

國際森林經營碳匯效益評析

文/圖 林俊成 ■ 農委會林業試驗所林業經濟組副研究員兼組長(通訊作者)
邱祈榮 ■ 國立台灣大學森林環境暨資源學系副教授
王怡穩 ■ 國立台灣大學森林環境暨資源學系研究生

一、前言

隨著聯合國氣候變化綱要公約(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)及京都議定書(Kyoto Protocol)的提出與生效，讓溫室氣體減量不再只是口號，各國需付出實際的行動，以減緩全球暖化所帶來的危機。森林可經由光合作用吸收並固定大氣中的二氧化碳，因此是大氣二氧化碳的吸收匯；另外，由於人類所造成的毀林(Deforestation)是導致二氧化碳的主要排放來源之一。因此，森林的增加或減少對大氣中二氧化碳濃度產生重要影響。透過造林與森林經營可增加吸收與貯存二氧化碳，在2005年起生效的京都議定書第3.3條即明白規範1990年以後所進行之造林(Afforestation)、再造林(Reforestation)及毀林(Deforestation)之二氧化碳吸收或排放淨值，可併入排放減量值計算。在第3.4條中也規範因加強森林經營(Forest

Management)所額外增加的碳吸存量也可併入排放減量值，故林業透過造林與森林經營活動，在國家溫室氣體減量中扮演關鍵角色。本文針對各國所提交的溫室氣體排放數據，從造林、毀林與森林經營活動數量進行簡要分析，以了解不同林業活動於吸收與貯存二氧化碳表現，進而瞭解森林經營的碳匯效益於不同林業活動之重要比例。

二、各國在京都議定書第3.3和3.4條^(註)規範下的森林淨溫室氣體量

依附件一國家所提交的國家溫室氣體清冊中有關LULUCF(Land Use, Land Use Change and Forestry)資料顯示(表1)，各國2008-2010年在京都議定書所規範的造林、再造林(AR)、毀林(D)及森林經營(FM)提交溫室氣體量的資料明確顯示森林在碳循環及溫室氣體減量中的角色。

表1 各國在京都議定書第3.3和3.4條規範下的森林淨溫室氣體量

國家	2010年森林面積 ¹⁾		AR	D	FM	AR+D+FM ²⁾
	千公頃	覆蓋率(%)				
澳大利亞	149,300	19	-23,649	49,841	-- ^(註1)	26,191
奧地利	3,887	47	-2,573	1,367	--	-1,205
比利時	678	22	-281	492	--	211
保加利亞	3,927	36	-1,231	218	--	-1,013
克羅埃西亞	1,920	34	-143	232	-8,273	-8,185
加拿大	310,134	34	-797	14,686	--	13,890
捷克	2,657	34	-296	179	-5,314	-5,431
丹麥	544	13	-285	40	-3,139	-3,384
愛沙尼亞	2,217	52	-325	487	--	163
歐盟(15) ^(註2)	121,252	48	-40,276	25,458	-227,436	-242,254
芬蘭	22,157	73	395	3,595	-38,503	-34,513
法國	15,954	29	-7,558	13,290	-51,916	-46,184
德國	11,076	32	-1,872	230	-19,416	-21,058
希臘	3,903	30	-351	6	-1,849	-2,193
匈牙利	2,029	23	-1,108	56	-2,119	-3,170
冰島	30	0	-159	0	--	-159
愛爾蘭	739	11	-2,863	27	--	-2,836
義大利	9,149	31	-6,485	390	-35,823	-41,917
日本	24,979	69	-410	3,465	-49,215	-46,161
拉脫維亞	3,354	54	-484	419	-20,670	-20,735
列支敦士登	7	43	-3	0	--	-3
立陶宛	2,160	34	-119	17	-10,474	-10,576
盧森堡	87	33	-83	141	--	58
荷蘭	365	11	-433	788	--	355
紐西蘭	8,269	31	-22,693	1,333	--	-21,360
挪威	10,065	33	-171	859	-34,715	-34,027
波蘭	9,337	30	-9,635	252	-41,964	-51,348
葡萄牙	3,456	38	-3,884	1,237	-10,337	-12,984
羅馬尼亞	6,573	29	-354	1,015	-22,401	-21,740
俄羅斯	809,090	49	-5,153	22,141	-521,950	-504,961
斯洛伐克	1,933	40	-478	212	--	-266
斯洛維尼亞	1,253	62	--	274	-10,308	-10,035
西班牙	18,173	36	-6,453	107	-18,664	-25,010
瑞典	28,203	69	-813	3,023	-38,462	-36,252
瑞士	1,240	31	-17	886	-881	-12
烏克蘭	9,705	17	-38	110	-56,789	-56,716
英國和北愛爾蘭	2,881	12	-2,806	725	-9,327	-11,409

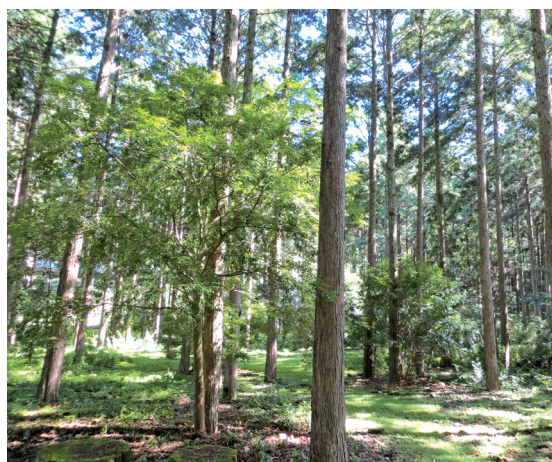
資料來源：1) FAO(2011) State of the World's Forests

2) UNFCCC(2012)National Inventory Submissions

註：1.部分附件一國家因無數據，故未列出，“--”為該國無資料。

2.歐盟(15)指奧地利、比利時、丹麥、芬蘭、法國、德國、希臘、愛爾蘭、義大利、盧森堡、荷蘭、葡萄牙、西班牙、瑞典、英國和北愛爾蘭。

表1顯示造林、再造林(AR)的淨溫室氣體量，以澳大利亞及紐西蘭為最多，分別吸存23,649及22,693千公噸CO₂-eq。因毀林(D)的淨溫室氣體量，則以澳大利亞、俄羅斯、加拿大及法國為最多，分別為排放49,841、22,141、14,686、13,290千公噸CO₂-eq。森林經營(FM)的淨溫室氣體量，以俄羅斯、烏克蘭、法國及日本為最多，分別為吸存521,950、56,789、51,916及49,215千公噸CO₂-eq。在京都議定書第3.3和3.4條規範下，因森林所產生的淨溫室氣體總量(AR+D+FM)，則以俄羅斯的淨吸存量為最大，有504,961千公噸CO₂-eq，其次為烏克蘭及波蘭分別吸存56,716及51,348千公噸CO₂-eq。而澳大利亞、加拿大等國，因僅有造林、再造林(AR)及毀林(D)的數值，未提出森林經營(FM)的淨溫室氣體量數據，因此森林所產生的淨溫室氣體總量反而為正值，分別排放26,191、13,890千公噸CO₂-eq；另外，根據FAO(2011)的森林資源資料，澳大利亞、加拿大的森林面積極大，2010年森林面積分別為149,300及310,134千公頃，因此在森林經營(FM)方面，應



照片1 良好的森林經營可增加碳匯效益

仍具有相當多的二氧化碳吸存潛力。

由造林、再造林(AR)與毀林(D)的淨溫室氣體量進一步分析，紐西蘭、波蘭、西班牙、義大利、愛爾蘭、葡萄牙、英國和北愛爾蘭等19個國家，因造林、再造林(AR)的二氧化碳吸存量高於因毀林(D)所產生的二氧化碳排放量。其中，以紐西蘭造林、再造林(AR)的二氧化碳吸存量扣除因毀林(D)所產生二氧化碳排放量的淨值為最高，吸存達14,818千公噸CO₂-eq。瑞典、日本、芬蘭、法國、加拿大、俄羅斯、澳大利亞等16個國家，則反而是因毀林(D)所產生的二氧化碳排放量高於造林、再造林(AR)的二氧化碳吸存量，其中澳大利亞、俄羅斯、加拿大的因毀林(D)所產生二氧化碳排放量扣除造林、再造林(AR)的二氧化碳吸存量的淨值為最高，分別排放26,191、16,989及13,890千公噸CO₂-eq，而日本為排放3,055千公噸CO₂-eq。以澳大利亞、俄羅斯、加拿大三國毀林(D)碳排放量高於除造林、再造林(AR)吸存量，就其原因推測，應在於森林火災的發生，造成大量碳排放，且其造林不易所造成。由此可知，在特定國家經由造林、再造林(AR)所增加的吸存量。可能還不足以抵銷因毀林(D)所產生的二氧化碳排放量，因此在減少毀林(D)造成碳排放的努力上也是不容輕忽的。

三、森林經營(FM)的淨溫室氣體表現

表2中列出在第一承諾期進行森林經營碳量計算的國家，由森林經營(FM)的淨溫室氣體量除以森林所產生的淨溫室氣體總量(AR+D+FM)即可得知該國的森林經營碳吸存表現。

表2 森林經營(FM)的淨溫室氣體表現

國家	FM (1)	AR+D+FM (2)	FM Cap ¹⁾ (3)	(1)/(2)	(3)/(1)
	千公噸CO ₂ -eq			%	
克羅埃西亞	-8,273	-8,185	-990	101	12
捷克	-5,314	-5,431	-1,170	98	22
丹麥	-3,139	-3,384	-180	93	6
芬蘭	-38,503	-34,513	-590	112	2
法國	-51,916	-46,184	-3,230	112	6
德國	-19,416	-21,058	-4,550	92	23
希臘	-1,849	-2,193	-330	84	18
匈牙利	-2,119	-3,170	-1,060	67	50
義大利	-35,823	-41,917	-10,190	85	28
日本	-49,215	-46,161	-47,670	107	97
拉脫維亞	-20,670	-20,735	-1,250	100	6
立陶宛	-10,474	-10,576	-1,030	99	10
挪威	-34,715	-34,027	-1,470	102	4
波蘭	-41,964	-51,348	-3,010	82	7
葡萄牙	-10,337	-12,984	-810	80	8
羅馬尼亞	-22,401	-21,740	-4,030	103	18
俄羅斯	-521,950	-504,961	-121,000	103	23
斯洛維尼亞	-10,308	-10,035	-1,320	103	13
西班牙	-18,664	-25,010	-2,460	75	13
瑞典	-38,462	-36,252	-2,130	106	6
瑞士	-881	-12	-1,910	7342	217
烏克蘭	-56,789	-56,716	-4,070	100	7
英國和北愛爾蘭	-9,327	-11,409	-1,360	82	15
合計	-1,012,509	-1,008,001	-215,810	100	21

資料來源：1) UNFCCC(2006) Decision 16/CMP.1 FCCC/KP/CMP/2005/8/Add.3

註：淨溫室氣體量正值(+)為排放，負值(-)為吸存。

由數據可知各國的森林經營淨溫室氣體量佔該國森林淨溫室氣體量至少都在67%以上，其中有少數國家因毀林造成的碳排放量比例高，讓該比例高於100%，又以瑞士最高，其森林經營碳量高達總森林碳吸存量的73倍；其次為芬蘭和法國，皆為112%，此三國家應算是較為例外的情形。

由於各國森林資源條件差異大，為避免森林資源豐富國家在森林經營淨溫室氣體量過大，乃於2001年召開的聯合國氣候變化綱要公約第七次締約國大會(COP7)所提出的馬拉喀什協議 (Marrakech Accords)中，詳細規定各附件一國家森林經營活動的配額上限(Cap)。為瞭解於第一承諾期時，此一配額上限(Cap)與實際提

交的森林經營淨溫室氣體量之比較，特於表2亦列出各附件一國家森林經營活動的配額上限(Cap)，其中以俄羅斯最高，為-121,000千公噸CO₂-eq/年，其次為日本的-47,670千公噸CO₂-eq/年，和義大利的-10,190千公噸CO₂-eq/年。由各國的配額上限(Cap)和實際森林經營(FM)所得淨溫室氣體量的比例來看，配額上限的設定並未按照各國的實際狀況，除去比例最高的瑞士(217%)和日本(97%)，其他各國的比例位於2-50%之間，總平均比例約為21%，此一現象顯示，對大部分的國家而言，為森林經營的減碳額度設置配額上限(Cap)，似僅為該國森林經營(FM)減碳績效的1/5，對積極進行森林經營以達成減碳成效的國家是不具激勵的效果，因此在各國進行第二承諾期的談判時，才有要求各國有各自的森林經營參考水平(Forest Management Reference Level, FMRL)，以取代配額上限(Cap)的提議，且獲得大多數國家的贊同。

根據森林經營(FM)的淨溫室氣體表現與森林面積的關係，結果如圖1：

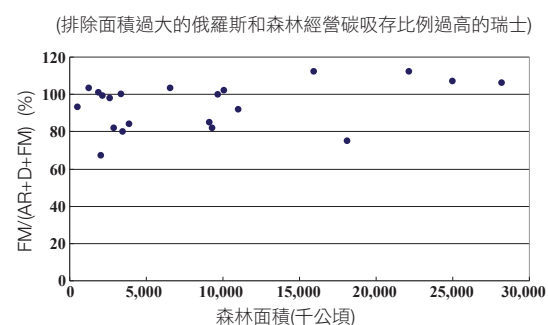


圖1 森林經營(FM)的淨溫室氣體表現與森林面積

可知森林經營淨溫室氣體成效，與該國森林面積並未有明顯的關係存在，意謂著藉由積極加強森林經營，以提升國家森林淨溫室氣體

效果，並未受到林地面積多寡的影響，在其森林淨溫室氣體量都佔有極高的比例，也明確顯示出國家森林淨溫室氣體效果，主要仰賴於森林經營的淨溫室氣體成效。

四、結語

比較同時提交造林、再造林(AR)及森林經營(FM)數值的國家，可看出各國森林經營(FM)的淨溫室氣體量明顯高於造林、再造林(AR)，後者的淨溫室氣體量有限且遠不及進行前者的效果，以烏克蘭的AR/FM比例最低為0.07%，而匈牙利AR/FM比例最高為52.29%，日本則僅0.83%，其整體平均僅為森林經營(FM)的7.18%。以碳吸存的角度來看，藉由造林雖可增加碳吸存量，但森林經營所產生的碳匯效益更是重要。另外，由於造林、再造林(AR)需有一定的土地資源來進行植林作業，同時其造林和皆伐作業的成本皆較高，與森林經營(FM)相較之下所受的限制較多。未來森林經營活動的淨溫室氣體量將為附件一國家達成減碳目標的重要籌碼。在第一承諾期，為避免各國過度利用森林經營的碳匯效益而設定各國的上限額度。但隨



照片2 適當的疏伐可促進林地更新及多樣性

著森林永續經營管理的觀念越受重視，因此於第二承諾期時，將引入森林經營參考水平(Forest Management Reference Level, FMRL)之概念，以目前各國國內森林經營管理現況所推估出之未來的淨溫室氣體移除量作為基線，各國可經由實施各種森林經營管理措施，超過基線所額外增加的淨溫室氣體移除量可做為排放減量成果，而不設定上限，如此可避免不同國家有不同上限額度差異的爭議，也激勵各國強化森林經營管理。

覆蓋台灣58.53%的森林資源，對國家溫室氣體減量有一定比例的貢獻。根據資料推估，20年生的造林地平均每公頃每年可吸存12.6公噸的二氧化碳。平均一株20年生的林木，依樹種不同，一年約可吸收11-18公斤二氧化碳。一般而言，闊葉樹通常比針葉樹來得高(林俊成等，2002)。另以林業統計的資料推估，1990-2008年，台灣造林總面積約8.63萬公頃，至2008年時因造林所增加的二氧化碳吸存總累積量約822.1萬公噸，即1990-2008年來平均一年因造林所吸存的二氧化碳量僅43.3萬公噸，此

一數字，會依造林面積及樹種組成不同而異，由此可知造林減碳，需要較長的時間才有明顯的效果。以第三次台灣森林資源與土地利用調查結果為基期資料(1993年為基準)，計算在1993年森林林木總二氧化碳儲存量為591百萬公噸。平均年二氧化碳吸存量增加量為19.1百萬公噸，其造林所增加的碳吸存量與原本森林碳匯年平均量的2.3%，因此就國內森林碳匯而言，加強森林經營所增加的碳吸存效果是遠大於造林的。由京都議定書第3.4條的內容可知，造林並非唯一的森林碳匯方式，加強森林經營也是一種可行的方式，因森林經營所增加之碳吸存量可列入國家減量額度，因此加強森林經營達成減碳效果應該要加以重視。▲

參考文獻(請逕洽作者)

註 京都議定書第3.4條規範，尚包括農地、牧地、植被重建等土地管理的淨溫室氣體量，如加拿大、丹麥、日本、西班牙、英國和北愛爾蘭等國，但本表並未列入。