

行政院農業委員會林務局委託研究計畫系列 99-00-03-01

台灣中部中高海拔地區防火樹種之篩選及
葉部分解速率之研究

The selection of fire-resistant tree species and its
leaf decomposition rate in middle and high
elevation of central Taiwan



期末報告

委託機關：行政院農委會林務局

執行機關：國立中興大學森林學系

中華民國一百年六月

壹、摘要

本調查之主要目的為考量當地固有樹種的各項特性，選育出具有抗火性強、生長快、林下燃料物少、生態性廣泛、外來干擾後恢復能力強、造林容易、具有經濟價值等最佳防火樹種，供做防火林帶造林之用，漸次取代目前中部高山地區台灣二葉松人工純林，減緩森林火災之發生。

調查現有樹種的燃燒特性及考量樹種的生物性、生態性、造林特性等三項評估防火樹種主要因子。以抽出物、含水率、重量留存率及木質素含量來做比較，得到針葉樹種華山松優於紅檜。闊葉樹種中落葉樹種依排序為台灣紅榨槭、台灣胡桃、楓香、台灣赤楊、阿里山千金榆、青楓、栓皮櫟。常綠樹種排列為菱葉柃木、木荷、楊梅、台灣雲葉、大頭茶、山肉桂、高山莢蒾、長葉木薑子、青剛櫟、狹葉櫟、桂花。

因此本試驗結果建議常綠樹種以菱葉柃木、木荷、楊梅、台灣雲葉作為防火樹種；落葉性樹種則以台灣紅榨槭、台灣胡桃、楓香、台灣赤楊作為防火樹種。

在防火樹種之綜合評估需了解造林性，建議進行採種、育苗及造林的實驗方式來取得資訊，並以樹種採複層林型方式植栽，在防火與視覺美觀上兼具。

貳、前言

森林火災為當今全球發生面積最廣、危害性最大且救助最為困難的自然災害，被聯合國列為世界八大自然災害之一。在台灣國有林森林火災的發生主要是以人為因素，其中以因墾殖引起最多，其次歸因於煙蒂引起的，狩獵亦為主要原因之一，另有縱火引發。其中台灣中部大甲溪事業區發生的火災次數多，除了肇因於人為因子之外，其他自然因子例如：森林植群型態及氣候條件也是影響森林火災發生不可忽視之因子。由於台灣森林火災易發生地區，其地上植群主要以台灣二葉松為主，其可燃燒性高，撲救不易，常導致較大面積之燃燒，因此林務單位每年花費在防火保林的經費不貲。

近年來，國內已開始對防火樹種的篩選研究，但僅限於海岸防風林以及針對防火林帶中的人工栽植樹種進行防火性評估，並未對台灣中部高海拔地區的天然樹種進行全面性的選育研究。海岸防風林或低海拔的森林火災，由於交通便利之故，較少引發嚴重的森林災害。而中高海拔地區一旦發生林火，因交通運輸困難，造成搶救不易，往往釀成重大的林業損失。

森林火災的救治與防範，除了健全防火人員的訓練與設備的建置之外，對於森林火敏感高的地區，如何更改林相，使其具有不易發生林火特性，是為當務之急，尤其在台灣中部的高海拔地區，因此能選擇良好的防火樹種為首要條件。防火樹種應具有抗火性強、林下易燃的可燃物少、適應性廣泛、常綠性、大面積造林容易及經濟價值高等優點，以利作為良好防火樹種之篩選。

本研究基於上述考量，以大甲溪事業區為研究區域，由現存的天然植群中，採集 20 種樹種做燃燒特性試驗，結合樹種本身的燃燒性、生物學、生態學、造林學特性及經濟性，篩選適宜當地的防火樹種，供做防火林帶造林之用。也可漸次取代目前中部高山地區台灣二葉松 (*Pinus taiwanensis*)

人工純林，減緩森林火災之發生。另外也將探討不同樹種落葉分解特性，期望減少地被累積的燃料庫，以降低林火的發生。

參、前人研究

森林火一直被認為是林業經營管理上的嚴重災害問題，建立有效的森林防火帶是防止森林火災擴大的方法 (Chen *et al.*, 1988)，但研究耐火林帶樹種的選擇防治森林火災發生才是根本 (Peter, 1977)。近年來，國內已開始對防火樹種的篩選研究，但僅限於海岸防風林 (林俐玲和劉鎮榮，2004)，但對台灣中部高海拔地區的防火樹種選育研究較缺乏。

如何有效的預防森林火災為各國研究人員所探討的問題，近年來，許多學者在防火樹種篩選方面上做了大量工作 (Bambang *et al.*, 1994)。其中，學者認為植物的葉片在防火上最為重要 (Ronald, 1980)，認為樹葉的燃燒性質為森林火災的主要影響因素，而研究葉片的成分，則能夠進一步瞭解樹葉之燃燒性質並且藉此評估該樹種的防火能力。

台灣在 1963 年至 2004 年間國有林平均每年發生 34.62 次火燒。在 1964~1990 年期間每年均在 50 次以下變動。趨勢至 1991 年起逐漸改變，森林火發生次數呈現上升現象，1996 年發生數首度超過 100 次，2002 年之發生數更高達 154 次，成為 42 年間之次高峰期，2003 及 2004 年發生數雖又趨下降，但森林火之發生數已呈現上升狀態。依上述之結果綜觀過去 42 年間之國有林森林火頻率變動，大致上 1960 年代屬於高峰期，1970~1980 年代為下降期，1990 年代開始進入另一高峰期，因此可初步界定國有林森林火呈現 20 年之波動週期。1991 年後林火上升之原因，除社會因子影響外，燃料累積問題可能是一個重要因素 (黃清吟和林朝欽，2005)。以森林火較頻繁的大甲溪事業區為例，依該地區之燃料調查數據顯示 (周巧盈，2004)，大甲溪事業區原以收穫臺灣二葉松為目的之林相變更，改以水資源為主的保安目標 (德委會，1991)，造成臺灣二

葉松林燃料型態改變，近年來森林火頻繁已被懷疑係燃料量過高所致（林朝欽，2003），加上強力滅火作業是否影響森林火發生數雖仍須進行實驗加以驗證，但其影響火燒強度確屬可能（林朝欽、邱祈榮，2002）。以森林火發生數加入中央氣象局各氣象站月平均降雨量整合分析，顯示國有林之火燒季節明顯出現在春季（一至四月），五月以後開始減少，夏初至秋中（七至十月）為森林火較少之季節，冬初（十一至十二月）則為火季開始。火季中以三月為森林火發生之最高峰（296 次），其次為一月（248次），再次為二月（231次）及四月（208次），此四個月森林火發生次數高達 983 次，占全部森林火總數的 67.51 %。顯示國有林發生森林火的季節特性，此特性與降雨量有密切關係，大致上全臺月平均月降雨量與森林火發生數呈反比，1963 年至 2004 年間國有林之森林火發生地點主要發生在中央山脈之西側（84.66%），顯示國有林之森林火主要以南部的嘉義與屏東林區較多（650 次，44.70 %），中部的南投與東勢林區次之（581 次，39.96 %），北部與東部林區的森林火發生次數則相對減少，僅占 15.34 %。就單一林區而言，南投林區森林火發生次數最多（351 次，24.14 %），其次為屏東林區與嘉義林區，同為 325 次（22.35 %）。空間上南投、嘉義、屏東林區轄管海岸至中央山脈中南段，依第三次森林資源調查（林務局，1995）顯示，這三個林區之森林型態變化大，亦即燃料種類複雜，如丹大事業區、恆春事業區之草生地，造成森林火頻繁；大埔事業區之山地農業較多，可能亦是造成森林火發生次數較多的原因。因此如何就特殊燃料型態地區改善經營措施或定期進行燃料移除，與山地社區互動取得防火共識，是這三個林區值得重視的課題。再檢視八個林區所轄各事業區森林火發生情形，顯示發生頻度最高的五個事業區為：南投林區埔里事業區與嘉義林區大埔事業區均為 187 次（12.86 %）最多，其次依序為屏東林區旗山事業區（156 次，10.73 %），恆春事業區（137 次，9.42 %），以及東勢林區大甲溪事業區（136 次，9.35 %）；但上述的情形為整年（一至十二月）發生森林火的狀況，若僅以火燒季節（一至四月）分析，則主要分佈的地點仍為此五個事業區，但以大埔事業區最多（159 次），其次為旗山（138 次）、埔里（126 次）、恆春（97 次）、大甲溪（74 次）等事業區，顯然這五個事業區是國

有林森林火發生較敏感的區域 (黃清吟和林朝欽, 2005)。

根據李振問和阮傳成 (1995) 的實驗證明, 針闊葉樹的鮮葉燃點程度有所不同。當可燃物受到外界作用影響時, 呈現的燃燒現象就稱做著火現象。可燃物開始著火的最低溫度稱為燃點 (劉菲和胡海清, 2005)。不同樹種的著火溫度高低對於森林火災行為從地表火轉變為樹冠火非常重要。依著火溫度來看, 最高的木荷 (*Schima superba*) 分別高出馬尾松 (*Pinus massoniana*) 和杉木 (*Cunninghamia lanceolata*) 74.7 °C 和 58.2 °C, 闊葉樹種木荷及火力楠 (*Michelia macclurei*) 的含水率均高於針葉樹的馬尾松及杉木, 因此木荷樹種能夠減緩地表火快速轉變為樹冠火。

除了含水率及燃點外, 森林可燃物的成分如: 灰分、醇苯抽出物、木質素含量及粗脂肪含量, 這些也是構成火災的蔓延速率因子。Tian 等 (2001) 實驗中得知針葉樹的醇苯抽出物平均值為 19.82 %, 高出闊葉樹的 14.11 %, 針葉樹樹葉在溫度較低條件下產生的揮發性氣體多, 易於燃燒。

林木枯落物的燃燒性也常被認為是影響火災因素之一 (Chandler *et al.*, 1983; Zheng and Ju, 1988), Tian 等 (2007) 實驗證明, 用木荷葉片及馬尾松的針葉做燃燒比較, 得到松針的燃燒曲線在 8 秒時大幅增加, 且在第 70 秒時有效熱傳導係數達到最高峰。

在台灣, 中部地區大甲事業區一直是森林火災發生頻率最高的敏感區域 (邱祈榮等, 2006), 近幾年來林務局持續加強防火機制的設置與滅火技術的改善, 並與國防部及空勤總隊合作, 已將森林火災發生次數降低甚多, 但對於林火發生的敏感區域仍須選擇適當的防火樹種, 以便降低人力資源成本, 作為事先防範森林火災措施為上策。因此研究樹種的物理與化學特性, 並選擇適當的防火樹種是防止森林火災發生的基礎 (李世友等, 2009)。樹種燃燒的難易程度與速度稱為樹種的燃燒性, 其與該樹種作為燃料的物理及化學性質息息相關 (黃清吟等, 2009), 而這些物理及化學性質包含葉片含水率、葉片醇苯抽出物 (phenethyl alcohol extraction)、葉片木

質素 (lignin)、葉片粗灰分、熱重量損失分析及葉部分解速率等。

葉片燃料的含水率是火燒的關鍵因子，具有較高含水率的樹種，顯然是理想的防火樹種。葉雙峰 (2003) 調查 17 種中國北方的針闊葉樹種的葉含水率顯示：針葉樹普遍比闊葉樹來得低，例如樟子松 (*Pinus sylvestris* var. *mongolica*) 葉含水率 (108.54%) 比赤楊 (*Alnus formosana*)(246.29%) 低甚多；張家來等 (2000) 針對湖北的 45 種針闊葉樹的調查也呈現類似情形，例如杉木 (33%) 與冬青 (*Ilex chinensis*) (96%) 差距也甚大。黃清吟等 (2009) 實驗證明落葉樹種台灣赤楊相較於其他闊葉樹有較低的含水率，而木荷、米飯花及細葉杜鵑三種有較高含水率。因此含水率高的樹種不易燃燒，乃是水分有很大的熱容量所致，此外含水率越高則需要花更高的熱值才使水分揮發，也是不易燃燒之因。

除含水率外，抽出物含量亦影響為燃料引燃難易的重要因子。舒立福等 (2000) 實驗指出，含水率、苯-乙醇提取物、木質素含量和灰分含量是影響葉片抗火能力的主要指標。黃清吟等 (2009) 分析結果顯示，各樹種抽出物中除楊梅 (*Myrica rubra*) 特別偏低外，其餘各樹種差異不大，且針葉樹種與闊葉樹種間並無差別。另外熱值、灰分含量、纖維素及木質素等因子，在所調查的樹種中並無明顯的趨勢，例如灰分含量愈高者表示其引燃不易，但楊梅灰分含量比台灣二葉松低，熱值亦有類似的現象，台灣赤楊的熱值最高，但台灣赤楊為落葉樹種每年產生乾細質燃料不利防火。單一因子顯然無法評估防火樹種的選取，因此就目前所得的燃料燃燒性狀數據仍需再與其他生物/生態及造林等因子綜合評估，方能作為選擇樹種之參考 (黃清吟等，2009)。就樹種生物與生態性的調查看，常綠樹種中之台灣二葉松屬於針葉樹。就防火林帶樹種選擇的標準，通常以選擇常綠闊葉樹為主，因此將赤楊、栓皮櫟、及台灣二葉松去除，其餘常綠闊葉樹的生物性而言，米飯花、木荷、青剛櫟若在密植的狀況下比其他樹種容易達成鬱閉狀態。其次枝下高的結果顯示：細葉杜鵑、楊梅是較理想的樹種。再就枯枝數評估結果顯示：木荷與楊梅是較不理想的樹種。另外就樹幹分叉

數來看，細葉杜鵑、楊梅是較優的樹種。就樹種造林特性而言，從現有的造林地及天然林裡的調查資料顯示：楊梅及栓皮櫟均有超過 30 % 的林木生長不良，台灣二葉松與赤楊則有超過 20 % 之林木生長不良，青剛櫟亦有 17.59 % 之林木有此現象。若以生長良好的樹種作選擇，則米飯花、木荷、細葉杜鵑要比其他樹種為優（林朝欽，2010）。

燃料引起燃燒可以分為兩個明顯的過程：一為固相可燃物的熱解，另一為揮發物的氣相氧化反應，經由熱重實驗可充分瞭解這兩種過程（黃清吟等，2009）。邵占杰等（2002）以木荷葉的熱重過程實驗顯示出木荷葉隨溫度的升高，發生三次的熱失重高峰，第一次發生在 40~120 °C；第二次發生在 260~370 °C；第三次發生在 420~510 °C，整個失重過程顯示燃料水分析出蒸發扮演了重要的角色，因此熱重量損失分析亦是篩選防火樹種的考量。在許多研究中，木荷已為一良好的防火樹種選擇（劉開邦等，2009；林沐恩，2004；舒立福等，2000），對於其他防火樹種的研究仍須更進一步篩選。

經整理林務局造林台帳資料，將歷年紀錄防火線內造林內容自 1992 年迄 2004 年共 16 筆資料，12 年間共造林 83.24 ha，總經費 55,967,480 元，主要造林樹種包括楊梅、木荷、青剛櫟、長尾尖櫟（*Castanopsis carlesii*）、石櫟（*Cyclobalanopsis gilva*）及狹葉櫟，造林方式則採密植的栽種，每公頃 3,000~5,000 株。依台帳記錄，每公頃造林 3,000 株的林地，平均成活株數 2,224 株，成活率 74.13 %；而每公頃造林 5,000 株之林地，平均成活株數 4,010 株，成活率 80.20 %，統計所有防火線上造林平均成活率 77.17 %。各造林地依一般造林撫育作業方式管理，因此均經 1~3 次之補植作業，惟主要造林樹種中長尾尖櫟及石櫟並未在樣區調查中發現。有關防火林帶上之林木生長狀況分析楊梅及栓皮櫟均有超過 30 % 的林木生長不良，台灣二葉松與台灣赤楊則有超過 20 % 之林木生長不良，青剛櫟亦有 17.59 % 之林木有此現象。生長良好的樹種以兩種松類、昆蘭樹、大頭茶及米飯花，均屬於非造林計畫選用的樹種（黃清吟等，

2009)。

樹種的抗火、耐火和阻火性除與其本身內含物有關外，亦與其生物特性（樹冠型態、生長速度、萌芽能力、葉片厚度及質地等等），生態特性（適應性等）有關（黃清吟等，2009；熊翠林和劉桂華，2008；徐六一等，2005）。林地上枯落物的分解速率快慢，經常是決定森林火災燃料來源的關鍵（藍佩芬等，2009），因此，瞭解森林火災易發生的敏感區域的枯落物分解速率，也是本研究的重點。故選擇防火樹種時，需要考慮樹種之生物學和生態學特性，大面積造林容易與經濟價值高的條件也需一併列入。

肆、材料方法

本研究試驗地選擇武陵吊橋至桃山瀑布步道之森林防火線 (圖 1)。武陵位於雪霸國家公園內。行政區域隸屬於台中縣和平鄉，距梨山約 30 km。本試驗區海拔高 2,100 至 2,500 m 之間，為高海拔區域。氣候屬於副寒帶山地氣候區，終年平均氣溫約 15 °C 左右，年雨量約 1,600 mm，降雨量集中在 5 ~ 9 月，形成乾、濕明顯之季節。地層主要由硬頁岩及石英質的砂岩所組成，地表由保水力及通氣性佳的粘質壤土組成。區內植物受地形、氣候與土壤影響分佈，林型概分為針葉林型、針闊葉混生林型與闊葉林型。

樹種選擇以分佈該地區環境生長之植物為主，包括木荷(*Schima superba*)、台灣赤楊(*Alnus japonica*)、楊梅(*Myrica rubra*)、華山松(*Pinus armandii*)、狹葉欒(*Cyclobalanopsis stenophylloides*)、菱葉柃木(*Eurya gnaphalocarpa*)、山肉桂(*Cinnamomum insularimontanum*)、桂花(*Osmamthus fragrans*)、栓皮欒(*Quercus variabilis*)、青剛欒(*Cyclobalanopsis glauca*)、台灣雲葉(*Trochodendron aralioides*)、紅檜(*Chamaecyparis formosensis*)、高山莢蒾(*Viburnum propinquum*)、台灣紅榨槭(*Acer morrisonense*)、楓香(*Liquidambar formosana*)、青楓(*Acer serrulatum*)、阿里山千金榆(*Carpinus kawakamii*)、大頭茶(*Gordonia axillaries*)、長葉木薑子(*Litsea acuminata*)、台灣胡桃(*Juglans cathayensis*)等 20 種。



圖 1.試驗區採取樹種路線(以紅線為主)。

野外葉片分解試驗

生立木葉片含水率測定

選擇測試樣本，每種至少 5 株以上，逢機採取 50 g 葉片，現場測定重量，攜回實驗室後，以 105 °C 烘乾後，計算立木葉片含水率。

依下列方式計算含水率：

$$\text{葉片含水率 (\%)} = (\text{葉鮮重} - \text{絕乾重}) / \text{絕乾重} \times 100 \%$$

分解袋的製作

將樣區中採下的葉片依不同樹種分配放置，每個分解袋為 30 × 15 cm、網目 1 mm 孔徑的尼龍網袋放置 50 g 的植物葉片 (圖 2)。



圖 2.分解袋尺寸 (30 × 15 cm)。

分解袋設置

分解袋以每種樹種裝 33 包，共 20 種樹種，分解袋共 660 包。將每個樹種 30 包放置海拔約 2,200 公尺的林地地表自然分解(圖 3)，剩下的 3 包帶回實驗室做含水率測定以及後續的分析試驗。

分解袋回收

分解袋放置林地後開始算起，分別在放置後 1 個月、3 個月、5 個月、7 個月、9 個月回收。每個樹種每次回收 6 包，進行分解速率測定。

室內實驗

將放置在野外 1 個月後的分解袋回收，帶回實驗室烘乾後刮除附著泥沙以電子秤稱重，比較各樹種在重量上分解速率。烘乾後稱重以磨粉機磨成粉，繼續進行防火性能檢定。未做分解處理的樣本帶回實驗室後烘乾、稱重比較含水率，接著打成粉末進行葉片成份分析 (圖 4)。



圖 3. 分解袋放置林地上狀況。



圖 4. 20 種葉片絕乾後磨粉裝瓶。

灰分檢測

秤取樣本 4 g 放入坩鍋，移入灰化爐內 (圖 5)，將溫度逐漸上升至 550 °C，灰化 4~6 小時取出，置入乾燥器中冷卻後稱重。計算方式如下：

$$\text{粗灰份含量 (\%)} = (W_1 - W_0) / S \times 100 \%$$

W_1 = 灰化後坩鍋和灰分之重量 (g)。

W_0 = 坩鍋重量 (g)。

S = 樣本重量 (g)。



圖 5. 試驗所用灰化爐。

醇苯抽出物

將萃取筒與萃取瓶洗淨，取磨碎後過篩 (2 mm) 之木粉 4 g 放入萃取筒中，筒口處以圓形濾紙覆蓋，以防試材散溢，然後置於萃尿管中，倒入 150 mL 醇苯混合液 (1 容積 50 ml 95 % 乙醇和甲苯 2 容積 100 mL = 1:2) 加入萃取瓶中，萃取器裝置緊密組合後，在 85°C 熱水浴中萃取 4 ~ 5 小時，使溶液急速沸騰，每小時約產生 6 次虹吸 (siphonings)，在水浴過程中須注意水浴鍋中水份的減少，及時補充，以免乾燒 (圖 6)。將萃取瓶的液體放置濃縮機 (圖 7)，將醇苯混合液抽出後剩下的液體烘乾秤重。



圖 6. 將水浴槽維持 85 °C 使溶液沸騰每小時約產生 6 次虹吸。



圖 7. 利用濃縮機使抽出物及混合液分離。

木質素之測定

卡森氏 (Klason) 以不抽出物之木質化木材為材料，用強硫酸溶解纖維素與半纖維素，再用水稀釋，即得到不可溶解之木質素，俗稱為卡森氏木質素 (Klasonlignin) (丁昭義, 1999)。秤 1 g 經醇苯抽出處理過之木粉，倒入 100 mL 三角瓶內。慢慢加入 72 % H_2SO_4 溶液 15 mL，將三角燒瓶於 20 °C 水浴中，用玻棒攪拌之，使此混合物充分膠化。如此處理 2~4 小時後，以 560 mL 蒸餾水，分數次將膠化之混合物充分洗入 1000 mL 三角瓶中。放入高溫高壓滅菌釜中後，以高溫高壓 (121°C, 15Psi) 蒸煮 30 分鐘。以玻璃過濾器 (1G3) 過濾，再以熱水充分洗滌至不呈酸性為止。將玻璃過濾器及其內之殘留木質素放入烘箱，以 105 °C 烘乾，移入乾燥器內冷卻後予以秤重。

$$\text{木質素含量 (\%)} = (\text{殘留物重量} / \text{試材重量}) \times 100 \%$$

熱重量分析

受控制的溫度程序下，測量物質質量與溫度關係的一種技術。將樣品置於特定氣氛之下改變其溫度環境或維持在一固定溫度之下，觀察樣品的重量變化情形，可進而推斷樣品的特性與組成。熱重分析儀中最重要兩大元件是溫度控制系統和重量量測元件。結合此兩元件，在不同溫度變

化下，試料重量的變化都能被完整的紀錄下來。

統計分析法

由於防火樹種受多方面因素影響，各種評估方法均需統籌兼顧所有因子，就現有的文獻結果顯示：統計分析法中的主成分分析法考慮到不同主成分的貢獻度，提供較強的辨別和分類價值。

樹種的生物學、生態學、造林學特性及經濟價值資料收集

就所選的樹種查定各項特定資料，包括落葉或常綠；樹種型態；分佈地理位置；育苗與造林的條件，以及樹種的經濟價值等等。

伍、結果與討論

樹種生立木含水率及乾濕季含水率差異

森林火災引發首先由枯死的細小燃料如枯枝落葉，但其傳播大部分由生鮮之樹葉引燃產生。含水率越高表示需要更大量的熱能才能燃燒，因而防火樹種通常取樹葉含水率越高者越有效。根據試驗區中的 20 種樹種葉片做含水率的測定。植物葉片含水率會因生態性及氣候影響，導致各樹種間有不同差異。由含水率最高的菱葉柃木(189.1%) 至最低含水率的桂花(73.6)，差異十分巨大 (表 1)。

表 1. 20 種防火樹種生立木葉部含水率及乾季葉部含水率

樹種	葉片含水率 (%)	乾季含水率 (%)
菱葉柃木	189.1	134.1
台灣紅榨槭	176.7	131.5
台灣胡桃	166.6	*
楓香	147.4	*
華山松	142.4	127.9
台灣赤楊	136.6	*
木荷	131.3	130.7
紅檜	130.4	114.5
阿里山千金榆	121.8	*
楊梅	119.8	107.5
台灣雲葉	117.5	116.7
大頭茶	116.9	107.3
山肉桂	114.3	110.8
高山莢蒾	112.9	110.5
青楓	105.2	*
狹葉欒	101.4	81.6
長葉木薑子	95.3	85.4
青剛欒	94.6	85.6
栓皮欒	88.3	*
桂花	73.6	72.9

* 乾季因落葉而無法測定

重量留存率

林木的枯枝落葉在森林生態系中佔有相當重要的位置，地面枯落物存在為自然或人為因素導致森林火災原因之一，若地面枯落物層減少，則發生火災機率降低。由（表 2）得知葉片在第九個月依重量分解速率排序由快到慢為狹葉櫟、台灣胡桃、栓皮櫟、菱葉柃木、台灣紅榨槭、台灣雲葉、阿里山千金榆、紅檜、山肉桂、木荷、華山松、青剛櫟、楊梅、青楓、楓香、高山莢蒾、台灣赤楊、大頭茶、長葉木薑子、桂花。第一、三個月及第七、九個月分解速率較快，因為第一、三個月為樣本水分的流失及第七、九個月為受到溫度偏高及水分充足的春夏季使分解速率增快。

表 2. 20 種樹種重量留存率

樹種	第一個月 (%)	第三個月 (%)	第五個月 (%)	第七個月 (%)	第九個月 (%)
狹葉櫟	97.1	79.2	71.8	69.3	57.5
台灣胡桃	85.4	80.9	73.1	61.7	58.7
栓皮櫟	88.1	82.6	80.7	68.4	60.7
菱葉柃木	85.7	76.3	73.2	71.7	62.6
台灣紅榨槭	85.2	76.4	72.4	67.6	63.6
台灣雲葉	89.6	82.6	78.7	78.5	66.2
阿里山千金榆	97.8	89.7	80.2	67.3	66.8
紅檜	95.0	85.7	81.5	71.8	67.0
山肉桂	92.0	82.5	77.9	75.4	67.7
木荷	88.2	81.4	80.7	77.3	68.3
華山松	91.5	83.4	79.3	76.6	71.7
青剛櫟	97.6	90.2	87.8	80.4	72.0
楊梅	90.8	85.4	80.1	78.0	72.6
青楓	91.9	83.7	83.6	75.4	72.6
楓香	87.6	83.4	80.6	73.9	72.9
高山莢蒾	94.4	87.4	78.7	78.7	73.4
台灣赤楊	91.4	82.8	80.0	78.8	74.6
大頭茶	97.5	93.3	89.2	84.0	80.4
長葉木薑子	95.2	91.2	90.1	85.7	83.9
桂花	98.5	92.4	91.7	90.5	89.1

樹種燃燒性

在樹葉中灰分含量越高顯示可燃物質相對少些，抗火性能就會較強。燃料的抽出物則相反，燃料抽出物可在較低的溫度下分解，與引發燃燒及火勢蔓延有關連，同時在燃燒時也釋放大量熱，故防火樹種宜取抽出物含量較少的種類。植物體主要由纖維素與木質素組成，通常纖維素之含量較木質素高，但木質素化學結構屬於難分解與燃燒的物質。因此，選擇木質素含量高的樹種作為防火樹種較為有利，至於纖維素含量則關係到熱分解產生燃燒；由於纖維素含量與木質素有一定的比例，較少的纖維素含量表示較多的木質素含量，故對抗火的擴展較有功效（林朝欽，2010）。

由（表 3）得知灰分含量以楓香、阿里山千金榆和青楓較多，華山松及楊梅最少；抽出物以台灣雲葉、桂花、楊梅、台灣胡桃、楓香、華山松、阿里山千金榆較多，而菱葉柃木、大頭茶、木荷最少；木質素則是楊梅和長葉木薑子較多，華山松和菱葉柃木為少量。灰分、醇苯抽出物和木質素的含量變化相當大，難以用單一成分來做防火性能評估，需以熱種分析結果作為比較。

表 3. 20 種樹種灰分、抽出物及木質素含量

樹種	灰分 (排序) (%)	抽出物 (排序) (%)	木質素 (排序) (%)
木荷	3.41 (17)	6.02 (3)	32.56 (9)
台灣赤楊	3.30 (18)	8.01 (6)	37.80 (4)
楊梅	2.34 (20)	13.28 (18)	41.78 (2)
華山松	2.70 (19)	11.04 (14)	20.88 (20)
狹葉櫟	5.37 (10)	8.62 (8)	28.37 (16)
菱葉柃木	6.34 (9)	4.89 (1)	24.42 (19)
山肉桂	4.50 (13)	9.01 (9)	34.74 (8)
桂花	5.24 (11)	18.88 (19)	32.22 (11)
栓皮櫟	5.23 (12)	9.13 (10)	38.90 (3)
青剛櫟	8.49 (7)	7.58 (5)	35.89 (6)
台灣雲葉	4.28 (14)	21.34 (20)	34.75 (7)
紅檜	6.84 (8)	10.54 (13)	37.35 (5)
高山莢蒾	9.39 (4)	9.77 (11)	31.81 (12)
台灣紅榨槭	8.72 (5)	8.06 (7)	29.97 (15)
楓香	14.52 (1)	11.81 (15)	32.28 (10)
青楓	11.96 (3)	6.51 (4)	31.33 (13)
阿里山千金榆	13.11 (2)	11.87 (16)	26.79 (17)
大頭茶	4.21 (15)	5.62 (2)	26.13 (18)
長葉木薑子	3.69 (16)	10.22 (12)	45.33 (1)
台灣胡桃	8.60 (6)	12.94 (17)	30.81 (14)

註：()內數字表排序

熱重量分析

由(表4)所示為各樹種葉部之熱重分析結果，由於所得樣本在熱重分析前須經乾燥、磨粉、秤重等步驟，多少會吸收到水分。所以第一階段為水分的蒸發，一般重量損失較小，失重率 5.1~10.8 之間。第二階段起始溫度除了木荷、桂花、栓皮櫟、紅檜、台灣紅榨槭及台灣胡桃外，均在 202~222 °C，各樹種的失重率約在 43.3~64.0 之間。而第三階段的起始溫度約在 348.3~387.8 °C，失重率約在 20.4~42.7 之間。由於第一階段的含水量失重會影響到第二、三階段的失重，所以僅需考慮此二階段得相對比例來了解樹種燃燒性。各樹種的第二階段均大於第三階段，以針闊葉樹及常綠落葉性樹種作為區分，針葉樹華山松失重率低於紅檜，顯示出華山松在第二階段溫度下所燃燒的物質少於紅檜。闊葉樹又分為常綠及落葉，常綠樹種失重率低至高排序為長葉木薑子、楊梅、高山莢蒾、大頭茶、木荷、桂花、山肉桂、菱葉柃木、狹葉櫟、台灣雲葉、青剛櫟；落葉性排序為楓香、阿里山千金榆、台灣紅榨槭、青楓、台灣赤楊、台灣胡桃及栓皮櫟。

表 4. 20 種樹種葉部之熱重分析測定結果

樹種	第一階段	第二階段		第三階段		重量保留率(%)
	失重率 (%)	溫度範圍 (°C)	失重率 (%)	溫度範圍 (°C)	失重率 (%)	
木荷	5.1	159.5~362.6	54.5	362.6~586.2	38.5	1.9
台灣赤楊	8.0	202.4~349.5	48.1	349.5~586.2	41.3	2.6
楊梅	10.4	223.2~349.0	45.0	349.0~587.6	40.0	4.6
華山松	6.0	202.3~367.8	58.2	367.8~586.3	33.6	2.2
狹葉櫟	5.6	201.9~387.8	59.5	387.8~586.1	30.2	4.7
菱葉柃木	7.9	201.8~387.6	58.3	387.6~586.2	26.4	7.4
山肉桂	5.8	201.8~366.4	57.9	366.4~586.6	28.7	7.6
桂花	3.5	182.1~367.1	56.8	367.1~585.9	34.6	5.1
栓皮櫟	5.9	182.1~386.8	59.0	386.8~586.2	29.2	5.9
青剛櫟	6.6	201.9~344.4	64.0	344.4~586.1	20.4	9.0
台灣雲葉	6.2	201.9~385.7	62.9	385.7~586.3	27.3	3.6
紅檜	5.2	182.4~367.6	58.6	367.6~586.4	30.1	6.1
高山莢蒾	10.8	222.0~366.1	50.0	366.1~586.2	25.5	13.7
台灣紅榨槭	5.5	182.3~348.3	45.8	348.3~586.2	40.0	8.7
楓香	9.7	222.2~367.5	43.3	367.5~586.6	32.3	14.7
青楓	8.9	222.4~367.4	46.7	367.4~586.3	32.6	11.8
阿里山千金榆	9.9	222.2~365.9	45.3	365.9~586.5	31.2	13.6
大頭茶	7.5	202.1~368.4	51.3	368.4~586.4	37.3	3.9
長葉木薑子	11.5	242.2~348.8	42.1	348.8~583.8	42.7	3.7
台灣胡桃	6.0	182.4~386.5	54.7	386.5~586.5	29.5	9.8

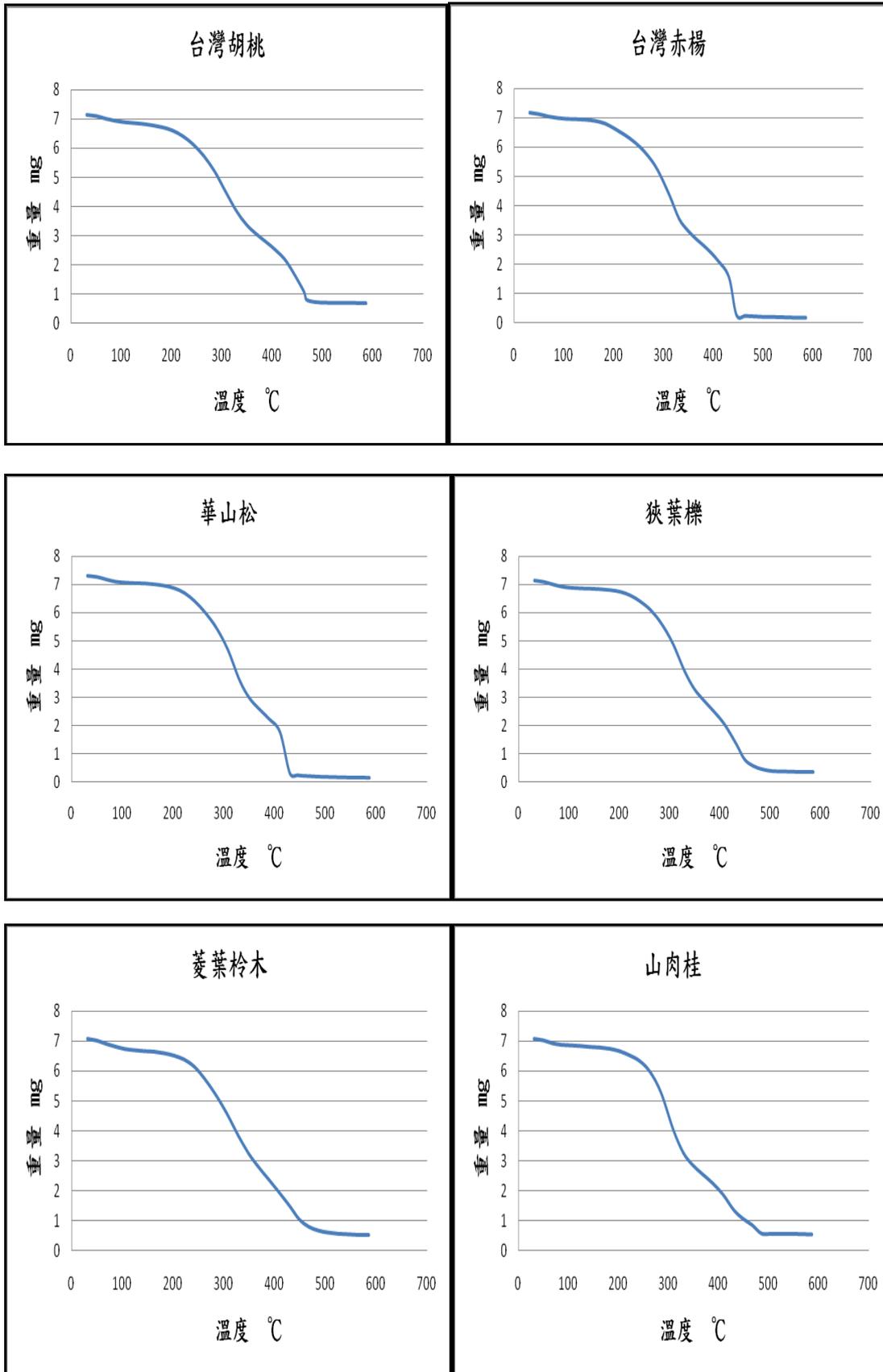


圖 8. 台灣胡桃、台灣赤楊、華山松、狹葉櫟、菱葉柃木、山肉桂重量損失曲線。

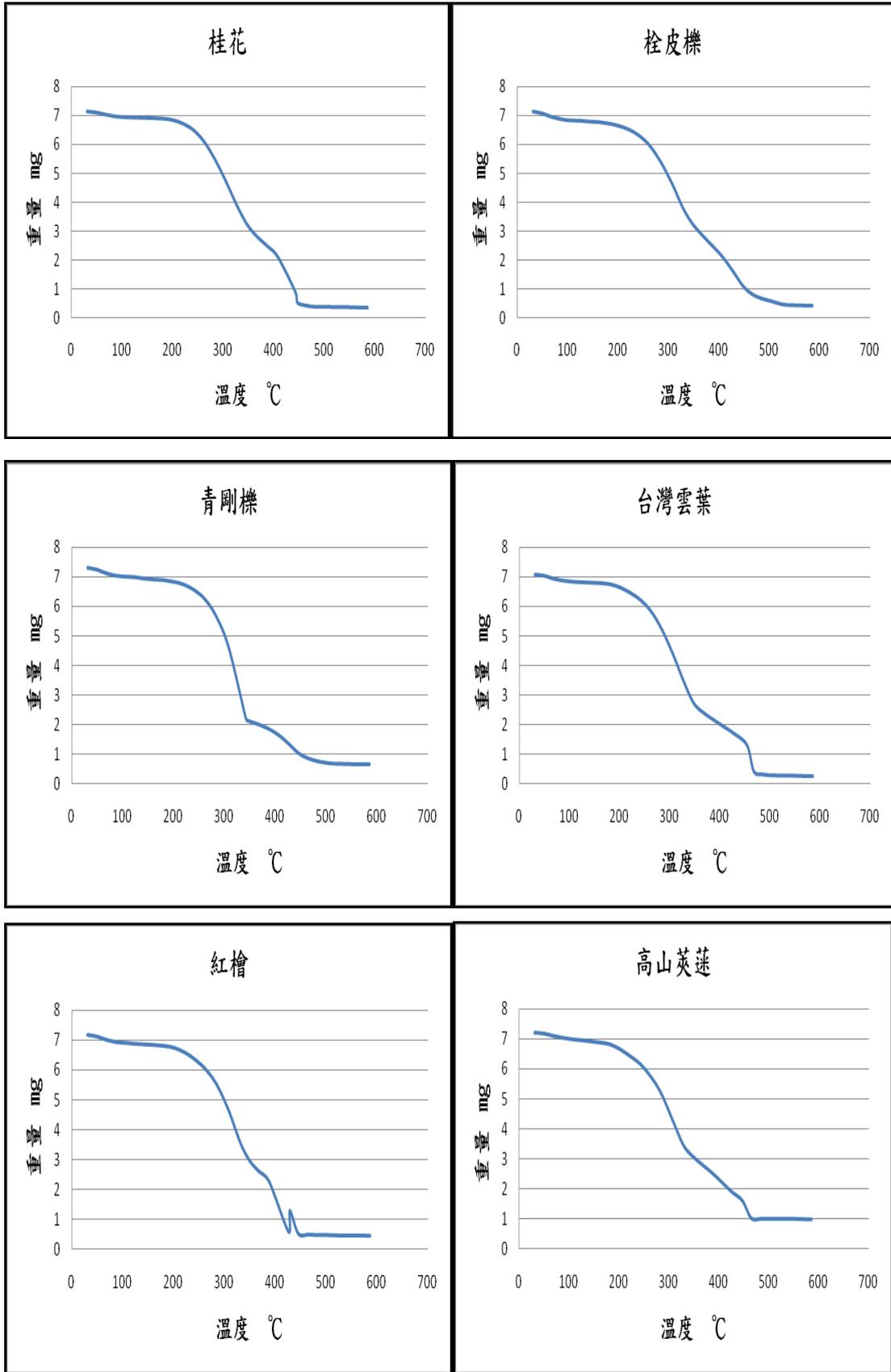


圖 9. 桂花、栓皮櫟、青剛櫟、台灣雲葉、紅檜、高山莢蒾重量損失曲線。

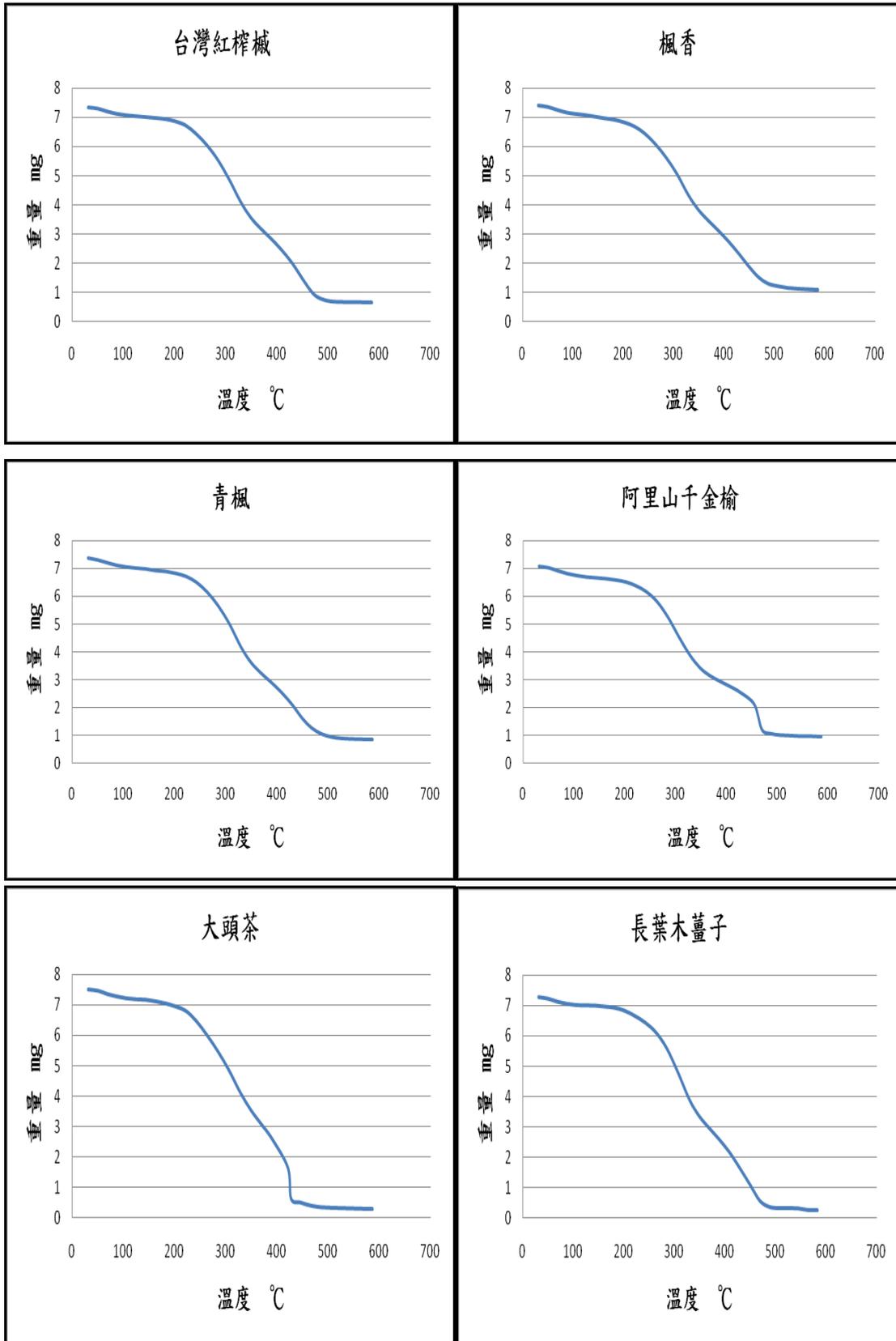


圖 10. 台灣紅榨槭、楓香、青楓、阿里山千金榆、大頭茶、長葉木薑子重量損失曲線圖。

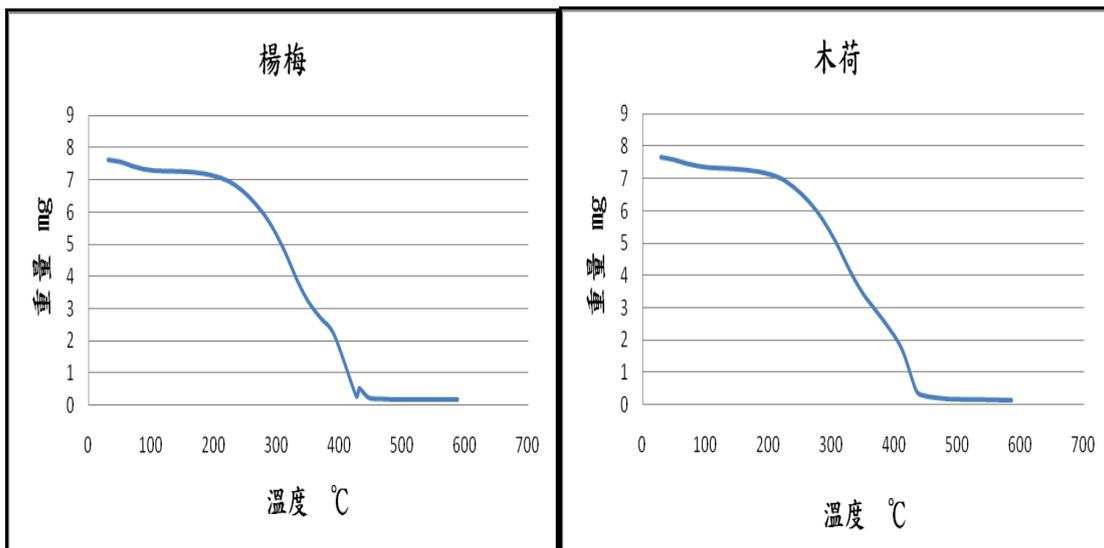


圖 11. 楊梅、木苜重量損失曲線圖。

統計分析

依抽出物含量、含水率、重量留存率、木質素含量及灰分含量 5 個因子的主要貢獻度，將這 5 個因子利用主成份分析結果顯示：除了灰分含量之外，其餘 4 個因子的貢獻度已達到 90.58 %，分別為含水率 (40.16 %)、木質素 (19.36%)、重量留存率 (16.52%) 及抽出物含量 (14.71%)。用主成份分析法公式推算出各樹種對於耐火性的優劣，以抽出物、含水率、重量留存率及木質素含量來做比較，由 (表 5) 得到針葉樹種華山松優於紅檜。闊葉樹種中落葉性樹種依排序為台灣紅榨槭、台灣胡桃、楓香、台灣赤楊、阿里山千金榆、青楓、栓皮櫟 (表 6)。常綠樹種依序排列得到菱葉柃木、木荷、楊梅、台灣雲葉、大頭茶、山肉桂、高山莢蒾、長葉木薑子、青剛櫟、狹葉櫟、桂花 (表 7)。篩選優良防火性樹種經試驗結果表示可分兩大類，落葉性樹種以台灣紅榨槭、台灣胡桃、楓香、台灣赤楊，常綠樹種以菱葉柃木、木荷、楊梅、台灣雲葉等，並加強常綠樹種為較佳防火樹種。

主成份計算方式：

$$\text{總值} = X_1W_{11} + X_2W_{12} + X_3W_{13} + X_4W_{14}$$

X_1 ---含水率	W_{11} ---含水率權重
X_2 ---重量留存率	W_{12} ---重量留存率權重
X_3 ---抽出物	W_{13} ---抽出物權重
X_4 ---木質素	W_{14} ---木質素權重

表 5. 針葉樹樹種燃燒特性排序

樹種	抽出物 含量(%) (14.71%)	權重	含水率 含量(%) (40.16%)	權重	重量留存率 含量(%) (16.52%)	權重	木質素 含量(%) (19.36%)	權重	排序 總值 (%)	抗火 排序
華山松	11.0		142.4		71.7		20.8		74.7	1
紅檜	10.5		130.4		67.0		37.3		72.2	2

註：排序總值計算為抽出物含量 (%) × 權重 (%)，其他項目依此類推。

表 6. 闊葉樹落葉樹種燃燒特性排序

樹種	抽出物 含量(%) (14.71%)	權重	含水率 含量(%) (40.16%)	權重	重量留存率 含量(%) (16.52%)	權重	木質素 含量(%) (19.36%)	權重	排序 總值 (%)	抗火 排序
楓香	11.8		147.4		72.9		32.2		79.5	3
阿里山千金榆	11.8		121.8		66.8		26.7		66.8	5
栓皮櫟	9.1		88.3		60.7		38.9		50.3	7
台灣胡桃	12.9		166.6		58.7		30.8		84.4	2
台灣赤楊	8.0		136.6		74.6		37.8		70.5	4
台灣紅榨槭	8.0		176.7		63.6		29.9		88.4	1
青楓	6.5		105.2		72.6		31.3		61.2	6

註：排序總值計算為抽出物含量 (%) × 權重 (%)，其他項目依此類推。

表 7. 闊葉樹常綠性樹種燃燒特性排序

樹種	抽出物 含量(%) (14.71%)	權重	含水率 含量(%) (40.16%)	權重	重量留存率 含量(%) (16.52%)	權重	木質素 含量(%) (19.36%)	權重	排序 總值 (%)	抗火 排序
長葉木薑子	10.2		95.3		83.9		45.3		62.4	8
楊梅	13.2		119.8		72.6		41.7		70.1	3
高山莢蒾	9.7		112.9		73.4		31.8		65.0	7
大頭茶	5.6		116.9		80.4		26.1		66.1	5
木荷	6.0		131.3		68.3		32.5		71.1	2
桂花	18.8		73.6		89.1		32.2		53.3	11
山肉桂	9.0		114.3		67.7		34.7		65.1	6
菱葉柃木	4.8		189.1		62.6		24.4		91.7	1
狹葉櫟	8.6		101.4		57.5		28.3		57.0	10
台灣雲葉	21.3		117.5		66.2		34.7		68.0	4
青剛櫟	7.5		94.6		72.0		35.8		57.9	9

註：排序總值計算為抽出物含量 (%) × 權重 (%), 其他項目依此類推。

樹種的生物學、生態學、造林學特性及經濟價值資料收集

1. 木荷

形態特徵：常綠喬木，葉芽圓錐形，被短柔毛，無芽鱗。葉叢生枝端，卵形以至長橢圓形，先端而極端不銳，基部楔形，常具細鈍鋸齒，面暗綠，背蒼白。

生態分佈：分佈於中央山脈海拔 300~2,300 m 地區。

經濟價值：木荷木材紋理密而稍斜曲，結構均勻，材質稍重，加工容易，乾燥後不易變形。耐腐，色調均勻，縱切面具光澤，為紡織工業紗綻、紗管及其他鑿刨細木工的上等用材。樹皮、樹葉含單寧。樹冠濃密，葉片厚革質，可阻隔樹冠火。樹冠高大，葉子濃密，木質堅硬，再生能力強。

造林育苗特性：造林地以土壤較深厚的山坡為宜。以播種繁殖為主，年雨量 1200~2000 mm，年平均氣溫 15~22℃。在排水良好之酸性土類及肥厚、濕潤、疏鬆的砂壤土生長良好，在鹼性土質中生長不良。

2. 楊梅

形態特徵：常綠灌木或小喬木，葉長倒卵形或長橢圓形，先端圓鈍，罕銳形，基部楔形，兩面無毛，疏被金黃色樹脂腺體，全緣或上半部有鈍鋸齒。

生態分佈：分佈於台灣海拔 300~1500 m 之山麓。

經濟價值：楊梅的葉、根與枝幹表皮富含單寧，可提煉黃酮類與精油物質，用作赤褐色及醫療上的收斂劑。楊梅的核仁中含有維生素 B17，是一種抗癌物質。

造林育苗特性：楊梅樹喜陰氣候，喜微酸性的山地土壤，其根系與放線菌共生形成根瘤，吸收利用天然氮素，耐旱耐瘠，是一種非常適合山地退耕還林，保持生態的理想樹種。楊梅一般偏好用大苗移栽，培育楊梅應在 3~4 年後移植，株距以 4 m、6 m 為宜。

3. 台灣赤楊

形態特徵：落葉大喬木，樹皮暗灰褐色，平滑。葉互生卵形或橢圓形，細鋸齒緣。

生態分佈：廣泛分佈於全島平地至海拔 3,000 m 處之地區。

經濟價值：可作防風樹，同時也是造林和水土保持的重要樹種。木材可供作紙漿，或作為栽培香菇或白木耳的段木。根系發達，有根瘤菌，具改良土壤之效。

造林育苗特性：種實處理木質毬果攤開曝曬，翻動始種子脫落。乾燥後儲藏於 5 °C 或 -20 °C。無休眠性，發芽容易。喜崩壞地溪畔或腐植質少地區，砂質壤土，造林時期以北部和中部 2~4 月，南部 5~8 月。

4. 華山松

形態特徵：大喬木，樹皮淺龜裂或不規則縱裂，但幼樹皮平滑；芽鱗先端銳尖形。葉 5 針一束。

生態分佈：華山松在臺灣分佈於中北部之高山地區，自然分佈區年平均氣溫多在 15°C 以下，稍耐乾燥瘠薄。分佈海拔地為 2,100~3,350 m。

經濟價值：邊材心材區別明顯，心材淡褐色，春秋材區別顯著，故年輪明顯，杉質柔軟緻密無反撥碎裂之虞，可供建築、家具及木纖維工業原料等用材。樹幹可割取樹脂；樹皮可提取栲膠；針葉可提煉芳香油；種子可食用也可榨油。

造林育苗特性：適於溫和、涼爽、濕潤的氣候，忌高溫、乾燥的環境。喜排水良好，能適應多種土壤，最宜深厚、濕潤、疏鬆的中性或微酸性壤土，不耐鹽鹼土。

5. 狹葉櫟

形態特徵：喬木，葉革質，呈披針形至卵狀長橢圓形，先端漸尖，基部銳尖至鈍銳鋸齒緣，下表面常灰白和被毛。

生態分佈：分佈全島海拔 900~3000 m 左右山區。

經濟價值：莖幹可製作陀螺，山豬、飛鼠喜食果實，可用以誘捕。

造林育苗特性：(無資料)

6. 菱葉柃木

形態特徵：常綠小喬木至灌木，葉菱狀披針形或菱狀長橢圓形，先端漸尖鈍頭或微凹頭，基楔形，面灰綠，背綠褐。

生態分佈：產臺灣中高海拔地區。

經濟價值：植株小，尚未見開發利用。

造林育苗特性：(無資料)

7. 山肉桂

形態特徵：常綠中喬木，全株光滑無毛。樹皮平滑，略有肉桂香味。葉互生或略對生，長橢圓狀披針形，先端漸尖形，主脈三條，但兩側者較短。

生態分佈：臺灣中海拔最常見的樟科植物之一，亦是臺灣特有種，生長地方多屬岩礫地，陽光照射充分，較乾燥的南向山坡最為常見，全島均有分佈，中部的奧萬大，霧社均甚多。

經濟價值：木材可供製器具、造紙，樹皮作線香並可提煉精油，供作藥用或香料。樹冠濃綠，葉形優美光澤，且具肉桂香味，是理想綠化、美化樹種，適於庭園栽植。

造林育苗特性：栽培方法可用播種、扦插或高壓法繁殖，春季為播種適期。土質以肥沃砂質壤土為佳。日照、排水需良好。早春可修剪整枝。性喜溫暖環境，成株不耐移植。

8. 桂花

形態特徵：常綠灌木或小喬木，全株平滑。葉對生，橢圓形或長橢圓狀披針形。

生態分佈：亞熱帶及暖溫帶樹種，較耐蔭、陽光不足處，栽種之甚為適宜。

經濟價值：桂花對氯氣、二氧化硫、氟化氫等有害氣體都有一定的抗性，還有較強的吸滯粉塵的能力，常被用於城市及工礦區綠化。

造林育苗特性：一般採用盆栽，冬季移入溫室或冷窖中越冬，以保其正常生長。桂花在全光照下其枝葉生長茂盛，開花繁密，需注意有充足光照，以利於生長和花芽的形成。宜在土層深厚，排水良好，肥沃、富含腐殖質的偏酸性砂質土壤中生長。不耐乾旱瘠薄，在淺薄板結貧瘠的土壤上，生長特別緩慢。濕度對桂花生長發育極為重要。桂花一般採用扦插育苗，壓條繁殖，用於繁殖良種。嫁接繁殖是常用的方法，多用女貞、小葉女貞、小蠟、水蠟、流蘇和白蠟等樹種作砧木。扦插繁殖多在6月中旬至8月下旬進行。移植常在秋季花後或春季進行，也可在梅雨季節移栽，大苗需帶土球，種植穴多施基肥。

9. 栓皮櫟

形態特徵：落葉大喬木；幹皮灰褐色，縱向深溝裂。葉長卵形，先端長漸尖，葉緣具針狀鋸齒，裡面灰白色，被細毛。

生態分佈：生長於臺灣全島海拔 600~2,200 m 陽光充裕之處，耐旱，適應性頗廣，為火災後次生林之重要樹種。

經濟價值：樹皮具厚軟而有彈性的木栓層，是製作軟木塞的材料。木材堅韌耐磨，紋理直，耐水濕，結構略粗，是重要用材，可供建築，車，船，家具，枕木，等用，栓皮可作絕緣，隔熱，隔音，瓶塞等原材料，種子含大量澱粉，可提取漿紗或釀酒，其副產品可作飼料，總苞可提取單寧和黑色染料，枝幹還是培植銀耳，木耳，香菇等的材料。

造林育苗特性：常生於山地陽坡，但幼樹以有側方庇蔭為好。對氣候，土壤的適應性強。在 pH 4~8 的酸性，中性及石灰性土壤中均有生長，亦耐乾旱，瘠薄，而以深厚，肥沃，適當濕潤而排水良好的壤土和沙質壤土最適宜，不耐積水。主要的繁殖方法為播種，分蘖法亦可。

10. 青剛櫟

形態特徵：喬木。嫩葉及幼枝密生絹毛；幹皮灰褐色，略光滑。葉長卵形或橢圓形，楔腳或鈍腳，上半部有鋸齒，表面平滑，背面灰白疏生短毛。

生態分佈：生長於全島低海拔山麓至海拔 2,000 m 地區森林中。

經濟價值：材質堅韌，邊心材區分明顯，彈力大，耐摩擦，在構造材方面常被做為建築及車輛用材；農具用材方面是主要是做為器具柄用材。具觀果、觀葉、景園樹、行道樹功能，常被種為綠籬、防風用。種子富含澱粉，可供烤食；也是松鼠類動物的最愛。樹皮及殼斗富含鞣質可提取鞣質供工業用。

造林育苗特性：幼樹較好陰，成樹則宜植於日照充足處，其萌芽力旺盛，枝葉需酌加修剪，以促生長勢強，並防止病蟲害，移植略難，成樹需先行斷根，幼樹則需適量修剪根部。

11. 台灣雲葉

形態特徵：常綠喬木，樹皮暗褐。葉菱狀倒卵形或橢圓形，先端漸尖，尾狀，表面深綠色，有光澤，上半部有淺鋸齒。

生態分佈：分佈於全島低中海拔約 300~2,500 m 山區之闊葉林中，尤其以 1,600~2,400 m 間特別常見，陽明山在 600~1000 m 可見大片純林。

經濟價值：昆欄樹為闊葉二級木，為重要用材之一，木質優良可做傢俱，或者栽植為庭園遮蔭樹種。樹皮中含有黏質，常被浸於水中後提起，可用以捕鳥或捕蠅紙，因此有鳥糞之名。

造林育苗特性：土壤多為發育良好的黃壤或山地黃壤，pH 值 5.5~6.0。昆欄樹一般多生長在 25~35° 坡地，昆欄樹種子不能隨風遠揚。天然下種大都限於樹冠周圍，幼苗在較弱光照下生長較好，根係發達，多能長成大樹。採用種子繁殖。幼苗期需架搭蔭棚。

12. 紅檜

形態特徵：常綠大喬木；樹皮薄而呈淡紅褐色。小枝扁平，葉鱗片狀，先端尖銳，在小枝側面作覆瓦狀對生。

生態分佈：紅檜為臺灣特有種，產全島中央山脈海拔 1,000~2,800 m 之森林中。

經濟價值：木材以建築、傢俱、器具、雕刻及棺木一級用材，木材細緻具有芳香，防腐防蟲，紅檜全株可提煉檜木油。

造林育苗特性：為喜陽樹種，根係發達，天然更新良好，幼樹需要一定的光度，生長較快。種子繁殖，用扦插法也易成活。造林季節以兩季為宜。由於高山南北氣候不同，北部多在 12 月至翌年 2 月，南部多在 3~6 月造林。每公頃可栽植 3,000 株以上。幼樹耐庇蔭，但雜草灌木過於茂密時也會影響其成活和生長，所以造林後每年宜除雜草灌木 1~2 次，以促進早日鬱閉。

13. 高山莢蒾

形態特徵：灌木或小喬木。葉對生，革質，橢圓形或卵狀長橢圓形，先端略尾狀銳尖，基部鈍，疏鋸齒緣或近於全緣，基部三出脈。

生態分佈：僅產於臺灣全島高海拔之山區。

經濟價值：(無資料)

造林育苗特性：(無資料)

14. 台灣紅榨槭

形態特徵：落葉喬木，小枝平滑。葉對生，薄革質，卵狀心形，先端尾狀銳尖，不整齊鋸齒緣或重鋸齒緣，輪廓近圓形，但呈不明顯 5 淺裂，5 條掌狀脈。

生態分佈：生於台灣全島中央山脈中至高海拔森林，約 1,800~2,800 m 處；森林的邊緣或叢林內及闊葉樹上部較為常見。

經濟價值：為中海拔山區重要觀賞樹種，臺灣紅榨槭在冬日落葉時，葉片

轉為紅葉，極具觀賞價值。

造林育苗特性：(無資料)

15. 楓香

形態特徵：大喬木。葉之輪廓菱形，多三片裂，幼時或為五裂，基部圓形或心形；細鋸齒緣。

生態分佈：產臺灣平地至海拔 1,000 m 之山區，極為普遍。

經濟價值：楓香樹木因其外形美觀和樹葉變紅，可作為行道樹，並有很高的觀賞價值。楓樹的木材用於建築材料或器材材料。

造林育苗特性：陽光需求強，水分需求中及肥料需求中等，生長速率快，發芽容易，繁殖方法以種子繁殖。性喜溫暖，生育適溫約 18~28℃，土層深厚且排水良好。大苗育苗楓樹主要是用種子來進行繁殖，翅果成熟後脫落期較長，逐漸隨風飄落，故應及時採集。採後晾曬 3~5 天，去雜後所得純淨翅果即為播樹材料，在播種前大部分種子都需要進行低溫層積催芽，因種子內部含有發芽抑制物質。

16. 青楓

形態特徵：落葉性大喬木，樹皮平滑，淡綠色。葉對生，紙質，輪廓闊圓形，掌狀 5 裂，裂片三角狀披針形，先端尾狀銳尖，不整齊鋸齒緣，基部截形，5 掌脈。

生態分佈：青楓為臺灣特產，生長於全島山麓至海拔 2,000m 闊葉樹林中。

經濟價值：青楓的樹皮青綠色，葉形似手掌，五裂，形狀甚美，經秋霜後，葉轉丹紅，極為艷麗，是著名紅葉觀賞植物；因樹型極為優美，而廣泛用作庭園綠化及觀賞樹種，亦常做成盆栽供觀賞。

造林育苗特性：繁殖以種子、嫁接或高壓等繁殖方法。生育適溫 12~28℃。栽培土質以土層深厚之肥沃壤土為佳。排水需良好，日照需充足；生育盛期可適度施加追肥以利生長勢。

17. 阿里山千金榆

形態特徵：落葉喬木，幹皮青灰褐色，縱向細長深裂縫。葉長橢圓形、披針形或卵形，先端漸尖形，基部鈍或心形，葉緣具重鋸齒。

生態分佈：分佈台灣本島中部之中至高海拔 1,500~2,500 m 的森林中，常見於陡坡或崩崖上，生長於陽光充足處，常組成高海拔冷溫帶闊葉樹種之一。

經濟價值：木材堅韌，可供建築及製造各種器具。

造林育苗特性：用播種繁殖。半陰和濕潤的環境，不拘土質，壤土或砂質壤土為佳，排水需良好。

18. 大頭茶

形態特徵：中喬木，皮淡灰色，平滑。葉芽圓錐形，被短柔毛及銀色毛，無芽鱗。葉披針形或倒披針形，革質，圓頭，全緣或上半部有波狀疏鋸齒。

生態分佈：分佈於海拔 500~3,000 m 的山谷、溪邊、林緣，多喜向陽之處，呈小群狀分布。

經濟價值：大頭茶可供做庭園樹、行道樹、公園樹、造林等用途。木材淡紅色，質地密致堅韌，可供做建材及薪炭。大頭茶花大而潔白，花期正值冬季少花季節，可於園林中叢植觀賞。

造林育苗特性：喜溫暖濕潤氣候及富含腐殖質的酸性壤土，以播種繁殖。用扦插繁殖時要選擇生長健壯沒有病蟲害的枝條作插穗。嫩枝插的插穗採後應立即扦插，以防萎蔫影響成活。扦插時溫度保持在 20~25℃，溫度過低生根慢，過高則易引起插穗切口腐爛。扦插後要使扦插基質保持濕潤狀態，但也不可使之過濕，否則引起腐爛。同時還應注意空氣的濕度，可用覆蓋塑料薄膜的方法保持濕度，但要注意在一定時間內通氣。

19. 長葉木薑子

形態特徵：常綠喬木，小枝多呈紅褐色，無毛。葉互生，披針形，先端尖銳，基部圓或鈍，中肋常呈紅褐色，表面光滑，背面略粉白色。

生態分佈：分佈全島海拔約 1,500 m 以下之闊葉樹林中均可見其分佈，特別於潮濕溪谷處最為常見。

經濟價值：樹姿優美，可供美化材料；木材可供建築及家具用材。

造林育苗特性：(無資料)

20. 台灣胡桃

形態特徵：落葉大喬木，幹皮淡灰褐色，縱向淺溝裂，隆起稜略交錯；小枝被粘質腺毛。奇數羽狀複葉，總葉柄有密毛；橢圓形，先端尾狀，基部圓形，細鋸齒緣，表面有粗毛，裡面有褐色密毛，

生態分佈：臺灣多見於 1,200~2,000 m 之闊葉樹林中，喜濕潤肥沃之地。

經濟價值：胡桃類為世界著名之木材與堅果，其木材堅實，心材褐色而具紫黑條紋，為名貴之家具及裝飾用材。種仁可食亦入藥，台灣胡桃之種仁含油達 40~50 %。

造林育苗特性：(無資料)

本研究與前人研究資料整理後比較得知 (表 8) 兩個實驗所選出的建議樹種大致相同，僅在常綠樹種中剔除青剛櫟，因實驗結果顯示出青剛櫟含水率較低及重量留存率偏高，故不建議選擇青剛櫟為防火樹種。

表 8. 本研究與前人研究比較

	實驗樹種		建議樹種
林朝欽 (1997)	台灣二葉松	細葉杜鵑	木荷
	大頭茶	米飯花	青剛櫟
	木荷	楊梅	楊梅
	赤楊		
	青剛櫟		
	栓皮櫟		
	狹葉櫟		
本研究	華山松	青楓	常綠樹：
	紅檜	菱葉柃木	菱葉柃木
	台灣紅榨槭	木荷	木荷
	台灣胡桃	楊梅	楊梅
	台灣赤楊	山肉桂	台灣雲葉
	楓香	台灣雲葉	落葉樹：
	栓皮櫟	狹葉櫟	台灣紅榨槭
	阿里山千金榆	青剛櫟	台灣胡桃
	大頭茶	長葉木薑子	台灣赤楊
	高山莢蒾	桂花	楓香

陸、結論

防火樹種依樹種的燃燒性分析評估，葉片在熱重量分析第二階段失重率越高代表能承受溫度越低，相對地防火能力較差。葉部成分中醇苯抽出物越多，表示容易燃燒且熱能釋放量高；含水率、灰分、木質素含量越高代表耐火程度越強。並依照生物特性應選擇型態結構、生長發育規律及樹冠濃密者，枯落物分解速率快，具有適應性強的樹種；造林方面以造林技術容易且種苗來源充裕，萌芽更新快，病蟲害少等優良性能。

實驗得知針葉樹種華山松優於紅檜。闊葉樹種中落葉樹種依排序為台灣紅榨槭、台灣胡桃、楓香、台灣赤楊、阿里山千金榆、青楓、栓皮櫟。常綠樹種排列為菱葉柃木、木荷、楊梅、台灣雲葉、大頭茶、山肉桂、高山莢蒾、長葉木薑子、青剛櫟、狹葉櫟、桂花。

在試驗地中選植優良防火樹種，如落葉性樹種台灣紅榨槭、台灣胡桃、台灣赤楊、楓香或者闊葉樹種菱葉柃木、木荷、楊梅、台灣雲葉形成複層林型，調整了樹種組成結構、可燃物的空間分布，或能有效地控制森林火災。

利用生物防火工作在台灣高海拔地區已逐漸增加，而各樹種對於高山地區或當地的環境適應力各有差異，因此在選擇適當防火樹種後應當考慮對於該地區環境因子的適應力，有效地防火及提高存活率。

柒、參考文獻

- 丁昭義 (1999) 木材化學。國立編譯館。154-158 頁。
- 李世友、羅文彪、舒清態、馬長樂、馬愛麗、張橋蓉 (2009) 昆明地區 25 種木本植物的燃燒性及防火樹種篩選。浙江林學院學報 26(3): 351-357。
- 李振問、阮傳成 (1995) 防火樹種著火特性的研究。福建林學院學報 15(3): 198-202。
- 林朝欽 (2010) 種樹防火與阻火-森林防火林帶。林業研究專訊 17(2): 40-44。
- 林沐恩 (2004) 木荷防火林帶營造技術。林業科技開發 18(6): 71-72。
- 林俐玲、劉鎮榮 (2004) 六種海岸防風林樹種之防火性研究。水土保持學報 36 (2): 111-112。
- 林朝欽 (2003) 野火是森林的敵人還是朋友? 科學人 (11): 85-87。
- 林朝欽、邱祈榮 (2002) 解析林火行為-2001 年梨山林火個案研究。台灣林業科學 35(2): 183-192。
- 林務局 (1995) 第三次森林資源及土地利用調查。林務局。258 頁。
- 邱祈榮、林朝欽、王筱萱 (2006) 武陵地區居民用火行為之探討。中華林學季刊 39(1): 29-41。
- 周巧盈 (2004) 大甲溪事業區二葉松燃料型之建立。國立台灣大學森林環境暨資源學研究所碩士論文。143 頁。
- 邵占杰、林其釗、路長 (2002) 防火樹種阻火特性的實驗研究。火災科學 11(4): 222-227。
- 徐六一、羅寧、劉桂華、李益兵 (2005) 安徽省防火樹種的選擇及評價研究。安徽農業大學學報 32(3): 349-353。
- 張家來、曾祥福、劉學全、漆榮、鄭先珍、熊燕平、陳志新、薛家翠 (2000) 湖北森林防火樹種選擇的研究。華中農業大學學報 19(1): 84-90。
- 黃清吟、陸聲山、陳財輝、陳永修、蔡佳彬、林朝欽 (2009) 國有林大甲事業區之防火林帶現況探討。42(1): 123-135。
- 黃清吟、林朝欽 (2005) 台灣地區國有林森林火之特性分析。中華林學季

- 刊 38(4) : 449-464。
- 舒立福、田曉瑞、李紅、寇曉軍 (2000) 我國亞熱帶若干樹種的抗火性研究。火災科學 9(2): 1-7。
- 葉雙峰(2003)多種統計分析方法選擇防火樹種的研究。防護林科技 3: 21-23。
- 熊翠林、劉桂華(2008)江淮丘陵地帶防火樹種選擇。安徽農業大學學報 35(1): 132-135。
- 劉開邦、葉金華、吳進才(2009)慶元縣防火樹種資源及其育苗造林技術。現代農業科技 6: 84-85。
- 劉菲、胡海清 (2005) 森林可燃物理化性質與燃燒性的研究綜敘。森林防火 (1): 28-30。
- 德委會 (1991) 德基水庫集水區第三期整體治理規劃報告。德基水庫管理委員會。131-168 頁。
- 藍佩芬、王亞男、王明光(2009)火災跡地台灣二葉松與栓皮櫟葉片之分解。中華林學季刊 42 (1): 57-73。
- Bambang, S. H., H. Watanabe and S. Takeda (1994) Use of vegetative fuelbreaks in industrial forest plantation areas in Indonesia. Wildfire 2: 14-16.
- Chandler, C., D. Cheney and P. Fhowas (1983) Fire in Forestry. Forest fire behavior and effects. p. 31-33.
- Chen, C. J., X. F. Shi and H. Hu (1988) Research on fuelbreaks tree species selection. Journal of Fujian Forestry College 8 (1): 1-12.
- Peter, P. (1977) Effective heat content of green forest fuels. Forest Science 1: 81-92.
- Ronald, A. (1980) Thermal behavior of conifer needle extractives. Forests Science 26(3): 347-360.
- Tian, X., L. Shu and Q. He (2001) Selection of fire resistant tree species for southwestern China. Forestry Studies in China 3(2): 32-38.
- Tian, X., L. Shu and M. Wang (2007) Study on eight tree species

combustibility and fuelbreak effectiveness. International Wildland Fire Conference 1: 1-11.

Zheng, H. and E. Ju (1988) Forest Fire Management. Press of Northeast Forestry University. p. 208.

99 年度委託研究計畫期中報告委員審查意見辦理情形表

計畫編號：99-00-03-01

計畫名稱：台灣中部中高海拔地區防火樹種之篩選及葉部分解速率之研究

審查委員意見	辦理情形
<p>林博士朝欽：</p> <p>1. 前言最後一個段落中，「以大甲溪事業區為研究目標」部分，應修正為「以大甲溪事業區為研究區域」，至於本研究之主要研究目標則應再予以具體化陳述。</p>	<p>已修正，並已加強，謝謝委員指正。</p>
<p>2. 建議依合約書所訂定之樹種數量(20 種以上) 進行研析，訂定篩選標準，並在期末研究報告時能篩選出最適當之樹種 3~5 種供林務局參考運用。</p>	<p>依合約書所選訂 20 種樹種進行試驗，並依委員之意見，建議 4 種落葉及 4 種常綠防火樹種，謝謝委員指正。</p>
<p>3. 相關防火樹種之文獻請在予以詳細蒐集與參閱，應有很多值得引用的數據。</p>	<p>已在前人研究中蒐集參閱，謝謝委員指正。</p>
<p>4. 不一定要僅以武陵地區分佈之樹種為選取依據，亦可自其他地區篩選、評估樹種，並且將林務局造林台帳或苗圃內現有之樹種優先納入考量，如此所挑選出之防火樹種較利於未來造林系統作業。</p>	<p>本計畫題目與研究區域已在計畫合約書載明，以有限經費與人力，實在不可能擴大研究範圍。謝謝委員指正。</p>

審查委員意見	辦理情形
<p>邱博士祈榮：</p> <p>1. 中高海拔地區應清楚界定海拔範圍，以便作為後續評估之依據。</p>	<p>已改正，謝謝委員指正。</p>
<p>2. 建立篩選評估架構，依據形態、生態及燃料特性等面向，使用定性方式詳細評估各樹種之適用性。</p>	<p>依委員之建議建立評估準則，選擇防火樹種。</p>
<p>3. 不同樹種之燃料累積量（速度）應作為考量樹種篩選的評估項目之一。</p>	<p>燃料累積量與分解速率相關，分解速率為本研究評估項目之一。謝謝委員指正。</p>
<p>4. 因為地形差異（南、北向坡）會造成分解速率差異甚大，建議評估時應將其納入考量。</p>	<p>分解袋的設置工作量龐大，不可能選擇不同地形分別做測試。謝謝委員指正。</p>
<p>5. 利用已建立的篩選評估架構進行評估，以利於有效篩選適當之防火樹種，最後並進行適用性的建議。</p>	<p>已依委員建議選定最佳防火樹種各四種。</p>

審查委員意見	辦理情形
<p>顏博士添明：</p> <p>1. 本計畫內容有許多數據如森林火災發生次數等，未將林務局所統計之資料納入，建議將林務局所統計之相關數據列入報告內容，了解整體趨勢。</p>	<p>已加入前人研究中，謝謝委員之建議。</p>
<p>2. 有關題目中所列之防火樹種篩選，應規劃篩選標準，並考量實務上的需求，以完成整體性評估，提供林務局參考。</p>	<p>已於期末報告中，依篩選標準提供建議樹種，謝謝委員指正。</p>
<p>3. 計畫內有關初步結果-樹種資料蒐集部分，相關敘述方式應予以統一，例如台灣赤楊、山肉桂及青楓等文字敘述太少，應再多加蒐集文獻並多所著墨。</p>	<p>已改正，謝謝委員指正。</p>

99 年度委託研究計畫期末報告委員審查意見辦理情形表

計畫編號：99-00-03-01

計畫名稱：台灣中部中高海拔地區防火樹種之篩選及葉部分解速率之研究

審查委員意見	辦理情形
<p>邱博士祈榮：</p> <p>1. 請依期中審查會議意見作出回應表。</p>	<p>已在期末報告中附上委員意見回應表，謝謝委員指正。</p>
<p>2. 文章寫作方法應加入資料分析之方法，說明資料如何進行分析比較。</p>	<p>已補充在材料方法中，謝謝委員指正。</p>
<p>3. 表 1 葉片含水率的調查樣本如何取得，應該在肆、材料與方法部分說明清楚（究竟是分析生立木葉片或葉片包之葉片應該說明清楚）。</p>	<p>已補充在材料方法中，葉片含水率為生立木之葉片含水率，謝謝委員指正。</p>
<p>4. 請將該區域過去前人研究成果（包括防火林帶及燃料等）納入報告中，並將相關分析結果與過去研究報告之分析結果作比較。</p>	<p>意見已加入期末報告中，謝謝委員指正。</p>
<p>5. 最後的防火樹種排序方面，應再考量各因子權重，並採統計學方法，將樹種分為針葉樹、常綠闊葉樹及落葉樹等不同集團分別進行比較，並可利用群集 (cluster) 分析，選出較適合作為防火林帶之樹種。</p>	<p>依委員建議辦理，謝謝委員指正。</p>

<p>6. 其於第 11 頁特別提及「樹種的生物學、生態學、造林學特性及經濟價值資料收集」部分，故第 20 頁起的各樹種詳細資料內容，應切實對應並分別予以補充敘述。</p>	<p>已改正，謝謝委員指正。</p>
<p>7. 第 9 頁的葉片含水率公式有錯誤，請修正。</p>	<p>已改正，謝謝委員指正。</p>

審查委員意見	辦理情形
<p>顏博士添明：</p> <p>1. 計畫內容豐富，陳述清楚，並將所研究之結果依樹種分別排序，可提供林務局作為參考。</p>	<p>謝謝委員建議。</p>
<p>2. 前言的部份提及森林火災為自然災害，惟台灣所發生之森林火災多為人為因素造成，文字敘述應該再作修正。</p>	<p>已改正，謝謝委員指正。</p>
<p>3. 部分文獻有誤，例如：第 5 頁 Zheng <i>et al.</i>, 1988，應為 Zheng and Ju,；第 11 頁 (丁昭義, 1999)，在參考文獻部分卻未將其列入，應再逐一詳細檢視並作修正。</p>	<p>已改正，謝謝委員指正。</p>
<p>4. 第 12 頁表 1 下方 * 部分，應稍再詳細解釋；第 16 頁圖 8 則應將全部樹種列出。</p>	<p>已改正，謝謝委員指正。</p>
<p>5. 第 21 頁台灣赤楊之著墨較其他樹種弱，應依生物學、生態學、造林學特性及經濟價值等資料蒐集且分別敘明，並應詳細寫出資料來源。</p>	<p>已改正，謝謝委員指正。</p>
<p>6. 第 23 頁紅檜「在造林 2 年後，每隔 10 年間伐一次。」，敘述不夠清楚，應再補充說明。</p>	<p>已改正，謝謝委員指正。</p>
<p>7. 有些樹種天然更新良好，但少有大面積造林之特性，應一併考慮納入防火樹種之選擇條件。</p>	<p>謝謝委員之建議。</p>

8. 熱重分析結果應將 20 種樹種皆列入。

已列入報告中，謝謝委員指正。

捌、附錄



圖 1.在防火線上採集樣本葉片。



圖 2.將收集葉子秤重並裝袋。



圖 3.將 50 g 葉片樣本裝入分解袋。



圖 4.分解袋放置在林地上之狀況。



圖 5.試驗區高山防火線現場狀況



圖 6.葉片烘乾磨粉裝瓶供後續實驗用