

國家溫室氣體排放清冊林業部門編撰實務說明

文／圖 ■ 邱祈榮 ■ 農委會林業試驗所副所長

莊媛卉 ■ 農委會林業試驗所集水區經營組約聘職務代理人

一、前言

工業革命後大氣中的二氧化碳濃度急劇上升，導致溫室效應，更進一步造成全球氣候變遷。各國為了減緩全球氣候變遷，於 1992 年通過「聯合國氣候變化綱要公約」（The United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC）。之後，氣候變化綱要公約第 3 次締約國會議（COP3）更通過「京都議定書（Kyoto Protocol, KP）」，具體要求已開發國家減少溫室氣體的排放量。

溫室效應成為舉世注目的焦點，世界各國無不重視並且致力於溫室氣體減量。其中，藉由森林固定主要溫室氣體—二氧化碳—來減緩全球暖化現象，在氣候變化綱要公約與京都議定書中皆受肯定，甚至明文規定森林碳吸存的定義及量化方式，並提出具體的二氧化碳減量機制。由此可知，藉由森林行光合作用固定二氧化碳來減緩溫室效應將是全球一項趨勢。

地球的暖化現象受到全球的重視後，於 1988 年成立「國際政府間氣候變化委員會（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）」，致力於一系列氣候專業報告及資訊的提供，為日後的國際公約、國際交流和溝通

談判提供重要的交流平台，對全球氣候變化的相關工作及決策有極大的貢獻。此外，「聯合國氣候變化綱要公約」要求締約國應竭盡所能的保護地球的氣候系統，減少溫室氣體排放，同時並在公約的第 4 條及第 12 條內文要求締約國承諾必須定期向秘書處提報國家通訊報告（National Communication）。此份報告必須包含下列三項內容：

- （一）國家溫室氣體清冊
（National Greenhouse Gas Inventory）
- （二）減低分析
（Abatement Analysis）
- （三）脆弱度和適應性分析
（Vulnerability and Adaptation Assessments）

國家溫室氣體清冊必須依據締約國大會議訂的方法與統一格式編撰，並於每年 4 月 15 日前更新提交，藉以促進國家與國際在氣候變遷上科學性的理解。其中，附件一國家為強迫性，非附件一國家則鼓勵提交。

臺灣 1990 年二氧化碳排放量 1.3 億噸，而後逐年增加，至 2005 年已達 2.6 億噸，高居全球第 22 位。人口僅占全世界千分之三的

臺灣，二氧化碳排放量卻占全球百分之一（邱育慈，2006）。臺灣雖然不是京都議定書的締約國，不用承擔京都議定書對溫室氣體減量的要求，卻擺脫不了全球暖化與氣候變遷所帶來的衝擊。同時，國家溫室氣體清冊的建置已成為國際趨勢，臺灣亦無法置身事外。有鑒於此，國內於 2015 年 7 月 1 日實施「溫室氣體減量及管理法」其中第 13 條明訂：「中央目的事業主管機關應進行排放量之調查、統計及氣候變遷調適策略之研議，並將調查、統計及調適成果每年定期提送中央主管機關。中央主管機關應進行氣候變遷衝擊評估、定期統計全國排放量，建立國家溫室氣體排放清冊；並每三年編撰溫室氣體國家報告，報請行政院核定後對外公開。」，顯示國內對於溫室氣體國家報告已是明文規定要予以完成的，當然對於臺灣陸域主要碳匯－森林－每年的碳吸存量，應依照國際上的要求標準，完成林業活動之國家溫室氣體清冊，本文旨在簡要說明國家溫室氣體排放清冊林業部門編撰程序及成果，讓國人瞭解林業部門為編撰國家溫室氣體排放清冊有關林業部門清冊多年努力的成果。

二、IPCC 2006 林業活動國家溫室氣體清冊

IPCC 對「土地利用、土地利用改變和林業（Land Use, Land Use Change and Forestry, LULUCF）」所造成大氣中二氧化碳含量改變的最早的重要文件有「1996 年 IPCC 指南（1996 IPCC Guidelines）」、「1996 年 IPCC

溫室氣體盤查指南修正版（Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory）」；接著，2003 年 11 月在維也納通過「LULUCF 良好作法指南（Good Practice Guideline for Land Use, Land Use Change and Forestry）」。目前最新版的溫室氣體盤查指南為 2006 年公佈的「2006 年 IPCC 國家溫室氣體盤查指南（2006 IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventory）」，提供估算溫室氣體的人為排放源和移除匯的最新國家清冊架構，其內容結合先前公佈之 IPCC 1996 Guidelines 及 LULUCF-GPG 的主要精神與內容。該份報告有以下兩點重要內容：

（一）正式確定溫室氣體的排放與移除過程，以及陸域碳儲存量的各種存在形式會透過各種不同的土地類型與其相互間的轉換而產生。

（二）加強其溫室氣體在排放和移除方面的估算、驗證與彙報時的一致性與完整性，以整合及彌補過去幾份報告的不完整性。

報告一共包含 5 個項目，分別為能源、工業製程與產品使用、農業、森林和其他土地利用（Agriculture, Forestry and Other Land Use, AFOLU）、廢棄物、其他。當中，與林業活動有關的為第 3 項的 AFOLU。

由於不同國家對於土地利用及其變化採用的定義不一致，因此 2006 年 IPCC 指南將土地利用整合並區分成：林地、農地、草地、溼地、集居地和其他土地等 6 大類別，而每一

類別又可分成兩個子類別，分別為：土地維持原土地利用類別（例如林地維持林地）和土地轉變為其他土地利用類別（例如林地轉變為農地）。

當中對於林地（Forest Land, FL）之定義參考是馬拉喀什協定（Marrakesh Accords）（UNFCCC, 2001）中對森林的定義，包含面積至少大於 0.05 ~ 1.0 公頃，喬木樹冠覆蓋率在 10% ~ 30% 以上，同時喬木成熟後的最低高度應為 2 ~ 5 公尺。另外，正在生長中的天然林或人工林，雖未達到 10% ~ 30% 的覆蓋度，或 2 ~ 5 公尺的高度，亦可視為林地。

此外，亦根據該協定對森林經營的定義，在國家尺度上可將林地再區分經營和未經營林地兩類。

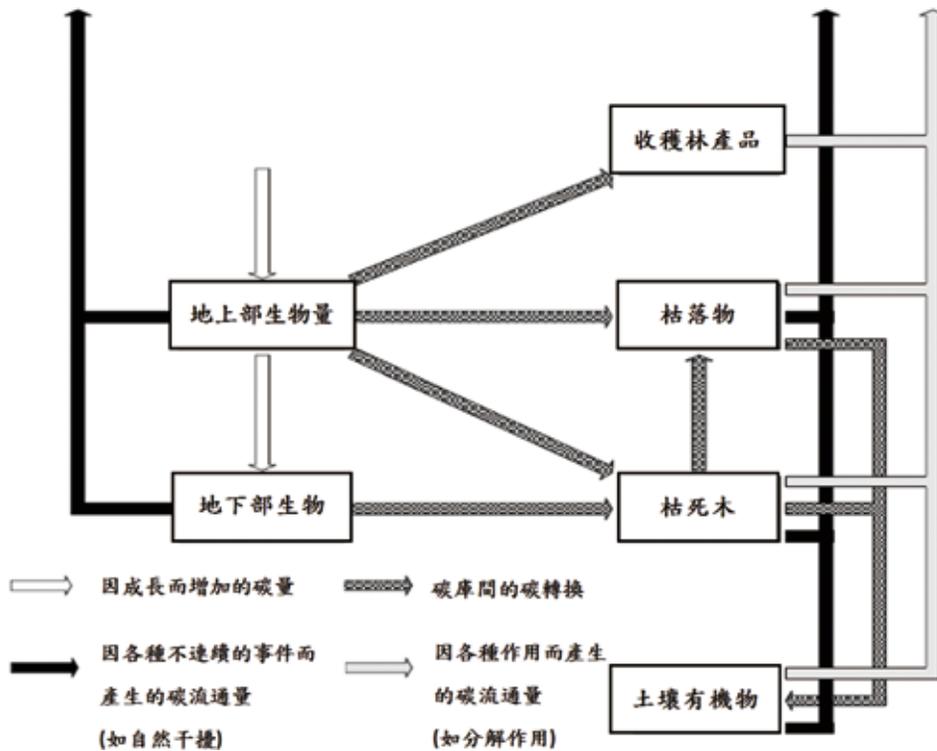
AFOLU 部份主要是針對 6 種土地利用類型的 CO₂ 和 non-CO₂ 的溫室氣體的排放和移除，其下再細分成生物量、死有機質以及土壤等項進行逐一分別估算，最後加總求得各類土地利用類型之碳量。

AFOLU 下的年碳儲存變化總量，可由各種不同土地利用類型的碳量加總而得，包含林地、農地、草地、溼地、集居地和其他土地。

表 1、碳庫的定義與說明

碳庫	說明	
生物量 (Biomass)	地上部生物量 (Aboveground biomass)	土壤以上所有活的生物量，包括莖、殘幹 (stump)、枝、樹皮、種子和葉。 註：如果下層林木占地地上部生物量碳庫的比例較小，在某些層級中可接受將這部份排除，但在整個調查時間中應一致。
	地下部生物量 (Belowground biomass)	活根的全部生物量。建議不計入直徑小於 2 公分的細根，因只憑經驗往往無法區分直徑低於 2 公分的細根與土壤有機質或枯落物。
死有機質 (Dead organic matter)	枯死木 (Dead wood)	除枯落物外的所有非活的木質生物量，無論是直立的、橫躺在地面上的，或者在土壤中的。包括枯倒木、死根和直徑大於或等於 10 公分的殘幹。
	枯落物 (Litter)	包括小於枯死木所定義的 10 公分最小直徑，在礦質或有機質土壤上所有已經死亡、各種腐朽程度的非活生物量，範圍包括枯落物層、礦質層與有機質土壤層。另外也包括直徑小於 2 公分的活細根。
土壤 (Soils)	土壤有機物 (Soil organic matter)	包括達到所選擇深度的礦質土壤和有機土中的有機碳。包括直徑小於 2 公分而不能憑經驗加以區分的根。土壤深度預設值為 30 公分。

資料來源：IPCC (2006)



▲圖1、碳量在生態系與碳庫間的流動關係 (IPCC, 2006)

三、國際林業活動溫室氣體清冊編製現況

蒐集日本、加拿大兩國提交至公約秘書

處之國家林業活動溫室氣體清冊，並彙整其林業部門溫室氣體排放量與估算方法，整理如下表：

表 2、2016 年日本及加拿大林業溫室氣體清冊編製現況

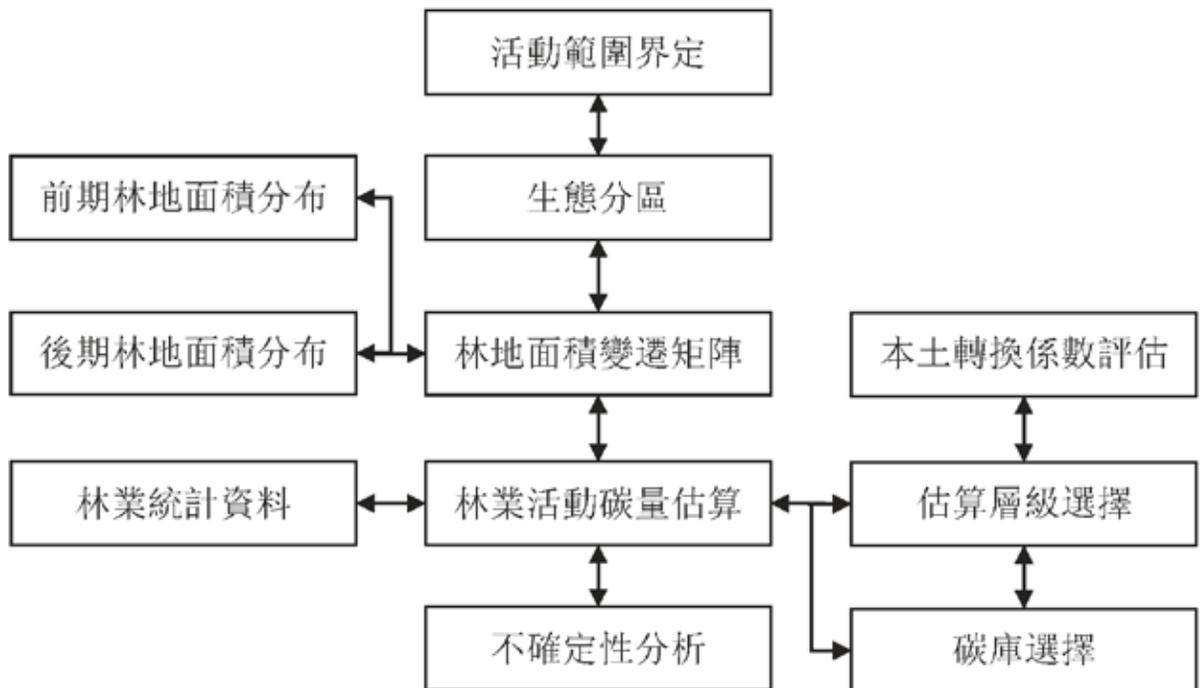
	日本	加拿大
碳量變化	65 Mt CO ₂ eq	64 Mt CO ₂ eq
林地面積	25 Mha	森林覆蓋共388Mha，當中林地面積有348Mha，屬於經營森林的面積則有232Mha
估算層級	生物量：層級2 死有機物及土壤：層級3	層級3
估算方法	生物量：儲存量變化法。 死有機物及土壤：利用CENTURY-jfos模型推估在不同森林經營類型下，兩個碳庫的單位面積碳排放／儲存量，與面積相乘後加總即可得到死有機質和土壤的碳儲存年變化量。	以加拿大林業碳收支模型 (Carbon Budget Model of the Canadian Forest Sector, CBM-CFS3) 估算，該模型結合森林資源調查資料與生長模式，使用不同區域提供之數據資料估算森林經營和干擾所造成的森林碳儲存量、變化量和CO ₂ 的儲存／排放量；亦考慮不同區域的生態及氣候特性，模擬碳量在不同碳庫、木質產品和大氣之間移動的情形。

	日本	加拿大
數據來源	<ol style="list-style-type: none"> 1. 材積：以各縣政府或森林管理局提供的森林登記簿 (Forest Registers) 建立之國家森林資源資料庫 (National Forestry Resources Database, NFRDB)。 2. 轉換係數：根據生物量調查及森林綜合研究所發表的研究報告整理而成。 3. 面積：2005 年以後取自 NFRDB，2004 年以前則取自森林狀況調查 (Forest Status Survey)，因森林狀況調查並非每年進行，沒有資料的年度以線性法推算。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 森林資源：取自加拿大國家森林資源調查 (Canada's National Forest Inventory, CanFI)，其匯整各省與區域性的森林資源調查資料，但因各資料並非於相同年度蒐集而得，需進一步處理。 2. 森林經營活動：取自國家森林資料庫 (National Forestry Database)，以及各省與區域的森林經營單位所提供之額外資訊。 3. 野火數據：2003 年以前取自加拿大國家火災資料庫 (Canadian National Fire Database)，2004 年以後取自國家火燒面積彙編 (National Burned Area Composite, NBAC)。

四、臺灣林業部門溫室氣體清冊

根據 IPCC 2006 指南中建議之清冊準備步驟，並輔以我國林業活動發展現況，初步建議

臺灣林業活動溫室氣體清冊編製流程如下圖所示：



▲圖2、臺灣林業活動溫室氣體清冊編製建議流程

（一）林地面積

對於納入林業活動溫室氣體清冊計算的森林，遵循 IPCC 建議，應將所有林地區分為經營森林和未經營森林兩種。IPCC 對於經營森林的定義為受到人為直接影響的森林；未經營森林則定義為無人為直接影響的森林。我國根據森林法第 3 條，「森林係指林地及其群生竹、木之總稱」，將林木和竹林分布的林地皆視為森林。由於目前的林業政策偏向保育，近年的經營活動多為疏伐和補植，大部分的林業資源投注於維護現有森林的保育作業上，將保育作業視為經營活動，估算範圍為全臺森林。

（二）生態分區

根據中央氣象局資料，配合 IPCC 的氣候帶分區判斷流程，並結合 FAO 生態分區分類，臺灣全區屬於亞熱帶濕潤林區域。

由於林木生長會受到生長環境的影響，生態分區主要目的為降低林木碳量估算係數與實際狀況的差距。若生態分區越細、使用估算係數分類越多，估算結果將越準確。由於臺灣山地高聳，呈南北走向分布，增加氣候的多變性以及生態多樣性，因此，估算臺灣林地碳量的理想方式為不同林帶使用不同的估算係數。依第 4 次森林資源調查的林型分類，及第 4 次森林資源調查參照 FAO 的經營類別，將清冊編制區分為天然針葉林、天然針闊葉混淆林、天然闊葉林、人工針葉林、人工針闊葉混淆林、人工闊葉林、木竹混淆林和竹林，8 個林型。

（三）林業活動碳量估算

1. 估算層級選擇

在估算林業活動的溫室氣體排放量和移除過程，需要評估選擇哪種層級尺度進行估算。以臺灣的情況而言，已有部分本土係數但並不完整，故採層級 1 與層級 2 方法來估算。

2. 碳庫選擇

IPCC 針對林地碳量的估算提供 5 個碳庫，林業部門碳庫主要針對林木生物量的碳量估算，其他死有機質及土壤的部分則予以忽略。忽略的原因前者為 IPCC 指南中層級 1 方法下假設林地死有機質呈現平衡的狀態，而將該碳庫的碳變化量設為 0；後者則因國內缺乏與土壤碳相關的研究，再加上 IPCC 指南亦於層級 1 方法下假設土壤碳量為平衡狀態，意味著死有機質的碳增加量與死有機質的碳減少量相抵消，而將變化量設為 0。

3. 碳庫估算方法

IPCC 指南中提供兩個基本碳儲存變化量的估算方法，分別為增減法（Gain-Loss Methods）及儲存量變化法（Stock-Difference Methods）；前者著重於不同時期碳量的增加及減少，後者則討論不同時期碳儲存量的變化。由於國內全面性的森林調查通常間隔較久，無法準確推算各年度的碳儲存量情形，因此採用增減法，以調查成果的面積作為基準，利用林木的年生長量估算年度碳增量。

生物量碳儲存變化量之估算式如下：

(1) 林地維持林地

增減法的碳量估算如式1，此式適用於任何層級的碳量估算。

$$\Delta C = \Delta C_G - \Delta C_L \quad \text{式 1}$$

ΔC 碳庫中每年碳儲存變化量 (tonnes C/yr)

ΔC_G 生物量年碳增量 (tonnes C/yr)

ΔC_L 生物量年碳損失量 (tonnes C/yr)

A. 生物量年碳增量 (ΔC_G)

式3以地上部材積生長量和各個轉換係數推算林木單位面積全株生長量，式2則將生長量轉換為碳量，並乘上面積以取得各林型的年碳增量。

$$\Delta C_G = \sum (A_i \cdot G_{\text{TOTAL}, i} \cdot CF_i) \quad \text{式 2}$$

A 林地面積 (公頃)

G_{TOTAL} 林分年平均生長量 (噸/公頃/年)

i 林型

CF_i 碳含量比例

$$G_{\text{TOTAL}} = \sum [I_v \cdot (BCEF_i \cdot D_j) \cdot (1+R)] \quad \text{式 3}$$

R 地下部和地上部生物量比例

I_v 特定樹種的年平均材積生長量 (立方公尺/公頃/年)

$BCEF_i$ 生物擴展係數，將林木材積轉換成地上部生物量

D_j 第j樹種的基本木材密度 (噸d.m./立方公尺)

$BCEF_i$ $BCEF_i \cdot D_j$ ；生物量轉換及擴展係數，年平均材積生長量轉換成地上部生長量

B. 生物量年碳損失量 (ΔC_L)

根據林業統計，臺灣林地生物量損失主要有三個原因，分別為用材、薪材的伐採和干擾的發生，由式5至式7列出三種損失碳量的估算方式。基本的估算方式為使用損失材積量，配合各種碳轉換係數推估損失碳量；其中干擾的碳損失量需考慮干擾發生的面積，以及干擾的影響程度（如毀壞所有林木或僅影響其中一部份林木的生長）。

$$\Delta C_L = L_{\text{wood-removals}} + L_{\text{fuelwood}} + L_{\text{disturbance}} \quad \text{式 4}$$

ΔC_L 生物量減少所造成的年碳儲存損失量 (噸碳/年)

$L_{\text{wood-removals}}$ 因伐採林木所產生的年碳儲存損失量 (噸碳/年)

L_{fuelwood} 因伐採薪材所產生的年碳儲存損失量 (噸碳/年)

$L_{\text{disturbance}}$ 因干擾所產生的年碳儲存損失量 (噸碳/年)

$$L_{\text{wood-removals}} = H \cdot BCEF_R \cdot (1+R) \cdot CF \quad \text{式 5}$$

H 年木材伐採量 (立方公尺/年)

$BCEF_R$ 將「木材材積損失量」轉換成「生物量損失量」(含樹皮)時採用之「生物量轉換及擴展係數」,單位為:tonnes「減少之生物量」(m^3 的減少量) $^{-1}$ 。

$$L_{\text{fuelwood}} = \{ [FG_{\text{trees}} \cdot BCEF_R \cdot (1+R)] + FG_{\text{part}} \cdot D \} \cdot CF \quad \text{式 6}$$

FG_{trees} 年薪材伐採量 (整株) (立方公尺/年)

FG_{part} 年薪材伐採量 (部分) (立方公尺/年)

$$L_{\text{disturbance}} = A_{\text{disturbance}} \cdot B_w \cdot (1+R) \cdot CF \cdot fd \quad \text{式 7}$$

$A_{\text{disturbance}}$ 干擾面積 (公頃/年)

B_w 受干擾地區的平均地上部生物量 (噸d.m./公頃)

fd 因受到干擾而損失的生物量分數。 fd 界定了生物量池中的生物量損失的比例,如:一個林分的更替($fd=1$)所造成的干擾可能扼殺林中所有生物量,而蟲害所帶來的干擾可能僅移除一部份(則 $0 < fd < 1$,如: $fd=0.3$)的平均生物碳密度。本公式並不特別指明生物碳儲量的碳量損失情況。層級1方法假設所有的 $L_{\text{disturbance}}$ 皆排放於受到干擾的年度;較高層級的估算方式假設部份碳量因受干擾而排放,部份則改於死有機質碳庫(枯死木、殘枝)或收穫林產品(HWP)中計算。

(2) 其他土地轉變為林地

土地轉變為其他土地利用類型仍可依前述式 1 來估算每種碳庫的年碳儲存變化量,層級 1 方法可假設土地利用類型在轉換初期並無生物量碳儲存量的變化,或轉變前並無資料可供參考比對,因此 ΔC_G 可依前述公式 2 及公式 3 估算; ΔC_L 可依前述公式 4 至公式 7 估算。

4. 本土排放係數評估

為制定臺灣本土轉換係數,首先收集整理國內研究文獻,並召開專家諮詢會議,決議係數之採用方式,最後依照決議之方式整理係數數據,即可獲得臺灣本土轉換係數數值。文獻之篩選原則應先確認各文獻之研究方法,僅採用正確方法學之文獻,接著評估研究範圍,以全國尺度之文獻為優先,若無全國尺度進行研究之文獻,則採用各文獻之中位數,對於國內研究不充足之係數,則先採用 IPCC 預設值。另外,因臺灣目前並無針對混淆林進行研究之文獻,故混淆林之碳轉換係

數採用針葉樹與闊葉樹之平均值為代表。

基礎木材密度 (D) 針葉樹林型採用王兆桓 (2008) 對 6 種針葉樹種研究數據，依各樹種第 4 次森林資源調查之面積加權計算平均，其值為 0.41。闊葉樹則將林裕仁等 (2002) 對 15 種闊葉樹種研究之結果進行平均，為 0.56。

生物量擴展係數 (BEF) 針葉樹數值取自王兆桓 (2008) 各針葉樹種之平均值 1.27。闊葉樹採用各文獻之中位數 1.40，共有王兆桓與劉知好 (2006)、王兆桓 (2008)、李宣德與馮豐隆 (2010)、林國銓等 (1994) 與林國銓與何淑玲 (2005) 5 篇文獻。

生物量轉換與擴展係數 (BCEF) 於針葉樹部分同樣採用王兆桓 (2008)，取其平均值 0.51。闊葉樹則取王兆桓 (2008)、林國銓等 (2007)、林國銓等 (2008)、林國銓等 (2009)、林國銓與何淑玲 (2005)、許

原瑞等 (2006) 與許原瑞 (2008)，以 7 篇文獻之中位數 0.92 為代表。

地上部生物量與地下部生物量比例 (R) 因國內針葉樹研究報告缺乏，僅柳杉研究較為完善，然而以單一樹種文獻作為整個林型之數據並不具代表性，故採用 IPCC 對亞熱帶濕潤林的預設值，IPCC 以單位面積地上部生物量 125 公噸為界，然國內數據並未依生物量做區分，故採用兩者之平均 0.22 作為針葉樹的 R 值。闊葉樹則採用李宣德與馮豐隆 (2008)、林國銓等 (2006)、林國銓等 (2007)、林國銓等 (2008)、林國銓等 (2009)、林國銓等 (2010)、林國銓與何淑玲 (2005)、柯淑惠 (2005)、陳財輝 (1998) 及陳財輝與呂錦明 (1988) 共 10 篇文獻，7 種樹種，取其之中位數 0.24 為代表。

碳含量比例 (CF) 則是根據林裕仁等 (2002) 對臺灣 24 種主要用材進行的研究，

表 3、估算臺灣林地碳量之相關係數值

林型 / 係數	D	BEF	BCEF	R	CF	年生長量 (m^3 / ha)
天然針葉林	0.41	1.27	0.51	0.22	0.4821	4.14
天然針闊葉混淆林	0.49	1.34	0.72	0.23	0.4756	10.05
天然闊葉林	0.56	1.40	0.92	0.24	0.4691	3.58
人工針葉林	0.41	1.27	0.51	0.22	0.4821	8.11
人工針闊葉混淆林	0.49	1.34	0.72	0.23	0.4756	10.37
人工闊葉林	0.56	1.40	0.92	0.24	0.4691	4.34
木竹混淆林	0.49	1.34	0.72	0.23	0.4756	3.31
竹林	0.62	1.40	-	0.46	0.4732	13.84

註1：混淆林以針葉樹與闊葉樹之平均值為代表

註2：竹林之生長量單位為公噸/ha

分別使用針葉樹種與闊葉樹種實驗結果的平均值，針葉樹與闊葉樹碳含量比例分別為 0.4821 與 0.4691。

年生長量數據則取自全國森林資源調查之成果，以第 3 次與第 4 次森林資源調查之單位面積材積相比較，並將兩次調查的基準年訂於樣區調查的最後一年—1993 年與 2013 年，將單位面積材積之增加量除上調查時間間隔 20 年，即可獲得各林型之平均年生長量，結果如左頁表 3 所示。

竹林之碳轉換係數，密度採用王義仲與陳周宏（1995）、王義仲（2006）及林裕仁等（2011）3 篇研究，共 6 種竹種，取其中位數 0.62。生物量擴展係數與地上部生物量與地下部生物量比例皆以呂錦明與陳財輝（1992）對桂竹林分生物量的研究結果，其數值分別為 1.40 與 0.46。碳含量比例則以林裕仁等（2011）4 種竹材的平均值為代表，設為 47.32%。生長則依王義仲（2006）的研究結果，平均每公頃竹稈年生長量為 13.84 公噸。

土地轉變為林地的林木生長量，則依林俊成等人（2002）對全民造林運動碳吸存潛力之評估結果，分別以 3 種針葉樹與 4 種闊葉樹種之平均生長量為計算基準，針闊葉混淆林平均生長量則為針葉林及闊葉林之平均值。竹林的平均生長量則依王義仲（2006）的研究結果，平均每公頃竹稈年生長量為 13.84 公噸，之後再依據各年度面積加以計算。

5. 活動數據

在活動數據蒐集上，主要利用第 3 次與第 4 次森林資源調查成果，並搭配成大研究發展基金會「衛星影像於全島崩塌地判釋與災害分析」的研究成果與林業統計資料，以估算林地碳量。

6. 臺灣林業部門溫室氣體清冊估算流程

根據 IPCC 公式、本土轉換係數的制定與活動數據之蒐集，我國林業部門溫室氣體清冊估算流程如下頁圖 3 所示：

(1) 建立排放係數

A. 碳轉換係數

a. 依據專家諮詢會議設立之原則篩選文獻，並計算各林型碳轉換係數數值。

B. 年生長量

- a. 估算第 3 次與第 4 次全國森林資源調查各林型單位面積材積。
- b. 將兩次調查單位面積材積差值除上調查間隔，獲得平均年生長量。

(2) 蒐集活動數據

A. 整理全國森林資源調查森林覆蓋面積作為生物量年碳儲存增加量之活動數據。

- a. 區分林地維持林地與土地轉變為林地之面積，以兩次森林資源調查森林覆蓋面積為基礎，森林覆蓋增加之面積歸類至土地轉變為林地。
- b. 以林業統計造林資料輔助分配土地轉變為林地之面積至各年度與各林型中，多於之面積假設為天然更新，平均分

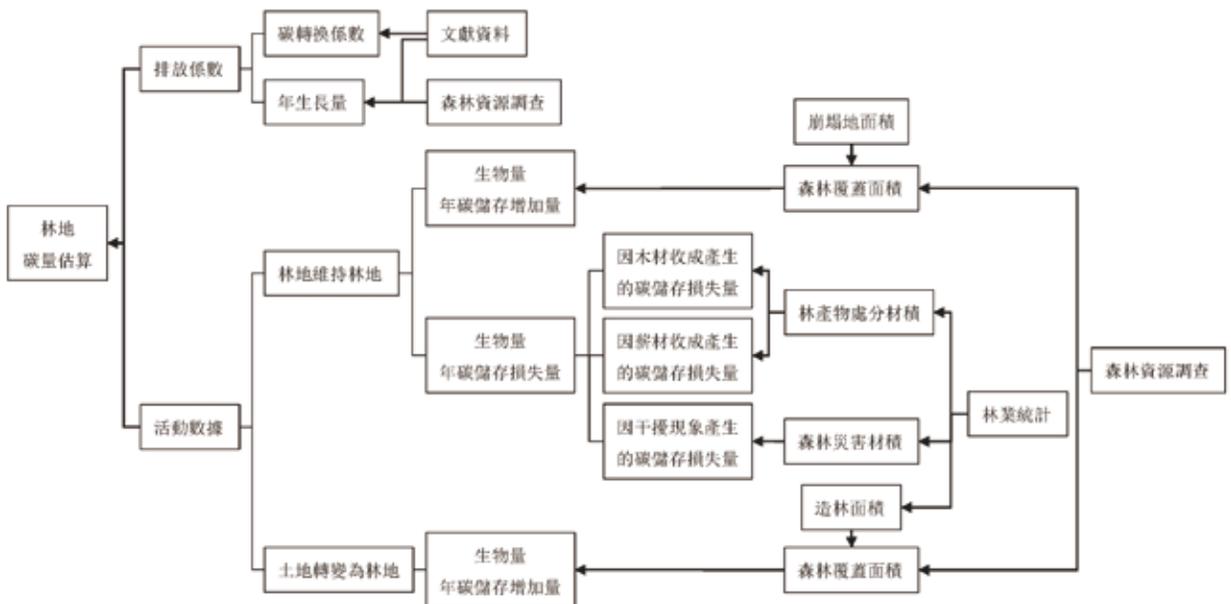
配至各年與各林型。

- c. 將第 4 次資源調查各林型面積扣除土地轉變為林地各林型面積即為林地維持林地各林型面積。
 - d. 設定資源調查基年，兩次調查間之年度以內插法計算。
 - e. 第 4 次森林資源調查後之年度透過扣除崩塌地的方式調整面積。
 - f. 土地轉變為林地之面積經 20 年後歸類至林地維持林地。
 - g. 經上述步驟即可獲得各年度森林覆蓋面積。
- B. 蒐集林業統計林產物處分材積（用材、竹材、薪材）與森林災害材積作為生物量年碳儲存損失量之活動數據。

(3)估算碳量

A. 林地維持林地

- a. 將排放係數與林地維持林地之森林覆蓋面積帶入式 2 與式 3，計算生物量年碳儲存增加量。
- b. 計算生物量年碳儲存增加量
 - (a) 將排放係數與林產物處分材積（用材、竹材）帶入式 5，計算因伐採林木所產生的年碳儲存損失量。
 - (b) 將排放係數與林產物處分材積（薪材）帶入式 6，計算因伐採薪材所產生的年碳儲存損失量。
 - (c) 將排放係數與森林災害材積帶入式 7，計算因干擾所產生的年碳儲存損失量
 - (d) 依據式 4 加總，即可獲得生物量年



▲圖3、臺灣林業部門溫室氣體清冊計算流程

碳儲存增加量。

B. 土地轉變為林地

將排放係數與土地轉變為林地之森林覆蓋面積帶入式 2 與式 3，計算生物量年碳儲存增加量。

C. 加總林地維持林地與土地轉變為林地之碳

量，即可獲得森林資源整體各年度之碳量變化。

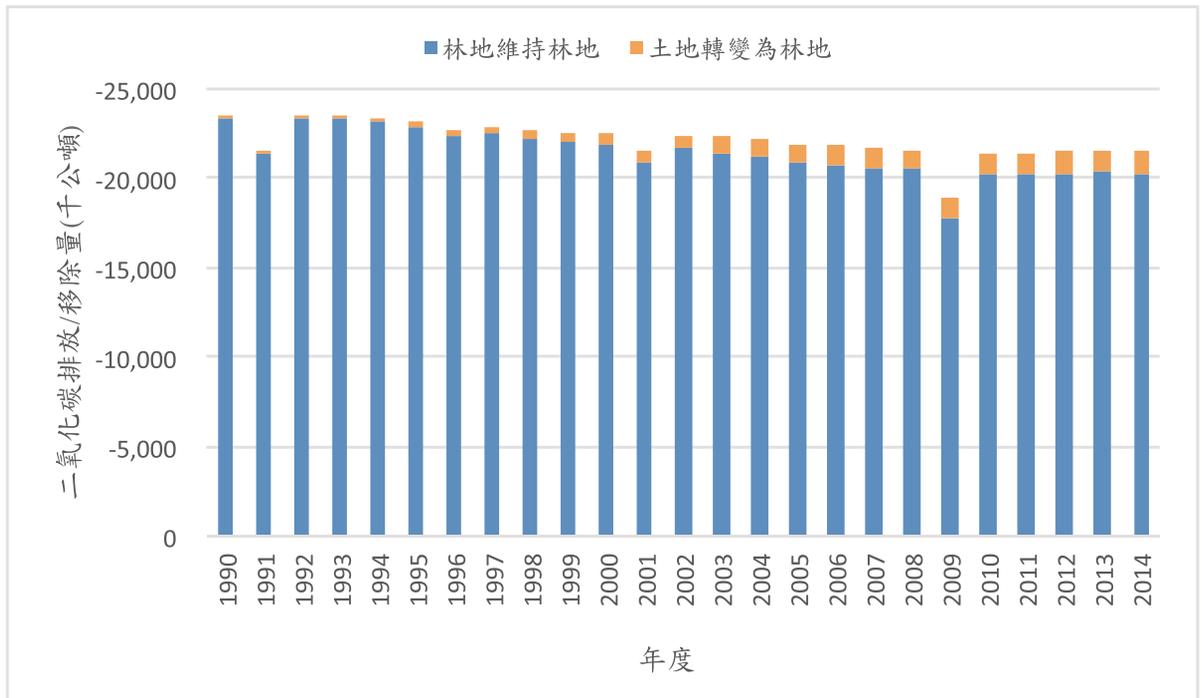
7. 臺灣林業活動溫室氣體清冊估算成果

1990 ~ 2014 年我國森林資源每年約可自大氣中移除 1 千 8 百多萬至 2 千 3 百多萬

表 4、1990 ~ 2014 年林業部門年碳量變化

單位：千公噸—二氧化碳當量

年度	林地維持林地		其他土地轉變為林地		總二氧化碳量 變化 CO ₂
	生物量二氧化碳儲 存增加量 CO _{2G}	生物量年二氧化碳 儲存損失量 CO _{2L}	生物量年二氧化碳儲存 增加量 CO _{2G}		
1990	-23,902	607	-91	-23,386	
1991	-23,902	2,503	-91	-21,490	
1992	-23,713	333	-136	-23,516	
1993	-23,524	216	-185	-23,493	
1994	-23,335	190	-233	-23,379	
1995	-23,146	202	-288	-23,233	
1996	-22,957	559	-319	-22,717	
1997	-22,768	266	-397	-22,899	
1998	-22,579	326	-446	-22,699	
1999	-22,390	401	-561	-22,550	
2000	-22,201	389	-665	-22,476	
2001	-22,012	1,112	-683	-21,583	
2002	-21,823	167	-759	-22,415	
2003	-21,633	227	-899	-22,305	
2004	-21,444	243	-995	-22,196	
2005	-21,255	369	-1,031	-21,918	
2006	-21,066	251	-1,046	-21,861	
2007	-20,877	308	-1,080	-21,650	
2008	-20,688	199	-1,142	-21,631	
2009	-20,499	2,753	-1,166	-18,911	
2010	-20,392	218	-1,240	-21,413	
2011	-20,409	140	-1,202	-21,470	
2012	-20,435	145	-1,283	-21,572	
2013	-20,473	135	-1,226	-21,564	
2014	-20,508	197	-1,166	-21,477	



▲圖4、1990~2014年林業部門森林資源整體碳匯量變化趨勢圖

公噸之二氧化碳，主要貢獻來自於林地維持林地。因林地維持林地隨林型之轉變呈現逐漸減少而後趨於穩定之趨勢，因此臺灣森林資源整體有相同之趨勢。

五、結論與建議

臺灣雖然不是 UNFCCC 締約國，但仍受全球氣候變遷之影響，應為減緩全球暖化貢獻心力，建置國家溫室氣體清冊估算溫室氣體之排放與吸收量。森林對減緩氣候變遷之貢獻長期以來一直受到認可，甚至於協議中明文列出，可納入溫室氣體之排放減量中。根據估算，我國森林資源每年約可自大氣中移除 1 千 8 百多萬至 2 千 3 百多萬公噸的二氧化碳。

為增加清冊估算之準確性，除可提升估算層級外，也應加強相關研究與查驗機制，提

升資料之正確性。活動數據方面，目前林地面積主要取自全國森林資源調查數據，由於兩次資源調查時間間隔久遠，未來應對林地維持林地和土地轉變為林地等土地利用型變動情形進行連續性的監測，以持續更新各年度林地面積。年生長量亦採用全國森林資源調查數據，惟兩次調查之樣區並不相同，後續應透過複查森林資源調查系統樣區及永久樣區，來估算各林型生長量，以獲得更為精準之數據。🌱



(圖片／高遠文化)