

綠色生態工程－生態造林法介紹

東海大學景觀系教授◎賴明洲

壹、生態造林法－環境保護林的恢復和重建

隨著人口的急遽膨脹和經濟的高速發展，全球森林生態系統已遭到嚴重破壞的窘境，熱帶雨林、常綠闊葉林、溫帶森林都已遭受不同程度的砍伐、開墾而用於城市發展，世界森林覆蓋率也因此急遽下降。因此，保護森林生態系統，恢復和重建受損的森林生態系統，已是全人類的共識和關心的熱點問題。

日本橫濱國立大學教授、日本財團法人國際生態研究中心所長、前“國際生態學會”會長、著名植被生態學和環境保護學家宮脇昭教授（Prof. Akira Miyawaki）博士，自20世紀60年代起從事植被生態學研究，先後完成了10卷日本植被專著和數十幅植被圖，並多次到歐洲、南美、北美、東亞和東南亞等地考察植被，具有非常淵博的植被生態學知識和野外研究經驗。在植被研究中，宮脇教授一直重視將植被理論應用於解決經濟、社會的實際問題。隨著全球生態問題的日趨加劇，他特別關心森林植被恢復，特別是環境保護林的恢復和重建，在實踐中創造並不斷改善了環境保護林的重建方法－即「生態造林法(Miyawaki's ecological method to reforestation)」，或稱之為「宮脇造林法」。宮脇法的理論基礎是應用「潛在植被 (potential vegetation)」和「演替理論 (succession theory)」，並從日本傳統神社林 (shrine forest) 的觀念得到啟發，該方法強調和提倡用「鄉土樹種建造鄉土森林 (native forest

with native trees)」（Miyawaki, 1987, 1997, 1998, 1999；Miyawaki & Golley, 1993）。

宮脇造林法自創立以來，經過三十多年來的應用，從1970年起，北起北海道，南到九州，日本先後有550多個地點用宮脇法營造環境保全林，包括學校、發電廠、鋼鐵廠、鐵路、公路、廢棄地、礦山、居民區等不同生境。這些地點全部獲得成功。最近，每年都有多處地點繼續用宮脇法造林。在國外，從1990年起，先後在馬來西亞、巴西、智利、泰國等地，將宮脇法用於熱帶雨林、常綠闊葉林、落葉闊葉林的重建，也獲得成功。在中國大陸，最近幾年先後在北京、上海、山東等地應用，已經顯示出良好的前景。

茲以中國大陸的山東省為例，山東省尚有未利用的土地200多萬 hm^2 ，占山東國土面積的13%左右，而這些土地多為難以改造的荒山和郁閉度不到0.2的林地，以及荒灘、荒地。山東省的森林覆蓋率也比較低，只有13.68%，加上灌木林和四旁植樹的林木覆蓋率只有18%左右，而且山東森林的中幼齡林和發育不良的林分佔相當大的比例。因此，改造、恢復和重建山東森林植被，提高森林覆蓋率，增加森林生態系統的生態功能，是非常必要和迫切的。但由於山東地區的人類活動歷史悠久，植被破壞嚴重且生境惡化，欲將森林恢復和再建的難度相當大。且造林成活率低，恢復速度很慢，甚至邊造林邊破壞的情況也時常發生。許多地方“年年植樹不見樹，年年造林不見林”，荒山依舊，禿嶺常在，每年浪費了大量的人力、物力和財力。這其中包括政策、技術、方法、資金、管理等因素，

然而，基礎理論研究的薄弱以及缺少切實可行的方法也是導致造林復育失敗的重要原因。森林樹種的單一化，導致其結構單一化，嚴重缺乏生物多樣性，且大量不當使用外來樹種，管理不善等問題也普遍存在於山東地區的造林復育（修改自王仁卿等，2002）。

本文所介紹的宮脇森林再造法，由於其堅實的理論支持和完整成套的技術，加之成功的事例，對於森林植被的恢復和重建是很足以提供借鏡和幫助的。

一、生態造林法的理論和特點

（一）生態造林法的理論

由植被生態學理論可知，一個地區的森林植被，是氣候、地質地貌、土壤等綜合生態因子的作用的結果。植被從荒蕪的裸地到森林形成，要經過許多演替階段和過程，從最初的地衣、苔蘚階段，到草本植物群落階段和灌木群落階段，最終到和當地氣候、土壤等相適應的喬木林，及地帶性森林植被和極盛相植被。如台灣地區的地帶性和極盛相森林是常綠闊葉林，也是潛在植被，極盛相植被的形成是相當緩慢的，需要幾百到幾千年。相反，將其破壞，是很快、很容易的。而再要恢復則是極其困難的。目前對森林植被的恢復主要是兩條途徑，一是自然恢復，二是人工造林。自然恢復太慢，面對大面積退化和受損的森林生態系統，靠自然恢復顯然不可能。人工造林速度快，但由於多用針葉樹種和外來的速生樹種，建成的森林功能性低，抗性差。如何較快恢復接近潛在自然植被的當地森林，

是政府單位、學者、和國民要通力合作達成。

宮脇教授在調查研究中發現，日本傳統的神社林和廟宇林多保持著自然狀態，由當地物種組成，結構複雜，種類豐富，這種小片森林就是當地的氣候和其它生態條件的反映，是潛在植被的代表。七十年代開始，由於全球對生態環境問題的重視和環境保護呼聲高漲，保護和恢復與重建森林生態系統在國際間展開，日本也開始大規模造林。根據植被生態理論和大量的植被基礎研究資料，結合日本傳統的神社林觀念，宮脇教授提出用鄉土樹種重建當地森林，這種森林是環境保護林而非商業目的的用材（經濟）林。

（二）宮脇造林法的特點

宮脇造林法與傳統的造林，以及根據自然演替恢復森林相比，有以下不同：

1. 該方法營造的森林是環境保護林，而不是用材林和風景林。
2. 造林用的種類是鄉土種類，主要是建群種類和優勢種類。並且強調多種類、多層次、密植、混合。
3. 成林時間短。根據演替理論和自然條件，一般的森林演替從荒山或沒有樹木的土地開始，到最終森林形成，至少要200-500年，或上千年。而宮脇法通常只要20-50年。在目前世界環境仍在繼續惡化，森林仍然遭到破壞的情況下，縮短時間就是加速環境改善，就是節約費用。
4. 管理簡單。用宮脇法造林，一般在開始2-3年進行除草、澆水等管理，以後就任其自然，優

勝劣汰，適者生存。宮脇教授認為，不管理就是最好的管理。

(三) 宮脇造林法與傳統造林法的比較

目前大致有三種造林型態和用途：一是用造林樹種如柳杉、油桐、楓香、光蠟樹、樟樹等，或者速生樹種如安樹類、泡桐類及竹類，營造單種單層林，目的是用材或農田防護，這種方式簡單易行，收效較快和明顯；二是城市用作綠美化的小片樹林和公園、行道樹、綠地等，一般以美化為目的，面積都很小，生態功能不十分明顯。三是營造類似自然狀態的森林(quasi-natural forest)（在日本稱為“環境保全林environmental protection forest”），這種造林無疑最有價值，由於種類多、層次多，因而所兼具的生態系統服務功能亦多，舉凡如防風沙等災害，維持當地和地球環境等，但所需時間長，短時間內效益不明顯，目前還未受到足夠重視。

宮脇教授認為，傳統的用材林或風景林，由於用的樹種是針葉樹和速生樹種，生長快，短時間內可以成材並收回投資。但這種森林和造林有許多弊端。主要有：

1. 單一樹種和單層結構的森林抗感染能力低，容易受病蟲危害，容易發生火災，容易受酸雨危害等。再如歐洲的單種類、單層次的針葉林，在抗蟲害、火災和酸雨方面非常差，每年為了防護花費大量經費。
2. 反覆砍伐容易造成水土流失。
3. 在保持水土、固定CO₂、吸附塵埃和淨化空氣污染方面，與天然林相比差距很大。

4. 外來種類對當地生態系統和生物多樣性具有潛在的危險。

相反，宮脇法造林所形成的森林接近當地的天然森林。由於採用的樹種為當地的優勢種類，土壤動物也得以恢復，固定CO₂的能力比單種單層的針葉林高。此外，到一定時間，這種森林也可以提供木材和其他林產品，發揮其經濟效益。

(四) 生態造林法的實施方法與步驟

宮脇造林法與綠化工技術的作法極為類似，後者的技術體系大致上分為綠化基礎工、植生工及維護管理工等。不過宮脇造林法更著重樹木之栽植和木本群落之建造。

1. 植被調查和植被製圖

植被調查是森林重建和恢復的基礎。通過調查，查明當地的現存植被，推斷當地的潛在植被，並繪製相應的現存和潛在植被圖。同時調查氣候、地質、地貌、土壤，以及人為干擾的歷史和程度等生境特徵。

2. 確定優勢和建群樹種種類（樹種規劃）

根據確定的天然和潛在植被類型，確定造林選用的種類，主要是建群種類和優勢種類（包括灌木種類）。通常情況下，種類至少10-20種。這是生態造林法成敗的關鍵步驟。

3. 採集種子和育苗

確定栽植造林的種類後，在秋季或果實成熟時採集種子。一是種子落地後馬上收集，或直接從母樹上採集。將採集的種子挑揀，去除未成熟和蟲害者（可放在水中過夜，悶死幼蟲，吸水發芽），在苗床上播種；種子萌發至2-6片葉子後，從苗床移

栽到薄質塑料花盆中（直徑10-12cm，高15cm）或者直接從母樹林中採集幼苗移栽到盆中。盆內盛有接近原地的土壤，有機質豐富，通氣良好。2-3年後，幼苗高30-50cm，根系發育良好，即可以用於野外栽植。

4. 栽植

- (1)整地—栽植前首先要整地。一般造林的地方土壤條件惡劣，薄而乾燥，需要人工整地。在日本一般加20-30cm厚的土層。傾斜地要打樁（木樁、鐵樁、竹樁、石樁等），加擋板（竹板、木板、條板、鐵網等），以防止土壤被雨水沖刷。此外，在土層瘠薄、岩石裸露、或新建公路等地段，需要開挖V型溝，以增加土壤厚度，也打樁加擋板。
- (2)栽植將在盆中育好的樹苗放入水中浸泡15-30秒，去掉盆，挖約1.5倍大的坑，將樹苗栽上，填土壓實。密度大約3-4株/m²，不要求整齊，任意栽植栽植時注意種類混合和密植，使接近自然狀態，適當密植也有利於微氣候和幼苗共生，長到一定大小則開始競爭。
- (3)覆蓋全部栽植完後，用稻草或腐爛秸桿覆蓋，並用草繩將覆蓋物壓住，防止風吹和乾燥，並防止雜草滋生。如果有適當條件，還可以在上面灑水，保濕防火，有利於養分分解釋放。

5. 管理

栽植後1-3年內，進行除草、澆水、施肥等簡單管理，然後任其自然淘汰。通常1/3-1/2苗木到

不了喬木層，或死亡。15-50年後（根據土壤條件和降水條件而異），即可發育成類似天然林的環境保全林。

（五）宮脇法在應用上必須注意的問題

宮脇造林法從創立以來，經過30多年的應用，已經取得成功。該方法有植被生態學理論為堅實基礎，有大量的第一手植被調查資料做依據，有當地保留的天然林為實例，有完整成套的栽培技術，因此它在森林植被恢復和重建方面應用是完全可行的，接近550多個實例也證明了這一點。

由於觀念、生態條件、資金、管理方面，我們與日本有許多不同，在實際應用中建議注意以下幾點：

- 1.樹種種類選擇—由於天然森林的建群種類多為耐蔭種類，增加一些陽性樹種是必要的，特別是演替早期的先鋒種類。在冬季少雨乾旱的台灣西側中南部地區，應注意搭配旱季落葉樹種。根據實際情況，也可以增加草本植物。
- 2.苗木培育—台灣中南部冬旱季的降雨少，山區土壤貧瘠，培育的苗木應當更大些，3-5年生為佳；育苗盆也相應增大，直徑15-30cm，使根系更發達，提高抗乾旱的能力。
- 3.造林時間—宮脇法更適於多雨濕潤的季節和地區造林。所以，在冬季少雨乾旱的台灣西側中南部地區，用宮脇法造林應注意保濕，最好在雨季時期用該方法造林。
- 4.管理—由於生境條件各異，加之一些地方民眾的意識還需要提高，因此管理時間宜更長些，至少3-5年。

5.資金－除了政府投資，應多開闢渠道募集造林經費，包括集體、個人、公司等。在日本，每年都有各種植樹活動，有專門提供鄉土樹種的公司，有專門的技術指導材料。許多大公司，如日本的鋼鐵、電力、鐵路、公路、汽車、郵電等部門以營造環境保全林為光榮，每年投入大量資金用於造林，除了自己公司周圍營造環境保全林，也投資建設各種公益林，實際上這也是樹立企業形象的一種途徑。台灣有許多國內外聞名的大企業，鼓勵和支持他們參與植樹造林，是解決經費不足的重要途徑。

6.示範和總結推廣－在大範圍使用推廣前有必要做好示範和總結。特別在種類選擇、苗木培育、造林地預處理等方面，更需要積累經驗。

貳、生態造林法－自然演替之人工啟動方法

一、自然演替人工啟動方法之理論基礎

生態綠化係依生態學的自然法則所實施的綠化工程，依據當地潛在植被以人為方式誘導其生長，以加速演替過程，達到植物社會極盛相（Climax）之最終目標。生態綠化主要理念如下：

- （一）林分在時間上由非耐蔭樹種演替至耐蔭樹種。
- （二）林分在空間上由單層林轉變為多層次樹林。
- （三）在種類組成上由多種植物構成，歧異度高。

（四）生態綠化樹種以當地潛在植被演替過程中之優勢種為主要培育對象，使生態綠化區域能融入自然生態體系中。

在土壤裸露地區造林相當不易，其主要因素在於土壤流失嚴重，肥力低、極度乾燥等。針對此類型土地造林，首要工最便是建立先鋒群落，選擇速生、耐旱、耐貧瘠或是肥料木為造林先驅樹種，若是地力極度惡劣地區，於造林之初即可施以長效性肥料，以增加苗木存活率。此外，對於特別乾燥之地區，亦可事先挖好透水性渠道，使土壤含水量增加。建立先鋒群落主要的用意是改善林下物理環境特性，以降低土壤流失、土壤水分蒸發，創造出適宜後繼植物種類適宜之生長環境。因此，先鋒群落對林下層植被提供保護傘的功能，是為啟動植物群落演替機制的起始關鍵（如圖1）（賴明洲，2001）。

先鋒群落的建立雖然提供了演替環境，然而任其自然演替至極盛項需要一段相當長的時間，尤其是土壤極度退化的地區，演替呈現遲滯現象，這也是目前金門林業面臨的一個重要問題，亦即木麻黃等先鋒樹種已面臨淘汰，而未見新一代苗木自然取而代之。因此，適時進行林相更新工作是有必要的，在先鋒群落下發展地帶性植被之闊葉樹種，遵循演替機制進而加速達成極盛相。林相更新主要有下列兩種方式：

- （一）林分改造：在先鋒群落人工林中補植演替中期之潛在植被樹種，使原本單純的林相漸趨複雜，增加群落結構層次與生境的多樣性。此種作法即是應用植群演替概念，

以人工手法加速森林達成極盛相。

- (二) 透光撫育：先鋒群落於造林之初，往往為了抵抗惡劣環境而採用密植的方式以降低風害與土壤水分蒸發。此種作法雖然可使先鋒群落順利發展，然而過於鬱閉的林冠卻不利林下層新喬木的成長。因此，適度的擇伐部份成長較差的先鋒樹木，除了可以剔除老弱樹木外，同時還可以促進林下光線與生存空間增加，促進新闊葉樹的生長。

二、自然演替人工啟動方法之實施步驟

(一) 潛在植被之調查

生態綠化乃欲重建特定地段符合生態原則的自然林，樹種則以植被演替過程中之優勢種類為主，因此在植種選擇之前必須對當地的潛在植被作調查，其調查步驟包括地形的考慮、植物社會演替階段的搜尋、調查樣區數量的考量、調查記錄事項、自生苗木與生態條件的綜合反應等。概述如下：

- 1.地形的考慮：在調查樣區的選取方面，應考慮地形的變化，因即使是一個小的丘陵，其山頂、山坡及山谷也可能展現出不同的生態環境與植物種類。
- 2.植物社會演替階段的搜尋：藉著調查表中的層次分化程度，以及各層次植物種類與數量，找出當地山頂、山坡、山谷及其他特殊環境植物社會演替的各個階段，拼湊出可能的演替路徑。
- 3.調查樣區數量的考量：調查樣區數量常與踏勘

的範圍維持一定的關係，一般而言，在剛開始時隨著踏勘範圍的擴展而增加調查樣區數目，直到樣區數目足夠顯示植物社會依地形所產生的變化與各類演替階段之後，即可停止調查工作。

- 4.調查記錄事項：調查記錄事項至少應記載森林層次的分化，各層次的植物種類及相對數量、林下樹苗種類與數量、樣區的大致環境等等。
- 5.自生苗木與生態條件的綜合反應：經過了上述的工作之後，為了能建立完整的資料庫，可針對當地自生苗木與生態條件加以記錄，藉以瞭解自生植物種類與環境間之關係，一方面可作為選種時的參考，另一方面則可提供其他環境相似的基地作為選種參考。

(二) 植栽選種原則

經過了潛在植被的調查之後，便可據此加以選擇樹種，一般而言，一基地的植被單位約為20種左右之木本植物，其中約15種為喬木類，至於自然林中草本層植物及一些灌木層植物，通常將在長期藉著風吹、動物攜帶等自然而然的引入、繁衍，如無特殊目的，並不須加以特別栽植。生態綠化所應用的苗木種類應以潛在植被演替過程中優勢種類為主，這些野生植物無論從形態上或演化上都與當地的生態環境達到某一程度的協調，可迅速的生長且無須特別的照顧。此外，生態綠化所著重的選種包括須使用小苗及運用鄉土樹種，其比較如表1、表2（葉美秀，1992）：

(三) 樹種規劃與選種評估

以植被恢復作為基礎的自然生態系統的恢復可

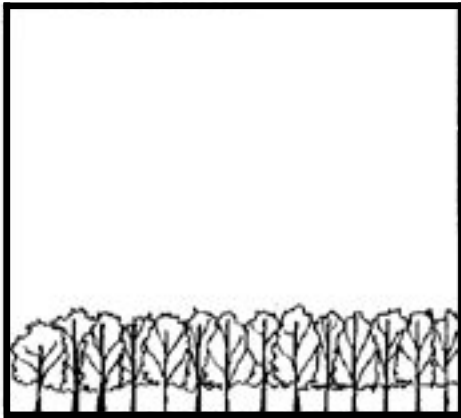


圖 1a. 裸地造林之初，土壤貧瘠、乾燥與保水力差，密植先驅樹種成為啟動演替的第一步

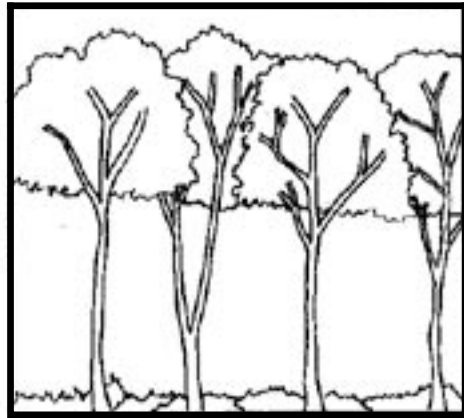


圖 1b. 先驅樹種迅速成林，對林下層產生保護作用，此時林下物理環境改善，自然演替樹種出現

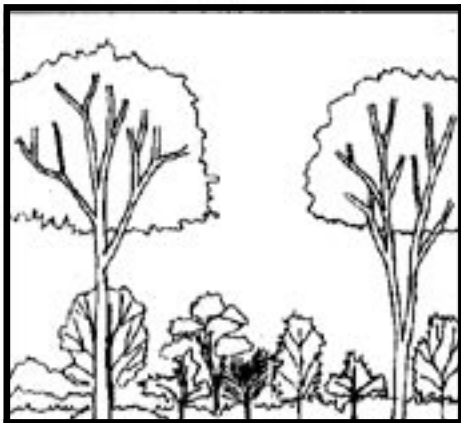


圖 1c. 實施透光撫育以促進林下闊葉樹生長，同時可以栽植當地原生之演替中、後期樹種，以加速演替

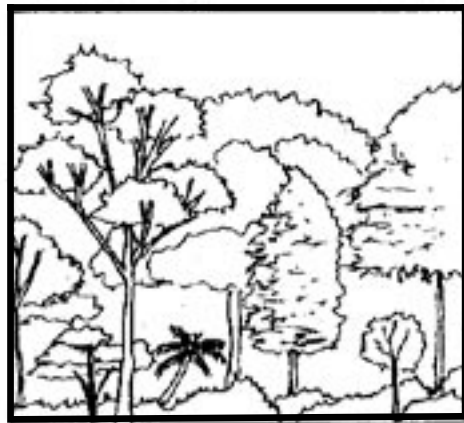


圖 1d. 短期內林相良好的天然闊葉林取代了原本人工栽植的先驅樹種達到極盛相

圖1. 自然演替之人工啟動方法

以分為：

- 1.人工恢復：工程措施和人工造林的綜合整治。
- 2.自然恢復：利用自然演替發展的動態和機制進行植被與生態系的恢復。

退化生態系統的植被的恢復與重建，其最有效和最省力者，乃是順從生態系統的演替發展規律來進行。其第一步工作就是控制水土流失，提高土壤肥力、保水力和土壤理化結構。而土壤被破壞的程度大致上可分為：

- 1.極端破壞，土壤流失嚴重，其肥力完全不能承載植被之生存（如土石流嚴重的地區）。
- 2.表面植被的破壞，土壤仍有一定自癒力和承載力。

可行的方式是將人工與自然恢復兩項手段相結合。例如因應台灣本島西南部及離島全年乾旱或

強風的特殊氣候條件，其有效對策在重點上必須慎選鄉土性耐旱樹種或適應乾旱季節落葉休眠的樹種做為造林骨幹樹種。故造林選種上增加落葉樹種的比例乃是一項重要的原則，尤以具深根性、抗風性強者為佳。在熱帶與亞熱帶地區，估計需時約15至30年的自然恢復演替過程，可於早期伴以人工撫育，營造不同樹種的混交林。其林分結構逐漸發展，可從原來人工栽種的2、3種發展到10餘種，甚至幾十種。由研究結果顯示，無論人工林的起始樹種是什麼，都將朝著地帶性極盛相植被類型的方向發展。

表1. 小樹苗與大樹苗在生態綠化選種上之比較

比較項目 \ 樹苗	小樹苗	大樹苗
坡面保護	所需植穴較小，減少坡面擾動，根系發展較快，可穩定邊坡。	大植穴對坡面破壞甚大，根系發展較慢。
育苗作業	需時較短，所佔體積較小。	須長時間培育，常無法及時提供。
移植生長	移植易，成活率高。對環境之逆境抗性較強	較易因移植不當停止生長或死亡。對逆境抗性較弱。
經費	培育及種植費較低	費用高出甚多

表2. 鄉土樹種與外來樹種優缺點比較

比較項目 \ 樹種	鄉土樹種	外來樹種
環境適應力	適應力較強。	易因適應不良而生長狀況欠佳。
資源保育	採用樹種較多樣化，保存地區原生樹種。	常用優良種類有限，適應力太強者，有侵擾原生態系之危險。