

都市林生態效益評估

◎文、圖/林業試驗所森林保護組·劉則言 (tyliu@tfri.gov.tw)、陸聲山、林朝欽、吳孟玲、莊鈴木
◎林業試驗所六龜研究中心·周富三

前言

在社會發展的過程中，人口及產業急遽向都市集中，伴隨著道路、橋樑、大樓等各種類型的城市建設，造成都市區域內的綠色植被大量流失，導致環境破壞和生態失衡等問題，突顯了都市裡綠色植被存在的必要性。都市林(urban forest)涵蓋了生長於都市或都市周邊區域內的所有樹木，這些樹木，能提供都市許多不同面向的生態服務功能，包含調節氣候、涵養水源、節能減碳、淨化空氣、美化環境等，可改善都市及周邊環境的品質和居住者的健康，是都市內相當重要的綠色基礎設施(green infrastructure)。此外，都市林能為城市帶來生態效益的多寡，與樹木的種植規劃和生長狀況息息相關，若能為都市樹木提供良好的生長環境，並經由後續的監測和維護使樹木維持在良好的健康狀況，將可使城市裡的樹木發揮最佳的生態系服務功能(圖1)。



圖1 都市林為都市內相當重要的綠色基礎設施，可改善都市及周邊環境的品質和居住者的健康。

過去，我們常容易忽略城市裡綠色植被存在的價值，其中一個最重要的因素，就是缺乏能將這些綠色基礎設施所帶來的效益進行量化評估的方式，特別是樹木具備的各種生態系服務功能，若能將之量化甚至轉換成實際的貨幣價值，將有助於都市經營管理者、市政規劃人員、乃至一般社會大眾，更加明確瞭解都市林對環境生態與居民生活之重要性，並在進行各種經濟效益評估的同時，將都市林的生態服務效益以合理的經濟價值計入，進而提出讓樹木得以發揮最大生態服務效益的城市發展藍圖與都市林管理維護方式，以提高都市的環境品質、居民健康與生活福祉，使城市的整體價值得以向上提升。

i-Tree是甚麼?

i-Tree是美國農部林務署(USDA Forest Service)於2006年所開發，用來作為都市林效益評估與管理之用的軟體，並經許多研究機構與都市經營團隊採用，以此作為都市林和社區林業分析與效益評估的工具；這套系統也在2008年和2009年分別推出2.0和3.0版本，並於今年(2017年)推出最新的6.0版本，不僅強化原有的功能，也提供更簡易及更加視覺化的操作介面，未來也將持續和眾多合作研究團隊共同進行不同功能的開發與修訂。藉由完善的樹木調查建立都市樹木的基礎資料，並結合當地的氣候、空氣汙染與經濟水準等資訊，經由各種演算模型，估算出都市



圖2 i-Tree系統在國際間的使用者分布情形。(本資料節錄自美國林務署i-Tree官方網站)

林所能帶來的經濟效益。透過提供不同樹種的參數資訊、不同範圍樹木調查的靈活性、水文與地景分析的多層次功能分析等，甚至可以經由背後複雜的演算模組，提供都市樹木在節能、空氣品質淨化、暴雨截流，甚至房地產價值提升等方面的評估，並將最終的計算結果，以當地的貨幣價值呈現，故受到相當多使用者的歡迎。

該系統除了在美國當地被各城市用於進行社區林業與行道樹評估工具外，在國際間也被廣泛運用，現今全球已有超過100個國家，如加拿大、英國、澳洲、南美洲、歐洲、亞洲等地區(圖2)，透過i-Tree來定量都市林的結構、功能和價值；透過該系統的不同分析工具，提供了一個完善的城市森林經濟價值評估技術平臺，供我們量化不同規模的都市林結構、樹木所提供的服務價值及所產生的經濟效益，可計算社區森林或行道樹等都市林的淨化空氣、固碳、節能減碳、截留雨水等效益，也由於i-Tree計算樹木所產生的效益可轉換為貨幣價值，將有助於提供都市規劃人員和決策者一個科學化的依據，對都市林的管理和維護作出更客觀的評估。

透過美國林務署2017年最新版的i-Tree官方網站，這套系統所提供的不同模組與功能，主要可分為提供使用者於桌機上安裝使用的i-Tree Eco、i-Tree Streets、i-Tree Hydro和i-Tree Vue四大模組，以及可以直接透過電腦或手機網頁進行操作的i-Tree Design、i-Tree Canopy、i-Tree Landscape、i-Tree Species、i-Tree MyTree和i-Tree Database模組。其中的i-Tree Eco是整個i-Tree系統的主要核心架構，其設計包含了都市林的調查方法和分析運算程式，透過這個模組，可以讓使用者明確了解都市林的整體概況。其使用的方式可以對整個社區或都市的每一棵樹木進行普查，或者透過軟體將調查的樣區進行隨機抽樣或分層抽樣後，再針對抽樣結果進行樹木調查，最後結合當地空氣汙染與氣象資料，經由系統來量化都市林結構、環境影響與對社區的價值。

i-Tree Eco評估生態服務效益

i-Tree Eco模組是基於都市林的結構會影響都市林的功能與價值而建立，經由準確的評估都市林的結構，來對其功能與價值進行出較佳的估算，透過進行精確的地面樹木調

i-Tree樹木調查項目示意圖

觀測冠幅(東西向、南北向)的缺失率和梢枯率

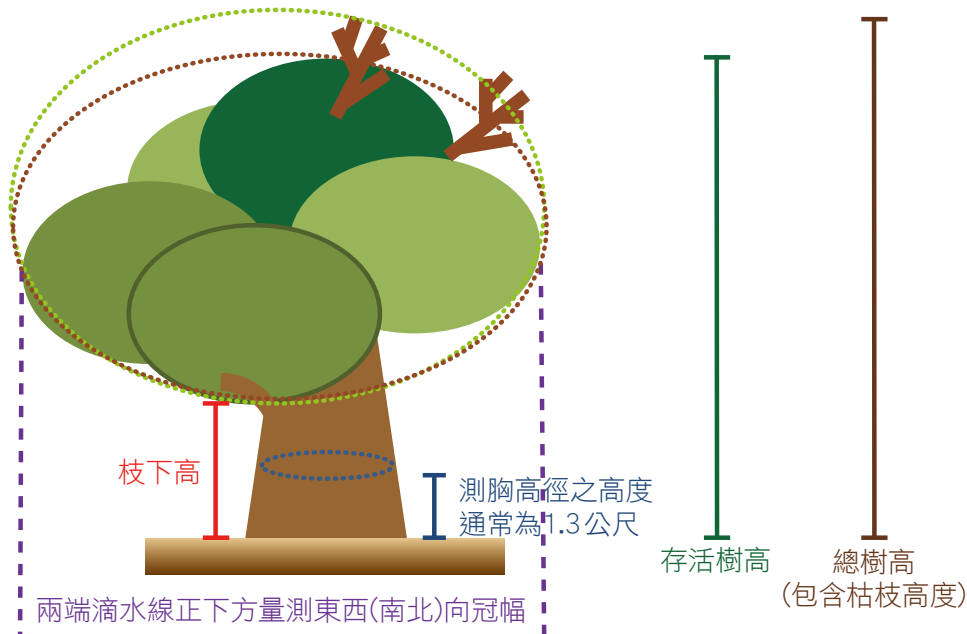


圖3 i-Tree Eco所需蒐集樹木基礎資料的示意圖。(整理自i-Tree使用者操作手冊)

查，並蒐集符合系統運算需求的資訊給i-Tree Eco模組來進行運算，是能否成功進行都市林生態系服務效益評估的第一步。這個模組可透過對都市樹木進行地面普查或抽樣調查的程序，來測量不同的都市林結構資料，包含樹種組成、樹木密度、徑級分佈、冠幅等；本模組會使用量測好的結構資料，來估計算出其他結構，如葉面積、樹體和葉的生物量，最後結合當地的環境資料，如空氣汙染物移除、碳吸存、建築物節能等，以及經濟發展水準等資訊，經由系統演算出都市林的經濟價值。

為了讓i-Tree Eco的使用者能夠有效率的蒐集運算所需的樹木基礎資料，i-Tree Eco也建立了一套調查程序與樹木資料蒐集的標準，並提供了一個制式的調查資料表單，讓使用者可以根據表單的各欄位蒐集進行分析所需的各項數據。針對想要分析的每一棵樹木，需要調查蒐集的資料一共有19項，分別

為：樹木編號、調查日期、調查人員、樹木GPS資訊、樹木照片及編號、樹木狀況、樹種名稱、樹木種植區域土地利用方式、測量胸高直徑的高度、樹木胸高直徑、樹總高度、樹冠層高度(活樹高)、枝下高、樹冠幅、樹冠缺失率、樹冠梢枯率、樹冠受光面、樹木與建築物的距離和方位角、是否為行道樹等；其中測量樹木胸高直徑的離地高度通常為1.3公尺，樹木總高度為地面到樹冠最頂點枝條的距離(枯死枝條亦納入量測)，活樹高則為地面到樹冠具活力枝條的最高點距離，樹冠幅是量測樹冠東西向及南北向滴水線之間的距離，樹冠缺失率為與理想樹冠相較下的樹冠層空缺百分比，樹冠梢枯率則為樹冠非自然死亡的枯枝所占總枝條百分比(圖3)。

在獲得上述的樹木調查資料後，使用者就可以回到電腦前面，打開i-Tree Eco的操作介面，進行資料輸入的工作，同時必須將我

們所在地的氣候地理區資訊及環境污染資料一併提供給系統，這些資料會回傳到系統終端的資料庫，並由系統開發者美國林務署的i-Tree團隊進行審核，將符合要求的資料進行運算，最終完成一份都市林組成結構與生態系服務效益的報告，再回傳給使用者，其中的都市林組成結構會提供不同樹種所佔百分比的資訊，生態系服務效益則為都市林所提供的二氧化碳固定、空氣汙染物淨化、暴雨截流等效益，這些效益並會換算成實際的貨幣價值供使用者參考。

國內都市林i-Tree先驅研究

林業試驗所都市林研究團隊，也針對北部的臺北大安森林公園、臺北青年公園及南部的高雄都會公園展開了i-Tree Eco的先驅試驗，透過對都市林的調查結果來進行準確的評估，經由調查三個公園樣區內的樹種基本結構，包括物種組成、樹木密度、徑級分佈、冠幅等，進而換算得出葉面積、生物量等其他結構，從森林結構決定其功能，並進而由功能決定其經濟效益。三個公園調查樣區內的樹種組成百分比分別敘述如下，青年公園調查的85棵樹木中，樟樹佔49.41%、榕樹佔28.24%、臺灣欒樹佔5.88%、濕地松佔5.88%；大安森林公園調查的65棵樹木中，榕樹佔43.08%、黑板樹佔30.77%、島榕佔10.77%；高雄都會公園調查的139棵樹木中，蒲葵佔26.62%、黑板樹佔17.99%、臺灣欒樹佔10.79%、可可椰子佔10.79% (圖4)。此外，蒐集與彙整臺北與高雄環保署每小時空氣汙染物濃度與中央氣象局的氣象資料(溫度、濕度等)，並選取美國氣候環境與臺北

及高雄兩城市相似的城市作為參照模型的基礎，以核算推估出三個都會公園的生態系服務經濟價值，包括移除六項汙染物(CO、O₃、NO₂、PM₁₀、SO₂、PM_{2.5})與逕流避免(avoided

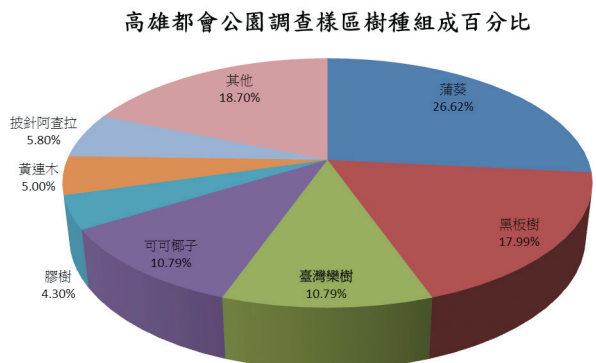
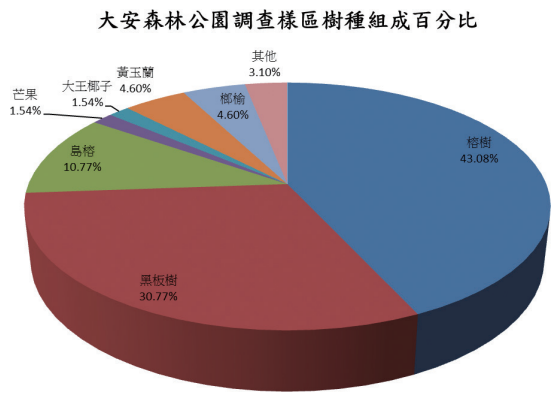
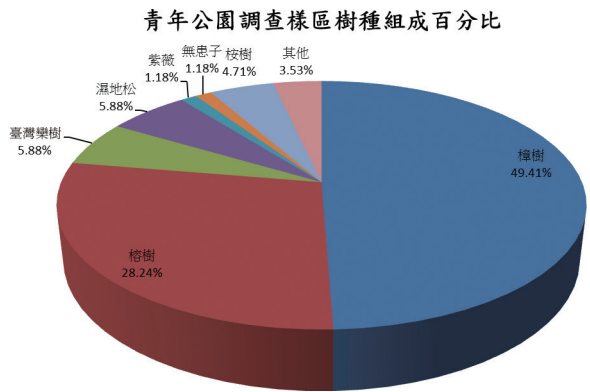


圖4 三個都會公園調查樣區內的都市林樹種組成百分比。

runoff)的經濟效益，並以大安森林公園調查樣區樹木提供之生態系服務效益量化結果，進一步分析各種生態系服務價值佔整體總效益的百分比，結果顯示其中逕流避免佔整體生態系服務效益價值的46%，污染物移除佔54%（臭氧移除佔27%、一氧化碳移除佔2%、二氧化碳移除佔9%、PM₁₀移除佔10%、二氧化硫移除佔4%、PM_{2.5}移除佔2%）（圖5）。

研究團隊首次獲得一份屬於國內都市林的效益評估數據，但這份評估報告是以美國地區參數為基礎所進行的分析。雖然讓我們了解到i-Tree Eco可以在臺灣進行運作，並可用於評估不同都市林所提供的生態系服務效益相對比較結果，但若是想要直接透過i-Tree進行國內的都市林效益評估，並提供一個足以被都市經營管理者所接受的客觀分析結果，仍需要進一步將i-Tree Eco運算模組的各項參數進行本土化。因臺灣所處的地理氣候區為亞熱帶，和美國所在的溫帶地區，在樹種上有很大的差異，所以需要建立臺灣都市林樹種基礎形態、生理、生態特性的研究，彌補系統中缺乏的樹種參數；另外，需要收集國內各地區氣候、氣象、空氣汙染等完整觀測資料，以及像空氣汙染防治和暴雨截流成本等經濟效益資料，用以校正i-Tree系統中的相關參數，才能讓系統所提供的都市林生態系服務效益量化貨幣價值，更符合臺灣的實際狀況。

結語和展望

要創造適合都市林木生長的环境，必須評估種植環境、篩選適合樹種；對於樹木分布、種植種類、樹木生長狀況、立地微氣候、土壤結構與性質、營養、水分，及其他

大安森林公園生態系服務效益

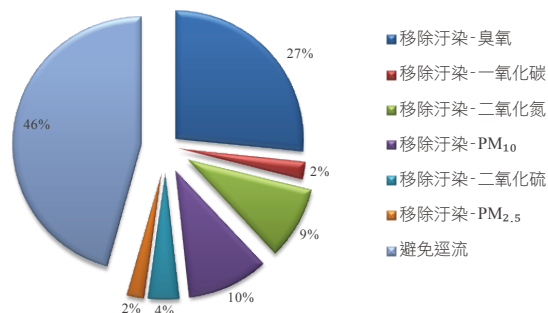


圖5 大安森林公園調查樣區內都市林所能提供之各生態系服務效益所占百分比。

生物利用等長期監測資料的收集與彙整，可評估都市林木健康與環境之關係，亦可應用於預測都市林木對於都市環境改善與節能減碳之潛在價值，將有助於都市綠色基礎建設整體的維護、發展與管理。但如何使都市林發揮最大效益的一個重要前提，便是量化這些生態服務功能，甚至以貨幣價值量化。

美國農業部林務署所發展的資訊系統i-Tree，可作為都市林與社區林業分析及生態系統服務效益評估之工具，其中的i-Tree Eco模組，包含了樹木調查標準、調查程序規劃、資料管理與遠端資料分析等功能，是i-Tree系統的核心架構，透過國內i-Tree Eco的先驅研究，我們已成功將該模組的標準調查方法與流程在國內運作，但系統中仍缺乏臺灣都市樹木、行道樹的樹種特性及相關環境因子等基礎資料，未來若能透過持續累積相關資料，並與美國林務署共同建立符合國內都市林效益評估的參數，結合i-Tree Eco所提供的都市林調查規劃和資料管理電腦軟體工具，將能以此發展出符合我國環境狀況的生態效益量化運算模組，提供一個客觀的都市林效益評估方式，讓都市經營管理者在對都市林進行規劃與管理時有參考的依據，同時讓民眾能夠具體感受到，都市林所能為城市帶來的各種不同效益，將有助於都市林整體的維護、發展與管理。♻️