

# 臺灣大學實驗林人工林生長量與碳吸存量之研究

## Plantation of growth and carbon sequestration study at NTUEF

蔡明哲、王亞男、鄭景鵬\*

台灣大學森林環境暨資源學系教授兼實驗林管理處副處長、處長、研究助理



# 前言

樹木的生長過程中，碳吸存主要是經由光合作用吸收大氣中的碳，將其儲存在自體的生物量。在廣大的陸生生態系中，森林為固定二氧化碳的主要場所。Sedjo(1989)曾算出，一般人工林年平均生長量每 $15 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ 的林地中，每年每公頃能吸收**3.9 ton**的碳(1立方公尺可吸收0.26公噸的碳)。

在森林碳量的估算上，主要估算森林五大碳庫的排放量與移除量。據[馬拉喀什協定]中有關LULUCF的第11/CP.7號決議，碳庫包含**地上部生物量**(Aboveground biomass)、**地下部生物量**(Belowground biomass)、**枯死木**(Dead wood)、**枯枝落葉**(Litter)、**土壤有機質**(Soil organic matter)



# 前言

---

現今的社會中，森林生態保育相對地被世界各國所重視，各國政府對森林經營也作適時調整期能提升生物多樣性之健康森林，兼顧森林生態系之完整性，維持林地生產力以達成森林之永續經營(李明仁，2007)。

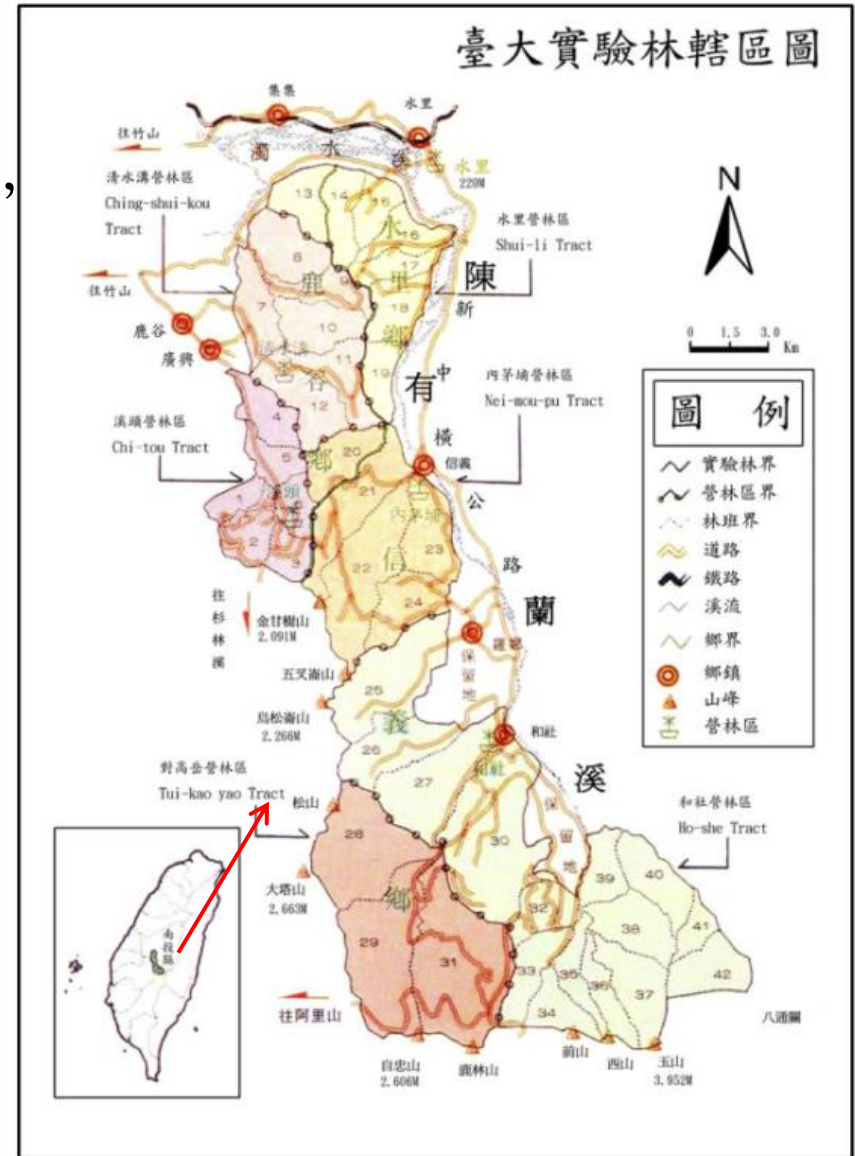
造林與再造林是目前臺灣顧及環境與抵銷二氧化碳排放量最有效的低成本策略。IPCC亦認定建造森林為能有效減緩CO<sub>2</sub>排放的方法之一；在京都議定書中亦同意未來各國新增人造林將可視為該國減量排放CO<sub>2</sub>措施之一。

因此在全球溫室效應及氣候變遷中，森林資源擔負的二氧化碳儲存與吸收的重要角色。

# 前言

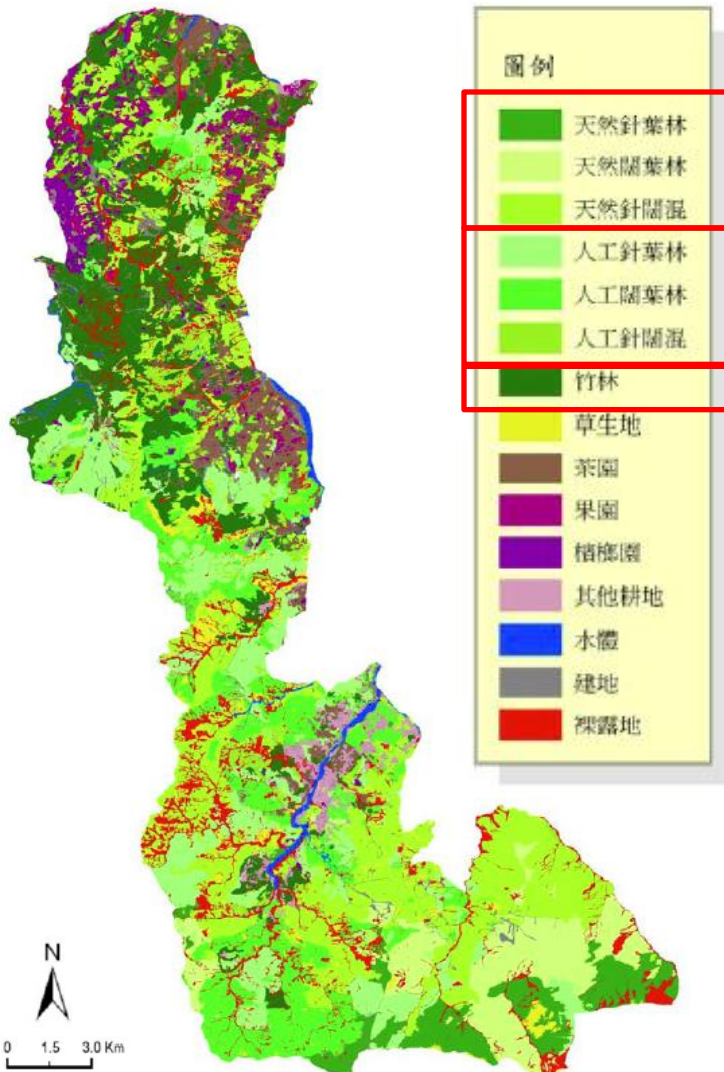
臺大實驗林位居臺灣中心偏西，為臺灣林業重大樞紐，轄區範圍含括中部山區，全區山勢大都陡急，僅局部山麓地帶有少許之緩斜地。

自日治時期以來歷年的沿革與人為開發，目前森林地面積約為**25,627 ha**，為總面積為**76%**，顯見長期護管之成效。



# 實驗林林地分類及利用現況

臺大實驗林土地利用型圖



| 森林種類  | 面積(公頃)    | 百分比 (%) |
|-------|-----------|---------|
| 森林地   | 25,627.02 | 76.15   |
| 針葉樹林  | 6,682.66  | 19.86   |
| 針闊混淆林 | 8,292.30  | 24.64   |
| 闊葉樹林  | 8,473.36  | 25.19   |
| 竹林    | 2,173.70  | 6.46    |
| 非森林地  | 8,025.60  | 23.85   |
| 合計    | 33,652.62 | 100     |

**人工林**主要造林樹種為柳杉及杉木，兩者合計約佔總造林面積之**70%**，蓄積量約佔**80%**，為實驗林造林樹種之兩大宗。

**天然林**依據利用現況分別為保安林5,591公頃、生產林2,797公頃、水源涵養林2,580公頃、森林遊樂林443公頃、保護林307公頃

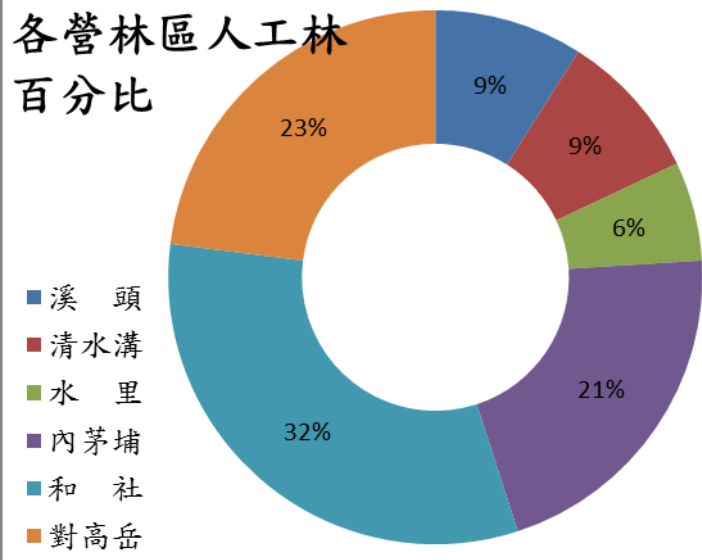
# 各營林區人工林與天然林分布

| 營林區 | 林 班            | 人工林面積  |     | 天然林面積  |     |
|-----|----------------|--------|-----|--------|-----|
|     |                | (公頃)   | (%) | (公頃)   | (%) |
| 溪 頭 | 1~6            | 989    | 9   | 509    | 4   |
| 清水溝 | 7~12           | 980    | 9   | 425    | 4   |
| 水 里 | 13~19          | 660    | 6   | 161    | 1   |
| 內茅埔 | 20~24          | 2,255  | 21  | 753    | 7   |
| 和 社 | 25~27、30、32~42 | 3,480  | 32  | 7,601  | 65  |
| 對高岳 | 28、29、31       | 2,496  | 23  | 2,159  | 19  |
| 合 計 | 42             | 10,860 | 100 | 11,608 | 100 |

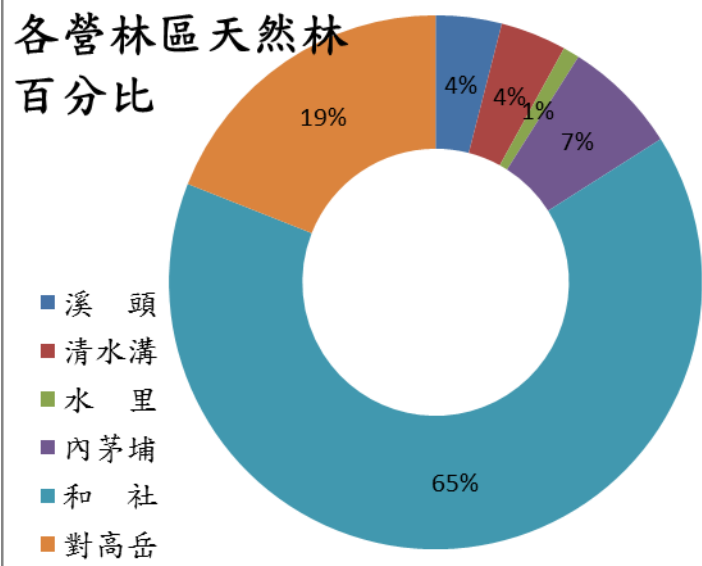
以營林區別來看，人工林與天然林面積以和社營林區最大，天然林最少的營林區則為林農開發較早的水里營林區，僅餘161公頃。

主要森林地分布以內茅埔、和社、對高岳為主，柳杉及杉木為主要的造林樹種。

各營林區人工林百分比



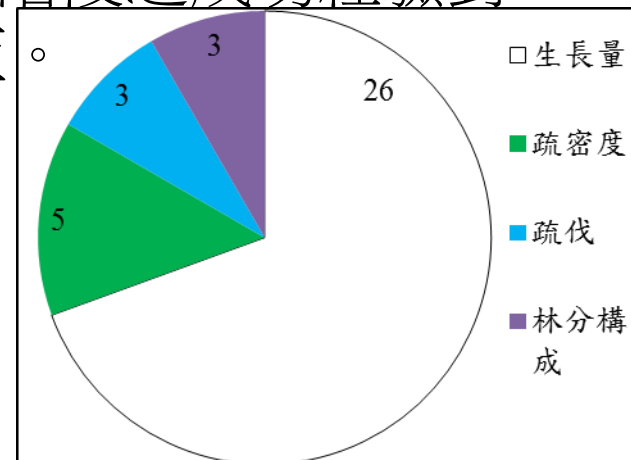
各營林區天然林百分比



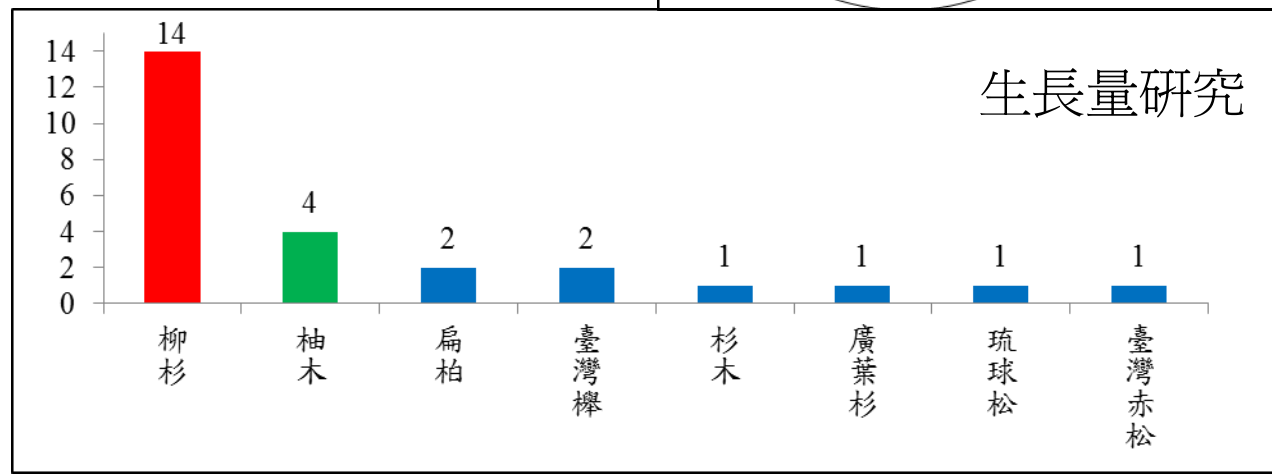
# 人工林經營與長期試驗地

日治時期因應當時因應政策與經濟環境，在行政區內廣植柳杉人工林與引進國外樹種，以期未來能大量生產木材。實驗林最早的長期試驗地始於1912年，在溪頭營林區內設立(又名西川柳杉生長量試驗地)，此階段之成功經驗對於後期臺灣各地之柳杉造林工作影響甚鉅。

為生產大量木材與研究柳杉生長與收穫，於轄區內設置許多長期試驗地，生長量研究中柳杉即佔了**72.2%**。

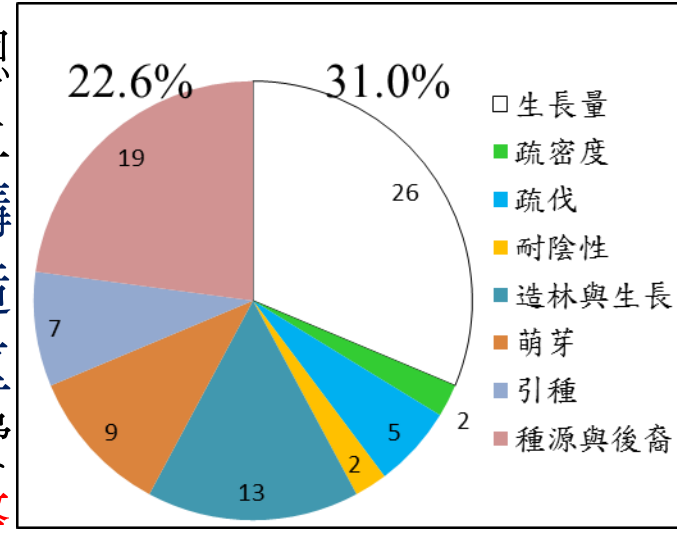


同時引進國外優良造材樹種與培育本土造材樹種；進行長時間觀察與研究其生長。

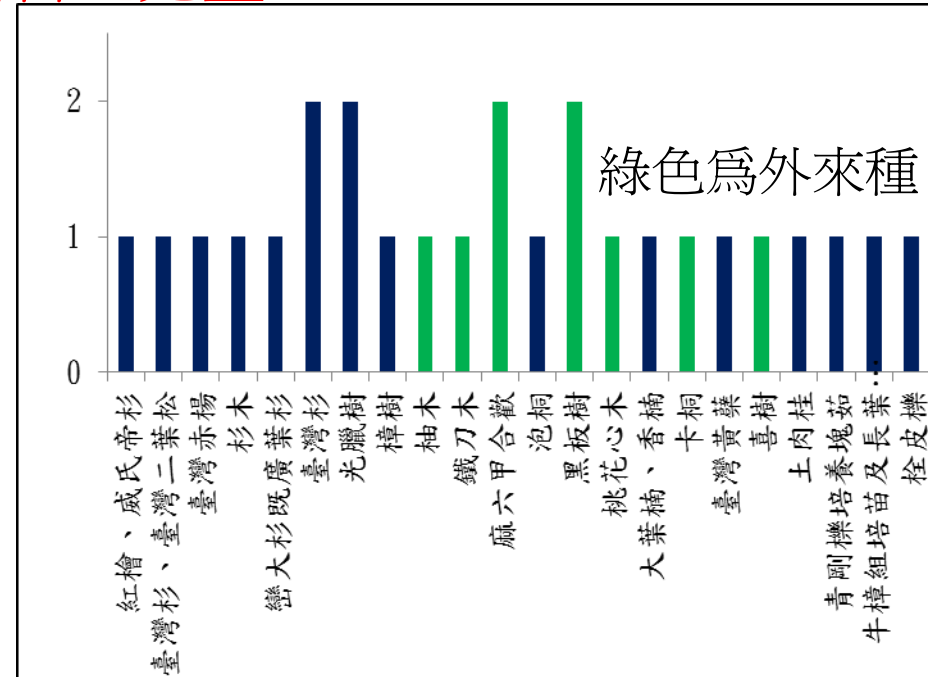


# 人工林生長量研究-長期試驗地

歷年來實驗林設置的長期試驗地總計140處，依照試驗設計與其森林學上的性質區分為生長量、疏密度、林分構成、疏伐試驗、種源及後裔、引種、造林與生長、萌芽、標本園、竹類、貴重木、保留木與其他等十三項。每年耗費大量人力物力，**延續試驗調查資料之完整性並建立資料庫。**



除了研究柳杉生長與收穫以外，陸續也增加許多樹種的生長量研究；亦致力於研究主要造林樹種的優良**種源與後裔**，進行長時間觀察與研究其生長。



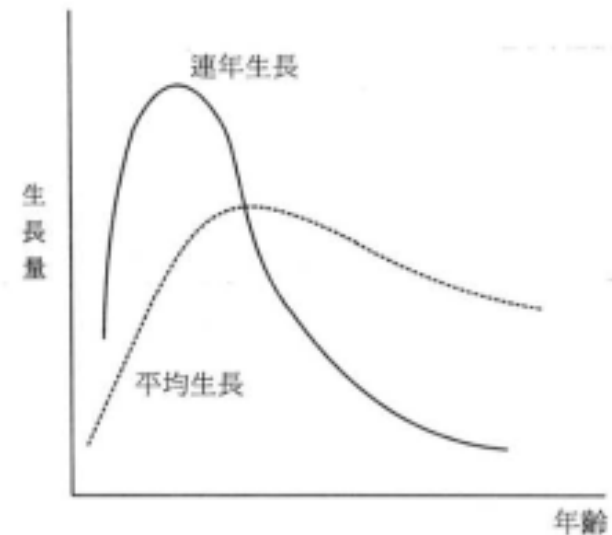
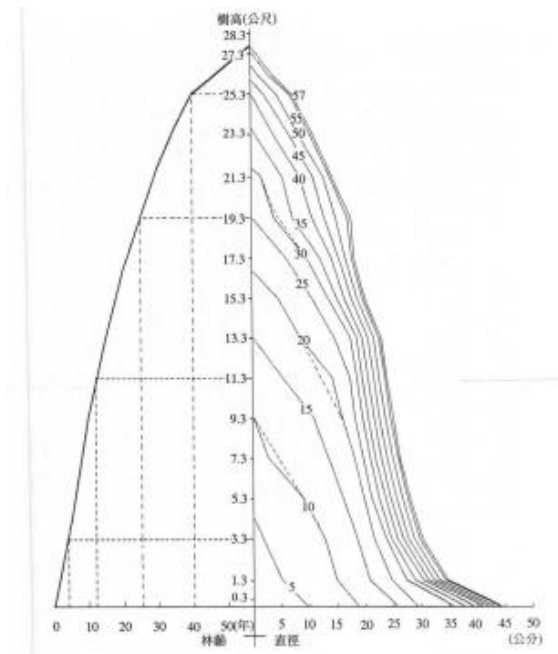


# 人工林生長量研究基礎-長期試驗地

生長量研究為長期試驗地之研究基礎，尤其主要造林樹種，每段時間透過每木調查與樹幹解析來深入了解造林木的生長過程，並推估全林生長與蓄積量，作為評估輪伐期之基礎。

## 試驗設計：

1. 調查供試林分每株林木胸高直徑(DBH)。
2. 依單級法選出標準木：供試林木斷面積和 $G = \sum ng(m^2)$ ，以株數除之，得平均之斷面積 $g = G N^{-1}(m^2)$ ；再由平均斷面積求得胸高直徑(d)。  $d = (m^2)$ 。
3. 樹高之測定：依直徑級法分供試區林分直徑為A、B、C三級，每一級選三株共九株，用測高器測量其樹高而平均之，為林分樹高。
4. 作樹幹解析：選胸高直徑最接近標準木者，伐倒後截鋸圓板，查定各斷面積年輪數，並分別量取直徑生長量，以推算樹高生長，計算樹高、胸高直徑、胸高斷面積及材積等之總生長、連年生長、平均生長及生長率與形數等。
5. 計算試驗地內材積，推算每公頃之蓄積量( $m^3 ha^{-1}$ )。



# 生長量與碳吸存之關係

碳貯存量之推估，主要是透過立木材積、木材比重與碳含量參數等三部份進行(李國忠等，2000)，其計算過程則是將林木貯存量轉換成生物量，再乘上碳含量參數後求得碳貯存量(王兆桓、劉知妤，2006)。

林木碳貯存量的估算方法有：(1) 以森林生物量數據為基礎的蓄積量法；(2) 以森林蓄積量數據為基礎的蓄積量法(李意德等，1997)。IPCC曾建議林業部門估算CO<sub>2</sub>與碳吸存方法試算原則如公式  $C_{\text{plant}}=(N \times V_{\text{stem}}) \times V_{\text{whole/stem}} \times W_o/V_g \times C_{\text{con}}$

式中  $C_{\text{plant}}$ ：林木每公頃碳吸存量

$N$ ：每公頃林木株數

$V_{\text{stem}}$ ：單株幹材材積

$V_{\text{whole/stem}}$ ：全株材積與幹材材積轉換係數

$W_o/V_g$ ：生材平均比重

$C_{\text{con}}$ ：生物量與碳含量轉換係數(0.5)

換而言之，林木每年的生長量為林木的蓄積量累積，亦為生物量累積，即是林木的碳吸存量。

# 文獻與計算資料回顧

近年來響應全球暖化議題，許多學者致力於計算全臺灣林木碳吸存量的機制與方法。

引用IPCC建議，計算林務局1995年所公布的資料，全臺森林之碳吸存總量約一億五千八百萬噸。

| 林型    | 面積<br>(ha) | 百分比<br>(%) | 蓄積<br>(千 m <sup>3</sup> ) | 百分比<br>(%) | 平均蓄積<br>(m <sup>3</sup> /ha) | 森林碳吸存總量<br>(千 ton) |
|-------|------------|------------|---------------------------|------------|------------------------------|--------------------|
| 天然針葉林 | 220,100    | 10.5       | 91,770                    | 25.58      | 417                          | 40,149             |
| 天然混淆林 | 331,600    | 15.8       | 94,608                    | 26.37      | 285                          | 41,391             |
| 天然闊葉林 | 975,800    | 46.4       | 124,155                   | 34.61      | 127                          | 54,318             |
| 人工針葉林 | 218,400    | 10.4       | 34,065                    | 9.5        | 156                          | 16,181             |
| 人工闊葉林 | 144,600    | 6.9        | 8,818                     | 2.46       | 61                           | 4,189              |
| 人工混淆林 | 59,600     | 2.8        | 4,793                     | 1.34       | 80                           | 2,277              |
| 竹林    | 152,300    | 7.2        | 535                       | 0.15       | 4                            | 268                |
| 合計    | 2,102,400  | 100        | 358,744                   | 100        | 171                          | 158,773            |

| 作者              | 年份   | 題目                          | 期刊 / 博碩士論文                         |
|-----------------|------|-----------------------------|------------------------------------|
| 林務局             | 1995 | 第三次台灣森林資源調查及土地利用調查          | 台灣省農林務廳林務局。台北                      |
| 李國忠、林俊成         | 2000 | 京都議定書與森林資源碳吸存效果             | 台灣林業 26(1):54-59                   |
| 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                |
| 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: 71-79                |
| 林裕仁、劉瓊霏、林俊成     | 2002 | 台灣地區主要用材比重與含碳量測定            | 台灣林業科學17(3):291-299                |
| 王兆桓、劉知好         | 2006 | 森林貯存量與生物量轉換模式之建立            | 2006森林碳吸存研討會論文集 pp200-215          |
| 林國銓             | 2006 | 台灣生物量調查回顧與檢討                | 2006年森林碳吸存研討會                      |
| 陳莉坪             | 2008 | 台糖平地造林植林碳匯計畫設計文件之研究         | 國立台灣大學生物資源系暨農學院森林環境暨資源學系碩士論文。116頁。 |
| 吳俊賢             | 2009 | 森林經營與碳吸存                    | 林業研究專訊16(2):47-55                  |

# 柳杉生長量與碳吸存(文獻回顧)

| 作者  | 年分   | 題目                            | 博碩士論文                 |
|-----|------|-------------------------------|-----------------------|
| 林聖祥 | 1970 | 溪頭營林區柳杉空中照片用單株材積表編製之研究        | 國立臺灣大學森林環境暨資源學研究所碩士論文 |
| 林文亮 | 1971 | 林分生長測計及預測方法之研究                | 國立臺灣大學森林環境暨資源學研究所碩士論文 |
| 李訓煌 | 1976 | 不同齡級柳杉林之生長及樹木生物量生產之研究         | 國立臺灣大學森林環境暨資源學研究所碩士論文 |
| 畢炳媛 | 1976 | 柳杉生長模式的研究                     | 國立臺灣大學森林環境暨資源學研究所碩士論文 |
| 謝筱齡 | 1977 | 台大實驗柳杉輪伐期之研究                  | 國立臺灣大學森林環境暨資源學研究所碩士論文 |
| 鄭進練 | 1981 | 疏伐對柳杉林木生物量之影響                 | 國立臺灣大學森林環境暨資源學研究所碩士論文 |
| 游漢明 | 1981 | 不同齡級柳杉林分地上部生物量與淨生產物           | 國立臺灣大學森林環境暨資源學研究所碩士論文 |
| 魯先智 | 1983 | 柳杉疏伐林林分之生長模式                  | 國立臺灣大學森林環境暨資源學研究所碩士論文 |
| 楊秋震 | 1983 | 應用動態規劃決定台灣柳杉人工林之最佳疏伐方案與輪伐期之研究 | 國立臺灣大學森林環境暨資源學研究所碩士論文 |
| 梁治文 | 1985 | 溪頭營林區柳杉人工林空中照片判釋用林分材積表編製之研究   | 國立臺灣大學森林環境暨資源學研究所碩士論文 |
| 李崇銘 | 1989 | 柳杉種源試驗十五年生林木之生長表現             | 國立臺灣大學森林環境暨資源學研究所碩士論文 |
| 林世宗 | 1989 | 不同栽植距離下柳杉林分之生長及其養分動態之研究       | 國立臺灣大學森林環境暨資源學研究所博士論文 |
| 馮豐隆 | 1990 | 人工林林分結構與生長量化理論之研究             | 國立臺灣大學森林環境暨資源學研究所博士論文 |
| 謝漢欽 | 1992 | 多譜掃描資訊於柳杉林分樹冠鬱閉度及材積推估功效上之研究   | 國立臺灣大學森林環境暨資源學研究所博士論文 |
| 張瑞文 | 2007 | 應用光達資料於溪頭柳杉人工林分調查之研究          | 國立臺灣大學森林環境暨資源學研究所碩士論文 |
| 林佑蓉 | 2007 | 台灣之柳杉人工林疏伐之碳吸存的成本效能分析         | 國立臺灣大學森林環境暨資源學研究所碩士論文 |
| 林雅慧 | 2008 | 柳杉栽植距離試驗之林分斷面積生長與收穫           | 國立臺灣大學森林環境暨資源學研究所碩士論文 |

最早的柳杉的引進紀錄中，為1889年由日本商人引進文山一帶栽植，但生長情形不佳，而後的零星栽植紀錄不詳。至1912年於溪頭地區開始大量栽植。

整理歷年臺灣林業相關文獻顯示，大部分柳杉生長量相關文獻來自臺大實驗林；其中不乏應用生長量紀錄推估碳吸存，有許多試驗地與相關資料幾乎源於柳杉生長量長期試驗地，或是藉由長期試驗地資料作為輔助，

# 柳杉生長量與碳吸存(文獻回顧)

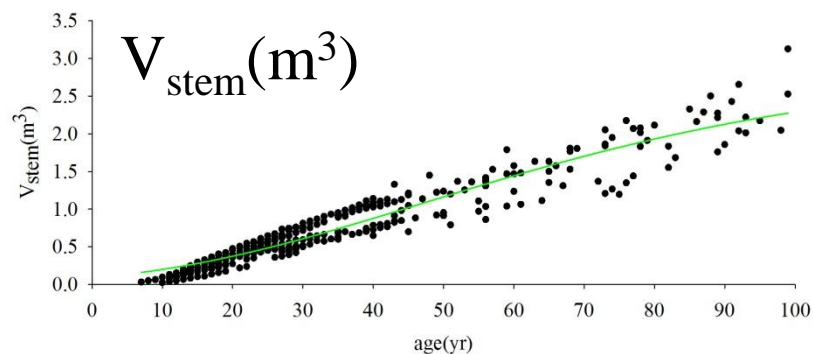
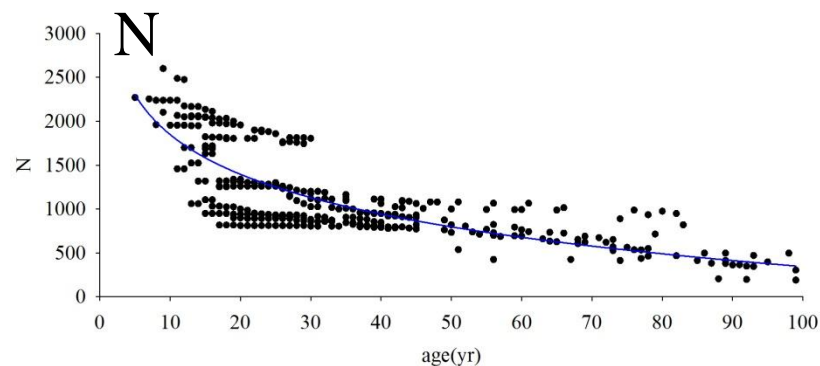
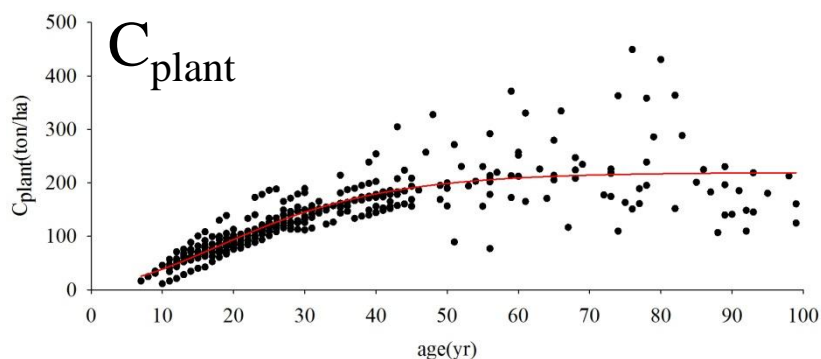
| 作者    | 年份 題目                             | 期刊   |
|-------|-----------------------------------|--|
| 周楨等   | 1957 柳杉栽植距離與生長之關係                 | 臺大實驗林研究報告10                                  |
| 章樂民   | 1969 臺灣柳杉文獻摘要                     | 中華林學季刊3(4):239-249                           |
| 顧懿仁   | 1969 台灣柳杉造林概述                     | 臺灣林業季刊3(2):149                               |
| 焦國模   | 1970 依材積直線測計柳杉之材積                 | Proceedings of the National Science Council4 |
| 焦國模   | 1970 臺大實驗林溪頭營林區航照判釋用--柳杉域性材積表之編製  | 中華林學季刊3:4                                    |
| 劉慎孝   | 1972 立地坡度對於柳杉人工林林分生長影響之研究         | 中華林學季刊6:1                                    |
| 楊榮啓等  | 1972 柳杉人工林林分密度管理之研究               | 中華農學會報80                                     |
| 楊榮啓   | 1972 臺大實驗林柳杉樹幹形狀及立木材機表編制之研究       | 臺大實驗林林業叢刊52                                  |
| 楊榮啓   | 1972 疏伐對於柳杉實生苗與插條苗林木生長影響之比較       | 臺大實驗林研究報告98                                  |
| 施慶芳   | 1974 柳杉幼齡樹高,幹徑與壯齡樹高,幹徑相關之研究       | 中華林學季刊7:1                                    |
| 臺大實驗林 | 1974 主要造林樹種生長紀錄                   | 臺大實驗林林業特刊4                                   |
| 劉慎孝   | 1975 臺灣柳杉林分理想立木度之查定研究             | 農林學報24                                       |
| 楊榮啓   | 1975 臺灣大學實驗林產柳杉之生長與收穫的研究          | 臺大實驗林研究報告116                                 |
| 楊榮啓等  | 1976 人工林林分密度之研究                   | 臺大實驗林研究報告117                                 |
| 王子定   | 1977 柳杉林之不同栽植距離對生物量生產之影響          | 臺大實驗林研究報告119                                 |
| 王子定   | 1978 不同齡級柳杉林樹木生物量之生產              | 中華農學會報102                                    |
| 王子定   | 1978 不同齡級柳杉林之生長與樹木生物量生產之研究        | 臺大農學院研究報告18(2):1-35                          |
| 王子定等  | 1980 修枝對柳杉生長之影響                   | 臺大農學院研究報告20(1):23-55                         |
| 楊榮啓等  | 1984 柳杉實生苗與插條苗林木生長的研究             | 林產工業26(1):29-37                              |
| 楊榮啓   | 1985 貝爾陀蘭斐生長模式在研究臺灣樹木生長分析上的適用性    | 中華林學季刊18(4):25-36                            |
| 楊榮啓   | 1988 臺灣柳杉人工林林分結構解析之研究             | 中華林學季刊21(1):1-10                             |
| 焦國模等  | 1989 空載多譜掃描資訊對柳杉生物量測估之研究          | 臺大農學院研究報告29(1):54-72                         |
| 姜家華等  | 1989 柳杉種源試驗(3)-15年生試驗結果           | 臺大實驗林研究報告3:3=185                             |
| 施慶芳等  | 1997 柳杉栽植距離之研究--46年生時之結果          | 臺大實驗林研究報告11(2):81-109                        |
| 王亞男等  | 2009 臺大實驗林清水溝營林區線浸柳杉生長量試驗研究       | 臺大實驗林研究報告23(2):133-146                       |
| 林俊成等  | 2009 風害對林木生長之影響--以臺大實驗林開農臺柳杉造林地為例 | 臺大實驗林研究報告23(2):163-174                       |
| 沈介文等  | 2009 金鋼鑽柳杉林地上部生物量與碳存量估算           | 臺大實驗林研究報告23(3):255-266                       |
| 劉素玲等  | 2009 溪頭門田柳杉生長量及二氧化碳貯存量效益之研究       | 臺大實驗林研究報告23(3):189-200                       |
| 沈介文等  | 2009 五條溪柳杉林木構成狀態之研究               | 臺大實驗林研究報告23(4):321-327                       |
| 王亞男等  | 2009 疏伐對柳杉插條苗與實生苗造林木生長之影響         | 臺大實驗林研究報告23(4):267-283                       |
| 王亞男等  | 2009 二種不同栽植密度對柳杉初期生長之影響           | 臺大實驗林研究報告23(4):285-293                       |

# 柳杉生長量與碳吸存(文獻回顧)

$$V_{(\text{whole/stem})} = 1.16$$

$W_o/V_g = 0.368$  王松永(1989)生材平均比重

$C_{\text{con}} = 0.4903$  林裕仁等(2002)生物量與碳含量轉換係數



30年生時每年平均單木生長**0.6087  $\text{m}^3$**   
30年生時每年每公頃固碳**4.8334  $\text{ton ha}^{-1} \text{yr}^{-1}$**

60年生時每年平均單木生長**1.4432  $\text{m}^3$**   
60年生時每年每公頃固碳**3.4850  $\text{ton ha}^{-1} \text{yr}^{-1}$**

90年生時每年平均單木生長**2.1258  $\text{m}^3$**   
90年生時每年每公頃固碳**2.4243  $\text{ton ha}^{-1} \text{yr}^{-1}$**

# 杉木生長量與碳吸存(文獻回顧)

| 作者              | 年份    | 題目  | 出處                          |
|-----------------|-------|---|-----------------------------|
| 佐藤忠夫            | 1941  | 廣葉杉植栽的間伐試驗並考察   | 台灣總督府林業試驗所報告第6號             |
| 台灣總督府林業試驗所      | 1943  | 廣葉杉植栽林的林木構成狀態ニ關スル統計的研究                                | 台灣總督府林業試驗所報告第13             |
| 洪良斌             | 1950  | 杉木間伐試驗林分構成狀態及其生長之研究。                                  | 台灣省林業試驗所報告第39號              |
| 劉慎孝             | 1950  | 杉木及柳杉在不同產地上之生長研究                                      | 台灣省林業試驗所報告第24號              |
| 林子玉             | 1956  | 能高臨場杉木柳杉及日本扁柏之生長比較研究                                  | 農林學報第五輯                     |
| 劉慎孝、陳松藩和謝水旺     | 1964  | 台灣杉木林收穫表。   | 台灣省林業試驗所報告第104號             |
| 劉慎孝             | 1966  | 立地方位對於杉木林分生長影響之研究                                     | 農林學報十五輯。頁79-87              |
| 劉慎孝             | 1968  | 杉木林份是中立木度之查定研究  | 中華林學季刊。2(4)：122-133         |
| 洪良斌             | 1969  | 杉木栽植距離與收穫關係之研究  | 台灣省林業試驗所第180號               |
| 劉宣誠             | 1982  | 本省杉木造林木之生長與木材性質之研究                                    | 台灣省林業試驗所第375號               |
| 楊榮啓             | 1985  | 貝爾陀蘭斐生長模式在研究台灣樹木生長分析上的適用性                             | 中華林學季刊。18(4)：25-36          |
| 洪富文、孫正春和黃松根     | 1985  | 蓮華池地區不同林齡杉木林地上部生物量之分析                                 | 台灣省林業試驗所第444號               |
| 陳松藩             | 1986  | 打枝與疏伐影響杉木林分生長之研究。                                     | 台灣省林業試驗所報告第167號             |
| 高清、顧濤和王銘鐘       | 1986  | 杉木人工林生物量及養分聚積之研究。                                     | 國立台灣大學農學院研究報告第168號          |
| 李久先和陳朝圳         | 1988  | 大雪山地區紅檜人工幼齡林單木生長模式之研究                                 | 中華林學季刊。21(2)：25-44          |
| 馮豐隆和楊榮啓         | 1988  | 使用貝爾陀蘭斐模式研究台灣七種樹種生長之適用性的探討                            | 中華林學季刊。21(1)：47-64          |
| 楊榮啓和馮豐隆         | 1989  | 史納德生長韓述是在台灣人工林分結構分析之應用                                | 中華林學季刊。22(3)：3-17           |
| 李久先和顏添明         | 1995a | 紅檜人工林疏伐林分生長之研究—Mitscherlich、Logistic                  | 中興大學實驗林研究報告。17(1)：125-136   |
| 李久先和顏添明         | 1995b | 紅檜人工林單木生長之研究(二)—Chapman-Richards和Gompertz模式模擬單木生長效果分析 | 國立中興大學實驗林研究彙刊。17(2)：109-116 |
| 顏添明和李久先         | 1998  | 應用Richards生長模式分析疏伐林分之單木生長                             | 中華林學季刊。31(2)：165-176        |
| 顏添明、李久先、黃凱洛和劉兆昌 | 2004  | 杉木人工林成熟林分林木生長及生物量之探討                                  | 中華林學季刊。37(2)：157-168        |
| 顏添明、黃凱洛         | 2006  | 杉木地上部碳儲存量之推估  | 台灣林業科學。21(2):273-280        |

杉木的引進時間無從考證，可以追溯到清朝漢人遷台時期；為普遍的建築、家具材料，而日本人的杉木造林始於1916年，1941年留有生長研究報告。

# 杉木生長量與碳吸存(文獻回顧)

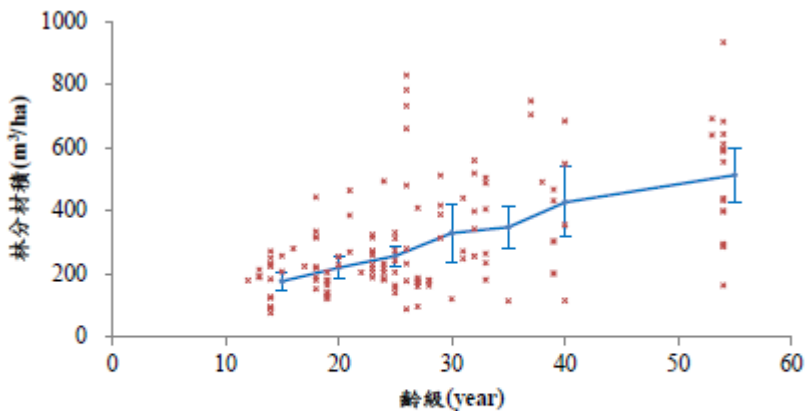
由高榕翔(2013)論文資料換算

| 作者  | 年份   | 題目                  | 博碩士論文                 |
|-----|------|---------------------|-----------------------|
| 鄭英哲 | 1958 | 杉木林分構成狀態之研究         | 國立中興大學森林學研究所碩士論文。     |
| 林明進 | 1995 | 不同疏伐度與利地影響杉木生長之調查研究 | 國立中興大學森林學研究所碩士論文。     |
| 黃凱洛 | 2003 | 杉木人工林生長量與碳吸存之研究     | 國立中興大學森林學研究所碩士論文。     |
| 劉兆昌 | 2004 | 杉木人工林樹冠結構與生物量之研究    | 國立中興大學森林學研究所碩士論文。     |
| 高榕翔 | 2013 | 台灣與大陸杉木人工林生長之研究比較   | 國立臺灣大學森林環境暨資源學研究所碩士論文 |

$W_o/V_g = 0.340$  王松永(1989)生材平均比重

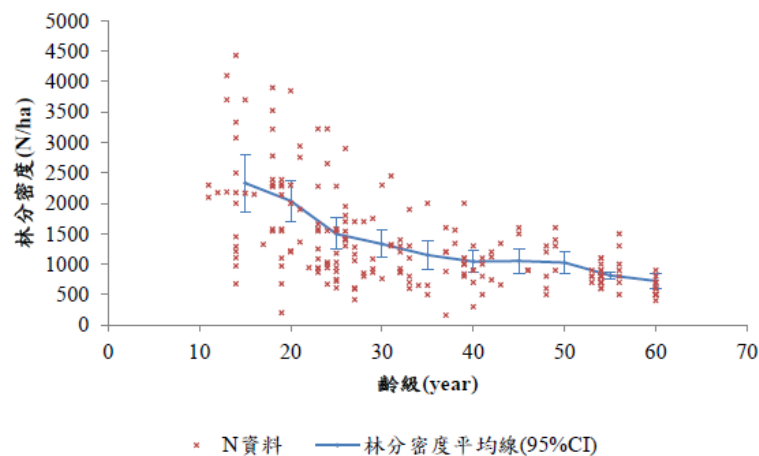
$C_{con} = 0.4832$  林裕仁等(2002) 生物量與碳含量轉換係數

$V_{(whole/stem)} = 1.07$



• V資料 — 林分材積平均線(95%CI)

圖 4.12 台灣杉木之林分材積平均線



30年生時每年平均單木生長**0.2180 m<sup>3</sup>**  
 30年生時每年每公頃固碳**1.8660 ton ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>**

60年生時每年平均單木生長**0.7702 m<sup>3</sup>**  
 60年生時每年每公頃固碳**1.5925 ton ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>**



# 臺灣杉生長量與碳吸存(文獻回顧)

| 作者                  | 年份    | 題目                            | 出處                      |
|---------------------|-------|-------------------------------|-------------------------|
| 洪良斌                 | 1974  | 臺灣杉人工林分生長之研究                  | 林業試驗所研究報告236號           |
| 陳松藩                 | 1979  | 臺灣杉材積表及形數表之編製                 | 林業試驗所報告第323號            |
| 蘇鴻傑                 | 1986  | 臺灣杉生活史之研究                     | 現代育林1(2)                |
| 林照松、洪富文             | 1991  | 六龜地區臺灣杉人工林之生長                 | 林業試驗所研究報告季刊6(3)：229-248 |
| 姚榮鼎                 | 1993  | 臺灣杉人工林生長與林分密度關係之研究            | 臺大實驗林研究報告7(4)：1-12      |
| 陳麗琴、黃進睦、林俊秀、邱祈榮     | 1997  | 六龜試驗林台灣杉人工林蓄積量及生長估測之研究        | 臺灣林業科學12(3):319-327     |
| 李國忠、林俊成、陳麗琴         | 2000  | 台灣杉人工林碳吸存潛力及成本效益分析            | 台灣林業科學15(1) :115-123    |
| 李國忠、陳毓華、魏名聰         | 2000  | 臺灣杉人工林最適林分經營之研究               | 臺大實驗林研究報告14(4)：245-258  |
| 汪大雄、湯適謙、邱志明         | 2006  | 六龜試驗林台灣杉人工林疏伐四年後對生長和林分結構影響之分析 | 臺灣林業科學21(3):339-351     |
| 汪大雄、謝漢欽、湯適謙         | 2007  | 六龜地區台灣杉人工林林木尖削度模式之建立          | 臺灣林業科學22(3):339-353     |
| 王亞男、蔡明哲、劉啓福、鄭景鵬     | 2009  | 不同林分密度臺灣杉人工林下層疏伐對其生長量之影響      | 臺大實驗林研究報告23(4)：295-308  |
| 劉興旺、鐘立展、王亞男、陳和田、鄭景鵬 | 2009  | 臺灣中部地區臺灣杉人工林之生長量與碳吸存量之研究      | 臺大實驗林研究報告 23(3)：201-212 |
| 汪大雄、謝漢欽、湯適謙、鍾智昕     | 2010  | 六龜地區台灣杉人工林林分生長模擬之研究           | 臺灣林業科學25(2):155-169     |
| 鄭景鵬、許崑衍、林金樹、蔡明哲     | 2010  | 溪頭地區臺灣杉人工林林分生長的長期變化趨勢         | 臺大實驗林研究報告24(3)：147-156  |
| 劉浚明                 | 1996a | 臺灣杉人工林林分結構之預測模式               | 中華林學季刊29(1):87-97       |
| 劉浚明                 | 1996b | 臺灣杉造林地地位指數之建立                 | 中華林學季刊29(1):99-104      |
| 汪大雄、謝漢欽、湯適謙、鍾智昕     | 2008  | 六龜地區台灣杉人工林地位指數模式之建立           | 臺灣林業科學23(4):335-349     |

臺灣杉是木本植物中，以臺灣為屬名的臺灣特有種。臺灣杉全球只有一屬一種，主要分布在臺灣、中國的雲南、貴州與緬甸北部，形成不連續的雙種原中心。

臺灣杉的生長相關研究晚於柳杉與杉木，在生長量的觀察與紀錄中25年生以前臺灣杉生長劣於柳杉，但25年生以後大幅優於柳杉；除了實驗林轄區內，六龜地區廣泛種植臺灣杉。目前臺灣野外觀察到的林木中，胸徑達3公尺，樹高達60公尺。

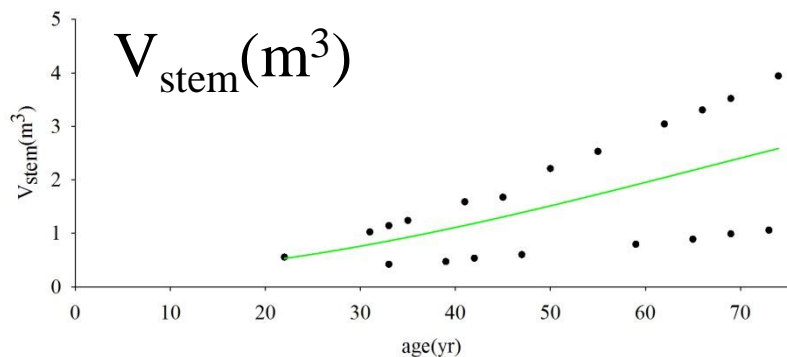
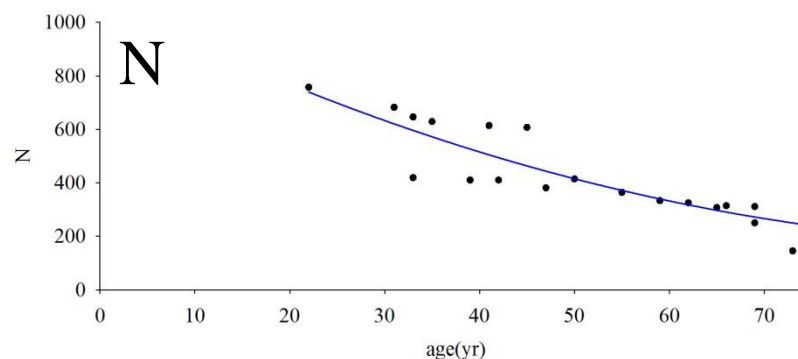
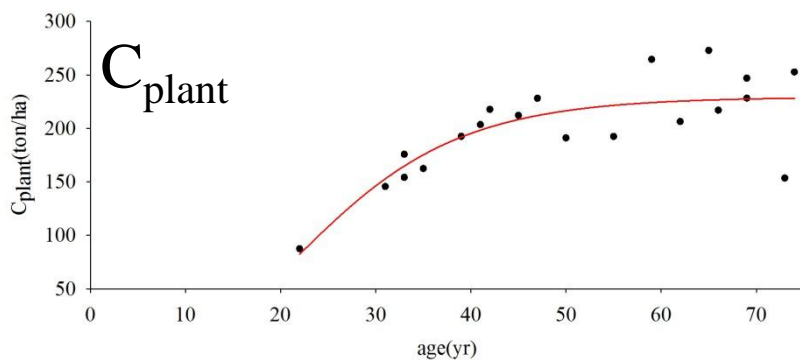
# 臺灣杉生長量與碳吸存(文獻回顧)

| 作者  | 年份   | 題目                      | 博碩士論文             |
|-----|------|-------------------------|-------------------|
| 黃進睦 | 1995 | 臺灣杉人工林不同栽植密度對生長之影響      | 國立台灣大學森林學研究所碩士論文  |
| 陳毓華 | 1998 | 臺灣杉人工林最適經營之研究---動態規劃之應用 | 國立臺灣大學森林研究所碩士論文   |
| 陳羽康 | 2010 | 臺灣杉林分結構與生物量之研究          | 國立屏東科技大學森林系碩士學位論文 |

$V_{(whole/stem)} = 1.21$  陳羽康(2010) 地上部擴展係數

$W_o/V_g = 0.357$  王松永(1989) 生材平均比重

$C_{con} = 0.4832$  林裕仁等(2002) 生物量與碳含量轉換係數



30年生時每年平均單木生長 **0.7586 m<sup>3</sup>**  
 30年生時每年每公頃固碳 **4.734 ton ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>**

60年生時每年平均單木生長 **1.9521 m<sup>3</sup>**  
 60年生時每年每公頃固碳 **3.7431 ton ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>**

# 文獻回顧-紅檜生長量與碳吸存相關

| 作者              | 年份   | 題目  | 出處                       |
|-----------------|------|---|--------------------------|
| 周楨、王德春          | 1967 | 溪頭紅檜人工林之生長與疏伐。  | 臺灣實驗林林業叢刊第37號            |
| 黃崑崗             | 1977 | 紅檜人工林生長之調查研究  | 中華林學季刊10(2):95-109       |
| 李久先、陳朝圳         | 1988 | 大雪山地區紅檜人工幼齡林單木生長模式之研究                                     | 中華林學季刊21(2):25-43        |
| 陳俊文、張峻德         | 1993 | 大雪山地區紅檜人工林地上部生物量與養分聚積                                     | 中華林學季刊26(4):35-48        |
| 李久先、顏添明         | 1994 | 紅檜人工林單木生長之研究(一)－未疏伐林分及疏伐林分單木生長模式模擬效果分析                    | 中興大學實驗林研究報告16(2):129-141 |
| 李久先、顏添明         | 1995 | 紅檜人工林疏伐林分生長之研究-Mitscherlich、Logistic和Gompertz模式模擬單木生長效果分析 | 中興大學實驗林研究彙刊17(2):109-116 |
| 李久先、顏添明         | 1996 | 三種生長模式在紅檜人工林生長適用性之探討                                      | 中華林學季刊29(2):3-14         |
| 李久先、顏添明、陳朝圳     | 1997 | 間接推估模式在紅檜人工林林分結構適用性之探討                                    | 中華林學季刊30(2):217-226      |
| 顏添明、李久先         | 1998 | 七種生長模式模擬紅檜人工林疏伐林分擔木胸高斷面積生長適用性之比較                          | 中華林學季刊31(1):13-24        |
| 顏添明             | 1999 | 直接及間接推估模式應用於紅檜人工林林分結構之比較                                  | 中華林學季刊32(3):347-356      |
| 李久先、顏添明         | 2000 | 紅檜人工林生產潛能之評估－地位指數曲線式之研究                                   | 林業研究季刊22(2):51-60        |
| 邱志明、羅卓振南        | 2002 | 紅檜幼齡人工林密度試驗   | 臺灣林業科學17(2):205-217      |
| 王亞男、石哲宇、顏添明、李隆恩 | 2013 | 溪頭地區紅檜人工林樹高曲線式及樹高生長模式建立之研究                                | 第六屆海峽兩岸森林經理研討會 pp12-13   |
| 陳朝圳             | 1985 | 大雪山地區紅檜人工幼齡林生長模式之研究                                       | 國立中興大學森林學研究所碩士論文         |
| 陳俊文             | 1993 | 大雪山地區紅檜人工林地上部生物量與養分聚積                                     | 國立中興大學森林學研究所碩士論文         |
| 顏添明             | 1997 | 臺灣大雪山地區紅檜人工林生長收穫系統之研究                                     | 國立中興大學森林學研究所碩士論文         |
| 賴怡蓉             | 2011 | 應用生長模式於紅檜及柳杉人工林單木生長之探討                                    | 國立中興大學森林學研究所碩士論文         |

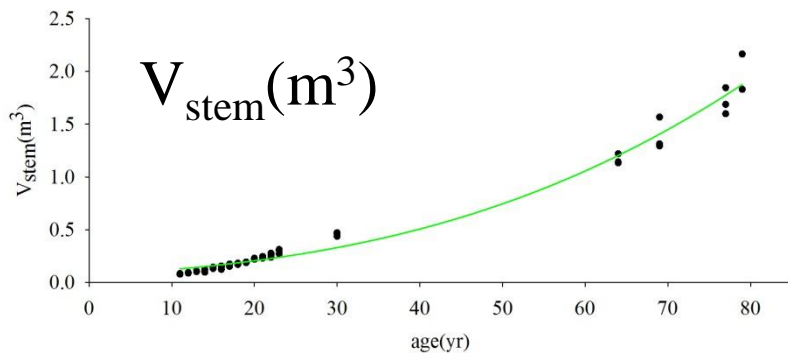
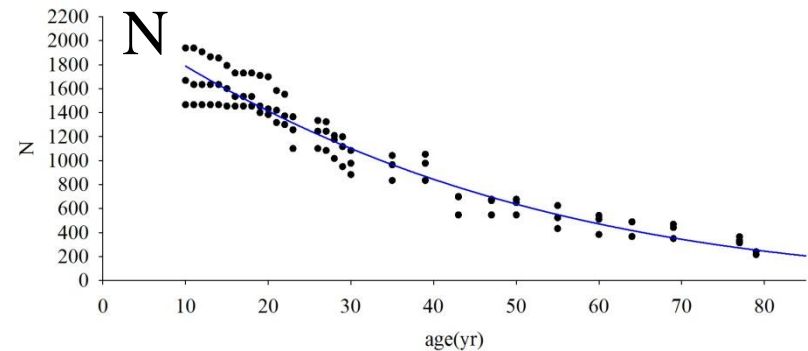
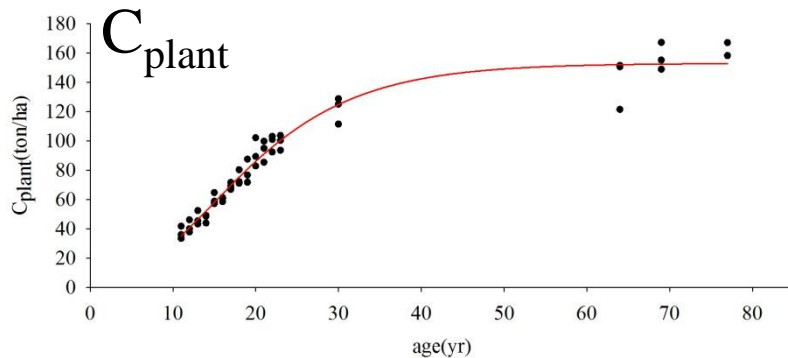
紅檜是臺灣著名的樹種，早期廣泛使用於建築與家具上，曾受到大量砍伐。實驗林最早的紅檜早林紀錄為1921年。迄今達92年生，但臺灣所有的發表文獻未有超過60年生以上者。因此由實驗林未發表的紅檜長期試驗地計算碳吸存量。

# 文獻回顧-紅檜生長量與碳吸存相關

$V_{(whole/stem)} = 1.24$  生物量計畫地上部擴展係數

$W_o/V_g = 0.450$  林裕仁等(2002) 生物量與碳含量轉換係數

$C_{con} = 0.4864$  林裕仁等(2002) 生物量與碳含量轉換係數



30年生時每年平均單木生長**0.3316  $m^3$**   
30年生時每年每公頃固碳**4.161  $ton\ ha^{-1}\ yr^{-1}$**

60年生時每年平均單木生長**1.0571  $m^3$**   
60年生時每年每公頃固碳**2.5261  $ton\ ha^{-1}\ yr^{-1}$**

# 文獻回顧-紅檜生長量與碳吸存相關

4種主要林型不同齡級平均單木材積生長(m<sup>3</sup>)

| 年齡 | 柳杉     | 杉木     | 臺灣杉    | 紅檜     |
|----|--------|--------|--------|--------|
| 30 | 0.6087 | 0.2180 | 0.7586 | 0.3316 |
| 60 | 1.4432 | 0.7702 | 1.952  | 1.0571 |
| 90 | 2.1258 |        |        |        |

30與60年生時平均單木材積臺灣杉>柳杉>紅檜>杉木

4種主要林型不同齡級年平均碳吸存量(ton ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>)

| 年齡 | 柳杉     | 杉木     | 臺灣杉    | 紅檜     |
|----|--------|--------|--------|--------|
| 30 | 4.8334 | 1.8660 | 4.734  | 4.161  |
| 60 | 3.4850 | 1.5925 | 3.7431 | 2.5261 |
| 90 | 2.4243 |        |        |        |

30年生時平均年平均碳吸存量柳杉>臺灣杉>紅檜>杉木

60年生時平均年平均碳吸存量臺灣杉>柳杉>紅檜>杉木

90年生時平均年平均碳吸存量臺灣杉>柳杉>紅檜>杉木(粗估)

120年生時平均年平均碳吸存量臺灣杉>紅檜>柳杉>杉木(預測)

# 文獻回顧-竹林生長量與碳吸存相關

| 作者                         | 年份   | 題目                                   | 出處                        |
|----------------------------|------|--------------------------------------|---------------------------|
| 戴廣耀、楊寶霖、沈榮江                | 1973 | 台灣竹林資源。農復會、林務局、航測隊                   | 屏東農專合作計畫82頁               |
| 王子定、姚榮鼎、顏秉貞、鄭欽龍            | 1976 | 森林生物量                                | 中華林學季刊9(4):1-35           |
| 王子定、高毓斌                    | 1980 | 孟宗竹地上部生物量之測定                         | 台大農學院研究報告20(1):54-59      |
| 王子定、高毓斌                    | 1980 | 孟宗竹地上部生物量之測定                         | 台大農學院研究報告20(2):83-100     |
| 王子定                        | 1981 | 孟宗竹之地上部生物量及淨生產量                      | 國立臺灣大學農學院實驗林研究報告129:1-22。 |
| 高毓斌                        | 1991 | 巨竹與馬來麻竹物質生產之比較研究                     | 林業試驗所研究報告季刊6:249-282      |
| 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      |
| 周本智、吳良如、鄒躍國                | 1999 | 閩南麻竹人工林地上部分現存生物量的研究                  | 林業科學研究12(1):47-52         |
| 林益明、李惠聰、林鵬、肖賢坦、馬占興         | 2000 | 麻竹種群生物量結構和能量分布                       | 竹子研究匯刊19(4):36-41         |
| 顏添明                        | 2003 | 三種生長模式應用於孟宗竹稈高生長之探討                  | 中華林學季刊36(3):285-296       |
| 王義仲                        | 2004 | 麻竹稈之生物量與碳蓄積量推估                       | 林產工業23(1):13-22           |
| 周國樸、姜培坤                    | 2004 | 毛竹林的碳密度和碳貯量及其空間分布                    | 林業科學40(6):20-24           |
| 陳財輝、鍾欣芸、汪大雄、林信輝            | 2009 | 石門水庫集水區桂竹林之生長及生物量                    | 中華林學季刊42(4):519-527       |
| 王仁、陳財輝、張華洲、鐘欣芸、李宗宜、劉瓊霏     | 2009 | 惠蓀林場和石桌孟宗竹林分結構及地上部生物量和碳儲存量           | 林業研究季刊31(4):17-26         |
| 王仁、陳財輝、陳信佑、鍾欣芸、劉恩好、李宗宜、劉瓊霏 | 2010 | 孟宗竹林伐採後二年間地上部生物量與碳吸存量動態              | 林業研究季刊32(3):35-44         |
| 孫正華、顏添明                    | 2011 | 應用相對關係式推估桂竹及孟宗竹生物量                   | 林業研究季刊33(3):1-8           |
| 孫正華、顏添明、李久先                | 2011 | 不同相對關係式推估針葉樹及竹類地上部生物量之比較             | 林業研究季刊33(1):1-8           |
| 孫百寬、陳涓婷、顏添明、李隆恩            | 2013 | 臺灣中部地區孟宗竹林不同經營強度林分性態值、地上部生物量及碳貯存量之比較 | 林業研究季刊35(1):23-32         |
| 高毓斌                        | 1985 | 臺灣孟宗竹林之生產力與生物性養分循環                   | 國立臺灣大學森林學研究所博士論文          |
| 游麗玉                        | 1995 | 惠蓀實驗林場桂竹林生物量與養分聚積                    | 國立中興大學碩碩士論文               |
| 孫正華                        | 2011 | 相對關係式推估林木及竹類地上部生物量                   | 國立中興大學森林學系博士學位論文          |

# 文獻回顧-竹林生長量與碳吸存相關

| 作者                                    | 年份   | 題目  | 期刊  |
|---------------------------------------|------|---|---|
| Yen, T. M., Y. J. Ji., and J. S. Lee. | 2010 | Estimating biomass production and carbon storage for a fast-growing makino bamboo ( <i>Phyllostachys makinoi</i> ) plant based on the diameter distribution model.                          | Forest Ecology and Management 260:339-344.  |
| Yen, T. M. and J. S. Lee              | 2011 | Comparing aboveground carbon sequestration between moso bamboo ( <i>Phyllostachys heterocycla</i> ) and China fir ( <i>Cunninghamia lanceolata</i> ) forests based on the allometric model. | Forest Ecology and Management 261:995-1002. |
| 王義仲、郭信利                               | 2005 | 桂竹竹稈之生物量與碳蓄積量推估   | 中華林學會94年度學術論文發表會論文集pp183-194                |
| 王義仲、邱孟韋                               | 2005 | 孟宗竹地上部之生物量與碳蓄積量推估   | 中華林學會94年度學術論文發表會論文集pp195-206                |
| 黃裕星                                   | 2011 | 臺灣竹類資源調查、利用及新技術開發   | 林業研究專訊 18(1):1-2                            |
| 邱祈榮                                   | 2011 | 竹林面積知多少?  | 林業研究專訊18(1):16-18                           |
| 顏添明                                   | 2011 | 竹林碳吸存潛力之探討  | 林業研究專訊18(1):19-22                           |
| 汪大雄                                   | 2011 | 臺灣竹林資源與經營   | 林業研究專訊18(1):3-7                             |
| 王義仲                                   | 2011 | 竹林經營對減緩溫室效應之助益  | 林業研究專訊18(1):8-11                            |
| 陳芬蕙、何政坤、簡慶德、林欣德                       | 2011 | 臺灣混農林業林木現況調查  | 林業研究專訊18(3):57-61                           |
| 林俊成、邱祈榮                               | 2012 | 森林碳匯在日本抵換制度中之貢獻   | 林業研究專訊19:(1)70-73                           |

依據林維治記載(1967)臺灣共有46種竹子，其中20種為原生種26種為引進種。臺灣所產竹材因材質各異，在經濟與利用價值上各具特色，常見的共有11種；主要的經濟竹類有孟宗竹、麻竹、綠竹、棘竹、長枝竹及桂竹等六種。

而竹類研究調查在1980年以前極為興盛，後隨著竹產業逐漸式微，相關研究工作也大幅減少。近年來，全球氣候變遷現象日益明顯，由於竹子具有與速生樹種類似的碳吸存能力，更具有高再生能力，及可每年收穫的效益。若能在永續經營管理及竹產品的有效利用下，將可促進竹子對於碳吸存長短期的貢獻，此已獲得國際竹籐組織的認可。

# 文獻回顧-竹林生長量與碳吸存相關

竹林生長與碳吸存量因竹種調查方法的不同差異頗大，惟單純計算竹林地地上部與地下部之生物量和碳保存量對於整體竹林生態系的碳吸存、保存和排放，僅能片面的了解，並無法得知確切的情況；另竹林若在4~5年內無擇伐利用，不僅竹林呈現老竹充斥之荒廢狀態，大幅降低竹林的生態防災機能，同時造成可再生性生物資源的浪費，顯見竹林經營對其生長與碳吸存量之影響。

轄區內竹林面積計2,173.70公頃，尤其孟宗竹、麻竹、桂竹為最大宗，以此三種竹類回歸式推估全林蓄積量為178,047.8 m<sup>3</sup>，生物量164,657.8 ton ha<sup>-1</sup>，碳吸存量126,400.7 ton ha<sup>-1</sup>。

| 樹種               | 樣本數 | 林齡  | 經驗模式 <sup>1)</sup>                 | 參考文獻                     | 研究區地點      |
|------------------|-----|-----|------------------------------------|--------------------------|------------|
| 桂竹 <sup>2)</sup> | 55  | 1~5 | $Y = 69.6630 \times DBH^{2.3670}$  | 呂錦明、陳財輝 (1992)           | 南投縣竹山鎮桶頭社區 |
| 桂竹 <sup>2)</sup> | 43  | 1~5 | $Y = 274.1600 \times DBH^{1.8000}$ | 游麗玉 (1995)               | 南投縣仁愛鄉     |
| 桂竹               | 20  | 1~5 | $Y = 0.1560 \times DBH^{2.1180}$   | Yen <i>et al.</i> (2010) | 南投縣竹山鎮     |
| 孟宗竹              | 30  | 1~5 | $Y = -13.9490 + 0.0129 \times DBH$ | 王子定 (1980)               | 南投縣竹山鎮     |
| 孟宗竹              | 120 | 1~5 | $Y = 0.0192 \times DBH^{1.9796}$   | 王子定 (1981)               | 南投縣竹山鎮     |
| 孟宗竹              | 25  | 1~5 | $Y = 0.0200 \times DBH^{2.9500}$   | Yen and Lee (2011)       | 南投縣竹山鎮     |
| 麻竹 <sup>3)</sup> | 150 | 1~5 | $Y = 5.8574 \times A^{0.4266}$     | 王義仲 (2004)               | 南投縣魚池鄉     |
| 巨竹               | 64  | 1~4 | $Y = 0.1040 \times DBH^{2.3155}$   | 高毓斌 (1991)               | 林試所蓮華池分所   |
| 馬來麻竹             | 36  | 1~4 | $Y = 0.1574 \times DBH^{2.4476}$   | 高毓斌 (1991)               | 林試所六龜分所    |

孫正華(2011)相對關係式推估林木及竹類地上部生物量。  
國立中興大學森林學系博士學位論文



# 文獻回顧-其他樹種生長量與碳吸存相關

| 作者                     | 年份   | 題目                                  | 出處                       |
|------------------------|------|-------------------------------------|--------------------------|
| 李意德、曾慶波、吳仲民、周光益<br>陳步峰 | 1997 | 我國熱帶天然林植被C貯存量的推估                    | 林業科學研究11(2):156-162      |
| 林國銓                    | 1980 | 山黃麻生物量及養分含量之研究                      | 中華林學季刊13:77-85。          |
| 王子定、蘇學波、陳堅強、高毓斌        | 1984 | 各栽植密度銀合歡之生長及地上部生物量                  | 中華林學季刊17(4):13-25。       |
| 劉宣誠、高毓斌                | 1986 | 銀合歡人工林生物量估算方法之比較                    | 林業試驗所研究報告季刊2:43-63。      |
| 羅紹麟、馮豐隆                | 1987 | 生物量調查及分析方法在樟樹資源調查之應用                | 國立中興大學農學院實驗林研究報告8:67-87。 |
| 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3:333-343。    |
| 高毓斌、施文君、胡大維            | 1989 | 群狀栽植對銀合歡生長與生物量生產量之效應                | 中華林學季刊22:55-63。          |
| 林國銓、馬復京、唐盛林            | 2001 | 福山闊葉林林木地上部生物量估算之異率迴歸式               | 臺灣林業科學16:143-151         |
| 林國銓                    | 2006 | 臺灣生物量調查回顧與檢討2006                    | 年森林碳吸存研討會120-129。        |
| 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。     |
| 林世宗、鍾智昕、邱祈榮、林朝欽        | 2008 | 臺灣二葉松地上部生物量及碳吸存量之估算                 | 中華林學季刊41(4):521-535。     |
| 林國銓、杜清澤、黃菊美            | 2009 | 台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。       |
| 廖宜緯、陳美光、陳羽康、鍾玉龍        | 2011 | 台糖公司屏東縣平地造林碳儲存量調查                   | 中華林學季刊44(3):373-384      |
| 吳守從                    |      |                                     |                          |
| 林思吟                    | 2005 | 臺灣雲杉造林單木葉部生物量之估算                    | 國立臺灣大學碩士論文。              |
| 柯淑惠                    | 2006 | 臺灣欖人工林生物量及碳儲存量之研究                   | 國立中興大學碩士論文。              |
| 林郁評                    | 2011 | 平地景觀造林樹種臺灣欖、光臘樹樹冠特性及碳貯存量之研究-以雲林地區為例 | 國立中興大學碩士論文。              |

除了早期栽植作為林木生產為目標的林木以外，為有效達到森林多目標經營，廣植許多不同樹種，如臺灣欖、楓香、相思樹、油桐、黃連木、光臘樹、牛樟、苦楝、木荷、赤楊、烏心石、茄苳等樹木。於轄內形成許多闊葉樹混合林。

# 生長與碳吸存量計算

Table 1. Specific gravity and the carbon content of the 24 timber species native to Taiwan

| Species name                     | Common name                       | S <sub>a</sub> <sup>1)</sup> | S <sub>o</sub> <sup>2)</sup> | C (%) |
|----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------|
| <b>Softwoods</b>                 |                                   |                              |                              |       |
| <i>Calocedrus formosana</i>      | Taiwan incense-cedar (台灣肖楠)       | 0.59                         | 0.54                         | 48.57 |
| <i>Chamaecyparis formosensis</i> | Taiwan red falsecypress (紅檜)      | 0.45                         | 0.42                         | 48.64 |
| <i>Chamaecyparis obtusa</i>      | Taiwan Hinoki falsecypress (台灣扁柏) | 0.45                         | 0.42                         | 48.22 |
| <i>Cryptomeria japonica</i>      | Cryptomeria (柳杉)                  | 0.40                         | 0.36                         | 49.03 |
| <i>Cunninghamia lanceolata</i>   | Large-leaved China-fir (福州杉)      | 0.34                         | 0.31                         | 48.32 |
| <i>Picea morrisonicola</i>       | Morrison spruce (台灣雲杉)            | 0.52                         | 0.47                         | 46.91 |
| <i>Pinus taiwanensis</i>         | Taiwan red pine (台灣二葉松)           | 0.61                         | 0.55                         | 47.04 |
| <i>Tawania cryptomerioides</i>   | Taiwania (台灣杉)                    | 0.35                         | 0.32                         | 48.32 |
| <i>Tsuga chinensis</i>           | Chinese hemlock (台灣鐵杉)            | 0.46                         | 0.42                         | 48.82 |
| <b>Hardwoods</b>                 |                                   |                              |                              |       |
| <i>Acacia confusa</i>            | Taiwan acacia (相思樹)               | 0.86                         | 0.77                         | 47.17 |
| <i>Alnus japonica</i>            | Formosan alder (台灣赤楊)             | 0.54                         | 0.47                         | 46.20 |
| <i>Bischofia javanica</i>        | Autumn maple tree (茄冬)            | 0.72                         | 0.65                         | 46.78 |
| <i>Casuarina equisetifolia</i>   | Polyesian iron wood (木麻黃)         | 0.74                         | 0.67                         | 46.61 |
| <i>Cinnamomum camphora</i>       | Camphor tree (樟木)                 | 0.41                         | 0.37                         | 47.00 |
| <i>Cinnamomum micranthum</i>     | Stout camphor tree (牛樟)           | 0.43                         | 0.39                         | 45.69 |
| <i>Fraxinus formosana</i>        | Formosan ash (光蠟樹)                | 0.82                         | 0.73                         | 46.83 |
| <i>Machilus kusanoi</i>          | Large-leaved nanmu (大葉楠)          | 0.51                         | 0.46                         | 47.45 |
| <i>Machilus zuihoensis</i>       | Incense machilus (香楠)             | 0.53                         | 0.47                         | 46.93 |
| <i>Melia azedarach</i>           | China berry-tree (楝樹)             | 0.61                         | 0.54                         | 46.63 |
| <i>Michelia compressa</i>        | Formosan michelia (烏心石)           | 0.58                         | 0.52                         | 47.51 |
| <i>Pterocarpus indicus</i>       | Paudauk (印度紫檀)                    | 0.63                         | 0.58                         | 47.02 |
| <i>Schima superba</i>            | Chinese guger-tree (木荷)           | 0.66                         | 0.61                         | 46.87 |
| <i>Swietenia macrophylla</i>     | Honduras mahogany (大葉桃花心木)        | 0.56                         | 0.50                         | 47.26 |
| <i>Zelkova serrata</i>           | Taiwan zelkova (台灣欒)              | 0.83                         | 0.73                         | 47.66 |

<sup>1)</sup> S<sub>a</sub> : air-dried specific gravity.

<sup>2)</sup> S<sub>o</sub> : oven-dried specific gravity.

| 學名                           | 中名   | 密度 (g cm <sup>-3</sup> ) | 碳濃度 (%) |
|------------------------------|------|--------------------------|---------|
| <i>Sapindus saponaria</i>    | 無患子  | 0.55                     | 46.91   |
| <i>Pongamia pinnata</i>      | 水黃皮  | 0.55                     | 46.91   |
| <i>Terminalia catappa</i>    | 欖仁   | 0.55                     | 46.91   |
| <i>Fraxinus formosana</i>    | 光蠟樹  | 0.73                     | 46.83   |
| <i>Melia azedarach</i>       | 苦楝   | 0.54                     | 46.63   |
| <i>Koelreuteria elegans</i>  | 台灣欒樹 | 0.55                     | 46.91   |
| <i>Pterocarpus indicus</i>   | 印度紫檀 | 0.58                     | 47.02   |
| <i>Swietenia macrophylla</i> | 桃花心木 | 0.50                     | 47.26   |

各林型的生長與碳吸存量依文獻提供之木材基礎密度、地上部擴展係數與碳含量比例數據分別計算。

# 生長與碳吸存量計算

---

由於柳杉及杉木兩者為實驗林造林樹種之兩大宗，合計約佔總造林面積之70%，蓄積量近80%。依據2007年經營計畫調查資料顯示，扣除崩塌地、占墾地、失敗地等面積，現階段人工林成林面積**8,762公頃**，總蓄積量推估為**935,231m<sup>3</sup>**，換算總碳吸存量為**202,010 ton**，平均每公頃蓄積量為**86.117 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>**，換算每公頃碳吸存量為**18.6 ton ha<sup>-1</sup>**。


各造林地樹種及林齡不一，在**假設無伐採**前提下，當前人工林總蓄積量推估為**1,138,543 m<sup>3</sup>**，每公頃平均蓄積量為**129.941 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>**，換算總碳吸存量為**245,925 ton**，較2007年經營計畫期間之總蓄積量增加約**203,312 ton**，林木碳吸存量增加**43,915 ton**，換算下來，近五年之年平均每公頃材積成長**25.99 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>**，碳吸存量平均每年每公頃吸收**5.61 ton ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>**

# 總論與展望

---

本研究以**文獻探討**方式彙整相關資料計算實驗林轄區內人工林生長量與碳吸存量，影響各林分生長與碳吸存量的因素有很多，主要造林樹種以長期試驗地歷年調查成果為主要計算資料，而不同的經營方式與干擾都將使結果有所差異，此一結果提供一合理的估算結果俾供參考。

1997 年之「京都議定書」中，對造林吸存碳的貢獻有所肯定，使森林資源所吸存的二氧化碳量，將成爲一種可交易的產品。因此加強造林正是減低二氧化碳、改善空氣品質最環保、最低成本與最有效的方法(林俊成等，1999)。近五年的造林面積與成果、林木管理、(疏伐)作業規劃，實驗林已新植造林地**1001.17公頃**。而如何精確**估算及預測**森林資源吸收或釋放的二氧化碳量，並應用在林業經營上，便成爲一項有待解決的工作。



報告結束  
敬請指教