

# 估算台灣木質林產品碳貯存量

文、圖 ■ 李俊彥 ■ 國立嘉義大學生物事業管理學系教授（通訊作者）

韓俞華 ■ 國立嘉義大學生物事業管理學系研究助理

## 一、前言

溫室氣體導致全球暖化是近年來各國關切的議題，因此如何減排溫室氣體為目前主要課題，然而要減少溫室氣體需先有溫室氣體清單之總量估算，2007年IPCC提出的國家溫室氣體計算指南（2006 IPCC Guidelines），提供各國在提報國家溫室氣體的排放與清除時計算方法之指導。

2006 IPCC Guidelines 共分為五卷，第一卷主要說明編制清單的基本步驟，第二至第五卷則分別提供能源（Energy）、工業過程和產品使用（Industrial Processes and Product Use）、農、林和其他土地利用（Agriculture, Forestry, and Other Land Use, AFOLU），以及廢棄物（Waste）等不同經濟部門估算之指導。其中的第四卷農業、林業及其他土地利用的第十二章伐後木質林產品（Harvested Wood Product, HWP），亦提供了估算碳貯存量之方法。

本文依據第十二章所提供的方法：貯量變化法（Stock Change Approach, SCA）、生產法（Production Approach, PA）及大氣流動法（Atmospheric Flow Approach, AFA），以及整

理台灣木質林產品之生產與貿易資料，以符合聯合國農糧署（Food and Agriculture Organization, FAO）所定義的HWP分類：圓木（Roundwood）、鋸材（Sawnwood）、木質板類（Wood Based Panels）、紙及紙板（Paper and Paperboard）、木炭材、木片、粒片與木廢料（Wood Charcoal, Wood Chips, Particles and Wood Residues），以及紙漿與回收紙（Pulp and Recovered Paper）共六類，估算台灣AFOLU部門中的HWP每年的碳貯存量變化。

前人研究早有對於HWP的碳貯存量的估算（Dias *et al.*, 2005; Hashimoto *et al.*, 2002; Pingoud *et al.*, 2001; 林俊成、李國忠，2003）。而應用2006 IPCC 指南公佈之三種計算方法，估算國家的HWP碳貯存量，在國外研究則有如Skog（2008）估算美國的碳貯存量變化或Dias *et al.*（2007, 2009），以國家資料及國家特定相關變數，估算葡萄牙的碳貯存量變化。

## 二、資料來源

本文採用HWP生產及進、出口等三類資料來估算，但由於台灣HWP相關資料分類並非



依照國際分類，且非由統一單位統計，因此本文明確分類且整理出所有產品資料的搜集來源，使台灣林產品分類與FAO的林產品分類名稱為一致。經過蒐集整理比較後所需之來源資料類別如表1及表2所示。估算HWP碳貯存量所需之產品生產量僅需圓木類、鋸材類、木質板類及紙與紙板類等四類產品，而貿易進、出口部分，則增加木炭材、木片、粒片與木廢料類、紙漿及回收紙等二類。

貿易進、出口方面，本文採用2007年FAO林產品年鑑（FAO Yearbook of Forest

Products 2007）中的產品分類，其編排方式為協調系統分類1996年修訂版（Harmonised System Revision 2, HS Rev 2）及1988年所修訂之國際標準分類號（Standard International Trade Classification Revision 3, SITC Rev 3）。本文所需蒐集之資料年限為1961年起，因此1961年至1971年間採用HS Rev 2，1972年起採用以SITC Rev 3為依據所修改編訂而成的中華民國標準分類號列（Classification of Commodities of the R.O.C., C. C. C. code）。

表1 台灣HWP生產產品名稱及資料來源與FAO產品類別比較

FAO產品類別	年份	台灣HWP產品名稱	資料來源	資料型態
圓木（Roundwood）	1961–2007	用材（saw timber）、薪炭材（fuelwood）	行政院農委會林務局	電子資料
鋸材（Sawnwood）	1961–1980	製品（lumber） <sup>1</sup>	中華民國台灣工業生產統計月報	紙本資料
	1981–2007	製成材（lumber） <sup>2</sup>	經濟部統計資訊網路	電子資料
木質板類（Wood Based Panel）	1961–1976	合板（plywood） <sup>3</sup>	中華民國台灣工業生產統計月報	紙本資料
	1977–1980	加工合板（processed plywood）、普通合板（plywood） <sup>4</sup>	中華民國台灣工業生產統計月報	紙本資料
	1981–2007	加工合板（processed plywood）、素面合板（plywood） <sup>5</sup>	經濟部統計資訊網路	電子資料
紙與紙板（Paper and Paperboard）	1961–1980	紙張（paper）、紙板（paperboard）	中華民國台灣工業生產統計月報	紙本資料
	1981–2007	文化用紙（cultural paper）、家庭用紙（household paper）、包裝用紙（packing paper）、中式紙張（chinese paper）、紙板（paperboard）	經濟部統計資訊網路	電子資料

註1、2 lumber在不同的資料來源及不同年份，其中文譯名卻迥異。

註3、4、5 plywood在不同的資料來源及不同年份，其中文譯名卻迥異。

表2 台灣HWP進出口產品分類編號及資料來源 (C.C.C. Code)

FAO產品類別	年份	台灣HWP進出口產品編號	資料來源	資料型態
圓木 (Roundwood)	1961	24202、24203、29201、63109	中國進出口貿易統計年刊(台灣區)	紙本資料
	1962-1971	243.2、292.1、293.6、631.8	進出口貿易統計年刊(台灣區)	紙本資料
	1972-1998	440110、4403	中華民國台灣地區進(出)口貿易統計月報	紙本資料
	1999-2007	4402、44012、44013	財政部關稅總局統計資料庫	電子資料
鋸材(Sawnwood)	1961	24302、24303	中國進出口貿易統計年刊(台灣區)	紙本資料
	1962-1971	243.2、243.3	中國進出口貿易統計年刊(台灣區)	紙本資料
	1972-1998	4407	中華民國台灣地區進(出)口貿易統計月報	紙本資料
	1999-2007	4407	財政部關稅總局統計資料庫	電子資料
木質板類(Wood Based Panel)	1961	63102	中國進出口貿易統計年刊(台灣區)	紙本資料
	1962-1971	631.1、631.2	中國進出口貿易統計年刊(台灣區)	紙本資料
	1972-1998	4408、4410、4411、4412	中華民國台灣地區進(出)口貿易統計月報	紙本資料
	1999-2007	4402、44012、44013	財政部關稅總局統計資料庫	電子資料
紙與紙板(Paper and Paperboard)	1961	64101~64104、64107~64108、64111、64119	中國進出口貿易統計年刊(台灣區)	紙本資料
	1962-1971	641.1、641.2、641.4、641.9	中國進出口貿易統計年刊(台灣區)	紙本資料
	1972-1998	4801~4813	中華民國台灣地區進(出)口貿易統計月報	紙本資料
	1999-2007	4801~4813	財政部關稅總局統計資料庫	電子資料
紙漿及回收紙(Pulp and Recovered Paper)	1961	25103、25104、25105、25105	中國進出口貿易統計年刊(台灣區)	紙本資料
	1962-1971	251.9、251.1、251.2、251.6、251.8	中國進出口貿易統計年刊(台灣區)	紙本資料
	1972-1998	47	中華民國台灣地區進(出)口貿易統計月報	紙本資料
	1999-2007	47	財政部關稅總局統計資料庫	電子資料
木炭材、木片、粒片與木廢料(Wood Charcoal, Wood Chips, Particles and Wood Residues)	1961	24102、63202	中國進出口貿易統計年刊(台灣區)	紙本資料
	1962-1971	241.2、632.2	中國進出口貿易統計年刊(台灣區)	紙本資料
	1972-1998	4402、44012、44013	中華民國台灣地區進(出)口貿易統計月報	紙本資料
	1999-2007	4402、44012、44013	財政部關稅總局統計資料庫	電子資料



在估算HWP碳貯存量時，亦關係到單位之轉換，如重量與材積的轉換係數，依不同地區及樹種會有不同的變化。因此相關轉換係數皆採用IPCC的預設值如表3。此外，由於估算HWP碳貯存貢獻，需要將材積單位轉為碳單位，其轉換相關係數亦以FAO所提供之預設值於表4。而使用中產品半衰期的設定為實木類為30年，紙類產品為2年。

### 三、碳貯存量估算方法

2006 IPCC Guidelines對於估算HWP二氧化碳排放，可依報告國家之HWP資料數據多寡、詳細程度分為三層級：層級1（Tier 1）、層級2（Tier 2）及層級3（Tier 3）。其中層級1的估算不需要國家別特定數據，因此可使用FAO統計資料庫中的相關消費量數據，即可完成HWP碳貯存量的估算，但台灣並非聯合國會員，在FAO的統計

表3 重量和材積轉換表

產品	公斤／立方公尺			立方公尺／公噸		
	普通 <sup>1</sup>	針葉	非針葉	普通 <sup>1</sup>	針葉	非針葉
木質燃料，包括木炭材	725	625	750	1.38	1.60	1.33
木炭	167					
鋸材圓木與單板圓木						
熱帶			730			1.37
其他		700	800		1.43	1.25
紙漿材（圓形和塊狀）	675	650	750	1.48	1.54	1.33
其他工業用原木	750	700	800	1.33	1.43	1.25
鋸材		550	700		1.82	1.43
單板	750			1.33		
合板	650			1.54		
粒片板	650			1.54		
硬質纖維板	950			1.053		
中密度纖維板				2		
絕緣板	250			4		

註1：為一般類產品。

資料來源：FAO Yearbook of Forestry（2005）。

表4 產品單位轉換碳單位係數表

產品因子	圓木、工業圓木、鋸材、其他工業 圓木、紙漿用材、木片、粒片、薪 炭材、木廢料		木炭	木質板 類平均	紙和紙板、紙漿、 回收紙漿纖維、回 收紙
	溫帶樹種	熱帶樹種			
1·密度（烘乾噸／m <sup>3</sup> 闊 葉樹產品或烘乾／氣乾噸 紙漿或紙製品）	0.45 烘乾噸／m <sup>3</sup>	0.59 烘乾噸／m <sup>3</sup>	0.9 烘乾噸／氣乾噸	0.628 烘乾噸／m <sup>3</sup>	0.9 烘乾噸／氣乾噸
2·碳比例（噸碳／每烘 乾噸木質材料）	0.5	0.5	0.85	0.468	0.5
3·碳因子（噸碳／m <sup>3</sup> 產 品或噸碳／氣乾噸產品）	0.225 噸碳／m <sup>3</sup>	0.295 噸碳／m <sup>3</sup>	0.765 噸碳／氣乾噸	0.294 噸碳／m <sup>3</sup>	0.450 噸碳／氣乾噸

資料來源：Chapter 12, Volume 4, 2006 IPCC Guidelines。

資料庫中所公布相關的相關消費量數據並不完整。因此，本文以政府的HWP消費量統計資料及2006 IPCC Guidelines中的預設轉換因子數據為依據，估算台灣HWP的碳貯存量。

HWP碳貯存量可分為二部分，一為使用中的HWP（HWP, products in use），二為固體廢棄物處理場的HWP（HWP in Solid Waste Disposal Sites, SWDS），然而台灣幾乎無SWDS資料。因此，本文僅採用使用中的HWP為估算對象，並以FAO的六類產品為估算碳貯存變數資料蒐集來源。其中估算變數可分為1·國內消費之使用中HWP的年度碳貯量變化（ $\Delta C_{HWPIUDC}$ ）、2·國內採伐之使用中HWP產生的年度碳貯量變化（ $\Delta C_{HWPIUDC}$ ）、3·提報國HWP的年度進口量（ $P_{IM}$ ）、4·提報國HWP的年度出口量（ $P_{EX}$ ），以及5·國內年度採伐量（ $H$ ）。2006 IPCC Guidelines所提供之三種估算方式，如圖1所示。

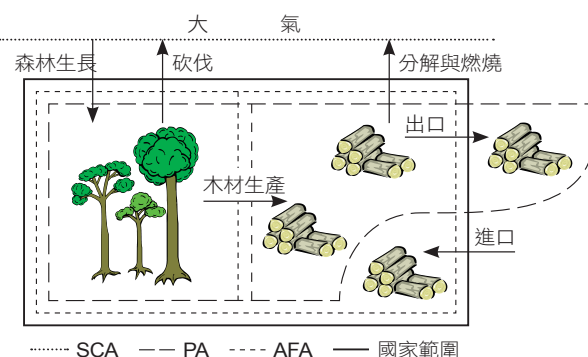


圖1 估算方法之系統界限。

資料來源：整理自Brown et al.（1998）。

### （一）貯量變化法（Stock Change Approach, SCA）

在此方法下，HWP的碳貯存納入產品消費國，且產品出口視為碳排放並納入產品的出口國；進口國由於進口HWP而增加碳貯存，但是當產品在進口國腐爛或是分解時，碳排放則納入林產品的消費國。因此，在此方法的觀念下，碳貯存是可以由一國移動到另一國的。換算為二氧化碳排放時，其公式





如下式(1)：

$$SCA = -44 / 12 \times [\Delta C_{HWPIU_{DC}}] \quad (1)$$

## (二) 生產法 (Production Approach, PA)

以PA估算HWP碳貯存量，主要是估算發生於報告國國內林木採伐生產時所產生的碳貯存量，以及使用後腐朽所產生的碳排放造成全球碳貯存量之變化。意即當報告國將產品出口至他國，在進口國所發生之碳排放亦歸於報告國。因此換算為二氧化碳排放時，其計算公式如下式(2)：

$$PA = -44 / 12 \times [\Delta C_{HWPIU_{DC}}] \quad (2)$$

## (三) 大氣流動法 (Atmospheric Flow Approach, AFA)

AFA主要是估算HWP與大氣間碳流動，意即估算HWP因廢棄及腐朽等原因所排出之二氧化碳，以大氣為系統邊界，報告HWP與大氣間的碳流動。簡言之，此方法為計算國家內的碳排放與清除，以及發生此動作的時間及地

點。由於森林生長而產生的碳貯存納入森林生長國，而HWP氧化分解發生的碳排放則納入消費國。這恰好與貯量變化法相反，消費國不會因為進口HWP而使HWP的碳貯存增加，但必須報告由於進口HWP的腐爛或分解而發生的碳排放量。換算為二氧化碳排放時，其計算公式如下式(3)：

$$AFA = -44 / 12 \times [\Delta C_{HWPIU_{DC}} + P_{EX} - P_{IM}] \quad (3)$$

## 四、台灣HWP的碳貯存量

誠如前述，本文採用2006 IPCC Guidelines估算方法中的Tier1之預設數據估算台灣HWP碳貯存量，然因台灣HWP消費資料並非由單一單位統計，故整體所需蒐集較為繁複。

不同估算方法，由於其估算系統邊界 (System Boundary) 的不同，因此所估算之台灣HWP碳貯存量有所差異 (表5)。由於台灣HWP消費，多數仰賴進口，而台灣實木



(圖片／高遠文化)

表5 不同估算法之HWP 碳貯存量（1990－2007年）

單位為Tg C

年份 方法	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	平均
SCA	0.96	1.34	1.66	1.63	1.54	1.24	0.88	1.18	0.85	0.89	0.85	0.11	0.48	0.63	0.83	0.54	0.50	0.07	0.90
PA	-0.17	-0.17	-0.15	-0.14	-0.14	-0.13	-0.12	-0.12	-0.11	-0.11	-0.11	-0.10	-0.09	-0.09	-0.08	-0.08	-0.08	-0.07	-0.11
AFA	-3.08	-3.64	-3.48	-2.63	-2.99	-3.00	-2.89	-3.02	-2.60	-2.88	-2.76	-2.96	-2.71	-2.95	-2.65	-2.55	-2.46	-2.33	-2.87

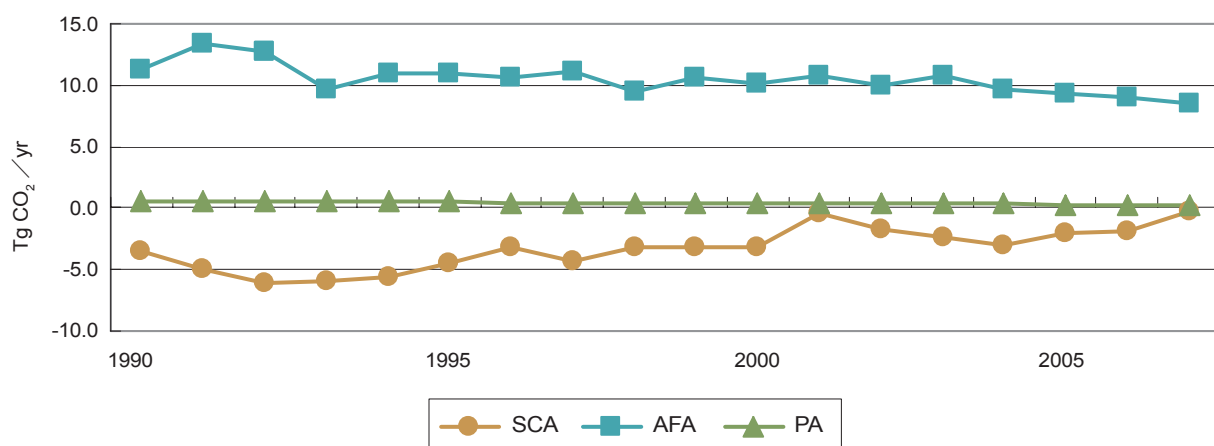


圖2 不同方法下之HWP二氧化碳排放量變化。

HWP的生產量極少，若以SCA方法估算1990年至2007年HWP平均碳貯存量為正值，約為0.9百萬公噸碳；換算為二氧化碳量，大約可為台灣抵減3.29百萬公噸的二氧化碳（圖2）。但以PA法及AFA法估算HWP碳貯存量則呈現負值，分別為-0.11百萬公噸碳及-2.87百萬公噸碳；當換算為二氧化碳量，則台灣將分別增加0.42百萬公噸，以及10.51百萬公噸的二氧化碳排放。故以SCA估算台灣HWP碳貯存量對於台灣在提交國家溫室氣體報告中之AFOLU部分較為有利，而以AFA則對於台灣最為不利。由估算結果趨勢而言（圖2），事實上，台灣HWP碳貯存量是逐

年減少的，若僅以SCA之估算來看，1992年間約可抵減6.08百萬公噸的二氧化碳排放，但至2007年僅抵減約0.26百萬公噸的二氧化碳排放，主要因為台灣的木質林產品生產者如家具製造出口業，大量外移，台灣對於HWP的原料需求已不復以往，整體HWP進口量減少，同時台灣HWP的砍伐量原本就較少，因此整體估算HWP碳貯存量便有影響。一般而言，林木淨出口國，採用PA估算時，其HWP碳貯存量高；而淨進口國如台灣，若採用PA估算，則HWP碳貯存量反而較低，若採用SCA 估算時，其HWP碳貯存量可較另外兩種估算法高。▲