



世界森林資源碳匯估算結果分析

文 ■ 林俊成 ■ 行政院農委會林業試驗所太麻里研究中心副研究員兼主任

一、前言

二氧化碳減量已成為世界各國所共同努力的目標，而森林資源對二氧化碳減量的貢獻在已經生效的京都議定書（Kyoto Protocol）中已被肯定，並認可森林資源的碳吸存量。在京都議定書第3.3條即規範1990年以後所進行之非林地造林（afforestation；A）、更新造林（reforestation；R）及毀林（deforestation；D）之ARD活動，其二氧化碳吸收或排放淨值，可併入國家之排放減量值計算。在第3.4條中規範，因加強森林經營（forest management）所額外增加的碳吸存量也可列入國家排放減量值。台灣地區的森林資源面積佔有全島面積的58.53%（210萬公頃），因此無論就生態保育、水土保持或因應氣候變化公約之溫室氣體減量等，均應特別重視與加強。但由前人研究結果可知，在進行台灣地區森林資源碳貯存量推估時仍具有不確定性及可能誤差，在目前政府部門積極推動溫室氣體減量工作之際，林業部門雖以厚植森林資源及森林管理事項，藉由加強碳匯（carbon sink）吸收為其主要因應策略。但在推動之時，如何將森林資源所貯存碳量及其變化加以精確算出，並可

與國際社會的碳匯資料接軌與分享為一項必要的工作。目前國際上估算森林資源碳貯存量普遍使用的方式，主要經由比重、根莖比、擴展係數、碳含量比例等轉換係數將森林資源林木蓄積量（growing stock）分別轉換為生物量（biomass stock）及碳貯存量（carbon stock），因此本文整理分析世界森林資源碳貯存量的估算結果，盼能提供給有關單位研擬森林資源碳管理策略時之參考。

二、世界森林資源林木蓄積量

在聯合國糧農組織（Food and Agriculture Organization；FAO）之2005年版的世界森林資源評估（Global Forest Resources Assessment；FRA）報告中共有229個國家的資料，其中對於林木蓄積量有較長時間統計資料的國家有147個，有3個國家僅有近幾年的資料，有79個國家缺少這方面的資料。在具有資料的150個國家大約佔了世界森林面積的88%，根據評估結果，在2005年時的林木蓄積量約有4,342億立方公尺，以地區而言，則有將近30%的林木蓄積量在南美洲（1,289億立方公尺），其次為歐洲（含俄羅斯聯邦）佔25%左右（1,073億立方

公尺)，就單位林木蓄積量來看，全世界森林資源的平均每公頃林木蓄積量為110立方公尺，以南美洲的為最高，平均每公頃林木蓄積量為155立方公尺，大洋洲的為最低，平均每公頃林木蓄積量為36立方公尺。就1990－2005年的趨勢來看，世界森林資源之林木蓄積量呈減少趨勢，由1990年時的4,453億立方公尺，至2005年時為4,342億立方公尺，減少了111億立方公尺。而平均每公頃林木蓄積量則大致不變。以地區而言，僅歐洲、北美及中美洲的總蓄積量有增加的情形，其他地區則為減少（表1）。而巴西、俄羅斯、美國、加拿大、剛果等5個林木蓄積量較高的國家，大約就擁有世界森林林木總蓄積量的60%（2,610億立方公尺），其中，巴西為林木蓄積量最高的國家，其林木蓄積量為812億立方公尺，占世界的19%，其次為俄羅斯聯邦的805億立方公尺。

表1 1990—2005年世界森林資源之林木蓄積量變化

地區\年	總蓄積量 (億 m ³)			單位蓄積量 (m ³ /ha)			年變化量 (m ³ /ha)
	1990	2000	2005	1990	2000	2005	
非洲	694	662	650	99	101	102	0.2
亞洲	514	488	471	90	86	82	-0.5
歐洲 (含俄羅斯聯邦)	1,021	1,054	1,073	103	106	107	0.3
北美和中美洲	765	777	786	108	110	111	0.3
大洋洲	76	74	74	36	36	36	n.s.
南美洲	1,383	1,335	1,289	155	157	155	n.s.
世界	4,453	4,390	4,342	109	110	110	n.s.

註：n.s.表示不顯著或其值非常小，以下同。

資料來源：FAO（2006）。

三、世界森林資源生物量

229個國家中，有151個國家有提出該國森林資源的生物量評估結果，其中有87個國家是直接使用IPCC（Intergovernmental Panel on Climate Change）的土地使用、土地使用改變與林業之良好做法指南（Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry；LULUCF-GPG）之生物量擴展係數（Biomass expansion factors；BEF）來轉換，而有41個國家則是同時使用IPCC－GPG之生物量擴展係數或其他轉換方式來轉換，也就是說有128個國家（85%）的國家是使用IPCC－GPG的資料來將林木蓄積量轉換為生物量。IPCC－GPG所列生物量擴展係數如表2所示。

生物量的估算，主要區分為地上部生物量（above-ground biomass）、地下部生物量（below-ground biomass）及死木（dead wood），不同地區之每公頃平均生物量如表3所示，生物量主要部分為在在地上部，以世界

表2 生物量擴展係數

氣候帶	森林類型	最小胸徑（cm）	生物量擴展係數
寒帶	針葉樹	0-8.0	1.35（1.15-3.8）
	闊葉樹	0-8.0	1.30（1.15-4.2）
	雲杉	0-12.5	1.30（1.15-4.2）
溫帶	松樹	0-12.5	1.30（1.15-3.4）
	闊葉樹	0-12.5	1.30（1.15-4.2）
熱帶	松樹	10.0	1.30（1.20-4.0）
	闊葉樹	10.0	3.40（2.00-9.0）

資料來源：IPCC（2003）。



表3 不同地區森林資源之每公頃平均生物量（公噸 / 公頃）

地區 \ 部分	地上部生物量	地下部生物量	死木	總生物量
非洲	153	38	15	206
亞洲	90	25	15	130
歐洲	70	18	28	116
北美和中美洲	110	23	18	151
大洋洲	79	34	30	143
南美洲	173	51	19	243
世界	116	31	19	166

資料來源：FAO（2006）。

森林資源之每公頃平均生物量來看，地上部生物量占總生物量的70%左右，以南美洲森林之每公頃平均生物量243公噸為最高，以歐洲為最低（116公噸 / 公頃）。

進一步分析地上部生物量與地下部生物量的關係，可知兩者之間呈直線相關的趨勢，即地下部生物量隨著地上部生物量的增加而呈直線的增加（圖1），而地上部生物量與地下部生物量的比值，主要在於0.20 - 0.35之間（圖2）。

四、世界森林資源碳貯存量

對於碳貯存量有較長時間統計資料的國家有143個，有4個國家僅有近幾年的資料，有82個國家缺少這方面的資料。以世界森林資源平均而言，在森林生態系中，有44%為碳量貯存在地上部與地下部生物量部分，6%的碳量貯存於死木部分，46%的碳量為土壤（土深30公分以內）所貯存，4%的碳量貯存於枯枝落葉部分，但在地區間則有明顯的不

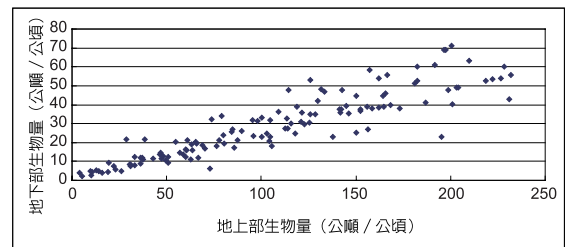


圖1 地上部生物量與地下部生物量之關係。

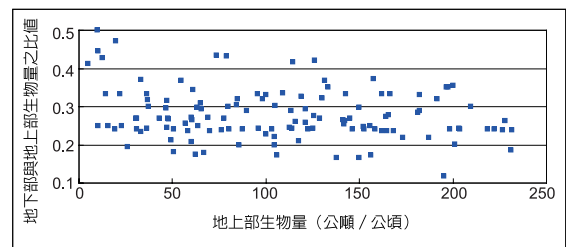


圖2 地下部生物量與地上部生物量之比值。

同，其中在非洲、北美和中美洲、南美洲的生物量所貯存的碳量高於土壤中之碳貯存量，而亞洲、歐洲、大洋洲則土壤中之碳貯存量高於生物量所貯存的碳量，而死木的碳貯存量約佔總碳貯存量的4 - 8%，而枯枝落葉碳貯存量除了北美和中美洲外，則約佔總碳貯存量的4%以下（表4）。就單位貯存量而言，以南美洲每公頃的碳貯存量最高，為每公頃194.5公噸，而北美和中美洲的每公頃的碳貯存量最低，為每公頃120.5公噸，世界森林資源之每公頃平均碳貯存量約161公噸。IPCC（2000）曾估計的1990年代的中期世界森林植被（生物量、死木）的平均每公頃碳貯存量為86公噸，而2005年世界森林資源評估結果則為81.2公噸，略低於IPCC（2000）的結果。

欲算出碳貯存量，通常由生物量乘上碳含量比例即可得到，根據統計分析，各國所

表4 2005年不同地區每公頃森林資源之碳貯存量
(公噸 / 公頃)

地區 \ 碳庫	生物量	死木	枯枝落葉	土壤	總量
非洲	95.8 (60%)	7.6 (5%)	2.1 (1%)	55.3 (34%)	160.8
亞洲	57.0 (43%)	6.9 (5%)	2.9 (2%)	66.1 (50%)	132.9
歐洲	43.9 (25%)	14.0 (8%)	6.1 (3%)	112.9 (64%)	176.9
北美和中美洲	60.1 (50%)	9.0 (7%)	14.8 (12%)	36.6 (30%)	120.5
大洋洲	55.0 (32%)	7.4 (4%)	9.5 (5%)	101.2 (58%)	173.1
南美洲	110.0 (57%)	9.2 (5%)	4.2 (2%)	71.1 (37%)	194.5
世界	71.5 (44%)	9.7 (6%)	6.3 (4%)	73.5 (46%)	161.0

註：() 內為占總碳貯存量之百分比。

資料來源：FAO (2006)。

使用的碳含量比例 (Carbon fraction) 在0.3 - 0.7之間，而有95%左右的國家是使用0.5為其碳含量數值。根據評估結果，世界森林資源在其生物量中便貯存約著2,830億公噸的碳量，死木貯存著380億公噸的碳量，總計有3,210億公噸，而土壤之碳貯存量為6,250億公噸，而IPCC (2000) 的生物量碳貯存量為3,590億公噸，土壤碳貯存量為7,870億公噸，皆高於2005年世界資源評估結果。而由這些數據也可看出，土壤之碳貯存量將近為生物量的一倍。以地區而言，在1990 - 2005年期間，僅歐洲和北美和中美洲森林生物量中的碳貯存量是增加的，而其他地區則減少，尤其以亞洲減少最多，減少85億公噸的碳量，其次為南美洲減少了62億公噸的碳量。雖然森林增加 (包括造林) 可抵消部分因持續的森林砍伐和森林退化所減少的碳貯存量及在有些地區森林的單位碳貯存量也有所增加，但就世界而言，森林生物量中的碳

貯存量仍每年減少11億公噸 (圖3)。其中有42國家的森林資源生物量之碳貯存量是呈減少的情形，有55國家的森林資源生物量之碳貯存量是呈增加的情形。就1990 - 2005年間平均每公頃碳貯存量的變動來看，有11個國家是減少，而有36個國家是增加的。就森林資源總碳貯存量而言，減少最多的國家為巴西及印尼，而智利、中國、許多歐盟國家、印度、日本和美國則有較大量的增加。

五、結論

2005年世界森林資源評估報告雖然為世界上全面性之森林資源調查，但在229個國家的資料中，仍有82個國家缺少碳貯存量的資料，更僅有10%左右國家具有較為完整地上部生物量、地下部生物量、死木、枯枝落葉及土壤等碳庫 (carbon pool) 資料，因此世界森林資源真實的碳貯存量應可能更高。碳貯存量的估算，主要由森林資源林木蓄積量經由轉換係數加以轉換為生物量及碳貯存量，因此在轉換過程中的轉換係數的使用，將影響著估算資料的可信度 (plausibility)，如生物量擴展係數、根莖比 (root / shoot ratio)、碳含量等。森林碳量估算時，依其所提供的資料、數據、模式，將估算資料之層級分為3級，層級1 (Tier 1) 為直接使用IPCC所提供的基本方法及預設值 (default value)。層級2 (Tier 2) 則方法與層級1相同，但最重要的土地使用與土地使用活動的排放因子或活動資料，則應該用國家本身所調查或收集的數據。層級3 (Tier 3) 則應用

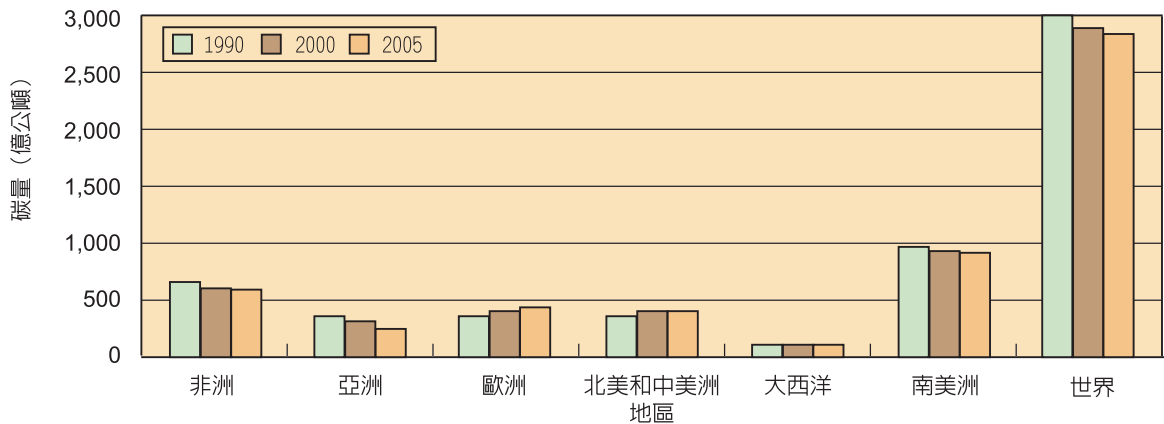


圖3 森林資源生物量之碳貯存量 (FAO, 2006)。

較高層次的方法，如模式及調查測量系統來分析不同時間的國家碳量變化。層級3所需的系統也可以GIS為基礎，結合林齡、林地分類與生產資料調查和土壤調查，並與數種監測系統相互整合。並可監測不同時間的土地使用變化，層級3所需模式及調查測量系統需經品質管控、檢核及驗證。層級越高，精細度、準確度、方法的複雜程度（包括模式因子的特有性）、活動資料的深入程度越高。2005年世界森林資源評估中，有34%的國家缺乏生物量的資料，而有38%的國家的生物量資料是屬於層級1，22%的國家的生物量資料是屬於層級2，僅有6%的國家是自己發展出國家特有的資料是屬於層級3。未來在森林資源碳匯資料的提供，如能參照世界森林資源評估架構及IPCC土地使用、土地使用改變與林業之良好做法指南（LULUCF - GPG）之規範，將台灣地區森林資源所貯存的碳量及其變化加以精確算出，同時可以和國際的

資料接軌與分享。而欲估算森林資源碳貯存量，林木蓄積量估算為首要項目，至於其他轉換係數的本土化，依人力及技術之配合情形，可加以提昇層級。▲

參考文獻（請逕洽作者）

