

## 木油桐幼齡林分生產力之研究\*

張峻德\*\*

## 摘要

本試驗乃於 1976 年 10 月在中興大學農學院實驗林惠森林場第 1 林班，實施四年生木油桐直播造林地之生產力調查之結果。尤其注重地上部之生物量，生產構造，無機養分之分佈情形，及林地土壤條件等。現存立木株數平均 1,230 株/ha，林分內個體間之生長差異比較大，其樹高之分佈範圍為 2.7 ~ 9.0 m，胸高直徑 2.7 ~ 15.2 cm。在調查林分設 500 m<sup>2</sup> 之樣區 4 處，經每木調查後選 8 株樣木，伐倒後以分層割取法測定（表一）。

林分之現存生物量，係依樹體各器官之相對生長式及每木調查之結果估算。胸高直徑（D cm）及樹高（H m）之  $D^2H$ （cm<sup>2</sup>·m）與幹乾重量（ $W_s$  g），及連皮幹材積（ $V_s$  dm<sup>3</sup>）；幹乾重量與連皮幹材積，去皮幹材積（ $V_s'$  dm<sup>3</sup>），枝乾重量（ $W_b$  g），及葉乾重量（ $W_L$  g）；以及連皮幹材積與幹皮容積（ $V_B$  dm<sup>3</sup>）等之相對生長式如下：

$$\text{幹 } \log W_s = 1.76359 + 0.78860 \log D^2H$$

$$\log V_s = -0.81127 + 0.80800 \log D^2H$$

$$\log V_s = -2.61090 + 1.02260 \log W_s$$

$$\log V_s' = -2.83998 + 1.06367 \log W_s$$

$$\log V_B = -0.55133 + 0.76923 \log V_s$$

$$\text{枝 } \log W_b = -1.32805 + 1.26168 \log W_s$$

$$\text{葉 } \log W_L = -2.02868 + 1.31508 \log W_s$$

每公頃林地之樹幹材積，經估算結果平均約達 37 m<sup>3</sup>，而地上部乾物之現存量合計平均約達 11.7 ton/ha，其中幹為 7 ton/ha，枝 3.5 ton/ha，葉 1.1 ton/ha。每公頃林地之樹幹乾重量，乃有隨調查樣區林木之平均樹高及平均胸高直徑之增加而增加其重量之趨勢（表一）。

依幹、枝及葉等地上部乾重量之垂直分佈所繪製林分之生產構造圖，示於圖五。在鬱閉林冠下所測定之林內相對光度僅約 0.2%，林分之葉面積指數平均為 2 ha/ha。

供試樣木各器官所含有之無機養分，其分析結果示於表四、五及圖六。

不論立地條件如何，樹體之乾重量愈為重，其無機養分之含量愈多，且乾重量與各無機養分含量之間具極為密切之相關性。此可謂，林木之無機養分含量之多寡，密切與乾物重量之多寡相互關連（圖七）。

樹體之大部份無機養分乃積聚於樹葉及樹幹，尤葉片及樹皮之含量為最。即這兩組成要

\*本文乃農復會 77 (ARDP) - 5.2 - N - 87 (3) 計劃之一部份

\*\*森林學系副教授

素之乾重量及無機養分含率對林木之總無機養分含量而言，乃相當重要（表五、六及圖八）。

本試驗結果，林地之各種無機養分含量，係地上部總乾重量為 11.7 ton/ha，氮 81.2 kg/ha，磷 4.2 kg/ha，鉀 98.0 kg/ha，鈣 67.3 kg/ha，及鎂 23.3 kg/ha（表六及圖八）。

## 一、緒 言

森林生物量，乃森林社會或森林族群於其生命過程中所生產乾物之累積量。林木之初生產量，乃構成森林生態系之主體。把握此體系之初生產過程，並使之成數量化，則不僅可供為闡明森林生態系之生物量，且在林業上亦為林地之物質生產力提供基礎資料<sup>(1)(2)(7)</sup>。

關於森林生產力之調查，早於二十年前經外國諸學者與專家即致力於研究。1966 年成立國際生物事業計劃（International Biological Program, IBP）之後，發起國際性之共同調查研究，其內容包括有機物之生產過程與結構，養分循環與能量之轉移，以期認識生物族群與環境之動態關係，其所發表之報告不勝枚舉<sup>(7)(11)(16)(17)(18)</sup>。然於本省，有關森林生物量之研究資料，尚屬罕見<sup>(19)(20)</sup>。

鑒於此，我國森林生物量之調查及其資料之應用，誠為迫切需要。本研究，乃首就林冠業已鬱閉狀態之木油桐幼齡林分，實施調查並探討其地上部生物量及養分含量，究為若干？以供今後研究之參考。

本研究之進行，承蒙日本九州大學教授宮島寬博士、助教授須崎民雄博士之教導與鼓勵，復蒙中興大學教授陳清義博士之鼓勵並借用自動面積計，又於樣品處理及分析工作蒙研究生徐正鐘君及土壤學系吳倫先生之協助，於此均致謝忱。

## 二、供試林地及研究方法

### (一) 供試林地

供試林地位於中興大學農學院實驗林惠蔭林場第 1 林班，海拔約 800m，林地北向或偏西北之緩斜或幾近平坦，土壤為褐色森林土（B<sub>0</sub>(c<sub>1</sub>））。據離供試地約 2.8 km 之關刀溪觀測所測定之氣象資料，年平均最高氣溫 25.3℃，年平均最低氣溫 15.7℃，年平均濕度 83.1%，年降雨量 2,800~3,200 mm，約有 70% 之降雨量分佈於 5 月中旬至 8 月中旬。本試驗地於民國 62 年春季以每公頃 3,300 穴直播木油桐（*Aleurites montana* (Lour.) Wils.）種子，民國 65 年 10 月調查時已屆 4 年生，惟因遭颱風為害後，每公頃立木株數約 1,200 株。林木之生長呈現差異，林冠有已鬱閉及尚未鬱閉者，樹高 2.7~9.0m，胸高直徑 2.7~15.2 cm，平均枝下高約 2 m，每公頃胸高斷面積合計約 5.4 m<sup>2</sup>。植被以箭竹（*Pseudosasa usawai* (Hay.) Makino et Nemoto）佔優勢，尚有山柿（*Diospyros morrisiana* Hance）、漆樹（*Rhus verniciflua* Stokes）、野牡丹（*Melastoma candidum* D. Don）、腎蕨（*Nephrolepis auriculata* (L.) Trimen）、颱風草（*Setaria palmifolia* (Koen.) Stapf.）、清飯藤（*Polygonum chinense* Linn.）、仙草舅（*Mesona procumbens* Hemsl.）等之散生。

## (二)研究方法

### 1. 樣區及樣木之調查

在供試林分內，依林木之生長狀況設 0.05 ha (20m×25m) 之調查樣區 4 處，測量各樣區內全部林木之樹高 (H) 及胸高直徑 (D) 後，根據胸高直徑之測定值，由各樣區附近選出其胸徑在各樣區所分佈範圍內之樣木各 2 株，供抽取樣木 8 株。樣木經逐株伐倒後，均即以 1 m 間隔之分層割取法 (stratified clip technique) (7) 割取各層並測量其直徑，樹幹、枝條及葉之鮮重量。至於各部份之絕乾重量，則採各器官重量各數 100g 至數 kg 之樣品，携返研究室以 105 °C 絕乾處理後求其乾物率，再算出淨乾重。葉面積 (單面) 乃將各樣木之葉片依其着生枝層分別採取數 10g 之樣品携返研究室，使用自動面積計 (LI-3000 型) 求出單位重量之面積，乘以葉量求之。樹幹之生長量乃由樹幹解析求各層次材積，再計算各層次之生物量。

### 2. 林分生物量之推定

本試驗地每公頃林地現存林木之地上部各器官生物量，係根據 8 株樣木之相對生長式 (allometry) :

$$\log W = a + b \cdot \log x$$

視其統計分析結果及其直線迴歸之顯著性，再將樣區之立木依直徑階及樹高區分後，代入相對生長式計算之結果，據其合計估測林分地上部之現存生物量。

### 3. 供試樣木之養分分析

依直徑階所選定之 8 株樣木，經伐倒測量各層次器官鮮重量之際，由各部份另秤取數 10g 至數 100g 樣品，携返研究室，幹與枝分別樹皮及木質部，先切成細片以 65 ~ 70 °C 通風乾燥後，再研碎成細粉備供分析之用。氮素以 Kjeldahl 法，其他無機養分則預先以三混酸 (硫酸-硝酸-過氫酸) 濕燒後，磷用鉬藍法以分光光度儀比色測定，鉀用焰光儀測定，鈣與鎂使用原子吸光光度儀測之。

### 4. 土壤環境之調查

在前述每木調查 4 個樣區內或於其附近，自各樣區均掘開土壤剖面 2 處。剖面之調查則先採取 A<sub>0</sub> 層之腐植質後，使用 100cc 之土壤採樣圓筒，自地表往下層分別採取 0 ~ 5 cm, 20 ~ 25 cm, 40 ~ 45 cm, 及 60 ~ 65 cm 深處共 4 層之自然狀態土壤。另由各層次採取土樣約 1kg 裝入塑膠袋携返研究室，分別供為測定物理性質及化學分析之用。

全氮量用 Semi-Kjeldahl 法；碳以 Walkley 法之改良法 (8)；磷採用 Bray No. 2 法，以鉬藍法經分光光度儀比色測定；鉀採用 Pratt 法，以焰光儀測定；交換能量 (CEC) 用 Peech 法，並將其中性醋酸銨浸出溶液供為以原子吸光儀分析鈣與鎂之用。

## 三、結果及討論

### (一) 林分之現存生物量

每公頃林地現存木油桐之地上部各器官之生物量，係先求伐倒 8 株供試樣木之相對生長式，視其統計分析結果及繪製圖後，其直線迴歸之顯著性頗滿意。再將樣區內之立木依直徑

階及樹高區分後，代入相對生長式求其合計值，據此估測林分之現存生物量。

所採用之相對生長式，列示於下：

$$\text{樹幹} \quad \log W_s = 1.76359 + 0.78860 \log D^2H \quad R = 0.99708$$

$$\log V_s = -0.81127 + 0.80800 \log D^2H \quad R = 0.99780$$

$$\log V_s = -2.61090 + 1.02260 \log W_s \quad R = 0.99876$$

$$\log V_{s'} = -2.83998 + 1.06367 \log W_s \quad R = 0.99870$$

$$\log V_B = -0.55133 + 0.76923 \log V_s \quad R = 0.99598$$

$$\text{枝} \quad \log W_B = -1.32805 + 1.26168 \log W_s \quad R = 0.98422$$

$$\text{葉} \quad \log W_L = -2.02868 + 1.31508 \log W_s \quad R = 0.97177$$

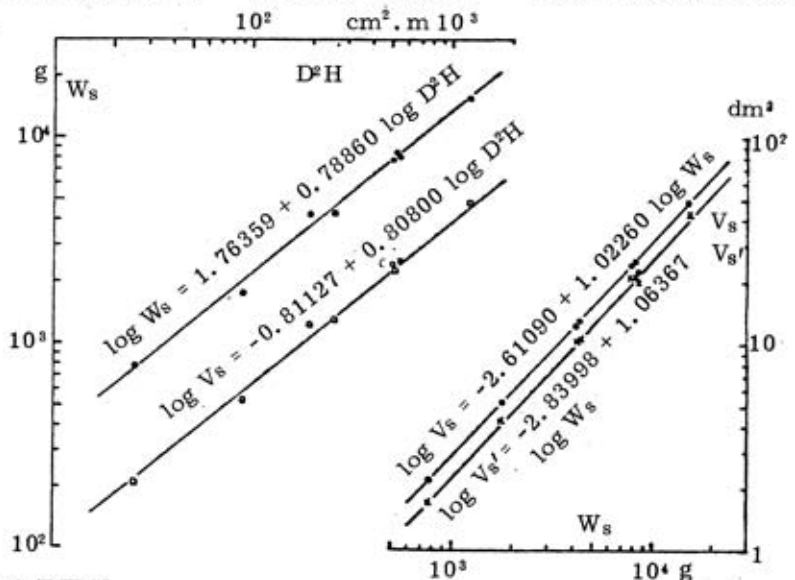
$W_s$  : 樹幹乾重量 (g),  $D^2H$  :  $(DBH)^2 \times \text{樹高}$  ( $\text{cm}^2 \cdot \text{m}$ )

$V_s$  : 連皮幹材積 ( $\text{dm}^3$ ),  $V_{s'}$  : 去皮幹材積 ( $\text{dm}^3$ )

$W_B$  : 枝之乾重量 (g),  $V_B$  : 樹皮材積 ( $\text{dm}^3$ )

$W_L$  : 葉之乾重量 (g)

樹幹之生物量，係利用樹幹乾重量與胸高直徑之平方乘樹高 ( $W_s \sim D^2H$ ) 之關係，其迴歸式之相關性極佳 ( $R = 0.99708$ )。關於連皮幹材積與  $(DBH)^2 \times \text{樹高}$  ( $V_s \sim D^2H$ ) 之關係式，亦呈現顯著相關性 ( $R = 0.99780$ )。在調查 4 樣區之間，雖在林木之生長呈現其差異，但在樹幹比重之關係式，不論連皮幹材積與樹幹乾重量 ( $V_s \sim W_s$ ) 之關係，或去皮幹材積與樹幹乾重量 ( $V_{s'} \sim W_s$ ) 之關係，即樹幹乾重量與連皮幹材積間之  $R$  值為 0.99876，而與去皮幹材積間之  $R$  值呈 0.99870。據此兩關係式及圖一，表示由 4 樣區所調查結果，並無呈現分離現象。



圖一 樹幹之相對生長關係

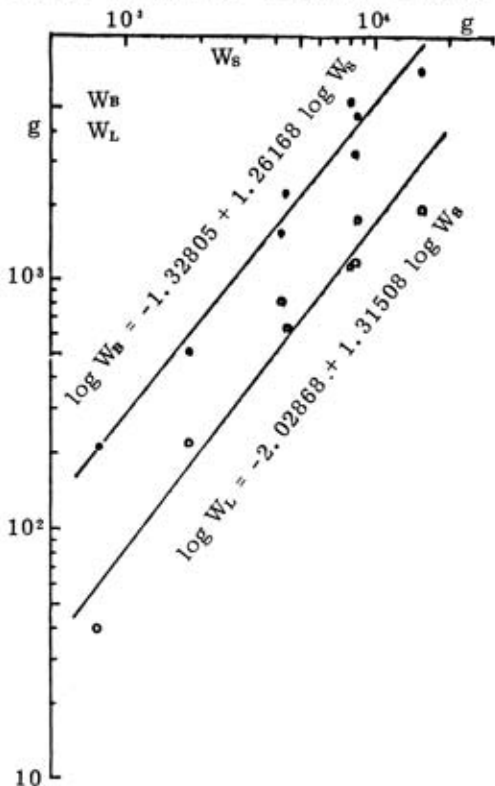
Fig.1 : Allometric relations of  $W_s \sim D^2H$ ,  $V_s \sim D^2H$ ,  $V_s \sim W_s$  and  $V_{s'} \sim W_s$

$D^2H$  :  $(DBH)^2 \times (\text{Height})$  ;  $W_s$  : Stem dry weight

$V_s$  : Stem volume

;  $V_{s'}$  : Inside bark stem volum

其次將木油桐之枝乾重量與樹幹乾重量 ( $W_B \sim W_S$ ) 之關係，及葉之乾重量與樹幹乾重量 ( $W_L \sim W_S$ ) 之關係，示於圖二。由於地上部幹乾重量之增加，枝重量及葉重量亦隨之呈近似於平行狀態增加，但此兩者之增加趨勢乃葉比樹枝略為著。在同齡純林，各立木可依地



圖二 枝葉之乾重與樹幹乾重之相對生長關係

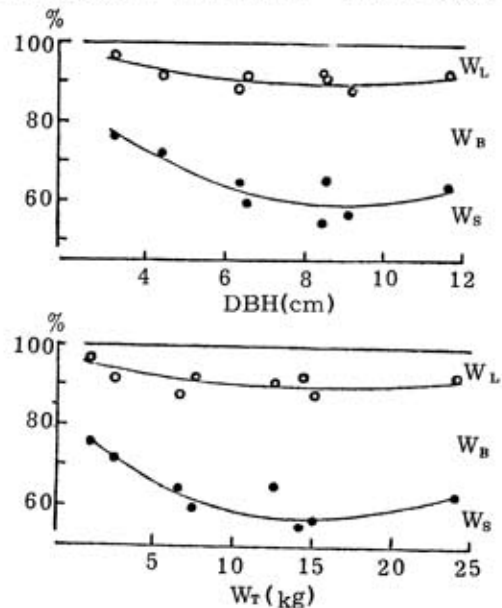
Fig.2 : Allometric relations of

$$W_B \sim W_S \text{ and } W_L \sim W_S$$

$W_B$  : Branch dry weight

$W_S$  : Stem dry weight

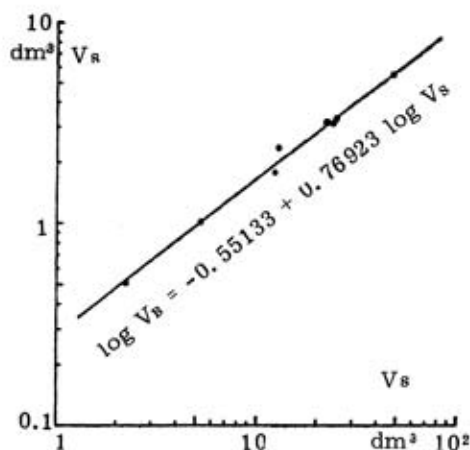
$W_L$  : Leaf dry weight



圖三 樣木之胸高直徑 (DBH) 及地上部總乾重量 ( $W_T$ ) 之大小對於其幹 ( $W_S$ )、枝 ( $W_B$ ) 及葉乾重量 ( $W_L$ ) 與地上部總乾重量之比率。

Fig.3 : Ratios of the dry weight of stem ( $W_S$ ), branches ( $W_B$ ) and leaves ( $W_L$ ) to that of above ground parts per tree related with DBH and above ground weight ( $W_T$ )

上部重量之多寡區別為優勢木及劣勢木，即優勢木之枝、葉所佔之比率較大，劣勢木則反之。圖 3 乃將 8 株供試樣木之各單株地上部總重量對幹、枝及葉重量之百分率，分別依其胸高直徑及地上部總重量所表示者。此三種乾重量之比率，就供試樣木相互之間而言，其胸高直徑在 6 cm 以上，或地上部總乾重在 5 kg 以上時，幹之比率減少，而有增加葉重量比率之趨勢，且此兩者之比率亦略為一定。據本調查林分而言，幹、枝及葉三者之比率，約為 62 : 29 : 9。若胸高直徑約達 12 cm，或地上部總重量達 24 kg 時，上述三種重量之比率為 63 : 29 : 8。此比率恰如筆者於民國 66 年 6 月間在壘大事業區 18 林班，海拔約 950m 處之 13 年生木油桐造林地調查之結果吻合<sup>(3)</sup>。



圖四 樹幹材積 ( $V_s$ ) 與樹皮容積 ( $V_B$ ) 之相對生長關係

Fig.4 : Allometric relation between bark volume on stems and stem volume

$V_s$  : Stem volume

$V_B$  : Bark volume on stems

圖 4 係表示樹幹材積 ( $V_s$ ) 與樹皮容積 ( $V_B$ ) 之關係，其迴歸之直線性甚佳。惟雙對數之相對生長式直線斜率比 1 小，表示樹皮之增加量不比樹幹材積之增加為著。樹皮率隨樹

表一 木油桐林分樹體各部位之生物量及諸性質

Table 1 Biomass and other properties of the stand

| Sample plot                 |                    |       | I     | II    | III   | IV    |
|-----------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Stand age                   | years              |       | 4     | 4     | 4     | 4     |
| Tree density                | no./ha             |       | 1180  | 1200  | 1240  | 1300  |
| Total basal area            | m <sup>2</sup> /ha |       | 6.34  | 4.26  | 2.34  | 8.26  |
| Mean height                 | m                  |       | 6.8   | 5.1   | 4.1   | 6.9   |
| Mean DBH                    | cm                 |       | 8.1   | 6.7   | 4.8   | 8.6   |
| Biomass<br>in dry<br>weight | Stem               | t/ha  | 8.67  | 5.72  | 2.80  | 11.22 |
|                             | Branch             | t/ha  | 4.33  | 2.63  | 1.03  | 5.92  |
|                             | Leaf               | t/ha  | 1.40  | 0.84  | 0.31  | 1.93  |
|                             | Above-ground       | t/ha  | 14.40 | 9.09  | 4.14  | 19.07 |
| Stem volume                 | m <sup>3</sup> /ha | 43.38 | 31.56 | 14.26 | 60.45 |       |
| Bark volume of stem         | m <sup>3</sup> /ha | 5.24  | 4.48  | 3.00  | 9.47  |       |
| Leaf area (one side)        | ha/ha              | 3.34  | 1.86  | 0.35  | 1.75  |       |

幹材積之增加而減少。又將樹高及胸高直徑略為相等之 I 及 IV 樣區比較，則立木度較密之 IV 樣區，其樹皮率要高出 3.6%。此種情形，亦見於齊藤等<sup>(13)</sup> 9 年生水杉林之生物量調查結果，即在立木度之差異高達 2 倍之兩林分，其迴歸式完全分離，且以相同體積之單株互相比較，密植林分之樹皮率幾乎要高出 20%。

茲依上述相對生長式計算結果，將樹體各器官之每公頃林地之生物量列示於表 1。

4 個樣區之立木株數，除 IV 區為較多之外，其餘 3 個樣區之立木株數比較接近，每公頃林分之平均株數為 1,230 株。平均樹高及平均胸高直徑在 I 及 IV 區者頗為近似，惟在 III 區之各項測定值均最低。森林之生物量，顯受單位面積每公頃林地胸高斷面積多寡之影響。此可由實施樣區之每木調查結果，推測該林分頗具生育環境因子之極部差異特性。樹幹之平均乾重量每公頃為 7 公噸，枝之乾重量 3.5 ton/ha，葉量 1.1 ton/ha，將樹體地上部之生物量合計，則約達 12 ton/ha。

就地上部生物量所佔之幹、枝及葉重量之百分率而言，各分別為約 60%、30% 及 10%。

平均樹幹材積約有 37 m<sup>3</sup>/ha，平均樹皮容積約達 5.6 m<sup>3</sup>/ha，則樹幹之樹皮率約有 16%。再以重量百分率比較，亦達 16%。枝皮與枝乾重量之比率竟然高達 28%。

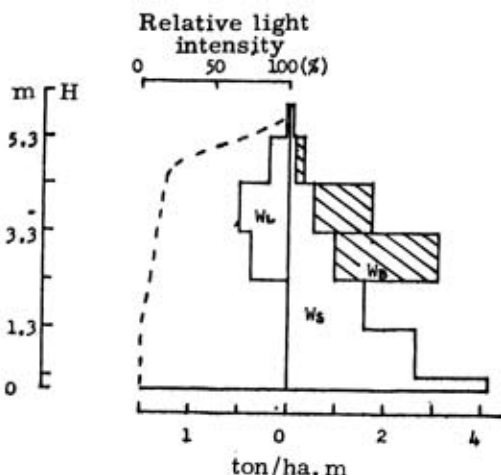
木油桐之葉量乃包括葉片與葉柄。據本試驗之結果，葉量多者約達 1.9 ton/ha，少則僅具 0.3 ton/ha，平均為 1.1 ton/ha。至於葉面積指數，平均大約為 2 ha/ha，此數值乃包括葉柄重量之估測數值。

上述數值與 13 年生木油桐林分之生物量<sup>(3)</sup> 比較，則樹幹、枝及葉乾重量分別僅為其 7%、7% 及 10.7%。然再依地上部幹、枝及葉乾重量對地上部總重量之分配率比較，則不論 4 年生或 13 年生木油桐林分，其枝重量之比率以 29.7% 及 29.6% 極為相似，惟 4 年生之葉重量佔 9.6%，若與 13 年生林分相同季節採取樣木，則此比率必然有可能增加，而幹重量亦隨之可能略為變小。綜之，木油桐鬱閉林分之地上部生物量之分配率已有一種甚為相似之範圍。

#### （二）林分之垂直構造

調查林分之幹、枝及葉之現存生物量垂直構造如圖五所示。同化器官之葉，其 65% 以上分佈於離地面 3 m 以上之林冠層。枝之垂直分佈，則於最大葉層之下層呈現最大，即有 60% 之枝集中於此。幹量則愈為下層愈為多，且其 75% 以上分佈於枝下高之範圍。

圖中以虛線表示部分，係林冠層內相對光度之變化情形。光度之測定，係使用東京光電光度計（ANA-100 型）求林冠層上與林冠層內之相對光度比較。由於帶葉柄之比葉面積（specific leaf area）平均為 150 cm<sup>2</sup>/g，無葉柄者平均 167 cm<sup>2</sup>/g，在樹高



圖五 調查林分之幹 ( $W_s$ )、枝 ( $W_b$ ) 及葉 ( $W_l$ ) 重量之垂直分佈與林冠內之相對光度

Fig. 5 : Vertical distributions of the dry weight of stems ( $W_s$ ), branches ( $W_b$ ) and leaves ( $W_l$ ) per ha, and the relative light intensity along the community profile

5 m 之林冠層，相對光度已減弱到 23%，於枝下高之 2 m 處為 8.4%，至 1.3 m 處為 0.2%，林地之植被層僅 0.07%。可見所透過陽光，幾乎約 90% 在林冠層內被消耗。在櫟大事業區 18 林班，林冠層下之相對光度，樹高約 13 m 之 13 年生木油桐林分為 0.4%，樹高約 13 m 之 8 年生台灣泡桐林分為 20.3%，樹高約 15 m 之 18 年生杉木林為 4.7%<sup>(3)</sup>。又據只木等<sup>(4)</sup>調查 10 年生 *Castanopsis cuspidata* 林分，平均樹高 4.1 m，葉面積指數 12.5 ha/ha，其林冠層下之相對光度為 0.7%；同齡之 *Betula platyphylla* 林分之平均樹高 4.5 m，葉面積指數 3.5 ha/ha，其林冠層下之相對光度為 5.4%。在 45 年生平均樹高 16 m，葉面積 5.1 ha/ha 之日本扁柏林，林冠層下之相對光度為 0.7%<sup>(5)</sup>。可知，林內之相對光度依樹種、立木度、生長狀態及葉之性質與量之多寡而異。

#### (二) 調查林分之土壤環境

土壤調查乃依如上述，在各樣區附近分別掘 2 處土壤剖面，觀察記錄後，分別由 0~5 cm，20~25 cm，40~45 cm，及 60~65 cm 深度處以 100 cc 採樣圓筒採取土樣供物理性質之分析用；另由各層次採取約 1 kg 之土壤供為化學分析之用。土層之厚度約 60 cm，自此深度已有石礫之出現。雜草及箭竹等根分佈至 30 cm 深處，木油桐之根系主分佈至約 40 cm 深處，於 55 cm 深處根之分佈量極少。

茲將調查林分 8 處土壤調查點之結果，以平均值分別將物理性質示於表二，化學性質示於表三。



