



檜木林群落生態系復育—基因多樣性理論與實務之連結

文 ■ 黃 生 ■ 國立台灣師範大學生命科學系教授

關秉宗 ■ 國立台灣大學森林環境暨資源學系教授

黃士穎 ■ 國立台灣師範大學生命科學系教授（通訊作者）

一、前言

國際生態系復育學會SER（Society for Ecological Restoration International）對生態系復育提出的定義是「人為有意的去啟動並加速一個健康、完整及永續的生態系統的回復」。台灣在日據時期及其後大量砍伐檜木林，且在其後以日本柳杉做為主要之造林樹種取代原生檜木棲地，此種經營策略，歷時多年，成效如何，自待評估，惟以今鑑古，常失之於偏，或許當時訂此策略有其主客觀考量，容後再論。今日的森林經營必須注意我們所應負之國際社會責任，台灣必須進行林木之生產，也必須對碳吸存量有所貢獻，評估一個國家是否盡到這些責任是從全新之造林起算。這無疑地給了我們一個機會可以重新思考、修訂、建構更完善的策略。其實林務局在過去的4、50年間也有相當程度的檜木造林措施，也有一些成效，爰舉一例，在太平山地區，50年前所栽植的紅檜苗木，如今樹徑已達30公分，比起同齡柳杉的40-50公分，其實相差不遠，但價值就大多了。可惜的是，過去的檜木造林並未有一個較完整的實施策略，大多是委由包商進行採種、

育苗及造林，然而對種子來源及其對檜木生態系之影響也沒有一套較為妥善的評估系統可用，如此之林木生產與造林便不能符合永續林業認證之標準（FSC；Forest Stewardship Council認證）。美國農部林業單位（USDA Forest Service）針對生態系的復育提出了一套相當周全的策略，其中最為強調的是生態系的復育必須結合各個角度的監控機制才能有效的達到「重新回復自然生態系統」的目標。反觀國內對於生態系的復育雖有共識，但尚未有一套妥善的機制以有效且快速的回復檜木林生態系之健康及完整。甚至因為造林之措施的誤導而不利檜木林生態系多樣性的保存，此舉將造成許多動、植物甚至微生物多樣性之加速滅絕而不自知。

二、檜木人造林對物種多樣性之影響

評估現有檜木林造林地及天然林生態系之生物多樣性，包括物種多樣性如原生天然檜木林群落及造林地群落之動、植物及微生物物種多樣性的調查；遺傳多樣性如原生林

和次生林、人造林之基因多樣性的蘊藏和變異的分布。基因多樣性的檢測可以初步瞭解造林對天然檜木林所構成的不良影響。通常檜木造林所使用的種子來源的混雜與均質都會改變檜木林群落的生態系統，包括物種和遺傳多樣性，在物種多樣性方面，造林種原的混雜則無法保持地域性物種之組成；種原之均質化更使檜木造林地之物種多樣性加速消失。如此將喪失相當多的動、植物物種；特別是微生物物種的喪失更是物種多樣性在醫藥可利用物質開發的一大損失。因此，必須進行天然檜木林與造林地的物種多樣性的調查。在植物及動物物種多樣性的調查工作多有相當確定的研究方法，然而微生物多樣性的調查則因微生物不容易培養而受到限制，然而，可以利用土壤內微生物基因多樣性的研究而瞭解微生物之多樣性，並從中分離有用之微生物基因。這方面的研究有助於瞭解動、植物及微生物有特殊棲地之基因多樣性，及開發台灣本土森林物種基因多樣性之利用。土壤的微生物基因多樣性的研究是可推動的，其實在2006年台灣的紅樹林生態系土壤基因多樣性的研究，已有報告發表了，或許紅檜林的類似研究更有利基。

三、檜木人造林遺傳組成對天然檜木林之影響

種子來源的考慮最簡單的是在復育時僅採用鄰近族群的種子以進行復育，如此很簡單的就能達到回復原始族群之要求。但問題是，台灣是個到處山巒起伏的島嶼，可能

一個山頭和另一個山頭的天然林事實上各有獨特的遺傳變異，我們又如何能以相鄰近為基礎而判定應該用那一個種原做為造林苗木之使用。如果使用錯誤之種原進行造林，其衍生的問題不僅是遺傳均質化的問題，甚至會由於錯誤種原之使用而引入不良的遺傳變異，久而久之，就造成了遺傳負擔（genetic load），如此不但是失敗的造林，而且由於有害基因之引入鄰近之天然林而造成天然林之劣化。另一方面，如果將已適應甲地之種原於乙地復育，則原先於甲地經過長期適應性演化所產生之遺傳變異置於乙地，則此種原在造林之後可能無法適應乙地而影響未來之生存，進而破壞乙地之生態系穩定。另一方面原已在乙地生存之該物種是否因為自甲地移入之遺傳變異而造成遺傳負擔，除影響原檜木天然林之健康與完整之外，最終將破壞原有生態系之穩定。紅檜生長較慢，更須慎其起始，造林工作的重點不全在於現場雇工管理，實驗室裡掌握種原的基因庫，釐清種原遺傳分區（不是林班）界線，才可能部分復原天然林。

四、檜木造林之遺傳監控

造林還是人為的去改變自然生態系統。在此過程中，我們必須有效的利用分子遺傳標記以提供生態及演化的相關訊息，以對生態系復育的過程提供遺傳監控。遺傳監控簡單的說就是要瞭解物種過去之族群演化史及其可能適應特殊環境之遺傳變異機制。遺傳監控應可分為下列四大方向來進行：



(1) 利用分子標記於記錄物種過去的族群演化史包括瞭解個體、族群及區域間的遺傳差異；(2) 利用遺傳標記以監控林木群落復育的遺傳分群及地域遺傳分化；(3) 在林木群落復育的過程藉由有效分子標記特殊之地域性或族群專一性之適應性遺傳變異檢驗，以發掘可利用之遺傳基因變異；(4) 新病源的早期遺傳篩檢。

基因多樣性的復育，有賴於學者對於物種遺傳變異型式的普查，同時也研究適應不同棲地之基因適應性演化所衍生之基因多樣性。遺傳變異型式的普查是為因應造林種原的正確性，以避免不同種原混雜於造林地而危害新造林及天然林之生態系穩定。新造林種原的檢定將可避免由不同地域引入種原之基因，藉由花粉傳播植入天然林之後裔種原之中而劣化原始天然林的永續生存。

相當多的研究結果告訴我們物種族群間的遺傳變異與該族群適應其原生棲地而能生存進而演化有關。應用不同的分子標記都顯示族群間的遺傳變異的差異性；譬如以同功異構酶的研究發現紅檜族群間的差異為5%，但因同功異構酶的解析度是由蛋白質胺基酸序列的差異所得，其解析度較以DNA序列的差異所分析之結果為低，譬如以棲蘭山及阿里山的紅檜與台灣扁柏藉由RAPD分子標記的分析，族群間的差異可達15%。DNA序列的變異代表各個族群於未來演化的能力，族群間的演化差異達15%，則其間應有相當多的遺傳變異與各族群適應不同環境有關。因此，進行復育造林之同時，務必考慮如何

保存該族群未來演化之能力以及保存相鄰近族群之健康與完整性，否則有朝一日突然發覺一些族群之生長勢大幅降低，為時已晚。

縱使鄰近族群之種子可代表該區域之獨特種原而可被使用於造林，也面臨另一個種原遺傳健康度的問題。譬如種子商僅收集少數母樹之種子，那麼新的造林地的遺傳變異及其對未來環境變遷之適應能力將大為降低，造林管理單位實應施行遺傳監控以確保種子商所收集種原之地域性與同一地域之多樣性，以使新造林具有一定程度之遺傳多樣性以利國土永續經營。



(圖片 / 高遠文化 攝影 / 游忠霖)

五、遺傳監控可使用之DNA分子標記

目前，物種遺傳變異的研究所使用的DNA分子標記可分為（1）中性分子標記及（2）適應性分子標記兩大類。所謂中性分子標記（或稱近中性分子標記）主要是與個體、族群及物種對環境適應性無關之分子標記；這類分子標記可利用於檢驗個體、族群及物種之遺傳變異，可鑑定種子來源及族群內與族群間之遺傳變異。在遺傳監控上中性分子標記將提供種原監控管理者判定造林種原之依據。適應性分子標記除了具有中性分子標記的優點之外，由於適應性分子標記的DNA序列來源為基因表現序列，研究人員可利用此類分子標記於檢驗族群適應性演化有關之基因，直接提供可能做為基因多樣性利用之基礎。

六、結語

我們認為，原生檜木林被砍伐並在原生地上造柳杉林的最大影響在於造成原檜木林群落物種組成之變化，如此物種組成之變化致使檜木林生態系崩解，因此應儘速進行檜木林生態系之回復；而檜木林群落生態系的復育也是國土復育之重要一環。一個生態系復育實務運作所須瞭解的背景知識是相當複雜的，需要學者們集思廣益才能有所成效；本文僅就我們所熟知之遺傳多樣性的層面進行探討檜木林群復育的健康及完整性的相關知識之論述，期望其他相關之專家學者貢獻所長，以啟動及建立良好之檜木林群落生態系復育之基礎資料，以達國土復育方案中森林復育的完整性。🌲

（圖片／高遠文化 攝影／游忠霖）