

森林生態復育的原則和做法

撰文 | 楊宏志

(財團法人豐年社董事長)

前言

森林復育並不是新鮮事物，當人類生活型態改變，決定放棄耕種，還地於昔，倘斯時又天時地利人和，土地隨即自然演替重返自然。近年，政府、非政府組織和社區紛紛進行造林活動，森林生態復育已成為人們日益關注的課題。聯合國2019年宣布2021年至2030年為聯合國生態系統恢復十年（The United Nations Decade On Ecosystem Restoration 2021—2030），以整體景觀為重點，考量人類需要和生物多樣性間的依存關係，加速維護和恢復退化的生態系統，著重各類土地利用形態及相互作用的生態、社會和發展優先事項，促進生態系統長期的復原力。

聯合國生態系統恢復十年期間計畫，在促進波恩挑戰（Bonn Challenge）和非洲森林景觀恢復倡議（African Forest Landscape Restoration Initiative, AFR100）等相關區域進程下的土地恢復。拉丁美洲的20X20倡議（Initiative 20X20）以及超過20

多個國家和地區倡議（表1），以恢復退化和砍伐森林，用於生產性、功能性和生物多樣性的作為，有助打擊氣候變化和糧食安全和供水（Robin等人，2015）。又與景觀恢復相關的其他全球計畫，例如聯合國防治荒漠化公約（United Nations Convention To Combat Desertification, UNCCD）和生物多樣性公約（Convention On Biological Diversity, CBD）愛知生物多樣性目標下（Aichi Biodiversity Targets）的土地退化中立（Land Degradation Neutrality, LDN）目標相符。

行政院2018年5月14日核定「國土生態保育綠色網絡建置計畫（2018—2020年）」指出：以國有林事業區為軸帶，推動友善環境，透過點、線、面的串連，架構整體國土生態保育綠色網絡，使臺灣綠色生態系統更為健全，尤其是綠色生態系統建置過程，持續透過民眾與社區參與，體認生物多樣性與國土生態保育綠色網絡建置的效益，促進生態環境的永續發展。

森林復育在生態意義上，包括增加生物多

表 1：森林和景觀恢復計畫的重要國際組織和多邊公約

1	<p>全球森林和景觀恢復夥伴關係 (Global Partnership on Forest and Landscape Restoration, GPFLR)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 森林景觀恢復學習網絡／討論平臺 (Learning Network／Discussion Platform on Forest Landscape Restoration)
2	<p>國際自然保護聯盟 (International Union for the Conservation of Nature, IUCN)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 全球森林與氣候變化計畫 (Global Forest and Climate Change Program) ▶ 森林景觀恢復倡議 (Forest Landscape Restoration Initiative)
3	<p>世界資源研究所 (World Resources Institute, WRI)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 全球恢復倡議 (Global Restoration Initiative) ▶ 20×20倡議(拉丁美洲) (20×20 Initiative [Latin America]) ▶ AFR 100倡議(非洲) (AFR100 Initiative [Africa])
4	<p>聯合國糧食及農業組織 (United Nations Food and Agriculture Organization, FAO)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 森林與景觀恢復機制 (Forest and Landscape Restoration Mechanism)
5	<p>聯合國生物多樣性公約 (United Nations Convention on Biological Diversity, CBD)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 森林生態系恢復倡議 (Forest Ecosystem Restoration Initiative)
6	<p>國際農業研究合作小組 (Collaborative Group on International Agricultural Research, CGIAR)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 森林、樹木和農林業研究計畫 (Research Program on Forests, Trees, and Agroforestry) ▶ 水土地和生態系研究計畫 (Research Program on Water, Land, and Ecosystems)
7	<p>教育、研究和綜合網絡中的熱帶地區的人與造林 (People and Reforestation in the Tropics, a Network for Education, Research, and Synthesis, PARTNERS)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 綜合研究、政策推廣、教育推廣 (Synthetic Research, Policy Outreach, Educational Outreach)
8	<p>伊比利亞美洲示範森林網絡 (Iberoamerican Model Forest Network)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 示範森林網絡森林和景觀恢復倡議貢獻20×20倡議和波恩挑戰 (Model Forest Network Forest and Landscape Restoration Initiative contributing to 20×20 initiative and Bonn Challenge)
9	<p>非洲聯盟 (African Union)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 撒哈拉沙漠綠牆和薩赫勒倡議 (The Great Green Wall for the Sahara and the Sahel Initiative)
10	<p>聯合國環境規劃署 (United Nations Environment Program, UNEP)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 十億棵樹計畫 (One Billion Tree Program)
11	<p>大自然保護協會 (The Nature Conservancy, TNC)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 種植十億棵樹 (Plant a Billion Trees)
12	<p>世界野生動物基金會 (World Wildlife Fund)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 10個生態區的景觀恢復 (Landscape Restoration in 10 Ecoregions)
13	<p>植物園生態恢復聯盟 (Ecological Restoration Alliance of Botanical Gardens)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 未來20年在數大洲的100個修復項目 (100 Restoration Projects On Several Continents Over Next 20 Years)

Robin L. Chazdon, Pedro H. S. Brancalion, David Lamb, Lars Laestadius, Miguel Calmon, Chetan Kumar, 2015

樣性、生物量、土壤有機質和保水力，以及培育生態系統特有和關鍵物種。森林復育的行動過程，在加速森林結構，生態功能和恢復生物多樣性，達到森林的典型特徵，發展出最大生物量，結構複雜性和物種多樣性。森林生態復育行動，從過往專注在經濟的目標，到社會或文化價值、生態服務系統，及至生物多樣性保育和生態功能恢復等多元價值。

然而，森林恢復是一項複雜且具風險及不確定性的行動過程，其從簡單的植被保護，到採取積極的干預措施，都牽涉到生態、社會、政治環境的了解、掌握和調和。由於這些選擇和決定，取決於廣泛的利害關係人，包括當地民眾、主管機關、非政府組織、科學家和協助機構等，它是一個理解、包容和合作的過程。因此，森林生態復育工作必須在充分的科學知識支持，理性和合作的共識下進行，持續不斷的監測與調適，方可獲得實質正面的結果。

生態復育的意義及目標

生態系統是動植物和微生物的動態群落，它們與作為功能單元的物理環境相互作用。原生生態系統具有不可替代的生態、社會和經濟價值。健康的原生生態系統除具備的內在價值（例如生物多樣性和精神或美學）外，還包括：提供清潔的水和空氣，健康的

土壤，以及對人類健康、福祉，文化意義的製品和生計的食物、纖維、燃料和藥品。原生生態系統亦減少自然災害的發生，生態系統退化，減緩氣候變化，從而影響社會生態系統的復原力和可持續性。

生態復育的定義

依據國際生態復育學會（Society for Ecological Restoration International, SERI, 2004）定義：生態復育（Ecological Restoration）是協助已退化、受損或毀壞之生態系統恢復的過程。換言之，生態復育係對已造成破壞的生態系統和生物多樣性，予以重建或加速使受到干擾的生態系統恢復。其目的在將退化的生態系統轉到恢復的軌道上（蔡易廷，2009），以適應當地和全球環境變化及其組成物種的持久性和進化性（George等人，2019）。生態恢復標準將生態恢復定義為在實現相對於適當的參考模型（Robin等人，2015），實現實質性生態系統恢復目標的任何活動（George等人，2019）。

生態復育使用的術語

◆ 植樹造林（Afforestation, Reforestation）

在已砍伐或枯竭的森林地區，以自然或人為的方法，採具有經濟生態功能的樹種，加速或輔助植樹造林，為該地區增加樹木及森林覆蓋率的行動過程。其

工作簡單易行且具成本效益，關注的僅是木材材積生長，而非極盛相森林組成、結構及生態功能。

◆生態復育 (Ecological Restoration)

協助已退化、受損或毀壞之生態系統恢復的過程。針對被砍伐或退化的森林地區，以自然或人為的方法，加速森林組成、結構、生態功能和生物多樣性的恢復，著重當前和未來條件下，促進陸生和水生生態系統可持續性、復原力和健康所必需的森林生態恢復完整性的行動過程。除關注木材材積生長外，還試圖恢復、改善或建立特定的生態功能。在敘述上，本文認為生態復育和生態恢復具相同意義。

◆退化 (Degradation)

指造成生物多樣性喪失，以及生態系統結構、組成和功能受到長期性的有害影響，如長期放牧、長期過度捕撈、持續性狩獵以及非本地物種的持續入侵。

◆受損 (Damage)

指對生態系統急性和明顯的有害影響，如伐木、強度放牧、盜獵、築壩、築路、非本地物種侵入、颶風、洪水和火災等。

◆毀壞 (Destruction)

是最嚴重的影響，破壞當地生態系統及物理環境，如森林火災、海岸侵蝕、地層下陷和採礦等活動。

◆標準基準 (Baseline)¹

在生態恢復過程開始時的站點生態狀況。

◆造林處方 (Silvicultural Prescription)

由認證的造林技師撰寫或簽署實施造林處理或處理順序的管理執行文件。該處方文件記錄當前和預期現場條件，以及管理方向的分析結果。它以可衡量的術語，描述未來植被期待的狀況。這文件是一計畫處理系列，計畫改變當前的林分結構和組成，達到該管理目標。處方文件通常考慮生態、經濟和社會的目標和限制。

◆干擾 (Disturbance)

干擾發生的規模和程度對環境會造成影響，並且改變生態系統的物種組成、養分循環和土壤特性。自然干擾包括氣候、火災、洪水、地震、颱風，甚至火山噴發；人為干擾，例如開墾、築壩、修路。

1 在生態恢復中，基線有兩種定義。標準基準線是指恢復過程開始時，站點的生態狀況。另者，係生物多樣性公約描述使用，指基準線是退化前的生態系統 (George等人，2019)。

◆ 演替 (Succession)

生態演替是干擾生物群落後，生態系統中不同物種的數量和比例，隨著時間恢復的組成過程。

◆ 社區集會理論 (Community Assembly Theory)

社區集會理論認為，物種到達的地區和環境是隨機的，無論哪種物種先到這個區域，都決定這個物種隨後的主導現象。在生態系統中建立的第一個物種具有優先權，這種優先權效應確定以後成功的物種，發展不同的生物群落。

◆ 群落結構 (Community Structure)

實質上，群落結構是一個群落組成，包括該群落中物種的數量及其相對數量，可以物種豐富度 (Species Richness) (即存在的物種數) 和物種多樣性 (Species Diversity) (其衡量物種豐富度和物種相對數) 描述。群落結構受許多因素影響，包括非生物因素、物種相互作用 (Species Interactions)、干擾水平和偶然事件。一些物種，例如基礎物種 (Foundation Species) 和基石物種 (Keystone Species)，都在決定群落結構。

◆ 人工林 (Planted Forest, Plantation Forest)

人工林指森林成熟時，係由種植或播種建立的樹木組成。人工林為一種集約

經營式的人工造林，成熟時由一種或兩種樹種組成，具有同一年齡等級，並且規定樹木間距。根據2020年森林資源評估 (Forest Resources Assessment, 2020)，未將為生態系統恢復 (Ecosystem Restoration) 或保護而種植的森林，以及與成熟林相似的天然森林，定義為人工林。

◆ 里山倡議 (Satoyama Initiative)

將農村居民與周圍自然環境長期交互作用下，所形成的生物棲地和人類土地利用的動態鑲嵌斑塊 (馬賽克) 景觀，稱為「社會—生態—生產地景或海景 (Socio-Ecological-Production Landscapes and Seascapes, SELPS)」，希望透過增進農村社區的調適能力，促進農林漁牧等農業生產地景和海景 (里山與里海) 的保全活用，達到在地經濟、社會和生態永續性的目標 (李光中、王鑫，2015)。

◆ 景觀 (Landscape)

定義的區域，指不考慮所有權或其他人為的邊界，例如陸地和水生生態系統，地形和植物群落的空間鑲嵌 (Mosaic)，在整個過程中以類似的形式重複定義區域。

◆ 適當的森林覆蓋 (Appropriate Forest Cover)

由植物群落組成的植被，根據植物演

替階段，它們會自然發生在相似的地點。適當比例的草和灌木也是森林覆蓋的元素。

◆ 生態系統功能 (Ecosystem Function)

生態系統功能反映植物、動物和微生物群落及其與無生命環境作為功能單元相互作用的動態複合體活動，以及這些活動（例如進食、生長、移動、排泄）對環境物理和化學狀況的影響。

◆ 生態系統服務 (Ecosystem Services)

人們從生態系統中獲得利益，包括：

- (1) 供應服務 (Provisioning Services)，例如清潔的空氣和乾淨的淡水、能源、食物、燃料、飼料、木製品或纖維以及礦物質。
- (2) 調節服務 (Regulating Services)，例如長期的碳儲存、氣候調節、水濾淨、淨化和儲存、土壤穩定、防洪抗旱和疾病調節。
- (3) 支持服務 (Supporting Services)，例如授粉、種子傳播、土壤形成和養分循環。
- (4) 文化服務 (Cultural Services)，例如教育、美學、精神和文化遺產價值、遊憩體驗和旅遊機會。

◆ 復原力 (Resilience)

生態系統及其組成部分，經由保護、

恢復、基本結構和功能的改善，以及遍及整個景觀的生態類型，以吸收或降低干擾的能力。

生態復育的目標

理論上，生態復育的目標在使生態恢復到未破壞前的狀態，但如果該復育環境已受包括全球氣候變化在內的當代生態演替影響，生態復育只能沿著環境變化的軌跡發展，生態復育的目標是使退化的生態系統，重新恢復到原有的歷史發展軌跡，而不是恢復原歷史狀況。

其次，生態復育工作儘管可以恢復其歷史軌跡，但生態系統的完全恢復，可能需要數年，甚至數百年的時間，在恢復期間，可能會遇到無法預料的恢復障礙，例如森林火災、乾旱、暴雨等，因此在生態復育的各階段，仍有可能進行其他恢復活動。復育目標和實現這些目標的方法，各有不同。許多恢復項目，旨在試圖恢復、改善或建立特定的生態系統功能 (Vaughn 等人，2010)：

◆ 植被恢復 (Revegetation)

在失去植被的地點重新建立植被，通常以控制侵蝕為主要目標，如在河岸植被緩衝帶上恢復植被。

◆ 棲息地增強 (Habitat Enhancement)

增加某個地點作為某些物種的棲息空間。

◆ 補救 (Remediation)

改善現有的生態系統或建立一個新的生態系統，以替換已經退化或被破壞的生態系統。

◆ 減輕 (Mitigation)

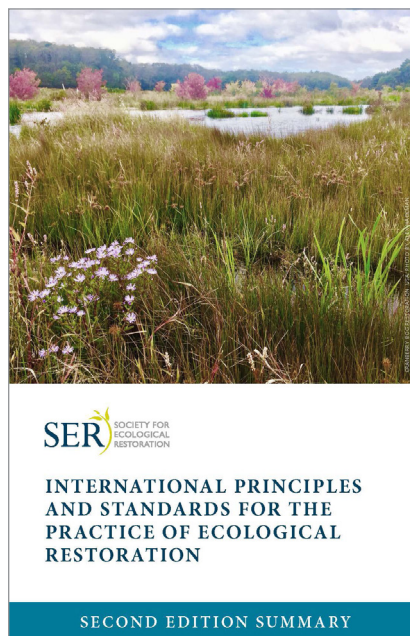
法律上規定的補救措施，用於保護物種或生態系統的喪失。

國際生態復育的原則及方法

生態復育係以系統的規劃和步驟，考量成本效益，促進或引發生態系統所需的條件，使植物、動物和微生物得以自行恢復健康、發展和可持續性。

國際生態復育實踐原則和標準

本件由生態復育學會 (Society for Ecological Restoration) 制定《國際生態復育實踐原則和標準》(International Principles and Standards for the Practice of Ecological Restoration) (George等人, 2019)²為復育項目提供一個框架，回應動態複雜的生態系統與土地管理優先事項，和決策相關的權衡取捨。



《國際生態復育實踐原則和標準》

透過生態復育的實施，可促進社區民眾、科學家、政策制定者和土地管理人參與，有助於修復生態，保護生物多樣性，提供貨物、服務，加強糧食和水安全，減緩氣候變化和調升適應能力，改善人類健康和福祉，重建人與自然之間的正向關係。生態恢復是將局部、區域和全球環境狀況，從持續退化的狀態，轉變為淨效益的方法。

復育退化的生態系統是一項複雜的任務，進行生態復育必須具備足夠的時間、知識、

2 由生態復育學會 (Society for Ecological Restoration) 制定《生態恢復實踐國際原則和標準》(International Principles and Standards for the Practice of Ecological Restoration)，與會的主要利益相關者包括《生物多樣性公約》(The Convention on Biological Diversity, CBD)、《聯合國防治荒漠化公約》(United Nations Convention to Combat Desertification, UNCCD)、全球環境基金、世界銀行以及全球森林夥伴關係成員景觀恢復 (The Global Partnership on Forest Landscape Restoration, GPFLR)。

表 2：生態復育吸引利害關係人參與相關表

項目	內容
利益分配	確保當地利益／機會均等／文化保存
利害關係人約定	吸引參與／維持支持／增加能力
社區福祉	提升健康和福祉／提升社會聯繫／提升地方意識
永續經濟	擔保生態產業／創造就業／廢物循環
恢復自然資本	修復土壤和水／保存植物和動物／經營碳匯
豐富知識	投入知識／吸引科學知識／地方知識

資料來源：George等人，2019

技能、資源和投入，適當的設計，良好的計畫和實施，掌握特定的社會背景和風險，邀請利害關係人參與，對適應性管理進行監測。原則和標準的建立，應跨不同生態系統類型的技術標準，以提高生態恢復的工作效率，並設定尊重社會文化現實和需求的框架。該框架既可以應用於強制性（作為同意條件的一部分），也可以應用於非強制性的恢復（對損害自願修復）。

生態復育計畫應著眼於原生物種和生態系統功能的實質恢復，其目標不僅只是恢復原生生態系統，而是恢復整個生態系統的功能。當目標完全恢復時，重要的基準就是生態系統表現出自我組織的能力。如果發生障礙或恢復無法持續進行，則需要採取進一步的恢復措施，以確保復育軌跡仍繼續朝著完全恢復的方向發展。一旦完全恢復，任何正在進行的活動將視為生態系統維護或管理措施。

有關生態復育的一些假設

- (1) 大量恢復原生生態系統通常需要很長的時間，許多生態系統恢復項目距離實現生物多樣性、生態系統功能，以及提供完整生態系統服務功能都有相當距離。
- (2) 由於生態系統喪失或退化，而形成要求賠償的現實狀況，絕不應以補償方式作為破壞現有原生生態系統或阻止不可持續利用的藉口。同樣，任何轉移稀有物種的潛力，都不應被引用來破壞現有完整棲息地的理由。上項賠償金額應遠遠超過估計的生態系統損失或退化，以確保補償行為不會造成進一步生態系統的退化。
- (3) 使用本地參考生態系統，作為恢復生態系統的標準模型時，該參考模型源自於表徵生態系統狀況的多種資訊來源，並根據環境狀況（例如氣候變化）和社區需要進行調整，但前提是該生態系統不會退化。

生態復育的八項原則

提供生態復育的八項原則框架，用於解釋、定義、指導和衡量生態復育實踐的行動和成果。

原則1：生態復育吸引利害關係人 (Ecological Restoration Engages Stakeholders)

生態恢復包括恢復生態系統的完整，滿足個人、文化、社會、經濟和生態價值。生態和社會效益的結合，可提高社會生態適應力。例如，在恢復過程中，可為當地居民提供短期和長期的就業機會，或提增社區獲得健康和利益（改善空氣、土地、水和本地物種棲息地的質量、恢復自然文化和習俗，詳見表2），生態復育吸引利害關係人參與相關表。

管理者應與該項目利害關係人保持對話，建立互信，以獲取不同觀點和知識類型，並在執行的所有階段中持續聯繫和承諾。參與的利害關係人在恢復行動中，可以協助設定項目願景、目標、目的及優先次序，貢獻有

關生態和演替模式的知識，參與參考模型開發，改進並參與監測。此外，利害關係人可以長期持續性提供政治和財務支持，解決可能出現的衝突或歧見。理想的狀況，這種參與應該在概念形成階段或在項目啟動之前進行。

原則2：生態復育利用多種類型的知識 (Ecological Restoration Draws on Many Types of Knowledge)

實踐生態復育需要汲取當地傳統生態知識，地方和科學發現中的生態知識和經驗。這些形式來自於觀察、實驗，以及反覆試驗的。傳統生態知識及地方生態知識專家³根據長期的觀察，以及與這些場域互動所形成的多種知識，整併到眾多學科（例如，恢復生態學、保護生物學、保護遺傳學、景觀生態學、農學、林學、園藝學、植物學、野生動物學、動物學、昆蟲學、水文學、土壤科學、工程學、景觀設計、自然資源管理、工程學、社會學、溝通技巧、傳播學、新媒體等），正式或非正式文件報告，從而帶來生態、社會和文化的效益。

-
- 3 傳統生態知識 (TEK) 為代代相傳的知識和實踐，具有深厚的文化記憶，對季節變化的敏感性，以及包括對等的態度價值，尤其明確。傳統生態知識的觀察是定性的和長期的。觀察者通常是從事狩獵，捕魚和聚會等生計活動的人。他們的生存與土地健康息息相關。例如，使用火的規定和季節性洪水來的植被改變，並保護和調整生態系統工程師（海狸和大象）或先端掠食者（狼和獅子）數量，以改善其他物種生存的棲息空間。幾千年來，原住民就用這些方法來提高食物、醫藥原料和禮儀用品的質量。傳統生態知識涉及互惠，視植物和動物為人類親屬的信仰，將其與該文化和社會結構連結，密不可分。在原住民的世界觀，要成為人類（身體，思想，心臟和精神）意味著對生態學的理解。傳統生態知識提供了重要的生態洞察力，傳統生態知識的實踐可增加生物多樣性，並提高生態系統適應力，其中包括恢復生態系統的知識網絡。地方生態知識 (LEK) 是指，在沒有原住民的地方，或在已喪失原住民習俗的地方所形成的知識。

將傳統生態知識及地方生態知識納入生態恢復的實踐中，可以快速識別和評估物種及其適用性，以及各階段演替過程與關鍵物種的相互作用。雖然這些知識提供了設計和實施生態恢復項目不可少的資訊，但在許多恢復活動上，生態影響的功效（範圍和目標的實現）和效果（對管理方法的生物和非生物影響）的理解，仍存差距。

**原則3：考慮環境變化的同時，參考當地生態系統告知生態復育的做法
(Ecological Restoration Practice is Informed by Native Reference Ecosystems, while Considering Environmental Change)**

生態復育需要確定的是，要生態恢復到什麼樣的生態系統。參考模型應基於特定的現實生態系統及恢復和保護目標。例如高山森林、淡水沼澤、珊瑚礁等，或該地在未發生退化之前的近似狀況。這種情況不一定與歷史狀態的軌跡相同，因它還包括環境的影響和生態適應變化的能力等。

有人認為恢復生態系統是不可能的，但懷疑的人又非常需要恢復。因此，標準作業程序是在小範圍內先設計試驗，當特定類型（例如新的保護區、考古遺址、軍事用地）前遭破壞，則選擇干擾最少的地區作為推斷參考條件，結合演替模型、歷史數據和未來變化模型，研擬該地生態系統的演替軌跡予以執行。俟有進一步足夠資料後，將結果做

為修正參考模型的基礎。

參考模型應基於要恢復的特定生態系統，使用多種資訊，根據多個現場類似物或參考地點、時間順序模型建立的經驗模型。換言之，參考模型應考慮生態複雜性（演替或平衡動態）和時間變化，以恢復可行的生態系統多樣性和屬性彈性，使本地物種得以恢復、適應、進化和重組。

恢復項目，可能需要設計多個參考模型。例如，大型項目的地點或地形變化，很可能包括生態系統及其過度帶的鑲嵌圖。其次，為反映動態的生態系統或隨著時間推移演替，該場所可能處於演替發展的早期階段，其後又發展到次級演替階段。對於具有複雜平衡動力學的生態系統來說，可能存在多個演替路徑，需要多種模型來描述可能恢復的不同結果。這種狀態或由於人口密度、傳統文化中複雜的社會、歷史和環境驅動因素的變化，或多者兼俱造成。此外，參考模型需要透過監測，隨時間推移進行調整。

**原則4：生態復育支持生態系統恢復過程
(Ecological Restoration Supports Ecosystem Recovery Processes)**

生態復育行動在協助自然恢復，其過程是時間對物理過程的影響，以及生物群落在整個生命週期中的回應和相互作用。生態恢復行動的重點是支持生態系統屬性的恢復，重新開始適合於這些過程的組件和條件，包括

自我組織的能力以及生態系統對未來環境的調適能力。這些活動是根據參考模型，以及商定的項目目標和目的進行的。

進行復育最可靠、最具成本效益的方法是利用殘餘物種（例如植物、動物、微生物）進行再生潛力的定居或擴展。在復育治療前先進行評估，包括：去除問題原因，及需要恢復缺失的生物和非生物項目和元素。作業方式應先進行環境功能特徵評估（特別是恢復機制）就該地點發生或定居的單種物種，以及預測的繁殖體流量和存量。

若有知識缺口，則先進行較小區域的恢復測試。恢復情形或有可能導致意外，管理者必須準備其他治療處理或調查研究，以克服自然恢復的障礙或限制。例如，在刺激鄉土物種恢復的行動中，也有可能刺激其他非目標物種的反應，通常需要採取多種後續干預措施，才能實現項目目標。

原則5：使用衡量指標，明確評估生態系統恢復的目標及目的 (Ecosystem Recovery is Assessed Against Clear Goals and Objectives, Using Measurable Indicators)

規劃階段將確定項目範圍、願景、目標、目的，以及用於衡量進度的指標。指標是直

接關聯到長期和短期目標的屬性特性，可量化的度量。生態指標是根據參考模型，進行生態系統物理評估（如濁度）、化學（如營養物濃度）或生物（如物種豐富度），社會生態或文化指標衡量人類福祉的變化（如對傳統習俗、治理、語言和教育等）。監測應明確評估生態系統恢復情形，並採用適應性管理機制。

生態目標評估應包括6個生態系統關鍵指標，如評估範圍、當前狀況、願景、生態目標、目標（生態和社會目標）、通過具體指標衡量的目標（生態和社會目標），每個目標都必須闡明，例如：

- (1) 指標項目（原生植物的樹冠覆蓋率）
- (2) 預期結果（增加、減少、維持）
- (3) 期望效果（增加）
- (4) 時間範圍

對於可能實現恢復項目的生態目標，將調整朝向與參考模型一致，例如使用時間序列攝影⁴。但如果僅部分恢復，則目標模型和參考模型將無法完全對齊。目標生態系統可能缺少某些物種，但可以修改生態目標，以滿足社會目標。在與利害關係人進行協商，應在項目計畫內確定社會目標，包括生態成本和社會成本與其產生的收益，並進行權衡說明。項目報告可以突顯計畫項目可能帶給

4 時間序列攝影為利害關係人和管理者提供清楚的目標視覺證據（從相同照相點的位置，獲取時間序列站點的圖像，就監控計畫、特定問題、抽樣設計、時間表、負責人、計畫分析、生態目標及目的、生物和非生物組成、結構和功能屬性，外部威脅等進行項目定量調查）。此類圖像只提供直觀的現象變化，及現況和指標項目的關鍵比較。

社會和生態系統的好處。

**原則6：生態復育力求最高水平恢復
(Ecological Restoration Seeks the
Highest Level of Recovery Attain-
able)**

生態復育的目標，是實現參考生態系統6個屬性項目的最高恢復程度。復育工作都需要長時間進行，因此，管理人應持續監測做為改進的參考。這種策略建立的項目目標，可使恢復項目逐步朝向更高的成果。

**原則7：大規模應用時，生態復育可獲得
累積的價值 (Ecological Restoration
Gains Cumulative Value when Ap-
plied at Large Scales)**

生態復育的每一項目都可以產生計畫效果，例如增加物種和種群的豐富度及數量、改善生態系統功能、增加碳吸存、減少入侵物種等。但在執行生態恢復過程中，許多景觀，流域內引發變動，例如基地破壞、基因雜交、生態干擾和競爭產生，降低了計畫修復的成效。另某些生態修復項目，必須提高環境和生態效益而大規模進行，難免造成計畫執行上的過度財政擴張，機構和設施投資的風險，執行工作的混亂及困難，導致該地進一步退化。因此，在考量恢復的規模優勢外，必須控制增加每一項目的收益。此外，

增加連通性來增大規模功能，例如野生動物走廊、修復性相鄰站點。但要注意，所有的累積價值僅能長期實現。

**原則8：生態復育是連續性恢復活動中的
一部分 (Ecological Restoration is
Part of a Continuum of Restorative
Activities)**

生態復育可視為從最基礎的維護活動，到最上層的保護生物多樣性，恢復生態完整和復原力，改善生態系統服務的質量和數量，改變社會與自然互動的一系列恢復連續體活動。恢復性連續體提供一種修復生態系統的整體方法，為理解不同活動及關係提供了背景，讓從業人員能夠辨識生態、社會和經濟狀況，採用最適合有效的方法。

生態恢復活動在較大框架內進行，例如綠色基礎設施和森林景觀復育，通常這些將一項或多項活動與生態恢復結合在一起，可視為持續性範式中的一個整體。恢復性活動是累積的，其結果是從一個級別調整到另一個級別，可以啟發許多可採行的行動，並對生態恢復原則和標準形成效益。

- (1) 減少社會影響：即採取減少破壞或改變環境的方式來降低影響的行動
- (2) 補救：即污染和污染的場地
- (3) 復育：包括用於生產或人類住區的區域
- (4) 生態修復

IUFRO 2017 年森林復育大會

2017年第三屆IUFRO森林復育大會總主題「復育森林—未來的再生和生態系統功能」指出，保護生物多樣性和減輕氣候變化公約政策分別提出，加強森林的保護、恢復和適應氣候變化（Magnus等人，2019），本會議提出（Magnus等人，2019）：

向過去學習（Learning from the Past）

在恢復生態學家繼續爭論歷史生態系統狀況的有用性，作為實際恢復目標和參考之際，宜了解生態系統是回應過去的土地利用和過去的氣候所做成的反應。恢復生態系統不太容易在快速變化的氣候下完成，但長期森林動態研究可以用多種方式支撐森林恢復。其次，藉由過去的研究，我們可以確定樹木遷移生物學和種群動態與氣候變化的關

係，以及森林管理和土地利用模式對於任何試圖抵制森林動態自然趨勢，可說是非常昂貴的，如野生有蹄類動物對森林的影響。

支持森林復育的生態知識（Ecological Knowledge Supporting Forest Restoration）

有關植物間相互作用的生態學理論，負面（競爭）和正面（促進）互動的研究都比以往來得多。對於競爭強度，隨著非生物和生物壓迫的程度而增加；後者認為一種植物可以促進另一種植物的生長和發育。在再生和恢復過程中，最常用的植被管理技術是朝向提高幼苗生存和生長，同時維持較低復育成本。到目前為止，這些概念仍限於以恢復多年生草本植物或灌木為主的旱地生態系統，對於森林生態系統仍然缺乏。為了取得初步成功，不僅需要選擇具有互補物種和目標物種的組合，還需要管理植物密度和群落組成。

森林恢復中，草食類動物的直接或間接生物作用也造成植生影響，如歐洲和北美的高鹿種群，對許多植物組成、森林結構和功能構成威脅。有蹄類動物影響植物與植物之間的相互作用，導致管理人員選擇動物不食的樹種，或用圍欄、驅蟲劑及樹木遮蔽物進行植物物理或化學保護，但建立、維護和拆除成本頗高。低成本保護策略，包括密植，對更耐陰的物種進行直接播種或使用護樹/灌木為目標樹種，也可以採用控制動物數量，增加森林的承載力或將這兩種方法結合一起



2017年第三屆IUFRO森林復育大會海報

運用。另外，可以建立草本或木本物種再生替代恢復，但需要綜合性的方法併同管理鹿的種群，景觀承載和復育耐陰性樹種。

復育和再生技術與系統的提升 (Advances in Restoration and Regeneration Techniques and Systems)

森林恢復和更新，受政策、市場、技術和氣候變化的影響。該領域關注恢復退化環境所需的苗木生產和栽植技術，了解植物生理生態的生物和非生物因素。苗圃生產高品質、抗壓性的物種，控制種群類型，施肥或灌溉，以及健化措施，調整幼苗形態和生理屬性。幼苗大小與植物中氮和碳水化合物化合物的含量，俾使幼苗適應環境。

為確保自然或人工再生恢復，通常重視現場受干擾程度，如地貌恢復、場地重建和土壤功能，即目標植被，客土、壓實、施肥，土壤改良劑、苗木遮蔽物、成本，環境影響和施工管理。儘管柵欄可以有效防止有蹄類動物的傷害，但是安裝和維護成本限制了實際使用範圍。因此，評估替代樹籬方法將有助於降低成本。

生物和非生物干擾後的森林復育 (Forest Restoration Following Biotic and Abiotic Disturbances)

由於人為干擾，例如放牧地、廢棄耕地或嚴重火災地等，造成森林退化和損失，植群結構和地區多樣性的來源受限。復育採礦場

需要大規模景觀項目的改善土壤、水文和重建森林生態系統。受威脅和瀕危林木恢復非常複雜，需要有效整合技術、生態和社會。樹種遺傳保護提供樹種對環境壓力和變化的應變能力。雖然了解歷史物種範圍及分布，可以幫助恢復目標的達成，但防凍區的變化，乾旱嚴重性指數，以及物種競爭者的存在，將影響推動物種的適應性。

復育未來的森林景觀 (Restoring Forest Landscapes for the Future)

過去使用生態系統為目標和標準的做法，對於不確定的未來，可能被調整。目標除了減輕氣候變化和改善當地經濟外，還希望將生物多樣性的損失降至最低，但在保護資源，森林管理和恢復等方面，選擇非本地物種和新型生態系統的看法仍存兩極爭論。衝突有時根源於概念及定義上的差異，而概念多取決於上下文的脈絡。例如保留可以看作是保護措施，因為保存天然林、保留母樹，以備將來使用；也可以看成是恢復，因為它創造出結構上更豐富的林分。其他做法，例如種植不足，有助於增加森林的結構複雜性。

國際景觀復育機制

聯合國糧食及農業組織森林和景觀復育 (Forest and Landscape Restoration, FLR)

2014年聯合國糧食及農業組織根據全球

森林和景觀復育夥伴關係 (Global Partnership on Forest and Landscape Restoration, GPFLR)，建立森林與景觀復育機制 (The Forest and Landscape Restoration Mechanism, FLRM)，幫助各國實現復育承諾。聯合國大會繼於2019年宣布聯合國生態系統恢復十年 (New Un Decade on Ecosystem Restoration, 2021—2030)，恢復大規模退化和被破壞的生態系統，作為對應氣候危機和增強糧食安全，水供應和生物多樣性措施的集體努力。

森林與景觀復育機制與糧農組織策略目標 (FAO's Strategic Objectives, SOS) 框架一致，特別側重農業、林業和漁業，使其更具可持續性的生產力和增強對威脅、危機的調適能力。執行森林與景觀復育機制是恢復森林、恢復自然景觀、恢復生態系統服務和土地生產功能，提升環境的復原力、生產力和社會經濟價值、以及為可持續生計提供糧食、能源、其他產品和服務之間的平衡，改善人類福祉。

推動森林與景觀復育工作的關鍵問題有下列幾項：

- (1) 有利於森林與景觀恢復的環境 (政策／法律)
- (2) 機構環境
- (3) 治理問題 (任期，當地社區的參與等)
- (4) 改善生計、糧食安全和營養
- (5) 評估退化和恢復機會

- (6) 技術和方法
- (7) 分析和評估成本和收益
- (8) 能力發展、擴展和傳播
- (9) 資源調動
- (10) 私部門投資
- (11) 研究需求

2019年聯合國啟動「全球復育計畫」(The Restoration Initiative, TRI)。該計畫是由全球環境基金經費資助，匯集聯合國糧食及農業組織 (FAO)、國際自然保護聯盟 (IUCN) 和聯合國環境規劃署 (UNEP)，通過實踐森林景觀恢復，將氣候、糧食安全和生物多樣性保護的利害關係人聚集一起，並在恢復退化和毀林森林景觀的共同目標下，分享知識、發展能力和節省成本，提供更多的工作機會，恢復生態系統功能和改善生計。

該復育計畫集中在4個關鍵領域：

- (1) 政策發展和整合，提供國內的有利環境改善森林景觀恢復執行。
- (2) 復育方案執行和補充說明，為實施綜合景觀恢復提供直接支持，並提出可擴展的模式，使其更廣泛採用。
- (3) 能力建構和資金籌集，支持籌集額外的森林景觀恢復資金，以及增強國家、機構和人民規劃和管理森林景觀恢復的能力。
- (4) 知識共享、夥伴關係、監測和評估，為獲取和分享創新經驗和最佳做法，提高

對森林景觀恢復的需求和認識，以及發展和加強關鍵的夥伴關係，提供支持。

國際自然保護聯盟 (International Union for Conservation of Nature)

國際自然保護聯盟致力於推動可持續景觀，保護原始森林並促進森林社區的權利。保護聯盟進行的森林舉措，幫助各會員國實施有效的森林和土地利用政策，履行氣候變化，生物多樣性和土地退化的國際承諾。

在原始森林方面，原始林比人工林可吸收更多的碳，提供更大的生物多樣性利益。至於森林景觀復育方面，則採行緊急協調和有效的行動，避免和減少土地退化，全面實現可持續發展目標。有關森林景觀復育 (Forest Landscape Restoration, FLR) 係指恢復森林生態功能，增強退化的森林景觀，朝人類福祉的持續過程，以滿足當前和未來的需求，並隨著時間推移，提供多種收益和土地用途。

森林景觀復育原則，通常在整個景觀之間採用相互平衡的土地用途，如受保護的森林區域、生態走廊、農林業體系、改良的休耕系統、河岸管理和其他自然生態系統。森林景觀復育具有前瞻性和動態性，專注於增強景觀的適應力，隨著社會需求調整和進一

步優化生態系統的產品和服務。其指導原則⁵：

- (1) 專注景觀 (Focus on Landscapes)：森林景觀復育發生在整個景觀內部和整個景觀中，而不是單獨位置。森林景觀復育代表各種權屬和治理系統下相互作用的土地使用和管理實踐的結合，以平衡生態、社會和經濟優先事項。
- (2) 維護和增強景觀中的自然生態系統 (Maintain and Enhance Natural Ecosystems within Landscapes)：恢復景觀，增強森林和其他生態系統的保護、恢復和可持續管理的生態功能，豐富棲息地，抑制侵蝕和洪水，以及對氣候變化和各種干擾的適應力。
- (3) 利害關係人參與和支持參與式治理 (Engage Stakeholders and Support Participatory Governance)：積極與地方利害關係人，包括土地所有者、土地管理人、社區民眾、公民、公部門和私部門等進行有關恢復目標，實施方法策略和權衡取舍的決策，並尊重利害關係人的權利，並為其帶來利益。地方利害關係人的積極參與，可為計畫量身打造適合當地社會、經濟和環境生態，並帶來認同感，獲取當地更多的知識。
- (4) 使用多種方法來適應當地脈絡 (Tailor to

5 國際自然保護聯盟森林景觀復育指導原則，引自：<https://www.iucn.org/theme/forests/our-work/forest-landscape-restoration>

the Local Context Using a Variety of Approaches)：森林景觀復育使用多種方法，這些方法適合當地的社會、文化、經濟和生態價值，需求和景觀歷史。藉由最新的科學知識和最佳實踐行動，以及傳統和原住民知識應用在地方能力和現有或新的治理結構上。

- (5) 恢復多種功能，以獲得帶來的多種利益 (Restore Multiple Functions for Multiple Benefits)：森林景觀復育在恢復整個景觀的多種生態、社會和經濟功能，並產生一系列有益於多個利害關係人群體的生態系商品和服務。
- (6) 調適性經營以實現長期彈性 (Manage Adaptively for Long-Term Resilience)：森林景觀復育在尋求中、長期景觀增強及其適應利害關係人的彈性。恢復應增強物種和遺傳多樣性，並隨時間進行

調整，以反映氣候和其他環境條件、知識、能力、利害關係人需求和社會價值的變化。隨著恢復工作進行應將連續的監測結果和利害關係人需求，整合到恢復策略中。

由國際自然保護聯盟和世界資源研究所 (World Resources Institute, WRI) 編寫的《恢復機會評估方法》 (Restoration Opportunities Assessment Methodology, ROAM) (Laestadius等人, 2014)⁶，則為各國提供靈活可以執行的森林景觀恢復 (Forest Landscape Restoration, FLR) 框架，快速識別和分析主要區域並確定具體的優先事項。

恢復機會評估方法為加速或實施復育計畫和景觀策略上，提供各國履行《生物多樣性

6 復育機會評估方法指南：評估國家或國家次層級森林景觀復育機會 (A Guide to the Restoration Opportunities Assessment Methodology, ROAM: Assessing Forest Landscape Restoration opportunities at the National or Sub-national Level) 項目內容：<https://portals.iucn.org/library/node/44852>

第一部分：準備和計畫

森林景觀復育 (意義，為何從事森林景觀，和碳吸存的關係，和生物多樣性的關係)：準備和計畫；定義問題和森林景觀復育目的；從事的關鍵夥伴 (尋找機構之家，建立團隊定位和引導評估)；結果定義和評估範圍；分層評估地區；識別潛力森林景觀復育選擇；識別評估準則和指標；計畫 (識別要求數據和能力需求，利害關係人參與計畫，舉辦啟動研討會)。

第二部分：數據收集和分析

復育干預措施的利害關係人優先次序；數據 (找尋相關數據：利害關係人調查，地圖，科學文獻，特別委託的地圖；通知批判性的復育選擇數據；復育的成本效益數據)；復育機會繪製 (瞭解空間分析繪製方法：準備繪製分析知識工作坊，劃分區域為多邊形，識別復育方案，審查和修改結果，優化和數字化結果；數字地圖空間分析方法)；復育經濟模型和評估 (基本概念；估計成本和效益)；復育成本—效益—碳模型 (估算方法；使用和報告的碳效益估算；進行成本—效益—碳模型)；診斷復育關鍵成功因素的存在；復育財政和資源分析 (私人投資進行復育的潛



《恢復機會評估方法》(ROAM)

公約》、《聯合國防治荒漠化公約》和《聯合國防治框架》下的國際承諾，亦使各國對波恩挑戰提出貢獻，且允許與利害關係人協商達成以下結果：

- (1) 確定恢復的優先地區。
- (2) 評估地區中最相關和可行修復干預類型 (Intervention Type) 的入圍名單。
- (3) 每項干預類型的量化成本和收益。

- (4) 這些干預類型額外碳隔離 (Carbon Sequestered) 的估計值。
- (5) 分析評估地區內恢復的財務和投資選擇。
- (6) 診斷「恢復準備就緒」和主要政策和制度瓶頸的處理策略。

通過恢復機會評估方法，決策者和利害關係人可以實現下列結果：

- (1) 提供更好的資訊，改善土地利用決策。
- (2) 為森林景觀恢復提供高層的政治支持。
- (3) 為森林景觀恢復和減少毀林及森林退化造成的溫室氣體排放 (Reduction in Emission from Deforestation and Forest Degradation, REDD)，氣候和災害風險的調適和減緩，以及生物多樣性保護和復育等策略的基本投入，以期這些策略之間實現相互促進的融合。
- (4) 更好地分配資源為基礎的復育方案。
- (5) 來自不同部門的關鍵決策者和決策者，以及對景觀管理方式有興趣的其他利害關係人之間的參與和協作。
- (6) 森林景觀恢復機會和多功能景觀價值的分享了解。

力評估：新私部門投資範圍評估，私人投資進行修復的阻礙評估，復育方案的私人投資潛力評估)。

第三部分：推薦結果

舉辦驗證研討會；測試策略機構的感知相關性和地方政府的政策選擇；識別執行復育機會的財政方案；從推薦到執行。

森林景觀復育 (Forest Landscape Restoration, FLR) 活動是由國際自然保護聯盟 (IUCN)、世界自然基金會 (WWF)、世界資源研究所和國際熱帶木材組織 (ITTO) 等自然保護組織協作發展出來的。其定義為：在森林砍伐或退化的景觀中，恢復生態完整並增強人類福祉的計畫過程。森林景觀復育活動具有包容性和參與性，將森林恢復行動與理想的景觀目標結合的工具和程序，這些目標是通過利害關係人的參與決定的。

森林景觀復育認識到森林恢復具有社會和經濟功能，它既滿足保護目標，又滿足農村社區需要。在評估和學習一致的框架中，結合開發、保護和自然資源管理的原則和技術，例如景觀特徵評估、參與性農村評估、適應性管理等，根據當地環境和社會經濟因素，滿足人類和野生動物需求的平衡，增強景觀的復原力和生態完整性，從而保持未來管理選擇的開放性。森林景觀復育可以增強景觀韌性，確保森林生計，優化生態系統產品和服務，滿足社會不斷變化的需求。實現可持續的糧食生產，生態系統供應和生物多樣性保護，重要區域的生態恢復，自然再生，增加樹木覆蓋率 (Robin 等人，2015)。

美國農業部森林署 (U.S. Forest Service)

2009年美國國會通過《綜合公共土地管理法》(The Omnibus Public Land Management Act of 2009)，指定政府積極保

護數百萬英畝土地，並建立國家景觀保護系統 (National Landscape Conservation System)。法案標題IV授權農業部森林署指導國家森林系統土地 (National Forest System Lands) 依該法案，徵求森林景觀復育合作計畫 (The Collaborative Forest Landscape Restoration Program, CFLRP) 參與森林景觀提名，進行生態復育計畫執行。該計畫提供最多15個諮詢委員會的協助，選定10個地區進行有關景觀尺度生態恢復項目，在社會和經濟上可執行的建議，並進行和監測該生態復育計畫，支出的50%經費，由美國財政部支付。

《農業改善法》(Agriculture Improvement Act of 2018) 第8629條《農場法案》(Farm Bill)，就包括森林景觀復育合作計畫2023年之前整個財政年度的重新授權，且授權建立森林景觀復育合作基金。

森林景觀復育合作計畫諮詢委員會向農業部推薦10個項目，2010年農業部部長宣布在9個州，選擇合作森林景觀恢復項目進行。森林署認為計畫目的，在鼓勵合作的，以科學為基礎的生態系統優先於復育森林景觀，並鼓勵生態、經濟和社會的可持續性；利用當地資源與國家和私人資源；促進減少野火管理成本，包括重建自然火災制度和減少異常林火 (Uncharacteristic Wildfire) 的風險；展示各種生態恢復技術，達到生態和流域健康目標；鼓勵利用森林恢復副產品來

抵消處理費用，使當地農村經濟受益，並改善森林健康。

■ 森林景觀復育合作基金執行標準：

- (1) 部長要求在2019至2023年，每年提供不超過8,000萬美元的資金。
- (2) 對每個選定在國家森林系統土地上的提案進行監測，生態恢復處理費用最高50%的費用。
- (3) 任何一個項目每年提供400萬美元。
- (4) 任何一個林務署管理處每年最多兩個計畫項目。
- (5) 全國每年最多10個項目。

美國農業部森林署建立網站提供森林復育 (Restore)、強化 (Enhance) 和維護 (Maintain) 的執行觀點，建立健康彈性的森林。森林署與州、部落、地方政府和私人團體、夥伴一起合作恢復生態的完整性。提供人們清潔的空氣和水，碳吸存，鄉土魚類和野生動植物的棲地、森林產品、戶外休閒機會等等。在恢復國家森林的同時，亦創造農村社區的就業機會。

■ 利用框架和通過實施計畫來支持社區恢復公共土地：

- (1) 整合資源復育 (Integrated Resource Restoration)
- (2) 水生生物通道 (Aquatic Organism Passage)
- (3) 傳統道路與小徑 (Legacy Roads and

Trails)

- (4) 流域復育計畫 (Watershed Restoration Program)
- (5) 管理契約 (Stewardship Contracting)
- (6) 造林 (Reforestation)
- (7) 木材創新 (Wood Innovations)
- (8) 森林計畫規則 (Forest Planning Rule)
- (9) 凝聚的曠野火災管理策略 (Cohesive Wildland Fire Management Strategy)
- (10) 入侵物種 (Invasive Species)

■ 森林景觀復育合作計畫工作內容：

森林景觀復育合作計畫工作提案程序，以實現生態和社區經濟利益，及包括恢復的能力建構：

- (1) 預計10年內可降低單位執行成本
- (2) 提案所需基礎設施的預期成本
- (3) 預計在生態恢復處理中，去除的木質生物量和可持續的小徑木供應；和該提案預計本地經濟的效益。
- (4) 在提案中記錄非聯邦投資，包括投資的來源和用途。
- (5) 臨時道路退役計畫 (Temporary Road Decommissioning Plan) — 包括將為實施提案而建立的任何臨時道路退役計畫。

■ 年度報告要求：

凡由合作森林景觀復育計畫資助的項目，區域林務人員將在每個財政年度開始編製年度報告。

- (1) 通過實施該策略的項目處理和恢復之所有範圍描述。
- (2) 對進度進行評估，包括績效衡量，以及上一年的評估，如何助於改善項目績效。
- (3) 描述所取得的社區利益，包括任何當地的經濟利益。
- (4) 多方監視、評估和會計核算過程（Accountability Process）的結果。
- (5) 執行費用摘要以及相關的林火管理活動。

■ 森林景觀復育合作計畫提案申請（2019年提案徵集，分兩階段辦理）：

第1階段（建議書）：申請人簡要介紹擬議的森林景觀復育合作計畫項目或其項目。

第2（完整提案）：第1階段被選定的新項目和項目擴展提案將繼續進行詳細的提案開發。

國土生態保育綠色網絡 建置計畫目標及生態復育面 向之執行原則和做法

國土生態保育綠色網絡建置計畫在建置國土生態保育綠色網絡，串聯東西向河川、綠帶，連結山脈至海岸，編織「森、里、川、海」廊道成為國土生物安全網；提升淺山、平原、濕地及海岸的生態棲地功能及生物多樣性的涵養力；營造友善、融入社區文化與

參與之社會—生產—生態地景與海景，以促進永續發展。

國土生態保育綠色網絡建置計畫目標

國土生態保育綠色網絡建置

盤點生態網絡資訊與熱區，瞭解生態資源空間分布及重要物種，診斷高脆弱與高風險生態地區，提出相關保育對策，建置生態檢核與追蹤，增進資訊流通。

提升淺山、平原、濕地及海岸之韌性與調適力，維護生態功能與生物多樣性

透過盤點了解生態熱區缺漏處，推動不同型態縫合措施，擴大生物多樣性棲地；回應過度開發和環境與氣候變遷之挑戰，提升生態敏感與脆弱地區之韌性。

營造友善、融入社區文化與參與之社會—生態—生產地景和海景

以生物多樣性「愛知目標」為指引，建立「里山倡議」培力機制、鼓勵以「里山倡議」架構，將地區生態保育、傳統文化、歷史記憶，與其所處之「社會—生態—生產地景和海景」融合。

國土生態保育綠色網絡建置計畫指出，以國有林事業區為軸帶，推動友善環境，透過點、線、面的串連，架構整體國土生態保育綠色網絡，使臺灣綠色生態系統更為健全，尤其是綠色生態系統建置過程，將持續透過

民眾與社區參與，體認生物多樣性與國土生態保育綠色網絡建置的效益，促進生態環境的永續發展。準此，計畫可提綱挈領分為下列工作：

- (1) 以國有林事業區為軸帶，架構整體國土生態保育綠色網絡。
- (2) 透過民眾與社區持續參與綠色生態系統建置過程。
- (3) 推動友善環境，體認生物多樣性與國土生態保育綠色網絡建置的效益。
- (4) 促進生態環境的永續發展。

本文旨在探討架構國土生態保育綠色網絡之造林面向，至於民眾與社區參與綠色生態系統建置，及體認生物多樣性與國土生態保育綠色網絡建置的效益和促進生態環境的永續發展不在本文討論範圍。

國土生態保育綠色網絡建置—生態復育面向執行原則

■ 生態復育面向執行原則，包含：

- (1) 政策研究
- (2) 相關法令與政策之檢討
- (3) 執行計畫所需配套的前置作業
- (4) 生態綠色網絡串聯與建置
- (5) 建置計畫審核原則和執行注意事項
- (6) 達成目標之限制
- (7) 績效指標、衡量標準
- (8) 鼓勵社區民眾參與提案
- (9) 執行分工

- (10) 分年執行策略
- (11) 計畫查核、督導，檢視執行成果
- (12) 知識增進
- (13) 人才與能力培育
- (14) 實踐範例
- (15) 培育綠色與在地文化創意產業
- (16) 國際參與

國土生態保育綠色網絡建置—生態復育面向的做法

■ 生態復育面向做法，包括：

- (1) 界定生態保育核心潛力區域與熱點，重要生態環境脆弱度與風險評估：
 - (A) 建置全臺生態檢核與追蹤系統，擴大中央山脈生態保育廊道保護區周邊土地保護效益，健全珍貴稀有生物及維持生物多樣性。
 - (B) 串聯西海岸生態保育軸，成為重要候鳥遷徙的安全路徑及珍貴野生動物的移動通道。
 - (C) 整合東西向河川綠帶，連結山脈到海岸，減低棲地破碎化的衝擊。
 - (D) 強化生態保育網絡鏈結，建立友善授粉昆蟲之生態環境，並增加生物多樣性。
- (2) 高風險生態與環境系統之保育：
 - (A) 依生態經營原則，強化沿海地區之生態造林，串聯海岸生態棲地、地層下陷區與珍貴物種棲地。藉由海岸林帶形成綠色防護網，維護國土保安、提

高森林生物多樣性，提供教育機會與學術研究，提昇農漁業產量及改善生活環境品質，可期海岸林得以永續。

- (B) 強化生態敏感區之經營與管理，增加生態敏感區之調適力與韌性。
 - (C) 強化農田、水梯田、河川、森林跨域整合，營造重要生態廊道。
 - (D) 強化交通道路兩旁綠帶、農田水圳網路，友善生態通道之建置。
 - (E) 整合、縫補與連結山脈、淺山、平原、海岸間之河川、水庫、湖泊及其兩岸生態綠帶，連結生態綠帶形成生態廊道。
- (3) 營造友善、融入社區文化與參與之社會—生態—生產地景和海景。

■ 依據林務局109年度「友善環境生態造林計畫」造林預定案編案原則：

(1) 生態造林地點：

栽植地點，若當地原生樹種培育時程，無法於第1年完成時，務必於第2、3年補植時栽植，以豐富物種多樣性。

- (A) 區域生態綠網：已劃設區域綠色網絡地區，請鏈結、修補、擴大綠網棲地之破碎處、缺口處、生態熱點…等，如遇非轄管地者，應主動協調該土地管理機關合作參與區域綠網工作。
- (B) 河川兩岸及農田灌溉區溝渠岸邊土地：請主動洽詢國、公有土地管理機關說明生態綠網之理念及目標，營造帶狀植栽生態廊道。

(C) 海岸造林地：請盤點及掌握轄區老化或木麻黃純林之海岸林，於空隙地補植當地原生樹種或營造複層林方式。

(D) 民間關注區域（如大肚山、八卦山等）：請與當地民間團體共商棲地環境營造之對策或合作育苗造林。

(E) 蜜源森林：選擇海拔1,000公尺以下，考量氣候環境、交通方便、社區民眾安全等綜合因素下，可規劃3—5公頃（可區塊分布，須在半徑2公里範圍內）種植喬灌木類蜜源原生樹種，以花期長或花期錯開、泌粉蜜多為佳，可採2—3個樹種（維持6個月開花期），營造多層次混合複層林，未來提供蜂農放置蜂箱。

(2) 造林預定地選擇請切實勘查，生態造林須打破原有造林框架，因地制宜，與海岸林或國有林造林等區隔或差異性，規劃時須考量當地氣候環境、野生動物棲地營造及環境維護，並請依生態造林原則，建造當地原生樹種混植之複層林相，採多種類、多層次、密植混合，構築綠色廊道，並營造野生動植物適宜棲地環境，擴大連接野生動物棲息及移動範圍。

(3) 編列新植、營造複層林等工作之預定案前，應就造林地地況及植生等情形詳加評估，規劃造林地未來之空間配置等事宜，再決定原生造林樹種及栽植密度，以符合生態造林之目標。

(4) 新植及營造複層林編案時，請說明預定

地現況、擬解決問題及因應對策等，均須與國土生態綠色網絡建置計畫理念及策略作法等相連。

- (5) 審查造林預定案，應邀請生態專家學者參與審查，提供適地適木及造林目的之當地特有原生樹種、造林策略等意見。
- (6) 營造複層林造林預定地，具經濟或保護價值之次生稚樹應妥予撫育。
- (7) 本計畫分為原生（海岸及淺山地區）造林樹種培育、高經濟效益樹種培育（如蜜源樹種培育、傳統慣俗植物、藥用植物等）等二大項，其育苗樹種、數量、應切實配合生態造林需要培育，須掌握採種母樹並儘量選擇培育當地特有樹種及適合特殊目的之樹種苗木。另從臺灣北到南都可種之樹種，非屬當地特色植物；請林管處多方洽詢植物生態學者以少量、多樣化樹種，並適合轄區不同復育環境所需樹種為培育對象。
- (8) 應把握種子習性育苗播種，播種前應先作發芽試驗，依發芽率調整播種量，播種前之種子應辦理催芽，俾種子發芽整齊，以利苗床管理。育苗培育期間特別留意疏拔工作。
- (9) 育苗包括澆水、除草、病蟲害防治、膠袋移動等功程，請切實編列，造林應選擇健壯之苗木，出栽苗高應達50公分以上。
- (10) 請參考「森林植物多元利用開發之研究」計畫案推薦之植物名錄，就轄區環境特性，選擇合適之樹種納入年度採種

及育苗作業規劃中。

- (11) 為統計各樹種苗木培育及育成數量，請依苗木培育統計表填列。
- (12) 為建立造林資訊資料庫，新植造林地務必填列GPS定位資料。請收集造林前中後照片及利用空拍記錄影像，俾利將來說明成果使用。

國土生態保育綠色網絡建置—生態復育面向議題澄清及討論

生態復育、生態恢復或生態造林用語

生態保育綠色網絡的行動過程，在將退化的生態系統恢復到原有陸生和水生生態系統的歷史發展軌跡上。世界各國及國內學者皆指生態復育或、生態恢復（Ecological Restoration）是以自然或人為的方法，協助已退化、受損或毀壞之生態系統，加速該森林組成、結構、生態功能和生物多樣性的恢復過程，或用森林復育（Forest Restoration），恢復生態（Restoration Ecology）等字眼。

另查Google，林文鎮（2010）最早提出「符合森林生態的造林法」之人，其後此說被簡稱為生態造林。然則，英文Ecological Afforestation仍指造林工作上之生態綠化工作。目前國內稱造林（Afforestation, Reforestation），皆以自然或人為的方法，採具有經濟生態功能的單一、單齡樹種，關注在木材材積生長。又國內已習慣「造林」

用語泛指，造林、培育、撫育、復育等。此與森林復育行動在加速森林結構，生態功能和恢復生物多樣性，達到森林的典型特徵，發展出最大生物量，結構複雜和物種多樣不同。因此，本文為求精準，採用各國及國內學者通用的生態復育名稱，但其意義與生態造林，生態恢復一致。

生態復育工作目標

依據國土生態保育綠色網絡建置計畫，生態復育的工作目標在建置國土生態保育綠色網絡，提升淺山、平原、濕地及海岸之韌性，維護生態功能與生物多樣性，強化生態敏感與脆弱地區之調適力等項。

但國際談論生態復育之目標卻甚為廣闊，包括增加生物多樣性，生物量，土壤有機質和保水力，培育特有和關鍵物種，促進生物多樣性可持續性、復原力、調適力和健康所需的完整性，並隨時間推移，肆應當前和未來當地及全球環境變化外，還得提供地方生計，平衡土地用途，解決社會、經濟或文化價值，減緩氣候變化，改善人類健康和福祉，提升人與自然的依存關係等等。

其次，在設定生態復育的目標上意見也持續分歧，一些人認為積極恢復，例如，消滅入侵植物，使鄉土樹種得以生存；另有認為，保護區應儘量減少人為干擾，以自然野化的方式進行。因此，有人建議應將阿里山櫻花樹全部砍除，讓景觀恢復到更自然、更

鄉土的情境；反對的人稱，應該保留恢復文化景觀的歷史元素。

美國西部林區採用控制性燃燒，已被林務署視為不可或缺的管理措施，但卻引起人們對於自然環境的擔憂。又，懷疑論者認為，當前氣候變化的速度快於許多動植物的遷移及擴散，並且許多適宜的棲地都被隔離，那麼有必要積極地將物種遷移到新的棲息地？是否能證明這經濟投資是合理的？甚至這種復育是可行性。某些生態系統或有可能在未來的氣候條件下不能存在，或者某種物種可能已經在某個地區滅絕，在這種情況下建立一個生態系統，但該生態系統在現場歷史並不明確，且與當前或未來的預期環境條件或不相符（Vaughn等人，2010）。

部分學者指出，關於環境的生態系統功能及物種關係等的不確定性都還沒有釐清解決，又對完全恢復的時間設定的短得不合理，且對全面恢復的其他關鍵性指標刻意忽略，或出於可行性考慮而略去，以及如何平衡多目標間的衝突需求？何時才能判定一個項目的成功？種種作為，皆造成執行上的不確定性。另有哲學辯論，涉及重建「正宗」的復育意涵，還是採用本土化為適當的（或可行）標準？選擇非鄉土物種和新型態生態系統等看法，仍在兩極爭論中。

由於國際生態復育工作目標龐雜，相對應的介面也難整合，且兩極看法的爭辯仍在繼

續發展定義中。準此，本文採以國土生態保育綠色網絡建置計畫生態復育工作的目標，但應併同考量復育作業期程、執行範圍、施行方法、計畫效果及達成的目的等，尤須注意森林復育的長期性和與環境互動之關係。

生態復育工作原則

理論上，生態復育的目標在使生態恢復到未破壞前的狀態，但由於該環境已受到包括全球氣候變化在內的當代生態演替影響，生態復育只能沿著環境變化的軌跡，生態復育的目標調整為，使退化的生態系統，重新恢復到原有的歷史發展走向，而不是恢復原歷史狀態。

保護主義也認為，雖然生態系統可能無法恢復到原來的狀態，但生態系統的功能應儘可能選擇當前的配置（Vaughn等人，2010）。其次，生態復育工作儘管可以恢復，但恢復期間，可能會遇到無法預料的恢復障礙，例如森林火災、乾旱、暴雨等，因此在生態復育的各階段仍有可能進行其他恢復活動。

復育退化的生態系統是一項複雜的任務，必須具備足夠的生態知識、技能、資源、時間，掌握特定的社會背景和風險，邀請利害關係人參與，協助設定工作願景、目標及工作的優先次序，規劃設計、執行、監測，並有效整合及適應性管理。實施上，應跨不同類型的技術標準和不同類型的執行團隊，汲

取當地傳統或地方知識，並尊重社會文化現實及需求。

實施森林復育會發生科學團隊與熟悉地方事務的個人或團體，以及土地所有人，在知識上發生落差及知識空白現象（Robin等人，2015）。研究團隊關注項目有些側重社會、生態成本和恢復干預措施，或影響本地物種生長，以及物種混生性能和景觀等不一而足，而導致研究團隊內，以及研究團隊與執行人員間發生應用和基礎學科的日益分離現象，阻礙學術團體與社區、民眾間新思想和資訊交流的機會。因此，建置平臺邀請社區民眾、科學家、政策制定者和土地管理人參與，理解科學及合作的推動，並將利害關係人的意見納入形成共識，較能掌握複雜動態的生態系統與生態、社會、政治環境的調和及其權衡取舍的優先性。

其次，研究人員和執行者組成跨級環境治理團隊，將政策目標與知識創造結合，易達社會資本的實現（Robin等人，2015）。再者，投入的資金不僅包括執行成本，還應包括指導及知識轉讓費用，在某些情況下，更需要進行長期的地方培力。

由於沒有一種森林復育方法能適用所有解決方案，因此需要研究協助，選擇一種綜合管理生態工程，選取具有互補物種和目標物種的組合，還需要管理植物密度和群落組成，以及各階段演替過程與關鍵物種相互作用

用所提供的植物與動物間關係。

近年國外關注景觀尺度倡議，旨在將森林復育工作置入在土地用途的多用途鑲嵌體中⁷，考慮多個利害關係人的看法，針對物種基因保存、生計、生態系統服務整合納入，進行調適性管理。

有關林務局目前推動「林務局公共工程生態友善機制工作圈設置及作業要點」，以國有林治理工程為對象，依循迴避、縮小、減輕與補償等原則，加強生態保育要項控制，減輕工程對生態環境的衝擊，即為友善環境實踐森林生態復育的重要工作。

生態復育工作方法

森林復育計畫收集森林治理中的長期模式，這些模式強調大規模的計畫、協作、監測和恢復（Courtney 等人，2012）。計畫亦稱處方文件，通常考慮生態、經濟和社會的目標和限制，記錄當前和預期現場條件以及管理方向的分析結果。它是一系列計畫處理，改變當前的林分結構和組成，以可衡量的術語，描述未來植被期待的狀況，達到管理目標。

生態復育項目的參考模型，是由本地生

態系統（包括傳統文化生態系統）提供（George等人，2019）。參考模型應基於要恢復的特定生態系統，根據多個現場類似物或參考多個地點或時間順序，選擇干擾最少的地區推斷參考條件，結合演替模型、歷史數據和未來變化模型，研擬該地生態系統的演替軌跡所建立的經驗模型。

經持續監測，俟有足夠的資料後，將結果做為修正經驗模型的基礎，日後該經驗模型升級為參考模型。參考模型可能處於演替發展的早期階段，或其後的次級演替階段。如果參考模型設計不當，可能導致生物多樣性的持續退化和喪失。反之，則有可能使生態系統恢復，同時，生物多樣性和生態系統功能的淨收益，也應一併考量。

另臺灣氣候地形特殊，生物資源豐富，難比照大陸氣候國家依據國內單純的數種生態參考模型施行，建議我國選以研提復育參考規範方式，確立重要的執行框架進行。

指標框架提供一種管理工具，幫助製定策略並對應分配資源，衡量恢復進度，有助於確保利害關係人對實現目標的責任（糧農組織和世界資源研究所，2019）。指標有多種形式和效用，有衡量進度的指標，包括評估

7 鑲嵌體馬賽克，亦為里山倡議的一種方式。考慮多個利害關係人對土地用途的看法，以及決策和調適性管理，將生計、景觀和生態服務整合納入。森林景觀復育通常在整個景觀之間，採用相互平衡的土地用途，如受保護的森林區域、生態走廊、農林業體系、改良的休耕系統、河岸管理和其他自然生態系統（Forest Restoration & Reforestation (2020). Yale School of Forestry and Environmental Studies. Global Forest Atlas.）。

(Nilsson等人，2016) 範圍、當前狀況、願景；有根據參考模型的生態指標，進行生態系統物理（如碳儲存）、化學（如營養濃度）或生物評估（如物種豐富度）；社會生態或文化指標，衡量人類福祉的變化（如對傳統習俗、治理、語言和教育等）；經濟指標，包括所產生森林產品和生態服務價值質量（例如流域保護）；監測配合指標框架和指標，評估生態系統恢復情形，並採用調適性管理機制適時調整。

生態復育的每一項目都應該計算計畫效果，例如增加物種和種群的豐富度及數量、改善生態系統功能、增加碳儲存量、減少入侵物種和數量等。

但在執行生態恢復的過程中，由於執行不當，施工未全，常引發爭議，例如基地破壞、基因雜交、產生生態干擾和競爭。而某些生態復育項目必須大規模進行，難免造成財政負擔、設施投資風險、人力資源不足、時間延宕的挑戰。因此，在考量恢復的規模外，必須控制每一項目效益。

進行復育最可靠且具成本效益的方法是利用當地現有的殘餘物種，進行再生潛力擴展。有關幼苗種類、來源、選擇、取得、生產和運輸，和種子活力、遺傳多樣性，距修復地點和生態地理氣候，種群動態等皆是重要考慮要素。

其次，苗圃面積，場地條件，環境影響，種植設計、客土、壓實、施肥，水文、土壤改良劑、苗木遮蔽物和施工管理皆是經營重點。若有知識缺口，則先進行小區域的恢復測試，以期促進或匯集生態系統所需的條件，使植物、動物和微生物得以自行恢復健康、發展和可持續性。

在執行層面上，宜包括所有利害關係人特定的需求和利益。在某些情況下，投資於更大規模的逐步改進（如控制入侵物種），比在較小規模或較短時間內進行更繁重的工作可能會取得更大的效果。

生態復育面向的實施原則和做法

生態系統不僅是有機體的集合，它還反映植物、動物和人類於過去環境條件的共同進化。復育是一個多步驟並進的處理過程，是整個恢復過程中不間斷進行的連續活動。

生態復育面向的實施原則

推動森林與景觀復育工作的關鍵問題有 (Robin 等人，2015)：

- (1) 政策、法令發展和整合：制定政策框架，建立相關機關、機構的合作平臺，提升執行森林復育的有利環境。
- (2) 高層的政治支持：包括政策、法律、經費、組織、資源調動。
- (3) 民眾和機關、機構對森林復育的了解：撰擬政策說帖，說明政策執行之必要性

和利益，建立配套措施，營造社會支持的環境，達成明確的共識，政策產生顯著的長期影響；激勵措施包括提供技術諮詢和推廣服務，提供財務和非財務支持，促進進入生態系統服務和其他價值鏈的市場機會，以及願意參與以抵銷對環境造成影響的行為。

- (4) 評估退化和森林復育的機會，建立審查原則和機制，優先進行的區域、範圍及項目。
- (5) 掌握土地生物物理和社會、政治因素：美國森林署認為森林復育計畫目的，在鼓勵合作的，以科學為基礎的生態系統優先進行，利用當地資源與國家和私人資源，並考量生態、經濟和社會的可持續性，展示各種生態恢復技術，達到生態和流域健康目標。森林復育採取改變環境及社會阻力最少的方式，降低負面影響的行動。
- (6) 復育模式和補充說明：為實施森林復育提供支持並擴展其使用。
- (7) 每項干預類型的量化成本和收益：量化的森林復育成本及最大的生態系統服務價值，森林復育對不同類型的土地所有者具有的吸引力。
- (8) 利害關係人間的成本和收益：森林復育應提出對土地所有人和社區的說服論點，土地所有人從森林復育的過程中獲益，小農從森林復育中獲得收入並克服機會成本，社區從生態系統服務獲得集體的效益，土地所有人的投入成本和集體利益間的公平。

(9) 干預措施後的投資報酬率：在什麼生態或經濟規模條件下提出干預措施，干預措施的影響功能。

- (10) 能力建構和知識共享：加強機關、機構、社區和民眾規劃和管理森林復育能力，獲取和分享創新經驗，吸取新知識、新技術的機會和做法。
- (11) 夥伴關係和資金籌集：發展並加強關鍵性的夥伴關係，和土地所有者合作創造新的收入，籌措額外的森林復育基金，協調、分配和管理使總體利益和成本效益最大。
- (12) 監測和評估：對環境和經濟的生物多樣性及生態系統服務量化、查核、督導。美國農業部森林署推動多方合作監測森林景觀恢復計畫，將不同觀點和專業知識的人員聚在一起，分享討論，達成協議，以解決廣泛的森林復育問題。該計畫以監測、評估、問責，並在項目實施開始後至少15年內評估對生態、社會和經濟的正面或負面影響。

生態復育面向的做法

從生態恢復工作開始，到恢復目標達成的整個過程。包括以下部分或所有階段 (Vaughn等人，2010)：

- (1) 評估現場 (Assessing the Site)：從退化的地點開始評估修復現場狀況。
 - (A) 調查該地區過去和當前狀況，確定生態系統擾動的原因，是自然還是人為造成的，以及退化的程度。
 - (B) 評估該環境恢復功能特徵，確認恢復

地點所需的任何潛在操作方式及阻止或逆轉退化的方法，預測當地發生自然恢復的可能性及方式。

- (C) 基於經費的考慮，計畫選擇採取哪種人為措施，以阻止該地環境的持續惡化。
- (D) 規劃之初應掌握問題範圍（耿翊，2018）和面積。
- (E) 如果考慮採用自然恢復方式，必須伴隨著監測與評估。若採取人為措施，應該確定選擇執行項目的可行性及必要的資源，包括資金、勞力、設備、技術知識等，以及當地社區和政府機構的參與及支持程度，尤其是關鍵性夥伴及執行團隊的組成。

(2) 制定計畫目標 (Formulating Project Goals)：制定計畫目標是關鍵性步驟。

先行準備森林景觀復育的意義和目的說帖，以及與生物多樣性的關係。針對當地的生態、社會、人文、法律和經濟條件，建立切合實際的工作目標。為確立復育的生物群落，可以參考自然條件下類似的附近環境，並諮詢地方居民及耆老有關該地干擾前詳細的環境和人文歷史資料，或參考以前的處理案例，目標還可能包括及考慮哪些物種最適合在當前或將來的氣候條件，擬訂處方文件初稿，以突顯計畫可能帶給社會和生態系統的好處。包括：

- (A) 資料數據：利害關係人調查、復育干

預措施相對應的利害關係人優先次序、復育數據和成本效益、地圖、科學文獻。

- (B) 復育機會繪製：繪製分析工作坊、空間分析、識別復育方案、評估森林復育的機會、審查和修改、優化和數字化以及數字地圖空間分析方法。
- (C) 復育經濟模型和評估：估計成本和效益。
- (D) 復育成本—效益—碳模型：估算方法、使用和報告的碳效益估算、進行成本—效益—碳模型。
- (E) 診斷復育關鍵的技術和方法
- (F) 復育財政和資源分析：私人投資進行復育的潛力評估、新私部門投資範圍評估、私人投資進行修復的阻礙評估、復育方案的私人投資潛力評估。

其後，在與利害關係人協商，應在項目計畫內確定社會目標，包括生態成本和社會成本與其產生的收益，並進行權衡說明，找回上一階段初始狀態的共識。其他考慮目標，包括哪種物種最適合當前或將來的氣候條件、制侵蝕及土石移動、保護野生動植物棲地和物種、保存文化景觀與地方經濟等。計畫目標必須確定利害關係人參與及團隊執行能力。啟動座談會和研討會，商議原則和注意事項，恢復項目的優先次序，並有解決各種拘束的方法，確保所有利害關係人對實現目標的責任（World Resources Institute，2019），實現這些目標的可衡量性評估準

則、指標和項目及監測評估。

美國森林署認為計畫目的在鼓勵合作，以科學為基礎的生態系統優先於復育森林景觀中實施，展示各種生態恢復技術，例如：

- (A) 整合資源復育 (Integrated Resource Restoration)
- (B) 水生生物通道 (Aquatic Organism Passage)
- (C) 傳統道路與步道 (Legacy Roads And Trails)
- (D) 流域復育計畫 (Watershed Restoration Program)

(3) 消除干擾源 (Removing Sources Of Disturbance)：首先以去除問題干擾源為主要處理手段，包括停止耕種，限制放牧，消除外來入侵種等活動，解決土地退化，林地破碎化，隔離種群，限制物種擴散等問題。

(4) 恢復過程／干擾週期 (Restoring Processes/Disturbance Cycles)：有時恢復重要的生態過程 (例如週期洪水或火災)，即可恢復生態系統的完整性。在這些情況下，已經馴化為可以耐受或需要

自然干擾機制的鄉土動植物自行恢復，故無需採取進一步干擾行動。

(5) 修復基質 (Rehabilitating Substrates)：當進行消除干擾源及恢復過程／干擾週期後，生態系統仍低於門檻的下限，該區無法自行恢復或者只能緩慢恢復者，必須進行包括土壤改善恢復 (和水的結合、接種菌根、改善土壤通氣和根系發展、化學性質) 和土地穩定 (保護河岸土壤、控制侵蝕、預防崩塌、穩定植生、恢復水文或水質活動)，以及替代性的森林恢復技術⁸。

(6) 恢復植被 (Restoring Vegetation)：涉及直接恢復植被及植物群落。場地準備好後，運用生態學原理，採用綜合性治理，有助於將不同物種添加到計畫地點，同時考慮氣候因子、生物因子的影響。恢復主義預期該地點會找到可運用的鄉土樹種種子和繁殖體，以及從來源處收集最大的遺傳多樣性。

(7) 監視和維護 (Monitoring And Maintenance)：監視和評估的結果可提供績效管理調適性經營，控制執行進度及分

8 替代性森林恢復技術：傳統造林考慮的是土地面積利用最大化，所以，均勻種植、苗木標準化符合這項標準。但是，在種植的最初幾年，該區域低矮的幼苗均勻覆蓋，對於傳播種子的鳥類來說沒有吸引力的。因此，對鳥類具吸引力的一種替代方式是在這棲地間隔20—50公尺中種植高矮樹冠，使鳥類可以輕鬆移動，並在林間保存仍在破碎森林中的果實種子。換言之，在復育造林的空間中，以原生樹種間隔50公尺的距離，間植速生樹種可能是一種好的選擇。當這些孤立樹高度達到約10公尺或已經影響主要樹種生長時，施以樹冠伐除並留樹幹保護土壤 (Sebastião Venâncio Martins, 2017)。

工，確定達成的恢復目標。美國森林署年度報告要求，必須描述通過實施該策略的項目處理和恢復之所有範圍；對進度進行評估，包括績效衡量，以及上一年的評估，如何助於改善項目績效；描述所取得的社區利益，包括任何當地的經濟利益。

- (8) 人力資本(Human Capital)：人才培力，經由執行過程及相關報告、文獻，持續累積復育的操作案例及執行實績。

森林生態復育案例及分析建議

各林區管理處依據「國土生態保育綠色網絡建置計畫」及「友善環境生態造林計畫造林預定案編案原則」規劃地區進行森林生態復育作業。

森林生態復育個案說明

林務局轄下林區管理處依據轄區內調查資料，檢視營造生物棲地之優先區位，經由生態復育計畫指引，進行生態棲地修補、串連、擴大事宜。有關選擇樹種、栽植方式等項工作，採用調適性經營隨時調整。茲將各林管處執行森林生態復育具代表性的地區及個案彙整如下：

■ 新竹林區管理處營造保安防風林及石虎棲地

新竹處為廣續建構西部淺山（苗栗地區）生態綠網棲地功能及生物多樣性，發揮防風、涵養水源、防止飛砂、自然保育等保安林功能，指定苗栗縣後龍鎮龍港段營造複層保安林。

該地前為火災跡地，亦為石虎出沒的潛勢區（再次於2019年5月30日監測到保育類動物石虎）。為加強火災跡地空隙地補植及撫育既存林木，該處選擇黃槿、水黃皮、草海桐、臺灣海棗、苦楝、朴樹、海欖果等原生樹種，增加保安林防風功能，並擇野生動物嗜口樹種及恢復野生動物棲地及廊道，填補綠網破口及擴大生態效益。計畫進行中，同時辦理石虎及共域哺乳類動物族群調查，為期建全苗栗地區森林永續經營與石虎棲地營造。

■ 南投林區管理處協助水利署改善與防制濁水溪河川揚塵

南投處為協助水利署第四河川局改善與防制雲林濁水溪揚塵問題，2017年開始進行濁水溪河川揚塵防治改善工作，邀請學者專家現場評估獲致建議：「造林預定地大部分已有草類及構樹、銀合

歡等覆蓋，不應再以人為大面積擾動林地，應以不干擾原生態狀況為原則，針對孔隙地進行苗木栽植。」協助建置濁水溪河川高灘地防洪林帶，以串聯綠色生態廊道。

南投處在該地選擇以生態造林，採用孔隙地穴植營造密植、群狀混植或混合的複層林，發揮植生定砂、防風功效。但非孔隙地、非穴植巢地，則儘量保護植被保護土壤。

另，林務局與企業團體合作，以企業認養造林地方式，由財團法人慈心有機農業發展基金會於2018年4月認養西螺橋下濁水溪河川高灘地，種植繖楊、白千層、苦楝、相思樹、臺灣海桐等喬木，與草海桐、冬青菊、楨梧、苦檻藍、山黃梔等灌木，並保留當地原生植生如構樹、血桐、小葉桑、苦楝等，誘鳥原生植物及蓖麻、茵陳蒿、甜根子草等，以期快速形成綠帶。

慈心基金會考量當地氣候炎熱乾燥，地溫極高問題，參考國外種樹技術，提出水源寶植樹盆設計，將雨水或人工補水收集到水寶盆下層貯存，並以棉繩毛細原理持續引水提供土壤濕度。盆體可阻擋陽光直射，保護樹苗及土壤，水寶盆上層可防止儲水散失、同時減少強風直擊。盆中種植2株苗木，以保證苗木

存活，避免補植及初期成長。水寶盆可節省後續澆灌、除草等維護人力。由於水寶盆採用環保材質，使用後約1年內可自然分解，不致造成環境負擔。

■ 嘉義林區管理處營造海岸保安林及候鳥濕地

嘉義處為海岸保安林防風、防砂、防潮害、鹽霧及增加生物多樣性，從計畫端整體構想防風林局部挖填與改變現有渠道，加高臨海土丘的作法，選擇嘉義縣布袋第1920號保安林濫墾魚塭收回區掘溝築堤復育為濕地，保留原有地貌，吸引遷移性水鳥與黑面琵鷺棲息，並於堤上栽植紅樹類或半紅樹類樹木，打造濱海綠色廊道。嘉義處在計畫執行期間，納入分區、種苗溯源、環境教育、監工管理、公民參與、監測機制及跨課室合作的機制，同時辦理轄內國土生態保育綠色網絡建置策略，作為後續工作之依據，並參考海岸林生態復育造林計畫，凡木麻黃老化或災害發生形成的孔隙地，除補植木麻黃外，輔以自然復育或耐蔭種，如海欖果、朴樹、水黃皮、繖楊、銀葉樹、臺灣海桐，或間植福木、臺灣欒樹、水黃皮、臺灣海棗、苦楝等。如為地層下陷積水區域，則因地制宜，在堤上栽植黃槿、苦楝、海欖果等耐泡水樹種，行政並朝最有利標招標方式辦理。

■屏東林區管理處移除外來入侵種銀合歡

屏東處2004年就外來種銀合歡入侵恆春半島，造成生物多樣性下降問題，召開防治會議，決議由該處及墾丁國家公園管理處分別執行移除及造林工作。該處於2015年通盤檢討，改由國有林地為主體，協同各國、公有地經營管理機關辦理，並定期追蹤執行成效。2018年配合國土生態保育綠色網絡建置計畫，導入生態廊道、友善環境、原生造林等項目，以串連成連續性之生態棲地，提高物種多樣性，恢復恆春半島原有景觀及自然生態。

每年規劃區域，針對銀合歡侵入進行生態廊道復育造林。2018年共規劃7條生態廊道，種植相思樹、大葉山欖、瓊崖海棠、臺灣海桐、大葉欖仁、海欖果、黃槿、繖楊、苦楝、烏柏及木麻黃等樹種。移除方式依保育標的、地形狀況、交通情形、保全對象等，選擇全面移除整地造林，或留存保護帶（凡移除10公尺銀合歡林帶，則保留旁2—5公尺樹帶，樹帶內銀合歡樹幹截留至1.5公尺高，銀合歡殘枝堆置於草列作為保護帶），並保留林地內原生樹木及樹苗。

執行期間委託學校進行「銀合歡移除復育之生態效益評估」計畫，「恆春半島銀合歡移除復育造林生態廊道串連及

效益評估」等，針對該地進行潛在廊道分析及建置規劃，並進行監測。

■臺東林區管理處營造國、公有河川兩側生態廊道

臺東處鑑於臺東縣卑南溪中下游，於旱季及季風季節發生河川揚塵，於2018年起推動國、公有河川兩側復育當地原生樹種，營造生態廊道計畫。與經濟部水利署第八河川局合作，於卑南溪北岸高灘地掘溝培土進行「河川綠帶造林」，並進行揚塵監測。

計畫前，先觀察了解高灘地作業區或提前培厚區，汛期及颱風季節最高水位線，以確定造林地點、位置和土壤量。學者專家、觀察家生態公司人員選擇自迎風面營造由低至高之林相，抬升風向，阻擋、減緩風砂。前期條播以濱刀豆、蔓荊等蔓藤植物種子直播，條植栽培，建立初步地被覆蓋。中期以林投、草海桐、臭娘子、黃槿、黃連木、相思樹等抗風、耐鹽、耐旱的原生海岸林植物進行二次植生。隔年春季與雨季來臨，加速苗木根系及枝葉開展。造林刈草，分植列刈除，草列保留的作業方式，或穴植刈草等等。由於水源取得容易，雖然覆土栽植區地勢較高，仍埋設噴灌設施，定時澆水並減少揚塵。

森林生態復育案例專家學者建議

為便於敘述，茲分期前規劃及執行期間二階段綜合建議：

■ 期前規劃

- (1) 生態造林應從生態的角度思考，偏重環境的生物多樣性、基因龐雜性、鄉土地域性、冠層複雜化和鑲嵌式管理等特性，儘量選擇多元友善環境的造林方法，減少人為干擾。施業考慮尺度、時間、空間、方法和程序等，有別於傳統木材生產造林，平地景觀綠美化營造。
- (2) 造林工作需數十年，甚達百年之久，因此要注意環境動態演變。例如母樹定位、物候調查、種子成熟、母樹友善採取、苗圃育苗、苗木健康管理、出栽撫育等工作。
- (3) 聯合國指出，新型態造林應關照環境、經濟和社會面向。例如，動植物生物多樣性、碳吸存、防範崩塌、省工育林、人力資本、建造的目標及目的。由於考慮的面向遠遠超出傳統式造林工作項目，故其造林目的、選種、作業原則、工作方法、投入經費等應清楚明訂。又，生態造林，隨環境、微氣候、造林目的等不同而有適地適木和適地適法，為採取因地制宜之作法，例如棲地營造、樹種選擇、植栽方法、後續撫育、維護及頻度的研究和相對應的生態造林技術等，應加速進行，並加強機關內、

外人員專業訓練和溝通平臺。同時，研發新型復育工具，解決未來人力短缺問題。

- (4) 為維持並增強造林技術傳承，減少人員流動，以及有足夠的規劃作業時間，降低作業上的不確定性等，建議選擇限制性最有利標，朝多年期契約或以擴充契約的方式辦理。
- (5) 為使種子培育和苗木出栽有效搭配，建議整併採種契約、苗圃培育契約及出栽造林契約，由專人負責先後時序控管，達成最大的整體成果。為求工作執行的公正性以及契約的穩定性，相關工作建議由第三方查證辦理，例如檢驗發芽。
- (6) 有關生態造林宜進一步瞭解選用特有或稀有物種榲欖、刺花椒等樹種生理特性（李炎壽，2020），若是全球氣候變遷的影響？則生態造林的區位就應更加審慎選定。

■ 執行期間

- (1) 種子由各工作站配合地區採集，可增加遺傳歧異度，降低遠距種源之風險。採種應依規定程序辦理，儘量增加母樹株數，並減少採種對母樹的傷害（郭幸榮，2020）。
- (2) 建議依樹種別，甚至不同種源，分別訂定種子採集、處理、最適含水率、貯藏方法、休眠解除方法，以提升採種、種子發芽率及發芽期（郭幸榮，2020）。

- (3) 以森林土培育成有機介質混入育苗土中，使樹木出栽前即有完整之菌根菌。菌根菌之育苗培育，應列入合約管理（李炎壽，2020）。
- (4) 建造動物生態廊道，灌木類樹種格外重要，可選擇適應於極陰至極陽性之樹種建造（李炎壽，2020）。
- (5) 進行野生動物保育、保安林營造維護、生態環境價值等工作評估，應搭配持續的監測觀察結果，就不同地形和環境，選用造林樹種是陽性或陰性、速生或緩生、樹冠幅大或小、根系競爭等，以及樹種內、樹種間的競爭，採用單株、群植或團植等應以科學調查，規劃出相對應的執行方式。
- (6) 選擇行水區高灘地造林，由於該地環境惡劣、土層淺薄、地溫偏高、保護價值尚不明確，建議先進行小規模的生態造林試驗，確認土質物理、化學環境，並利用旁側的鄉土樹種、草本等移植叢植造林，並注意投入及產出成效。
- (7) 濁水溪揚塵防治造林（李炎壽，2020）：
 - (A) 迎風面第一線建置2至3道防風籬或防風網內植黃槿，第二線木麻黃。內部再密植灌木、苦楡藍等樹種。
 - (B) 造林季節掌握在雨季春季3月（中部宜於春雨時）開始；夏季不可造林。
- (8) 當淺山地區種植蜜源樹種，回應社區居民的需求時，尚請考量木材收穫及景觀效益（李炎壽，2020）。

結論

臺灣土地狹人稠，倘欲大面積進行全面森林恢復，在現實面是一項複雜且具不確定性的行動，因其牽涉到環境生態、社會、經濟、政治間的各種互動。由於這些選擇和決定，皆取決於廣泛利害關係人的理解和參與。因此，森林生態復育工作必須在充分的科學知識支持，理性和合作的共識，足夠的時間持續不斷的監測與調適，將退化的土地藉由鑲嵌式復育或里山倡議的模式進行恢復，創造森林與保護區、農業、濕地和住宅區結合在整個景觀範圍內，建立配套措施，撰擬政策說帖，方可獲得實質正面的結果。

其次，大面積地區進行森林復育宜側重功能性生態系統的恢復，而不是大量成本小區域的歷史景觀重建。生態復育可作為我們對生態理解的實踐檢驗，亦可將失敗的案件，視為對生態學進一步的了解認識。🌲

致謝：感謝林務局保育組蕭祺暉技正、造林生產組何湘梅技正、農林航空測量所林科言副所長和各林區管理處協助。