



第六章 土地利用變化及林業部門 (CRF SECTOR 5)

- 6.1 部門概述
- 6.2 森林及其他木質生物蓄積量的改變
- 6.3 森林及草原的變更
- 6.4 廢耕地
- 6.5 土壤對二氧化碳的釋放與吸收

第六章 土地利用變化及林業部門 (CRF SECTOR 5)

6.1 部門概述

聯合國氣候變化政府間專家委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 於 1997 年將土地利用、土地利用變化及林業 (Land Use, Land Use Change and Forestry, LULUCF) 納入修訂版國家溫室氣體排放清冊指南 (Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 以下簡稱 1996 IPCC 指南)^[18]，對於土地利用變化造成的碳排放量，以及林業碳移除量等估算方法提出具體建議，之後 IPCC 於 2003 年再公布 LULUCF 的良好作法指南 (Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry in the Preparation of National Greenhouse Gas Inventories under the Convention, GPG, 以下簡稱 2003 LULUCF-GPG)。

目前最新的版本為 IPCC 於 2006 年所公布國家溫室氣體清冊指南 (2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 以下簡稱 2006 IPCC 指南)，其內容係結合 1996 IPCC 指南及 2003 LULUCF-GPG 的主要精神與

內容。在 2006 IPCC 指南架構下共區分為五大部門，其中與森林有關的部門為 3.B.1.「農業、林業和其他土地利用 (Agriculture, Forestry and other Land Use, AFOLU)」部分之土地 (含林地維持為林地及林地與其他土地利用類型的轉換) 及 3.D.1.「經採伐的木質產品 (Harvested Wood Product, HWP)」等部分。

目前該部門以 1996 IPCC 指南為基礎，其中 LULUCF 係就 1990 年以後土地利用、森林及其他木質生物蓄積量的改變造成碳排放及碳移除量進行估算。由於臺灣區域計畫法、森林法對於林業用地變更以及森林伐採均已訂有相關規範，且自 1992 年起即實施禁伐天然林政策，至林地變更為其他使用之情形極少，因此可藉行政院農業委員會林務局第三次全國森林資源調查成果之林型面積，以及林業統計每年新植造林、伐採、薪材收穫及干擾等相關數據估算。

表 6.1.1 為 1990 至 2012 年臺灣地區森林資源整體之年碳量變化，其趨勢如圖 6.1.1。另臺灣 2012 年林業部門碳匯與損失之占比如圖 6.1.2，臺灣現有林地年生長碳吸收量為 95.24%，新植造林碳增加量為 4.35%、因伐採、薪材收穫、干擾之年損失碳量只為 0.41%。

18 IPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volumes 2: Greenhouse Gas Inventory Workbook. Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Lim, B., Tréanton, K., Mamaty, I., Bonduki, Y., Griggs, D.J. and Callander, B.A. (Eds). IPCC/OECD/IEA, Paris, France.

表 6.1.1 臺灣 1990 至 2012 年森林資源整體之年碳量變化

(單位：千公噸二氧化碳當量)

年 \ 類型	平均每年生長碳吸收量 + 新植造林新增碳量 $\Delta C_{G-TOTAL} + \Delta C_{G-AFF}$	平均每年因伐採 + 薪材收穫 + 干 擾之損失碳量 $L_{WOOD-REMOVALS} + L_{fuelwood} + L_{disturbance}$	年度碳吸收量變化 ΔCO_2
1990	19,173	-339	18,832
1991	19,164	-1,789	17,372
1992	19,197	-188	19,008
1993	19,233	-124	19,107
1994	19,265	-103	19,162
1995	19,296	-109	19,187
1996	19,309	-268	19,041
1997	19,351	-139	19,217
1998	19,376	-161	19,217
1999	19,440	-217	19,220
2000	19,501	-225	19,275
2001	19,508	-813	18,692
2002	19,549	-94	19,455
2003	19,625	-127	19,499
2004	19,032	-141	18,905
2005	18,993	-206	18,843
2006	18,961	-127	18,938
2007	18,958	-170	18,920
2008	18,958	-103	19,015
2009	18,966	-1,958	17,218
2010	18,811	-102	18,923
2011	18,793	-73	19,103
2012	18,836	-79	19,129

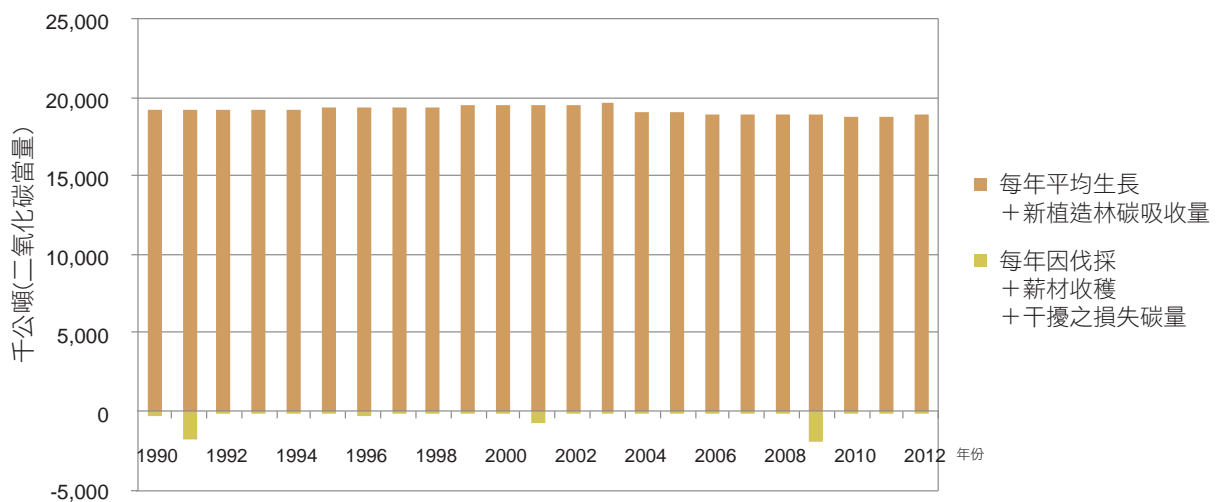


圖 6.1.1 臺灣 1990 至 2012 年林業部門吸收與排放之二氧化碳趨勢

6.2 森林及其他木質生物蓄積量的改變 (5.A)

1. 排放源及就匯分類：

主要就土地利用、森林及其他木質生物蓄積量的改變，所造成的碳排放及移除量進行估算，其中土地利用類別依據 2006 IPCC 指南建議，歸納為林地、農地、草地、濕地、集居地及其他等六大類別，本部門係就「林地維持林地」部分予以估算，至於其他土地類別之間轉換所造成的碳排放量不在本部門估算範圍。

森林所貯存之碳庫 (Carbon Pool) 可區分為生物量 (Biomass) (包含地上部及地下部生物量)、枯有機質 (Dead Oorganic Matter) (包含死木與枯落物)、土壤 (Soils) (包含土壤有機質) 等三大類。各類碳庫說明如表 6.2.1 所示。

2. 方法學議題：

(1) 計算方法：

在林地碳貯存量的變化，主要為各碳庫變化的總和 (式 1)。

$$\Delta C_{FL} = \Delta C_B + \Delta C_{DOM} + \Delta C_{Soils} \quad (1)$$

式中： ΔC_{FL} = 林地的碳貯存量的變化 (公噸碳 / 年) ；

ΔC_B = 生物量的碳貯存年變化量 (公噸碳 / 年) ；

ΔC_{DOM} = 死有機物質 (包括死木和枯落物) 的年碳貯存量變化 (公噸碳 / 年) ；

ΔC_{Soils} = 土壤碳貯存年變化量 (公噸碳 / 年)

僅就其中 ΔC_B 、 ΔC_{DOM} 、 ΔC_{Soils} 之估算分

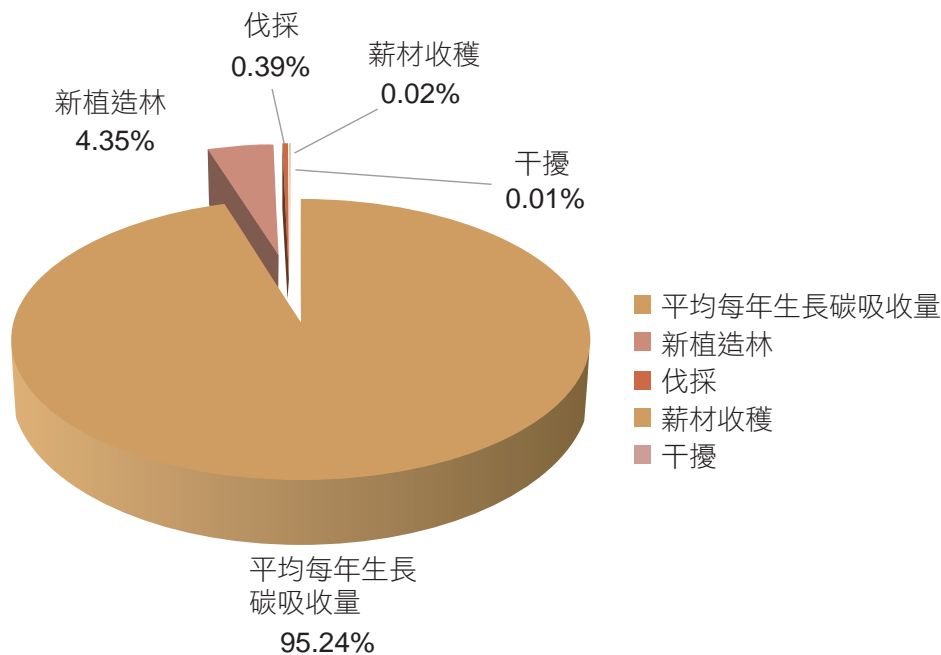


圖 6.1.2 臺灣 2012 年林業部門碳匯與損失之占比

述如下：

A. ΔC_B 生物量 (Biomass) 碳貯存量的變化

在生物量每年所增加的碳貯存量，主要為每年生物量因生長所增加的碳貯存量扣除因生物量損失所減少的碳貯存量 (式 2)。

$$\Delta C_B = \Delta C_G - \Delta C_L \quad (2)$$

式中： ΔC_B = 生物量的碳貯存年變化量 (公噸碳 / 年)；

ΔC_G = 生物量生長之年碳貯存增加量 (公噸碳 / 年)；

ΔC_L = 生物量損失之年碳貯存減少量 (公噸碳 / 年)。

而生物量生長之年碳貯存增加量，依林木的地理區位、平均年生長情形及面積而異 (式 3)。

$$\Delta C_G = \sum_{ij} (A_{ij} \times G_{TOTAL_{ij}} \times CF_{ij}) \quad (3)$$

式中： ΔC_G = 生物量生長之年碳貯存增加量 (公噸碳 / 年)；

A = 面積 (公頃)；

G_{TOTAL} = 平均年生物量累積量 (公噸乾物質 / 公頃 / 年)；

i = 生態區 (i = 1 至 n)；

j = 氣候型 (j = 1 至 m)；

CF = 乾物質碳含量比例 (公噸碳 / 公噸乾物質)

平均年生物量累積量，在方法 1 的情況時，可依林木地上部的平均年生物量增加量乘上根莖比可得出 (式 4)。在方法 2 及 3，林木地上部的平均年生物量增加量可由特定林木 (植被) 的年平均材積生長量乘上其轉換生物量和擴展係數可得出 (式 5)。

表 6.2.1 森林所貯存之碳庫定義

碳庫		說明
生物量 (Biomass)	地上部生物量 (Aboveground Biomass)	土壤以上所有活的木本和草本之生物量，包括莖、殘幹 (Stump)、枝、樹皮、種子和葉。 註：如果森林下層植被占地上部生物量碳庫的比例較小，某種程度的不計入是可接受的，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。建議直徑低於 2 mm 的細根經常是不計入在內，因為只憑經驗將直徑低於 2 mm 的細根與土壤有機質或枯落物相區分是相當困難的。
枯有機質 (Dead Organic Matter)	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。死木包括直徑大於或等於 10 公分的枯倒木、死根和殘幹。
	枯落物 (Litter)	所有非活的生物量，建議直徑應大於 2 公厘 (因要與土壤有機物區分) 及直徑小於死木所定義的最小直徑 (例如 10 公分)、在礦質或有機質土壤上已經死亡的、各種程度的腐朽狀況的所有非活的生物量。這包括土壤類型所定義的枯落物層及在礦質或有機質土壤上的活細根 (最小直徑應低於地下部生物量所規定)。
土壤 (Soils)	土壤有機質 (Soil Organic Matter)	包括達到所選擇深度的礦質土壤的有機碳，如在土壤中的活和死的細根和枯有機質、如果不能憑經驗區分的最小直徑小於 2 公厘 (建議值) 的根及枯有機質。土壤深度預設值為 30 公分。

資料來源：IPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

方法 1 $G_{TOTAL} = \sum \{G_W \times (1+R)\}$ (4)

方法 2、3 $G_{TOTAL} = \sum \{I_V \times BCEF_I \times (1+R)\}$ (5)

式中： G_{TOTAL} = 平均年生物量累積量（公噸乾物質 / 公頃 / 年）；

G_W = 在特定林木（植被）類型地上部生物量的平均年生長量（公噸乾物質 / 公頃 / 年）；

R = 根莖比；

I_V = 特定林木（植被）類型的年平均材積生長量（ m^3 / 公頃 / 年）；

$BCEF_I$ = 特定林木（植被）類型之轉換生物量和擴展係數，將材積（包括樹皮）轉換為地上部生物量。

如直接的 $BCEF_I$ 不可得知，則可使用生物量擴展係數（ BEF_I ）與基本比重（D）值相乘得出（式 6）。

$BCEF_I = BEF_I \times D$ (6)

生物量損失之年碳貯存減少量為商用木材採伐、薪材收穫與干擾等因素所引起的年碳貯存減少量（式 7）。

$\Delta C_L = L_{wood-removals} + L_{fuelwood} + L_{disturbance}$ (7)

式中： ΔC_L = 生物量損失之年碳貯存減少量（公噸碳 / 年）；

$L_{wood-removals}$ = 商用木材採伐所引起的年碳貯存減少量（公噸碳 / 年）；

$L_{fuelwood}$ = 薪材收穫所引起的年碳貯存減少量（公噸碳 / 年）；

$L_{disturbance}$ = 干擾等其他因素所引起的年碳貯存減少量（公噸碳 / 年）

商用木材採伐所引起的年碳貯存減少量，主要受每年採伐量所影響（式 8）。

$L_{wood-removals} = \{H \times BCEF_R \times (1+R) \times CF\}$ (8)

式中： $L_{wood-removals}$ = 商用木材採伐所引起的年碳貯存減少量（公噸碳 / 年）；

H = 每年採伐量（ m^3 / 年）；

R = 根莖比；

CF = 乾物質碳含量比例（公噸碳 / 公噸乾物質）；

$BCEF_R$ = 將木材採伐材積換算為地上部總生物量（含樹皮）的生物量擴展係數。

如直接的 $BCEF_R$ 不可得知，則可使用採伐生物量擴展係數（ BEF_R ）與基本比重（D）值相乘得出（式 9）。

$BCEF_R = BEF_R \times D$ (9)

薪材收穫所引起的年碳貯存減少量，由每年收穫薪材的全株與林木材積所構成（式 10）。

$L_{fuelwood} = \{ \{FG_{trees} \times BCEF_R \times (1+R)\} + FG_{part} \times D \} \times CF$ (10)

式中： $L_{fuelwood}$ = 薪材收穫所引起的年碳貯存減少量（公噸碳 / 年）；

FG_{trees} = 每年收穫薪材材積（ m^3 / 年）；

FG_{part} = 每年收穫薪材枝木有材積（ m^3 / 年）；

R = 根莖比；

CF = 乾物質碳含量比例（公噸碳 / 公噸乾物質）；

$BCEF_R$ = 將木材採伐材積換算為地上部總生物量（含樹皮）的生物量擴展係數。

如直接的 $BCEF_R$ 不可得知，則可使用採伐生物量擴展係數（ BEF_R ）與基本比重（D）值相乘得出（式 11）。

$$BCEF_R = BEF_R \times D \quad (11)$$

B. ΔC_{DOM} 死有機物質（Dead organic matter）（包含死木與枯落物）中的碳貯存量變化。

在 1996 IPCC 指南中對於這些碳庫中的碳貯存量變化並不明顯，因此其預設值可假設為零，即投入與損失相抵，因此枯有機質碳貯存量變化淨值為零。

C. ΔC_{Soils} 土壤（Soils）（包含土壤有機質）中的碳貯存量變化。

土壤（Soils）的碳包括礦質土壤中有機碳貯存量及土壤中無機碳貯存量，一般假設為零。

（2）排放係數

基本比重（D）：依林裕仁等人（2002）所測定臺灣自產材 24 種，將其分成針葉樹材與闊葉樹材二類，其針葉林（天然林及人工林）為 0.42，闊葉林（天然林及人工林）為 0.56，針闊葉混淆林（天然林及人工林）為針葉樹與闊葉樹之平均值為 0.49，而竹林（林木部分）則假設與人工針闊葉混淆林相同。

生物量擴展係數（ BEF_I 、 BEF_R ）：天然林（針葉樹、針闊葉混淆林、闊葉林）之生物量擴展係數使用林國銓等人（1994）對福山闊葉林的研究（建造期與成熟期）平均值為 1.44。人工

針葉林及人工闊葉林之生物量擴展係數則採用王兆桓、劉知妤（2006）所建立之柳杉及樟樹數值，分別為 1.23 及 1.20；人工針闊葉混淆林則以人工針葉林與人工闊葉樹之平均值為 1.21；而竹林（林木部分）則假設與人工針闊葉混淆林相同；竹林（竹類部分）則以呂錦明及陳財輝（1992）對桂竹林分生物量的研究結果，竹稈擴展成為地上部生物量之係數值為 1.40。

根莖比（R）：天然林主要以闊葉林為主，因此以林國銓、何淑玲（2005）的研究，天然林（針葉樹、針闊葉混淆林、闊葉林）根莖比為 0.32；人工針葉林以柳杉造林面積為最多，故以王子定（1978）、李訓煌（1978）、游漢明（1981）、張峻德（1986）等人的研究根部生物量占總生物量之 21.85%，轉換根莖比為 0.28（引自林俊成等人，1999）；人工闊葉林之根莖比則引用陳財輝、呂錦明（1988）對木麻黃生物量的結果為 0.21；人工針闊葉混淆林為針葉林與闊葉林之平均值 0.24 來計算；而竹林（林木部分）則假設與人工針闊葉混淆林相同。竹林（竹類部分）則以呂錦明及陳財輝（1992）對桂竹林分生物量的研究結果，根莖比為 0.46。

碳含量比例（CF）：依林裕仁等人（2002）所測定，其針葉林（天然林及人工林）為 0.4821，闊葉林（天然林及人工林）為 0.4691，針闊葉混淆林（天然林及人工林）為針葉樹與闊葉樹之平均值為 0.4756；而竹林（林木部分）則假設與人工針闊葉混淆林相同，竹林（竹類部分）則依王義仲（2006）對桂竹的研究，其碳含量為 0.4854。

(3) 活動數據

以目前臺灣可取得及歸納之資料進行分類計算，相關係數方面則以國內的研究數值為主，如臺灣無此數值，則使用 IPCC 預設值（採用主要氣候帶為亞熱帶的數值）。

A. 森林資源面積、蓄積與生長量

臺灣森林資源大規模的生長蓄積調查有共三次，本統計所需之森林資源面積、生長蓄積資料，以行政院農業委員會林務局（1995）

「第三次臺灣森林資源及土地利用調查」之資料為主，其調查時間為 1990 年 3 月至 1993 年 9 月，故假設以 1993 年為基準年來進行後續統計分析。年生長量以行政院農業委員會林務局（1982）「臺灣森林資源之連續調查報告－臺灣林木資源之生長及枯死」之調查結果（表 6.2.3）。竹林的生長則依王義仲（2006）的研究結果，每公頃孟宗竹的平均株數為 8,760 株，5 年生的竹稈生物量為 105.1 公噸，每公頃桂竹的平均株數為 18,000 株，5 年生的竹稈生物

表 6.2.2 臺灣各類林型所採用之相關係數值

林型\係數	D	BEF _I 、BEF _R	R	CF
天然針葉林	0.42	1.44	0.32	0.4821
天然針闊葉混淆林	0.49	1.44	0.32	0.4756
天然闊葉林	0.56	1.44	0.32	0.4691
人工針葉林	0.42	1.23	0.28	0.4821
人工針闊葉混淆林	0.49	1.21	0.24	0.4756
人工闊葉林	0.56	1.20	0.21	0.4691
竹林（林木部分）	0.49	1.21	0.24	0.4756
竹林（竹類部分）	--	1.40	0.46	0.4854

表 6.2.3 臺灣各林型面積、蓄積與生長量

林型	面積 (ha)	面積百分比 (%)	蓄積 (10 ³ m ³)	蓄積百分比 (%)	平均蓄積 (m ³ /ha)	平均年生長量 (m ³ /ha)
天然針葉林 ^b	220,100	10.5	91,770	25.58	417	4.79
天然針闊葉混淆林	331,600	15.8	94,608	26.37	285	6.45
天然闊葉林	975,800	46.4	124,155	34.61	127	6.16
人工針葉林	218,400	10.4	34,065	9.50	156	7.34
人工針闊葉混淆林	59,600	2.8	4,793	1.34	80	6.11
人工闊葉林	144,600	6.9	8,818	2.46	61	4.87
竹林（林木部分）	152,300	7.2	535	0.15	4	0.55
竹林（竹類部分）			1,127,831 ^a			13.84 ^b
合計	2,102,400	100.0	358,744	100.00	171	

資料來源：各類林型面積係依據行政院農業委員會林務局 1995 年第三次臺灣森林資源及土地利用調查結果，平均年生長量係依據行政院農業委員會林務局 1982 年臺灣森林資源之連續調查報告－臺灣林木資源之生長與枯死成果。

註：^a 竹林（竹類部分）蓄積單位為千支，竹類生長量應有高估情形，惟目前尚缺乏老熟竹林分碳匯之研究數據。

^b 天然針葉林包括雲杉、冷杉、鐵杉、檜木及其他針葉林（含松）之加權平均值；人工針闊葉混淆林則為人工針葉林及人工闊葉林之加權平均值。

量為 33.3 公噸，將兩種竹類所得結果加以平均，可知平均每公頃竹稈年生長量為 13.84 公噸。每株（支）竹稈的重量為 5.17 公斤，平均年生長量為 1.034 公斤。

B. 每年採伐量 (H)、每年收穫薪材材積 (FG_{trees})

根據歷年行政院農業委員會林務局之林業統計加以整理（如表 6.2.4）。

C. 受干擾影響的森林面積與所損失的材積量

根據 1990 至 2012 年之行政院農業委員會林務局之林業統計加以整理（表 6.2.5），其中受干擾影響之來源包括盜伐、火災、火警、濫墾及其他；幼齡木、幼苗、竹叢、副產物之損失未列入。

D. 造林情形

1990 至 2012 年的造林面積，係根據行政院農業委員會林務局之林業統計加以整理，如表 6.2.6。

表 6.2.4 臺灣森林主產物採伐量

年	採伐面積 (ha)		林木材積 (m ³)					竹類 (支)
	林地	竹林	天然針葉林	天然闊葉林	人工針葉林	人工闊葉林	薪材	
1990	1,917	1,479	6,292	54,207	85,517	17,481	39,715	5,795,941
1991	1,046	1,683	4,191	26,244	64,436	7,885	23,303	4,318,917
1992	1,036	781	5,428	13,662	69,813	7,361	22,059	3,312,710
1993	575	675	4,457	2,724	50,683	5,245	8,625	2,176,352
1994	439	532	3,182	3,735	36,679	6,396	6,136	1,907,854
1995	625	587	5,536	349	35,440	4,876	16,976	2,161,413
1996	500	293	4,515	328	38,665	3,154	9,700	2,323,761
1997	448	184	4,597	309	32,831	3,071	11,365	1,232,119
1998	458	260	5,679	197	27,349	3,262	13,042	1,508,053
1999	393	493	3,177	964	22,267	6,540	9,997	1,841,708
2000	632	383	0	3,507	22,500	4,039	5,134	1,716,292
2001	405	124	0	7,414	21,171	11,741	7,533	558,927
2002	624	390	0	3,642	26,019	24,010	7,388	1,268,416
2003	739	455	128	771	56,764	9,597	18,282	2,174,351
2004	705	333	0	128	37,968	20,616	12,089	1,572,353
2005	500	342	2	533	35,393	16,649	7,481	1,694,291
2006	587	622	72	252	35,214	17,127	10,931	3,046,946
2007	326	339	1	145	40,253	15,182	11,638	2,864,482
2008	180	465	2	30	36,596	7,140	7,340	2,509,139
2009	158	438	0	760	32,058	7,774	3,690	3,266,805
2010	159	562	6	1,432	19,115	11,933	313	3,326,833
2011	142	370	117	131	27,674	8,216	774	1,875,466
2012	151	378	70	194	37,189	5,971	2,807	1,772,876

資料來源：行政院農業委員會林務局之林業統計

(4) 碳吸收量

A. 森林資源碳量

第三次臺灣森林資源與土地利用調查結果為基期資料（1993年為基準年），計算1993年森林總碳量為161,095千公噸碳，以此為基準，再使用表6.2.3之森林資源年生長量資料，估算每年平均碳量變化為5,210千公噸碳，如表6.2.7所示。

B. 1990至2012年因造林（ ΔC_{G-AFF} ）之年碳量變化

1990至2012年間造林的林木碳吸存量，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，以樟樹、臺灣檫、相思樹、光臘樹等四種樹種之平均生長量做為闊葉林造林材積計算基準，而以肖楠、柳杉、杉木等三種樹種之平均生長量做為針葉林造林材積計算基準，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，並依據1990至2012年的造林面積，彙整年度造林的碳量變化如表6.2.8。

表 6.2.5 受干擾影響的森林面積與損失材積

年	次數 ^a	面積 (ha)	林木材積 (m ³)	竹類 (支)
1990	352	4,031	3,395	0
1991	362	1,125	1,357,423 ^a	163,220
1992	292	401	2,235	20,154
1993	359	1,251	9,944	24,196
1994	441	3,860	5,246	264,490
1995	336	546	1,873	105,600
1996	511	7,519	43,984	6,255,093
1997	305	2,969	14,572	2,330,329
1998	252	1,642	20,233	3,131,407
1999	429	2,440	75,991	2,692,378
2000	272	4,353	103,385	1,966,948
2001	263	1,621	645,328	252,545
2002	347	742	3,670	35,657
2003	491	800	624	27,448
2004	251	1,006	26,764	394,651
2005	219	3,133	65,112	2,013,673
2006	210	158	2,017	99,200
2007	231	1,049	37,751	257,027
2008	317	284	4,182	26,962
2009	455	5,834	1,563,005 ^b	2,486,573
2010	419	97	5,202	1,608
2011	476	33	1,344	731
2012	445	10	938	0

資料來源：行政院農業委員會林務局（1991~2013）。林業統計。

註：^a 1991年於南投縣信義鄉及嘉義縣阿里山鄉塔塔加地區發生森林大火，範圍延燒約300多公頃，致林木損失材積量大。

^b 2009年莫拉克風災對臺灣中、南部造成嚴重災害，尤其在高雄、屏東部分地區3天內降下超過2,500毫米的雨量，產生約125萬噸漂流木，致林木損失材積量大。

表 6.2.6 臺灣 1990 至 2012 年造林面積

(單位：公噸)

年	人工針葉林	人工針闊葉混淆林	人工闊葉林	竹類	總面積
1990	959	67	2,696	161	3,883
1991	1,350	52	3,002	252	4,656
1992	1,780	48	2,975	279	5,081
1993	1,481	0	2,999	303	4,783
1994	1,005	0	3,487	130	4,622
1995	614	0	2,832	113	3,558
1996	1,222	0	3,901	108	5,230
1997	1,709	0	3,437	100	5,246
1998	1,440	0	5,975	70	7,485
1999	1,516	2	6,653	129	8,300
2000	1,032	0	4,125	70	5,227
2001	796	0	4,068	70	4,934
2002	853	4	6,556	71	7,484
2003	492	31	6,717	45	7,285
2004	638	4	4,092	134	4,868
2005	62	0	1,477	57	1,596 ^a
2006	59	0	343	5	409 ^a
2007	312	0	813	5	1,135 ^a
2008	87	0	423	5	518 ^a
2009	671	0	2,595	1	3,267
2010	250	0	2,581	0	2,944
2011	291	0	6,807	1	7,098
2012	233	0	4,732	0	4,965

資料來源：行政院農業委員會林務局（1991~2013）。林業統計。

註：^a因 2005 年起停止全民造林政策致造林面積減少

表 6.2.7 臺灣森林資源碳量

(單位：千公噸碳)

林型	1993 年總碳量	年平均碳量變化 ($\Delta C_{G-TOTAL}$)
天然針葉林	35,320	307
天然針闊葉混淆林	41,909	718
天然闊葉林	61,995	2,274
人工針葉林	10,860	399
人工針闊葉混淆林	1,676	103
人工闊葉林	3,363	222
竹林(林木部分)	187	29
竹林(竹類部分)	5,785	1,157
總計	161,095	5,210

C.1990 至 2012 年間生物量損失之年碳貯存減少量如表 6.2.9。

D.1990 至 2012 年森林資源整體之年碳量變化

由於林地活動資料需要大規模的森林資源與土地利用調查才可完整呈現，因此以行政院農業委員會林務局第三次全國森林資源與土地利用調查結果為基期資料。有關平均年生長碳吸收量之變動係因 1994 至 2012 年扣除前一年因伐採、薪材收穫之林地面積，另尚需考量崩塌地部分，由於林地崩塌主要為林地覆蓋的改變，並非使用狀態的改變，因此仍屬於林地維

持林地的狀態，但林地崩塌時，其覆蓋的林木亦皆隨之崩落形成漂流木，無法持續生長，於是 2003 至 2012 年間資料依據行政院農業委員會林務局委託成功大學執行「運用衛星影像於全島崩塌地判釋與災害分析」研究成果，將此種林地崩塌的面積予以扣除。

3. 不確定性與時間序列的一致性

評估不確定性可降低排放量與移除量計算結果及實際情形間的誤差，為計算國家溫室氣體清冊的良好作法之一，有助於確定那些項目及參數需優先進行改善，以便提高未來調查結

表 6.2.8 臺灣 1990 至 2012 年造林之年碳量變化

(單位：千公噸碳)

年 \ 林型	人工針葉林	人工針闊葉混淆林	人工闊葉林	竹林	造林總計 (ΔC_{G-AFF})
1990	3.80	0.30	13.30	1.50	18.89
1991	2.97	0.24	10.99	2.22	16.41
1992	4.79	0.24	14.98	5.68	25.68
1993	7.16	0.28	18.53	9.50	35.47
1994	7.69	0.18	23.57	13.66	45.10
1995	7.68	0.21	31.30	15.44	54.63
1996	7.73	0.25	36.43	14.76	59.18
1997	10.63	0.27	47.93	12.78	71.61
1998	14.43	0.32	54.26	10.33	79.35
1999	16.64	0.35	72.69	7.13	96.82
2000	20.24	0.39	86.60	7.12	114.35
2001	21.83	0.39	88.58	6.53	117.34
2002	23.41	0.39	99.66	6.02	129.48
2003	25.27	0.40	120.86	5.62	152.15
2004	26.35	0.49	135.49	5.28	167.62
2005	29.17	0.41	139.11	5.36	174.04
2006	29.30	0.42	141.21	5.19	176.12
2007	30.90	0.42	145.85	4.29	181.46
2008	32.61	0.42	154.89	3.38	191.30
2009	32.67	0.41	158.75	2.84	194.67
2010	35.11	0.41	169.77	1.01	206.30
2011	33.87	0.53	168.84	0.23	203.47
2012	34.03	0.52	189.49	0.17	224.21

註：資料總計因小數點取捨，取與各林型加總有些會有差異。

果或國家清冊的準確性，亦用於判斷不同機構（研究）或採用不同方法所作的估計間的一致性程度。產生不確定的來源包含：定義上的不確定性（例如定義不完整、不清楚或錯誤）；來自產生排放或移除過程的自然變異的不確定性；來自對評估過程（取樣）、測量、使用的方法的不確定性、引用不完整參考資料或來自專家判斷的不確定性等。

目前已完成蒐集 IPCC 相關不確定性分析方法學，包含誤差傳遞法及蒙地卡羅分析等二種方法，後續將視實際資料情況選擇適當方法進行評估。

4. 特定排放源的 QA/QC 及查證

查證的定義：「查證指在清冊規劃、發展及完成後，收集可能有助於建立可信度的活動資料和程序步驟，以供清冊的查證程序使用。」。換言之，「查證（verification）」是對清冊報告中的排放 / 移除量作定期審查，以建立清冊可信度。查證過程應做為品質保證（Quality Assurance, QA）及品質控制（Quality Control, QC）程序的一部分，以促進發展國家溫室氣體清冊的透明度、一致性、可比較性、完整性和準確性。

表 6.2.9 1990 至 2012 年間生物量損失之年碳貯存減少量

（單位：千公噸碳）

年 \ 類型	伐採 ($L_{\text{wood-removals}}$)	薪材收穫 (L_{fuelwood})	干擾 ($L_{\text{disturbance}}$)
1990	78.88	15.15	1.07
1991	51.84	8.89	428.74
1992	43.45	8.41	0.81
1993	27.77	3.29	3.26
1994	23.28	2.34	3.01
1995	23.20	6.48	1.13
1996	23.98	3.70	45.95
1997	16.92	4.34	16.55
1998	17.31	4.97	22.44
1999	18.35	3.81	37.77
2000	17.01	1.96	42.68
2001	14.65	2.87	204.73
2002	21.93	2.82	1.34
2003	28.64	6.97	0.34
2004	24.07	4.61	10.46
2005	22.96	2.85	30.85
2006	29.91	4.17	1.14
2007	29.56	4.44	13.22
2008	24.25	2.80	1.46
2009	27.48	1.41	505.47
2010	26.13	0.12	1.65
2011	19.19	0.30	0.43
2012	20.33	1.07	0.30

表 6.2.10 1990 至 2012 年森林資源整體之年碳量變化

(單位：千公噸二氧化碳當量)

年 \ 類型	平均每年生長碳吸收量 $\Delta C_{G-TOTAL}$ (千公噸)	新增碳量新植造 ΔC_{G-AFF} (千公噸)	損失碳量伐採 $L_{wood-removals}$ (千公噸)	損失碳量薪材收穫 $L_{fuelwood}$ (千公噸)	損失碳量干擾 $L_{disturbance}$ (千公噸)	年度碳吸收量變化 ΔC (千公噸)	年度碳吸收量變化 ΔCO_2 (千公噸二氧化碳當量)
1990	5,210	18.89	78.88	12.52	1.07	5,136	18,832
1991	5,210	16.41	51.84	7.35	428.74	4,738	17,372
1992	5,210	25.68	43.45	6.95	0.81	5,184	19,008
1993	5,210	35.47	27.77	2.72	3.26	5,211	19,107
1994	5,209	45.10	23.28	1.93	3.01	5,226	19,162
1995	5,208	54.63	23.20	5.35	1.13	5,233	19,187
1996	5,207	59.18	23.98	3.06	45.95	5,193	19,041
1997	5,206	71.61	16.92	3.58	16.55	5,241	19,217
1998	5,205	79.35	17.31	4.11	22.44	5,241	19,217
1999	5,205	96.82	18.35	3.15	37.77	5,242	19,220
2000	5,204	114.35	17.01	1.62	42.68	5,257	19,275
2001	5,203	117.34	14.65	2.37	204.73	5,098	18,692
2002	5,202	129.48	21.93	2.33	1.34	5,306	19,455
2003	5,200	152.15	28.64	5.76	0.34	5,318	19,499
2004	5,023	167.62	24.07	3.81	10.46	5,152	18,905
2005	5,006	174.04	22.96	2.36	30.85	5,124	18,843
2006	4,995	176.12	29.91	3.45	1.14	5,136	18,938
2007	4,989	181.46	29.56	3.67	13.22	5,124	18,920
2008	4,979	191.30	24.25	2.31	1.46	5,142	19,015
2009	4,978	194.67	27.48	1.16	505.47	4,639	17,218
2010	4,924	206.30	26.13	0.10	1.65	5,102	18,923
2011	4,922	203.47	19.19	0.24	0.43	5,106	19,103
2012	4,913	224.21	20.33	0.89	0.30	5,115	19,129

註： $\Delta C = (\Delta C_{G-TOTAL} + \Delta C_{G-AFF}) - (L_{WOOD-REMOVALS} + L_{fuelwood} + L_{disturbance})$

年度碳吸收量變化 = (平均年生長增加碳量 + 因造林新增碳量) - (木材伐採 + 薪材收穫 + 干擾) 損失碳量

表 6.2.11 不確定性分析方法之比較

估算方法	誤差傳遞法	蒙地卡羅分析
適用情況	數不確定性較小時。 各參數不確定性分配需為常態分配。 參數間是完全獨立（沒有相關性）。	參數不確定性較大時。 各參數不確定性分配不需為常態分配。 參數間容許有相關性。
優點	可用 Excel 等試算軟體計算、計算方便。	可適用於參（變）數為各種分配，適用範圍較廣。
缺點	僅適用於常態分配，適用範圍較窄。	需有經驗值才能找出變數的分配情形，及其中之參數值，過程通常相當複雜，需使用統計軟體。

目前已完成蒐集 IPCC 相關查證方法學，後續將依前開規範及步驟進行相關查證。另配合由行政院環境保護署整合各部會就主管產業提報溫室氣體排放或移除量，完成估算林業部門 1990 至 2012 年森林及其他木質生物蓄積量的淨改變對於溫室氣體減量貢獻，並經 2013 年 11 月 22 日、27 日林業、農業部門專家研商會議審議通過，業依委員所提有關在林木生長碳量的計算上應扣除天然災害導致崩塌、伐採收穫面積等意見修正報告數據。

5. 特定排放源的重新計算

無

6. 改善計畫

- (1) 行政院農業委員會林務局 2014 年底可完成第四次全國森林資源調查，且同時於 2013 年起執行「建置符合 MRV 原則林業溫室氣體清冊編製機制及試算」科技計畫，預計屆時將有更貼近實際情況的森林分布及林型資料，作為森林基線，以提高林業碳匯數據估算之精確性。
- (2) 有關每年森林平均碳吸收量之估算，其中竹類部分應有高估的情形，一般來說竹子約五年後生長趨於老熟，如無更新伐採其碳匯功能將大幅降低，惟目前尚

表 6.2.12 IPCC 查證方法比較

方法	方法一 其他成果比較法	方法二 更高層級比較法	方法三 直接測量法	方法四 遙測法	方法五 模型法
土地面積	可獲得數據， 合適	可獲得數據， 合適	不適用	合適	不適用
碳庫					
地上部生物量	可獲得數據， 合適	可獲得數據， 合適	合適成本高	合適(需要地面 數據)	合適(迴歸、生態系及 生長模式)
地下部生物量	可獲得數據， 合適	可獲得數據， 合適	合適成本高	不適用	合適(迴歸、生態系及 生長模式)
枯死木	可獲得數據， 合適	可獲得數據， 合適	合適成本高	不適用	適用(生態系統及調查 基準的模式)
枯枝落葉	可獲得數據， 合適	可獲得數據， 合適	合適成本高	不適用	適用(生態系統及調查 基準的模式)
土壤有機物	可獲得數據， 合適	可獲得數據， 合適	合適成本高	不適用	合適(生態系統及調查 基準的模式)
非 CO ₂ 溫室氣體 Non- CO ₂	可獲得數據， 合適	可獲得數據， 合適	合適成本高	不適用	合適(生態系統模式)
排放因子	可獲得數據， 合適	可獲得數據， 合適	合適成本高	不適用	合適(生態系統模式)
基於活動/土地的報告					
林地、草地、 農地、其他土 地利用	可獲得數據， 合適	可獲得數據， 合適	合適成本高	合適，特別在辨 別土地利用及其 之間的轉變	合適，數據密集型，當 不允許直接測量或遙測 時，可作為替代的方法
造林、再造 林、毀林、專 案(project)	可獲得數據， 合適	可獲得數據， 合適	合適成本高	合適，特別在辨 別土地利用及其 之間的轉變	不實際

缺乏老熟竹林分碳匯之研究數據。另行政院農業委員會林業試驗所相關竹類老熟林生長量研究甫於 2014 年底完成，2015 年度估算時應據以調整。

- (3) 目前森林面積係依據第三次森林資源調查結果，就近年來崩塌監測部分予以扣除，其他部分則假設仍維持林地狀態。後續執行林業清冊編製科技計畫已規整合行政院農業委員會水土保持局、內政部等機關國土利用監測調查結果，扣除每年轉變為非森林的區域，以及增加年度新植造林區域，建立林地面積變動機制，掌握每年森林異動變化。
- (4) 相關係數部分，未來將持續蒐集不同學者對於多種林型的研究成果比較分析，提高本土代表性。
- (5) 此次統計主要就生物量碳庫部分進行分析，經採伐的木質產品（HWP）尚未估算，行政院農業委員會林務局今年執行科技計畫已規劃蒐集國際上相關估算方法之評估結果，並蒐集國內進出口資料，據以推估臺灣林產品收穫（HWP）數據。

6.3 森林及草原的變更（5.B）

此節計算生物量的燃燒與腐朽所釋放出來的二氧化碳、甲烷、一氧化碳、氧化亞氮、氮氧化物等共計五項，主要係森林變更為自然草原及其他土地利用類型。由於我國區域計畫法、森林法對於林業用地變更以及森林伐採均已訂有相關規範，且自 1992 年起即實施禁伐天然林政策，至林地變更為其他使用之情形極

少。行政院農業委員會林務局於 2013 年起執行「建置符合 MRV 原則林業溫室氣體清冊編製機制及試算」科技計畫，規劃彙集既有各部會土地利用監測、調查資訊，以掌握林地面積變動狀態，預計 2014 年底將有更貼近實際情況的資料。

6.4 廢耕地（5.C）

此部分為過去廢耕地所吸收二氧化碳的量，由於臺灣參照日本作法，將全部森林視為有經營的森林，故無此部分數據。

6.5 土壤對二氧化碳的釋放與吸收（5.D）

土壤的碳包括礦質土壤中有機碳貯存量及土壤中無機碳貯存量，一般假設為零。

參考文獻

1. IPCC (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (Eds). IPCC/IGES, Kanagawa, Japan..
2. 王子定（1978）。不同齡級柳杉林之生長與樹木生物量生產之研究。國立臺灣大學農學院研究報告，18，1-35。
3. 王兆桓、劉知妤（2006）。森林蓄積量與生物量轉換模式之建立。2006 森林碳吸存研討會論文集，200-215。
4. 王義仲（2006）。竹林生物量調查回顧與展望。2006 森林碳吸存研討會論文集，167-188。
5. 李訓煌（1978）。不同齡級柳杉林之生長及樹木生物量生產之研究。國立臺灣大學森林學研究所碩士論文。臺北市：臺灣大學，未出版。

6. 呂錦明、陳財輝（1992）。桂竹之林分構造及生物量—桶頭—桂竹林分之例。林業試驗所研究報告季刊，7（1），1-13。
7. 林俊成、李國忠、林裕仁（1999）。柳杉人工林碳貯存效果與適應成本研究。臺大實驗林研究報告，13（1），51-60。
8. 林俊成、鄭美如、劉淑芬、李國忠（2002）。全民造林運動二氧化碳吸存潛力之經濟效益評估。臺灣林業科學，17（3），311-321。
9. 行政院農業委員會林務局（1991~2013）。林業統計。臺北市：行政院農業委員會林務局。
10. 行政院農業委員會林務局（1982）。臺灣森林資源之連續調查報告—臺灣林木資源之生長及枯死。臺北市：行政院農業委員會林務局。
11. 行政院農業委員會林務局（1995）。第三次臺灣森林資源及土地利用調查。臺北市：行政院農業委員會林務局。
12. 林國銓、洪富文、游漢明、馬復京（1994）。福山試驗林闊葉林生態系生物量與葉面積指數的累積與分布。林業試驗所研究報告季刊，9（4），299-315。
13. 林國銓、何淑玲（2005）。由生物量推估臺灣不同林分之碳儲存量。森林經營對二氧化碳吸存之貢獻研討會論文集，97-108。
14. 林裕仁、劉瓊霖、林俊成（2002）。臺灣地區主要用材比重與碳含量測定。臺灣林業科學，17（3），291-299。
15. 張峻德（1986）。臺灣中北部柳杉林分之生物量生產力。中華林學季刊，19(4)，45-85。
16. 陳財輝、呂錦明（1988）。苗栗海岸砂丘木麻黃人工林之生長及林分生物量。林業試驗所研究報告季刊，3（1），333- 343。
17. 游漢明（1981）。不同齡級柳杉林分地上部之生物量與淨生產量。國立臺灣大學森林學研究所碩士論文。臺北市：臺灣大學，未出版。
18. IPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volumes 2: Greenhouse Gas Inventory Workbook. Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Lim, B., Tréanton, K., Mamaty, I., Bonduki, Y., Griggs, D.J. and Callander, B.A. (Eds). IPCC/OECD/IEA, Paris, France.

