

研究報告

關刀溪次生闊葉林地上部生物量與 葉面積指數之研究¹

薛銘童² 許博行³

【摘要】 本試驗選定於惠蓀林場第三林班內之關刀溪長期生態研究試區的次生闊葉林進行，在此林分選定一處 20 m×20 m 樣區進行生物量調查，藉以推估林分單位面積之生物量。次生闊葉林地上部生物量及葉面積的測定工作，除樣區內一棵胸徑 142 cm 的川上氏櫛資料以異率迴歸式推估外，其餘喬木、灌木、地被及枝葉層的生物量與葉面積均已估算完成。依部位區分結果如下：樹幹、枝條、小枝條、葉及枯枝分別為 276.26 Mg ha⁻¹、122.22 Mg ha⁻¹、3.37 Mg ha⁻¹、8.75 Mg ha⁻¹ 及 1.95 Mg ha⁻¹，枯枝落葉層的生物量為 12.78 Mg ha⁻¹，LAI 為 8.07。此些結果與福山闊葉林及蓮華池次生闊葉林相比較，若加入該株川上氏櫛的推估資料，發現喬木層之樹幹及枝條生物量，均遠高於前兩個林分，其他部分則無明顯差異。然而，不論是以胸高斷面積比率或 Edwards 與 Grubb 所使用的方法來驗證，均發現本試驗之生物量推估當在合理範圍內。

【關鍵字】 次生闊葉林、地上部生物量、葉面積指數

Research paper

Study on Aboveground Biomass and Leaf Area Index of Secondary Hardwood in Guandaushi¹

Ming-Tong Hsiue² Bor-Hung Sheu³

【Abstract】 This study was working at Guandaushi Long Term Ecological Research Site in Hue-Sun Experimental Forest Station of National Chung-Hsing University. Sampling plot is 20 m × 20 m at secondary hardwood in this site. The aboveground biomass was investigated and the total aboveground biomass per hectare was estimated. The results showed that stem biomass was 276.26 Mg ha⁻¹, branch biomass was 122.22 Mg ha⁻¹, branchlet biomass was 3.37 Mg ha⁻¹, leaf biomass was 8.75 Mg ha⁻¹, dead branch biomass was 1.95 Mg ha⁻¹, litter biomass was 12.78 Mg ha⁻¹ and the LAI was 8.07. Comparing these

1. 本計畫承蒙國科會經費補助 (NSC90-2621-B005-001-A10)

This project was sponsored by the National Science Council, grant number (NSC90-2621-B005-001-A10)

2. 國立中興大學森林系碩士班研究生

Graduate student, Department of Forestry, NCHU.

3. 國立中興大學森林系教授，通訊作者

Professor, Department of Forestry, NCHU. Corresponding author.

results with Fu-Shan broadleaf forests and Lien-Hua-Chi secondary warm temperate montane rain forest, it can be found the total stem and branch biomass of trees are far higher than the other two sites. However, the biomass in this site is reasonable by being estimated with breast height basal area ratio or by the method submitted by Edwards and Grubb.

【Key words】 secondary hardwood, aboveground biomass, leaf area index.

一、前言

森林生物量與葉面積的研究是探討森林生態系養分聚積、循環及生產力等動態性質的基礎。生物量是植群匯聚養分成果的展現，與養分的分配 (allocation)、聚積形式 (pattern) 及循環有直接的關係。葉片則在植物的光合作用及蒸散作用中扮演著重要的角色，常被用以預測一生態系之淨初級生產力 (net primary productivity, NPP) 以及作為能量、水分與氣體交換的重要指標 (Chen and Cihlar, 1998; Gower *et. al.*, 1999)。

在生物量方面，世界各地相關研究已經累積了很多資料 (DeAngelis *et. al.*, 1981)，臺灣方面亦有多篇相關報告，如在人工針葉林及純林方面有杉木 (洪富文等, 1985; 吳儀生, 1994)、柳杉 (張峻德, 1986)、紅檜 (陳俊文與張峻德, 1993)、山黃麻 (林國銓, 1980) 及木麻黃 (陳財輝與呂錦明, 1988) 等；在天然闊葉林方面則有蓮華池次生暖溫帶山地雨林 (洪富文等, 1986) 及福山天然闊葉林 (林國銓等, 1994)。這些研究結果是日後吾人探討生態系養分循環及能量流動的重要基礎。

Scurlock 等 (2001) 曾蒐集了從 1932 年到 2000 年世界各地的 LAI 資料，結果顯示不同的生物區系 (biome) 中，其平均 LAI 值範圍從沙漠的 1.31 ± 0.85 到人工林的 8.72 ± 4.32 。由此可知，在不同的生態系裡，LAI 的變異是相當大的。一般而言，LAI 隨著植物之種類、植株大小、年齡及立地之環境因子而不同 (Beadle, 1993; Kozlowski and Pallardy, 1997)，環境因子中又以水分及溫度為主要的

影響因子 (林國銓, 1989)。另外，葉片的壽命長短亦可影響 LAI 的大小，例如常綠針葉林或闊葉林之 LAI 往往較落葉闊葉林來得高 (Kira, 1975)。

本篇報告擬就目前於關刀溪次生闊葉林生物量及葉面積的研究結果作一整理，以為日後探討養分循環之基礎。此外，並與福山及蓮華池之生物量研究結果做一初步比較。

二、材料與方法

(一) 試驗地區

試驗樣區設置於關刀溪長期生態研究試驗地之次生闊葉林林分，此試驗地位於南投縣仁愛鄉惠蓀林場第三林班，海拔 700~1,675 m，年均溫 21.0 °C，年雨量 2,685 mm，平均相對濕度 83 %。根據劉業經等 (1986) 報告得知，次生林為 1958 年實施皆伐後，在無人為干擾下，自行更新演替而成。林分優勢樹種包括柏拉木、竹葉楠、山紅柿、臺灣黃杞、茜草樹、香桂、薯豆、大丁黃、小葉赤楠、反刺櫛、倒卵葉山龍眼、楊桐葉灰木及捲斗櫟等 (呂金誠與歐辰雄, 1996)。

(二) 樣區生物量測定

為能與福山長期生態研究試驗地之結果相比較，本試驗在樣區設計及處理方法上，完全參照林國銓等 (1994) 所提出者：

在關刀溪長期生態研究試區之次生闊葉林林分設置一 20 m×20 m 大樣區，此樣區鄰近劉瓊霏與許博行 (1999) 在關刀溪次生林研究幹流水與穿落水的樣區，故而日後兩方面的數據可整合以進一步探討此林分養分循環的相關

問題。樣區設置完成後，調查其內喬木（胸徑大於 10 cm 者）（冠層植物，story species）組成，並於大樣區的四個角上分別設置 5 m × 5 m 之小樣區一個，調查其內灌木及地被植物（冠層內植物，under-story species）之組成。其次，將大樣區內之喬木全部伐倒，每株林木伐倒後，測定樹高，並於幹部 0.3 m、枝下高及前兩者中間各取一圓盤，稱其濕重，之後攜回實驗室測定其絕乾重（以 70 °C 烘乾至恆重）。伐倒木由地表 0.3 m 起至 1.3 m 為一段，自 1.3 m 後，每 2 m 為一段，每段分別記錄其主幹、小枝條（著葉枝）、大枝條（除著葉枝外之枝條）等部位之重量及葉重，並分別取小樣本（sub-sample）攜回實驗室測定其絕乾重。小樣區內伐倒所有灌木及地被植物，其中灌木部分測定方法與大樣區同，但不區分單株，以全區為單位測定總重，地被植物則僅稱其總重，並取小樣本攜回實驗室測定絕乾重。

由大小樣區攜回實驗室之樣本，可由其濕重及絕乾重推算得樣本含水率，據此再推算出單株林木（喬木）或小樣區（灌木及地被植物）之生物量。最後由大樣區內喬木生物量總和，以及四小樣區內灌木及地被植物生物量平均值，換算成全林分單位面積之生物量。

此外，樣區內有一棵胸徑 142 cm 的川上氏櫛（*Castanopsis kawakamii*），由於該株林木體型過於龐大，加以樣區所處坡度太大（大於 40°），若欲強行伐倒進行測定恐有危險，再者此樹樹齡當有百年，審慎考量之下，決定利用樣區所得之數據，建立異率迴歸式（allometric regression）來估算其生物量（如式 1, Nelson *et al.*, 1999）：

$$\ln Y = a + b_1 \ln(\text{DBH}) + b_2 \ln(H) \dots \dots \dots \text{式 1}$$

式中 Y 為生物量，DBH 為胸高直徑，而 H 為樹高。a、b₁ 及 b₂ 為常數。

（三）枯枝落葉層生物量測定

於大樣區內隨機選取 4 個 50 cm × 50 cm 小樣區，收集區內之所有枯枝落葉，攜回實驗室測定其絕乾重，並換算成每公頃之重量。

（四）葉面積指數之測定及估算

在測定喬木或灌木及地被之葉鮮重時，各取 50 片葉片，以葉面積儀（LiCor LI-3100）測定葉面積，而後於實驗室測其絕乾重。由葉樣本之葉面積除以絕乾重即得比葉面積（specific leaf area, SLA），再由葉生物量及比葉面積的乘積可得大樣區喬木層、小樣區灌木及地被植物的葉面積，再以樣區之總葉面積除樣區水平投影面積即可得樣區葉面積指數，亦即林分之葉面積指數。

三、結果

（一）林分組成

樣區每木調查結果顯示，喬木層平均胸徑為 18.51 ± 18.12 cm，平均樹高 14.33 ± 2.87 m，平均枝下高 7.54 ± 2.44 m，每公頃喬木株數 1,425 株。其中胸徑部分若不採計胸徑 142 cm 的川上氏櫛，則平均胸徑為 16.42 ± 8.15 cm。在樹種組成方面（詳見附表 1），喬木層之組成以臺灣黃杞（*Engelhardtia roxburghiana*）、香桂（*Cinnamomum subavenium*）、火燒柯（*Castanopsis fargesii*）、薯豆（*Elaeocarpus japonicus*）及裏白饅頭果（*Glochidion lanceolatum*）為主；灌木及地被則主要有柏拉木（*Blastus cochinchinensis*）、茜草樹（*Randia cochinchinensis*）、倒卵葉山龍眼（*Helicia regetiensis*）、芒萁（*Dicranopteris linearis*）等。

（二）地上部生物量

首先就前段提及之胸徑 142 cm 的川上氏櫛生物量做討論。在試驗樣區中，喬木層樣木之生物量、胸徑及樹高經實測而得數據者，共有 56 株。將此部分資料以 SAS 複迴歸分析後（複迴歸模式如式 1），得喬木層各部

位生物量之異率迴歸式，迴歸式之各項係數整理列於表 1。而後將該株川上氏櫛的樹高及胸徑帶入迴歸式中，得其各部位生物量及葉面積（表 2）。表 2 同時列出樣區喬木層實測部分之生物量及葉面積（即不含該株川上氏櫛）。由表 2 可得知，川上氏櫛之生物量對樣區總生物量的貢獻相當大，例如在總樹幹生

物量上就佔了 47.27%，在大枝條部分更高達 69.14%。但由於僅能求得川上氏櫛各部位之總生物量估算值，無法進一步依高度分層計算，是以為求審慎起見，此部分數據僅加入各部位之總生物量做探討。

若不採記該株川上氏櫛的資料，表 3 及表 4 顯示出不論是喬木層或灌木地被層的生

表 1. 數據經自然對數轉換，利用 SAS 複迴歸計算所得之迴歸式

Table 1. Data were inverted through logarithmic transformation and the allometric regressions were obtained by using multiple regression of SAS.

Y	a	b1	b2	R2
Total Biomass	-3.8910	1.8976	1.1953	0.9185
Stem	-4.3643	1.7380	1.4166	0.9409
Branch	-4.7664	2.5412	0.0903	0.6389
Small Branch	-6.8280	1.7146	0.7625	0.5045
Leaf Biomass	-6.6022	1.4729	1.2801	0.5428
Leaf Area	-3.3955	1.4946	0.8700	0.2389

複迴歸模式為 $\ln Y = a + b_1 \ln(\text{DBH}) + b_2 \ln(H)$

The regression equation is $\ln Y = a + b_1 \ln(\text{DBH}) + b_2 \ln(H)$.

表 2. 樣區生物量實測值與川上氏櫛之生物量估算值

Table 2. Data show the biomass measured from sampling plot and the biomass estimated for *Castanopsis kawakamii*.

Components	Biomass measured from sampling plot (kg)	Biomass estimated for <i>Castanopsis kawakamii</i> (kg)	Total (kg)
Stem	5445.53 (52.73)*	4881.32 (47.27)	10326.85
Branch	1468.13 (30.86)	3289.79 (69.14)	4757.92
Branchlet	82.78 (61.35)	52.14 (38.65)	134.92
Leaf	190.34 (67.18)	92.99 (32.82)	283.33
Total (kg)	7186.78 (46.36)	8316.24 (53.64)	15503.02
Leaf Area (m ²)	1677.17 (69.14)	748.59 (30.86)	2425.76

* 刮號中數值為佔該部位總重之百分比

* Numbers in the parenthesis are the percentage of total biomass in different components.

表 3. 關刀溪次生林喬木層每公頃不同高度之生物量與葉面積分佈

Table 3. Aboveground biomass and leaf area of trees distribute with respect to height in secondary hardwood.

Height (m)	Biomass (Mg ha ⁻¹)					Leaf Area (m ²)
	Stem	Branch	Branchlet	Leaf	Dead Branch	
0.3~ 1.3	21.04 (98.27)*	0.34 (1.59)	0.01 (0.05)	0.02 (0.09)	0.02	197.39
1.3~ 3.3	32.58 (98.28)	0.53 (1.60)	0.01 (0.03)	0.03 (0.09)	0.09	283.76
3.3~ 5.3	27.12 (91.04)	2.27 (7.62)	0.14 (0.47)	0.26 (0.87)	0.20	2902.67
5.3~ 7.3	22.14 (76.93)	5.97 (20.74)	0.23 (0.80)	0.44 (1.53)	0.18	4470.58
7.3 ~ 9.3	15.52 (62.99)	8.13 (33.00)	0.32 (1.30)	0.67 (2.72)	0.33	6652.97
9.3~ 11.3	11.07 (59.74)	5.80 (31.30)	0.48 (2.59)	1.18 (6.37)	0.60	11398.47
11.3~ 13.3	5.30 (28.77)	10.97 (59.55)	0.62 (3.37)	1.53 (8.31)	0.51	13345.92
13.3~ 15.3	1.35 (28.12)	2.62 (54.57)	0.24 (5.02)	0.59 (12.29)	0.03	5512.75
15.3~ 17.3	0.02 (14.29)	0.07 (50.00)	0.01 (7.14)	0.04 (28.57)	-	373.42
Total	136.14 (75.77)	36.70 (20.43)	2.07 (1.15)	4.76 (2.65)	1.95	45137.92
	258.17 ¹⁾ (66.61)	118.95 (30.69)	3.37 (0.87)	7.08 (1.83)	-	63852.67

¹⁾ 加入胸徑142 cm之川上氏櫛資料所得結果

¹⁾ Results include the data of *Castanopsis kawakamii* with DBH 142 cm.

* 刮號中數值為佔該部位總重之百分比

* Numbers in the parenthesis are the percentage of total biomass in different components.

物量估算結果，主要聚積部位均在樹幹，此部分生物量分別佔總生物量的 75.77 % (喬木層) 及 78.55 % (灌木層)。另一方面，表 3 及表 4 亦列出在不同高度上各部位生物量之百分比，此些資料顯示，枝條及葉部生物量隨高度增加，在總生物量上所佔的比例越大。

就喬木層不同高度之生物量分佈而言，由圖 1 顯示生物量由樹幹底層往樹冠漸次遞減，在 9.3 m~11.3 m 以及 13.3 m~15.3 m 兩處分別有一段明顯的下降。再由各部位生物量視之，樹幹部分明顯隨樹高而遞減；而大枝條則由底部隨高度逐漸增加，並在 11.3 m~13.3 m 處達到最高，小枝條及葉片亦有相同的趨勢 (表 3)。圖 2 顯示出灌木及地被層不同高度之生物量分佈，亦同樣由樹幹底層往樹冠漸次遞減，惟與喬木層不同處在於 0.3 m~1.3 m 處之

生物量高於 1.3 m~3.3 m，以及各高度間的明顯落差。再者，就不同部位的生物量而言，其幹部隨高度而遞減，但枝條與葉片大致上亦隨高度而遞增，至 5.3 m~7.3 m 達到最大，而後漸次降低，至 9.3 m~11.3 m 處最低，但在 11.3 m~13.3 m 又稍微遞增 (表 4)。

本試驗中缺少藤本植物與附生植物的生物量，前者是因為試驗期間為了方便測定樣木上所攀附的藤本植物，而直接將其由根株部位截斷，導致次回測定時，攀附在其他樣木上的部位枯死，使得此部分資料十分雜亂，尙待一一釐清；而附生植物僅在胸徑 142 cm 川上氏櫛上有發現，故未列入。

表 5 為樣區內喬木層各樹種之生物量及葉面積，若不考量胸徑 142 cm 川上氏櫛的資料，則樣區內喬木層有超過 50 % 的生物量集

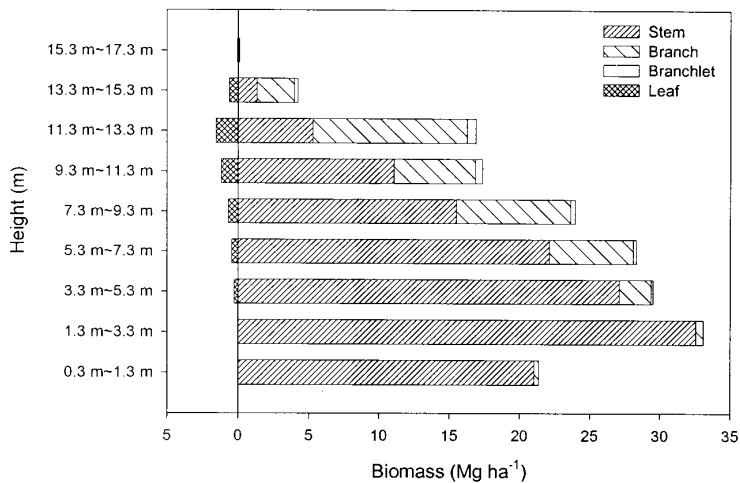


圖 1. 關刀溪次生林喬木層各部位不同高度之生物量分佈 (不含胸徑 142 cm 川上氏櫛)

Fig. 1. Aboveground biomass of different components of trees distribute with respect to height in Guandaushi secondary hardwood (without the data of *Castanopsis kawakamii* with DBH 142 cm).

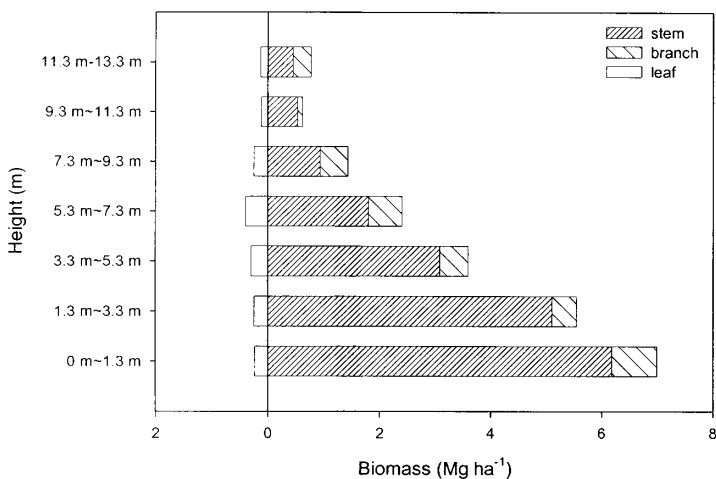


圖 2. 關刀溪次生林灌木及地被層各部位不同高度之生物量分佈

Fig. 2. Aboveground biomass of different components of shrub and herb distribute with respect to height in Guandaushi secondary hardwood.

中在臺灣黃杞與火燒柯兩樹種上，其中臺灣黃杞的株數佔了喬木層的 1/3，而火燒柯雖僅有 6 棵，卻也佔了 37.80 % 的生物量，反觀香桂與薯豆雖然分別有 6 棵與 8 棵，但生物量

合計卻僅佔 15.47 %，遠低於火燒柯。在加入該棵川上氏櫛後，僅川上氏櫛的生物量，就佔了喬木層生物量 54.95 %，而且其總數量不過 3 棵。

表 4. 關刀溪次生林灌木與地被層每公頃不同高度之生物量與葉面積分佈

Table 4. Aboveground biomass and leaf area of shrub and herb distribute with respect to height in Guandaushi secondary hardwood.

Height (m)	Biomass (Mg ha ⁻¹)			Leaf Area (m ²)
	Stem	Branch	Leaf	
0.3 ~ 1.3	6.18 (85.60)*	0.81 (11.22)	0.23 (3.19)	2770.36
1.3 ~ 3.3	5.10 (88.08)	0.44 (7.60)	0.25 (4.32)	2857.67
3.3 ~ 5.3	3.09 (79.23)	0.51 (12.08)	0.30 (7.69)	3362.68
5.3 ~ 7.3	1.80 (64.06)	0.61 (21.71)	0.40 (14.23)	3415.98
7.3 ~ 9.3	0.94 (55.62)	0.50 (29.59)	0.25 (14.79)	2377.70
9.3 ~ 11.3	0.54 (72.97)	0.09 (12.16)	0.11 (14.86)	979.80
11.3 ~ 13.3	0.45 (50.00)	0.32 (35.56)	0.13 (14.44)	1149.94
Total	18.09 (78.55)	3.27 (14.20)	1.67 (7.25)	16914.12

* 刮號中數值為佔該部位總重之百分比

* Numbers in the parenthesis are the percentage of total biomass in different components.

表 5. 關刀溪次生林喬木層各樹種之生物量及葉面積

Table 5. Estimating aboveground biomass and leaf area of major tree species in Guandaushi secondary hardwood.

Species	Tree Numbers	Biomass (Mg ha ⁻¹)	Percentage (%)		Leaf Area (m ² ha ⁻¹)	Percentage (%)		LAI
<i>N. variabilis</i>	1	0.90	0.50	0.23 ¹⁾	37.11	0.08	0.06 ¹⁾	0.0037
<i>L. acuminata</i>	1	2.15	1.20	0.55	1357.64	3.01	2.13	0.14
<i>C. lanceolata</i>	3	2.33	1.30	0.60	814.77	1.81	1.28	0.08
<i>L. nantoensis</i>	2	4.29	2.39	1.11	2650.80	5.87	4.15	0.27
<i>C. glauca</i>	2	4.58	2.55	1.18	1289.47	2.86	2.02	0.13
<i>D. morrisiana</i>	1	7.87	4.38	2.03	1731.85	3.84	2.71	0.17
<i>G. lanceolatum</i>	5	7.93	4.41	2.05	3900.26	8.64	6.11	0.39
<i>S. superba</i>	2	9.79	5.45	2.53	2064.99	4.57	3.23	0.21
<i>E. japonicus</i>	6	11.99	6.67	3.09	1233.88	2.73	1.93	0.12
<i>C. subavenium</i>	8	15.81	8.80	4.08	7360.85	16.31	11.53	0.74
<i>E. roxburghiana</i>	20	39.04	21.73	10.07	12241.88	27.12	19.17	1.22
<i>C. fargesii</i>	6	67.91	37.8	17.52	9747.46	21.59	15.27	0.97
<i>C. kawakamii</i>	3	5.08			706.96			0.07
		212.99 ¹⁾	2.83	54.95	19421.63	1.57	30.42	1.94 ¹⁾

¹⁾加入胸徑 142 cm 之川上氏櫛資料所得結果

¹⁾Results include the data of *Castanopsis kawakamii* with DBH 142 cm.

(三) 葉面積分佈

圖 3 (不含胸徑 142 cm 川上氏櫛) 顯示出試驗林分的 LAI 分佈隨高度增加而漸次遞增，在 11.3 m~13.3 m 處達到最高，隨即迅速降低。就喬木層而言，林分之葉面積主要集中在 9.3 m~11.3 m 與 11.3 m~13.3 m 兩層。在灌木及地被層方面，其葉面積分佈亦隨高度而增加，在 5.3 m~7.3 m 達到最高，而後漸次下降 (圖 3 及表 4)。

就不同樹種而言 (表 5)，喬木層有超過 50 % 的葉面積集中在香桂、臺灣黃杞與火燒柯三種樹種上。其中，香桂雖然生物量僅佔 8.80 %，但其葉面積卻佔了 16.31 %；反觀火燒柯的生物量雖然佔了 37.80 %，但葉面積僅稍高於於香桂。在加入胸徑 142 cm 川上氏櫛的資料後，則喬木層約 75 % 的葉面積集中在香桂、台灣黃杞、火燒柯與川上氏櫛四種樹種上。

表 6 為樣區內不同高度的比葉面積 (specific leaf area, SLA) 分佈 (不含胸徑 142 cm 川上氏櫛)，由此表可知不論是喬木層

或是灌木及地被層，其 SLA 大致有隨著高度上升而遞減的趨勢。圖 4 為不同樹種之 SLA 的高度分佈，雖然樹種間變異甚大，但亦可發現 SLA 隨高度而遞減的趨勢。

四、討論

本試驗結果若考量該棵胸徑 142 cm 川上氏櫛的生物量後，與福山闊葉林 (林國銓等，1994) 及蓮華池 (洪富文等，1986) 相比較發現 (表 7)，關刀溪喬木層樹幹及枝條部位的生物量遠高於蓮華池與福山之建造期及成熟期；但就各部位生物量所佔的比例來看，樹幹部位較其他兩試驗地低，而枝條則較高。在灌木及地被層方面 (表 8)，僅高於福山成熟期林分。此一結果顯示了該棵川上氏櫛的影響。在結果部分曾提及，此棵喬木對樣區樹幹部位生物量之貢獻達 47.27 %，胸高斷面積的貢獻亦高達 49 %。Edwards 與 Grubb (1977) 曾以林分底面積加權平均高度 (單株林木樹高加上樹高與底面積之乘積所得之值的平均)、胸高斷面積及木材密度來估算合理地上部活生物量，以相

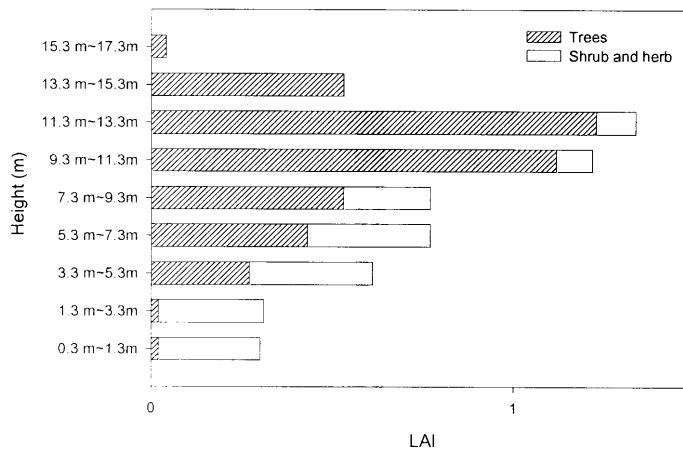


圖 3. 關刀溪次生林不同高度的 LAI 分佈 (不含胸徑 142 cm 川上氏櫛)

Fig. 3. Leaf area index distribute with respect to height in Guandaoshi secondary hardwood (without the data of *Castanopsis kawakamii* with DBH 142 cm).

表 6. 關刀溪次生林不同高度之 SLA (cm² g⁻¹)分佈
 Table 6. Specific leaf area (cm² g⁻¹) distribute with respect to height in Guandaushi secondary hardwood.

Height (m)	Shrub and Herb	Trees
15.3 ~ 17.3	-	90.70
13.3 ~ 15.3	-	82.32
11.3 ~ 13.3	-	90.44
9.3 ~ 11.3	91.34	91.00
7.3 ~ 9.3	91.49	96.86
5.3 ~ 7.3	89.90	93.54
3.3 ~ 5.3	110.97	107.84
1.3 ~ 3.3	111.38	113.06
0.3 ~ 1.3	156.61	154.68

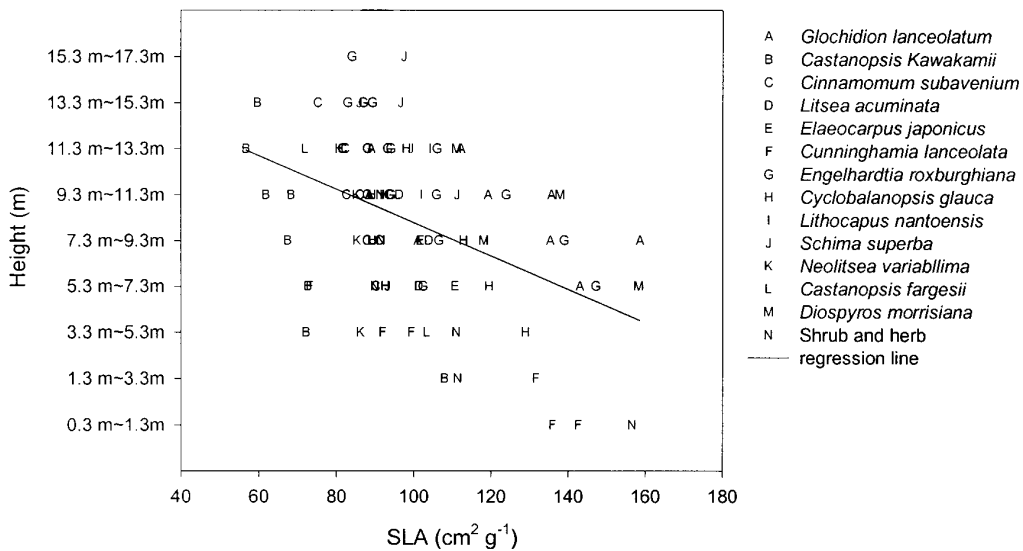


圖 4. 關刀溪次生林各樹種之 SLA 在不同高度的分佈
 迴歸式：Y=8.0308-0.2035X, r²=0.2035

Fig. 4. Specific leaf area of major tree species distribute with respect to height in Guandaushi secondary hardwood. Regression equation: Y=8.0308-0.2035X, r²=0.2035

同方式估算關刀溪次生闊葉林總活生物量為 392.33 Mg ha⁻¹~428.00 Mg ha⁻¹，即林分底面積加權高度 (15.39 m) × 胸高斷面積 (77.25

m² ha⁻¹) × 形數 (0.5) × 木材密度 (0.6) × 枝葉校正係數 (1.1 或 1.2)。而本試驗樣區之實測值加上胸徑 142 cm 川上氏櫛生物量估算

表 7. 蓮華池 (洪富文等, 1986)、福山 (林國銓等, 1994) 與關刀溪喬木層地上部生物量之比較

Table 7. Comparing the aboveground biomass of trees between Lien-Hua-Chi (Horng *et. al.*, 1986) Fu-shan (Lin *et. al.*, 1994) and Guandaushi.

Components	Lien-Hua-Chi (Mg ha ⁻¹)	Fu-shan (Mg ha ⁻¹)		Guandaushi (Mg ha ⁻¹)
		Building-phase	Mature phase	
Stem	192.44 (70.38%)*	104.03 (70.06%)	186.61 (68.83%)	258.17 (66.61%)
Branch	66.09 (24.17%)	33.45 (22.53%)	62.64 (23.10%)	118.95 (30.69%)
Branchlet	7.39 (2.70%)	7.82 (5.27%)	15.52 (5.72%)	3.37 (0.87%)
Leaf	5.28 (1.93%)	3.13 (2.11%)	5.66 (2.09%)	7.08 (1.83%)
Vine	2.24	0.02	0.40	-
Epiphyte	-	0.02	0.31	-
Total	273.44	148.48	271.12	387.58

* 括號中數值為佔總生物量之百分比

* Numbers in the parenthesis are the percent of total biomass in different components.

表 8. 蓮華池 (洪富文等, 1986)、福山 (林國銓等, 1994) 與關刀溪灌木及地被層地上部生物量之比較

Table 8. Comparing the aboveground biomass of shrub and herb between Lien-Hua-Chi (Horng *et. al.*, 1986) Fu-shan (Lin *et. al.*, 1994) and Guandaushi.

Components	Lien-Hua-Chi (Mg ha ⁻¹)	Fu-shan (Mg ha ⁻¹)		Guandaushi (Mg ha ⁻¹)
		Building-phase	Building-phase	
Stem	30.15	31.09	6.52	18.09
Branch	6.58	10.46	3.96	3.27
Leaf	3.27	1.67	2.17	1.67
Total	40.52	43.22	13.95	23.03

值所得之總生物量為 410.30 Mg ha⁻¹，當中喬木層部分生物量為 387.86 Mg ha⁻¹，稍低於此範圍。再者，由比較三個樣區試驗地點喬木層之株數、胸徑及樹高 (表 9) 可發現，本林分生物量之所以高於其他兩試驗地，除了該株胸徑 142 cm 川上氏櫛的貢獻外，林分株數也是另一重要影響因子。因此，此一林分之

實測值與該株胸徑 142 cm 川上氏櫛的估算值應在合理範圍。

此外，由本試驗樣區所推算而得之枯枝落葉層生物量為 12.78 Mg ha⁻¹，亦遠高於蓮華池的 6.85 Mg ha⁻¹ 與福山成熟期的 4.58 Mg ha⁻¹ 及建造期的 5.10 Mg ha⁻¹。這樣的差異可能來自於林分樹種組成上的差異或是枯落物之分

表 9. 蓮華池 (洪富文等, 1986)、福山 (林國銓等, 1994) 與關刀溪喬木層株數、胸徑及樹高之比較

Table 9. Comparing the tree numbers (trees ha⁻¹), DBH (cm) and tree height (m) between Lien-Hua-Chi (Horng *et. al.*, 1986) Fu-shan (Lin *et. al.*, 1994) and Guandaushi.

Components	Lien-Hua-Chi ¹⁾ (DBH>15 cm)	Fu-shan		Guandaushi
		Building-phase	Building-phase	
Tree numbers (trees ha ⁻¹)	450	1350	1330	1425
DBH (cm)	33.39 ± 18.53*	16.08 ± 0.95	20.80 ± 1.30	18.51 ± 18.12
Height (m)	18.19 ± 3.97*	10.71 ± 0.20	12.78 ± 0.37	14.43 ± 2.87

¹⁾ 根據洪富文等 (1986) 附表數據加以計算所得

¹⁾ Data were calculated from the appendix in Horng *et al.* (1986)

* ± 後為標準差

* Values are means ± standard error.

解速率。但詳細原因須待日後整合相關研究，方能給予合理且客觀的解釋。

在不考量該棵川上氏櫛的影響下，就喬木層生物量而言，圖 1 顯示生物量由樹幹底層往樹冠漸次遞減，在 9.3 m ~ 11.3 m 以及 13.3 m ~ 15.3 m 兩處分別有一段顯著的下降。這可由林分平均枝下高以及平均樹高得到解釋。換句話說，在平均枝下高處，林分之生物量主要聚積處，隨著高度增加，逐漸由主幹移至枝條以及葉部 (表 3)；另一方面，林分之平均樹高為 14.33 ± 2.87 m，是以 13.3 m ~ 15.3 m 此段之生物量有明顯降低之現象。再者，由圖1以及表3亦可得知，林分葉部生物量在 9.3 m ~ 11.3 m 及 11.3 m ~ 13.3 m 處最高，故可判斷這兩個高度應為林分之主要樹冠部位。

在灌木及地被層方面 (圖 2)，0.3 m ~ 1.3 m 處之生物量高於 1.3 m ~ 3.3 m，而各高度間有明顯落差。此一結果或可以林分下層環境因光線不足，對林下植物造成很大的擇汰壓力來解釋，亦即在植物生長至成為林冠層的過

程中，許多植物因競爭失敗而死亡，並間接反應於灌木及地被層生物量在不同高度的分佈上。此外，由圖 2 亦可發現灌木及地被層之生物量在 9.3 m ~ 11.3 m 處最低，而在 11.3 m ~ 13.3 m 處又稍微升高，此一結果或許是因為部分林分下層植物在脫離地被層干擾後，伸入喬木層冠層中，但因生長競爭關係，胸徑偏小，在測定過程未列入喬木層部分，但此部分植物因獲得充分的光線，故而能在此處累積較大的生物量，特別是枝條及葉片部分。

圖 3 顯示林分葉面積在高度分佈上，隨高度增加而遞增，在 11.3 m ~ 13.3 m 處達到最高，並主要集中在 9.3 m ~ 11.3 m 與 11.3 m ~ 13.3 m 兩層，特別是喬木層。此一結果可由林分平均枝下高、平均樹高以及生物量的聚積來解釋。前段曾提及，林分生物量的分佈在枝下高以上，逐漸由樹幹移至枝條及葉部，亦即葉部生物量隨高度而增加，並在前述兩高度處達到最高 (表 3)。

整體來看，圖 1、圖 2 及圖 3 顯示出林分生物量及葉面積在高度上的分佈與平均枝下高

及平均樹高有關。換言之，可比較生物量及葉面積的分佈形式得知林分結構。由圖 1、圖 2 及圖 3 可知此林分之樹冠部位在 7.5 m 以上，並於 9.3 m~11.3 m 與 11.3 m~13.3 m 兩層有最大的葉生物量分佈，而這亦應是此林分生產力最高的位置，也就是林分主要樹冠部位；另一方面，在枝下高以下的樹幹部分，則為林分地上部植群生物量主要累積處。然而本試驗由於樣區地形等問題，故未能得知該株川上氏櫛之生物量在不同高度上的分配，故無法再就此部分與相關試驗做進一步探討與比較。

在林業上，評估一樹種在林分內之優勢度時，可以株數、生物量、面積（葉面積或胸高斷面積）等參數（parameters）來表示（劉棠瑞與蘇鴻傑，1983），當中又以株數最常被使用。在此一試驗樣區中，由株數及葉面積來看，最優勢樹種為台灣黃杞；但由生物量及胸高斷面積來看，最優勢樹種則為火燒柯（此處不考慮川上氏櫛）。推測這樣的差異應是不同樹種對於資源的競爭策略不同所造成的。此外，此處亦突顯出一個問題，即優勢度的評估方式。若單以株數來評估，則以台灣黃杞最為優勢，然而會低估火燒柯在此林分中的競爭潛力；而以生物量或胸高斷面積來評估，則以火燒柯最為優勢，但同樣無法印證台灣黃杞的競爭潛力低於火燒柯。是以此不針對台灣黃杞與火燒柯何者較為優勢做出結論，因此間矛盾有賴更客觀的方法來統合。

在 SLA 分佈（表 6）上，樣區平均 SLA 值在 5.3 m 以下均高於 $100 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ ，在 0.3 m~1.3 m 此層更高達 $155 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ ，說明了林分下層植物，長期處於較陰暗的環境下，為了捕獲更多的光合作用有效輻射（photosynthetically active radiation, PAR），而採取增加葉面積以提升光合作用的策略，亦即生成大而薄的葉片。另一方面，林分上層

植群為了減少強光的破壞，所採取的策略為葉肉增厚，故冠層的葉片有趨向陽葉的趨勢（洪富文等，1986），而由另一個角度視之，這樣的結構亦有增加單位面積捕捉光能及降低水分散失的好處（Larcher, 1995）。此種相同的趨勢亦出現在福山與蓮華池的林分。在蓮華池林分底層有些樹種的 SLA 甚至高達 $400 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ ，福山成熟期林分底層之平均 SLA 亦達 $235.8 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ 。

五、謝誌

本研究承蒙國科會經費補助（計畫編號 NSC90-2621-B005-001-A10），以及惠蓀林場在試驗上的協助，特此致謝。

六、參考文獻

- 呂金誠、歐辰雄（1996）關刀溪長期生態研究區森林植群之初期研究。中興大學實驗林研究報告 18(1)：77-108。
- 吳儀生（1994）惠蓀實驗林場不同密度杉木林生物量與養分含量之研究。國立中興大學森林學研究所碩士論文。
- 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(2)：77-85。
- 林國銓（1989）葉面積與林木生長及其環境。夏禹九、趙榮臺、金恆鏞編輯，生態原則下的森林經營研討會論文集。林業試驗所。127-135頁。
- 林國銓、洪富文、游漢明、馬復京（1994）福山試驗林闊葉林生態系生物量與葉面積指數的累積與分佈。臺灣林業科學 9(4)：299-315。
- 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。林業試驗所試驗報告第 444 號。
- 洪富文、夏禹九、唐凱軍（1986）蓮華池次生暖溫帶山地雨林地上部生物量及葉面積之估算。林業試驗所試驗報告第 465

- 號。
- 張峻德 (1986) 臺灣中北部柳杉林分之生物量生產力。中華林學季刊 19(4) : 45-85。
- 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(1) : 333-343。
- 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。
- 劉崇瑞、蘇鴻傑 (1983) 森林植物生態學。台灣商務印書館。93頁。
- 劉業經、林文鎮、歐辰雄、呂金誠 (1989) 惠蓀林場闊葉樹次生林林相改良報告(I)--伐採三十年後之植生組成及初步整理。中華林學季刊 19(3) : 1-11。
- 劉瓊霏、許博行 (1999) 幹流水和穿落水的水量及水質在三種林分的變化。林業研究季刊 21(2): 51-59。
- Beadle, C. L. (1993) Growth analysis. In: D. O. Hall *et al.* (eds.), *Photosynthesis and Production in a Changing Environment: A Field and Laboratory Manual*. Chapman and Hall, London. pp 36-46.
- Chen, J. M., and J. Cihlar. (1998) LAI, gap fraction, and fPAR data. ORNL Technical Memorandum BOREAS RSS-07. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tenn.
- DeAngelis, D. L., R. H. Gardner, and H. H. Shugart (1981) Productivity of forest ecosystems studied during the IBP: the woodlands data set. In: D. E. Reichle (ed.), *Dynamic Properties of Forest Ecosystems*. Cambridge University Press, Cambridge. pp 567-672.
- Edwards, P. J., and P. J. Grubb (1997) Studies of mineral cycling in a montane rain forest in New Guinea. I. the distribution of organic matter in the vegetation and soil. *J. Ecol.* 65: 943-969.
- Gower, S. T., C. J. Kucharik, and J. M. Norman (1999) Direct and indirect estimation of leaf area index, fAPAR, and net primary production of terrestrial ecosystems. *Remote Sens. Environ.* 70: 29-51.
- Kira, T. (1975) Primary production of forest. In: J. P. Cooper (ed.), *Photosynthesis and Productivity in Different Environments*. Cambridge University Press, London. pp 5-40.
- Kozłowski, T. T. and S. G. Pallard. (1997) *Physiology of woody plants*. Academic Press, London. pp 39.
- Larcher, W. (1995) *Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional group*. Springer-Verlag, Berlin. pp 389-392.
- Nelson, B. W., R. Mesquita, J. L. G. Pereira, S. G. A. de Souza, G. T. Batista, and L. B. Couto (1999) Allometric regressions for improved estimate of secondary forest biomass in the central Amazon. *For. Eco. Manage.* 117: 149-167.
- Scurlock, J. M. O., G. P. Asner, and S. T. Gower. (2001) Worldwide historical estimates of leaf area index, 1932-2000. ORNL Technical Memorandum ORNL /TM-2001/268. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tenn.

附表 1. 樣區植物名錄

樹 種	樹 種
20 m × 20 m (1個) :	小葉樹杞(<i>Ardisia quinquegona</i>)
竹葉楠(<i>Litsea acuminata</i>)	薯豆(<i>Elaeocarpus japonicus</i>)
裏白饅頭果(<i>Glochidion lanceolatum</i>)	茜草樹(<i>Randia cochinchinensis</i>)
南投石櫟(<i>Lithocarpus nantoensis</i>)	南投石櫟(<i>Lithocarpus nantoensis</i>)
山紅柿(<i>Diospyros morrisiana</i>)	小葉白筆(<i>Symplocos modesta</i>)
杉木(<i>Cunninghamia lanceolata</i>)	狗骨仔(<i>Tricalysia dubia</i>)
香桂(<i>Cinnamomum subavenium</i>)	綠樟(<i>Meliosma squamulata</i>)
薯豆(<i>Elaeocarpus japonicus</i>)	九節木(<i>Psychotria rubra</i>)
木荷(<i>Schima superba</i>)	竹葉楠(<i>Litsea acuminata</i>)
變葉新木薑子(<i>Neolitsea variabilissima</i>)	香楠(<i>Machilus zuihoensis</i>)
川上氏櫛(<i>Castanopsis kawakamii</i>)	台灣楊桐(<i>Adinandra millettii</i>)
台灣黃杞(<i>Engelhardtia roxburghiana</i>)	香桂(<i>Cinnamomum subavenium</i>)
火燒柯(<i>Castanopsis fargesii</i>)	杉木(<i>Cunninghamia lanceolata</i>)
青剛櫟(<i>Cyclobalanopsis glauca</i>)	火燒柯(<i>Castanopsis fargesii</i>)
5 m × 5 m (4個) :	筆羅子(<i>Meliosma rigida</i>)
藤崖椒 (<i>Fagara scandens</i>)	鳳蘭(<i>Cymbidium dayanum</i>)
石月(<i>Stauntonia hexaphylla</i>)	變葉新木薑子(<i>Neolitsea variabilissima</i>)
賽山椒(<i>Embelia oblongifolia</i>)	山豬肝(<i>Symplocos laurina</i>)
糙莖菝契(<i>Smilax bracteata</i>)	山紅柿(<i>Diospyros morrisiana</i>)
菝契(<i>Smilax china</i>)	鹹蝦花(<i>Vernonia patula</i>)
生芽鐵角蕨(<i>Asplenium normale</i>)	台灣紅豆(<i>Ormosia formosana</i>)
毛柄蹄蓋蕨(<i>Diplazium subinatum</i>)	細葉虎刺(<i>Damnacanthus indicus</i>)
深山雙蓋蕨(<i>Diplazium fauriei</i>)	捲斗櫟(<i>Cyclobalanopsis pachyloma</i>)
廣葉鋸齒雙蓋蕨(<i>Diplazium dilatata</i>)	台灣黃杞(<i>Engelhardtia roxburghiana</i>)
圓葉鱗始蕨(<i>Lindsaea orbiculata</i>)	山肉桂(<i>Cinnamomum insularimontanum</i>)
芒萁(<i>Dicranopteris linearis</i>)	銳葉柃木(<i>Eurya acuminata</i>)
柏拉木(<i>Blastus cochinchinensis</i>)	琉球雞屎樹(<i>Lasianthus fordii</i>)
倒卵葉山龍眼(<i>Helicia regetiensis</i>)	小葉赤楠(<i>Syzygium buxifolium</i>)
圓葉雞屎樹(<i>Lasianthus wallichii</i>)	大丁黃(<i>Euonymus laxiflorus</i>)
川上氏櫛(<i>Castanopsis kawakamii</i>)	