

# 疏伐撫育經營策略對森林碳吸存之影響

◎林業試驗所森林經營組·邱志明

## 前言

欲減緩大氣中CO<sub>2</sub>濃度增加所產生的全球氣候變遷，在CO<sub>2</sub>減量上可從調整產業及能源結構，由高耗能或高CO<sub>2</sub>排放的產業移往低耗能、低污染、高附加價值產業，並積極增加能源使用效率、抑制能源消耗來進行。但此一方法可能對國家整體經濟產生較大的衝擊，甚至降低國民所得，同時減量成本也較高，因此加強造林與促進森林永續發展的經營管理策略以增加CO<sub>2</sub>吸存量，應為重要可行之方法。是以，1997年聯合國氣候變化綱要公約第三次締約國大會(COP3)通過的「京都議定書」中，明定1990年以後所進行之造林(afforestation)、再造林(reforestation)及森林砍伐(deforestation)所造成CO<sub>2</sub>吸收或排放之淨值，可併入排放減量值計算。而在馬拉喀什協定(Marrakech Accord)中，針對京都議定書第3.3、3.4條進行之土地使用、土地使用變化和林業活動對森林、造林、再造林、毀林及森林管理均有一定之定義及減量規範。而對於森林管理是要保持森林的生物多樣性、生產率、再生能力、生命力，以發揮有關生態、經濟和社會功能的潛力等，其締約國可藉此達每年2仟8百萬公噸之最高減量。

林木行光合作用將大氣中的CO<sub>2</sub>轉變為有機碳固定於木材中，只要森林具有旺盛的生長力，就可達到吸存CO<sub>2</sub>的效果。唯森林中的天然林大多為過熟之老齡林，其生命力逐漸衰退，對碳吸存功效已低，而相對的人工林在合理經營管理下，可提高單位面積蓄積

與生長達永續經營森林能源目標，不但為生態材料的有效供應來源，更可促進大氣中CO<sub>2</sub>的吸存，透過碳交易促成石化產業的綠色投資，改善大氣環境。

## 森林提供的碳減量策略

森林資源所提供的碳減量策略可以下列三方面來達成：

1. 碳吸存(carbon sequestration)：即加強造林與促進天然林更新、農地造林等促進森林永續發展的經營管理策略，以增加森林資源的碳吸存。
2. 碳保存(carbon conservation)：即保存森林資源，藉保護區設置、林火、病蟲害之控制，減少林地破壞和改善森林經營、土壤保育來達成。
3. 碳替代(carbon substitution)：即生質能源的使用(請參考本刊物第64期第12頁林曉洪一文之報導)，藉由使用再生性林產品並延長其使用壽命，來取代鋼鐵水泥等高耗能材料，以減少對石化燃料的需求。

因此，森林資源尤其人工林不同經營策略，如疏伐之開始林齡、不同林齡疏伐留存木林分密度之控制(疏伐強度)、疏伐之間隔、次數、林木搬出利用與否與伐期齡之長短，對林木碳吸存產生許多不同之效應。本文以筆者與前輩歷年所設置不同疏伐撫育策略之台灣杉及紅檜人工林永久樣區之林分胸徑、樹高、斷面積、材積生長，枯死率並換算單

位面積定期之材積平均年生長量與估算生物量及碳吸存量為例，來以說明疏伐撫育策略對碳吸存量之影響。

## 台灣杉

試驗地分別位於高雄縣六龜研究中心(海拔約1000-1600m)及林務局藤枝荖濃事業區(海拔約1300m)，每公頃造林株數皆為2500株。我們定期在強度疏伐、中度疏伐、弱度疏伐和未疏伐之對照組等樣區中，實測每一株樣木樹高1.3m部位之胸徑，並以Haga測高器測定樹高，每一相同處理的林分實測50株以上的樣木，再求出胸徑與樹高曲線，然後以通用之實用材積式求出樹幹材積，進而計算出各林分單位時間之林木生長量。各疏伐處理林分之樹幹生物量則分別砍伐樣木，以實測其容積密度(絕乾重/生材體積)，再由材積換算求得。地上部全幹生物量(含枝、葉、幹、皮)則以樹幹生物量乘以1.19換算。碳量則以生物量乘以碳濃度理論值0.5求得。

如表1所示，由不同林齡所施行之疏伐，並保留不同立木胸高斷面積或株數來看林地生產力，可知在台灣杉7年生時疏伐至其11年生等四年期間，中度疏伐、弱度疏伐與對照區的每年碳吸存量分別為3.97、5.03及5.01 ton/ha，中度疏伐明顯比弱度及對照區小，顯示此時林分若實行中度疏伐，立木度不足林地未能完全充分利用。另由7年生之胸徑年生長量達1.6~1.8cm可知，此時林木生長皆很旺盛，且因林分才剛開始鬱閉，樹冠間之競爭並不激烈，故胸徑、材積之定期生長量有無疏伐並無顯著差異，故宜不疏伐以免浪費成本。



六龜台灣杉人工林在林分未鬱閉且樹冠間競爭並不激烈時，不宜疏伐以免浪費成本。(蘇德忠 攝)

當台灣杉11年生時進行不同程度之疏伐，至16年生時，經5年期間之定期觀測發現，中度、弱度及未疏伐樣區之每年碳吸存量分別為4.84、6.50及5.54 ton/ha，由此可知此時最佳疏伐為弱度疏伐，單位面積之材積生長量及碳吸存量最大。而更進一步的在11、14、17、26年生所進行不同程度之疏伐試驗發現，台灣杉之胸徑、材積定期生長量均因疏伐而呈極顯著之差異，且在14年生時，林木之材積定期生長量最旺盛。而後隨著林齡之增加，其生長量皆會下降，至26年生後進行疏伐，經6年之觀測，至32年生時，碳吸存量在強度、中度、弱度及未疏伐區中每年分別為3.94、4.30、3.90及2.89 ton/ha可知，台灣杉至26年生時若不進行疏伐，則未疏伐區之碳吸存量僅為中度疏伐區之67%，亦即中度疏伐區6年間之平均每公頃之年吸存量為未疏伐區之1.5倍。

表1 台灣杉人工林不同齡級施行不同程度疏伐後之生長變化及生物量、碳吸存量之推估值之變化

林齡	疏伐度	疏伐時				疏伐後					試驗地
		保留斷面積 (m <sup>2</sup> /ha)	株數 no./ha	胸徑 (cm)	樹高 (m)	胸徑 (cm/yr)	材積 (m <sup>3</sup> /ha/yr)	生物量 (ton/ha/yr)	碳量 (ton/ha/yr)	觀測期間 (yr)	
7	中	10.60	1100	11.0	5.9	1.8 <sup>a</sup>	21.65 <sup>b</sup>	7.94	3.97	4	六龜試驗林
	弱	12.55	1300	10.7	5.8	1.7 <sup>a</sup>	25.30 <sup>b</sup>	10.06	5.03	4	
	對	14.48	1500	10.5	5.7	1.6 <sup>a</sup>	25.99 <sup>b</sup>	10.02	5.01	4	
11	中	28.00	1000	18.4	10.9	0.76 <sup>a</sup>	26.4 <sup>b</sup>	9.68	4.84	5	六龜試驗林
	弱	33.00	1200	17.8	10.8	0.66 <sup>b</sup>	32.7 <sup>a</sup>	13.00	6.50	5	
	對	42.00	1750	17.0	10.6	0.54 <sup>c</sup>	28.7 <sup>a</sup>	11.07	5.54	5	
14	強	30.00	900	20.0	11.2	1.07 <sup>a</sup>	39.66 <sup>a</sup>	13.78	6.89	5	六龜試驗林
	中	35.00	1100	19.8	11.2	1.00 <sup>a</sup>	36.93 <sup>a</sup>	13.54	6.77	5	
	弱	42.00	1300	20.4	11.3	0.62 <sup>b</sup>	33.31 <sup>b</sup>	13.24	6.62	5	
17	對	54.00	1900	17.6	10.6	0.45 <sup>c</sup>	32.44 <sup>b</sup>	12.51	6.26	5	林務局 荖濃事業區
	強	41.00	900	24.1	15.5	0.83 <sup>a</sup>	30.9 <sup>a</sup>	10.74	5.37	6	
	中	46.00	1050	23.3	15.2	0.68 <sup>b</sup>	30.3 <sup>a</sup>	11.11	5.56	6	
26	弱	51.00	1200	23.3	15.2	0.52 <sup>c</sup>	23.7 <sup>b</sup>	9.42	4.71	6	林務局 荖濃事業區
	對	59.00	1500	22.0	17.0	0.40 <sup>d</sup>	22.5 <sup>b</sup>	8.68	4.34	6	
	強	48.00	600	31.2	19.7	0.55 <sup>a</sup>	22.67 <sup>a</sup>	7.88	3.94	6	
26	中	58.00	800	29.9	19.3	0.43 <sup>a</sup>	23.44 <sup>a</sup>	8.59	4.30	6	林務局 荖濃事業區
	弱	66.00	1000	28.3	18.8	0.27 <sup>b</sup>	19.63 <sup>ab</sup>	7.80	3.90	6	
	對	84.00	1450	26.4	18.0	0.24 <sup>b</sup>	14.98 <sup>b</sup>	5.78	2.89	6	

註：1.字母不同代表鄧肯測驗 $\alpha < 0.05$ 差異顯著；字母相同代表不顯著

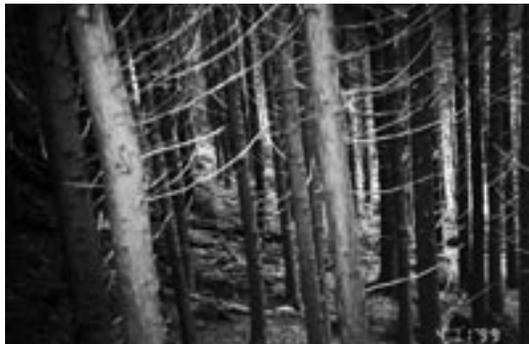
2.「對」代表對照區，未進行疏伐

## 紅檜

紅檜人工林試驗地位於阿里山大埔事業區207及209林班(海拔高約2200~2100m)、阿里山事業區104林班之杉林溪(海拔1800m)、及林試所六龜試驗林(海拔1500m)。試驗方式與台灣杉相似，而紅檜材積和生物量之轉換式，則以44株樣木之樹幹解析實測材積和實

## 測生物量之實驗式

紅檜人工林不同疏伐處理結果如表2所示。不同地區14、22、24年生之中度疏伐紅檜林比弱度疏伐及對照區，均有較大之胸徑、樹高、斷面積年生長量及材積生長量，且差異顯著。但若每公頃斷面積保留太少，即在過度強度疏伐下，則因空間增大對單



未經疏伐撫育之檜木林分極度鬱閉，生長競爭激烈，碳吸存能力較差(邱志明 攝)



經疏伐撫育管理之檜木林分其材積生長、生物量之增進有助於CO<sub>2</sub>之吸存(邱志明 攝)

表2 紅檜人工林不同林齡，施行不同程度疏伐後之生長變化及生物量、碳吸存量之推估值之變化

林齡	疏伐度	疏伐時				疏伐後				觀測期間 (年)	試驗地
		斷面積 (m <sup>2</sup> /ha)	株數 (no./ha)	胸徑 (cm)	樹高 (m)	胸徑 (cm/yr)	材積 (m <sup>3</sup> /ha/yr)	生物量 (ton/ha/yr)	碳量 (ton/ha/yr)		
7		3.6	1400	5.3	3.5	—	—	—	—	—	林務局阿里山大埔事業區
14	中	25.0	1150	16.6	8.3	0.64 <sup>a</sup>	17.91 <sup>a</sup>	10.881	5.441	5	林務局阿里山大埔事業區
	對	31.0	1800	14.2	7.8	0.47 <sup>a</sup>	15.52 <sup>b</sup>	9.427	4.713	5	
	強	24.0	900	18.8	11.2	0.414 <sup>a</sup>	8.514 <sup>ab</sup>	5.165	2.583	7	六龜試驗林
22	中	29.0	1100	18.2	11.0	0.343 <sup>b</sup>	9.314 <sup>a</sup>	5.651	2.826	7	
	弱	34.0	1300	18.6	11.1	0.257 <sup>c</sup>	7.414 <sup>b</sup>	4.495	2.248	7	
24	對	39.0	1700	16.8	10.5	0.214 <sup>d</sup>	5.714 <sup>c</sup>	3.461	1.731	7	林務局阿里山大埔事業區
	強	25.0	700	21.3	13.2	0.576 <sup>a</sup>	10.442 <sup>b</sup>	6.338	3.169	5	
	中	30.0	900	19.5	12.4	0.530 <sup>ab</sup>	13.964 <sup>a</sup>	8.480	4.240	5	
	弱	34.0	1050	20.1	12.8	0.482 <sup>b</sup>	12.414 <sup>a</sup>	7.537	3.769	5	
	對	38.0	1400	17.4	11.8	0.270 <sup>d</sup>	8.930 <sup>b</sup>	5.417	2.709	5	

註：符號同表1

木之生長已無助益，使林地無法有效利用，而造成每公頃材積年生長量反而比中度或弱度少，此實為值得注意之問題。施行強度疏伐，則單位面積材積生長量、生物量及碳吸存量反而減少，若不實施疏伐，因林木極度鬱閉，生長競爭激烈而產生枯死，以迴歸關係轉換為生物量及碳吸存量，林木7年間之碳吸存量每年為1.731 ton/ha，則僅為中度疏伐區2.826 ton/ha之60%左右，未疏伐區較疏伐區大大減少，可見適當之疏伐撫育對林木之材生長、生物量之增進及CO<sub>2</sub>之吸存均是正面效果。

### 結語

上述的兩個實際研究例子可知，不同疏伐策略對單木及林分之材積、生物量、碳吸存量均有不同之效果，而疏伐對林分之影響有時空之限制，因此由造林至伐期齡整個輪

伐期絕非僅一次疏伐，牽涉許多經營決策之問題，如疏伐之林齡、留存木之多寡、間隔期間、疏伐次數、疏伐木搬出與不搬出及伐期齡之長短等，均大大影響單位面積之林分材積、生物量及碳吸存量。若進一步考量將疏伐木再搬出利用，將其轉換為林產品，以另一種碳之形式貯存於木材產品中；而未疏伐之林分，林木因競爭而枯死，林木會腐朽將碳素釋放至大氣中，則更可顯現出疏伐區單位面積之林木總生產力之材積量、生物量及碳吸存量和未疏伐區之差距。此外，適時的疏伐作業尚有助於提高木材形質，而高品質的木材可製成高附加價值的優良木製品，而更長期的將碳固定下來；不似一般劣質林產品，在短短的使用年限內便腐朽敗壞，又被自然分解或人為焚化成為CO<sub>2</sub>而回到大氣之中，更顯示人工林適地適木的疏伐策略對林木生長及其碳吸存能力之重要。☼