的經濟損失。

在碳減量的功能方面，由於木材的平均年生產量減少，總碳量也隨之減少。惟因大徑木適宜建築結構用材，使用年限較長，而延後二氧化碳的排放。另外，延長輪伐期會增加碳於林地的貯存量，且可減少主伐次數，對林地的干擾減輕，而長期維持穩定狀態。

林木年齡增大而長成大徑木後，會導致林分內垂直結構複雜化，而塑造適宜不同物種棲息的環境條件。另因林木的生理活性隨年齡增大而衰退，對病、蟲、強風等逆境的抗力逐漸減弱，致有機會形成巨型的類頂木、枯立木及倒木。綜合這些效應，延長輪伐期可塑造生物多樣性的重要元素，也是導引成熟期人工林的林況朝向天然林邁進的基礎。在環境維護的功能上，則隨之提昇。

4. 林分伐採、更新作業

達到輪伐期的人工林予以伐採、收穫，隨後於短期內建造新林分，為森林經營所設定的目標及作業流程。惟要以生態學理來規劃、執行，降低對環境及其他生物的衝擊，減少被外界誤認為以合法的森林更新掩蓋破壞森林的行為。

a. 人工林各更新法的目標及選擇

森林更新法乃模仿天然因素干擾的強度所設計，自強至弱較可能施用者分為3種，即皆伐更新法、漸伐更新法及擇伐更新法。林分屆輪伐期時，林業人員須將該林分的林況、交通狀況、新林分的目標、施作技術、經費等因素綜合考量，規劃可能最適宜的更新法。

■ 皆伐更新法

皆伐更新法係將待更新的林分，只經1次伐採即完成木材收穫，隨後於短期內完成苗木新植作業。技術最簡單、費用最低，為目前採行最多的方法。但本法較適宜需光性樹種的保育或建造新林，非需光性樹

種成活率較低，生長較緩慢，需較長期的撫育方可成林。

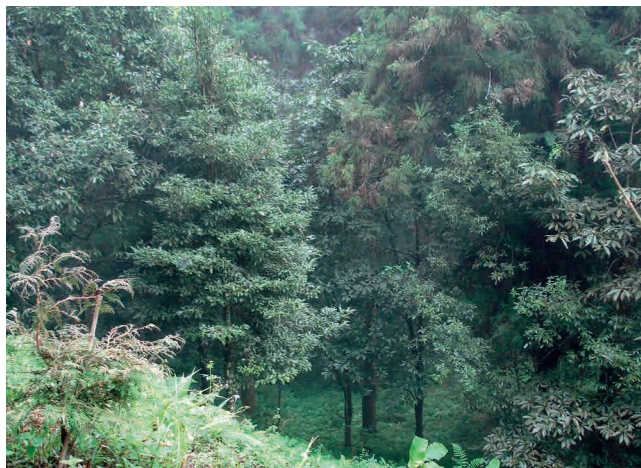
本更新法因原林分植群被破壞殆盡，地表也被嚴重干擾，新的生態系於林地裸露、日照充足環境下建立，致與原生態系完全不同。森林的環境維護功能也在更新初期嚴重下降，須待新林成長後才逐漸恢復。

為了減輕林分更新期對環境服務及生物多樣性保育的衝擊，最有效且可行的策略為將待更新林分劃分成多數小塊，每塊面積約在0.5至1公頃之間，分年分次皆伐更新，但仍以建造同齡林（同一林分內林木年齡差距小於輪伐期的五分之一）為目標。

■ 漸伐更新法

本法係於經過系列疏伐或只施行1次強度疏伐的林分，於所創造的孔隙栽植苗木以建造新林分。原林分在更新期所留存的株數視新植樹種的耐陰性而異，耐陰性較低的樹種，每公頃留存約50至100株；如為較耐陰的樹種，則留存100至200株。在更新期，林地環境雖已與原林分不同，但因未將上代林木完全伐除，致林地沒有完全裸露，生物多樣性與森林功能所受到的衝擊較皆伐更新法低，而且新植的幼木也受留存的上代林木遮蔭、保護，而建造成上、下二冠層明顯區隔的複層林。

複層林依上代林木留存期的長短再區分成短期複層林及長期複層林2種。短期複層林的上代林木在新植幼木逐漸長大而需要較強光照時，分次伐採至完全伐除，致二代林木共存的期間較短。上代林木伐



■ 圖 1. 柳杉林內將違法插植之麻竹砍除後，栽植 6 種樟科及殼斗科樹種以建造複層林。新植次代幼木在大（左）、小（右）孔隙有不同的生長表現及形態。

除後，由新植的次代林木所構成的生態系，其環境服務及生物保育的功能與皆伐更新所建造的同齡林相類似。長期複層林係指上代林木若仍生長旺盛，且新植次代林木屬較耐陰樹種，上代林木的遮蔭並不會明顯影響其生長，則上代林木每公頃擇優留存 50 株左右，至多不逾 100 株，二代林木共存至次代屆輪伐期時一併伐採、收穫，此種模式可生產高價值的大徑木。在生物保育方面，由於新林分由二代林木組成較複雜的結構，致功能較同齡林為佳。惟上代林木有遭受強風為害之風險，可採用 3 至 10 株為一群的群狀留存方式，以加強對風的抵抗力。

■ 擇伐更新法

本法係於屆輪伐期林分，以單株、群狀或小塊狀（面積小於 0.5 公頃）伐採、收穫，再於所創孔隙新植苗木。每次更新作業的孔隙，其面積合計只占全林分的一部分，如十分之一，經過若干年後再回原林

分以相同面積比例進行擇伐更新作業，於執行 10 次之後，才完成全林分的更新，以建造異齡林為目標。

擇伐更新法的優點至少有：一為每次伐採、更新面積只占全林分的一部分，致對森林生物多樣性及環境服務功能的衝擊最小。二為林分經多次的回歸伐採、更新，新林分由多種不同年齡林木組成異齡林，結構複雜。三為伐木所創造之孔隙有不同大小、形狀變化，而適於不同耐陰樹種鑲嵌組成新林分。因此，新林分的樹種組成及結構最近似於天然林，而具備適宜多功能永續經營的林況。

不過本更新法也有它的缺點：一為伐採對象之選擇困難，如果僅以林木直徑大小來判斷是否為伐採對象，則生長快速林木將被先伐採，生長緩慢者反被留存在林地，經幾次伐採後，林分生長量將會衰退，遺傳品質劣化。二為施作技術艱深，施作人員非經嚴格訓練，無法勝任。三為成本高，而可能落入無法施行更新的窘境。

b. 適宜的樹種及種源

因目前施行更新的林分，僅限於林木經營區，致無論採用何種更新法，新植樹種皆以具木材生產潛力的臺灣原生針、闊葉樹種為優先考量。因原生樹種與其他生物經長期共伴演化，生態功能較外來種高，致業已馴化且無生態污染疑慮的外來種列為次要的選擇。

同一樹種不同種源移植於不同氣候區，會有不同的物候或生長表現，如分布於低海拔的種源移植於高海拔林地，遭受霜害的風險較高。反之，分布於高海拔者移植於低海拔林地，則生長較緩慢。因此，選擇適宜的種源影響林分更新成果甚巨，不可忽視。最理想的種源為經種源試驗所認定，惟至目前為止，具有潛力的造林樹種中，已完成種源試驗者甚為有限，可引用的資訊不足。風險較低的方案為選擇當地樹種或當地種源作為林分更新的材料。

聯合國的全球氣候變遷工作小組（UNFCCC）認為未來全球氣候變遷的趨勢

包括平均氣溫昇高，極端高、低溫、豪雨、嚴重乾旱的機會更高。林木的輪伐期短者約 20 年，長者逾百年，林木在生長期間遭受極端氣候、病、蟲嚴重傷害的風險無法排除，也可能影響結實、種子發芽、幼苗成活及生長表現。因應的可能策略為除了採用當地種源外，再增加分布於較乾旱林地的樹種或種源來擴大新林分的遺傳基礎。

c. 造林樹種遺傳資源保存及遺傳改良

選擇原生針、闊葉樹種的當地及較乾旱地種源來作為人工林更新材料，雖可擴大保存遺傳資源，但仍應採取更多的策略來誘導遠親間的基因結合及遺傳改良。

過去為了木材生產而設立的種子園，其優良基因可予異地保存，且可相互授粉、結合以生產優質種子，為促進遺傳改良的最有效方案。惟因已建立種子園的樹種有限，且大部分種子園尚未達到預期生產優質種子的目標。實務作業較為可行的次級方案，為選擇林況優良及較乾旱林地的天



■ 圖 2. 長尾柯種子園（左），尚未達種子盛產期。在天然林所篩選的錐果欒母樹林（右）。

然林、次生林或人工林作為母樹林，從中再篩選不相鄰且外形優良的多株母樹來採種及育苗。新林建造時，將不同樹種及不同母樹（遺傳結構）的苗木以 20 至 30 株為一群，混植於同一林地。在林分發育過程中，同樹種的不同單株間會相互競爭，優勝者留存。不同樹種間的競爭只在群狀邊緣木進行，致栽植的所有樹種可鑲嵌共存，達到組成樹種多樣化的目標。另外，由於各樹種生長速率及分枝習性的差異，也可導引新林分的結構複雜化。因此，人工林的林況可獲得改善。在此種混植模式下，木材生產能力可能下降，但其他功能提昇而較為平衡，也可長期維持健康、穩定狀態。



■ 圖 3. 櫟木主幹嚴重分叉，影響木材生產力。篩選外形優良母樹或主幹優勢苗木（如圖）為值得評估的改良方案。

當林分內各組成樹種所留存下來的優勢木於達到成熟而開花時，會相互授粉，而生產遺傳品質較優良的種子，可予採集、育苗供其他林分更新之用，也可自行天然下種更新，節省育苗、新植作業之費用，而且次代林分的遺傳品質及林況更為優良，對逆境的耐力及受傷後的恢復力更強，而具永續經營的潛力。

d. 進行對環境友善之林木伐運作業

參與林木伐運作業的人員，應事先經專業技術訓練，除了可降低自己及其他人員受傷的風險外，也可提昇作業效率及減輕對林地及其他生物的衝擊。伐木作業必須堅守的基本原則，首要是注意人員安全，其次是避免伐倒木懸掛在鄰近林木上或在坡面滾動、滑行。集材作業則採用架空索道方式，將木材吊離地面，避免在地面拖曳，以降低對林地及其他生物的衝擊。

e. 設置緩衝林帶

在林緣、溪溝兩旁、陡峭坡面等地點，保留 10 至 20 公尺寬的林帶，不予伐採更新，以減少水質污染及坡面崩塌的風險，也可作為生態系間的廊道。未來新林分生長、發育過程，緩衝林帶可減少強風對新林分的傷害。因此，設置緩衝林帶雖減少木材收穫量，卻具有環境維護及生態保育功能。

f. 妥善處理廢棄材

全材或全株利用皆會進一步傷害林地環境及其他生物，不符生態原則而不宜採行。廢材、枝梢材應保留在林地，經截短

後與枝、葉散置林地，以緩和地表逕流，減輕土壤沖蝕流失。這些粗質材料為土壤昆蟲及分解菌的能量來源，在經分解成腐植質後與土壤混合，可提高土壤肥沃度及增加降水滲入土壤的速率，而具有不可忽視的環境維護及生態保育功能。

受傷害森林生態系的生態工程

森林生態系受強風、豪雨、地震、林火、濫墾或堆積工礦廢棄物等的災難性傷害難予避免。受傷害的程度大致分成3級，最輕級為只有林木受嚴重傷害，但土壤未受明顯干擾；較重者為林木受嚴重傷害，土壤也受傷害，但未嚴重變質，也未大量流失；最重者為林木或土壤皆受嚴重傷害，致土壤已變質而不再適宜林木生長或已完全流失。森林生態系受不同程度傷害後，應視其受傷害程度、林木生長所需的林地資源之可用性、交通狀況、以及在何種經營分區而採取不同施業內容之生態工程，避免災害程度加劇或範圍擴大。

林業保育署在生態工程已有多年施作經驗，建議將資料予以整合、檢討、修正，建立更有效率的施作流程及技術，為未來再發生災害時綢繆。

1. 生態復育

當森林受傷害的程度為最輕級，即林木大量受損，林地裸露，但土壤未受明顯傷害。例如在強烈颱風的路徑下，冠層已鬱閉之幼齡人工林易幹折或倒伏，為最常見的受害對象。生態工程的目標為重植所篩選樹種苗木，期盼新林分於短期內恢

復受害前的林況及功能，稱為生態復育（ecological restoration）。

在作業實務上，森林受此種程度傷害，林地已裸露，陽光照射充足，日夜溫差擴大，環境已與受害前完全不同。因此，若發生在天然林，要重建林況與受害前相近似，為難予達成的任務，只能盡力模仿。

生態復育所適用的樹種可依森林經營分區來調整。在自然保護區，要選擇原森林或鄰近森林內原生且為優勢的樹種，採用多樹種群狀混植方式，以加速新林分的演替，縮短演替期，早日發揮近似原森林的功能。在國土保安區，雖仍以當地的原生樹種為優先，但復育目標可與自然保護區有所不同，可考量選用根系深、淺不同的樹種予以混植，來加強水土資源保育功能，或選用一部分落葉樹種來減少乾旱期水分的耗損。這些樹種若兼具木材生產潛力，則列為最優先選用。在森林育樂區，則將原生樹種中兼具提昇景觀價值者列為首選。在林木經營區，則依前述人工林更新作業法施作。

2. 生態修復

當森林受嚴重干擾，林木完全消失或僅零星殘存，土壤也受干擾但未嚴重變質，也未大量流失，林地環境與受害前不同，但尚適宜林木生長。如森林遭濫墾而改植果樹或茶樹，為了提高果實或茶葉產能而施用大量化學肥料，以及噴灑殺草劑以抑制雜草的競爭。另如森林遭野火燒燬，失去主林木、地表植群及枯枝、落葉，但灰分加入土壤內。在這些受傷害林地，宜儘

速栽植苗木以重新建造森林生態系，稱之為生態修復（ecological rehabilitation）。

新植樹種仍以原生樹種優先考量，但因土壤已低度劣化，所採用樹種必須適應此種新創的逆境，以中、強度需光且較耐旱樹種為適宜，而與原森林有明顯差異。因此，生態修復的目標為達成原森林生態系組成樹種及功能的一部分，而非全部，致與前述生態復育不同。另外，具固氮功能如赤楊、楊梅等樹種可列入考量，採取與其他樹種混植方式，以提高土壤肥沃度，加速其他樹種之生長。受害的林地可能出現於不同經營分區，需依該分區的經營目標來調整適宜樹種。至於已馴化且無生態污染疑慮的外來種也可列入考量，但自然保護區則不可採用。

3. 生態重建

森林受天然或人為因素干擾，程度最嚴重時，不僅林木及其他植群被完全摧毀，土壤也已嚴重變質或完全流失，林地環境已不再適宜林木生長，為了恢復森林覆蓋或避免災害範圍擴大，必須進行生態重建（ecological reclamation）工程。施作流程依序分成2階段，第一階段為重建適宜林木生長的環境條件，第二階段為植生重建。待重建的已嚴重劣化林地，若尚有強風、鹽霧、積水等因子的侵襲，將使必須紓解的因子更多、更瑣碎、更複雜，生態重建工程更為艱鉅。由於傷害森林的因子互為不同，而且在不同地區造成，致所創造的惡劣環境差異甚大，生態重建作業內容必須分別訂定。

a. 崩塌坡面

無論何種因素引起坡面崩塌，在坡面的中、上坡段為植生及土壤流失區，種子及植物根株也一併流失。在點狀或小塊狀下凹地，可能有少量種子、植物根株及土壤殘留，當雨後土壤濕潤及溫度適宜時會萌芽，但植生為零星出現且矮小。在下坡段及坡腳，為土、石、植物殘體、種子及有機物堆積區，在環境條件適宜下，種子及根株會萌芽生長。惟因植生重建材料及土壤堆積量分布不均，致自然重建的植群也難予全面覆蓋，植種則以需光性者較具優勢。

生態重建工程的首要作業為施作穩定坡面工程，以累積土壤及截留水分，重新塑造適宜種子發芽、生長的新環境。

在坡面穩定之後，若宿存的種子、根株及新播遷而來的種子重建植生之速度緩慢或分布不均時，可考量人為撒播種子來補強。適宜樹種為分布於林地附近的先驅性且種子體積小的喬、灌木。其中，赤楊為常用的樹種，種子易於大量採集、生長快、固氮、枝葉較稀疏、冬季落葉，後繼樹種易於進入而加速植生演替。

如擬採用苗木栽植法，必須先評估土壤的比例、肥沃度是否已構成苗木生長所需的環境條件。因此，崩塌坡面之上、中段大多不具備此條件而不宜採行。在坡腳土、石堆積區，其土壤堆積量、質地及肥沃度差異甚大，致新植苗木的成活率及生長表現參差不齊。無論在何坡段，擬採用苗木栽植法而土壤比例太低時，最有效的改善方案為擴大栽植穴，於穴內填入有機肥料及農林地表土後才栽植苗木，但費用高昂，且在交通不便的崩塌地施作不易。



■ 圖 4. 崩塌坡面施作橫坡階段後撒播赤楊種子，在中、下坡段（左）成果良好，在上坡段（右）因土壤少只零星殘存，而由高山芒占優勢。



■ 圖 5. 崩塌坡面之中、上坡段，自然重建之植生分布不均且植株矮小，在坡腳土石堆積區所栽植苗木生長不佳（左）。主因為土壤比例太低（右），未能供應苗木生長所需。

b. 菜園

林地遭違法改植蔬菜，土壤雖未嚴重流失，但因歷年施用大量未完全腐熟的雞屎及石灰，土壤變質為鹼性，pH 值多在 8.0 以上，與原森林土壤大多為酸性，pH 值 5.5 以下有甚大差異。又因土壤歷經頻繁的翻耕及除草作業，土壤所蓄存的種子庫已遭毀損殆盡，致在回歸林用數年內，自然重生的植生種類少且稀疏，與附近林地所見者不同。人為直播種子或栽植苗木，成活及生長表現皆不佳，可能紓解的方案為在坡面較平緩林地，土壤先經雨水淋洗數年，

pH 值降低至 7.0 以下，才進行苗木栽植作業。若擬於短期內即行栽植苗木，宜先在栽植穴內填入農林地表土及有機肥料來克服。若因地形因素，導致夜晚冷空氣於下坡段或坡腳匯集而導致嚴重霜害時，尚需橫坡架設防風籬（布）來紓解。

森林重建的適宜樹種，以梨山地區為例，在所栽植的樹種中，以雲杉及殼斗科樹種表現較佳，為具潛力樹種。惟需在苗圃期即接種菌根菌，於出栽時已形成旺盛的菌根，以適應土壤逆境。

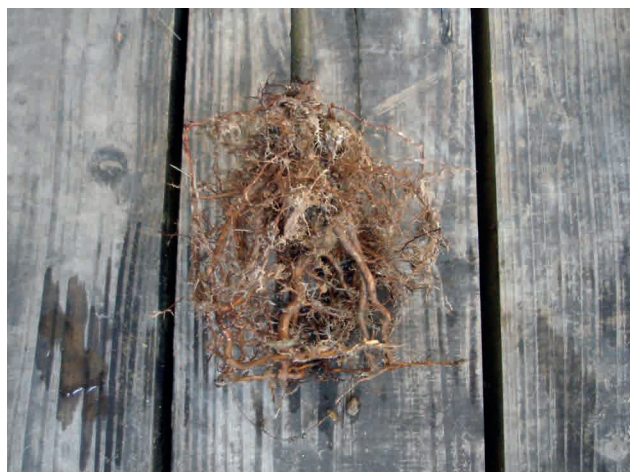


圖 6. 殼斗科苗木生長良好，2 年生即可出栽（左），其根系的菌根及菌絲發達（右）。

c. 海岸保安林帶

在沿海岸地區，以人工栽植建造或自然演替所形成的狹長林帶，其外緣（第一線）的土壤，主由粗砂粒組成，細小的坩粒及黏粒比例甚低或完全闕如，致易隨風飄移，且貧瘠、保水力不佳。在臺灣西海岸的中、北部及澎湖一些地區，尚因地理或地形因素，導致在冬天受強烈東北季風、飛砂及微細鹽沫的襲擊，致適宜樹種少，所栽植苗木的成活率低、生長不佳。成活者，枝、幹於受害後萌發新側枝而形成矮化灌叢狀。在內緣（第二線），土壤肥力及質地已獲得改善，來自空中的逆境也較為緩和，致林木生長較佳，主幹較高，適宜樹種較多，而構成較佳的林況和具有較多樣的功能。

海岸地區的林帶若遭受強烈颱風或人為等因素傷害，而有面積林木幹折或死亡，必須儘速重建來塑造其功能，適宜樹種及施作流程與技術已為林業人員所熟知，不再贅述。

4. 低海拔森林保護區之生態修復或重建及生態廊道新建

低海拔森林受外在因素傷害而造成林內塊狀或大面積空地，林木僅零星殘存或已完全消失，通常會被需光性高莖雜草或外來的銀合歡所侵入、占據，生態系功能退化，宜儘速於短期內栽植鄰近森林的原生需光性且較耐旱樹種予以修復或重建，樹種的配置宜採用群狀混植方式，以避免生長較緩慢樹種被淘汰。

若擬栽植相思樹，需在苗圃期接種根瘤菌，且避免施用氮肥或僅少量施用，使形成根瘤共生體系，以發揮固氮功能，提昇在貧瘠地之適應能力。

生態廊道以在河川高灘地栽植苗木建造新林為主。各高灘地雖同為開放空間，光照充足，但土壤條件及區域風速有很大差異，須因地採取施作策略。例如在衝風口，宜架設防風籬（網）以保護新植苗木。在土壤比例低，主要組成為粗質礫石、砂粒者，為貧瘠、保水力差的林地環境，新



圖 7. 相思樹苗木根系是否結成根瘤，明顯影響生長及形態（左，自左算起第 1、2 株為有根瘤苗，生長較佳；第 3、4 株為無根瘤苗，較為矮小）。根系是否結瘤易於鑑別（右）。



圖 8. 高灘地的土壤含高比例的粗礫石，所栽植苗木生長不佳（左）。新植林地若臨近行水區（右），則在氾濫期有被淹沒之虞。

植苗木成活率低、生長表現不佳。紓解的方案為加深栽植穴，穴內先填入農林地表土及有機肥料後才栽植苗木，成果佳，但費用高，且只在交通方便地點才適用。

適宜樹種為當地需光性且較耐旱的原生喬、灌木類，採多樹種混植方式施作，以提昇生態功能。

結語

過去為生產木材所建造之針葉樹種同齡純林，嚴重傷害原生闊葉樹種之遺傳資源，生物多樣性也已劣化，森林的多樣性功能無法與原生林相比擬，而且易受傷害而不穩定。因此，在未達輪伐期之林分，

宜施行系列多次疏伐，創造適宜林木生長及其他物種棲息的環境，以及藉以延長輪伐期。在已達輪伐期之林分，需慎選更新作業法，以具木材生產潛力的原生樹種來建立多樹種混生的新林分，且要以當地以及較乾旱林地種源的優良母樹種苗作為栽植材料，以改善新林分的遺傳結構，以維永續經營。

森林生態系在遭受不同強度外力干擾、傷害後，育林相關人員要評估受害程度、環境資源、交通狀況、所在經營分區，擬訂生態工程及適宜樹種，儘快施作，避免傷害加劇、範圍擴大。🌱

（參考文獻請洽作者）