

# 都市森林對二氧化碳減量的貢獻

文、圖 ■ 林俊成 ■ 林業試驗所林業經濟組助理研究員

■ 李國忠 ■ 國立臺灣大學森林環境暨資源學系教授

溫室氣體（二氧化碳、甲烷、氧化亞氮等）大量排放，引發「全球溫暖化」現象，其中以二氧化碳對溫室效應的衝擊最大。近年來國際間要求二氧化碳減量以避免全球氣候變遷持續惡化，然而由於經濟的發展、都市區域的擴張，越來越多的人類居住在都市區域。隨著都市化腳步的加速，人們在享受都市文明的豐富物質和精神生活之際，必須面對隨之產生的人口激增、交通運輸頻繁，導致資源短缺、能源危機、環境污染與生態失衡等問題，這些都是快速發展後的「都市病徵」。而不斷使用石化燃料的結果致使都市成為二氧化碳之主要排放地區。森林中林木和其他植被藉由本身生理機能進行光合作用，吸收大氣中的二氧化碳並轉化為有機碳的形式貯存於其植物體部分（包括地上、地下）及森林土壤中，當林木為中、幼齡林時，隨著林齡而增加生物量，也提高其對碳的吸收能力並將碳加以貯存，當林木已屆成熟林時，植物體可維持高蓄積的碳量。

「都市林業」之觀念，於六十年代始受重視。此乃由於各國工業發展，都市城鎮迅速擴張，不但將附近森林破壞，且危害市鎮內

原有樹林及行道樹等，更由於空氣及噪音之環境污染，微氣候之變劣等。都市居民除對綠化生活環境及增加以林木組成為主之休憩地區感到迫切需要外，對樹木能減少此等污染及改良微氣候之功效亦逐漸有深刻的認識與體會，故各先進國家均已著手推行都市及市郊林之維護與發展。美國林學會把都市森林業定義為「培育和管理林木，對都市社會居民的生理健康、社會福利和經濟繁榮發揮作用的一種高尚事業」，並據此制定了都市森林的經營管理目標為美觀、安全與效率。因此，我們可以將都市森林的範圍定義在都市行政區劃範圍內的市郊森林、市區公園、綠地、行道樹等。更簡單地說，在都市範圍內與市民生活相關的所有樹木及相關植物的所在地，都是都市森林的範圍。對於居住在都市中的人類而言，都市森林為都市區域或都市近郊的自然環境，都市森林的營造是相當重要的，也為規劃生態都市或環境管理的重要因素，因為都市森林具有多元的功能，高清（1989）將都市森林的效用歸納為調節氣候（調節氣溫、調節濕度、防風）、工程上之效益（水土保持、環境衛生、噪音防制、交

林在碳貯存量雖然保存有高蓄積，但其生產量與枯死量略維持平衡，故淨生長量大致為零。因此，健康、有生命力的林木將比有病蟲害、受壓迫、生長不佳的林木，可吸收更多的二氧化碳。在一般的森林區域，由於林分具有較高林木密度，因此在單位面積，森林區域可吸存二氧化碳量大約是都市森林的兩倍，平均每公頃在4~8公噸之間（Birdsey, 1992）。不過，因為都市森林的林木一般種植生長較快的樹種，因此以單株而言，可吸存較多的二氧化碳（Jo and McPherson, 1995）。

二、林木環繞於建築物周圍，能調節微氣候，森林的覆蓋可降低氣溫和風速，所以林木樹蔭可降低夏天時對空調的需求（Heisler, 1986; Simpson and McPherson, 1998）。因為電力生產是二氧化碳主要排放源之一，故林木可間接減少因電力生產（火力發電）時有關的二氧化碳排放。透過增加林木種植和植被覆蓋能減緩都市熱島效應（Heat islands）的衝擊和節省能源使用。因此，都市森林可成為二氧化碳吸存的重要地點。Huang et al.（1987）曾量測住宅周遭的林木的節省能源使用效益，在美國Sacramento、Phoenix和Lake Charles等三座城市的模擬結果發現：如住宅周遭有種植3株成熟的林木，每年將能減少25~43%的能源需求和12~23%的冷卻能源需求，可見林木對節省能源使用是有效果的。



▲都市森林對二氧化碳有吸存效果。

關於林木對碳吸存的貢獻：Sedjo（1989）曾試算造林對碳的貯存量，在普通人工林每公頃年平均生長量為15立方公尺的林地，1立方公尺可吸收0.26公噸的碳。Maclaren（1996）分析紐西蘭人工林地碳的吸存量，當輪伐期為20~50年時，平均每公頃碳的吸存量約在72~187公噸之間。Moura-Costa et al.（1994）分析馬來西亞沙巴（Sabah）地區種植龍腦香科林木之碳吸存效果，初步估計結果，輪伐期如為60年，每公頃可吸收195公噸。生長快速的樹種（即速生樹種）較生長較慢的林木，在初期可吸存較多的二氧化碳（Jo and McPherson, 1995）。雜交楊（hybrid poplar）在林齡為30年時，可吸存約2.5公噸的二氧化碳，而糖楓（sugar maple）在林齡為60年時，可吸存約3.2公噸的二氧化碳（McPherson and Simpson, 1999）。林俊成等（1999）以生物量法估算國有林柳杉人工林碳吸存量為每公頃161公噸。李國忠等（2000）推估台灣杉人工林碳吸存量，不同造林地公頃碳總吸存量在32.6~133.1公噸間，平均每公頃為76.8



公噸。林俊成等（2002）評估推行全民造林運動推行前三年造林地的二氧化碳吸存潛力，推行20年後，可累積吸存約458萬公噸的二氧化碳。二氧化碳吸存量以闊葉樹種為佳。林裕仁等（2002）應用森林資源調查所建立的林木蓄積資料庫，以數學估算模式準確地推估森林資源林木之碳貯存量，推估結果台灣地區森林林木之碳貯存量約有150.7百萬公噸，每年可吸收大氣中約4.56百萬公噸的碳，而台灣地區森林林木每公頃平均碳貯存含量約為71.68公噸。謝漢欽等（2003）應用地理資訊系統計算六龜試驗林1969、1980、1989年之二氧化碳吸存量，估算結果顯示：森林蓄積對二氧化碳吸存總量，3個年期依序為199萬、227萬及302萬公噸呈遞增的趨勢。依據各林型的年淨生長率，以1989年蓄積為基準估算，迄2002年止六龜試驗林主要林型之森林蓄積對二氧化碳的吸存貢獻量，總計為414萬公噸。林國銓等（2003）以林試所六龜試驗林的台灣杉人工林為對象，選取20和27年生兩林分，估算其生態系碳貯存量。結果顯示：全林分碳貯存量，土壤佔最大量為55~62%，喬木次之佔36~41%；土壤中約44~50%集中在0~15公分處，喬木則約80%位於樹幹。

關於都市森林對二氧化碳減量的效果：Rowntree and Nowak（1991）評估美國都市森林，其平均生物量為每公頃60公噸，碳吸存量為每公頃27公噸。由此推算全美都市森林的碳吸存量為7.25億公噸。Nowak（1993）估計美國加州的奧克蘭（Oakland）

都市森林（森林覆蓋率為21%）的碳吸存量，每公頃可吸存11公噸的碳，由此擴大推估美國的都市森林的碳吸存量在3.5~7.5億公噸之間。Nowak（1994）估計都市森林個別林木的碳吸存量，當一株平均胸徑為31~46公分（樹冠幅約50平方公尺）的林木的碳吸存量每年為19公斤。Akbari（2002）估計美國加州之洛杉磯（Los Angeles）市內所種植的每株林木，每年可減少4.5~11公斤的碳。Nowak and Crane（2002）根據對美國10座城市之都市森林的林木所做的野外調查數據，估計美國都市森林的林木可吸存7億公噸的碳（具有143億美元的價值）與每年的淨碳吸存率為22.8百萬公噸的碳（具有4.6億美元的價值）。整個國家平均都市森林的碳吸存密度為每公頃25.1公噸，而森林的碳吸存密度為每公頃53.5公噸。Brack（2002）以澳洲坎培拉（Canberra）都市森林進行個案研究，這項研究使用林木調查、模式推估和決策支援系統來收集和使用這些都市森林之林木資料。使用決策支援系統模擬2008~2012年這五年內，其都市森林具有能源使用減少、污染減輕和碳吸存的價值約有20~67百萬美元。

都市森林依所在地點及性質，可區分為公園、行道樹、機關學校綠地、河邊、住宅與社區綠地、郊區都市森林等類。台北市都市森林的面積主要以郊區都市森林的比例最高，本文嘗試用效益轉換（benefit transfer）的方式，初步推估郊區都市森林的碳吸存量。依台北市森林資源調查規劃結果，整個



(圖片 / 作者提供)

郊區都市森林的面積約有8,979公頃，佔整個台北市土地面積之33%（台北市建設局，1992）。由於早期人為的開發與破壞，現多由相思樹林所取代，如依據林俊成等（2002）對於全民造林運動二氧化碳吸存潛力之經濟效益評估結果，相思樹20年生的二氧化碳吸存量每公頃為380.31公噸，依此做為推估基礎轉換數值，其台北市郊區都市森林的二氧化碳吸存量可達3.4百萬公噸。此外，根據臺北市政府環保政策白皮書（2002）中說明：台北市的行道樹計有113,432株，另外現有都市計畫及非都市計畫之公園、綠地、廣場、兒童遊樂場及河濱公園等計990處，總面積約1,915公頃，已開闢749處，面積1,274公頃，在這些都市森林也具有很大的碳吸存量。

在這都市叢林，都市森林的存在，對二氧化碳減量的貢獻是不容忽視，台灣地區較少對都市森林的碳吸存功能進行研究分析，因此，在這方面的研究及數據取得有待加強。由於都市森林的林木生長情形，並未做過長期及全面的調查，且所屬轄管機關複雜，次級統計資料取得及初級資料調查工作皆需投入較多時間與人力。因此，欲瞭解都

市森林區域內森林長期變化的數值與更新及死亡率，除了可使用次級資料外，配合現場調查與地理資訊系統的使用，應可更為準確掌握都市森林生長的動態變化。在做法上。蒐集都市森林林木資源，如都市森林之分布區域、面積、分布位置、栽植樹種、栽植年、栽植株數、自然環境（如土壤、地質）與森林資源調查等相關統計資料及利用地理資訊系統（GIS）資料庫中的環境資料庫（包括航空照片、遙測影像等所得之氣候、土壤、海拔及地形資料），以期建立造林、影像、環境資料庫。藉由實際的都市森林樣區之林木生長及生物量地面調查（包括樹種、林齡、現有株數與林地分布狀況及樹高、胸徑及株數等生長與環境調查），並建木材積生長、生物量模式建立，以推估整體都市森林的總蓄積量與生物量。經由碳吸存評估模式，可初步推估都市森林的碳吸存量。

評估都市森林的碳吸存量的結果，可使經營管理者、決策者對都市森林在氣候變遷的貢獻上有深層的了解，並供建立「生態城市」的一個重要準則與指標。🌱

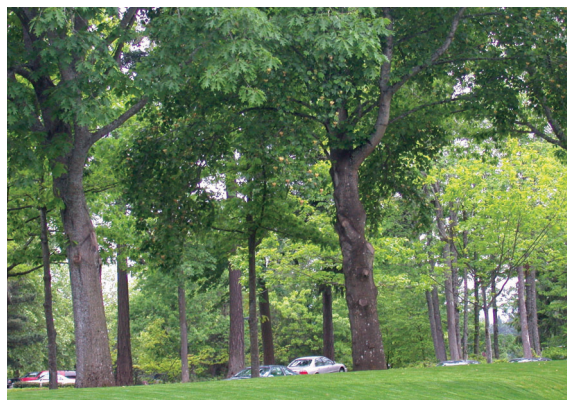


通管理)、建築上之效益、美學上之效益等四大類。都市森林的貢獻非常多,例如:可淨化大氣、美化空間、提供方便的休憩場所等。歷史悠久的都市森林更是一種融合人文歷史的文化資產,具有社會教育功能。當都市森林成林後,將逐漸發揮功能,這些功能的價值可分為有形及無形兩大部分。有形價值主要是指可透過市場機制而決定的實質價值,如立木的市場價值;1993年美國林務署特提出都市森林所具有的實質功能,而其無法計算的無形貢獻價值,可區分為四種:精神與美學的價值、凝聚社區居民情感的社會價值、歷史與文化價值、環境與生態的價值。其中環境與生態的價值最為重要。都市森林在目前全球矚目的溫室氣體減量議題上,也扮演重要角色。

森林資源對二氧化碳的減量策略,可由碳保存(carbon conservation)、碳吸存(carbon sequestration)、碳替代(carbon substitution)三方面來進行。碳保存在於保存森林資源,藉保護區設置、森林火控制、減少林地破壞和改善森林經營、土壤保育來達成,在經營上,生態旅遊等非林木資源生產的提供,可同時保存森林資源所吸存的碳。碳吸存即加強造林與促進天然林更新,農地造林等促進森林永續發展的經營管理策略,以增加森林資源的碳吸存。碳的替代即生質能源的使用,及使用森林產品來替代其他高耗能、高二氧化碳排放的產品。加強造林與促進森林永續發展的都市森林經營管理策略,便是兼具碳保存及碳吸存的策略,為

一個值得重視且可行的課題。營造都市森林,由種植林木及植物,能調節氣候,重建生態棲地和增加生物歧異度。都市森林在減少大氣二氧化碳的貢獻可分為兩方面:

一、二氧化碳吸存來自林木地上部及地下部生物量每年的二氧化碳貯存量,長期的林木生長活動,透過光合作用所吸收二氧化碳的比率是高於他們進行呼吸作用所釋放,因此具有減少大氣二氧化碳的功能。都市森林的碳吸存能力,和森林的林木一樣,視林木的生長和枯死情形而異,也依樹種組成、林齡結構、森林的健全情形等而異,生長率和生命週期反應二氧化碳吸存能力。新種植的森林在幾十年內可迅速累積二氧化碳,當林木成熟後每年的二氧化碳吸存能力是遞減的(Harmon *et al.*, 1990)。而老齡林雖可吸收大量的二氧化碳,但森林群落中的其他植物、動物和微生物呼吸量大,枯枝落葉大量分解消耗有機質而釋放出二氧化碳,因此,老齡林吸收和釋放的二氧化碳量基本上是平衡的。老齡



▲都市森林對二氧化碳有吸存效果。