

宜蘭天送埤烏心石人工林之林分生長與碳吸存

文／圖 ■ 張順能 ■ 林務局羅東林區管理處太平山工作站技正

王兆桓 ■ 國立宜蘭大學森林暨自然資源學系教授（通訊作者）

一、前言

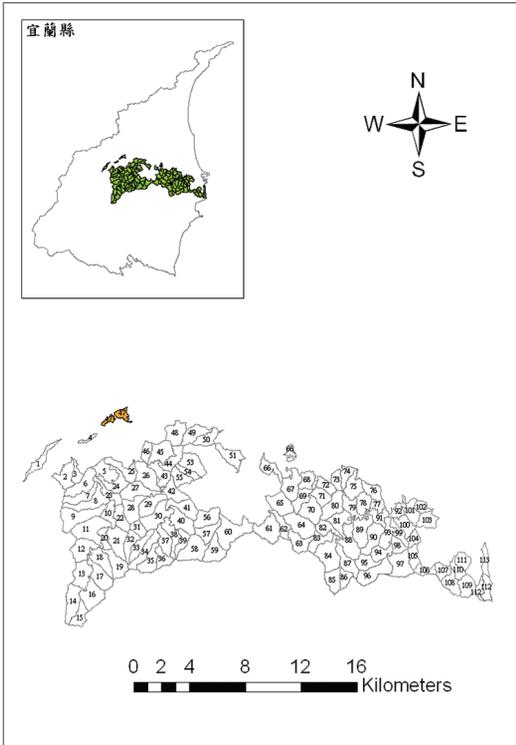
根據林務局 1995 年第三次臺灣森林資源及土地利用調查結果資料，臺灣本島森林面積達 210 萬公頃，其中人工林面積為 42 萬公頃，佔森林總面積的 20%，人工林經營在森林經營上扮演著相當重要的角色，其生長不但較天然林迅速，且可經由適當的經營規劃，達到生態、經濟或社會等各項目標，其中烏心石是普遍實施於造林與綠美化的重要鄉土樹種，有關其生長及碳吸存研究乃為一大要務。

本試驗地位於林務局羅東事業區第 47 林班地區，種源採自長青烏心石種子園，肇於 1994 年 12 月造林，總面積為 29.13 ha，造林時栽植距離為 4m×2.5m，因烏心石是屬於耐蔭性樹種，當時造林方式以林下栽植方式進行，林地內尚保留前生大徑木樹種零星地分散於林地內。本研究於 2003 年（林分 9 年生）時設置樣區，調查項目包括樹種、胸徑、樹高、枝下高並進行林木位置之測繪；2010 年（林分 16 年生）進行樣區複查監測，即可求得烏心石生長量、蓄積量、枯死量、林分結構、碳貯存量等資料，以提供更精確完整的林木生長資訊。

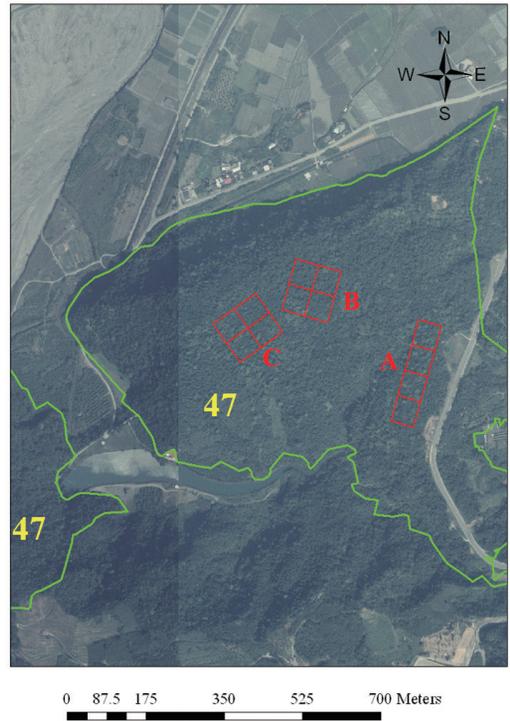
二、樣區基本資料及環境概述

本研究區域位宜蘭縣三星鄉天送埤，隸屬國有林羅東事業區第 47 林班範圍內（如圖 1），海拔約 150-310 m，根據中央氣象局 2001 至 2010 年宜蘭縣三星雨量測站資料顯示，年平均降雨量為 3,060 mm，月平均降雨量以 1 至 4 月的降雨量較低，約在 150 mm 以下，9 至 10 月的降雨量較高都在 650 mm 以上，高量的降雨主受東北季風挾帶豐沛水氣雨量影響，以及颱風所引進的大量降雨。溫度則以鄰近樣區之玉蘭氣象站的資料表現，在此地區的年平均溫度約為 21.8 °C，溫度最高為夏季 7 月之均溫 28.1 °C；最低為冬季 1 月之均溫 15.4 °C。

樣區早於 2003 年時即選擇林木生長狀況較佳、地勢較平坦且範圍較大的區塊，設立面積各 11,520 m² 之 A、B、C 三大區，一大區各含 4 個樣區，每一樣區範圍為 48m×60 m (0.288 ha)，因為受地形的影響，所以各大區 4 個樣區排列情形不相同（如圖 2）。



▲圖1 國有林羅東事業區第47林班地理位置圖



▲圖2 研究樣區地理位置圖



▲鳥心石人工林林相-1



▲鳥心石人工林林相-2

三、研究方法

(一) 調查項目與方法

複測 2003 年設置之樣區林木胸高直徑、樹高、枝下高等生長變數，同時紀錄立木現存性狀（正常木、風折木、枯死木及砍伐木），並為每棵林木進行釘掛鋁牌編號標註，以供未來長期監測。

(二) 林木性態值分析、胸徑分級及計算材積蓄積量

迨樣區複測完竣，取得林木基本性態值資料，將所測之林木做前後期比對分析株數、斷面積、材積、胸徑、樹高、樹冠比等性態值變化，再將胸徑以 2 cm 區分為一階級



▲量測林木胸高直徑



▲釘掛編號鋁牌

距，進行直徑級分析，藉以瞭解直徑階與株數分布之林分結構。另統計樣區立木株數、平均胸徑、平均樹高、材積、每公頃株數、每公頃胸高斷面積等數值，並以樹高、胸徑資料，配合各樹種材積式，計算每樣區之每公頃材積。

（三）生長量及生長率之估算

平均生長量係林木一定期間之現實生長量除以期間年數，隨所取期間之不同，可分為：

1. 定期平均生長量

（periodic annual increment）：

一定期間（ p ）的平均生長量。 $p.a.i. = (G_{n+p} - G_n) / p$

2. 總平均生長量

（mean annual increment）：

一般指年平均生長量。 $m.a.i. = G_n / n$

3. 生長率（growth percentage）：

為表示生長量對期初大小之百分率，本研究以複利公式計算如下：

P ：生長率

S_0 ：期初大小

S_n ：期終大小

n ：生長期間之年數

$$P_{ic} = (\sqrt[n]{S_n / S_0} - 1) * 100\%$$

複利公式所根據之前提，為由於生長量之累積，使公式中之期初大小值逐年增加。

（四）碳貯存量之估算

本研究評估烏心石的碳貯存量，是利用每公頃林木蓄積量及使用 IPCC 轉換係數建議值與國內調查的轉換係數值，在配合下述之模式以進行碳貯存量推算：



▲烏心石樹冠層

表 1 2003 年與 2010 年兩次調查－胸徑、樹高、樹冠比統計

| 樹種分群 | | 烏心石 | | 樟樹 | | 相思樹 | | 針葉樹種 | | 其他闊葉樹 | | 合計 | |
|---------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 年份 | | 2003 | 2010 | 2003 | 2010 | 2003 | 2010 | 2003 | 2010 | 2003 | 2010 | 2003 | 2010 |
| 株數 | | 3550 | 3420 | 74 | 60 | 102 | 73 | 146 | 89 | 346 | 280 | 4218 | 3922 |
| 胸徑 (cm) | 平均 | 10.30 | 13.82 | 30.49 | 33.85 | 26.70 | 31.52 | 20.65 | 22.45 | 17.91 | 22.16 | 12.03 | 15.25 |
| | 最小值 | 1.10 | 1.70 | 3.30 | 4.80 | 11.30 | 13.40 | 4.60 | 5.50 | 1.70 | 3.30 | 1.10 | 1.70 |
| | 最大值 | 24.20 | 30.80 | 54.30 | 60.00 | 55.00 | 58.50 | 36.60 | 36.10 | 41.80 | 52.50 | 55.00 | 60.00 |
| | 標準差 | 3.24 | 4.47 | 11.89 | 12.28 | 8.21 | 9.08 | 6.40 | 6.27 | 9.71 | 11.13 | - | - |
| 樹高 (m) | 平均 | 8.81 | 11.11 | 12.98 | 14.57 | 15.10 | 15.41 | 9.92 | 10.68 | 9.73 | 11.32 | 9.15 | 11.25 |
| | 最小值 | 2.22 | 1.85 | 5.46 | 3.87 | 8.25 | 8.72 | 4.26 | 5.05 | 4.29 | 3.36 | 2.22 | 1.85 |
| | 最大值 | 14.52 | 16.14 | 20.72 | 22.74 | 20.53 | 21.22 | 18.22 | 18.76 | 19.24 | 19.73 | 20.53 | 22.74 |
| | 標準差 | 1.74 | 1.92 | 4.26 | 3.93 | 2.74 | 2.68 | 2.52 | 2.25 | 2.97 | 3.23 | - | - |
| 樹冠比 | 平均 | 0.67 | 0.46 | 0.65 | 0.51 | 0.56 | 0.41 | 0.69 | 0.63 | 0.58 | 0.51 | 0.66 | 0.47 |
| | 最小值 | 0.02 | 0.00 | 0.35 | 0.06 | 0.27 | 0.05 | 0.22 | 0.10 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.00 |
| | 最大值 | 0.91 | 0.89 | 0.91 | 0.78 | 0.90 | 0.74 | 0.92 | 0.84 | 0.92 | 0.90 | 0.92 | 0.90 |
| | 標準差 | 0.09 | 0.17 | 0.14 | 0.17 | 0.14 | 0.13 | 0.14 | 0.18 | 0.18 | 0.16 | - | - |

以樹幹材積計算林木碳貯存量之公式如下：

$$Cs = A \times V \times BCEFs \times (1+R) \times CF$$

式中 Cs：林木碳貯存量，公噸 - 碳 /ha

A：森林面積，ha

V：樹幹材積，m³/ ha

BCEFs：生物量轉換與擴展係數，將樹幹材積轉換為地上部生物量，公噸 /m³

R：地下部生物量與地上部生物量之比值

CF：碳轉換係數（一般多採用 0.5）

四、結果與討論

（一）調查結果敘述性統計分析

由表 1 可知，2003 年調查時平均胸徑 12.03 cm，最小值為烏心石 1.10 cm，最大值為相思樹 55.00 cm；2010 年調查時平均胸徑 15.25 cm，最小值為烏心石 1.70 cm，最大值為樟樹 60.00 cm。2010 年複查顯示各樹種別平均胸徑皆有增大情形，其全林分的平均胸徑

相較 2003 年的平均胸徑增大 3.22 cm，最小值增加 0.6 cm，最大值增加 5 cm。僅烏心石前後二次調查的平均胸徑皆小於全林分之平均胸徑，乃因其他樹種為早期保留之大徑木，增大全林分平均胸徑值；另針葉樹種最大值 2010 年有減少現象，係為樹皮脫落及生長衰退所致。

2003 年調查時平均樹高 9.15 m，最小值為烏心石 2.22 m，最大值為樟樹 20.72 m；2010 年調查時平均樹高 11.25 m，最小值為烏心石 1.85 m，最大值為樟樹 22.74 m。而 2010 年複查時各樹種別平均樹高皆有增高現象，其中烏心石前後二次調查的平均樹高皆小於全林分之平均樹高，乃因其他樹種為早期保留之大徑木，拉高全林分平均樹高值。另 2010 年全林分的平均樹高相較 2003 年的平均樹高增高 2.1 m，最小值減少 0.37 m，最大值增加 2.21 m，顯示風害折損並未對樹高平均值造成巨大影響。

表 2a 2003 年 A、B、C 三大區合計蓄積表

| 項目 | 樹種 | 株數 (N) | 胸高斷面積 (m ²) | 材積 (m ³) | 株數 / ha | 胸高斷面積 / ha | 材積 / ha |
|----|-------|--------|-------------------------|----------------------|---------|------------|---------|
| 1 | 烏心石 | 3550 | 32.482 | 138.262 | 1027 | 9.399 | 40.006 |
| 2 | 樟樹 | 74 | 6.214 | 27.679 | 21 | 1.798 | 8.009 |
| 3 | 相思樹 | 102 | 6.246 | 48.889 | 30 | 1.807 | 14.146 |
| 4 | 針葉樹種 | 146 | 5.355 | 29.384 | 42 | 1.549 | 8.502 |
| 5 | 其他闊葉樹 | 346 | 11.274 | 56.566 | 100 | 3.262 | 16.367 |
| 合計 | | 4218 | 61.571 | 300.780 | 1220 | 17.815 | 87.030 |

表 2b 2010 年 A、B、C 三大區合計蓄積表

| 項目 | 樹種 | 株數 (N) | 胸高斷面積 (m ²) | 材積 (m ³) | 株數 / ha | 胸高斷面積 / ha | 材積 / ha |
|----|-------|--------|-------------------------|----------------------|---------|------------|---------|
| 1 | 烏心石 | 3420 | 56.665 | 303.837 | 990 | 16.396 | 87.916 |
| 2 | 樟樹 | 60 | 6.0990 | 28.808 | 17 | 1.765 | 8.336 |
| 3 | 相思樹 | 73 | 6.163 | 45.812 | 21 | 1.783 | 13.256 |
| 4 | 針葉樹種 | 89 | 3.796 | 21.748 | 26 | 1.098 | 6.293 |
| 5 | 其他闊葉樹 | 280 | 13.512 | 73.297 | 81 | 3.910 | 21.209 |
| 合計 | | 3922 | 86.235 | 473.502 | 1135 | 24.952 | 137.010 |

2003 年調查時平均樹冠比 0.66，最小值為其他闊葉樹 0.01，最大值為針葉樹種及其他闊葉樹種皆為 0.92；2010 年調查時平均樹冠比 0.47，最小值為烏心石及其他闊葉樹皆為 0.00，最大值為其他闊葉樹種 0.90。而 2010 年複查時無論是全林分或各樹種別之平均樹冠比皆有降低情形，全林分的平均樹冠比相較 2003 年的平均值降低 0.19，最小值降低 0.01，最大值降低 0.02。樹冠比複查降低，研判為隨林齡增長樹高變高，樹冠層鬱閉，且天然修枝效應，使枝下高幅度拉長，以致樹冠比值下降。另外，在枝下高不變情況下，樹高

遭風折變短或冠層僅存樹梢末端，亦會使樹冠比值下降，其中烏心石及其他闊葉樹最小值更趨近於 0。

(二) 蓄積量與生長量動態變化

1. 2003 年與 2010 年兩次調查—蓄積量統計

針對樣區內各林木調查結果，A、B、C 三大區總面積為 3.456 ha，其 2003 年與 2010 年蓄積表如表 2a 及 2b 所示。

2003 年共計林木 4,218 株，平均每公頃

表 3 2003 及 2010 年之 Weibull 直徑分布 b、c 參數

| 調查年份 | 類別 | b 參數 | c 參數 |
|------|-----|-------------|------------|
| 2003 | 全林分 | 13.62748451 | 1.99687332 |
| | 烏心石 | 11.43790979 | 3.47475682 |
| 2010 | 全林分 | 17.22316969 | 2.29634561 |
| | 烏心石 | 15.38339412 | 3.40073453 |

林木為 1,220 株，其中烏心石每公頃 1,027 株，約佔總體的 84%，烏心石平均單株材積 0.039 m³；2010 年共有林木 3,922 株，平均每公頃林木為 1,135 株，其中烏心石每公頃 990 株，約佔總體的 87%，烏心石平均單株材積 0.089 m³。

由於當時造林時保留了許多其他樹種的林木，而這些林木平均胸徑與樹高都大於烏心石很多，因此 2003 年時烏心石株數雖然佔 84%，但是胸高斷面積僅佔 52.8%，材積更達不到全部的一半。這些大徑木的樹種以樟樹、相思樹等闊葉樹種較多，其中樟樹、楠木及江某生長狀況較好，而相思樹樹形甚差，大部份為傾斜木，對烏心石生長已造成很大的影響，另針葉樹種之柳杉和香杉在該地生長狀況亦差，有生長衰退的現象。

至 2010 年複查時，烏心石株數佔全體 87.2%，胸高斷面積佔 65.7%，材積則達 64.2%，與 2003 年調查相比，皆有上揚現象，顯示烏心石族群有穩定生長趨勢，而針葉樹種之株數、胸高斷面積及材積佔整體比例則分別衰降至 2.3%、4.4%、4.6%。

2. 2003 年與 2010 年兩次調查—胸徑級分布

2003 年初設樣區調查林木計 4,218 株，2010 年調查樣區林木計 3,922 株。以 2 cm 作為直徑級組距之分布如表 4a、4b，2003 年全樣區胸徑級以 10-12 cm 者之 867 株最多，佔總株數之 20.6%，其中烏心石胸徑級亦以 10-12 cm 之 837 株為最多；2010 年全樣區胸徑級以 14-16 cm 級者之 574 株最多，佔總株數之 14.6%，其中烏心石胸徑級亦以 14-16 cm 級之 547 株為最多。

同齡林為同時栽植或在一年中下種萌芽而成長之林分，有的生長較快，而有的生長較慢，這幾乎是機率的關係，理論上徑級分布圖會形成正規常態分布。圖 3a、3b 為兩次調查林木直徑分布情形，雖然實際值和理論值有稍微的差異，但是已經非常接近正規常態分布（兩圖直徑級 30 cm 以上呈小高凸為原林地保留之大徑木）。儘管圖 3a 之 2003 年分布歪度稍呈左偏，然圖 3b 至 2010 年時，已趨近正規常態分布，且受樹齡等因子影響，曲線隨林分年齡的增加而由高凸漸趨平滑。

使用 R 軟體最大概似法求解之 Weibull 直

表 4a 2003 年樣區調查林木徑級分布 (單位: 株)

| 胸徑範圍 (cm) | 烏心石 | 樟樹 | 相思樹 | 針葉樹種 | 其它闊葉樹 | 小計 |
|-----------|------|----|-----|------|-------|------|
| 0-2 | 6 | 0 | 0 | 0 | 1 | 7 |
| 2-4 | 76 | 2 | 0 | 0 | 6 | 84 |
| 4-6 | 231 | 1 | 0 | 3 | 25 | 260 |
| 6-8 | 524 | 3 | 0 | 2 | 32 | 561 |
| 8-10 | 802 | 2 | 0 | 4 | 35 | 843 |
| 10-12 | 837 | 0 | 1 | 4 | 25 | 867 |
| 12-14 | 615 | 1 | 3 | 5 | 23 | 647 |
| 14-16 | 312 | 1 | 5 | 16 | 18 | 352 |
| 16-18 | 108 | 0 | 7 | 13 | 19 | 147 |
| 18-20 | 28 | 2 | 3 | 19 | 12 | 64 |
| 20-22 | 8 | 2 | 9 | 21 | 24 | 64 |
| 22-24 | 2 | 4 | 12 | 15 | 29 | 62 |
| 24-26 | 1 | 4 | 11 | 13 | 19 | 48 |
| 26-28 | 0 | 4 | 9 | 14 | 20 | 47 |
| 28-30 | 0 | 5 | 12 | 3 | 12 | 32 |
| 30 以上 | 0 | 43 | 30 | 14 | 46 | 133 |
| 合計 | 3550 | 74 | 102 | 146 | 346 | 4218 |

表 4b 2010 年樣區調查林木徑級分布 (單位: 株)

| 胸徑範圍 (cm) | 烏心石 | 樟樹 | 相思樹 | 針葉樹種 | 其它闊葉樹 | 小計 |
|-----------|------|----|-----|------|-------|------|
| 0-2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 2-4 | 19 | 0 | 0 | 0 | 1 | 20 |
| 4-6 | 92 | 2 | 0 | 1 | 8 | 103 |
| 6-8 | 209 | 0 | 0 | 0 | 15 | 224 |
| 8-10 | 384 | 2 | 0 | 2 | 21 | 409 |
| 10-12 | 502 | 1 | 0 | 2 | 21 | 526 |
| 12-14 | 539 | 1 | 1 | 3 | 10 | 554 |
| 14-16 | 547 | 0 | 2 | 4 | 21 | 574 |
| 16-18 | 498 | 2 | 2 | 6 | 26 | 534 |
| 18-20 | 324 | 1 | 2 | 12 | 12 | 351 |
| 20-22 | 188 | 0 | 1 | 12 | 9 | 210 |
| 22-24 | 75 | 0 | 3 | 13 | 9 | 100 |
| 24-26 | 27 | 3 | 13 | 8 | 25 | 76 |
| 26-28 | 9 | 4 | 4 | 9 | 14 | 40 |
| 28-30 | 5 | 3 | 6 | 6 | 18 | 38 |
| 30 以上 | 1 | 41 | 39 | 11 | 70 | 162 |
| 合計 | 3420 | 60 | 73 | 89 | 280 | 3922 |

徑分布 b 、 c 參數如表 3，可繪製如下圖 3a 及 3b，由圖比較前後兩年份全林分與烏心石 Weibull 直徑分布曲線之理論值與實際觀測值結果，烏心石 Weibull 直徑分布曲線較趨接近觀測值，效果較理想。Weibull 機率密度函數

之累積分布函數如下式所示：

$$f(x) = 1 - \exp[-(x/b)^c], \text{ 其中 } b > 0, c > 0。$$

累積分布函數為直徑階劃分之基礎，可有效區分直徑階。例如胸徑 0-2 cm 之機率密度求法，設 $0 < x < 2$ ，則 $(0, 2)$ 區間之機率如下式

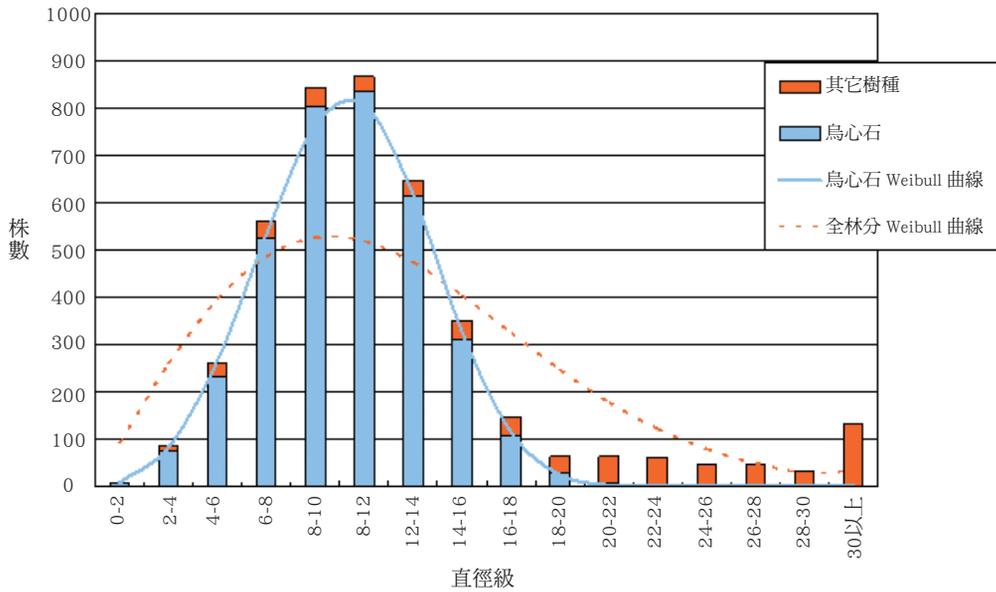


圖 3a 2003 年樣區調查林木直徑級分布圖

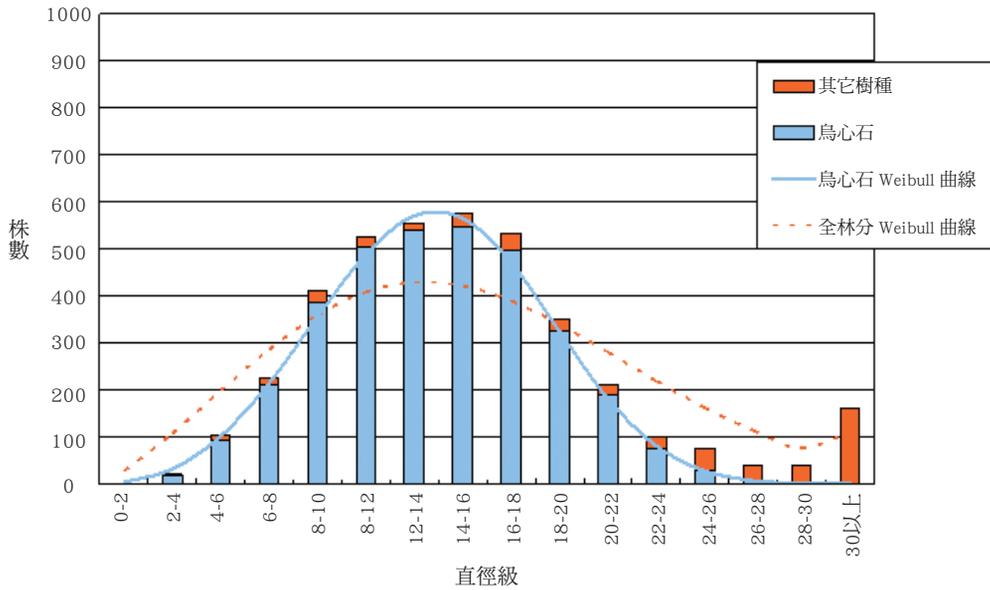


圖 3b 2010 年樣區調查林木直徑級分布圖

所示：

$P(0 < x < 2) = \exp[-(0/b)^c] - \exp[-(2/b)^c]$ ，以此類推各胸徑級距之機率。

Weibull 函數分布之峰態可由 b 參數來決定，而其偏態則由 c 參數決定，當 c 值 ≤ 1 時

為倒 J 型分布，在一般同齡之人工林，c 參數值將大於 1，當 $1 < c < 3.6$ 為正偏歪分布（偏態係數為正）， $c = 3.6$ 時為常態分布， $c > 3.6$ 為負偏歪分布（偏態係數為負）。就本研究以最大概似法而言，由上表 3 可得，2003 年

表 5 2010 年樣區複查樣木被害狀態統計 (單位: 株)

| 項目 | A 樣區 | | | | B 樣區 | | | | C 樣區 | | | | 合計 | | | |
|--------|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| | 正常木 | 風折木 | 枯死木 | 砍伐木 |
| 烏心石 | 1085 | 31 | 29 | 0 | 1055 | 123 | 53 | 6 | 1114 | 12 | 30 | 12 | 3254 | 166 | 112 | 18 |
| 樟樹 | 20 | 3 | 10 | 0 | 12 | 3 | 3 | 0 | 16 | 6 | 1 | 0 | 48 | 12 | 14 | 0 |
| 相思樹 | 0 | 0 | 0 | 0 | 54 | 19 | 29 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 54 | 19 | 29 | 0 |
| 針葉樹種 | 34 | 8 | 32 | 0 | 16 | 10 | 18 | 0 | 19 | 2 | 7 | 0 | 69 | 20 | 57 | 0 |
| 其他闊葉樹種 | 76 | 6 | 24 | 0 | 97 | 5 | 26 | 1 | 78 | 18 | 14 | 1 | 251 | 29 | 64 | 2 |
| 合計 | 1215 | 48 | 95 | 0 | 1234 | 160 | 129 | 7 | 1227 | 38 | 52 | 13 | 3676 | 246 | 276 | 20 |

及 2010 年全林分 c 值呈正偏歪分布；而 2003 年及 2010 年烏心石 c 值接近 3.6，故呈近正規常態分布，如下圖 3a 及 3b，顯示由 Weibull 機率密度函數描述烏心石之直徑分布情形甚為理想。

3. 2010 年調查－樣木被害狀態統計

全區之烏心石林木就林木之被害情形，分成正常木、風折木、枯死木及砍伐木四類，整理歸納其現存株數分布及所占比例如表 5、圖 4。

(1) **正常木**：無被害情形且正常生長之林木共有 3,676 株，約占 87.2%，其中烏心石 3,254 株為最多。

(2) **風折木**：遭受風害折斷枝幹，但仍有綠葉樹冠之風折木為 246 株，約占 5.8%，其中烏心石 166 株為最多。

(3) **枯死木**：已完全病枯死無綠葉樹冠之枯死木 276 株，約占 6.5%，其中以烏心石的 112 株為最多。

(4) **砍伐木**：因人為作業砍伐之林木計有 20

株，約占 0.5%，其中烏心石為 18 株，係為整修天送埤拳頭姆步道時，施以自然生態工法，就地取材，選擇步道周邊形質較劣被壓木砍伐利用。

根據前後二期蓄積表及林木被害統計結果如下表 6，2003 年蓄積量為 300.780 m³，其中烏心石蓄積量為 138.262 m³，佔樣區總蓄積量比例為 46%。從 2003 年至 2010 年期間，枯死株數為 276 株，枯死材積為 33.747 m³，其中烏心石枯死株數雖有 112 株，但枯死材積為 2.780 m³，僅佔全體枯死量的 8.2%，而以相思樹及針葉樹種枯死材積皆為 9.896 m³，分佔全體枯死量的 29.3% 為最多。兩期調查期間之砍伐株數為 20 株，砍伐材積為 0.655 m³，其中烏心石砍伐株數為 18 株，砍伐材積 0.439 m³，佔總砍伐量的 67%。

2010 年蓄積量為 473.502 m³，其中烏心石蓄積量為 303.837 m³，佔樣區總蓄積量比例為 64%，此比例較 2003 年之 46% 比例為高，原因除了烏心石呈正常生長材積增加外，其枯死

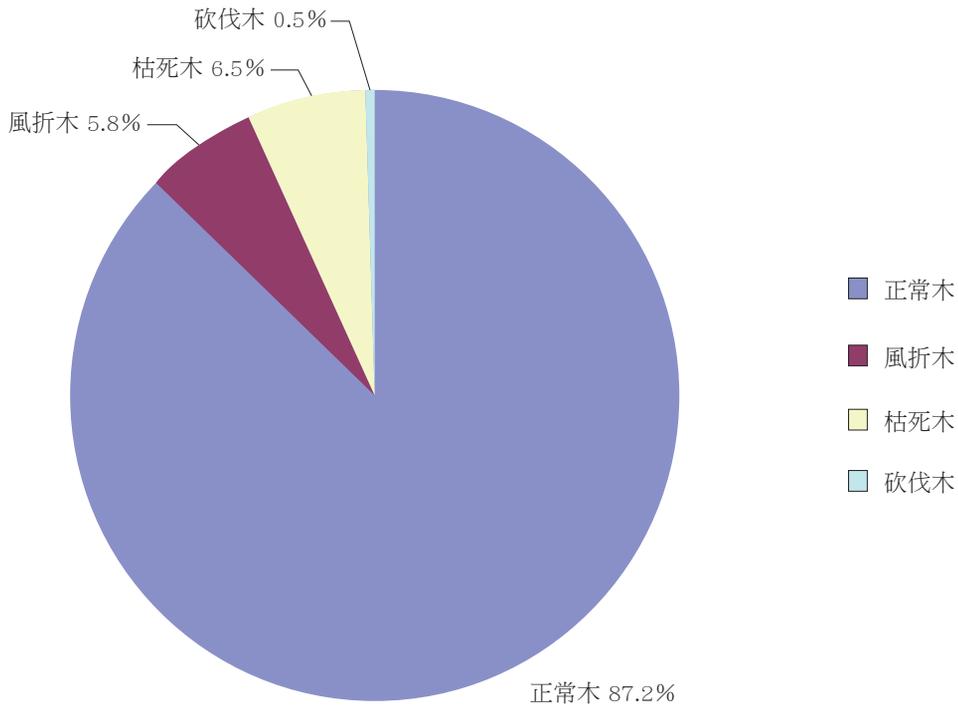


圖 4 樣區林木被害狀態統計比例

量及砍伐量變化皆較微小，無大量枯死及砍伐情形發生，烏心石的淨生長量仍為正值。

此 7 年間總樣區面積 3.456 公頃林木的淨生長量為 172.722 m³，平均年生長量為 24.675 m³/yr；即 7 年間每公頃淨生長量為 49.977 m³/ha，平均每年每公頃生長量為 7.140 m³/yr/ha。

4. 烏心石平均生長量及生長率

平均生長量係林木一定期間之現實生長量除以期間年數，推算烏心石定期平均生長量 (p.a.i.) 為：

$$(303.837 - 138.262) / (2010 - 2003) = 23.654 \text{ m}^3/\text{yr}，\text{即 } 6.844 \text{ m}^3/\text{yr}/\text{ha}。$$

烏心石總平均生長量 (m.a.i) 為：

$$(303.837/16) = 18.990 \text{ m}^3/\text{yr}，\text{即 } 5.495 \text{ m}^3/\text{yr}/\text{ha}。$$

另烏心石年生長率=

$$\left(\sqrt[7]{303.837/138.262} - 1\right) * 100\% = 11.90\%，$$

顯示此造林地烏心石蓄積量逐漸增加中。

(三) 烏心石之碳貯存量

以樹幹材積計算林木碳貯存量之公式如下：

$$Cs = A \times V \times BCEFs \times (1+R) \times CF，\text{套用國內研究人工林暨 IPCC 的係數值，BCEFs 值烏心石平均值為 } 0.712，CF \text{ 值 } 0.50，1+R \text{ 值為 } 1.24。$$

即 9 年生 (2003 年) 烏心石碳貯存量為：

$$40.006 \text{ m}^3/\text{ha} \times 0.712 \text{ ton}/\text{m}^3 \times 1.24$$

表 6 2010 年樣區 (3.456 ha) 複查林木被害狀態及蓄積量動態變化

| | | 樹種分群 | 烏心石 | 樟樹 | 相思樹 | 針葉樹種 | 其他闊葉樹種 | 合計 |
|------|------|-----------------------|---------|--------|--------|--------|--------|---------|
| 2003 | 蓄積量 | 株數 | 3550 | 74 | 102 | 146 | 346 | 4218 |
| | | 斷面積 (m ²) | 32.482 | 6.214 | 6.246 | 5.355 | 11.274 | 61.571 |
| | | 材積 (m ³) | 138.262 | 27.679 | 48.889 | 29.384 | 56.566 | 300.780 |
| 2010 | 枯死量 | 株數 | 112 | 14 | 29 | 57 | 64 | 276 |
| | | 斷面積 (m ²) | 0.641 | 0.735 | 1.290 | 1.876 | 1.613 | 6.155 |
| | | 材積 (m ³) | 2.780 | 2.629 | 9.896 | 9.896 | 8.613 | 33.747 |
| | 砍伐量 | 株數 | 18 | 0 | 0 | 0 | 2 | 20 |
| | | 斷面積 (m ²) | 0.100 | 0 | 0 | 0 | 0.069 | 0.169 |
| | | 材積 (m ³) | 0.439 | 0 | 0 | 0 | 0.216 | 0.655 |
| | 蓄積量 | 株數 | 3420 | 60 | 73 | 89 | 280 | 3922 |
| | | 斷面積 (m ²) | 56.665 | 6.099 | 6.163 | 3.796 | 13.512 | 86.235 |
| | | 材積 (m ³) | 303.837 | 28.808 | 45.812 | 21.748 | 73.297 | 473.502 |
| | 淨生長量 | 株數 | -130 | -14 | -29 | -57 | -66 | -296 |
| | | 斷面積 (m ²) | 24.183 | -0.115 | -0.083 | -1.559 | 2.238 | 24.664 |
| | | 材積 (m ³) | 165.575 | 1.129 | -3.077 | -7.636 | 16.731 | 172.722 |

×0.5=17.660 ton/ha，平均單株碳固定量為 17.196 kg。

而 16 年生 (2010 年) 烏心石碳貯存量為：
 $87.916 \text{ m}^3/\text{ha} \times 0.712 \text{ ton}/\text{m}^3 \times 1.24$
 $\times 0.5=38.810 \text{ ton}/\text{ha}$ ；平均單株碳固定量為 39.202 kg。

五、結論與建議

(一) 本區當初係以發展建造成一採種林為目的，首重選擇地位佳的造林地，天送埤烏心石造林地不僅具有交通方便的地理位置，且林相良好，林內有多株烏心石生長狀況優良，而該造林地面積夠大，且是用種子苗造林，將來該林地可以開花結實的烏心石數量必能達採種要求，因此不虞基因多樣性的不足。

本研究劃定的 A、B、C 三大區，為該造林地較平坦的區域，尤其是靠近入口處的 A 區最具優勢。

(二) 該烏心石林分有開花結實情形，已具生產種子能力，但林地內並無天然下種幼苗，未來應將劣勢木伐除並適度清理地被層蕨類植生，將可使林地樹冠層打開，增加光照量，緩和林木之過度生存競爭，改善林木健康，有利於開花結實及下種著床空間。

(三) 2010 年複查時發現 B 樣區風折木 160 株及枯死木 129 株，居三大樣區之冠，係 B 樣區位於海拔高坡處，受颱風或東北季風風衝影響，致使 B 樣區林木風害損折較嚴重而枯死；而 A 區位入口平緩處，C 區雖地勢較陡，但位居下坡處，故 A、C 兩區受風折

及枯死情形較不嚴重。

(四) 配合不同育林目標，林分結構是最重要的因子，因為林分的功能主要是依賴其結構，為了森林永續經營，需要決定標的林分結構，再依經營目標及森林周邊環境與社會經濟狀況而定，採用適宜的育林方法。本研究烏心石人工林正將邁入成熟林階段，且區域內有拳頭姆自然步道，為增加步道生態旅遊野趣及景緻觀賞價值，可施以疏伐作業去除劣勢木，培養形質優良大徑木構成健康優美林相，營造疏林地景，並建立撫育經營示範區，以達成標的結構之經營目標。▲



(圖片／高遠文化)

