

研究報告

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

邱清安^{1,2,*} 徐憲生¹

【摘要】為解決日益嚴重的生態系退化問題，復育生態學在近20年來蓬勃發展。為改善退化之土地，我們面臨抉擇應採取被動消極地放任植群自生演替，或主動積極地以人為力量介入進行生態復育？本文闡述及圖示生態系退化與恢復的歷程、說明影響植物更新之因素、分析決定退化地之恢復對策(自生演替vs. 人工復育)時應考量的因素，建議人工生態復育措施必須是基於科學基礎，再小心謹慎地實施，當退化地之退化程度低、面積小、周邊植群近而完整、復原彈性佳，則不須人工復育，即能藉由自生演替在短期內回復植群，亦即可放任自然恢復(由老天爺/土地公種樹)的適用情況；然而當退化地之退化程度高、面積大、周邊植群遠而破碎、復原彈性差，則自生演替將十分緩慢或停滯，甚至發生持續性退化(如退化地土壤持續被沖蝕)，則有必要採行積極的人工生態復育。實務上，自生演替與人工復育是可相輔相成的，因為探究自生演替原理有助於瞭解人工復育應依循之生態法則，而適宜的人工復育措施則有助於自生演替之結構與功能的加速恢復，通常整合應用自生演替原理與人工復育措施才是退化地恢復之最有效的途徑；有些退化地僅需人力最小介入的復育方式，例如分析環境特性後增加鄉土樹種種子來源即能更快地回復豐富的森林；但若未充分瞭解環境與植物特性即貿然種植不當樹種，經常是浪費資源且成效不佳，形同推舟於陸，勞而無功。

【關鍵詞】退化地、被動的自生演替、主動的人工復育

Research paper

An optimal approach to degraded land: passively natural recovery by spontaneous succession vs. actively ecological restoration by human intervention

Ching-An Chiu^{1,2,*} Hsien-Sheng Hsu¹

1. 國立中興大學實驗林管理處

The Experimental Forest Management Office, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan

2. 國立中興大學森林學系

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

* 通訊作者，402臺中市南區國光路250號

Corresponding author, 250 Kuo kung Road, Taichung 402, Taiwan.

Tel: +886-4-22840397 ext.137. Fax: +886-4-22861455.

e-mail: cachi@nchu.edu.tw

【Abstract】 For remedying the gradually serious ecosystem degradation, restoration ecology had been developed energetically over the last two decades. The decision must be made, passively spontaneous succession vs. actively ecological restoration, to recover the degraded land. This paper interpreted and illustrated the processes of ecological degradation and recovery, the factors affecting plant regeneration, and the major considerations for adopting appropriate strategy to repair the degraded lands. We suggested that ecological restoration must be based on the scientific knowledge, and then be manipulated carefully. When the degraded site is small area, with slight degradation and higher resilience, and surrounded by natural vegetation, the passively spontaneous succession is sufficient without human intervention. When the degraded site is extensive, with heavy degradation and lower resilience, and absence of remnant vegetation, the actively ecological restoration is necessary. We suggested that put natural succession theory in artificial restoration practice, they complement and supplement each other. Consequently, a mixed passive-active repair manipulation should be the most effective approach. For some degraded sites the minimum intervention approach is a considerable option. For example, adding indigenous seeds appropriate to local environment could facilitate the recovery of rich forest. When one rushed plants the incongruous trees without careful investigation and planning would often be doomed to failure and be in vain.

【Key words】 degraded land, passively natural succession, actively artificial restoration

一、前言

面對退化的土地 (degraded land)，我們應被動消極地放任土地自生演替 (passively spontaneous/natural succession)，或應主動積極地以人為力量介入進行生態復育 (actively ecological restoration)？環保團體大多擁護前者—讓土地及植群自然恢復，而公務單位則傾向後者—以人工造林方式來加速森林建造，此一「老天爺種樹」或「人工造林」何者較好的問題，應是基於科學基礎的判斷，而非意識型態之爭。若能學習「老天爺種樹」的自生演替精義，在必要時輔以合乎生態法則之「人工造林」來促進自然植群回復，常常才是最佳的途徑，這也是生態復育的原始出發點。

全球超過1/3的地表因人類活動而改變 (Vitousek et al. 1997)，由於人類長期開發利用而致使生態系之結構與功能退化，千禧年生態系與人類福祉一書 (MEA 2005) 指出，超過1/3的生態系由於破碎化、非永續耕作、污染、外來種等問題而嚴重退化，為解決此一困境，

許多經營管理的決策者愈來愈重視以復育生態學 (restoration ecology) 的方法來恢復生態系應有之結構與功能，相關的研究也急劇的增加中 (Hobbs & Cramer 2008; Suding 2011; Stanturf et al. 2014; 邱清安 2012；邱清安等 2015)，同時聯合國環境規劃署也將生態系復育視為就地保育 (*in situ* conservation) 中很重要的一環 (WCMC 1996)。

恢復退化地的原有植群，可回復生態系的產品與服務 (ecosystem goods and services) (Lamb & Gilmour 2003; Dodds et al. 2008)，提升環境品質 (水資源、碳吸存等)、野生物 (食物、棲息地等)、景觀美學、人類健康等多重效益 (BWSR 2013)，因此我們應將生態復育視為一種投資 (investment) (Benayas 2005)，須要主動積極的復育措施 (Dorner 2002; Stanturf et al. 2012)。然而，近年來在許多報章媒體上，仍不時有人呼籲應放任土地自然演替，認為老天爺/土地公比人更會種樹而且更快速？緣此，本文將闡述土地退化與回復的歷程，說明

影響植物更新之因素，來探討在面對退化的土地時，我們到底應被動消極的 (passive) 放任土地植群自生演替，抑或應主動積極的 (active) 以人為力量介入 (intervention) 進行生態復育。

二、退化與恢復的歷程

生態系退化是指受到人為或/及自然因素之干擾，致使生態系之結構與功能遭受破壞，而表現出生物多樣性、公益服務、生產力、穩定性等下降之特徵；簡言之，退化亦即生態系脫離了原有的健康完整狀態 (邱清安 2012)。然而，退化是一個非常主觀的 (subjective) 術語 (Lamb & Gilmour 2003)，暫且不論個人景觀美學之偏好 (例如：有些人偏愛高海拔森林火燒後呈現退化狀態之箭竹草地)，就森林生態環境而言，從生長不佳的次生林，到林木更新

遲滯而形成草地，再到森林完全被伐除且土壤嚴重被沖蝕，都可被視為退化的類型 (ITTO 2002)。因此，退化是具有程度性的、逐步下降的過程 (King & Hobbs 2006)。

生態恢復 (recovery) 與生態退化可視為相反的過程 (Cramer et al. 2008)，圖1表示生態系之退化與恢復是具有程度性的逐步變化歷程 (數字1~6)，數字1表示極為退化的生態系 (例如：植群被破壞後產生的沖蝕裸地)，數字6表示最為健康的生態系 (例如：結構功能完整之原始林)，退化係為6→1之過程的表現，而回復係為1→6之過程的表現；當生態系退化之程度愈高，其結構與功能愈低下，此時所須之回復的時間及成本將愈高 (Chazdon 2008; Cramer et al. 2008; Holl & Aide 2011)。

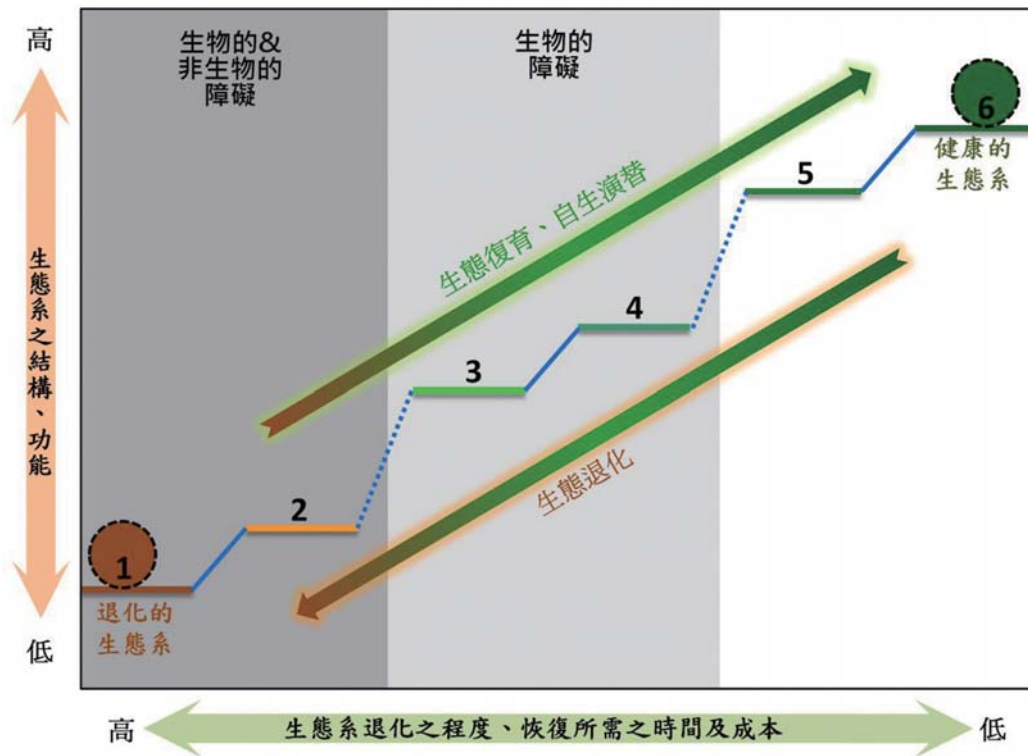


圖1. 生態系之退化與恢復是逐步變化的相反過程：當生態系退化之程度愈高，其結構與功能愈低下，將同時面臨非生物的障礙 (如土壤理化性質改變) 與生物的障礙 (如土壤種子庫貧乏)，此時生態恢復 (生態復育、自生演替) 所需之時間及成本將愈高。

三、影響植物更新之因素

種子植物更新 (regeneration) 方式可分為無性繁殖 (asexual propagation) 與有性繁殖 (sexual propagation)；無性繁殖又稱為分生繁殖，指植物利用組織或器官繁衍下一代，例如萌蘖及扦插；而有性繁殖又稱為種子繁殖，是種子植物最重要的繁殖方式，大多數的種子植物可經由開花、結實，而藉由種子發芽、成長繁衍下一代。以樹木為例，其有性繁殖更新成長的過程如圖2所示：種子 (seed) → 幼苗 (seedling) → 稚樹 (sapling) → 年輕樹 (young tree) → 成熟樹 (mature tree)，此一過程也表現出個體數量的減少、個體形體的增大。退化地之林木種子的可獲得性 (seed availability) 是影響植群恢復

的重要關鍵 (Clark et al. 2007; Scott & Morgan 2012)，每一樹種產生種子的數量差異非常大，基本上Pianka (1970) 將繁殖策略概分為r擇汰 (r selection, 生產多量種子，以量取勝，如台灣赤楊)、K擇汰 (K selection, 生產少量種子，以質取勝，如大葉石櫟)，但無論如何，所有的樹種之更新成長過程都符合圖2的特徵：個體數量的減少、個體形體的增大，差別在於種子繁殖策略上，以量取勝的樹種呈現鈍三角形，而以質取勝的樹種呈現銳三角形，然此二者卻都顯示了林木從種子到成熟樹是十分難能可貴的，以台灣紅檜為例，成熟樹結實年可產生何止百萬粒之種子，而這大量的種子能順利生長至成熟的紅檜巨木的機率則微乎其微。

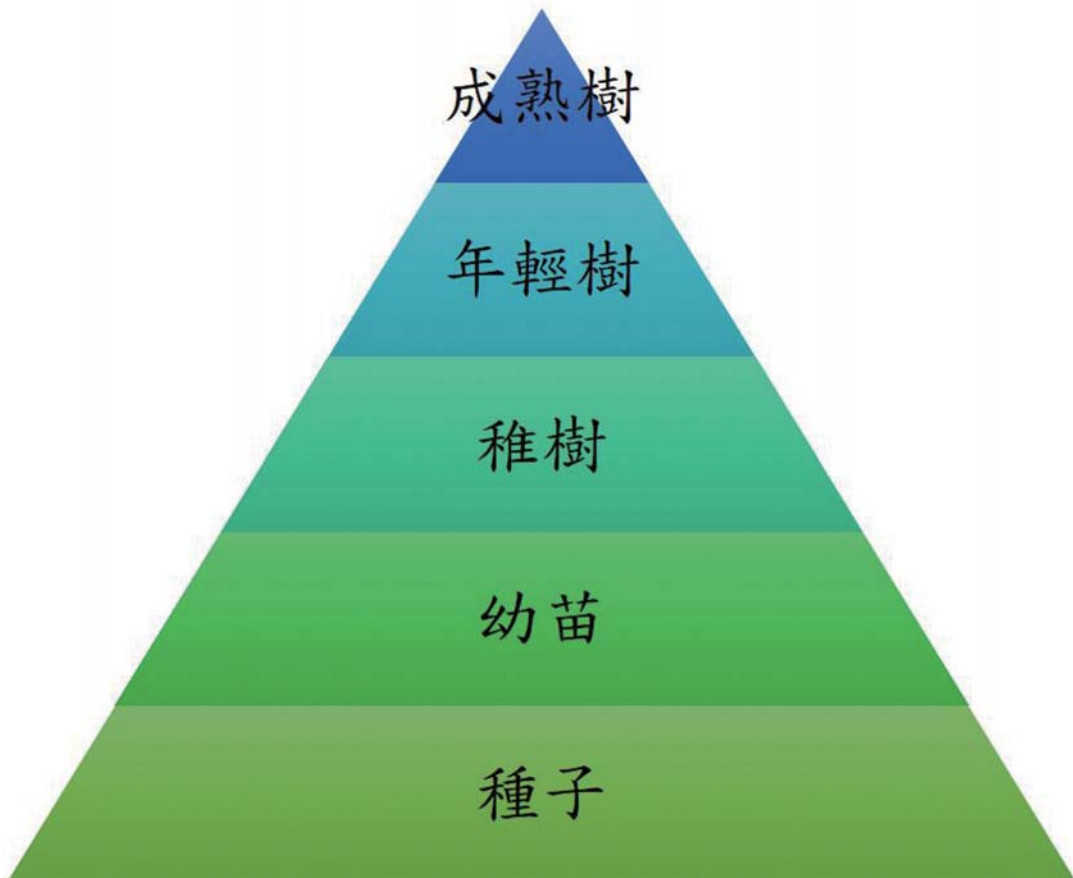


圖2. 林木更新成長之過程：種子 (seed) → 幼苗 (seedling) → 稚樹 (sapling) → 年輕樹 (young tree) → 成熟樹 (mature tree)，此一過程伴隨著個體數量的減少、形體的增大。

退化地上林木之更新取決於新林木的拓殖 (recruitment)，從種子發芽、成長至樹木的各種過程均可能遭遇阻礙。造成新林木拓殖的限制 (recruitment limitation) 可能來自於不同過程及因素 (Chapman & Chapman 1999; Stevens et al. 2004; Acácio et al. 2007; Shea 2007; Standish et al. 2007; Mendoza et al. 2009; Vargas & Stevenson 2013)，圖3顯示了造成新林木拓殖困難的4種限制：(1) 種源限制 (source/production limitation) — 林木無法產生充足的有效種子數量；(2) 散播限制 (dispersal/dissemination limitation) — 種子無法有效地散播至生育地；(3) 發芽限制 (germination limitation) — 種子受生物的、非生物的因素而無法發芽；(4) 建成

限制 (establishment limitation) — 種子在生育地發芽後，苗木受到環境逆境及物種競爭阻礙等因素而無法成長為樹木。這些限制可以簡單被理解為前半段的隨機性過程 (stochastic process, 亦即是否有足夠種子有效地散播至生育地)、後半段的決定性過程 (deterministic process, 亦即生育環境之生態棲位 (niche) 決定了是否種子可發芽、苗木可成長) (Scott & Morgan 2012)，唯有當母樹生產足夠的有效種子，未被掠奪者 (predator) 大量取食，並散播至適宜的生育地，同時生態環境適合種子發芽，苗木能抵抗環境逆境、物種競爭、動物攝食而順利成長，才能達成新林木的拓殖及退化地之林木的更新。

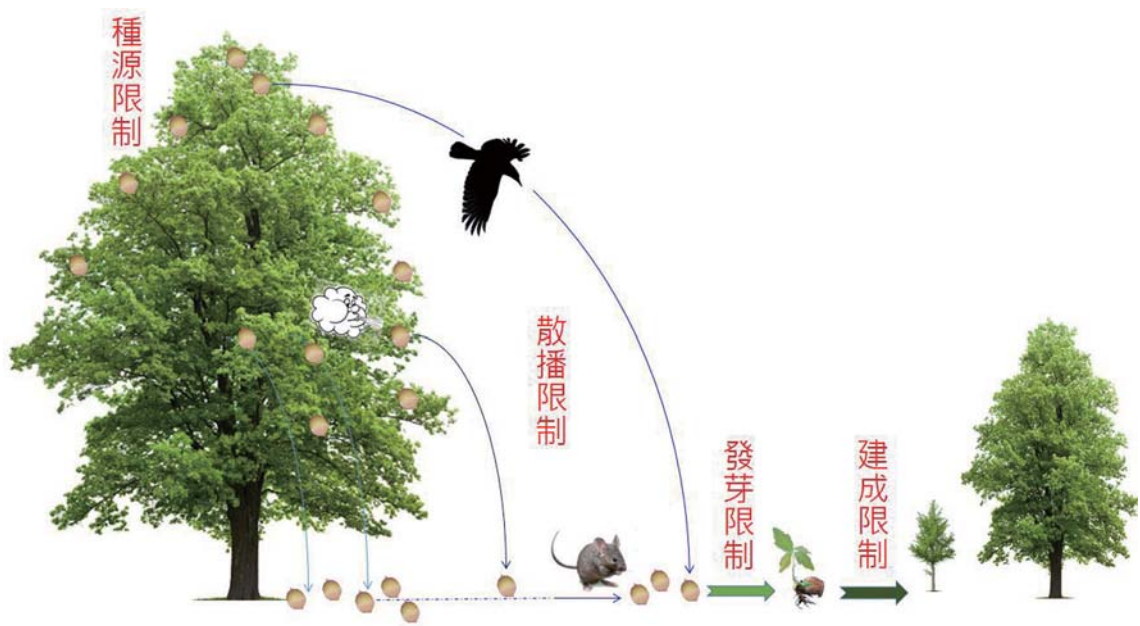


圖3. 新林木拓殖限制 (recruitment limitation) 之可能因素：(1) 種源限制 (source limitation) — 林木無法產生足夠的有效種子數量；(2) 散播限制 (dispersal limitation) — 種子無法有效地散播至適宜生育地；(3) 發芽限制 (germination limitation) — 種子受阻於生物的、非生物的障礙而無法發芽；(4) 建成限制 (establishment limitation) — 種子在生育地發芽後，苗木受到環境逆境及物種競爭等阻礙而無法成長為樹木。

四、處理退化地之對策：被動消極的自生演替vs.主動積極的人工復育

近年來許多報告 (Prach & Hobbs 2008; Jones & Schmitz 2009; Holl & Aide 2011; Wilson et al. 2011; Bannister et al. 2014; Zahawi et al. 2014) 討論著，在面對退化地時，我們應該讓其自生演替自然恢復，或應該主動積極的進行人工生態復育？有時在決定退化地之恢復策略是相對較單純的，以下為2個簡化例子：(1) 在新砍伐後的小面積林地，可藉由現地之土壤種子庫 (seed bank)、樹頭萌蘖、鄰近植群天然下種，即便是放任退化地自生演替也能很快地再回復為森林；(2) 在林區的大面積廢棄礦場，土壤理化及水文地形環境已完全被改變且欠缺林木種源，若無主動積極的人工生態復育，即便數十年後依然不易恢復原有植群。上揭舉例意味著不同的退化地有不同的生物與環境情況，處理退化地的決策必須因地制宜。

各種類型之退化地的回復速度均不同 (Jones & Schmitz 2009)，可利用資源及社會期盼也不同，因此應具有其各自的最佳處理對策 (Cramer et al. 2008; Suding 2011; Stanturf et al. 2014)。許多報告論及是否應以人為力量介入生態恢復的考量因子，Holl & Aide (2011) 將之歸納為：生態系彈性 (ecosystem resilience)、土地利用歷史 (land-use history)、地景環境 (landscape context)、目標 (goals)、資源 (resources)；除了生態因素的考量，人工復育之必要性也涉及了社會、政策、經濟、文化、美學等多種面向 (social, political, economic, and cultural dimensions) (Egan et al. 2011)。圖4為本文建議在決定退化地之恢復對策 (消極的自然演替vs. 積極的人工復育) 時應考量的因素：

1. 土地利用強度與退化程度：利用强度高且退化程度嚴重的土地應傾向於積極的人為復育。土地退化程度通常隨土地利用強度而加劇，所有的土地利用歷史都將對植群恢復造成不同的阻礙，如圖1所示包括非生物的遺害 (abiotic legacy, 如土壤理化性質改變)、生

物的遺害 (biotic legacy, 如種子庫及微生物消失)。

2. 退化地的面積範圍：大面積的退化地較需人工復育，小面積退化地 (較接近於森林孔隙地之概念) 可自然演替恢復。
3. 退化地與周邊完整植群的距離：退化地距離健康完整的森林植群愈遠，則林木種子散播移入之機會愈低，愈須要人工復育 (Kouki et al. 2012)。
4. 退化地內在的生態系彈性 (intrinsic ecosystem resilience)：退化地生態系若具有適宜的水熱境制 (moisture and thermal regimes)、較強的種子散播 (dispersal) 及萌蘖 (sprout) 能力、理化性質良好的土壤等，均有助於植群之自生演替恢復，因而較不需人為力量介入復育。
5. 可利用的資源：執行生態復育工作須花費許多金錢、勞動力、水電機械等多種資源成本，必須考量這些資源的可獲得性。
6. 人為復育所需的技能：決定採行人工復育，須配合具備較高的採種、育苗、種植、維護等方面之知識及技術能力。
7. 長期生態恢復後之生物多樣性：退化地經過長期的自生演替後，在自然選汰過程中通常會包含較多物種 (Prach & Pyšek 2001)，不同演替階段將出現早期先驅 (pioneer) 樹種、後期極盛相 (climax) 樹種等；而生態復育之生物多樣性取決於所復育之目標樹種的種數，雖然生態復育之多樣性通常較自生演替為低 (Murcia 1997)，但在操作上可藉由多樹種栽植 (Miyawaki 1999)、骨架樹種法 (framework species method, Elliott et al. 2003)、促進天然更新 (assisted natural regeneration, Shono et al. 2007) 等方法來提高生態復育之生物多樣性。
8. 不同社群對生態恢復之期望：不同社群及權益相關人 (stakeholders, 如土地所有權人、林務機構、保育團體) 對退化地恢復目標常具有不同的期望，例如強調金錢投資報酬率、生物多樣性、水土保持、景觀遊憩、木

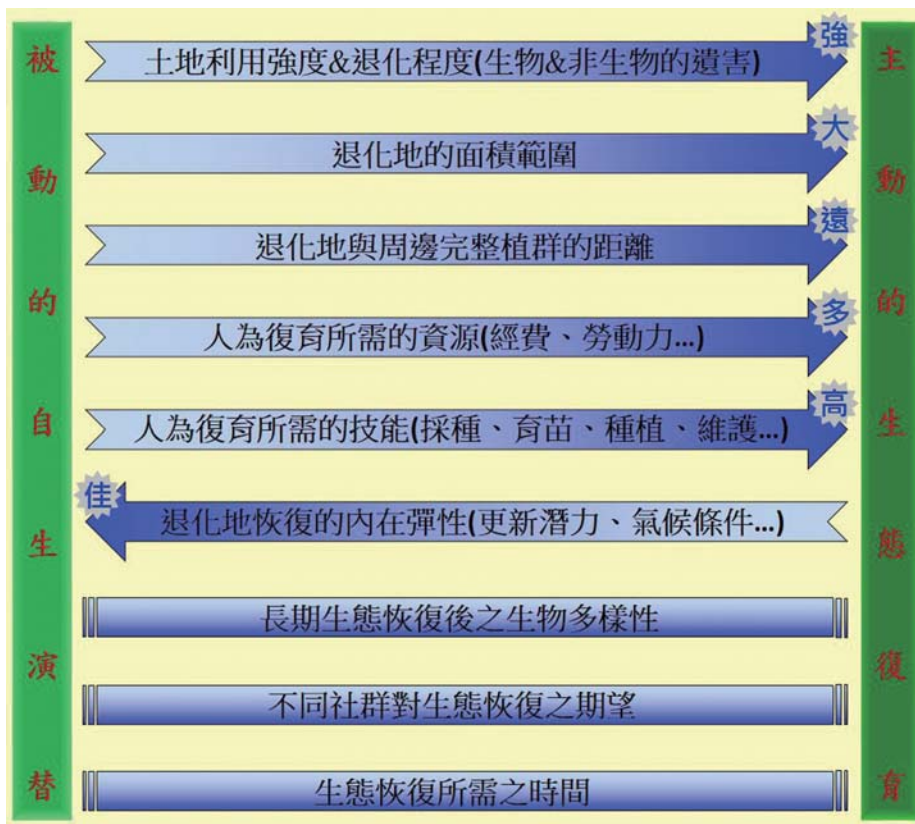


圖4. 處理退化地之對策須因地制宜，應考量的因素包括生態的、人類觀點的面向，可放任退化地消極的自生演替 (如退化地恢復的內在彈性甚佳時)，也可採取主動積極的人工復育 (如土地退化程度很強時)，本圖之9項因素在未來面對退化地時可逐一檢視審慎考量，俾利制定最佳的退化地恢復策略。

材生產、環境公益效能等面向，這些不同的期望目標將左右退化地未來被處理的重點與方向。

9.生態恢復所需之時間：這常是退化地經營管理單位面臨的首要問題，面對退化地大多數人均希望能儘快回復植群 (Prach & Hobbs 2008)，植群的快速回復經常也伴隨了生物多樣性、碳吸存、水土保持等多重效益。退化地植群回復所需之時間是因地而異的，主要取決於退化程度、面積範圍、周邊植群、復原彈性等，須要綜合性的判斷：當退化程度低、面積小、周邊植群近而完整、復原彈性佳，則退化地不須人為力量介入復育，即

能藉由自生演替在短期內回復植群，亦即前述可由老天爺/土地公種樹的適用情況，例如Uhl (1987) 在亞馬遜調查燒墾後之小面積 (1-2 ha) 退化地，發現> 2 m高的樹種，從第1年17種增加到第5年35種，且地上部生物量經過5年自生演替已接近原有森林。然而，當退化程度高、面積大、周邊植群遠而破碎、復原彈性差，則自生演替十分緩慢或停滯，甚至發生持續性退化 (如退化地土壤連續被沖蝕)，則有必要採行積極的人為生態復育，例如Standish et al. (2007) 在澳洲調查廢耕的麥田，經過45年仍不見原生樹種之更新，而是由入侵野草長期佔據，欠缺種子散

播進入、無適宜種子發芽生境，以及外來野草之強勢競爭 (competition) 都是阻礙原生樹種自然恢復的因素，另外，Jones & Schmitz (2009) 的演替文獻分析結果也指出，大部分的森林生態系被破壞後，自然恢復之時間多超過40年，特別是經過長期耕作的森林退化地，若無主動積極的人為復育，則要恢復原有森林所需之時間可能超過百年以上 (Cramer et al. 2008; Scott & Morgan 2012)。

在台灣有許多退化地植群回復之實例可提供進一步思考自生演替與人工復育之適用時機，圖5比較了兩處荒廢之農作地，圖5A為嘉義縣中埔鄉鹿角埤之荒廢檳榔園，偏屬於圖4左側之被動的自生演替，在無人力介入造林之情況下，經過20年已自然更新30餘種當地的原生樹種，包括香楠 (*Machilus zuihoensis*)、江某 (*Schefflera octophylla*)、山鹽青 (*Rhus javanica* var. *roxburghiana*)、茄苳 (*Bischofia javanica*)、朴樹 (*Celtis sinensis*)、菱果榕 (*Ficus septica*)、樹杞 (*Ardisia sieboldii*)、山黃麻 (*Trema orientalis*) 等。圖5B為台中武陵廢耕菜園，偏屬於圖4右側之主動的生態復育，經過了數十年的耕作與大量施用雞糞及石灰，即便廢耕了6年仍以大扁雀麥 (*Bromus catharticus*)、野茼蒿 (*Conyza sumatrensis*) 等外來雜草及五節芒 (*Miscanthus floridulus*) 佔絕對優勢，而無任何當地樹種天然更新，同時再對照鄰近有勝溪畔已廢耕20年的菜園，仍停滯於草生地植群，因此可以推論若不想等待百年以上，以主動積極的人為力量來介入，進行森林生態復育將是有其必要性。圖5例子之自生演替或人工復育並非唯一的選項，而是在逐一檢視圖4之各項影響植群恢復之因素、瞭解退化地之情況後，決定人為力量來介入之程度，可能完全不需人力介入、最低程度介入、或積極的進行人工生態復育；若未充分瞭解環境與植物特性即貿然採用不當的樹種、種植方式、撫育措施，經常是成效不佳，甚至反效果，如同推舟於陸，勞而無功。

五、學習自生演替原理、加速人為生態復育措施

植群演替是一系列不同植群的連續取代過程，典型的群落階段包含：一年生草本→多年生草本→陽性先驅樹種→耐陰性演替後期樹種 (圖5)，此一路徑即為圖1之天然回復的自生演替，亦是人工生態復育之軌跡與參照。

老天爺種樹 (自生演替) 暗示了3個重要的復育生態學概念：自然選擇適宜樹種/適地適木 (right species for suitable site)、種子隨機性的散播過程 (dispersal/stochastic process)、環境決定林木可否建立的棲位過程 (niche/deterministic process)。如圖1所示，退化地之無人力介入的自生演替、有人力介入的生態復育，二者是具有相同的路徑，但二者之恢復速度不同，因此我們應該虛心探究、學習老天爺如何種樹 (自生演替)，加以融合應用到生態復育的策略，以加速森林結構與功能之恢復。唯有如此，當我們面臨嚴重退化的土地，才能應用人工生態復育之方法來改善阻礙林木拓殖之因子 (圖1生物的、非生物的障礙；圖3種源、散播、發芽、建成的限制)。因此自生演替與人工復育並無衝突，且能相輔相成，演替理論有助於生態復育的正確運用，而生態復育的結果也助於瞭解真實的植群演替 (Walker et al. 2009; Walker & del Moral 2009; Grainger & Van Aarde 2012)，整合應用自生演替與人工復育常是最有效的方法 (Bannister et al. 2014)。

近年來許多研究試圖建立植群演替理論及植群實際恢復之間的連結 (e.g. Walker et al. 2007; Suding 2011; Prach et al. 2014)，但自生演替在植群恢復的應用中並未被充分重視，這可能與社會要求實施人為生態復育之壓力有關 (Holl & Aide 2011; Suding 2011)，雖然人為生態復育須要經費、人力等資源，但事實上人力最小介入方法 (minimum intervention) 是十分有用的概念 (Prach & Hobbs 2008)，例如Lee et al. (2002) 研究韓國之廢棄水稻田的演替，廢耕後土壤水分慢慢地逐年下降，若施以人為破壞



(A) 嘉義鹿角埤荒廢檳榔園：無人力介入復育，當地原生樹種天然更新良好



(B) 台中武陵廢耕菜園：被外來雜草佔據，且無任何當地樹種苗木天然更新

圖5. 退化地植群恢復之實例：(A) 嘉義鹿角埤荒廢檳榔園、(B) 台中武陵廢耕菜園。

田埂解除積水即可促進演替回復過程，而無須額外的人力介入。在圖6為森林植群演替之過程中，若要加速生態復育，可改善阻礙林木發芽、生長之環境 (Standish et al. 2007; Walker & del Moral 2009)、增加林木種子、照護幼苗、抑制外來種野草競爭以達成快速成林鬱閉之目的 (Clark et al. 2007; Shono et al. 2007; Scott & Morgan 2012)、補植演替後期樹種藉以提升生物多樣性 (Miyawaki 1999; de la Peña-Domene et al. 2013)，任一有助於林木回復的人力最小介入方法均可促進森林生態系結構與功能之恢復。須特別注意的是，任何人為生態復育措施均應被小心謹慎地運用，Sampaio et al. (2007) 在其案例中，即曾報導土壤翻犁無助於森林恢復，且以機械植樹反而經常傷害了已天然更新之苗木；在台灣也有時仍可見造林單位為生態

保育之目的，而先砍伐次生林或清除地被植物，再種植造林樹種苗木，造成資源浪費與環境破壞，也引發保育團體駁斥人工造林之效益，此也突顯了任何人為生態復育措施必須是根基於科學基礎的知識與技術，若能充分瞭解環境與樹種之特性，輔佐施以當地鄉土樹種之種源或苗木，當能加速森林生態系之結構與功能的恢復；對於不符合生態原則的人工造林，實無法稱之為生態復育，亦不能稱之為復育。另一方面，放任土地自生演替通常須花費較久之時間植群才能恢復，在這期間常忽略了時間等待成本、社會期望成本、退化地看管成本等隱藏性的成本 (Zahawi et al. 2014)，同時忽略了土地持續退化之風險，此等成本及風險均是在處理退化地時，選擇消極的自生演替時應考量的面向。面對退化的土地，實宜多向自然學

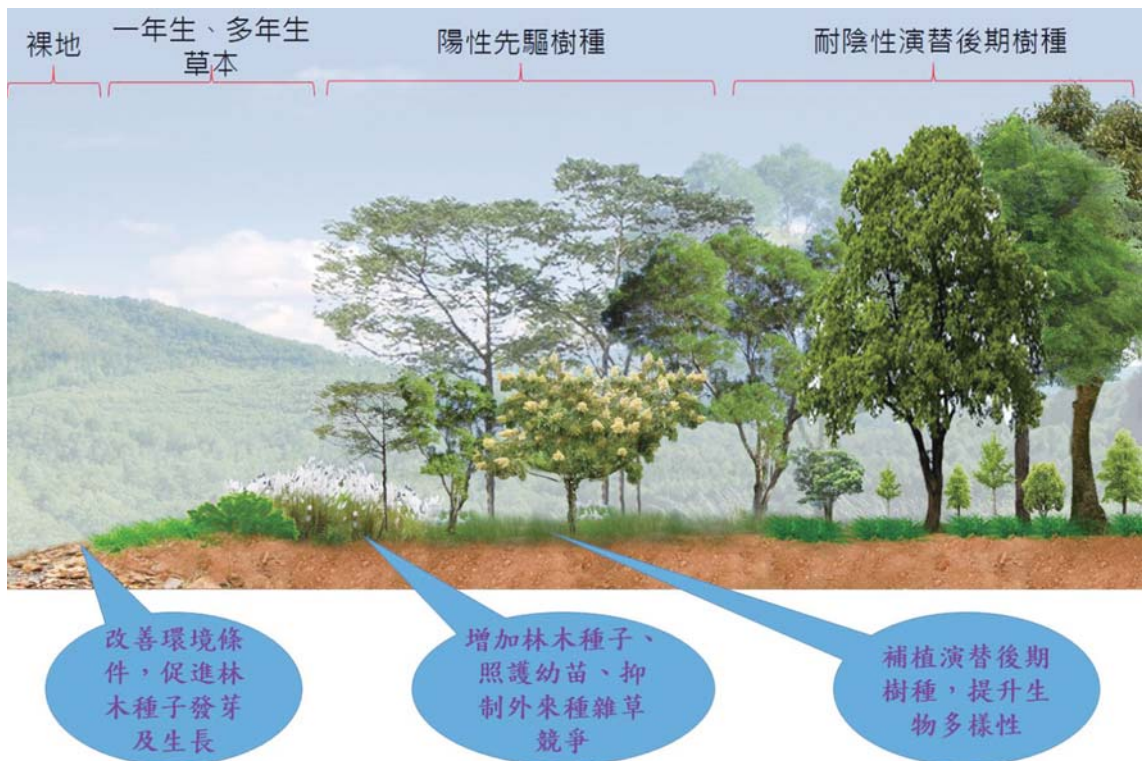


圖6. 在森林植群演替之過程中，若要加速生態復育，可小心謹慎地運用改善阻礙林木發芽生長之環境、增加林木種子、照護幼苗、抑制外來種雜草競爭、補植演替後期樹種等方法，來促進森林生態系結構與功能之恢復。

習，瞭解當地自生演替之規律，若有需要，再依循生態法則以人為力量施以復育措施，促使生態系之結構與功能的恢復。

六、結論

生態系之退化與恢復是一體兩面的歷程，藉由合宜的人為力量介入可改善退化地之生物的、非生物的阻礙，破除林木拓殖更新的種源、散播、發芽、建成等各種限制，促進植群結構及功能之恢復，以加速實現生態系的產品與服務之回復。面對退化的生態系，採取被動消極的自生演替或主動積極的人工復育均非唯一的選項，因為探究自生演替有助於瞭解人工復育應依循之生態原理，而適宜的人工復育則有助於加速自生演替之恢復進展，自生演替原理與人工復育措施是相輔相成的，通常整合應用自生演替與人工復育才是改善退化地最有效的途徑，應該瞭解自生演替的原理，仔細考量各項影響決定退化地之恢復對策（消極的自生演替vs. 積極的人工復育）的因素，評估人為力量介入之程度（可能完全不需人力介入、最低程度介入、或積極的進行人工生態復育）。實施適宜的人為生態復育措施常可加速生態系之結構與功能的回復，但人為生態復育措施必須是基於科學基礎的知識、經驗、技術等而小心謹慎地實施。

七、參考文獻

邱清安、徐憲生、林信輝、江政人 (2015) 崩塌地植生重建之軌跡與目標：復育生態學觀點下的提議。《水土保持學報》(已接受)。

邱清安 (2012) 復育生態學之初探。《中華林學季刊》45(2) : 289-297。

Acácio, V., Holmgren, M., Jansen, P. A., & Schrotter, O. (2007) Multiple recruitment limitation causes arrested succession in Mediterranean cork oak systems. *Ecosystems*, 10, 1220-1230.

Bannister, J. R., Wagner, S., Donoso, P. J., &

Bauhus, J. (2014) The importance of seed trees in the dioecious conifer *Pilgerodendron uviferum* for passive restoration of fire disturbed southern bog forests. *Austral Ecology*, 39, 204-213.

Benayas, J. M. R. (2005) Restoring forests after land abandonment. In: Mansourian, S., & Vallauri, D. (eds.) *Forest Restoration in Landscapes: Beyond Planting Trees*. pp. 356-360. Springer, New York.

Chapman, C. A., & Chapman, L. J. (1999) Forest restoration in abandoned agricultural land: a case study from East Africa. *Conservation Biology*, 13, 1301-1311.

Chazdon, R. L. (2008) Beyond deforestation: restoring forests and ecosystem services on degraded lands. *Science*, 320(5882), 1458-1460.

Clark, C. J., Poulsen, J. R., Levey, D. J., & Osenberg, C. W. (2007) Are plant populations seed limited? a critique and meta-analysis of seed addition experiments. *The American Naturalist*, 170(1), 128-142.

Cramer, V. A., Hobbs, R. J., & Standish, R. J. (2008) What's new about old fields? Land abandonment and ecosystem assembly. *Trends in Ecology & Evolution*, 23(2), 104-112.

de la Peña-Domene, M., Martínez-Garza, C., & Howe, H. F. (2013) Early recruitment dynamics in tropical restoration. *Ecological Applications*, 23(5), 1124-1134.

Dodds, W. K., Wilson, K. C., Rehmeier, R. L., Knight, G. L., Wiggam, S., Falke, J. A., Dalglish, H. J., & Bertrand, K. N. (2008) Comparing ecosystem goods and services provided by restored and native lands. *BioScience*, 58(9), 837-845.

Dorner, J. (2002) *An Introduction to Using*

- Native Plants in Restoration Projects*. Center for Urban Horticulture, University of Washington, Seattle. Available online: <http://www.nps.gov/plants/restore/pubs/intronatplant>.
- Egan, D., Herpe, E. E., & Abrams, J. (eds.) (2011) *Human Dimensions of Ecological Restoration: Integrating Science, Nature and Culture*. Island Press, Washington, D.C.
- Elliott, S., Navakitbumrung, P., Kuarak, C., Zangkum, S., Anusarnsunthorn, V., & Blakesley, D. (2003) Selecting framework tree species for restoring seasonally dry tropical forests in northern Thailand based on field performance. *Forest Ecology and Management*, 184, 177-191.
- Grainger, M. J., & Van Aarde, R. J. (2012) Is succession-based management of coastal dune forest restoration valid? *Ecological Restoration*, 30(3), 200-208.
- Hobbs, R. J., & Cramer, V. A. (2008) Restoration ecology: interventionist approaches for restoring and maintaining ecosystem function in the face of rapid environmental change. *Annual Review of Environment and Resources*, 33, 39-61.
- Holl, K. D., & Aide, T. M. (2011) When and where to actively restore ecosystems? *Forest Ecology and Management* 261(10), 1558-1563.
- International Tropical Timber Organization (ITTO) (2002) *ITTO Guidelines for the Restoration, Management and Rehabilitation of Degraded and Secondary Tropical Forests* (No. 13). International Tropical Timber Organization, Yokohama, Japan.
- Jones, H. P., & Schmitz, O. J. (2009) Rapid recovery of damaged ecosystems. *PLOS ONE*, 4(5), e5653.
- King, E. G., & Hobbs, R. J. (2006) Identifying linkages among conceptual models of ecosystem degradation and restoration: towards an integrative framework. *Restoration Ecology*, 14, 369-378.
- Kouki, J., Hyvärinen, E., Lappalainen, H., Martikainen, P., & Similä, M. (2012) Landscape context affects the success of habitat restoration: large-scale colonization patterns of saproxylic and fire-associated species in boreal forests. *Diversity and Distributions*, 18, 348-355.
- Lamb, D., & Gilmour, D. (2003) *Rehabilitation and Restoration of Degraded Forests*. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK and WWF, Gland, Switzerland.
- Lee, C. S., You, Y. H., & Robinson, G. R. (2002) Secondary succession and natural habitat restoration in abandoned rice fields of central Korea. *Restoration Ecology*, 10, 306-314.
- Mendoza, I., Gómez-Aparicio, L., Zamora, R., & Matías, L. (2009) Recruitment limitation of forest communities in a degraded Mediterranean landscape. *Journal of Vegetation Science*, 20, 367-376.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA) (2005) *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. World Resources Institute, Washington, D.C.
- Minnesota Board of Water and Soil Resources (BWSR) (2013) *Native Vegetation Establishment and Enhancement Guidelines-Minnesota*. Available online: http://www.bwsr.state.mn.us/native_vegetation/Updated_seeding-guidelines_021014.pdf
- Miyawaki, A. (1999) Creative ecology: restoration of native forests by native trees. *Plant Biotechnology*, 16, 15-26.
- Murcia, C. (1997) Evaluation of Andean alder as

- a catalyst for the recovery of tropical cloud forests in Colombia. *Forest Ecology and Management*, 99, 163-170.
- Pianka, E. R. (1970) On r- and K-selection. *American naturalist*, 104, 592-597.
- Prach, K., & Pyšek, P. (2001) Using spontaneous succession for restoration of human-disturbed habitats: experience from Central Europe. *Ecological Engineering*, 17(1), 55-62.
- Prach, K., & Hobbs, R. J. (2008) Spontaneous succession versus technical reclamation in the restoration of disturbed sites. *Restoration Ecology*, 16(3), 363-366.
- Prach, K., Řehouňková, K., Lencová, K., Jírová, A., Konvalinková, P., Mudrák, O., Študent, V., Vaněček, Z., Tichý, L., Petřík, P., Šmilauer, P., & Pyšek, P. (2014) Vegetation succession in restoration of disturbed sites in central Europe: the direction of succession and species richness across 19 seres. *Applied Vegetation Science*, 17, 193-200.
- Sampaio, A. B., Holl, K. D., & Scariot, A. (2007) Does restoration enhance regeneration of seasonal deciduous forests in pastures in central Brazil? *Restoration Ecology*, 15(3), 462-471.
- Scott, A. J., & Morgan, J. W. (2012) Early life-history stages drive community reassembly in Australian old-fields. *Journal of Vegetation Science*, 23(4), 721-731.
- Shea, K. (2007) How the wood moves. *Science*, 315, 1231-1232.
- Shono, K., Cadaweng, E. A., & Durst, P. B. (2007) Application of assisted natural regeneration to restore degraded tropical forestlands. *Restoration Ecology*, 15(4), 620-626.
- Standish, R. J., Cramer, V. A., Wild, S. L., & 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.
- Stanturf, J. A., Palik, B. J., & Dumroese, R. K. (2014) Contemporary forest restoration: a review emphasizing function. *Forest Ecology and Management*, 331, 292-323.
- Stanturf, J. A., Lamb, D., & Madsen, P. (eds.) (2012) *Forest Landscape Restoration: Integrating Natural and Social Sciences*. Springer, New York.
- Stevens, M. H., Bunker, D. E., Schnitzer, S. A., & Carson, W. P. (2004) Establishment limitation reduces species recruitment and species richness as soil resources rise. *Journal of Ecology*, 92(2), 339-347.
- Suding, K. N. (2011) Toward an era of restoration in ecology: successes, failures, and opportunities ahead. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 42(1), 465.
- Uhl, C. (1987) Factors controlling succession following slash-and-burn agriculture in Amazonia. *The Journal of Ecology*, 75, 377-407.
- Vargas, I. N., & Stevenson, P. R. (2013) Seed and establishment limitation: effects on plant diversity in an Amazonian rain forest. *Biotropica*, 45, 737-746.
- Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J., & Melillo, J. M. (1997) Human domination of Earth's ecosystems. *Science*, 277, 494-499.
- Walker, L. R., & del Moral, R. (2009) Lessons from primary succession for restoration of severely damaged habitats. *Applied Vegetation Science*, 12, 55-67.
- Walker, L. R., Velázquez, E., & Shiels, A. B. (2009) Applying lessons from ecological succession to the restoration of landslides.

- Plant and Soil*, 324, 157-168.
- Walker, L. R., Walker, J., & Hobbs, R. J. (eds.) (2007) *Linking Restoration and Ecological Succession*. Springer, London.
- Wilson, K. A., Lulow, M., Burger, J., Fang, Y. C., Andersen, C., Olson, D., O'Connell, M., & McBride, M. F. (2011) Optimal restoration: accounting for space, time and uncertainty. *Journal of Applied Ecology*, 48, 715-725.
- World Conservation Monitoring Centre (WCMC) (1996) *Guide to Information Management in the context of the Convention on Biological Diversity*. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.
- Zahawi, R. A., Reid, J. L., & Holl, K. D. (2014) Hidden costs of passive restoration. *Restoration Ecology*, 22, 284-287.