

行政院農業委員會林務局暨所屬機關
九十八年度委託研究計畫

國有林林木經營區因應減碳政策之最適經營規劃
期末報告

計畫執行機關：國立臺灣大學

計畫執行人及職稱：鄭欽龍教授

壹、前言.....	1
一、研究緣起.....	1
二、研究流程.....	3
貳、森林經營與碳吸存.....	5
參、國有林林木經營區因應減碳之經營模型建構.....	9
一、國有林林木經營區之樹種及其面積與蓄積.....	9
(一) 針葉樹種.....	10
(二) 闊葉樹種.....	11
二、多目標規劃及其方法.....	13
(一) 目標規劃法之介紹.....	13
(二) 因應減碳之多目標規劃模型建構.....	14
三、目標規劃模型之目標值設定.....	17
(一) 二氧化碳吸存量.....	17
(二) 林木伐採量.....	18
(三) 就業機會.....	19
四、規劃模型技術係數之建置.....	20
(一) 主要樹種收穫表及收穫模式.....	20
(二) 主要樹種之材積及碳轉換係數.....	21
(三) 不同齡級與樹種之碳吸存量.....	25
(四) 伐採成本、效率及再造林成本.....	27
(五) 主要樹種價格.....	29
(六) 生長率.....	30
(七) 土壤沖蝕增量.....	34
肆、因應減碳之林木經營區最適經營規劃.....	35
一、林木經營區面積與蓄積資料彙整.....	35
(一) 各針闊葉樹種林況.....	36
(二) 初始年二氧化碳吸存總量.....	40
(三) 各項技術係數.....	41
二、規劃方案基本架構.....	43
(一) 未加經營：基線預測案.....	43
(二) 單一目標：碳吸存最大化規劃方案.....	43
(三) 多目標：基礎方案.....	44
(四) 多目標：進階方案.....	44
三、各方案研究結果及比較分析.....	45
(一) 各目標值之比較.....	47
(二) 基線預測案與碳吸存最大化方案之比較.....	52
(三) 基線預測案與多目標基礎方案之比較.....	53

(四) 多目標基礎方案與進階方案之比較.....	56
伍、結論與建議.....	60
柒、附錄.....	68

壹、前言

一、研究緣起

聯合國的跨政府氣候變遷小組(IPCC)與糧農組織(FAO)等機構及一些學者均指出，森林減碳策略主要有三，其一是碳保存，係以減少森林伐採、保護森林、控制森林火災及病蟲害等方法，維護森林固碳功能。第二是碳吸存，以造林增加森林的面積，進行森林撫育或延長輪伐期，增加森林之固碳量。其三為碳替代，係利用木材為能源取代化石燃料，或以木材作為建材取代高耗碳之鋼筋水泥，減少碳排放量(IPCC,1996; Bass et al., 2000; Schoene & Netto, 2005; FAO, 2007a; Bravo et al., 2008)。

目前在台灣由林務局的八個林區管理處所轄之國有林林木經營區的人工林，依據各林區管理處的國有林經營計畫書的資料統計顯示，面積合計約 103,000 公頃，林木總蓄積量約 1,193 萬立方公尺。然而，此八個林管處於 2007 年僅伐採林地 143.67 公頃，收穫林 40460.53 立方公尺。由上述統計可知，臺灣雖有豐富之國有林資源，但每年經營林木生產之林地面積僅佔林木經營區人工林之 0.14%，而收穫才績占總蓄積之此率不及 0.34%。未積極藉由疏伐和伐採及再造林造成林木經營區林齡老化，而使得森林的碳吸存功能不彰。

根據一些學者估算，臺灣森林每年可吸收約 1600 至 2100 萬公噸左右之二氧化碳(楊盛行，1997；王立志，1996；楊榮啓等，1998；馮豐隆，2000)。若林木經營區的森林能以森林碳吸存為目標加以積極經營，應可增加國內森林之碳吸存總量，並達成其他國有林經營之目標。

因此，本研究擬應用目標規劃法，設定林務局國有林之林木經營區的碳吸存及其它森林經營目標，並利用疏伐、伐採與造林等不同之林木經營策略組合，提

出國有林林木經營區適合之碳吸存經營規劃，分析在不同碳吸存及其他經營目標下，國有林林木經營區達成減碳之可行方案，並提供林業部門參與，以期有效達成政府之減碳政策。

二、研究流程

本研究之研究流程如圖 1-1 所示，首先蒐集國內外有關森林經營策略與碳吸存之相關文獻，瞭解國內外如何利用森林經營策略增加林木之碳吸存量。其次，蒐集林務局轄下八個林區管理處的國有林人工林林木經營區之林況資料，包括人工林主要樹種之樹種、齡級、面積及蓄積量等，同時蒐集主要樹種在不同齡級時的生長量與碳吸存量等資料。第三，建構本研究之因應減碳策略目標規劃模型，分析所蒐集之林木生長及碳吸存資料，然後設定目標式及限制式的相關係數，以及不同規劃方案下所設定預期之目標及其目標值。此規劃目標內函包括碳吸存、林木生產、林業部門就業機會及土壤沖蝕控制，而限制條件疏伐與伐採面積及疏伐與伐採量限制材積。第四，設定不同規劃方案目標，包跨基線方案、碳吸存最大化方案、多目標基礎方案與多目標進階方案。最後，利用目標規劃法分析各規劃方案，林木經營區內不同樹種所需疏伐與伐採的面積及材積，進行比較不同規劃方案之差異，探討最適之國有林林木經營區因應減碳之經營策略。

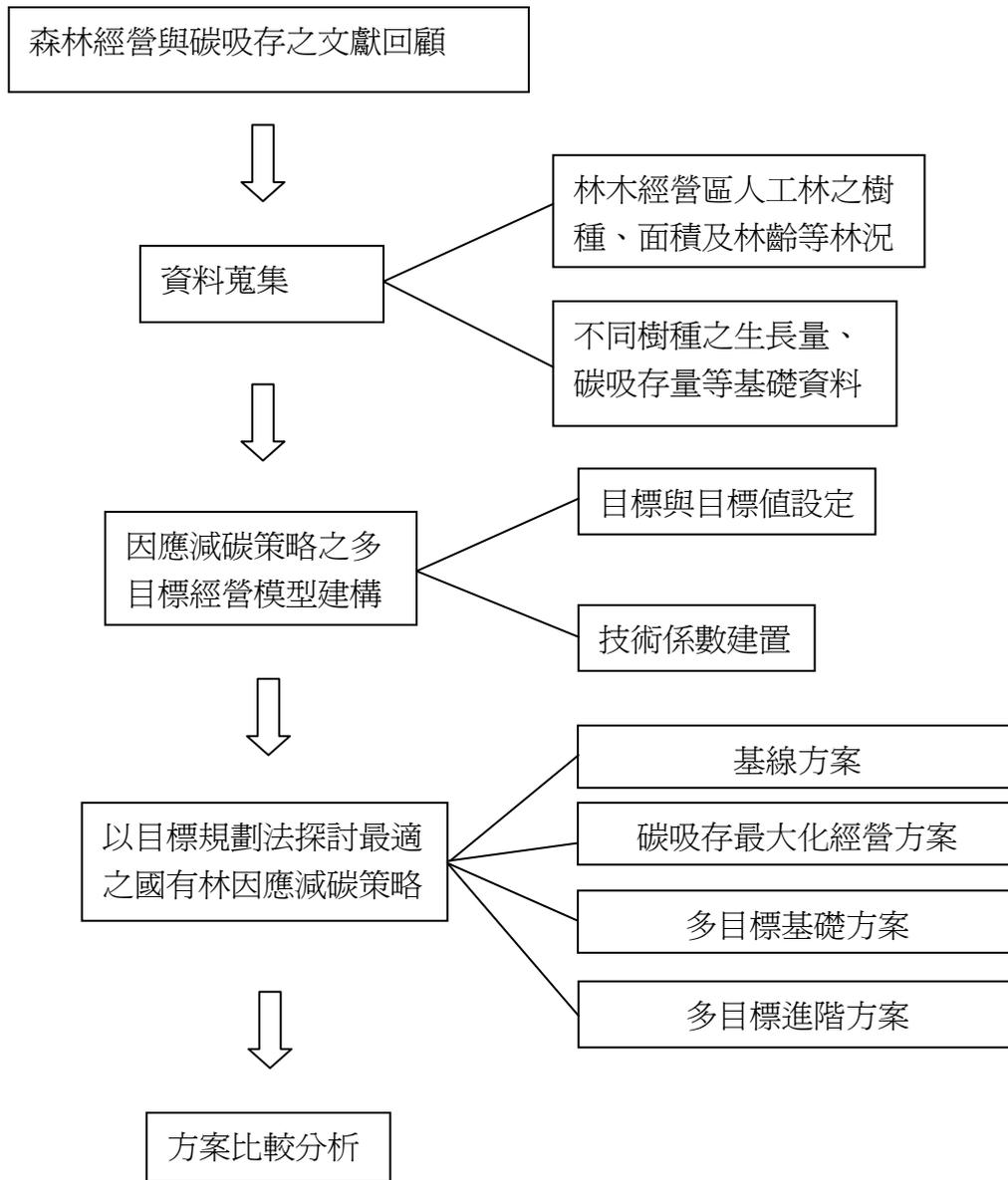


圖 1-1、研究流程

貳、森林經營與碳吸存

森林經營與碳吸存之關係，為林學界近年重要之研究議題，一般將之概分為：碳吸存、碳保存及碳替代三種森林經營減碳策略。Bravo et al.(2008)分析近年來利用森林經營管理策略促進碳吸存之相關文獻，並再細分成 6 個藉森林經營改善碳吸存的策略，茲簡述如下：

1.改變樹種組成

碳吸存的多寡視林分內樹種的組合及地位指數而定。一般而言，針葉樹種的碳含量高於闊葉樹種，例如赤松林較橡樹林高，但兩者混合林的碳含量則介於前兩者間。不同樹種的土壤碳含量也有差異，山毛櫸林分是松木林的 1.47 倍。因此，可利用疏伐等撫育方式伐採部分林木，選取適當樹種後再造林，藉此改變林分內之樹種組合以增加碳吸存量。

2.改變輪伐期

老齡林之碳吸存量呈現趨緩狀態，可藉由延長輪伐期之方式提升森林碳吸存能力，同時獲取更多之森林產物，但延長輪伐期卻會降低土壤的含碳量。一般而言，輪伐期越長、地位級指數越佳者，含碳量會越高。然而，不論地位級指數為何，短伐期的碳平均增加量(carbon MAI)較高。當地位級指數低的林分使用長輪伐期、地位級指數高的林分使用短輪伐期經營時，兩者的故碳量幾乎相等。但當同時考慮木材收益及碳吸存量兩個目標時，地位級指數低的林分不適合用短輪伐期，而應使用長輪伐期。

3.進行疏伐

疏伐是達成經濟及育林目標的重要策略，相關研究證實疏伐能有效增加森林

固碳量，不論疏伐強度為何，只要進行疏伐均可增加林木及土壤的碳吸存量。同時也可增加留存林木的品質，進而延長林產品的生命週期。

4.保護森林

林業活動可減緩溫室氣體排放，但是透過減少濫伐的短期減碳利益卻遠高於增加森林面積。多數熱帶國家的森林都有濫伐的現象，例如南美洲、東亞及非洲地區，近幾年以巴西、印尼及蘇丹最為嚴重，這些國家可利用保護森林之方式有效增加碳吸存量。

5.增加森林面積

西班牙、葡萄牙、義大利、希臘、越南、南美、非洲及中國等國近幾年來進行大面積造林，藉此增加林地之碳吸存量。然而，利用造林增加碳吸存量之森林經營策略卻有期初投資成本高，回收時間長等缺點。此外，擴張林地面積會導致農地面積縮減之問題，間接導致農產品短缺，甚至將老齡林轉作為農地等問題。

6.保護土壤

土壤是陸生圈的主要碳匯，其碳貯存量是生物體的三倍，可藉由保護土壤中的碳含量，減少自土壤逸散之二氧化碳。森林破壞如森林火災、森林撫育作業如疏伐等狀況均會造成短期內土壤之碳貯存量流失，需進行適當之保護措施避免土壤碳含量過度流失。根據研究，森林遭濫墾後五年內之固碳量減少，需於三十年後才會回復到正常之土壤固碳量。此外，老齡林之土壤固碳狀態呈現穩定且微量增加之情形。

近年國內外探討利用碳吸存、碳保存及碳替代三種森林減碳策略之研究文獻甚多。如 Fearnside(1999)評估巴西公、私部門之造林成本均高過收益，因此加強管理減緩森林消失的碳保存策略優於造林。Sheeran(2006)分析菲律賓的森林保護計畫，亦認為保護森林減碳的成本效能高於造林。熱帶雨林伐採後，大量降雨使土壤和養分流失嚴重，因此保護森林的碳保存效應高於造林。Yamamoto et al.(2000)以全球土地利用及能源模式分析土地利用改變與碳排放情形，指出伐採現存林木後再造林，因減少老熟林分且改變土地利用，以致碳吸存未有明顯增加。

因爲法令和環境的限制，工業化國家多以延長輪伐期、疏伐或施肥等森林撫育措施提高既存林碳吸存量的研究爲主。Eriksson(2006)探討挪威松及蘇格蘭松林分在不同疏伐作業下之生物量及碳貯存效果，結果指出不疏伐可獲取最佳的林分生物量及碳吸存量，而疏伐並未顯著改變挪威松林分的地上部生物量，但低度疏伐加上施肥是增加蘇格蘭松林分地上部生物量的最適方案。Kaipainen et al.(2004)以 CO₂FIX 模式模擬歐洲森林延長輪伐期的碳吸存效應，該研究指出，延長輪伐期可達成減碳目標，各國視其林地條件調整輪伐期之面積介於 30 萬到 510 萬公頃，部分森林需減少 1 至 6%的伐採量。Hiroshima(2004)研究日本人工林撫育的碳吸存效果，指出須優先撫育低齡林分，全日本的人工林可固定 800 至 1050 萬公噸碳，每年須間伐或主伐 1400 至 2100 萬立方公尺林木。

在碳替代策略研究方面，Freppaz et al.(2004)以線性規劃法評估義大利一小鎮附近森林可否永續提供生物能源及木材生產，指出 5 萬公頃森林的生物燃料可持續提供該鎮約 16%的能源。Baral & Guha (2004)研究美國南方短輪伐期林木利用生質能氣化器產生燃料取代化石燃料的可行性，結果指出當化石燃料價格上漲時木材有潛力做爲替代能源以減少碳排放。Matthews(2001)分別評估不同的矮林作業來生產生物燃料的能源效益、成本、碳吸存以及碳排放，指出其能源產出對能源投入比介於 24 至 64 倍，平均爲 30 倍，而此比例視矮林作業法及燃料材處理方法而異。聯合國糧農組織指出木材能源可以減少使用玉米、甘蔗等糧食生產的生物能源數量，能平抑糧食價格上漲(FAO,2007b)。

臺灣近年來有關森林因應京都議定書之議題漸增，探討內容包括全國性、地區性到不同樹種在不同森林經營策略下之固碳量，以及評估固碳所需成本。林裕仁等(2002)推估台灣森林之林木碳貯存量，指出全台林木之碳貯存量約有 150 百萬公噸，每年約可吸收 4.56 百萬公噸的二氧化碳，每公頃平均碳貯存量爲 71.68 公噸。李國忠等(2004)以台大實驗林爲例，應用林木生長模式，探討林分維持現況、伐採後不造林、伐採後再造林及考慮林木利用率之碳吸存潛力，研究結果顯示適當的林分經營對人工林碳吸存量有正面助益。吳俊賢等(2005)指出，銀合

歡、桉樹、相思樹等之碳吸存效果與能源產出效率佳，種植以上述樹種可替代其它能源並可減少二氧化碳排放，但栽植面積及地點則為能源作物推廣的關鍵。然而，國內目前尚未有針對不同森林減碳策略進行整合性之森林經營規劃研究。

參、國有林林木經營區因應減碳之經營模型建構

本研究擬建構國有林林木經營區因應減碳之最適規劃，而首先蒐集各林管處之森林經營計畫書，藉以瞭解國有林林木經營區內之人工林主要樹種、齡級、面積及蓄積等資料，並整理建構。第二，蒐集目標規劃法相關文獻，並規劃林木經營區之經營目標及其目標值。第三，蒐集有關碳吸存量及林木經營之相關文獻，設定林分生長、林分生長與二氧化碳轉換、林木疏伐與伐採及造林等成本及疏伐與伐採對土壤沖蝕影響等相關文獻，建置函數與限制條件所需之模型係數。

一、 國有林林木經營區之樹種及其面積與蓄積

依據林務局全臺灣八個林區管理處之森林經營計畫書資料顯示，國有林林木經營區人工林總計 103,455.9 公頃，其中針葉樹種有 50,095.64 公頃，闊葉樹種有 53,360.48 公頃，各分別佔 48.42% 及 51.58%。本研究即依照以下二原則，即 1. 面積大於林木經營區總面積 1% 及 2. 主要之珍貴或能源樹種，將各林區管理處之林況資料依樹種別加以整理，未符合以上原則的零星樹種則予合併以再他樹種項目。茲將所列之主要樹種區分為針葉及闊葉樹種，分述於以下各小節，有關各樹種各齡級之面積與蓄積量之詳細資料見附錄一中之表格一至表格六。

(一) 針葉樹種

如表 3-1 所示，主要針葉樹種中，柳杉的面積最多，有 25128 公頃，佔國有林林木經營區之人工林面積的 24.3%，其次分別為杉木與紅檜，各有 7560 公頃及 7227 公頃，分別各佔約 7%。其餘針葉樹種的面積均佔人工林面積的 3% 以下，其中香杉有 2855 公頃，台灣杉有 2554 公頃，肖楠有 2019 公頃，二葉松有 868 公頃、扁柏有 783 公頃，其他針葉樹種合計 1102 公頃。

在針葉樹種蓄積量方面，亦以柳杉佔最多，有 4,390,648m³，其次為杉木，有 1,200,884 m³，第三為紅檜，有 420,735 m³，其餘依序為其他針葉樹種，有 250,127 m³，香杉 235,279 m³，台灣杉 154,055 m³，二葉松 100,011 m³，扁柏為 94,137 m³，肖楠為 33,991m³。每工頃平均蓄積量則以其它針葉樹種最高，以 226.98m³/ha，柳杉次之，為 174.73 m³/ha，第三是杉木，有 158.85 m³/ha，再次之為扁柏，有 120.25 m³/ha，二葉松有 115.28 m³/ha，香杉有 82.41 m³/ha，台灣杉有 60.33 m³/ha，紅檜有 58.21 m³/ha，肖楠最低，僅 16.84 m³/ha。

表 3-1、國有林林木經營區主要針葉樹種之面積與蓄積

樹種	面積 (ha)	面積百 分比(%)	蓄積量 (m ³)	蓄積百分比 (%)	每公頃平均蓄積量 (m ³ /ha)
柳杉	25128.38	24.29	4390648	39.30	174.73
杉木	7559.79	7.31	1200884	10.75	158.85
紅檜	7227.41	6.99	420735	3.77	58.21
香杉	2854.86	2.76	235279	2.11	82.41
台灣杉	2553.54	2.47	154055	1.38	60.33
肖楠	2019.06	1.95	33991	0.30	16.84
二葉松	867.55	0.84	100011	0.90	115.28
扁柏	782.87	0.76	94137	0.84	120.25
其它	1102	1.07	250127	2.24	226.98
合計	50095.46	48.42	6879867	61.58	

資料來源：整理自各林區管理處之經營計畫書。

(二) 闊葉樹種

如表 3-2 所示，主要的闊葉樹種中，合併多項樹種的其他闊葉樹的面積最多，有 18,496.57 公頃，佔國有林林木經營區人工林的 17.88%，相思樹次之，有 6,831.26 公頃，佔的 6.6%，櫟類更次之，有 6,360.81 公頃，佔 6.15%，楠木類有 5,873.48 公頃，佔 5.68%，光臘樹有 3,151.17 公頃，佔 3.05%。其餘闊葉樹種之面積均在國有林林木經營區的人工林面積之 3% 以下，檫木有 2,841.66 公頃、楓香 2,229.13 公頃、泡桐 1,796.98 公頃、樟樹 1673.61 公頃、油桐 1023.29 公頃、銀合歡 744.3 公頃，其餘合計 2,339.22 公頃。

在闊葉樹之蓄積量方面，總蓄積量最高的亦是合併的其它闊葉樹，有 1,902,800m³，其次為楠木類的 800,778m³，第三是相思樹的 468,265 m³，接著是檫木的 202,171 m³，其餘闊葉樹種如其它類闊葉樹、樟樹、光臘樹、楓香、泡桐及樟樹之蓄積量都在 150,000 至 200,000 m³ 間，油桐、銀合歡及櫟類則在 100000 m³ 以下。每公頃平均蓄積量最多的則是楠木類，有 136.34m³/ha，其它闊有 102.88 m³/ha，泡桐有 97.98 m³/ha，樟樹有 97.23 m³/ha，油桐有 88.52 m³/ha，其它闊葉樹種有 71.79 m³/ha，檫木有 71.15 m³/ha，相思樹有 68.55 m³/ha，楓香有 64.09 m³/ha，光臘樹、銀合歡及櫟類的單位面積蓄積量均偏低，分別只有 48.65 m³/ha，18.65 m³/ha 及 1.81 m³/ha。

表 3-2、國有林林木經營區主要闊葉樹種之面積與蓄積

樹種	面積 (ha)	百分比 (%)	蓄積量 (m ³)	蓄積百分比 (%)	每公頃平均蓄積量 (m ³ /ha)
其它闊	18495.57	17.88	1902800	17.03	102.88
相思樹	6831.26	6.60	468265	4.19	68.55
櫟類	6360.81	6.15	11482	0.10	1.81
楠木類	5873.48	5.68	800778	7.17	136.34
光臘樹	3151.17	3.05	153298	1.37	48.65
櫟木	2841.66	2.75	202171	1.81	71.15
楓香	2229.13	2.15	142869	1.28	64.09
泡桐	1796.98	1.74	176072	1.58	97.98
樟樹	1673.61	1.62	162718	1.46	97.23
油桐	1023.29	0.99	90584	0.81	88.52
銀合歡	744.30	0.72	13880	0.12	18.65
其它	2339.22	2.26	167937	1.50	71.79
合計	53360.48	51.58	4292854	38.42	

資料來源：整理自各林區管理處之經營計畫。

二、多目標規劃及其方法

(一) 目標規劃法之介紹

繼 1947 年 G. B. Dantzing 提出單體法求解線性規劃(linear programming)問題後，線線規劃在理論及應用上漸趨成熟，是農業、工業、交通運輸、軍事、經濟規劃和管理決策等領域從事科學管理的重要手段之一。然而，一個問題常有若干考慮目標及其限制，A. Charns 和 W. W. Cooper 於 1961 年提出目標規劃(goal programming)，Y. Ijiri 並以優先因子處理多目標問題發展之(錢頌迪等，1992)。

目標規劃法有別於線性規劃法，乃求出理想解(ideal solution)以盡量滿足多個目標，而不會因為目標之間具有關連性而顧此失彼。早期林業即已應用目標規劃法規劃適當的森林經營方案。Mendoza et al.(2006)回顧近二十年來應用多準則決策分析討論自然資源管理之文獻，其整理的內容即包含林業利用目標規劃法探討森林相關議題的篇數、議題、目標函數設定及限制式設定。最新的目標規劃法技術則由 Chang(2007)提出，其指出過去的目標規劃法如字典式排序目標規劃法(Lexicographic goal programming, LGP)、權重目標規劃法(Weighted goal programming, WGP)、望大目標規劃法(minmax goal programming, minamx GP)及模糊目標規劃法(fuzzy goal programming, FGP)等方式均未考量目標值的設定亦有層級性(aspiration)的問題，遂提出多選擇目標規劃(multi-choice goal programming, MCGP)法，使經營規劃者亦能設定不同的目標層級以滿足其經營目的。

(二) 因應減碳之多目標規劃模型建構

本研究係應用多目標規劃技術，探討在不同規劃目標下如何利用疏伐、伐採與造林等林木經營策略有效達成國有林林木經營區人工林之減碳經及其他應營目標。本研究係以 20 年為經營期，並分別以 5 年為 1 期，共 4 期，規劃經營林木經營區之人工林經營方案。

本研究的多目標規劃模型的建構包含兩個步驟，一為設定不同林木經營的規劃目標及其目標值；第二為建構限制條件，包括疏伐及伐採的面積與材積控制。

1. 模擬方案及目標設定

本研究擬利用疏伐、伐採及伐採後再造林三種森林經營策略的不同組合，配合在碳吸存最大化方案、多目標基礎方案及多目標進階方案三種規劃目標內涵及其目標值，再與未加經營的基線方案方案比較，探討不同經營目標對碳吸存量、林木生產量、工作機會及土壤沖蝕之差別；進而比較在不同的碳吸存、林木生產、就業機會和控制土壤沖蝕的經營目標下，國有林林木經營在達成不同減碳量的可行方案。

如表 3-3 所示，基線方案乃不對林木經營區進行任何經營措施，任其自然生長，藉此模擬林木經營區 20 年後之生長與其蓄積變化以及二氧化碳之吸存量。碳吸存最大化經營方案係透過疏伐、伐採及伐採後再造林等經營措施，促使二氧化碳吸存量增加並達到最大化之目的。多目標基礎方案規劃三項目標，即二氧化碳吸存、木材生產與就業機會，並與基礎方案比較以獲得森林實行經營措施後所增加之三項目標值，並以此方案下所造成之土壤沖蝕增量作為基礎。多目標進階方案則相較於多目標基礎案提高 10% 之二氧化碳吸存量，其餘木材生產、就業機會及土壤沖蝕增量減少 5%，藉此方案來降低森林經營時對環境所造成的影響。

表 3-3、不同規劃方案與目標

規劃方案	規劃目標及其限制條件
1. 基線方案	不進行任何經營，20 年後「自然」增加之碳吸存量
2. 碳吸存最大化方案	以碳吸存最大化為唯一規劃目標
3. 多目標基礎方案	二氧化碳吸存量不低於基線方案，林木生產量不超過 400 萬立方公尺同時考量碳吸存、木材生產及就業機會三項目標，並估計其土壤沖蝕增量
4 多目標進階方案	將碳吸存目標較多目標基礎方案提升 10%，木材生產、就業機會及土壤沖蝕增量三項目標較多目標基礎方案減少 5%

2. 目標函數及限制式之設定

由於所蒐集之人工林資料有區分不同之齡級，因此需依照不同之齡級進行適當之森林經營作業，以建構適當之目標函數與限制式。本研究首先依照伐期齡區分不同經營作業方式之人工林區，將其分為未屆伐期齡之疏伐區與逾伐期齡之伐採區，而逾伐期齡之林區在進行伐採後，隨即進行再造林作業。此外，本研究亦利用面積規整與材積規整作為限制條件，在 20 年，共 4 個經營期內，限制各期疏伐與逾伐期齡林區之面積與材積。茲將目標函數式及限制式之設定條件臚列如下。

(1) 目標函數

a. 碳吸存量目標

碳吸存量目標的組成來源有三，一為林木未疏伐時，林木生長帶來之二氧化碳吸存量，二為疏伐後，林木加速生長帶來之二氧化碳吸存量，三為再造林後，幼齡林生長之二氧化碳吸存量，而再造林之樹種可選擇碳吸存能力較高之樹種造林之。

b. 林木收穫量目標

林木收穫目標也由兩個部分組成，一為疏伐木收穫，二為逾伐期齡林木之伐採收穫。在林木收穫限制方面，係伐採部分面積之疏伐木與逾伐期齡林木後，將

兩者之收穫量加總而得，其組成係由本研究蒐集之不同樹種之生長函數所組成。

c. 林業部門就業機會目標

林業部門就業機會目標係以疏伐、伐採及再造林每公頃獲每立方尺所需之工資計算其每年的勞動報酬，再以 2004 年的產業關聯表計算相當之每年就業機會表。

(2) 限制函數

a 疏伐及逾伐期齡林木之伐採面積限制

本研究利用收穫規整之概念，疏伐及逾伐期齡林木伐採面積限制，系將各期疏伐面積與逾伐期齡林木之伐採面積相等。然而有放寬疏伐與伐採面積限制之必要，則可依照需求，每期容許放寬原來上下 10% 之疏伐與伐採面積。最後，各期疏伐面積總和不得超過原來欲疏伐林木之總面積，逾伐期齡林木各期之伐採面積總和亦不得超過原來之逾伐期齡林木面積。

b 疏伐及逾伐期齡林木之伐採量限制

在疏伐及逾伐期齡林木之伐採材積限制，本研究亦利用收穫規整之概念，將各期疏伐量與逾伐期齡林木酌量放寬各期伐採量的總和後為相等。相同的，在實際操作時上下 10% 的材積量。最後，各期之疏伐量不得超過當期疏伐林分之蓄積量，伐採量則不得超過逾伐期齡林木之蓄積量。

c 再造林面積限制

逾伐期齡林木部分面積進行伐採後，隨即需進行再造林作業，再造林之面積不得超過逾伐期齡林木之伐採面積。

三、目標規劃模型之目標值設定

(一) 二氧化碳吸存量

本研究欲瞭解臺灣森林每年可吸存之二氧化碳量，藉以建立本研究所需之碳吸存量目標值。本研究共蒐集四篇國內估算全台森林二氧化碳吸存量之研究，均採用 IPCC 法估算，整理後如表 3-4 所示。表中可見，王立志（1996）、楊榮啓等（1998）及馮豐隆(2000)三位學者估計每年之二氧化碳吸存量分別為 17.38、21.87 及 18.45 百萬公噸，然而，楊盛行(1997)估計之二氧化碳吸存量卻高達 96.33 百萬公噸。本研究推測，造成此差異的主要原因為楊盛行(1997)引用之第三次台灣森林資源及土地利用調查資料中，森林蓄積量及森林面積皆高於其他文獻所引用之資料。在蓄積量方面較第二次森林資源調查的蓄積多 1,109.87 百萬立方公尺，而面積亦多出 23 萬公頃，致使其推估出較高之二氧化碳吸存量。

由於本研究範圍為國有林林木經營區，其總面積為 84,178.26 公頃，但因國內研究方面無相關碳吸存研究資料，為了解國有林林木經營區二氧化碳吸存量，因此，在假設不經營的情況下透過本研究中建構之模式估算 20 年後二氧化碳吸存量作為對照組，提供目標值設定時之依據。

表 3-4 全國二氧化碳吸存總量估計

單位：百萬公噸/年

參考文獻	全國二氧化碳吸存總量估計
楊盛行（1997）	96.33
楊榮啓等（1998）	21.87
馮豐隆(2000)	18.45
王立志（1996）	17.38

(二) 林木伐採量

本研究整理臺灣地區森林主產物伐採資料，以期瞭解近年來臺灣之林木生產量。由表 5 可見，臺灣自 1998 年至 2007 年，每年全國之伐採面積以 2003 年最多，為 738.67 公頃，2007 年最低，為 325.57 公頃；在伐採量部分，以 2000 年為最低，有 35179.47m³，2004 年最高，有 70801.28m³。從 1998 年以降，臺灣每年平均伐採量為 58378.09m³，平均伐採面積為 536.79 公頃。

由伐採量與伐採面積計算出之平均每公頃伐採量可反應出伐採林地之蓄積狀況。表 3-5 可見，各年伐採林地每公頃平均蓄積量皆在每公頃 100m³ 上下，從 1998 年至 2007 年，僅 2007 年高達 206m³ 每公頃伐採量為 114.02 m³/ha。雖然台灣每年林木伐採量不到六萬立方公尺，但依據台灣森林經營管理方案規定，每年度林木伐採量，以不超過二十萬立方公尺為原則，故應可以此規定作為林木伐採的上限。

表 3-5、近年全國林木伐採量及面積

	伐採量 (m ³)	面積 (ha)	平均每公頃伐採量 (m ³ /ha)
1998	49528.57	457.69	108.21
1999	42944.67	392.93	109.29
2000	35179.47	631.78	55.68
2001	47859.01	405.41	118.05
2002	61059.67	623.85	97.88
2003	85542.13	738.67	115.81
2004	70801.28	704.83	100.45
2005	60058.15	499.93	120.13
2006	63596.06	587.22	108.30
2007	67211.89	325.57	206.44
平均	58378.09	536.79	114.02

(三) 就業機會

就業機會之估計，依據行政院主計處公布之 2004 年產業關聯統計表顯示，林產部門之國內生產總值為 3185 百萬元，其中勞動報酬為 2096 百萬元，亦即每一元之國內生產總值內含 0.658 元之工資支出。若以工業部門每人平均月薪 40,868 元計算，林業部門的 2096 百萬元勞動報酬，表示每年可提供 4273.92 個工作機會。而本研究設定擬透過林木經營作業增加約兩成的森林部門就業機會，即每年約增加 1100 個就業機會。

四、規劃模型技術係數之建置

(一) 主要樹種收穫表及收穫模式

國內用以預測林木生長收穫之之林木收穫表及收穫模式不多。本研究在收穫表方面所蒐集的資料如下，日治時期有殖產局(1922)編定「臺灣主要林木生長量調查書」，內容包含相思樹、赤松及廣葉杉等收穫表。近年編列之收穫表中，針葉樹種有楊榮啓(1976)年編定之柳杉收穫表、黃昆崗(1970)編定之二葉松收穫表、黃溪旺(1968)年編定之琉球松收穫表及劉慎孝等(1964)編定之杉木收穫表，闊葉樹則僅有劉慎孝等(1968)編定之相思樹收穫表。在收穫模式方面，有楊榮啓(1976)及高強(1982)建立柳杉收穫模式，劉浚明、鍾旭和(1993)則建立台灣杉收穫模式。茲將本研究所需樹種之不同齡級收穫，利用收穫表及收穫模式將其列於表 3-6。

表 36、台灣主要樹種生長收穫表 單位 m³/ha

齡級	柳杉	台灣杉	二葉松	杉木	相思樹
5		4.968226			19.93192
10	73.209	118.0891	42.96667	122.2066	60.59005
15	163.6864	248.4931	108.3	211.1308	116.1052
20	281.9508	336.8099	193.7333	307.09	184.1847
25	407.787	394.4507	292.9333	372.693	263.4493
30	531.9902	433.3643	382.8	421.6914	352.9424
35	647.5369	460.735	448.5	464.3143	451.9459
40	750.4192	480.7115	496.2333	501.685	559.8937
45	839.3189	495.7567	531.7667		676.3231
50	914.7153	507.3913	557.0333		800.8464
55	978.0214	516.5911			933.132
60	1030.977	524.0049			1072.892
65	1075.3	530.0773			1219.872

資料來源：整理自殖產局(1922)、楊榮啓(1976)、黃昆崗(1970)、劉慎孝等(1964)、楊榮啓(1976)、高強(1982)、劉浚明及鍾旭和(1993)文獻。

(二) 主要樹種之材積及碳轉換係數

1. 幹材材積與全株材積之轉換係數

一般全株材積約為幹材材積之 1.3 至 2.0 倍，平均數值為 1.65(Brown et al., 1986; Sedjo, 1989; Winjum et al., 1998)，但同一樹種會因林齡差異而有不同之轉換係數。在針葉樹部分，本研究蒐集的文獻分析結果如表 3-7 所示。柳杉有李訓煌(1978)、游漢明(1981)等人進行研究，杉木則有洪富文等人(1985)、秦建華和姜志林(1996)、羅天祥和趙士洞(1997)進行研究，紅檜與台灣杉則有李國忠等(2004)研究。柳杉之全株材積對幹材材積轉換係數約為 1.6633，杉木為 1.6807，紅檜與台灣杉為 1.65，平均而言，針葉樹之轉換係數為 1.66，亦即若有 1m^3 的針葉樹幹材一株相當此針葉樹全株材積為 1.66m^3 。至於闊葉樹部分，本研究採用李宣德、馮豐隆(2008)利用樟樹做成枝葉在全株生物量所佔比例之迴歸式，再依地下部利用根生物量在全株生物量所佔的比例計算，得樟樹幹材%轉換成材積的係數為 1.67。

表 3-7、針闊葉樹種之幹材材積與全株材積之轉換係數

針葉樹種	係數	闊葉樹種	係數
柳杉	1.6633	樟樹	1.67
杉木	1.6807		
紅檜	1.65		
台灣杉	1.65		
平均值	1.661	平均值	1.67

資料來源：整理自李訓煌(1978)、游漢明(1981)、洪富文等 (1985)、秦建華和姜志林(1996)、羅天祥和趙士洞(1997)、李國忠等(2004) 文獻、李宣德和馮豐隆(2008)。

2.重量與材積之轉換係數

在材積對重量與材積之轉換係數一及木材比重的相關研究上，以馬子斌(1992)對台灣的重要商用木材的比重為參考，可得知柳杉 0.302，杉木 0.35，台灣檫 0.687，相思樹 0.664，光臘樹 0.671 等轉換係數。詳見表 3-8。從此表可見針葉樹之轉換係數的平均值為 0.365，闊葉樹之平均值為 0.535。以上係數表示，1 m³ 的平均針葉樹相當於 0.365 公噸重，而 1 m³ 的平均闊葉樹材積相當於 0.535 公噸重。

表 3-8、針闊葉樹種重量與材積之轉換係數

針葉樹種	係數	闊葉樹種	係數
柳杉	0.302	光臘樹	0.671
杉木	0.35	銀合歡	0.258
肖楠	0.444	樟樹	0.395
		台灣檫	0.687
		相思樹	0.664
平均值	0.3653	平均值	0.535

資料來源：整理自馬子斌(1992) 文獻。

3.碳轉換係數

不同樹種的重量對碳的轉換係數一般係以元素分析儀測定該樹種的木材元素在計算得之，但由於測定之木材部位而有些微差異。例如林俊成、李國忠及林裕仁(1999)採用邊材部分測定。林裕仁、劉瓊霖及林俊成(2002)為避免所測得之碳含量值過大，則採取心材測定，而不採用邊材或枝條。李意德等(1998)則特別針對不同部位分析其之碳含量。林裕仁、李國忠、林俊成(2002)、林俊成、鄭美如等(2002)以及吳俊賢、林俊成、李國忠等(2005)則沒有區分木材部位，僅說明其以取得之樣本分析之。本研究將上述文獻之碳轉換係數值整理後，將數據列於表 3-9。

表 3-9、針闊葉樹種之碳轉換係數

針葉樹種	碳轉換係數	闊葉樹種	碳轉換係數
柳杉	0.4974	樟樹	0.47
杉木	0.4832	相思樹	0.4719
紅檜	0.4864	光臘樹	0.4683
扁柏	0.4822	銀合歡	0.485
二葉松	0.4704	臺灣櫟	0.4766
台灣杉	0.4832		
肖楠	0.4857		

資料來源：整理自李意德等(1998)、林裕仁等(2002)、林俊成等(2002)、吳俊賢等(2005)文獻。

有林裕仁、劉瓊霖及林俊成(2002)、李意德等(1998)及林俊成、鄭美如等(2002)均曾估算過柳杉木材重量對碳的轉換係數，依據以上其研究，獲得之柳杉的碳轉換係數分別為 0.4903、0.5044 及 0.4903，平均為 0.4974。林俊成、鄭美如等(2002)亦針對其餘針葉樹種進行測定，杉木之碳轉換係數為 0.4832，紅檜 0.4864，扁柏 0.4822，二葉松 0.4704，台灣杉 0.4832，肖楠 0.4857。

本研究蒐集林裕仁、李國忠、林俊成(2002)、林俊成、李國忠及林裕仁(1999)及吳俊賢、林俊成等(2005)等人對闊葉樹種碳轉換係數為研究，其中樟樹之碳轉換係數為 0.47，光臘樹為 0.4683，台灣櫟為 0.4766，銀合歡為 0.485。此外，相思樹碳轉換係數依據林俊成、李國忠等(2005)及林裕仁、李國忠、林俊成(2002)之測定，分別為 0.472 及 0.4717，其平均值為 0.4719。

總體而言，針葉樹種之碳轉換係數平均值為 0.4841，闊葉樹之碳轉換係數平均值為 0.4744，亦即針葉樹重量 1 公噸含碳量約 0.4841 噸。闊葉樹種重量 1 公噸含碳量約 0.4744 噸。

(三) 不同齡級與樹種之碳吸存量

在推估林木二氧化碳吸存量之相關研究中，多採用 IPCC 提出之二氧化碳吸存轉換公式估算之。公式如下所示，此公式係將林木材積乘以木材比重求出林木生物量，再利用林木生物量乘以二氧化碳含量轉換係數求出所能吸存之二氧化碳吸存量。

$$W_E = V_{\text{stem/ha}} \times V_{\text{whole/stem}} \times W_0/V_g \text{-----}(3.1)$$

$$C_{\text{plant}} = W_E \times C_{\text{con}} \times (\text{CO}_2/\text{C}) \text{-----}(3.2)$$

(註： W_E ：生物量， $V_{\text{stem/ha}}$ ：每公頃林木材積， $V_{\text{whole/stem}}$ ：全株材積與幹材材積之轉換係數， W_0/V_g ：重量與材積之轉換係數， C_{plant} ：林木每公頃二氧化碳吸存量， C_{con} ：碳含量轉換係數， CO_2/C ：二氧化碳與碳轉換係數。)

本研究依照研究所需，整理林俊成、鄭美如等(2002)及柳中明等(2001)之研究資料，分析針葉、闊葉樹種在 0 至 6 年、7 至 10 年、11 至 15 年及 16 至 20 年生各齡級之二氧化碳吸存量、二氧化碳吸存總量及各期二氧化碳吸存變動量於附錄二。

由附錄二知，針葉樹種中，6 年生幼齡林之二氧化碳吸存量以柳杉最高，每公頃有 40.04 公噸，次之為肖楠之 29.46 公噸，其餘如杉木、台灣杉與紅檜則在每公頃 20 公噸上下。然而，隨著林齡增加，各樹種在不同齡級之二氧化碳吸存量亦有差異。以肖楠為例，肖楠幼齡林之二氧化碳吸存量不高，但其在 7 至 10 年生齡級每公頃之二氧化碳吸存量有 70.44 公噸，為前期之 2.39 倍；11 至 15 年生林齡之二氧化碳吸存量最高，有 91.81 公噸，為前期之 1.3 倍；而 16 至 20 年生林齡之二氧化碳吸存量則降至每公頃 57.37 公噸，僅為前期之 0.62 倍。由上述不同齡級二氧化碳吸存變動量之計算，本研究可以此作為不同樹種前後期齡級之二氧化碳吸存量係數，藉以推估經營期內可得之二氧化碳吸存量。整體而言，當林木生長至 20 年時，肖楠是所能吸存之二氧化碳最高，有 249.08 公噸，次之為柳杉的 122.1 公噸，第三為杉木之 112.35 公噸，第四為紅檜之 75 公噸，最後為

台灣杉之 73 公噸。

闊葉樹種之二氧化碳吸存能力平均而言較針葉樹種佳，如附錄二可知，除了樟樹與臺灣欖 6 年生幼齡林之二氧化碳吸存能力每公頃不到 50 公噸外，其餘如欖木、相思樹、楓香及光臘樹每公頃之二氧化碳吸存量都在 90 公噸上下。在不同齡級二氧化碳吸存能力方面，樟樹與臺灣欖各期之二氧化碳吸存量穩定，前後期之變動量幾乎相等，其餘樹種如欖木、相思樹等之二氧化碳吸存量則有隨齡級高低起伏之情形。整體而言，20 年生之闊葉樹種中，相思樹之二氧化碳吸存能力最高，每公頃有 380.31 公噸，次之為光臘樹之 345.11 公噸，更次之為欖木之 311.05 公噸，第四為樟樹之 186.28 公噸，第五為楓香之 168.41 公噸，最後為臺灣欖之 112 公噸。

由此顯示，如欲在 20 年之經營期內利用再造林吸存大氣中之二氧化碳，則針葉樹種中以肖楠為首選，闊葉樹種則以相思樹為最佳；但如欲在 6 年經營期內就達到較高之二氧化碳吸存量，針葉樹種則應選擇柳杉進行再造林為最佳，闊葉樹種則選擇光臘樹、欖木或相思樹均可。

(四) 伐採成本、效率及再造林成本

1. 伐採成本

鄭欽龍、王德春(1992)依不同作業年度，計算出每公頃工資分別是 20,451 元、19,127 元、26,496 元等共六個作業年度，得知每公頃之平均伐採成本為 19844 元。本研究根據近期鄭欽龍、施友元(2006)之研究，平均計算出伐採成本為 1500 元/m³。

2. 疏伐成本

本研究蒐集相關疏採成本文獻，如李慶餘(1977)、張克成(1982)、吳學平(2001)及鄭欽龍、陳重銘及陳瑩達(2006)。其中李慶餘(1977)針對杉木人工林進行疏伐研究，指出疏伐作業所需費用會因立木地條件、工資以及油料等價格的變動而有所變化，而張克成(1982)則針對柳杉人工林疏伐木進行作業研究，同樣地，吳學平(2001)則是以新竹地區國有林的柳杉人工林為對象，探討商業性疏伐作業各項工作，並推算標準工作量與作業生產成本，本研究以近期文獻為主，鄭欽龍、陳重銘及陳瑩達(2006)利用 2001 年林務局各林區管理處的 45 筆人工林疏伐作業標案進行計量分析，建立疏伐成本計量模式，如表 3-10 所示。

表 3-10、不同疏伐強度與株樹下的疏伐成本

疏伐強度(%)	疏伐株樹(株)	每公頃疏伐成本(元/ha)
20	260	169166.4
40	520	219590.8
60	780	270015.2

資料來源：推估自鄭欽龍、陳重銘、陳瑩達(2006)

3.再造林成本及工數

如表 3-11 所示，屏東林區森林經營計畫(2005)以 2000 年為基期計算，造林作業工資依該年政府頒佈之工資為 1,172 元，可得下列之資料。依據林務局頒佈獎勵造林實施要點指出，前六年每公頃發給新植撫育費新台幣二十五萬元，另外，屏東林區森林經營計畫(2005)以 2000 年為基期計算，造林作業工資依該年政府頒佈之工資為 1,172 元，可得六年作業年度合計之工數為 188.09 工，合計工資為 220441.48 元。

表 3-11、每公頃再造林成本工數表

作業年度	工數(工/公頃)	每公頃工資(元)
第一年	86.02	100,815.44
第二年	36.78	43,106.16
第三年	20.33	23,826.76
第四年	20.22	23,697.84
第五年	12.22	14,321.84
第六年	12.52	14,673.44
合計	188.09	220,441.48

資料來源：屏東林區森林經營計畫(2005)

(五) 主要樹種價格

依照林務局木材市價資訊系統公告之價格，將近十年內主要樹種平減後之價格加以平均得到各樹種之價格，其中柳杉、杉木及肖楠包含三種規格之材價，樟樹包含兩種規格之材價，故均取其平均值。針葉樹部份以扁柏 57924.85 元/m³ 最高，其次為肖楠 48149.33 元/ m³。闊葉樹部份以欖木 22822.46 元/m³ 最高，其次為光臘樹 3680.16 元/m³。茲將各樹種之平均價格整理如下表 3-12。

表 3-12、針闊葉樹種價格

針葉樹種	價格(元/m ³)	闊葉樹種	價格(元/m ³)
柳杉	3356.24	其他闊	2369.06
杉木	3584.95	相思樹	1916.29
紅檜	45671.24	儲櫟類	2598.93
香杉	27666.91	光臘樹	3680.16
肖楠	48149.33	欖木	22822.46
二葉松	3187.93	楓香	2486.80
扁柏	57924.85	泡桐	1790.27
		樟樹	2736.12
		油桐	1509.70

(六) 生長率

1. 未疏伐之生長率

本研究經營期為五年一期，故此需要利用每五年各主要樹種材積，以建置模式中之生長率係數。柳杉、杉木、二葉松、相思樹以文獻中材積表之材積建構迴歸式，推估每五年的材積，進而估算生長率。台灣杉則使用劉浚明的台灣杉非線性收穫模式估算。另外，紅檜、肖楠、光臘樹、櫟木、樟樹及楓香則藉由文獻中二氧化碳碳吸存量建構迴歸式推估生長率。茲將各迴歸式整理如下表 3-13。

表 3-13、各主要樹種迴歸式

針葉樹種	迴歸式	引用資料
柳杉	$y = -209.17 + 31.144A - 0.1797A^2$	楊榮啓(1975)台灣大學實驗林產柳杉之生長與收穫的研究
杉木	$y = -142.59 + 33.038 A - 0.3348A^2$	劉慎孝(1969)台灣杉木林收穫表
紅檜	$y = 0.0032 + 2.6082 A + 0.0014 A^2$	李國忠(2004)台大實驗林森林生態系不同林分經營策略之碳貯存效果
台灣杉	$y = 578.6851(1 - A^{-1.5402})^{54.3344}$	劉浚明(1993)台灣杉非線性收穫模式之建立
肖楠	$y = 0.0877 + 2.1185 A + 0.0013 A^2$	李國忠(2004)台大實驗林森林生態系不同林分經營策略之碳貯存效果
二葉松	$y = -220.14 + 26.172 A - 0.2093 A^2$	黃昆崗(1970)台灣二葉松林分收穫及材積表之編製
相思樹	$y = -17.515 + 6.5991 A + 0.1549 A^2$	劉慎孝(1968)台灣中南部相思樹林分收穫表及材積表
光臘樹	$y = -86.014 + 33.742 A - 0.5995 A^2$	林俊成(2002)全民造林運動二氧化碳吸存潛力之經營策略之碳貯存效果
櫟木	$y = 5.1323 + 15.297 A - 0.00004 A^2$	林俊成(2002)全民造林運動二氧化碳吸存潛力之經營策略之碳貯存效果
楓香	$y = 52.427 + 4.9119 A + 0.0442 A^2$	林俊成(2002)全民造林運動二氧化碳吸存潛力之經營策略之碳貯存效果
樟樹	$y = -18.934 + 11.69 A - 0.0719 A^2$	林俊成(2002)全民造林運動二氧化碳吸存潛力之經營策略之碳貯存效果

註：y 表材積(m³)，A 表林齡

由上表迴歸式估算各樹種材積及二氧化碳吸存量，再利用估算後之數據計算各樹種之生長率。而二氧化碳吸存量部份，引用林俊成（2002）全民造林運動二氧化碳吸存潛力之經營策略之碳貯存效果及李國忠（2004）台大實驗林森林生態系不同林分經營策略之碳貯存效果中所估算之二氧化碳吸存量，兩篇文獻估算公式為： $C_{\text{plant}}=(N \times V_{\text{stem}}) \times V_{\text{whole/stem}} \times W_0/V_g \times C_{\text{con}}$ ； C_{plant} ：林木每公頃碳吸存量， N ：每公頃存活株數， V_{stem} ：單株材積， $V_{\text{whole/stem}}$ ：幹材材積與全株材積轉換係數(1.65)， W_0/V_g ：生材比重(0.368)， C_{con} ：重量與碳含量轉換係數(50%)。從公式可以得知主要影響 C_{plant} 為每公頃的材積($N \times V_{\text{stem}}$)其他均為轉換係數，故再帶入幾何平均式求算生長率時，轉換係數在處理過程中會消除，此時求算出的生長率即等於使用材積求算出之生長率。另外，香杉、扁柏、其他針葉樹、其他闊、櫟櫟類、楠木類、泡桐、油桐、銀合歡及其他闊葉樹因無收穫表與相關研究資料，無法建立迴歸式，因此以相近樹種替代。各主要樹種之生長率詳見附錄三。

2. 疏伐後生長率

本研究整理主要樹種在不同疏伐強度之生長率，其中柳杉資料係整理自洪良斌(1966)針對 16 年生之柳杉在實施疏伐強度為 24%(胸高斷面積保留量為 $34\text{m}^2/\text{ha}$)、28%(保留量為 $30\text{m}^2/\text{ha}$)與 31%(保留量為 $26\text{m}^2/\text{ha}$)的疏伐後，其林分生長之研究結果而成，本研究再利用此既有資料以外插法推算得到如表 3-4-10 上各疏伐率之林分生長率。紅檜資料係整理羅卓振南等人(1987)於六龜地區針對 22 年生之紅檜人工林疏伐研究之結果而成，本研究利用其既有疏伐 10% (弱度疏伐，保留量為 $34\text{m}^2/\text{ha}$)、18%(中度疏伐，保留量為 $29\text{m}^2/\text{ha}$)與 31%(強度疏伐，保留量為 $24\text{m}^2/\text{ha}$)後之生長率，以外插法推算得出表 3-4-10 上實施各疏伐率後之生長率。臺灣杉資料係整理自劉浚明在林業試驗所六龜之台灣杉人工林中，針對臺灣杉疏伐強度對生長影響之研究結果，本研究利用其保留胸高斷積為 $33\text{m}^2/\text{ha}$ (疏伐強度約為 22%)與保留胸高斷面積為 $28\text{m}^2/\text{ha}$ (疏伐強度約為 33%)之既有資料，以外插法推算得出表 3-14 上實施各疏伐率後之生長率。

表 3-14、疏伐後每年平均生長率

樹種	疏伐強度		
	20%	40%	60%
柳杉	0.0840	0.1306	0.1795
杉木	0.0840	0.1306	0.1795
紅檜	0.0769	0.0847	0.0925
香杉	0.0147	0.0176	0.0201
台灣杉	0.0981	0.1082	0.1183
肖楠	0.0769	0.0847	0.0925
二葉松	0.0840	0.1306	0.1795
扁柏	0.0769	0.0847	0.0925
其他針葉樹	0.0981	0.1082	0.1183

註：缺乏生長率的樹種以伐期齡相近之樹種代替，如：柳杉代替杉木與二葉松，紅檜代替扁柏與肖楠，台灣杉代替香杉與其他針葉樹。

(七) 土壤沖蝕增量

陳明杰(2007)整理前人於泰國所做的實驗，其針對 41 場暴雨，總降雨量達 1128mm 的情況下，觀測不同樹冠層比率的林地地表逕流量和土壤沖蝕量的結果。由陳明杰(2007)之資料可知，樹冠層覆蓋率愈低，將使林地土壤沖蝕量愈高；反之，則土壤沖蝕量將愈低，意即疏伐強度愈強，土壤沖蝕的情況將越高。本研究擬探討不同疏伐強度相較於未疏伐時之土壤沖蝕增量，但林地即使在不經營的狀態下仍會有土壤自然流失量，故以陳明杰(2007)文中最低覆蓋率之土壤流失量視為未進行疏伐或伐採狀態下之土壤自然流失量，計算不同疏伐強度之土壤沖蝕增量，各疏伐強度之增量如表 3-15 所示。

表 3-15、不同疏伐下的土壤沖蝕增量

疏伐強度	土壤沖蝕增量(t/ha)
皆伐	0.3677
強度	0.2272
中度	0.1718
弱度	0.0875

資料來源：整理自陳明杰(2007)

肆、因應減碳之林木經營區最適經營規劃

一、林木經營區面積與蓄積資料彙整

從前述第參章第六節之生長率得知，生長率係數係由每五年各主要樹種材積或二氧化碳吸存量求得，但其中香杉、扁柏、其他針葉樹、其他闊、櫟類、楠木類、泡桐、油桐、銀合歡及其他闊葉樹因無收穫表與二氧化碳吸存相關研究資料，因此以相近樹種替代，並依照各樹種之伐期齡為替代標準，將伐期齡相近樹種作替換如下表 4-1 所示。

表 4-1 針葉樹及闊葉樹樹種替代

針葉樹		闊葉樹	
原樹種	替代樹種	原樹種	替代樹種
香杉(80) 、其他(60)	台灣杉(60)	其它闊(40)、櫟類 (60)、楠木類(60)、 其它(40)	櫟木(60)
扁柏(150)	紅檜(150)	泡桐(20)、油桐 (20)、銀合歡(20)	相思樹(30)

註：() 為伐期齡，泡桐、油桐及銀合歡以相思樹生長率乘上 1.1 替代

（一）各針闊葉樹種林況

經由上一節樹種替代後，再將因替代後相同生長係數之樹種合併，合併項目包含樹種面積及單位面積蓄積量。因此合併後樹種項目變為十二項，分別為柳杉、杉木、紅檜、台灣杉、肖楠、二葉松、相思樹、光臘樹、檫木、楓香、樟樹及銀合歡。其中紅檜項目包含紅檜與扁柏，台灣杉項目包含台灣杉、香杉及其他，檫木項目包含檫木、其他闊、其他、槲櫟類及楠木類，銀合歡項目包含銀合歡、泡桐及油桐。另外，林齡 51 以上因林木生長減緩，其生長率變化不大，故此將齡級合併。齡級 51~60 與 61~70 合併為齡級 51~70，71~80 與 81~90 合併為齡級 71~90。故合併後變為 7 個齡級。茲將上述各樹種資料及其進行疏伐或伐採之齡級整理如下表 4-2、4-3 及 4-4 所示。

表 4-2、合併後針闊葉樹種各齡級面積

樹種\齡級	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~70	71~90	合計
柳杉	232.74	3495.84	10909.66	6155.74	1955.77	2145.01	204.34	25099.09
杉木	118.47	1376.04	2805.45	2348.29	682.28	35.85	51.68	7418.06
紅檜	1625.18	3139.84	1841.13	388.4	199.75	326.3	476.74	7997.35
台灣杉	1362.4	2860.99	1310.54	446.96	206.44	69.42	94.98	6351.71
肖楠	1339.85	420.51	117.87	52.58	41.62	39.78	0	2012.21
二葉松	13.27	139.41	466.79	226.52	0.33	6.02	0	852.34
針葉合計	4691.91	11432.63	17451.44	9618.49	3086.2	2622.38	827.73	49730.77
相思樹	889.77	1254.88	2801.28	922.69	698.16	187.47	25.84	6780.09
光蠟樹	1103.93	673.77	730.34	471.45	171.52	0	0.16	3151.17
欖木	3806.55	5481.64	3151.05	1620.57	588.04	476.28	2133.58	17257.71
楓香	66.62	908.94	1155.37	50.32	1.23	0	1.09	2183.57
樟樹	171.37	369.9	326.37	105.27	397.01	283.39	3.27	1656.58
銀合歡	169.34	1701.93	946.76	571.47	18.12	0.86	9.89	3418.37
闊葉合計	6207.58	10391.06	9111.17	3741.77	1874.08	948	2173.83	34447.49
總計	10899.49	21823.69	26562.61	13360.26	4960.27	3570.38	3001.57	84178.25

註：—— 表示疏伐，--- 表示伐採。

表 4-3、合併後針闊葉樹種各齡級蓄積量

樹種齡級	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~70	71~90	合計
柳杉	2426	405100	1684084	1382064	368422	493783	50219	4386098
杉木	1536	135074	423446	459136	126594	6386	8384	1160556
紅檜	15227	145931	168095	49107	27959	58550	43680	508549
台灣杉	34738	161776	201842	57713	34614	14457	6206	511346
肖楠	1330	10855	14635	2920	2920	1221	0	33881
二葉松	4605	11716	49366	24850	57	450	0	91044
針葉合計	59862	870452	2541468	1975790	560566	574847	108489	6691474
相思樹	8094	73013	177004	80559	94528	26530	2283	462011
光蠟樹	6267	32295	42195	51124	21409	0	0	153290
櫟木	224707	461110	225292	227699	54346	61154	185339	1439647
楓香	9416	34050	86045	3516	0	0	171	133198
樟樹	941	20225	24559	17547	51272	27518	358	142420
銀合歡	2126	93031	104566	66207	1632	108	34	267704
闊葉合計	251551	713724	659661	446652	223187	115310	188185	2598270
總計	311413	1584176	3201129	2422442	783753	690157	296674	9289744

表 4-4、合併後針闊葉樹種各齡級之單位面積蓄積量

樹種齡級	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~70	71~90	合計
柳杉	10.42	115.88	154.37	224.52	188.38	230.2	245.77	1169.53
杉木	12.97	98.16	150.94	195.52	185.55	178.14	162.23	983.5
紅檜	9.37	46.48	91.3	126.43	139.97	179.43	91.62	684.61
台灣杉	25.5	56.55	154.01	129.12	167.67	208.26	65.34	806.45
肖楠	0.99	25.81	124.16	55.53	70.16	30.69	0	307.35
二葉松	347.02	84.04	105.76	109.7	172.73	74.75	0	894
針葉合計	406.27	426.92	780.54	840.83	924.44	901.47	564.96	4845.44
相思樹	9.1	58.18	63.19	87.31	135.4	141.52	88.35	583.05
光蠟樹	5.68	47.93	57.77	108.44	124.82	0	0	344.64
欖木	59.03	84.12	71.5	140.51	92.42	128.4	86.87	662.85
楓香	141.34	37.46	74.47	69.87	0	0	156.88	480.02
樟樹	5.49	54.68	75.25	166.69	129.15	97.1	109.48	637.84
銀合歡	12.55	54.66	110.45	115.85	90.07	125.58	3.44	512.6
闊葉合計	233.19	337.03	452.63	688.67	571.86	492.6	445.02	3221
總計	1035.31	1074.99	1859.34	2145.8	2232.38	2065.34	1329.17	11742.35

(二) 初始年二氧化碳吸存總量

本研究利用國有林林木經營區主要樹種蓄積統計資料，將針葉樹及闊葉樹之蓄積量乘以幹材材積與全株材積轉換係數、重量與材積之轉換係數及碳轉換係數求算各樹種初始年固碳量，再利用二氧化碳與碳之分子量比例 44/12 換算初始年之二氧化碳固定量。茲將各主要樹種初始年固碳量及二氧化碳固定量整理如下表 4-5 所示。

從下表可見，針葉樹種初始年總固碳量為 1841165 公噸，二氧化碳固定總量為 675093 公噸。在二氧化碳固定總量方面，含針葉樹 6750938 公噸及闊葉樹 3441351 公噸。

表 4-5、初始年固碳量及二氧化碳固定量 單位：公噸

樹種	初始年之固碳量	初始年二氧化碳固定量
針葉樹種	1841165	6750938
闊葉樹種	938550.4	3441351
總量	2779715	10192290

(三) 各項技術係數

本研究將模型之主要技術係數，包含各樹種之碳轉換係數、擴張係數、比重、伐採成本、價格、各疏伐強度下生長率及疏伐成本整理如表 4-6 所示。其中在碳轉換係數方面，楓香以光臘樹代替。擴張係數均以 1.66 代入計算之，闊葉樹種擴張係數則以李宣德、馮豐隆 (2008)之樟樹擴張係數 1.67 代替之。在比重方面，台灣杉與二葉松以柳杉代替，紅檜以肖楠代替。在伐採成本方面，本研究係利用鄭欽龍、施友元(2006)及鄭欽龍、陳重銘及陳瑩達(2006)之計量模式分別代入如林道距離、伐採或疏伐面積等係數所需之平均值求算之。另外，在價格方面，由於已將樹種進行合併，因此計算價格時，本研究係利用個別樹種之單價乘以其合併後所佔蓄積量比例後加總而得，例如表中紅檜之價格係利用紅檜與扁柏之個別單價乘以兩者之蓄積量混合比例估算，餘者類推。

表 4-6、各樹種之各項技術係數彙整

樹種	碳轉換係數	擴張係數	比重	伐採成本(元/m ³)	價格(元/m ³)	各疏伐強度下生長率			疏伐成本(元/ha)		
						20%	40%	60%	20%	40%	60%
柳杉	0.4974	1.66	0.302	1500	3356	0.0840	0.1306	0.1795	169166.4	219590.8	270015.2
杉木	0.4832	1.66	0.35	1500	3585	0.0840	0.1306	0.1795	169166.4	219590.8	270015.2
紅檜	0.4864	1.66	0.444	1500	51798	0.0769	0.0847	0.0925	169166.4	219590.8	270015.2
台灣杉	0.4832	1.66	0.302	1500	18138	0.0981	0.1082	0.1183	169166.4	219590.8	270015.2
肖楠	0.4857	1.66	0.444	1500	48149	0.0769	0.0847	0.0925	169166.4	219590.8	270015.2
二葉松	0.4704	1.66	0.302	1500	3188	0.0840	0.1306	0.1795	169166.4	219590.8	270015.2
相思樹	0.4719	1.67	0.664	1500	1916						
光臘樹	0.4683	1.67	0.671	1500	3680						
欖木	0.4744	1.67	0.687	1500	4324						
楓香	0.4683	1.67	0.671	1500	2487						
樟樹	0.47	1.67	0.395	1500	2736						
銀合歡	0.485	1.67	0.258	1500	1693						

二、規劃方案基本架構

進行多目標規劃時，必須設定各目標之目標值，本研究已依據相關法規及產業關聯分析設定合理的木材產量及就業機會目標值，但過去未曾有學者對臺灣國有林林木經營區人工林的二氧化碳吸存量進行規劃分析，故必須利用逐步分析的方式探討人工林二氧化碳吸存量，藉此設定多目標規劃分析時合理之二氧化碳吸存量目標值。

因此，本研究首先利用基線預測案及二氧化碳最大化單一目標案兩個方案探討林木經營區人工林二氧化碳固定量之範圍，並同時探討這兩個方案下帶來之木材收穫、就業機會及土壤沖蝕增量等產物及成本效益。接著，本研究設定多目標基礎方案，利用多目標規劃法探討二氧化碳吸存量、木材產量及就業機會三個目標是否能達成既定之目標值，並同時達成此三目標時所需負擔之瞭解土壤沖蝕增量及成本效益。最後，本研究擬以二氧化碳固定量為主要目標，減少木材產量、就業機會及土壤沖蝕增量等環境衝擊，以目標規劃法探討是否可達成本研究設定之目標值，以及透過何種疏伐、伐採及再造林組合達成之。各方案相關細節臚列如下。

(一) 未加經營：基線預測案

本研究規劃之基線預測案(base- line projection)係探討林地在不進行疏伐、伐採與再造林等作業之不經營狀況下，林木經營區 20 年後蓄積之二氧化碳總量，以此二氧化碳總量作為基礎，進一步規劃其它經營方案之目標值。

(二) 單一目標：碳吸存最大化規劃方案

本研究欲瞭解林木經營區在 20 年經營期後，所能達到之最大二氧化碳蓄積

量，及欲達到此單一目標最大化時所需採取之經營手段。因此，本研究將利用線性規劃法探討最高之二氧化碳蓄積量，同時瞭解何種疏伐及伐採組合方案可達成此目標，以及在此經營方案下所帶來之木材產量、就業機會、土壤沖蝕增量、經營成本及經營收益。

(三) 多目標：基礎方案

本研究以基線方案之二氧化碳總量為目標值，期能在不低於二氧化碳總量目標之情況下，同時達成每年 20 萬立方公尺之木材產量目標及 1100 個就業機會之目標，即 20 年後能有 400 萬立方公尺之木材產出及 550 萬個工數(本研究以 1 年 250 個工作日計算，1100 個就業機會 x 20 年 x 250 天=5500000 個工數)。

本研究亦探討何種疏伐與伐採組合可達成此多目標基礎方案設定之目標值，同時瞭解在此多目標基礎方案規劃下，林業部門每年需花費多少經費及獲得多少收益，以及每年增加的土壤沖蝕量。

(四) 多目標：進階方案

因應減碳政策係以二氧化碳固定量為主要考量目標，而木材收穫與二氧化碳吸存量、土壤沖蝕增量的關連性在短期內為負相關，即伐採過多之林木有可能降低森林之碳吸存量並增加更多之土壤沖蝕量。故本研究擬將多目標基礎方案求得之二氧化碳固定量目標值增量 5%，其餘木材產量、就業機會及土壤沖蝕增量三個目標值減少 5%以減少環境衝擊，藉此探討何種疏伐及伐採組合可達成此項目目標值設定，同時分析執行該方案是否會有利不及費之情形。

三、各方案研究結果及比較分析

本研究分別利用線性規劃法及目標規劃法探討不同方案下，所能達成之二氧化碳、木材產量及就業機會等目標值，以及進行這些方案所需之成本及帶來的效益。首先，本研究討論各方案所能達成之目標值，並將目標值列於表 4-7。接著，本研究比較不加經營之基線預測案與二氧化碳最大化單一目標兩個方案之研究結果，瞭解林木經營區人工林二氧化碳固定量的最大值與最小值，以及可增加多少林木生產、就業機會等其它目標。第三，本研究討論多目標基礎方案及多目標進階方案之研究結果，比較這兩個方案之優劣。

由於報表繁多，故本研究將各經營方案之疏伐及伐採面積規劃則詳列於附錄七「各樹種於不同經營方案下之各期疏伐及伐採面積」及附錄八「各樹種之各齡級於不同經營方案下之分期疏伐及伐採面積」。

表 4-7、各方案之目標值比較

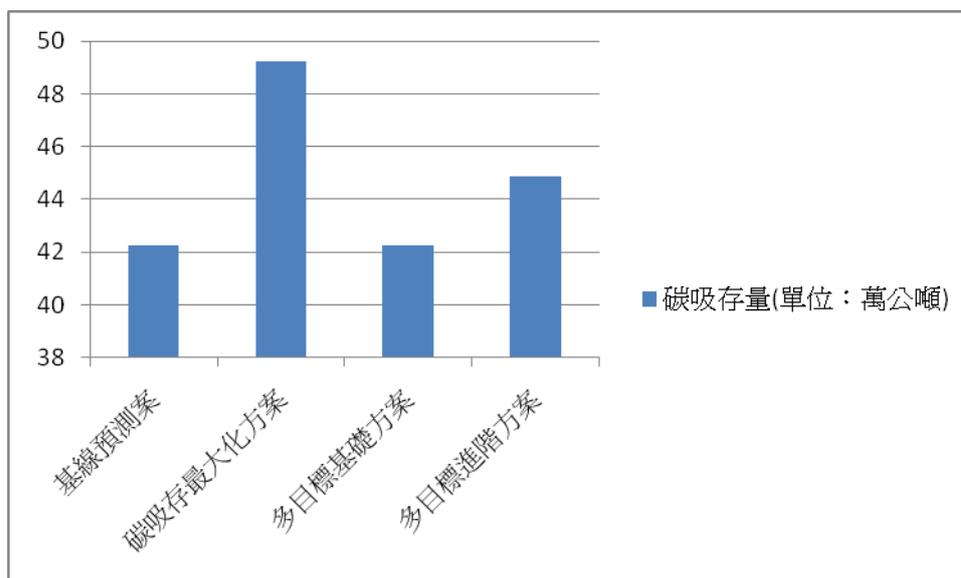
	基線方案	碳吸存最大 化方案	多目標 基礎方案	多目標 進階方案
二氧化碳吸存量(公噸)	8445510	9845020	8445510	8973510
針葉樹林蓄積量(公噸)	3850202	4284152	1938136	864365
闊葉樹林蓄積量(公噸)	4186459	3953234	5330856	6864493
針葉樹疏伐木貯存量(公噸)	0	214023	654911	582926.9
針葉樹伐採木貯存量(公噸)	0	45781	964779	1062050
闊葉樹伐採木貯存量(公噸)	0	505033	1060044	875786
木材生產總量(m ³)	0	833579	4000000	3800000
針葉樹疏伐木產量(m ³)	0	322357	1116392	990608.5
針葉樹伐採木產量(m ³)	0	83118	1733844	1852663
闊葉樹伐採木產量(m ³)	0	428104	1149764	956729
就業機會(人日工數)	0	1589107	5500000	5184050
土壤沖蝕增量(公噸)	0	2340	7966	7600
經營成本(千元)	0	2536892	10163480	9776268
經營收益(千元)	0	10392940	26245500	24250540
經營淨收益(千元)	0	7856048	16082020	1447427.2

(一) 各目標值之比較

1. 二氧化碳吸存量目標

由表 4-7 可見，經過四個經營期後，基線預測案之二氧化碳吸存量量約 844.6 萬公噸，碳吸存量最大化方案約 984.5 萬公噸，多目標基礎方案及多目標進階方案之二氧化碳固定量分別為約 844.6 萬及 897.4 萬公噸，即各方案每年分別可吸存約 42.23 萬公噸、49.23 萬公噸、42.23 萬公噸及 44.87 萬公噸的二氧化碳。各方案之年碳吸存量可於圖 4-1 比較之。本研究進一步換算每公頃每年之碳吸存量為何，研究結果得知，各方案每公頃每年之碳吸存量分別為 5.02、5.85、5.02 及 5.33 公噸。

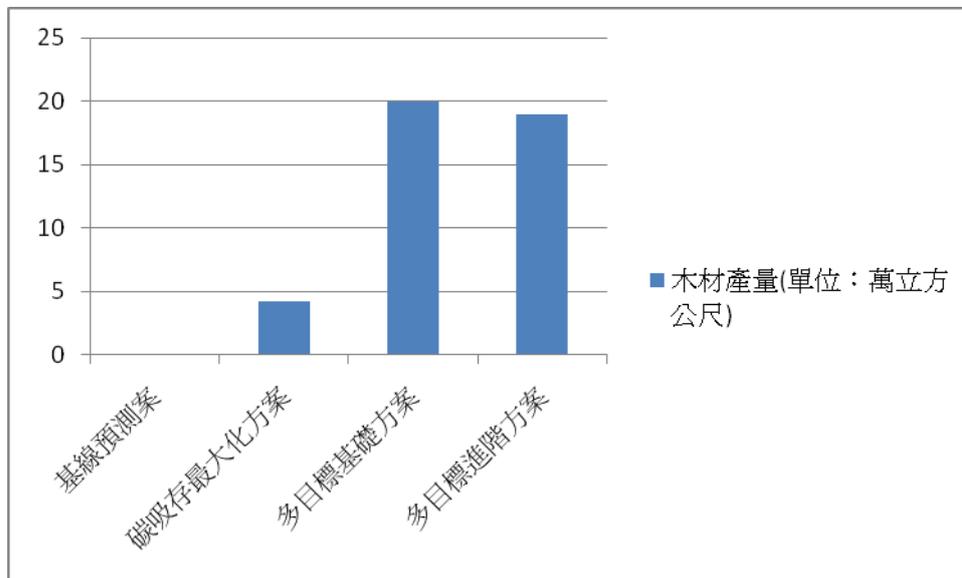
圖 4-1、各方案之年碳吸存量



2.木材生產目標

由研究結果可知，基線預測案由於完全不對森林進行任何作業，因此其無木材產出。而二氧化碳最大化單一目標之木材產量約 83.4 萬立方公尺，多目標基礎案約 400 萬立方公尺，多目標進階方案約 380 萬立方公尺，即這三個方案每年產出約 4.17 萬、20 萬及 19 萬立方公尺之木材，茲將各方案之年木材產量繪圖如圖 4-2 所示。

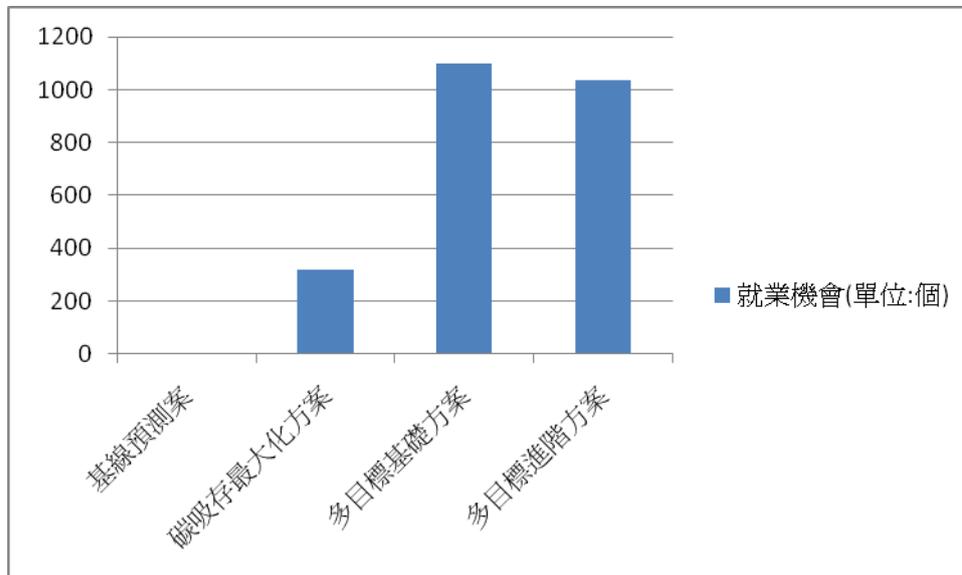
圖 4-2、各方案之年木材產量



3.就業機會目標

如表 4-7 所示，進行二氧化碳最大化單一目標方案所能提供之就業機會約 158.9 萬個工數，多目標基礎方案約可提供 550 萬個工數，多目標進階案約可提供 518.4 萬個工數。若以 20 年經營期，每年每人為 250 個工作日計算，即各方案每年分別可提供 317.8 個、1100 個及 1036.8 個工作機會。本研究將各方案之年就業機會繪圖如 4-3 所示。

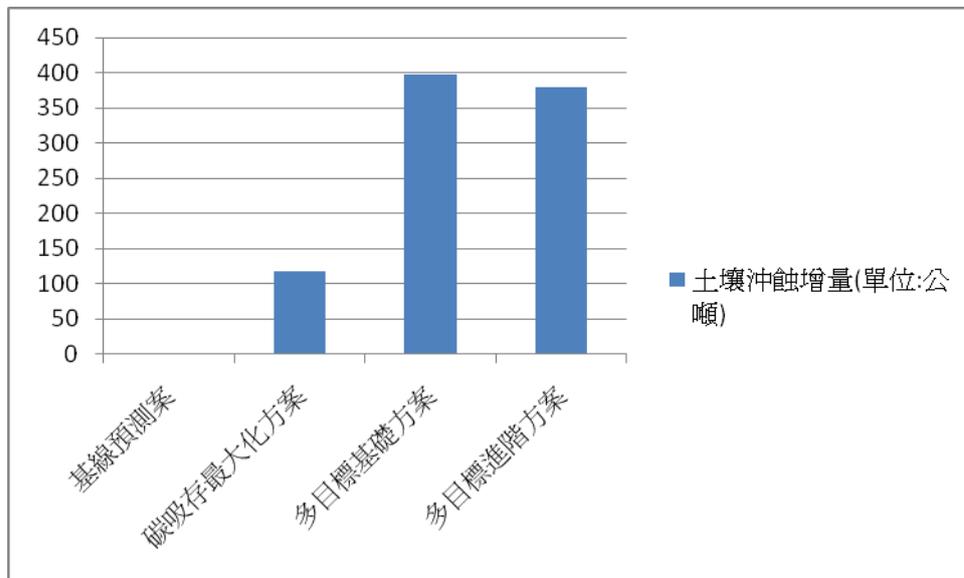
圖 4-3、各方案之年就業機會



4.土壤沖蝕增量目標

森林即使在不加經營的狀態下也會有土壤流失的情況，本研究欲探討相較於不經營狀態下的森林，進行森林經營作業所增加之土壤沖蝕量。因此基線預測案之土壤沖蝕增量為 0，而二氧化碳單一目標最大化方案之土壤沖蝕增量為 2340 公噸，多目標基礎案為 7966 公噸，多目標進階案為 7600 公噸，即每年分別有約 117 公噸、398.3 公噸及 380 公噸之土壤沖蝕增量，如圖 4-4 所示。

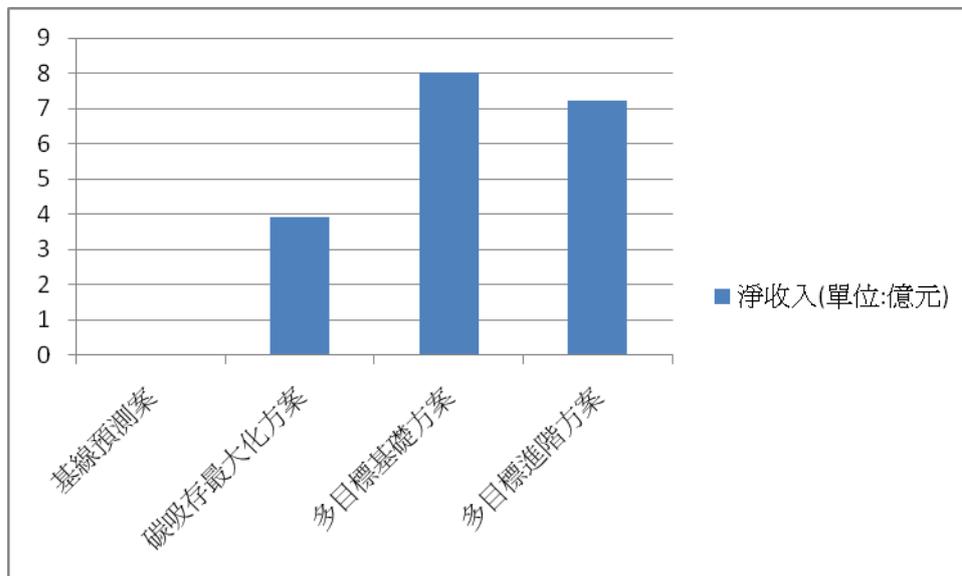
圖 4-4、各方案之年土壤沖蝕增量



5.成本及效益分析

本研究欲瞭解執行各方案所需之成本及所能獲得之經濟效益，故分別計算伐採、疏伐及再造林作業雇工、運送之花費，並計算販售不同木材所能帶來之經濟效益。由研究結果可知，在經營成本方面，二氧化碳單一目標最大化方案之經營成本約 25.4 億，多目標基礎案約 101.6 億，多目標進階案約 97.8 億；在經營收益方面，二氧化碳單一目標最大化方案約 103.9 億，多目標基礎案約 262.5 億，多目標進階案約 242.5 億。本研究計算淨收入後得知，上述三個方案約可有 78.6 億、160.8 億及 144.7 億之淨收入，即每年分別有約 3.93 億、8.04 億及 7.24 億之淨收入，茲將各方案之淨收入繪圖如圖 4-5 所示。

圖 4-5、各方案之年淨收入



（二）基線預測案與碳吸存最大化方案之比較

本研究比較基線預測案與多目標基礎案之差異。由研究結果可知，林木經營區在不加經營之狀況下，其二氧化碳吸存量有約 844.6 萬公噸，卻未有任何產出。然而，若以碳吸存量最大化為單一目標探討之，則可有約 984.5 萬公噸之二氧化碳吸存量，此外，更有 83.4 萬立方公尺之木材產量及 158.9 萬個工數，且經營淨收益為 78.6 億，且只有 2340 公噸之土壤沖蝕增量。

此研究結果顯示，森林在不加經營的狀態下雖能發揮吸收二氧化碳之功效，但其效果並未達到最佳的狀態。因此，必須透過適當的疏伐、伐採及再造林作業經營之，以使其森林功效發揮至最佳的狀態。

(三) 基線預測案與多目標基礎方案之比較

本研究比較基線預測案與多目標基礎案之差異得知，若以基線方案之二氧化碳總量為基礎進行多目標規劃，則不但有相同之二氧化碳總量，更會有其它目標值的收入，每個目標值均符合原先預期之目標值，例如每年可生產 20 萬立方公尺之木材及提供 1100 個就業機會，但也必須負擔 398.3 公噸之土壤沖蝕增量。

本研究首先討論多目標基礎案何以在二氧化碳固定總量與不加經營之基線預測案相同的情況下，如何達成其餘目標之目標值。首先，本研究發現多目標基礎方案之針闊葉林二氧化碳蓄積量較基線方案稍低，但多目標基礎案之針葉樹疏伐木貯存約 65.5 萬公噸之二氧化碳，針闊葉樹伐採木共貯存約 202.5 萬公噸之二氧化碳，彌補蓄積量不足之部分。意即透過疏伐與伐採作業不但可增加木材產出與固定二氧化碳，更可有效促進林木生長，提升森林吸收二氧化碳之能力。由此可知，適當的進行森林經營作業，確可在不損及二氧化碳吸存效果之情況下，獲得木材生產及就業機會等目標之產出。

本研究進一步探討該如何實施疏伐與伐採作業以達成多目標基礎方案之目標值。本研究首先探討疏伐作業之撫育內容，由表 4-8 可知，第一個經營期時，紅檜總共需進行 65.26 公頃之弱度疏伐。第二個經營期時，柳杉、杉木、紅檜、台灣杉、肖楠及二葉松需分別施行 2097.5、825.62、1984.77、23.87 及 83.65 公頃之強度疏伐，肖楠需進行 47.15 公頃之中度疏伐，紅檜需進行 368.23 公頃之弱度疏伐。第三個經營期時，則完全不進行疏伐，疏伐面積為 0。第四個經營期時，在強度疏伐部分，柳杉、杉木、紅檜、台灣杉、肖楠及二葉松分別需疏伐 139.64、71.08、119.85、1603.76、24.97 及 7.96 公頃，而紅檜另外需要進行 627.97 公頃之弱度疏伐。各期小計分別需疏伐 65.26、5430.79、0 及 2595.24 公頃，總計疏伐 8091.29 公頃。

表 4-8、針葉樹種於多目標規劃基礎方案下之各分期疏伐面積 單位：公頃

樹種	強度	第一期	第二期	第三期	第四期	合計
柳杉	強	0	2097.504	0	139.644	2237.148
杉木	強	0	825.624	0	71.082	896.706
	強	0	0	0	119.85	119.85
紅檜	弱	65.26	368.226	0	627.968	1061.454
台灣杉	強	0	1984.77	0	1603.764	3588.534
	強	0	23.868	0	24.972	48.84
肖楠	中	0	47.148	0	0	47.148
二葉松	強	0	83.646	0	7.962	91.608
合計		65.26	5430.786	0	2595.242	8091.288

本研究接著探討伐採作業實施內容，由表 4-9 可知，在第一經營期時，針葉樹種有杉木、台灣杉及二葉松分別伐採 769.81、370.84 與 6.35 公頃，闊葉樹種有櫟木伐採 1501.75 公頃，楓香伐採 50.32 公頃。在第二經營期時，二葉松需伐採 226.52 公頃，而光臘樹與櫟木分別伐採 538.84 及 476.28 公頃。第三經營期時柳杉則需伐採 6819.33 公頃，楓香需伐採 1155.37 公頃。第四經營期時則針對闊葉木進行伐採。相思樹伐採 2177.57 公頃，樟樹伐採 397.01 公頃，銀合歡伐採 2192.62 公頃。各期小計分別伐採 2976.63 公頃、6672.42 公頃、7074.7 公頃及 7354.48 公頃，四個經營期總計伐採 24978.23 公頃。如經營者欲瞭解各樹種該於何種齡級進行何種強度之疏伐作業細部內容，可詳見附錄六第一節「各樹種於多目標規劃基礎方案下各齡級之分期疏伐及伐採面積」中之表格一至表格十二。

表 4-9、不同樹種於多目標規劃基礎方案之各期伐採面積 單位：公頃

樹種	第一期	第二期	第三期	第四期	總計	
針葉樹	柳杉	0	0	6819.33	0	6819.33
	杉木	769.81	0	0	0	769.81
	台灣杉	370.84	0	0	0	370.84
	二葉松	6.35	226.52	0	0	232.87
闊葉樹	相思樹	0	0	0	2177.57	2177.57
	光臘樹	0	538.84	0	0	538.84
	欖木	1501.75	476.28	0	0	1978.03
	楓香	50.32	0	1155.37	0	1205.69
	樟樹	0	0	0	397.01	397.01
	銀合歡	0	0	0	2192.62	2192.62
	總計	2976.63	6672.42	7974.70	7354.48	24978.23

由表 4-8 與表 4-9 可知，多目標基礎方案在四個經營期中一共有約 33069.52 公頃之林地分別進行疏伐與伐採，透過適當的林地經營配置，這些疏伐、伐採與再造林作業可達成本研究預設之二氧化碳目標值，同時也可有木材生產、就業機會等附加價值。而為了達成此目標值，四個經營期一共有約 2.5 萬公頃之林地進行疏伐與伐採，這些經營作業也帶來部分的土壤沖蝕增量。由此顯示，臺灣林木經營區在考量土壤沖蝕增量之原則下，應進行適當之森林經營，不應任其荒蕪。

(四) 多目標基礎方案與進階方案之比較

本研究討論多目標基礎方案與進階方案在目標值及疏伐、伐採組合上之差異。首先，本研究比較各方案在預期目標之達成度。由研究結果可知，基礎方案達成本研究設定之各項預期目標值，但進階方案則略有出入。本研究原將進階方案設定為較基礎案每年增加 10% 之二氧化碳吸存量，但如表 4-10 可見，最後之研究結果僅增加 6.25%，即進階案較基礎案多 26400 公噸，並未達成原先預定之增加 10%。此外，本研究也將進階方案之木材產量、就業機會及土壤沖蝕增量等三個目標之目標值設定為較基礎方案降低 5%，但除了木材產量目標符合原先預期之目標值外，進階方案之就業機會目標較基礎方案少 5.74%，土壤沖蝕增量少 4.59%，意即就業機會雖然低於原先之預期，然而，土壤沖蝕增量也隨著作業量的減少而降低。

表 4-10、多目標基礎方案與多目標進階方案目標值之比較

	基礎方案(a)	進階方案(b)	(c)=(b)-(a)	(c)/(a)
二氧化碳吸存量(公噸)	422275.5	448675.5	26400	6.25%
木材產量(m ³)	200000	190000	-10000	-5%
就業機會(人數)	1100	1036.81	-63.19	-5.74%
土壤沖蝕增量(公噸)	398.3	380	-18.3	-4.59%

本研究接著比較此二個方案在疏伐面積、疏伐強度之分配差異，由於本研究已在前一小節詳述基礎方案之疏伐分配，故在此不多做論述。由表 4-11 可知，在第一經營期時，進階方案有別於基礎方案，係對紅檜採取強度疏伐 195.78 公頃。在第二經營期時，兩個方案在柳杉、杉木及二葉松之疏伐強度與面積相同，但在杉木、紅檜、台灣杉及肖楠卻有差異。進階方案對紅檜進行 1104.68 公頃之強度疏伐，台灣杉則分別進行 268.18 公頃之強度疏伐及 572.2 公頃之弱度疏伐，肖楠則進行 70.72 公頃之強度疏伐。在第三經營期時，兩個方案均未進行疏伐。

在第四經營期時，兩個方案在柳杉、台灣杉及二葉松之疏伐強度與面積分配均相同，但進階方案則改為對杉木進行 47.39 公頃之中度疏伐，紅檜進行 2003.75 公頃之強度疏伐，肖楠則較基礎方案多進行 84.1 公頃之弱度疏伐。整體而言，兩個方案之疏伐總面積差不多，基礎方案總計疏伐 8091.29 公頃，進階方案總計疏伐 9129.91 公頃。

表 4-11、多目標基礎案與進階案之疏伐面積、強度分配比較表 單位：公頃

樹種	強度	第一期		第二期		第三期		第四期	
		基礎	進階	基礎	進階	基礎	進階	基礎	進階
柳杉	強	0	0	2097.50	2097.50	0	0	139.64	139.64
杉木	強	0	0	825.62	825.62	0	0	71.08	0
	中	0	0	0	0	0	0	0	47.39
紅檜	強	0	195.78	0	1104.68	0	0	119.85	2003.75
	弱	65.25	0	368.23	0	0	0	627.968	0
台灣杉	強	0	0	1984.77	268.18	0	0	1603.76	1603.76
	弱	0	0	0	572.20	0	0	4	0
肖楠	強	0	0	23.87	70.72	0	0	24.972	24.97
	弱	0	0	47.15	0	0	0	0	84.10
二葉松	強	0	0	83.65	83.65	0	0	7.962	7.962
合計		65.26	195.78	5430.79	5022.55	0	0	2595.24	3911.58

本研究亦比較兩個方案在伐採面積上的差異，由於本研究已在前節詳述基礎案之伐採分配，故在此僅詳述進階案之疏伐分配。由表 4-12 可見，兩方案在伐採面積分佈上差異極大。在第一經營期時，進階方案在針葉樹種方面分別有柳杉伐採 3365.65 公頃，杉木伐採 769.81 公頃，台灣杉伐採 370.84 公頃，二葉松伐採 6.35 公頃，闊葉樹分別有櫟木伐採 2609.86 公頃，楓香伐採 51.41 公頃及銀合歡伐採 9.89 公頃。在第二經營期時，進階方案則伐採二葉松 226.52 公頃及楓香 1155.37 公頃。而進階方案在第三經營期則完全不進行伐採。在第四經營期時，

進階方案伐採 5762.17 公頃之柳杉，1442.35 公頃之相思樹及 946.79 公頃之銀河歡。進階方案於各期伐採面積小計分別為 10471.05 公頃、2112.23 公頃、0 公頃及 3671.56 公頃。詳細之疏伐與伐採內容可見附錄六中第二節「各樹種於多目標規劃進階方案下各齡級之分期疏伐及伐採面積」中之表格一至表格十二。

本研究比較兩個方案各期伐採面積差異可知，基礎方案在第一經營期時之伐採面積低於進階方案，但其餘各期則較進階案高。在第一經營期時，進階方案較基礎方案多伐採 7494.42 公頃，但在第二經營期之後，基礎方案則較進階方案分別多出 4560.19 公頃、7974.7 公頃及 3682.92 公頃。整體而言，進階方案總伐採面積僅 16254.84 公頃，約僅有基礎方案伐採面積之 2/3。

表 4-12、多目標基礎方案與進階方案之各期伐採面積比較

單位：公頃

樹種	第一期		第二期		第三期		第四期		
	基礎	進階	基礎	進階	基礎	進階	基礎	進階	
針 葉	柳杉	0	3365.653	0	0	6819.3 3	0	0	5762.17
	杉木	769.81	769.81	0	0	0	0	0	0
	台灣杉	370.84	370.84	0	0	0	0	0	0
	二葉松	6.35	6.35	226.52	226.52	0	0	0	0
闊 葉	相思樹	0	0	0	0	0	0	2177.57	1442.35
	光臘樹	0	0	538.84	0	0	0	0	0
	欖木	1501.75	2609.86	476.28	0	0	0	0	0
	楓香	50.32	51.41	0	1155.37	1155.3 7	0	0	0
	樟樹	0	0	0	0	0	0	397.01	
	銀合歡	0	9.89	0	0	0	0	2192.62	946.79
	總計	2976.63	10471.05	6672.42	2112.23	7974.7 0	0	7354.48	3671.56

總體而言，多目標基礎方案與進階方案均可維持、甚至高於在不經營狀態下之二氧化碳吸存量，並且可額外獲得木材生產及就業機會等產出，均可視為合理且可行之經營方案。進一步比較兩者優劣可知，多目標進階方案在木材生產、就業機會兩個目標方面略低於多目標基礎方案，此原因係由於進階案減少林木伐採

面積所致。然而，進階方案卻可透過增加疏伐面積的方式吸存較多之二氧化碳，並降低土壤沖蝕量，意即可在國土保安原則下，因應目前政府所倡導之減碳目標。因此，本研究認為執行多目標進階方案應較可符合當前之林業政策。

伍、結論與建議

臺灣林業自 1980 年禁止伐採天然林後，甚少進行撫育及伐採等經營作業，台灣森林經營管理方案亦規定每年伐木量以不超過 20 萬立方公尺為原則，且每一伐區皆伐面積不超過 5 公頃。目前國內木材自給率過低，倘若能適當經營國有林林木經營區之人工林，應可促使森林發揮其功效，達到增加碳吸存，提供更多木材及就業機會等功能。

本研究旨在探討國有林林木經營區因應減碳政策之最適規劃，利用目標規劃法，在不影響國土保安之情況下，探討適當之疏伐、伐採及再造林方案，達成二氧化碳吸存量、木材生產、就業機會等經營目標。

本研究首先蒐集國有林林木經營區人工林之林況資料，將樹種、齡級與面積等資料加以整理。其次，蒐集不同樹種之生長率、疏伐後生長率、碳轉換係數、伐採效率及疏伐後土壤沖蝕增量等相關文獻，再建構本研究所需之技術係數。第三，蒐集國內有關森林碳吸存、林木產量限制及就業機會之相關文獻，藉以設定本研究所需之預設目標值，並利用技術係數建構本研究所需之目標式與限制式。其四，設定四種方案之基本架構，分別是（一）未加經營：基線方案，（二）單一目標：碳吸存最大化規劃方案，（三）多目標：基礎方案及（四）多目標：進階方案。第五，利用預測法、線性規劃法與目標規劃法分別對以上四種方案進行分析，並探討各方案所能達成之目標值，及透過何種疏伐、伐採及再造林方案達成前述目標值。最後，分別比較基線方案與多目標基礎方案之差異及基礎方案與進階方案之差異，再探討其經營意涵。

研究結果顯示，林木經營區若未加經營，預測 20 年後二氧化碳吸存量約 844.6 萬公噸，即每年約吸存 42.23 公噸（每公頃約 5.02 公噸）。若以 20 年後二氧化碳吸存總量最大化為單一目標，四個經營期 20 年後之二氧化碳吸存量約 984.5 萬公噸，而每年有約 4 萬立方公尺之木材產出及 316 個就業機會，但同時增加 117

公噸之土壤沖蝕。另多目標基礎方案顯示 20 年後之二氧化碳吸存量約 844.5 萬公噸，每年約可提供木材 20 萬立方公尺及 1100 個就業機會，但會增加 398.3 公噸(每公頃 4.73 公斤)之土壤沖蝕。此外，多目標進階方案亦顯示，20 年後之二氧化碳吸存量約 897.4 萬公噸，而每年之木材產量略降至 19 萬立方公尺，供給 1036.8 個就業機會，但每年增加 380 公噸之土壤沖蝕(每公頃 4.51 公斤)。

本研究亦針對碳吸存最大化方案、多目標基礎方案及多目標進階方案探討其經營成本與經營收益，而這三個方案在財務上均屬可行。

本研究先從基線方案與碳吸存最大化方案之比較，得知林木經營區人工林每年每公頃之碳吸存量範圍介於未加經營之 42.23 公噸至碳吸存最大化的 49.23 公噸之間。此外，碳吸存最大化方案可藉由不同之疏伐、伐採及再造林等經營作業達成，並微量增加木材生產與就業機會。

其次，分別從基線預測案與多目標基礎案之比較，以及多目標基礎案與多目標進階案之比較可知，不同的經營目標可藉由目標規劃法探討不同的疏伐、伐採與再造林的經營作業組合而使其達成。多目標基礎方案可維持與基線預測相同之二氧化碳吸存量，但同時可收穫更多木材並增加工作機會，然因未增加二氧化碳吸存，就減碳政策而言，相對保守。多目標進階案之碳吸存量可較基線預測增加高出 6.26%，雖增幅較碳吸存最大方案少，但可用減少伐採面積，而增加疏伐面積來減少土壤沖蝕量，但仍可增加木材產出及就業機會。因此，在兼顧減碳與水土保持之政策之下，以多目標進階案為較合適的經營方案。

最後，本研究提出以下建議：

(一) 本研究結果顯示，利用疏伐、伐採及再造林作業可提高國有林林木經營區人工林之碳吸存功能，並可增加林木生產和提供就業機會，建議國有林應積極進行以上作業。

(二) 從本研究過程可見，利用各事業區既有之森林經營計畫書相關資訊，即可設定不同碳吸存經營目標，再以目標規劃探究適當之因應減碳經營作業，建議各事業區分別可積極進行相關之規劃作業。

陸、參考文獻

1. 王立志 (1996) 氣候變遷對台灣林業的衝擊與適應。氣候變遷衝擊評估與因應策略建議研討會論文集。台大思亮館p215-229。
2. 台東林管處(2005) 台東林區森林經營計畫。林務局。
3. 李宣德、馮豐隆 (2008) 森林碳吸存資源調查推估模式系統—以台灣樟樹為例。台灣林業科學p11-22。
4. 李國忠、林俊成、陳麗琴 (2000) 台灣杉人工林碳吸存潛力及其成本效益分析。台灣林業科學15 (1): 115-123。
5. 李國忠、林俊成、賴建興、林麗貞 (2004) 台大實驗林生態系不同林分經營策略之碳貯存效果。國立臺灣大學農學院實驗林研究報告 18(4): 261-272。
6. 李意德、曾慶波、吳仲民、周光益、陳步峰(1998) 我國熱帶天然林植被C貯存量的估算。林業科學研究11(2):156-162。
7. 李慶餘、林子玉、楊坦進、賀主伯(1977)杉木人工林經濟性疏伐研究。國立中興大學農學院實驗林管理處研究報告。
8. 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。
9. 李國忠、林俊成、賴建興、林麗貞(2004) 台大實驗林森林生態系不同林分經營策略之碳貯存效果。臺大實驗林研究報告18(4):261-272。
10. 吳俊賢、林俊成、李國忠、陳溢宏、林麗貞、林瑞進(2005) 森林能源作物之二氧化碳吸存效果與能源產出效率。台大實驗林研究報告 19(1): 43-53。
11. 吳順昭、李金福(1968)伐木造材作業之工作研究。國立台灣大學農學院森林學系林產學研究室。
12. 林裕仁、李國忠、林俊成(2002)以生物量與材積關係式推估台灣地區森林林木碳貯存量之研究。台大實驗林研究報告16(2):71-79。
13. 林裕仁、劉瓊霏、林俊成(2002) 台灣地區主要用材比重與碳含量測定。台

灣林業科學17(3):291-9。

14. 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。台灣林業科學17(3):311-321。
15. 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。
16. 林國銓、杜清澤、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。
17. 花蓮林管處(2005)花蓮林區森林經營計畫。林務局。
18. 東勢林管處(2005)東勢林區森林經營計畫。林務局。
19. 馬子斌、陳政靜、熊如珍、黃清吟、陳欣欣、翟思湧(1992)重要商用木材之一般性質。台灣省林業試驗所林業叢刊1:4-5。
20. 柳中明、李國忠、林俊成、劉育慈(2001)造林復育對台灣環境二氧化碳減量之貢獻。全球氣候變遷雜誌。
21. 屏東林管處(2005)屏東林區森林經營計畫。林務局。
22. 南投林管處(2005)南投林區森林經營計畫。林務局。
23. 洪富文、孫正春、黃松根(1985)蓮華池地區不同林齡杉木林地上部生物量之分佈。林業試驗所研究報告第444號。
24. 高強(1982)台灣柳杉最佳疏伐與輪伐期之經濟分析。國家科學委員會研究報告。
25. 秦建華、姜志林(1996)杉木林生物量及其分配的變化規律。生態學雜誌15(1):1-7。
26. 馮豐隆(2000)固定源總量調查-森林碳吸存之效益評估期末報告 行政院環境保護署。
27. 郭寶章(1995)台灣杉之生長與經營。臺灣貴重針葉五木第六章。
28. 黃昆崗(1970)臺灣二葉松林分收穫及材積表之編製。臺灣省林業試驗所研究報告第193號。

29. 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。
30. 新竹林管處(2005) 新竹林區森林經營計畫。林務局。
31. 楊盛行 (1997) 臺灣地區森林二氧化碳之涵容量估算。中華生質能源學會會誌16 (1/2) : 1-10。
32. 楊榮啓、馮豐隆、黃俊維 (1998) 林業對溫室氣體減量策略規劃及衝擊評估 (二) 期末報告。121頁。
33. 嘉義林管處(2005) 嘉義林區森林經營計畫。林務局。
34. 劉浚明、鍾旭和(1993)台灣杉非線性收穫模式之建立。中華林學季刊26(2):39-49。
35. 劉慎孝、林子玉(1968)台灣中南部相思樹林分收穫表及材積表。中興大學農學院森林學系47頁。
36. 劉慎孝、陳松藩、謝永旺(1964)臺灣杉木林收穫表。臺灣省林業試驗所研究報告第104號。
37. 鄭欽龍、施友元(2006)南投地區承租造林地林木伐採成本之分析。中華林學季刊39(3):315-327。
38. 鄭欽龍、陳重銘、陳瑩達(2006)台灣人工林疏伐成本之計量分析。中華林學季刊39(1):57-66。
39. 錢頌迪(1992)作業研究。台北儒林。
40. 謝明倫(2007)人工林之造林成本分析—以台大實驗林溪頭及和社為例。國立台灣大學森林學研究所論文。
41. 羅天祥、趙士洞(1997) 中國杉木林生物生產力格局及其數學模型。植物生態學報21(5):403-415。
42. 羅東林管處(2005) 羅東林區森林經營計畫。林務局。
43. Brown, S., A. E. Lugo and J. Chapman(1986). Biomass of tropical tree plantations and its implications for the global carbon budget. Can. J. For. Res.

16:390-394.

44. Bass, S., O. Dubois and C. P. Moura (2000) Rural livelihood and carbon management. IIED Natural Resources Issues Paper No. 1. London, IIED.
45. Bravo, F., M. del Río, A. Bravo-Oviedo, C. Del Peso and G. Montero(2008) Forest management strategies and carbon sequestration. *Managing Forest Ecosystems: The Challenge of Climate Change* : 179-194.
46. Baral, A. and G. S. Guha(2004) Trees for carbon sequestration or fossil fuel substitution: the issue of cost vs. carbon benefit. *Biomass& Bioenergy* 27: 41-55.
47. Chang, C. T.(2007)Multi- choice goal programming. *Omega* 35: 389-396.
48. Dewar, R. C. and M. G. R. Cannell(1992). Carbon sequestration in the tree, products and soils of forest plantations: an analysis using UK examples. *Tree Physiology*. 11:49-71.
49. Eriksson, E.(2006) Thinning operations and their impact on biomass production in stands of Norway spruce and Scots pine. *Biomass& Bioenergy* 30: 848-854.
50. Guha(2004) Trees for carbon sequestration or fossil fuel substitution: the issue of cost vs. carbon benefit. *Biomass& Bioenergy* 27: 41-55.
51. FAO (2007a) State of the world's forestry.
52. Fearnside P.(1999) Forests and global warming mitigation in Brazil: opportunities in the Brazilian forest sector for responses to global warming under the 'clean development mechanism'. *Biomass& Bioenergy* 16:171-189.
53. Freppaz, D., R. Minciardi, M. Robba, M. Rovatti, R. Sacile, and A. Taramasso (2004) Optimizing forest biomass exploitation for energy supply at a regional level. *Biomass& Bioenergy* 26: 15-25.
54. Hall, C. A. S. and J. Uhlig(1991). Refining estimates of carbon released from tropical land-use change. *Can. J. For. Res.* 21:118-131.
55. Houghton, R. A. (1996). Converting terrestrial ecosystems from sources to sinks

- of carbon. *Ambio*. 25(4):267-272.
56. Hiroshima, T.(2004) Strategy for implementing silvicultural practices in Japanese plantation forests to meet a carbon sequestration goal. *Journal of Forest Research* 9: 141-146.
 57. Sedjo RA. (1989). Forests to offset the greenhouse effect. *J For* 87(7):12-15.
 58. IPCC(1996) Climate change 1995: impacts, adaptations and mitigations of climate change: scientific- technical analysis. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. 879PP.
 59. Kaipainen T., Liski J., Pussinen A. and Karjalainen T.(2004) Managing carbon sinks by changing rotation length in European forests. *Environmental Science & Policy* 7: 205-219.
 60. Kohlmaier, G. H., M. Weber and R.. A. Houghton eds. (1998). Carbon dioxide mitigation in forestry and wood industry. New York:Springer. PP.375.
 61. Marland, G. and B. Schlamadinger (1997). Forests for carbon sequestration or fossil fuel substitution? A sensitivity analysis. Paper presented at Proceedings of the XI World Forestry Congress, Antalya, 13-22 October. Vol.1:139-148.
 62. Matthews R. W.(2001) Modelling of energy and carbon budgets of wood fuel coppice systems. *Biomass & Bioenergy* 21: 1-19.
 63. Mendoza, G. A., and H. Martins(2006) Multi- criteria decision analysis in natural resource management: A critical review of methods and new modeling paradigms. *Forest Ecology and Management* 230: 1-22.
 64. Niskanen, A., O. saastamoinen and T. Rantala (1996). Economic impacts of carbon sequestration in reforestation: examples from boreal and moist tropical conditions. *Silva Fennica*. 30(2-3):269-280.
 65. Schoene, D. and M. Netto(2005) The Kyoto Protocol: What does it mean for

forest and forestry. *Unasylva* 222(56): 3-10.

66. Sheeran, K. A.(2006) Forest conservation in the Philippines: A cost- effective approach to mitigating climate change. *Ecological Economy* 58: 338-349.
67. Winjum JK, Brown S, Schlamadinger B. (1998). Forest harvests and wood
68. Yamamoto H., J. Fujino, and K. Yamaji (2000)Scenario analysis of bioenergy resources and CO2 emissions with a global land use and energy model. *Biomass& Bioenergy* 66:325-337.

柒、附錄

附錄一、國有林林木經營區林況

一、國有林林木經營區主要針葉樹按齡級分面積統計

樹種\齡級	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~60	61~70	71~80	81~90	其他	合計
柳杉	232.74	3495.84	10909.66	6155.74	1955.77	1281.32	863.69	193.89	10.44	29.29	25128.38
杉木	118.47	1376.04	2805.45	2348.29	682.28	11.96	23.89	22.40	29.28	141.73	7559.79
紅檜	1605.12	2961.01	1744.56	343.78	189.73	7.68	26.73	41.05	294.82	12.92	7227.41
香杉	655.91	1397.25	543.67	203.79	44.02	0.00	0.40	2.26	0.00	7.55	2854.86
台灣杉	690.41	1225.66	495.02	125.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.95	2553.54
肖楠	1339.85	420.51	117.87	52.58	41.62	0.00	39.78	0.00	0.00	6.85	2019.06
二葉松	13.27	139.41	466.79	226.52	0.33	3.66	2.36	0.00	0.00	15.21	867.55
扁柏	20.06	178.84	96.57	44.62	10.02	32.23	259.66	23.35	117.52	0.00	782.87
其他	16.08	238.08	271.84	117.65	162.42	51.80	17.22	73.62	19.09	125.87	1093.68
合計	4691.91	11432.63	17451.44	9618.49	3086.20	1388.65	1233.73	356.57	471.15	356.37	50087.14

二、國有林林木經營區主要闊葉樹按齡級分面積統計

樹種 齡級	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~60	61~70	71~80	81~90	其他	合計
其它闊	1227.20	2395.58	1109.30	788.09	374.97	142.24	57.05	6.63	961.72	9833.50	16896.29
相思樹	889.77	1254.88	2801.28	922.69	698.16	171.05	16.42	7.06	18.78	51.17	6831.26
槲櫟類	434.61	709.02	238.93	32.08	38.69	16.62	23.26	0.33	620.38	4324.79	6438.71
楠木類	341.29	855.99	294.29	67.23	81.66	8.75	16.53	0.00	527.89	3679.85	5873.48
光蠟樹	1103.93	673.77	730.34	471.45	171.52	0.00	0.00	0.00	0.16	0.00	3151.17
櫟木	583.06	729.77	594.95	517.99	56.21	86.14	7.47	0.00	0.00	266.07	2841.66
楓香	66.62	908.94	1155.37	50.32	1.23	0.00	0.00	0.76	0.33	45.56	2229.13
泡桐	85.50	499.59	578.55	499.76	17.31	0.00	0.00	3.35	0.00	112.91	1796.98
樟樹	171.37	369.90	326.37	105.27	397.01	236.20	47.19	3.27	0.00	17.02	1673.61
油桐	49.35	512.32	357.19	62.94	0.81	0.00	0.86	2.27	4.27	33.28	1023.29
銀合歡	34.49	690.02	11.02	8.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	744.30
其他	1220.38	791.28	913.58	215.18	36.52	91.81	26.40	5.77	10.86	548.81	3860.59
合計	6207.59	10391.06	9111.18	3741.78	1874.08	752.81	195.18	29.45	2144.39	18912.96	53360.47

三、國有林林木經營區主要針葉樹按齡級分蓄積統計

樹種\齡級	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~60	61~70	71~80	81~90	其他	合計
柳杉	2426	405100	1684084	1382064	368422	287784	205999	49651	568	4550	4390648
杉木	1536	135074	423446	459136	126594	2170	4216	4087	4297	40328	1200884
紅檜	14432	129035	163226	45335	26806	1548	5892	6022	22116	6323	420735
香杉	11153	78920	102320	29866	11002	0	49	604	0	1365	235279
台灣杉	13537	56236	70365	13725	0	0	0	0	0	192	154055
肖楠	1330	10855	14635	2920	2920	0	1221	0	0	110	33991
二葉松	4605	11716	49366	24850	57	403	47	0	0	8967	100011
扁柏	795	16896	4869	3772	1153	6516	44594	5665	9877	0	94137
其他	10048	26620	29157	14122	23612	10029	4379	4068	1534	26547	150116
合計	59862	870452	2541468	1975790	560566	308450	266397	70097	38392	88382	6779856

四、國有林林木經營區主要闊葉樹按齡級分蓄積統計

樹種\齡級	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~60	61~70	71~80	81~90	其他	合計
其它闊	100601	203382	96892	116664	33104	18424	7417	828	84790	1240698	1902800
相思樹	8094	73013	177004	80559	94528	24825	1705	612	1671	6254	468265
槠櫟類	52233	87448	24431	19112	3092	1514	2728	46	48822	627275	866701
楠木類	66545	99619	36161	14065	6083	635	2314	0	49758	525598	800778
光蠟樹	6267	32295	42195	51124	21409	0	0	0	0	8	153298
櫟木	409	22338	38652	65887	10422	21949	1451	0	0	41063	202171
楓香	9416	34050	86045	3516	0	0	0	163	8	9671	142869
泡桐	1389	44072	60033	59038	1543	0	0	0	0	9997	176072
樟樹	941	20225	24559	17547	51272	23065	4453	358	0	20298	162718
油桐	569	36076	44279	6594	89	0	108	0	34	2835	90584
銀合歡	168	12883	254	575	0	0	0	0	0	0	13880
其他	4919	48323	29156	11971	1645	4055	667	468	627	66136	167967
合計	251551	713724	659661	446652	223187	94467	20843	2475	185710	2549833	5148103

五、國有林林木經營區主要針葉樹種按各齡級分面積與蓄積統計

齡級	面積 (ha)	百分比 (%)	蓄積量 (m3)	百分比 (%)	每公頃平均蓄積量 (m3/ha)
1~10	4691.912	4.54	59862	0.50	12.7585524
11~20	11432.63	11.05	870452	7.30	76.13752898
21~30	17451.44	16.87	2541468	21.31	145.630861
31~40	9618.488	9.30	1975790	16.56	205.4158616
41~50	3086.198	2.98	560566	4.70	181.6364283
51~60	1388.65	1.34	308450	2.59	222.122173
61~70	1233.726	1.19	266397	2.23	215.9288205
71~80	356.5743	0.34	70097	0.59	196.5845547
81~90	471.1548	0.46	38392	0.32	81.48489626
無法分辨	356.37	0.34	88382	0.74	248.0062856
合計	50087.14	48.42	6779856	56.84	

六、國有林林木經營區主要闊葉樹種按各齡級分面積與蓄積統計

林級	面積 (ha)	百分比 (%)	蓄積量 (m3)	百分比 (%)	每公頃平均蓄積量 (m3/ha)
1~10	6207.586	6.00	251551	2.11	40.52316
11~20	10391.06	10.04	713724	5.98	68.68635
21~30	9111.176	8.81	659694	5.53	72.4013
31~40	3741.776	3.62	446780	3.75	119.369
41~50	1874.084	1.81	223187	1.87	119.0913
51~60	752.8149	0.73	94467	0.79	125.485
61~70	195.1827	0.19	20843	0.17	106.7871
71~80	29.4454	0.03	2475	0.02	84.05388
81~90	2144.385	2.07	185710	1.56	86.60292
無法分辨	18912.96	18.28	2549833	21.38	134.8194
合計	53360.47	51.58	5148264	43.16	40.52316

附錄二、針闊葉樹種在不同林齡下二氧化碳吸存量及其變動率 單位：噸/公頃

針葉樹種												
林齡	肖楠	變動率 (%)	杉木	變動率 (%)	柳杉	變動率 (%)	台灣杉	變動率 (%)	紅檜	變動率 (%)		
0~6	29.46		19.27		40.04		21.00		16.00			
6~10	70.44	239.1	40.18	61.14	24.48	61.14	17.00	80.95	14.00	87.5		
11~15	91.81	130.34	28.40	134.48	32.92	134.48	18.00	105.88	13.00	92.86		
16~20	57.37	62.49	24.50	74.91	24.66	74.91	17.00	94.44	14.00	107.69		
20年生 碳吸存總量	249.0 8		112.3 5		122.1		73		75			
闊葉樹種												
林齡	樟樹	變動率 (%)	欖木	變動率 (%)	相思樹	變動率 (%)	楓香	變動率 (%)	光臘樹	變動率 (%)	台灣欖	變動率 (%)
0~6	47.88	90.87	96.91		96.59		83.43		99.87		32.00	
7~10	43.51	110.73	61.18	63.13	64.73	67.02	22.58	27.06	88.46	88.58	26.00	81.25
11~15	48.18	96.95	76.48	125.0 1	101.72	157.15	30.01	132.9 1	99.46	112.43	27.00	103.85
16~20	46.71	90.87	76.48	100.0 0	117.27	115.29	32.39	107.93	57.32	57.63	27.00	100.00
20年生 碳吸存總量	186.2 8	110.73	311.05		380.31		168.4 1		345.11		112	

資料來源：整理自林俊成、鄭美如等(2002)、柳中明等(2001)文獻。

註：變動率係後期二氧化碳吸存量除以前期二氧化碳吸存量，以百分比表示之。

附錄三、各樹種生長率推估

一、針葉樹種疏伐前生長率

註：部分針葉樹種因資料不足，故以伐期齡相近之樹種代替。香杉及其它以台灣杉代替，扁柏以紅檜代替。五年以下之柳杉、杉木、香杉、二葉松

針葉樹種	林齡	5.00	10.00	15.00	20.00	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00	55.00	60.00	65.00
柳杉	材積	13.08	84.30	217.56	341.83	457.12	563.42	660.74	749.07	828.42	898.78	960.16	1012.55	1055.96
	連年生長率	0.33	0.21	0.09	0.06	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
杉木	材積	14.23	154.31	277.65	384.25	474.11	547.23	603.61	643.25	666.15	672.31	661.73	634.41	590.35
	連年生長率	0.17	0.12	0.07	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01
紅檜	吸存量	13.08	26.23	39.44	52.73	66.08	79.51	93.01	106.57	120.21	133.91	147.69	161.54	175.45
	連年生長率	0.15	0.09	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
香杉	材積	4.97	118.09	248.49	336.81	394.45	433.36	460.73	480.71	495.76	507.39	516.59	524.00	530.08
	連年生長率	0.26	0.16	0.06	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
台灣杉	材積	4.97	118.09	248.49	336.81	394.45	433.36	460.73	480.71	495.76	507.39	516.59	524.00	530.08
	連年生長率	0.26	0.16	0.06	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
肖楠	吸存量	10.71	21.40	32.16	42.98	53.86	64.81	75.83	86.91	98.05	109.26	120.54	131.88	143.28
	連年生長率	0.15	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
二葉松	材積	13.08	20.65	125.35	219.58	303.35	376.65	439.49	491.86	533.77	565.21	586.19	596.70	596.75
	連年生長率	0.74	0.43	0.12	0.07	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
扁柏	吸存量	13.08	26.23	39.44	52.73	66.08	79.51	93.01	106.57	120.21	133.91	147.69	161.54	175.45
	連年生長率	0.15	0.09	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
其它	材積	4.97	118.09	248.49	336.81	394.45	433.36	460.73	480.71	495.76	507.39	516.59	524.00	530.08
	連年生長率	0.26	0.16	0.06	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00

及扁柏，其生長率之估計受限於材積資料不足、幼樹難以量測精確等因素，易造成估計上之誤差，因此以十到十五年及十五到二十年兩生長率去估算前述樹種五到十年的生長率。

	70.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.00	105.00	110.00
	1090.38	1115.82	1132.27	1139.74	1138.22	1127.72	1108.23	1079.76	1042.30
0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.01
	529.55	452.01	357.73	246.71	118.95	-25.55	-186.79	-364.77	-559.49
-0.02	-0.03	-0.05	-0.07	-0.14	-1.74	-0.49	-0.14	-0.09	
	189.44	203.49	217.62	231.82	246.08	260.42	274.82	289.30	303.85
0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	535.12	539.36	542.97	546.06	548.74	551.08	553.13	554.94	556.55
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	535.12	539.36	542.97	546.06	548.74	551.08	553.13	554.94	556.55
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	154.75	166.29	177.89	189.55	201.28	213.08	224.94	236.86	248.85
0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	586.33	565.45	534.10	492.29	440.01	377.27	304.06	220.39	126.25
0.00	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.03	-0.04	-0.06	-0.11	
	189.44	203.49	217.62	231.82	246.08	260.42	274.82	289.30	303.85
0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	.01
	535.12	539.36	542.97	546.06	548.74	551.08	553.13	554.94	556.55
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

二、闊葉樹種疏伐前生長率

闊葉樹種	林齡	5.00	10.00	15.00	20.00	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00	55.00	60.00	65.00
其它闊	材積	81.62	158.10	234.58	311.06	387.53	464.01	540.48	616.95	693.42	769.88	846.35	922.81	999.27
	生長率	0.14	0.08	0.06	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
相思樹	材積	19.35	63.97	116.32	176.43	244.28	319.87	403.21	494.29	593.12	699.69	814.01	936.07	1065.88
	生長率	0.27	0.13	0.09	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
櫟類	材積	81.62	158.10	234.58	311.06	387.53	464.01	540.48	616.95	693.42	769.88	846.35	922.81	999.27
	生長率	0.14	0.08	0.06	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
楠木類	材積	81.62	158.10	234.58	311.06	387.53	464.01	540.48	616.95	693.42	769.88	846.35	922.81	999.27
	生長率	0.14	0.08	0.06	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
光臘樹	吸存量	67.71	191.46	285.23	349.03	382.85	386.70	360.57	304.47	218.39	102.34	-43.69	-219.69	-425.67
	生長率	0.23	0.08	0.04	0.02	0.00	-0.01	-0.03	-0.06	-0.14	-1.84	-0.38	-0.14	-0.14
欖木	吸存量	81.62	158.10	234.58	311.06	387.53	464.01	540.48	616.95	693.42	769.88	846.35	922.81	999.27
	生長率	0.14	0.08	0.06	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
楓香	吸存量	78.09	105.97	136.05	168.35	202.85	239.56	278.49	319.62	362.97	408.52	456.29	506.26	558.45
	生長率	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
泡桐	材積	19.35	63.97	116.32	176.43	244.28	319.87	403.21	494.29	593.12	699.69	814.01	936.07	1065.88
	生長率	0.30	0.14	0.10	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03
樟樹	吸存量	37.72	90.78	140.24	186.11	228.38	267.06	302.14	333.63	361.52	385.82	406.52	423.63	437.14
	生長率	0.19	0.09	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
油桐	材積	19.35	63.97	116.32	176.43	244.28	319.87	403.21	494.29	593.12	699.69	814.01	936.07	1065.88
	生長率	0.30	0.14	0.10	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03
銀合歡	材積	19.35	63.97	116.32	176.43	244.28	319.87	403.21	494.29	593.12	699.69	814.01	936.07	1065.88
	生長率	0.30	0.14	0.10	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03
其它	材積	81.62	158.10	234.58	311.06	387.53	464.01	540.48	616.95	693.42	769.88	846.35	922.81	999.27
	生長率	0.14	0.08	0.06	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02

註：部分針葉樹種因資料不足，故以伐期齡相近之樹種代替。香杉及其它以台灣杉代替，扁柏以紅檜代替。五年以下之柳杉、杉木、香杉、二葉松及扁柏，其生長率之估計受限於材積資料不足、幼樹難以量測精確等因素，易造成估計上之誤差，因此以十到十五年及十五到二十年兩生長率去估算前述樹種五到十年的生長率。

	70.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.00	105.00	110.00
	1075.73	1152.18	1228.64	1305.09	1381.54	1457.99	1534.43	1610.88	1687.32
0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
	1203.43	1348.73	1501.77	1662.56	1831.09	2007.37	2191.40	2383.16	2582.68
0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	
	1075.73	1152.18	1228.64	1305.09	1381.54	1457.99	1534.43	1610.88	1687.32
0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
	1075.73	1152.18	1228.64	1305.09	1381.54	1457.99	1534.43	1610.88	1687.32
0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
	-661.62	-927.55	-1223.45	-1549.33	-1905.18	-2291.01	-2706.81	-3152.59	-3628.34
-0.09	-0.07	-0.06	-0.05	-0.04	-0.04	-0.03	-0.03	-0.03	
	1075.73	1152.18	1228.64	1305.09	1381.54	1457.99	1534.43	1610.88	1687.32
0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
	612.84	669.44	728.26	789.28	852.52	917.96	985.62	1055.48	1127.56
0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	
	1203.43	1348.73	1501.77	1662.56	1831.09	2007.37	2191.40	2383.16	2582.68
0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	
	447.06	453.38	456.11	455.24	450.78	442.72	431.07	415.82	396.98
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	
	1203.43	1348.73	1501.77	1662.56	1831.09	2007.37	2191.40	2383.16	2582.68
0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	
	1203.43	1348.73	1501.77	1662.56	1831.09	2007.37	2191.40	2383.16	2582.68
0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	
	1075.73	1152.18	1228.64	1305.09	1381.54	1457.99	1534.43	1610.88	1687.32
0.01.	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	

附錄四、合併後之針闊葉樹疏伐前生長率

一、針葉樹疏伐前生長率

針葉樹種	林齡	5.00	10.00	15.00	20.00	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00	55.00	60.00	65.00
柳杉	材積	13.08	84.30	217.56	341.83	457.12	563.42	660.74	749.07	828.42	898.78	960.16	1012.55	1055.96
	連年生長率	0.33	0.21	0.09	0.06	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
杉木	材積	14.23	154.31	277.65	384.25	474.11	547.23	603.61	643.25	666.15	672.31	661.73	634.41	590.35
	連年生長率	0.17	0.12	0.07	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.01
紅檜	吸存量	13.08	26.23	39.44	52.73	66.08	79.51	93.01	106.57	120.21	133.91	147.69	161.54	175.45
	連年生長率	0.15	0.09	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
台灣杉	材積	4.97	118.09	248.49	336.81	394.45	433.36	460.73	480.71	495.76	507.39	516.59	524.00	530.08
	連年生長率	0.26	0.16	0.06	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
肖楠	吸存量	10.71	21.40	32.16	42.98	53.86	64.81	75.83	86.91	98.05	109.26	120.54	131.88	143.28
	連年生長率	0.15	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
二葉松	材積	13.08	20.65	125.35	219.58	303.35	376.65	439.49	491.86	533.77	565.21	586.19	596.70	596.75
	連年生長率	0.74	0.43	0.12	0.07	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00

	70.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.00	105.00	110.00
	1090.38	1115.82	1132.27	1139.74	1138.22	1127.72	1108.23	1079.76	1042.30
0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.01
	529.55	452.01	357.73	246.71	118.95	-25.55	-186.79	-364.77	-559.49
-0.02	-0.03	-0.05	-0.07	-0.14	-1.74	-0.49	-0.14	-0.09	
	189.44	203.49	217.62	231.82	246.08	260.42	274.82	289.30	303.85
0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	535.12	539.36	542.97	546.06	548.74	551.08	553.13	554.94	556.55
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	154.75	166.29	177.89	189.55	201.28	213.08	224.94	236.86	248.85
0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	586.33	565.45	534.10	492.29	440.01	377.27	304.06	220.39	126.25
0.00	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.03	-0.04	-0.06	-0.11	

二、闊葉樹疏伐前生長率

闊葉樹種	林齡	5.00	10.00	15.00	20.00	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00	55.00	60.00	65.00
相思樹	材積	19.35	63.97	116.32	176.43	244.28	319.87	403.21	494.29	593.12	699.69	814.01	936.07	1065.88
	連年生長率	0.27	0.13	0.09	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
光臘樹	吸存量	67.71	191.46	285.23	349.03	382.85	386.70	360.57	304.47	218.39	102.34	-43.69	-219.69	-425.67
	連年生長率	0.23	0.08	0.04	0.02	0.00	-0.01	-0.03	-0.06	-0.14	-1.84	-0.38	-0.14	
欖木	吸存量	81.62	158.10	234.58	311.06	387.53	464.01	540.48	616.95	693.42	769.88	846.35	922.81	999.27
	連年生長率	0.1	0.08	0.06	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
楓香	吸存量	78.09	105.97	136.05	168.35	202.85	239.56	278.49	319.62	362.97	408.52	456.29	506.26	558.45
	連年生長率	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
樟樹	吸存量	37.72	90.78	140.24	186.11	228.38	267.06	302.14	333.63	361.52	385.82	406.52	423.63	437.14
	連年生長率	0.19	0.09	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
銀合歡	材積	19.35	63.97	116.32	176.43	244.28	319.87	403.21	494.29	593.12	699.69	814.01	936.07	1065.88
	連年生長率	0.30	0.14	0.10	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03

	70.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.00	105.00	110.00
	-661.62	-927.55	-1223.45	-1549.33	-1905.18	-2291.01	-2706.81	-3152.59	-3628.34
	-0.09	-0.07	-0.06	-0.05	-0.04	-0.04	-0.03	-0.03	-0.03
	1075.73	1152.18	1228.64	1305.09	1381.54	1457.99	1534.43	1610.88	1687.32
	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	612.84	669.44	728.26	789.28	852.52	917.96	985.62	1055.48	1127.56
	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
	447.06	453.38	456.11	455.24	450.78	442.72	431.07	415.82	396.98
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.01
	1203.43	1348.73	1501.77	1662.56	1831.09	2007.37	2191.40	2383.16	2582.68
	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02

附錄六、各樹種之各齡級於不同經營方案下之分期疏伐及伐採面積

一、各樹種於多目標規劃基礎方案下之各齡級分期疏伐及伐採面積

(一) 柳杉於多目標規劃基礎方案下之各齡級分期疏伐及伐採面積

柳杉面積	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~70	71~90	總計
第一期	0	0	0	0	0	0	204.34	204.34
第二期	0	2097.504***	0	0	0	0	0	2097.504
第三期	0	0	4863.556	0	1955.77	0	0	6819.326
第四期	139.644***	0	0	0	0	0	0	139.644
總計	139.644	2097.504	4863.556	0	1955.77	0	204.34	9260.814

註：*為疏伐 20%，**為疏伐 40%，***為疏伐 60%。

(二) 杉木於多目標規劃基礎方案下之各齡級分期疏伐及伐採面積

杉木面積	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~70	71~90	總計
第一期	0	0	0	0	682.28	35.85	51.68	769.81
第二期	0	825.624***	0	0	0	0	0	825.624
第三期	0	0	0	0	0	0	0	0
第四期	71.082***	0	0	0	0	0	0	71.082
總計	71.082	825.624	0	0	682.28	35.85	51.68	1666.516

註：*為疏伐 20%，**為疏伐 40%，***為疏伐 60%。

(三) 紅檜於多目標規劃基礎方案下之各齡級分期疏伐及伐採面積

紅檜面積	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~70	71~90	總計
第一期	0	0	0	0	0	65.26*	0	65.26
第二期	0	0	368.226*	0	0	0	0	368.226
第三期	0	0	0	0	0	0	0	0
第四期	0	627.968*	0	0	119.85***	0	0	747.818
總計	0	627.968	368.226	0	119.85	65.26	0	1181.304

註：*為疏伐 20%，**為疏伐 40%，***為疏伐 60%。

(四) 台灣杉於多目標規劃基礎方案下之各齡級分期疏伐及伐採面積

台灣杉面積	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~70	71~90	總計	
第一期	0	0	0	0	0	206.44	69.42	94.98	370.84
第二期	0	1716.594***	0	268.176***	0	0	0	0	1984.77
第三期	0	0	0	0	0	0	0	0	0
第四期	817.44***	0	786.324***	0	0	0	0	0	1603.764
總計	817.44	1716.594	786.324	268.176	206.44	69.42	94.98	3959.374	

註：*為疏伐 20%，**為疏伐 40%，***為疏伐 60%。

(五) 肖楠於多目標規劃基礎方案下之各齡級分期疏伐及伐採面積

肖楠面積	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~70	71~90	總計
第一期	0	0	0	0	0	0	0	0
第二期	0	0	47.148**	0	0	23.868***	0	71.016
第三期	0	0	0	0	0	0	0	0
第四期	0	0	0	0	24.972***	0	0	24.972
總計	0	0	47.148	0	24.972	23.868	0	95.988

註：*為疏伐 20%，**為疏伐 40%，***為疏伐 60%。

(六) 二葉松於多目標規劃基礎方案下之各齡級分期疏伐及伐採面積

二葉松面積	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~70	71~90	總計
第一期	0	0	0	0	0.33	6.02	0	6.35
第二期	0	83.646***	0	226.52	0	0	0	310.166
第三期	0	0	0	0	0	0	0	0
第四期	7.962***	0	0	0	0	0	0	7.962
總計	7.962	83.646	0	226.52	0.33	6.02	0	324.478

註：*為疏伐 20%，**為疏伐 40%，***為疏伐 60%。

(七) 相思樹於多目標規劃基礎方案下之各齡級分期疏伐及伐採面積

相思樹面積	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~70	71~90	總計
第一期	0	0	0	0	0	0	0	0
第二期	0	0	0	0	0	0	0	0
第三期	0	0	0	0	0	0	0	0
第四期	0	1254.88	0	922.69	0	0	0	2177.57
總計	0	1254.88	0	922.69	0	0	0	2177.57

(八) 光臘樹於多目標規劃基礎方案下之各齡級分期疏伐及伐採面積

光臘樹面積	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~70	71~90	總計
第一期	0	0	0	0	0	0	0	0
第二期	0	0	538.8353	0	0	0	0	538.8353
第三期	0	0	0	0	0	0	0	0
第四期	0	0	0	0	0	0	0	0
總計	0	0	538.8353	0	0	0	0	538.8353

(九) 櫟木於多目標規劃基礎方案下之各齡級分期疏伐及伐採面積

櫟木面積	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~70	71~90	總計
第一期	0	0	0	0	0	0	1501.745	1501.745
第二期	0	0	0	0	0	476.28	0	476.28
第三期	0	0	0	0	0	0	0	0
第四期	0	0	0	0	0	0	0	0
總計	0	0	0	0	0	476.28	1501.745	1978.025

(十) 楓香於多目標規劃基礎方案下之各齡級分期疏伐及伐採面積

楓香面積	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~70	71~90	總計
第一期	0	0	0	50.32	0	0	0	50.32
第二期	0	0	0	0	0	0	0	0
第三期	0	0	1155.37	0	0	0	0	1155.37
第四期	0	0	0	0	0	0	0	0
總計	0	0	1155.37	50.32	0	0	0	1205.69

(十一) 樟樹於多目標規劃基礎方案下之各齡級分期疏伐及伐採面積

樟樹面積	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~70	71~90	總計
第一期	0	0	0	0	0	0	0	0
第二期	0	0	0	0	0	0	0	0
第三期	0	0	0	0	0	0	0	0
第四期	0	0	0	0	397.01	0	0	397.01
總計	0	0	0	0	397.01	0	0	397.01

(十二) 銀合歡於多目標規劃基礎方案下之各齡級分期疏伐及伐採面積

銀合歡面積	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~70	71~90	總計
第一期	0	0	0	0	0	0	0	0
第二期	0	0	0	0	0	0	0	0
第三期	0	0	0	0	0	0	0	0
第四期	0	1701.93	472.5743	0	18.12	0	0	2192.624
總計	0	1701.93	472.5743	0	18.12	0	0	2192.624

二、各樹種於多目標進階方案下之各齡級分期疏伐及伐採面積

(一) 柳杉於多目標規劃進階方案下之各齡級分期疏伐及伐採面積

柳杉面積	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~70	71~90	總計	
第一期		0	0	0	0	1955.77	2145.01	204.34	4305.12
第二期		0	2097.50***	0	0	0	0	0	2097.50
第三期		0	0	0	0	0	0	0	0
第四期	139.64***		0	0	821.36	0	0	0	961
總計	139.64	2097.504	0	821.36	1955.77	2145.01	204.34	7363.62	

註：*為疏伐 20%，**為疏伐 40%，***為疏伐 60%。

(二) 杉木多目標規劃進階方案下之各齡級分期疏伐及伐採面積

杉木面積	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~70	71~90	總計	
第一期		0	0	0	2348.29	682.28	35.85	51.68	3118.1
第二期		0	825.62***	0	0	0	0	0	825.624
第三期		0	0	0	0	0	0	0	0
第四期	71.08***		0	0	0	0	0	0	71.08
總計	71.08	825.624	0	2348.29	682.28	35.85	51.68	4014.8	

註：*為疏伐 20%，**為疏伐 40%，***為疏伐 60%。

(三) 紅檜多目標規劃進階方案下之各齡級分期疏伐及伐採面積

紅檜面積	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~70	71~90	總計	
第一期		0	0	0	0	0	65.26*	0	65.26
第二期		0	0	368.23*	0	0	0	0	368.23
第三期		0	0	0	0	0	0	0	0
第四期		0	627.97*	0	0	39.95*	0	0	667.92
總計		0	627.97	1104.678	0	39.95	65.26	0	1101.41

註：*為疏伐 20%，**為疏伐 40%，***為疏伐 60%。

(四) 台灣杉多目標規劃進階方案下之各齡級分期疏伐及伐採面積

台灣杉面積	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~70	71~90	總計	
第一期		0	0	0	0	206.44	69.42	94.98	370.84
第二期		0	1716.59***	0	268.18***	0	0	0	1984.77
第三期		0	0	0	0	0	0	0	0
第四期		817.44***	0	262.11*	0	0	0	0	1079.55
總計		817.44	572.198	262.11	268.18	206.44	69.42	94.98	3435.16

註：*為疏伐 20%，**為疏伐 40%，***為疏伐 60%。

(五) 肖楠多目標規劃進階方案下之各齡級分期疏伐及伐採面積

肖楠面積	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~70	71~90	總計
第一期	0	0	0	0	0	0	0	0
第二期	0	0	23.57*	0	0	7.96*	0	31.53
第三期	0	0	0	0	0	0	0	0
第四期	0	252.31***	0	0	0	0	0	252.31
總計	0	252.31	23.57	0	0	7.96	0	283.84

註：*為疏伐 20%，**為疏伐 40%，***為疏伐 60%。

(六) 二葉松多目標規劃進階方案下之各齡級分期疏伐及伐採面積

二葉松面積	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~70	71~90	總計
第一期	0	0	0	0	0.33	6.02	0	6.35
第二期	0	83.65***	0	226.52	0	0	0	310.17
第三期	0	0	0	0	0	0	0	0
第四期	5.31**	0	0	0	0	0	0	5.31
總計	5.31	83.65	0	226.52	0.33	6.02	0	321.83

註：*為疏伐 20%，**為疏伐 40%，***為疏伐 60%。

(七) 相思樹多目標規劃進階方案下之各齡級分期疏伐及伐採面積

相思樹面積	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~70	71~90	總計
第一期	0	0	0	0	0	0	0	0
第二期	0	0	0	0	0	0	0	0
第三期	0	0	0	0	0	0	0	0
第四期	0	1254.88	0	0	0	0	0	1254.88
總計	0	1254.88	0	0	0	0	0	1254.88

(八) 光臘樹多目標規劃進階方案下之各齡級分期疏伐及伐採面積

光臘樹面積	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~70	71~90	總計
第一期	0	0	0	0	0	0	0	0
第二期	0	0	730.34	0	0	0	0	730.34
第三期	0	0	0	0	0	0	0	0
第四期	0	0	0	0	0	0	0	0
總計	0	0	730.34	0	0	0	0	730.34

(九) 櫟木多目標規劃進階方案下之各齡級分期疏伐及伐採面積

櫟木面積	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~70	71~90	總計
第一期	0	0	0	0	0	476.28	2133.58	2609.86
第二期	0	0	0	0	0	0	0	0
第三期	0	0	0	0	0	0	0	0
第四期	0	0	0	0	0	0	0	0
總計	0	0	0	0	0	476.28	2133.58	2609.86

(十) 楓香多目標規劃進階方案下之各齡級分期疏伐及伐採面積

楓香面積	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~70	71~90	總計
第一期	0	0	0	50.32	0	0	1.09	51.41
第二期	0	0	1155.37	0	0	0	0	1155.37
第三期	0	0	0	0	0	0	0	0
第四期	0	0	0	0	0	0	0	0
總計	0	0	1155.37	50.32	0	0	1.09	1206.78

(十一) 樟樹多目標規劃進階方案下之各齡級分期疏伐及伐採面積

樟樹面積	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~70	71~90	總計
第一期	0	0	0	0	0	0	0	0
第二期	0	0	0	0	0	0	0	0
第三期	0	0	0	0	0	0	0	0
第四期	0	0	0	0	0	0	0	0
總計	0	0	0	0	0	0	0	0

(十二) 銀合歡多目標規劃進階方案下之各齡級分期疏伐及伐採面積

銀合歡面積	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~70	71~90	總計
第一期	0	0	0	0	0	0	9.89	9.89
第二期	0	0	0	0	0	0	0	0
第三期	0	0	0	0	0	0	0	0
第四期	0	77.06	946.79	571.47	0	0	0	1595.32
總計	0	77.06	946.79	571.47	0	0	9.89	1605.21