

人工林營造森林濕地技術初探

文／圖 ■ 曹又仁 ■ 林務局保育組技士（通訊作者）

管立豪 ■ 林務局保育組組長

一、前言

依據拉姆薩公約（Ramsar Convention），濕地係指沼澤、沼泥地、泥煤地或水域等地區；不管其為天然或人為、永久或暫時、死水或活流、淡水或海水、或兩者混合，以及海水淹沒地區，其水深在低潮時不超過 6 公尺者。依據林務局第 4 次森林資源調查成果，臺灣森林覆蓋率達國土面積之 60.92%，故扣除潮間帶及沿海濕地，多數濕地均與森林生態系息息相關。森林濕地（Forest wetlands）廣義來說，即森林生態系中的濕地，含括內陸之湖沼及溪流等濕地類型；其中，湖沼相較於溪流環境，水流流速慢、土壤基質易保存，形成穩定之水域環境，孕育出多樣水生植群及動物種類，許多稀有或特有種類甚至僅棲息於該類森林濕地中。例如臺灣稀有且具滅絕危機之圓葉澤瀉（*Caldesia grandis*），本身結實率低且競爭力弱，又面臨棲地劣化消失及採集壓力，其族群數量稀少且分布侷限，目前僅草埤有數量較穩定之族群；湖沼枝額蟲（*Branchinella kugenumaensis*）係民國 80 年於向天池發現的一種小型水生甲殼類動物，能以休眠卵形式度過乾旱、低溫等不利於一般水生動物生存之

時節，當暫時性水池形成時，隨即在極短的時間內孵化、成長、繁殖及產卵完成其生活史（林與周，1991）；小紅蜻蜓（*Nannophya pygmaea*）為世界上體型最小的蜻蜓物種之一（Tsubaki 與 Ono，1986），目前僅發現於草埤水生植物茂密之環境，成蟲於水面產卵，稚蟲（俗稱水蠶）孵化後捕食池沼中的小型無脊椎動物，成熟後爬出水面、攀附於枝條羽化為成蟲，生活史與森林濕地水位漲落密切相關。除了前述各種水生生物，森林生態系中的陸域動物亦須靠水源供給維生，如嘉明湖畔為數眾多的水鹿等哺乳類動物，為造訪森林濕地的常客。綜上，森林濕地對於維持森林生態功能平衡，有著不可或缺的重要性。



▲圖1、森林濕地指的是森林生態系中的濕地，水流流速慢、土壤基質易保存，形成穩定之水域環境。（攝影／曹又仁）



▲圖2、森林濕地為水體轉為陸地之過渡生態系，常能孕育出複雜多樣的植被，圖中為草埤。（攝影／曹又仁）



▲圖3、小紅蜻蜓為世界上最小的蜻蜓之一，臺灣族群量稀少，圖中為停棲於枝條上的雌蟲。（攝影／曹又仁）



▲圖4、森林濕地為陸域動物賴以維生之水源，圖中為森林濕地旁發現之山羌足跡。（攝影／曹又仁）

臺灣的森林濕地（符合前述定義，扣除溪流環境）約計 276 處，集中分布於臺灣東北、北東與南東地理氣候區¹（蘇與陳，2012、2013）。平地的森林濕地與人類生活環境重疊，能提供觀光遊憩與農業生產等服務價值；中、高海拔的森林濕地，因氣候及季節水位變化，植物資源豐富且特殊，提供野生動物多樣棲息環境，常為生物多樣性之熱點。

臺灣現今林業規劃以生態保育為主，規劃重點包含種植長伐期優良樹種、加強中後期撫育、增加造林面積、厚植森林資源。林務局國有林事業區造林面積迄今約計 31.8 萬公頃，然而，因造林樹種過於單一或樹木種植密度過高，林地內及周遭之生物多樣性較不豐富。鑒於森林濕地提供生物重要棲息環境之功能，於人工林營造森林濕地增加棲地複雜度，藉以吸引動植物進駐，同時提升土地教育及觀光遊憩價值，不失為人工林經營管理上之創新策略。本文分析森林濕地營造之關鍵因子，並彙整國內外相關案例，初步提出人工林森林濕地營造技術，預期可供社會大眾、科學工作者、土地所有權人及經營管理者參考。

二、人工林森林濕地營造

（一）關鍵因子

1. 儲水能力

儲水能力主要取決於地質及表土特性、表面等高線等。地質及表土部分，要儲水，須先由自然崩落產生地形凹陷，此外，表土須具備不透水性或部分通透性，以避免水分大量滲透土壤而流失。通常富含未分解有機質的土

層具有許多孔洞，水分容易穿透其中，而越往底層，有機質多被分解為細小顆粒，將孔洞填滿，水分便不易通透。表面等高線部分，等高線有如一個盛水的碗的邊緣，即使將一個碗的某些邊緣用黏土加高並持續注水，水仍會由未加高的邊緣溢出，故儲水高度仍須以最低碗緣的高度為準；等高線（碗緣）高度增加，能協助累積降雨、不讓水隨意溢失。

2. 水源供給

水源決定了濕地的命運。濕地生態系是以水體為主的生態系轉變為以陸地為主的生態系的過渡期，不論是水量多寡或水源供應期間長短的微小變化，都可能對整個濕地及棲息其中的動植物造成深遠影響（Welsch 等，1995）。森林濕地的水源主要來自積雪融化、季節降雨、颱風，受季節影響甚鉅。此外，地下水補給以及周邊濕地也是水源供給來源，若森林濕地水位低於地下水位，水源可能由地下水流入森林濕地，反之亦然；又森林濕地彼此間因高度不同水源可互通有無，具有連動性。

3. 水生植被

水生植物（Hydrophytes，泛指生長於水中及其他類型濕地中之植物）。森林濕地之水生植物常因土壤含水量高，在適應上有著特殊的表徵。舉例來說，擴大的地上部便於氣體交換、促進氧氣由大氣中進入植物組織；肉質根則飽含氣體空間，能促進氧氣於組織間流動。部分水生植物還因氧氣供應量過大而由根部擴散出來，造成周遭土壤中的離子及錳沉澱氧

化，呈現鐵鏽斑的顏色。森林濕地在不同的時空狀況土壤含水量亦可能隨之變化，進而影響其中的水生植物組成。未來若實際瞭解各森林濕地環境狀態與水生植物組成間之關聯，水生植被應可做為不同類型森林濕地之歸類依據。

4. 動物

水源供給及土壤儲水能力提供森林濕地水生植物拓殖空間，而充滿植被的環境則吸引多樣生物進駐，於其中覓食和繁衍。許多動物因生活史特性僅能生存於森林濕地中，遂成為森林濕地環境的重要指標，如前言提及的小紅蜻蜓、湖沼枝額蟲及圓葉澤瀉。由植物作為生產者，動物作為不同階層的消費者、碎食者、分解者，組成複雜但又環環相扣的食物網，維繫森林濕地生態的動態平衡。

（二）案例剖析

1. 奧萬大國家森林遊樂區生態池

奧萬大國家森林遊樂區生態池位於南投縣仁愛鄉 1,200 公尺中海拔山區。林務局南投林區管理處於民國 94 年起進行生態池改善工程時，設置了林下池、楓葉池、香杉池 3 座無動力控制之生態池；3 座生態池經人工建造後，未主動種植水生植物或引入動物，透過自然演替過程，已逐步改善當地水域環境及森林底層空間，故為本文營造森林濕地之良好範例。以下就人工林森林濕地營造關鍵因子，分別闡述 3 座生態池之營造方式及生態現況。

林下池因底層水域富含天然次生林林下枯落物而得名，池中置放大型枯木供生物躲

藏。儲水能力部分，整地後以不透水布鋪於底層後覆土，水體因不經土壤通透至他處，除蒸散作用外可完全留存於池中。水源供給部分，因底質不透水性，全仰賴春、夏季降雨，秋、冬季則枯水或僅存覆滿落葉之濕泥。水生植被部分，多與當地原有落葉林底層植物種類無異，僅隨水源多寡岸邊之植物量有增減現象。動物部分，因水體乾濕分明，故以高度遷移性物種為主，如水黽等半翅目具飛行能力的水生昆蟲，可於該池枯水時飛至其他濕地棲息；此外，蛙類等生活史僅幼生期短暫利用水域環境之生物，也常為該池過客，如艾氏樹蛙 (*Kurixalus eiffingeri*)、面天樹蛙 (*Kurixalus idiootocus*)、拉都希氏赤蛙 (*Hylarana latouchii*) 及梭德氏赤蛙 (*Pseudoamolops sauteri*)。該池及周遭亦曾記錄到多種陸生型螢火蟲，如大端黑螢 (*Luciola anceyi*)、黑翅螢 (*Luciola cerata*) 及紋胸黑翅螢 (*Luciola filiformis*)，該類陸生型螢火蟲幼蟲偏好棲息於陰暗潮濕的森林底層，取食蝸牛、蛞蝓等軟體動物及蚯蚓。

楓葉池為楓香林下人工森林濕地。儲水能力部分，池底採用古早水田施作方式，即「晶化防滲工法」來製作天然防水層。晶化防滲工法透過整地除去大型樹根及石塊等障礙物，注入水源使土壤軟化，以怪手翻攪土壤後壓實底層土壤，重複上述步驟，土壤經靜置以及太陽曝曬，不同粒徑之顆粒自然沉降、分層，形成紮實的天然防水層，能有效減少水分溢失，累積池水。水源供給部分，當地因大棵楓香遮蔽，水分蒸散作用低，即使雨量不足全年均能

維持有水狀態。水生植被部分，因低日照量，無水生植物生長，僅著生少數耐陰、耐水植物如鏡子臺 (*Carex phacota*)。動物部分，因終年保持有水狀態，富含枯枝落葉且位於陰暗遮蔽處，水中滋長許多藻類供椎實螺取食，另可發現腹斑蛙 (*Babina adenopleura*)、拉都希氏赤蛙及盤古蟾蜍 (*Bufo bankorensis*)。



▲圖5、楓葉池利用晶化防滲工法製作天然防水層，常年維持有水狀態，蛙類及陸生型螢火蟲眾多。(攝影／董蓁)

香杉池為香杉造林地內的水域，池內遍布香杉枝條及葉片。儲水能力及水源供給部分與楓葉池雷同，均利用晶化防滲工法製作天然防水層，能維持終年有水狀態。水生植被部分，因接近森林邊緣日照量較充足，水生植物種類較前述生態池豐富，春季可發現匙葉眼子菜 (*Potamogeton malaianus*) 與石龍芮 (*Ranunculus sceleratus*)，夏季則有大量水綿及滿江紅生長。動物部分，可發現拉都希氏赤蛙及莫氏樹蛙 (*Rhacophorus moltrechti*)。



▲圖6、香杉池因日照較為充足，周邊植物茂密。（攝影／董蓉）

綜觀 3 處生態池，水生植被生長可能與日照量、水位維持及底層土壤有關。日照量越高或水位維持時間越長，水生植物往往較能拓殖；此外，底層土壤除能提供水生植物根部附著外，亦可做為碎食者棲息躲藏之微棲地，土壤中之微生物，亦能促進碎屑分解為植物可吸收之養分。水生植被也與進駐物種有關，部分植物族群（如滿江紅）生長期過後堆積腐朽，遂成為其他水生植種之有機肥料。一旦水生植被複雜度高，蜻蛉目及半翅目昆蟲擁有停棲、掠食及羽化的多樣空間，種類及數目亦隨之增加。

2. 特有生物研究保育中心生態教育園區

特有生物研究保育中心生態教育園區位於南投縣集集鎮海拔 310 公尺平地。為推動鄉土生態教育並喚起民眾愛護本土野生生物之意識，特有生物研究保育中心於民國 82 年動工闢建生態園區，召集研究人員成立專案小組共同協商、規劃、設計及施工，將 3.5 公頃廢棄儲木場以人為方式重建，創造出豐富多樣之分區，包含變色植物區、人工造林樹種區、珍貴稀有植物區、特用植物區、溪流生態區、常綠闊葉林區、蜜源植物區、草原生態區、草澤及水塘生態區、水生植物池區。



▲圖7、特生中心將廢棄儲木場闢建為圍繞著生態池之生態教育園區，營造出生物相富饒之人工森林濕地景致。（攝影／曹又仁）

在設計及經營管理上，園區以儲木池營造之生態池為中心點，除自然降雨外，由集集大圳及所屬周邊溪流、大排在豐水季節以抽水馬達補充生態池總體水源。再利用營造之坡度，將生態池水流抽至地勢較高處以噴濺方式供水，形成流動性較高之溪流區，水流順著地勢高低經過蜜源植物區、草澤及水塘生態區等後流入生態池循環利用。園區淨水域栽植臺灣萍蓬草 (*Nuphar shimadai*) 及大安水蓼 (*Hygrophila pogonocalyx*) 等臺灣特有之水生植物，專業員工並定期將生長過剩之水草（例如：滿江紅）撈除，維護水域之透光度，鳥類、蛙類、蜻蛉目等昆蟲為數眾多。另園區因水源來源多樣需進行水質監測，俾利控管源頭維持其良好品質，透過管理，園區至今仍有族群穩定之黃緣螢 (*Aquatica ficta*) 棲息，該種螢火蟲幼蟲棲息於水質較佳之水域，捕食蠕類或錐實螺等軟體動物，為反映水質狀況之生物指標。



▲圖8、特生中心生態教育園區栽植特有種植物臺灣萍蓬草（攝影／曹又仁）



▲圖9、特生中心生態教育園區架設管路建立水循環，營造靜水及流水域供對棲地需求不同之動物進駐。（攝影／曹又仁）

在經營管理維護下，生態教育園區成為當地居民閒暇時運動休閒之聚集處，亦為國內外遊客參訪景點，以及研究人員之試驗場域。園區現已成為臺灣珍稀植物重要之域外保存地點，蒐集撫育 141 種稀有、特有或特用植物，也因多樣植物及棲地水域營造，吸引進駐之動物種類豐碩。以蝶類為例，據估計，園內包含至少 5 科 96 種蝶類（曹等，2013），以佔地面積及人為營造角度看來，物種歧異度極高；其中，尤以蛱蝶科 (Nymphalidae) 為數最多，其原因或許與許多蛱蝶種類偏好棲息於樹冠較密之遮蔽、同時須有水源供其飲用之森林濕地周遭相關，園區營造之環境正好滿足其需求。

3. 美國安德森縣立學校濕地

該類校園森林濕地營造目標為創造水位可隨季節變化但不致乾涸之森林濕地。

挑選營造地點時，應選擇有鬆軟壤土、地勢較低且平坦處，其坡度應小於 10%，深度則應介於 46 ~ 61 公分深。可挑選那些方

便蒐集到屋簷或冷氣排水的地點，因為這些地點能加速雨季時水源的補充。此外，可優先挑選森林中滿布外來植物的地點，如此一來，營造森林濕地的同時，移除掉外來植物，再栽植較有觀賞價值且適合當地的原生植物，達到經濟上與生態上雙贏效益。

營造時，應先建立生物滯留應用系統（bioretion applications），如種滿不須頻繁經營管理之原生植物的緩衝帶，藉由讓水源中的物質先行沉澱再流入主要池區，同時達到冷卻及淨化水體之效果。引入生物時不應引入任何一種動物或非原生植物，避免導致疾病傳染或外來入侵種生物擴散等負面效應。引入植物時應建立不同的植物區來增加動物躲藏及覓食空間。避免蚊類滋生部分，該類森林濕地特別鼓勵自然被吸引而來的蝶類幼體、蜻蛉目稚蟲、划蝽、水黽、蝙蝠來協助移除蚊子及孑孓，而非主動引入魚類，因魚類雖能捕食孑孓，但亦可能將前述各種掠食者當作獵物，降低可共同協助移除蚊類孳生的掠食者種類和數量，使辛苦營造之生物多樣性遭受危害。

後續經營管理更應注重安全問題，本案例以美國校園周遭營造森林濕地為主，應特別加強學童對於周遭環境的警覺性和野外知識，使得利用該類濕地進行教學活動時，亦能透過學童提高警覺、認識環境來避免遇到危險或提升其隨機應變之能力。

4. 由天然森林濕地轉為人工森林濕地（明池國家森林遊樂區明池湖、南仁湖生態保護區）

明池國家森林遊樂區位於宜蘭縣大同鄉北橫公路海拔 1,150 ～ 1,700 公尺處。森林遊

樂區係以遊憩為導向，「明池湖」長年雲霧繚繞，孤木佇立池中，為全區亮點，素有「北橫明珠」之美名；周邊規劃山水庭園如「靜石園」、居高臨下之「慈孝亭」、栽植各式花卉之「明池苗圃」，滿足遊客不同參觀需求。「明池湖」為高山人工湖泊，長約 300 公尺、寬約 150 公尺，周遭環繞著柳杉人工林（國父百歲紀念林，即蔽園）以及原始檜木林。據稱明池湖原為天然之高山內陸湖沼，後自三光溪引入水源，以人工方式維持現今廣大之湖體。該區以明池湖人工濕地為中心，以木棧道與周遭人工、原始林連結，可從不同高度、角度觀賞明池，增添拍照及遊覽樂趣。因遊憩目的及人為營造導向，明池湖常見生物多為人工養殖之外來物種，如池中的錦鯉、鴛鴦、綠頭鴨及天鵝。往森林走去，則可見到原生之鳥類，如青背山雀、灰喉山椒鳥等。臺灣的森林濕地與溪流密不可分，溪流常為森林濕地的水源供給來源，如明池湖，其水源供給為三光溪。溪流與森林濕地過度帶，也為野生動物提供特殊之棲地環境。例如，林務局民國 98 年委託調查研究發現，三光溪接近明池附近曾發現保育類野生動物水鼯（*Chimarrogale himalayica*）之排遺。該物種偏好棲息於溪流沿岸植被覆蓋良好、水質乾淨、多淺灘的濕地，族群正面臨河川污染及溪流整治工程等衝擊；希望森林濕地，以及其與溪流之過度帶，能成為這些生物最後的庇護所。

南仁湖生態保護區位於屏東縣滿州鄉海拔 319 公尺處。南仁湖為國家級重要濕地，面積約 118 公頃，據稱係由數個小型內陸湖

沼，因經年雨水匯集及人工築堤堵塞而形成現今可見的廣大湖體。其水源供給仍為山泉水及雨水，四周環繞典型熱帶季風林。南仁湖水生植物頗豐，常見者包含莎草科之螢蘭（大井氏水莞）、水毛花、甜葶薺，較稀有者如極危植物龍骨瓣苔菜（*Nymphoides hydrophylla*）、易危植物瓦氏水豬母乳（*Rotala wallichii*），以及近危植物蔓囊荷（*Floscopa scandens*）。正因水生植物眾多，吸引鷺科及雁鴨科鳥類於該處棲息覓食，如牛背鷺、小白鷺、大白鷺、蒼鷺、小水鴨等。保育類野生動物包含灰面鷺、大冠鷺、紅尾伯勞、金線蛙、黃裳鳳蝶，此區亦為趙氏芝麻蝸牛（*Diplommatina chaoi*）的模式標本採集地。南仁湖位屬墾丁國家公園南仁山生態保護區範圍，依據國家公園法，其進入應經國家公園管理處之許可，該區目前可申請進入，每日限額 400 人。

明池湖海拔雖高但為著名觀光景點，南仁湖海拔較低但著重於生物多樣性保存及生態研究使用。兩者皆經人工介入維持廣大湖體，非人工林營造森林濕地典型案例，惟其不同之經營管理方式，可做為人工林森林濕地營造後經營管理參考。因應人工林現況，如海拔、交通及受保護程度，考量森林濕地建造後之遊憩功能及保護當地動植物資源之方式，取得兩者間的平衡。重要的是，相較於保持現狀，應審慎考量營造森林濕地是否能達到預期效益，增加人工林被利用價值以及生態系服務價值。

（三）營造技術

如同造林樹種的選擇需考量造林地的環

境狀況適地適種，人工森林濕地的營造與人工林現地狀況環環相扣，須因地制宜。營造前，應深入瞭解 4 項關鍵因子：即上述儲水能力、水源供給、水生植被及動物。營造地點優先挑選人工林中地勢較平坦且可與其他水源（如周遭溪流或其他濕地）連結之地點。若當地土壤不易保持水分，可採取晶化防滲工法製作天然防水層以維持全年有水狀態。另應維持一定的日照量，避免營造之森林濕地全數籠罩於茂密之樹冠下，可創造半遮蔭環境，使各式植物均得以生長；栽植時，可配合地勢和水流特性規劃不同植物區。水域及植被初步營造完成後，觀察植被生長狀況及動物進駐情形，瞭解該人工營造之森林濕地是否可持續運作，達生態上之穩定平衡狀態。此外，應設立解說牌誌解說營造過程及營造目的以取得各方認同；另設立警示牌誌避免天候不佳時人員誤入衍生安全疑慮。最後，需審慎評估該地未來經營管理應採取遊憩教育導向或保存生物資源導向，或設法取得兩者間之平衡，發揮人工林森林濕地之最大功效。



▲圖10、成功營造之人工森林濕地可活化既有場域，提供寓教於樂功能。（攝影／陳淑玲）



▲圖11、水質良好之人工森林濕地，為陸生型及水生型螢火蟲喜愛棲息的環境。（攝影／曹又仁）

三、結語

人工林營造森林濕地能增加棲地複雜度，吸引各式生物進駐，提升土地教育及觀光遊憩價值。然而，實際營造前應謹慎衡量營造森林濕地之利與弊，設法讓水利專家、地理專家及生物專家參與規劃，針對濕地之儲水能力、水源供給、水生植被及動物進行分析評估。仔細瞭解當地水文及地理環境，並關注植物種類及動物族群狀況，一方面避免引入外來物種造成生態浩劫；另一方面避免影響當地動物族群，如當地物種因移入人工營造之森林濕地使得主要族群分散為各個小族群，導致近親交配、遺傳歧異度下降，甚至滅絕，必要時，須建立生態廊道來連結各個濕地。森林濕地營造後，考量經營管理力度，應避免過度人為干擾影響當地生物棲息。針對相關工作同仁及地方社區居民，推廣應用時更應強調正確的環境觀念，使其理念一致，共同為人工林經營管理及維護生物多樣性盡一分力。🌱

備註：

1、蘇鴻傑（1985）依據中央氣象局 155 測站紀錄以多變量分析將臺灣分成東北區、西北區、中西區、西南區、東南區、蘭嶼區、東部區共 7 個地理氣候區。



（圖片／高遠文化）