

林木遺傳資源保育實例介紹

文圖 李淑敏 ■ 林務局東勢林區管理處雙崎工作站技正 (通訊作者)
姜保真 ■ 國立中興大學森林學系副教授

一、前言

林木遺傳資源之保育已成為全球共識，不僅是保育目標樹種之調查及討論，如何擬訂及評估其保育方法，更是成功保育之關鍵，惟目前大部分遺傳保育的研究多集中於各地區物種多樣性，或遺傳多樣性之分子生物技術分析結果，對於實際執行面之應用尚有距離，而物候學(Phenology)及育種體系(Breeding System)的瞭解與配合是目標樹種保育、改良及永續利用的基礎(Palmberg-Lerche, 2007)，以本文介紹應用物候學及林木遺傳育種方法，保育林木遺傳資源之國內外實例，並簡要列舉台灣目前施行之現況及資源，並建議未來努力的方向及目標，希作為未來應用發展之參考。



照片1 牛樟花序 (攝影/陳立屏)

二、林木育種計畫之遺傳保育功能

林木育種計畫為謀求於多世代育種中，可持續增加遺傳增益，需保有儘量廣泛之遺傳基礎，亦為目前林木遺傳資源經營，欲達成保育及永續利用目標之重要方法，故成為林業發達國家主要施行之重要策略 (Vander Mijnsbrugge *et al.*, 2005；Mutke *et al.*, 2005)，即以目標樹種原生

育地設立為母樹林或種子生產區；或自原生地採取種子或枝條繁殖，建立種子園或採穗園，作為遷地保育(區外保育；*ex situ* Conservation)及進一步生產復育或經濟性造林之繁殖材料。

成功的林木改良計畫須包含生產

族群 (Production Population) 及育種族群 (Breeding Population) 兩個部分，首先是利用生產族群，快速有效率的生產理想的產品，如種子或木材，故需選拔具品質佳、適應性強及高收穫等優良性狀之單株，進行遺傳測試及交配，以期在最短時間內達到最大之遺傳增益；另一方面是考慮到改良計畫未來持續多世代之長期發展所需之廣大遺傳基礎，即育種族群，又稱為營養系庫 (Clone Bank) 或試驗種子園 (Research Seed Orchard)，其品質關係改良計畫未來是否長期成功推展。兩者之間緊密相連，但分別需要應用不同的研究及理論 (Zobel and Talbert, 1984)。

Johnson 等人 (2001) 亦指出，育種人員在籌畫育種計畫需考慮短期及長期目標，短期目標為利用保有適應良好的第1、2代族群中，對目前感興趣的特定性狀改良育種，以獲得大量的增益；長期目標包括維持低頻率基因及控制自交 (Inbreeding)，主要的衝突在為得到大量的遺傳增益，選拔強度需提高，然而稀少性基因需維持在其後數代之大育種族群中，故在建立育種族群及選拔時需降低這衝突，且育種族群是基

因資源經營唯一的方向，基因資源經營計畫中遺傳增益與遺傳歧異度的關係如圖1。

欲決定育種或基因資源族群的大小時，需考慮等位基因喪失的機率及相關風險，Johnson 等人(2001)研究指出，欲維持多個世代至少可複製到基因頻率為0.05的單株，族群大小需117個，若基因頻率為0.2則只需31株(表1)，實際上需要更多，以維持長期計畫中重要的低頻度基因，雖然在育種族群中保存極低頻率之基因是不切實際的，可能因為低頻度基因目前無益，但在未來可能有用，故保育於基因資源族群是較保險的。

三、復育實例

(一) 西班牙笠松

Mutke等人 (2005)以歐洲地中海及中東地區廣泛分布，供採收種子為食材之笠松(*Pinus Pinea* L.; Stone Pine)為例。本種為人類自舊石器時代起，即於野外採果食用至今，為尚未馴化之重要特用林木樹種，於50年前起建立實驗性的造林地，研究建造種子園穩定供應果的可能性，並強調種子園建立的材料應具有遺傳多樣

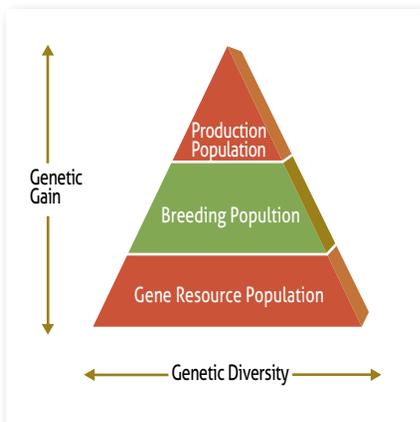


圖1 基因資源經營計畫中遺傳增益與遺傳歧異度之概念圖(Johnson *et al.*, 2001)

表1 為維持族群之中性基因所建議之族群大小表

Allele frequency	Kang (1979) ¹	Gregorius (1980) ²	Namkoong (1981) ³
0.5	18	6	
0.2	31	21	
0.1	49	51	
0.05	79	117	117
0.01	269	754	597

說明：1.於50代維持中性基因所需之族群大小。2.確保基因座上全部95%等位基因，需要的最小取樣族群大小。3. 100個基因座中有4個稀有等位基因，平均僅喪失1個等位基因，所需之最小基因型數目。

註：Johnson *et al.*, 2001

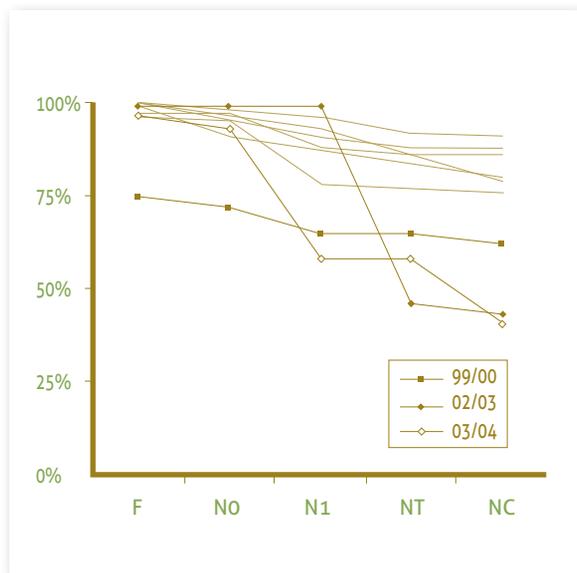


圖2 西班牙筊松(*Pinus Pinea* L.)在不同年度毬果枝從最初的雌毬花(成活率100%)到F(授粉)、N0(第1個夏天)、N1(第2個夏天)、NT(成熟毬果)及NC(飽滿毬果)時之成活率, 僅標示出因霜害毬果成活率低於80%的年度(Mutke et al., 2005)

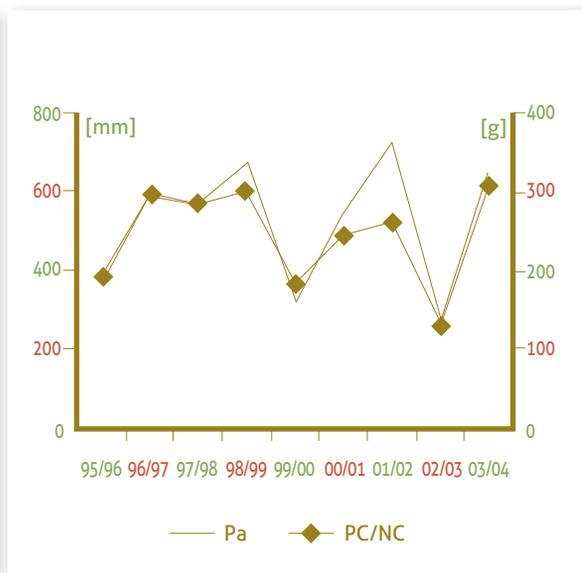


圖3 西班牙筊松(*Pinus Pinea* L.)年平均毬果重PC/NC (g) 與毬果發育期Pa (去年9月至當年8月)之降雨量 (mm) 的關係 (Mutke et al., 2005)

性, 方可保持未來有平衡的遺傳組成。以在西班牙於1995年開始於地中海地區蒐集優良家系之枝條, 以嫁接苗建立之營養系庫, 即13年生嫁接木之造林地為對象, 其為遷地保育用之野外基因庫(Gene Bank), 並可供應穗條 (Scions)。

在未灌溉之自然天候環境下生長, 連續10年調查毬果收穫、著果及種子品質等, 分析其與遺傳與環境之關連性, 結果指出嚴重之氣候劇變對著果(Cone Survival)是重大逆壓(圖2), 又指出水分逆境與毬果大小有直接相關(圖3), 即每年平均毬果重量與前1年9月至當年8月之總雨量呈強烈相關 ($r = 0.91$), 另一方面與全株毬果數量呈弱的負相關 ($r > -0.15$)。所有研究成果為後續制定育種策略的依據, 是一個兼顧林木遺傳資源利用與保育之實例, 值得學習及借鏡。

(二) 比利時Flanders之原生樹種復育

在歐洲比利時的法蘭德絲(Flanders)地區由



照片2 溫室牛樟扦插情形 (攝影/陳立屏)



照片3 具旺盛根系之扦插苗 (攝影/李淑敏)

於早期過度開發，森林覆蓋面積為歐洲最少，僅10.8%，又因大量使用非原生樹種造林及都市綠美化的栽植，其中僅5%為原生植群，此為全歐洲皆面臨的問題，故成立跨國組織如歐洲森林遺傳資源計畫(EUFORGEN)來執行歐洲保護森林部長會議(MCPFE)的決議。為保育原生木本植物的植群，主要措施為全面調查建立名錄(Inventory)、保護原始林及遷地保育，以立法強制採取種子及枝條等材料建立營養系庫為主，由森林及狩獵管理機關辦理，同時亦有公益團體參與。

為維持及創造木本原生族群之遺傳多樣性，以面對未來天擇及變動性演化的需要，自1997年開始調查該區殘餘的原生植群名錄，預計10年內完成，由於棲地過度破碎化及私有林地，施行現地保育不易，故在不影響族群正常生長下，採取種子及枝條保留於基因庫中，尤

其是如歐洲山毛櫸(*Fagus Sylvatica*)在目前殘存的灌木林現地保護困難，故採取嫁接法繁殖於基因庫，做遷地保育用，目標是生產可商業使用之造林材料。他們認為復育造林為動態的遷地復育策略，可創造原生族群遺傳資源之永續利用，挽救目前稀少及瀕危之頹勢。

比起勞力密集及資本昂貴的野外母樹採種，建立種子園可提早開花結實及生產大量具生命力的種子，同時保存原生族群於基因池之優點，缺點為部分樹種無性繁殖不易且所費不貲，且尚未應用微體培養。種子園中每樹種至少50個基因型，每基因型3株以上，以達成30-40個無親源關係基因型，所構成的最小適應族群目標，並認為以分子生物技術所得出的中性分子標識(Neutral Molecular Markers)對了解遺傳資源有幫助，但缺乏與適應性(Adaptation)及適應力(Adaptability)之直接關

表2 台灣重要林木種子園明細表

樹種	面積(公頃)	營養系數目	總株數	建立年代	說明(種子生產狀況)
台灣二葉松 <i>Pinus taiwanensis</i>	10.0	35	2,164	1968-71	是(1972)
琉球松 <i>Pinus luchuensis</i>	17.5	83	6,091	1970-74	是(1971)
香杉 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	13.1	44	3,683	1968-71 1973-75;1981;1984	是(1986) 否
台灣杉 <i>Taiwania cryptomerioides</i>	6.9	90	1,418	1975;1976;1981	否
紅檜 <i>Chamaecyparis formosensis</i>	3.8	26	284	1975	是(1982)
扁柏 <i>Chamaecyparis obtusa</i>	2.0	-	69	1978	否
台灣肖楠 <i>Calocedrus fomesana</i>	14.0	90	3,636	1976;1968-81	否
烏心石 <i>Michella compressa</i>	3.6	-	914	1957	是(1987)
土肉桂 <i>Cinnamomum osmophloeum</i>	0.2	3	200	1980	是(1987)
愛玉子 <i>Ficus pumila L. var awkeotsang</i>	0.2	80	300	1987	是(1990)

註：修改自林讚標及楊政川，1992



照片4 實生苗野外復育造林情形 (攝影/吳江水)



照片5 健壯的牛樟實生苗 (攝影/陳立屏)

連，而傳統的種源試驗(Provenance Trials)及後裔試驗 (Progeny Tests)結果，是評估適應力及種子使用區域較明確的方法(Vander Mijnsbrugge *et al.*, 2005)。

四、台灣的林木遺傳資源保育

林讚標及楊政川 (1992) 指出，台灣現地保育(區內保育；*in situ* Conservation)包括自然保護區、母樹林、國家公園及保安林的設立，總面積約佔全國林地面積之22%，形成林木資源的重要保護網，同時要求對僅餘原生闊葉樹林的保護，且建議林務局造林時改變為根株萌蘖更新及混合林之營造，以維持現存遺傳基礎。而遷地保育為林木種子庫、植物園、種源後裔試驗林及營養系庫(種子園)(表2)及營養系種子生產區的建立，樹種繁雜之闊葉樹於福山設立永久保留區等。

台灣目前的林木遺傳資源遷地保育措施，普遍有營養系數目過少、規模過小及保護樹種不足的問題，大部分於1970年設立後，並未持續進行調查及管理，故重要造林樹種如台灣杉

及台灣肖楠尚未結實，無法達成生產種子之設立目標，殊甚可惜，惟其仍具有林木遺傳資源遷地保育之功能。

五、八仙山苗圃牛樟復育實例

牛樟 (*Cinnamomum kanehirae*) 為台灣特有種(Endemic Species)，珍貴之闊葉樹一級木，據黃松根等人(1997)指出垂直分佈約在海拔450-1,800m，受緯度及地形影響，北部在200m南部在2,000m都可見其蹤跡。因棲地開發及野生族群受到盜伐及盜採牛樟芝之威脅，數量銳減，已被列為瀕臨絕滅植物(Endangered Plant)，如何復育為首務之要，目前除以設置保護區及多個母樹林進行現地保育外，遷地保育方面已利用扦插苗木栽植成多個採穗園及野外復育造林地，惟多有營養系數量及適應力不足之疑慮，故今後應特別重視，為確保無性繁殖苗所建立之野外造林，面對未來長期生長適應及競爭逆境所需要之遺傳變異，故需收集無親緣關係之家系數目至少30-50個，方具有復育造林足夠之遺傳基礎。

位台中縣和平鄉谷關地區海拔約1,000m八仙山苗圃之牛樟復育工作為例，於1989年起即注意到台灣貴重樹種資源，因森林開發及盜伐威脅日趨匱乏，實有必要積極加以復育，故於烏石坑苗圃以建造台灣杉(*Taiwania cryptomerioides*)、牛樟及烏心石(*Michelia compressa*)採穗園為起點，開始嘗試辦理無性繁殖扦插等試驗工作，並於1995年恢復使用八仙山苗圃時，即設定為復育原生樹種牛樟及台灣

紅豆杉(*Taxus mairei*)之特用苗圃，除持續辦理野外種源收集建立之採穗園及其撫育管理外，歷經10年後，於2005年成功收穫大量種子，並在林業試驗所育林系之協助下，培育成生理年齡年輕、具旺盛生命力之健壯實生苗，並以實生苗造林達成復育之目的；及可利用含分布全國種源之50個營養系採穗園，作為遷地保育用之營養系庫(基因庫)。

因全國各地氣候條件不同，牛樟之物候表現亦略有差異，尤以不同海拔進行扦插、採種、育苗及造林之最佳月份亦不相同，在施行遷地復育，如進行繁殖、培育及栽植等育林措施時，應視植物之生長及生理狀態，並配合當地季節氣候變化，較易擇定最適施行季節。

以八仙山苗圃配合母樹生長及開花物候，繁殖扦插苗、促進母樹開花結實，及採種培育實生苗之實例(表3)說明，例如出栽造林及扦插適期之判斷，台灣中部造林適期為每年春雨(1-2月)及梅雨期(3-5月)，若於第一次抽芽期前(12-2月)出栽，可配合春雨季節帶來持續小量降雨，並出栽後即抽芽長新根，故苗木出栽造林成活率最高，若延至5月(梅雨季)再出栽，新植苗木已萌發柔弱之新芽，易因夏季高溫及水份供應不足而枯萎，而出栽前剪除嫩芽或可改善，惟已影響苗木當年之高生長及成活率，故需延長施行刈草撫育時間，以掙脫雜草藤蔓之競爭。

由於其海拔高1,000m，冬春(12-2



照片6 八仙山苗圃營養系庫苗木生長情形(一) (攝影/吳江水)



照片7 八仙山苗圃營養系庫苗木生長情形(二) (攝影/吳江水)



照片8 久良栖營養系庫苗木生長情形(每單株皆有系編號) (攝影/吳江水)

月)溫度過低，又夏季為抽芽期，不適合採穗扦插，故需至秋季第二次抽芽期前(8-9月)，當年生新枝條芽體發育成熟健化時方適合採穗，並採穗扦插於溫室中培養後可迅速抽芽及發根，提高扦插苗成活率及降低育苗成本，而一般平地苗圃則無此限制，如黃松根及高裕斌(1997)在南鳳山的研究指出，牛樟一年中任何一個季節，均可採穗扦插繁殖，惟低溫季節(11-12月)扦插床最好增加地溫設備；而林鴻忠(1997)則以在花蓮玉里的育苗實例指出，在2-3月採穗最理想，故針對保育目標樹種繁殖育苗時，需先觀察記錄其生長物候表現，並配合熟練之育林技術，方可掌握育林適期。

六、結論

未來台灣林木遺傳資源保育努力的目標，不僅是現地保育，更重要的要有動態的遷地保育，即整合植生調查資料，建立需保育之原生樹種名錄，立法強制進行保育措施，而施行時需具備遺傳基礎夠大之天然基因資源族群或育種族群，應用物候學及林木遺傳育種學建造基因庫，積極生產遺傳基礎更廣的商業造林材料，進行復育造林，並逐步擴大族群之遺傳基礎及生育棲地，以有效執行林木遺傳資源保育，或可減緩物種滅絕及遺傳多樣性下降之速率，永續利用遺傳資源。▲

參考文獻 (請逕洽作者)

表3 八仙山苗圃配合生長及開花物候進行八仙山苗圃牛樟之撫育管理簡表

未開花植株	生長	(1)抽芽期					芽熟期			(2)抽芽期			
	月份	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
撫育管理	施基肥									截幹			
育林措施	苗木出栽造林						採穗扦插						
開花植株	開花	開花期		抽葉芽期				芽熟期		抽花芽及葉芽期			
	結實			結果期				果熟期					
	月份	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	撫育管理	施	基	肥	施追肥	套	袋			採種及修剪枝條			

註：修改自李淑敏等人，2010