

研究報告

台灣地區樟樹生物量擴展係數之建立

李宣德¹ 馮豐隆²

【摘要】森林生物量不僅能夠反映生態系統在特定時段內積累有機物質的能力，而且是描述生態系統特徵的重要參數，也是評價森林結構與功能的理論基礎。生物量的動態變化直接影響到森林的生產力及其分解過程，對碳循環有重要影響作用。森林生物量和生產力的研究多數是集中在地上部主幹生物量上 (Keeling *et al.*, 2007 ; Fang *et al.*, 2001)，地上部其他部分與地下部分生物量都根據此部分採用一定的擴展係數方法推算 (Clark *et al.*, 2001)，但由於目前台灣主要樹種的擴展係數的資料相當缺乏，在估算森林碳貯存量時，不是帶入假設數據，就是借用國外的研究數據。本研究利用 1986 年和 2006 年二次的樟樹生物量調查資料，進行生物量擴展係數的分析，結果顯示樟樹地上部生物量擴展係數為 1.34 ± 0.24 ，而地下部生物量擴展係數為 1.41 ± 0.04 ，因此樟樹的全株生物量約為主幹生物量之 1.89 倍，然後用這些公式及調查資料來估計樟樹生物量，作為將來森林碳吸存推估模式的重要基礎以供為往後碳量估算及其相關研究之參考。

【關鍵詞】擴展係數、碳貯存、生物量

Research paper

Investigation of a biomass expansion factor for camphor tree in Taiwan

Lee Hsuan-Te¹ Feng Fong-Long²

【Abstract】The forest biomass could not only express the accumulation capacity of organic matter, but also describe the important parameters of the structure and the function in ecosystem. The biomass dynamic influence on carbon cycle of ecosystem, which are included the forest productivity and the decomposition process directly. Most of the forest biomass and productivity researches were focused on the stem biomass. (Keeling *et al.*, 2007; Fang *et al.*, 2001) To estimate other parts of aboveground biomasses and root biomass with stem biomass in the expansion factor method calculation. (Clark *et al.*, 2001) The expansion factor data of main planting tree species are quite deficient in Taiwan now. So, we have to estimate forest carbon stock by tentative data or cited the research results of forest data. There are 99 stems data of biomass survey in 1986 and 81 stems of camphor tree biomass resources investigation in 2006 were used to develop the expansion factor of camphor trees. The

1. 國立中興大學森林系博士候選人

Ph.D. Candidate, Department of Forestry, NCHU, e-mail: sdlhm@ms30.url.com.tw

2. 國立中興大學森林學系教授 通訊作者 04-22854060 台中市南區國光路 250 號
Professor, Department of Forestry, NCHU, Corresponding author

Address: #250, Kuo Kuang Rd., Taichung, 402, Taiwan, R.O.C., e-mail: flfeng@nchu.edu.tw

results showed that biomass expansion factor of aboveground is 1.34 ± 0.24 and the whole biomass expansion factor of belowground is 1.41 ± 0.04 . Therefore tree biomass is approximately 1.89 of the stem biomass for camphor tree. The results could be used to estimated the camphor carbon stock in Taiwan and could used to compare the camphor biomass in other Asia area.

【Key words】 expansion factor, carbon stock, biomass

一、前言

在陸域生態系中，森林為碳的巨大貯存庫，森林對於減緩CO₂的增加是具有相當重要的影響力。在京都議定書於 2005 年 2 月生效之後，有關如何精確且有效率的推估森林碳的吸存量，已是國家施政的重要議題。通常，森林碳貯存量的估算方法有二種，一為以森林生物量數據為基礎的生物量法，另一為以森林蓄積量數據為基礎的蓄積量法（李意德等，1997）。由於生物量法所投入的人力、物力與時間往往相當巨大，因此要進行全面性的調查有相當的困難度，因此，許多國家採用森林資源調查的蓄積量資料，透過蓄積量與生物量的轉換後，再乘上含碳率，即可得到碳貯存量，例如 Schroeder *et al.* (1997) 估算美國溫帶闊葉林生物量、Baritz and Strich (2000) 估算德國森林碳吸存效益、Fang *et al.* (2001) 估算中國大陸森林生物量及碳量的變化情形等。然運用蓄積量法估算森林碳貯存量的最主要工作，便是建立材積與生物量的轉換關係，也就是說，利用林木的主幹材積，藉由基礎密度轉換成主幹生物量，透過一個擴展係數，將主幹生物量轉換成全株生物量，其中林木的生物量包含了地上部（葉子、枝條、主幹）與地下部（根部）兩部分，最後再將全株生物量透過碳比例轉化成碳含量，但就一般而言，主幹材積容易求得，而其他部位的材積資訊取得則較不容易，而且根部生物量的量測所花費的人力物力相當大，所以大多僅涉及地上部生物量的研究，但在推估森林的總生物量和連年生物量時，根系是扮演著一個重要的角色，例如在美國，根生物量佔森林總生物量的 15-20%；在加拿大，根佔森林碳估算的 19-36% (Goff and Ottorini,

2001)。

由於目前台灣主要樹種的擴展係數的資料相當缺乏，在估算森林碳貯存量時，不是帶入假設數據，就是借用國外的研究數據，所推估出來的值，通常較不具代表性，因此本研究利用羅紹麟、馮豐隆於 1986 年所進行的台灣樟樹生物量資源調查，挖掘不同徑級的樟樹，測量地上部及地下部的生物量，以及 2006 年林務局委託台灣林業相關研究單位所進行得樟樹地上部生物量調查，進行相關係數的分析，然後用這些公式及調查資料來估計樟樹生物量，作為將來森林碳吸存推估模式的重要基礎，以供為往後碳量估算及其相關研究之參考。

二、研究材料與方法

(一) 研究材料

本研究所使用的材料有二：

1. 羅紹麟、馮豐隆於 1986 年所進行的台灣樟樹生物量資源調查，調查台灣全島國有林班地樟樹造林地之樟樹資源，經整理樟樹造林面積共 4601.0167ha，栽植時間自民國 21 年至民國 74 年止之人工林資料，其中民國 42 年種植 428.3158ha，且東部面積種植較西部為多，玉山、大埔、旗山事業區為西部栽植樟樹面積較廣者，各介於 200ha 和 500ha 之間。

依照造林台帳資料，利用各齡級造林面積比例和位置分佈，來決定區集個數和位置，即每 25ha 取一樣區集，每個樣區集依坡度取上、中、下三個樣區，進行每木調查，其中樣區中心點彼此間距為 30m，區集依齡階造林面積比例分佈於三個齡階內（三齡階各 25 年生以下，25-39 年生，40 年生以上）。

並在兩個區集(即六個樣區),取一株中央木(胸徑、樹高約為樣區的平均值者),進行伐倒及根部挖掘作業,各事業區樣木共選取樣木 99 株,其分佈如表 1,並依照各樣木所在的林班資料,進行 99 株樟樹生物量調查的分布圖,結果如圖 1 所示。調查過程中先測其樹冠長寬、方位等後再行伐倒,伐倒

後由伐採點每隔 1m 做一記號,量其直徑(不論主幹或側枝),並依直徑 30cm、18cm、9cm、2cm 之樹幹、樹枝予鋸斷。歸類後秤量各區段、根和枝葉(與 2cm 以下區段者合算之)之重量;而在挖取根部時,取至根徑 1cm 左右,再稱其重量,並以皮尺量其根部分佈之長寬範圍及其深度。

表 1. 各事業區樣區、樣木分佈表(整理自羅紹麟、馮豐隆, 1986)

Table 1. The distribution of sample tree for Leo and Feng (Lo and Feng, 1986)

Working Circle	Number of sample trees	Working Circle	Number of sample trees
Dasi (大溪)	8	Chenggong (成功)	3
Nanjhuang (南庄)	4	Yuli (玉里)	31
Dahu (大湖)	1	Siouguluan (秀姑巒)	4
Daansi (大安溪)	2	Lintianshan (林田山)	8
Basianshan (八仙山)	1	Shanmugua (木瓜山)	2
Jhuoshueisi (濁水溪)	1	Heping (和平)	3
Dapu (大埔)	5	Nan-ao (南澳)	7
Cishan (旗山)	2	Luodong (羅東)	9
Taidong (台東)	5	Ilan (宜蘭)	1
Yanping (延平)	2	Total	99

2. 林務局於 2006 年託台灣有林業科系之大學及相關研究單位,分北、中、南三個調查隊同步進行調查。北區團隊由台灣大學、文化大學、宜蘭大學組成;中區團隊為中興大學;南區團隊則由台大實驗林、嘉義大學及屏東科技大學所組成,進行『森林蓄積量與生物量轉換模式之建立』計畫。在計畫中以林務局現有的永久樣區為主,針對不同的造林樹種樣區(樟樹達該樣區株數的 30% 以上),依據不同齡級在不同地點進行取樣,並利用該樣區調查資料的胸徑平均值及標準差,依據平均值及平均值加減一個標準差為原則,進行樣區內上木、均木及下木的選取,並進行林木生物量量測及樹幹解析。

依照上述原則,樟樹在全台灣 87 個永

久樣區中,依據北(羅東、花蓮林管處)、中(新竹、東勢、南投林管處)、南(嘉義、屏東、台東林管處)三區,在 3 個齡級中(三齡階為 20 年生以下,21-50 年生,51 年生以上)各取 3 個樣區,共計 27 個調查樣區,其樣區分布狀況如圖 2 所示,進行每木調查,並在每個樣區中取上、均、下三株樣木進行調查與分析,共計 81 株調查樣木。將林木分為樹幹部、冠層部兩部分。主幹部分以分段方式依樹幹解析方式分段,即 0.3 m (第 I 段),1.3 m (第 II 段)及 3.3 m (第 III 段)以上均以 2 m 為長度分段秤鮮重。冠層部分則將樹冠長度平均區分為上、中、下層。各層進行樹葉及枝條生物量量測。

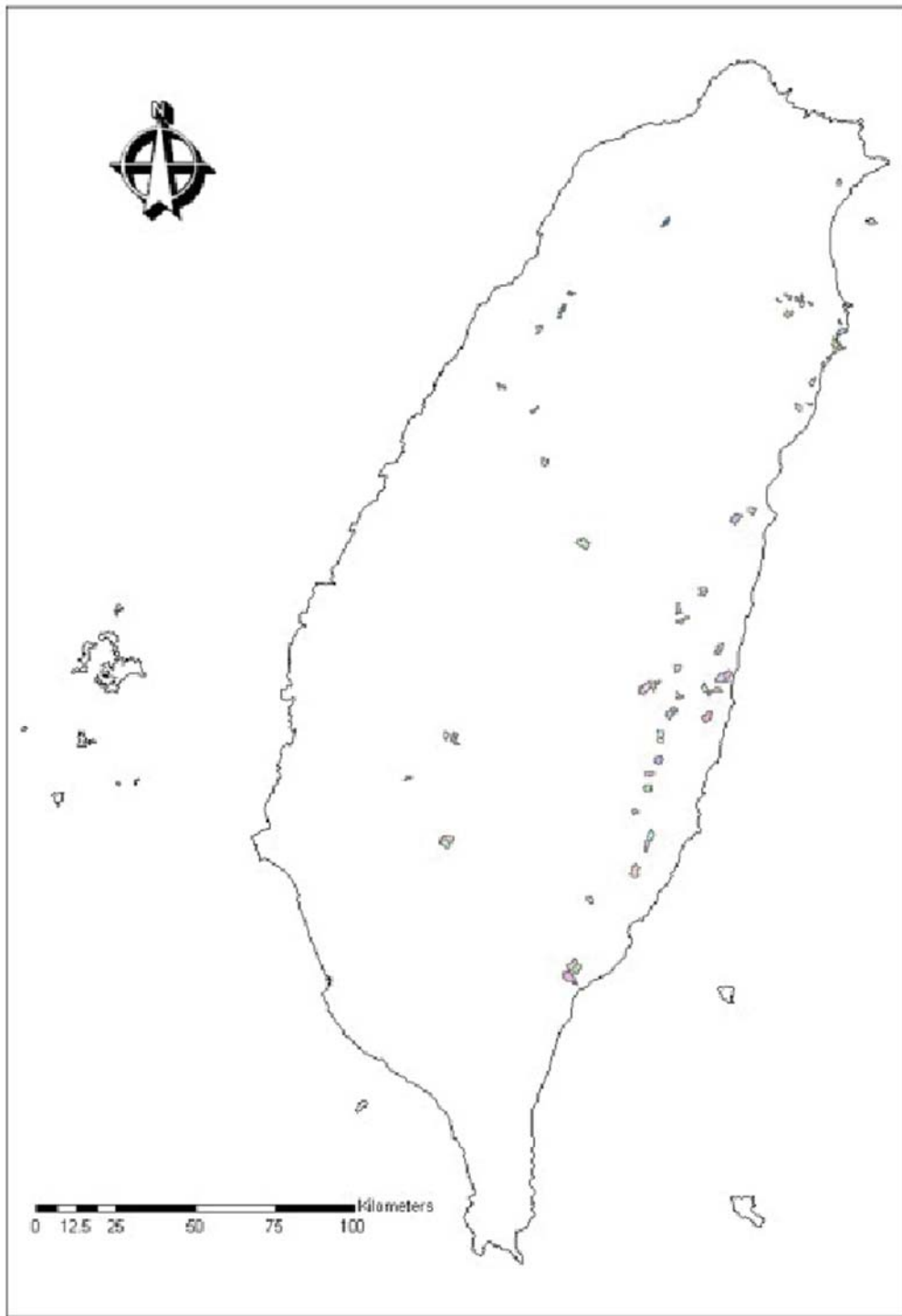


圖 1. 羅紹麟、馮豐隆 1986 年樟樹生物量調查 99 株樣木的分布圖

Fig. 1. The distribution of 99 sample trees data in camphor trees biomass survey of Lo and Feng (1986)

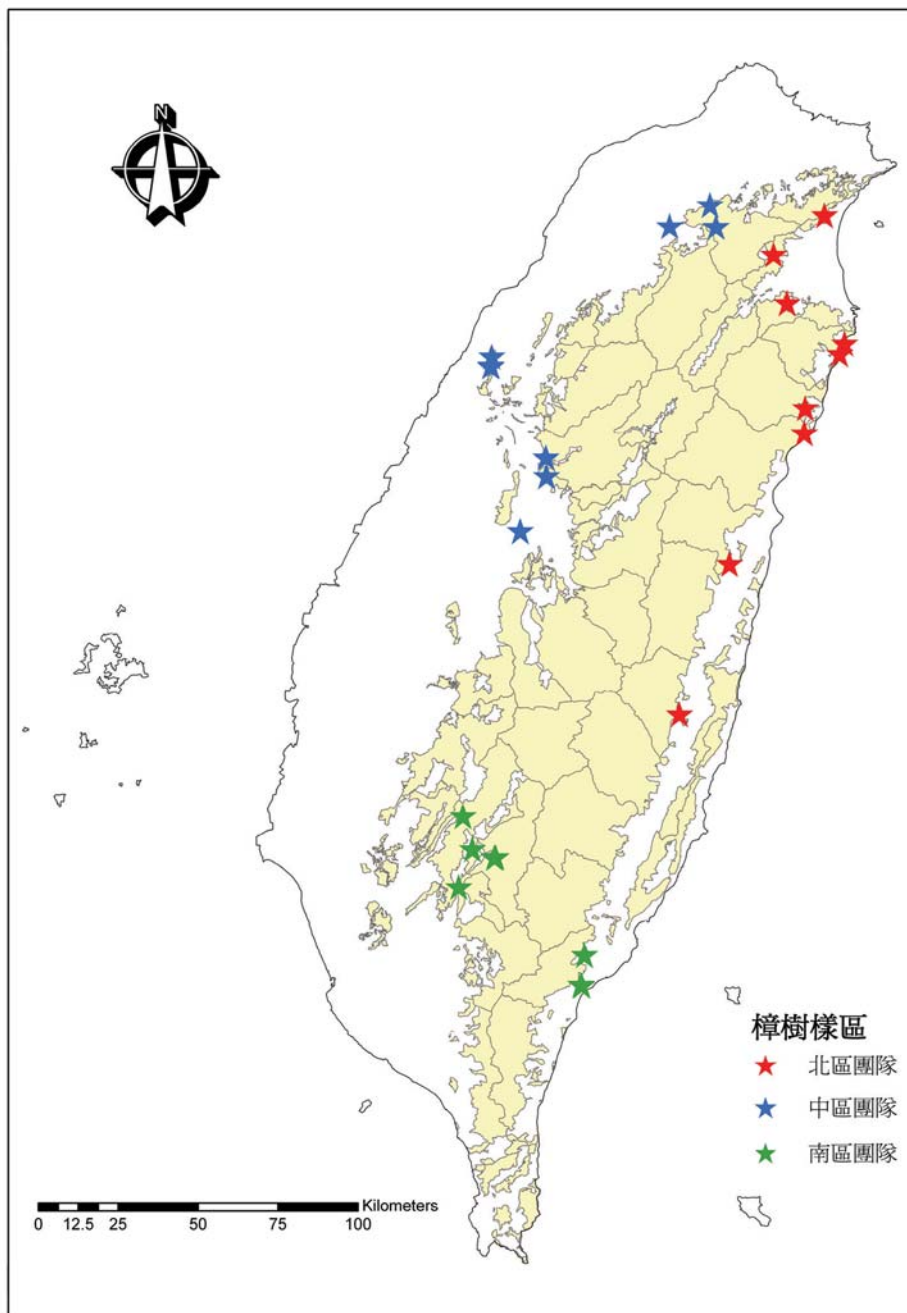


圖 2. 2006 年「森林蓄積量與生物量轉換模式之建立」研究計畫樟樹樣區分布圖

Fig. 2. The distribution of sample of Forestry Bureau's research project "Constructing models for transforming forest stock into biomass"

將上述二項資料依據地上部 (葉、枝條、主幹) 及地下部 (根) 的調查部位整理成表 2，以利後續進行樟樹生物量擴展係數的分析。

表 2. 樟樹生物量調查整理表

Table 2. The items of camphor tree in the biomass inventories

Data		Lo and Feng (1986)	Forestry Bureau's research project (2006)
Age (year)		11~60	16~71
DBH (cm)		11.2~45.5	8.0~52.4
Belowground	Root	V	
Aboveground	Stem	V	V
	Branch		V
	Leaf		V
Number		99	81

(二) 研究方法

林木的生物量可區分成樹的主幹、樹冠(枝條與葉子)和根部等三部分，而重量式和材積式一樣，皆在利用易測的因子如胸高直徑等林木屬性來求得欲知之重量。以羅紹麟、馮豐隆(1986)台灣樟樹生物量資源調查 99 株全株林木與根的生物量資料及林務局 2006 年委託計畫中的 81 株樟樹生物量資料，將樟樹的生物量區分成主幹、枝條、葉子和根部等四部分，來探討之間的關係，並利用其資料建立樟樹的地上部與地下部的生物量擴展係數。

三、結果與討論

(一) 地上部生物量擴展係數

利用 2006 年的 81 株樟樹生物量調查的資料，進行地上部生物量擴展係數的計算，即地

上部生物量擴展係數 = (樹主幹乾重 + 樹冠乾重) / 樹主幹乾重，其中樹冠乾重包含了枝條及葉子的重量。基本上台灣樟樹的平均地上部生物量擴展係數北、中、南各區並無顯著差異(圖 3、4)，北部平均地上部生物量擴展係數為 1.38 ± 0.25 ，中部平均地上部生物量擴展係數為 1.34 ± 0.26 ，南部平均地上部生物量擴展係數為 1.31 ± 0.18 ，全台灣地區的平均地上部生物量擴展係數為 1.34 ± 0.24 ，如表 3 所示，其結果大致可看出台灣樟樹的平均地上部生物量擴展係數約為 1.34 左右。結果與聯合國政府間氣候變化專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 於土地利用實務指南(Good practice guidance for land use)中所建議的 1.3 相近(IPCC, 2003)。

表 3. 北中南三區樟樹平均地上部生物量擴展係數統計表

Table 3. The statistics table of camphor trees mean biomass expansion factors for aboveground parts of north, midland and south in Taiwan

region	mean of expansion factor of aboveground	standard deviation of expansion factor of aboveground	sample tree (stems)
North	1.38	0.25	27
Midland	1.34	0.26	27
South	1.31	0.18	27
Taiwan	1.34	0.24	81

Note: expansion factor of aboveground = (dry weight of stem + dry weight of tree crown) / dry weight of stem

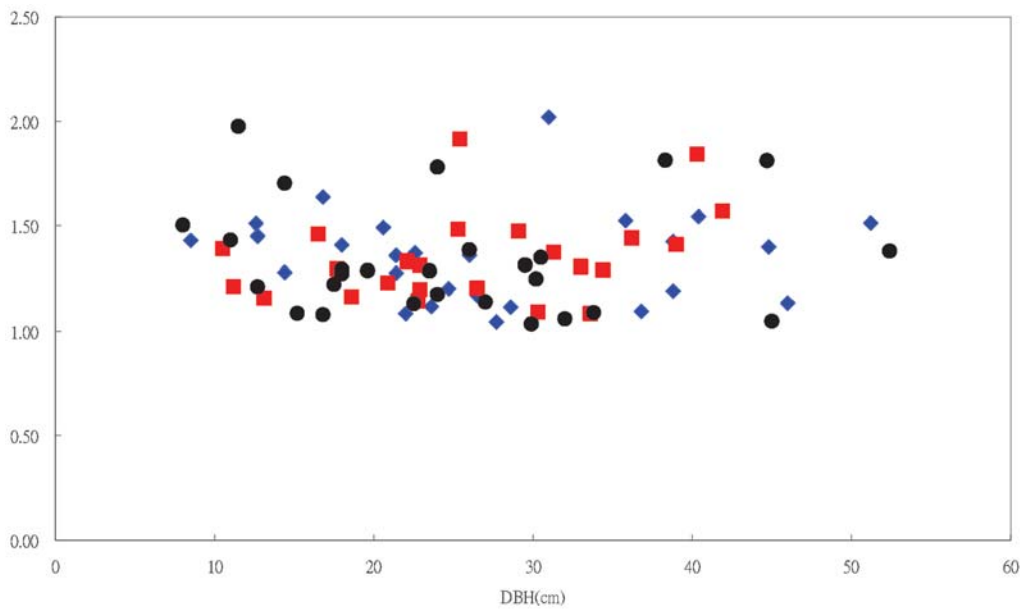


圖 3. 樟樹胸徑與地上部生物量擴展係數關係圖 (◆北區團隊 ■南區團隊 ●中區團隊)

Fig. 3. The aboveground biomass expansion factor and DBH relational chart for camphor tree (◆ north ■ south ● midland)

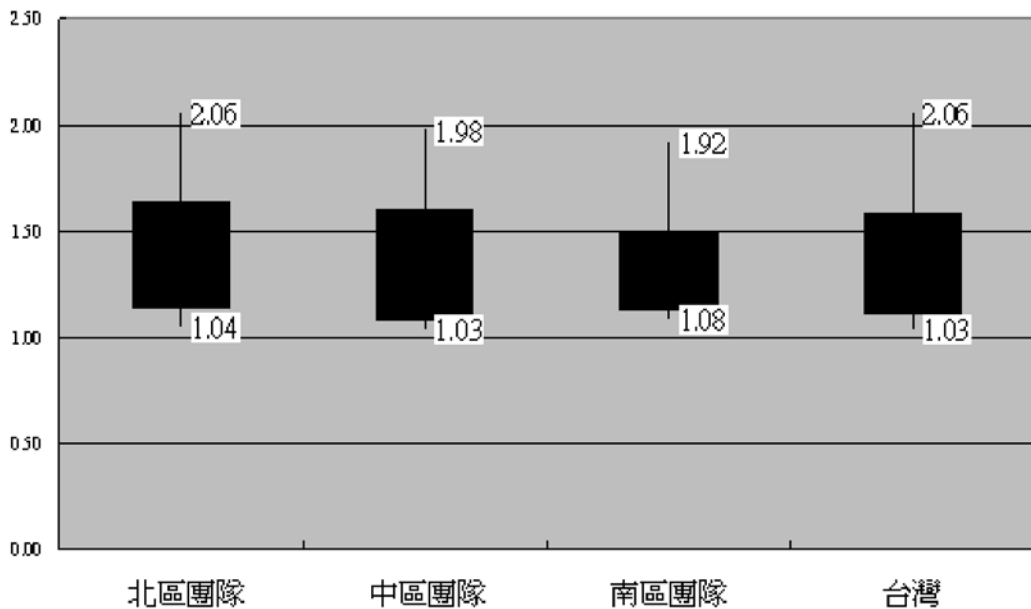


圖 4. 不同區域樟樹地上部平均生物量擴展係數分布範圍統計圖 (數字為最大值及最小值, ■為平均值±標準差的範圍)

Fig. 4. The distribution of mean aboveground biomass expansion factor of different region for camphor tree. (number to show the maximum and minimum; black rectangle to show range of mean \pm SD)

(二) 地下部生物量擴展係數

李宣德、馮豐隆 (2008) 將 99 株樟樹根重資料依胸高直徑每 5cm 為一階，來探討根重與胸徑的關係，其關係圖如圖 5 所示，發覺胸徑大小似乎對根生物量在全株生物量所佔的比例沒有很明顯，大約維持在 29% (平均值為 28.95%，標準差為 2.01%) 左右。與 Karizumi

(1977)、Cairns *et al.* (1997) 及 Fukuda *et al.* (2003) 等學者研究指出根和總生物量的比率通常保持在一定數值之間的結果相同。

由上述可知台灣樟樹的地下部生物量在全株生物量所佔的比例維持在 28.95%，因此其地下部生物量擴展係數為 $1 / (1 - 0.2895) = 1.407$ ，標準差為 0.040。

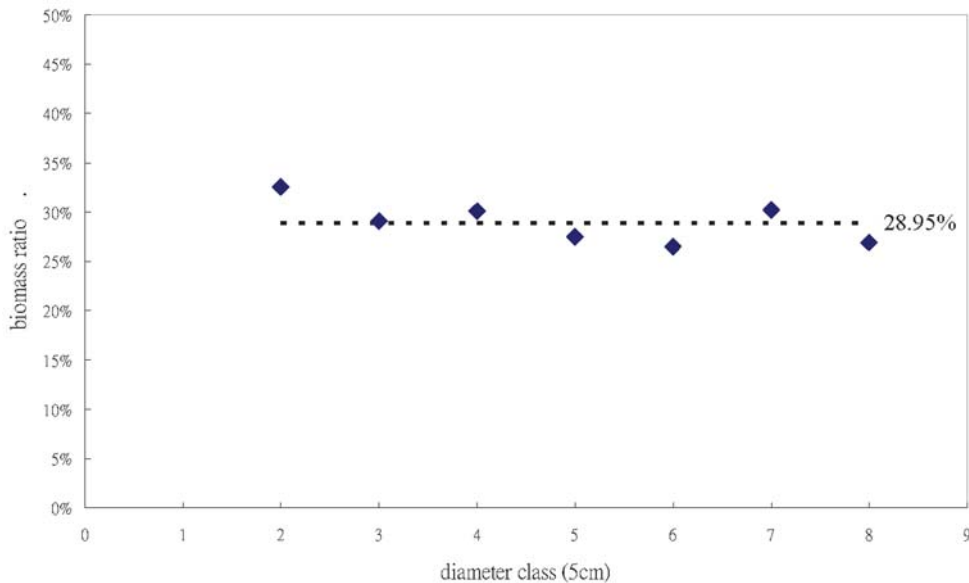


圖 5. 胸徑級與根生物量在全株生物量所佔的比例的關係圖 (5cm 為一階) (李宣德、馮豐隆，2008)

Fig. 5. The root biomass ratio of camphor tree by DBH classes (5cm each) (Lee and Feng, 2008)

四、結論

以往的估計材積通常只提供主幹的部份，而其他部分 (例如樹枝、葉、根) 也是需要計算其碳貯存量，而台灣可用於林分根系方面的生物量資料是缺乏且極少的。本報告利用樟樹資源調查資料，進行樟樹根部及枝葉生物量的量化分析，並建立由容易量測的胸高直徑與根部生物量的關係，更而瞭解各直徑級地上部的生物量與地下部的生物量的比例。本研究結果顯示樟樹地上部生物量擴展係數為 1.34，而地下部生物量擴展係數為 1.41，因此樟樹的全株生物量約為主幹生物量之 1.89 倍，從以往的研究來看，一般全株生物量約為主幹生物量之

1.3-2.0 倍 (Brown *et al.*, 1986; Sedjo, 1989; Winjum *et al.*, 1998; Baritz *et al.*, 2000; Fukuda *et al.*, 2003)。因此只要知道樟樹的胸高直徑，可以配合樟樹樹高曲線式及材積式，以求得各林木主幹材積，進而求得枝葉的生物量及全株生物量。

林木的地下部是一個困難的研究領域，植物材料的取得困難、研究的經費能量耗費大，但是卻是研究植物不可缺少的一部份，需要更多的植物研究工作者的投入。如果能夠建立足夠的根系資料庫，將對國際間根系研究者進行研究交流與比較性研究有很大的幫助。

五、謝誌

本研究承行政院農業委員會林務局委託研究計畫系列 95 農科-12.3.5-務-e2 經費補助，謹此致謝。

六、參考文獻

李意德、曾慶波、吳仲民、周光益、陳布峰 (1997) 熱帶森林生態系統研究與管理。科學出版社。北京。

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 23 (Supplement): S11-22。

羅紹麟、馮豐隆 (1986) 生物量調查及分析方法在樟樹資源調查之應用，興大實驗林研究報告 8: 67-87。

Baritz, R. and S. Strich (2000) Forests and the National Greenhouse Gas Inventory of Germany. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2000 4(4), 267-271

Brown, S., A. E. Lugo and J. Chapman (1986) Biomass of tropical tree plantations and its implication for the global carbon budget. *Can J For Res* 16: 390-4

Cairns, M. A., S. Brown, E. H. Helmer and G. A. Baumgardner (1997) Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia* 111, 1-11.

Clark, D. A., S. Brown and D. W. Kicklighter (2001) Measuring net primary production in forests: concepts and field methods. *Ecological Applications*, 11(2): 356-370.

Fang, J. Y., A. P. Chen, C. H. Peng, S. Q. Zhao and L. G. Ci. (2001). Changes in forest

biomass carbon storage in China between 1949 and 1998. *Science* 292: 2320-2322

Fukuda, M., T. Iehara, and M. Matsumoto (2003) Carbon stock estimates for sugi and hinoki forests in Japan. *Forest Ecology and Management* 184: 1-16

Goff, N. L. and J. M. Ottorini (2001) Root biomass and biomass increment in a beech stand in North-East France. *Ann. For. Sci.* 58: 1-13

IPCC (2003) Good practice guidance for land use, land-use change and forestry IPCC/IGES, Hayama, Japan.

Karizumi, N. (1977) Root biomass. In: Shidei, T., Kira, T. (Eds.), *Primary Productivity of Japanese Forests: Productivity of Terrestrial Communities*, JIBP Synthesis. University of Tokyo Press, Tokyo, pp.45-52.

Keeling, H. C. and O. L. Phillips (2007) The global relationship between forest productivity and biomass. *Global Ecology and Biogeography*, 16: 618-631.

Sedjo, R.A. (1989) Forests to offset the greenhouse effect. *Journal of Forestry* 87(7): 12-5

Schroeder, P., J. M. M. Brown, R. Birdsey and C. Cieszewski 1997. Biomass estimation for temperate broadleaf forests of the United States using inventory data. *Forest Science* 43(3): 424-434

Winjum J. K., S. Brown and B. Schlamadinger (1998) Forest harvests and wood products: sources and sinks of atmospheric carbon dioxide. *Forest Science* 44(2): 272-84.