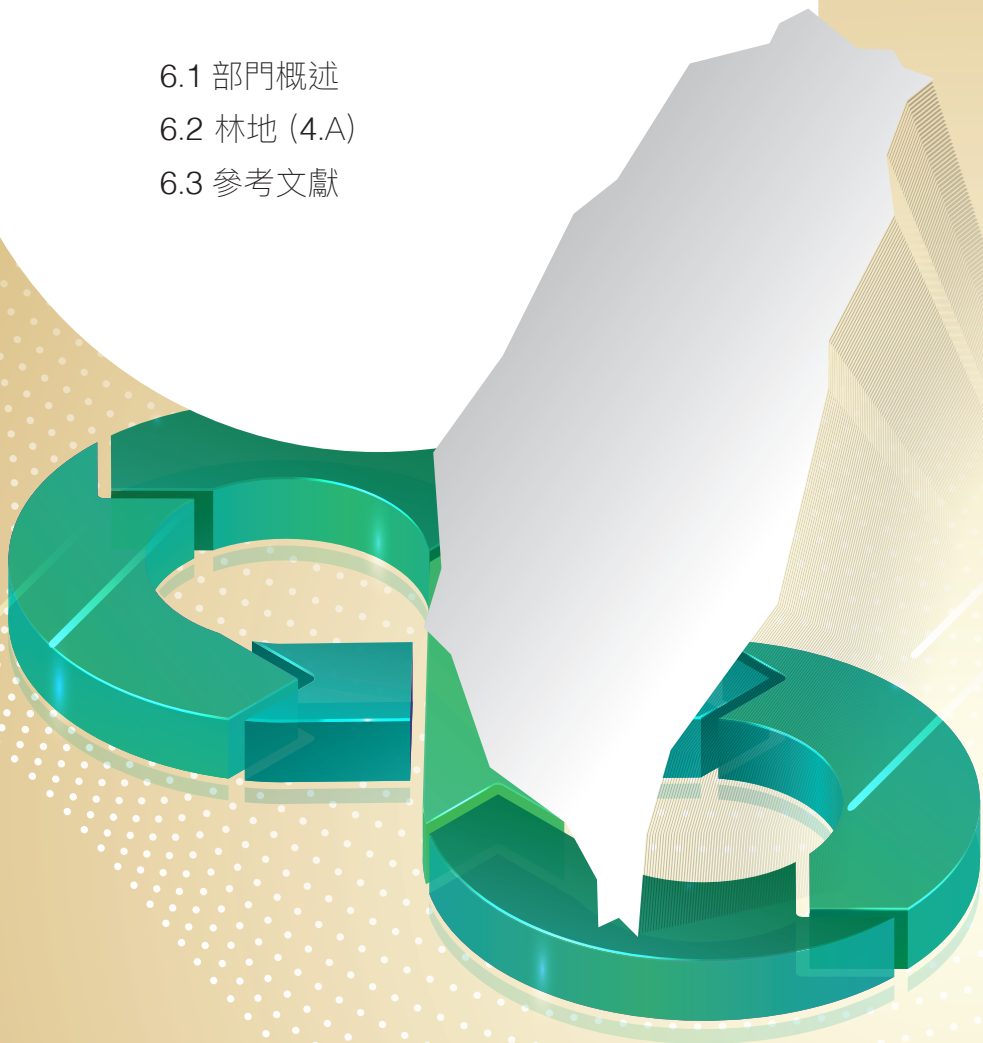


第六章

土地利用、土地利用變化 及林業部門 (CRF Sector 4)

- 6.1 部門概述
- 6.2 林地 (4.A)
- 6.3 參考文獻



第六章 土地利用、土地利用變化及林業部門 (CRF Sector 4)

6.1 部門概述

聯合國政府間氣候變化專門委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, 以下簡稱 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, 以下簡稱 LULUCF) 納入國家溫室氣體清冊指南 (Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 簡稱 1996 IPCC 指南修正版), 對於土地利用變化造成的碳排放量 (Carbon emission), 以及林業部門碳移除量 (Carbon removal) 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, 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 年 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「農業、林業和其他土地使用 (Agriculture, Forestry and Other Land Use, AFOLU)」部分之 3.B.1 林地 (含林地維持為林地及林地與其他土地使用類型的轉換) 及 3.D.1

「收穫林產品 (Harvested Wood Product, 以下簡稱 HWP)」等部分。

我國林業部門溫室氣體排放源範疇, 如表 6.1.1 所示, 統計 4.A 「林地」, 另依據 IPCC 針對各方法學所提出之方法學使用層級, 可分為 Tier 1、Tier 2 及 Tier 3 三類, 相關採用結果如表 6.1.2 所示。

有關 1990 年至 2021 年林業部門碳移除量及其不確定性如表 6.1.3 所列, 碳移除之變化量於 19,388 至 23,546 千公噸二氧化碳當量之間, 不確定性為 7.50% 至 8.78% 之間。

6.2 林地 (4.A)

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, 且根據臺灣森林經營管理方案第八條, 1990 年代起即實施禁伐天然林政策, 同時林地變更為其他使用之情形極少, 因此藉由行政院農業委員會林務局 (以下簡稱林務局) 第三次與第四次全國森林資源調查成果之林型面積為基礎, 配合林務局每年估算維持覆蓋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活動數據, 據以估算我國林業部門年碳移除量。

各年度碳移除量估算結果詳如表 6.2.1, 其歷年趨勢如圖 6.2.1, 2021 年林業部門碳移除量約為 21,850 千公噸二氧化碳當量, 其不確定性為 8.78%, 其中「林地維持林地」碳移除量占 97.01%, 「其他土地轉變為林地」碳移除量占 2.99%, 如圖 6.2.2。

表 6.1.1 土地利用、土地利用變化及林業部門排放源分類

土地類型	範疇定義	移除 / 排放氣體
4.A 林地	符合國家溫室氣體清冊林地閾值 (如面積大於 0.5 公頃) 的木本植被覆蓋土地, 包含所在土地的植被結構雖然呈現減少的趨勢, 然而在原地可能達到國家所定義的林地類別閾值的土地。	二氧化碳
4.B 農地	農業用地, 含稻田和植被結構低於林地類閾值的農林系統。	無
4.C 牧草地	不被視為農田的牧場和牧草地。閾值低於林地類閾值的木本植被和其他無草植被系統, 諸如草本和灌木。所有由荒地改造成用於消遣的草地以及符合國家定義的農業和森林牧場系統。	無
4.D 濕地	泥炭採掘地區和全年或部分時間被水覆蓋或充滿水的土地 (如泥炭地), 但不屬於林地、農田、草地或聚居地類別。作為管理子類的水庫和作為未管理子類的天然河流和湖泊。	無
4.E 聚居地	所有已開發的土地, 如交通基礎設施和任何規模的人類聚居地, 除非它們已經列入其他類別。這應當與國家定義一致。	無
4.F 其他土地	裸土、岩石、冰川和不屬於其他五個類別任意一種的所有土地面積。這一類別在可以獲得資料時, 允許經過確定的土地總面積與國家面積相一致。如果能夠獲得資料, 應按上文所述的土地利用類別對未管理土地進行分類 (如分為未管理林地、未管理草地和未管理濕地); 這將提高透明性和加強追蹤土地利用從特定未管理土地類別轉化為上述類別的能力。	無
4.G 收穫林產品	收穫林產品包含所有搬離自林地之木質材料, 其中亦包含樹皮; 其所貯存的碳移除量, 會隨林產品的使用在人類社會中流動、延遲其釋放至大氣中的時間。	無

表 6.1.2 土地利用、土地利用變化及林業部門所使用方法學

溫室氣體排放源與移除源分類	二氧化碳		甲烷		氧化亞氮	
	方法學	排放係數	方法學	排放係數	方法學	排放係數
4.A 林地	T2	CS	NE	NE	NE	NE
4.B 農地	NE	NE	NE	NE	NE	NE
4.C 牧草地	NE	NE	NE	NE	NE	NE
4.D 濕地	NE	NE	NE	NE	NE	NE
4.E 聚居地	NE	NE	NE	NE	NE	NE
4.F 其他土地	NE	NE	NE	NE	NE	NE
4.G 收穫林產品	NE	NE				

備註: T2 (IPCC Tier2), CS (Country Specific Method/EF), NE (未調查估計該分類項目), 灰底 (2006 IPCC 指南未建議該氣體納入統計)。

表 6.1.3 1990 年至 2021 年林業部門溫室氣體移除量與不確定性

年份	溫室氣體排放量 / 移除量			不確定性		
	4.A 林地		林業部門合計	4.A 林地		林業部門合計
	4.A.1 林地維持林地	4.A.2 其他土地轉變為林地		4.A.1 林地維持林地	4.A.2 其他土地轉變為林地	
	(單位：千公噸二氧化碳當量)			(單位：%)		
1990	-23,295.18	-90.75	-23,385.93	7.95	14.68	7.92
1991	-21,399.48	-90.75	-21,490.23	7.54	14.68	7.50
1992	-23,407.84	-135.99	-23,543.83	8.04	13.64	8.00
1993	-23,363.75	-182.45	-23,546.20	8.10	13.00	8.03
1994	-23,228.40	-230.49	-23,458.89	8.12	12.74	8.04
1995	-23,054.69	-285.11	-23,339.80	8.14	13.22	8.04
1996	-22,535.92	-315.06	-22,850.98	8.05	13.75	7.94
1997	-22,667.60	-392.42	-23,060.02	8.18	14.55	8.04
1998	-22,446.34	-440.18	-22,886.52	8.20	14.92	8.05
1999	-22,210.31	-553.38	-22,763.69	8.22	15.68	8.03
2000	-22,060.72	-656.02	-22,716.74	8.28	15.78	8.05
2001	-21,176.23	-673.30	-21,849.53	8.12	15.80	7.88
2002	-21,960.03	-747.38	-22,707.41	8.49	15.95	8.22
2003	-21,738.13	-886.17	-22,624.30	8.54	16.17	8.23
2004	-21,560.37	-981.32	-22,541.69	8.61	16.30	8.27
2005	-21,273.74	-1,016.10	-22,289.84	8.65	16.23	8.29
2006	-21,230.08	-1,029.21	-22,259.29	8.79	16.26	8.42
2007	-21,011.84	-1,061.97	-22,073.81	8.87	16.30	8.48
2008	-20,959.23	-1,122.50	-22,081.73	9.03	16.37	8.61
2009	-18,243.10	-1,144.81	-19,387.91	8.40	16.42	7.96
2010	-20,671.34	-1,217.68	-21,889.02	9.13	16.52	8.67
2011	-20,766.20	-1,180.62	-21,946.82	9.15	16.62	8.71
2012	-20,787.08	-1,172.56	-21,959.64	9.14	16.71	8.69
2013	-20,834.48	-1,139.44	-21,973.92	9.12	16.82	8.69
2014	-20,806.86	-1,078.79	-21,885.65	9.08	16.88	8.67
2015	-20,851.34	-1,049.03	-21,900.37	9.07	16.94	8.68
2016	-20,915.10	-1,010.79	-21,925.89	9.08	16.96	8.70
2017	-20,998.02	-963.25	-21,961.27	9.09	17.00	8.72
2018	-21,065.34	-918.18	-21,983.52	9.09	17.13	8.74
2019	-21,086.17	-830.67	-21,916.84	9.06	17.19	8.74
2020	-21,181.07	-723.94	-21,905.01	9.06	17.24	8.78
2021	-21,318.06	-653.59	-21,850.46	9.03	17.28	8.78

表 6.2.1 1990 年至 2021 年林地碳移除量變化

(單位：千公噸二氧化碳當量)

年份	4.A.1 林地維持林地		4.A.2 其他土地轉變為林地	4.A 林地總二氧化碳碳移除量 ΔCO_2	不確定性 (%)
	生物量碳移除量 ΔCO_{2G}	生物量碳排放量 ΔCO_{2L}	生物量碳移除量 ΔCO_{2G}		
1990	-23,902.42	607.25	-90.76	-23,385.93	7.92
1991	-23,902.42	2,502.94 ¹	-90.76	-21,490.24	7.50
1992	-23,740.99	333.15	-135.99	-23,543.83	8.00
1993	-23,579.55	215.80	-182.45	-23,546.20	8.03
1994	-23,418.11	189.72	-230.49	-23,458.88	8.04
1995	-23,256.68	201.99	-285.11	-23,339.80	8.04
1996	-23,095.24	559.32	-315.07	-22,850.99	7.94
1997	-22,933.80	266.20	-392.43	-23,060.03	8.04
1998	-22,772.36	326.03	-440.18	-22,886.51	8.05
1999	-22,610.93	400.62	-553.38	-22,763.69	8.03
2000	-22,449.49	388.77	-656.02	-22,716.74	8.05
2001	-22,288.05	1,111.82 ²	-673.30	-21,849.53	7.88
2002	-22,126.62	166.59	-747.38	-22,707.41	8.22
2003	-21,965.18	227.05	-886.16	-22,624.29	8.23
2004	-21,803.74	243.37	-981.32	-22,541.69	8.27
2005	-21,642.31	368.56	-1,016.11	-22,289.86	8.29

續下表



續上表

年份	4.A.1 林地維持林地		4.A.2 其他土地轉變為林地	4.A 林地 總二氧化碳 碳移除量 ΔCO_2	不確定性 (%)
	生物量 碳移除量 ΔCO_{2G}	生物量 碳排放量 ΔCO_{2L}	生物量 碳移除量 ΔCO_{2G}		
2006	-21,480.87	250.78	-1,029.21	-22,259.30	8.42
2007	-21,319.43	307.59	-1,061.96	-22,073.80	8.48
2008	-21,157.99	198.76	-1,122.50	-22,081.73	8.61
2009	-20,996.56	2,753.45 ³	-1,144.82	-19,387.93	7.96
2010	-20,889.44	218.09	-1,217.68	-21,889.03	8.67
2011	-20,906.55	140.35	-1,180.62	-21,946.82	8.71
2012	-20,932.22	145.14	-1,172.56	-21,959.64	8.69
2013	-20,969.81	135.33	-1,139.44	-21,973.92	8.69 ⁴
2014	-21,003.81	196.95	-1,078.79	-21,885.65	8.67
2015	-21,040.14	188.79	-1,049.03	-21,900.38	8.68
2016	-21,068.11	153.01	-1,010.79	-21,925.89	8.70
2017	-21,105.16	107.14	-963.25	-21,961.27	8.72
2018	-21,148.04	82.69	-918.17	-21,983.52	8.74
2019	-21,201.90	115.73	-830.67	-21,916.84	8.74
2020	-21,271.30	90.23	-723.94	-21,905.01	8.78
2021	-21,318.06	121.19	-653.59	-21,850.46	8.78

備註：1. 1991 年其他災害包括颱風災害次數共 7 次，面積共 295.74 公頃，被害材積 1,348,998.61m³，損失材積 1,348,992.06 m³。

2. 2001 年除丹大、梨山、雪山東峰及陽明山國家公園所發生之五次森林大火外，尚發生 59 次小火警，火災受損面積廣達 395 公頃，森林資源損失慘重。

3. 2009 年莫拉克風災對我國中、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 萬公噸漂流木，致林木損失材積量大。

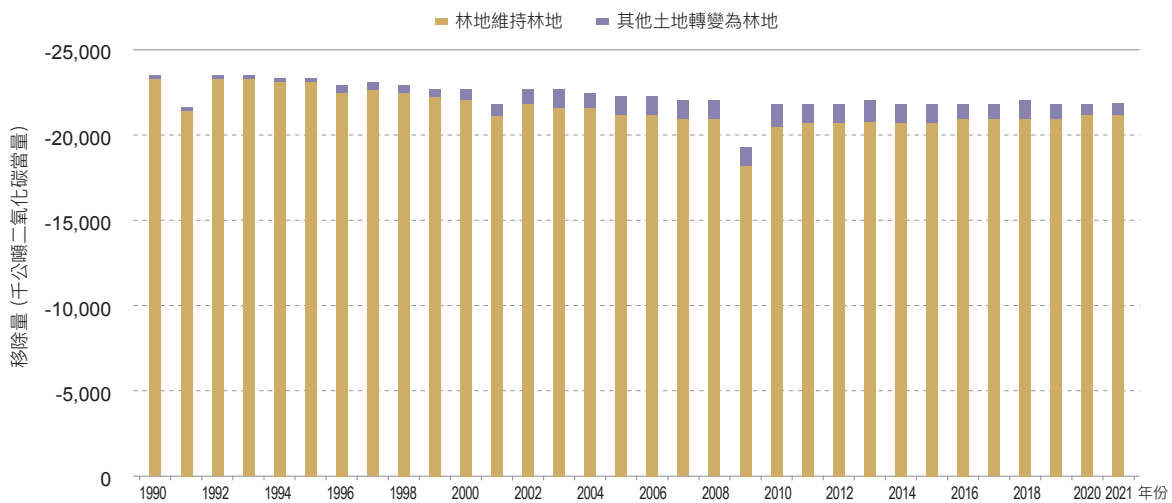


圖 6.2.1 1990 年至 2020 年林地碳移除量變化趨勢

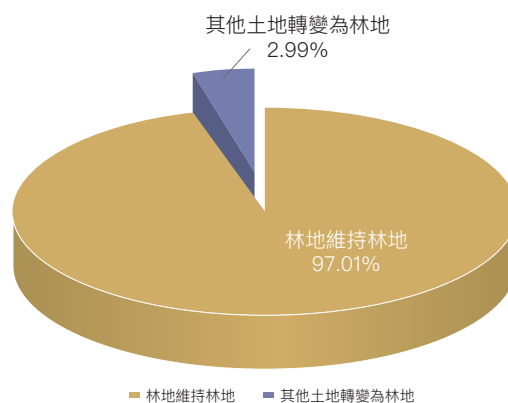


圖 6.2.2 2020 年林地碳移除量各項目占比

6.2.1 林地維持林地 (4.A.1)

1 排放源及匯分類的敘述

森林所儲存之碳庫 (Carbon Pool) 可區分為生物量 (Biomass) (包含地上部及地下部生物量)、死有機質 (Dead Organic Matter) (包含枯死木與枯落物)、土壤 (Soils) (包含土壤有機質) 等三大類。各類碳庫說明如表 6.2.2 所示。

2 方法學議題：

(1) 計算方法

在林地中之碳貯存量變化，主要為各碳庫變化的總和 (公式 6.2.1)。

公式 6.2.1

$$\Delta C_{FL} = \Delta C_B + \Delta C_{DOM} + \Delta C_{Soils}$$

ΔC_{FL} = 林地中之碳貯存年變化量 (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 (包括枯死木和枯落物) 的碳貯存年變化量 (公噸碳 / 年) ;
 ΔC_{Soils} = 土壤碳貯存年變化量 (公噸碳 / 年)

公式 6.2.1 中 ΔC_B 、 ΔC_{DOM} 、 ΔC_{Soils} 之估算分述如下：

A. ΔC_B 生物量 (Biomass) 碳貯存量的變化

在每年生物量所增加的碳貯存量，主要為生物量每年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，即為碳移除量 (公式 6.2.2)。

公式 6.2.2

$$\Delta C_B = \Delta C_G - \Delta C_L$$

ΔC_B = 生物量的碳貯存年變化量 (公噸碳 / 年) ;
 ΔC_G = 生物量生長之碳貯存年增加量 (公噸碳 / 年) ;
 ΔC_L = 生物量損失之碳貯存年減少量 (公噸碳 / 年)。

而生物量生長之年碳貯存增加量，依林分的林型、平均年生長量及面積而異 (公式 6.2.3)。

公式 6.2.3

$$\Delta C_G = \sum_i (A_i \times G_{Total_i} \times CF_i)$$

ΔC_G = 生物量生長之碳貯存年增加量 (公噸碳 / 年) ;
 A_i = i 林型面積 (公頃) ;
 G_{Total} = 平均年生物量生長量 (公噸乾物質 / 公頃 / 年) ;
 i = 林型 (i = 1 至 n) ;
 CF_i = 林型之乾物質碳含量比例 (公噸碳 / 公噸乾物質)

平均年生物量生長量，在方法 1 (Tier 1) 的情況時，可依林分地上部的平均年生物量增加量乘上根莖比可得出 (公式 6.2.4)。在方法 2 及 3 (Tier 2 及 3)，林分地上部的平均年生物量增加量可由特定林型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 (公式 6.2.5)。

公式 6.2.4

$$G_{Total} = \Sigma [G_W \times (1+R)] \quad (\text{方法 1})$$

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

公式 6.2.5

$$G_{Total} = \Sigma [I_v \times BCEF_i \times (1+R)] \quad (\text{方法 2、3})$$

I_v = 特定林型的年平均材積生長量 (立方公尺 / 公頃 / 年)
 $BCEF_i$ = 特定林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 $BCEF_i$ 無法直接得知，則可使用生物量擴展係數 (BEF_i) 與基本比重 (D) 值相乘得出 (公式 6.2.6)。

公式 6.2.6

$$BCEF_i = BEF_i \times D$$

生物量損失之年碳貯存減少量為木材伐採、薪材收穫與干擾等因素所引起的年碳貯存減少量 (公式 6.2.7)。

表 6.2.2 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時，可不列入計算，但在整個調查期間中應有一致性的處理。
	地下部生物量 (Belowground Biomass)	活根的全部生物量。由於僅憑經驗要將直徑低於 2 公釐的細根與土壤有機質或枯落物加以區分是相當困難的，因此建議直徑低於 2 公釐的細根不列入計算。
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，枯死木包括：直立的、橫躺在地面上的或者在土壤中直徑大於或等於 10 公分的枯倒木、死根和殘幹。
	枯落物 (Litter)	所有直徑大於 2 公釐 (因要與土壤有機物區分) 的非活的生物量及直徑小於枯死木所定義的最小直徑 (10 公分)、在礦質或有機質土壤上已經死亡的及各種程度的腐朽狀況的所有非活的生物量，包括：土壤類型所定義的枯落物層及在礦質或有機質土壤中的活細根 (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)	係指達到所選擇深度之礦質土壤的有機碳，包括：土壤中之活和死的細根與有機質、不能憑經驗區分而直徑小於 2 公釐 (建議值) 的根及死有機質。土壤深度預設值為 30 公分。

資料來源：IPCC, 2006 IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories, 2006¹。

1 IPCC 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa K., Ngara, T., and Tanabe, K.(eds). Published: IGES, Japan.



公式 6.2.7

$$\Delta C_L = L_{\text{Wood-Removals}} + L_{\text{Fuelwood}} + L_{\text{Disturbance}}$$

ΔC_L = 生物量損失之碳貯存年減少量 (公噸碳 / 年);
 $L_{\text{Wood-Removals}}$ = 木材伐採所引起的碳貯存年減少量 (公噸碳 / 年);
 L_{Fuelwood} = 薪材收穫所引起的碳貯存年減少量 (公噸碳 / 年);
 $L_{\text{Disturbance}}$ = 干擾等其他因素所引起的碳貯存年減少量 (公噸碳 / 年)

木材伐採所引起的年碳貯存減少量，主要受每年伐採量所影響 (公式 6.2.8)。

公式 6.2.8

$$L_{\text{Wood-Removals}} = [H \times BCEF_R \times (1+R) \times CF]$$

$L_{\text{Wood-Removals}}$ = 木材伐採所引起的碳貯存年減少量 (公噸碳 / 年);
 H = 每年伐採量 (立方公尺 / 年);
 R = 根莖比;
 CF = 乾物質碳含量比例 (公噸碳 / 公噸乾物質);
 $BCEF_R$ = 將木材伐採材積換算為地上部總生物量 (含樹皮) 的生物量擴展係數。

如 $BCEF_R$ 無法直接得知，則可使用伐採生物量擴展係數 (BEF_R) 與基本比重 (D) 值相乘得出 (公式 6.2.9)。

公式 6.2.9

$$BCEF_R = BEF_R \times D$$

薪材收穫所引起的碳貯存年減少量，主要受每年收穫薪材的全株與林木材積而異 (公式 6.2.10)。

公式 6.2.10

$$L_{\text{Fuelwood}} = [FG \times BCEF_R \times (1+R)] \times CF$$

L_{Fuelwood} = 薪材收穫所引起的碳貯存年減少量 (公噸碳 / 年);
 FG = 每年收穫薪材材積 (立方公尺 / 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。

干擾等其他因素所引起的碳貯存年減少量，依干擾面積及該地區原先的生物量及所造成的生物量損失程度而異 (公式 6.2.11)。

公式 6.2.11

$$L_{\text{Disturbance}} = [A_{\text{Disturbance}} \times B_W \times (1+R) \times CF \times fd]$$

$L_{\text{Disturbance}}$ = 干擾等其他因素所引起的碳貯存年減少量 (公噸碳 / 年);
 $A_{\text{Disturbance}}$ = 受干擾影響的森林面積 (公頃 / 年);

B_W = 受干擾影響地區的平均地上部生物量 (公噸 / 公頃);
 R = 根莖比;
 CF = 乾物質碳含量比例 (公噸碳 / 公噸乾物質);
 fd = 干擾造成該地生物量損失程度 (如由於干擾造成林分生物量全部損失，則 $fd=1$ ，如因病蟲害干擾而僅造成部分生物量的損失，則 $0 < fd < 1$)。

如因干擾所損失的生物量可以計算，我國更進一步精進為公式 6.2.12，顯示如下：

公式 6.2.12

$$L_{\text{Disturbance}} = [DV \times BCEF_1 \times (1+R) \times CF \times fd]$$

$L_{\text{Disturbance}}$ = 干擾等其他因素所引起的碳貯存年減少量 (公噸碳 / 年);
 DV = 受干擾所損失的材積量 (立方公尺);
 $BCEF_1$ = 特定林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。
 R = 根莖比;
 CF = 乾物質碳含量比例 (公噸碳 / 公噸乾物質);
 fd = 干擾造成該地生物量損失程度 (如由於干擾造成林分生物量全部損失，則 $fd=1$ ，如因病蟲害干擾而僅造成部分生物量的損失，則 $0 < fd < 1$)。

B. ΔC_{DOM} 死有機物質 (Dead Organic Matter) 碳貯存量變化

採用方法 1，對於碳庫中的碳貯存量變化並不明顯，其預設值可假設為零，即增加與損失相抵，因此死有機質年碳貯存量變化量為零。當國家於報告年間沒有經歷森林類型、林地擾動或經營制度的重大轉變，這是個安全的假設。

C. ΔC_{Soils} 土壤 (Soils) 碳貯存量變化

國內較為全面的森林土壤調查資料為林務局與林業試驗所合作執行之「臺灣高山林地土壤調查」計畫，其計畫成果雖對森林土壤碳庫進行推估，但尚無探討土壤碳貯存年變化量之研究。另因報告年間沒有經歷森林類型、林地擾動或經營制度的重大轉變，假設土壤碳庫年碳貯存變化量為零。

(2) 轉換係數

基本比重 (D): 針葉樹林型採用王兆桓 (2008)² 對 6 種針葉樹種研究數據，依各樹種第四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)³ 對 15 種闊葉樹種研究之結果進行平均，為 0.56。針闊葉混淆林為針葉樹與闊葉樹之平均值 0.49。

生物量擴展係數 (BEF_1 、 BEF_R): 相關係數係依據專家諮詢會議，決議相關係數以文獻係數平均值為原則，但若相關文獻數量不多且文獻係數差異過大時，建議採取中位數為宜。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)⁴、王兆桓 (2008)、李宣德與馮豐隆 (2010)⁵、林

2 王兆桓 2008，《森林蓄積量與生物量轉換模式之建立 (3/3)》，臺北，臺灣：行政院農業委員會林務局。

3 林裕仁、劉瓊露與林俊成 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。

4 王兆桓、劉知好 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，臺北，臺灣：行政院農業委員會林業試驗所。

5 李宣德、馮豐隆 2010，「臺灣地區樟樹生物量擴展係數之建立」，《林業研究季刊》，32(3)，45-54。

國銓等 (1994)⁶ 與林國銓與何淑玲 (2005)⁷ 等五篇文獻。針闊葉混淆林為針葉樹與闊葉樹之平均值 1.34。

生物量轉換與擴展係數 (BCEF_f、BCEF_r)：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)⁸、林國銓等 (2008)⁹、林國銓等 (2009)¹⁰、林國銓與何淑玲 (2005)、許原瑞等 (2006)¹¹ 與許原瑞 (2008)¹² 等七篇文獻之中位數 0.92 為代表。針闊葉混淆林為針葉樹與闊葉樹之平均值 0.72。

根莖比 (R)：因國內針葉樹研究報告缺乏，故採用 2006 IPCC 指南對亞熱帶濕潤林的預設值之平均 0.22 作為針葉樹的 R 值。闊葉樹則採用李宣德與馮豐隆 (2008)¹³、林國銓等 (2006)¹⁴、林國銓等 (2007)、林國銓等 (2008)、林國銓等 (2009)、林國銓等 (2010)¹⁵、林國銓與何淑玲 (2005)、柯淑惠 (2006)¹⁶、陳財輝等 (1998)¹⁷ 及陳財輝與呂錦明 (1988)¹⁸ 共十篇文獻，7 種樹種，取其之中位數 0.24 為代表。針闊葉混淆林為針葉樹與闊葉樹之平均值 0.23。

乾物質碳含量比例 (CF)：根據林裕仁等 (2002) 對臺灣 24 種主要用材的研究，分別使用針葉樹種與闊葉樹種進行實驗，結果顯示針葉樹與闊葉樹碳含量平均比例值分別為 0.4821 與 0.4691；針闊葉混淆林為針葉樹與闊葉樹之平均值為 0.4756。

竹林之基本比重採用王義仲與陳周宏 (1995)¹⁹、王義仲 (2006)²⁰ 及林裕仁等 (2011)²¹ 等三篇研究，共六種竹種，取其中位數為 0.62。生物量擴展係數與根莖比皆以呂錦明與陳財輝 (1992)²² 對桂竹林分生物量的研究結果，其數值分別為 1.40 與 0.46。乾物質碳含量比例則以林裕仁等 (2011) 對孟宗竹、桂竹、麻竹及刺竹之碳轉換係數的研究，以四種竹材的平均值為 0.4732。

年生長量：採用第三次及第四次全國森林資源調查成果之各林型單位面積材積差值，除上二次調查之間隔年數，推算各林型年生長量。

惟因森林資源調查針對竹林僅估算單位面積支數，爰竹林生長量則依王義仲 (2006) 研究結果，每公頃 5 年生孟宗竹的竹程生物量為 105.1 公噸，每公頃 5 年生桂竹的竹程生物量為 33.3 公噸，將兩種竹類所得結果加以平均再除以 5 年，求得竹程年平均生長量為 13.84 公噸 / 公頃。

各項轉換係數及年生長量羅列如表 6.2.3。

(3) 活動數據

以目前國內可取得及歸納之資料進行分類計算。

表 6.2.3 相關轉換係數及年生長量

林型 \ 係數	基本比重 (D)	生物量擴展係數 (BEF)	生物量轉換與擴展係數 (BCEF)	根莖比 (R)	碳含量比例 (CF)	年生長量 (立方公尺 / 公頃)
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*

* 備註：竹林年生長量單位為公噸 / 公頃。

- 6 林國銓、洪富文、游漢明與馬復京 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。
- 7 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，臺北，臺灣：行政院農業委員會林業試驗所。
- 8 林國銓、杜清澤與黃菊美 2007，「苗栗地區相思樹和木油桐人工林碳和氮累積量及生產量之估算」，《中華林學季刊》，40(2)，201-218。
- 9 林國銓、黃菊美與杜清澤 2008，「檳木人工林造林木碳貯存量和吸存量之估算」，《國家公園學報》，18(2)，45-58。
- 10 林國銓、杜清澤與黃菊美 2009，「臺東地區相思樹與楓香兩人工林碳累積量」，《林業研究季刊》，31(3)，55-68。
- 11 許原瑞、洪昆源、王巧萍、吳孟鈺與邱祈榮 2006，「海岸林分生物量調查規劃」，《2006 年森林碳吸存研討會論文集》，217-235，臺北，臺灣：行政院農業委員會林業試驗所。
- 12 許原瑞 2008，「桉樹類的生物量與碳蓄積量」，《97 年度森林碳管理研討會論文集》，17-29，臺北，臺灣：行政院農業委員會林業試驗所。
- 13 李宣德、馮豐隆 2008，「森林碳吸存資源調查推估模式系統—以臺灣樟樹為例」，《臺灣林業科學》，23(Supplement)，11-22。
- 14 林國銓、杜清澤、黃菊美與王巧萍 2006，「亞熱帶闊葉林林木粗根生物量和養分含量之估算」，《臺灣林業科學》，21(2)，155-166。
- 15 林國銓、杜清澤與黃菊美 2010，「光蠟樹人工林碳貯存量和吸存量之估算」，《中華林學季刊》，43(2)，261-276。
- 16 柯淑惠 2006，「臺灣檳木人工林生物量及碳儲存量之研究」，《國立中興大學森林學系碩士論文》，臺中，臺灣：國立中興大學。
- 17 陳財輝、許博行與張峻德 1998，「四湖木麻黃林分生物量及養分量聚集」，《臺灣林業科學》，13(4)，325-349。
- 18 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。
- 19 王義仲、陳周宏 1995，「臺灣產竹種工藝利用價值之評估 (I)」，《林產工業》，14(1)，82-94。
- 20 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，臺北，臺灣：行政院農業委員會林業試驗所。
- 21 林裕仁、王秋嫻與 Sara Wu 2011，「四種臺灣竹材碳轉換係數之分析」，《臺灣林業科學》，26(4)，341-355。
- 22 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。

A. 林地維持林地面積

林地面積以全國森林資源調查之成果為主，林務局已完成四次全國性森林資源調查。第三次全國森林資源調查之成果顯示全臺林地面積為 2,102,400 公頃，其調查時間為 1990 年 3 月至 1993 年 9 月，故假設以中間值 1991 年為基準年；第四次全國森林資源調查面積為 2,185,425 公頃，扣除待成林地後的面積為 2,155,140 公頃，航照影像主要取自 2008 年至 2010 年，故採用 2009 年為基準年。本年度因應林務局執行「森林資源調查暨國有林事業區檢訂土地覆蓋型及航照樣點圖資更新作業」完成二輪調查資料之統計分析，針對「林地維持林地面積」進行調整，將 1991 年及 2009 年數值分別以第三次及第四次全國森林資源調查成果 (2,102,400 公頃及 2,155,140 公頃) 為基準值，1991 年至 2009 年間的各林型面積利用二次調查成果、採內插法推得。第四次全國森林資源調查與第三次全國森林資源調查比較，森林面積增加約 5 萬多公頃，主要增加區位在國有林事業區外之山坡地與平地。

考量崩塌及風災為改變林地覆蓋之主因，2009 年後以歷年因崩塌或風災減少森林覆蓋面積推算「林地維持林地」之面積。所使用數據包含林務局委託國立成功大學執行「運用衛星影像於全島崩塌地判釋與災害分析」研究成果 (2010 年至 2016 年)，以及林務局執行「森林資源調查暨國有林事業區檢訂土地覆蓋型及航照樣點圖資更新作業」之成果 (2013 年至 2021 年)。後者係林務局於 2013 年完成第四次全國森林資源調查後，為掌握森林面積之動態，建立長期森林資源監測體系，以持續性、逐年辦理更新的方式，取代以往專案性的調查，比照國際上聯合國糧農組織 (FAO) 或美、日等國家作法，每 5 年發布一次全國暨各林區森林資源狀況報告。

估算方法係將前開二計畫成果之各年度崩塌地圖層以空間聯集的方式累加，用以運算天然針葉林、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、木竹混淆林和竹林等八種林型之崩塌或風災面積 (如表 6.2.4)。2009 年以後各年度「林地維持林地」面積須扣除表中崩塌或風災面積。

此外，「其他土地轉變為林地」經過 20 年之過渡期後，計算時改納入林地維持林地的面積估算，如 1990 年之造林面積，至 2011 年時加總至林地維持林地之面積中。

經上述資料與步驟整理，各年度林地維持林地之面積如下表 6.2.5。

B. 每年伐採量 (H)、每年收穫新材材積 FG

據歷年林務局之林業統計加以整理 (如表 6.2.6)。

C. 受干擾影響的森林面積 (A_{Disturbance}) 與損失材積量 (DV)

根據歷年林務局之林業統計加以整理 (表 6.2.7)，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。

(4) 碳移除量

1990 年至 2021 年「林地維持林地」碳移除量變化估算結果如表 6.2.8，每年大致呈現穩定狀態，主要係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，因此變動幅度小。惟其中 1991 年、2001 年及 2009 年，因森林大火與颱風等重大災害，致使當年度生物量碳排放量 (ΔCO_2) 較高，進而導致碳移除量較低，其餘各年均維持穩定狀態。

表 6.2.4 2010 年至 2021 年因崩塌或風災減少森林覆蓋面積

林型 (公頃)	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	竹林	總計
2010	1,184	835	7,775	253	232	913	561	357	12,110
2011	447	207	1,755	74	49	150	87	53	2,822
2012	545	263	2,041	83	48	157	37	24	3,198
2013	192	148	1,496	60	47	75	41	45	2,104
2014	341	241	1,578	50	45	97	35	21	2,408
2015	127	94	757	18	13	39	22	10	1,080
2016	94	62	574	19	20	34	15	17	835
2017	162	144	1,002	79	27	60	13	11	1,500
2018	66	93	604	5	12	21	1	2	804
2019	128	57	682	374	172	109	0	0	1,521
2020	62	55	708	2	2	40	9	11	890
2021	7	10	89	1	3	6	3	0	120
累計減少面積	3,355	2,209	19,060	1,019	670	1,701	824	551	29,389
累計減少比例	11%	8%	65%	3%	2%	6%	3%	2%	100%

備註：1. 2010 年至 2016 年資料參考林務局委託國立成功大學辦理「運用衛星影像於全島崩塌地判釋與災害分析」計畫之崩塌地資料。

2. 2017 年至 2021 年資料取自林務局「森林資源調查暨國有林事業區檢訂土地覆蓋型及航照樣點圖資更新作業」計畫成果崩塌地崩塌區域。

表 6.2.5 1990 年至 2021 年林地維持林地面積

(單位：公頃)

年份	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	竹林	總計
1990	220,100	286,376	975,800	218,400	37,287	144,600	67,537	152,300	2,102,400
1991	220,100	286,376	975,800	218,400	37,287	144,600	67,537	152,300	2,102,400
1992	219,324	277,044	995,550	211,415	38,155	143,578	70,171	150,093	2,105,330
1993	218,548	267,713	1,015,300	204,430	39,023	142,556	72,805	147,886	2,108,261
1994	217,772	258,381	1,035,050	197,445	39,891	141,534	75,438	145,679	2,111,190
1995	216,996	249,050	1,054,800	190,460	40,759	140,512	78,072	143,472	2,114,121
1996	216,220	239,718	1,074,550	183,475	41,627	139,490	80,706	141,264	2,117,050
1997	215,445	230,386	1,094,300	176,490	42,495	138,467	83,339	139,057	2,119,979
1998	214,669	221,055	1,114,050	169,505	43,364	137,445	85,973	136,850	2,122,911
1999	213,893	211,723	1,133,800	162,520	44,232	136,423	88,607	134,643	2,125,841
2000	213,117	202,392	1,153,550	155,535	45,100	135,401	91,240	132,436	2,128,771
2001	212,341	193,060	1,173,299	148,550	45,968	134,379	93,874	130,229	2,131,700
2002	211,565	183,729	1,193,049	141,565	46,836	133,357	96,508	128,022	2,134,631
2003	210,789	174,397	1,212,799	134,580	47,704	132,335	99,141	125,815	2,137,560
2004	210,013	165,066	1,232,549	127,595	48,572	131,313	101,775	123,608	2,140,491
2005	209,237	155,734	1,252,299	120,610	49,440	130,291	104,409	121,400	2,143,420
2006	208,461	146,403	1,272,049	113,625	50,308	129,269	107,042	119,193	2,146,350
2007	207,685	137,071	1,291,799	106,640	51,176	128,246	109,676	116,986	2,149,279
2008	206,909	127,740	1,311,549	99,655	52,044	127,224	112,310	114,779	2,152,210
2009	206,134	118,408	1,331,299	92,670	52,913	126,202	114,943	112,572	2,155,141
2010	204,950	117,573	1,323,524	92,417	52,681	125,289	114,382	112,215	2,143,031
2011	204,503	117,366	1,321,770	93,302	52,699	127,835	114,296	112,323	2,144,094
2012	203,957	117,103	1,319,728	94,569	52,703	130,681	114,259	112,551	2,145,551
2013	203,765	116,955	1,318,232	96,289	52,703	133,580	114,218	112,785	2,148,527
2014	203,424	116,714	1,316,654	97,720	52,659	136,482	114,183	113,067	2,150,903
2015	203,297	116,620	1,315,897	98,707	52,645	139,931	114,161	113,187	2,154,445
2016	203,203	116,559	1,315,323	99,301	52,626	142,729	114,146	113,282	2,157,169
2017	203,041	116,415	1,314,321	100,443	52,598	146,569	114,133	113,378	2,160,898
2018	202,975	116,322	1,313,717	102,148	52,586	149,986	114,132	113,476	2,165,342
2019	202,848	116,265	1,313,035	103,215	52,414	155,855	114,132	113,546	2,171,310
2020	202,785	116,210	1,312,327	104,729	52,414	162,467	114,122	113,664	2,178,718
2021	202,778	116,199	1,312,239	105,759	52,411	166,586	114,119	113,734	2,183,825

備註：2010 年起扣除崩塌或風災面積；2011 年起納入「其他土地轉變為林地」滿 20 年之面積。

表 6.2.6 森林主產物伐採量

年份	面積 (公頃)			林木材積 (立方公尺)						竹類 (支)
	林地	竹林	總計	天然針葉林	天然闊葉林	人工針葉林	人工闊葉林	薪材	總計	
1990	1,917	1,479	3,396	6,292	54,207	85,517	17,481	39,715	203,212	5,795,941
1991	1,046	1,683	2,729	4,191	26,244	64,436	7,885	23,303	126,059	4,318,917
1992	1,036	781	1,817	5,428	13,662	69,813	7,361	22,059	118,323	3,312,710
1993	575	675	1,250	4,457	2,724	50,683	5,245	8,625	71,734	2,176,352
1994	439	532	971	3,182	3,735	36,679	6,396	6,136	56,128	1,907,854
1995	625	587	1,212	5,536	349	35,440	4,876	16,976	63,177	2,161,413
1996	500	293	793	4,515	328	38,665	3,154	9,700	56,362	2,323,761
1997	448	184	632	4,597	309	32,831	3,071	11,365	52,173	1,232,119
1998	458	260	718	5,679	197	27,349	3,262	13,042	49,529	1,508,053
1999	393	493	886	3,177	964	22,267	6,540	9,997	42,945	1,841,708
2000	632	383	1,015	0	3,507	22,500	4,039	5,134	35,180	1,716,292
2001	405	124	529	0	7,414	21,171	11,741	7,533	47,859	558,927
2002	624	390	1,014	0	3,642	26,019	24,010	7,388	61,059	1,268,416
2003	739	455	1,194	128	771	56,764	9,597	18,282	85,542	2,174,351
2004	705	333	1,038	0	128	37,968	20,616	12,089	70,801	1,572,353
2005	500	342	842	2	533	35,393	16,649	7,481	60,058	1,694,291
2006	587	622	1,209	72	252	35,214	17,127	10,931	63,596	3,046,946
2007	326	339	665	1	145	40,253	15,182	11,638	67,219	2,864,482
2008	180	465	645	2	30	36,596	7,140	7,340	51,108	2,509,139
2009	158	438	596	0	760	32,058	7,774	3,690	44,282	3,266,805
2010	159	562	721	6	1,432	19,115	11,933	313	32,799	3,326,833
2008	180	465	645	2	30	36,596	7,140	7,340	51,108	2,509,139
2009	158	438	596	0	760	32,058	7,774	3,690	44,282	3,266,805
2010	159	562	721	6	1,432	19,115	11,933	313	32,799	3,326,833
2011	142	370	512	117	131	27,674	8,217	774	36,913	1,875,466
2012	151	378	529	70	194	37,189	5,971	2,808	46,232	1,772,876

續下表



續上表

年份	面積 (公頃)			林木材積 (立方公尺)						竹類 (支)
	林地	竹林	總計	天然針葉林	天然闊葉林	人工針葉林	人工闊葉林	薪材	總計	
2013	170	285	455	25	400	26,461	7,516	7,817	42,219	1,532,111
2014	155	394	549	11	337	51,350	6,325	4,247	62,270	2,427,516
2015	189	488	677	3	314	37,399	5,822	8,071	51,609	2,431,258
2016	124	287	411	64	495	26,124	7,488	7,873	42,044	1,803,786
2017	87	181	268	34	213	23,308	6,030	4,379	33,964	1,229,043
2018	101	131	232	1	129	26,549	6,064	5,562	38,305	609,969
2019	93	192	285	4	191	34,347	7,109	5,264	46,915	1,067,344
2020	104	250	354	52	155	29,008	4,167	6,561	39,943	737,486
2021	102	136	238	10	63	35,361	3,717	6,110	45,261	730,163

資料來源：林務局之林業統計。

備註：1. 表列林木伐採面積，均係皆伐面積；竹之伐採面積，係皆、擇伐面積。

2. 天然林之林木材積係統計天然林地倒木之材積。

表 6.2.7 受干擾影響的森林面積與損失材積

年份	次數	面積 (公頃)	林木材積 (立方公尺)	竹類 (支)
1990	352	4,031	3,395	0
1991	362	1,125	1,357,423 ¹	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 ²	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 ³	2,486,573
2010	419	97	5,202	1,608
2011	476	33	297	731
2012	445	10	109	0
2013	413	15	411	750
2014	380	30	494	0
2015	435	64	842	180
2016	381	6,160	2,269 ⁴	34,869
2017	391	25	458	625
2018	338	42	401	1,699
2019	390	29	592	7,540
2020	342	47	404	7,200
2021	341	100	16,998 ⁵	21,554

資料來源：林務局之林業統計

- 備註：
- 1991年其他災害包括颱風災害次數共7次，面積共295.74公頃，被害材積1,348,998.61m³，損失材積1,348,992.06 m³。
 - 2001年除丹大、梨山、雪山東峰及陽明山國家公園所發生之五次森林大火外，尚發生59次小火警，火災受損面積廣達395公頃，森林資源損失慘重。
 - 2009年莫拉克風災對我國中、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。
 - 2016年莫蘭蒂風災對金門造成5,996.98公頃之受損面積，惟依林業統計報表未具材積數據，依據邱祈榮、王楷助(2017)²³「金門森林風損評估之研究－以莫蘭蒂颱風為例」報告顯示風倒材積量達289,600 m³，依京都議定書決議文，LULUCF部門各國應提交之每年天然干擾訊息可排除森林干擾釋放量超過背景值者，故該次風災損失材積不計入估算。
 - 2021年5月玉山國家公園森林火災，林木材積損失達16,724m³，致使年度林木材積損失達16,998m³。

23 邱祈榮與王楷助 2017，「金門森林風損評估之研究－以莫蘭蒂颱風為例」，《第十二屆環境保護林經營管理研討會論文集》，91-98，臺北，臺灣：行政院農業委員會林業試驗所。

表 6.2.8 1990 年至 2021 年林地維持林地碳移除量變化

(單位：千公噸二氧化碳當量)

年份	生物量生長 碳移除量 △ CO _{2G}	生物量年碳排放量 △ CO _{2L}			總碳移除量 △ CO ₂
		木材伐採碳排放量 (L _{Wood-Removals})	薪材收穫碳排放量 (L _{Fuelwood})	干擾等其他因素碳排放量 (L _{Disturbance})	
1990	-23,902.42	524.07	77.93	5.24	-23,295.18
1991	-23,902.42	352.90	45.73	2,104.32	-21,399.47
1992	-23,740.99	285.43	43.28	4.43	-23,407.85
1993	-23,579.55	182.33	16.92	16.54	-23,363.76
1994	-23,418.11	156.69	12.04	20.99	-23,228.39
1995	-23,256.68	160.64	33.31	8.04	-23,054.69
1996	-23,095.24	167.56	19.03	372.73	-22,535.92
1997	-22,933.80	107.84	22.30	136.06	-22,667.60
1998	-22,772.36	116.60	25.59	183.84	-22,446.33
1999	-22,610.93	132.45	19.62	248.55	-22,210.31
2000	-22,449.49	123.19	10.07	255.51	-22,060.72
2001	-22,288.05	88.11	14.78	1,008.93	-21,176.23
2002	-22,126.62	144.69	14.50	7.41	-21,960.02
2003	-21,965.18	188.87	35.87	2.30	-21,738.14
2004	-21,803.74	159.08	23.72	60.56	-21,560.38
2005	-21,642.31	155.20	14.68	198.68	-21,273.75
2006	-21,480.87	221.38	21.45	7.95	-21,230.09
2007	-21,319.43	213.93	22.84	70.83	-21,011.83
2008	-21,157.99	176.59	14.40	7.77	-20,959.23
2009	-20,996.56	211.19	7.24	2,535.02	-18,243.11
2010	-20,889.44	209.37	0.61	8.11	-20,671.35
2011	-20,906.55	138.34	1.52	0.49	-20,766.20
2012	-20,932.22	139.46	5.51	0.17	-20,787.08
2013	-20,969.81	119.32	15.34	0.67	-20,834.48
2014	-21,003.81	187.85	8.33	0.76	-20,806.87
2015	-21,040.14	171.65	15.84	1.31	-20,851.34
2016	-21,068.11	132.36	15.45	5.20	-20,915.10
2017	-21,105.16	97.81	8.59	0.74	-20,998.02
2018	-21,148.04	71.08	10.91	0.70	-21,065.35
2019	-21,201.90	104.12	10.33	1.28	-21,086.17
2020	-21,271.30	76.38	12.87	0.98	-21,181.07
2021	-21,318.06	81.90	11.99	27.30	-21,196.87

備註：△ CO₂ = △ CO_{2G} + (L_{Wood-Removals} + L_{Fuelwood} + L_{Disturbance})。

3 不確定性與時間序列的一致性

(1) 不確定性

因蒙地卡羅法進行估算時在數據的應用上較為複雜且須統計軟體的協助，而誤差傳播法即可符合目前國內資料處理的需求，因此採用「誤差傳播法」推算我國「林地維持林地」碳移除量之不確定性。

林地碳移除量的不確定性討論對象包含林業活動數據（如土地使用面積）與轉換係數（如各種碳轉換係數）二大項目。其中因林業活動數據取自全國森林資源調查，第四次全國森林資源調查係以航照圖判釋，繪製土地利用型圖，無法以統計之方式估算不確定性，且其為國家統計資料，因此依 2006 IPCC 指南設定不確定性為 5%。

進行不確定性分析有四個主要步驟。首先，整理碳轉換係數文獻中的研究成果與標準差或標準誤，不確定性是由平均值和標準差所推估（95% 信賴區間），以下列公式 6.2.13 與公式 6.2.14 計算每篇文獻各樹種之不確定性；第二步則視取平均與中位數的過程為不同變量相加，採用誤差傳播法的

加法規則（公式 6.2.15）計算出各係數之不確定性；因估算林地碳移除量時，活動數據與各個轉換係數為相乘的關係，依據誤差傳播法乘法規則（公式 6.2.16）來合併其不確定性。最後，林業部門溫室氣體清冊是將各林型碳排放 / 碳移除的數量相加，因此再以加法規則合併各林型不確定性，再合併林地維持林地與土地轉變為林地兩部分之不確定，詳如表 6.2.9。

公式 6.2.13

$$SD = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

SD = 標準差
 x_i = 第 i 筆 CF 數值
 \bar{x} = 文獻收集之 CF 平均值
 n = CF 數據筆數

表 6.2.9 林業活動數據與轉換係數不確定性分析結果

林型 \ 係數	活動數據不確定性 (%)	基本比重 (D)	不確定性 (%)	生物量轉換與擴展係數 (BCEF)	不確定性 (%)	根莖比 (R)	不確定性 (%)	碳含量比例 (CF)	不確定性 (%)	年生長量 (立方公尺 / 公頃)	不確定性 (%)	合併之不確定性 (%)
天然針葉林	5.00	0.41	9.30	0.51	2.18	0.22	32.30	0.4821	2.89	4.14	12.19	35.07
天然針闊葉混濘林	5.00	0.49	9.30	0.72	7.62	0.23	16.88	0.4756	1.80	10.05	15.83	24.92
天然闊葉林	5.00	0.56	-	0.92	11.79	0.24	13.06	0.4691	2.13	3.58	15.80	18.84
人工針葉林	5.00	0.41	9.30	0.51	2.18	0.22	32.30	0.4821	2.89	8.11	13.13	34.82
人工針闊葉混濘林	5.00	0.49	9.30	0.72	7.62	0.23	16.88	0.4756	1.80	10.37	4.01	25.97
人工闊葉林	5.00	0.56	-	0.92	11.79	0.24	13.06	0.4691	2.13	4.34	24.93	27.93
木竹混濘林	5.00	0.49		0.72	7.62	0.23	16.88	0.4756	1.80	3.31	11.45	22.83
竹林	5.00	0.62	15.68	-	-	0.46	-	0.4732	2.15	13.84*	-	5.44

*備註：竹林年生長量之單位為公噸/公頃。

公式 6.2.14

$$U = \frac{SD \times 1.96}{\bar{x}} \times 100\%$$

U = 不確定性
SD = 標準差
 \bar{x} = 文獻收集之 CF 平均值

公式 6.2.15

$$U_{total} = \sqrt{\frac{(U_1 \times E_1)^2 + (U_2 \times E_2)^2 + \dots + (U_n \times E_n)^2}{E_1 + E_2 + \dots + E_n}}$$

U_{total} = 不確定性之總和 (加法規則)
 U_1, U_2, U_n = 不同變量的不確定性
 E_1, E_2, E_n = 不同變量

公式 6.2.16

$$U_{total} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2}$$

U_{total} = 不確定性之總和 (乘法規則)
 U_1, U_2, U_n = 不同變量的不確定性

各林型中以天然針葉林與人工針葉林之合併不確定性最高，主要是因為針葉樹之 R 值採用 IPCC 預設值，有較高之不確定性；又以天然闊葉林之不確定性最低。竹林則因為大多數係數採用的文獻並未註明標準差或標準誤差，無法估算不確定性，暫時忽略不計，因而促使不確定性低。

計算林地維持林地碳移除量變化時，是將各林型之碳移除量相加，因此計算不確定性分析時，先以誤差傳播法之加法規則，合併各林型係數之不確定性，再合併生物量碳移除量、伐採碳排放量、薪材收穫碳排放量與干擾損失碳排放量之不確定性。計算結果如下表所示，各年度林地維持林地碳移除量之不確定性介於 7.54 % 至 9.15 % 之間，如表 6.2.10 所示。

表 6.2.10 1990 年至 2021 年林地維持林地不確定性

(單位：%)

年份	生物量碳移除量 (ΔC_G)	生物量年碳排放量 ΔC_L			合計
		木材伐採碳排放量 ($L_{Wood-Removals}$)	薪材收穫碳排放量 ($L_{Fuelwood}$)	干擾等其他因素碳排放量 ($L_{Disturbance}$)	
1990	8.15	7.68	18.41	19.27	7.95
1991	8.15	7.89	18.41	19.20	7.54
1992	8.16	9.60	18.41	15.05	8.04
1993	8.17	10.64	18.41	17.90	8.10
1994	8.19	9.25	18.41	8.15	8.12
1995	8.21	8.90	18.41	7.76	8.14
1996	8.24	9.20	18.41	5.67	8.05
1997	8.27	11.57	18.41	5.55	8.18
1998	8.32	9.37	18.41	5.58	8.20
1999	8.36	7.39	18.41	9.54	8.22
2000	8.42	7.73	18.41	12.21	8.28
2001	8.48	10.53	18.41	19.03	8.12
2002	8.55	9.19	18.41	14.80	8.49
2003	8.63	11.44	18.41	8.67	8.54
2004	8.71	10.16	18.41	13.26	8.61

續下表

續上表

年份	生物量 碳移除量 (ΔC_G)	生物量年碳排放量 ΔC_L			合計
		木材伐採碳排放量 ($L_{Wood-Removals}$)	薪材收穫碳排放量 ($L_{Fuelwood}$)	干擾等其他因素碳排放量 ($L_{Disturbance}$)	
2005	8.80	9.56	18.41	10.12	8.65
2006	8.90	7.36	18.41	8.25	8.79
2007	9.00	8.09	18.41	15.89	8.87
2008	9.11	8.52	18.41	16.04	9.03
2009	9.23	6.98	18.41	18.35	8.40
2010	9.23	5.74	18.41	19.08	9.13
2011	9.21	8.36	18.41	17.88	9.15
2012	9.20	10.33	18.41	19.27	9.14
2013	9.18	9.01	18.41	18.22	9.12
2014	9.17	10.53	18.41	19.27	9.08
2015	9.15	8.82	18.41	19.14	9.07
2016	9.15	8.26	18.41	13.10	9.08
2017	9.13	9.51	18.41	18.47	9.09
2018	9.12	14.03	18.41	17.01	9.09
2019	9.11	12.48	18.41	13.83	9.06
2020	9.09	14.11	18.41	12.49	9.06
2021	9.09	15.88	18.41	18.53	9.03

備註：各年度「薪材收穫」之統計值均源自人工闊葉林，故其不確定性以人工闊葉樹林型之 18.41 為值。

(2) 時間序列一致性

森林面積活動數據主要採自全國森林資源調查數據，然全國森林資源調查並非每年進行調查，為符合時間序列的一致性，參考 IPCC 2006 指南，兩次調查間的年度以內插法推得各林型之相關數據。又因第三次與第四次全國森林資源調查相隔久遠（約 18 年），考量到調查技術之提升，以外推法可能會有高估變動之情形，故第四次全國森林資源調查（2009 年）以後，使用替代數據－崩塌地圖層，來排除崩塌地區，以估算林地維持林地面積。崩塌地圖資料來源分別為「運用衛星影像於全島崩塌地判釋與災害分析」計畫 2010 年至 2016 年成果、「森林資源調查暨國有林事業區檢訂土地覆蓋型及航照樣點圖資更新作業」計畫所產出 2013 年至 2021 年坡地崩塌區域，以兩者聯集做為 2021 年排除生長量區域面積。

4 林業部門碳移除量的 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 (QA) 和品質控制 (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。

目前已規劃建立地面樣區調查結果 QA/QC 程序，未來將導入實務作業、落實推動，以確保調查品質。

5. 林業部門碳移除量的重新計算

估算方式與相關轉換係數沿用以往計算方式及引用原則，本年度清冊報告尚無修正，僅更新至 2021 年度資料。

6. 林業部門碳移除量的改善計畫

- (1) 有關各林型或土地利用型圖之活動數據，為土地使用變遷的依據，亦為林業部門碳移除量的估算基礎，2017 年起引用「森林資源調查暨國有林事業區檢訂土地覆蓋型及航照樣點圖資更新作業」計畫成果，依調查資料及林地覆蓋型更新情形，並搭配衛星影像監測或國土利用調查成果，產製森林面積活動數據。
- (2) 目前僅以崩塌地為主扣除森林覆蓋面積方式，將逐步視年度圖資供應情形，考慮納入其他森林覆蓋移除的情形；同時研議建立適當機制妥善處理崩塌地復育後碳移除量的估算方式。
- (3) 針對碳轉換係數及各林型年生長量，研議辦理精進及更新，以提升清冊數據品質。
- (4) 為完善品質保證 (QA) 和品質控制 (QC) 程序，建立並持續推動從樣區調查、林型判釋、年度森林面積產製過程建立活動數據收集的 QA/QC 程序，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。

6.2.2 其他土地轉變為林地 (4.A.2)

1. 排放源及匯分類的敘述

土地轉變為森林之碳庫 (Carbon Pool) 與林地維持林地相同，區分為生物量 (Biomass) (包含地上部及地下部生物量)、死有機質 (Dead Organic Matter) (包含枯死木與枯落物)、土壤 (Soils) (包含土壤有機質) 等三大類。各類碳庫說明如表 6.2.2 所示。

2. 方法學議題：

(1) 計算方法：

A. ΔC_B 生物量 (Biomass) 碳貯存量的變化

有關生物量碳貯量變化，採用 6.2.1 章節整理公式 6.2.1 至公式 6.2.12 計算。

B. ΔC_{DOM} 死有機物質 (Dead Organic Matter) 碳貯存量變化

採用方法 1，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，因此死有機質碳貯存量變化淨值為零。當國家於報告年間沒有經歷森林類型、擾動或經營體制的重大轉變，這是個安全的假設。

C. ΔC_{Soils} 土壤 (Soils) 碳貯存量變化

上述假設可同樣應用於土壤碳庫，淨碳貯存變化量為零。

(2) 轉換係數

碳轉換係數方面，基本比重 (D)、生物量擴展係數

(BEF_1 、 BEF_R)、生物量轉換與擴展係數 (BCEF)、根莖比 (R) 及乾物質碳含量比例 (CF) 採用與林地維持林地相同之數值，如表 6.2.3 所示。

材積生長量則依林俊成等人 (2002)²⁴ 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林裕仁等 (2011) 的研究結果，平均每公頃竹程年生長量為 13.84 公噸。

(3) 活動數據

各年度土地轉變為林地之面積採用林業統計的造林面積，如表 6.2.11 所示。

表 6.2.11 1990 年至 2021 年土地轉變為林地面積

(單位：公頃)

年份	針葉林	針闊葉混淆林	闊葉林	竹林	合計
1990	959	67	2,696	161	3,883
1991	1,350	52	3,002	252	4,656
1992	1,780	48	2,975	279	5,082
1993	1,481	0	2,999	303	4,783
1994	1,005	0	3,487	129	4,621
1995	614	0	2,832	112	3,558
1996	1,222	0	3,901	108	5,231
1997	1,709	0	3,438	100	5,247
1998	1,441	0	5,978	70	7,489
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 ¹	57	1,596
2006	59	0	345	5	409
2007	313	0	818	5	1,136
2008	87	0	426	5	518
2009	671	0	2,595	1	3,267
2010	250	0	2,580	0	2,830
2011 ²	144	0	3,399	1	3,544
2012	150	0	3,044	0	3,194
2013	226	0	1,179	0	1,405
2014	155	0	1,098	0	1,253
2015	139	0	993	0	1,132
2016	112	0	826	0	938
2017	68	0	497	0	565
2018	73	0	492	0	565
2019	102	0	406	0	508
2020	140	0	354	0	494
2021	128	0	363	0	491

資料來源：林務局之林業統計

備註：1. 因 2005 年起停止全民造林政策致造林面積減少。

2. 林業統計面積取自林務局林業統計表之造林面積表、一般造林面積表 (按樹種分)；2011 年後相關造林計畫造林面積依新增之相關造林計畫造林面積表 (按機關分) 扣除營造複層林及其他造林部分。

24 林俊成、鄭美如、劉淑芬與李國忠 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。

(4) 碳移除量

1990 年至 2021 年「其他土地轉變為林地」碳移除量變化結果如表 6.2.12，主要隨著新植造林面積的累積，碳移除量逐年增加，然自 2017 年起造林面積由 938 公頃減少為 565 公頃 (表 6.2.11)，進而影響生物量碳移除量，2021 年碳移除量為 654 千公噸二氧化碳當量。

3. 不確定性與時間序列的一致性

(1) 不確定性

有關土地轉變為林地之不確定性分析，採用 6.2.1 章節之公式 6.2.13 至公式 6.2.16 計算。

以誤差傳播法之加法原則，將各林型轉換係數之不確定性依排放量進行合併，估算各年度土地轉變為林地之不確定性如表 6.2.13，介於 12.71 % 至 17.28% 之間。

(2) 時間序列一致性

土地轉變為森林碳移除量變化活動數據主要來自於林業統計的造林面積，2021 年度並未改變。

4. 林業部門碳移除量的 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 (QA) 和品質控制 (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。

目前已規劃建立地面樣區調查結果 QA/QC 程序，未來將導入實務作業、落實推動，以確保調查品質。

5. 林業部門碳移除量的改善計畫

其他土地轉變為林地資料目前缺乏 GIS 圖資，對於造林地後續管理及現況更新較為不易，後續研議建立造林地相關 GIS 圖資提供機制以利後續管理。

表 6.2.12 1990 年至 2021 年土地轉變為林地碳移除量變化

(單位：千公噸二氧化碳當量)

年份	生物量碳移除量 ΔCO_2G				總碳移除量 ΔCO_2
	針葉林	針闊葉混淆林	闊葉林	竹林	
1990	-13.12	-1.31	-68.41	-7.92	-90.76
1991	-13.12	-1.31	-68.41	-7.92	-90.76
1992	-21.14	-1.32	-93.24	-20.29	-135.99
1993	-31.60	-1.54	-115.35	-33.96	-182.45
1994	-33.97	-0.97	-146.73	-48.82	-230.49
1995	-33.94	-1.15	-194.84	-55.18	-285.11
1996	-34.15	-1.37	-226.77	-52.78	-315.07
1997	-46.93	-1.49	-298.32	-45.69	-392.43
1998	-63.73	-1.77	-337.76	-36.92	-440.18
1999	-73.51	-1.94	-452.44	-25.49	-553.38
2000	-89.38	-2.14	-539.05	-25.45	-656.02
2001	-96.41	-2.13	-551.40	-23.36	-673.30
2002	-103.39	-2.12	-620.34	-21.53	-747.38
2003	-111.59	-2.17	-752.30	-20.10	-886.16
2004	-116.36	-2.68	-843.39	-18.89	-981.32
2005	-128.80	-2.26	-865.90	-19.15	-1,016.11
2006	-129.39	-2.31	-878.98	-18.53	-1,029.21
2007	-136.47	-2.32	-907.83	-15.34	-1,061.96
2008	-143.99	-2.30	-964.11	-12.10	-1,122.50
2009	-144.26	-2.27	-988.14	-10.15	-1,144.82
2010	-155.07	-2.22	-1,056.76	-3.63	-1,217.68
2011	-144.22	-1.58	-1,033.99	-0.83	-1,180.62
2012	-134.16	-1.02	-1,036.79	-0.59	-1,172.56
2013	-119.46	-0.51	-1,019.11	-0.36	-1,139.44
2014	-108.39	-0.52	-969.78	-0.10	-1,078.79
2015	-100.34	-0.51	-948.15	-0.03	-1,049.03
2016	-95.06	-0.49	-915.21	-0.03	-1,010.79
2017	-87.44	-0.49	-875.32	0.00	-963.25
2018	-73.95	-0.49	-843.73	0.00	-918.17
2019	-62.94	-0.51	-767.22	0.00	-830.67
2020	-51.76	-0.45	-671.73	0.00	-723.94
2021	-45.22	-0.43	-607.94	0.00	-653.59

表 6.2.13 1990 年至 2021 年土地轉變為林地碳移除量不確定性

(單位：%)

年份	生物量碳移除量 ΔC_G	年份	生物量碳移除量 ΔC_G
1990	14.68	2006	16.26
1991	14.68	2007	16.30
1992	13.64	2008	16.37
1993	13.00	2009	16.42
1994	12.74	2010	16.52
1995	13.22	2011	16.62
1996	13.75	2012	16.71
1997	14.55	2013	16.82
1998	14.92	2014	16.88
1999	15.68	2015	16.94
2000	15.78	2016	16.96
2001	15.80	2017	17.00
2002	15.95	2018	17.13
2003	16.17	2019	17.19
2004	16.30	2020	17.24
2005	16.23	2021	17.28

6.3 參考文獻

- JT Houghton, LG Meira Filho, B Lim, K Treanton, I Mamaty, Y Bonduki, DJ Griggs and BA Callender, Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, IPCC, 1996.
- IPCC 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa K., Ngara, T., and Tanabe, K.(eds). Published: IGES, Japan.
- 呂錦明、陳財輝，「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)，1-13，1992。
- 林國銓、洪富文、游漢明與馬復京，「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)，299-315，1994。
- 王義仲、陳周宏，「臺灣產竹種工藝利用價值之評估 (I)」，《林產工業》，14 (1)，82-94，1995。
- 行政院農業委員會林務局，《第三次臺灣森林資源及土地利用調查》，臺北，臺灣：行政院農業委員會林務局，1995。
- 陳財輝、呂錦明，「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)，333-343，1988。
- 陳財輝、許博行、張峻德，「四湖木麻黃林分生物量及養分量聚集」，《臺灣林業科學》，13 (4)，325-349，1998。
- 林俊成、鄭美如、劉淑芬與李國忠，「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)，311-321，2002。
- 林裕仁、劉瓊霏與林俊成，「臺灣地區主要用材比重與碳含量測定」，《臺灣林業科學》，17 (3)，291-299，2002。
- 林國銓、何淑玲，「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》，97108，臺北，臺灣：行政院農業委員會林業試驗所，2005。
- 林國銓、杜清澤、黃菊美與王巧萍，「亞熱帶闊葉林林木粗根生物量和養分含量之估算」，《臺灣林業科學》，21 (2)，155-166，2006。
- 王義仲，「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，臺北，臺灣：行政院農業委員會林業試驗所，2006。
- 王兆桓、劉知好，「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，臺北，臺灣：行政院農業委員會林業試驗所，2006。
- 柯淑惠，「臺灣檉人工林生物量及碳儲存量之研究」，《國立中興大學森林學系碩士論文》，臺中，臺灣：國立中興大學，2006。
- 許原瑞、洪昆源、王巧萍、吳孟鈴與邱祈榮，「海岸林分生物量調查規劃」，《2006 年森林碳吸存研討會論文集》，217-235，臺北，臺灣：行政院農業委員會林業試驗所，2006。
- 林國銓、杜清澤與黃菊美，「苗栗地區相思樹和木油桐人工林碳和氮素積量及生產量之估算」，《中華林學季刊》，40(2)，201-218，2007。
- 林國銓、黃菊美與杜清澤，「檉木人工林造林木碳貯存量和吸存量之估算」，《國家公園學報》，18 (2)，45-58，2008。
- 王兆桓，《森林蓄積量與生物量轉換模式之建立 (3/3)》，臺北，臺灣：行政院農業委員會林務局，2008。
- 李宣德、馮豐隆，「森林碳吸存資源調查推估模式系統以臺灣樟樹為例」，《臺灣林業科學》，23 (Supplement)，11-22，2008。
- 許原瑞，「桉樹類的生物量與碳蓄積量」，《97 年度森林碳管理研討會論文集》，17-29，臺北，臺灣：行政院農業委員會林業試驗所，2008。
- 林國銓、杜清澤與黃菊美，「臺東地區相思樹與楓香兩人工林碳累積量」，《林業研究季刊》，31 (3)，55-68，2009。
- 林國銓、杜清澤與黃菊美，「光蠟樹人工林碳貯存量和吸存量之估算」，《中華林學季刊》，43 (2)，261-276，2010。
- 李宣德、馮豐隆，「臺灣地區樟樹生物量擴展係數之建立」，《林業研究季刊》，3 2(3)，45-54，2010。
- 林裕仁、王秋嫻與 Sara Wu，「四種臺灣竹材碳轉換係數之分析」，《臺灣林業科學》，26 (4)，341-355，2011。
- 邱祈榮、王楷勛，「金門森林風損評估之研究－以莫蘭蒂颱風為例」，《第十二屆環境保護林經營管理研討會論文集》，91-98，臺北，臺灣：行政院農業委員會林業試驗所，2017。