

學術論述

## 臺灣檜木之分布與特徵比較

陳盈如<sup>1)</sup> 張上鎮<sup>2,3)</sup>

### 摘要

以臺灣檜木著稱的紅檜(*Chamaecyparis formosensis* Matsumura)與臺灣扁柏(*C. obtusa* var. *formosana* Hayata)，包裹著臺灣一個世代經濟的成就與溫暖的記憶，至今仍為高雅而優質的象徵，讓人為之著迷。紅檜與臺灣扁柏為臺灣最具代表意義且高經濟價值之樹種，半世紀以來眾多研究人員為此傾注心力深入探討，本文回顧紅檜與臺灣扁柏生育地、生理生態、化學成分、形質特徵與生物活性相關研究之發展以及二者之比較討論。

關鍵詞：檜木、紅檜、臺灣扁柏、分布、特徵。

陳盈如、張上鎮。2017。臺灣檜木之分布與特徵比較。台灣林業科學32(1):71-86。

---

<sup>1)</sup> 林業試驗所森林化學組，10066台北市南海路53號 Division of Chemistry, Taiwan Forestry Research Institute, 53 Nanhai Rd., Taipei 10066, Taiwan.

<sup>2)</sup> 國立臺灣大學森林環境暨資源學系，10617臺北市大安區羅斯福路四段1號 School of Forest and Resource Conservation, National Taiwan University, Taipei 10617, Taiwan.

<sup>3)</sup> 通訊作者 Corresponding author, e-mail:peter@ntu.edu.tw

2016年5月送審 2016年7月通過 Received May 2016, Accepted July 2016.

Review article

## Distribution and Characteristic Comparisons of the Endemic Cypresses in Taiwan

Ying-Ju Chen,<sup>1)</sup> Shang-Tzen Chang<sup>2,3)</sup>

### 【 Summary 】

*Chamaecyparis formosensis* Matsumura and *C. obtusa* var. *formosana* Hayata, so-called false cypresses, are both premier coniferous trees in Taiwan. They are renowned for their attractive texture and charming fragrance. False cypresses are revered in history for playing an imperative role as a source of income, and making a meaningful contribution to stimulate socioeconomic growth. There were fruitful results in false cypresses in the past half century. In this paper, we review and compare the characteristics of habitats, physiological ecology, chemical compositions, physical properties, and bioactivities of secondary metabolites between yellow cypress and red cypress.

**Key words:** cypress, *Chamaecyparis formosensis*, *Chamaecyparis obtusa* var. *formosana*, distribution, characteristics.

**Chen YJ, Chang ST. 2017.** Distribution and characteristic comparisons of the endemic cypresses in Taiwan. *Taiwan J For Sci* 32(1):71-86.

### 緒言

距今約4600年前(約莫中國的新石器時代),埃及人自黎巴嫩輸入黎巴嫩雪松(*Cedrus libani*)木材作為建造埃及金字塔之用,這是人類歷史上第一筆自境外伐取木材之濫觴,亦是木材供人類締造古文明的具體貢獻。由於針葉樹種木材優美的紋理、獨特的香味與耐久的特性,常被用來建築帝王宮殿及造船之用,爾後的蘇美(Sumerians)、亞述(Assyrian)、西臺(Hittites)、米諾斯(Minoans),以及巴比倫(Babylonians)等古文明發展過程中,木材皆為重要的建築材料(Farjon 2008),時至今日,木材與人類的的生活更具緊密關係。

柏科(Cupressaceae)的木材為針葉樹種中密度與硬度最高之材種,例如紅檜(*Chamaecyparis formosensis*)與臺灣扁柏(*C. obtusa* var. *formosana*)為臺灣原生的貴重針葉樹,通常合稱為「檜木」。紅檜木理通直、花

紋美麗,具耐腐、耐蟻及耐濕性,且有良好的加工性,為國內極貴重的裝潢與家具材料(Hong and Wang 1990);臺灣扁柏則木肌細緻又具濃郁香氣,其價格更高於紅檜(Chiu et al. 1995)。二者在臺灣林業發展中都占有獨特為其他樹種不可及的地位,自日據時期「出口高價檜木購入低廉松杉」的木材貿易政策,乃至臺灣光復後大量外銷檜木以賺取外匯,對臺灣的經濟發展具有重大貢獻。然而也緣於過去之大面積皆伐作業,導致原生針葉林面臨伐盡之危機,直至1989年林務局改為公務預算後方才終止(Hung 1971, Jen 1995, Lee and Hsu 2010)。根據1995年完成的第3次臺灣森林資源及土地利用調查報告,臺灣檜木天然林面積為48,500公頃、人工林面積為24,800公頃(Taiwan Forestry Bureau 1995);而2015年完成的第4次全國森林資源調查結果,臺灣檜木天然林面積為29,720公頃、

人工林為17,915公頃，檜木之總蓄積量為2518萬立方公尺(Qiu et al. 2015)，二次調查之檜木天然林的面積相差達18,800公頃，其中緣由尚待林務局公佈詳細資料方可得知。

檜木曾支撐臺灣林業的蓬勃發展，從生態演化的功能與林木經濟利用的角度，檜木林絕對是臺灣珍貴且極需保護的重要自然資產。檜木生長極為緩慢，紅檜人工林的輪伐期約為80~120年(Lo-Cho et al. 1987)，而臺灣扁柏天然更新林木更需經350~400年的生長才能達到50 cm之胸徑(Lin 1988)。臺灣林業人員不僅致力於臺灣檜木的復育與造林實務工作，同時在育林、生態、經營與木材利用等相關領域也有廣泛的研究，發表研究文獻將近200篇。究竟紅檜與臺灣扁柏在生育地微環境的選擇上有哪些喜好？它們有哪些獨特需求與調適能力？本文將過去50多年來研究人員在紅檜及臺灣扁柏累積的豐碩研究成果，做一簡單的綜合整理以供關心者共享，也請不吝指正。

## 分布與生育地

過去曾有學者指出，根據化石分析結果，推測六百萬年前檜木應廣泛分布於世界各地，因地球氣候與環境之變遷，冰河退卻，導致檜木瀕臨萎縮與滅絕(Liu et al. 2009)。另有學者認為檜木在冰河時期的大遷徙中，由北方逐漸南移而擴大分布範圍，又因陸域板塊的分離與漂移而造就今日的分布(Liu 1966)。目前，檜木存在有5種及1變種，主要分布在北美西海岸、東海岸、日本以及臺灣等近海岸山脈等局部地區。由於洋流及高速氣流(jet stream)的穿越，這些地區維持相對較為潮濕且溫暖的氣候型態，適於檜木生長(Barbour 2007)，為構成北半球太平洋沿岸的山地雲霧森林(mountainous cloud forest)之重要樹種；不同樹種的葉部阻力特徵也使其可適存於不同地區氣候的變異(Liu and Zobel 1980)。因此，有學者推論檜木的分布應是受到水分的限制(Laderman 1998)。這6種檜木即北美西岸的羅生扁柏(*C. lawsoniana*)、北美東岸的側葉扁柏(*C. thyoides*)；日本的日本

扁柏(*C. obtusa*)、日本花柏(*C. pisifera*)；臺灣則有紅檜(*C. formosensis*)及1變種臺灣扁柏(*C. obtusa* var. *formosana*)。其中，臺灣為檜木分布於最南端，北美與日本檜木皆生長於暖溫帶針葉林，僅有臺灣位於亞熱帶。如今，位於棲蘭山的檜木林不僅是全亞洲僅存的原始檜木林，更是全世界唯一殘存最大面積的檜木天然純林(Chi 2008)。文化部曾於2002年將「棲蘭山檜木林」列為臺灣世界遺產潛力點之一(Lei 2014)，期成為全人類共同保護的資產。

雖然紅檜與臺灣扁柏通稱為「檜木」，但它們的分布環境、生態特性仍有差異。根據林業研究人員的野外調查與研究，紅檜分布北起插天山稍北處(24°49'N)，南至六龜、南大武山一帶(22°35'N)；臺灣扁柏則自北部的插天山、鳶嘴山(24°46'N)至南部阿里山、秀姑巒與玉山一帶(23°28'N)(Matsuura 1942, Lin and Kuo 2003)。兩樹種在海拔分布範圍卻有所重疊，臺灣扁柏分布海拔為1300~2900 m，最旺盛帶為1500~2600 m；紅檜分布海拔比臺灣扁柏稍低，為800~2900 m，最旺盛帶約為1300~2100 m (Chang 1963, Lee 1962)。植群分布調查結果另顯示，不同研究區域所呈現的植物社會與植群型也有所差異，概略而言，臺灣扁柏常見於較高海拔，與紅檜、臺灣鐵杉(*Tsuga chinensis* var. *formosana*)、臺灣杉(*Taiwania cryptomerioides*)、巒大杉(*Cunninghamia konishii*)等針葉樹形成不同程度之混生或自成純林；而紅檜多見於較低海拔，除與臺灣扁柏、臺灣杉、鐵杉混生外，亦常與松類及闊葉樹混生，偶為純林(Chang 1963, Liu 1975b)。

此外，兩樹種之成木與幼苗的分布特性亦有所不同，臺灣扁柏多分布於臺灣北部，紅檜則常見於南部；以中央山脈做為區隔，臺灣扁柏多見於中央山脈西側，紅檜則於東側較多；以坡向與位置而言，紅檜大多分布於西南南至西北北方向之山坡中、下部及峽谷和溪谷之間，土層為濕潤的灰化土或山地黃棕壤土；臺灣扁柏則多分布於東北至西南西方向山坡之上、中部及近嶺線地帶，土壤多為多石礫且排水良好之乾性灰化土或富腐植質的黃壤土、灰

棕壤土及黃棕壤土(Liu 1975a, Hung 1971)。在天然更新方面，臺灣扁柏幼苗可在成熟母樹林下生長；紅檜天然更新小苗則較為少見，其幼苗多生長在空曠的生育地，而在成熟林中的幼

苗則多見於樹冠鬱閉破裂之正下方或在其外1 m以內的地區(Liu 1975a)，可見二者天然更新能力確存有差異。茲將上述2樹種之分布與生育地特性整理如表1。

**Table 1. Comparison of distributions and habitat characteristics between *Chamaecyparis formosensis* and *C. obtusa* var. *formosana***

特徵	紅檜	臺灣扁柏	參考文獻
分布海拔	800~2900 m	1300~2900 m	Liu 1961, Lee 1962, Chang 1963
最盛分布海拔	1300~2100 m	1500~2600 m	Chang 1963
分布	北起24°49'N之北插天山，南至22°35'N之六龜、大武山一帶；多見於中央山脈東側	北起24°46'N鳶嘴山一帶，南至23°28'N之阿里山、玉山及秀姑巒一帶；多見於中央山脈西側	Matsuura 1942, Lin and Kuo 2003
分布坡面	山坡的中、下部，常見於山窪地、潮濕峽谷與溪谷之間，但偶亦有分布於高海拔上坡之乾溝生育地上	多分布於山坡上、中部及近嶺線地帶	Liu 1975a
習性	<ul style="list-style-type: none"> <li>•較臺灣扁柏耐陽，然幼樹仍須庇蔭。</li> <li>•天然更新甚少見，幼樹多為空曠地演替初期之幼林</li> <li>•較臺灣扁柏有較強之耐貧瘠及耐濕性。</li> </ul>	天然更新似無問題，成熟林之幼樹少見於樹冠鬱閉破裂之下方	Liu 1975a, Ho 1988
林型	<ul style="list-style-type: none"> <li>•純林，或與扁柏、鐵杉、雲杉或其他針、闊葉樹混生</li> <li>•與臺灣扁柏、臺灣杉、鐵杉、松類及闊葉樹混生</li> <li>•多與臺灣扁柏以及溫、寒帶針闊葉樹如松類、鐵杉、方杉、楠木類、櫟類、臺灣赤楠、槭樹類等共生，闊葉樹混交林，鮮為純林</li> <li>•常和臺灣扁柏及其他針葉樹木混生或形成純林。與假長葉楠、長葉木薑子混生或成純林</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•常成純林，但在下緣則與紅檜相混交</li> <li>•與臺灣鐵杉、臺灣杜鵑、巒大杉、臺灣杉與木荷混生或成純林</li> </ul>	Chang 1963, Liu 1975b, Lo-Cho 1987, Ho 1988, Lin 1988, Cheng 2005, Huang et al. 2007
混交林型	紅檜臺灣扁柏、闊葉樹混交林型，分布於海拔高1000~2200 m		Chang 1963
	紅檜、臺灣扁柏混交林型，分布於海拔高1400~2100 m		
	紅檜、臺灣扁柏、鐵杉混交林型，分布於海拔高1700~2500 m		
土壤	土層厚度中庸至淺薄濕潤地，為濕性灰化土或棕色森林土；土層深厚的濕潤地段，土壤多為灰化土或山地黃棕壤土	土壤較淺、多石礫而排水良好之乾性灰化土或棕色森林土；富腐殖質的黃壤、灰棕壤土及黃棕壤土	Hung 1971, Liu 1975a, Lin and Kuo 2003, Cheng 2005

## 生理生態特性

早期學者的研究提出了紅檜與臺灣扁柏族群分布特性及生長環境的差異，而後續的研究分別探討水分與光度等微環境因子對紅檜及臺灣扁柏苗木生理、生長表現之影響，並進一步分析微環境因子對兩樹種天然更新的限制關係。例如：林讚標等人在1991年對紅檜與臺灣扁柏花粉之萌發條件進行比較，結果顯示紅檜花粉萌發之pH值範圍較臺灣扁柏廣，紅檜花粉在pH 4~8均可萌發，而臺灣扁柏花粉只在pH 4.5~6.5間方可萌發(Lin et al. 1991)。此外，在模擬的微環境條件下證實，紅檜及臺灣扁柏種子在不同水分條件下的發芽能力亦有所不同，紅檜種子無論是在淹水或水分短缺的逆境條件下，都比臺灣扁柏種子維持較高的活力與發芽率，顯示各種水分逆境對臺灣扁柏種子發芽的限制較劇，紅檜種子之發芽對水分逆境之耐受性較強(Lin and Kuo 2003)。至於水分條件對紅檜與臺灣扁柏苗木的生長與生理性狀之影響，紅檜苗木對水分的需求及蒸發散量顯著大於臺灣扁柏苗木，在水分充足的條件下，紅檜和臺灣扁柏之光合作用能力無顯著差異，但紅檜苗木之苗高生長量較臺灣扁柏苗木大、具較高之競爭能力；而在低水勢環境下，臺灣扁柏苗木對水分具有較高的利用效率，能進行光合作用維持苗木生長最低需求；同時，臺灣扁柏脯胺酸的累積量隨缺水程度的增加而顯著的增加，而紅檜則無，顯示臺灣扁柏具有藉由脯胺酸以適應乾旱的「保護機制」，故而歸納出在水分短缺之微環境中，臺灣扁柏苗木較紅檜的適應能力更高(Wang 2004)。

在光環境方面，賴宜鈴(2006)在探討光度改變對紅檜與臺灣扁柏小苗生長的研究結果得知，紅檜與臺灣扁柏在幼苗時期對光度改變具有差異表現。在低光量微環境下，紅檜與臺灣扁柏小苗之光合作用特性雖無顯著差異，但兩者適應陰暗環境的機制卻有所不同：臺灣扁柏以調整葉部形態的方式、紅檜則以增加莖的長度來因應；而在高光量環境下，紅檜小苗無論在存活率、光合作用速率、葉相對生長率或生

物量都明顯較臺灣扁柏高(Lai 2006)。張桓顯(2007)的研究亦獲得類似的結果，他發現紅檜苗木對於光資源之競爭能力較強，在不同光度處理下，紅檜之高生長、苗徑與生物量皆明顯高於臺灣扁柏，且紅檜之暗呼吸速率與光補償點皆低於臺灣扁柏，顯示紅檜在低光環境下較臺灣扁柏具有競爭優勢(Chang 2007)。

根據上述研究，我們可歸納出紅檜和臺灣扁柏生長表現對微環境需求之差異：在發芽階段，紅檜較耐水分逆境；在幼苗成長階段，相較於臺灣扁柏，紅檜有較低的光補償點，只需較低光照度便可達到光合作用與呼吸作用的損益平衡，進而累積有機物，且較低的暗呼吸速率亦顯示其本身對糖類、澱粉、脂質、蛋白質和有機酸等能量的消耗較低，此種「開源又節流」的生理特性，是使紅檜無論在高光或低光下皆較臺灣扁柏具較高生長優勢的可能原因之一，這些結果與野外觀察扁柏生長較慢，紅檜生長較快的現象相符(Hung 1971, Lee 1962)，也因而為臺灣扁柏材質較紅檜更為細緻之可能緣由(Lin 1988)。另值得一提的是，雖然臺灣扁柏花粉或種子之發芽條件皆較嚴苛且易受水分逆境所限制，但幼苗階段對水分逆境的調適能力其實較紅檜幼苗高，水分利用效率與抵抗乾旱的機制亦優於紅檜幼苗，這樣的保護機制除了累積脯胺酸外，是否還有其他代謝機制的的作用，值得我們深入探討。這些生理生態特性似乎也與天然更新幼苗之存活與生長表現相應，在林地，紅檜的發芽率及死亡率較高，顯示兩樹種的幼苗對微環境適應的差異(Chung et al. 2011)。若將此與前述「臺灣扁柏幼苗可在其成熟母樹林下天然更新，而紅檜天然更新則較為少見」之說法做進一步思考，或可推論土壤水分狀況可能為影響兩者更新與分布的重要因子。

無論如何，兩樹種苗木對於不同微環境因子或逆境的差異表現，都可能是影響兩者的逆境適應性、競爭力，進而導致其在林地自然環境下之生長、更新與分布有所不同的原因，也或許還有更多未知或複合的影響因子有待我們進一步探討與釐清。茲將上述2樹種之生理生態特性整理如表2。

**Table 2. Comparison of physiological ecology characteristics between *Chamaecyparis formosensis* and *C. obtusa* var. *formosana***

特徵	紅檜	臺灣扁柏	參考文獻
淹水逆境	可忍受淹水而發芽	發芽力減退	Lin and Kuo 2003
低水勢逆境	於-1.5 MPa之水勢下可維持活力14天而無發芽率下降情形，超過14天則發芽率減退	在7天內發芽率即減退甚多而達顯著差異	Lin and Kuo 2003
光合作用		光合作用能力潛勢高於紅檜的苗木	Wang 2004
供水充足	苗高生長量較臺灣扁柏大		Wang 2004
氣孔導度	較大		Wang 2004
水分利用效率		較高	Wang 2004
低光下	增加莖長度爭取光資源	使葉部面積增加以適應陰暗環境	Lai 2006
高光下	比扁柏具有競爭力		Lai 2006
暗呼吸速	較低		Chang 2007
光補償點	較低		Chang 2007

## 形態特徵

前人的研究結果指出，紅檜是在2百萬9千年前和日本花柏分化，而臺灣扁柏約在1百萬3千年前和日本扁柏分化(Wang et al. 2003)，紅檜和臺灣扁柏chloroplast DNA的差異僅有0.57% (Liao et al. 2010, Lei 2014)，二者親緣關係頗為緊密，形態外觀也非常相似，但仔細觀察仍可發現許多特徵之差異。例如紅檜的樹形整體枝條較稀疏而下垂、臺灣扁柏的枝條則是密生而平展，紅檜樹皮較薄且縱向溝裂較淺、臺灣扁柏樹皮較厚且溝裂較深，紅檜球果呈橢圓形、臺灣扁柏則為球形。若以葉子來區分，3年生以下之紅檜小苗葉子通常仍留有針狀葉，且冬天葉色常呈紅褐色；臺灣扁柏小苗葉子通常不見針狀葉，且終年呈翠綠色，葉背有白蠟；紅檜成熟喬木的葉子呈鱗狀，先端尖銳，逆撫有刺手感；臺灣扁柏成熟木之葉子亦呈鱗狀，但先端較鈍，逆撫不扎手，葉背有粉白蠟(Lin 1988, Liu et al. 1994, Lai 2006)。

## 材質特徵

紅檜與臺灣扁柏同為臺灣頂級的針葉樹種木材，皆具有極佳的耐蟲蛀、耐腐朽性與美麗

的色澤紋理外觀，然而木材的材質與物理特性仍有些許差別，也各有不同的喜好者。紅檜與臺灣扁柏的心材率分別為73.88及83.85% (Wu and Hsieh 1988)，臺灣扁柏之生材較輕，紅檜因含水量較多而較重(Hung 1971)；紅檜之心邊材區別明顯，材色呈淡紅色，臺灣扁柏之心邊材區別較不明顯，材色偏黃褐色；紅檜木材有怡人的芳香氣味，臺灣扁柏木材之香氣則較濃郁且帶辛辣氣味(Cheng 2005, Chen et al. 2009)。紅檜木材的整體意象感受是溫暖的，而臺灣扁柏木材則典雅、精緻、溫暖、柔和與自然的感受(Chen et al. 2009)。整體而言，二者皆具有極佳的物理特性，是做為家具、建築與雕刻藝術等之上材，為極珍貴的森林資產。茲將紅檜與臺灣扁柏之葉子與木材之形態、形質特徵整理如表3。

## 化學成分特徵

有關臺灣扁柏精油成分的研究，Kafuku (1931)的研究中曾提及最早乃起始於Uchida (1916)利用乾餾法(dry distillation)萃取臺灣扁柏木材之精油，發現其精油含有 $d$ - $\alpha$ -pinene及 $l$ -cadinene等成分(Kafuku et al. 1931)。接著Tsuchihashi與Tasaki (1920)改以水蒸氣蒸

**Table 3. Comparison of leaf and wood characteristics between *Chamaecyparis formosensis* and *C. obtusa* var. *formosana***

特徵	紅檜	臺灣扁柏	參考文獻
樹形	枝條稀疏而下垂		Ho 1988, Lin 1988, Liu et al. 1994, Lai 2006
樹皮	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 樹皮呈淡灰褐至紅褐色</li> <li>• 樹皮較薄縱向淺溝裂，又稱“薄皮仔”</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 樹皮呈紅褐至暗褐色</li> <li>• 樹皮較厚縱向淺裂或長條剝落，又稱“厚殼仔”</li> </ul>	
葉形態	葉成鱗片狀互生，先端尖銳而扎手，3年生以下小苗通常可在莖葉上發現針狀葉遺留	葉成鱗片狀對生，先端略鈍形，鱗形葉較薄，小枝上面之葉露出部分菱形，小枝下面之葉被白粉，針狀葉於3至5個月後即脫落。	
葉色	幼葉冬天常呈紅褐色	終年呈翠綠色	
毬果	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 毬果橢圓形</li> <li>• 果鱗兩兩相對而生，果鱗10~13枚</li> <li>• 每果鱗有種子1~2枚</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 毬果球形</li> <li>• 果鱗8~10枚，中央有一小突起</li> <li>• 每果鱗具種子2~5枚</li> </ul>	
花粉	平均長寬軸 $30.7 \times 31.8 \mu\text{m}$	平均長寬軸 $33.8 \times 35.1 \mu\text{m}$	Lin et al. 1991
木材	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 邊心材區別稍明顯</li> <li>• 巨木常會因蓮根菌腐蝕而樹幹中空</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 邊心材境界不明顯</li> <li>• 樹幹不易空心</li> </ul>	Hung 1971, Cheng 2005, Chen et al. 2009
年輪	橫切面早晚材移行緩變而明顯	年輪甚狹，早晚材移行急變而明顯	
材質	木肌細緻、木理通直	木肌細緻、通直均勻	
色澤	材色呈淡紅色	材色偏黃褐色	
整體意象感受	溫暖的	典雅、精緻、溫暖、柔和與自然的	
氣味	具有怡人的芳香氣味	木材具芳香帶辛辣氣味	
生材種量	因含水量較多而較重	生材重量較輕	Hung 1971
細胞	樹脂細胞豐富，多在秋材部分散狀分布或成切線狀；縱向薄壁細胞橫向壁節狀加厚較明顯，且木質線薄壁細胞細胞橫向壁具紋孔。	樹脂細胞多切線狀分布於春材部分	Chen et al. 2009, Li and Wang 2013

餾法(steam distillation)獲得 $d$ - $\alpha$ -pinene、 $d$ - $\alpha$ -terpineol、isoborneol、 $d$ -cadinene等萜類化合物及dicyclic sesquiterpene alcohol與酸類(acid)、酚類(phenolic)等成分。爾後1926~1963年間，Hirao、Kafuku、Nozoe及林耀堂等人亦曾分別對臺灣扁柏木材精油成分展開一系列深入的研究(Kafuku et al. 1931, Lin et al. 1955a, b, 1942, 1963, Lin and Wang 1960)；其中，

Nozoe於1938年自臺灣扁柏心材精油中分離出一個烯醇類化合物(enolic compound)，期間歷經第二次世界大戰延宕，直至1948~1949年才確定其結構為2-hydroxy-4-isopropyl-2,4,6-cycloheptatrienone，也就是現今大家所熟知的具特殊七圓環的tropolone-扁柏醇(hinokitiol)(Fang and Cheng 1992)，因其結構特殊及極佳的生物活性而備受關注。

臺灣扁柏葉子之精油成分則於1931年由Kafuku等人開始研究，在較低沸點的部分獲得fatty acid ( $C_{10}H_{16}O_2$ )、hinokic acid ( $C_{16}H_{24}O_2$ )、*d*-sabinene、*d*- $\alpha$ -pinene、*p*-cymene、 $\alpha$ -terpinene、 $\gamma$ -terpinene和 $\alpha$ -thujene等成分，以及一個新發現的單環化合物(chamene) (Kafuku et al. 1931)；沸點較高的部分則發現了2個tricyclic sesquiterpene成分以及*d*-cadinene等化合物(Kafuku and Nozoe 1931)。他們也分析紅檜葉子精油之組成，這也是紅檜精油成分最早之分析記錄，紅檜葉子精油主要以*l*- $\alpha$ -pinene最多，另包括單萜類(*l*-camphene、dipentene、 $\alpha$ -terpinene、 $\gamma$ -terpinene、cineol和borneol以及倍半萜類(cadinene、humulene)，以及一個沸點較高的倍半萜類化合物cadinol (Kafuku and Ichikawa 1931)。他們後續的研究則進行紅檜材部精油的成分分析，結果顯示紅檜材部精油除了葉子所具有的*d*- $\alpha$ -pinene、*d*-camphene及 $\alpha$ -terpineol等單萜類化合物之外，還富有*l*-cadinol、allyl-protocatechin等，同時亦發現了4種新的萜類成分(benihiol ( $C_{10}H_{18}O$ )、benihinol ( $C_{10}H_{16}O$ )、benihinal ( $C_{10}H_{14}O$ )和*d*-sesquibenihene ( $C_{15}H_{24}$ ) (Kafuku and Ichikawa 1933)。

二次戰後，臺灣早期的科學研究人員筆路藍縷，自簡易的研究設備獲得得來不易的成果，1960年代王光燦首次以薄層層析技術(thin layer chromatography)分離紅檜葉子之抽出成分，使酚類化合物之分離效果獲得改善(Lin et al. 1958, Wang 1959, Fang and Cheng 1992)，此後陸續進行紅檜葉子(Lin et al. 1962)、根部(Nozoe and Toda 1966)、材部(Asao et al. 1968, Cheng et al. 1971)及皮部(Fang et al. 1986b)等抽出成分之分析，獲得許多過去難以分析的微量成分。1986年，方俊民等人首次利用氣相層析儀進行紅檜葉子精油之成分分離，共鑑定出41個化合物(Fang et al. 1986a)，不僅解析度提升，且可獲得各個成分所占之相對比例。自此植物化學的研究蓬勃發展，紅檜與臺灣扁柏各部位之精油、抽出成分以及揮發性化合物都累積了許多的研究成果，例如鄭玉瑕、郭悅雄與

鍾婷婷等教授之實驗室皆曾對紅檜與臺灣扁柏之葉、毬果、木材甚至樹皮之抽出成分進行深入的分析，臺灣扁柏各部位之抽出成分皆以雙萜類化合物為主，其次為倍半萜類化合物；而紅檜之葉、樹皮與毬果抽出成分主要仍為雙萜類化合物，另包括有類黃酮類、木酚素與芳香族等化合物，木材抽出成分則以木酚素類及類木酚素類為主(Xu 1982, Zhou 1990, Xu 1993, Lin et al. 1999, Chen 2000, Chan 2004, Chien 2004, Ko 2005, Wu 2005, Chen 2006, Kuo 2007, Chen 2008, Chen et al. 2008)。

整體而言，由近年的研究結果得知，紅檜材部之精油以myrtenol (13.53~48.89%)、myrtanol (12.69~13.17%)、 $\delta$ -cadinene (26.3%)及 $\alpha$ -eudesmol (12.90~18.06%)等成分之相對含量最高(Kuo 2004, Wang et al. 2005, Kuo et al. 2007, Chen et al. 2015)，而 $\alpha$ -pinene(57.32~85.97%)則是紅檜葉子精油最主要的成分(Fang et al. 1986a, Su et al. 2006, Chen et al. 2011)。關於臺灣扁柏材部精油的成分研究，除最具代表性的hinokitiol之外，鄭玉瑕教授實驗室亦曾透過柱層分析、氣相色層分析、薄層分析與再結晶等方法解析出精油成分包括 $\alpha$ -pinene、 $\alpha$ -copaene、 $\beta$ -elemene等共13種化合物(Chen 1975)。至於近年臺灣扁柏葉子精油成分的相關研究，Su等人於2006年之研究報告指出，臺灣扁柏與紅檜葉子精油皆同樣以 $\alpha$ -pinene為其主要成分，且含量皆>70% (Su et al. 2006)。然而，Chen等人為更進一步確認臺灣扁柏屬植物葉子精油成分之差異，於臺灣北、中、南、東等地共採取43棵單株、超過130個樣本進行其成分分析，其結果卻顛覆了過去的認知，一般被認為普遍大量存在針葉樹精油中的基本成分 $\alpha$ -pinene，在所分析的臺灣扁柏葉子精油樣本中含量都非常低(0.31~1.41%)，主要成分反而是 $\beta$ -elemol (24.33%)、thujopsene (widdrene) (18.43~34.84%)以及*cis*-thujopsenal (25.12%)等倍半萜類化合物，同時根據不同地區來源與成分特徵形成了三種化學品系；不僅如此，含有豐富的thujopsene更是臺灣扁柏重要的化學特徵，在全球其他扁柏屬樹種中，僅日



本扁柏(*C. obtusa*, 0.15~3.6%) (Park et al. 2003, Hong et al. 2004, Yang et al. 2007)、日本花柏(*C. pisifera*, 0.95%) (Zhang et al. 2009)及已自扁柏屬除名的拿加遜扁柏(*C. nootkatensis*, trace) (Cheng and von Rudloff 1970)含有此成分,但含量亦非常低。目前,紅檜葉子中 $\alpha$ -pinene生合成酵素之基因已被成功選殖(Chu et al. 2009),關於臺灣扁柏萜類生合成酵素之研究仍缺如,因此,究竟臺灣扁柏具有何種神秘的特質,使得它不同於一般針葉樹,僅含有極微量的 $\alpha$ -pinene,卻又有別於扁柏屬之其他樹種,獨具有豐富的thujopsene,著實是一個非常值得我們探討掘挖的「彩蛋」,深入研究後或許將有意想不到的驚喜收穫!茲將這些較具代表性之二

次代謝物成分特徵整理如表4。

## 二次代謝物之生物活性

二次代謝物通常是指有別於植物初級代謝物(如氨基酸、核苷酸、多糖…等)之外的次級代謝產物,每一種植物在特定的環境條件下,具有生成特定化學成分的特性,而為該種植物的生理生化特徵,也形同演化成一個獨特的化學工廠,在生長的嚴酷世界裡製造出求生的物質。過去曾認為這些物質是不具重要功能的無用產物,然而近年來的研究結果發現,某些特定的二次代謝物可能存在於某些特定植物中並賦予生態上的特殊功能,在眾多物種中,植物

**Table 4. Comparison of secondary metabolites between *Chamaecyparis formosensis* and *C. obtusa* var. *formosana***

種類/部位	紅檜	臺灣扁柏	參考文獻
<b>精油</b>			
葉子	$\alpha$ -pinene為主要成分	thujopsene, $\beta$ -elemol, <i>cis</i> -thujopsenal等最具特色	Fang et al. 1986a, Su et al. 2006, Chen et al. 2011
木材	myrtenol, myrtanol, $\delta$ -cadinene及 $\alpha$ -eudesmol等成分相對含量最高	hinokitiol, $\alpha$ -pinene, $\alpha$ -copaene, $\beta$ -elemene等	Lin et al. 1955a, Chen 1975, Kuo 2004, Wang et al. 2005, Kuo et al. 2007, Chen et al. 2015,
<b>抽出物</b>			
葉子	雙萜類化合物為主,其次為倍半萜類化合物	雙萜類化合物為主,其次為倍半萜類化合物	
木材	以木酚素類及類木酚素類為主	雙萜類化合物為主,其次為倍半萜類化合物	
樹皮	雙萜類化合物為主	雙萜類、固醇類等化合物	Zhou 1990, Ko 2005, Wu 2005, Kuo 2007
毬果	雙萜類, 倍半萜類, 木酚素類等化合物	雙萜類, 倍半萜類, 木酚素類等化合物	Xu 1993 (PhD thesis)
<b>揮發成分(SPME, HS)</b>			
葉子	germacrene D, $\alpha$ -pinene相對含量最高	thujopsene, compound A, sabinene, thujopsenal相對含量最高	Lin et al. 2011, Chen et al. 2015
木材	myrtenol為主要成分		Wang et al. 2006
<b>芬多精</b>			
葉子	$\alpha$ -pinene, $\beta$ -Myrcene為主		Lin et al. 2015

歷經天擇的考驗，可能蘊藏著具有改善人類生活或解決人類重要醫藥問題的契機。

眾所周知，臺灣檜木具有極佳的抗白蟻、耐腐特性，早期的研究認為，木材精油含油量之多寡可能是影響其抗白蟻性質之原因，紅檜、臺灣扁柏、臺灣肖楠以及香杉等含油量較高之木材都具有優良之抗白蟻性質(Wang et al. 1987)；紅檜木材與根部的chamecynone是賦予良好抗白蟻能力的重要成分(Harayama et al. 1977, Fang et al. 1986b)，而臺灣扁柏葉子精油也已證實有良好的抗白蟻活性(Cheng et al. 2007)。此外，紅檜木材精油還具有優良的抗病媒蚊幼蟲與衣魚幼蟲能力，可望做為環保殺蟲劑之用(Kuo 2004, Kuo et al. 2007)，其材部之抽出成分亦被證實具有抗發炎活性(Hsieh et al. 2007)，而臺灣扁柏心材抽出成分則具有抑制癌症細胞生長之潛力(Chien et al. 2007)，其皮部抽出物與葉子熱水抽出物則具有優良的抗氧化活性，尤其棲蘭山地區臺灣扁柏葉子熱水抽出物不僅收率高、抗氧化活性優良且毒性低，深具開發潛力(Marimuthu et al. 2008, Cheng et al. 2014)。

最早由臺灣扁柏木材分離出而命名的

hinokitiol乃是柏科木材特有之成分，為木材抽出成分中最著名的抗細菌成分之一，許多研究證實紅檜與臺灣扁柏心材精油能抑制金黃色葡萄菌(*Staphylococcus aureus*)、產氣性桿菌(*Enterobacter aerogenes*)與肺炎桿菌(*Klebsiella pneumoniae*)等細菌之生長(Wu and Wang 1990)，而紅檜木材精油還具有抑制褐腐菌(*Laetiporus sulphureus*)及白腐菌(*Trametes versicolor*)等真菌生長的效果(Wang et al. 2005)，賦予木材優良的耐腐朽性。另一方面，檜木精油散發的香氣不僅迷人，許多研究結果證實其對人體自律神經總活性有提升作用(Chen et al. 2015)，並具有舒壓、解憂以及減輕疲勞等功效(Hsieh et al. 2001)，更讓社會大眾對其在芳香療法上之應用趨之若鶩。茲將紅檜與臺灣扁柏之二次代謝物成分活性整理如表5。

## 結語

無論「棲蘭山檜木林」最終是否被列為世界遺產，紅檜與臺灣扁柏就歷史文化、生物保育、自然教育意義與生物科學研究來說，都是

**Table 5. Bioactivities of secondary metabolites from *Chamaecyparis formosensis* and *C. obtusa* var. *formosana***

種類/部位	紅檜	臺灣扁柏	參考文獻
<b>精油</b>			
葉子	抗白蟻活性(anti-termitic activities)		Cheng et al. 2007
木材	抗病媒蚊幼蟲(antimosquito larval activity)、衣魚毒殺效果(anti-silverfish activity)		Kuo 2004, Hsieh et al. 2007
	抗細菌(antibacterial activity)	抗細菌(antibacterial activity)	Wu and Wang 1990
	殺蟲活性(insecticidal activity)		Kuo et al. 2007
		抗蟎活性(antimite activity)	Oribe and Miyazaki 1997
	抗真菌活性(antifungal activity)		Wang et al. 2005
枝條	抗病原菌活性(antipathogenic activities)		Ho et al. 2012
<b>抽出物</b>			
葉子	抗氧化活性(antioxidant activity)		Cheng et al. 2014
木材	抗真菌活性(antifungal activity)、抗發炎活性(anti-inflammatory)	抑制癌症細胞生長之潛力(potent cytotoxic activity against cancer cells)	Kuo 2004, Chien et al. 2007, Hsieh et al. 2007

臺灣極為珍貴的資產。過去林業機構曾努力復育造林，然而現今研究人員更應積極思索如何透過科學手段固守並延續這些珍貴的樹種，例如透過建立有效的種子來源評估系統，維持種原之多樣性並避免不良之遺傳變異，同時建立妥善完整的育苗與造林策略，並評估對整體生態系的影響(Huang et al. 2007)，如此才能真正達到維持檜木林生態系多樣性，並回復其生態健康、完整性與永續生存之目標。此外，面對全球大環境迅速而劇烈變化的衝擊，檜木林的命運又該何去何從？研究人員曾利用氣溫因子的溫量指數透過統計方法建立情境模擬，推估當全球溫度上升，檜木林潛在分布將大幅減少(Chiu and Huang 2008)。然而植物面對環境的變化會有各種適應或抵抗逆境的生存機制，檜木的生存分布究竟還受哪些因子所調控？其適應環境的機制為何？這些仍有待我們未來做更深入的研究探討。

## 謝誌

本文承蒙國立臺灣大學郭幸榮教授、關秉宗教授、國立宜蘭大學林世宗教授及審查委員提供卓見與斧正，謹表誠摯之謝意。

## 引用文獻

- Asao T, Ibe S, Takase K, Cheng YS, Nozoe T. 1968.** The structure of two new acetylenic nor-sesquiterpenoid, dehydrochamaecynenol and dehydrochamaecynenal, isolated from *Chamaecyparis formosensis* Matsum. *Tetrahedron Lett* 9(33):3639-42.
- Barbour M. 2007.** Terrestrial vegetation of California Berkeley, CA: Univ. of California Press. 738 p.
- Chan YF. 2004.** Study on the constituents of the leaves of *Chamaecyparis obtusa* var. *formosana* [PhD thesis]. Taipei, Taiwan: Department of Chemistry, National Taiwan Univ. 310 p. [in Chinese with English abstract].
- Chang HH. 2007.** Performance of seedling growth, photosynthesis, and chlorophyll fluorescence of *Chamaecyparis formosensis* and *Chamaecyparis obtusa* var. *formosana* acclimated under various combinations of light intensities and nutrient levels [Master's thesis]. Taipei, Taiwan: Graduate Institute of Forestry, National Taiwan Univ. 78 p. [in Chinese with English abstract].
- Chang LM. 1963.** Ecological studies of *Chamaecyparis formosensis* and *Chamaecyparis taiwanensis* mixed forest in Taiwan. *Taiwan For Res Inst* 91:1-23. [in Chinese with English abstract].
- Chen CH. 2000.** Study on the constituents of the heartwood of *Chamaecyparis obtusa* var. *formosana* [PhD thesis]. Taipei, Taiwan: Department of Chemistry, National Taiwan Univ. 432 p. [in Chinese with English abstract].
- Chen CJ, Senthil Kumar KJ, Chen YT, Tsao NW, Chien SC, Chang ST, Chu et al. 2015.** Effect of hinoki and meniki essential oils on human autonomic nervous system activity and mood states. *Nat Prod Comm* 10(7):1305-8.
- Chen JC. 2008.** Studies on the chemical constituents of the *Chamaecyparis formosensis* heartwood [Master's thesis]. Taichung, Taiwan: Department of Chemistry, National Chung Hsing Univ. 87 p. [in Chinese with English abstract].
- Chen SY. 1975.** Study on the extractive constituents of the wood of *Chamaecyparis taiwanensis*, Masamune et Suzuki [Master's thesis]. Taipei, Taiwan: Department of Chemistry, National Taiwan Univ. 46 p. [in Chinese].
- Chen TH. 2006.** Lignanoids and bioactivity study of *Chamaecyparis formosensis* heartwood [Master's thesis]. Taichung, Taiwan: Department of Chemistry, National Chung Hsing Univ. 34 p. [in Chinese with English abstract].
- Chen TH, Liao BC, Wang SY, Jong TT. 2008.** Isolation and cytotoxicity of the lignanoids from *Chamaecyparis formosensis*. *Planta*

- Med 74(15):1806-11.
- Chen TL, Hong PF, Lin YC, Huang JC. 2009.** Visual image analysis of Alishan five-wood species in Taiwan. For Prod Ind 28(1):13-26. [in Chinese with English abstract].
- Chen YJ, Lin CY, Cheng SS, Chang ST. 2011.** Phylogenetic relationships of the genus *Chamaecyparis* inferred from leaf essential oil. Chem Biodivers 8(6):1083-97.
- Chen YJ, Lin CY, Cheng SS, Chang ST. 2015.** Rapid discrimination and feature extraction of three *Chamaecyparis* species by static-HS/GC-MS. J Agric Food Chem 63(3):810-20.
- Cheng LS. 2005.** The biological characteristics and introduction cultivation of *Chamaecyparis formosensis*. Pract For Technol 4:15-6. [in Chinese].
- Cheng SC, Liu YS, Yen PL, Yeh TF, Chang ST. 2014.** Preliminary study on antioxidant activities of leaf extracts from *Chamaecyparis obtusa* var. *formosana* optimization of extraction conditions. Q J Chin For 47(1):109-20. [in Chinese with English abstract].
- Cheng SS, Chang HT, Wu CL, Chang ST. 2007.** Anti-termitic activities of essential oils from coniferous trees against *Coptotermes formosanus*. Bioresource Technol 98(2):456-9.
- Cheng YS, Nishino T, Toda T. 1971.** Essential oil components of Benihi tree. Nippon Kagaku Zasshi 92(7):626-9.
- Cheng YS, von Rudloff E. 1970.** The volatile oil of the leaves of *Chamaecyparis nootkatensis*. Phytochemistry 9(12):2517-27.
- Chi WT 2008.** Between empowerment and co-management: A preliminary study on the management of "Ma-Guo National Park" in cultural industry. Taiwan Heritages 45:105-120.
- Chien SC. 2004.** Study on the constituents of the bark of *Taiwania cryptomerioides* and the heartwood of *Chamaecyparis obtusa* var. *formosana* [PhD thesis]. Taipei, Taiwan: Department of Chemistry, National Taiwan Univ. 437 p. [in Chinese with English abstract].
- Chien SC, Chang JY, Kuo CC, Hsieh CC, Yang NS, Kuo YH. 2007.** Cytotoxic and novel skeleton compounds from the heartwood of *Chamaecyparis obtusa* var. *formosana*. Tetrahedron Lett 48:1567-9.
- Chiu CM, Lo-cho CN, Chung HH. 1995.** The stem form and crown structure of natural regeneration stands of *Chamaecyparis taiwanensis* in Chi-Lan-Shan area. Bull Taiwan For Res Inst 10(1):121-30. [in Chinese with English abstract].
- Chiu CR, Huang KJ. 2008.** Simulating climate change impacts on false cypress growth in Taiwan. For Res Newslett 15(2):8-12. [in Chinese].
- Chu FH, Kuo PM, Chen YR, Wang SY. 2009.** Cloning and characterization of  $\alpha$ -pinene synthase from *Chamaecyparis formosensis* Matsum. Holzforschung 63:69-74.
- Chung CH, Lin ST, Chiu CM, Lin CL, Lin CY. 2011.** Study of the direct seeding regenerated Taiwan red cypress and Taiwan yellow cypress by survival analysis in Chi-Lan-Shan. Q J Chin For 44(3):413-24. [in Chinese with English abstract].
- Farjon A. 2008.** A natural history of conifers. Portland: Timber Press. 304 p.
- Fang JM, Cheng YS. 1992.** Chemical constituents of some endemic conifers in Taiwan. J Chin Chem Soc 39(6):647-54.
- Fang JM, Lai LJ, Cheng YS. 1986a.** The constituents of the leaves of *Chamaecyparis formosensis* Matsum. J Chin Chem Soc 33(3):265-6.
- Fang JM, Sheu CM, Cheng YS. 1986b.** A study of the constituents of the bark of *Chamaecyparis formosensis* Matsum. J Chin Chem Soc 33(3):245-9.
- Harayama T, Cho H, Inubushi Y. 1977.** Total synthesis of dl-chamaecynone, a termiticidal norsesquiterpene. Tetrahedron Lett

18(37):3273-6.

**Ho CF. 1988.** The silviculture of *Chamaecyparis formosensis*. Modern Silvicult 3(2):24-8.

**Ho CL, Hua KF, Hsu KP, Wang EI-C, Su YC. 2012.** Composition and antipathogenic activities of the twig essential oil of *Chamaecyparis formosensis* from Taiwan. Nat Prod Comm 7(7):933-936.

**Hong EJ, Na KJ, Choi IG, Choi KC, Jeung EB. 2004.** Antibacterial and antifungal effects of essential oils from coniferous trees. Biol Pharm Bull 27(6):863-6.

**Hong KJ, Wang SY. 1990.** Anatomical studies on the wood of *Chamaecyparis formosensis* Matsum by scanning electron microscopy. For Prod Ind 9(1):15-28. [in Chinese with English abstract].

**Hsieh YH, Kuo PM, Chien SC, Shyur LF, Wang SY. 2007.** Effects of *Chamaecyparis formosensis* Matsumura extractives on lipopolysaccharide-induced release of nitric oxide. Phytomedicine 14:675-80.

**Hsieh YN, Lin FC, Wang SY. 2001.** Effects of Taiwan yellow cypress odor on human physiological and psychological responses (I) The changes of human blood pressure and heart beat due to odor inhalation. For Prod Ind 20(4):337-40. [in Chinese with English abstract].

**Huang S, Guan BT, Hwang SY. 2007.** Ecosystem restorations of Taiwan false cypress forests: linking genetic diversity theory and field practices. Taiwan For 33(5):25-8. [in Chinese].

**Hung LP. 1971.** Preliminary study on the methods of management of natural cypress stands on high mountain districts in Taiwan. Taiwan For Res Inst 209:1-37. [in Chinese with English abstract].

**Jen IA. 1995.** Expectation and historical review of cypress (*Chamaecyparis* spp.) timber productin in Taiwan. Bull Taiwan For Res Inst 10(2):227-34. [in Chinese with English abstract].

**Kafuku K, Ichikawa N. 1931.** Studies on the

volatile constituents of the leaf of *Chamaecyparis formosensis*, Matsum. Bull Chem Soc Jpn 6(4):94-102.

**Kafuku K, Ichikawa N. 1933.** Studies on the constituents of the volatile oil from the wood of *Chamaecyparis formosensis*, Matsum. Bull Chem Soc Jpn 8(12):371-92.

**Kafuku K, Nozoe T. 1931.** Studies on the constituents of the volatile oil from the leaf of *Chamaecyparis obtusa*, SIEB. et Zucc, *F. formosana*, Hayata, or Arisan-Hinoki. Part II. Bull Chem Soc Jpn 6(5):111-8.

**Kafuku K, Nozoe T, Hata C. 1931.** Studies on the constituents of the volatile oil from the leaf of *Chamaecyparis obtusa*, SIEB. et Zucc, *F. formosana*, Hayata, or Arisan-Hinoki. Part I. Bull Chem Soc Jpn 6(2):40-53.

**Ko CM. 2005.** Study on the constituents of the barks of *Chamaecyparis obtusa* var. *formosana* [Master's thesis]. Taipei, Taiwan: Department of Chemistry, National Taiwan Univ. 137 p. [in Chinese with English abstract].

**Kuo CH. 2007.** Study on the constituents of the barks of *Chamaecyparis formosensis* Matsum [Master's thesis]. Taipei, Taiwan: Department of Chemistry, National Taiwan Univ. 105 p. [in Chinese with English abstract].

**Kuo PM. 2004.** Evaluation of bioactive extractives from heartwood of Taiwan red cypress (*Chamaecyparis formosensis* Matsum.) [Master's thesis]. Taichung, Taiwan: Department of Forestry, National Chung Hsing Univ. 86 p. [in Chinese with English abstract].

**Kuo PM, Chu FH, Chang ST, Hsiao WF, Wang SY. 2007.** Insecticidal activity of essential oil from *Chamaecyparis formosensis* Matsum. Holzforschung 61(5):595-9.

**Laderman AD. 1998.** Coastally restricted forests. New York: Oxford Univ. Press. 334 p.

**Lai IL. 2006.** Effects of light environment on the growth and establishment of the seedlings of two *Chamaecyparis* species in the

- subtropical cloud forest in Chi-lan-shan area, Taiwan [PhD dissertation]. Taipei, Taiwan: National Taiwan Univ. 128 p. [in Chinese with English abstract].
- Lee JS, Hsu PH. 2010.** The history of forest management and recreation development in Taiwan after world war II. *Q J Chin For* 32(1):87-96. [in Chinese with English abstract].
- Lee SC. 1962.** Taiwan red- and yellow-cypress and their conservation. *Taiwania* 8:1-15.
- Lei HF. 2014.** On landscape ecology of Chilán mountain cypress forest and its governance. *J Cult Prop Conserv* 30:7-36. [in Chinese].
- Li CY, Wang CM. 2013.** Two woods from Sungshan formation, Taipei basin. *J Taiwan Mus* 66(4):1-8. [in Chinese with English abstract].
- Liao PC, Lin TP, Hwang SY. 2010.** Reexamination of the pattern of geographical disjunction of *Chamaecyparis* (Cupressaceae) in North America and East Asia. *Bot Stud* 51(4):511-20.
- Lin CY, Chen YJ, Cheng SS, Chang ST. 2011.** Rapid differentiation of three *Chamaecyparis* species (Cupressaceae) grown in Taiwan using solid-phase microextraction-gas chromatography/mass spectrometry, cluster analysis, and principal component analysis. *J Agric Food Chem* 59(20):10854-9.
- Lin CY, Liu IS, Chen YH, Chang TC, Chen YJ, Cheng SS, Chang ST. 2015.** Estimation of dynamic emission rate and quantity of BVOCs from *Chamaecyparis formosensis* leaf. *Q J Chin For* 48(1):55-70. [in Chinese with English abstract].
- Lin HL, Kuo SR. 2003.** Germination of *Chamaecyparis formosensis* and *C. obtusa* var. *formosana* seeds in various water stress regimes. *Taiwan J For Sci* 18(1):13-24. [in Chinese with English abstract].
- Lin TC, Fang JM, Cheng YS. 1999.** Terpenes and lignans from leaves of *Chamaecyparis formosensis*. *Phytochemistry* 51:793-801.
- Lin TP, Wang WY, Liu CC. 1991.** Morphological observation and investigation of germination on the pollen grains of *Chamaecyparis formosensis* and *C. taiwanensis*. *Bull Taiwan For Res Inst* 6(2):119-32. [in Chinese with English abstract].
- Lin YT, Lo TB, Wang KT. 1958.** Paper chromatographic studies of the tropolones of some Cupressaceae in Formosa. *J Chin Chem Soc-Taipei* 5(1-2):54-9.
- Lin YT, Wang KT. 1960.** The essential oil of *Chamaecyparis taiwanensis* Masamune et Suzuki. IV. The Phenolic Parts. *J Chin Chem Soc* 7(2):174-9.
- Lin YT, Wang KT, Chang LH. 1963.** The essential oil of *Chamaecyparis taiwanensis* Masamune et Suzuki. V. The identity of chamaecin with 4-isopropylsalicylaldehyde. *J Chin Chem Soc* 10(2-3):139-5.
- Lin YT, Wang KT, Chen CL. 1955a.** The essential oil of *Chamaecyparis taiwanensis* Masamune et Suzuki. I. Acidic components. *J Chin Chem Soc* 2:91-7.
- Lin YT, Wang KT, Chen CL. 1955b.** The essential oil of *Chamaecyparis taiwanensis* Masamune et Suzuki. II. Chamaecin, a new natural tropoloid. *J Chin Chem Soc* 2:126-8.
- Lin YT, Wang KT, Lin YS. 1962.** Polyamide thin-layer chromatography, II. Application to phenolic constituents of some conifers. *J Chin Chem Soc-Taipei* 9(1):68-75.
- Lin ZJ. 1988.** The silviculture of *Chamaecyparis obtusa* var. *fomosana*. *Mod Silvicult* 3(2):29-32. [in Chinese].
- Liu T. 1961.** An investigation of the forest vegetation: Ta-Shu-Shan Demonstration Forest District. Bulletin of Taiwan Ta-Shu-Shan Forestry Corporation in Cooperation with Taiwan Forestry Research Institute. 96 p. [in Chinese].
- Liu VT. 1966.** The biogeography of Taiwan's conifers. Taipei, Taiwan: Taiwan Forestry

Research Institute no. 122. [in Chinese].

**Liu VT. 1975a.** The ecology of Taiwan's false cypress. *Taiwan For* 1(13):24-27. [in Chinese].

**Liu VT. 1975b.** Ecological study on *Chamaecyparis* forests in Taiwan. *J Agric Assoc Taiwan* 92:143-78. [in Chinese with English abstract].

**Liu VT, Zobel DB. 1980.** Effects of environment, seedling age, and seed source on leaf resistance of three species of *Chamaecyparis* and *Tsuga chinensis*. *Oecologia* 1(1):5-17.

**Liu YC, Lu FY, Ou CH. 1994.** Trees of Taiwan. Taichung, Taiwan: College of Agriculture and Natural Resources. 925 p. [in Chinese].

**Liu YS, Mohr BAR, Basinger JF. 2009.** Historical biogeography of the genus *Chamaecyparis* (Cupressaceae, Coniferales) based on its fossil record. *Palaeobiodivers Palaeoenviron* 89(3):203-9.

**Lo-Cho CN, Chung HO, Lo HH, Chou CF. 1987.** Effects of thinning on Taiwan red cypress (*Chamaecyparis formosensis* Matsum) plantation in Lu-Kuei area. *Bull Taiwan For Res Inst* 2(3):187-98. [in Chinese with English abstract].

**Marimuthu P, Wu CL, Chang HT, Chang ST. 2008.** Antioxidant activity of the ethanolic extract from the bark of *Chamaecyparis obtusa* var. *formosana*. *J Sci Food Agric* 88(8):1400-5.

**Matsuura S. 1942.** The relationship between environmental factors and the increase and decrease of seedlings and young trees of *Chamaecyparis formosensis* and *Chamaecyparis obtusa* var. *formosana*. *Taiwan Governor-General Office Bull For Res* 5:1-191.

**Nozoe T, Cheng YS, Toda T. 1966.** The structure of chamaecynone a novel nor-sesquiterpenoid from *Chamaecyparis formosensis* Matsum. *Tetrahedron Lett* 7(31):3663-9.

**Oribe Y, Miyazaki Y. 1997.** Effects of two wood oils on the population growth of the European house-dust mite, *Dermatophagoides pteronyssinus*. *Mokuzai Gakkaishi* 43(6):521-3.

**Park IK, Lee SG, Choi DH, Park JD, Ahn**

**YJ. 2003.** Insecticidal activities of constituents identified in the essential oil from leaves of *Chamaecyparis obtusa* against *Callosobruchus chinensis* (L.) and *Sitophilus oryzae* (L.). *J Stored Prod Res* 39(4):375-84.

**Qiu LW, Huang QX, Wu CC, Hsieh, HT. 2015.** The summary of the fourth forest resources inventory in Taiwan. *Taiwan For* 41(4):3-13. [in Chinese].

**Su YC, Ho CL, Wang EIC. 2006.** Analysis of leaf essential oils from the indigenous five conifers of Taiwan. *Flavour Frag J* 21(3):447-52.

**Taiwan Forestry Bureau. 1995.** The third forest resources and land use inventory in Taiwan. Taipei, Taiwan: Taiwan Forest Bureau. 258 p. [in Chinese].

**Wang KT. 1959.** Paper chromatography of phenols by polyamide impregnated paper. *J Chin Chem Soc-Taipei* 6(1):73-9.

**Wang LJ. 2004.** The growth and physiological characteristics of *Chamaecyparis formosensis* and *Chamaecyparis obtusa* var. *formosana* seedlings grown under different water potential and nutrient regimes [Master's thesis]. Taipei, Taiwan: Graduate Institute of Forestry, National Taiwan Univ. 110 p. [in Chinese with English abstract].

**Wang SF, Wang CL, Hsieh TC, Chu CC. 1987.** The antitermite characters of major native woods in Taiwan and the termite-controlling properties of chemicals. *Bull Taiwan For Res Inst* 2(2):117-27. [in Chinese with English abstract].

**Wang SY, Wang YS, Tseng YH, Lin CT, Liu CP. 2006.** Analysis of fragrance compositions of precious coniferous woods grown in Taiwan. *Holzforchung* 60(5):528-32.

**Wang SY, Wu CL, Chug FH, Chien SC, Kuo YH, Shyur LF, Chang ST. 2005.** Chemical composition and antifungal activity of essential oil isolated from *Chamaecyparis formosensis* Matsum. wood. *Holzforchung* 59(3):295-9.

- Wang WP, Hwang CY, Lin TP, Hwang SY. 2003.** Historical biogeography and phylogenetic relationships of the genus *Chamaecyparis* (Cupressaceae) inferred from chloroplast DNA polymorphism. *Plant Syst Evol* 241:13-28.
- Wu KT, Wang CC. 1990.** The antimicrobial activity of the essential oils from heartwood of Taiwan yellow cypress and Taiwan red cypress. *Bull Exp For Dept For Coll Agric Natl Chung Hsing Univ.* 12(1):187-92. [in Chinese with English abstract].
- Wu SC, Hsieh RS. 1988.** Study on the variation of tissue structure of the economic trees in Taiwan, (I) The trunk diameter, specific gravity, cell wall percentage and heartwood ratio of softwood species. *For Prod Ind* 7(1):1-22. [in Chinese with English abstract].
- Wu YC. 2005.** Study on the constituents of the barks of *Chamaecyparis formosensis* Matsum. [Master's thesis]. Taipei, Taiwan: Department of Chemistry, National Taiwan Univ. 107 p. [in Chinese with English abstract].
- Xu GJ. 1993.** Studies on the constituents of the pericarps of *Chamaecyparis formosensis*, *Chamaecyparis taiwanensis* and *Pinus elliottii* [PhD thesis]. Taipei, Taiwan: Department of Chemistry, National Taiwan Univ. 376 p. [in Chinese with English abstract].
- Xu ZM. 1982.** Study on the constituents of the barks of *Chamaecyparis formosensis* Matsum. [Master's thesis]. Taipei, Taiwan: Department of Chemistry, National Taiwan Univ. 86 p. [in Chinese].
- Yang JK, Choi MS, Seo WT, Rinker DL, Han SW, Cheong GW. 2007.** Chemical composition and antimicrobial activity of *Chamaecyparis obtusa* leaf essential oil. *Fito-terapia* 78(2):149-52.
- Zhang SS, Wu JX, Li P, Ye HC, Sun RQ, Zhang XP. 2009.** Chemical components in essential oil from fresh leaf of *Chamaecyparis pisifera*. *J Plant Resource Environ* 18(1):94-6.
- Zhou MH. 1990.** Studies on the constituents of the bark of *Chamaecyparis obtusa* S. et Z. var. *formosana* Rehd. [Master's thesis]. Taipei, Taiwan: Department of Chemistry, National Taiwan Univ. 91 p. [in Chinese with English abstract].