

台灣重要杉、柏科樹木之脂肪酸組成分析

林彥均¹ 楊鎮瑋¹ 曲芳華² 曾彥學¹ 王升陽³

(收件日期：民國 95 年 1 月 9 日、接受日期：民國 95 年 7 月 11 日)

【摘要】脂肪酸為植物重要的代謝物，於植物生理及經濟利用上均具有相當重要的地位。光合作用組織所含的脂肪酸之種類及含量比例，除了與生合成機制有關外，還可以作為植物化學分類的依據。在本研究中，我們使用氣相層析質譜儀分析台灣重要的杉、柏科樹木脂肪酸之組成及其含量。並將所得之結果利用多變數統計分析，進行主成分分析與相似度群集分析。分析結果顯示，對台灣肖楠而言，同一樹種、不同植株間的差異性並不大，因此可知同一種樹木的脂肪酸組成，並不會因生育地而有太大的差異；就組成而言，所研究的杉、柏科樹種均含有豐富的棕櫚油酸 (C_{16:0})，而除了台灣肖楠外，其他樹種均含有次亞麻仁油酸 (C_{18:3})，且僅有台灣肖楠具有月桂酸、硬脂酸及油酸。然而，以脂肪酸作為化學分類的依據所得之結果與傳統分類學上有些許差異，特別是台灣肖楠的差異性最大。

【關鍵詞】杉科、柏科、脂肪酸、化學分類、親源分析

FATTY ACID COMPOSITION ANALYSIS OF TYPICAL TAXODIACEAE AND CUPRESSACEAE CONIFERS GROWN IN TAIWAN

Yen-Chun Lin¹ Chen-Wei Yang¹ Fang-Hua Chu² Yen-Hsueh Tseng¹
Sheng-Yang Wang³

(Received: Jan. 9, 2006; Accepted: July 11, 2006)

【Abstract】Fatty acids are important secondary metabolites of plants. They play a significant role in plant physiology. From the utilization point of view, fatty acids are important products with high economic value from plants. It is known that the composition of fatty acids could be used as a factor to classify the plant taxonomy. In this study, we use GC/MS to analyze the compositions of the fatty acids in the typical Taxodiaceae and Cupressaceae coniferous trees grown in Taiwan. According to the results of fatty acids analysis, palmitic acid was the most

¹ 國立中興大學森林學系研究生、助理教授。

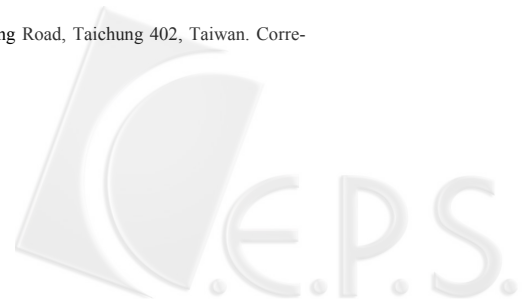
Graduated Students and Assistant Professor, Department of Forestry, National Chung-Hsing University.

² 國立台灣大學森林環境暨資源學系助理教授。

Assistant Professor, School of Forestry and Resource Conservation, National Taiwan University.

³ 國立中興大學森林學系助理教授。402台中市南區國光路250號，通訊作者

Assistant Professor, Department of Forestry, National Chung-Hsing University, 250 Kuo-Kuang Road, Taichung 402, Taiwan. Corresponding Author.



abundant fatty acid in all of tree species studied in this experiment. Moreover, all conifers had linolenic acid besides *Calocedrus macrolepis*. Only *C. macrolepis*, however, had lauric acid, stearic acid and oleic acid. The results of fatty acids analysis were further investigated their phylogenic relationship by using multi-variety statistical analysis, including principal component analysis (PCA) and cluster analysis. The results showed that little differences among plants which were collected from different samples of the same species. There were some contradictory, especially for *C. formosana*, in the result of cluster analyses among plants comparing with traditional taxonomy. Further studies are needed to illustrate and prove our results obtained in this study by other proteomic and/or genomic markers in the future.

【Key words】 Chemotaxonomy, Cupressaceae, Fatty acid, Phylogenetic analyses, Taxodiaceae

I、前言

在自然界中脂肪酸大多以甘油酯的狀態存在，通常亦被稱為三甘油化物或三酸甘油酯，這些酯類於生物體內的主要功能為儲存能量，也可緩衝因外力作用而產生的機械性傷害 (Seigler, 1998)。就經濟上的考量而言，甘油可與脂肪酸結合構成食用油，這些植物油所含的高度不飽和脂肪酸可以降低體內膽固醇，對人體是有益的。因其在經濟上及食品加工上的重要性，植物種子的三甘油化物和其對應的脂肪酸衍生物已被廣泛地研究。然而相較之下，植物其他部位的脂肪酸及甘油之相關研究則相對較少。誠如前述，脂肪酸是植物呼吸作用和能量儲存的主要代謝物，其包含棕櫚油酸 (Palmitic acid)、硬脂酸 (Stearic acid)、油酸 (Oleic Acid)、亞麻油酸 (Linolenic acid) 和次亞麻油酸 (Linoleic acid) 等，除此之外，其他尚有月桂酸 (Lauric acid) 和荳蔻酸 (Myristic acid) 也廣泛地分佈於自然界中 (Millar *et al.*, 2000)。碳鏈長為 16 和 18 的脂肪酸較常見於大多數的動物、植物和微生物中，這可能是因為這種鏈長的脂肪酸，可以提

供雙分子脂膜 (lipid bilayer) 最適當之物理特性條件。植物細胞膜的組成成分與動物膜及黴菌之不同，在於葉綠體膜的組成含有大量的甘油酯，此植物葉綠體的脂質結構與原核生物藍綠藻的膜相似。

傳統的植物分類學通常是以外觀型態為主要依據，但植物生長環境的不同常常導致其外觀型態而有所差異。因此，目前已有許多的學者嘗試利用代謝物或生化指標來探討植物的親源關係 (Alonso *et al.*, 2003)。根據前人的研究報告指出，目前已經有多達 468 個被子植物樹種，利用葉部光合作用組織中所含的脂肪酸組成進行化學分類 (chemotaxonomy)，並且探討了化學分類法與系統分類學上的關係。由 Mongrand 等人的研究中證明，植物葉部光合作用組織內的脂肪酸化合物，在被子植物的演化及分類中扮演了一個非常重要的角色 (Mongrand *et al.*, 1998)。同時亦在最近的研究中，利用了 [^{14}C] 醋酸鈉脈衝波試驗，證實了裸子植物葉部脂肪酸組成與植物分類學確實有關聯 (Mongrand *et al.*, 2005)。研究證實，在高等植物的葉部中，植物可以利用原核生物途徑 (prokaryotic pathway) 或經由將乳脂質輸出至內質網來



合成葉綠體脂肪酸。這個位於葉綠體被膜的途徑，包含酵素的連續作用且產生許多特有之 sn-2 位的 C₁₆ 脂肪酸甘油磷酸酯，此物質可以用來合成磷酸甘油酯或以磷脂酸磷酸酯 水解成雙甘油。雙甘油的一部分包含 sn-2 位的 C₁₆ 脂肪酸，此為合成原核生物乳脂質的前導物，並以葉綠體中之連續脫飽和反應產生 sn-1-C_{18:3}、sn-2-C_{16:3} 結構之原核生物乳脂質 (galatolipids)，最終會合成 C_{18:3} 與 C_{16:3} 脂肪酸 (Mongrand *et al.*, 1998)。另外一個脂肪酸合成途徑為真核生物的途徑 (eukaryotic pathway)，即在內質網中利用微粒體的醯基轉移 合成磷脂質，產生特有的 sn-2 位的 C₁₈ 脂肪酸和 sn-1 位的 C₁₈ 或 C_{16:0} 脂肪酸之脂質源頭。其中磷脂質以 Kennedy 途徑合成葉綠體外的磷脂質。而磷脂醯膽鹼接著轉變成質體，並用來當作合成單乳糖雙甘油 (MGDG) 及雙乳糖雙甘油 (DGDG) 的基質，其主要之脂肪酸有 18 個原子 (Mongrand *et al.*, 1998)。換言之，主要的葉綠體乳脂質合成途徑有兩種，分別為原核生物途徑及真核生物途徑。原核生物途徑完全發生於葉綠體內，且合成含有三個不飽和鍵的 C₁₆ 脂肪酸乳脂質；真核生物途徑是由內質網和葉綠體的協同作用產生，並導致含有三個不飽和鍵的 C₁₈ 脂肪酸之質體甘油酯構成物 (Mongrand *et al.*, 2005)，由以上的說明可以理解，植物脂肪酸的生合成的確是與其演化地位具有相當的關係，因此，也有越來越多從事化學分類的學者，嚐試藉由此類化合物來作為分類依據。

更進一步來看，有些學者更根據植物

細胞中質體脂質代謝上的差異，將植物分為「16:3 植物」和「18:3 植物」(Heinz and Roughan, 1983; Moreau *et al.*, 1998)。

「16:3 植物」的脂質代謝包含了原核生物及真核生物兩個途徑，因此在其光合作用組織中會含有大量的 C_{16:3} 和 C_{18:3} 脂肪酸。然而，對於「18:3 植物」來說，真核生物途徑則為合成葉綠體乳脂質的唯一途徑 (Mongrand *et al.*, 2005)。所以 18:3 植物僅含有 C_{18:3} 脂肪酸但不含 C_{16:3} 脂肪酸 (Mongrand *et al.*, 1998)。Mongrand 等人的研究亦證實，生態系統並不會影響 16:3/18:3 的表現，即自不同生長的环境取兩株相同的植物種 (其兩者皆為 16:3 植物或皆為 18:3 植物) 進行試驗，此兩者之脂肪酸組成，並不會因生育地之不同而有所差異，即其仍具原有的 16:3 或 18:3 之歸類。若就演化觀點來看，與 16:3 植物相比，我們可以說 18:3 植物在某些演化點上遺失了一些原核生物的特徵，即質體遺失脂質合成的能力 (Mongrand *et al.*, 1998; 2005)。

多樣化的地理、氣候環境，使得臺灣蘊育了許多世界級的珍貴樹種，其中甚至有許多的樹種是屬於孑遺植物，其分類地位及演化上均具有相當重要的價值。在許多的學者努力下，一些重要樹種的二次代謝物 (secondary metabolites) 已具相當的研究基礎。但到目前為止，以台灣產樹種的脂肪酸組成之研究則不多見。因此，本研究即欲探討台灣產具代表性的裸子植物其葉部光合作用組織所含脂肪酸組成，首先選擇台灣紅檜 (*Chamaecyparis formosensis*)、台灣扁柏 (*Chamaecyparis obtusa*)



var. *formosana*)、台灣杉 (*Taiwania cryptomerioides*)、香杉 (*Cunninghamia lanceolata* var. *konishii*)、台灣肖楠 (*Calocedrus macrolepis* Kurz var. *formosana*) 和柳杉 (*Cryptomeria japonica*) 6 種台灣較具代表性之杉、柏科等裸子植物，利用了氣相層析 (Gas chromatography, GC) / 質譜 (Mass spectroscopy, MS) 分析所含脂肪酸之組成，並嚐試利用此分析結果來探討其在演化、分類學上之地位。

II、材料與方法

(I) 化學試劑

本研究所使用之試劑包括 H_2SO_4 、Hexane 及 Methanol 等，皆為分析試藥級，購自於 Sigma 公司 (St. Louis, USA)。

(II) 植物材料

表 1 為此次研究所選用之樹種整理，所有試材皆為 2005 年夏季 (6~8 月) 於野

外所採集之新鮮葉子。針葉採集後立即以保溫箱 (-20°C) 冷凍帶回實驗室，並迅速以液態氮冷凍，在分析之前存放於 -80°C 的低溫冷凍櫃保存。植物樣本均經由中興大學森林學系曾彥學博士 (Dr. Y-H, Tseng) 鑑定，並製作標本貯放於中興大學森林學系標本館。

(III) 脂肪酸分析

從 -80°C 冰箱中取出葉子，隨即以研鉢加液態氮將葉子磨成粉末狀。為使脂肪酸可於 GC/MS 系統中分析，分析前脂肪酸需先進行甲基化 (methylation) 反應，其甲基化步驟係參考 Mongrand 等人 (2005) 之反應條件，並做些許修改，步驟簡述如下。經研磨成粉末狀之針葉樣品 (1g) 先加入 12 mL MeOH- H_2SO_4 (2.5% v/v) 混合液，放入 80°C 水浴加熱 1 小時後冷卻。接著加入 5 mL H_2O 和 3 mL Hexane，並以 1,500 rpm 離心 10 min。取上層 (有機層) 1 μ L

表 1 本研究所採集之樹種

Table 1 Conifers used in this study

樹種	學名	採集處
柳杉	<i>Cryptomeria japonica</i>	惠蓀林場 ¹
香杉	<i>Cunninghamia lanceolata</i> var. <i>konishii</i>	惠蓀林場 ¹
臺灣杉	<i>Taiwania cryptomerioides</i>	惠蓀林場 ¹
臺灣紅檜	<i>Chamaecyparis formosensis</i>	蓮華池 ²
扁柏	<i>Chamaecyparis obtusa</i>	惠蓀林場 ¹
臺灣肖楠	<i>Calocedrus macrolepis</i>	惠蓀林場 ¹ 蓮華池 ² 中興大學校園 ³ 台灣大學校園 ⁴

註：1. 址於南投縣魚池鄉五城村，位於海拔 576-925 公尺之間，年平均氣溫 21°C，年平均雨量 2,200 公厘

2. 海拔自 450 公尺至 2,419 公尺，高度差異近 2,000 公尺，具亞熱帶、暖帶、溫帶氣候等不同的氣候特色，森林呈垂直分布兼有三帶的植物種類

3. 位於台中市區

4. 位於台北市區



澄清液，並以 GC/MS (HP G1800A, USA) 分析。GC/MS 所使用之毛細管柱為 DB-5 管柱 (30 m×0.25 mm i.d.; film thickness, 0.25 μ m)。GC 起始溫度設定為 160°C，持溫 1 min，第一階段升溫是以每分鐘升溫 20°C 至 190°C，第二階段升溫是以每分鐘升溫 5°C 至 210°C，最終溫度持溫 5 min。化合物種類及含量之判別，係利用標準品滯留時間並配合質譜資料庫(NIST 及 Wiley) 比對及波峰面積百分比來鑑定，每一樣品均重複分析三次，含量為其三次定量之平均值。

(V) 利用脂肪酸組成進行親源相似度分析

脂肪酸組成分析結果，則進一步利用 MVSP (multi-variate statistical package) 分析程式 (Kovach, 1999) 進行主要成分分析 (principal component analysis, PCA)，群集分析 (cluster analysis) 係數以 Nearest neighbor 計算，繪出樹型圖以表示樹種間

組成相似度。

III、結果與討論

為瞭解台灣產杉、柏科樹木葉部脂肪酸組成，本研究乃利用甲基化 (methylation) 前處理葉部低極性成分，並利用 GC/MS 配合 DB-5 毛細管柱分析這些珍貴樹種之脂肪酸組成。GC/MS 為一方便、快速的分析利器，配合標準品及質譜資料庫，可對已知結構之化合物進行快速地分析。藉由此分析策略，本研究所選擇之 6 種樹種，其葉部脂肪酸之種類及含量，均可快速且具再現性地被解析。以台灣肖楠 (NO.3) 為例，其 GC/MS 分析圖譜如圖 1 所示，圖中數字所標示的即為被鑑定出之不同碳數脂肪酸，分別為棕櫚油酸(1)、硬脂酸(3)、油酸(4)和亞麻油酸(5)。而 6 種針葉樹葉部之脂肪酸組成與其相對含量則整理於表 2，其含量是以佔全部葉部脂肪酸之百分比來表

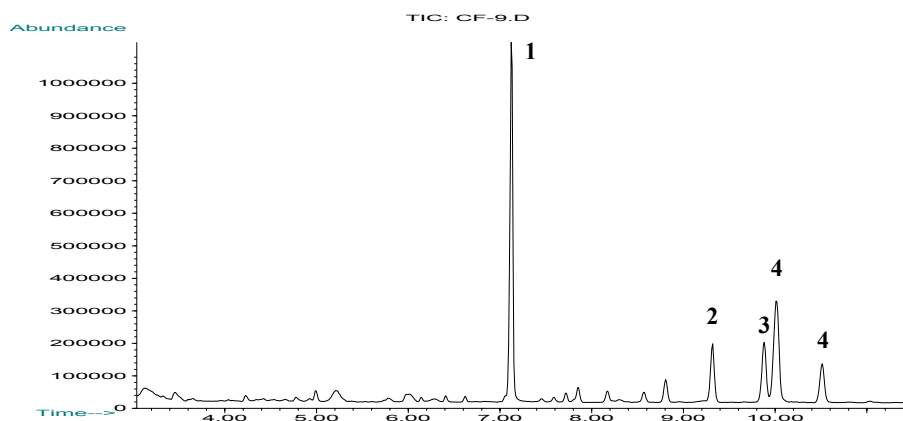


圖 1 台灣肖楠葉部脂肪酸甲基酯之氣相層析圖 1: Palmitic acid; 2:1,1'- Bicyclopentyl-1,1'-diol; 3: Stearic acid; 4: Oleic acid; 5: Linolenic acid

Fig. 1 Gas chromatography pattern of leaf fatty acid methyl esters of *Calocedrus macrolepis*. 1: Palmitic acid, 2: Bicyclopentyl-1,1'-diol; 3: Stearic acid, 4: Oleic acid, 5: Linolenic acid



表 2 試驗樹種之脂肪酸組成及含量

Table 2 Components and content of fatty acids from test tree species

學名	編號 (a)	9:0 壬酸	10:0 羊蠟酸	13:0 月桂酸	16:0 棕櫚酸	18:0 硬脂酸	18:1 油酸	18:2 亞麻油酸	18:3 次亞麻油酸	20:2 花生酸	20:3	(b)
<i>Chamaecyparis obtusa</i>	1 3	—	8.58	—	56.35	—	—	—	33.70	—	—	1.38
<i>Cryptomeria japonica</i>	2 3	—	6.64	—	39.53	—	—	—	35.62	16.86	—	1.36
<i>Taiwania cryptomerioides</i>	3 3	—	8.99	—	38.40	—	—	—	38.79	—	—	13.83
<i>Cunninghamia lanceolata</i> var. <i>konishii</i>	4 3	1.358	—	—	31.50	—	—	9.62	51.91	—	—	—
<i>Chamaecyparis formosensis</i>	5 1	—	—	—	33.57	—	—	—	48.27	—	11.58	0.51
<i>Calocedrus macrolepis</i> NO1	6 1	—	—	1.39	51.80	10.64	24.80	11.37	—	—	—	—
<i>Calocedrus macrolepis</i> NO2	7 2	1.242	—	2.01	48.40	8.65	27.26	12.44	—	—	—	—
<i>Calocedrus macrolepis</i> NO3	8 2	—	—	1.88	50.73	8.59	26.35	12.45	—	—	—	—
<i>Calocedrus macrolepis</i> NO4	9 3	—	—	—	47.89	8.36	28.74	13.37	—	—	—	—
<i>Calocedrus macrolepis</i> NO5	10 4	—	—	1.42	51.07	10.63	26.14	9.63	—	—	—	1.11

含量以佔脂肪酸總量的百分比表示(%)

—：含量為“0”

(a)：樣本葉來源：(1)：蓮華池；(2)：中興大學校園；(3)：惠蓀林場；(4)：台灣大學校園

(b)：碳數小於 9 的脂肪酸



示。由表 2 中可看出，所有的試驗樹種皆含有多量的 $C_{16:0}$ 脂肪酸，即棕櫚酸 (palmitic acid)。除了台灣肖楠外，皆含有多量的 $C_{18:3}$ 脂肪酸，即次亞麻油酸 (linolenic acid)。比較特別的是，柳杉含有 16.86% 的 $C_{20:2}$ 脂肪酸，即花生酸 (arachadonic acid)，台灣杉則含有較高比例 (13.83%) 的短鏈 (碳數 9 以下) 脂肪酸。另外，扁柏、柳杉、台灣杉含有 $C_{10:0}$ 脂肪酸，即羊蠟酸，其含量分別為 8.58%、6.64% 和 8.99%。在所有試驗樹種中，只有紅檜含有 $C_{20:3}$ 脂肪酸 (11.58%)，台灣肖楠則缺乏 $C_{18:3}$ (次亞麻油酸)，但含有 $C_{18:0}$ (硬脂酸)、 $C_{18:1}$ (油酸) 和 $C_{18:2}$ (亞麻油酸)；此外，我們也能看出在所有試驗樹種中，唯有台灣肖楠具有 $C_{13:0}$ (月桂酸)、 $C_{18:0}$ (硬脂酸) 及 $C_{18:1}$ (油酸) 脂肪酸。在表 2 中，若只單獨看由不同生育地所採集而來的五棵台灣肖楠植株之脂肪酸分析結果，我們可以發現，僅有台灣肖楠 NO.2 有 1.24% 的 $C_{9:0}$ 脂肪酸 (壬酸)，台灣肖楠 NO.4 沒有 $C_{13:0}$ 脂肪酸，而台灣肖楠 NO.5 則是五個不同植株之台灣肖楠樣本中，唯一有碳數小於 9 之脂肪酸 (1.11%) 的植株，但是進一步對其進行相似度分析時，這些差異在統計學上，並不會影響其組成成分親源關係分析的結果。

根據 Mongrand 等人的研究 (1998；2001)，其判定 16:3 植物的條件為總脂質組成中含有 2% 或更多的 $C_{16:3}$ 脂肪酸，至於 18:3 植物則是 $C_{16:3}$ 含量在 2% 以下者稱之，若依據上述原則判別，本研究所分析之樹種皆為 18:3 植物。於 Mongrand 等人 (1998) 的研究中，亦曾報導包括香

杉及台灣杉為歸屬於 16:3 植物，與本研究所得之結果不盡相同，至於為何此次試驗的結果會與文獻記述的出現差異，推斷應是由於判定條件有所不同所引起。另外，Mongrand 等人也在報告中指出，有些植物可能只提供 1- C_{18} 、2- C_{18} 脂質和具磷脂酸磷酸酯 活性的葉綠體醯基轉移，此類植物雖然包含原核生物途徑，但卻會被鑑定為 18:3 植物。由 Mongrand 等人之研究中發現，有許多科的植物同時具有 16:3 及 18:3 植物，並且有些樹種的 $C_{16:3}$ 脂肪酸含量很接近，例如：Piceoideae 中的 *Picea abies* 之 $C_{16:3}$ 含量為 2.1%，因此被判定為 16:3 植物，但其他同科的試驗樹種皆為 18:3 植物；在 Cephalotaxaceae 中除了 *Cephalotaxus sinensis* 的 $C_{16:3}$ 含量為 1.8% 屬於 18:3 植物外，其餘同科試驗樹種皆為 16:3 植物；又在 Cunninghamieae 中的兩個試驗樹種 *Chunninghamia konishii* 和 *Chunninghamia lanceolata* 因其含有 1.9%、2.0% 的 $C_{16:3}$ ，因此分別判定為 18:3 植物及 16:3 植物 (Mongrand *et al.*, 2001)。此現象讓我們必須重新思考 Mongrand 等人所提出之 16:3 與 18:3 植物的界定條件。除此之外，我們也可推斷製造脂肪酸的原核生物途徑之遺失是在裸子植物的演化中就已經發生。

此次試驗中，為了探討同一樹種不同植株的差異性，我們收集了五棵不同植株的台灣肖楠葉子來進行試驗，由其所得之脂肪酸組成進一步對其進行主成分分析，試驗結果如圖 2 所示，我們可以明顯觀察到，來自不同採集地之五棵台灣肖楠均集中分佈於 PCA 分析圖之左下方，若進一步



利用多變數分析其脂肪酸組成之相似度，亦可以發現五棵臺灣肖楠的化學組成之相似度極高（圖 3）。這就表示此五棵臺灣肖楠之間幾乎沒有差異性。由此可知，本研究中的其他樹種皆取一棵植株進行試驗是具有代表性的。另外，在 PCA 分析圖中（圖 2）也可發現，香杉和紅檜集中於圖表右上方，台灣杉、柳杉和扁柏則集中於 PCA 分析圖之右下方，而各試驗樹種之相對位置距離的遠近，即代表各樹種間大略成分組成相似關係遠近，因此，由圖 2 中我們也可以說，香杉與紅檜、台灣杉、柳杉及扁柏應分別具有較相近的脂肪酸組成關係。本研究更進一步利用相似度統計分析，將圖 2 所得之結果更詳細的表示如圖 3 所示的樹狀圖。首先，可以看到五棵不同植株的台灣肖楠之相似度百分比大於 96%。圖 4 為依據傳統分類學對於本研究所選用樹種的分類地位之整理，比較圖 3 與圖 4 可以發現，在杉科植物當中，台灣杉和柳杉之相近的親源關係與傳統分類學所論是類

似的。另外，在傳統分類學上分屬杉科杉木屬的香杉和柏科扁柏屬的紅檜，以及杉科台灣杉屬的台灣杉、杉科柳杉屬的柳杉和柏科扁柏屬的扁柏，在此次試驗中則分別有些許不同於傳統分類學上的親源關係。值得注意的是，柏科的台灣肖楠與其他樹種的親源關係相較於傳統分類學有較大的差異性，其相似度百分比只有 52%，但除了台灣肖楠外，其他試驗樹種的相似度百分比至少達到 75%。無可諱言的，利用化學分類的策略探討植物的分類地位，目前的確仍有其待釐清與定義的界線及灰色地帶。正如本研究利用脂肪酸組成來討論台灣具代表性的針葉樹種親源相似度，所得之結果似乎與依據型態來分類之結果有所差異，但我們認為，這些差異處正是值得我們進一步利用分子標記或蒐集更多的生化證據來深入探討其在分類及演化上的重要地位。

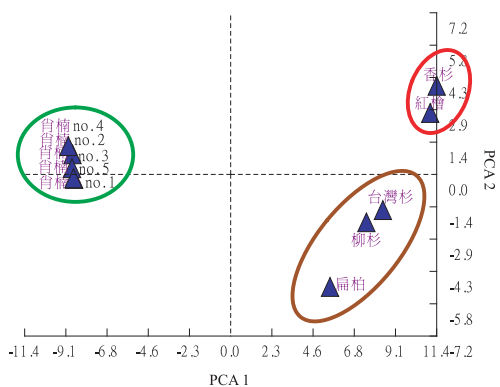


圖 2 試驗樹種之脂肪酸組成 PCA 分析
Fig. 2 Results of PCA analysis of fatty acid composition from 6 tree species

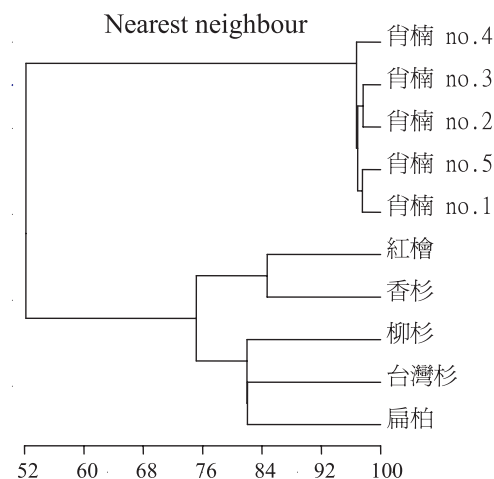


圖 3 利用脂肪酸分析試驗樹種之親源關係
Fig. 3 Similarity analysis of fatty acid composition from 6 tree species



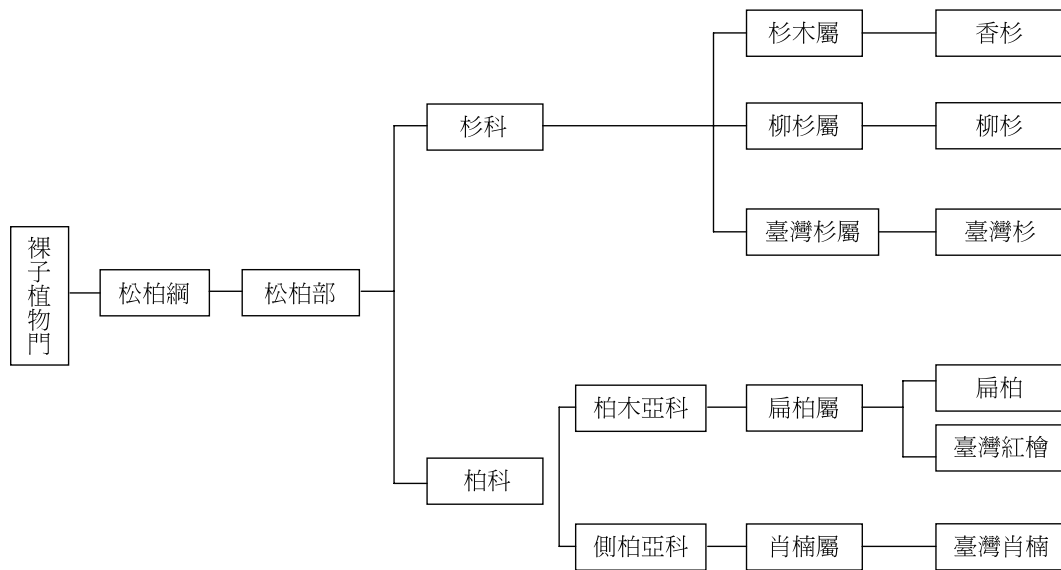


圖 4 實驗樹種於傳統分類學之地位 (劉業經等, 1988)

Fig. 4 Taxonomy position of test tree species

IV、結論

利用甲基化反應前處理樹葉，並配合 GC/MS 分析，可以快速地分析林木葉部所含之脂肪酸組成，此對天然物化學之研究，實為一快速、可信賴的方法。在本研究中發現，植物葉部脂肪酸確可應用於親源關係之分析，且在同一樹種之不同植株有幾乎相同的脂肪酸組成。就組成而言，所研究的杉、柏科樹種均含有豐富的棕櫚酸 ($C_{16:0}$)，而除了台灣肖楠外，其他樹種均含有次亞麻仁油酸 ($C_{18:3}$)，且僅有台灣肖楠具有月桂酸、硬脂酸及油酸。因此由代謝物的角度來看，台灣肖楠似乎是較特殊的。我們應都可以理解，代謝物之生成雖可能受外在環境所影響，但若是在正常的生理條件下，代謝物之生成應是受到生物體內之酵素所調控，而這些正常的酵素作用亦正受其基因所左右。換言之，

台灣肖楠表現出具有較特殊的代謝物組成，似乎可推測出其分子、生化層面與其他柏木科樹種應有較大的差異。事實上以經驗來看，台灣肖楠之生長海拔範圍，亦較紅檜、扁柏，甚至台灣杉及柳杉來得大，此似乎說明了其在基因、生化層面應是值得我們來深入探討的。至於 16:3 植物和 18:3 植物的判別界線還需要進一步實驗來釐清。目前所得之結果，就代謝物組成之親源關係而言，的確與傳統分類學所論不盡相同，因此在未來的研究中，我們將進一步地就蛋白質體學層面及基因體學層面之差異深入探討，並提出更周詳的證據，逐步釐清在分類學上的疑點及演化上的迷思。

V、致謝

本研究承行政院農委會林務局補助經費 (94 農科-9.4.1-務-e1)。中興大學森林



學系歐辰雄、呂金誠兩位教授之寶貴建議，並要感謝三位審查委員的費心審查以及斧正。作者亦要感謝中興大學實驗林管理處惠蔭林場洪泉旭場長以及林業試驗所蔡佳彬助理研究員協助試材採集，特此致謝。

VI、參考文獻

- 劉業經、呂福原、歐辰雄 (1988) 台灣樹木誌。國立中興大學農學院出版委員會 53-111 pp.。
- Alonso, D. L., F. Garcia-Maroto, J. Rodriguez-Ruiz, J. A. Garrido, and M. A. Vilches (2003) Evolution of the membrane-bound fatty acids desaturases. *Biochemical Systematics and Ecology*. 31: 1111-1124.
- Heinz, E., and P. G. Roughan (1983) Similarities and differences in lipid metabolism of chloroplasts isolated from 18:3 and 16:3 plants. *Plant Physiol.* 72: 273-279.
- Kovach, W. L. (1999) MVSP-A Multivariate Statistical Package for Windows, ver 3.1. Kovach Computing services, Pentraeth, Wales, U.K.
- Milar, A. A., M. A. Smith, and L. Kunst (2000) All fatty acids are not equal : discrimination in plant membrane lipids. *Trends in plant science* 5(3): 95-101.
- Mongrand, S., A. Badoc, B. Patouille, C. Lacomblez, M. Chavent, C. Cassagne, and J. J. Bessoule (2001) Taxonomy of gymnospermae: multivariate analyses of leaf fatty acid composition. *Phytochemistry* 58: 101-115.
- Mongrand, S., A. Badoc, B. Patouille, C. Lacomblez, M. Chavent, and J. J. Bessoule (2005) Chemotaxonomy of the Rubiaceae family based on leaf fatty acid composition. *Phytochemistry* 66: 549-559.
- Mongrand, S., J. J. Bessoule, F. Cabantous, and C. Cassagne (1998) The C_{16:3}/C_{18:3} fatty acid balance in photosynthetic tissues from 468 plant species. *Phytochemistry* 49(4): 1049-1064.
- Moreau, P., J. J. Bessoule, S. Mongrand, E. Testet, P. Vincent, C. Cassagne (1998) Lipid trafficking in plant cell. *Progr. Lipid Res.* 37: 371-391.
- Seigler, D. S. (1999) Plant Secondary Metabolites. Kluwer Academic Publishers. 16-41 pp.

