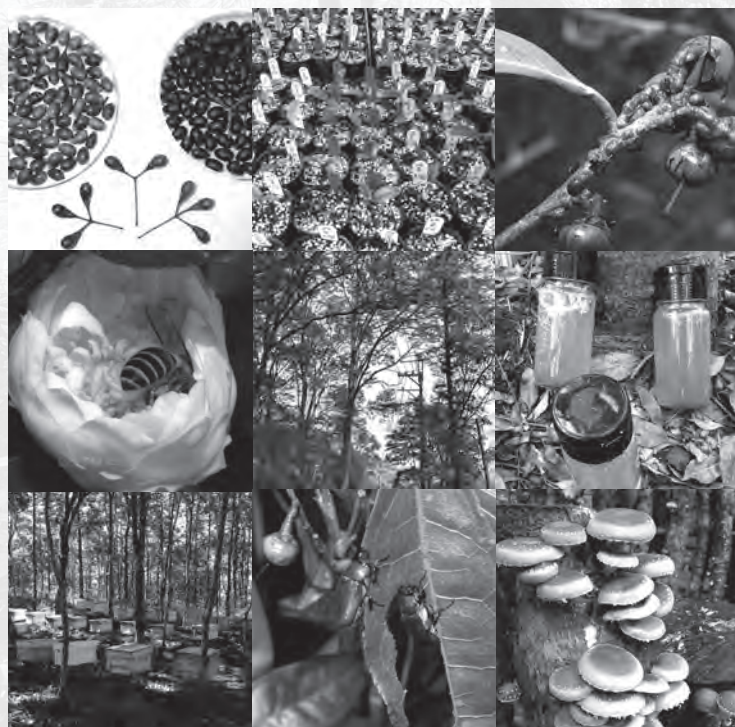


2021

森林資源保存與利用研討會

論文集



日期：2021年9月9～10日(星期四～五)

地點：行政院農業委員會林業試驗所森林研究大樓12樓國際會議廳
(臺北市中正區三元街67號)

主辦單位：行政院農業委員會林業試驗所

行政院農業委員會林業試驗所 編印

「2021 森林資源保存與利用」研討會議程

日期：110 年 9 月 9 ~ 10 日(星期四~五)

地點：行政院農業委員會林業試驗所國際會議廳(臺北市中正區三元街 67 號 12 樓)

110 年 9 月 9 日 (星期四)		
時 間	議 程	
08:30-09:15	報 到	
09:15-09:30	貴 賓 致 詞 (林試所 曾彥學所長)	
時 間	論文題目(主講人*)	主持人
09:30-09:45	硼酸對臺灣 3 種原生闊葉樹苗木生長之影響 (賴志銘*、郭幸榮、簡慶德、黃曜謀)	何政坤 博士
09:45-10:00	栽植於芒果樹下的臺灣山茶生長研究 (陳美惠、周富三、施欣慧、陳永修、涂翔議、蔡政亨、林文智*)	
10:00-10:15	臺灣山茶植食性昆蟲初探 (范義彬*、林文智、朱榮三、廖紬君、蔡佳彬)	
10:15-10:30	山蘇的林下種植與產銷現況調查 (顏士雄*、陳芬蕙)	
10:30-11:00	茶敘 / 資訊交流(30 分)	
11:00-11:15	熱處理相思樹心材酒精可溶物之組成分及其抗氧化功效評估 (吳郁靖*、黃嫻縉、張資正)	王升陽 博士
11:15-11:30	應用核磁共振光譜結合人工智慧鑑定精油種類 (曹乃文*、黃瀚輝、王升陽)	
11:30-11:45	埔里大坪頂土肉桂種源及其 HPLC 分析之初探 (陳盈全*、游漢明、吳家禎、陳芬蕙、吳濟琛)	
11:45-12:00	台灣原生種山桐子果實萃取物性質之初探 (顧文君*、馬復京、林振榮、林柏亨)	
12:00-13:30	午 餐	

「2021 森林資源保存與利用」研討會議程

時 間	論文題目(主講人*)	主持人
13:30-13:45	兩種適應不同潮位的紅樹林樹種對鹽度和淹沒處理之光合生理 (王經文*、黃盟元、翁仁憲、廖天賜、陳明男、陳忠義、賴佑翔)	郭耀綸 博士
13:45-14:00	多納崩場地的土壤種子庫 (鍾安晴*、林文智、周富三)	
14:00-14:15	利用葉光合潛力區分蓮華池森林中先驅與非先驅樹種、分析其幼樹之空間分布及可能的環境影響機制 (張勵婉*、邱少婷、郭耀綸、謝長富)	
14:15-14:30	遮蔭及乾旱對杜英苗木生理及抗氧化系統之影響 (龔聖皓*、劉瓊霖)	
14:30-14:45	以次世代定序技術探討林下養蜂之蜜源植物-以復興鄉為例 (陳芬蕙*、吳家禎、許俊凱、江敬皓)	簡慶德 博士
14:45-15:00	Genetic analysis of <i>Cinnamomum kanehirae</i> ---a case study of the scion garden in Chung-Hsing Nursery, Fenqihu (Chia-Chen Wu*, Jung-Ming Chang, Chiao-Ling Ching)	
15:00-15:15	相思樹核型與基因組大小 (李冠穎*、蔡佳彬、鍾振德、孫英玄)	
15:15-15:30	Differential gene expression analysis of two chemo types, cinnamaldehyde and linalool types in <i>Cinnamomum osmophloeum</i> Kaneh (Chia-Chen Wu*)	
15:30-16:00	茶敘 / 資訊交流(30 分)	
16:00-16:15	儲存條件對阿里山十大功勞種子發芽之影響 (黃曜謀*、賴志銘、林鴻志)	劉瓊霖 博士
16:15-16:30	南投縣眉原山臺灣山茶植物社會樹木的組成與結構 (周富三*、林文智、朱榮三、涂翔議)	
16:30-16:45	臺灣 2 種蜜蜂蜜粉源植物調查 (范義彬*、王智聰)	
16:45-17:00	天仙果扦插及種子繁殖之初探 (陳芬蕙、蔡政亨*、許俊凱)	
17:00-17:45	綜合討論	

「2021 森林資源保存與利用」研討會議程

110 年 9 月 10 日 (星期五)		
時 間	議 程	
08:30-09:15	報 到	
時 間	論文題目(主講人*)	主持人
09:15-09:30	出雲山苗圃香杉種子園優良營養系之分群 (杜清澤*、鍾振德、林冠穎、黃菊美)	王亞男 博士
09:30-09:45	南投管理處巒大區第 88 林班臺灣杉營養系種子園家系之重建 (黃俊堯*、蔡佳彬、孫英玄)	
09:45-10:00	烏柏 3 種型態苗木造林 30 個月的生長表現 (馬復京*、陳國章、林元祥、林欣德、蘇德忠、蔡彥新)	
10:00-10:15	應用無人機光達於宜蘭地區劣化海岸保安林林分結構分析 (鍾智昕*、林世宗、汪澤宏、林振榮)	
10:15-10:45	茶敘 / 資訊交流(30 分)	
10:45-11:00	暗色隔膜內生菌接種和順序對阿里山十大功勞苗木的影響 (林瑞進*、許嘉弘、何尚哲)	顏江河 博士
11:00-11:15	Spore diversity and abundance of arbuscular mycorrhizal fungi in <i>Taiwania cryptomerioides</i> plantation– a preliminary study at Lioukuei, Kaohsiung city (Chun-Yu Lee*, Tzu-Chao Lin, Guan-Ying Lin, Chin-Tzer Duh, Chu-Mei Huang, Chih-Yu Hung)	
11:15-11:30	淹水逆境下接種叢枝菌根菌對雜交種泡桐苗木生長之影響 (林冠穎*、陳怡蓓、李俊佑)	
11:30-11:45	相思樹優良母樹嫁接營養系種子園之初期種子生產 (蔡佳彬*、鍾振德、游漢明、孫銘源、黃冠瑋、張森、孫英玄)	
11:45-13:30	午 餐	

「2021 森林資源保存與利用」研討會議程

時 間	論文題目(主講人*)	主持人
13:30-13:45	台灣西部木麻黃海岸林土壤碳庫之變化：2006-2021 (王巧萍*、黃菊美、杜清澤、林冠穎)	鍾振德 博士
13:45-14:00	台東金崙海岸林復舊植栽之生長表現初探 (劉宇軒*、洪聖峰、黃俊元、王相華、施郁庭)	
14:00-14:15	都市林落葉經營方式對土壤碳吸存之影響--以中和公園及台北植物園為例-- (王巧萍*、黃菊美、杜清澤、林冠穎)	
14:15-14:30	高溫乾燥竹構造稈材之現況 (李銘鐘*、胡元璋、塗三賢)	游漢明 博士
14:30-14:45	櫟木花與果實之發育 (鍾振德*、李函嫻、蔡仔涵、張育維)	
14:45-15:00	五種蕨類之乾燥耐受性 (黃曜謀*、張藝翰、陳筠)	
15:00-15:15	原住民族文化弓材樹種大丁黃之種子發芽試驗 (林鴻志*、何姍穎、游漢明、黃建益)	

目 錄

硼酸對臺灣 3 種原生闊葉樹苗木生長之影響.....	1
(賴志銘*、郭幸榮、簡慶德、黃曜謀)	
栽植於芒果樹下的臺灣山茶生長研究	7
(陳美惠、周富三、施欣慧、陳永修、涂翔議、蔡政亨、林文智*)	
臺灣山茶植食性昆蟲初探	13
(范義彬*、林文智、朱榮三、廖紬君、蔡佳彬)	
山蘇的林下種植與產銷現況調查.....	19
(顏士雄*、陳芬蕙)	
熱處理相思樹心材酒精可溶物之組成分及其抗氧化功效評估.....	27
(吳郁靖*、黃佩綾、張資正)	
應用核磁共振光譜結合人工智慧鑑定精油種類	33
(曹乃文*、黃瀚輝、王升陽)	
埔里大坪頂土肉桂種源及其 HPLC 分析之初探.....	39
(陳盈全*、游漢明、吳家禎、陳芬蕙、吳濟琛)	
台灣原生種山桐子果實萃取物性質之初探	45
(顧文君*、馬復京、林振榮、林柏亨)	
兩種適應不同潮位的紅樹林樹種對鹽度和淹沒處理之光合生理	51
(王經文*、黃盟元、翁仁憲、廖天賜、陳明男、陳忠義、賴佑翔)	
多納崩場地的土壤種子庫	57
(鍾安晴*、林文智、周富三)	
利用葉光合潛力區分蓮華池森林中先驅與非先驅樹種、分析其幼樹之空間分布及可能的環境 影響機制	63
(張勵婉*、邱少婷、郭耀綸、謝長富)	
遮蔭及乾旱對杜英苗木生理及抗氧化系統之影響.....	69
(龔聖皓*、劉瓊霖)	
以次世代定序技術探討林下養蜂之蜜源植物-以復興鄉為例	75
(陳芬蕙*、吳家禎、許俊凱、江敬皓)	

Genetic analysis of <i>Cinnamomum kanehirae</i> ---a case study of the scion garden in Chung-Hsing Nursery, Fenqihu	81
(Chia-Chen Wu*, Jung-Ming Chang, Chiao-Ling Ching)	
相思樹核型與基因組大小	85
(李冠穎*、蔡佳彬、鍾振德、孫英玄)	
Differential gene expression analysis of two chemo types, cinnamaldehyde and linalool types in <i>Cinnamomum osmophloeum</i> Kaneh	91
(Chia-Chen Wu*)	
儲存條件對阿里山十大功勞種子發芽之影響	97
(黃曜謀*、賴志銘、林鴻志)	
南投縣眉原山臺灣山茶植物社會樹木的組成與結構	103
(周富三*、林文智、朱榮三、涂翔議)	
臺灣 2 種蜜蜂蜜粉源植物調查	109
(范義彬*、王智聰)	
天仙果扦插及種子繁殖之初探	115
(陳芬蕙、蔡政亨*、許俊凱)	
出雲山苗圃香杉種子園優良營養系之分群	121
(杜清澤*、鍾振德、林冠穎、黃菊美)	
南投管理處巒大區第 88 林班臺灣杉營養系種子園家系之重建	127
(黃俊堯*、蔡佳彬、孫英玄)	
烏柏 3 種型態苗木造林 30 個月的生長表現	131
(馬復京*、陳國章、林元祥、林欣德、蘇德忠、蔡彥新)	
應用無人機光達於宜蘭地區劣化海岸保安林林分結構分析	137
(鍾智昕*、林世宗、汪澤宏、林振榮)	
暗色隔膜內生菌接種和順序對阿里山十大功勞苗木的影響	143
(林瑞進*、許嘉弘、何尚哲)	

Spore diversity and abundance of arbuscular mycorrhizal fungi in <i>Taiwania cryptomerioides</i> plantation— a preliminary study at Lioukuei, Kaohsiung city	151
(Chun-Yu Lee*, Tzu-Chao Lin, Guan-Ying Lin, Chin-Tzer Duh, Chu-Mei Huang, Chih-Yu Hung)	
淹水逆境下接種叢枝菌根菌對雜交種泡桐苗木生長之影響	157
(林冠穎*、陳怡蓓、李俊佑)	
相思樹優良母樹嫁接營養系種子園之初期種子生產	163
(蔡佳彬*、鍾振德、游漢明、孫銘源、黃冠璋、張森、孫英玄)	
台灣西部木麻黃海岸林土壤碳庫之變化：2006-2021	171
(王巧萍*、黃菊美、杜清澤、林冠穎)	
台東金崙海岸林復舊植栽之生長表現初探	177
(劉宇軒*、洪聖峰、黃俊元、王相華、施郁庭)	
都市林落葉經營方式對土壤碳吸存之影響--以中和公園及台北植物園為例--	185
(王巧萍*、黃菊美、杜清澤、林冠穎)	
高溫乾燥竹構造稈材之現況	191
(李銘鐘*、胡元瑋、塗三賢)	
檉木花與果實之發育	195
(鍾振德*、李函憶、蔡仔涵、張育維)	
五種蕨類之乾燥耐受性	201
(黃曜謀*、張藝翰、陳筠)	
原住民族文化弓材樹種大丁黃之種子發芽試驗	207
(林鴻志*、何姍穎、游漢明、黃建益)	

硼酸對臺灣 3 種原生闊葉樹苗木生長之影響

賴志銘^{1)*} 郭幸榮²⁾ 簡慶德¹⁾ 黃曜謀¹⁾

緒言

礦質養分影響苗木生長與品質及出栽後之成活率和初期生長。苗木生長除了需要氮、磷、鉀、鈣、鎂、硫等巨量元素外，微量元素鐵、錳、鋅、銅、硼等亦不可缺乏。硼是植物維持正常生長所需的微量元素之一，其對細胞壁構造的穩定性、細胞膜的形成與完整、酵素及醣類的合成、代謝及其他生理機能等均扮演著重要的角色(Marschner 1986, Matoh 1997)。臺灣位處亞熱帶，因為雨量豐沛，水分的淋洗作用易造成硼的缺乏，致耕地土壤含硼量偏低，其硼含量在 0.5 ppm 以下者約佔 80%(邱再發和張淑賢 1983，何聖賓 1988)。國外研究證實育苗階段施用硼，有促進苗木生長、提昇苗木品質之效果(Mitchell et al. 1987, Rose et al. 1999)，亦能促進其他養分元素，如：氮、磷、鉀、鎂等吸收，提高苗木礦質養分含量，故國外在育苗時期非常重視硼的施用。臺灣對苗木施肥方面相關的研究，著重氮、磷、鉀等巨量元素，而未對微量元素—硼進行探討。本研究選擇光臘樹(*Fraxinus formosana*)、樟樹(*Cinnamomum camphora*)及茄苳(*Bischofia javanica*)等 3 種造林及環境綠化樹種，透過育苗時期施用不同濃度的硼酸，來探討硼對苗木生長及形態之影響，以供日後育苗作業之參考。

材料與方法

一、苗木之培育

光臘樹、樟樹及茄苳種子播種發芽後篩選均質苗，移入口徑 9 cm 深度 15 cm，容量約 630 cm³ 之穴植管進行試驗，育苗土壤為蛭石：泥炭土=1：9 (V/V)比例混合，容器苗木置於設有自動噴水系統溫室。

二、試驗肥料

苗木培育期間以水溶性複合肥料(Peters 20-20-20)提供生長所需養分，而硼酸(H₃BO₃)則於栽植 60 天後(高約 10~15 cm)以 0 ppm、5 ppm、10 ppm、20 ppm 及 40 ppm 等 5 種不同濃度處理。第 1 次施硼經過 2 個月後再施用 1 次，試驗期間共施用 2 次硼酸，不施

¹⁾ 行政院農業委員會林業試驗所育林組，100051 臺北市中正區南海路 53 號。

* 通訊作者，E-mail: ljm8829@tfri.gov.tw。

²⁾ 國立臺灣大學森林環境暨資源學系，106216 臺北市大安區羅斯福路 4 段 1 號。

硼酸肥料苗木為對照組。

三、測定項目

(一)苗木生長及形態性狀量測

1. 苗高及地徑量測：在試驗期間每個月中量測苗木之苗高和地徑，各月之測值再扣除初始測定值，以求得各月之累積生長量。
2. 硼毒害觀測：目測葉子邊緣黃化面積大於全葉面積 25%時，定義為受硼毒害。
3. 生物量測定：樣本測量苗高、地徑、單株之總葉面積及各部位乾重，據以計算：(1) 苗木梢/根比(shoot-root ratio) $S/R = \text{地上部乾重(g)} \div \text{根部乾重(g)}$ 。(2) 健壯指數(relative height)：苗高(cm)/地際直徑(mm)。(3) 纖弱指數(index of slenderness)：苗高(cm)/苗木乾重(g)。(4) 葉面積比(leaf area ratio) LAR：單株總葉面積(cm²)/全株苗木乾重(g)。(5) 比葉面積(specific leaf area) SLA：單株總葉面積(cm²)/全株葉部乾重(g)。

(二) 植物體養分元素測定：每處理每重複選取 1 株為樣本，每株分為 4 個部位(根、莖、上部葉及下部葉)，置於 65°C 烘箱烘乾至恆重，粉碎後之樣品予以分析，全氮量以 Kjeldahl 法測定，磷、鉀、鈣、鎂、硼等 5 種元素則以乾灰法在 550°C 高溫爐下灰化及鹽酸溶解過濾定積後，以感應耦合電漿光譜分析儀測定。

四、試驗設計與統計分析

採完全隨機設計，有 5 種處理，每種處理 4 重複，每個重複 12 株苗木，試驗苗木總數為 720 株。資料以 SAS 軟體進行單因子變異數分析(one-way ANOVA)，分析不同處理條件下，苗木彼此間的差異性，若其差異達 5% 顯著水準，則採用最小顯著差異測驗法(LSD)檢定各處理之差異程度。

結果與討論

一、苗木形質生長之表現

(一) 苗高、地際直徑及生物量

第 1 次施硼酸處理為 5 月 13 日，經過 2 個月後進行第 2 次施硼酸處理。經分析結果顯示，光臘樹、樟樹苗高及地徑生長在 6 至 7 月各處理間之差異並不顯著，惟自 8、9 月起各處理間呈極顯著差異($p < 0.01$)，而茄苳自施硼酸後 1 個月即呈極顯著差異($p < 0.01$)，顯示開始施硼酸即對茄苳苗木生長具有促進的效果，且一直持續到 10 月。光臘樹苗高生長、樟樹及茄苳之苗高及地徑生長，以施硼酸水溶液 10 ppm 及 20 ppm 二處理為最佳，未施硼最差，顯示施硼能提升苗木生長，硼酸濃度以 10 ppm 及 20 ppm 時生長

量達到最高，超過此濃度範圍則因硼過量，反而抑制苗木生長，呈現遞減的趨勢(圖 1)。

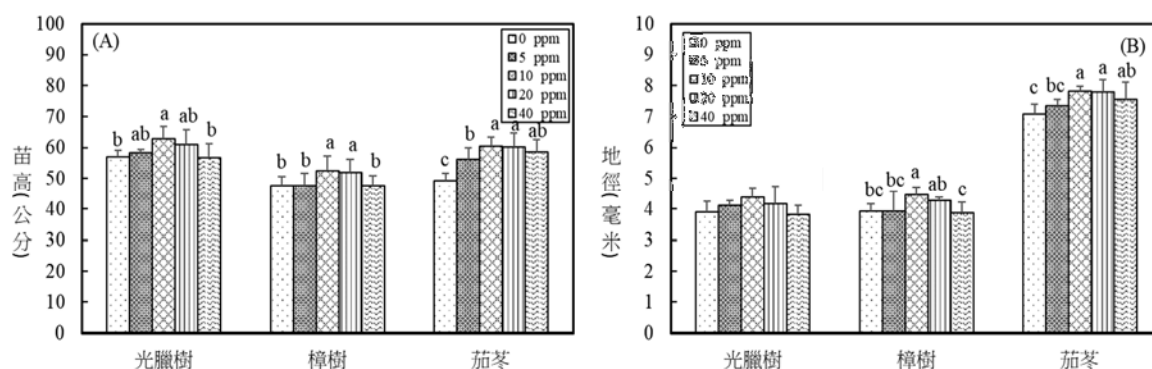


圖 1. 施用不同硼酸濃度對 3 種原生闊葉樹苗木 5 個月後之生長表現

註：英文字母表示 LSD 統計分析結果，不同字母間表示達 5%顯著水準。

光臘樹苗木之莖部、根部及總乾重受施硼酸處理之影響呈顯著或極顯著差異，以 10 ppm 及 20 ppm 之乾重量最大，40 ppm 最小。樟樹苗木之莖部、根部乾重及總乾重受施硼酸處理之影響呈極顯著差異，葉部乾重則呈顯著差異，總乾重以 10 ppm 最大，40 ppm 最小。茄苳苗木之莖部、根部乾重及總乾重受到施硼酸處理之影響，呈極顯著差異，葉部乾重無顯著差異，總乾重以 10 ppm 處理之乾重量最大，未施硼乾重量為最小(表 1)。

上述 3 種樹種之苗高、地徑及生物量與 Rose 等人(1999)研究結果相類似，該研究以不同硼酸濃度(0, 10, 20, 40, 60 ppm)處理豆科黃槐屬植物(*Peltophorum dasyrachis*)，結果以 10 ppm 硼酸處理苗木生長量最佳，60 ppm 最差，施硼達 10 ppm 以上濃度即有硼毒害的現象(葉部黃化 25%)產生，對苗木生長產生負面影響。又短葉松(*Pinus echinata*)以硼酸 25 ppm 之溶液噴灑在葉面或灌注入土壤，有效促進苗木生長，因施硼能幫助外生菌根的增殖，增加菌根的數量，促進苗木根對氮等礦質元素之吸收及各部位乾物量之累積(Mitchell et al. 1987)。證明施硼可促進苗木生長，因為硼對植物的生理具有催化作用，控制蛋白質合成及影響酵素活性，並可促進植物體內醣類的運轉和氮的代謝作用，有助於光合作用之進行及促進植物生長(Marschner 1986)。故供應適量濃度的硼可改善苗木之養分狀態，增加其水分使用效率並促進其根、莖、葉部生物量生長。

(二)苗木硼毒害

各樹種對於施硼處理所表現之外觀反應不同，依其外觀變化，樟樹苗木有葉部黃化的現象，受硼酸處理影響顯著；光臘樹及茄苳苗木外觀無明顯變化，研判可能是樹種間遺傳及生理特性不同，且各樹種苗木成長時期對硼之吸收速率亦相異，故對硼毒害之臨界濃度自然不同，顯示樹種間具有不同之抗害能力(Glaubig and Bingham 1985)。由各樹

種之外觀毒害反應對照各樹種葉部位之硼濃度來看，光臘樹及茄苳無受硼毒害之症狀，表示葉部濃度達到約 50 ppm 及 400 ppm，均尚未達到硼毒害之臨界濃度，而樟樹施硼酸 10 ppm 即有老葉葉尖黃化，其硼毒害之臨界濃度約在 56 ppm 左右。由此可知此 3 種樹種之耐硼能力均不相同，以茄苳耐硼能力最強，樟樹最弱，即茄苳 > 光臘樹 > 樟樹。

表 1. 施用不同硼酸濃度對 3 種原生闊葉樹苗木生長之影響

項目	硼酸濃度(ppm)					F 值	P
	0	5	10	20	40		
苗高(cm)	57.02±2.04 ^b	58.42±0.91 ^{ab}	62.88±3.98 ^a	61.13±4.57 ^{ab}	56.64±4.5 ^b	2.76	0.029
地徑(mm)	3.91±0.33	4.11±0.17	4.38±0.30	4.17±0.56	3.83±0.28	2.3	0.06
全株乾重(g)	9.29±1.10 ^{bc}	9.89±2.35 ^{abc}	11.39±1.14 ^a	10.72±1.88 ^{ab}	8.98±1.19 ^c	3.54	0.01
S/R	3.06±0.75	2.84±0.77	2.78±0.50	2.78±0.20	2.96±0.26	0.64	0.63
總葉面積	644.33±121.66	760.66±144.58	840.95±151.81	748.13±148.45	709.44±84.51	2.36	0.0721
比葉面積	182.48±40.84	185.64±19.72	179.53±11.84	173.04±27.33	172.38±7.58	0.45	0.7716
葉面積比	81.24±21.53	82.7±12.92	70.97±13.73	70.71±7.45	72.74±4.63	1.51	0.2192
纖弱指數	6.79±0.70	7.51±1.68	7.44±0.80	7.48±1.39	7.53±1.01	0.57	0.68
健壯指數	12.77±1.16	13.32±1.33	13.77±1.39	13.55±1.12	12.44±1.40	1.47	0.2313
苗高(cm)	47.7±2.79 ^b	47.74±3.76 ^b	52.38±4.87 ^a	51.87±4.34 ^a	47.7±3.07 ^b	4.46	0.002
地徑(mm)	3.92±0.26 ^{bc}	3.93±0.64 ^{bc}	4.46±0.24 ^a	4.27±0.12 ^{ab}	3.88±0.35 ^c	3.74	0.006
全株乾重(g)	8.65±1.79 ^{bc}	8.92±1.34 ^{bc}	10.96±1.60 ^a	10.27±2.17 ^b	7.47±1.44 ^c	5.78	0.001
S/R	2.00±0.63	1.95±0.41	1.92±0.49	1.89±0.41	1.95±0.38	0.09	0.98
總葉面積	741.2±141.68 ^{bc}	904.98±147.50 ^a	928.21±152.3 ^a	870.52±157.39 ^{ab}	665.76±132.67 ^c	4.79	0.003
比葉面積	212.91±39.45	268.16±74.45	234.84±27.99	233.09±14.35	228.20±24.69	1.88	0.1356
葉面積比	88.29±19.97	105.72±17.79	91.6±11.23	89.71±10.07	89.39±9.55	2.03	0.1117
纖弱指數	5.90±1.01	6.50±1.10	6.34±1.14	6.47±1.48	6.82±0.86	0.68	0.61
健壯指數	8.45±1.36	9.35±0.91	9.78±1.41	9.59±1.07	8.98±0.81	1.72	0.1686
苗高(cm)	49.3±2.34 ^c	56.21±3.61 ^b	60.49±2.96 ^a	60.29±4.55 ^a	58.57±4.16 ^{ab}	15.7	0.0001
地徑(mm)	7.09±0.33 ^c	7.37±0.18 ^{bc}	7.82±0.15 ^a	7.80±0.40 ^a	7.54±0.56 ^{ab}	7.06	0.0001
全株乾重(g)	14.82±2.39 ^c	15.71±2.95 ^c	18.37±2.13 ^a	17.93±1.58 ^{ab}	15.95±0.58 ^{bc}	4.4	0.005
S/R	2.97±0.38	2.70±0.37	2.62±0.51	2.64±0.49	2.95±0.12	2.25	0.08
總葉面積	1165.3±166.8	1258.9±131.4	1322.0±138.1	1403.4±203.1	1260.6±88.7	1.59	0.1978
比葉面積	262.83±29.92	275.47±21.56	259.34±22.38	275.72±19.38	275.40±30.73	0.81	0.5293
葉面積比	79.21±8.37	83.54±11.11	76.33±9.75	81.30±8.74	90.35±9.51	2.47	0.0626
纖弱指數	4.01±0.66	4.17±0.71	4.04±0.51	3.98±0.41	4.08±0.28	0.15	0.96
健壯指數	6.26±0.68 ^b	6.61±0.62 ^{ab}	7.14±0.66 ^a	6.93±0.43 ^a	7.20±0.67 ^a	3.24	0.0232

註：同一數列數字右上角之英文字母表示 LSD 統計分析結果，不同字母間表示達 5%顯著水準。

(三)苗木形態參數

光臘樹、樟樹及茄苳之總葉面積以施硼酸濃度 10 或 20 ppm 較大，未施硼或 40 ppm 較小，其中樟樹呈極顯著差異，光臘樹及茄苳雖無顯著差異，反應顯示苗木之總葉面積與苗木生長量有正相關，即施適量的硼可增加葉部物質的累積。而茄苳經施硼處理之健壯指數皆較未施硼者為佳，有隨施硼量增加而遞增之趨勢，此與 Rose 等人(1999)之結果相似。至於 S/R、比葉面積、葉面積比、纖弱指數等形態參數，不同濃度處理間則無顯著差異(表 1)。然就 S/R 值，各樹種對施硼處理差異雖不顯著，但其變化有隨施硼濃度提高而呈 U 型趨勢，此顯示根系生長因施硼的關係，其乾物重增加，此結果與 Mitchell

等人(1987)之研究結果相同，即 S/R 值在施硼濃度適宜時減少，有助於提升苗木品質。

二、苗木礦質養分吸收之影響

(一)氮、磷、鉀、鎂

分析 3 種苗木全株之氮、磷、鉀、鎂等 4 種元素結果顯示，各樹種以施硼 5 至 20 ppm 之苗木體內含量最高，未施硼或 40 ppm 最低(表 2)。此與 Rose 等人(1999)之研究相同，表示硼可促進植物體內氮元素的吸收，且有助於醣類之流轉及蛋白質之合成。從本試驗結果得知，適量的硼確有提升苗木體內氮等 4 種元素之含量，苗木體內氮等 4 種元素含量隨施硼增加而遞增，惟過量反使含量降低，此一趨勢與其生長量及生物量之累積趨勢相同。

表 2. 施用不同硼酸濃度對 3 種原生闊葉樹苗木養分元素吸收之影響

樹種	苗木體內 元素含量	硼酸濃度(ppm)					F 值	P
		0	5	10	20	40		
光臘樹	氮(%)	1.53±0.02 ^b	1.64±0.03 ^a	1.66±0.04 ^a	1.48±0.03 ^b	1.32±0.02 ^c	32.6	0.0001
	磷(g Kg ⁻¹)	2.12±0.03 ^d	2.39±0.05 ^{bc}	2.44±0.09 ^{ab}	2.49±0.05 ^a	2.36±0.03 ^c	32.08	0.0001
	鉀(g Kg ⁻¹)	11.96±0.39 ^b	12.61±0.26 ^a	13.10±0.35 ^a	12.04±0.35 ^b	11.17±0.27 ^c	20.03	0.0001
	鈣(g Kg ⁻¹)	5.96±0.07 ^a	5.85±0.10 ^a	5.57±0.19 ^b	5.35±0.10 ^c	5.13±0.07 ^d	35.6	0.0001
	鎂(g Kg ⁻¹)	2.42±0.04 ^c	2.56±0.10 ^{ab}	2.68±0.11 ^a	2.58±0.05 ^{ab}	2.54±0.10 ^{bc}	5.06	0.0088
	硼(mg Kg ⁻¹)	14.31±0.72 ^e	22.6±0.71 ^d	26.76±0.37 ^c	29.88±0.32 ^b	35.97±1.16 ^a	503.67	0.0001
樟樹	氮(%)	0.97±0.07 ^c	1.07±0.05 ^b	1.29±0.02 ^a	1.24±0.02 ^a	1.11±0.08 ^b	21.78	0.0001
	磷(g Kg ⁻¹)	2.84±0.13 ^b	3.00±0.02 ^{ab}	3.15±0.18 ^a	2.95±0.10 ^b	2.90±0.07 ^b	4.18	0.0181
	鉀(g Kg ⁻¹)	12.39±0.44 ^b	13.16±0.31 ^a	13.33±0.36 ^a	13.19±0.24 ^a	12.66±0.28 ^b	6.05	0.0042
	鈣(g Kg ⁻¹)	9.52±0.18 ^a	8.97±0.39 ^b	8.82±0.37 ^{bc}	8.69±0.23 ^{bc}	8.47±0.17 ^c	7.78	0.0013
	鎂(g Kg ⁻¹)	3.34±0.09	3.38±0.19	3.62±0.14	3.54±0.03	3.41±0.18	2.84	0.06
	硼(mg Kg ⁻¹)	14.87±0.32 ^e	23.26±1.34 ^d	30.07±2.24 ^c	71.76±5.66 ^b	153.1±4.66 ^a	1078.8	0.0001
茄苳	氮(%)	1.38±0.09 ^c	1.48±0.04 ^b	1.76±0.04 ^a	1.55±0.03 ^b	1.07±0.08 ^d	63.53	0.0001
	磷(g Kg ⁻¹)	2.63±0.16 ^{bc}	2.75±0.03 ^{ab}	2.88±0.04 ^a	2.56±0.03 ^{cd}	2.46±0.09 ^d	14.74	0.0001
	鉀(g Kg ⁻¹)	10.51±0.19 ^c	12.12±0.20 ^a	11.82±0.18 ^b	10.67±0.19 ^c	10.01±0.21 ^d	85.28	0.0001
	鈣(g Kg ⁻¹)	8.51±0.19 ^{ab}	8.77±0.38 ^a	8.49±0.26 ^{ab}	8.30±0.13 ^{bc}	8.02±0.29 ^c	4.42	0.0147
	鎂(g Kg ⁻¹)	8.37±0.11 ^d	8.54±0.32 ^{cd}	8.93±0.38 ^{bc}	9.72±0.16 ^a	9.01±0.31 ^b	14.42	0.0001
	硼(mg Kg ⁻¹)	21.25±2.72 ^e	37.84±4.76 ^d	47.41±3.54 ^c	70.54±2.03 ^b	153.1±7.67 ^a	508.69	0.0001

註：同一數列數字右上角之英文字母表示 LSD 統計分析結果，不同字母間表示達 5% 顯著水準。

(二)鈣

硼不同濃度處理對苗木體內鈣含量，有隨施硼濃度增加而遞減之趨勢。分析 3 種苗木全株之鈣含量，光臘樹、樟樹及茄苳以未施硼或 5 ppm 之鈣含量最高，40 ppm 最低(表 2)，此與 Rose 等人(1999)以未受硼危害的葉分析，結果施硼苗木較未施硼苗木的鈣含量為低。顯示施硼濃度的增加有抑制鈣元素吸收的現象。

(三)硼

苗木體內硼含量均隨施硼濃度增加而遞增，以 40 ppm 為最高，未施硼為最低，且葉部之硼含量均高於根部及莖部，又老葉之硼含量高於新葉，與邱再發和張淑賢(1983)表示，植物營養器官中一般會以葉片之硼含量最高，又老葉高於幼葉之論點相同。

綜合表 2 分析結果得知，以施硼 10 ppm 或 20 ppm 濃度對光臘樹、樟樹及茄苳等 3 種樹種體內之氮、磷、鉀、鎂等元素之全株含量最高；顯示硼與這些元素之間具有協同作用(synergism)，除鈣元素以外，施硼確可促進苗木體內對上述礦質元素的吸收、運轉和利用，從而在植物的代謝及生長上反應出來。

結論

根據本試驗結果，建議光臘樹、樟樹及茄苳等樹種，在育苗時期應考慮施硼的問題，配合一般肥料的施用再添加 10 ppm 至 20 ppm 濃度的硼酸，可有效促進苗木生長及其他礦質養分的吸收，直接提高肥料吸收的有效性，因而降低施肥的成本及減少礦質養分的流失。

引用文獻

- 何聖賓 (1988) 臺灣耕地土壤硼素的研究。國立臺灣大學農化研究所博士論文。
- 邱再發、張淑賢 (1983) 柑橘缺硼症之診斷與防治方法之研究。中華農業研究 32(2): 161-171。
- Glaubig BA, Bingham FT. (1985) Boron toxicity characteristics of four northern California endemic tree species. Journal of Environmental Quality 14(1): 72-77.
- Marschner H. (1986) Mineral nutrition of higher plant. Academic Press. New York. 321-334.
- Matoh T. (1997) Boron in plant cell walls. Plant and Soil 193: 59-70.
- Mitchell RJ, Garrett HE, Cox GS, Atalay A, Dixon RK. (1987) Boron fertilization, ectomycorrhizal colonization, and growth of *Pinus echinata* seedlings. Can J For Res 17(10): 1153-1156.
- Rose R, Royo A, Haase DL. (1999) *Peltophorum dasyrachis* seedling growth response to different levels of boron. J Trop For Sci 11(4): 832-845.

栽植於芒果樹下的臺灣山茶生長研究

陳美惠¹⁾ 周富三²⁾ 施欣慧³⁾ 陳永修²⁾ 涂翔議²⁾ 蔡政孝⁴⁾ 林文智^{2)*}

緒言

臺灣山茶(*Camellia formosensis*)為臺灣山茶屬中，唯一能製茶的原生茶樹物種，主要分布於臺灣的南投縣(眉原山)、嘉義縣(龍頭山、樂野山)、高雄市(南鳳山、鳴海山)、屏東縣(德文山)、臺東縣(永康山)的山區，海拔介於 600~1,700 m 之間，其中最大族群是分佈於林業試驗所六龜研究中心所轄的南鳳山及鳴海山地區(王兩全等.1990，何信鳳等.1984，陳永修等.2018，Su et al. 2009)。臺灣早期即已有採製山茶的記錄，西元 1717 年，清朝官員周鍾瑄於《諸羅縣志》敘述：「水沙蓮內山茶甚夥，味別色綠如松蘿、山谷深峻、性嚴冷，能卻暑消脹。然路險，又畏生番，故漢人不敢入採……」。六龜地區已有百年以上的採茶製茶傳承(張心怡等 2020)，為能保存此傳統文化、技術及修正過去盜採的負面作用並促進地方經濟，林業試驗所於 2011 年起試辦六龜野生山茶採收計畫，期能透過適度的開放及管理技術的研發，尋求生態與經濟發展的平衡點。

近年來林業試驗所進行臺灣山茶林下經濟種植的可行性評估(陳永修等 2018，陳永修等.2019)，若能將其列為林下經濟的合法種植樹種，有利於臺灣山茶的區外種原品系保育作業及增進林農收入。相對於森林用地，農地的種植較無法令上的限制，六龜地區因農耕人口不足，形成許多荒廢的芒果園及蓮霧園，可嘗試發展農林混作，在已有的芒果樹或蓮霧樹下栽植臺灣山茶，將可提供農民另一種耕作形式的選擇，除了如同林下經濟般，有利於臺灣山茶的區外種原品系保育作業及增加收入之外，也有助於以多層次複層林的概念防止農地土壤沖蝕。加上農地的可達性高及六龜在地山茶利用文化特性，可結合社區發展生態旅遊，有利於提高農民收入及達到永續經營的目標。但臺灣山茶的天然分佈海拔介於 600~1,700 m 之間，傳統農民栽種經驗上低海拔農地的微環境，似乎不利於臺灣山茶的生長。本試驗主要目的是要測試在芒果樹下種植臺灣山茶的可行性？何

¹⁾ 屏東科技大學森林系，912301 屏東縣內埔鄉老埤村學府路 1 號。

²⁾ 行政院農業委員會林業試驗所六龜研究中心，844005 高雄市六龜區中興里中庄 198 號。

³⁾ 行政院農業委員會林業試驗所蓮華池研究中心，555002 南投縣魚池鄉五城村華龍巷 43 號。

⁴⁾ 行政院農業委員會林業試驗所育林組，100051 臺北市中正區南海路 53 號。

* 通訊作者，E-mail: lwenc@tfri.gov.tw。

種微環境有利於臺灣山茶的生長及茶菁的採收？

材料與方法

一、臺灣山茶於芒果樹下栽種方式及樣區設置

於 2018 年 9 月選擇高雄市六龜區尾庄 3,000 m²(寬約 15~18 m×長約 170 m)農地為基地，海拔高度 260 m，其上方已種植 106 株芒果樹，樹高與冠幅分別約為 4×3 m，株距約 3×3 m，芒果樹的空間分布及生長狀況因颱風侵襲，使其略有異質性，因此造成了局部的光線高的大孔隙與光線相對低的小孔隙區域，具有不同的微環境。

同年 10 月完成整地與臺灣山茶栽種，以 2×2 m 株行距方式栽植，每穴栽植 3 株，約成正三角型配置，每株距離約 0.4 m，共計栽植 85 排，673 個植穴。每一植穴配有手動澆水噴灑系統，病蟲害管理以使用友善農法藥劑為原則，每年施用 4 次有機肥，每次各單株施用 80 g。

因芒果樹在分布及生長上略有異質性，在芒果樹生長較差(大孔隙)及生長良好的樹冠層下(小孔隙)，分別各選擇 30 個植穴，總計 60 個植穴進行生長監測，監測數值包括樹高、地徑、葉片數量、冠幅(量測最長邊及其垂直邊的 2 個測值平均)。另外，以 30 個植穴進行山茶植株死亡狀況監測，若曾經死亡補植苗木，則視為死亡補植，調查了解小孔隙與大孔隙環境下，山茶的死亡補植率。每年乾季結束後的 4 月及雨季結束後的 10 月進行量測，死亡的植株則於調查後進行補植，並持續進行監測。為使茶樹能產生多量側枝以增加葉菁產量，於 2020 年 4 月將臺灣山茶矮化至高度 70 cm。山茶產量方面，因各單株間長新芽的時間不同，因此以 2021 年 4 月 23 日起的 5 次茶菁產量總合做為 110 年春季茶菁產量的標準。

二、微環境監測方式

(一)小孔隙與大孔隙樹冠開闊度

使用 olympus tough tg-6 相機搭配 olympus fcon-t02 魚眼鏡頭，在 60 個臺灣山茶植穴上方 130 cm 進行拍攝，拍攝時保持相機鏡頭垂直面對天空。於陰天無直射光時拍攝，如果相片上有水珠、霧氣、直射光、過度曝光或因太靠近葉片造成鏡頭而遮蓋大部分畫面等情形時重新拍攝，如因天氣狀況不允許，使用繪圖軟體修正。使用 Gap Light Analyzer 進行相片處理分析，以人工判別方式選取照片分析的臨界值(threshold)，使用樹冠開闊度(canopy openness)來代表樣點的光環境。樹冠開闊度測後可知大孔隙樣區開闊度介於 24.9~67.7%，林下則介於 10.2~22.1%，經 t 檢定比較後，大孔隙與林下的樹冠開

闊度呈現顯著差異。

(二)光度及溫溼度

量測 2021 年 4 月 3 日至 22 日，每日早上 6:00 至晚上 18:00 的光度及溫溼度資料。光度資料每 5 分鐘監測紀錄 1 次，溫度與溼度則每 30 分鐘監測紀錄 1 次。在芒果樹農地的大孔隙樣區與小孔隙樣區各設置一組溫濕度計及光量子感測器，另外在附近全光區(林業試驗所六龜研究中心)同樣設立一組溫濕度計及光量子感測器，收集 2021 年 4 月 3 日到 2021 年 4 月 22 日氣象資料。溫溼度資料使用 U23 Pro-v2(HOBO)溫濕度計收集，光量子感測器使用 WatchDog 1000 Series Micro Dataloggers (Spectrum)搭配 Quantum Light Sensor (Spectrum)。

在全光與大孔隙樣區，光度最高均可達 $2,300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPFD (photosynthetic photon flux density)，小孔隙最高為 $957 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。全光、大孔隙與小孔隙的光度平均值為 637、554 及 $54 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ；全光、大孔隙與小孔隙的溫度平均值為 27.7、28.4 及 26.1°C ；全光、大孔隙與小孔隙溼度平均值為 66.3、66.5、76.1%。

三、資料統計與分析

以 2018 年 11 月及 2021 年 4 至 6 月間的生長資料進行比對，使用 Excel 軟體進行統計分析。分析方法分述如下：

(一)敘述性統計分析

以敘述性統計分析(descriptive statistics)計算芒果樹小孔隙與大孔隙樣區下，臺灣山茶樹高、冠幅、葉片樹、地徑的平均值及標準差。不同芒果樹密度下，小孔隙與大孔隙樣區下死亡率補植的百分比。

(二)獨立樣本 t 檢定

以獨立樣本 t 檢定(t-test)來檢視臺灣山茶在芒果樹小孔隙與大孔隙樣區不同光量的情況下，樹高、冠幅、葉片數量、地徑及茶菁產量的差異性。

結果與討論

一、芒果樹大孔隙與小孔隙的臺灣山茶生長反應

由表 1 可知，從 2018 年 10 月及 2021 年 4 月共 2 年半的栽種期間，小孔隙栽種的臺灣山茶，其樹高、地徑及冠幅的生長反應均比大孔隙下的高出 2 倍以上，且經 t 檢定比較後，均呈顯著差異。而在光合作用葉片數量方面，小孔隙更比大孔隙樣區多出 3.8 倍，亦呈顯著差異。另外，在死亡率的監測比較方面，大孔隙下方種植的臺灣山茶死亡

補植率顯著高於小孔隙鬱閉樣區，死亡補植率高出約 5 倍。顯示在大孔隙樣區，由於日照較強等微環境，容易造成茶樹樹苗逆境，致使其枯死，大幅降低樹苗的存活率。

表 1. 芒果樹大孔隙與小孔隙的臺灣山茶生長反應

生長特性	大孔隙	小孔隙
樹高(cm)	55.0±24.2 ^a	129.4±33.6 ^b
地徑(cm)	0.7±0.3 ^a	1.5±0.8 ^b
冠幅(cm)	23.0±10.5 ^a	57.5±16.2 ^b
葉片數量(片)	26.5±25.8 ^a	99.0±43.1 ^b
死亡補植率(%)	23.3	4.4

註：芒果樹大孔隙與小孔隙的臺灣山茶生長特性中，有不同字母者，具顯著差異(t-test, $p < 0.05$)。

3,000 m²的農地中，因芒果樹生長與分布的異質性，造成芒果樹下有顯著不同的孔隙度，形成了微環境上的差異性，例如在大孔隙下的最大光度可達 2,300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，為小孔隙 957 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 的 2 倍以上，平均光度差距更高達 10 差。這也使得在小孔隙的臺灣山茶生長中，不論在樹高、地徑、冠幅及葉片數量方面，都顯著優於大孔隙中的臺灣山茶。以上結果與傳統農地種植經驗上，總希望光量高一些的想法不同，若是光度太大，反而造成臺灣山茶生長不良。此結果與臺灣山茶屬於光合潛力在 14.9~12.5 $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 的耐陰樹種之研究相符。(林倉憶等 2020)

二、臺灣山茶茶菁產量分析

在 2021 年 4 月 23 日至 5 月 31 日間，針對芒果樹大孔隙與小孔隙的各 30 植穴 90 株的臺灣山茶，進行 5 次的茶菁採摘，並以各單株植株茶菁總合進行分析，結果如表 2 所示。

表 2. 芒果樹大孔隙與小孔隙的茶菁產量

茶菁產量	大孔隙(g)	小孔隙(g)
最大	3	69.6
最小	0	0
平均值與標準差	0.2±0.6 ^a	20.2±13.7 ^b

註：茶菁產量平均值標準差，大孔隙與小孔隙有不同字母者，具顯著差異(t-test, $p < 0.05$)。

結果顯示光線較強的芒果樹大孔隙樣區中，茶菁產量最大單株僅 3 g，小孔隙樣區則可高達 69.6 g。茶菁平均值差距達 100 倍，t 檢定達顯著差異。

對於茶農來說，樹高、地徑、冠幅及葉片數量方面的優良生長數據，雖然代表著植株健康強壯，但茶菁的採收量才是經濟的來源。適當的矮化，可造成側枝生長，形成眾多的生長芽點，才能增加茶菁的採收量。本實驗於 2020 年 4 月在臺灣山茶栽植 1.5 年後矮化至高度 70 cm，然後接續在 1 年後的 2021 年 4~5 月中，則以實際的生長高度進行茶菁採摘作業，結果顯示小孔隙的臺灣山茶所產生的茶菁產量顯著高於大孔隙者。嫩芽採摘可能產生如同矮化的效應，增加茶菁的產量，然一般茶葉大都在 3 年以上的種植後才進行逐步的茶菁量產，本次於 2.5 年生的栽植後進行茶菁分析，可做為後續量產的參考。

結論

- 一、芒果樹大孔隙與小孔隙的開闊度有顯著不同，造成光度等微環境的差異性，使得小孔隙的臺灣山茶在樹高、冠幅、地徑及光合作用葉片數量生長方面都顯著優於大孔隙者。小孔隙臺灣山茶的死亡補植率亦僅有大孔隙樣區的 5 分之 1。
- 二、小孔隙的臺灣山茶春茶茶菁採收量顯著優於大孔隙。

引用文獻

- 王兩全、何信鳳、陳右人、馮鑑淮、邱再發 (1990) 台灣野生茶樹種原保存及利用 I. 台灣眉原山野生茶樹調查。台灣茶葉研究彙報 9: 1-6。
- 何信鳳、王兩全 (1984) 台灣野生茶樹之蒐集。台灣茶葉研究彙報 3: 133-155。
- 林倉億、郭耀綸 (2020) 藉由光合作用性狀判斷台灣 80 樹種的耐陰性。森林資源永續發展研討會。
- 張心怡、吳憶萍、林文智、黃姝妍、婉筱婷 (2020) 臺灣山茶六龜飄香。林務局 109 年補助出版。
- 陳永修、林文智、周富三 (2018) 臺灣山茶植物社會樹木的組成與結構。2018 森林資源保育與利用研討會。
- 陳永修、林文智、周富三(2019) 臺灣山茶種子發芽試驗之研究。2019 森林資源保育與利用研討會。

陳永修、周富三、蔡政亨、林文智(2019) 臺灣山茶扦插試驗之初探。2019 森林資源保育與利用研討會。

Su MH, Hsieh CF, Tsou CH. (2009) The confirmation of *Camellia formosensis* (Theaceae) as an independent species based on DNA sequence analyses. *Botanical Studies* 50: 477-485.

臺灣山茶植食性昆蟲初探

范義彬^{1)*} 林文智¹⁾ 朱榮三¹⁾ 廖紬君¹⁾ 蔡佳彬¹⁾

緒言

害蟲綜合管理(IPM, integrated pest management)的觀念肇始於 1960 年左右，在 1966 年 Smith 和 Reynolds 將其定義為：為維持生態系平衡下運用多種可行的防治方法，使害蟲的族群密度維持在經濟危害水平之下；最簡單的說法便是利用各種方法讓害蟲的族群動態降至經濟危害水平之下，是一個預防、綜合的經營管理方式。而害蟲化學防治(pest chemical control)的意義是指植物害蟲發生後採取化學藥劑之防除害蟲的手段或方法，這是一種事後的補救工作，有點像是頭痛醫頭、腳痛醫腳。

害蟲的定義是植食性昆蟲(phytophagy)對植物的取食已經超過經濟危害水平，對人類的利益已造成危害者，才稱為害蟲。因此不同的作物，依據其栽植目的、經濟價值而有不同的經濟危害水平、不同的防治時機和防治方法。例如園藝作物中的花卉和高經濟價值的水果，它們的經濟危害水平非常低，只要受到一點危害，便會對其品質造成非常大的損失，因此它們的害蟲綜合管理必須非常嚴密及精緻；而造林木和綠化植物的經濟危害水平非常高，若非植株被植食性昆蟲的取食已經危害到其生存或是影響到景觀，一般輕微的影響可以使用一些簡便、無毒害的防治方法便可以使害蟲的族群降至經濟危害水平之下，無須實施藥劑防治。

臺灣的茶樹是一種經濟價值非常高的作物，產值非常高，而病蟲危害是茶葉生產的巨大影響，目前紀錄的茶葉害蟲有 7 目 39 科 119 種(張玉珍和洪麗梅 1986)；臺灣原生種的臺灣山茶 *Camellia formosensis* 非常具有發展潛力、市場價值，未來的推廣最大的威脅和阻力就是臺灣山茶的病蟲危害，因此植食性昆蟲生活習性和族群動態的調查，是蟲害管理的預防工作，是山茶推廣成敗的當務之急。

本研究案所指植食性昆蟲(phytophagy)的定義是指以植物體的根、莖、葉、花、果實為食的昆蟲，依其口器的不同，又可區分為咀嚼式和刺吸式口器植食昆蟲。

¹⁾ 行政院農業委員會林業試驗所六龜研究中心，844005 高雄市六龜區中興里中庄 198 號。

* 通訊作者，E-mail: ybfan@tfri.gov.tw。

材料與方法

一、調查樹種與樣區

目標為臺灣山茶，調查樣區以林業試驗所六龜研究中心鳴海山、森山氣象站、鳳崗苗圃、扇平園區、六龜中庄有原生分布或人工栽植的臺灣山茶為目標。

在現場能直接鑑定植食昆蟲種類者，拍照存證，幼蟲或難以直接鑑定者，帶回研究室飼養或製作標本加以鑑定。

二、植食性昆蟲的定性及定量調查

(一)植食性昆蟲的定性調查

2021 年 4~6 月在林業試驗所六龜研究中心鳴海山、森山氣象站、鳳崗苗圃、扇平園區、六龜中庄有原生分布或人工栽植的臺灣山茶為目標。不定期調查，主要記錄調查植食性昆蟲主類。

(二)植食性昆蟲的定量調查

2021 年 5~6 月時間為每月 1 次，以鳳崗苗圃、扇平園區、六龜中庄 3 處，每一樣區 20 株。

植食性昆蟲的發生率(%)：植食性昆蟲取食株數 n /調查株數 N

植食性昆蟲的為害程度：

單株為害程度 a ：依為害程度由低到高、由輕微到非常嚴重分成 1~5 級。

樹種總為害程度 $A = (a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n)/N$ 。

結果與討論

一、臺灣山茶的植食性昆蟲

(一)2021 年 4-6 月在六龜臺灣山茶分布地區發現刺吸式口器植食昆蟲半翅目 1 目 6 科 8 種，咀嚼式口器植食昆蟲鞘翅目、鱗翅目 2 目 10 科 11 種，合計 3 目 16 科 19 種。鱗翅目 7 科 8 種最多、半翅目 6 科 8 種、鞘翅目 3 科 3 種。

(二)除了咖啡木蠹蛾 *Zeuzera coffeae* 幼蟲蛀食枝幹，其餘 7 種蛾幼蟲及埔里黑金龜 *Holotrichia horishana* 取食葉部組織。刺吸式口器植食昆蟲均屬於半翅目的介殼蟲、蚜蟲、瓢蠟蟬 *Hemisphaerius delectabilis*、青蛾蠟蟬 *Geisha distinctissima*、葉蟬、椿象，除了蚜蟲、小象鼻蟲、姬捲葉蛾 *Adoxophyes* sp. 取食嫩葉，茶茸毒蛾 *Olene baibarana*、棕長頸捲葉象鼻蟲 *Paratrachelophorus nodicornis* 取食新葉，茶斑蛾 *Eterusia aedea formosana*、紅頸黃斑蛾 *Arbudus submacula*、捲葉螟取食青壯葉，其餘介殼蟲、瓢蠟

蟬、蛾蠟蟬、葉蟬、椿象在老葉葉背、枝幹部吸食樹液。

(三)目前記錄的臺灣山茶植食昆蟲 3 目 16 科 19 種，其中鱗翅目的黃紋紅頸斑蛾、茶茸毒蛾、茶姬捲葉蛾為寡食性植食性昆蟲(oligophygous)，其餘皆為多食性植食昆蟲(polyphygous)。

(四)對於臺灣山茶產茶葉的品質、產量影響最直接、最大的植食性昆蟲便是取食嫩葉的，例如：月桔蚜、小象鼻蟲、茶姬捲葉蛾。

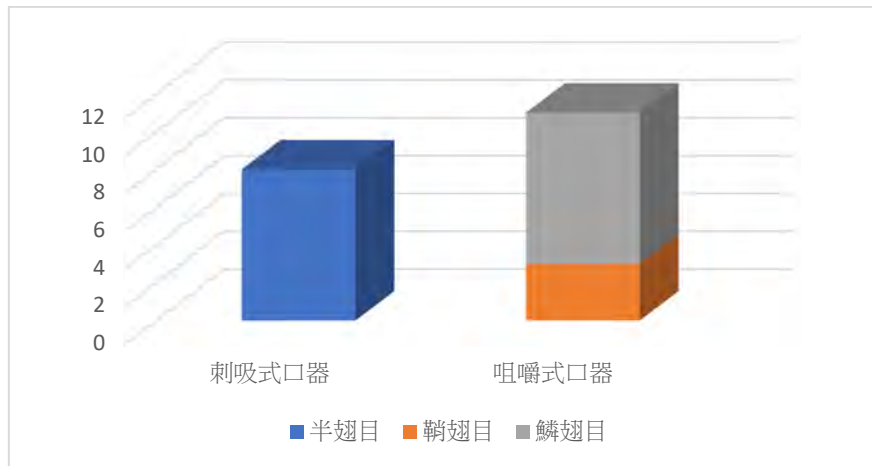


圖 1. 六龜地區臺灣山茶植食性昆蟲分類組成圖

二、植食性昆蟲的發生率和危害程度

(一)今年 5、6 月調查六龜地區臺灣山茶植食性昆蟲種類變化，如表 1 之 5 月份六龜記錄 4 種、扇平 8 種、鳳崗 7 種植食性昆蟲，6 月份六龜記錄 2 種、扇平 4 種、鳳崗 7 種植食性昆蟲。

表1. 六龜地區臺灣山茶植食性昆蟲種類表

		六龜	扇平	鳳崗
5月	刺吸式	1	4	3
	咀嚼式	3	4	4
6月	刺吸式	1	3	3
	咀嚼式	1	1	4

(二)六龜地區臺灣山茶植食性昆蟲的發生率，如表 2，發生率最高的為鳳崗苗圃的黑葉蟬，5 月發生率高達 100%，6 月下降為 55%，其次為六龜中庄的芒果綠葉蟬 *Idioscopus clypealis* 發生率 50%，6 月下降為 20%。另外黃紋紅頸斑蛾是 4 月份發現，在 5、6 月沒有調查到。

表2. 六龜地區臺灣山茶植食性昆蟲的發生率(%)

害蟲種類/地點	扇平		六龜		鳳崗	
	5 月	6 月	5 月	6 月	5 月	6 月
刺吸口器						
青蛾蠟蟬	5					
月桔蚜	5	30				
咖啡硬介殼蟲	15	10				
柑桔並盾介殼蟲		5				
芒果綠葉蟬			50	20		
瓢蠟蟬					5	15
黑葉蟬					100	55
蠟形嬌異椿						5
咀嚼口器						
埔里黑金龜	20					
捲葉螟	20					
茶斑蛾	5					
黃紋紅頸斑蛾						
大避債蛾			5	5		15
咖啡木蠹蛾			10			
小象鼻蟲					50	
茶茸毒蛾						15
捲葉象鼻蟲		20				
茶姬捲葉蛾					20	10
鈴木氏窗蛾					10	10

(三)六龜地區臺灣山茶植食性昆蟲的危害程度，如表 3，危害程度最高的為黑葉蟬，在鳳崗苗圃 5 月 0.9，6 月下降為 0.55，因為其發生率在 5 月 100%，對單株的危害程度達 2 級；其次為鳳崗苗圃的小象鼻蟲 5 月 0.75，6 月沒發現，牠取食嫩芽部分；六龜中庄的芒果綠葉蟬，數量也相當多，5 月 0.5，6 月下降為 0.2。必較特殊、需要關注的是六龜中庄的咖啡木蠹蛾，牠蛀食臺灣山茶的主幹，雖然平均分數才 0.3，但是單株為害為 4 級，會造成臺灣山茶枯死。

表3. 六龜地區臺灣山茶植食性昆蟲的危害程度(1~5)

害蟲種類/地點	扇平		六龜		鳳崗	
	5 月	6 月	5 月	6 月	5 月	6 月
刺吸口器						
青蛾蠟蟬	0.05					
月桔蚜	0.05	0.15				
咖啡硬介殼蟲	0.15	0.1				
柑桔並盾介殼蟲		0.05				
芒果綠葉蟬			0.5	0.2		
瓢蠟蟬					0.05	0.15
黑葉蟬					0.9	0.55
蠟形矯異椿						0.05
咀嚼口器						
埔里黑金龜	0.1					
捲葉螟	0.1					
茶斑蛾	0.05					
黃紋紅頸斑蛾						
大避債蛾			0.05	0.05		0.15
咖啡木蠹蛾			0.3			
小象鼻蟲					0.75	
茶茸毒蛾						0.15
捲葉象鼻蟲		0.2				
茶姬捲葉蛾					0.2	0.1
鈴木氏窗蛾					0.1	0.1

結論

臺灣山茶為原生種的茶樹，近幾年開始風行，對環境適應性強，也是林下經濟中極具發展性、高經濟價值的作物，但是其病蟲害相關資料不全，這正是本研究的目標，目標在提供害蟲綜合管理的依據和參考。

因此持續調查、監測臺灣茶山的植食性昆蟲，依據其不同的發生率、危害程度，才能制定和運用不同的防治時機和防治方法，對未來林下經濟臺灣茶山的推動才有實際的助益。

引用文獻

張玉珍、洪麗梅 (1986) 台灣林木害蟲及其寄主植物名錄。林業叢刊第 25 號 282 頁。

曾信光、林秀榮 (2018) 茶樹害蟲介紹。農委會茶葉改良場官網

<https://www.tres.gov.tw/ws.php>。

范義彬 (2019) 臺東地區海岸林植食性昆蟲調查研究。14 屆環境保護林研討會。

山蘇的林下種植與產銷現況調查

顏士雄^{1)*} 陳芬蕙²⁾

緒言

山蘇喜陰濕環境，自 1980 年代由花蓮太魯閣族的傳統民俗食材傳入山產店，迄今臺灣各地以熱炒店、海產店、山產店為主的台式餐廳都可見到這項食材，在市場需求下，屢有要求農委會開放林地於林蔭下種植山蘇的聲音。臺灣原生的山蘇有三種：東洋山蘇花 (*Asplenium setoi* (J.Sn.) Hook.) (又稱南洋巢蕨)、臺灣山蘇花(*A. nidus* L.)和山蘇花(*A. antiquum* Makino)。其中以東洋山蘇的栽植最普遍，因為其葉片較大、生長快且苦味較低(徐嘉君 2015)。山蘇原為附生植物，根系淺，傳統上不適合農作生長的劣質耕地甚至石生地也能種植，目前多種植於設施或人工林中(徐嘉君 2015)。臺灣現在山蘇主產地在多雨的花蓮、屏東淺山地區，且多為原住民部落所在，若增加山蘇種植面積可能影響山區自然環境與部落經濟，本項研究以「山蘇的林下種植與產銷現況」為主軸，探究山蘇田間管理及產銷現況及增列為林下經濟作物可能面臨議題。是項研究的工作方法以訪談為主，輔以相關文獻的收集，再綜合訪談與文獻收集所得進行分析。

材料與方法

一、研究項目

為了解擴大林下種植山蘇面積對山村自然環境與社會經濟的影響，本研究針對臺灣的山蘇產銷之調查項目包括：(1)山蘇種植概況；(2)山蘇的田間管理方式與對自然環境的影響；(3)山蘇產業與山村社會、經濟之關係；(4)山蘇的產銷現況與擴大種植的可能性。

二、研究方法

本研究主要以半結構式訪談方式進行，先就訪談重點議題依不同的訪談對象設計訪談大綱，引導受訪者自由回應。因訪談重點議題包括對林業政策執行的意見，以及未列入政策許可清單中的林下作物的種植概況，前者涉及行政機關內部的人際關係，後者在某些情況下可能違反法令，為免受訪者疑慮事後有不必要的麻煩，相關訪談內容於論文

¹⁾ 國立東華大學自然資源與環境學系博士班，974003 花蓮縣壽豐鄉大學路二段 1 號。

* 通訊作者，E-mail: ssyan0326@gmail.com。

²⁾ 行政院農業委員會林業試驗所育林組，100051 臺北市中正區南海路 53 號。

中引用時均採匿名處理。

三、研究實施

本研究進行期間為 2020 年 3 月至 2021 年 6 月，研究區域參考 2019 年農委會統計資料，得出全臺灣山蘇種植面積 573.43 公頃，花蓮、屏東兩縣合佔 94.42% 種植面積，因此由這兩縣選擇訪談對象，訪談對象與重點議題如下：

(一)基層行政單位(鄉公所)林下經濟與山蘇產銷輔導承辦人員

選擇花蓮與屏東縣內種植山蘇面積最多的鄉鎮各兩個，分別為花蓮縣秀林鄉與萬榮鄉，屏東縣獅子鄉與牡丹鄉，訪談大綱為：(1)鄉內林下作物的種植現況與山蘇的種植情形；(2)鄉公所的產銷輔導措施；(3)對開放林地種山蘇的看法；(4)對林下經濟政策推行的建議；(5)推薦對山蘇產銷狀況較了解的山蘇農戶。

(二)種植山蘇的農民

全為花蓮與屏東兩地的山蘇農戶，受訪者名單如表 1，訪談大綱為：(1)投入山蘇種植的歷史；(2)山蘇種植的成本與田間管理方式、產量及採收成本；(3)山蘇的價格與銷售通路的選擇機會；(4)農民對山蘇的種植管理是否含友善環境的理念(不直接問，由訪談中引導、觀察)；(5)當地政府、農民團體是否有產銷輔導措施，效果如何？(6)對林下作物種植的經驗與對政府開放林下經濟的看法。

表1. 訪談農民清單

日期	地點	受訪者	代號	備註
2020/03/31	花蓮光復鄉大興村	林先生	農戶 A	漢人
2020/05/12	花蓮秀林鄉秀林村	周先生	農戶 B	慈心有機認證
2020/09/10	花蓮萬榮鄉西林村	梁先生	農戶 C	集貨場負責人
2020/12/22	屏東獅子鄉草埔村	蔡女士	農戶 D	夫為產銷班長
2021/02/06	屏東獅子鄉內文村	施先生	農戶 E	村長
2021/03/18	屏東牡丹鄉東源村	洪先生	農戶 F	產銷班長
2021/03/18	屏東牡丹鄉東源村	黃先生	農戶 G	
2021/04/01	屏東牡丹鄉東源村	蔡女士	農戶 H	

資料來源：本研究整理

結果與討論

一、山蘇種植概況

臺灣的山蘇種植面積，依農委會統計資料庫(只有 2015-2020 年數據)，過去 6 年中，2017 年達到最高峰 637.93 ha 後逐年下降，2020 年剩 556.37 ha，年產量亦有逐年降低的趨勢，特別是 2017 年起，單位面積年產量由差不多 10,000 kg/ha 降到低於 5,000 kg/ha，

減產原因據訪談所得有二，一為市場需求傾向嫩葉；二為常年收購價格不好，低於採收工資成本農民即不願僱工多產。依各鄉公所承辦人與受訪山蘇農所述，山蘇絕大部份種於農牧用地的各種果樹與雜木林下，未種在林地中，除因非法受取締外，最大的因素是山蘇產地價格常年低迷，農民不願因林下種山蘇而失去領造林地禁伐補償金的機會。

二、地方政府的產銷態度

訪談兩縣四鄉鄉公所，在屏東獅子鄉與牡丹鄉山蘇為境內年產植最大的農作物，積極介入產銷輔導，但對是否開放為林下經濟作物看法不同。獅子鄉樂觀其成，牡丹鄉則認為銷售單價未提高的話，農民無擴大種植意願。花蓮縣兩鄉則僅視為一般農作物，在產銷上無太多想法。

三、山蘇的田間管理方式與對自然環境的影響

因地緣關係，緊鄰花蓮縣秀林鄉的花蓮農改場甚早參與山蘇種植的品種改良與技術研發，種植相關技術可參閱花蓮農改場全中和研究員的著作(全中和 2000, 2004)與「山蘇蕨菜生產技術之研究」。但受訪的山蘇農們表示，農民田間種植的環境與管理上考量的因素與農改場的試驗場域不盡相同，依 8 位受訪者所述，山蘇的田間管理方式對自然環境的影響如下：

- (一)需遮陰但也需適度光照，以林下能長雜草的環境為準，因此需對林木適度修枝、疏伐。須維持潮濕，噴灑系統可增加濕度及降低溫度。
- (二)不用農藥，另花蓮農民不施肥，屏東農民施肥以有機肥佔絕大部份，其他如生雞糞、台肥 5 號與興農天龍 5 號有機複合肥等，不同農民各有其施肥秘方，由表 2 看，農民的施肥量由不施肥到每年 31,040 元/ha，差異極大，收穫量也與施肥量約略呈正相關。

表 2. 年度肥料花費與山蘇產量比較表

代號	地點	種植面積(ha)	肥料(元/ha)	每公頃產量(kg)
農戶 A	花蓮光復鄉	2.50	0	1,997
農戶 B	花蓮秀林鄉	9.70	0	1,940
農戶 C	花蓮萬榮鄉	33.95	0	2,771
農戶 D	屏東獅子鄉	0.49	31,040	8,497
農戶 E	屏東獅子鄉	1.94	23,280	9,079
農戶 F	屏東牡丹鄉	0.49	12,610	3,399
農戶 G	屏東牡丹鄉	0.29	10,864	3,964
農戶 H	屏東牡丹鄉	1.55	13,750	5,311

※農戶 C 為共同產銷農民代表，表載為 13 位農民種植面積合計

資料來源：本研究整理

(三)蟲害少，但臺灣獼猴、山羌、山羊、梅花鹿(屏東縣獅子鄉內文村)會吃山蘇嫩葉，山豬會掘開植株吃底下的蚯蚓、獨角仙幼蟲。

(四)山蘇種植後可採收 20 年以上，種植後最高的花費為採收工資，在山蘇產地價低迷下，幾乎不會種在陡坡上。

小結，山蘇種植對自然環境可能影響包括：為採光對林木修枝、過度施肥造成的下游水體優養化、野生動物覓食與農損的衝突、山豬掘開植株對水土保持的影響。

四、山蘇產業與山村社會、經濟之關係

山蘇產地價常年低迷，但囿於初始種植資本與山區具規模性經濟價值的農產品不多，因此訪談的四個山蘇主產地鄉鎮，幾乎都是以村為單位聚集性種植，村中一半以上的居民經濟收入與山蘇產業相關，因社會結構與山蘇發展歷程不同，形成不同的社會與產業經濟關係，以下述三村為例

(一)屏東縣獅子鄉內文村：全村常住約 90 戶，只有一戶未種山蘇，是全台山蘇總產量與單位面積產量最高的地方，全村投入山蘇種植，是家戶收入的絕大部份。除自家收成外，在採收期空檔也互為僱工。

(二)屏東縣獅子鄉東源村：部落中除山蘇外，還有因東源濕地發展出的觀光產業，山蘇農僅佔村中一部份，因尋求與盤商議價能力，形成以 6 個種植大戶為中心，底下各有數個小山蘇農依附的小團體。小山蘇農以自家人力採收，大戶則提供工作機會給部落中的勞動力。

(三)花蓮縣萬榮鄉西林村：山蘇佔全村產業的絕大部份，但全村 450 戶中山蘇農只有 50 戶左右，山蘇農除相互換工採收外，也大量僱用村中以老人為主的勞動力。不過此處每日採收工作只有 4~5 小時，工資以 800 元/半日計，青壯年與外村人受僱意願低，因此成為村裡老年人為主的工作機會。

小結：因山蘇需陰濕環境，採收耗人力，因此容易在原鄉部落形成以村/部落為單位的產業群聚，且成為當地家戶的主要經濟收入。

五、山蘇的產銷現況與擴大種植的可能性

(一)山蘇的生產成本

山蘇的種植成本，大致上可劃分為土地、林木、山蘇苗採購、整地、山蘇苗種植、田間管理、採收、產銷設備等幾項。但已受訪的農民均非企業化經營，多數無法對於某些分項成本記錄，多數農戶僅以施肥及採收工資約略估算成本。花蓮縣光復鄉農民 A 剛新租地擴大種植規模，能較清楚的敘述各項生產階段的資本投入，如表 3 所示，就其所

述經營方式概略試算出生產成本為 18,717 元/分，折算為 $18,717/0.97/1,000=192,959$ 元/ha。以年產量 $2,058.8 \text{ kg/甲} \times 0.97=1,997 \text{ kg/ha}$ 計算，農民 A 的成本線為 $192,959/1,997=96.6$ 元/kg。

(二)山蘇的批發價格與產銷通路

農民生產山蘇能獲利嗎？由表 4 比較 2015~2019 年臺北市與全國(16 處批發市場)山蘇批發價的年平均價格差異，兩者差異在 10%以內，但花蓮只有全國與臺北市批發市場價格的一半不到。原因為山蘇嫩葉在常溫下易氧化發黑，無法久藏，因此將山蘇送到遠地批發市場需以冷藏貨車運輸，單一農戶的產量難以負擔冷藏貨車的成本。而早期各農政單位輔導的產銷班紛紛被盤商運用雄厚資金以競價方式瓦解，加以產地就近的批發市場被盤商由外地調貨壓價，導致山蘇各產區的銷售通路由盤商把持，常年以低價收購。訪談中得知，屏東產地的盤商收購價，依淡旺季區分，約 67~150 元/kg，花蓮縣約 50~133 元/kg，但一年中大部份的時候幾乎都是以前述的最低價收購。前述花蓮縣農民 A 的生產成本為 96.6 元/kg，年產量 1,997 kg/ha，其山蘇全在花蓮批發市場銷售的話，在批發價最高的 2019 年將虧損 $1,997 \times (96.6 - 59.9) = 73,290$ 元/ha。若賣給花蓮的中盤商，常年 50 元/kg，旺季時漲到 133 元/kg，以中間價 91.5 元/kg 算，虧損將為 $1,997 \times (96.6 - 91.5) = 10,184$ 元/ha，而同年在台北銷售則為獲利 $1,997 \times (117.9 - 96.6) = 42,536$ 元/ha。

表3. 農民 A 之山蘇經營成本(土地面積單位：分)

支出項目	金額	說明
土地	0	家傳土地，難計成本
造林/遮蔭	0	已成林，未紀錄昔日造林成本
山蘇苗	5,000/分	每分地2,000株，採購價50元/株，分20年攤提，每年0.5萬/分
整地/年攤提	10,000/分	鋪設噴灌設備時兼整地，可採收20年，分20萬，分20年攤提，每年1萬
種植苗木/年攤	500/分	每分地2,000株，日種300株，工資1,500元/天分20年攤提， $(2,000/300 \times 1,500)/20=500$ /分
田間管理	0	不用肥料、農藥
採收	3,217元/分	夫妻兼營未雇工，但提到採收速率為12公斤/小時，年產量2,058.8公斤/甲，日工資1,500元。 $(2,058.8/12) \times 1,500/8 = 32,169$ /甲=3,217元/分
總計	18,717元/分	

資料來源：本研究整理

表4. 山蘇批發價格比較

年度	全國批發市場平均價 (kg)	台北市批發市場平均價 (kg)	花蓮批發市場平均價 (kg)
2015	111.9	111.2	34.9
2016	110.0	122.4	37.4
2017	93.9	105.6	40.2
2018	100.8	96.4	40.4
2019	118.6	117.9	59.9

資料來源：整理自農產品批發市場交易行情站

而實際上農民在計算農產品銷售的損益時，很少將自己平常除草施肥的田間管理勞動力計入生產成本中，採收時，只要盤商收購價格能負擔僱用的工資就賣了，甚至只要自己參與勞動，還能承受更低的收購價格。如表 5 所示，有僱工採收能以工資計算採收成本的，近三年的最低銷售價格都約略等於採收工資，農民的願意銷售價格是以採收工資當底限，但若再加上肥料成本，即使無視自己的勞力成本，以最低價格出售農民還是賠本的。

表5. 山蘇農的採收成本與近三年最低出售價格

代號	地點	產量(kg/ha)	採收成本(元/台斤)	肥料成本(元/台斤)	最低售價 (元)
農戶 A	花蓮光復鄉	1,997	自工		50
農戶 B	花蓮秀林鄉	1,940	自工+僱工		多元通路
農戶 C	花蓮萬榮鄉	2,771	30		30
農戶 D	屏東獅子鄉	8,497	40	2.2	40
農戶 E	屏東獅子鄉	9,079	42	1.5	40
農戶 F	屏東牡丹鄉	3,399	48	2.2	50
農戶 G	屏東牡丹鄉	3,964	自工	1.6	40
農戶 H	屏東牡丹鄉	5,311	自工	1.6	40

資料來源：本研究整理

因盤商在產地收購的價格長期在農民的成本線附近，因此少部分農民嘗試尋找不同的產銷通路以提高出售價格，如花蓮的農戶 A 自購冷藏設備，研發出在不同濕度與溫度採收山蘇後先以適當的溫度冷藏，之後可常溫貨運寄到西部各都會區果菜批發行口寄售；農戶 B 則申請慈心有機認證，並配合花蓮縣農會的有機、無毒農業銷售平台，以較高的價格銷售有機山蘇。也有四位農民供貨給就近的餐廳。但多數農民的年產量，均需仰賴盤商收購才能消化掉。

為解決盤商聯合把持銷售通路問題，屏東縣獅子鄉公所與花蓮縣萬榮鄉西林村均有

聚集山蘇農成立產銷合作社的構想，但有之前農會或鄉公所產銷班在盤商競價打壓後瓦解掉的不好經驗，且合作社更需農民先期拿出資本入股，在產銷通路前景不明的疑慮下，遲遲無法成形。

結論

- 一、山蘇種植不使用農藥與化學肥料，且為淺根附著地表，在現行以農牧用地為主的種植方式，是對土地相對友善的農作經營方式。但屏東縣山蘇農為求產量有施用大量有機肥的情形，種植到造林地中還需適當的疏伐以求適當的光照，如欲列入林下經濟栽植作物需對有機肥的使用量與林木疏伐做規範。
- 二、因採收的山蘇嫩葉需低溫冷藏與運輸才能保持較久的鮮度，導致山蘇價格受有能力建置低溫運輸與銷售通路的中盤商壓價收購，產地與市場價格落差極大，多數時候農民的銷售價格在實質成本線以下，影響農民增產意願。
- 三、未改變現行山蘇產銷結構前，因產地收購價常年低迷，絕多數山蘇農以農牧用地維持舊山蘇園採收方式勉強維持生計，將山蘇列入林下經濟作物，開放於林地種植，促使農民投入資金擴大山蘇種植面積的機會不大。

引用文獻

全中和 (2000) 山蘇蕨菜栽培技術。花蓮區農業專訊 34: 9-11。

全中和 (2004) 山蘇蕨菜生產技術之研究。花蓮區農業改良場研究彙報 22: 57-62。

徐嘉君 (2015) 我國山蘇產業的現況觀察與願景。林業研究專訊 22(1): 4。

農委會農情統計網。<https://kmweb.coa.gov.tw/subject/subject.php?id=2674>。2021 年 6 月 1 日最後瀏覽。

農產品批發市場交易行情站。<https://amis.afa.gov.tw/main/Main.aspx>。2021 年 6 月 1 日最後瀏覽。

熱處理相思樹心材酒精可溶物之組成分及其抗氧化功效評估

吳郁靖¹⁾ 黃珮綾¹⁾ 張資正^{1)*}

緒言

陳釀酒精飲品是將食用酒放入陶甕、瓷器或木桶中，使環境中適量的空氣進入容器，與酒精飲品進行適度的陳化作用，其中的醣類化合物、有機酸及多酚類化合物等物質彼此透過適當的氧化反應、酯化反應及酸化反應等作用，賦予酒精飲品獨特風味及香氣。有別於陶甕及瓷器，木材含有植物生長過程中所製造的次級代謝產物(如萜類化合物、多酚類化合物等)，這些化合物在陳釀過程中能逐漸溶解於酒精飲品中並參與陳化作用，使酒精飲品的風味及香氣更加豐富且具有層次(Tao et al. 2014)。臺灣森林資源豐富、生產之木材品質優良，加上近年來推廣國產材，開發木材的多元化利用亦刻不容緩。相思樹(*Acacia confusa*)生產快速且產量豐沛，其心材含有豐富的多酚類化合物，具有抗氧化、抗發炎、保肝等功效，加上不具細胞毒性(Lin et al. 2018)，實值得加以開發與利用。過去研究證實相思樹心材乙醇可溶物具有抑制 LPS 誘導 RAW 264.7 細胞的發炎反應，且以 MTT 細胞活性試驗中發現，其不具有細胞毒性(Wu et al. 2008)，對於若將相思樹木材製作成酒桶或陳釀素材使用，將可開發其新的應用潛力。目前，坊間除利用橡木(*Quercus* spp.)之木條做為陳釀素材外，刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、歐洲甜櫻桃(*Prunus avium*)等木材亦有應用於酒精飲品陳釀素材，皆具有迷人之特殊香氣(Culleré et al. 2013)。倘若相思樹心材亦具類似應用之潛力，應可拓展相思樹之應用範疇，提升其經濟價值。由過去初步試驗之結果(何家芸等 2019)發現，相思樹心材中之多酚類化合物的確可賦予酒精飲品不同風味，尤以熱處理相思樹心材浸泡後之酒精飲品風味更佳，主要為熱處理後之相思樹心材多酚類化合物組成改變，賦予酒精飲品不同風味。然而，針對熱處理後相思樹心材多酚類化合物之具體成分為何，其是否亦具有抗氧化等保健功效，實值得評估與探討。因此，本試驗初步探討熱處理相思樹心材之化學組成分及其抗氧化活性，期能使相思樹心材陳化素材更具多元利用價值，使臺灣國產木材產品應用於地方農特產品等加值化方案中，更能將其應用至陳釀酒精飲品相關市場，開發屬於臺灣特色風味之陳釀飲品，使臺灣國產木材之應用範疇更加拓展。

¹⁾ 國立宜蘭大學森林暨自然資源學系，260007 宜蘭縣宜蘭市神農路一段 1 號。

* 通訊作者，E-mail: tcchang@ems.niu.edu.tw。

材料與方法

一、試驗材料

本試驗使用之試材為 25 - 35 年生之熱處理相思樹(*Acacia confusa*)心材，購自昆儀實業股份有限公司。95%酒精購自友和貿易股份有限公司，並以超純水分別勾兌至 20%、40%、60%及 95%四個酒精濃度。續將經不同濃度酒精萃取及減壓濃縮後得到之相思樹心材可溶物進行多酚類化合物含量分析及抗氧化活性分析。

二、多酚類化合物含量分析

(一)總酚類化合物含量(Total phenolic content, TPC)測定

取 500 μL Folin-Ciocalteu 試劑(1 N)加入 500 μL 之不同濃度(5、10、30 及 50 $\mu\text{g/mL}$)的鄰苯二酚混合。靜置 5 min 後，添加 1 mL 20% Na_2CO_3 水溶液，靜置反應 10 min。接著將混合液離心 8 min (12000g)，將沉澱物與溶液分離。續將上層澄清液利用微量盤式測定儀測量波長 730 nm 之吸光值，繪製鄰苯二酚之檢量線。樣品分析則是將適當濃度之可溶物取代鄰苯二酚(標準品)，並依照上述流程進行反應並測量吸光值，將吸光值代入上述檢量線中，即可算出每克可溶物中所含鄰苯二酚相對量(Catechol equivalent, CCE, mg of CCE/g of sample)，試驗重複 3 次。

(二)總黃酮類化合物含量測定

1.Flavanones 及 Flavanonols 含量測定

將 40 μL 不同濃度(30、60、120、240 及 480 $\mu\text{g/mL}$)的 Naringenin 甲醇溶液及 80 μL 2,4-Dinitrophenylhydrazine 硫酸甲醇溶液(10 mg/mL，溶於 2% $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{MeOH}$ 中)混合，在 50°C 環境下反應 50 min。續加入 280 μL 10% KOH 甲醇溶液，混合均勻後靜置 5 min，再以 12000g 離心 5 min。最後取 200 μL 上清液加入 800 μL MeOH 中，利用微量盤式測定儀測量 495 nm 吸光值，繪製 Naringenin 之檢量線。樣品分析則是將適當濃度之可溶物取代 Naringenin(標準品)，並依照上述流程進行反應並測量吸光值，將吸光值代入上述檢量線中，即可算出每克可溶物中所含 Naringenin 相對量(Naringenin equivalent, NE)，試驗重複 3 次。

2.Flavones 及 Flavonols 含量測定

將 150 μL 不同濃度(3、6、12、24 及 48 $\mu\text{g/mL}$)的 Quercetin 甲醇溶液及 150 μL AlCl_3 水溶液(2 wt%)混合。在室溫下避光靜置 30 min 後，利用微量盤式測定儀測量 420 nm 吸光值，繪製 Quercetin 之檢量線。樣品分析則是將適當濃度之可溶物取代 Quercetin(標準品)，並依照上述流程進行反應並測量吸光值，將吸光值代入上述檢量線中，即可算出

每克可溶物中所含 Quercetin 相對量(Quercetin equivalent, QE)，試驗重複 3 次。

(三)總縮合單寧含量(Total condensed tannin contents, TCTC)測定

將 450 μL BuOH/HCl 溶液(6:1, v/v)、75 μL 不同濃度(30、60、120、240 及 480 $\mu\text{g/mL}$)的 Melacacidin 甲醇溶液及 15 μL $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ 溶劑(20 mg/mL，溶於 6% HCl 中)混合後，於 100°C 環境下反應 50 min。再利用微量盤式測定儀測量 550 nm 之吸光值，繪製 Melacacidin 的檢量線。樣品分析則是將適當濃度之可溶物取代 Melacacidin(標準品)，並依照上述流程進行反應並測量吸光值，將吸光值代入上述檢量線中，即可算出每克可溶物中所含 Melacacidin 相對量(Melacacidin equivalent, ME)，試驗重複 3 次。

(四)總水解單寧及酚酸類化合物含量測定

將 50 μL 不同濃度的 Tannic acid 水溶液及 250 μL 2.5%的 KIO_3 水溶液混合均勻後，以微量盤式測定儀分析 4 min 內 550 nm 之最佳吸光值，以此繪製 Tannic acid 的檢量線。樣品分析則是將適當濃度之可溶物取代 Tannic acid(標準品)，並依照上述流程進行反應並測量吸光值，將吸光值代入上述檢量線，即可算出每克可溶物中所含 Tannic acid 相對量(Tannic acid equivalent, TAE)，試驗重複 3 次。

三、抗氧化活性分析

(一)DPPH 自由基清除能力分析

於 96 孔微量盤中加入 200 μL 之 DPPH 乙醇溶液、90 μL 之 Tris-HCl 緩衝液(pH 7.4)以及 10 μL 之不同濃度(1、5、10、50 及 100 $\mu\text{g/mL}$)的試驗樣品，混合均勻並於室溫下避光靜置 30 min，再以微量盤式測定儀測量 530 nm 之吸光值，試驗重複 3 次。

$$\text{DPPH 自由基清除能力}(\%) = (1 - \text{試驗組吸收值} / \text{對照組吸收值}) \times 100$$

(二)金屬螯合能力

取 200 μL 不同濃度之試驗樣品、740 μL 甲醇及 20 μL 2 mM FeCl_2 水溶液，均勻混合 30 s，然後再加入 40 μL 5 mM Ferrozine 反應 10 min 後，利用微量盤式測定儀測量 562 nm 吸光值。

$$\text{金屬螯合能力}(\%) = (1 - \text{試驗組吸收值} / \text{對照組吸收值}) \times 100$$

(三)還原能力

先將 200 μL 不同濃度之試驗樣品、200 μL 0.2 M 磷酸緩衝液(pH 6.6)與 200 μL 1% 赤血鹽($\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$)水溶液均勻混合後，於 50°C 環境下反應 20 min，再加入 200 μL 10% 三氯醋酸(Trichloroacetic acid, TCA)，並利用離心機離心(3000 rpm, 10 min)之後，取 500 μL 之上層澄清液，再添加 500 μL 去離子水及 100 μL 0.1% FeCl_3 水溶液，反應 10 min

後，便會形成普魯士藍($\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$)，再以微量盤式測定儀測量 700 nm 的吸收值則可評估各試驗樣品還原能力。

(四)總抗氧化能力

取 7 mM ABTS (2,2'-Azinobis [3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid] diammonium salt)水溶液加入 2.45 mM Potassium persulfate 均勻混合後，避光靜置 12 - 16 h，製成 $\text{ABTS}^{\bullet+}$ 水溶液。續將 $\text{ABTS}^{\bullet+}$ 水溶液稀釋，使其於 730 nm 之吸光值為 0.70 (± 0.02)。接著，取 1485 μL $\text{ABTS}^{\bullet+}$ 稀釋後之水溶液及 15 μL 不同濃度 Trolox，避光靜置 6 min 後，以微量盤式測定儀測量 730 nm 之吸光值，並根據此吸光值與 Trolox 濃度之關係求出標準曲線之迴歸式。樣品分析則以樣品取代標準品(Trolox)，並依照相同方式進行反應與吸收值測量。將樣品之吸光值代入上述迴歸式即可算出試驗樣品之總抗氧化能力。

結果與討論

一、未處理相思樹心材酒精可溶物之多酚類化合物含量及抗氧化能力分析

由相思樹心材酒精可溶物之收率與多酚類化合物含量分析試驗結果發現(表 1)，未處理相思樹心材以 60%酒精浸泡所得到之可溶物最多，40%酒精可溶物及 20%酒精可溶物次之，95%酒精可溶物較低，其萃取率為 4.2 - 6.0%之間。進一步分析多酚類化合物含量得知，總酚類化合物以 60%酒精可溶物及 40%酒精可溶物較多，20%酒精可溶物及 95%酒精可溶物次之；總黃烷酮化合物含量及總黃酮化合物含量以 95%酒精可溶物、60%酒精可溶物及 40%酒精可溶物較多，20%酒精可溶物較少；縮合單寧含量則以 40%酒精可溶物較多，95%酒精可溶物及 20%酒精可溶物次之，60%酒精可溶物較少；而酚酸類化合物含量則是以 60%酒精可溶物、40%酒精可溶物及 20%酒精可溶物較多，95%酒精可溶物極少。

進一步比較這 4 種可溶物之抗氧化活性則發現(表 2)，每克樣品之總抗氧化能力相當於 44.8 - 55.2 μM Trolox，整體來說效果皆不錯，尤以 95%酒精可溶物最佳，40%酒精可溶物稍弱；DPPH 自由基捕捉能力亦皆不錯，其 IC_{50} 值為 2.8 - 3.3 $\mu\text{g/mL}$ ，與已知天然黃酮類化合物—兒茶素相當；而在亞鐵離子螯合能力方面，是以 20%酒精可溶物最好($\text{IC}_{50}=550 \mu\text{g/mL}$)，40%酒精可溶物次之($\text{IC}_{50}=950 \mu\text{g/mL}$)，60%酒精可溶物及 95%酒精可溶物最差($\text{IC}_{50}>2000 \mu\text{g/mL}$)。綜合而論，以整體抗氧化活性的表現來看，40%酒精可溶物的抗氧化能力皆有相當的效果，且較為全面，此主要應是其中的黃酮類化合物、縮合單寧及酚酸類化合物所貢獻。

二、熱處理相思樹心材酒精可溶物之多酚類化合物含量及抗氧化能力分析

由熱處理相思樹心材酒精可溶物之收率與多酚類化合物含量分析試驗結果發現(表 1)，經過熱處理相思樹心材亦是以 60%酒精浸泡所得到之可溶物最多，40%酒精可溶物及 20%酒精可溶物次之，95%酒精可溶物較低，其萃取率為 1.9 - 7.1%之間。進一步分析多酚類化合物含量得知，熱處理相思樹心材之總酚類化合物含量較未處理心材低，其中以 40%酒精可溶物及 95%酒精可溶物較多，60%酒精可溶物次之，20%酒精可溶物最少；熱處理相思樹心材之總黃烷酮化合物含量較未處理木材高，其中以 95%酒精可溶物最高，60%酒精可溶物、40%酒精可溶物及 20%酒精可溶物次之；熱處理相思樹心材總黃酮化合物含量較未處理心材低，其中以 95%酒精可溶物最高，60%酒精可溶物及 40%酒精可溶物次之，20%酒精可溶物最低；熱處理相思樹心材之總縮合單寧含量明顯較未處理心材低非常多，但以 95%酒精可溶物及 40%酒精可溶物稍多，60%酒精可溶物次之，20%酒精可溶物最少；而熱處理相思樹心材之酚酸類化合物含量僅和未處理心材有些微的變化，其中，60%酒精可溶物及 40%酒精可溶物較多，95%酒精可溶物及 20%酒精可溶物次之。

進一步比較這 4 種可溶物之抗氧化活性則發現(表 2)，熱處理相思樹心材之不同濃度酒精可溶物的抗氧化活性皆有降低的趨勢，其 4 種可溶物每克樣品之總抗氧化能力相當於 14.7 - 33.5 μM Trolox，以 95%酒精可溶物較佳，20%酒精可溶物較弱；DPPH 自由基捕捉能力還算不錯，其 IC_{50} 值為 6.9 - 21.2 $\mu\text{g/mL}$ ，以 95%酒精可溶物及 40%酒精可溶物較佳；而在亞鐵離子螯合能力方面，是以 40%酒精可溶物最好($\text{IC}_{50} = 1037 \mu\text{g/mL}$)，60%酒精可溶物($\text{IC}_{50} = 1237 \mu\text{g/mL}$)，20%酒精可溶物及 95%酒精可溶物最差($\text{IC}_{50} > 2000 \mu\text{g/mL}$)。綜合而論，以整體抗氧化活性的表現來看，依舊是 40%酒精可溶物的抗氧化能力具有相當的效果，且較全面，此主要應是其中的黃烷酮化合物及酚酸類化合物所貢獻。

表1. 相思樹心材酒精可溶物之收率與多酚類化合物含量分析

Specimen	Yield (mg/g of wood)	TPC (mg of CCE/g)	TFAC (mg of NE/g)	TFOC (mg of QE/g)	TCTC (mg of ME/g)	THTC (mg of TAE/g)
AcHW						
95% EtOH	42.4	376.8 $\pm$ 5.7	26.3 $\pm$ 5.9	66.7 $\pm$ 3.1	171.6 $\pm$ 2.1	48.1 $\pm$ 3.5
60% EtOH	60.4	505.0 $\pm$ 9.0	21.9 $\pm$ 5.7	54.0 $\pm$ 3.6	141.0 $\pm$ 1.7	121.2 $\pm$ 2.1
40% EtOH	50.5	534.2 $\pm$ 5.2	21.8 $\pm$ 2.7	41.6 $\pm$ 0.3	200.4 $\pm$ 2.5	144.2 $\pm$ 0.7
20% EtOH	50.6	400.7 $\pm$ 4.8	19.5 $\pm$ 4.5	17.0 $\pm$ 4.3	176.6 $\pm$ 5.4	130.4 $\pm$ 5.1
AcHW-HT						
95% EtOH	19.3	383.7 $\pm$ 21.3	178.4 $\pm$ 19.5	33.2 $\pm$ 0.1	16.0 $\pm$ 0.4	92.3 $\pm$ 3.7
60% EtOH	70.7	286.1 $\pm$ 0.7	65.6 $\pm$ 1.0	13.6 $\pm$ 0.2	11.8 $\pm$ 0.3	128.7 $\pm$ 6.4
40% EtOH	63.6	351.9 $\pm$ 5.1	79.8 $\pm$ 9.2	17.5 $\pm$ 1.2	18.5 $\pm$ 0.6	106.9 $\pm$ 8.8
20% EtOH	41.3	150.6 $\pm$ 0.5	70.8 $\pm$ 4.1	8.5 $\pm$ 0.3	6.4 $\pm$ 0.2	97.3 $\pm$ 5.3

AcHW：未處理相思樹心材；AcHW-HT：熱處理相思樹心材。

表2. 相思樹心材酒精可溶物之抗氧化能力分析

Specimen	DPPH (IC ₅₀ , µg/mL)	TEAC (µM Trolox/g)	Fe ²⁺ Chelation (IC ₅₀ , µg/mL)	Reducing power (mg of Trolox/g)
AcHW				
95% EtOH	2.77 ± 0.56	44.8 ± 2.2	>2500	1301.7 ± 12.3
60% EtOH	2.94 ± 0.18	46.4 ± 2.8	2163.5 ± 205.5	1384.8 ± 22.3
40% EtOH	2.83 ± 0.12	55.2 ± 2.3	947.1 ± 34.5	1553.9 ± 19.9
20% EtOH	3.28 ± 0.23	45.3 ± 2.7	551.4 ± 15.8	1568.0 ± 60.5
AcHW-HT				
95% EtOH	6.87 ± 0.66	33.5 ± 1.0	>2500	625.9 ± 22.1
60% EtOH	10.87 ± 2.32	22.1 ± 1.5	1237.5 ± 39.5	562.5 ± 11.6
40% EtOH	9.36 ± 1.05	21.1 ± 0.8	1037.7 ± 37.0	472.2 ± 5.7
20% EtOH	21.23 ± 2.31	14.7 ± 0.9	2409.1 ± 49.7	395.6 ± 4.0
Postive control				
Catechin	2.61 ± 0.17	-	>2500	-
Quercetin	-	-	>2500	-

AcHW：未處理相思樹心材；AcHW-HT：熱處理相思樹心材。

結論

由上述結果可知，以不同酒精濃度浸泡所能萃取出具抗氧化功效的酚類化合物組成不同，的確會影響其抗氧化能力，而相思樹木材經熱處理後，其風味成分雖然增加，但具抗氧化功效的酚類化合物會降解，進而降低其功效。但整體來說不論是未處理相思樹木材亦或熱處理相思樹木材，以 40%酒精進行浸泡所能得到之抗氧化功效成分較多，此可做為未來將其開發成具保健效果酒精飲品材料之參考。此外，本研究之成果不僅能拓展相思樹木材之應用領域，亦能順應國家 5+2 產業創新計畫之新農業創新推動方案，使臺灣國產木材產品得以應用於地方農特產品等加值化方案，提升臺灣農特產品競爭力。此外本研究之成果亦能為臺灣國產木材產品於陳釀酒精飲品相關產業之應用奠立良好基礎。

引用文獻

- 何家芸、韓承真、張資正 (2019) 熱處理相思樹心材浸泡金棗燒酎對風味之影響。108 學年度國立宜蘭大學生物資源學院專題製作競賽。宜蘭。
- Culleré L, de Simón BF, Cadahía E, Ferreira V, Hernández-Orte P, Cacho J. (2013) Characterization by gas chromatography-olfactometry of the most odor-active compounds in extracts prepared from acacia, chestnut, cherry, ash and oak woods. LWT - Food Science and Technology 53(1): 240-248.
- Lin HY, Chang TC, Chang ST. (2018) A review of antioxidant and pharmacological properties of phenolic compounds in *Acacia confusa*. Journal of Traditional and Complementary Medicine 8: 443-450.
- Tao Y, García JF, Sun DW. (2014) Advances in wine aging technologies for enhancing wine quality and accelerating wine aging process. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 54(6): 817-835.
- Wu JH, Tung YT, Chien SC, Wang SY, Kuo YH, Shyur LF, Chang ST. (2008) Effect of phytochemicals from the heartwood of *Acacia confusa* on inflammatory mediator production. Journal of Agricultural and Food Chemistry 56(5):1567-1573.

應用核磁共振光譜結合人工智慧鑑定精油種類

曹乃文¹⁾ 黃瀚輝¹⁾ 王升陽^{1)*}

緒言

精油或其衍生商品已逐漸走入人們的生活中，根據聯合國商品貿易統計資料庫(UN comtrade)之統計，2019 年全球精油、香水及香精之貿易總進口額約為 315.3 億美元，總出口額約為 312.8 億美元，皆佔全球進出貿易的 0.2%，相較於 10 年前成長了 1.5 倍。另外，根據世界海關組織的分類統計，精油貨品從 2010 年至 2020 年的貿易總額有不斷攀升的趨勢，在 2020 年全球進出口產量分別為 466,209 及 433,869 公噸，由以上的數據可知，全球的精油市場正在蓬勃的發展。由於台灣目前尚無官方針對國內精油產業各種完整及逐年的調查資料，僅能從經濟部國際貿易局的統計資料來看臺灣精油類貨品的進出口貿易，其貿易總額是逐年向上成長的趨勢，在 2020 年進口總額約 23.3 百萬美元，而 2010 到 2020 年間則一直維持著入超貿易。

國際上的精油為了降低成本都會有造假的問題，包括混摻其他便宜的精油或合成的化合物、加入基底油或有機溶劑等方式來增加重量或體積、萃取時加入其他非目標部位的原料等，這些都會導致精油的價格高低落差極大。國內精油同樣也有這些問題，造成了不純精油的報導層出不窮，而這些都將會限制精油市場的發展。

國外發展出許多關於精油鑑定的方法，包括感官品評、物理化學分析、氣相層析儀(GC)、質譜儀(MS)、同位素比值質譜儀(IRMS)、高效液相層析儀(HPLC)、核磁共振儀(NMR)等技術，但也都各別用在適用的精油分析上，還沒有一個標準方法能套用在所有的精油鑑定(Do et al. 2015)。目前精油的組成分分析主要是以氣相層析質譜儀(GC-MS)為主流技術，但這種方法有其侷限性，只能鑑定出精油內是否混有稀釋用的有機溶劑或基底油，而無法判別裡面是否混摻其他便宜精油或是合成的化合物、或是萃取植物的部位是否完全為目標部位。而以 GC-MS 分析組成分除了費時外，並不能僅以滯留時間或質譜資料庫比對來確定化合物，尚需要輔以 KI 或標準品來做比對確認；再者 GC-MS 還要根據不同的樣品來調整分離的條件，很難有固定一個分離條件適用於所有精油。現今在小分子化合物的結構鑑定上主要都是以 NMR 光譜數據再加上分子量為準，而且 NMR

¹⁾ 國立中興大學森林學系，402202 臺中市南區興大路 145 號。

* 通訊作者，E-mail: taiwanfir@dragon.nchu.edu.tw。

可以同時全面又快速的偵測樣品的共振訊號，有利用 NMR 氫譜實驗來分析植物的代謝物，但是氫譜訊號重疊率太高，且很容易被樣本濃度影響產生訊號偏移，因此除非化合物在所有萃取物中具有不重疊的訊號才能拿來當作指標，或是結合 GC-MS 來做分析，所以現今發展以 NMR 技術來鑑定精油的方法並不實用。

人工智慧(AI)的發展歷經三個階段，第一個階段大約在 1950-1960 年，這個時期的 AI 處於一個只能在規則內的簡單運算，例如下圍棋。第二階段約在 1980 年代，此時的 AI 只能從累積的龐大資料庫中進行推論，例如 MS 的化合物比對。在 2010 年後，AI 則是進入以機器學習及深度學習為核心技術的第三階段，靠著大數據的累積、大規模的分散運算及雲端運算，可以隨時隨地進行任何工作，且 AI 可以自行發展出規則而得以解決問題。AI 除了應用在現今最熱門的圖像解析外，在生命科學的研究上有利用 AI 來預測細胞基因表現的改變會造成何種生理上的反應，或是給予 RNA 序列資料讓 AI 對細胞進行分類及判定具有何種功能(Lin et al. 2017, Ma et al. 2018)。

因此，本研究嘗試根據碳譜訊號重疊性低及不易偏移之特性，將整體的訊號數據切割量化，再以此為基礎資料供 AI 以類神經網路演算法進行機器學習及深度學習，預期能以分類演算法判別精油種類，更期待能以迴歸演算法分析精油所含成分。

材料與方法

一、精油材料收集

總共收集 12 種精油，每種精油會有 3 種不同來源，除了購買市售有信譽的品牌精油外，也收集植物材料自行萃取精油。購買之精油共計有芳療家公司之高地真正薰衣草(*Lavandula angustifolia*)、茶樹(*Melaleuca alternifolia*)、甜橙(*Citrus sinensis*)、黃檸檬(*Citrus limon*)、澳洲尤加利(*Eucalyptus radiata*)、桉油醇迷迭香(*Rosmarinus officinalis*)、玫瑰天竺葵(*Pelargonium x asperum*)等精油；購自肯園公司之高地真正薰衣草、茶樹、黃檸檬、澳洲尤加利、桉油醇迷迭香、玫瑰天竺葵(*Pelargonium roseum*)等精油；購自佐登妮絲公司之高地真正薰衣草、茶樹、黃檸檬、甜橙等精油；購自福森公司之紅檜(*Chamaecyparis formosensis*)、扁柏(*Chamaecyparis obtusa*)、肖楠(*Calocedrus formosana*)、黃檸檬、玫瑰天竺葵(*Pelargonium graveolens*)等精油；購自茗樟公司之紅檜及扁柏精油；購自拾心公司之甜橙、桉油醇迷迭香、澳洲尤加利等精油。以及台大實驗林所提供之紅檜、扁柏、肖楠等精油。自行萃取之精油則有羅森扁柏(*Chamaecyparis lawsoniana*)木材、肖楠木材、龍柏(*Juniperus chinensis* L. var. *kaizuca*)葉子及圓柏(*Juniperus chinensis*)葉子精油。

二、水蒸餾萃取精油

精油萃取是利用 Clevenger-type apparatus 裝置蒸餾 6 hr，蒸餾的過程中，精油會透過冷凝管冷凝並會與純露產生油水分離，最後收集浮於純露上之精油，並保存在 4°C。

三、測試精油配置

測試 1 號為龍柏枝條與葉子之精油；測試 2 號為 95%薰衣草精油(肯園)及 5%丙二醇；測試 3 號為羅森扁柏精油；測試 4 號為廠商所提供的紅檜精油；測試 5 號為扁柏精油；測試 6 號為肖楠精油；測試 7 號為 50%龍柏葉子精油及 50% bornyl acetate；測試 8 號為 50%扁柏精油及 50%樟腦油；測試 9 號為 80%薰衣草精油(肯園)及 20%二丙二醇甲醚；測試 10 號為龍柏枝條精油；測試 11 為黃檸檬精油(佐登妮絲)。

四、核磁共振(NMR)實驗

首先秤取 120 μL 精油之重量，再加入 480 μL 氘取代氫之氯仿溶劑，混合均勻置入內徑為 5 mm 的 NMR 專用石英分析管中，最後利用核磁共振儀(AVANCE III 400 MHz, Bruker)進行一維的碳譜實驗。將碳譜訊號之數據以每 3 ppm 做一個區間分割，並統計每個區間內之碳譜訊號數量，統計後之數據為後續分析之用。

五、GC-MS 分析

將 1 μL 精油之樣品以 1 mL 乙酸乙酯稀釋，利用 GC-MS 進行分析。所使用之分離管柱為 DB-5MS (30 m x 0.25 mm x 0.25 μm)，分析所使用的起始溫度為 40°C，以 5°C/min 的速度升溫至 160°C，再以 10°C/min 升溫至 280°C，並維持 5 min。成分鑑定使用 National Institute of Standards and Technology (NIST) V.2.0 和 Wiley 7.0 資料庫的質譜圖進行比對，再以不同碳數烷類的滯留時間所計算之 Kovat's indices (KI)作進一步確認。另外，也會使用標準品比對確認。

六、主成分分析(PCA)

將精油的碳譜圖所處理之數據以多變量統計分析軟體(Multi-Variate Statistical Package Version 3.13m)進行 PCA，以 Kaiser 及 Joliffe 準則來進行萃取分析，結果以 scores 圖呈現。

七、人工智慧—類神經網路

本研究之類神經網路結構主要以 CIs 作為輸入層共 2300 項，隱藏層 2 層分別有 256 個神經元節點，輸出層是 HMC，Activation Function 為 sigmoid，損失函數為 MSE 及 MAE，Optimizer 為 RMSProp，Learning Rate $\eta=0.001$ ，以此參數設置建立預測模式。

結果與討論

一、以 GC-MS 分析精油組成分

本研究選取薰衣草、茶樹、檸檬、玫瑰天竺葵、澳洲尤加利、桉油醇迷迭香精油、紅檜、扁柏及肖楠等精油來進行實驗，這 12 種精油都會以 GC-MS 分析組成分。為了模擬以 GC-MS 技術辨別精油真偽的方法，因此，另外配置了 11 種測試的精油，同樣以 GC-MS 分析組成分。以扁柏精油為例，測試 3 號為羅森扁柏精油，5 號為純天然的扁柏精油，8 號為扁柏精油混入樟腦油，圖 1 為測試 3 號、5 號及 8 號與扁柏精油分析的 GC-MS 層析圖，從圖中可以看出測試 3 號與扁柏精油沒有差異，因此會誤判成扁柏精油，而 5 號卻可能因為 16-22 min 區間的成分含量太低，會誤判成非純天然的扁柏精油，8 號則由於 10-16 min 的成分有差異而得以正確判定為不純的扁柏精油。其它 8 種測試精油也由此方式來做鑑定，而所有鑑定的結果只有 6 種測試精油可以正確的辨別精油的真偽，因此，整體準確率大約為 55%。本次研究在使用 GC-MS 技術鑑定精油的過程中，必須要先告知測試精油的可能種類，才能針對此類精油進行疊圖比較，而這過程又因為需要手動調整因此費時又費力。另外，在分析的過程中也因為管柱的問題而導致吸收峰的滯留時間有所變動，因此又要全部重做實驗，換句話說，如果已建立的資料庫有可能會因為管柱的問題而導致不具有再現性，因此以 GC-MS 技術來鑑定精油是沒有效率的。

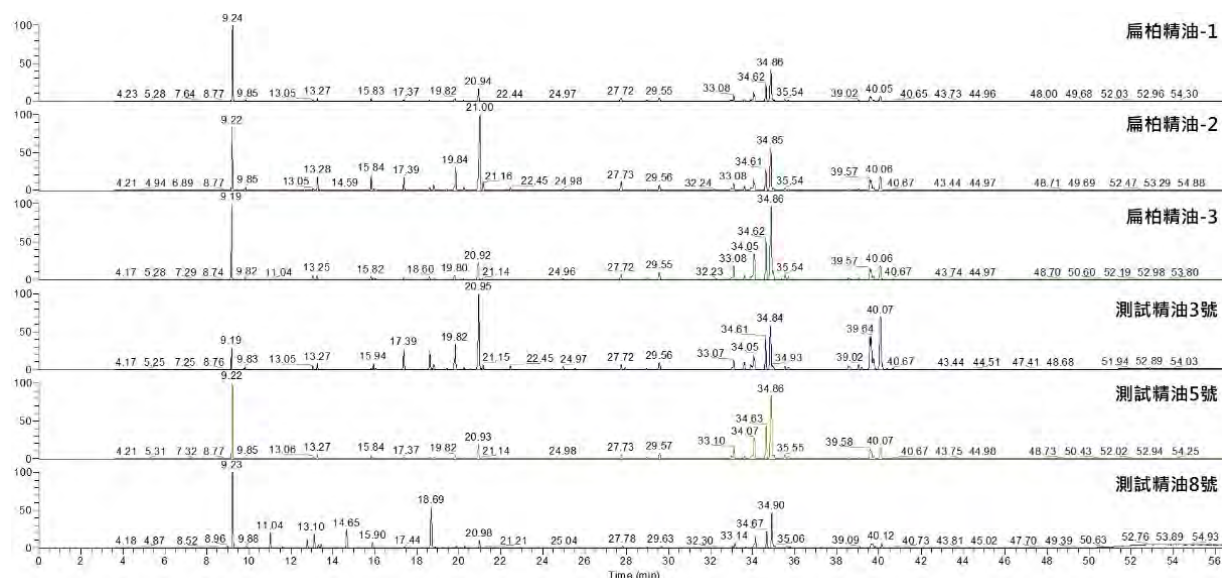


圖 1. 測試精油 3、5 及 8 號與扁柏精油以 GC-MS 技術分析之層析圖。

二、將 NMR 碳譜數據進行 PCA

本研究將所有精油，以 NMR 進行碳譜實驗，再將碳譜數據以每 3 ppm 進行切割並量化碳譜訊號數量，隨後將整理的數據進行 PCA，其結果如圖 2 所示，從圖中可以發現測試 1 號與龍柏葉子精油非常的接近，但是測試 8 號及 10 號也有可能與龍柏葉子精油劃分在同一群。另外，薰衣草、茶樹及檸檬精油在 PCA 的結果是將它們劃分在同一群，又從圖中發現測試 2 號、9 號及 11 號會與它們歸在一起。圖中也顯示出測試 3 號及 5 號會與扁柏精油分在同一群，測試 4 號會與紅檜精油分在同一群，測試 6 號會與尚楠或天竺葵精油分同一群。以上 PCA 的結果可以發現精油是有分群的現象，雖然某幾類的精油之間無法很明顯的分離，但這可能是碳譜訊號區間切割得太大，使得化合物結構匡列得太模糊，但整體來說是有機會發展出精油鑑定的方法。

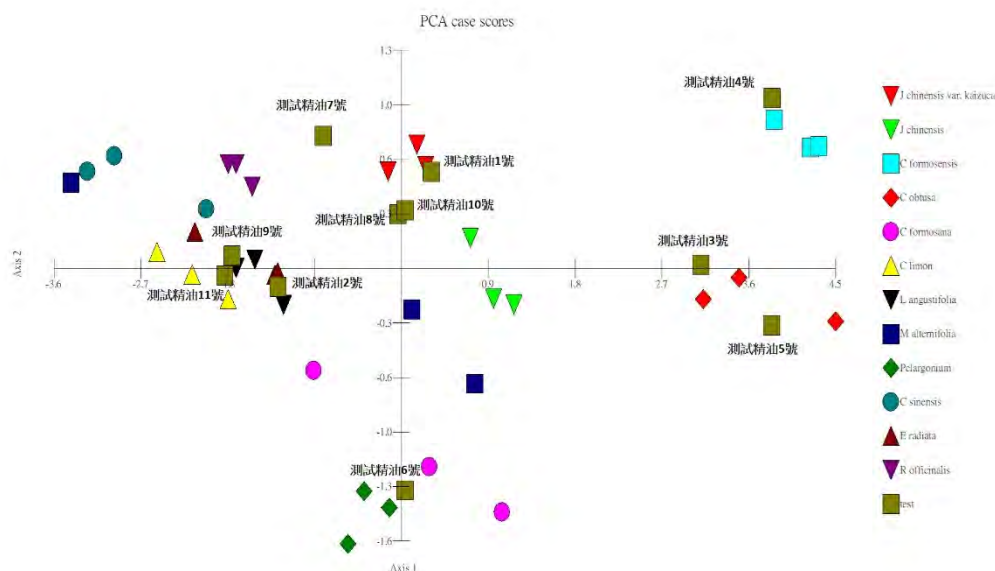


圖 2. 以 PCA 分析碳譜數據之 scores 圖。

三、將 NMR 碳譜數據以 AI 學習後應用於精油之鑑定

從 PCA 的結果討論中，改進了碳譜訊號區間的切割範圍，以每 0.1 ppm 進行切割量化。另外，由圖 2 中發現，購自佐登妮絲的茶樹及甜橙精油都離其它同類的精油太遠，還有來自 3 個來源的玫瑰天竺葵精油學名太過混亂，因此無法確定這 3 種精油是否為真正的純天然精油，所以先將這 3 種精油排除。將其它 9 種天然精油數據重新整理後以類神經網路演算法讓 AI 去做學習，再把 11 種測試精油讓 AI 進行精油種類的鑑定，測試後的結果如表 1 所示，AI 會將進行測試的精油算出可能是屬於哪種精油的機率，再把此機率換算成相似度百分比。以測試 5 號(純天然的扁柏精油)為例，AI 得出的結果與扁柏

精油 100%相似。因此，如果以 100%相似度屬於純天然精油，小於 100%相似度屬於不純精油的條件來做鑑定，除了測試 1 號被誤判成龍柏葉子精油外，其他都可以很準確的鑑定是否為純的天然精油，其準確率高達 91%。

表 1. 測試精油經 AI 鑑定後之精油種類相似度(%)

測試	精油種類									
	其他	尚楠	紅檜	扁柏	黃檸檬	澳洲尤加利	圓柏葉子	龍柏葉子	薰衣草	桉油醇迷迭香
1 號	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	99.9	0.0	0.0
2 號	0.9	11.9	9.4	26.4	2.6	33.6	5.1	0.0	0.4	0.0
3 號	0.0	0.0	12.1	87.9	0.0	0.0	0.0	9.8	0.0	0.0
4 號	0.0	0.4	98.0	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5 號	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6 號	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7 號	0.0	5.1	5.1	5.8	0.0	2.2	2.2	79.7	0.0	0.0
8 號	0.0	2.3	1.5	75.0	0.8	0.8	7.6	12.1	0.0	0.0
9 號	0.5	14.0	8.9	12.4	1.8	51.9	2.5	7.6	0.5	0.0
10 號	0.0	0.4	0.0	0.7	0.0	0.0	0.4	98.6	0.0	0.0
11 號	0.0	0.0	0.0	0.0	99.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

結論

以核磁共振光譜數據結合 AI 的技術，除了省時、省力、更有效率外，其鑑定的準確度也比 GC-MS 技術(55%)來得高，有將近 91%的準確率，由於目前碳譜的數據是依據化合物的碳訊號之有無來做分析，而碳譜的訊號強度也是會與化合物的含量成正相關，因此，未來可以加入訊號的強度來提高鑑定的準確率，並配合純化合物的光譜圖，期望可以更進一步的鑑定出精油所含的成分。

引用文獻

- Do TKT, Hadji-Minaglou F, Antoniotti S, Fernandez X. (2015)** Authenticity of essential oils. Trends Anal Chem 66: 146-157.
- Lin C, Jain S, Kim H, Bar-Joseph Z. (2017)** Using neural networks for reducing the dimensions of single-cell RNA-Seq data. Nucleic Acids Res 45(17): e156.
- Ma J, Yu MK, Fong S, Ono K, Sage E, Demchak B, Sharan R, Ideker T. (2018)** Using deep learning to model the hierarchical structure and function of a cell. Nat Methods 15: 290-298.

埔里大坪頂土肉桂種源及其 HPLC 分析之初探

陳盈全^{1)*} 游漢明¹⁾ 吳家禎¹⁾ 陳芬蕙¹⁾ 吳濟琛¹⁾

緒言

土肉桂(*Cinnamomum osmophloeum*)為樟科樟屬之臺灣特有闊葉樹種，因其枝葉及幹皮等部位具肉桂香味，和中藥材或食材常用的肉桂相似，早期坊間就有以土肉桂替代肉桂的使用，亦有商人採收其野生枝葉及樹皮外銷。後來學者研究發現土肉桂的枝葉及樹皮富含精油，而葉部的精油產量甚至比樹皮還高，且精油的化學成分與中國肉桂(*Cinnamomum cassia*)相似，因而使土肉桂逐漸受到大家的重視(楊政川等 2010)。

有關土肉桂葉子精油的化學組成分研究，早有胡大維等人(1985)依精油成分比例之不同，將土肉桂分成 9 種不同的化學品系，之後李漢中等人(2003)分析 16 種地理品系土肉桂葉部精油，依成分組合重新定義 6 種化學品系，為樟腦型(Camphor type)、伽羅木醇型(Linalool type)、肉桂醛型(Cinnamaldehyde type)、肉桂乙酸酯型(Cinnamyl acetate type)、肉桂醛-肉桂乙酸酯型(Cinnamaldehyde-cinnamyl acetate type)及混合型(Mixed type)。又有研究顯示精油成分中的肉桂醛具有良好抗細菌、抗室塵蟎、抗黴菌、抗白蟻、抗腐朽菌、抗林木病原菌、抗氧化等生物活性(許立昇等 2009，陳品方等 2002，陳品方和張上鎮 2002，葉書吟 2005，Chang et al. 2001，Chang and Cheng 2002，Wang et al. 2005)，加上肉桂醛獨特之香氣、口感及殺菌作用，使得肉桂醛型土肉桂在食品、醫藥、美容藥妝品、環境衛生用品等產業運用上深具發展之潛力(楊政川等 2010)。

近年來為振興山村經濟並提升林農營林意願，林務局在 2016 年間開始推動「適地發展林下經濟」的新林業政策，而臺灣原生的土肉桂具特殊的氣味，可製成香料的調理產品，另土肉桂枝葉的精油製品，也都有機會成為林下經濟中高價值的森林副產品。本研究有幸獲得採至南投縣埔里鎮大坪頂地區所生長之土肉桂葉子，將依據前人之研究文獻初步比對本區土肉桂之可能種源及化學品系，並利用高效液相層析儀(HPLC)初步分析葉子化學成分。所得結果可進一步作為爾後營養系繁殖保存及推廣經濟造林之參考。

材料與方法

¹⁾ 行政院農業委員會林業試驗所育林組，100051 臺北市中正區南海路 53 號。

* 通訊作者，E-mail: ycchen1209@tfri.gov.tw。

一、試驗材料

(一)試材

本研究所使用之土肉桂葉子於 2021 年 5 月採自南投縣埔里鎮大坪頂地區(海拔約 650 公尺)的台灣糖業股份有限公司精緻農業事業部埔里蘭場(簡稱埔里蘭場)，樣木總計 40 株，枝葉採下後立即以低溫運送至實驗室冷藏保存，以供後續萃取分析之用。

(二)標準品

本試驗用以比對萃取成分的標準品包括 trans-Cinnamaldehyde (Acros, Belgium)、Linalool (Acros, Belgium)、Coumarin (Acros, Belgium)、Cinnamyl acetate (Acros, Belgium)、Eugenol (Acros, Belgium)、Cinnamyl alcohol (Acros, Belgium) 等，標準品純度皆高於 97%。

二、試驗方法

(一)土肉桂葉成分萃取

取新鮮成熟之葉子 1 g 添加 10 mL 甲醇均質粉碎後，再添加甲醇定量至 20 mL，以超音波震盪器(三角洲超音波有限公司，台灣)，進行萃取共 2 次，共 40 單株編號，每個編號 2 重複，萃取液濃縮後以甲醇定量 1 mL，再經 0.22 μm 之濾膜過濾，成為 HPLC 分析之樣品。

(二)HPLC 分析

採用的高效液相層析儀(HPLC)為 Waters 2695 系統，光電二極體陣列偵測器(Photodiode Array Detector, PDA)為 Waters 2996 系統、軟體為 Waters Empower Software，分離管柱為 SUPELCO Ascentis C18 (150 mm x 4.6 mm, 5 μm)，移動相為 60%水：40%乙腈，以等強度(isocratic)方式分析，流速為 1.0 mL/min，Eugenol、Linalool 偵測波長為 210 nm，Cinnamyl alcohol、Cinnamyl acetate 偵測波長為 254 nm，Coumarin、Cinnamaldehyde 偵測波長為 288 nm，管柱溫度為 30°C，取樣注射體積為 10 μL 。

結果與結論

一、埔里蘭場土肉桂種源初探

在取得試驗材料同時，得知埔里蘭場土肉桂移植自時任台糖公司溪湖糖廠之鄭廷康先生早期栽種於埔里地區之植株，便產生對其種源一探究竟之想法。早於 1978 年起本所胡大維主任為了解全台各地理分區之土肉桂種源及其所含精油之組成分以作為培育優良品系之依據，偕同台灣大學化學系著手進行土肉桂之天然分佈調查及採樣、精油化

學成分分析、肉桂醛高含量單株的選育及扦插繁殖、全台不同地區營養系庫的建立等有系統的試驗研究。當時調查及採集遍及本島中部、南部及東部等地區，共得 21 個種源 558 棵單株，依葉子精油成分分析結果，將土肉桂分為 9 種化學品系型。同時並將採集之枝條扦插栽植於新店華林農場及陽明山鄒梅農場建立營養系園(胡大維等 1985，王振瀾和尹華文 1991)。

同年，胡大維與何政坤(1986)為研究促進扦插發根及快速育苗之方法，挑選久良栖種源 9 單株與大雪山種源 5 單株進行不同種源及單株扦插發根之試驗，後續於 1985 年自陽明山鄒梅農場採集肉桂醛型營養系再進行不同試驗，挑選試驗之 3 號、5 號、10 號、12 號及 13 號營養系分別為第一次試驗的久良栖 3 號、5 號及大雪山 1 號、3 號、4 號等中部種源，而其中 3 號、10 號及 12 號為本所育林系所選育大量扦插繁殖之肉桂醛型營養系，並於 1984 年推廣栽植於退輔會之嘉義農場及東河農場(胡大維和何政坤 1986，王振瀾和尹華文 1991)。

另於本所 1992 年出版之林業叢刊第 38 號「土肉桂專論」中由鄭廷康先生所撰寫的文章可知，台糖公司自 1991 年起取得本所選育之 3 號、10 號及 12 號等 3 種肉桂醛型土肉桂品系於埔里地區大量栽種，目的為採收葉片提煉精油，輔以了解苗木培育、造林地整治、栽植技術、撫育管理及造林成本等相關技術。綜觀前人文獻，我們可初步認為本研究所採集之土肉桂應為本所選育之 3 號、10 號及 12 號等 3 種中部地區肉桂醛型品系，惟時間更迭，現已缺乏完整背景資料，無法區隔各單株所對應之品系編號。

時至今日，早期選育繁殖之優良土肉桂營養系及原始種源之母樹，其保存越漸困難，而埔里蘭場仍留存優良肉桂醛型之土肉桂單株，值得吾等進行枝葉採集及扦插繁殖，以延續保存其優良基因型，並且多年後追蹤其肉桂醛成分並且重新標定，未來可以藉由觀察物候，開花結實，若能取得種子，將可進一步進行肉桂醛型土肉桂子代是否有基因弱化或是內部化學成分含量之變異研究。

二、埔里蘭場 40 棵土肉桂單株葉子 HPLC 成分分析

前人研究多使用氣相層析質譜儀(GC-MS)來分析土肉桂葉子精油成分及含量，確認土肉桂之化學品系類型，亦有使用 HPLC 進行土肉桂相關分析之研究(林志璋 2008，林宮民 2015，林庭宇 2011)，故本研究選擇 6 種已知化合物的標準品進行 HPLC 比對分析，40 棵單株土肉桂葉子 HPLC 分析結果如表 1 所示，所有單株均未測得伽羅木醇(Linalool)成分，而肉桂醛(Cinnamaldehyde)及肉桂醇(Cinnamyl alcohol)成分 40 棵單株皆測得，分別以編號 5-5 之 13615ppm 及編號 3-5 之 2071ppm 為最高；丁香酚(Eugenol)有

39 棵單株測得，以編號 5-3 之 320ppm 為最高；肉桂乙酸酯(Cinnamyl acetate)有 7 棵單株測得，以編號 3-13 之 15839ppm 為最高；香豆素(Coumarin)僅 2 棵單株測得。另將各單株之 6 種成分數值加總繪製成直條圖，如圖 1 所示，可發現除 1-10 及 3-13 此兩編號之肉桂乙酸酯數值占比高於肉桂醛，其他 38 棵單株之肉桂醛數值占比明顯高於其他成分。

表1. 埔里蘭場土肉桂40棵單株葉子成分 HPLC 分析結果

Sample name	Coumarin (ppm)	Cinnamyl alcohol (ppm)	Cinnamaldehyde (ppm)	Eugenol (ppm)	Linalool (ppm)	Cinnamyl acetate (ppm)
1-3	0	697	5748	90	0	19
1-9	0	905	7506	123	0	0
1-10	0	1933	6340	233	0	10702
2-1	0	1878	5856	152	0	3720
2-3	0	1548	11115	169	0	0
2-4	0	1687	8381	261	0	0
2-6	0	1555	6916	277	0	0
2-7	0	1347	9251	252	0	0
2-11	0	1249	8544	192	0	0
3-3	0	1698	7135	195	0	0
3-5	0	2071	8218	281	0	0
3-6	0	1649	8066	168	0	0
3-7	0	1560	8585	244	0	0
3-8	0	1394	10811	307	0	0
3-10	0	1280	11065	203	0	0
3-11	0	707	8761	179	0	0
3-12	0	1507	6815	166	0	5292
3-13	0	1643	2752	240	0	15839
3-14	0	1215	7031	123	0	0
4-2	250	816	7720	29	0	0
4-4	0	1685	11469	250	0	0
4-6	0	1504	9218	230	0	1670
4-8	0	1416	11085	186	0	0
4-10	0	1100	13303	237	0	0
4-11	0	995	10106	242	0	0
4-12	0	781	9780	166	0	0
4-13	0	972	9608	190	0	3091
5-3	0	1772	13074	320	0	0
5-5	0	1456	13615	248	0	0
5-8	0	854	10015	133	0	0
5-13	0	933	8336	109	0	0
6-1	247	819	11220	0	0	0
6-3	0	1256	12116	308	0	0
6-4	0	935	8447	93	0	0
6-6	0	588	10404	53	0	0
6-7	0	1483	12572	266	0	0
6-8	0	951	8641	103	0	0
6-10	0	1707	8291	222	0	0
6-11	0	1081	11854	155	0	0
6-12	0	1252	12215	171	0	0

查閱文獻發現李漢中等人(2003)、鄭森松等人(2008)、林群雅等人(2010)及葉信甫等人(2014)曾分析大坪頂地區土肉桂葉子精油之化學成分，測得肉桂醛成分皆在 50%以上，而香豆素、伽羅木醇、肉桂醇等三者成分為無測得或低於 0.5%，丁香酚為 0.38%~3.02%，肉桂乙酸酯為 0.4%~28.6%，認為大坪頂地區土肉桂屬肉桂醛型品系。而本文 HPLC 分析也有著類似的比例結果，顯示埔里蘭場土肉桂應為來自本所選育之肉桂醛型品系。HPLC 分析方法雖無法推斷單株之化學品系，但是否可作為已知化學品系類型土肉桂成分之快速檢測或定期追蹤成分變化的一種方法，值得更進一步的研究探討。

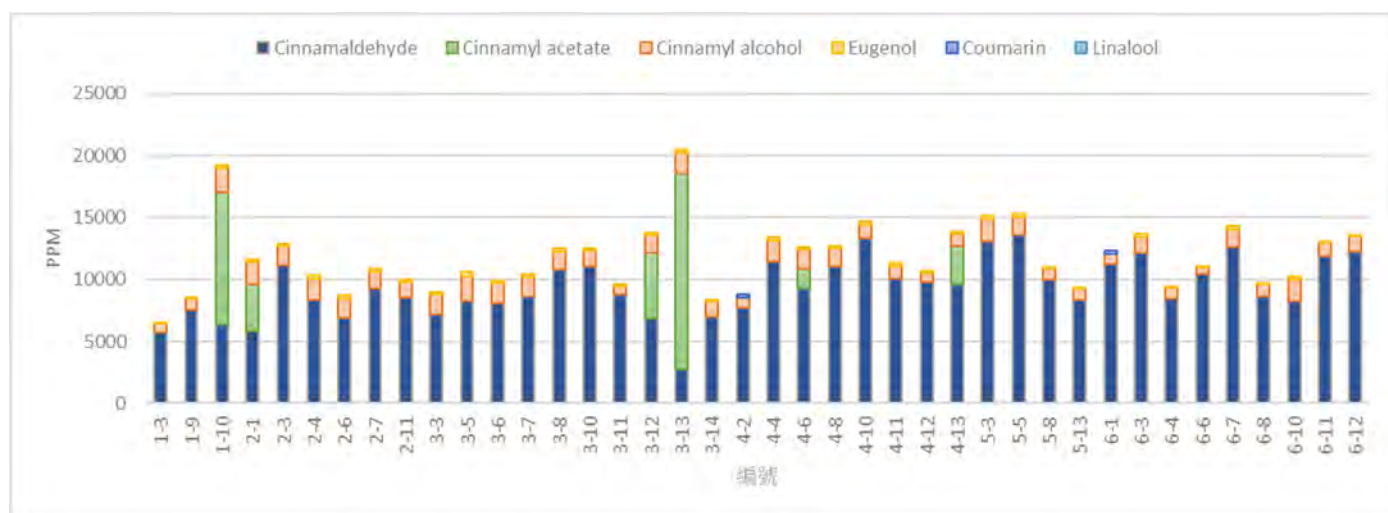


圖1. 各單株葉子之6種分析成分測值占比之比較

引用文獻

王振瀾、尹華文 (1991) 栽培地區及生長季節對土肉桂葉精油含量成分之影響。林業試驗所研究報告季刊 6(3): 313-328。

李漢中、鄭森松、劉如芸、張上鎮 (2003) 不同地理品系土肉桂葉部精油之化學多態性。中華林學季刊 36(4): 411-422。

林群雅、陳品昇、許原瑞、張上鎮 (2010) 頂空氣相層析質譜法鑑別肉桂節植物。中華林學季刊 43(1): 157-169。

胡大維、林耀堂、何政坤 (1985) 台灣土肉桂葉部精油化學成分之天然變異。台灣省林業試驗所試驗報告抽印本 No.78: 45-62。

胡大維、何政坤 (1986) 生長激素對土肉桂不同單株帶葉枝扦插發根之影響。台灣省林業試驗所研究報告季刊 1(1): 15-24。

許立昇、古惠菁、張惠婷、張上鎮 (2009) 臺灣杉心材與土肉桂葉子應用於植物病原真

- 菌防治之評估。中華林學季刊 42(3): 411-420。
- 陳品方、張上鎮 (2002) 木材精油應用於環保防黴紙品之研製。中華林學季刊 35(1): 69-74。
- 陳品方、張上鎮、吳懷慧 (2002) 土肉桂葉子精油及其成分之抗蟎活性。中華林學季刊 35(4): 397-403。
- 楊政川、李世傑、何坤益、林敏宜 (2010) 臺灣森林特產物－土肉桂。科學發展月刊 2(446): 28-33。
- 葉書吟 (2005) 土肉桂葉部精油之化學多態性及其 DPPH 自由基清除能力之探討。中國文化大學生活應用科學研究所。碩士論文。
- 葉信甫、林群雅、張上鎮 (2014) 貯存因子對土肉桂葉子精油安定性之影響。中華林學季刊 47(1): 95-108。
- 鄭廷康 (1992) 土肉桂栽植造林技術。林業試驗所林業叢刊第 38 號-土肉桂專論: 31-41。
- 鄭森松、林群雅、王亞男、許原瑞、張上鎮 (2008) 臺灣土肉桂種源庫之設置－葉子精油成分與化學多態性分析。國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林研究報告 22(1): 21-34。
- Chang ST, Chen PF, Chang SC. (2001) Antibacterial activity of leaf essential oils and their constituents from *Cinnamomum osmophloeum*. Journal of ethnopharmacology 77: 123-127.
- Chang ST, Cheng SS. (2002) Antitermitic Activity of Leaf Essential Oils and Components from *Cinnamomum osmophloeum*. J. Agric. Food Chem. 50(6): 1389-1392.
- Wang SY, Chen PF, Chang ST. (2005) Antifungal activities of essential oils and their constituents from indigenous cinnamon (*Cinnamomum osmophloeum*) leaves against wood decay fungi. Bioresource technology 96: 813-818.

台灣原生種山桐子果實萃取物性質之初探

顧文君^{1)*} 馬復京²⁾ 林振榮¹⁾ 林柏亨¹⁾

緒言

山桐子(*Idesia polycarpa* Maxim.)又稱水冬瓜、油葡萄、椅桐等，油材兩用樹種。是大風子(Flacourtiaceae)科山桐子屬(*Idesia*)落葉喬木植物，樹皮平滑，葉片呈螺旋狀互生，葉柄淡紅色與葉身約等長。花為頂生圓錐花序，沒有花瓣。多生長於台灣全島中海拔山區的向陽處，尤以台灣中部分布在海拔 1500~2000 公尺左右的森林中，枝高生長可高達 10 公尺以上，夏天開花，冬天樹葉脫落，果實為圓球形之漿果，成熟時由青綠色轉紅，豐滿、鮮紅的果實不易脫落懸掛在樹梢上，成為山區極佳的誘鳥植物。山桐子之果實產量高，含油率及油脂中亞油酸含量與不飽和脂肪酸含量均高。劉春雷等(2012)通過試驗確定了山桐子油的最佳索氏萃取條件，山桐子油得率可達 28.5%。華婉等(2016)用傳統壓榨法提取山桐子油，出油率為 21.0%。吳發旺等(2012)採用冷榨法提取山桐子油，保留油脂中的脂溶性營養成分。近年來，超聲波等輔助技術常與有機溶劑提取相結合，以提高油脂提取率，縮短提取時間，提高油脂品質。楊朝福(2009)等採用超聲波溶劑提取毛葉山桐子油工藝，含油率達 26.61%。

「自由基」是指身體經過新陳代謝後所產生的物質，活性極強，很容易與其他物質做反應。當組織器官受傷，會累積大量的自由基，它是一個不穩定的因子，無論是因為菸酒、壓力、輻射、外傷、感染、發炎、手術或疾病狀態，自由基都會攻擊我們的健康細胞，搶奪健康細胞的電子，引發細胞凋亡而導致老化。自由基的累積導致氧化壓力提升，身體就會產生抗氧化物來穩定自由基，又稱清除自由基，或稱之為抗氧化能力。抗氧化能力越強的人，身體素質和狀況就越好，老化也越慢。然而，現代人的生活多半處於高壓狀態，作息不正常、應酬、熬夜、外食、超精緻加工食品等充斥我們的周遭，氧化壓力極大，身體的抗氧化物很容易就消耗殆盡。藉由多酚類植物具有防止氧化傷害的「抗氧化作用」，可望發揮清除自由基、提高各種疾病抵抗力、防止老化等功效。多酚類化合物是指分子結構中有酚性經基之植物成分的總稱，包括黃

¹⁾ 行政院農業委員會林業試驗所森林利用組，100051 臺北市中正區南海路 53 號。

* 通訊作者，E-mail: angelku@tfri.gov.tw。

²⁾ 行政院農業委員會林業試驗所育林組，100051 臺北市中正區南海路 53 號。

酮類、單寧類、酚酸類以及花色苷類等皆在植物中發現的，其具有潛在促進健康作用的化合物。多酚類物質常見的化合物有：兒茶素(catechin)、綠原酸(chlorogenic acid)、異黃酮(iso-flavones)、花青素(anthocyanins)、可可多酚(coco-phenols)、薑黃素(curcumin)、檸檬黃素(hesperetin)、槲皮素(querletin)、蘆丁(rutin)、白藜蘆醇(resveratrol)等。

本研究以新竹與嘉義兩地山桐子果實之萃取物，以氣相層析儀火焰離子偵測器(GC-FID) 與紫外-可見光分光光譜儀(JASCO V-750)分析其脂肪酸組成與萃取物之光譜圖，並以抗氧化試驗探討其抗氧化生物活性，期能提供利用價值，並提供業界參考應用，作為開發創新產品之依據。

試驗材料與方法

一、試驗材料

山桐子果實採集地為新竹與嘉義南北兩地，為林業試驗所育林組所採集。果實收集後，經人工去除雜質，將果實陰乾後，以 60°C 烘乾後，粉碎成顆粒約 5mm 大小備用。(Y：阿里山，B2：新竹，B1：新竹，A：新竹，(RED-PLUM)：紅棕櫚油)

二、試驗方法

(一)山桐子果實正己烷與乙醇萃取物之製備

山桐子果實以正己烷與乙醇為萃取溶劑，料液比 1:4 之比例萃取 4 hr 後過濾殘渣，濾液則以減壓濃縮機將溶劑移除，得正己烷層與乙醇液態膏狀物樣品冷藏備用。

(二)含油率、脂肪酸種類分析與紫外線分光光譜特徵指紋圖譜

1. 樣品以 105°C 殺青烘乾至恆重，用高速粉碎機磨碎，過 40 mesh。試樣以溶劑法正己烷萃取，得毛油與其含油率。含油率為 $[\text{毛油重(g)}/\text{果實乾重(g)}] \times 100\%$ 。另將毛油甲酯化處理後，以氣相層析儀--火焰離子偵測器(GC-FID)比對脂肪酸-甲酯標準品(硬脂酸甲酯、油酸甲酯、亞油酸甲酯、棕櫚酸甲酯)(Methyl stearate, methyl oleate, methyl linoleate, methyl palmitate) 進行分析檢測脂肪酸組成。

2. 採用紫外-可見光分光光譜儀(JASCO V-750)分析試樣在 200~550 nm 波長範圍之吸收圖譜，進行山桐子果實之毛油與乙醇萃取物之紫外-可見光之光譜吸收測定。

(三)山桐子果實乙醇萃取物之抗氧化活性測定

1. 總酚含量測定

參考 Folin-Ciocalteu 比色法 (Cheng et al. 2004)，並稍做一些修改。以 0.1 N Folin-

Ciocalteu reagent 氧化過濾過的提取物的適當稀釋液，再以 20% Na_2CO_3 中和反應。在室溫下 8 min，用快速活性篩選儀(ELISA, Thermo)在 760 nm 下測量所得藍色之吸光值。依據沒食子酸(Gallic acid, Sigma)標準曲線換算萃取液中總酚類含量，結果表示為每克試樣中沒食子酸當量(mg of GAE/g)。

2. DPPH 自由基捕捉活性(Scavenging of DPPH radical)

參考 Shimada K. (1992)，也稍做了一些修改，DPPH 為安定之自由基，其乙醇水溶液為紫色，在波長 517 nm 處具有特定的吸光值，若 DPPH 自由基與試樣反應，吸光值會降低，由吸光值之變化可判斷試樣清除 DPPH 自由基之能力，吸光值越低表示試樣清除 DPPH 自由基之能力越強。

3. 總抗氧化活性試驗(Trolox equivalent antioxidant capacity, TEAC)

參考(Re R. 1999)並做了些修改。TEAC 為測定試樣清除 ABTS(2, 2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)之能力。ABTS 為穩定之自由基，在波長 734 nm 處具有特定的吸光值，若 ABTS 自由基與試樣反應，其吸光值會降低，吸光值越低表示清除 ABTS 自由基之能力越強。水溶性維他命 E (Trolox)作為定量用之參考標準品，求出標準曲線之回歸式，並計算出每 0.5 mg/ml 樣品相當於多少 mM 的 Trolox 清除 ABTS 自由基之能力，並以此表示試樣之 TEAC 值。

結果與結論

台灣本土山桐子果實之含油率為 20.0~32.0% (Y：阿里山 B2：新竹 B1：新竹 A：新竹 (RED-PLUM)：紅棕櫚油。通過氣相層析儀--火焰離子偵測器(GC-FID)分析其甲酯化後的毛油(如圖 1)，檢測到之主要脂肪酸成分為亞油酸 43.11~51.85%、棕櫚酸 25.2~39.40%、棕櫚烯酸 9.53~13.50%、油酸 6.3~6.9%、與硬脂酸 0.48~0.67%，山桐子毛油總不飽和脂肪酸之含量為 60.12~70.84%。王剛(2017)等以山桐子與其他幾種植物油脂肪酸進行比較，總不飽和脂肪酸含量差異性不大，但山桐子亞油酸含量為 63.9%，差異性較顯著。由結果皆顯示山桐子毛油之亞油酸含量與總不飽和脂肪酸含量其雙高之特點，可視為一種潛在優質之植物油。

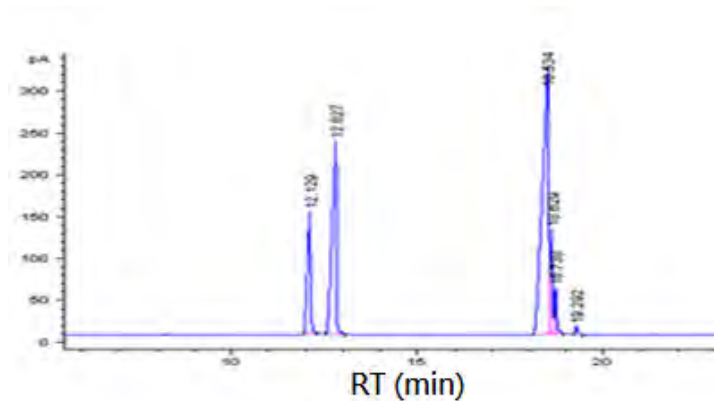


圖 1. 山桐子毛油之氣相層析儀--火焰離子偵測器(GC-FID)圖譜

由紫外-可見光分光光譜儀(JASCO V-750)之試驗結果顯示，在波長 200~550 nm 之紫外吸收圖譜(圖 2)顯示山桐子正己烷層之萃取物紫外線吸收峰為 234、270、421、444 與 472 nm，乙醇萃取物紫外線吸收峰為 226、278、312 nm，紅棕櫚油之紫外線吸收峰為 236、269、424、448 與 475 nm。然在波長 240~280 nm (II 帶)與 300~400nm (I 帶)為黃酮類化合物特性吸收之紫外光譜區，花色素類在波長 270~280 nm (II 帶)與 465~560 nm (I 帶)特性吸收之紫外光譜區，嘉義、新竹四者之正己烷層在這兩個紫外光譜區皆有強吸收峰，然市售紅棕櫚油在 465~560 nm (I 帶)特徵之紫外光譜尤較不明顯，但出峰處相似。由表 1 顯示山桐子正己烷層之萃取物應含有橙酮類與花色素類化合物，乙醇萃取物應含有黃酮類化合物。後續將再以液相層析儀進行分析，確認其化合物歸屬。

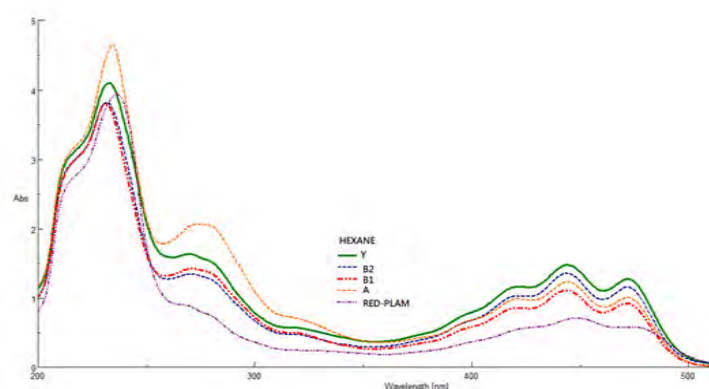


圖 2. 山桐子毛油與紅棕櫚油之紫外光吸收光譜圖

Y：阿里山 B2：新竹 B1：新竹 A：新竹 (RED-PLUM)：紅棕櫚油

表 1. 黃酮類化合物紫外-可見光吸收波長範圍

	II 帶 (nm)	I 帶 (nm)
黃酮類 (Flavonoids)	250~280	310~350
黃酮醇類(3-OH 取代) Flavonols (3-OH substitution)	250~280	330~360
黃酮醇類(3-OH 自由) Flavonols (3-OH free)	250~280	350~385
異黃酮類 Isoflavones	245~275	310~330
二氫黃酮類 Dihydroflavonoids	275~295	310~330 肩峰
查耳酮類 Chalcones	230~270(低強度)	340~390 肩峰
橙酮類 Orange ketones	230~270(低強度)	380~430
花色素類 Anthocyanins	270~280	465~560

(出處：黃量和干德泉(2000) 紫外光譜在有機化學中的應用(下))

抗氧化活性試驗總酚含量(Total phenolic contents)為嘉義 59.19 (mg of GAE/g)、新竹-A 53.61 (mg of GAE/g)、新竹-B1 56.66 (mg of GAE/g)與新竹-B2 54.57 (mg of GAE/g)，DPPH radical IC₅₀ 值為嘉義 0.3501 (mg/ml)、新竹-A 0.3662 (mg/ml)、新竹-B1 0.3741 (mg/ml)與新竹-B2 0.3904 (mg/ml)。橄欖油總酚含量為 57.37 (mg of GAE/g)，DPPH IC₅₀ 值為 0.33(mg/ml)(林鈺郡 2015)，山桐子乙醇萃取物之總酚含量與 DPPH 抑制率與橄欖相似。ABTS 總抗氧化活性(Trolox equivalent antioxidant capacity, TEAC) TEAC 值為嘉義 96.09(mM Trolox)、新竹-A 84.41(mM Trolox)、新竹-B1 89.11(mM Trolox)與新竹-B2 94.44 (mM Trolox)。四組山桐子 TEAC 值均高，顯示清除 ABTS 自由基之能力顯著。

結論

山桐子脂肪酸組成中亞油酸與總不飽和酸雙高之特性，是一種潛在優質之植物油，同時也是萃取醫藥用途亞油酸之好原料。且其油之精煉後可轉為性能優良之生物能源，如生物柴油、高級潤滑油、油漆樹脂等。此外山桐子萃取後之剩餘物：果粕，可進行加工處理生成飼料，更可以生產成有機肥再投入山桐子之種植，充分利用。山桐子油具優質的亞油酸成份之相對含量高(43.11~51.85%)且其總不飽和脂肪酸相對含量為 60.12~70.84%，極具開發的潛力，然山桐子造林 3~5 年以後即可開花結實，若經選育的

品種 5、6 年生可產果 30~70kg/株(方曉璞等 2019)，而台灣地區目前並未進行相關的造林生產，建議應積極開發山桐子油的優勢，而育林組已研發出山桐子種子的催芽技術，可以加速山桐子資源利用。

引用文獻

劉春雷、江連洲、于殿宇、李楊、李丹 (2012) 山桐子油提取工藝的研究及脂肪酸組成分析[J]。食品科技 37(2): 192-195。

華婉、葉揚、王戰國、唐琳 (2016) 山桐子油的提取分離及理化性質研究[J]。四川大學學報(自然科學版) 53(1): 182-185.

楊朝福、霍阿麗、陸剛、薛亞峰、王俊儒 (2009) 均勻設計優化水冬瓜果實油脂的提取工藝[J]。中國糧油學報 24(3): 75-78。

黃量、干德泉 (2000) 紫外光譜在有機化學中的應用(下)。科學出版社 p.281-440.

Cheng D, Daniel KG, Kuhn DJ, Kazi A, Bhuiyan M, Li L, Wang Z, Dou QP. (2004) Green tea and tea polyphenols in cancer prevention. Front. Bio-sci. J. Virt. Lib. (9) 2618–2631.

Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang A, Rice-Evans M. (1999) Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation de-colorization assay. Free Radic. Biol. Med. 26:1231-1237.

Shimada K, Fujikawa K, Yahara K, Nakamura T. (1992) Anti-oxidative properties of xanthan on the autoxidation of soybean oil in cyclodextrin emulsion. J. Agric. Food Chem. 40:945.

兩種適應不同潮位的紅樹林樹種對鹽度和淹沒處理之光合生理

王經文¹⁾ 黃盟元²⁾ 翁仁憲²⁾ 廖天賜³⁾ 陳明男⁴⁾ 陳忠義^{3)*} 賴佑翔⁵⁾

緒言

紅樹林是由 17 科 30 屬 81 個分類群所組成的多樣化群體，分布在熱帶和亞熱帶海岸線的鹽鹼地和潮汐濕地中(Saenger et al. 2019)。紅樹林的生長受到溫度的限制，且表現出獨特的地理分布，主要在北緯 30°到南緯 30°之間(Giri et al. 2010)。紅樹林棲息地的典型特徵是高鹽度、受潮汐影響、強風、高溫 and 泥濘的缺氧土壤(Kathiresan and Bingham 2001)。在濕地中，微氣候會顯示出強烈地季節性土壤鹽度變化(0-1,709 mM NaCl)，根據氣候預測模型可能會增加幅度，這可能會影響紅樹林幼苗的形態和生理，進而影響紅樹林的生長和物種組成(Bompy et al. 2014)。

在自然條件下，不同的紅樹林物種分布在不同海拔的區域(Li et al. 2015)。在全球範圍內，由於海平面上升，紅樹林族群正在經歷不斷變化的洪水深度和持續時間(Woodroffe 1999)。紅樹林的鹽生植物性質與潮汐週期改變的潛在影響，對於研究者是一種挑戰，僅淡水淹沒可能會使潮汐評估產生偏差，因為在鹽鹼條件下可能會獲得最佳生長和生理活動(Ball 2002)。鹽度增加對紅樹林的可能影響仍然相對未知，鹽度和淹沒潮差的波動是影響紅樹林物種分布、生態棲位模擬和演替的重要因素(Sabine et al. 2011)。紅樹林生長在潮間帶，土壤的高鹽度阻礙了水的吸收，而日照和風的強度會導致快速蒸發，從而導致用水吃緊(Ball 1988)。因此，與其他木本維管植物相比，紅樹林表現出保守的用水模式，以在高鹽環境中維持代謝功能(Ball 1988, Parida and Jha 2010, Reef and Lovelock 2014)。

光合性能是所有植物(包括紅樹林)反映生理逆境的指標(Krauss et al. 2008)。Li 等人(2020)指出，當海茄苳(*Avicennia marina*)幼苗葉片在 10‰ NaCl 淹沒處理下，淨光合速率(net photosynthesis, Pn)和氣孔導度(stomatal conductance, gs)在 4 h 淹沒時增加，但在 8 h 淹沒時與對照(0 h)相比下降。Ellison and Farnsworth (1997)指出，在 35‰鹽度下，過高或

¹⁾ 行政院農業委員會特有生物研究保育中心解說教育組，552203 南投縣集集鎮民生東路 1 號。

²⁾ 國立中興大學生命科學系，402202 臺中市南區國光路 250 號。

³⁾ 國立中興大學森林學系，402202 臺中市南區國光路 250 號。

⁴⁾ 桃園市政府農業局，330206 桃園市桃園區縣府路 1 號。

* 通訊作者，E-mail: rk.aee@msa.hinet.net。

⁵⁾ 行政院農業委員會林務局新竹林區管理處林政課，300191 新竹市北區中山路 2 號。

過低的潮間帶海拔抑制了大紅樹(*Rhizophora mangle*)的最大光合速率。Chen and Ye (2013) 發現，當海水鹽度在 28‰左右時，隨著潮間帶海拔的降低，水筆仔(*Kandelia obovata*)的 P_n 和 g_s 下降的幅度要大於耐淹的海茄苳。Chen 等人(2005)應用人工潮汐來模擬每天兩次的淹沒頻率，所有的紅樹林幼苗都浸泡在人工海水中。隨著浸泡時間的增加，光合速率、蒸散速率、氣孔導度和細胞間 CO_2 濃度也出現了類似的趨勢，只有在 10 或 12 小時的長時間處理中才會出現顯著下降。儘管上述結果的材料和方法不同，但紅樹林對淹沒的反映因物種特徵、潮間帶高度和浸沒時間而異。

當植物葉片突然暴露在強光下時，葉片的光合速率不會立即達到最大值，而是逐漸接近最大值，這個過程稱為光誘導(photosynthetic induction)，需要幾分鐘到一個小時，取決於物種、生態棲息地和環境因素。其中，陽性樹種(Urban et al. 2007, Wong et al. 2012, Deans et al. 2019)或乾旱逆境樹種(Allen and Pearcy 2000)比耐陰性樹種更趨於減緩誘導。先前研究可知在 $800 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 下，水筆仔的光合誘導需要很長時間(> 1 h)才能實現高光合速率(Wang et al. 2020b)。在光誘導期間，光合系統效率(electron transport rate, ETR)的上升總是快於 CO_2 固定效率(Wong et al. 2012)。在水筆仔中也發現了相同的趨勢(Wang et al. 2020b)，因此，在光合作用誘導的初始階段，由於光合作用尚未完全開始，吸收的光子數量大於 CO_2 固定系統可以使用的數量(Wong et al. 2012, 2014)。此外， CO_2 固定是主要的光能接收者，較高的光合速率將消耗更多的光能並減少光抑制(Demmig-Adams et al. 2006, Wong et al. 2016)。在紅樹林葉片中，光飽和點(LSP)通常遠低於所接收到的光量，因此，紅樹林的葉片通常會接受過多的光能並可能表現出光抑制作用(Kitao et al. 2003)。然而，關於紅樹林光抑制(photoinhibition)和光保護(photoprotection)的研究仍然很少(Luna et al. 2019, Wang et al. 2020b)。

紅樹林棲地受到潮汐的影響，並受到海平面上升和隨後的高潮淹沒(Ellison 2015)以及鹽度變化的威脅(Bang et al. 2018)。為了進行最有效的紅樹林復育，迫切需要確定淹沒和鹽度增加對紅樹林幼苗的綜合影響(Chen and Wang 2017)。鹽度和潮汐可能會影響這兩種紅樹科(Rhizophoraceae)紅樹林的光合特性，包括光能吸收、利用、消散和光抑制，效果可能會因它們首選棲息地的位置而異。因此，我們的假設是水筆仔和紅海欖的林木生理因鹽度和淹沒的產生不同影響，導致這兩種樹種的棲地分布不同。本研究旨在闡明水筆仔和紅海欖對鹽度和淹沒逆境反映的光合性能，所得數據可以解釋兩種紅樹林物種在微環境中的分布差異，為紅樹林復育、棲地營造和生態監測提供參考。

材料與方法

一、測試材料和處理

2015 年於台南雙春河口(23°17'38.8" N, 120°06'42.3" E)採集水筆仔和紅海欖的繁殖體，種植於特生中心(23°49'43.0" N, 120°48'04.7" E)。實驗是在開放環境中進行。栽培基質為潮間帶採集沙子，鹽度為 15‰，將種子播種在圓形塑料桶(diameter, 20 cm; height, 20 cm)中。2017 年 7 月開始進行鹽度處理，苗齡 2 年，苗高 50~60 cm，地徑 3~4 cm。根據我們之前的研究，水筆仔和紅海欖在 20‰鹽度下的光合性能(Wang et al. 2020a, 2020b)比在 40‰鹽度下更好。因此，我們將鹽度處理設計為 20‰和 40‰。我們將水筆仔和紅海欖幼苗按以下處理分為四組：(1)20‰鹽度、未淹沒，(2)20‰鹽度、淹沒，(3)40‰鹽度、未淹沒和(4)40‰鹽度、淹沒，每處理每種 5 株苗木。每週進行一次鹽度處理，直到 2018 年，以確保鹽度保持在 20‰和 40‰。

二、整株淹沒處理

淹沒處理在 2018 年 4 月至 6 月期間進行了 7 天。整株植物暴露於間歇性浸水，每天總共 4 小時，早上(06:00-8:00)和下午(16:00-18:00)各 2 小時，模擬潮汐影響。淹沒處理容器為直徑 56 cm、高 75 cm(淹沒高度)的塑料桶。淹沒溶液的鹽度在整個處理過程中保持不變。對照組不接受淹沒處理。

三、固定光源下的光合作用和葉綠素螢光參數

2018 年 4 月至 6 月，使用氣體交換和螢光光合作用分析儀(GFS-3000FL; Walz, Effeltrich, Germany)測量幼苗。早晨淹沒後，每天 10:00 測量光合參數。實驗環境 photosynthetic photon flux density (PPFD)調整為 800 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。光合作用、氣體交換和葉綠素螢光參數在照射 90 分鐘期間測量，然後在暗適應期間測量 30 分鐘，期間測量光合作用和氣體交換參數以及葉綠素螢光參數，然後計算以下參數(Müller and Niyogi 2001, Johnson and Ruban 2011)：

• PSII 的潛在(F_v/F_m)和實際量子效率($\Delta F/F_m'$)、電子傳遞速率(ETR)

$$F_v/F_m = (F_m - F_o)/F_m; \quad \Delta F/F_m' = (F_m' - F)/F_m'; \quad \text{ETR} = \Delta F/F_m' \times \text{PPFD} \times 0.5 \times \alpha$$

• 非光化學消散(non-photochemical quenching, NPQ)及其組成

$$\text{NPQ} = F_m/F_m' - 1; \quad q_E = (F_mD2 - F_m90')/F_m90'; \quad q_Z + q_T = (F_mD30 - F_mD2)/F_m90';$$

$$q_I = (F_m - F_mD30)/F_m90'$$

結果與討論

一、光誘導之光合作用速率及螢光反應

在某些樹種中，尤其是在陽光充足的環境或旱季，氣孔限制對於完全光合誘導所需的時間相對更為重要(Allen and Percy 2000, Urban et al. 2007)。本研究顯示，兩種紅樹樹種的 P_n 、 g_s 和 ETR 在光合作用誘導的前 30 min 保持較低值，30 min 後逐漸升高。從 30-90 分鐘，大多數處理的 P_n 未達到最大值(圖 1A、1C 和 1E)，表明 2 種紅樹林的光合誘導時間段相當長，在光合作用誘導期，光合速率的變化主要受氣孔因素的影響。紅樹林在光合誘導過程中的氣孔開放速度受到限制，推測這是為反映紅樹林環境而發展出的保守用水策略，這種方法類似於陸地旱生植物的高用水效率特徵(Ball 1988, Parida and Jha 2010, Deans et al. 2019)。

圖 1 亦顯示，在光合誘導的早期，ETR 的增加比光合作用更快，呈現 ETR 的誘導比 CO_2 同化的誘導更快(Wong et al. 2012)。因此，吸收的光子可能比碳反應所能使用的多；這種過量吸收的能量通常會導致光系統效率降低(Kato et al. 2003, Adams et al. 2004)。NPQ 是一種重要的光保護機制，可將多餘的能量作為熱量消散，以避免過度吸收光子的有害影響(Müller et al. 2001, Murchie and Niyogi 2011)。如圖所示。與圖 1G 和 H 中的低光合速率相比，NPQ 在 0-30 分鐘時迅速增加，這表明 NPQ 主要負責照明早期能量的耗散。在光合速率較高的幼苗(未淹沒的水筆仔)中，其 NPQ 開始下降。在鹽度為 40‰ 的鹽度下淹沒的幼苗，光合作用幾乎完全被抑制，光照 30 分鐘後 NPQ 繼續緩慢上升。這表明較高的光合作用速率消耗了更多的光能並減少了多餘的光能，從而導致 NPQ 降低(Demmig-Adams et al. 2006, Wong et al. 2016)。

二、光抑制和光保護

圖 1 顯示在光合誘導過程中，NPQ 的變化與光合速率密切相關。然而，NPQ 可以根據它們的形成和恢復分為不同的成分(Müller et al. 2001)。其中， q_I 是由光抑制引起的， q_E 與光系統的能量消散和光保護有關。一般來說，當 PSII 吸收過多能量時，會導致類囊體膜中大量氫離子積累。pH 值變化引起 q_E 機制的運行，以熱量的形式消散天線系統吸收的多余光能，從而保護 PSII 避免光抑制(Müller et al. 2001)- q_E 值越高，光保護機制越強。圖 2 顯示，在 40‰ 鹽度下，水筆仔的 NPQ 顯著增加，但增加的部分與光抑制(q_I)有關，而與光保護相關的 q_E 下降。紅海欖在高鹽度下表現出比水筆仔更小的 NPQ 增加，但增加了 q_I 並降低 q_E ，40‰ 鹽度處理表現出較低的光合速率(圖 1B)和 q_E (圖 2)，表明其具有較高的過剩能量和較低的光保護作用，從而具有較高的光抑制作用(圖 2；Demmig-Adams et al. 2006, Wong et al. 2014, 2016)。

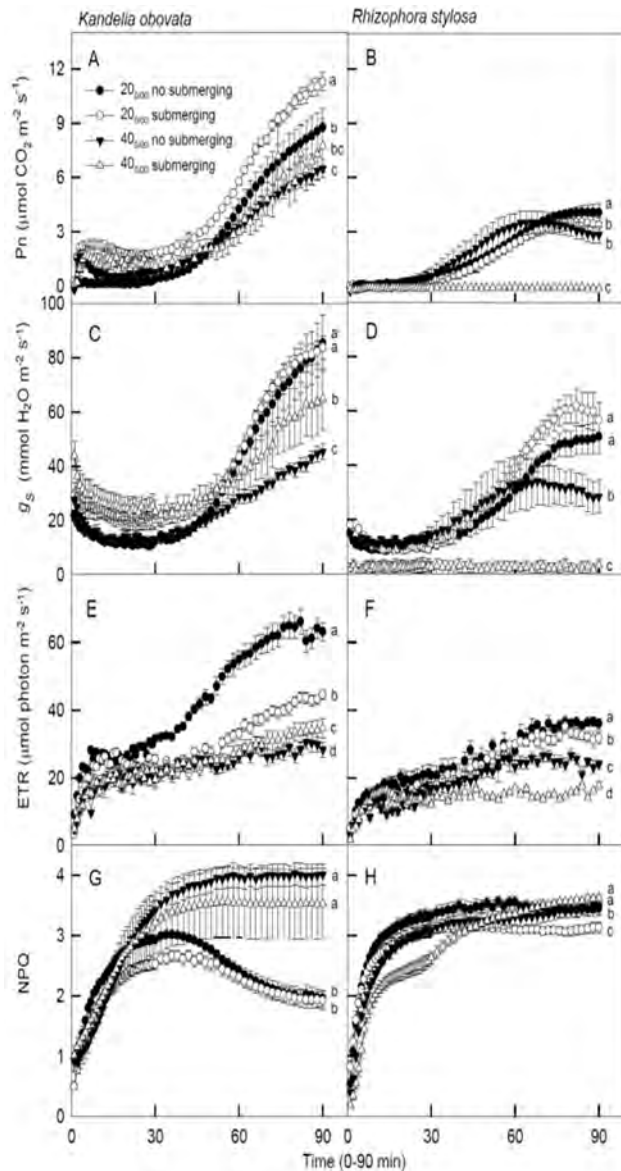


圖 1. *Kandelia obovata* 和 *Rhizophora stylosa* 經鹽度(20‰ and 40‰)與淹水處理後，經光量 $800 \mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 下 30 與 90 min 之光合作用速率(A、B)、氣孔導度(C、D)、ETR(E、F)與 NPQ(G、H)。*不同字母小寫表示於 90 min 時不同鹽度與淹水環境以 Tukey's HSD 分析達顯著差異($p < 0.05$)。I = SE。N = 5。

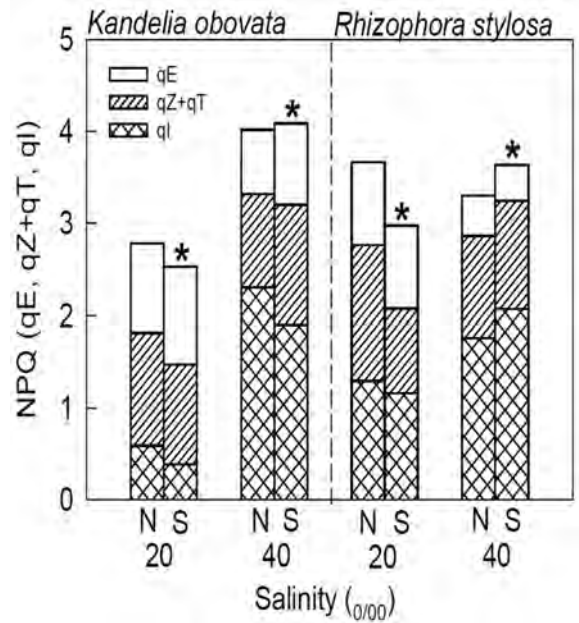


圖 2. *Kandelia obovata* 和 *Rhizophora stylosa* 經鹽度(20‰ and 40‰)與淹水處理後，經光量 $800 \mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 下照射 90 min 與暗適應 30 min 後，NPQ 之組成(qE, qZ+qT, and qI)。*代表未淹沒及淹沒間 NPQ 總量之 T-tests 達顯著差異($p < 0.05$)。

結論

本研究顯示，紅樹林的光合性能反映了它們對環境的適應性。即：(1)兩種紅樹樹種光合誘導期很長，在誘導過程中，Pn 受到 gs 的限制。這種氣孔開放速度的限制與保守的用水策略有關。(2)在 20‰和 40‰鹽度下，淹沒處理提高了水筆仔的 Pn。當植物沒有被淹沒時，紅海欖的 Pn 比水筆仔更耐鹽。然而，紅海欖並不適合高鹽度的水下環境。這可能是因為紅海欖生育潮間帶海拔高於水筆仔(紅海欖不適應低海拔)。(3)在光合誘導過程中，光系統誘導比 CO_2 固定誘導快得多，導致能量產生過剩，NPQ 是耗散過多能量

的重要機制。高鹽度處理同時降低了 Pn 和 qE。降低 Pn 會增加多餘的能量，而降低 qE 會降低光保護作用，兩者都會導致光抑制作用增加。光抑制程度在野外易於測量，應作為生態監測指標。上述結果可為紅樹林恢復、棲地營造和生態監測提供參考。

引用文獻

- Bang JH, Bae MJ, Lee EJ. (2018)** Plant distribution along an elevational gradient in a macrotidal salt marsh on the west coast of Korea. *Aquatic Bot* 147: 52-60.
- Chen LZ, Wang WQ. (2017)** Ecophysiological responses of viviparous mangrove *Rhizophora stylosa* seedlings to simulated sea-level rise. *J Coast Res* 33(6): 1333-1340.
- Deans RM, Brodribb TJ, Busch FA, Farquhar GD. (2019)** Plant water-use strategy mediates stomatal effects on the light induction of photosynthesis. *New Phytol* 222(1): 382-395.
- Ellison JC. (2015)** Vulnerability assessment of mangroves to climate change and sea-level rise impacts. *Wetlands Ecol Manage* 23: 115-137.
- Li H, Li Z, Shen ZJ, Luo M.R. Liu YL, Wei MY, Wang WH, Qin YY, Gao CH, Li KK, Ding QS, Zhang S, Zhang XM, Gao GF, Zhu XY, Zheng HL. (2020)** Physiological and proteomic responses of mangrove plant *Avicennia marina* seedlings to simulated periodical inundation. *Plant Soil* 450: 231-254.
- Li S, Meng X., Ge Z. Zhang L. (2015)** Vulnerability assessment of the coastal mangrove ecosystems in Guangxi, China, to sea-level rise. *Reg Environ Change* 15: 265-275.
- Luna MMA, Bernini E, Lage-Pinto F. (2019)** Photochemical responses by seedlings of two mangrove species grown under different light levels. *Pan-Am J Aquatic Sci* 14(2): 86-99.
- Saenger P, Ragavan P, Sheue CR, López-Portillo J, Yong JWH, Mageswaran T. (2019)** Mangrove Biogeography of the Indo-Pacific. *Sabkha Ecosystems* pp. 379-400.
- Wang CW, Liao TS, Wong SL, Chen MN, Chen CI. (2020a)** A study on photosynthesis in *Rhizophora stylosa* seedlings under different salinity treatments. *Q J Chinese Forestry* 53(1): 33-54.
- Wang CW, Wong SL, Liao TS, Chen MN, Chen CI. (2020b)** A study on photosynthetic induction of *Kandelia obovata* seedlings under different salinity treatments. *Q J Forest Res* 42(2): 91-104.
- Wong SL, Chen CW, Weng JH. (2016)** Energy quenching and photoinhibition during light induction in four fern species. *TW J. Biodivers* 18: 173-189.

多納崩塌地的土壤種子庫

鍾安晴^{1)*} 林文智¹⁾ 周富三¹⁾

緒言

森林植物可藉由稚樹庫(sapling bank)、苗木庫(seedling bank)、萌蘖(sprouts)、種子雨(seed rain)及土壤種子庫(soil seed bank)等方式來更新(Garwood 1989)。當種子落到土壤表層或枯枝落葉層，本身仍具有活性，但暫時維持休眠的狀態，等待適當的時機來臨得以發芽更新，這樣的種子群體即可稱為土壤種子庫(Roberts 1981, Fenner and Thompson 2006)。2009 年莫拉克颱風時，台灣南部山區形成許多崩塌地，六龜研究中心所轄之多納林道亦有多處崩塌，至今已經歷 10 年自然演替，部分區域形成以山黃麻及白匏子為優勢之次生林，部分區域仍為裸露狀態，整體呈現鑲嵌式的地貌。本研究目的為探討目前多納崩塌地的土壤種子庫組成，並和崩塌地現有樹木層、苗木層及地被草本層的組成比對，以得知崩塌地各物種是否以土壤種子庫作為主要更新材料，並推測各物種的更新策略。此外，也想探討樣區內各環境因子是否會影響不同物種的土壤種子儲量。

材料與方法

一、樣區設置及環境因子調查

本研究試驗地位於高雄市茂林區多納林道 8.7 km 處之崩塌地，海拔約 1000 m。共設有 100 個 10 m x 10 m 的小樣區，面積合計 1 ha。於 2017 年雨季之 7 月及 2018 年乾季之 2 月各量測一次每個小樣區的相對光量，兩次平均為該小樣區的相對光量值。2019 年 12 月於每個小樣區挖取 3 個 200 cm³ 的土樣，量測烘乾前之土樣總體積後，以 2 mm 篩網去除石礫，算得土壤體積及重量，經 105°C 烘烤 24 小時後，量測乾土重量，將每個小樣區的 3 個土樣數值平均，得到該小樣區的土壤含石率、土壤含水率、土壤容積密度。於 2020 年 2~3 月調查樣區內樹木及天然更新苗，記錄 1 ha 範圍內所有的木本植株物種及數量，胸徑≥1 cm 者視為樹木，胸徑<1 cm 且高度≤130 cm 者視為苗木。同時調查 1 ha 範圍內地被草本層的物種組成及出現頻度(出現的小樣區數量)。

¹⁾ 行政院農業委員會林業試驗所六龜研究中心，844005 高雄市六龜區中興里中庄 198 號。

* 通訊作者，E-mail: cac335@tfri.gov.tw。

二、土壤種子庫試驗

乾季時的土壤種子儲量會明顯高於雨季(田玉娟和王相華 2012)，故本研究於乾季之 2020 年 2 月 18~19 日進行土樣採取。前人研究指出，土壤中發芽種子數量最多的位置為 0~5 cm 的土層(林文智等 2004，湯冠臻等 2011，吳博昕等 2014)，因此本研究僅挖取 0~5 cm 的土層作為土樣，每個 10 m x 10 m 樣區皆隨機挑選 3 處(各相距至少 2 m)，分別挖取約 60~70 cm³ 的土壤，合裝成 1 包 4 號夾鏈袋(85 x 120 mm)的土樣(體積約為 200 cm³)。除了崩塌地樣區外，也在鄰近之台灣杉人工林及原始林各採取 5 包土樣(體積亦為 200 cm³)，以比對土壤種子庫組成。合計共採取 110 個土樣。

本研究採取發芽試驗法，計算土壤中具活性之種子數量。取回的土樣於 2 月 20 日以 1 cm 內之厚度平鋪於底部覆蓋細紗網之發芽盤，以防種子隨水流失。置於有定時噴水及充份光照的溫室，每週觀察鑑定發芽幼苗的種類並記錄其數量，將鑑定完的幼苗移除，避免阻礙其他種子發芽，未能鑑定的種類則移至大花盆內種植，直至可鑑定後再移除。觀察期間至 7 月底為止(共 23 週)，於最後一次調查後幾乎再無種子發芽。試驗同時設置空白培養土之對照組，以確定溫室是否有種子污染土樣，汙染物種不列入發芽物種之計算分析。一物種於幾個土樣內有出現發芽種子，即視為該物種的發芽土樣數量。

結果與討論

一、崩塌地種子庫組成及數量

多納崩塌地的土壤種子庫共有 20 種組成植物，總共發芽 1527 株(表 1)，換算成單位面積具活力之種子密度為 3818 粒 m⁻²。包含喬木 3 種 52 株，佔發芽總數 3%；灌木 3 種 774 株，佔發芽總數 51%；「草、藤、蕨類」14 種 701 株，佔發芽總數 46% (表 1)。原生種 13 種，種子儲量 64.6%；外來種 7 種，種子儲量 35.4%。種子儲量超過 100 株者有 6 種，分別為密花苧麻(398 株)、兩耳草(350 株)、台灣山桂花(190 株)、水麻(186 株)、大花咸豐草(132 株)、剛莠竹(132 株) (表 1)。其中密花苧麻及台灣山桂花為中等耐陰樹種，種子儲量 38.5%；其餘木本及「草、藤、蕨類」皆屬陽性植物，種子儲量 61.5%。人工林及原始林的發芽種類及數量分別為 11 種 53 株及 12 種 80 株，換算密度分別為 2650 粒 m⁻² 及 4000 粒 m⁻²。顯示崩塌地的種子儲量略低於原始林，但高於人工林。

2020 年 3 月時，1 ha 樣區內共有 63 種樹木及 123 種「草、藤、蕨類」。故木本及「草、藤、蕨類」分別只有 10%及 11%的物種種子，於本次調查中存在於土壤種子庫。2020 年 3 月時，1 ha 樣區內數量最多的樹種為白匏子(1858 株)、山黃麻(550 株)及台灣

山桂花(422 株)。然而在本次的崩塌地土壤種子庫中，完全沒有白匏子的小苗出現。密花芋麻的樹木和苗木數量皆少，1 ha 內的樹木及苗木皆只有 9 株；台灣山桂花是樹木、苗木及土壤種子儲量最相符者，三者數量皆很多；水麻也有高達 186 株種子發芽，但現地卻少有更新苗木；羅氏鹽膚木的樹木和苗木數量皆多，但土壤種子庫僅 1 株發芽(表 2)。

表 1. 多納崩塌地土壤種子庫發芽物種、發芽土樣數量、發芽數量及百分比

發芽物種	學名	生活型	原生或 外來	發芽土 樣數量	種子發 芽數量	百分比 (%)
密花芋麻	<i>Boehmeria densiflora</i>	灌木	原生	59	398	26.1
兩耳草	<i>Paspalum conjugatum</i>	草本	外來	49	350	22.9
台灣山桂花	<i>Maesa perlaria</i>	灌木	原生	48	190	12.4
水麻	<i>Debregeasia orientalis</i>	灌木	原生	30	186	12.2
大花咸豐草	<i>Bidens pilosa</i>	草本	外來	26	132	8.6
剛莠竹	<i>Microstegium biaristatum</i>	草本	原生	40	132	8.6
紫花藿香薊	<i>Ageratum houstonianum</i>	草本	外來	13	29	1.9
山黃麻	<i>Trema orientalis</i>	喬木	原生	19	27	1.8
大葉溲疏	<i>Deutzia pulchra</i>	喬木	原生	13	24	1.6
加拿大蓬	<i>Conyza canadensis</i>	草本	外來	9	10	0.7
香澤蘭	<i>Chromolaena odorata</i>	草本	外來	7	10	0.7
懸鉤子 sp.	<i>Rubus</i> sp.	草本	原生	8	9	0.6
昭和草	<i>Crassocephalum crepidioides</i>	草本	外來	5	7	0.5
波葉山螞蝗	<i>Desmodium sequax</i>	草本	原生	4	7	0.5
蕨類 sp.	Fern sp.	蕨類	原生	5	6	0.4
莎草科 sp. 1	Cyperaceae sp.	草本	原生	4	4	0.3
莎草科 sp. 2	Cyperaceae sp.	草本	原生	2	2	0.1
串鼻龍	<i>Clematis javana</i>	藤本	原生	2	2	0.1
羅氏鹽膚木	<i>Rhus javanica</i>	喬木	原生	1	1	0.1
光果龍葵	<i>Solanum americanum</i>	草本	外來	1	1	0.1
總和	-	-	-	-	1527	100

由表 2 可知，山黃麻雖有許多大樹，在樣區中屬優勢樹種，但小苗卻很少，顯示微環境已不適合小苗生長，因此種子不會發芽而儲存於土壤中。但同樣是優勢樹種的白匏子與羅氏鹽膚木，樹木高度雖不如山黃麻優勢，但苗木數量多，顯示小苗仍可在林下生長，應可逐步取代山黃麻優勢地位。然而土壤種子庫的調查資料與植物開花結實、傳播等有關，本試驗地已於 110 年 4 月架設種子收集網，並同步觀測植物開花結實物候，可提供後續更進一步的分析。

此外，在「草、藤、蕨類」中，種子儲量及頻度皆高的物種包含：兩耳草、大花咸豐草及剛莠竹(頻度分別為 40%、46%及 72%)；物種頻度高但種子儲量少的物種，包含香澤蘭及波葉山螞蝗(頻度分別為 85%及 23%)。

表 2. 多納崩塌地土壤種子庫中的 6 種木本植物，在 2020 年 3 月於 1 ha 範圍內的樹木數量、苗木數量及土壤種子發芽數量(耐陰等級依據 Kuo and Yeh 2015)

木本物種	耐陰等級	樹木數量	苗木數量	種子發芽數量
密花苧麻	中等耐陰	9	9	398
台灣山桂花	中等耐陰	422	136	190
水麻	陽性	41	2	186
山黃麻	先驅	550	0	27
大葉溲疏	陽性	4	0	24
羅氏鹽膚木	先驅	91	94	1
總和	-	1117	239	826

二、種子發芽時間軸

種子儲量在 20 株以上的 9 個物種中，草本類的發芽高峰皆出現於試驗初期 2~5 週，例如大花咸豐草在培育 2 週後即大量發芽 111 株，兩耳草則在培育 2~5 週時大量發芽 323 株，在第 5 週之後皆為零星發芽。木本類的發芽高峰主要出現在第 7 週後，除了山黃麻在第 3~5 週大致發芽完畢外，密花苧麻及水麻在第 7 週時才開始大量發芽，台灣山桂花則是在第 10 週後才開始大量發芽，直至 23 週仍有不少種子發芽。大葉溲疏也是至 12 週後才開始發芽。

三、土壤種子庫和微環境的關係

將樣區的各環境因子，與發芽超過 100 株的 6 個物種之種子數量進行相關分析，結果顯示土壤含石率及相對光量可能對土壤種子儲量有較明顯影響。

(一)含石率：土壤種子儲量與小樣區土壤含石率間呈顯著正相關者，包含密花苧麻、兩耳草、大花咸豐草及剛莠竹(表 3)。土壤含石率越高，這 4 個物種的種子儲量越多，可能是因為在土壤含石率較低的區域(土壤含量較高)，這些種子較易發芽而成為小苗，因此不再儲存於土壤；相反地，在土壤含石率高的區域，可能因石塊較多造成種子的發芽逆境，導致停留在土壤中沒有發芽，直到本研究將土壤攜回培育後，這些種子才得以發芽。

(二)土壤種子儲量與小樣區相對光量間呈顯著相關者，包含 3 個物種(大花咸豐草及兩耳

草呈正相關；台灣山桂花呈負相關) (表 3)。樣區光量越高，大花咸豐草及兩耳草的種子儲量就越高，可能是因為此二物種主要分布在強光環境，在陰暗處較無成熟個體，所以種子主要是儲存於高光量區域之土壤中。樣區光量越低，台灣山桂花的種子儲量就越高，可能是因為本種在低光環境的植株較多(成株及苗木數量皆與小樣區相對光量呈顯著負相關)，所以陰暗處的土壤種子儲量也較多。另外，是否與樣區以外的種子傳播有關，則需與後續種子收集網資料比對分析。

表 3. 多納崩塌地不同物種之土壤種子儲量與各環境因子進行相關分析之 r 值(相關係數)

環境因子	不同物種之土壤種子庫發芽數量與各環境因子進行相關分析之 r 值					
	密花芋麻	兩耳草	台灣山桂花	水麻	大花咸豐草	剛莠竹
含石率	0.2615** ¹⁾	0.2317*	-0.1008	0.0238	0.3709****	0.2070*
土壤水分含量	0.0466	-0.1383	0.0832	0.4062****	0.0085	-0.1557
土壤容積密度	0.0559	0.3624***	0.0096	-0.2622**	-0.0575	0.1593
樹木密度	-0.1228	-0.1191	0.3315***	-0.1426	-0.2917**	-0.1234
相對光量	-0.0297	0.2031*	-0.4055****	0.0152	0.3883****	-0.0083
地被植物種類	0.1919	-0.1264	0.2879**	0.0817	-0.1642	-0.0604
地被覆蓋度(%)	-0.0158	-0.0481	-0.2026*	0.0344	0.1078	0.0277

¹⁾ *: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$; ***: $p < 0.001$; ****: $p < 0.0001$

結論

- 一、形成 10 年之多納崩塌地的土壤種子庫儲量為 3818 粒 m^{-2} ，共有 20 個組成物種，以中等耐陰灌木之密花芋麻及台灣山桂花，與陽性先驅之兩耳草、水麻、大花咸豐草及剛莠竹為主。
- 二、木本及「草、藤、蕨類」分別只有 10%及 11%物種的種子出現於土壤種子庫，顯示本樣區大部分物種並非以土壤種子庫作為主要的更新方式。
- 三、草本物種普遍發芽較早，木本物種則有較晚發芽之趨勢。
- 四、土壤含石率及相對光量為影響多納崩塌地土壤種子儲量之重要環境因子。

引用文獻

- 田玉娟、王相華 (2012) 墾丁熱帶海岸林之土壤種子庫組成。國家公園學報 22(2): 37-46。
- 林文智、郭耀綸、陳永修、張乃航、洪富文、馬復京 (2004) 台灣南部多納針闊葉林土壤種子庫與森林更新。台灣林業科學 19(1): 33-42。

吳傳昕、蔡尚惠、邱清安、王偉、曾喜育、呂金誠 (2014) 惠蓀林場土壤種子庫組成。

林業研究季刊 36(2): 85-100。

湯冠臻、曾彥學、曾喜育、呂金誠 (2011) 臺中大坑地區次生林土壤種子庫組成之研究。

林業研究季刊 33(1): 35-48。

Fenner M. (2006) The Ecology of Seed. Cambridge University Press. p. 76-92.

Garwood NC. (1989) Tropical soil seed banks: a review. pp.149-209. In: Leck MA, Parker VT and Simpson RL (eds.). Ecology of soil seed bank. Academic Press, San Diego, California, USA.

Kuo YL, Yeh CL. (2015) Photosynthetic capacity and shade tolerance of 180 native broadleaf tree species in Taiwan. Taiwan J For Sci 30(4): 229-243.

Roberts HA. (1981) Seed banks in the soil. Advances in applied Biology 6: 1-55.

利用葉光合潛力區分蓮華池森林中先驅與非先驅樹種、分析其幼樹之空間分布及可能的環境影響機制

張勵婉^{1)*} 邱少婷²⁾ 郭耀綸³⁾ 謝長富⁴⁾

緒言

許多研究顯示幼樹在空間中分布的聚集程度(cluster)遠大於成樹(Thorsten et al. 2013)。造成幼樹空間聚集的原因，主要受傳播限制與生育棲地分化的影響(Condit et al. 2000, Hubbell et al. 1999, Plotkin et al. 2002)。分析傳播限制與生育地棲地分化等不同機制作用於影響幼樹在森林中的空間分布，有助於了解森林內共存物種多樣性的組成。

植物功能性狀可以反映出植物對於環境的適應程度，進而預測植物群落的組成(Díaz et al. 1998, Cavender-Bares et al. 2004, Violle et al. 2007)。近年來有許多研究藉植物功能性狀(functional traits)之空間分布，以探討森林植物的共存機制(Kraft et al. 2008)。植物型態功能性狀包括葉面積、葉厚度、葉乾物質含量及葉面積等性狀，屬形態或解剖學的範疇，稱之為軟性狀(soft traits)等(Belluau and Shipley 2018)，因易於測量，近年來用於檢測其與環境關係的相關研究很多。而葉的生理功能性狀，又稱硬性狀(hard traits)，如光合潛力、耐旱性，因測量不易，較容易被忽略。但許多研究指出，生理功能性狀相較於型態功能性狀更為敏感，更能反應於小尺度細微環境的變化(丁佳等，2011)。

光合潛力(photosynthetic capacity (A_{max}))是植物葉部在光合作用過程能固定碳的最大速率(Hopkins and Hüner 2009)，此為植物重要的生理功能性狀之一，並與林木的生長潛力及林木的耐陰性有著密切的關係，Kuo and Yeh (2015)研究測定台灣原生 180 種樹種的光合潛力，其後更陸續測定約 430 種台灣原生樹種之光合潛力(尚未發表)。

本研究運用葉光合潛力性狀，探討蓮華池闊葉林內不同功能群幼樹(先驅及非先驅)的組成多樣性與空間分布的變化，與其所處微地形的相關性，藉以了解物種傳播限制與生育地分化等機制，作用於不同功能群幼樹的影響。

¹⁾ 行政院農業委員會林業試驗所森林保護組，100051 臺北市中正區南海路 53 號。

* 通訊作者，E-mail: liwanc@tfri.gov.tw。

²⁾ 國立自然科學博物館生物學組，404605 臺中市北區館前路 1 號。

³⁾ 國立屏東科技大學森林學系，912301 屏東縣內埔鄉學府路 1 號。

⁴⁾ 國立台灣大學生態學與演化生物學研究所，106216 臺北市羅斯福路四段 1 號。

研究方法

本研究位於台灣中部天然闊葉林、蓮華池 25 公頃森林動態樣區，利用樣區內木本植物之空間分布資料，資料包含樣區內所有胸高直徑(dbh)大於一公分的木本植物、其物種名稱、胸高直徑與座標。不同功能群之陽性先驅樹種及非先驅樹種之判定，係依據 Kuo and Yeh (2015)研究及郭耀綸未發表資料，所測得之 432 種台灣原生木本植物，挑選出蓮華池森林內的物種，再依所測得的光合潛力性狀數值，分為先驅、陽性、中等耐陰、耐陰、與極耐陰等 5 個等級。本研究將前兩個等級，定義為先驅功能群(P, Pioneer group)，而後三個等級種定義為非先驅功能群(NP, Non-pioneer group)。篩選出先驅功能群 18 種，另為可在統計上比較，在非先驅功能群中亦選擇之 18 個物種；而後將此 36 個樹種依據其徑級分布，區分為幼樹(灌木幼樹 DBH 為 1~2 cm，喬木幼樹 DBH 1~5 cm)及成樹(灌木成樹 DBH>2 cm，喬木成樹 DBH>5 cm)；為檢測棲地分化影響，收集所分析樹木個體所在地之環境因子，包括地形因子(海拔、凹凸度、坡度、坡向)、土壤因子(pH 值、含水率、土壤質地、C、N、C/N、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu、Zn、P)及擾動因子(孔隙、林道距離)，利用鄰近矩陣主座標分析法(principal coordinates of neighbor matrices, PCNM)，及方差分解(variation partitioning)等統計方法方法，PCNM 方法原理是先利用特性根(eigenvectors)來建立 36 種先驅及非先驅幼樹及成樹族群的多尺度的模型，再降解成若干個不同尺度(大尺度、中尺度、小尺度、微尺度)的空間性結構，最後利用方差分解的方法，區分棲地分化及傳播限制機制，對於不同功能群幼樹空間尺度分布的影響，詳細解釋如圖 1。

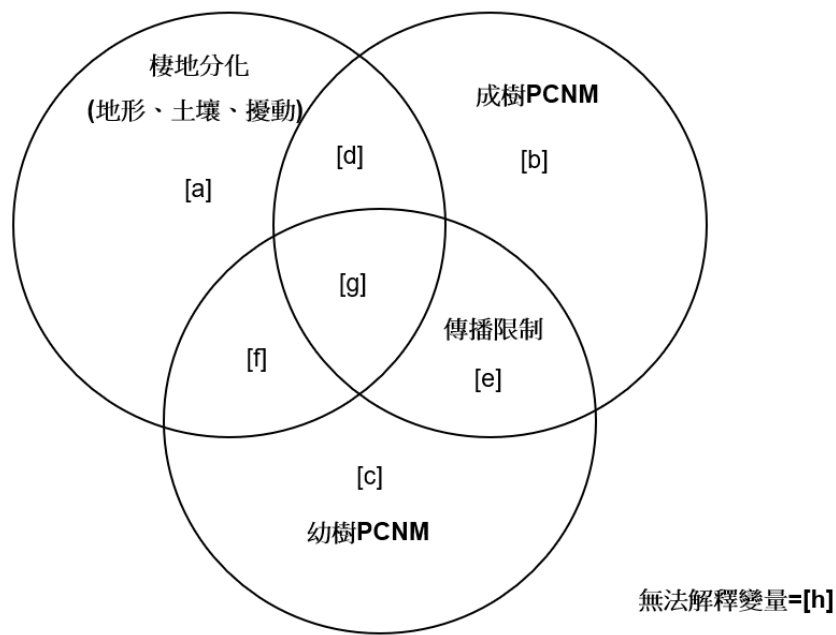


圖 1. 方差分解後各部分解釋生態意義如文氏圖(Venn diagrams)。該方法將鄰近矩陣主座標分析法(PCNM)劃分為以下幾個解釋變量：[a]純環境變量，包括純地形、純土壤和純擾動、[b]純成樹變量、[c]純幼樹變量、[d]成樹變量及環境重疊變量、[e]非環境之成樹和幼樹重疊變量屬空間重疊部分，本研究定義為傳播限制變量、[f]幼樹變量及環境重疊變量、[g]具有環境、成樹、幼樹重疊的變量、[h]無法解釋的變量(殘差)。在本研究中，我們將具空間結構的全部環境變量(地形、土壤、擾動)[a+d+f+g]解釋為棲地分化機制。種子通過成樹傳播，成樹的空間分佈對幼樹分佈影響較大；因此，非環境空間之成樹和幼樹空間交疊變量部分[e]被解釋為傳播限制。

結果與討論

利用鄰近矩陣主座標分析法，將先驅功能群(P)及非先驅功群(NP)之物種組成(species composition)，降解區分為不同尺度的空間變量，每一個分解出的空間變量以一個點表示，如下圖 2；結果顯示，分解後以兩個功能群而言，皆是大空間尺度變量最多、其次是中尺度空間變量、小尺度空間變量，而微尺度空間變量最少；以不同功能群而言，微尺度空間變量對先驅幼樹物種組成之解釋力比對非先鋒物種更重要。

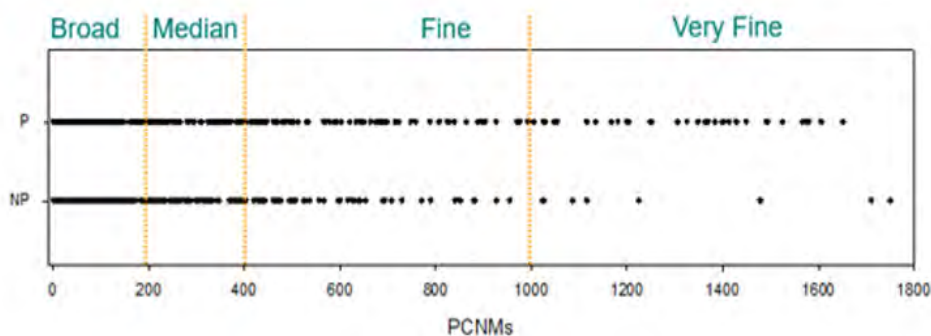
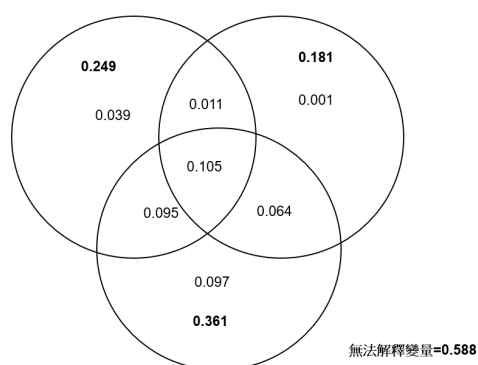


圖 2.利用鄰近矩陣主座標分析法將先驅功能群(P)及非先驅功群(NP)之物種組成 (species composition)，降解區分為不同尺度的空間變量，每一個分解出的空間變量以一個點表示。

利用方差分解方法檢測影響先驅幼樹及非先驅幼樹之空間分布如下圖 3，結果顯示，棲地分化機制[a+d+f+g](先驅種 0.249、非先驅種 0.413)是調節先驅幼樹和非先驅幼樹物種空間分佈的主要過程。表 1 顯示，在環境因子影響方面，土壤效應(先驅種 0.347、非先驅種 0.161)是主要作用於兩個功能群空間分布重要的因子，而擾動效應(0.064)促成了先驅樹苗的精細空間變化，而地形效應(0.196)則促成了非先驅幼樹的廣泛空間變化。另一方面，傳播限制[e](先驅種 0.064、非先驅種 0.129)也是影響兩個不同功能群幼樹的主要過程，特別是非先驅幼樹物種多樣性的空間分佈。研究結果顯示環境擾動因子對先驅幼樹的在森林中的空間分布的影響大於非先驅幼樹，進而維持森林木本植物多樣性。本研究研究顯示，各類生物與非生物之環境機制對森林中不同功能群幼樹的影響之差異，造成森林物種空間分布的分化，有助於維持亞熱帶闊葉森林中的物種共存。

Pioneer



Non-pioneer

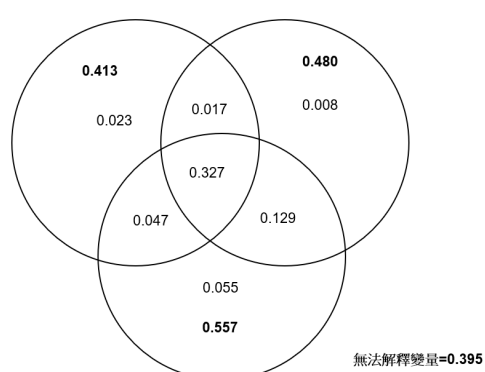


圖 3. 以方差分解方法檢測不同機制作用於先驅幼樹及非先驅幼樹之空間分布組成

表 1. 以方差分解方法檢測地形、土壤、擾動等效應作用於先驅幼樹及非先驅幼樹之空間分布組成

	Topography	Soil	Disturbance
Pioneer	0.041	0.161	0.064
Non-pioneer	0.196	0.347	0.018

引用文獻

- 丁佳、吳茜、閻慧、張守仁 (2011) 地形和土壤特性對亞熱帶常綠闊葉林內植物功能性狀的影響。生物多樣性 19 (2):158-167。
- Belluau M, Shipley B. (2018)** Linking hard and soft traits: physiology, morphology and anatomy interact to determine habitat affinities to soil water availability in herbaceous dicots. *PLoS ONE* 13: 1-15.
- Cavender-Bares J, Kitajima K, Bazzaz A. (2004)** Multiple trait associations in relation to habitat differentiation among 17 oak species in North Central Florida. *Ecological Monographs* 74(4): 635-662.
- Condit R, Ashton PS, Baker P, Bunyavejchewin S, Gunatilleke S, Gunatilleke N, ... Yamakura T. (2000)** Spatial patterns in the distribution of tropical tree species. *Science* 288: 1414-1418. <https://www.doi.org/10.1126/science.288.5470.1414>
- Díaz S, Cabido M, Casanoves F. (1998)** Plant functional traits and environmental filters at a regional scale. *Journal of Vegetation. Science* 9(1): 113-122.
- Hubbell SP, Foster RB, O'Brien S, Wechsler B, Condit R, Harms K, Wright SJ, de Lao SL. (1999)** Light gaps, recruitment limitation and tree diversity in a Neotropical forest. *Science* 283(5401): 554-557.
- Kraft NJB, Valencia R, Ackerly DD. (2008)** Functional traits and niche-based tree community assembly in an Amazonian forest. *Science* 322(5901): 580-582.
- Kuo YL, Yeh CL. (2015)** Photosynthetic capacity and Shade Tolerance of 180 native broadleaf tree species in Taiwan. *Taiwan journal of forestry Science* 30(4): 229-243.
- Plotkin J, Chave J, Ashton P. (2002)** Cluster analysis of spatial patterns in Malaysian tree species. *Am Nat.* 160(5): 629-644.
- Violle C, Navas ML, Vile D, Kazakou E, Fortunel C, Hummel I, Garnier E. (2007)** Let the concept of trait be functional. *Oikos* 116: 882-892.
- Wiegand T, Moloney KA. (2013)** Estimators and Toolbox from: *Handbook of Spatial Point-Pattern Analysis in Ecology*. CRC Press.

餘請洽作者

遮蔭及乾旱對杜英苗木生理及抗氧化系統之影響

龔聖皓¹⁾ 劉瓊霖^{1)*}

緒言

光與水是影響植物生存、生長及表現的主要環境因子。強光及乾旱的逆境下皆會促使單線態氧($^1\text{O}_2$)、超氧化物(O_2^-)、過氧化氫(H_2O_2)及羥自由基($\cdot\text{OH}$)等活性氧化物(reactive oxygen species, ROS)的生成而導致氧化逆境的發生(Dat et al. 2000)。ROS 含量過多時會破壞核酸、抑制酵素的活性、導致葉綠素的降解、蛋白質氧化及脂質過氧化而造成細胞死亡，因此植物透過抗氧化酵素及非酵素抗氧化物等清除過量的 ROS 以維持植體內的氧化平衡，但在嚴重的環境逆境下如強光、乾旱及高溫等常導致失衡而發生細胞的氧化損傷(oxidative damages)(Asada 2006, Szymańska et al. 2017)。

在自然環境中植物的生長可能同時受到多種非生物逆境如乾旱及紫外線等的影響(Alexieva et al. 2001)，植物在光度及水分交互作用影響下的反應目前則尚無定論，在過去學者曾提出幾種不同的假說：權衡假說(trade-off hypothesis)認為植物面對遮蔭與乾旱對資源的利用有不同的模式，兩者在可利用的碳有限時不可能同時發生，低光環境下植物為提升光捕獲能力在地上部累積較多資源而限制水分吸收能力，因此使遮蔭加劇乾旱造成的影響(Smith and Huston 1989)。相反的，在促進假說(facilitation hypothesis)中遮蔭可以減輕乾旱的負面影響，因為遮蔭會降低空氣和葉片的溫度以及蒸氣壓，使葉片較容易維持水分狀態及避免氧化逆境(Holmgren 2000)。而另一些學者則認為遮蔭與乾旱的影響是獨立的，兩者之間並不存在交感(Sack and Grubb 2002)。

近年來因為氣候變遷導致乾旱的強度及頻率提升，造成森林中樹木死亡率增加，對全球森林生態系造成嚴重影響(Allen et al. 2010)。因此在未來乾旱將是森林經營時必須面對的首要課題，瞭解遮蔭與乾旱交互作用對苗木的影響，有助於作為造林樹種的選擇及後續撫育方式之參考。杜英(*Elaeocarpus sylvestris*)為臺灣原生常綠喬木，分布於全島 1,700 m 以下闊葉林中下層，樹形優雅適合做為景觀樹種，木材堅硬有光澤可製作器具或栽培香菇(游富永 2002)。其中段木香菇為目前林務局大力推動的林下經濟作物中已開放生產的項目之一(黃裕星 2018)，杜英木材作為栽培香菇用的段木，不只產菇品質佳且

¹⁾ 國立中興大學森林學系，402202 臺中市南區興大路 145 號。

* 通訊作者，E-mail: cpliu@nchu.edu.tw。

產量高，具有發展潛力(黃松根等 1990)。本試驗透過光度與水分的處理瞭解杜英苗木在遮蔭及乾旱等二環境因子下的反應，在試驗結束時可發現高光下乾旱使苗木葉片有枯黃及落葉的情形，而遮蔭處理的苗木雖較矮小，但乾旱並未對其外觀形態有明顯的影響，因此進一步對杜英苗木生理特性及氧化平衡進行分析，以瞭解遮蔭是否能減緩乾旱對杜英苗木造成的傷害。

材料與方法

一、試驗地點及材料

本試驗於中興大學北溝苗圃溫室(24.077626 N, 120.718036 E)進行，試驗期間日均溫平均為 26.2°C (最高為 28.2°C、最低為 24.7°C)。試驗材料於 2020 年 8 月 20 日自苗栗鄉村苗圃取回 40 株 1 年生之杜英實生苗(苗高 52.20 ± 7.23 cm；地徑 6.05 ± 0.85 mm)，5 日後進行換盆，以森林土：泥炭土：珍珠石：蛭石=2:2:1:1 為介質，將苗木移盆至 1,500 mL 威特鉢。

二、試驗設計

本試驗為光度及水分處理的 2×2 因子試驗，光度處理以黑色針織遮光網控制光度，設置高光(high light, H)及遮蔭(shade, S)處理，以光度計(S-LIA-M003, Oneset, Bourne, MA, USA)擇晴朗無雲日於 11:00–13:00 間測量光合作用有效輻射(photosynthetically active radiation, RAR)，分別為 918.87 ± 92.75 及 $282.03 \pm 44.46 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，轉換後相對光度分別為 100%及 30%。水分處理分為供水(wet, W)及乾旱(drought, D)處理，供水處理以自動灑水器每日定時灑水維持土壤濕度，乾旱組則不予供給水分。於 2020 年 9 月 1 日將 36 株苗木分為二組，分別放入高光及遮蔭環境，適應一個月後於 10 月 6 日將高光及遮蔭各一半的苗木停止供水，試驗進行至 10 月 20 日結束，共 50 日，乾旱時間 15 日。乾旱期間持續以土壤水分儀(TK3-BASIC, Delta-T, London, UK)隨機挑選 5 株苗木監測土壤含水率，試驗結束時各處理含水率分別為高光供水(HW) $27.1 \pm 1.6\%$ 、遮蔭供水(SW) $27.9 \pm 2.6\%$ 、高光乾旱(HD) $1.5 \pm 0.4\%$ 及遮蔭乾旱(SD) $3.0 \pm 0.5\%$ ，試驗結束後各處理挑選 5 株苗高均質之苗木進行破壞性取樣。

三、葉片生理特性測定

(一)相對含水率(relative water content, RWC)

以打孔器剪取葉圓片 20 枚秤取鮮重(W_f)，再將葉圓片置於黑暗中浸泡蒸餾水 24 h 得飽和重(W_s)，最後放入 85°C 烘箱中烘製絕乾，得乾重(W_d)，以公式計算葉片相對含水

率： $RWC(\%) = (W_f - W_d) / (W_s - W_d) \times 100\%$

(二)葉綠素螢光

以攜帶式葉綠素螢光分析儀(PAM-2000, WALZ, Effeltrich, Germany)進行測定，以暗適應夾固定苗木第 3 或 4 片完全展開之成熟葉片，使其於黑暗環境適應 20 min 後，測定葉綠螢光參數，並以公式計算 PSII 最大光化學潛能 $(F_v/F_m) = (F_m - F_o)/F_m$ (Maxwell and Johnson 2000)，以瞭解苗木光合系統的受損情形。

四、H₂O₂ 及丙二醛(malondialdehyde, MDA)測定

以三氯乙酸(0.1%)為萃取液，H₂O₂ 含量以 KI 溶液為試劑，測定波長 390 nm 之吸光值；MDA 含量以 TBA 法，測定波長 532 及 600 nm 之吸光值(Contin et al. 2014)。

五、抗氧化酵素活性測定

以磷酸緩衝液、Triton X-100、EDTA-Na₂ 及 PVP 配製酵素萃取液。超氧化物歧化酵素(SOD)活性以 NBT 法測定，於波長 560 nm 下讀取吸光值上升速率並計算活性，定義單位(unit)代表每分鐘 SOD 抑制 50% NBT 之還原速率(Paoletti et al.1986)。過氧化氫酵素(CAT)活性測定為取上清液加入 H₂O₂(60 mM)，並於波長 240 nm 下讀取吸光值下降速率，再以 40 mM⁻¹ cm⁻¹ 為消光係數計算，定義單位(unit)代表每分鐘 1 μmol H₂O₂ 之消耗量(Gabara et al. 2003)。過氧化物酵素(POD)活性測定為取上清液加入 guaiacol(100 mM) 及 H₂O₂(10 mM)，並於波長 470 nm 下讀取吸光值上升速率，再以 26.6 mM⁻¹ cm⁻¹ 為消光係數計算，定義單位(unit)代表每分鐘 1 μmol tetraguaiacol 之形成量(MacAdam et al. 1992)。

六、統計分析

利用 SPSS 20 (IBM Corporation, Amonk, NY, USA; released 2011)軟體進行統計分析，針對光度及水分以 two-way ANOVA 進行二因子試驗分析，並選擇 LSD (least significance difference)作為事後檢定。統計檢定之顯著水準為 $\alpha = 0.05$ 。

結果與討論

杜英苗木的葉片相對含水率受到光度與水分的交互作用影響(表 1)，水分充足時相對含水率在高光及遮蔭間無顯著差異；而乾旱時高光則使相對含水率顯著下降 29.34%，在遮蔭時只減少 5.72% (圖 1)，顯示杜英苗木在遮蔭下較能維持水分狀態，可能與低光下較低的蒸散速率相關(Holmgren 2000)。F_v/F_m 顯著受到交互作用影響(表 1)，供水時在高光及遮蔭處理間無顯著差異，皆為 0.79 ± 0.01 ；乾旱則使 F_v/F_m 在高光時顯著降低(0.74

± 0.02)，而在遮蔭時無顯著影響(0.78 ± 0.01)(圖 1)，顯示乾旱在高光下對光合系統造成損傷，而遮蔭則可以減緩乾旱的影響。在高光下乾旱所導致的氧化逆境可能是造成光合系統受損的原因，強光及乾旱皆會導致 ROS 的生成造成氧化逆境(Dat et al. 2000)。氧化逆境指標中， H_2O_2 含量受到光度與水分的交互作用影響(表 1)，在高光下乾旱時相較於供水時含量顯著上升(8.42 ± 0.73 及 $10.99 \pm 1.27 \mu\text{mol g}^{-1} \text{FW}$)，但在低光下供水與乾旱處理間則無顯著差異(6.17 ± 0.61 及 $6.62 \pm 1.32 \mu\text{mol g}^{-1} \text{FW}$)(圖 2)。MDA 含量則受到光度及水分的主效應影響(表 1)，高光及乾旱皆會使含量增加(圖 2)。抗氧化酵素中，SOD 受到光度的主效應影響(表 1)，在高光下活性大幅提升(圖 2)。CAT 則受到水分的主效應影響(表 1)，在乾旱時活性會降低(圖 2)。而 POD 活性的反應與 H_2O_2 含量變化相似，受到光度與水分的交互作用影響(表 1)，乾旱在遮蔭時對活性無顯著影響，但在高光下使活性顯著上升 2.5 倍(圖 2)，顯示苗木在高光乾旱的環境下，為清除過多的 ROS 而提升抗氧化酵素活性。

表 1. 光度及水分處理對杜英苗木生理特性之二因子分析表

Parameter	Factor					
	Light		Water		Light x Water	
	<i>F</i>	<i>p</i> value	<i>F</i>	<i>p</i> value	<i>F</i>	<i>p</i> value
RWC	50.801	< 0.001	66.320	< 0.001	30.068	< 0.001
F_v/F_m	17.530	0.001	19.956	< 0.001	8.154	0.011
H_2O_2	51.225	< 0.001	10.695	0.005	5.291	0.035
MDA	37.981	< 0.001	70.277	< 0.001	0.017	0.898
SOD	250.153	< 0.001	1.446	0.264	0.023	0.884
CAT	2.144	0.169	5.084	0.044	0.841	0.377
POD	30.595	0.001	16.676	0.004	14.530	0.005

註：粗體表示顯著差異。

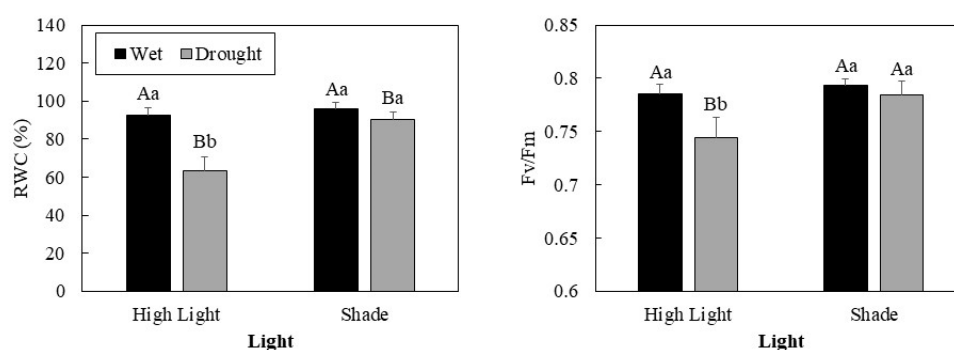


圖 1. 杜英苗木葉片相對含水率(RWC)及 PSII 最大光化學潛能(F_v/F_m)結果圖。

註：不同處理($n=5$)。不同小寫字母表示光度處理間具顯著差異(LSD, $p < 0.05$)，不同大寫字母表示水分處理間具顯著差異(LSD, $p < 0.05$)。

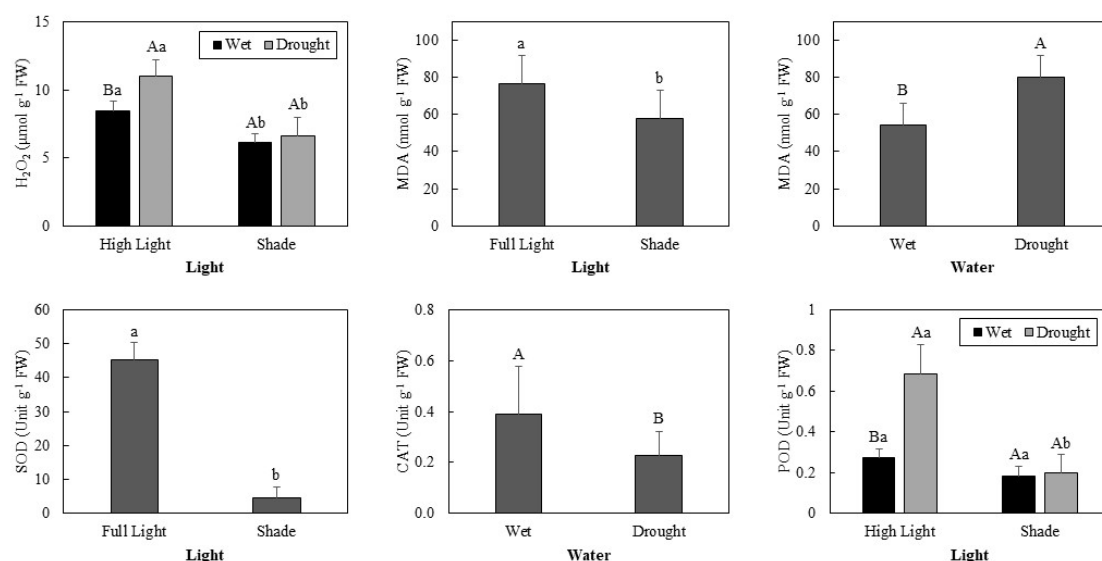


圖 2. 杜英苗木過氧化氫(H₂O₂)含量、丙二醛(MDA)含量及抗氧化酵素活性結果圖。
 註：不同處理(n=5)；光度主效應(n=10)；水分主效應(n=10)。不同小寫字母表示光度處理間具顯著差異(LSD, $p < 0.05$)，不同大寫字母表示水分處理間具顯著差異(LSD, $p < 0.05$)。

由試驗結果可以發現，杜英苗木在高光且乾旱的環境下，葉片相對含水率降低，苗木受到較嚴重的氧化逆境，高光加上乾旱的協同作用使抗氧化及光保護機制無法負荷而導致光合系統受損(Lin et al. 2019)。相反的，苗木在遮蔭的乾旱處理中可維持葉片相對含水率，而 H₂O₂ 含量及酵素活性皆無顯著差異，代表遮蔭有效減緩了乾旱所引起的氧化逆境，以維持 PSII 最大光化學潛能。

結論

本次試驗結果初步證實遮蔭及乾旱交互作用對杜英苗木生理的影響符合促進假說，高光下乾旱使得苗木發生氧化逆境，而遮蔭確實有效減緩乾旱對杜英苗木造成的傷害，維持苗木的水分狀態、降低氧化損傷及保全光合系統的效能。在未來乾旱強度及持續時間不斷增加的環境下，進行苗木的栽植作業時給予適度的遮蔭可以減輕乾旱所帶來的負面影響。後續試驗希望透過增加光度變化的處理，瞭解杜英苗木在強度遮蔭下對乾旱的反應，以確立兼具減緩乾旱傷害及最適合苗木生長的光環境。此外本次試驗僅探討乾旱期間苗木所受的影響，然而未來仍需考慮復水後苗木的復原情況，以瞭解氣候變遷下杜英對於環境的耐受與恢復特性。

引用文獻

- 游富永 (2002) 杜英。趙令熙、蘇國治。臺中縣造林及綠美化樹種介紹。臺中縣政府，臺中。49-50 頁。
- 黃松根、謝瑞忠、孫正春 (1990) 香菇栽培樹種之產菇量及品質研究(二)。林業試驗所研究報告季刊 5(1): 25-36。
- 黃裕星 (2018) 從混農林業談臺灣特色林下經濟。林業研究專訊 25(1): 1-4。
- Alexieva V, Sergiev I, Mapelli S, Karanov E. (2001) The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. *Plant, Cell & Environment* 24: 1337-1344.
- Allen CD, Macalady AK, Chenchouni H, Bachelet D, McDowell N, Vennetier M et al. (2010) A global overview of drought and heat induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management* 259: 660-684.
- Asada K. (2006) Production and scavenging of reactive oxygen species in chloroplasts and their functions. *Plant Physiology* 141(2): 391-396.
- Contin DR, Soriani HH, Hernández I, Furriel RPM, Munné-Bosch S, Martinez CA. (2014) Antioxidant and photoprotective defenses in response to gradual water stress under low and high irradiance in two Malvaceae tree species used for tropical forest restoration. *Trees* 8: 1705-1722.
- Dat J, Vandenabeele S, Vranová E, Van Montagu M, Inzé D, Van Breusegem F. (2000) Dual action of the active oxygen species during plant stress responses. *Cellular and Molecular Life Sciences* 57: 779-795.
- Gabara B, Skłodowska M, Wyrwicka A, Glińska S, Gapińska M. (2003) Changes in the ultrastructure of chloroplasts and mitochondria and antioxidant enzyme activity in *Lycopersicon esculentum* Mill. leaves sprayed with acid rain. *Plant Science* 164: 507-516.
- Holmgren M. (2000) Combined effects of shade and drought on tulip poplar seedlings: trade-off in tolerance or facilitation? *Oikos* 90(1): 67-78.
- Lin J, Zhang R, Hu Y, Song Y, Hänninen H, Wu J. (2019) Interactive effects of drought and shading on *Torreya grandis* seedlings: physiological and growth responses. *Trees* 33: 951-961.
- MacAdam JW, Sharp RE, Nelson CJ. (1992) Peroxidase activity in the leaf elongation zone of tall fescue. *Plant Physiology* 99: 872-878.
- Maxwell K, Johnson GN. (2000) Chlorophyll fluorescence: a practical guide. *Journal of Experimental Botany* 51: 659-668.
- Paoletti F, Aldinucci D, Mocali A, Caparrini A. (1986) A sensitive spectrophotometric method for the determination of superoxide dismutase activity in tissue extracts. *Analytical Biochemistry* 154(2): 536-541.
- Sack L, Grubb PJ. (2002) The combined impacts of deep shade and drought on the growth and biomass allocation of shade-tolerant woody seedlings. *Oecologia* 131: 175-185.
- Smith T, Huston M. (1989) A theory of the spatial and temporal dynamics of plant communities. *Vegetatio* 83: 49-69.
- Szymańska R, Ślesak I, Orzechowska A, Kruk J. (2017) Physiological and biochemical responses to high light and temperature stress in plants. *Environmental and Experimental Botany* 139: 165-177.

以次世代定序技術探討林下養蜂之蜜源植物-以復興鄉為例

陳芬蕙^{1)*} 吳家禎¹⁾ 許俊凱²⁾ 江敬皓³⁾

緒言

林下經濟是利用保有林地上原有的林木，利用林地的生態環境，在林下栽植合適的耐陰性高經濟作物或養殖動物。如能鼓勵發展永續性之林下經濟，將可增加林農的短期收入，有利提高民眾造林護林的意願(陳芬蕙和何政坤 2020)。

蜜蜂訪花取食的目標有二：花蜜(nectar)與花粉(pollen)，以作為蜂群的主要能量來源。蜂蜜主要來自於蜜蜂採集植物之花蜜或蜜露，經蜜蜂收集、混合自身特殊物質進行轉化、儲存、脫水到熟成之天然甜味物質(國家標準檢驗局 2016)。森林蜜與一般臺灣市售蜂蜜最大的不同在於市售蜜是以單花蜜為主，而森林中的蜜粉源植物多樣性高，且較沒有農藥污染的問題，未來極有潛力生產高檔的蜂產品(陳裕文 2017)，也具有相當大的潛力提供森林蜜獨有的不同風味特色蜜(陳芬蕙等 2020)。

國內的蜂蜜以龍眼荔枝蜜最為民眾所知，其他的蜜則通常以百花蜜統稱。然而，其實蜜蜂在野外會採集的蜜源植物很多(徐培修等 2019)。一些蜂農雖自行觀察到蜜蜂偏好尋訪的蜜粉源植物，但國內相關的科學研究仍然十分缺乏，臺灣林地的蜜粉源植物資源仍有許多未知，尤其是自從 2019 年開放林地申請林下養蜂後，這方面的相關資訊更為急需，才能做為未來擴大推廣時的參考資料，以提供農民除了造林木外短期之經濟收入，提高造林地之價值。

蜜蜂覓食的蜜粉源植物也攸關蜂產品的品質，因此蜂類產品如蜂蜜、花粉的成份、鑑定在研究上就備受關注。有許多方式可以檢測蜂蜜內植物花粉或是地理溯源(Balkanska 2020)，像是蜂蜜孢粉學係研究蜂蜜中花粉的科學，其主要任務乃透過對蜂蜜中的花粉分析及蜜源植物花粉形態進行比較研究，來確定蜂蜜的來源、產地和種類，或是色層分析法(chromatography)、感官品評(sensory)等，但是，由於蜂蜜的儲放條件與時間都會影響其化學成分，使得分析結果的可確性下降。

¹⁾ 行政院農業委員會林業試驗所育林組，100051 臺北市中正區南海路 53 號。

* 通訊作者，E-mail: fhchen@tfri.gov.tw。

²⁾ 行政院農業委員會林業試驗所蓮華池研究中心，555002 南投縣魚池鄉五城村華龍巷 43 號。

³⁾ 宏國德霖科技大學園藝系，236302 新北市土城區青雲路 380 巷 1 號。

近年來由於分子生物學的技術逐年進步，藉由 DNA 指紋檢測，可以更準確或是快速的對應到蜜源植物，藉由 DNA 序列在不同植物中基因型的獨特性，有機會更精確的為蜂蜜溯源，或是更深入了解蜜蜂取蜜、取粉的情況(Hawkins et al. 2015)。

本研究觀察放置於造林地下收集的森林蜜，利用分子技術分析蜂蜜內對應之植物，配合蜂箱附近開花植物之調查，嘗試了解該地區重要的蜜源植物資源，如此未來才能提供適合的植物相並養成健康的蜂群。

方法

一、試驗地介紹

本試驗地位於桃園市復興區(24°48'54.2", 121°20'12.8")，屬於林務局大溪工作站管轄之國有林造林地，海拔 455 m。蜂箱放置地點上方之造林木為光臘樹(*Fraxinus formosana*)及楓香(*Liquidambar formosana*)。2020 年 6 月 1 日起放置 7 個蜂箱，蜂箱間距離大約 2 m，飼養西洋蜂(*Apis mellifera*)。2020 年 7 月 4 日取蜜，7 個蜂箱總收蜜量 12 kg，收蜜時其中三箱分別單獨收蜜(Box1、Box2、Box3)。蜂蜜採收後並未做任何濃縮處理，直接攜回實驗室進行分析。

二、植物調查

植物調查時間 2020 年 6 月 3 日~7 月 7 日由於蜜蜂之採集飛行半徑達 3 km(陳裕文 2017)，因此開花植物以蜂巢為中心大約 3 km 之半徑距離為調查之範圍，因為試區位於山區，大部分地區無法到達，因此植被調查是沿著產業道路及主要步道可及之處，共設置 10 個樣區，每樣區內有 10 個小區，海拔範圍 364-595 m，坡度範圍 4.3-36.8°，每個小區內紀錄出現之上木種類、數量、胸徑等數據，地被則紀錄種類、數量及覆蓋度。另外並參考林務局造林資料(自營造林地及租地造林地)，物候調查以每月兩次為原則。

三、DNA 分析

(一)DNA 萃取

採用 CTAB (cetyltrimethylammonium bromide)改良之方法，蜂蜜萃取方式如下：

50 mL 蜂蜜加入兩倍無菌水分五次重複離心去除上清液，留下底部黃褐色沉澱物，換至離心管中加入 1 mL working Solution 混勻，放置於 37°C烘箱震盪過夜。取出上清液，加入等倍體積 CI (chloroform: isoamyl alcohol=(24:1))溶液輕搖混勻，於振盪器上室溫擺盪 30 分鐘(13000 rpm, 4°C)。取出上清液，置於新的離心管內，加入等倍體積預冷的異丙醇，置於-20°C過夜。於室溫放置回溫離心去除上清液。加入 1mL 70% EtOH 輕搖

離心，去除上清液。室溫乾燥 3-5 分鐘至沉澱物呈現半透明狀，加入 50 uL 70°C 預熱無菌水將 DNA 回溶備用。

(二)Primer 設計與聚合酶鏈鎖反應(polymerase chain reaction, PCR)

取 *rbcL* 和 *trnH-psbA* 保守性位置設計引子，搭配使用 Illumina 原廠定序建議之 adapter 設計原理，以 D701-D712 設計 forward 引子，D501-D508 設計 reverse 引子。

每個反應以體積定量，故取蜂蜜 DNA 5 ul，花粉以 50 ng DNA 在適當反應條件下以不同之黏合(annealing)溫度進行反應(ABI 9700)。

(三)次世代定序(next generation sequencing, NGS)

將 PCR 反應之產物，依照原廠建議的方式，建立 DNA 文庫(sequencing library)後，選擇以 Illumina Mi-seq pair-end 300bp 進行定序，定序量為 1G bp。

(四)生物資訊分析

使用 Fastqc 進行 read 品質測定，同時使用 trimmer 軟體進行 read quality trimming，由於為雙端定序，故 read1 和 read2 有重疊部分直接進行組裝成為序列，將這些序列直接進行 metabarcoding 的 BLASTn 分析，得到的初步結果，將序列數量比例的 90% 比對到的物種，再使用 CLCbio viewer6.0 依序挑出 1 組序列(identity 介於 97-100%)與線上 NCBI BLASTn 的物種比對，再進行人工校正。我們以成功比對到之序列數量比例做為蜜源植物相對採蜜量之參考。

結果與結論

一、植物調查

2020 年 6 月範圍以蜂箱位置為中心 3 km 的區域調查，此區域記錄到上木共有 93 種，分析重要值指數(IVI)前 10 名依序為鵝掌柴(43.4)、香楠(26.0)、樹杞(24.1)、山香圓(16.8)、相思樹(14.8)、白匏子(13.9)、九節木(11.3)、石朴(9.2)、澀葉榕(7.4)、水金京(6.9)，累積百分比達 57.9%；可分為以下 3 種植群型：鵝掌柴林型、相思樹-白匏子-香楠林型、山香圓林型。地被有 157 種，重要值指數(IVI)前 10 名依序為芒萁(15.5)、烏毛蕨(14.9)、山棕(14.0)、酸藤(11.0)、冷清草(7.7)、廣葉鋸齒雙蓋蕨(7.3)、細葉複葉耳蕨(7.0)、觀音座蓮(6.8)、九節木(6.2)、五節芒(3.7)，累積百分比達 47.1%。另外根據林務局造林紀錄，範圍內自營造林以烏心石、楓香、櫟、光臘樹和尚楠為主。

調查物候期間，試區主要開花樹種包括光臘樹、水金京、白柏，以及草本的大花咸豐草(表 1)。

表 1. 復興試區 2020 年 6-7 月物候調查之主要開花植物

月份	6 月	7 月
木本	白柏	白匏子
	光臘樹	美人樹
	相思樹	九芎
	水金京	野桐
草本	酸藤	大花咸豐草
	月桃	冇骨消
	長葉芋麻	番仔藤
	大花咸豐草	串鼻龍
	昭和草	紫花藿香薊
	紫花藿香薊	馬纓丹

二、蜂蜜 DNA 之分析

花蜜中應該不含 DNA，所以蜂蜜中分析到的 DNA 理論是靠著蜜蜂在採蜜時，不小心掉落於其中的花粉，藉由這樣的方式，使得蜂蜜中得以萃取微量的 DNA 物質，才能分析蜂蜜中的植物種類，並推估可能的蜜源植物。

本研究可成功自蜂蜜中取得 DNA，PCR 產物可以成功的與 NCBI 資料庫比對出植物樣本。三個蜂箱個別比對出來的主要植物種類整理於表 2，但因為 NCBI 資料庫中並沒有包含臺灣所有植物的資料，因此當比對出的植物種類非臺灣所有，則人工校正為臺灣最接近的物種，若無法確定至種者，則只鑑定到屬或科。

rbcL 基因序列比對到以梣屬(*Fraxinus* spp.)和樟科(月桂屬 *Laurus* spp.或木薑子 *Litsea* spp.屬)以及栽培的南瓜(*Cucurbita moschata*)和小麥(*Triticum aestivum*)為主。*trnH-psbA* 基因序列比對到以百香果(*Passiflora edulis*)和梣屬為最大宗。梣屬在此區域推測最有可能的樹種是主要的造林木光臘樹。三個蜂箱雖然距離很接近，主要蜜源植物有些相同但也有些差異，甚至也些植物只出現在某一蜂箱中，例如蜂箱 3 的 *trnH-psbA* 佔 17%的小麥其他箱都幾乎沒有記錄到。

觀察三個蜂箱兩種基因的六組結果，可以發現序列數量比例 5%以上之主要蜜源植物種類都不多，只有 1-6 種(或分類群)，其中蜂箱 1 的 *trnH-psbA* 結果百香果更是佔了 95%。換句話說，雖然開花植物很多，但是蜂蜜中蜜源植物種類卻只有集中在其中幾種，英國 De Vere 等人(2017)報導當地只有 11%的開花植物被蜜蜂利用，推測因為蜜蜂取食有偏好性或是有地理性，當然也可能與植物數量優勢有關。

同一蜂箱蜂蜜 *rbcL* 和 *trnH-psbA* 兩種基因序列比對出來的主要物種(或分類群)除了椴屬，其餘都有不少差異。這可能是因為 DNA 片段在 PCR 的表現量不同的關係造成結果比例的差別，也就是說，植物殘體組織殘留於蜂蜜中，如果 A 物種的殘留量大，B 物種少，經過 PCR 的放大反映，以及定序過程中的橋式 PCR(bridge-PCR)，都會讓 A 的定序 read 數更多，導致大者恆大；也可能是這兩種基因序列在 NCBI 的基因資料庫不同，因為資料庫缺乏的物種自然會比對不到；而文獻也指出，不同的物種會有相同的 DNA 序列(Bell et al. 2016)，這邊可以從 DNA 序列的演變解釋，同樣的序列，會有趨同演化或是趨異演化的發生，導致這邊所使用的 *rbcL* 與 *trnH-psbA* 無法同時都比對到相同物種，若可以加強資料庫中的臺灣植物資料，應可提高比對的正確性，減少上述的問題發生。

另外，DNA 比對結果(表 2)和植被(表 1)調查只有椴屬(光臘樹 *Fraxinus formosana*)和紫花藿香薊(*Ageratum houstonianum*)符合，其他似乎不一致，我們推測因為蜜蜂有偏好性，因此主要開花植物不一定是其喜愛之蜜源，也可能是蜜蜂採蜜之開花植物並非在物候調查路線內，因此沒有記錄到。

表 2. 三個蜂箱之蜂蜜使用兩種基因序列分析後比對之主要物種(列出比例>5%或前三名物種)

蜂箱	Box 1		Box 2		Box 3	
基因序列	<i>rbcL</i>	<i>trnH-psbA</i>	<i>rbcL</i>	<i>trnH-psbA</i>	<i>rbcL</i>	<i>trnH-psbA</i>
主要植物	<i>Fraxinus</i> spp. 41%	<i>Passiflora edulis</i> 95%	<i>Cucurbita moschata</i> 52%	<i>Passiflora edulis</i> 62%	<i>Triticum aestivum</i> 17%	<i>Passiflora edulis</i> 55%
	<i>Cucurbita moschata</i> 32%	<i>Fraxinus</i> spp. 2%	<i>Ageratum houstonianum</i> 20%	<i>Hydrangea</i> spp. 17%	<i>Laurus</i> spp. or <i>Litsea</i> spp. 12%	<i>Selenicereus undatus</i> 23%
	<i>Laurus</i> spp. or <i>Litsea</i> spp. 10%	<i>Bidens</i> spp. 2%	<i>Fraxinus</i> spp. 16%	<i>Fraxinus</i> spp. 16%	Rubiaceae 10%	<i>Persea</i> spp. or <i>Litsea</i> spp. 9%
			Oleaceae 7%		<i>Dendrocalamus</i> spp. 10%	
					<i>Syzygium</i> spp. 6%	
					<i>Fraxinus</i> spp. 6%	

結論

蜂箱周圍有豐富多樣的植被，次世代定序技術可以成功比對到植物種類，提供當地主要蜜源植物的參考資訊。然而本技術還有一些問題需要克服，例如補充當地植物的基因資料庫將可提高比對的準確性。由試驗結果可知，同地區之不同蜂箱，由於蜜蜂的偏好性，蜂蜜的主要植物也會不同，若能推薦栽植合適的高品質蜜粉源植物，森林蜂蜜具有相當大的潛力，可提供更多風味讓消費者選擇。

引用文獻

陳芬蕙、何政坤 (2020) 林下經濟開放品項淺談。臺灣林業，46 (2): 23-30。

陳芬蕙、許富蘭、許俊凱、江敬皓 (2020) 造林地蜂箱附近物候與森林蜜揮發成分之初探。2020 平地造林試驗及監測研討會。台北。

陳裕文 (2017) 臺灣林地如何發展養蜂業。第八屆熱帶林業研討會-山村振興與新時代林業經營，屏東科技大學，屏東。

經濟部標準檢驗局 (2016) CNS 1305 「蜂蜜」，台北。

徐培修、顏君靜、吳姿嫻 (2019) 生態廊道蜜粉源植物圖鑑。行政院農業委員會苗栗區農業改良場。223 頁。

Balkanska R, Stefanova K, Stoikova-Grigorova R. (2020) Main honey botanical components and techniques for identification: a review. Journal of Apicultural Research, 59(5), 852-861.

Bell KL, de Vere N, Keller A, Richardson RT, Gous A, Burgess KS, Brosi BJ. (2016) Pollen DNA barcoding: current applications and future prospects. Genome. 59(9): 629-40. doi: 10.1139/gen-2015-0200. Epub 2016 Apr 13. PMID: 27322652.

De Vere N, Jones LE, Gilmore T, Moscrop J, Lowe A, Smith D, ... & Ford CR. (2017) Using DNA metabarcoding to investigate honey bee foraging reveals limited flower use despite high floral availability. Scientific Reports, 7(1): 1-10.

Hawkins, J., de Vere, N., Griffith, A., Ford, C. R., Allainguillaume, J., Hegarty, M. J., ... & Adams-Groom B. (2015) Using DNA metabarcoding to identify the floral composition of honey: a new tool for investigating honey bee foraging preferences. PLoS One, 10(8), e0134735.

**Genetic analysis of *Cinnamomum kanehirae*
---a case study of the scion garden in Chung-Hsing Nursery, Fenqihu**

Chia-Chen Wu^{1)*} Jung-Ming Chang¹⁾ Chiao-Ling Ching¹⁾

Introduction

Cinnamomum kanehirae Hayata (Lauraceae), an endemic and highly valuable tree species in Taiwan, is famous for its natural characters. Most of the seed or scion gardens in Taiwan are lack of the evaluation of genetic diversity. Number and set of clones are two important factor that affect the genetic diversity. The *C. kanehirae* scion garden in the Fenqihu nursery was established in 1992. The quality of the cuttings suffered due to insufficient light as the surrounding trees grew close gradually and density of the scion garden increased as the trees aged. Furthermore, the original provenance information of the scion was not fully confirmed, the genetic information needs to be updated or re-built. The aim of this study is to evaluate the genetic diversity of the original and newly-built scion gardens. Eleven microsatellite primer sets were used in this study. The results showed the genetic diversity (He, expected heterozygosity) is 0.48 ± 0.06 in the original scion garden (We selected 30 individuals randomly in the original scion garden.), whereas the rest of 146 plants were set as a population with He is 0.58 ± 0.05 (These 146 individuals are collections from whole Taiwan island in Taiwan Forestry Research Institute.). The He of the newly-built scion garden (plot No. 1) is 0.52 ± 0.05 , higher than the original scion garden (The newly-built scion garden contains 76 clones). The genetic divergence of the original scion garden is higher than different populations from District Offices of Forest Bureau. The results suggested that the original scion garden did achieve the purpose of collection and preservation. The results of genetic structure and principal coordinates analysis showed that the plant materials from the original cutting garden mostly originated from Eastern Taiwan. The results also indicated that scions of Western Taiwan should be emphasized in the future to ensure the conservation of *C. kanehiare* genetic resources.

Methods

1. Plant materials

¹⁾ Silviculture Division, Taiwan Forestry Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan, 100051 No.53, Nanhai Rd., Zhongzheng Dist., Taipei City, Taiwan.

* Corresponding author, E-mail: chiachen@tfri.gov.tw.

The plant materials of 30 healthy mother trees were selected randomly from the original scion garden in Chung-Hsing Nursery, Fenqihu Ranger Station, Chiayi District Offices of Forest Bureau(嘉義處奮起湖中興苗圃). The original scion garden in Chung-Hsing Nursery was established in 1992 with 952 *C. kanehirae* trees. Over 2,000 rooted cutting of 76 clones were of the original scion garden will be used to establish the newly-built scion garden in 2020 to 2021. We also collected 70 *C. kanehirae* from natural stands all over Taiwan island. A total of 176 different individuals of *C. kanehirae* were used for genetic divergence analysis. DNA extraction of leaves samples followed the modified CTAB method (Doyle and Doyle 1990). Fresh leaves were collected and stored in refrigeration.

2. Genotyping and bioinformatic analysis

The SSR markers were selected according to our previous report (Wu et al. 2018). M13-tailed primer method was used to reduce the cost of fluorescent primer labelling. A modified PCR assays based on Markus (2000) was used in our study. SSR genotyping analysis was performed on ABI3730 DNA analyzer (Applied Biosystems) at National Center for Genome Medicine, Academia Sinica in Taipei, Taiwan. The SSR allele sizes were scored by peakscanner 1.0 (Applied Biosystems). Principal coordinate analysis (PCoA) and genetic analysis were computed using GenAlEx 6.5 (Peakall and Smouse 2012). The phylogenetic tree was constructed with iTOL. Genetic structure was analyzed with STRUCTURE v2.3.4 (Hubisz et al. 2009, Pritchard et al. 2000) and Structure harvest software (Earl and vonHoldt 2012).

Results and Conclusion

Among the 94 SSR markers, 11 were polymorphic and stable for genotype scoring in the 176 samples of three groups: original scion garden (OSG), naturally collections (NC) and newly-built scion garden (NSG). Mean Na (number of different alleles) were 3.64, 6.55 and 4.64 in OSG, NC and NSG, respectively. The expected heterozygosity (H_e) were 0.48 ± 0.06 , 0.58 ± 0.05 and 0.52 ± 0.05 in OSG, NC and NSG, respectively. 27 genotypes were identified from 30 randomly selected samples, the remaining three genotypes were each duplicated (No. 381=No. 266; No.389=No.399; No.456=No. 229). The inferred repetition rate of clones in OSG was higher than 10%, because of random sampling were discontinuous and same clones were always planted together in the scion gardens. The genetic diversity in the NSG is higher than the OSG. The genetic diversity (H_e) of OSG is equal to the means of different

populations of different District Office in Forestry Bureau (He is from 0.391 to 0.522 with mean of 0.48. For instance, He is 0.391 in Dongshi District Office in Forestry Bureau(東勢處), 0.432 in Hsinchu District Office in Forestry Bureau(新竹處)), suggesting that the OSG did achieve the aims of preservation and conservation. The results of the genetic structure and principal coordinates (PCoA) analysis indicated that the scions of the OSG are originated from eastern Taiwan. This result also indicates that more collection in western Taiwan should be carried out in the future to ensure a comprehensive preservation of *C. kanehirae* genetic resources. In the breeding aspect, we will continue to investigate the traits including height, DBH, and essential oil content and to correlate with the SNPs data to select potential mother tree for seed and scion production in the future.

Acknowledgements

We thank the National Center for Genome Medicine for the technical support in the genotyping.

References

- Earl DA, vonHoldt BM. (2012)** STRUCTURE HARVESTER: A website and program for visualizing STRUCTURE output and implementing the Evanno method. *Conserv. Genet. Resour.* 4: 359-361.
- Hubisz MJ, Falush D, Stephens M, Pritchard JK. (2009)** Inferring weak population structure with the assistance of sample group information. *Mol. Ecol. Resour.* 9: 1322-1332.
- Markus S. (2000)** An economic method for the fluorescent labeling of PCR fragments. *Nature Biotechnology* 18(2): 233-4. DOI:10.1038/72708.
- Peakall R, Smouse PE. (2012)** GenALEX 6.5: genetic analysis in excel population genetic software for teaching and research-an update. *Bioinformatics* 28: 2537-2539.
- Pritchard JK, Stephens M, Donnelly P. (2000)** Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics* 155: 945-959.
- Wu CC, Chu FH, Ho CK, Chang JM, Chang SH. (2018)** Development of simple sequence repeat marker in *Cinnamomum kanehirae* Hayata by using Illumina-based sequencing. *Taiwan J For Sci* 33(3): 197-211.

相思樹核型與基因組大小

李冠穎¹⁾ 蔡佳彬²⁾ 鍾振德³⁾ 孫英玄^{1)*}

緒言

核型分析(karyotyping)為了解該物種的染色體總數及各染色體特徵，是連鎖群及倍性確認、鑑定染色體缺失以及核型演化(karyotype evolution) (Wong et al. 2017)的重要研究方法。而基因組大小(genome size)即為細胞核內 DNA 的含量，通常以單套(1C)染色體做表示。造成基因組大小的變異主要與全基因組複製(whole genome duplication, WGD)和轉座子(Transposable Elements, TEs)相關(Pagel and Johnstone 1992)。基因組大小與植物細胞、細胞核大小、種子大小呈正相關，而與生長速度呈負相關(Bennett and Leitch 2011)。染色體數與基因組大小為遺傳研究的重要資訊。相思樹(*Acacia confusa*)為林業試驗所主要推廣造林樹種之一。其木材用途廣泛，普遍用作薪炭材及蕈類栽培，其木材、樹皮、葉子等抽出物具抗氧化活性，有發展為醫療、保健用品的潛力(張上鎮等 2012)。因此相思樹為台灣林木育種的重要目標樹種。本研究目的在鑑定相思樹核型、染色體數與分析基因組大小，提供相思樹遺傳研究、基因組定序的重要資訊，奠定該樹種以分子輔助育種(Molecular assisted-breeding)手段進行林木改良的基礎。

材料與方法

一、核型分析

相思樹種子源於臺南市照興相思樹種子園。染色體觀察參照 Rodríguez-Domínguez 等人(2017)備製玻片，方法如下：將種子胚根以 2 mM 8-hydroxyquinoline 於 4°C 浸泡處理 48 小時，後以甲醇：醋酸=3：1 固定液於 4°C 浸泡處理 24 小時，使用 2% Cellulase、2% Macerozyme 之 10 mM 檸檬酸緩衝液(pH 4.5) 100 µl 將固定完成之根尖於 37°C 浸泡處理 4 小時以釋放原生質體，加入 600 µl 二次蒸餾水並離心 6200 x g 45 秒後移除上清液，再加入 600 µl 甲醇離心 7500 x g 30 秒後清除上清液，並重新懸浮於 50 µl 甲醇。於

¹⁾ 國立中興大學森林系，402202 臺中市南區興大路 145 號。

²⁾ 行政院農業委員會林業試驗所六龜研究中心，844005 高雄市六龜區中興里中庄 198 號。

³⁾ 行政院農業委員會林業試驗所育林組，100051 臺北市中正區南海路 53 號。

* 通訊作者，E-mail: yhsun@nchu.edu.tw。

塗有醋酸薄層傾斜 45 度的玻片上滴入備製好的細胞懸浮液 10 μ l，待表面出現顆粒狀後倒置於 55°C 水蒸氣上 5 秒，滴 100 μ l 醋酸於玻片上後風乾，玻片以 4',6-diamidino-2-phenylindole (DAPI) 進行染色。觀察分散良好的細胞計算染色體條數、整體長度、長短臂比。

二、基因組大小

相思樹為於中興大學室外生長盆苗之健康假葉，摘取自幼嫩枝條第 4-6 片假葉。參考物種為毛果楊(*Populus trichocarpa*, 1C=0.49 pg)，摘取健康之葉片。核 DNA 含量檢測使用 Doležel 等人(2007)之兩步驟懸浮細胞核，將兩物種之葉狀組織以三明治夾層方式於 Otto I solution 混合切碎，將液體以 40 μ m 濾網過濾，濾液離心 300 x g 10 分鐘，移除上清液並重懸於 200 μ l Otto I solution，加入 4 倍體 Otto II solution 將 pH 調至 7.3，添加 Propidium iodide (50 μ g/ml) 及 RNase A (50 μ g/ml) 至溶液，於 37°C 處理 1 小時。以流式細胞儀(Cytomics™ FC500)檢測細胞核螢光含量，細胞核懸浮液以緩衝液稀釋至儀器測量時為 20-50 細胞核/秒。偵測閾值(discrimination)設為 FL3=30，單樣品測量 300 秒或 10000 顆。以 FL3-SS 圖框選(gate)細胞核分布區塊，進一步以 FL3-AUX 排除雙聯體之細胞核。以 FL3 螢光強度繪製直方圖。毛果楊之細胞核校正電壓及增益後，將混有 2 物種細胞核懸浮液進行螢光強度測定，檢測結果之峰值以下列公式計算 DNA 含量。

$$GS_{sample} = GS_{reference} \times \frac{\text{Sample 2C mean peak}}{\text{reference 2C mean peak}}$$

結果與討論

一、核型分析

Acacia 屬中絕大多數物種染色體基數為 13，已知物種中有 42 種為 26 條染色體、6 種為 52 條染色體、*A. sowdeni* 為 38 條染色體，此外於 *A. dealbata* (Blakesley et al. 2002) 與 *A. mearnsii* (Beck et al. 2003) 觀察到在族群內具有 2 倍體及 4 倍體。

本研究結果顯示 *A. confusa* 的核型組成為 $2n = 2X = 26 = 10 m + 2 m^{sat} + 10 sm + 4 st$ 。本次觀察 47 個分散良好之細胞中僅 2 個細胞為 52 條染色體(4 倍體)，可能為分離之原生質體細胞融合所導致，在周圍細胞中仍能觀察到明確為二倍體的細胞。於 1 號染色體上有觀察到明顯的次級隘縮(secondary constriction) (圖 1 右，箭頭處)，即具有隨體(satellite, sat)。次級隘縮僅於一張染色體收縮程度最高之細胞(染色體總長度 51.76 μ m)中觀察到，位於 1 號染色體在長臂距中節 55% 處。Touati (2005) 觀察 *A. ehrenbergiana*、*A.*

gerrardii、*A. etbaicae* 於 1、3 號染色體之長臂皆具有次級隘縮，認為此結構在長臂位置於 *Acacia* 中可以有效鑑別物種，然而 *A. mangium* 僅在第 1 對染色體上觀察到次級隘縮之結構(余麗云 1997)。染色體長度介於 2.01-4.11 μm 、平均 2.84 μm ，染色體總長度為 $73.84 \pm 11.90 \mu\text{m}$ (表 1)。

表1. 相思樹各染色體長度

	相對長度	絕對長度 μm	短臂 μm	長臂 μm	中結位置	
Chr.1	11.1%	4.11	1.17	2.93	29%	sm
Chr.2	9.7%	3.58	1.53	2.05	43%	m
Chr.3	9.0%	3.31	0.82	2.49	25%	st
Chr.4	8.5%	3.12	1.28	1.84	41%	m
Chr.5	8.1%	2.99	1.23	1.76	41%	m
Chr.6	7.9%	2.92	0.90	2.02	31%	sm
Chr.7	7.6%	2.80	0.75	2.05	27%	sm
Chr.8	7.2%	2.67	1.04	1.63	39%	m
Chr.9	6.9%	2.54	0.89	1.65	35%	sm
Chr.10	6.5%	2.40	0.51	1.89	21%	st
Chr.11	6.2%	2.30	1.03	1.27	45%	m
Chr.12	5.9%	2.19	0.89	1.30	41%	m
Chr.13	5.4%	2.01	0.67	1.34	33%	sm

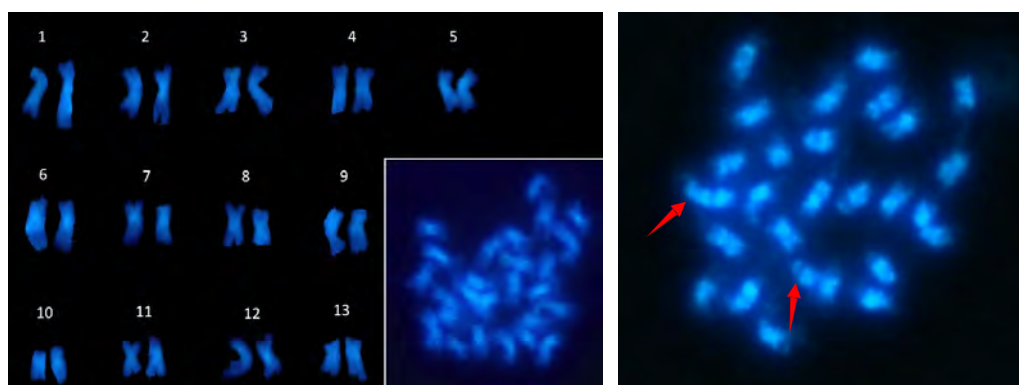


圖 1. 相思樹核型圖(2n = 26)。箭頭，1 號染色體次級隘縮。

二、基因組大小

Acacia 中已知基因組大小之樹種其 C-values 平均 $1C = 0.98 \text{ pg}$ (Plant DNA C-values Database : <https://cvalues.science.kew.org/>)， $1C$ 最小為 *A. tortilis* ($2n = 52$) 0.50 pg (Bukhari 1997)、最大為 *A. simsii* ($2n = 26$) 2.10 pg (Mukherjee and Sharma 1995)。於初步檢測中確認 *P. trichocarpa* (C-values= 0.49 pg)其核含量小於 *A. confusa* 並且螢光峰值無重疊(圖 2)。本次實驗共測量 8 組混合樣品，*P. trichocarpa* 之螢光強度平均 196.4 ± 18.0 、*A. confusa* 為 259.8 ± 28.8 ，螢光強度倍率($Ac_{\text{mean}} / Pt_{\text{mean}}$)為 1.277-1.379，平均 1.328 ± 0.038 。已知

毛果楊之 1C 之 DNA 含量為 0.49 pg、485 Mb (Tuskan et al. 2006)，經流式細胞分析 *A. confusa* 細胞核之螢光強度為 *P. trichocarpa* 1.33 倍，因 PI 附著於 DNA 雙股螺旋時無鹼基偏好差異，螢光強度會正比於 DNA 含量，以此估計 *A. confusa* 之 DNA 含量約為 0.65 pg、645 Mb。

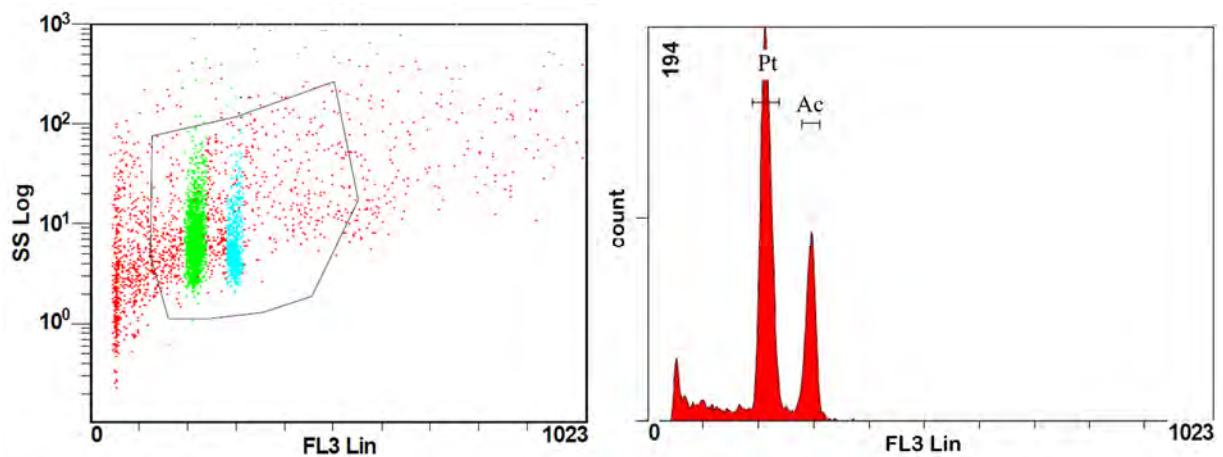


圖 2. 相思樹與毛果楊細胞核螢光強度分布圖。綠點為毛果楊(*Populus trichocarpa*, Pt)，藍點為相思樹(*Acacia confusa*, Ac)。

Brown 等人(2012)在 *Acacia* 中利用 nuclear ribosomal DNA 中的 external (ETS) and internal (ITS) transcribed spacer 序列建立親緣關係樹，其中 *A. confusa* 所在的演化支 *A. victoriae* and *A. pyrifolia* clade 約在上新世早期約 500 萬年前便已分歧。該演化支內皆由 subg. *Phyllodineae* 所組成。該演化支內物種地理分布位置由南太平洋的斐濟和薩摩亞的 *A. simplex*、澳洲東北部 *A. simsii* 與 *Acacia* spp. 以及臺灣、菲律賓的 *A. confusa* 串聯形成島鏈，顯示了這演化支散布的足跡。然該演化支中已知基因組大小之物種僅 *A. simsii* (C-values = 2.10 pg)，與 *A. confusa* 相差近 3.5 倍，2 物種皆為二倍體，且 *A. simsii* 與 *A. confusa* 分布緯度近於南北回歸線上。由研究指出基因組大小演化受環境等因子影響，如向日葵屬植物(*Helianthus*)研究中，即明顯的表現物種的基因組大小與其分布的環境溫度有關，越長的生長季所能負擔的基因組大小越大(Qiu et al. 2019)。在與 *A. confusa* 在屬中的演化支基因組大小分歧是否與環境如緯度、溫度等相關則需進一步納入其他種相思樹及菲律賓之 *A. confusa* 基因組資料加以探究。

結論

A. confusa 核型組成為 $2n = 2x = 26 = 10\ m + 2\ m^{\text{sat}} + 10\ sm + 4\ st$ ，應皆為二倍體並且尚無確認到天然多倍體的發生，且僅在第 1 對染色體上長臂距中節 $2\ \mu\text{m}$ 觀察到次級隘縮之結構。而基因組大小推估為 $C\text{-values} = 0.65\ \text{pg}$ (約 645 Mb)，在 *Acacia* 中屬較小基因組之物種，並且與其親緣關係相近的 *A. simsii* 相差近 3.5 倍，在二物種 $2n=26$ 的狀況下，表示該差距並非染色體加倍所導致。而基因組大小的演化主要受 WGD 和 TEs 的影響。因此推測 *A. simsii* 演化過程中具活躍之 TEs 所致。本研究結果確認 *A. confusa* 染色體基數為 13，與大多數 *Acacia* 屬一致。基因組大小略大於楊樹的 485 Mb (Tuskan et al. 2006)，小於約 690 Mb 的玫瑰桉(*Eucalyptus grandis*)的 690 Mb (Myburg et al. 2014)與約 824Mb 的牛樟(*Cinnamomum kanehirae*)(Chaw et al. 2019)，顯示相思樹全基因組定序以作為分子育種基礎的應是可行的。

引用文獻

- Beck SL, Dunlop RW, Fossey A. (2003) Stomatal length and frequency as a measure of ploidy level in black wattle, *Acacia mearnsii* (de Wild). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 141(2): 177-181.
- Bennett MD, Leitch IJ. (2011) Nuclear DNA amounts in angiosperms: targets, trends and tomorrow. *Annals of Botany*, 107(3): 467-590.
- Blakesley D, Allen A, Pellny TK, Roberts AV. (2002) Natural and induced polyploidy in *Acacia dealbata* Link. and *Acacia mangium* Willd. *Annals of Botany*, 90(3): 391-398.
- Brown GK, Murphy DJ, Kidman J, Ladiges PY. (2012) Phylogenetic connections of phyllodinous species of *Acacia* outside Australia are explained by geological history and human-mediated dispersal. *Australian Systematic Botany*, 25(6): 390-403.
- Bukhari, Y. M. (1997) Nuclear DNA amounts in *Acacia* and *Prosopis* (Mimosaceae) and their evolutionary implications. *Hereditas*, 126(1), 45-51.
- Chaw SM, Liu YC, Wu YW. (2019) Stout Camphor Tree Genome Fills Gaps in Understanding of Flowering Plant Genome Evolution. *Nature Plants* 5: 63-73.
- Doležel J, Bartoš JAN. (2005) Plant DNA flow cytometry and estimation of nuclear genome size. *Annals of botany*, 95(1): 99-110.
- Mukherjee S, Sharma AK. (1995) In situ nuclear DNA variation in Australian species of *Acacia*. *Cytobios* (United Kingdom).

- Myburg AA, Grattapaglia D, Tuskan GA. et al. (2014)** The genome of *Eucalyptus grandis*. Nature 510(7505): 356-62.
- Pagel M, Johnstone RA. (1992)** Variation across species in the size of the nuclear genome supports the junk-DNA explanation for the C-value paradox. Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences, 249(1325): 119-124.
- Qiu F, Baack EJ, Whitney KD, Bock DG, Tetreault HM, Rieseberg LH, Ungerer MC. (2019)** Phylogenetic trends and environmental correlates of nuclear genome size variation in Helianthus sunflowers. New Phytologist, 221(3): 1609-1618.
- Rodríguez-Domínguez JM, Ríos-Lara LL, Tapia-Campos E, Barba-Gonzalez R. (2017)** An improved technique for obtaining well-spread metaphases from plants with numerous large chromosomes. Biotechnic & Histochemistry, 92(3): 159-166.
- Touati NH. (2005)** Karyotype analysis in three species of Acacia. J. of Genetic Eng. & Biotechnol. 3(1): 89-102.
- Tuskan GA, Difazio S, Jansson S, Bohlmann J, Grigoriev I, Hellsten U, ... & Rokhsar D. (2006)** The genome of black cottonwood, *Populus trichocarpa* (Torr. & Gray). Science, 313(5793): 1596-1604.
- Wong MM, Vaillancourt RE, Freeman JS, Hudson CJ, Bakker FT, Cannon CH, Ratnam W. (2017)** Novel insights into karyotype evolution and whole genome duplications in legumes. BioRxiv, 099044.
- 張上鎮、王升陽、鄭森松 (2012)** 台灣主要造林樹種之創新利用及展望。台灣林業 38(3): 27-35。
- 余丽云、叶建芳 (1997)** 馬占相思染色體核型分析。西南林學院學報 17(2): 64-68。

Differential gene expression analysis of two chemo types, cinnamaldehyde and linalool types in *Cinnamomum osmophloeum* Kaneh

Chia-Chen Wu^{1)*}

Introduction

Cinnamomum osmophloeum Kaneh (Lauraceae), an endemic and highly valuable tree species in Taiwan, is famous for its cinnamon flavors and some human health-improvement effects. Six natural chemotypes in *C. osmophloeum* were found in the previous study (Lee et al., 2003). In this study, the transcriptomes of two *C. osmophloeum* chemo types: cinnamaldehyde (CIN) and linalool (LL) types were analyzed. Recent advances in high-throughput RNA-seq can reveal new genes and quantify expression genome-wide in a single assay. A total of 8,139,830,538 and 7,475,894,243 sequencing base pairs were obtained after trimming in linalool (LL) and cinnamaldehyde (CIN) types, respectively. A total of 207,557 transcripts with 116,355 genes were gained after *de novo* assembly. In differential gene expression (DGE) analysis, we found 22 transcripts are relative to the synthesis of cinnamaldehyde, linalool, and coumarin with significant up or down regulation in two chemo-type plant materials. We focus on seven key enzymes, Phenylalanine ammonia-lyase (*PAL*), 4-coumarate--CoA ligase (*4CL1* & *4CL2*), Trans-cinnamate 4-monooxygenase(*C4H*), Cinnamoyl-CoA reductase (*CCR1* & *CCR2*), Cinnamyl alcohol dehydrogenase (*CAD1* & *CAD6*), Beta-glucosidase (*Bgl* family) and S-linalool synthase (*LIS*), to understand the gene expression in two different chemo-type *C. osmophloeum* plants. The results show that the *LIS* plays an important role in linalool synthesis in linalool types. *PAL*, *CCR1*, *CAD6* were very highly accumulated in cinnamaldehyde types. *C4H* was not significant differential expression between two chemo-types. This study could provide useful information and gene database for further researches such as novel gene discovery and genetic engineering for candidate gene approach in *C. osmophloeum*.

Methods

1. Plant materials and RNA extraction

Two individuals were identified as cinnamaldehyde (CIN) and linalool (LL) types

¹⁾ Silviculture Division, Taiwan Forestry Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan, 100051 No.53, Nanhai Rd., Zhongzheng Dist., Taipei City, Taiwan.

* Corresponding author, E-mail: chiachen@tfri.gov.tw.

according to their essential oil compositions analyzed by GC/MS assay. Two chemotypes were classified following the table of characteristics in *C. osmophloem*. The cinnamic aldehyde content in essential oil is higher than 81% in CIN, the linalool content in essential oil is higher than 91% in LL. In March 2020, fresh leaves of CIN and LL individuals were collected in Wulai Xinxian Nursery. The collected samples were immediately placed in liquid nitrogen and stored in a refrigerator at -80°C for later use. RNA was extracted by using a commercially available RNA extraction kit (GeneMarker, Co. New Taipei city, Taiwan) following the instructions.

2. RNA-sequencing and bioinformation

The verification of RNA quality was using Experion™ RNA StdSens Analysis Kit (Bio-Rad Laboratories, Inc., USA) following the instruction and only samples with RNA quality indicators between 8-10 can be used for the following experiments. RNA concentration was quantified by Qubit fluorometer (Life Technologies. Cat. Q32852) and NanoDrop 2000 (Thermo Fisher Scientific Inc.). Eventually, the equimolar concentrations of two chemotypes RNA were used separately for cDNA library preparation following manuals. RNA-Sequencing was performed on Illumina NovaSeq 6000 instrument in 150 bp paired-end mode at Genomics Inc. All trimmed reads from two samples were pooled for de novo assembly using Trinity software (Haas et al. 2013). The *de-novo* assembled transcriptome will be regarded as backbone reference. Two samples are going to be aligned for calculating the abundance of read count. The alignment tool we used is “bowtie2” (Langmead et al. 2009), and the read count quantification tool we used is “RSEM” (Li et al. 2011). The read quantification data were going to be calculated by “edgeR v3.5” to process multiple differential expression analysis of RNA-seq expression profile with biological replication (McCarthy et al. 2012). Transdecoder v3.0.1 and Trinotate v3.0.2 were used for gene annotation (Bryant et al. 2017). The key genes (enzymes) were selected from phenylpropanoid and monoterpene biosynthesis which are relative to cinnamaldehyde and linalool, respectively. The p-value less than 0.005 were picked for further discussion.

Results and Conclusion

A total of 8,139,830,538 and 7,475,894,243 sequencing base pairs were obtained after trimming in LL and CIN types, respectively. A total of 207,557 transcripts with 116,355 genes were gained after *de novo* assembly. In differential gene expression (DGE) analysis, we found 22 transcripts are relative to the synthesis of cinnamaldehyde, linalool and coumarin with significant accumulated and reduced expression in two chemotypes (Table 1). The

cinnamaldehyde and linalool are relative to phenylpropanoid biosynthesis and monoterpene biosynthesis pathways, respectively. Linalool synthase (*LIS*) is involved in the biosynthesis of the acyclic monoterpene S-linalool Linalool from geranyl diphosphate (GPP). LL shows 3.9 times higher expresses than CIN in “TRINITY_DN5322_c0_g1_i7” which was annotated to *LIS* (Q96376). It infers that CIN expresses a small amount of *LIS*, which means that *LIS* is indeed highly express in LL. It is important to track the express pattern of *LIS* in the future, including different tissue, developmental stages and cultivated methods with real-time PCR or other validation methods.

Table 1. The transcripts with significant up/down regulation in *C. osmophloeum* chemo-types.

Biosynthesis Pathway	Transcript ID	Gene Abbreviation	Differential Expression		Length (bp)
			CIN	LL	
Phenylpropanoid Biosynthesis	TRINITY_DN31671_c0_g1_i1	<i>PAL</i>	accumulated	reduced	1403
	TRINITY_DN37559_c0_g1_i1	<i>4CL1</i>	reduced	accumulated	1586
	TRINITY_DN35648_c0_g1_i1	<i>4CL1</i>	reduced	accumulated	1984
	TRINITY_DN50612_c0_g1_i2	<i>4CL2</i>	reduced	accumulated	955
	TRINITY_DN7415_c1_g1_i4	<i>4CL2</i>	reduced	accumulated	2467
	TRINITY_DN43343_c0_g1_i1	<i>CCR1</i>	accumulated	reduced	1305
	TRINITY_DN524_c0_g1_i16	<i>CCR1</i>	accumulated	reduced	1593
	TRINITY_DN262_c0_g1_i46	<i>CCR1</i>	accumulated	reduced	1022
	TRINITY_DN18356_c0_g1_i1	<i>CCR2</i>	reduced	accumulated	2175
	TRINITY_DN943_c0_g1_i1	<i>CAD1</i>	reduced	accumulated	1751
	TRINITY_DN943_c0_g1_i3	<i>CAD1</i>	accumulated	reduced	1729
	TRINITY_DN48062_c0_g2_i1	<i>CAD6</i>	accumulated	reduced	1400
	TRINITY_DN1419_c0_g1_i15	<i>Bgl47</i>	reduced	accumulated	2377
	TRINITY_DN1403_c0_g1_i15	<i>Bgl12</i>	reduced	accumulated	2696
	TRINITY_DN6560_c0_g1_i1	<i>Bgl11</i>	reduced	accumulated	1912
	TRINITY_DN27546_c0_g1_i4	<i>Bgl22</i>	accumulated	reduced	1843
	TRINITY_DN1419_c0_g1_i2	<i>Bgl18</i>	accumulated	reduced	6300
	TRINITY_DN10212_c0_g1_i4	<i>Bgl18</i>	accumulated	reduced	935
	TRINITY_DN19629_c0_g1_i9	<i>Bgl18</i>	accumulated	reduced	793
	TRINITY_DN1403_c0_g1_i14	<i>Bgl12</i>	accumulated	reduced	2665
	TRINITY_DN1785_c0_g2_i5	<i>Bgl44</i>	accumulated	reduced	1034
Monoterpene biosynthesis	TRINITY_DN5322_c0_g1_i7	<i>LIS</i>	reduced	accumulated	838

In our data, the CIN shows over 3.8 times higher expression than LL in TRINITY_DN31671_c0_g1_i1 which was annotated to *PAL* (P52777). This is because of the *PAL* is a key enzyme of plant metabolism catalyzing the first reaction in the biosynthesis of trans-cinnamate from L-phenylalanine. *4CL1*, *4CL2* (p-value<0.005), and *C4H* (p-value<0.5) are expressed higher in LL than CIN, it may infer LL convert mostly the trans-cinnamate and cinnamoyl-CoA to p-coumaric acid and p-coumaroyl-CoA, instead of synthesized to

cinnamaldehyde. It is reasonable that *CCR1* (p-value < 0.005) highly expressed in CIN, which is make a conversion of cinnamoyl-CoAs into their corresponding cinnamaldehydes. This is one of the last steps of monolignol biosynthesis. *CCR2* seems not to be involved in lignin biosynthesis, but involved in the biosynthesis of phenolics whose accumulation may lead to resistance (Virginie et al. 2001). Thus, the *CCR2* or other relative genes in LL are necessary to validate for pathogen resistance in the future. CAD is involved in lignin biosynthesis and is catalyzing the final step specific for the production of lignin monomers. Two isoforms, TRINITY_DN943_c0_g1_i1 &3 are relative to *CAD1* show accumulated in CIN and LL, respectively. In our data, TRINITY_DN943_c0_g1_i1 &3 (*CAD1*) and TRINITY_DN48062_c0_g2_i1(*CAD6*) were differential expression in LL and CIN. Eudes et al. (2006) reported the CADs could catalyze the NADPH-dependent reduction of coniferaldehyde, 5-hydroxyconiferaldehyde, sinapaldehyde, 4-coumaraldehyde and caffeyl aldehyde to their respective alcohols. Further experiments for validation are necessary to understand if CADs catalyze the cinnamaldehyde to cinnamyl alcohol in LL, thus trace cinnamaldehyde in LL. Because two isoforms with similar length exist, it is possibly to discover novel genes. *C4H* was not significant differential expression in both chemo-types (p-value are 0.37 and 0.18 in TRINITY_DN4884_c0_g1_i1 and TRINITY_DN68232_c0_g1_i1, respectively). Coumarin content in essential oil are highly different in LL and CIN. Beta-glucosidase is the key enzyme to the synthesis of coumarin. However, 9 transcripts are annotated to beta-glucosidase gene family (*Bgl*) with differential expression pattern in LL and CIN. Beta-glucosidase may be involved in *Arabidopsis thaliana* in degradation of mannans, galactomannans, or glucogalactomannans (Xu et al. 2004). Thus, the results are not clear to explain the molecular relationship between coumarin and beta-glucosidase in LL and CIN. This study is the first transcriptome report in *C. osmophloeum* and provide transcriptomic database for further researches. The transcripts described above could be validated in the future to understand the molecular difference between cinnamaldehyde and linalool chemo-types in *C. osmophloeum*.

References

- Eudes A, Pollet B, Sibout R, Do CT, Seguin A, Lapierre C, Jouanin L. (2006) Evidence for a role of *AtCAD 1* in lignification of elongating stems of *Arabidopsis thaliana*. *Planta* 225: 23-39.
- Bryant DM, Johnson K, DiTommaso T, Tickle T, Couger MB, Payzin-Dogru D, Lee TJ, Leigh ND, Kuo TH, Davis FG, Bateman J, Bryant S, Guzikowski AR, Tsai SL, Coyne S, Ye WW, Freeman RM Jr, Peshkin L, Tabin CJ, Regev A, Haas BJ, Whited JL. (2017) A

- tissue-mapped axolotl *de novo* transcriptome enables identification of limb regeneration factors. *Cell Reports*. 18(3):762-776.
- Haas BJ, Papanicolaou A, Yassour M, Grabherr M, Blood PD, Bowden J, Couger MB, Eccles D, Li B, Lieber M, Macmanes MD, Ott M, Orvis J, Pochet N, Strozzi F, Weeks N, Westerman R, William T, Dewey CN, Henschel R, Leduc RD, Friedman N, Regev A. (2013) *De novo* transcript sequence reconstruction from RNA-seq using the Trinity platform for reference generation and analysis. *Nature Protocols* 8:1494–1512 doi: 10.1038/nprot.2013.084.
- Langmead B, Trapnell C, Pop M, Salzberg SL. (2009) Ultrafast and memory efficient alignment of short DNA sequences to the human genome. *Genome Biology* 10:R25.
- Lee, Han-chung; Cheng, Sen-sung; Liu, Ju-yun; Chang, Shang-tzen. (2003) Chemical Polymorphism of Leaf Essential Oils from Different Geographical Clones of Indigenous Cinnamon (*Cinnamomum osmophloeum*). *Quarterly Journal of Chinese Forestry*. 36(4):411-422.
- Li, BO, Dewey, and Colin N. (2011) RSEM: accurate transcript quantification from RNA Seq data with or without a reference genome, *BMC Bioinformatics* 12.
- McCarthy, JD, Chen, Yunshun, Smyth and KG (2012) Differential expression analysis of multifactor RNA-seq experiments with respect to biological variation. *Nucleic Acids Research*, 40(10):9.
- Virginie L., Christophe L., Eric L., Eric L., Dominique R., Jacqueline G.P. (2001) Two cinnamoyl-CoA reductase (*CCR*) genes from *Arabidopsis thaliana* are differentially expressed during development and in response to infection with pathogenic bacteria. *Phytochemistry* 57(7):1187-1195.
- Xu, Z., Escamilla-Treviño, L., Zeng, L. et al. (2004) Functional genomic analysis of *Arabidopsis thaliana* glycoside hydrolase family 1. *Plant Mol Biol* 55, 343–367. <https://doi.org/10.1007/s11103-004-0790-1>

儲存條件對阿里山十大功勞種子發芽之影響

黃曜謀^{1)*} 賴志銘¹⁾ 林鴻志¹⁾

緒言

十大功勞屬(*Mahonia*)物種因為它們的葉子、花朵或果實的特殊造型及鮮豔色澤，常被視為觀賞植物(Dirr and Heuser 1987, Schlosser et al. 1992)，果實也是野生動物食物之一(Decker et al. 1991)。研究十大功勞屬植物天然化合物，含有醫藥用的生物鹼(Kostalova et al. 1986, Zhao et al. 1991)，因此該類群可謂是重要的森林生態及經濟樹種。

阿里山十大功勞(俗稱追分十大功勞) (*M. oiwakensis* Hayata)，特產臺灣，分布海拔 1,500~3,500 m 山區之闊葉林下、灌叢中、林緣或山坡。常綠灌木，高 1~2 m，花期 8~11 月，果期 11 月至翌年 5 月。花、果、葉都具有觀賞性，植株姿態優美，常用於庭園，或種植作為綠籬(林務局 2021)。此外，阿里山十大功勞全株富含小蘗鹼(berberine)、小蘗胺(berbamine)等化學成分，均可入藥(甘偉松 1977)；在民間保健醫療上受到廣泛注意，引起大量之濫採壓力(何坤益等 2007)。受到氣候暖化的影響，十大功勞適宜的棲地勢必縮減，尤其海拔 2,500 m 以下的族群，將可能無法承受暖化的衝擊而走向滅絕(呂明倫和黃靜宜 2021)。

種子為開花植物的主要繁殖體，有些植物種子可忍受環境的變化，如溫度高或低，但不會敗壞死亡，持續繁衍後代(Broadhurst et al. 2008, Leo'n-Lobos et al. 2012, Elzenga and Bekker 2017)。傳統的種子庫，將乾燥後的種子冷凍保存幾十年甚至百年以上，是一種有價值的異地保護措施(Gargiulo et al. 2019)。然而，全世界的種子植物中，有將近 8% 的種子植物，種子表現出乾燥敏感性，即種子不容易乾燥保存(Tweddle et al. 2002)。在熱帶常綠雨林中，這個數字可以達到 50% (Tweddle et al. 2003)。因為它們的種子無法通過傳統方式儲存在種子庫中，嚴重阻礙其遺傳資源的長期保存(Marques et al. 2019)。

由此可知，隨種子生理特性，其保存處理方式及壽命因種而異。種子的含水量及儲存溫度被認為是影響種子品質的關鍵因子。因此，本研究目的有三：(一)確認阿里山十大功勞種子，究竟屬何種儲存類型。(二)種子含水量多寡對阿里山十大功勞種子品質是否有顯著影響。(三)儲存溫度對阿里山十大功勞種子品質是否有顯著影響。

¹⁾ 行政院農業委員會林業試驗所育林組，100051 臺北市中正區南海路 53 號。

* 通訊作者，E-mail: huangym@tfri.gov.tw。

材料與方法

2020 年 4 月 18 日阿里山工作站人員提供阿里山十大功勞成熟果實一批，連同著生枝條，以夾鏈袋封裝後，低溫(4°C)寄送至實驗室進行後續種子發芽試驗。

每一成熟完整健康果實，具 2~5 顆種子，平均值 3.06 ± 0.94 粒，新鮮飽水種子平均重量 0.161 ± 0.05 g。果實經水搓洗去除果皮及果肉，挑選出 500 顆(每重複 100 顆種子*5 重複)發育飽滿種子進行氣乾(RH=50~60%，室溫 26~28°C)及秤重，氣乾 6 天後將種子置放在 105°C 烘箱中烘乾 24 小時，得到絕乾重量，再以下列公式換算出種子含水率及相對含水率(公式 1, 2)。

種子含水率(WC)=(當次種子測定重量-絕乾重)/種子飽水重量*100% 公式 1

種子相對含水率(RWC)=(當次種子測定重量-絕乾重)/(種子飽水重量-絕乾重)*100%
..... 公式 2

阿里山十大功勞未經任何乾燥及消毒情況下，在室溫條件下經過 1 星期後開始發霉，無法完成發芽試驗，改採氣乾 1 天及 6 天後之種子為研究樣本，分別代表不同含水率種子群(WC=37.0±1.6% vs. 5.2±0.4%, RWC=64.9±1.6% vs. 9.2±0.6%)，為期 10 個月研究過程中，種子均未出現發霉現象。新鮮種子陰乾 1 天及 6 天後，裝入 1.5 ml 微量試管中，以不同溫度(25、4、-20、-80°C)進行貯藏，經儲存 0、1、2、3、4、6、10 個月後的各取出 200 種子，放置在鋪有濕潤不織布的培養皿內，每一處理 4 重複，每重複 50 顆種子，用石臘膜密封培養皿保濕，培養後定期每週記錄其發芽率。

依據英國皇家植物園千禧種子庫(Millennium Seed Bank, Royal Botanic Gardens, Kew, UK)分析種子發芽率(RG，公式 3)和活力(R；發芽速度指標，公式 4) (Liu et al. 2020)模式，評估阿里山十大功勞種子品質。

$$RG = \left(\frac{G_g}{G_s - (G_e + G_i)} \right) \times 100 \quad \text{..... 公式 3}$$

$$R = \left(\frac{\sum (g, t)}{\sum g} \right) \quad \text{..... 公式 4}$$

其中，Ge 是空的、Gi 是受感染而未發芽的種子數，Gs 是種子原始播種數量，Gg 是健康的發芽種子總數(de Santana et al. 2018)，t 是從發芽期開始的時間天數，g 是時間 t 時新發芽的種子數(Soltani et al. 2015)。

結果與討論

十大功勞屬物種果實常被鳥類和哺乳動物取食，傳播種子(Rudolf 1974)。根據作者野外採集經驗，阿里山十大功勞果實除了被動物取食以外，即使果實外觀發育正常，約有半數的果實為不孕性，無法發育出完整之種子，造成種子不孕詳細原因還有待進一步證實。另外，果實被寄生蜂叮咬，無法順利產生種子亦是歉收的原因。

種子含水量

阿里山十大功勞新鮮種子含水率 $57.0 \pm 1.2\%$ ，4 天室內氣乾後含水率驟降至 $7.8 \pm 1.2\%$ ，乾燥 5-7 天後，種子含水率不再有顯著差異($6.0 \pm 0.6\% \sim 5.1 \pm 0.6\%$)，此時相對含水率為 $10.5 \pm 0.9\% \sim 8.9 \pm 0.3\%$ (圖 1)。種子氣乾時水分快速下降，推測與種子體積小與外界接觸面積大、種皮防止水份喪失功能不佳，導致水分快速喪失有關。氣乾 5 天後種子含水率趨於穩定，與外界達到水平衡，由大氣相對濕度及溫度，套用公式 5(Vertucci and Roos 1993, Sun 2002, Adegbola 2016)，計算出氣乾後阿里山十大功勞種子水勢 Ψ 值約 $-70.6 \sim -96.4$ MPa。

$$\Psi = (R \cdot T / V_w) \cdot \ln(RH/100) \dots\dots\dots \text{公式 5}$$

其中 R 為通用氣體常數($8.314 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)，T 為絕對溫度(K)， V_w 是水的莫爾體積($18 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$)，RH 為空氣相對溼度的百分比。

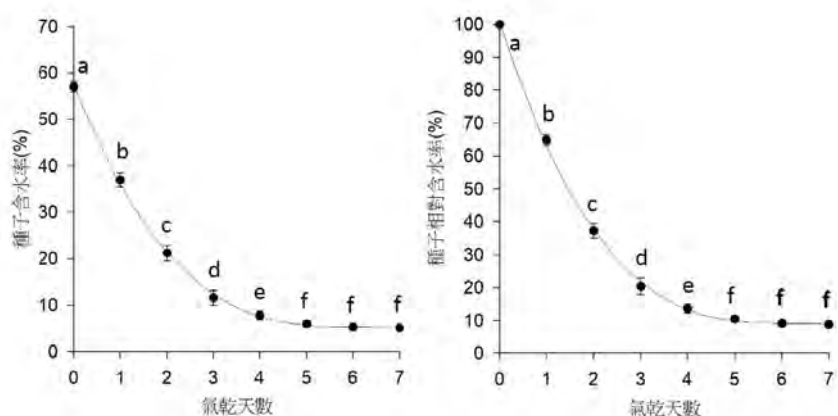


圖 1. 不同氣乾天數之阿里山十大功勞種子含水量。(左)種子含水率、(右)種子相對含水率。不同英文單字表示平均值達顯著差異(one way ANOVA, Fisher LSD, $p < 0.05$)。粗體英文單字 f 表示相對含水率 $< 10\%$ 。

種子發芽率

阿里山十大功勞新鮮種子氣乾 1 天及 6 天後的發芽率均為 $97.0 \pm 1.1\%$ 。在為期 10 個月的序列發芽試驗結果顯示，種子發芽率波動模式可分為 3 型，(1)維持高發芽率型——經

10 月儲存後，發芽率 86-90%，僅較新鮮種子略微下降，(超)低溫儲存/低含水率屬於此一類型，包括：-20°C_6d(儲存溫度_氣乾天數)、4°C_6d、-80°C_6d。(2)發芽率逐漸下降型—發芽率隨儲存時間逐漸下降，經 10 月儲存後，發芽率約為 10~40%，低溫儲存/高含水率為此一類型，包括：-20°C_1d、4°C_1d。(3)快速喪失發芽率型—種子在短期內喪失發芽能力，經 3 個月儲存，發芽率已低於 10%，室溫儲存及超低溫儲存/高含水率種子為此一類型，包括：-80°C_1d、25°C_1d、25°C_6d(圖 2)。

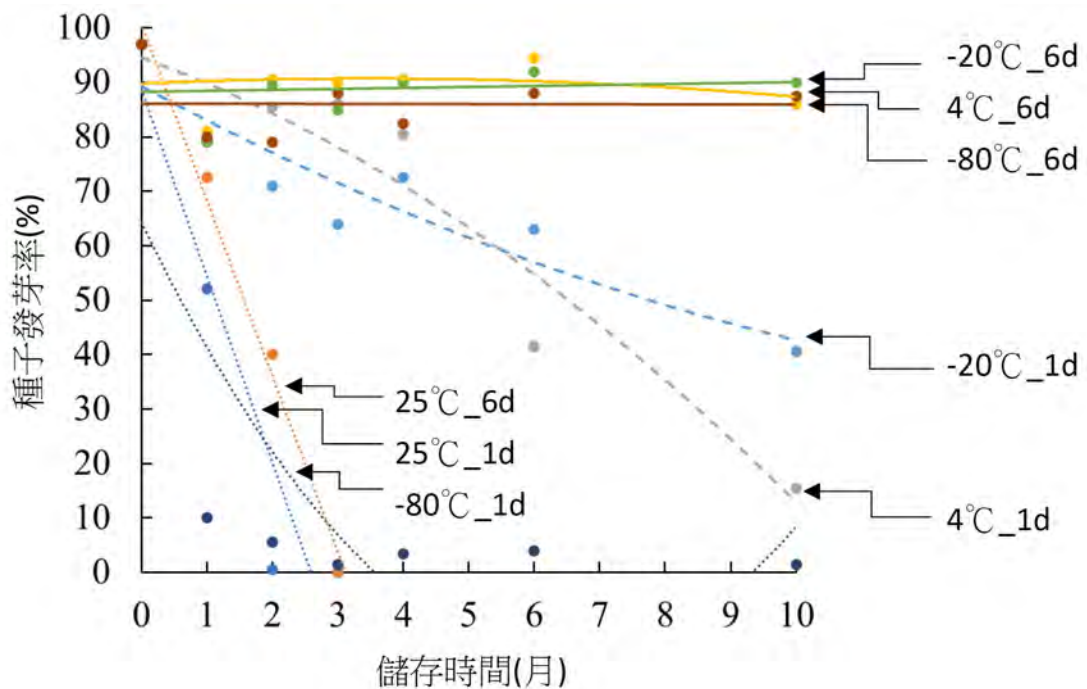


圖 2. 經氣乾 1 天及 6 天後在不同儲存時間之阿里山十大功勞種子發芽率。

早期學者曾建議將十大功勞屬物種，果實採收後可以通過浸漬機或加水攪拌，然後將果肉篩出或浮出，然後應將種子表面乾燥，然後立即播種或儲存在略高於冰點的密封容器中(Heit 1967, Rudolf 1974)。我們認為，種子獲得充分的乾燥處理後放到低溫的條件中，更有利於維持種子的發芽率。

本研究結果顯示，阿里山十大功勞種子即使在低於 12% 含水率下低溫甚至是超低溫的條件下仍然可以存活，證明它是正儲存型種子，同時具有乾燥耐受性，即使乾燥至含水率 10% 以下、RWC<50%、水勢<-35 MPa，也不會累積致死性損傷(Alpert 2005, Zhang and Bartels 2018)。

Swaine and Whitmore (1988)提出了一個論點：森林生態演替階段將物種的種子特性劃分，先驅需強光物種通常產生正儲存型種子和休眠種子，非先驅物種通常會產生異儲

存型的種子(Kageyama and Viana 1991, Pammenter and Berjak 2000)，然而，依生育地環境推斷阿里山十大功勞並非先驅樹種，卻有正儲存型種子，不符上述論點。相反地，有更多的生態學者並沒有找到生態群與種子儲存行為的經典關係(Carvalho et al. 2006, Jose et al. 2007, Mayrinck et al. 2016)。

種子活力

阿里山十大功勞種子發芽時間明顯受到種子乾燥程度所影響，種子乾燥 1 天及 6 天後新鮮種子，平均發芽時間分別為 1.8 週、2.4 週。發芽速度與儲存溫度及儲存時間長短無關(圖 3)。

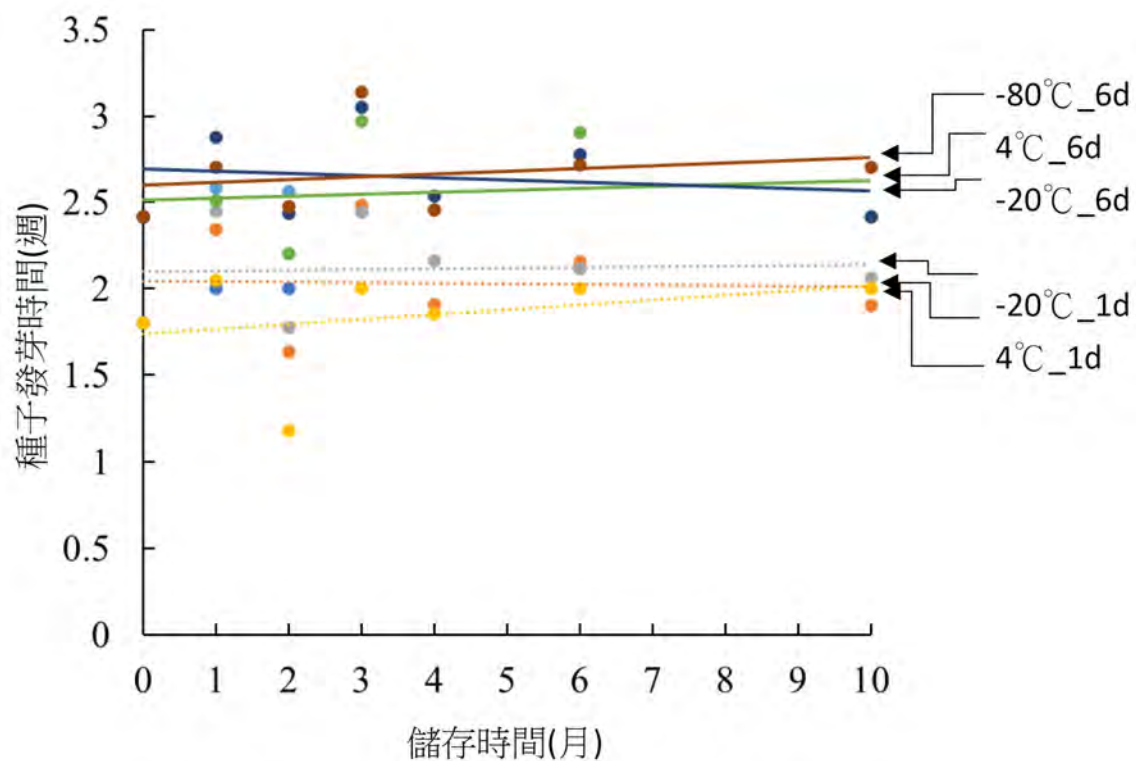


圖 3. 經氣乾 1 天及 6 天後在不同儲存時間之阿里山十大功勞種子發芽時間。

十大功勞屬物種通常無需前處理即可發芽(Swingle 1939, Rudolf 1974, Dirr and Heuser 1987)。阿里山十大功勞種子，接近成熟狀態時，已有發育完整的胚，播種 1-2 週後即可發芽，並無生理的休眠(陳舜英 2011)。與許多溫帶地區物種有所不同，如 *M. fremontii* 種子中度胚胎休眠，經過 6~10 週的白天/晚上 5/1 °C 低溫濕層積處理後發芽率獲得明顯改善(Baskin et al. 1993)。其他物種的種子也有胚胎休眠，*M. aquifolium* 和 *M. japonica* 僅需 1~2 個月的低溫濕層積就能克服胚胎休眠(Dirr and Heuser 1987)，但 *M.*

nervosa 則需要 3~5 個月的低溫濕層積處理種子才會發芽(Rudolf 1974, Dirr and Heuser 1987)。

結論

阿里山十大功勞濫採壓力及氣候暖化造成適宜棲地縮減，將衝擊該物種將來走向滅絕。透過適當的種子儲存處理，有利於其遺傳資源的長期保存。本研究確認阿里山十大功勞種子屬於正儲存型，降低種子含水率有助於保持種子發芽率，但會延長種子發芽所需時間；常溫儲藏造成種子快速死亡，(超)低溫有利維護種子發芽率。建議阿里山十大功勞種子儲藏時，需降低種子含水率<10%，並儲放低溫中，以零下低溫最佳。

引用文獻(因篇幅有限，僅列出部分重要文獻)

甘偉松 (1977) 藥用植物學。國立中國醫藥研究所，第 273-277 頁。

呂明倫、黃靜宜 (2021) 模擬氣候變遷對臺灣受威脅藥用植物阿里山十大功勞適宜棲地之影響。台灣生物多樣性研究 23(1): 1-16。

Adegbola YU, Pérez HE. (2016) Extensive desiccation and aging stress tolerance characterize *Gaillardia pulchella* (Asteraceae) seeds. Hortscience 51(2): 159-163.

Carvalho MR, Arantes AVT, Davide AC. (2016) Physiological classification of forest seeds regarding the desiccation tolerance and storage behavior. Cerne 22(1): 85-91.

Liu U, Cossu TA, Davies RM, Forest F, Dickie JB, Breman E. (2020) Conserving orthodox seeds of globally threatened plants ex situ in the Millennium Seed Bank, Royal Botanic Gardens, Kew, UK: the status of seed collections. Biodiversity and Conservation 29: 2901-2949.

Marques A, Nijveen H, Somi C, Ligterink W, Hilhorst H. (2019) Induction of desiccation tolerance in desiccation sensitive *Citrus limon* seeds. Journal of Integrative Plant Biology 61(5): 624-638.

Pammenter NW, Berjak P. (2000) A review of recalcitrant seed physiology in relation to desiccation-tolerance mechanisms. Seed Science Research, Wallingford 9: 13-37.

南投縣眉原山臺灣山茶植物社會樹木的組成與結構

周富三^{1)*} 林文智¹⁾ 朱榮三¹⁾ 涂翔議¹⁾

緒言

臺灣山茶(*Camellia formosensis*)屬於山茶科(Theaceae)山茶屬(*Camellia*)植物，主要分布於南投縣、雲林縣、嘉義縣、高雄市、屏東縣、台東縣的中、低海拔(700-1650 m)山區。Su 等人(2007)利用數值分類方法比較臺灣野生茶與兩近緣分類群之形態特徵關係，結果顯示臺灣野生山茶在形態特徵上具有獨立性，反而茶(*C. sinensis* var. *sinensis*)與阿薩姆茶(*C. sinensis* var. *assamica*)的形態差異無法被區分出來。因此，建議臺灣野生山茶應該被處理成種的階層會比較恰當，並進一步以 DNA 序列分析來確認臺灣山茶為一獨立的種(Su et al. 2009)。

茶葉改良場曾經對野生臺灣山茶的族群展開調查工作，吳振鐸等(1970, 1972)二次針對眉原山野生茶樹形態之觀察，初次調查指出依其成葉性狀或內部構造，海拔 850 與 1550 m 處的茶樹顯然不同，推論眉原山的野生茶樹可分為 2 個品系。之後，再前往調查也指出 1400 至 1780 m 處確實屬於原始林之野生茶樹，分析其葉及花部形態確定只有一個系統，至 1100 m 以下生長之茶樹為非野生型，稱為半野生型。

何信鳳和王兩全(1984)於日月潭、鳳凰山、南鳳山進行臺灣野生茶樹之調查，並與吳振鐸等(1970, 1972)眉原山的調查結果做比較，結果顯示目前臺灣野生茶樹保持完整的地區有眉原山及南鳳山，生長環境在海拔 600-1500 m 左右之山區，南鳳山野生茶樹保護區內茶樹每公頃有 167 株，幹圍集中在 25-45 cm。

王兩全等(1990)進行眉原山 135 及 136 林班野生茶樹之調查，其分布的海拔介於 1000~1600 m 之間，密度隨著海拔增加而逐漸增加，大部分都生長在坡度適中的生育地。鄭混元等(2003)調查台東永康山野生茶樹之現況及其分布情形，結果顯示永康山野生茶樹分布於北緯 22°55'40.3"至 25.8"，121°05'49.3"至 56.2"，海拔 866 至 875 m，面積為 4.76 ha，總共標記位置 61 處，121 株茶樹，以樹高 5 m 及幹圍 15 cm 以下居多。

本研究在南投縣眉原山區臺灣山茶分布的熱點，設置一個 1 ha 的動態樣區，調查此

¹⁾ 行政院農業委員會林業試驗所六龜研究中心，844005 高雄市六龜區中興里中庄 198 號。

* 通訊作者，E-mail: fschou@tfri.gov.tw。

樣區內臺灣山茶植物社會的樹木組成與結構，了解臺灣山茶的族群結構及空間分布，記錄臺灣山茶幼苗的天然更新的現況。

方法

2021 年 3 月期間，在南投縣眉原山區內設置 1 個 100 m×100 m (1ha)的動態樣區，由 100 個 10 m×10 m 的方格所組成，每個 10 m×10 m 的方格再劃分成 4 個 5 m×5 m 的小方格。此樣區中心點位置(248694, 2666945 TW97 系統)，海拔高度 1570 m，坡向 160 度，平均坡度 20 度。樣區內胸高直徑(DBH)達 1 cm 以上的樹木，給予一個鋁牌編號，記錄樹木名稱、測量其胸高直徑、樹高、位置，依據種類與數量來計算樣區內樹木的重要值指數，做為植物社會組成與結構的基本資料，本研究之植物學名是依據 Flora of Taiwan (Huang et al. 1993-2003)。此外，統計每 3 cm 徑級內臺灣山茶及其幼苗的數量，來了解其族群結構，並標示臺灣山茶的每木位置，了解其空間分布的現況。

植物社會介量之計算採用 Wisconsin 學派常用的重要值指數(Important Value Index, IV) (Curtis and McIntoch 1950)計算，IV 值為一合成介量，即是相對密度與相對優勢度總和的平均值，以百分率表示，其計算公式為：

$IV(\text{重要值}) = Rdi \% (\text{相對密度}) + Rdoi \% (\text{相對優勢度})$

$Rdi \% (\text{相對密度}) = (\text{某一樹種之株數} / \text{樣區中所有樹種株數之總和}) \times 100$

$Rdoi \% (\text{相對優勢度}) = (\text{某一樹種之胸高斷面積} / \text{樣區中所有樹種胸高斷面積之總和}) \times 100$

結果與討論

一、臺灣山茶植物社會樹木的組成與結構

動態樣區內胸高直徑達 1 cm 以上的樹木有 1,582 株，由 39 種樹木組成，樣區的樹木組成及重要值如表 1 所示。重要值前 10 種樹木的 IV 值總和佔 87.82%，分別為臺灣山茶(37.2%)、長葉木薑子(15.42%)、青葉楠(14.07%)、紫珠葉泡花(3.84%)、杏葉石櫟(3.43%)、變葉新木薑子(2.95%)、香桂(2.97%)、假長葉楠(2.84%)、墨點櫻桃(2.58%)、烏心石(2.58%)。

表 1. 南投縣眉原山臺灣山茶植物社會樹木組成的重要值

中名	學名	株數	相對密度	優勢度	相對優勢度	IV 值
臺灣山茶	<i>Camellia formosensis</i>	957	60.49	60282.03	13.91	37.20
長葉木薑子	<i>Litsea acuminata</i>	137	8.66	96134.08	22.18	15.42
青葉楠	<i>Machilus zuihoensis</i>	81	5.12	99744.16	23.02	14.07
紫珠葉泡花	<i>Meliosma callicarpifolia</i>	72	4.55	13556.07	3.13	3.84
杏葉石櫟	<i>Lithocarpus amygdalifolius</i>	12	0.76	26459.63	6.11	3.43
變葉新木薑子	<i>Neolitsea aciculata</i>	31	1.96	17100.71	3.95	2.95
香桂	<i>Cinnamomum subavenium</i>	28	1.77	17434.54	4.02	2.90
假長葉楠	<i>Machilus japonica</i>	24	1.52	18022.78	4.16	2.84
墨點櫻桃	<i>Prunus phaeosticta</i>	47	2.97	9512.68	2.20	2.58
烏心石	<i>Michelia compressa</i>	16	1.01	18002.47	4.15	2.58
錐果櫟	<i>Cyclobalanopsis longinux</i>	7	0.44	11912.34	2.75	1.60
短尾葉石櫟	<i>Pasania harlandii</i>	32	2.02	4676.80	1.08	1.55
狗骨仔	<i>Tricalysia dubia</i>	40	2.53	2368.28	0.55	1.54
長花厚殼樹	<i>Ehretia longiflora</i>	4	0.25	10381.63	2.40	1.32
木荷	<i>Schima superba</i>	3	0.19	9518.32	2.20	1.19
鵝掌柴	<i>Schefflera octophylla</i>	16	1.01	2497.96	0.58	0.79
紅皮	<i>Styrax suberifolia</i>	3	0.19	4786.84	1.10	0.65
小花鼠刺	<i>Itea parviflora</i>	8	0.51	1807.63	0.42	0.46
杜英	<i>Elaeocarpus sylvestris</i>	7	0.44	840.12	0.19	0.32
綠樟	<i>Meliosma squamulata</i>	7	0.44	580.58	0.13	0.29
山柿	<i>Diospyros japonica</i>	3	0.19	1650.45	0.38	0.29
猴歡喜	<i>Sloanea formosana</i>	4	0.25	1107.43	0.26	0.25
細枝柃木	<i>Eurya loquaiana</i>	7	0.44	240.71	0.06	0.25
長尾尖葉櫟	<i>Castanopsis cuspidata</i>	2	0.13	1567.99	0.36	0.24
大丁黃	<i>Euonymus laxiflorus</i>	6	0.38	56.41	0.01	0.20
火燒柯	<i>Castanopsis fargesii</i>	2	0.13	1110.84	0.26	0.19
白匏子	<i>Mallotus paniculatus</i>	4	0.25	476.80	0.11	0.18
茶葉灰木	<i>Symplocos congesta</i>	5	0.32	31.01	0.01	0.16
小葉赤楠	<i>Syzygium buxifolium</i>	3	0.19	152.31	0.04	0.11
樟葉槭	<i>Acer albopurpurascens</i>	1	0.06	597.98	0.14	0.10
細葉三斗石櫟	<i>Pasania hancei</i>	3	0.19	23.16	0.01	0.10
厚皮香	<i>Ternstroemia gymnanthera</i>	1	0.06	440.93	0.10	0.08
糊櫟	<i>Ilex formosana</i>	2	0.13	22.69	0.01	0.07
小葉樹杞	<i>Ardisia quinqueгона</i>	2	0.13	12.76	0.00	0.06
薯豆	<i>Elaeocarpus japonicus</i>	1	0.06	176.63	0.04	0.05
大葉木犀	<i>Osmanthus matsumuranus</i>	1	0.06	41.83	0.01	0.04
秀柱花	<i>Eustigma oblongifolium</i>	1	0.06	23.75	0.01	0.03
九節木	<i>Psychotria rubra</i>	1	0.06	4.15	0.00	0.03
山桂花	<i>Maesa japonica</i>	1	0.06	1.33	0.00	0.03
總和(Total)		1,582	100	433358.78	100	100

在重要值前 10 名的樹種之中，除了臺灣山茶、紫珠葉泡花、墨點櫻桃、烏心石外，其餘都屬於樟科及殼斗科的樹種，顯示此森林是屬於楠櫨林帶(Su 1985)典型的植物社會。臺灣山茶(957 株)的相對密度高達 60.49%，不禁讓人懷疑是人為種植的，而其相對優勢度卻只有 13.91%，原因它是屬於小喬木。然而，樣區中屬於大喬木的樟科及殼斗科樹種，除了長葉木薑子、青葉楠的相對優勢度分別為 22.18%及 23.02%外，其餘的相對優勢度都低於 7%，擁有胸高直徑超過 100 cm 以上僅有 1 株(杏葉石櫟)。此外，1 ha 的動態樣區內僅有 1,582 株，而相同面積的高雄市南鳳山臺灣山茶植物社會則有 3,503 株(陳永修等 2018)，加上樣區內有幾株殘存的牛樟樹頭。因此，推測南投縣眉原山臺灣山茶植物社會疑似曾遭受嚴重的干擾。

二、臺灣山茶的族群結構

動態樣區內胸高直徑達 1 cm 以上的臺灣山茶有 957 株，小苗有 98 株，臺灣山茶的徑級結構分佈呈鈴形(圖 1)。徑級內的株數呈常態分佈，集中在中間徑級的同齡木(cohort)數量最多，代表族群的拓殖或更新僅在過去某一狹小時段出現，呈現同齡林(even-aged stand) (Bongers et al. 1988)。

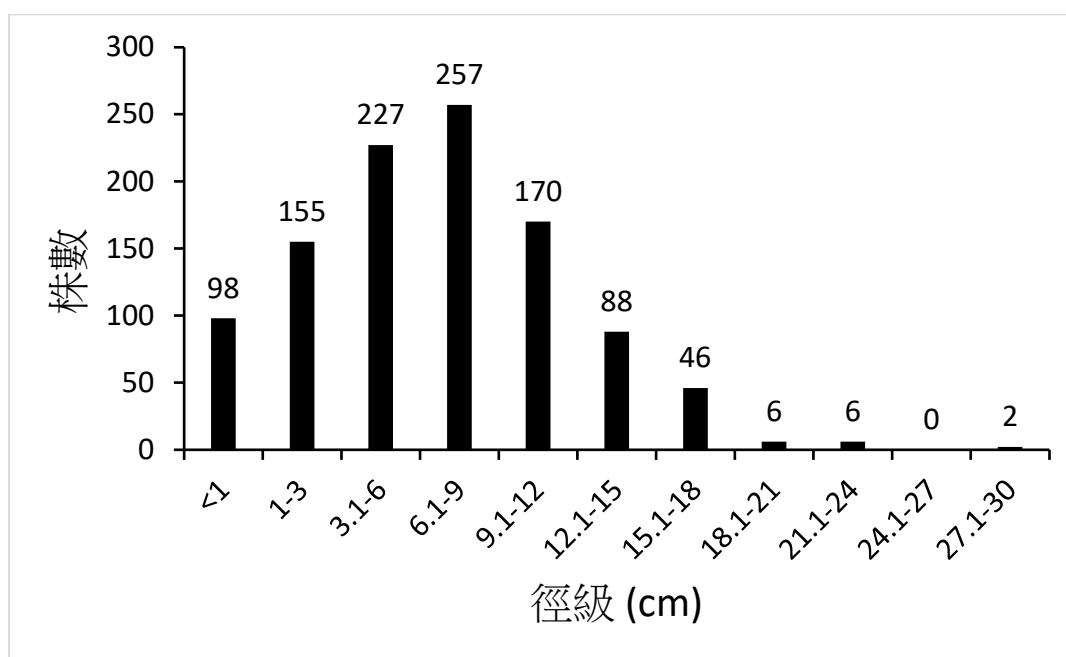


圖 1. 南投縣眉原山臺灣山茶徑級分佈圖

胸高直徑超過 20 cm 的臺灣山茶有 11 株，最大者為 28.1 cm，樹高 12 m。史稗等(1972)於眉原山東面海拔 1480 m 處，發現一株距地面 20cm 處之主幹直徑為 40 × 48 cm，樹高 14.8 m，主幹距地面 2 m 以上部分已枯死，主幹中心部遭天牛蛀食腐爛成孔，取自

距地面 1.6 m 處主幹橫斷切面，長、短邊直徑為 30.5×24 cm，推算其年輪約為 195 年左右。因此，推算本調查樣區內最大的臺灣山茶年齡約在 200 年左右。雖然臺灣山茶更新繁殖的補充相當良好，但植株要存活至 200 年以上的茶樹並不容易，主要原因是茶樹易受病蟲的危害。

三、臺灣山茶的空間分布

在本研究的調查過程，發現此林分下層曾遭受干擾的跡象，臺灣山茶的密度特別高(957 株/ha)，彼此的間距相當一致且排列相當整齊，疑似早期人工栽種。根據吳振鐸等(1970，1972)的調查結果，眉原山確實有臺灣山茶的野生族群。以胸高直徑來推算臺灣山茶的樹齡，胸徑 18 cm 以上的臺灣山茶樹齡都超過 100 年，胸徑 6 cm 以下的臺灣山茶是天然更新的幼齡樹。在動態樣區外，有一株胸高直徑 13.5 cm 的臺灣山茶樹，遭受病蟲害而呈現枯立狀態，取其距地面 1.3 m 主幹的橫斷切面，推算其年輪約為 75~80 年左右，即介於民國 30 至 40 年間，推測胸徑 9~18 cm 的臺灣山茶是在日據時期所栽種的。因此，特別製作胸徑 9~18 cm 的臺灣山茶空間分佈(圖 2)，逢機選取 20 株臺灣山茶，計算與其最鄰近臺灣山茶的距離，結果顯示 9~18 cm 的臺灣山茶彼此最近的平均距離是 2.56 ± 1.35 m。

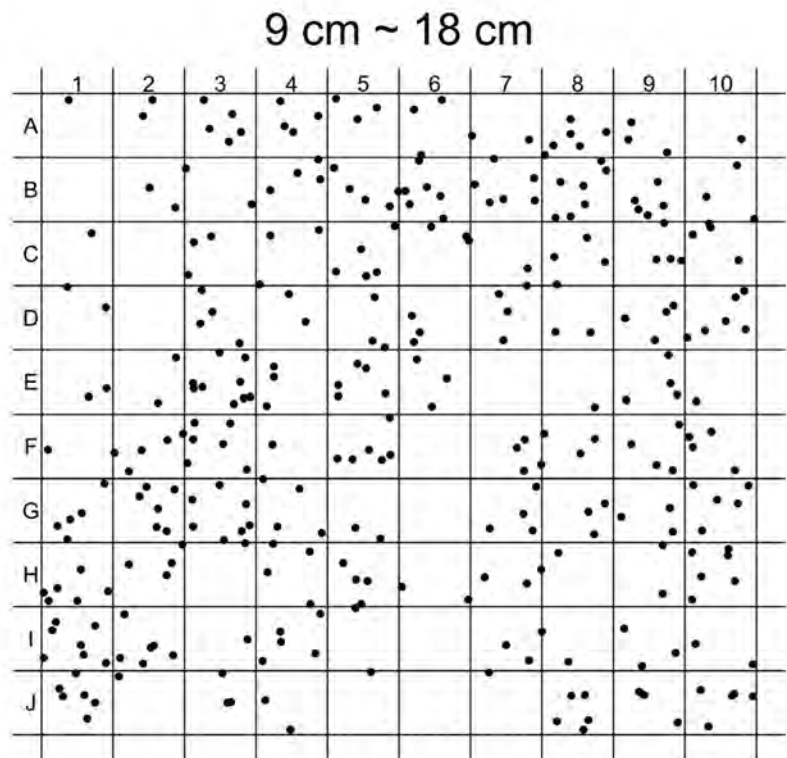


圖 2. 南投縣眉原山臺灣山茶 9~18 cm 徑級的樹木分佈圖

引用文獻

- 王兩全、何信鳳、陳右人、馮鑑淮、邱再發 (1990) 台灣野生茶樹種原保存及利用 I.台灣眉原山野生茶樹調查。台灣茶葉研究彙報 9: 1-6。
- 史釋、陳永盛、楊守國、石振源、廖增祿 (1972) 臺灣南投野生茶樹之調查。臺灣農業季刊 8: 193-1207。
- 何信鳳、王兩全 (1984) 台灣野生茶樹之蒐集。台灣茶葉研究彙報 3: 133-155。
- 吳振鐸、賈雲翔、馮鑑淮、蔡俊明 (1970) 臺灣眉原山野生茶樹形態之觀察(I)。臺灣農業季刊 6: 1-13。
- 吳振鐸、馮鑑淮、蔡俊明 (1972) 臺灣眉原山野生茶樹形態之觀察(II)。臺灣農業季刊 8:133-160。
- 陳永修、林文智、周富三 (2018) 臺灣山茶植物社會樹木的組成與結構。2018 森林資源保育與利用研討會。
- 鄭混元、范宏杰、陳信言、陳惠藏 (2003) 臺東永康山野生茶樹調查及復育與製茶品質之研究。台灣茶葉研究彙報 22: 1-16。
- Curtis JT, McIntosh RP. (1950) The inter-relations of certain analytic and synthetic phytosociological characters. Ecology 31: 434-55.
- Bonger F, Popma J, Castillo JM, Catabias J. (1988) Structure and floristic composition of the lowland rain forest of Los Tuxtlas, Mexico. Vegetatio 74: 55-88.
- Huang TC (Chief Editor) (1993-2000) Flora of Taiwan, 2nd ed. Vols. 1-5. Editorial Committee, Department of Botany, National Taiwan University, Taipei, Taiwan.
- Su HJ. (1985) Studies on the climate and vegetation types of the natural forest in Taiwan. (III) A scheme of geographical climatic regions. Quart. Journ. Chin. For. 18(3): 33-44.
- Su MH, Tsou CH, Hsieh CF. (2007) Morphological Comparisons of Taiwan Native Wild Tea Plant (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze forma *formosensis* Kitamura) and Two Closely Related Taxa Using Numerical Methods. Taiwania 52(1): 70-83.
- Su MH, Hsieh CF, Tsou CH. (2009) The confirmation of *Camellia formosensis* (Theaceae) as an independent species based on DNA sequence analyses. Botanical Studies 50: 477-485.

臺灣 2 種蜜蜂蜜粉源植物調查

范義彬^{1)*} 王智聰²⁾

緒言

蜜蜂產品主要有蜂蜜、蜂王漿、蜂花粉、蜂蠟、蜂毒、蜂膠及蜂幼蟲。蜜蜂產品用途廣泛，經濟價值高，國內外需要量極大。臺灣有 40 多種農產品仰賴蜜蜂授粉，整體蜂產品，例如：花粉、蜂蜜、蜂王漿、蜂膠、蜂蠟等，產值達新臺幣 23 億元，蜜蜂授粉對農作物生產之貢獻值更是高達 200 億至 300 億元新臺幣。法國公布的研究報告顯示，蜜蜂和其他傳遞花粉的昆蟲對人類極具貢獻，幫助水果、蔬菜、油脂作物、咖啡樹、可可樹和香料等作物成長，每年貢獻的價值相當於 2200 億美元(逾台幣 7 兆元)。(陳楷廷和張羽萱 2017)

行政院農業委員會(簡稱農委會)105 年制定「發展適地林下經濟」之新農業政策，由農委會林務局擔任政策推動之幕僚機關，其目的主要是在振興國內林產業時，亦能帶動山村及原住民部落之綠色經濟，發揮森林生態系多元服務價值。為推動林下經濟產業，並於 108 年 2 月 14 日修正發布非都市土地使用管制規則，新增「林下經濟經營使用」之林業使用容許使用細目，同年 4 月 18 日發布施行「林下經濟經營使用審查作業要點」，通過「段木香菇及木耳」、「臺灣金線連」與「森林蜂產品」等三項森林副產物之經營申請。

「林下經濟」中之「森林蜂產品」成為森林經營、社區林業、原住民部落經濟的重要來源，森林裡蜜源植物多樣，產出的森林蜜也較為多元、有特色。因為近幾年平地龍眼、荔枝的花蜜受氣候變遷影響而減少，森林養蜂更成為受矚目的項目。而臺灣蜜蜂產業最大的生產者就是義大利蜂(*Apis mellifera linguistica*)和東方蜂(*Apis cerana*)。蜜粉源植物為蜜源植物、粉源植物和蜜粉源植物的統稱，是蜜蜂食物的主要來源。

雖然人類利用蜜蜂的歷史久遠，有關蜜蜂的蜜粉源植物論述不少，中國的柯賢港(1992)蜜粉源植物學、臺灣的相關資訊有吳輝虎(1995)台灣主要蜜源植物、徐培修等人(2019)生態廊道蜜粉源植物圖鑑等，但是詳細的科學調查資料並不多，這是本案發想的

¹⁾ 行政院農業委員會林業試驗所六龜研究中心，844005 高雄市六龜區中興里中庄 198 號。

* 通訊作者，E-mail: ybfan@tfri.gov.tw。

²⁾ 蜂神有機養蜂場，555007 南投縣魚池鄉東池村文武巷 13 號。

動機和目標。

材料與方法

一、蜜蜂訪花植物調查

是否所有的開花植物都會被蜜蜂所利用？蜜蜂對開花植物有何種的選擇性？為了瞭解這些問題，針對臺灣 2 種蜜蜂義大利蜂(*Apis mellifera lingustica*)和東方蜂(*Apis cerana*)，自 2007-2021 年在台北、新北、宜蘭等 12 縣市 33 個地區開花植物開花時調查、記錄蜜蜂訪花利用的蜜粉源植物種類。

二、蜜蜂訪花植物蜜、粉源利用調查

運用蜜蜂訪花的生態照片，確認蜜蜂在花上的行為是採蜜，還是採粉。

結果與討論

一、蜜蜂訪花植物調查

(一)自 2007-2021 年調查累計 1343 張生態照片，鑑定出義大利蜂 262 筆、東方蜂 59 筆，共計 321 筆訪花紀錄。記錄了開花植物 66 科 151 種為 2 種蜜蜂的蜜粉源植物(表 1)，其中單子葉植物 7 科 10 種，雙子葉植物 59 科 140 種。雙子葉植物中無瓣花植物有 3 科 4 種、離瓣花植物有 6 科 15 種、合瓣花植物有 51 科 122 種；以菊科 19 種最多，其次為薔薇科 11 種、桃金娘科 7 種，樟科、豆科、唇形花科為 6 種，大戟科、芸香科皆 5 種，其餘科種類低於 5 種以下。

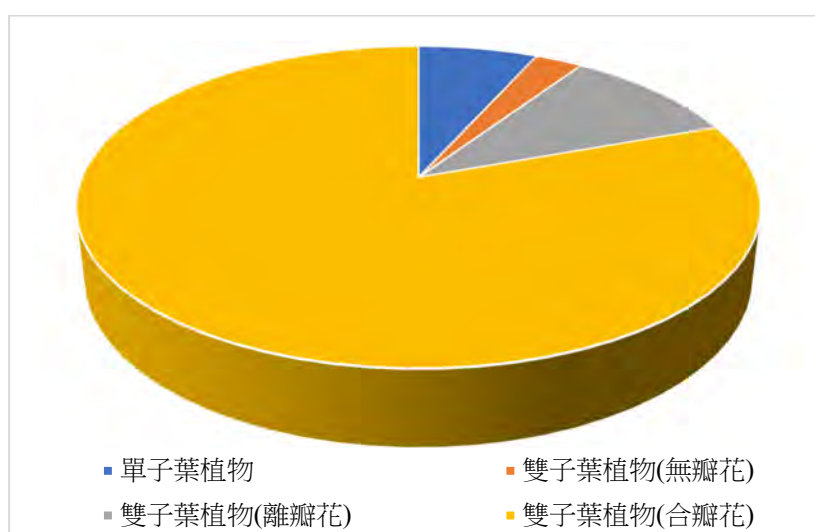


圖1. 2種蜜蜂訪花植物分類群比例圖



圖2. 2種蜜蜂蜜粉源植物分類群種類數

(二)蜜蜂粉源植物除了菊科、薔薇科、桃金娘科、豆科、唇形花科種類數量較多，在其它植物同科種類中的選擇上並不顯著，例如木蘭科中僅有蘭嶼烏心石、殼斗科的三斗石櫟、柿樹科的楓港柿、金縷梅科的臺灣瑞木、槭樹科的臺灣三角楓、藤黃科的福木、楊梅科的楊梅等等，並非均勻、普遍在同科同屬的植物中。

(三)蜜蜂訪花利用的粉源植物有地域的差異，例如：殼斗科的三斗石櫟在宜蘭福山植物園有利用的記錄，但是在其它地方，如南投蓮華池、高雄扇平卻沒有任何記錄；還有紫草科的厚殼樹，在嘉義、高雄左營，蜜蜂的利用程度非常高，但是在高雄扇平的厚殼樹卻沒有發現一隻蜜蜂；還有薔薇科的墨點櫻桃，在南投蓮華池有少數記錄，但是在高雄扇平的墨點櫻桃卻沒有發現一隻蜜蜂。

(四)蜜蜂訪花利用的粉源植物有花期的差異，通常粉源植物在始花期或盛花期，蜜蜂利用的數量和頻度最高。

(五)蜜蜂訪花利用的粉源植物有頻度和數量的差異，有蜜蜂群聚訪花的情形，如果定義單一植株、或一叢上同時有超過 10 蜜蜂訪花，視為蜜蜂群聚訪花，這會造成嗡嗡的聲響，有這種現象的有：棕櫚科的山棕、黃椰子，五加科的鴨腳木(江某)，楝科的澳洲紅楝，樟科的陰香，大戟科的烏桕，無患子科的龍眼、無患子，紫草科的厚殼樹，豆科的菲律賓紫檀、降香黃檀，藤黃科的福木，玉蕊科的穗花棋盤腳，柿樹科的楓港柿，錦葵科的非洲梧桐，漆樹科的羅氏鹽膚木，榆科的沙朴、臺灣欖。

(六)蜂蜜訪花利用的粉源植物有很多是偶發性的情形，而不是常態性的，例如：金絲桃科的瓊崖海棠，錦葵科的木芙蓉，楝科的苦楝，夾竹桃科的酸藤，殼斗科的三斗石櫟，紫草科的假酸醬，茜草科的阿拉比卡咖啡、賴比瑞亞咖啡，菊科的銀膠菊，薔薇科的臺灣山枇杷、墨點櫻桃，樟科的紅楠、大葉楠。

二、蜜蜂訪花植物蜜、粉源利用調查

(一)本研究記錄臺灣 2 種蜂蜜粉源植物為 66 科 149 種，義大利蜂利用蜜粉源植物為 27 科 71 種，蜜源植物 39 科 54 種、粉源植物 18 科 27 種；東方蜂利用蜜粉源植物為 8 科 11 種，蜜源植物 12 科 13 種、粉源植物 8 科 8 種。

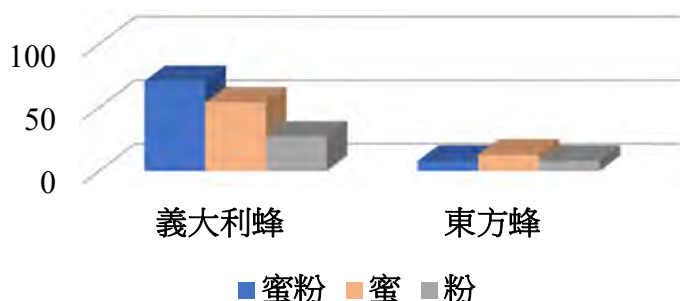


圖3. 2種蜜蜂蜜粉源植物種類數

表1.臺灣2種蜜蜂蜜粉源植物名錄

Poaceae禾本科 <i>Oryza sativa</i> 水稻 <i>Zea mays</i> 玉米	Lauraceae樟科 <i>Cinnamomum burmannii</i> 陰香 <i>Machilus japonica</i> 大葉楠 <i>Machilus thunbergii</i> 紅楠 <i>Litsea cubeba</i> 山胡椒 <i>Litsea acuminata</i> 長葉木薑子 <i>Litsea glutinosa</i> 潺槁樹	Rutaceae芸香科 <i>Melicope semecarpifolia</i> 三刈葉 <i>Chalcas paniculata</i> 月橘 <i>Citrus maxima</i> 柚子 <i>Citrus depressa</i> 台灣香檬 <i>Zanthoxylum ailanthoides</i> 食茱萸	Fabaceae豆科 <i>Trifolium repens</i> 白花苜蓿 <i>Pterocarpus vidalianus</i> 菲律賓紫檀 <i>Mucuna gigantea</i> subsp. <i>tashiroi</i> 大血藤 <i>Dalbergia odorifera</i> 降香黃檀 <i>Mimosa pudica</i> 含羞草 <i>Calliandra haematocephala</i> 美洲合歡	Tropaeolaceae金蓮花科 <i>Tropaeolum majus</i> 金蓮花
Agavaceae龍舌蘭科 <i>Agave attenuata</i> 皇冠龍舌蘭	Saxifragaceae虎耳草科 <i>Deutzia pulchra</i> 大葉凌波 <i>Pileostegia viburnoides</i> 青棉花	Sapindaceae無患子科 <i>Sapindus mukorossi</i> 無患子 <i>Dimocarpus longan</i> 龍眼 <i>Koeleruteria elegans</i> 臺灣樂樹 <i>Pometia pinnata</i> 台東龍眼	Ericaceae杜鵑花科 <i>Rhododendron</i> sp. 杜鵑花	Malvaceae錦葵科 <i>Dombeya wallichii</i> 非洲梧桐 <i>Hibiscus mutabilis</i> 木芙蓉
Polygonaceae蓼科 <i>Fagopyrum esculentum</i> 蕎麥	Rosaceae薔薇科 <i>Eriobotrya deflexa</i> 台灣山枇杷 <i>Rhaphiolepis indica</i> var. <i>tashiroi</i> 田代氏石斑木 <i>Pyracantha koidzumii</i> 台東火刺木	Elaeocarpaceae杜英科 <i>Sloanea formosana</i> 猴歡喜 <i>Elaeocarpus serratus</i> 錫蘭橄欖	Paeoniaceae毛茛科 <i>Paeonia</i> × <i>suffruticosa</i> 牡丹	Cactaceae仙人掌科 <i>Opuntia tuna</i> 金武扇仙人掌
Orchidaceae蘭科 <i>Spiranthes sinensis</i> 綫草	Prunaceae櫻桃科 <i>Prunus persica</i> 桃 <i>Prunus persica</i> 水蜜桃 <i>Prunus mume</i> 梅 <i>Prunus phaeosticta</i> 墨點櫻桃 <i>Prunus serrulata</i> 櫻	Rubiaceae茜草科 <i>Wendlandia uvariifolia</i> 水錦樹 <i>Cephalanthus naucleoides</i> 風箱樹 <i>Coffea arabica</i> 阿拉比卡咖啡 <i>Coffea liberica</i> 賴比瑞亞咖啡	Combretaceae使君子科 <i>Combretum indicum</i> 使君子 <i>Combretum constrictum</i> 紅球風車子(泰國仙丹)	Pittosporaceae海桐科 <i>Pittosporum tobira</i> 海桐 <i>Pittosporum pentandrum</i> 台灣海桐
Amoryllidaceae石蒜科 <i>Allium fistulosum</i> 蔥	Scrophulariaceae玄參科 <i>Antirrhinum majus</i> 金魚草	Scrophulariaceae玄參科 <i>Antirrhinum majus</i> 金魚草	Magnoliaceae木蘭科 <i>Michelia compressa</i> var. <i>lanyuensis</i> 蘭嶼烏心石	Pittosporaceae山茶科 <i>Gordonia axillaris</i> 大頭茶 <i>Camellia caudata</i> 尾葉山茶 <i>Camellia tenuifolia</i> 細葉山茶 <i>Camellia japonica</i> 山茶
Palmae棕櫚科 <i>Arenga tremula</i> 山棕 <i>Dypsis lutescens</i> 黃椰子 <i>Roystonea regia</i> 大王椰子	Euphorbiaceae大戟科 <i>Aleurites montana</i> 廣東油桐 <i>Euphorbia formosana</i> 大甲草 <i>Sapium sebiferum</i> 烏柏 <i>Sapium discolor</i> 白柏 <i>Mallotus philippinensis</i> 粗糠柴 <i>Drypetes littoralis</i> 鐵色	Fagaceae殼斗科 <i>Lithocarpus hancei</i> 三斗石櫟	Goodeniaceae草海桐科 <i>Scaevola taccada</i> 草海桐	Anacardiaceae漆樹科 <i>Rhus javanica</i> 羅氏鹽膚木 <i>Pistacia chinensis</i> 黃連木
Musaceae芭蕉科 <i>Musa</i> × <i>paradisica</i> 香蕉	Styracaceae安息香科 <i>Syrax formosana</i> 烏皮九芎	Moraceae桑科 <i>Morus australis</i> 小葉桑	Bignoniaceae紫葳科 <i>Handroanthus chrysotrichus</i> 黃花風鈴木	Apocynaceae夾竹桃科 <i>Ecdysanthera rosea</i> 酸藤
Oxalidaceae酢漿草科 <i>Oxalis corymbosa</i> 紫花酢漿草	Meliaceae楝科 <i>Melia azedarach</i> 苦楝 <i>Toona ciliata</i> 澳洲紅棟	Bombacaceae木棉科 <i>Bombax ceiba</i> 木棉	Convolvulaceae旋花科 <i>Ipomoea cairica</i> 楓葉牽牛 <i>Ipomoea pes-caprae</i> 馬鞍藤	Solanaceae茄科 <i>Nicotiana tabacum</i> 菸草 <i>Solanum erianthum</i> 山煙草
Lythraceae千屈菜科 <i>Lagerstroemia subcostata</i> 九芎 <i>Lawsonia inermis</i> 指甲花	Hypericaceae金絲桃科 <i>Hypericum monogynum</i> 金絲桃 <i>Calophyllum inophyllum</i> 瓊崖海棠	Leeaceae火筒樹科 <i>Leea guineensis</i> 火筒樹	Campanulaceae桔梗科 <i>Lobelia erinus</i> 翠蝶花 <i>Campanula medium</i> 風鈴草	Gesneriaceae苦苣苔科 <i>Aeschynanthus acuminatus</i> 長果藤
Araliaceae五加科 <i>Aralia bipinnata</i> 裡白檉木 <i>Tetrapanax papyrifer</i> 蕹草 <i>Schefflera octophylla</i> 江蕨(鴨腳木)	Boraginaceae紫草科 <i>Ehretia acuminata</i> 厚殼樹 <i>Tournefortia argentea</i> 白水木 <i>Trichodesma calycosum</i> 假酸醬	Hamamelidaceae金縷梅科 <i>Corylopsis stenopetala</i> 台灣瑞木	Clusiaceae藤黃科 <i>Garcinia subelliptica</i> 福木	Vitaceae葡萄科 <i>Cayratia japonica</i> 虎葛(烏蔽梅)
Asteraceae菊科 <i>Cirsium japonicum</i> 南國小菊 <i>Cirsium brevicaulis</i> 島菊 <i>Ageratum houstonianum</i> 紫花藿香蓓 <i>Vernonia amygdalina</i> 扁桃葉斑鳩菊(南非葉) <i>Bidens pilosa</i> var. <i>radiata</i> 大花咸豐草 <i>Bidens pilosa</i> 鬼針草 <i>Chromolaena odorata</i> 香澤蘭 <i>Chrysanthemum pacificum</i> 鐵菊 <i>Gazania rigens</i> 動章菊 <i>Wedelia trilobata</i> 南美鵝掌菊 <i>Cosmos bipinnatus</i> 大波斯菊 <i>Coreopsis sulphurea</i> 黃波斯菊 <i>Dahlia pinnata</i> 大理菊 <i>Xerochrysum bracteatum</i> 麥稈菊 <i>Mikania micrantha</i> 小花蔓澤蘭 <i>Zinnia elegans</i> 百日菊 <i>Chrysanthemum coronarium</i> 茼蒿 <i>Helianthus annuus</i> 向日葵 <i>Parthenium hysterophorus</i> 銀膠菊	Verbenaceae馬鞭草科 <i>Duranta repens</i> 金露花 <i>Vitex negundo</i> 黃荆	Myrtaceae桃金娘科 <i>Melaleuca leucadendra</i> 白千層 <i>Callistemon rigidus</i> 紅瓶刷子樹 <i>Syzygium jambos</i> 香果 <i>Psidium guajava</i> 芭樂 <i>Syzygium samarangense</i> 蓮霧 <i>Syzygium formosanum</i> 台灣赤楠	Lecythidaceae玉蕊科 <i>Barringtonia racemosa</i> 穗花棋盤腳	Solanaceae茄科 <i>Nicotiana glauca</i> 菸草 <i>Solanum elaeagnifolium</i> 山煙草 <i>Gesneriaceae苦苣苔科 <i>Aeschynanthus acuminatus</i> 長果藤</i>

- (二)義大利蜂利用蜜粉源植物的科別和種類、訪花的頻度遠多於東方蜂，而且對外來引進種、農業園藝作物的利用多於東方蜂，由此驗證生產蜂蜜等蜂產品的效能，西洋蜂較高。
- (三)比較重要的粉源植物有：禾本科的水稻、玉米，大戟科的烏桕(雄花)、粗糠柴(雄花)，桑科的小葉桑(雄花)，楊梅科的楊梅(雄花)，漆樹科的羅氏鹽膚木。木樨科的光臘樹，則是一種非常重要、特殊的粉源植物，依據第二作者多年的經驗和觀察，義大利蜂採集光臘樹花粉的時間在 04:00~07:00，是否跟花粉成熟、花藥開放的時間有關，值得進一步研究。
- (四)蜜蜂利用蜜粉源植物有地域性的差別，依據第二作者常年的觀察，在中部一帶(南投蓮華池)，義大利蜂非常喜歡殼斗科的赤皮、火燒柯、小西氏石櫟，樟科的土肉桂、香楠，木樨科的光臘樹，杜英科的杜英，這些樹種在其它地方利用率卻不高。
- (五)官方推薦的 10 種森林養蜂蜜粉源植物如下：台灣櫟、鴨腳木、烏桕、桉木、森氏紅淡比、酸藤、桉樹、白千層、厚皮香、鹽膚木，這些樹種在本調查中，酸藤為偶發性的蜜粉源植物，厚皮香、森氏紅淡比未有任何蜜蜂訪花紀錄。

結論

「林下經濟」森林養蜂是目前林業政策重要的目標和方向，由本研究的結果和成果，如何利用本土性、原生種來發展林下養蜂，提出以下幾點建議：

- 一、建立完整、持續的森林植物開花物候監測制度與資料，不論是農業養蜂或森林養蜂，以及蜜蜂產品都受到蜜粉源植物開花豐欠度所影響，因此完整的蜜粉源植物開花物候監測資料是森林養蜂重要的基礎和依據，如何建立完整、持續的森林植物開花物候監測制度與資料，是急需努力的目標。
- 二、建立不同地區特有的森林蜜粉源植物，從而發展不同特色的森林蜂產品，森林蜜粉源植物的種類會因為環境、氣候、地形等自然因素所影響，在發展地方性的森林養蜂產業，必須事先調查、瞭解該地區的蜜粉源植物，消極性是避免森林養蜂的失敗，積極性的是確保森林養蜂的來源與產量、建立有特色的森林蜂產品。
- 三、依據本調查的結果建議臺灣森林養蜂的原生蜜粉源植物推薦樹種如下：棕櫚科的山棕、五加科的鴨腳木(江某)、大戟科的烏桕、無患子科的無患子、紫草科的厚殼樹、藤黃科的福木、玉蕊科的穗花棋盤腳、柿樹科的楓港柿、漆樹科的羅氏鹽膚木、木樨科的光臘樹、榆科的沙朴、臺灣櫟、千屈菜科的九芎。

筆者等投入 10 多年的觀察記錄臺灣 2 種蜜蜂利用開花植物的資料，希望藉此拋磚引玉，並對林下經濟森林養蜂的推動有所助益和貢獻。

致謝

本文之所以能夠完成，特別感謝台大昆蟲研究所故榮譽教授何鎧光，第一作者在修業台大昆蟲研究所及撰寫博士論文時的指導，他是臺灣養蜂界的泰斗；還有感謝本所育林組吳濟琛先生、蓮華池研究中心林仁瀚先生、六龜研究中心志工謝春萬老師等提供寶貴的蜜蜂野外觀察、生態照片，特此表達最誠意的感謝。

引用文獻

柯賢港 (1992) 蜜粉源植物學。中國農業出版社出版。226 頁。

吳輝虎 (1995) 台灣主要蜜源植物。蠶蜂業專訊革新第 14 號。行政院農業委員會。

陳楷廷、張羽萱 (2017) 全球蜂產業問題及臺灣蜂產業發展現況。林下經濟 53-57 頁。

陳裕文 (2018) 台灣養蜂面臨危機，林地養蜂能成為解方？優缺點與政策建議。國立宜蘭大學。

徐培修、顏君靜、吳姿嫻 (2019) 生態廊道蜜粉源植物圖鑑。苗栗農業改良場出版。223 頁。

天仙果扦插及種子繁殖之初探

陳芬蕙^{1)*} 蔡政亨¹⁾ 許俊凱²⁾

緒言

天仙果(*Ficus formosana*)為桑科榕屬之多年生常綠性灌木，是臺灣原生植物，葉形多變，葉常為倒披針形至長橢圓形，葉兩面無毛常有小白斑點。其隱花果為雌雄異株，卵形，徑 6~15 mm，卵形瘦果包於球形的隱花果內，成熟時呈橘紅色至紫黑色，常見俗名有羊奶頭、羊乳埔、臺灣榕等。根據文獻資料顯示，日治時代大正 6 年(1917 年)因寒害所造成的饑荒，所以統治當局亟思尋找救荒植物之替代的可能性，因此任職於臺灣總督府殖產局農務課之技手島田彌市(Shimada Yaichi)在 1921 年調查後記載完備針對泰雅單一民族所記錄之民族植物誌「臺灣タイヤル蕃族利用植物」，當中在救荒植物類別提到天仙果成熟的果實可以生食。到了 1945 年二戰末期因戰時糧食之需要，在島田彌市的指導下臺灣植物同好會著「臺灣野生食用植物圖譜」，蒐羅臺灣百種常見的野生食用植物，當中記載天仙果食用部位為黑色之成熟果實，多汁味甜適合生食，可知其食用歷史相當悠久。

根據藥用植物學或原色臺灣藥用植物圖鑑指出，天仙果全株皆可使用且全年可採收，其根部具有特殊香氣，在民間常採集做為藥膳燉補的食材。近年研究發現天仙果的根部及莖部之萃取物具有抗發炎活性、降血壓活性、毒殺癌細胞等功效，適於開發相關健康食品的潛力(張誌益 2019)。

天仙果是雌雄異株的植物，陳宣文和王才義(2006)報導茄苳(*Bisxhafia javanica*)扦插的插穗發根率主要會受性別因子的影響而有所差異，且雌株顯著高於雄株，Dunn 等人(1996)指出黃連木(*Pistacia chinensis*)插穗發根能力與性別有關，Mitchell (1997)研究中國東北紅豆杉也發現，雌株的扦插苗發根率則優於雄株，由此可知同種植物間不同性別是影響扦插繁殖的因子之一。此外，植物在扦插繁殖時，穗條的發育會受到許多因素的影響，包括插穗年齡、枝條取穗部位、扦插時間、植物生長調節劑使用與否、扦插培育期長短、扦插介質及扦插方法等影響(柯天雄等 2006)，不同品種間的差異性也可能影響扦

¹⁾ 行政院農業委員會林業試驗所育林組，100051 臺北市中正區南海路 53 號。

* 通訊作者，E-mail: fhchen@tfri.gov.tw。

²⁾ 行政院農業委員會林業試驗所蓮華池研究中心，555002 南投縣魚池鄉五城村華龍巷 43 號。

插後之發根與成活(陳國峰 2000)。在蘇炳鐸(2008)對香椿(*Cedrela sinensis*)的扦插繁殖研究中觀察不同徑級大小的插穗，發現插穗直徑大小、扦插介質及扦插時間，皆影響其插穗成活率及生育品質。

天仙果原生於林下，具有發展為林下經濟作物之潛力，因此須了解其最佳育苗體系以做為未來推廣時之參考。花蓮農改場的研究中提到，天仙果之繁殖方法以利用種子播種為主，亦可使用扦插法繁殖，選擇通風良好、潮濕冷涼且日照量低之栽培環境，並以排水良好之壤土為佳，於定植後約 2 年以上，可進行採收(張同吳 2005)。由於野外天仙果植株常有採集之壓力，近年來野生植株漸少且通常以剩細小植株居多。坊間有野生天仙果之風味優於栽培植株，其中又以雌株為佳等說法。若為保留天仙果之優良性狀，通常建議採用無性繁殖法，但種子苗可短期內大量繁殖且可能有機會長成較大根系。因此本研究針對天仙果種子之發芽率、不同性別及插穗徑級大小之扦插情形來做初步探討。

試驗方法

一、天仙果植株選擇

2020 年 9 月採集自南投蓮華池試驗林地之野生天仙果健康植株共 16 株，雄雌植株各 8 株，於野外自植株基部以修枝剪截斷並做初步分級，用紙巾保濕冷藏，其中 8 株雌株另外收集成熟果實進行種子發芽試驗。

二、天仙果種子發芽及扦插

將 8 棵雌株之果實，以解剖針挑出飽滿的種子後，以泥炭土裝於穴盤，每個單株各播種 24 顆，2020 年 9 月 15 日完成放置於溫室中，並且每 7 天進行發芽數量之調查，持續 2 個月。

採集之天仙果植株剪成長度約 8 cm 的插穗，測量直徑後，依徑級將穗條分成 < 3 mm、3-6 mm 以及 > 6 mm 共 3 等級，每等級各選 10 個穗條進行扦插，每株共 30 枝插穗，介質以泥炭土：珍珠石：蛭石=2：1：1 之比例混合調配裝於 2.5 吋軟盆，於 2020 年 9 月中扦插後放置溫室。先前經預試驗發現天仙果扦插約 1 個月開始發根，因此以 1、1.5 及 2 個月時間間隔分別進行發根成活率調查，並於溫室架設 HOBO 溫濕度計(U23-001)監測試驗期間之微環境數據變化。

三、統計分析

試驗調查數據採用 SPSS 套裝軟體的 Two way ANOVA 來分析不同插穗徑級、植株性別之扦插成活率是否有差異，並以 Tukey HSD 進行事後比較(Post hoc Test)，種子發

芽率以無母數檢定的多組獨立樣本(Kruskal-Wallis Test)來分析差異。

結果與討論

一、溫室微環境監測

根據溫濕度儀器收集之數據顯示，試驗期間溫室內部平均氣溫 24.1℃，平均濕度 76.5%，為一般適合扦插之環境條件。

二、天仙果種子發芽率

根據第 1 週的調查紀錄顯示，整體發芽率僅 27%，苗高約 0.7 cm；到了第 2 週整體發芽率達 54%，半數以上單株發芽率過半(圖 1)；第 3 週之後整體發芽率已達 80%，苗高約 1 cm，有 6 棵單株發芽率達 80%以上；第 6 週之後整體發芽率無顯著變化，最後第 7 週整體平均達 92%，苗高約 2.2 cm；原本發芽率較低之單株(天仙果 20)在第 5 週才達 50%，到了 7 週只達 79%，經統計分析單株間無差異。大致上來說天仙果種子發芽率高且容易播種繁殖，雖然已採集成熟之紫黑色果實，單株種子發芽率在前三周仍有差異，但是 1 個月後能有 8 成以上之發芽率。因此採用種子播種繁殖並無太大的困難，可為需要大量繁殖時之主要繁殖方式，之後可將穴盤內發芽的種子苗移盆，並施以適當的肥料進行後續的苗木健化管理。

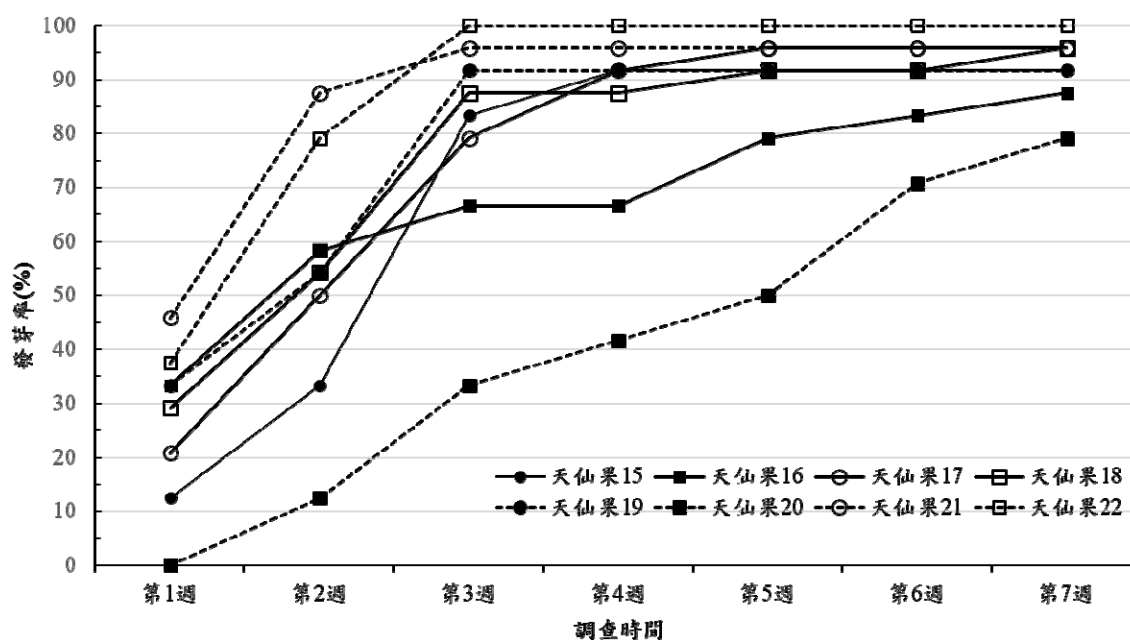


圖 1. 不同天仙果單株種子之發芽率。(p-value=0.429)

三、天仙果扦插發根存活率

分析結果顯示在不同徑級及不同性別之間插穗成活率有顯著差異(表 1)。在不同徑級比較中，當插穗徑級 $< 3\text{ mm}$ 時，成活率會隨培育期拉長而下降至 40%以下，且發根存活率顯著低於徑級 6 mm 以上的插穗；插穗徑級在 $< 3\text{ mm}$ 與 3-6 mm 以及 3-6 mm 與 $> 6\text{ mm}$ 之間成活率差異則不顯著，整體來說插穗徑級越大則存活率越高。若各插穗徑級分性別來做比較發現，雄株插穗成活率在每個徑級都有較高的趨勢，且一樣呈現徑級越大則存活率越高的趨勢。若不分徑級之下，發根存活率會隨培育期拉長下降至 50%左右，且雄株的發根存活率顯著高於雌株，同樣發根存活率會隨培育期拉長有下降之趨勢(表 1)，Dunn 等人(1996)亦報導黃連木不同性別插穗扦插發根率有雄株大於雌株之差異，但並無探討可能造成差異的原因。

Hansen (1986)提到插穗在採穗株枝條原著生的位置，是插穗不定根形成的重要因子之一，此外 Mesen 等人(1997)認為發根率和單株、節間位置、插穗長度、插穗直徑都有相關，他們發現 *Cordia alliodora* 其發根率則是由基部向頂遞減，也就顯示其發根率是和插穗的生物量(長度、直徑)有關。陳正豐(1989)在臺灣杉(*Taiwania cryptomerioides*)扦插的研究中，同樣也呈現插穗莖段之下段較上段為高的趨勢。由本試驗初步發現天仙果的插穗直徑大小、扦插培育期長短及植株性別會顯著影響其穗條的成活率，因插穗發根後即開始抽嫩葉，可由抽葉情形來判斷其插穗是否存活。

表 1. 天仙果不同插穗徑級及性別之成活率

插穗徑級	性別	插穗成活率(%)		
		10/12	10/29	11/17*
$< 3\text{ mm}$	雄+雌	58±10	40±13	35±30 ^a
	雄	69±10	54±17	45±35
	雌	48±9	26±8	24±23
3-6 mm	雄+雌	76±13	61±12	47±33 ^{ab}
	雄	80±8	74±9	58±37
	雌	61±15	49±12	36±27
$> 6\text{ mm}$	雄+雌	75±11	74±11	66±30 ^b
	雄	88±13	88±13	80±34
	雌	63±8	60±7	53±20
不分徑級	雄+雌	70±12	58±14	49±34
	雄	82±10	72±14	61±37 ^A
	雌	57±10	45±10	37±25 ^B

*不同大寫字母表示不同性別在 5%水準下有顯著差異($p\text{-value}=0.010$)，
不同小寫字母表示不同徑級在 5%水準下有顯著差異($p\text{-value}=0.016$)

結論

天仙果採取成熟果實的種子發芽率高，在夏末秋初的季節，播種後約 1 週開始陸續發芽，第 3 週後平均發芽率可達 80%，且觀察天仙果植株結果期長，果實收集容易，若無足夠之扦插穗條及性狀考量，可採用種子播種來繁殖苗木。

天仙果的扦插繁殖可保留優良性狀，其插穗發根成活率與插穗直徑大小及植株的性別有顯著的差異。扦插穗條徑級過小時，成活率較低；又雄株成活率 61% 高於雌株 37%，整體平均成活率約有 50%。

引用文獻

甘偉松 (1993) 藥用植物學。國立中國醫藥研究所。

邱年永、張光雄 (1992) 原色臺灣藥用植物圖鑑(3)。台北。南天書局 p.44。

柯天雄、黃天民、邱展台 (2006) 本土植物臺灣鼠李、羅芙木、魯花樹及黃梔子繁殖技術之比較。植物種苗 8(4): 31-47。

島田彌市 (1921) 臺灣タイヤル蕃族利用植物。殖產局出版第 279 號。臺北臺灣總督府殖產局。

張同吳 (2005) 臺灣保健植物之多樣性與利用研究。臺灣植物資源之多樣性發展研討會專刊。行政院農業委員會花蓮區農業改良場 p.170-180。

張誌益 (2019) 臺灣天仙果降血壓活性成分結構鑑定、品質管制與功效評估之研究。科技部補助專題研究計畫(MOST105-2320-B020-002-MY3)，14 頁。

陳正豐 (1989) 臺灣杉種子苗扦插繁殖之研究。國立臺灣大學森林學研究所碩士論文 72 頁。

陳國峰 (2000) 農桿根群菌對臺灣紅豆杉插穗發根能力及生長之影響。國立臺灣大學森林學研究所碩士論文 66 頁。

陳宜文、王才義 (2006) 茄苳單節扦插繁殖之研究。興大園藝 31(1): 77-87。

黃鈺婷 (2015) 榕果功能性性狀之種間及種內差異及其生態關聯。國立成功大學生命科學研究所碩士論文 94 頁。

臺灣植物同好會 (1945) 臺灣野生食用植物圖譜。臺灣農業會 236 頁。

蘇炳鐸 (2008) 香椿扦插繁殖之研究。臺東區農業改良場研究彙報 17: 1-8。

- Dunn DE, Cole JC, Smith MW. (1996)** Timing of *Pistacia chinensis* Bunge. rooting using morphological markers associated with calendar date and degree days. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 121(2): 269-273.
- Hansen J. (1986)** Influence of cutting position and stem length on rooting of leaf-bud cuttings of *Schefflera arboricola*. Sci. Hortic. 40: 345-354.
- Mesen F, Newton AC, Leakey RRB. (1997)** Vegetative propagation of *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavon) Oken the effects of IBA concentration, propagation medium and cutting origin. For. Ecol. Manage. 92: 45-54.
- Mitchell AK. (1997)** Propagation and growth of Pacific yew (*Taxus brevifolia* Nutt.) cutting. Northwest Science 71(1): 56-63.

出雲山苗圃香杉種子園優良營養系之分群

杜清澤^{1)*} 鍾振德¹⁾ 林冠穎¹⁾ 黃菊美¹⁾

緒言

種子園經營目的是生產遺傳品質經過改良的種子，營林者藉以生產經育種選育後的優質種子苗，以滿足造林的需要。台灣在 50 年代初期，林務單位陸續完成香杉(*Cunninghamia konishii*)、台灣二葉松(*Pinus taiwanensis*)、琉球松(*Pinus luchuensis*)、台灣肖楠(*Calocedrus formosana* Florin)、台灣杉(*Taiwania cryptomerioides*)、台灣扁柏(*Chamaecyparis taiwanensis*)、紅檜(*Chamaecyparis formosensis*)、烏心石(*Magnolia compressa*)等樹種之種子園設置，惟因這些種子園除了正常的撫育外並沒有任何措施，導致單株結實量偏低，經由種子園採收種子供營林者很少(鍾振德 2001)。目前台灣人工林的材積每公頃只有 132m³，造成材積蓄積量不足，除了撫育問題外，苗木沒經過育種的選拔手續也是一重要因素。

2020 年林業試驗所在「翻轉台灣木材自給率，台灣原生樹種成救兵！」記者會中指出已擇定 5 個台灣原生樹種，進行優質造林苗木培育，包含相思樹、欂櫨兩種闊葉樹，以及香杉、台灣杉及台灣肖楠三種針葉樹。所以稱為優質，是因為經過選育，才進行造林苗木的培育，未來人工造林可採用經過選育的優質種子苗。期望未來經濟性人工林，將輪伐期定在 30 年為目標，則每公頃的木材平均蓄積量可達到 600 m³。

為達成輪伐期 30 年之人工林，每公頃的木材平均蓄積量可達到 600 m³ 目標，營造種子園生產經選育的優質苗木是必要的經營方式，而以前人建立之種子園為基礎，據以擬定新的種子園經營方針則是一必需的途徑。林務局於 1968~1972 年間，在聯合國發展方案計劃下，曾於大甲林區管理處(現東勢林區管理處)八仙山事業區第 12、13 林班及第 17、18 林班，以無性繁殖方法，設置包含採種園各 3 及 7 公頃(徐仁賢 1989)，目前八仙山事業區第 17、18 林班香杉種子園尚保持完整，我們希望重新調查此種子園，從已生長近 50 年之 25 個香杉營養系分出不同群組，選出較佳之營養系重新建立香杉種子園。

材料與方法

¹⁾ 行政院農業委員會林業試驗所育林組，100051 臺北市中正區南海路 53 號。

* 通訊作者，E-mail: gisdu@tfri.gov.tw。

一、試驗地與營養系概述

出雲山香杉種子園位於北緯 24°14'東經 120°53'，海拔 1,000m，坡度 5°~10°，屬於林務局東勢林區管理處八仙山事業區第 17 林班出雲山苗圃。從 1980 到 1989 年十年的資料顯示年平均降雨量約為 2,990mm，年平均氣溫 18.1°C，平均降水天數 137 天。出雲山下午兩點以後常為雲層所遮蓋，其天空為雲層遮蔽達 80%以上的天數占全年的 73.4%，3 月到 10 月之生長季節更高達 87.2%，天空完全為雲層遮住的天數則占全年 69%(鍾振德和郭幸榮 2004)。

此種子園係嫁接營養系所建造，接穗分別為選取自原為台中縣之台中市武陵(no. 9)、思源(no. 12)、勝光(nos. 13~14)、光明橋(nos. 1~2, 21~22)、鞍馬山(nos. 5~8, 23~25)及南投縣丹大(nos. 19~20)、南投縣溪頭(nos. 11, 17, 18)、苗栗縣觀霧(nos. 3, 4, 10, 15~16)等地區。25 個營養系的接穗皆採自優形母樹(plus trees)，嫁接在 2 年生砧木上，接穗木存活後，於 1968 年栽植於種子園內。種子園裡之各營養系配置，株行距 6 m x 6 m，營養系單株以轉移輪序圖(shifting clone design)之排列法以避免自交(inbreeding)，每一區集內各營養系只配植 1 株，即採單株小區設計(single tree plot design)，25 個營養系用 5(行) x 5 (列)配置方式種植成為一個區集。全區共 75 個區集，占地 7 公頃(徐仁賢 1989)。

二、胸徑與土壤調查

於 2020 年重新調查各區集內香杉之胸徑及成活率，並於此 75 個區集內逢機取樣 13 個區集進行 0-15cm 及 15-30cm 深度之土壤採樣，每 1 區集採取 3 個土壤樣點。取回之土壤返回實驗室進行 pH、TN(Total nitrogen)、TC(Total carbon)、OM(Organic matter)、Ca、Cu、Fe、K、Mg、Mn、P、Zn 等土壤化學分析。

三、資料統計分析

(一)種子園之土壤性質比較

各採土樣區利用化學分析之資料(pH、TN、TC、OM、Ca、Cu、Fe、K、Mg、Mn、P、Zn) 以 vegan 套件(Dixon 2003)進行 ANOSIM (analysis of similarities)相似性分析 (Clarke 1993)，檢驗組間和組內差異，確認各樣區土壤特性組成是否有差異，如差異顯著再進行 ANOVA 因子分析確定各化學成分之差異性。

(二)各營養系之比較及集群分析

1.ANOVA 因子分析:胸徑原始資料以 mice 套件中的 mice 及 complete 函數(Van Buuren and Groothuis-Oudshoorn 2011)處理缺失值，並以 Winsorization 法(Dixon 1960)處理離群值，接著再以 MASS 套件中的 boxcox 函數(Venables and Ripley 2013)進行

Box-Cox 轉換法(Box and Cox 1964)嘗試使資料分布常態化。胸徑平均值以 R 軟體內建 stats 套件進行 Welch's ANOVA (analysis of variance)因子分析(Welch 1951)，並以 pairwiseComparisons 套件(Patil 2019)進行 Games-Howell 多重比較法(Toothaker 1993)進行事後檢定。

2.集群分析(Clustering analysis)：25 個營養依據胸徑、存活率、變異係數倒數，以 R 軟體內建 stats 套件中的 hclust 函數及 kmeans 函數進行二階段集群分析(two-step cluster analysis) (Gelbard 2007)。

結果與討論

一、各營養系之胸徑、成活率等描述統計值

75 個香杉區集經調查成活率及胸徑後，25 個香杉營養系中以 8 (52.5 ± 14.3 cm)、12 (51.7 ± 11.5 cm)、22 (48.5 ± 10.7 cm)三個營養系有最大的平均胸徑，且整個種子園單株最大的胸徑也出現在這三個營養系，依序為 8 (103 cm)、12 (70.2 cm)、22 (69.0 cm)；而 20 (27.5 ± 8.2 cm)、24 (26.3 ± 5.6 cm)、14 (25.5 ± 8.8 cm)三個營養系有最小的平均胸徑。成活率達 90%以上有 1、2、6、9、12、15、17、19、21、22 等 10 個營養系，而 5、7、13、14、24 等 5 個營養系成活率低於 60%。

二、種子園之土壤概況及土壤性質比較

種子園為砂質壤土至壤土之壤性土，深度約 0-18cm，18cm 以下含石量約 70~80% 間，土壤只存在石縫之中。土壤反應(pH)值介於 3.3~4.6，各營養元素依謝兆申、王明果 1992 之土壤調查技術手冊與程煒兒等人 1997 年研究報告分級：總氮含量中等($2 \sim 5$ g kg^{-1})，有機質含量中等($4 \sim 10\%$)，有效磷含量中等($57 \sim 18$ mg kg^{-1})，有效鈣鉀含量極高(>44 mg kg^{-1})，有效鈣含量低($50 \sim 106$ mg kg^{-1})，有效鎂含量低($11 \sim 20$ mg kg^{-1})。

利用 ANOSIM 相似性分析，檢驗 13 個採土區集 0-15 及 15-30 cm 兩個深度土壤各項化學性質之組間和組內差異，如圖 1。

分析結果顯示此 13 個土壤採樣區在 0-15cm 的土壤性質有差異，且具顯著性($R = 0.2$, $p = 0.0031$)；而 15-30 cm 的土壤性質有差異，但不具顯著性($R = 0.113$, $p = 0.0552$)；13 個土壤採樣區在 0-15 cm 各項土壤性質再以 ANOVA 比較平均值的差異，僅 pH 值出現顯著性差異。

各土壤性質比較，顯示此區域之土壤除了土壤反應(pH)值有顯著差異外，各區集間其他各營養元素差異性不大。而土壤反應(pH)值之差異主要在區集 11($\text{pH}=4.6$)，與其他

區集 pH 在 3.1~3.7 間有顯著差異，由於土壤反應 pH 在 <4 皆屬於超強酸性 (Extremelyacid)，各主要營養元素如 N、P、K、Ca、Mg 之有效性皆低差異性並不大；且比較採土樣區各區集之平均生長量後，區集 11 僅與區集 26 有顯著差異，由此可見此區域之土壤性質並非影響各營養系生長差異之因子。

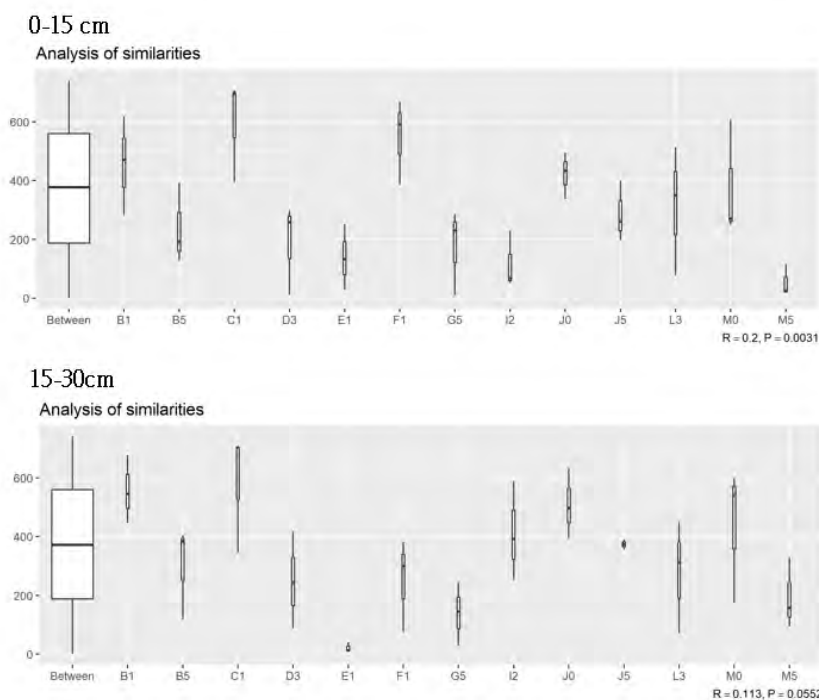


圖1. 13個採土區集0-15及15-30 cm 兩個深度土壤各項化學性質 ANOSIM 分析箱型圖

三、各營養系間胸徑之比較及集群分析

處理後之資料仍不符常態分佈且變異數非同質，故以經離群值處理後之資料進行 Welch's ANOVA 因子分析，結果顯示各營養系之胸徑平均值不相等($p\text{-value}=2.2\times 10^{-16}$)。進行 Games-Howell 事後檢定，各營養系經離群值處理後之胸徑平均大小比較如表 1。

此 25 個營養系中胸徑平均值 > 45 cm 以上者為 8、12、22 三個營養系，且彼此間無顯著差異為 25 個營養系中胸徑生長最大者。

另依據胸徑、存活率、1/C.V 進行二階段集群分析，首先以沃德法(Ward's method)基於歐式距離(euclidean distance)進行階層式分群(hierarchical clustering)，參考分群樹狀圖，再將 25 個營養系以 K-means 分群法(K-means Clustering)分至 5 個群組($k=5$)。結果如表 2。

群組I的 7、13、14、24、5、3、11、18、10 九種營養系是成活率最小者，胸徑平均值最大者為群組II的 8、12、22 三種營養系，群組V之 2、9 二種營養系其成活率最大且胸徑間之變異係數最小者；而群組IV之胸徑表現在 5 個群組中僅次於群組II，但其變異係

數大於群組V，群組III之成活率及胸徑表現在 5 個群組中皆屬中等。

表 1. 各營養系胸徑平均之大小比較及顯著性

營養系	平均值 ⁽¹⁾	顯著性 ⁽²⁾	營養系	平均值 ⁽¹⁾	顯著性 ⁽²⁾	營養系	平均值 ⁽¹⁾	顯著性 ⁽²⁾
8	49.7±10.4	i	15	40.6±8.9	ace	3	34.4±10.8	bdfgh
12	48.7±10.6	ij	7	40.1±10.9	acde	5	33.6± 8.7	bdfgh
22	47.5± 9.9	ij	13	38.3±12.7	abcdeg	14	32.8±10.8	bdfgh
19	44.1± 9.9	eij	16	38.3±10.2	abcde	23	32.4± 7.1	fgh
25	43.5± 9.2	aej	1	38.2± 9.0	abcd	18	29.8± 9.9	fh
6	41.7± 9.0	ae	11	37.5±12.3	abcdeg	20	29.0± 7.4	h
9	41.0± 7.6	ae	21	36.2± 8.0	bcdg	24	29.0± 8.7	h
2	41.0± 8.1	ace	4	34.9± 8.8	bdfg	10	28.7± 9.1	h
17	40.9± 8.4	ace						

註：(1)平均值±標準偏差。

(2)以不同小寫英文字母標示者，為胸徑平均值經 Games-Howell 多重比較檢定後，組間差異顯著者($\alpha = 0.05$)。

表 2. 各營養系經集群分析後的 5 個群組

群組	營養系	胸徑(cm)	C.V(%)	成活率(%)	群組	營養系	胸徑(cm)	C.V(%)	成活率(%)
I	7	40.1	27.3	17.3	III	1	38.2	23.5	90.7
	13	38.3	33.0	26.7		4	34.9	25.3	81.3
	14	32.8	32.8	33.3		16	38.3	26.6	84.0
	24	29.0	30.1	48.0		20	29.0	25.5	73.3
	5	33.6	25.9	54.7		21	36.2	22.0	93.3
	3	34.4	31.4	66.7	IV	23	32.4	21.8	86.7
	11	37.5	32.9	73.3		6	41.7	21.5	90.7
	18	29.8	33.1	77.3		15	40.6	21.8	90.7
	10	28.6	31.9	77.3		17	40.9	20.5	90.7
II	8	49.7	20.8	89.3		19	44.1	22.3	92.0
	12	48.7	21.7	90.7	V	25	43.5	21.1	89.3
	22	47.5	20.8	92.0		2	41.0	19.7	92.0
						9	41.0	18.5	94.7

結論

- 一、出雲山苗圃香杉種子園 25 個營養系 75 個區集中，因各區集之土壤條件類似，且同一區域內氣候條件相同，顯示 25 個營養系生長表現差異之因子並非由環境造成，最大可能由遺傳基因所影響。因此群組II的 8、12、22 三種營養系胸徑平均量最大且無顯著性差異，而變異係數在 21.7%-20.8%，顯示個體間胸徑變異不大；且其成活率高達 89%-92%間，此三個營養系可視為最優良營養系，重新建立種子園。
- 二、群組IV的 6、15、17、19、25 五個營養系和群組V的 2、9 二種營養系其胸徑平均生長雖不如群組II三種營養系，但因其成活率高且各胸徑生長變異係數不大；在考量營養系遺傳多樣性原則下亦可納入重新建立種子園。

三、本種子園於 2019 年曾進行採種，但群組II的 8、12、22 三種營養系都沒有採到種子，結實量低為後續要解決之問題。目前 3 個營養系的無性繁殖苗木已培育，後續將進行生長檢測，確認此 3 個營養系是否可以進入到商業性造林。

引用文獻

- 徐仁賢 (1989) 香杉採種園。現代育林 4(2): 69-71。
- 程煒兒、洪富文、林光清 (1997) 森林土壤有效養分測定方法之比較。臺灣林業科學 12(2): 177-188。
- 謝兆申、王明果 (1992) 土壤調查技術手冊。國立中興大學土壤調查試驗中心、行政院農業委員會。
- 鍾振德 (2001) 種子園經營及開花結實促進。林業研究專訊 8(2): 15-18。
- 鍾振德、郭幸榮 (2004) 出雲山台灣杉嫁接營養系種子園之生長與結實。台灣林業科學 19(4): 275-86。
- Box GE, Cox DR. (1964) An analysis of transformations. Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological) 26(2): 211-243.
- Clarke KR (1993) Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. Australian journal of ecology 18(1): 117-143.
- Dixon P. (2003) VEGAN, a package of R functions for community ecology. Journal of Vegetation Science 14(6): 927-930.
- Dixon WJ. (1960) Simplified estimation from censored normal samples. The Annals of Mathematical Statistics 385-391.
- Gelbard R, Goldman O, Spiegler I. (2007) Investigating diversity of clustering methods: An empirical comparison. Data & Knowledge Engineering 63(1): 155-166.
- Patil I (2019) pairwiseComparisons: Multiple Pairwise Comparison Tests.
<https://CRAN.R-project.org/package=pairwiseComparisons>.
- Toothaker LE. (1993) Multiple comparison procedures (No. 89). Sage.
- Van Buuren S, Groothuis-Oudshoorn K. (2011) mice: Multivariate imputation by chained equations in R. Journal of statistical software 45(1): 1-67.
- Venables WN, Ripley BD. (2013) Modern applied statistics with S-PLUS. Springer Science & Business Media.
- Welch BL. (1951) On the comparison of several mean values: an alternative approach. Biometrika 38(3/4): 330-336.

南投管理處巒大區第 88 林班臺灣杉營養系種子園家系之重建

黃俊堯¹⁾ 蔡佳彬²⁾ 孫英玄^{1)*}

緒言

種子園建立的目的是為大量生產性狀優良的種子，提供造林或學術研究的材料，通常會包含 30—50 個基因型(Funda et al. 2016)。種子園是種源後裔試驗的種子苗所建的分或是天然林或人工林之母樹取得營養系分株苗木，在育種的過程中經由後裔檢定篩選，將未符合目標性狀的家系淘汰。種子園可分為種子苗(seedling seed orchard, SSO)與營養系種子園(clonal seed orchard, CSO)。而因大部分針葉樹種子苗種子園其開花時間要數十年以後，因此以營養系種子園為主流。臺灣曾建立臺灣杉(*Taiwania cryptomerioides*)、香杉(*Cunninghamia konishii*) 等針葉樹種子園(鍾振德等 2001)。但目前有些種子園因為相關林業事業區整併、人事的更迭等因素造成相關資料遺失，造成種子園中家系配置資料遺失，或因沒有持續經營以至於逐漸衰敗等問題。隨機擴增多態 DNA (Random amplified polymorphic DNA, RAPD)利用 PCR 技術檢測 DNA 特異位點的多態性，是低技術門檻，操作簡易迅速，且成本低廉的分子標記系統，可以運用在種子園的監測和管理，判別不同家系間的基因型。本研究目的即是利用 RAPD 分子標記重建南投管理處巒大區第 88 林班臺灣杉種子園的家系資料。此家系資料的重建，除還原該臺灣杉種子園優良母樹基因型以及配置的資料外，亦補充既有臺灣杉遺傳資源，做為後續育種的基礎。

材料與方法

一、種子園與實驗材料

臺灣杉種子園位於南投管理處巒大區第 88 林班，面積 2.37 公頃，此種子園於 1975 年至 1981 年建造，該處種子園有 25 個嫁接營養系，然而家系配置資料遺失，目前共餘 309 株。民國 103 年南投林管處的管理計畫將 309 棵臺灣杉重新編號。當初種子園以 50 株台灣杉為一區，因此本實驗的材料取自該種子園內三個區域，臺灣杉的年輕枝條共 96 個樣本。以檳榔刀剪下後，用夾鏈袋裝取，於袋上記錄臺灣杉的編號後暫時保存乾冰中，

¹⁾ 國立中興大學森林系，402202 臺中市南區興大路 145 號。

²⁾ 行政院農業委員會林業試驗所六龜研究中心，844005 高雄市六龜區中興里中庄 198 號。

* 通訊作者，E-mail: yhsun@email.nchu.edu.tw。

運送至中興大學實驗室後存放至-80°C冷凍櫃中。

二、DNA 萃取

96 個臺灣杉樣本枝條以 Ika A11 粉碎機研磨均質後，以修改自 Cato & Richardson (1996)的 CTAB 法抽取 DNA。首先預熱 CTAB 溶液於 65°C 水浴槽，加入 β -mercaptoethanol (0.2% final)。均質後葉組織 200mg 置入 2.0ml 微量離心管中，加入 1 mL 的 CTAB，混合均勻並置於 65°C 水浴槽中 1 小時，離心 18000 x g 5 分鐘，將上清液轉移至新 2 mL 微量離心管中，加入 RNase A (100 μ g/mL final)，於 37°C 處理 30 分鐘。隨後加入 0.2 倍容積的 5M NaCl，及 1 倍容積的 CIA (chloroform-isoamylalcohol; 24:1)，離心 18000 x g 10 mins 後，將上清液轉移到新的 2.0 mL tube，重複此步驟一次。將上清液轉移到新的 1.5mL 微量離心管。加入 1 倍容積的 isopropanol，反轉混合，置於-20°C 2 小時後沈澱 DNA。離心 18000 xg 15 分鐘後去除水相。加入 150 μ L 70% ethanol 後離心 18000 xg 15 分鐘，去除水相，風乾，再回溶至 50 μ L TE 溶液。DNA 以超微量分光光(NanoDrop)度計測定濃度，並以 0.8%瓊脂糖凝膠電泳分析 DNA 品質。最後稀釋至 10 ng/ μ L，保存在-20°C。

三、RAPD 特異性引子篩選

從 96 個樣本中隨機挑選 10 個樣本進行 PCR 反應，RAPD 以 Adhikari (2018)和 Van de Ven & McNicol (1995)所用的 50 個 10 鹼基(mer)之引子。PCR 樣本中含有 50 ng DNA，10 uM 引子，12.5 uL 2 $\times$ Taq Master Mix(諾唯贊 Vazyme)；溫度條件如下：92°C 1 分鐘後，35°C 1.5 分鐘，72°C 2 分鐘(45 循環)，最後 72°C 5 分鐘。各進行 3 次重複 PCR，並以 0.8%瓊脂糖凝膠電泳分析 PCR 結果。於重複試驗中顯現特異性條帶的引子則被選定，選定引子要能產生穩定且明顯的多型性條帶，產生的條帶予以編號。

四、家系之多型性條帶分析

篩選出的 RAPD 引子以 96 個臺灣杉樣本進行 PCR 反應，條件與上述步驟相同，並以 0.8%凝膠電泳分析結果。將該樣本產生的特異性條帶以編號紀錄，分析是否具有相同編號的條帶，以此鑑別不同的家系。

結果與討論

48 個引子中，OPS-34 無法產生 PCR 產物，有 4 個(SC10-3、SC10-4、SC10-8、OPS-15)沒有多型性條帶。其餘 43 個引子顯示出多型性條帶(如圖 1)，引子(OPS-07)最多有 8 個多型性條帶。篩選出 43 個具有產生多型性條帶的後，將種子園 96 個樣本以 43 個引子個別進行 PCR 分析(如圖 2)，紀錄每個樣本的條帶編號後，目前以可鑑定出 7 個家系，

其中 8 個家系具有 2 個樣本重複，一個家系具有 3 個樣本重複。其餘 77 個樣本上未能確認家系。

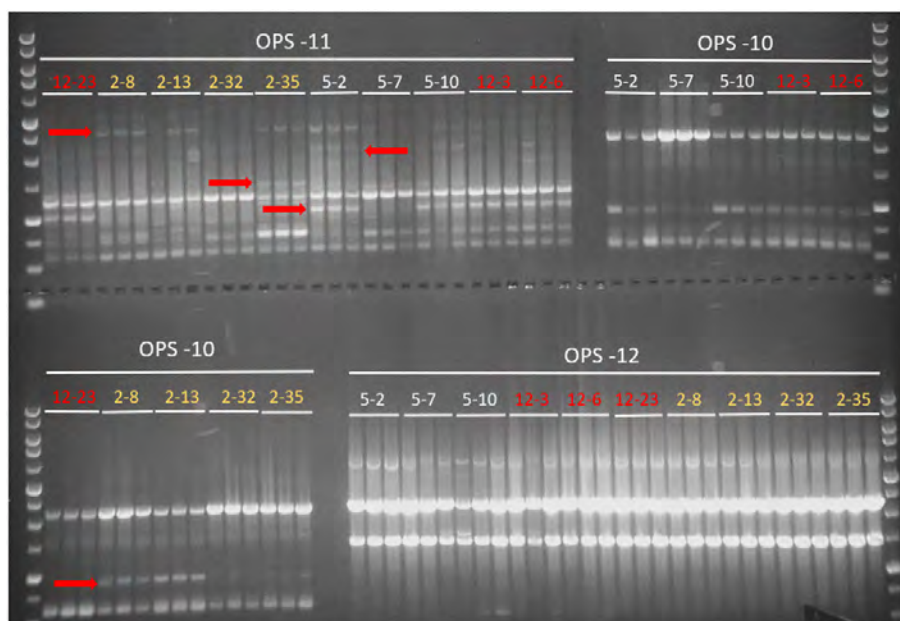


圖 1. 篩選 RAPD 引子之電泳凝膠圖

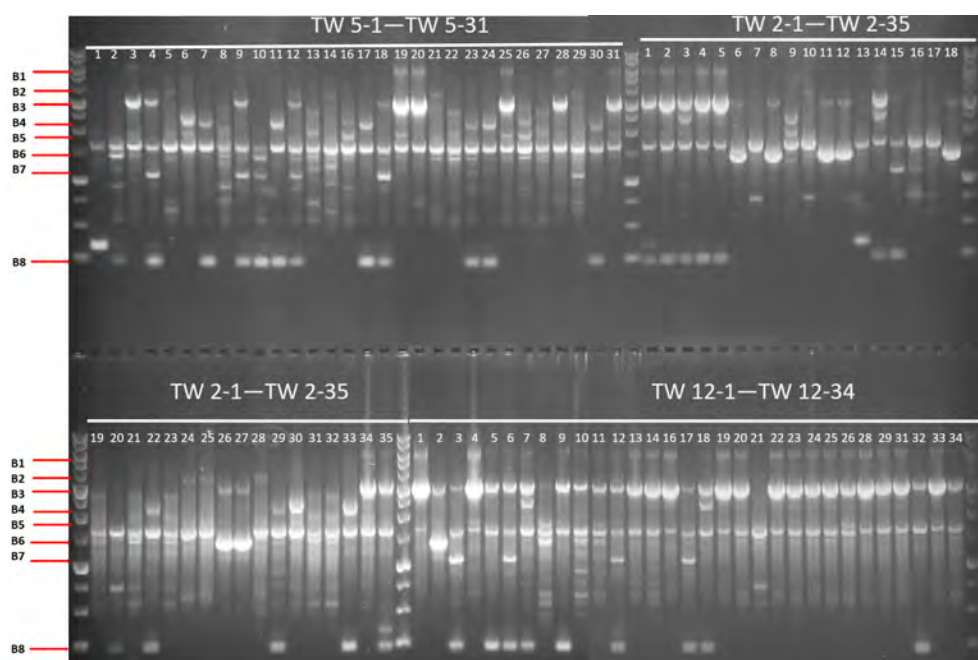


圖 2. 臺灣杉營養系基因型之 RAPD 電泳凝膠圖

RAPD 分子標記技術的優點是引子可隨機接合在基因組的某段序列中進行 PCR 擴增，但缺點為引子專一性低，所以再現性較差。而本次在電泳分析時發現某些條帶過於

接近以致判別困難。以 1.2%的瓊脂糖凝膠做電泳分析，某些條帶 PCR 再現性低，增加家系確認的困難度。目前結果顯示 7 個 RAPD 分子標記可用來鑑定該種子園 7 個家系。

結論

本研究利用 96 株臺灣杉樣本確認營養系的基因型，目前能夠確認有 7 個家系。本研究目前正針對具不穩定條帶的樣本進行再次確認，並對現有 96 樣本的 RAPD 分子標記基因型資料進行親緣關係分析，判別可能的家系重複單株。此外並對種子園內尚未採集的 211 多個樣本進行分析，期能還原該臺灣杉種子園 25 個家系配置資料。

引用文獻

- 鍾振德、郭幸榮、楊政川 (2001) 重建台灣尚楠營養系種子園以促進開花結實之初期結果。臺灣林業科學 16(3): 181-196。
- Adhikari S, Sekh S, Bandyopadhyay TK, Ghosh P. (2018) Touchdown-PCR based RAPD assay for early diagnosis of gender in *Carica papaya* L. Indian Journal of Experimental Biology. 56: 136-140.
- Cato SA, Richardson TE. (1996) Inter-and intraspecific polymorphism at chloroplast SSR loci and the inheritance of plastids in *Pinus radiata* D. Don. Theoretical and Applied Genetics 93(4): 587-592.
- Funda T, Wennström U, Almqvist C, Gull BA, Wang XR. (2016) Mating dynamics of Scots pine in isolation tents. Tree Genetics and Genomes 12(6): 112.
- Van de Ven WT, McNicol RJ. (1995) The use of RAPD markers for the identification of Sitka spruce (*Picea sitchensis*) clones. Heredity 75(2): 126-132.

烏柏 3 種型態苗木造林 30 個月的生長表現

馬復京^{1)*} 陳國章¹⁾ 林元祥¹⁾ 林欣德¹⁾ 蘇德忠¹⁾ 蔡彥新¹⁾

緒言

烏柏(*Triadica sebifera*)為大戟科落葉喬木，主要分布在中國長江流域至東南各地，中海拔至平地地區，是一種木本種子油料樹種(張克迪和林一天 1994)，且在中國的栽培已有 1400 年以上的歷史。綜合現代世界各國對烏柏的利用可歸納為幾個方面，如種子(仁)油脂可製肥皂、油漆、化妝品、油墨等化工原料或是轉酯化為生質柴油，此外植物葉部的藥用成份萃取以及木材的利用，而在環境生態上可淨化空氣、提供蜜源及固堤護岸等，因此烏柏可說是多用途利用的樹種。一般烏柏的利用主要集中在種子油脂的榨(萃)取上，因此營造烏柏種子料源生產林的技術，當為首要之務，方能維持產業的發展。

烏柏在移民遷台時期，即隨著先民引入台灣做為民生用途如蠟燭、燈油等。近代則在 1950 年代(林維治等 1958)進行台灣本島烏柏品種性狀及含油率等的調查，而後隨著石油產業的發展而沒落，近年因石油危機的爆發而再次受到矚目。林試所 2018 年於花蓮進行木本油料樹種烏柏品系的搜集並選育出大果、厚蠟單株進行後裔造林試驗。本試驗結合種子苗後裔造林比較大果、厚蠟品系後裔的生長及開花結實表現，目前僅有 30 個月的林木生長結果且也只有少數單株開花，因此後續生長開花等則持續監測中。此外加入扦插苗的造林，而初期選育的單株部分後裔苗木因留置苗圃 4~6 年而成為逾齡苗，也一併栽植進行生長比較觀察，藉此瞭解 3 種型態苗木造林的生長表現。

研究方法

三種苗木型態：苗木分別為種子苗、扦插苗、逾齡苗

(一)種子苗：種子採集自金門地區，吳厝、小徑 1 號、小徑 2 號及高陽路等 4 單株厚蠟品系母樹種子經層積發芽後育成之種子苗。出栽時苗齡 2 年，出栽苗高 30~50 cm 之間，四個種源依序育成 30 株、30 株、225 株及 195 株進行栽植試驗。

種子苗母樹立木形態：

吳厝大果：樹高 14 m，胸徑 26 cm，樹齡約 25 年大果品系。

¹⁾ 行政院農業委員會林業試驗所育林組，100051 臺北市中正區南海路 53 號。

* 通訊作者，E-mail: mfc@tfri.gov.tw。

小徑 1 號：樹高 8 m，胸徑 13 cm，樹齡約 15 年。

小徑 2 號：樹高 8.5 m，胸徑 14 cm，樹齡約 15 年。

高陽路：樹高 11 m，胸徑 13 cm，樹齡約 15 年非大果品系。

(二)扦插苗：2017 年 6 月採金門地區，吳厝、小徑 1 號、小徑 2 號母樹當季萌生尚未木質化之半硬枝或軟枝攜回台北信賢苗圃進行扦插、育苗。發根後之苗木越冬至 2018 年 5 月進行栽植，扦插苗苗齡 11 個月。扦插苗越冬後至春季再萌生新芽者存活率不及 30%，故僅有 58 株扦插苗可進行栽植試驗。

(三)逾齡苗：多為搜集台灣及金門地區烏柏母樹單株育成之苗木，前期計畫造林剩餘之苗木，苗齡依育苗時間而異，約在 4~6 年，從苗木形態來看，苗高約在 40~60 m 之間且多有盤根現象，苗木數 47 株。

試驗設計

(一)栽植地點：

試驗區設置於花蓮縣光復鄉大富村大農大富森林遊樂區內，海拔 188 m，地形平坦，但梅雨季節或颱風強降雨時常造成積水，最深可達 1 m 以上。

(二)試驗設計：

採逢機樣區配置，每 20 株為 1 小區，行株距為 4×4 m，而扦插苗、逾齡苗、吳厝、小徑 1 號，由於株數不足僅能配置 2 小區。各種源及苗木型態小區均逢機配置計 28 小區，但有些小區種源不足 20 株，合計栽植 585 株。

(三)生長調查與分析：

每年於生長季初期(5 月)及生長季結束(10~12 月)共 2 次進行苗木調查，調查造林木樹高及胸徑生長，各型態及種源造林木之樹高生長、每期樹高淨生長，以及每期相對樹高生長之平均±標準偏差，以 Duncan's Test 多域比較差異。

1.當期樹高淨生長(cm)=當期樹高(cm)－前期樹高(cm)。

2.當期樹高相對生長率(%)=
$$\frac{\text{當期樹高(cm)} - \text{前期樹高(cm)}}{\text{前期樹高(cm)}}$$

結果與結論

一、三種型態造林木的成活表現

三種型態烏柏造林木於 2018 年 5 月栽植，當年 7 月補植，同年 12 月進行第 1 次的成活及生長調查。而栽植 12 個月(2019May)苗木成活率在 73.3-100%之間(表 1)。種子苗

小徑 1 號的成活率較低為 73.3%，該樣區位於全區的東南角，也是地勢較低的區域，颱風或暴雨的積水是最後消褪的位置，雖然烏柏是耐淹水樹種但多少影響苗木的生長。而在另一樣區中則 10 株全數存活，生長表現也較佳。其他種子苗則維持 90%以上的成活率，扦插苗則於栽植 18 個月後成活率降低近至 89.7%，可能是後續的根系生長不佳所致，而逾齡苗的表現則在栽植 12 個月後即維持 95.7%的成活率。顯示苗木的生長並未受到較高苗齡的影響，容器逾齡苗常受討論的是盤根明顯，根系劣化影響造林表現(許原瑞 2015)，此外因容器容積的限制、根系發展及容器介質的流失，致使苗木發育受到限制而老化，不利於後續造林生長，而就目前逾齡苗的存活率表現則尚未見到高齡苗木老化的表現。

表 1. 三種型態苗木造林 30 個月的苗木成活率

苗木型態	2018Dec (7 個月)		2019May (12 個月)		2019Oct (18 個月)		2020May (24 個月)		2020Nov (30 個月)	
	株數	%	株數	%	株數	%	株數	%	株數	%
小徑 1 號*	30	100.0	22	73.3	22	73.3	22	73.3	22	73.3
小徑 2 號*	225	100.0	217	96.4	205	91.1	205	91.1	205	91.1
吳厝大果*	30	100.0	28	93.3	28	93.3	28	93.3	28	93.3
高陽路*	195	100.0	182	93.3	182	93.3	182	93.3	182	93.3
扦插苗	58	100.0	58	100.0	52	89.7	52	89.7	52	89.7
逾齡苗	47	100.0	45	95.7	45	95.7	45	95.7	45	95.7

*種子苗

二、造林木的樹高生長表現

苗木於 2018 年 12 月才進行第一次生長調查(表 2)，故以栽植 7 個月的苗高為基礎樹高。栽植 12 個月期間，以扦插苗在苗高生長上表現最佳、差異明顯，逾齡苗及種子苗之高陽路、小徑 2 號種源表現其次。吳厝大果及小徑 1 號的苗高生長則排序在最後 2 名。而在造林 24 個月後則以小徑 2 號及扦插苗分別佔前 1、2 名且具明顯差異，平均樹高生長分別為 272.1 ± 50.9 cm 及 259.2 ± 56.7 cm。逾齡苗的生長則稍低，平均為 252.3 ± 44.9 cm，小徑 1 號則敬陪末座，平均 204.9 ± 75.2 cm。造林 30 個月後，則以小徑 2 號有最高的樹高生長差異明顯，平均 402.5 ± 78.4 cm，扦插苗及逾齡苗分別 2、3 名，平均為 381.6 ± 88.8 cm 及 367.1 ± 66.7 cm。就苗木型態而言，4 個種子苗種源間以小徑 2 號表現最佳，其他 3 個單株種源後裔的表現甚至不如扦插苗及逾齡苗的表現。

表 2. 三種型態苗木造林 30 個月的樹高(cm)

苗木型態	2018Dec (7 個月)	2019May (12 個月)	2019Oct (18 個月)	2020May (24 個月)	2020Nov (30 個月)
	Ht ± Std	Ht ± Std	Ht ± Std	Ht ± Std	Ht ± Std
小徑 1 號*	76.4 ± 27.8 ^{b**}	91.1 ± 33.3 ^c	174.0 ± 70.3 ^b	204.9 ± 75.2 ^d	299.6 ± 103.0 ^e
小徑 2 號*	90.6 ± 26.7 ^a	114.0 ± 29.6 ^{ab}	225.8 ± 47.7 ^a	272.1 ± 50.9 ^a	402.5 ± 78.4 ^a
吳厝大果*	85.9 ± 23.5 ^{ab}	101.8 ± 26.3 ^{bc}	177.4 ± 41.2 ^b	209.3 ± 44.2 ^{cd}	298.0 ± 66.8 ^c
高陽路*	92.1 ± 24.7 ^a	111.4 ± 28.7 ^{ab}	194.2 ± 45.1 ^b	229.9 ± 51.0 ^{bc}	324.6 ± 73.0 ^c
扦插苗	90.2 ± 34.1 ^a	118.8 ± 37.9 ^a	224.2 ± 52.8 ^a	259.2 ± 56.7 ^a	381.6 ± 88.8 ^{ab}
逾齡苗	89.4 ± 24.7 ^a	107.8 ± 30.1 ^{ab}	214.8 ± 39.2 ^a	252.3 ± 44.9 ^{ab}	367.1 ± 66.7 ^b

*：種子苗

**：相同字母表無差異。

就扦插苗而言，其樹高生長略低於小徑 2 號，可能原因是扦插苗多是以小徑 2 號母樹採集扦插繁殖而來的，這也顯示小徑 2 號種源的生長優勢。而逾齡苗為多個單株種源的混合苗，苗齡在 4~6 年之間，就 30 個月期間樹高的生長表現來看，其生長勢仍相當旺盛而並未衰退。烏桕具有根萌蘖(**root sucker**)特性，或許只要維持苗木根系的健壯，苗木即可以重新萌芽成長，也許這也是扦插苗與逾齡苗可以在造林後與種子苗的表現差異不大的原因。

由樹高的淨生長來看，扦插苗、逾齡苗及小徑 2 號的生長集中在生長季(4~9 月)優於非生長季(11-3 月)。造林 30 個月之後三者均排序前 3 名，差異也不明顯，顯示扦插苗及逾齡苗的生長並不亞於小徑 2 號的生長(表 3)。若從生長季的相對樹高生長率來看栽植的 18 個月後(表 4)，逾齡苗及小徑 2 號的相對生長可超過前期苗高一倍的生長量，平均分別為 109.8±49.5%及 103.7±35.5%，而扦插苗也有 96.4±41.2%的相對生長量，顯示初期生長旺盛。

但達第 30 個月各種源及苗木型態的樹高之相對生長率則已接近在 41.6±11.2%~49.3±18.4%之間，而以小徑 1 號及小徑 2 號表現最佳，扦插苗及逾齡苗其次。由表 2 來看，小徑 1 號的 30 個月樹高平均生長為 299.6±103.0 cm 遠低於小徑 2 號的 402.5±78.4 cm。而較佳的相對生長率是否暗示後續的生長潛勢，我們的調查結果與陳可芳等(2011)的調查結果有相似之處，但仍待後續觀察來確認。至於苗木的胸徑生長，雖有進行調查但由於苗木生長初期達苗高 ≥ 130 cm 以上的單株株數差異大而可供比較分析之有效資料只有 2 年，不適宜進行分析比較。此外本試驗的苗木栽植 30 個月期間，只有少數單株開始著花，因此就種子生產量評估而言，則估計尚需 2 年以上的時程才能確認。

表 3. 烏柏造林木各期的樹高淨生長分析(cm)

苗木型態	2019May (12 個月)	2019Oct (18 個月)	2020May (24 個月)	2020Nov (30 個月)
	淨生長±Std	淨生長±Std	淨生長±Std	淨生長±Std
小徑 1 號*	14.7±11.8 ^{c**}	82.9±44.7 ^b	31.0±10.9 ^b	94.7±37.8 ^b
小徑 2 號*	23.4±13.0 ^{ab}	111.7±29.5 ^a	46.3±14.7 ^a	130.4±36.5 ^a
吳厝大果*	15.9±9.6 ^c	75.7±24.8 ^b	31.9±11.3 ^b	88.7±26.9 ^b
高陽路*	19.3±10.7 ^{bc}	82.8±27.7 ^b	35.7±14.5 ^b	94.7±31.4 ^b
扦插苗	28.6±22.9 ^a	105.3±33.3 ^a	35.0±15.5 ^b	122.4±43.3 ^a
逾齡苗	18.4±12.2 ^{bc}	107.1±23.9 ^a	37.4±16.6 ^b	114.9±37.7 ^a

*：種子苗

**：相同字母表無差異。

表 4. 烏柏造林木各期樹高相對生長率分析(%)

苗木型態	2019May (12 個月)	2019Oct (18 個月)	2020May (24 個月)	2020Nov (30 個月)
	相對生長率 ± Std	相對生長率 ± Std	相對生長率 ± Std	相對生長率 ± Std
小徑 1 號*	19.2 ± 14.8 ^b	91.2 ± 39.4 ^{bc}	21.1 ± 11.3 ^a	49.3 ± 18.4 ^a
小徑 2 號*	30.1 ± 31.6 ^{ab}	103.7 ± 35.5 ^{ab}	21.4 ± 7.8 ^a	48.1 ± 11.1 ^a
吳厝大果*	19.7 ± 13.2 ^b	79.1 ± 34.3 ^c	18.7 ± 7.1 ^{ab}	42.3 ± 8.9 ^b
高陽路*	22.6 ± 17.1 ^b	79.0 ± 34.3 ^c	19.0 ± 7.9 ^{ab}	41.6 ± 11.2 ^b
扦插苗	40.3 ± 47.4 ^a	96.4 ± 41.2 ^{ab}	16.2 ± 7.3 ^c	47.0 ± 14.7 ^{ab}
逾齡苗	21.3 ± 13.4 ^b	109.8 ± 49.5 ^a	17.8 ± 8.5 ^{ab}	46.1 ± 14.7 ^{ab}

*：種子苗

**：相同字母表無差異。

結論

- 一、就目前的生長表現而言，種子苗的小徑 2 號種源有最佳的樹高生長，淨樹高生長及相對樹高生長率。顯示種源單株的生長優勢。
- 二、而以扦插苗的生長表現來看，則顯示烏柏的造林苗木可以扦插苗來進行造林，只要選擇表現佳之種源母樹為無性繁殖材料，至於颱風的影響待後續來確認。
- 三、而烏柏造林苗木的苗齡在 4~6 年者而後續生長仍可以維持苗木的生長勢而並未老化衰弱，也許是烏柏生長的生態特性，則待研究確認。

引用文獻

- 林維治、陳安集、曾哲如、黃松根 (1958) 臺灣烏柏之調查及其研究。台灣省林業試驗所報告 No.57。
- 張克迪、林一天 (1994) 中國烏柏。中國林業出版社。

陳可芳、伍淑惠、王相華、郭耀綸 (2011) 恆春西海岸生態復育栽植樹苗最初兩年之生長表現。國家公園學報 21(4): 63-75。

許原瑞、郭幸榮、蕭祺暉、胡慧琳 (2015) 改善育苗作業提升苗品質芻議。台灣林業 41(2): 8-15。

應用無人機光達於宜蘭地區劣化海岸保安林林分結構分析

鍾智昕^{1)*} 林世宗¹⁾ 汪澤宏²⁾ 林振榮³⁾

緒言

臺灣東部宜蘭縣，海岸線最北的起點自頭城大澳向南延伸至花蓮縣交界和平溪溪口，全長約 106 公里。保安林可區分為防風保安林、潮害防備保安林、鹽害保安林、飛砂防止保安林及漁業保安林等。保安林主要透過林分建造的技術，以喬木或灌木組成單一樹種或多樹種的林分，藉以達到減少環境的負面衝擊(Santiago et al. 2007)、減緩土地蒸散量(Vigiak et al. 2003)與野生動物棲息地及休憩空間(Alemu 2016)的正面效益，對海岸地區農業生產及生活環境提供重要保護功能(蕭祺暉 2002，鄧書麟等 2005，何坤益 2006，陳財輝 2008，陳財輝 2017)。臺灣海岸林帶，是保護內陸生態生活的第一道重要防線，通常範圍狹長廣闊。海岸林所具備的各種生態系統服務功能，必須視其植生空間分布特徵(包括寬度、高度、形狀和排列方向等)和冠層結構(包括喬木與灌木的數量、樹枝與樹葉密度等)決定其功能有效性(Brandle et al. 2004)。例如，在適當地區建造防風林，可將風速降低 30%至 50% (Bird et al. 1992)。

遙測技術中的空載光達(airborne laser scanning, ALS)，可以提供大尺度空間精確與高效率的海岸林空間分布與植生結構現況，是充分的瞭解海岸森林生態系統與經營管理的重要工具。現有海岸林林帶由於濱海地區土地利用快速變遷與極端氣候事件的衝擊(例如：2015 年的蘇迪勒颱風)等產生劣化的情形，多數地區海岸林帶產生破碎化、老化與衰退的現象，林帶範圍縮減逐漸減縮，進而喪失其整體性，造成海岸防風林的功能減弱，難以完全發揮阻隔各種災害、維護生活環境與農業生產的生態系統服務功能。

因此本研究透過無人機空載光達蒐集宜蘭海岸林資料，並利用韋伯分布(Weibull distribution)與樹高平方根差總和(sum of the square root of the difference, SQRI)進行林分特徵之分析，探究宜蘭縣地區劣化海岸保安林與新植造林林分高程現況，及評估林分結構特徵與樹高平方根差總和的描述適當性。

¹⁾ 國立宜蘭大學森林暨自然資源學系，260007 宜蘭縣宜蘭市神農路一段 1 號。

* 通訊作者，E-mail: chchung@niu.edu.tw。

²⁾ 行政院農業委員會林業試驗所森林保護組，100051 臺北市中正區南海路 53 號。

³⁾ 行政院農業委員會林業試驗所森林利用組，100051 臺北市中正區南海路 53 號。

材料與方法

本研究使用 109 年由羅東林區管理處委託自強公司所拍攝的 LiDAR 資料，包含數值表面高程模型(digital surface model, DSM)、數值地形模型(digital elevation model, DEM) 與以及正射影像資料。前述的正射影像為網格式資料(raster data)，DEM 及 DSM 資料皆為點雲資料格式(point cloud data)。為有效與充分運用光達所拍攝到全部區域的資料，將點雲資料重新進行分類處理，及轉換為網格式資料，提供後續分析與展圖使用。光達點雲資料在森林的應用常將數值表面模型和數值高程模型兩種模型所相減求取樹冠高程模型(Canopy Height Model, CHM)，用於描述森林區域樹木的形狀和範圍，林木高度、樹體積位置等。

一、研究區域概述

本研究試驗地為羅東林區管理處所轄之 2703 號海岸保安林地，本區域於 2015 年時曾受到蘇迪勒颱風的侵襲，使本區鄰海之林分受到嚴重之破壞，因此本研究選定受颱風摧毀的海岸林範圍，約自蘭陽溪口往北，約 3 公里之範圍。為瞭解林分的結構現況，分別就本區域內選定靠內陸(距海岸約 200 公尺)與鄰海(距海岸約 50 公尺)之四種林分型態，(A)靠內陸林分(近內側土堤林分、(B)鄰海輕微風損之林分、(C)鄰海嚴重風損復育造林之林分與(D)鄰海嚴重風損未施行復育造林之林分。本試驗於 2018 年所進行復育造林，以友善環境之造林作業方式，造林前先進行現存林木調查，保留林分中尚具生機的林木，主要為木麻黃，經林分整理及搭建防風籬，並規畫由海岸向內陸之林間孔隙栽植不同海岸樹種，包括林投、草海桐、欖仁樹、水黃皮、白千層、苦楝及木麻黃等苗木，期營造為混合樹種之複層林林相。以此四種林分為本研究分析之對象。

二、韋伯分布

將研究區域之光達點雲資料，依不同林分配適 2 參數之韋伯分布，可以透過分布的參數瞭解林分冠層高度的分布現況。

$$f(h) = \frac{\beta}{\theta^\beta} t^{\beta-1} \exp\left(-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right) \quad (1)$$

其中 $F(h)$ 為樹冠高程模型高度降低的機率趨勢， β 和 θ 為分佈的形狀和尺度參數。 β 參數稱為形狀參數，其決定了韋伯分布的形狀。 θ 參數是樹冠高程模型高度頻度分布，也稱為尺度參數。

三、樹高平方根差總和

為解析林分的冠層高度變化多樣，藉由具有意義指標進行視覺化的資料呈現，本研

究以樹高平方根差總和(sum of the square root of the difference, SQRI)作為林分冠層多樣性的指標，此是由 Barbeito 等人(2009)所發展的指標，以類似量度歧異度的計算，描述林分垂直結構特徵，瞭解林分樹高的變異大小，作為描述垂直結構現況依據。公式如下：

$$SQRI = \sum_{i=1}^n P_j \sqrt{|O_j - O_m|} \quad (2)$$

P_j =第 j 個樹高層級的樹高總和與每公頃樹高總和的比例， O_j =第 j 棵林木樹高， O_m =平均樹高。

結果與討論

各林地的樹冠高程模型的分布，由於光達資料為點的資料型態，故以百分比呈現不同高度的分布情況(表 1)，分析結果顯示，靠內陸之林分有較多的高大林木，分布高度達 12 公尺以上，鄰海輕微風損之林分樹冠高度僅少數分布到 10 公尺，2018 年時鄰海嚴重風損之造林的林分與未造林的林分樹高同樣僅少數分布到 9 公尺。

表 1. 海岸林不同林分種類樹冠高程模型分布百分比

Treatments	Forest status	Planting year	Canopy height model (CHM)											
			1m	2m	3m	4m	5m	6m	7m	8m	9m	10m	11m	>12m
A	inner side	-	0.1	8.9	12.3	16.9	19.5	15.3	9.9	6.8	4.7	3.0	1.8	0.9
B	seaside*	-	0.1	23.7	19.3	26.5	20.7	7.6	1.6	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
C	seaside**	2018	0.1	61.2	17.2	11.2	6.7	2.0	0.8	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0
D	seaside**	CTRL	0.1	45.8	21.8	16.4	9.5	3.6	1.6	0.8	0.2	0.0	0.0	0.0

* mild damaged, ** severe damaged

本區域樹冠高程模型(CHM)的平均值約自 1.2~3.8 公尺，分佈形狀可以用偏度(skewness)與峰度(kurtosis)量化表示。本試驗區四塊林分的偏度皆為正值，其中靠內陸林分(近內側土堤林分)、另外鄰海嚴重風損復育造林之林分(C 處理)與未施行復育造林(D 處理)之林分，偏度值為 0.6~1.6 之間，顯示樹高分布集中在平均數以下，亦即樹冠層較低矮的林木個體較多，特別是 2018 年造林地的偏度值最大為 1.6，林分內由許多 2 年生新植林木組成，僅有少數較高的留存林木。峰度的值自 2.4~5.9，其中在鄰海輕微風損之林分的峰度值低於 3，偏度為 0.1，較為常態分佈，呈現較為低而闊的低闊峰分佈；其餘林分峰度值大於 3，表示為尖頂峰度分布，亦即表示樹冠層高度集中，密集地分佈在眾數的周圍(表 2)。本研究區的樹冠高程平均值相對較小，且樹高分布偏度都為正值，顯示

林分內多為矮小的林木，因此由光達資料分析林分冠層高度會獲得較低的平均林分高度。由配適韋伯分布 2 參數模型的形狀參數數值自 0.4~0.6，顯示樹高分布為遞減函數(表 3)，尺度參數為配適模型截距的指數，可以瞭解 2 林分的尺度參數相似，而以二年生新植林分最小，表示林分樹冠高程起始的高度較低。SQRI 的分析(表 3)，顯示靠內陸之林分具有最高的 SQRI 值(2.1)，當 SQRI 值大於 2 時表示該林分的樹冠高度結構具有高度的變異性，其餘的林分 SQRI 值皆小於 2，其中以 2018 年時造林林分的 SQRI 值最低(1.2)，主要多為二年生的新植林木，較一致的初期生長致林分高程變化相對小。

表 2. 海岸林不同林分種類光達點雲統計值摘要表

Treatments	Forest status	Planting year	CHM Mean (sd)	Skewness	kurtosis
A	inner side	-	3.8 (2.1)	0.6	3.3
B	seaside*	-	2.2 (1.4)	0.1	2.4
C	seaside**	2018	1.2 (1.3)	1.6	5.9
D	seaside**	CTRL	1.5 (1.4)	1.0	3.6

* mild damaged, **severe damaged
CHM: Canopy Height Model.

表 3. 海岸林不同林分韋伯分布(Weibull shape)與樹高平方根差總和統計值摘要表

Treatments	Forest status	scale	Weibull shape	CHM ₅₀	SQRI
A	inner side	1771.1	0.6	8.4	2.1
B	seaside*	1714.2	0.5	5.0	1.6
C	seaside**	596.5	0.4	5.1	1.2
D	seaside**	913.3	0.6	4.6	1.4

* mild damaged, **severe damaged

將韋伯分布(Weibull shape)所求取累積機率與對應的樹高進行分析，結果顯示靠內陸之林分相對高於他林分冠高程，以韋伯分布機率為百分之五十的樹高(CHM₅₀)最大為 8.4 公尺，表示林分內有一半的林木冠層高度是至少有 8.4 公尺，顯示具有較多高大的林木。在風災後未施行造林之自行回復生長之植被區的 CHM₅₀ 呈現最低為 4.6 公尺，顯示有一半的林木冠層高度是低於 4.6 公尺。在鄰海輕微風損之林分與風災後於 2018 年新植林分，CHM₅₀ 分別為 5.0 與 5.1 公尺，由曲線變化的趨勢，可以說明透過保留前生樹的造林更新技術來調整林分結構，可較相似於鄰近海岸林之林分的冠層結構，可提供營造海岸林複層結構時的技術參考。

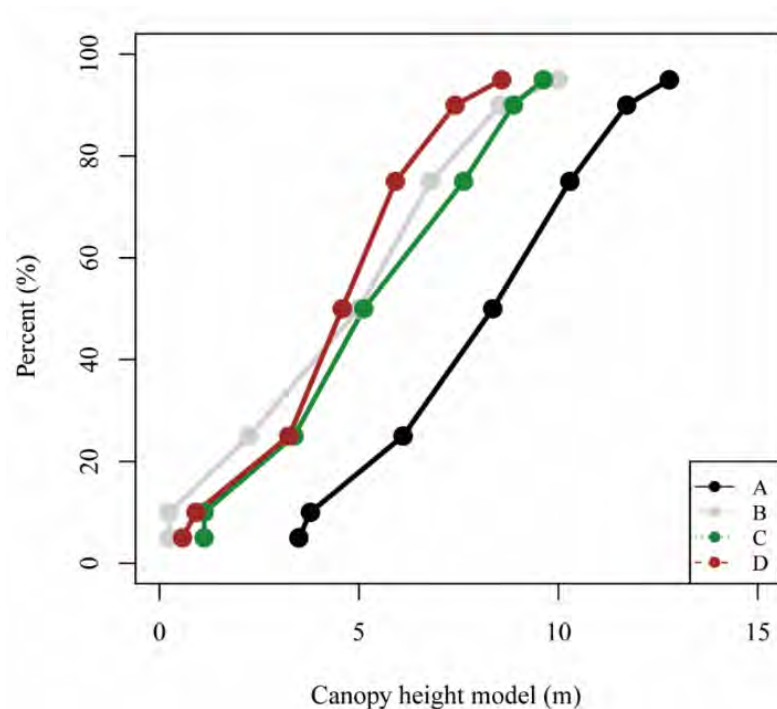


圖 1. 樹冠高程模型高度配適韋伯分布累積機率分布

結論

本研究透過無人機空載光達蒐集宜蘭海岸林資料，利用韋伯分布與樹高平方根差總和進行林分特徵之分析，可以有效率與精確的評估海岸林分的平均高度與高程結構組成的比例變化。將光達所獲得的林分冠層高度模型，透過配適韋伯分布可以掌握更多的林分冠層資訊。且本區域的資料分佈多呈現偏歪的趨勢為非常態分佈，以常態假設為基礎的統計所得平均值，會使樹高被低估。由樹高平方根差總和描述不同林分的冠層結構變異性，可以提供做為評估冠層的多樣性的一個參考指標，靠內陸的林分的樹高平方根差總和最高，顯示當鄰海的林分具備一定高度與厚度時，可以提供保護後方的林分功能。受到颱風干擾後，林分的冠層高度變異性大幅的減低，若未施行造林之自行回復生長之植被區的植被較為低矮，透過造林技術可以輔助營造複層的林分結構與功能性。因此海岸林的規畫必須有不同區位，且需要一定的寬度，才可發揮一定保護功能。本研究於 2018 年所採行保留前生樹的造林方法，林分冠層高度的累積分佈機率與鄰海輕微風損之林分相似，可以較快速的建立林分的複層結構。

引用文獻

何坤益 (2006) 台灣海岸林造林之撫育管理。台灣林業 32(1): 40-43。

- 陳財輝 (2008) 人工海岸保安林復舊。林業研究專刊 15(1): 18-21。
- 陳財輝 (2107) 臺灣海岸的守護者—海岸林。林業研究專訊 24(1): 28-31。
- 鄧書麟、何坤益、陳財輝、王志斌、高銘發 (2005) 台灣西海岸防風林造林策略與樹種之選介。台灣林業 30(1): 61-67。
- 蕭祺暉 (2002) 海岸林鹽沫危害與復育造林。台灣林業 28(6): 27-28。
- Alemu MM. (2016) Ecological Benefits of Trees as Windbreaks and Shelterbelts. International Journal of Ecosystem, 6(1): 10-13.
- Barbeito I, Canellas I, Montes F. (2009) Evaluating the behaviour of vertical structure indices in Scots pine forests. Ann. For. Sci. 66(7): 1-10.
- Brandle JR, Hodges L, Zhou XH. (2004) Windbreaks in North American agricultural systems. New Vistas in Agroforestry, 61: 65-78.
- Santiago JL, Martin F, Cuerva A, Bezdenejnykh N, Sanz-Andres A. (2007) Experimental and numerical study of wind flow behind windbreaks. Atmospheric Environment, 41: 6406–6420.
- Vigiak O, Sterk G, Warren A, Hagen LJ. (2003) Spatial modeling of wind speed around windbreaks. Catena, 52: 273-288.

暗色隔膜內生菌接種和順序對阿里山十大功勞苗木的影響

林瑞進^{1)*} 許嘉弘¹⁾ 何尚哲²⁾

緒言

阿里山十大功勞(*Mahonia oiwakensis* Hay.)為小檗科(Berberidaceae)十大功勞屬(*Mahonia*)之臺灣特有種植物；目前已被植物紅皮書列為瀕危物種等級之極待保育樹種之一。在臺灣十大功勞屬之植物共計有五種，分別是阿里山十大功勞、竹子山十大功勞(*M. tikushiensis*)、玉山十大功勞(*M. morrisonensis*)、島田氏十大功勞(*M. shimadai*)及太魯閣十大功勞(*M. oiwakensis* var. *tarokoensis*, var. nov. et nom.nud.)，其中是以阿里山十大功勞分布較廣(呂勝由 2013)；並且於 1997 年蕭育賢比較福氏十大功勞、十大功勞及阿里山十大功勞之小檗鹼含量後，證實阿里山十大功勞含量最高；再加上阿里山十大功勞之萃取物(*Mahonia oiwakensis* extract, MOE)已被證實具有對抗肺癌之效益，具有開發成為對抗肺癌的潛力用藥(Wong et al. 2009)。因此阿里山十大功勞之培育及提升植體內小檗鹼含量應是未來培育藥用植物的重點項目。

菌根對寄主植物的效益已廣泛被證實，不僅具有提升寄主植物存活及生長(Azcón-Aguilar and Barea 1997, Lin et al. 2019)，還能有效提高寄主植物體內二次代謝物(Wu and Guo 2010, Lin et al. 2011, Chao et al. 2020, Lin et al. 2021)。暗色隔膜內生真菌(dark septate endophytic fungi, DSEF)為近 20-30 年來廣泛探討的植物共生菌，係指一群不僅不會對寄主植物產生危害，還會對寄主植物產生效益的真菌；並於寄主植物根部細胞中形成暗色(透明)微菌核(dark (hyaline) microsclerotia)或暗色(透明)菌絲(dark (hyaline) septate hyphae)等暗色隔膜內生菌(dark septate endophyte, DSE)之構造(Zhang et al. 2011, Lukešová et al. 2015)。早在 2010 年，印度研究證實十大功勞屬植物係屬無菌根共生(Bagyalakshmi et al. 2010)；但隨後被後續研究者推翻；在 2016 年在阿里山十大功勞分離出 2 株內生菌，並證實這 2 株內生菌能與阿里山十大功勞苗木共生，並證實這 2 株菌株是暗色隔膜內生菌(談胤伶等 2016)。雖然在 2019 年有學者也從福氏十大功勞(*M. fortunei*)根部分離出內生真菌 *Pleosporales* sp. F46，但僅證實這株菌株具有生產類固醇的能力(Wang et al. 2019)。目前暗色隔膜內生菌對寄主植物的效益包括：促進宿主植物生

¹⁾ 國立嘉義大學森林暨自然資源學系，600355 嘉義市鹿寮里學府路 300 號。

* 通訊作者，E-mail: linerm@mail.nncyu.edu.tw。

²⁾ 國立嘉義大學木質材料與設計學系，600355 嘉義市鹿寮里學府路 300 號。

長和養分的吸收(Jumpponen and Trappe 1998, Caldwell et al. 2000, Mandyam and Jumpponen 2005)、提高宿主抗逆境能力(Barrow 2003, Lin 2020)和提高宿主抗病能力(Khastini 2012)。本研究室已證實阿里山十大功勞能和 MoAL2、MoAL5、CkDB2 和 CkDB5 等 4 株暗色隔膜內生菌共生；並得知 MoAL5 和 CkDB5 具有較佳生長量及小蘗鹼含量；目前在接種處理的研究上指出雙重接種會較單一接種效果顯著(Duponnois et al. 2003, Elumalai and Raman 2009)；因此本研究利用這 2 株已被證實對十大功勞表現較好的菌株，來探討單一、雙重接種及接種順序是否會影響寄主植物的親合效益，本研究為首次利用不同接種順序來探討暗色隔膜內生真菌是否會影響阿里山十大功勞的親合效益的文章。希望藉由研究成果能證實菌株間不同處理是否會讓菌株產生加乘或競爭的作用。

方法

一、試驗苗木

本研究所使用的阿里山十大功勞種子採自於嘉義縣阿里山森林遊樂區(120°48'45"E, 23°30'46"N，海拔高為 2,297 m)。將阿里山十大功勞種子浸至於 35% H₂O₂ 消毒 3 min，再以無菌水清洗 3 次，再將種子播種於經過高溫高壓滅菌的泥炭土介質中，待長出子葉後，移植至裝有滅菌過介質(泥炭土、珍珠石 1:1 v/v)的穴植管中，並在生長箱中培育(23±5°C、RH 80%、4,000 Lux)(談胤伶等 2016)。

二、接種源製備

經前期試驗已證實 CkDB5 與 MoAL5 菌株，對阿里山十大功勞苗木具有較佳促進生長的效益；因此，本試驗利用這 2 株菌株來探討單一接種及雙重接種在阿里山十大功勞的效益；將這 2 株菌株培養於 2%麥芽瓊脂培養基(Malt extract agar)上生長 21 天後做為接種源。

三、接種處理

帶苗木移植至穴植管後 14 天，即開始進行接菌處理；本試驗共計 6 種接種處理方法，其接種順序及方法分別如下：單一接種(CkDB5 接種組)：於苗木根部接種三塊菌塊(直徑 0.8 cm)；稱之為處理 1 組。單一接種(MoAL5 接種組)：於苗木根部接種三塊菌塊(直徑 0.8 cm)；稱之為處理 2 組。雙重接種(先接種 CkDB5 後接種 MoAL5 之處理)：於苗木根部先接種 CkDB5 三塊菌塊(直徑 0.8 cm)，於 7 天後，再接種 MoAL5 三塊菌塊(直徑 0.8 cm)；稱之為處理 3 組。雙重接種(先接種 MoAL5 後接種 CkDB5 之處理)：於苗木根部先接種 MoAL5 三塊菌塊(直徑 0.8 cm)，於 7 天後，再接種 CkDB5 三塊菌塊(直徑 0.8 cm)；

稱之為處理 4 組。雙重接種(同時接種 MoAL5 與 CkDB5 之處理)：於苗木根部同時接種 CkDB5 和 MoAL5 菌株各三塊菌塊(直徑 0.8 cm)；稱之為處理 5 組。無接種：直接將苗木培養在滅菌過的介質中；稱之為處理 6 組。所有處理苗木在培養 100 天後，立即進行破壞性試驗。

四、染根處理

本試驗方法修改吳繼光和林素禎(1998)的染根方法。將部分根段依序浸泡於 10%(w/v) KOH 及 35% H₂O₂，並放置於 90°C 水域槽各 15 min 後，將處理過的根段浸泡於 1% HCl 靜置 1 hr，最後加入錐蟲藍-乳酸酚(Trypan blue-lactophenol) 1 hr 並退染，完成後即可保存於載玻片及使用顯微鏡觀察根段構造，並拍照紀錄。

五、專一性引子測試

試驗所用的 2 株菌株，其中 CkDB5 菌株已完成專一性引子的設計(陳浩宇 2019)，所以本次試驗針對 MoAL5 菌株進行專一性引子設計，針對其核酸序列選擇 5.8S rDNA 和 28S rDNA 基因間隔序列(ITS)的區域，藉由國家衛生研究院(國衛院)開發的線上引子設計工具(Primer Design Assistant, PDA)設計專一性引子，並進行引子專一性與靈敏度之測試。

六、生長量分析

苗高量測：使用鋼尺為測量工具，將試驗苗木洗淨後將其攤平後測量。量測鮮重和乾重：將苗木從容器中移出，並以自來水沖洗介質，再吸乾表面水分後，移置烘箱以 60°C 烘乾 7 天後，分別量測各處理組之地上部及地下部乾重，每處理 8 重複。

七、小蘗鹼含量測定

標準品製備：秤取小蘗鹼 0.05 g，溶於 100% 甲醇溶解後定量至 100 mL，以 0.22 μ m 針筒過濾器過濾後為含量 250 ppm 儲存溶液，供高效液相色層分析儀(High-performance liquid chromatography, HPLC)偵測小蘗鹼濃度之用。

檢品製備：試驗植株根部經乾燥後並粉碎，精秤 0.2 g 粉末浸於 2.5 mL 之 100% 甲醇 24 hr 後取其濾液，殘渣再加入 1 mL 100% 甲醇 24 hr 後取其濾液，重覆此萃取步驟 2 次，並合併 3 次所得之濾液，加入甲醇定量至 10 mL。將所得之濾液通固相萃取管後，使用 HPLC 進行小蘗鹼含量測定。

高效液相色層分析法：以 HPLC (HP Agilent 1100)進行分析；分析管柱 Discovery-C18 column (250 mm *4.6 mm, 5 μ m)；以 0.05% 磷酸與甲醇作混合梯度分析；分析梯度比例是 2 min 時，甲醇比例 4%，經過 42 min 後升到 100%，持續維持至 45 分鐘後，而在經

過 47 min 後降到 96%，最後在 50 min 後降 4%平衡；以流速 1 mL/min，配合 310 nm PDA 偵測器進行偵測。

八、統計分析

試驗數據以 SPSS (statistical product and service solutions)軟體之單因子變異數分析 (one-way ANOVA)，並進一步以鄧肯最小顯著差異檢定法($p < 0.05$)進行事後檢定。

結果與討論

一、各處理苗木之根部染色觀察

所有處理苗木經培育 100 天後皆生長良好，在傳統染根觀察上，於各接種處理之苗木根系皆於染根觀察中都可發現微菌核之構造，但在對照組的根系上就無發現此種構造。

二、專一性引子測試

本次試驗利用 MoAL5 和 CkDB5 菌株，在 CkDB5 菌株之專一性引子已完成，其專一性及靈敏度都反應良好(陳浩宇 2019)；所以本次試驗針對 MoAL5 菌株進行設計及測試，其分析如下：

(一)MoAL5 菌株專一性引子設計及測試

此次試驗針對 MoAL5 菌株所設計的專一性引子對為 Mo5-F(5'TCATTGTCTTTAGGAGGG3')及 Mo5-R(5'GAGTTAGGGTCTTCTAGG3')；將設計的 MoAL5 專一性引子，首先進行菌株專一性測試，在泳道 1 和 2 為菌株測試，其結果證實在泳道 1 有出現條帶，另在泳道 2 無呈現條帶。泳道 1 為 MoAL5 菌株之產物，另泳道 2 為 CkDB5 菌株，因此，此專一性引子對 MoAL5 菌株具有專一性。隨後，立即針對本試驗之 6 種處理之根系樣本進行測試，以確認菌株是否存在；將這 6 種處理之根部樣本進行分析，所有樣本顯示於泳道 3、4、5、6、7 和 8，結果只有泳道 5 出現條帶，其餘皆無條帶出現。

(二)CkDB5 菌株專一性引子測試

利用陳浩宇(2019)年設計的 CkDB5 菌株專一性引子(DB5-1F/DB5-1R)，經菌株測試在泳道 1 無出現條帶，但在泳道 2 有出現條帶，經證實泳道 2 為 CkDB5 菌株，因此證實此專一性引子對 CkDB5 菌株具專一性。隨後，立即針對本試驗之 6 種處理之根系樣本進行測試，以確認菌株是否存在；將這 6 種處理之根部樣本進行分析，所有樣本顯示於泳道 3、4、5、6、7 和 8，結果在泳道 3、4、6 和 7 都有出現條帶，僅在泳道 5 和 8

無條帶出現。

傳統證實菌根的方法就是利用染根技術，近年來分子生物技術突飛猛進，利用專一性引子來證實特殊菌株是否存在已是目前常用的方法，因此，利用專一性引子來證實有益微生物的存在更是重要。在本次試驗中發現，接種 CkDB5 菌株不管是單一或是雙重接種於培養 100 天後都可藉由專一性引子成功證實菌株存在於根系；但接種 MoAL5 就產生特別的反應，利用本次開發的專一性引子雖然在菌株及單一接種時都能成功證實菌株存在，但在雙重接種時就發生較特別反應，就是苗木在培養 100 天後利用專一性引子卻無法成功證實菌株存在。此種菌株間的競爭或合作，在 Vohnik and Albrechtová (2011) 的野外試驗中發現，杜鵑類菌根菌和暗色隔膜內生菌之間會產生負相關之族群消長情形。

三、生長量分析

本試驗在接種後培育 100 天，立即進行生長量分析，其平均值先經變異數同質性檢定確認變異數無顯著差異後再行 ANOVA 單因子變異數分析，測驗結果顯示，此六種處理之平均值在苗高和乾重部分都有顯著差異($p < 0.05$)；之後在以 Duncan's DMRT 測驗。

在苗高部分，經 Duncan's DMRT 測驗結果得知，處理 2、3、4 及 5 組與對照組呈現顯著差異($p < 0.05$)，僅處理 1 組與對照組呈現不顯著差異。其平均值以處理 5 組(10.4 ± 0.5 cm)較大，其次為處理 4 組(9.6 ± 0.9 cm)、處理 2 組(9.2 ± 1.2 cm)、處理 3 組(9.1 ± 0.7 cm)和處理 6 組(8.5 ± 0.6 cm)，最小則為處理 1 組(7.4 ± 1.2 cm)。

在地上部乾重部分，經 Duncan's DMRT 測驗結果得知，處理 2、4 及 5 組與對照組呈現顯著差異($p < 0.05$)，但處理 1 和 3 組與對照組呈現不顯著差異($p > 0.05$)。其平均值以處理 4 組(0.32 ± 0.09 g)和處理 5 組(0.32 ± 0.073 g)較大，其次為處理 2 組(0.248 ± 0.040 g)、處理 1 組(0.217 ± 0.078 g)、處理 3 組(0.172 ± 0.046 g)，最小則為處理 6 組(0.131 ± 0.040 g)。

在地下部乾重部分，經 Duncan's DMRT 測驗結果得知，所有接種組皆與對照呈顯著差異($p < 0.05$)。其平均值以處理 5 組(0.066 ± 0.012 g)最大，其次為處理 2 組(0.053 ± 0.009 g)、處理 4 組(0.051 ± 0.006 g)、處理 1 組(0.049 ± 0.009 g)、處理 3 組(0.047 ± 0.009 g)，最小則為處理 6 組(0.037 ± 0.013 g)。

在全株乾重部分，經 Duncan's DMRT 測驗結果得知，處理 2、4 及 5 組與對照組呈顯著差異($p < 0.05$)，但處理 1 及 3 組與對照組呈現不顯著差異($p > 0.05$)。其平均值以處理 5 組(0.385 ± 0.077 g)最大，其次為處理 4 組(0.374 ± 0.096 g)、處理 2 組(0.301 ± 0.049 g)、處理 1 組(0.266 ± 0.094 g)、處理 3 組(0.219 ± 0.050 g)，最小則為處理 6 組(0.168 ± 0.044 g)。

接種為利用有益微生物促進植物生長效益的有效方法，暗色隔膜內生菌對植物的效益已被廣泛證實，目前阿里山十大功勞已被證實能與暗色隔膜內生真菌共生(談胤伶等 2016)，亦證實這 2 株菌株(MoAL5 和 CkDB5 菌株)會對阿里山十大功勞苗木產生較大生物量及小蘗鹼含量，其中又以 CkDB5 菌株在表現上又優於 MoAL5 菌株；但目前在接種應用，已由以往的單一接種技術漸漸擴及雙重(或是多重)等接種技術，亦證實雙重(或是多重)接種之效益都較單一接種好；本試驗證實在接種 CkDB5 菌株處理時，雙重接種(處理 4 和 5 組)時，都比單一接種處理好；但在 MoAL5 菌種處理時，就產生較特別的現象，尤其在處理 3 之雙重接種處理時，就將近產生與對照組處理之反應。

四、小蘗鹼含量分析

本次試驗分別以阿里山十大功勞苗木地上部及地下部進行小蘗鹼含量檢測。在地下部每單位小蘗鹼含量上，經分析結果顯示各處理中以處理 5 組($14,404 \mu\text{g g}^{-1}$)具有最高含量，其次依序為處理 4 組($8,620 \mu\text{g g}^{-1}$)、處理 2 組($6,659 \mu\text{g g}^{-1}$)、處理 3 組($4,488 \mu\text{g g}^{-1}$)、處理 1 組($3,189 \mu\text{g g}^{-1}$)，具最小含量則為處理 6 組($2,517 \mu\text{g g}^{-1}$)。

在地上部每單位小蘗鹼含量上，經分析結果顯示各處理中以處理 2 組($13,274 \mu\text{g g}^{-1}$)具有最高含量，其次依序為處理 5 組($10,160 \mu\text{g g}^{-1}$)、處理 2 組($9,691 \mu\text{g g}^{-1}$)、處理 3 組($8,631 \mu\text{g g}^{-1}$)、處理 6 組($8,118 \mu\text{g g}^{-1}$)，具最小含量則為處理 4 組($7,797 \mu\text{g g}^{-1}$)。

在各處理苗木之小蘗鹼含量部分；在苗木地上部小蘗鹼含量以處理 5 組($3,241 \mu\text{g}$)具有最高含量，其次依序為處理 1 組($2,880 \mu\text{g}$)、處理 4 組($2,518 \mu\text{g}$)、處理 2 組($2,403 \mu\text{g}$)、處理 3 組($1,485 \mu\text{g}$)，具最小含量則為處理 6 組($1,063 \mu\text{g}$)。

在苗木地下部小蘗鹼含量以處理 5 組($951 \mu\text{g}$)具有最高含量，其次依序為處理 4 組($440 \mu\text{g}$)、處理 2 組($353 \mu\text{g}$)、處理 3 組($211 \mu\text{g}$)、處理 1 組($156 \mu\text{g}$)，具最小含量則為處理 6 組($93 \mu\text{g}$)。

在苗木小蘗鹼總含量以處理 5 組($4,192 \mu\text{g}$)具有最高含量，其次依序為處理 1 組($3,037 \mu\text{g}$)、處理 4 組($2,958 \mu\text{g}$)、處理 2 組($2,756 \mu\text{g}$)、處理 3 組($1,695 \mu\text{g}$)，具最小含量則為處理 6 組($1,157 \mu\text{g}$)。

結論

阿里山十大功勞為台灣特有種植物，其粗萃物亦被證實為肺癌的潛力用藥。本次試驗已成功設計出 MoAL5 菌株的專一性引子，並證實利用 MoAL5 和 CkDB5 菌株的專一性引子都成功證實接種菌株的存在；並再次證實這 2 株菌株確實對阿里山十大功勞苗木

具有促進生長及提高小葉鹼含量的效益，其中以 CkDB5 菌株表現最好，另於接種順序處理時，是以同時接種處理較其他處理好；因此，未來推廣阿里山十大功勞苗木栽植時，同時利用 CkDB5 菌株與 MoAL5 菌株將是有益微生物的較佳組合。

**Spore diversity and abundance of arbuscular mycorrhizal fungi in
Taiwania cryptomerioides plantation– a preliminary study at Lioukuei,
Kaohsiung city**

Chun-Yu Lee^{1)*} Tzu-Chao Lin²⁾ Guan-Ying Lin¹⁾ Chin-Tzer Duh¹⁾ Chu-Mei Huang¹⁾
Chih-Yu Hung³⁾

Introduction

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) are beneficial to their plant partners by improving nutrients acquisition and water relations of plants, and increasing resistance to pathogens (Smith & Read, 2008). Silvicultural practices should consider preserving the abundance and diversity of AMF a part of establishing the best silvicultural practices for endemic species with high quality of timber, e.g. *Taiwania* (*Taiwania cryptomerioides*), for boosting timber self-sufficiency rate in Taiwan. Knowledge of the diversity of AMF is needed for silvicultural practices because AMF are proven to exhibit functional diversity and specificity of response to hosts (Chagnon, 2013). However, the benefits of AMF to *Taiwania* were reported only in greenhouses with single species inoculated (Yen, 2000), and the abundance and diversity of AMF in *Taiwania* forests were not well depicted (Wu et al., 2008). Slope position affects soil structure and development by leaching and surface runoff that cause variation of soil properties along a slope. The various soil properties affected the diversity of AMF (Gibson & Hetrick, 1988; Xu et al., 2020). Therefore, in a hilly site such as Lioukuei, slope position could be an essential factor when investigating the community of AMF. In this study, we aim to (1) describe the diversity and abundance of AMF in *Taiwania* plantation, and (2) explore the relationship of AMF community compositions and slope positions with different soil properties.

Materials and Methods

1. Study site and sampling

The study site was located at a *Taiwania* plantation established in 1978 at Fen-Gang Mountain (altitude: 1600 m), Lioukuei district, Kaohsiung city (120°43'4.6"E, 22°59'46.7" N). The average annual precipitation is 3430 mm with the average annual temperature at 16.7 °C. Nine plots (25m*30m. n =3) were established along three slope positions (upper, middle, and

¹⁾ Silviculture Division, Taiwan Forestry Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan, 100051 No.53, Nanhai Rd., Zhongzheng Dist., Taipei City, Taiwan.

* Corresponding author, E-mail: myco2324@tfri.gov.tw.

²⁾ Endemic Species Research Institute, Jiji, Nantou, 552, Taiwan.

³⁾ Agriculture Agri-Food Canada, Ottawa, Ontario K1A 0C6, Canada.

lower). Three soil samples (0–15 cm) were collected randomly for soil analysis from each plot in August 2020 for soil analysis. For AMF spore analysis, six soil samples near the *Taiwania* trees (ca. 2–4 m) in the plot were collected and mixed to three soil samples.

2. Soil analysis

Soils were dried at 30°C in oven, ground, and sieved (< 2mm) for further analysis. Soil available nutrients (Ca, Mg, K, Cu, Fe, Zn, Mn, P) were extracted by Mehlich-3 extraction solution and determined by Inductively coupled plasma spectrometry (Carter & Gregorich, 2008). Soil pH was measured in a 1:1 soil/water solution. Total soil carbon and nitrogen were measured by an elemental analyzer.

3. AMF spores extraction, identification and trap culture establishment

AMF spores were extracted from 25 g fresh soil by wet sieving and decanting method followed by sucrose centrifugation with slight modification (Brundrett et al., 1996; McKenney & Lindsey, 1987). After sucrose centrifugation and filtration, the spores on a 30-grids of filter paper were separated into morphotypes and mounted on slides for identification under microscope, aiding with Melzer's reagents. The species identification for AMF spore was based on the morphological descriptions by Schenck & Pérez (1990), original papers, website of International Collection of Vesicular Mycorrhizal Fungi, and Dr. Blaszkowski's website. Trap cultures were established with soil collected from each plot and *Paspalum notatum* as host plants in 18 cm pots. Trap cultures were maintained in growth chambers from September 2020 to April 2021 and harvested for procedures depicted above with slight difference in the amount of soil used (50 g) and the way to count spores (all spores counted except for species sporulating abundantly).

4. Statics analysis

Effect of slope position on the spore density, diversity index (Shannon and Simpson index), and soil properties were analyzed by one-way ANOVA. We used analysis of similarities (ANOSIM) and principal component analysis (PCA) to analyze the AMF community composition at different slope positions. We used redundancy analysis (RDA) to analyze the linear relationships between soil nutrients and AMF community composition. All analyses were conducted with R 4.0.2.

Results and Discussion

This study provided the first practical data of the diversity and abundance of AMF in the *Taiwania* plantation based on spores, which has 20 taxa of AMF in six families and 12 genera in the study site (Table 1). Generally, *Acaulospora*, *Septoglomus*, and *Sclerocystis* were the

most abundant genera across plots. Three additional species of AMF were detected in trap cultures, including *Paraglomus occultum*, *Acaulospora cavernata* and *Acaulospora tortuosa* aff. Four new record species in Taiwan were found in this study, including *Acaulospora cavernata*, *Acaulospora tortuosa* aff., *Acaulospora pustulata* aff. and *Ambispora* sp. *Acaulospora cavernata* was firstly reported in Poland (Blaszkowski, 1989). This species has yellow to light brown ornamented spore with pits ranging from 2-5µm in diameters and can be easily distinguished from other pitted spores. *Ambispora* sp. is similar to *Ambispora reticulata* in spore size and spore wall structure (Oehl et al., 2013). Although both spores of *Acaulospora tortuosa* aff. and *Acaulospora pustulata* aff. resemble their morphological descriptions, their germination walls react to Melzer's reagents with staining reddish brown which is not observed in original papers.

The species richness in this study is lower than forests with similar mean annual temperature and precipitation, probably due to the higher species richness of overstory tree species in those studies (Yang et al., 2011; Yuan et al., 2019). Nevertheless, the causal relationship remains unclear (Kokkoris et al., 2020). The positive relationship between species richness of AMF and overstory tree species may be partly explained by niches partitions or host preference. However, comparison of AMF species based on spores between studies must be interpreted with caution because the spores are merely one metric of AMF. In addition, the sporulation pattern or amount of AMF varies with taxa and seasons. It is known that some of the AMF sporulate little or don't sporulate at all. An investigation of AMF solely based on spore may underestimate their diversity (Krüger et al., 2009). We suggest DNA-based methods to provide information of the AMF community in Taiwan plantation. The effects of slope positions on soil pH, soil available nutrients, soil organic matter, soil total C, soil total N are not significant (Table S1).

The results of ANOSIM indicated the similarity between AMF community compositions from three slope positions was not larger than the similarity within the compositions from the three positions. The PCA failed to separate the slope positions by AMF community compositions. Still, the RDA showed a relationship between the soil factors and the AMF community composition which RDA1 and RDA2 axis account for 12.84% variation. In addition, all soil factors were not significantly different among slope positions. Xu et al., (2020) found soil nutrients difference results from slope positions in Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) forests. This suggests that slope positions were not influential to AMF community compositions in our study, which may result from the lack of difference of soil factors among slope positions.

Our results showed various species of AMF in the Taiwan plantation, suggesting multiple

species inoculation would be more beneficial to *Taiwania* growth, especially for an assumed obligate mycorrhizal plant. This study also provided information on AMF community for forest managers to select candidates for AMF inoculation.

Table 1 The AMF species and types detected from soil in the *Taiwania* plantation in Lioukuei district, Kaohsiung city, Taiwan.

AMF species and types	Slop position		
	Upper	Middle	Lower
CI	6.3	3.4	0.0
Glomoid	152.8	116.2	61.8
<i>Rhizophagus fasciculatus</i>	0.7	1.4	0.0
<i>Septoglomus deserticola</i>	10.5 (4.9%)	24.5 (12.9%)	11.8 (12.8%)
<i>Diversispora spurca</i>	0.0	0.0	0.6 (1%)
<i>Sclerocystis rubiformis</i>	4.0 (1.9%)	5.5 (2.9%)	1.2 (1.3%)
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	5.5 (2.6%)	7.5 (4%)	2.0 (2.2%)
<i>Acaulospora excavata</i>	0.0	0.0	0.5 (6%)
<i>Acaulospora mellea</i>	8.8 (4.1%)	5.5 (2.9%)	2.7 (2.9%)
<i>Acaulospora morrowiae</i>	12.1 (5.7%)	0.7	1.3 (1.4%)
<i>Acaulospora koskei</i>	2.6 (1.2%)	6.9 (3.6%)	6.5 (7%)
<i>Acaulospora laevis</i>	5.4 (2.5%)	4.9 (2.6%)	0.0
<i>Acaulospora pustulata</i>	1.4	0.0	0.0
<i>Scutellospora calospora</i>	0.6	0.6	0.7
<i>Cetranspora pellucida</i>	0.7	0.0	0.0
<i>Scutellospora</i> sp.	0.7	1.3 (1%)	0.0
<i>Dentiscutata erythropus</i>	0.7	0.7	1.4 (1.5%)
<i>Pacispora franciscana</i>	0.0	0.6	0.0
<i>Ambispora</i> sp1	0.0	2.7 (1.4%)	1.2 (1.3%)
<i>Acaulospora</i> sp.	0.6 (1%)	6.6 (3.5%)	0.7
<i>Funneliformis mosseae</i>	0.0	0.7	0.0
<i>Gigaspora</i> sp.	0.7 (2%)	0.0	0.0
Spore densities (total number of spores per 25 g soil)	214.0 ±123.1	189.4 ±30	92.4 ±33.6
Species richness	15	15	12
Shannon diversity index	1.23 ±0.14	0.98 ±0.08	0.80 ±0.08
Simpson diversity index	0.62 ±0.06	0.47 ±0.05	0.44 ±0.05

1. CI (Can't be identified): spores that can't be identified because of ages or decaying.
2. Glomoid: Glomus like spores but the specific taxa cannot be identified.
3. In parentheses, the relative abundance > 1% of the taxa within each slope is given.
4. Taxa detected in trap culture are not included.

Acknowledgements

We thank for the invaluable assistance provided by Lioukuei Research Center, Taiwan Forestry Research Institute.

References

- Blaszkowski J. (1989)** *Acaulospora cavernata* (Endogonaceae)—A new species from Poland with pitted spores. *Crypt. Bot*, 1, 204–207.
- Brundrett M, Bougher N, Dell B, Grove T, Malajczuk N. (1996)** Working with Mycorrhizas in Forestry and Agriculture.
- Carter MR, Gregorich EG. (Eds.). (2008)** Soil sampling and methods of analysis (2nd ed). Canadian Society of Soil Science ; CRC Press.
- Chagnon PL. (2013)** A trait-based framework to understand life history of mycorrhizal fungi. 18(9): 8.
- Gibson DJ, Hetrick BAD. (1988)** Topographic and Fire Effects on the Composition and Abundance of VA-Mycorrhizal Fungi in Tallgrass Prairie. *Mycologia*, 80(4): 433.
- Kokkoris V, Lekberg Y, Antunes PM, Fahey C, Fordyce JA, Kivlin SN, Hart MM. (2020)** Codependency between plant and arbuscular mycorrhizal fungal communities: What is the evidence? *New Phytologist*, 228(3): 828-838.
- Krüger M, Stockinger H, Krüger C, Schüßler A. (2009)** DNA-based species level detection of Glomeromycota: One PCR primer set for all arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, 183(1): 212–223.
- McKenney MC, Lindsey DL. (1987)** Improved Method for Quantifying Endomycorrhizal Fungi Spores from Soil. *Mycologia*, 79(5): 779.
- Oehl F, Castillo C, Schneider D, Säle V, Sieverding E. (2013)** *Ambispora reticulata*, a new species in the Glomeromycota from mountainous areas in Switzerland and Chile. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 85(2): 129-133.
- Schenck NC, Pérez Y. (1990)** Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi. Synergistic Publications.
- Smith S, Read D. (2008)** *Mycorrhizal Symbiosis*. Elsevier.
- Wu YT, Yen CH, Wang YZ. (2008)** Quantification of Mycorrhiza from Taiwan Using Real-Time PCR. *Taiwan J For Sci*, 23(3): 199-209.
- Xu X, Wang X, Cleary M, Wang P, Lu N, Sun Y, Rönnberg J. (2020)** Slope Position Rather Than Thinning Intensity Affects Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) Community in Chinese Fir Plantations. *Forests*, 11(3): 273.
- Yang AN, Lu L, Zhang N. (2011)** The diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the subtropical forest of Huangshan (Yellow Mountain), East-Central China. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 27(10): 2351-2358.

- Yen CH. (2000)** Responses of Taiwanian and China fir Mycorrhizal Seedlings to Different Levels of Phosphorus. *Quarterly Journal of Forest Research*, 22(4): 35-43.
- Yuan Z, Fu Z, Yuan Y, Zhu L, Ma S, Zhang J, Wang J, Wang GG, Zhang B. (2019)** Arbuscular Mycorrhizal Fungi Associated with Tree Species in a Planted Forest of Eastern China. *Forests* (19994907), 10(5): 424.

淹水逆境下接種叢枝菌根菌對雜交種泡桐苗木生長之影響

林冠穎^{1)*} 陳怡蓓¹⁾ 李俊佑¹⁾

緒言

泡桐(*Paulownia* spp.)因生長快速、材質優良而曾為台灣重要造林樹種，1979 年造林面積最多曾達 2 萬公頃(林文鎮 1979)。同年，台灣泡桐普遍感染植物菌質體(phytoplasma)而引發嚴重簇葉病，加以品系單一造成的遺傳脆弱性，兩年內台灣泡桐造林地死亡近 8 成，重創泡桐產業。本所育林組先進利用控制授粉及生長點培養技術，育成耐簇葉病雜交品系泡桐，並於 2020 年底栽植於花蓮縣光復鄉，惟栽植試驗的每年夏天經常遭遇颱風侵襲，造成嚴重淹水，危害試驗地苗木生長。颱風及豪雨造成的強降雨使植物遭遇淹水逆境(Flooding stress)，由於氧氣在水中的溶解度及擴散性皆低，以及微生物及植物根系對水中溶氧的快速利用，導致土壤缺氧及有機質礦化減少，季節性淹水造成的淋溶作用(leaching)也使土壤可溶性氮及可溶性磷減少，造成土壤養分短缺(Barrios and Herrera 1994)。叢枝菌根菌(arbuscular mycorrhizal fungi, AMF)為一類內生於植物根部細胞的共生真菌，已被證明能透過增加植物根部吸收表面積、調節氣孔導度、植物激素狀態、抗氧化酵素活性、水孔蛋白活性、保護光系統及合成滲透調節物質等，促進植物生長及協助植物抵抗各類生物及非生物逆境(Porcel et al. 2012, Wu et al. 2013)。目前已有部分研究探討接種 AMF 對於林木及作物在淹水環境下生長的影響，並在不同寄主植物上得到不同的試驗結果：在紫檀(*Pterocarpus officinalis*)的研究中，AMF 能夠促進寄主生長及吸收增進其耐淹水能力(Fougnes et al. 2008)；番茄的研究中則發現 AMF 會藉由促進寄主植物乙烯及吲哚乙酸(indole-3-acetic acid, IAA)等植物激素合成，在低氧條件下調節根部導水度(hydraulic conductivity)，增進寄主植物耐淹水能力(Calvo-Polanco et al. 2014)；然而，在水稻的研究上指出淹水條件下 AMF 並不會促進植物的生長，但會顯著增加寄主植物對磷的吸收(Bao et al. 2019)。

Donald 等人(1988)曾以台灣泡桐(*Paulownia taiwaniana*)為材料，進行 AMF 人工接種試驗，結果發現有無接種並不影響其生長。惟目前尚無研究探討淹水逆境下 AMF 對泡桐生長的影響，本研究以雜交品系泡桐(*P. kawakamii* × *P. fortunei*)為材料，以 *Rhizophagus*

¹⁾ 行政院農業委員會林業試驗所育林組，100051 臺北市中正區南海路 53 號。

* 通訊作者，E-mail: louis@tfri.gov.tw。

irregularis 作為 AMF 接種處理，觀察淹水逆境及非淹水逆境處理下的生長差異，俾利確認 AMF 對是否能增益泡桐的耐淹水能力。

方法

一、雜交品系泡桐(*P. kawakamii* × *P. fortunei*)苗木

本試驗以組織培養馴化苗木為材料。繼代材料於發根培養基中生長逾 1 個月後，取出苗株並清洗苗株上殘餘的培養基，擇取苗高介於 3-4 cm，根部發育良好苗株作為試驗材料。

二、土壤介質、移植及菌根菌接種

土壤介質皆利用滅菌釜進行消除微生物干擾，混和比例為泥炭土：珍珠石：蛭石=2：1：1 之培養土並填入長腳穴盤中待使用。前項揀選出之組培苗株，移植入滅菌介質並於根圈接種菌根菌 *Rhizophagus irregularis* 孢子砂。

三、苗木管理及生長參數測量

試驗期間充足給水，並定時配合菌根菌特性澆灌 N：P₂O₅：K₂O=15：5：25 稀釋 1000 倍液肥，所有苗株均於非淹水環境下生長 1 個月後，才分別施以不同淹水處理。淹水處理 2 個月後，測定葉部、根部、莖部鮮重，並量測苗高、苗徑。以根部透明染色法(吳繼光和林素禎 1998)觀察試驗苗株根部感染情形，將處理後之根段置於光學顯微鏡下測定 AMF 感染率。

四、試驗設計及分析

種植環境為走入式生長室，AMF 處理為接種、非接種等 2 處理並設 7 組重複，淹水處理為淹沒介質 3 cm 及無淹水等 2 處理，生物重複為 5 個泡桐苗株，共計使用 140 株雜交泡桐苗木進行試驗。以 R 軟體(v. 4.0.2)進行雙因子變異數分析(Two-Way ANOVA)，並搭配 Newman-Keuls 多重比較法(Gagnon et al. 1989)檢定各處理下的生長差異。

結果與討論

一、試驗結果

本次試驗結果顯示泡桐生長明顯受到淹水處理影響，淹水處理 2 個月後，泡桐苗木的全株鮮重、葉鮮重及存活率均顯著降低；惟苗高及 AMF 感染率並不會受到淹水處理影響，此外淹水處理下具有較高的苗徑(表 1)。非淹水環境下，有無接種 AMF 並不影響試驗苗木的各項生長參數及存活率。淹水處理下，接種 AMF 使苗徑增加，但不影響其

他生長參數，另外淹水條件下接種 AMF 也使生存率顯著降低。本次試驗接種 AMF 孢子形態及感染情形如圖 1 所示，處理組感染率於非淹水處理組為 50.03%，非淹水處理組為 51.11%，且兩者無顯著差異，顯示有無淹水處理並不影響 AMF 在泡桐苗株中的感染比率。

表 1. 不同淹水處理下，接種 AMF(*Rhizophagus irregularis*)對雜交泡桐苗高、苗徑、苗鮮重、存活率及根部感染率之影響。

處理	苗高 (cm)	苗徑 (mm)	總鮮重 (g)	葉鮮重 (g)	莖鮮重 (g)	根鮮重 (g)	存活率 (%)	根部感染率 (%)
淹水								
接種 AMF	7.38a ±1.88	3.93a ±0.88	1.19b ±0.43	0.39b ±0.14	0.47a ±0.23	0.31a ±0.11	25.71c ±16.90	51.11a ±15.37
對照組	6.45a ±1.42	3.40b ±0.54	1.20b ±0.49	0.47b ±0.18	0.44a ±0.27	0.27a ±0.09	57.14b ±9.17	2.00b ±4.10
非淹水								
接種 AMF	7.21a ±1.65	2.70c ±0.60	1.82a ±0.90	1.11a ±0.42	0.28b ±0.10	0.44a ±0.41	97.14a ±7.10	50.03a ±23.13
對照組	6.76a ±1.75	2.80c ±0.70	1.87a ±0.95	0.98a ±0.49	0.26b ±0.12	0.50a ±0.42	94.29a ±9.17	0.94b ±5.30

表中各欄數值右方以不同小寫英文字母標示者，為經 Newman-Keul 多重比較檢定後，組間差異顯著者($\alpha = 0.05$)。

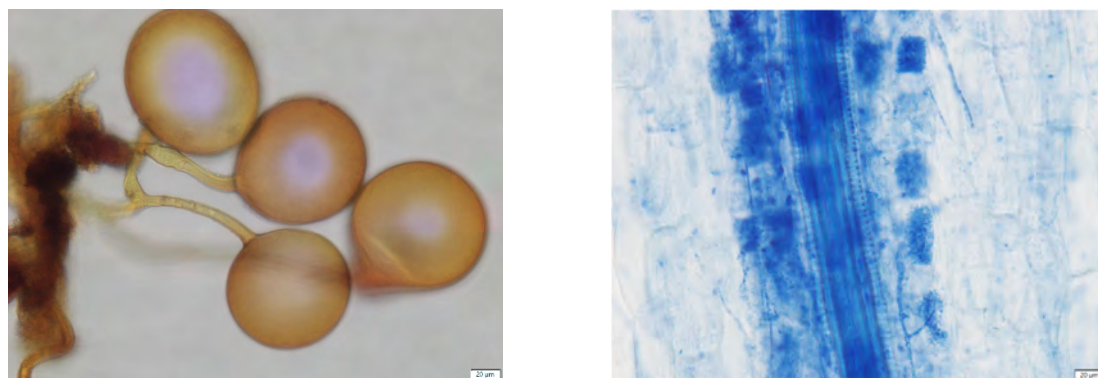


圖 1. 本次試驗使用之 AMF 接種原 *Rhizophagus irregularis* 孢子(圖左)及接種 AMF 處理後泡桐苗木根段感染情形(圖右)顯微照片。

二、討論

試驗結果顯示，淹水造成的土壤及根部缺氧(Barrios and Herrera 1994)，危害泡桐生長並造成苗木死亡。許多研究指出逆境下 AMF 能夠幫助寄主植物的生長及存活，但也有部分研究發現 AMF 在不適合生長的條件下會從寄主植物轉運更多的光合產物，以修補自身受損的組織，最終由共生轉向寄生(Purin and Rillig 2008, Johnson et al. 1997)，可

能與本次試驗淹水處理下 AMF 使苗木存活率降低的現象有關。前人研究發現淹水會使生長素向根部運輸受阻而累積於苗木基部，使苗木基部細胞間隙增大(Yamamoto and Kozlowski 1987)，與本次試驗苗徑增加結果相符。Calvo-Polanco 等人發現淹水環境下 AMF 會影響寄主植物水通道蛋白磷酸化及基因表達，同時調節植物體內激素平衡，可能與試驗結果發現淹水下接種 AMF 苗木具更高苗徑有關。本次試驗結果顯示以 *Rhizophagus irregularis* 作為 AMF 接種原，未能改善泡桐苗木在淹水逆境下的生長，將來可嘗試選用其他種的 AMF 或搭配不同逆境條件進行試驗，並對 AMF 在營養轉運及光合生理上的影響加以觀測。另外將來若將 AMF 或其他微生物菌劑應用於花蓮縣光復鄉的泡桐栽植現地，務需先篩選出對泡桐生長有正面效益菌株，以利處理成果展現。

引用文獻

- 林文鎮 (1979) 台灣泡桐之造林研究。國立中興大學農學院研究報告第 178 號，228 頁。
- 吳繼光、林素禎 (1998) 囊叢枝內生菌根菌應用技術手冊。台灣省農業試驗所，300 頁。
- Bao X, Wang Y, Olsson PA. (2019) Arbuscular mycorrhiza under water—Carbon–phosphorus exchange between rice and arbuscular mycorrhizal fungi under different flooding regimes. *Soil. Biol. Biochem.* 129: 169-177.
- Barrios E, Herrera R. (1994) Nitrogen cycling in a Venezuelan tropical seasonally flooded forest: soil nitrogen mineralization and nitrification. *J. Trop. Ecol.* 399-416.
- Calvo-Polanco M, Molina S, Zamarreño AM, García-Mina JM, Aroca R. (2014) The symbiosis with the arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus irregularis* drives root water transport in flooded tomato plants. *Plant Cell Physiol.* 55: 1017-1029.
- Donald D, Hu T, Cheng W. (1988) A study of the mycorrhizal associations of *Paulownia taiwaniana*. *S. Afr. J. Plant Soil* 5: 79-83.
- Fougnies L, Renciot S, Muller F, Plenchette C, Prin Y, De Faria SM, Bouvet J-M, Sylla SN, Dreyfus B, Ndoye I (2008) Arbuscular mycorrhizal colonization and nodulation improve flooding tolerance in *Pterocarpus officinalis* jacq. seedlings. In: Dakora FD, Chimphango SB, Valentine AJ, Elmerich C, Newton WE (Eds.). *Biological Nitrogen Fixation: Towards Poverty Alleviation through Sustainable Agriculture*. Springer, pp 133-134.
- Gagnon J, Haycock K, Roth J, Feldman D, Finzer W. (1989) *Abacus Concepts, SuperAnova: les modèles linéaires généralisés*. Abacus Concepts, Berkeley, CA, USA.
- Johnson NC, Graham JH, Smith F. (1997) Functioning of mycorrhizal associations along the

- mutualism–parasitism continuum. *New Phytol.* 135: 575-585.
- Porcel R, Aroca R, Ruiz-Lozano JM. (2012)** Salinity stress alleviation using arbuscular mycorrhizal fungi. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 32(1): 181-200.
- Purin S, Rillig MC. (2008)** Parasitism of arbuscular mycorrhizal fungi: reviewing the evidence. *FEMS Microbiol. Lett.* 279: 8-14.
- Wu QS, Srivastava AK, Zou YN. (2013)** AMF-induced tolerance to drought stress in citrus: a review. *Sci. Hortic-Amsterdam* 164: 77-87.
- Yamamoto F, Kozłowski T. (1987)** Effect of flooding of soil on growth, stem anatomy, and ethylene production of *Cryptomeria japonica* seedlings. *Scand. J. Forest Res.* 2: 45-58.

相思樹優良母樹嫁接營養系種子園之初期種子生產

蔡佳彬^{1)*} 鍾振德²⁾ 游漢明²⁾ 孫銘源¹⁾ 黃冠瑋³⁾ 張森⁴⁾ 孫英玄⁵⁾

緒言

種子園的經營是林木育種計畫重要的一環，係將經過選拔的營養系或家系(family)，蒐集並栽植於一適當地點進行經營，生產遺傳改良種子以供經營性造林。種子園有 2 種類型；營養系種子園(clonal seed orchard, CSO)及種子苗種子園(seedling seed orchard, SSO)。營養系種子園是大量生產遺傳改良種子時最普遍的方法，不論裸子植物或被子植物，世界各國皆有成功應用的例子(White et al. 2007)。

美國東南部的火炬松(*Pinus taeda*)及濕地松(*P. elliotti*)營養系種子園面積超過 2,000 公頃，每年合計生產 14 億顆遺傳改良種子，足供每年造林 70 萬公頃，約占該區域針葉樹造林面積的 90%(White et. al. 2007)。澳洲及東南亞國家的相思樹類種子園通常為種子苗種子園。設立於北昆士蘭(17-18°S)的 6 個直幹相思樹(*Acacia mangium*)實生苗種子園，在建立 4-6 年後(1994 到 1996 年間)，每年每公頃平均生產 35 公斤種子(Nikles et al. 1997)。直幹相思樹 1 公斤種子約有 60,000 粒，可培育苗木供造林至少 30 公頃，1 公頃此類型種子園每年能提供種子供造林 1,000 公頃以上(Harwood et al. 2015)。

相思樹(*A. confusa*)是臺灣重要造林樹種，為目前政府獎勵造林樹種之一。2009-2018 年間，林務局各林區管理處及各縣市政府等公部門，每年相思樹苗木培育株數在 124,087 至 339,813 株之間(林務局 2019)。獲得經遺傳改良種子進行育苗，穩定的供應苗木，是營造相思樹經濟性人工林的重要課題。

2015 年游漢明等進行全臺野外樹形通直、圓滿、胸高直徑大於 35 公分、枝下高大於 6.5 公尺、外觀無病蟲害之外表型優良相思樹選拔，並成功培育這些相思樹優良母樹的嫁接營養系苗木(游漢明等 2016)。2016 年及 2017 年以此批苗木為材料，於嘉義澧水及台南照興建立相思樹優良母樹嫁接營養系種子園。2018 年這 2 個相思樹營養系種子園

¹⁾ 行政院農業委員會林業試驗所六龜研究中心，844005 高雄市六龜區中興里中庄 198 號。

* 通訊作者，E-mail: tjb@tfri.gov.tw。

²⁾ 行政院農業委員會林業試驗所育林組，100051 臺北市中正區南海路 53 號。

³⁾ 國立嘉義大學植物醫學系，600335 嘉義市東區學府路 300 號。

⁴⁾ 美國路易斯安那州立大學再生能源學院。

⁵⁾ 國立中興大學森林學系，402202 臺中市南區興大路 145 號。

的一些營養系已開始少量開花結實(蔡佳彬等 2018)，2019~2020 年採種營養系數目、採種株數、採種量持續增加。由選拔野外相思樹優良母樹開始，以其枝條培育嫁接苗，建立營養系種子園，生產遺傳改良種子的目標經初步驗證可行。未來隨著營養系種子園的種子逐漸盛產，除了可提供育種相關後裔試驗逐步推行之外，所培育之種子苗也可供小面積推廣造林。

取食相思樹種子的昆蟲是造成果莢中飽滿種子比例偏低的原因之一，會導致種子園的種子產量減少。澧水及照興相思樹優良母樹嫁接營養系種子園皆有種子蟲害的問題，而以澧水較為嚴重。本報告亦描述澧水相思樹優良母樹嫁接營養系種子園發育中果莢內昆蟲調查之初步結果。

材料與方法

一、相思樹種子園內 5 個營養系套袋與否的結實比較

2018-2020 年間，於 3 月初即開始調查種子園中相思樹花芽發育之情形。2019 年起並於果莢發育初期(果莢長度發育至 1-3 cm 時)，以絲瓜網袋(寬 22.5 cm×長 30 cm，網孔長寬為 3 mm×1 mm)進行果莢套袋，以防止昆蟲危害果莢及種子。部分枝條之果莢並未進行套袋，以作為套袋處理之對照。選定照興及澧水種子園中丹大 3 與 4、富里 1 與 2、卓溪 1 等 5 個營養系，比較每個果莢之飽滿種子數、果莢室數、果莢長與果莢寬，評估果莢套袋與否的差異。

以 SAS 軟體進行相關資料統計分析，使用一般線性模式(GLM)程式計算最小均方平均值，one-way ANOVA 分析進行比較，探討果莢長度、果莢寬度、種子室數及果莢中飽滿種子數是否具顯著差異，結果具顯著差異($p<0.05$)，再以 Tukey 檢定處理平均值差異。

二、種子園種子產量調查

2018-2020 年定期前往種子園調查果莢成熟情形，已成熟者即予採集，並依不同採集時間、營養系及種子園進行果莢及種子性狀取樣調查及估計種子產量。

三、種子園中相思樹果莢昆蟲調查

2020 年 6 月 23 日至 8 月 19 日期間採集澧水相思樹種子園中之未套袋之發育中果莢，調查其內之昆蟲種類及數量，若為幼蟲則飼養至成蟲再進行鑑定。於相思樹尚未成熟果莢採得皆置於恆溫 27°C、濕度 75%生長箱中培養，生長箱中不開燈以模擬果莢內狀況。

結果與討論

一、營養系種子園中營養系套袋與否之結實比較

2 處種子園中 5 個營養系套袋與否之果莢及種子比較如表 1 所示。飽滿種子數/果莢、種子室數/果莢、果莢長及果莢寬等 4 個性狀，處理(套袋與否)與營養系之間皆有交互效應，且套袋與未套袋處理之平均值間皆有顯著差異($P \leq 0.05$)。

每個果莢內平均飽滿種子數未套袋處理卓溪 1 與丹大 3,4、富里 1 有顯著差異，以卓溪 1 之 1.6 ± 2.6 個最多，而以富里 1 的 0.1 ± 0.6 個為最低。個別營養系之套袋與未套袋處理間皆有顯著差異，套袋處理可增加每個果莢之飽滿種子數，丹大 4 號套袋後每果莢平均可增加 2.4 個種子，增幅最高(表 1)。

每果莢之種子室數未套袋處理卓溪 1 與丹大 3,4、富里 1,2 皆有顯著差異，卓溪 1 之 7.6 ± 1.8 個為最高，最低為富里 1 的 5.9 ± 1.5 個。除丹大 4 之外，各營養系未套袋處理之種子室數皆比套袋處理高(表 1)。

各營養系未套袋處理果莢長度皆較套袋處理長，卓溪 1、丹大 3、富里 2 差異顯著。未套袋處理以卓溪 9.2 ± 1.9 cm 為最長，與丹大 3,4、富里 1,2 具顯著差異。而果莢寬度除丹大 4 之外，未套袋處理皆比套袋處理寬，丹大 3,4、富里 2、卓溪 1 具顯著差異(表 1)。

表 1. 相思樹 2 個種子園 5 個營養系套袋與否之結實比較

處理	營養系 編號	飽滿種子數/果莢 (mean±SE)	種子室數/果莢 (mean±SE)	果莢長(cm) (mean±SE)	果莢寬(cm) (mean±SE)
未套袋	丹大 3 號	0.7 ± 1.5 ^{d1)}	7.3 ± 1.7 ^b	8.4 ± 1.7 ^b	0.95 ± 0.08 ^a
	丹大 4 號	0.2 ± 0.8 ^d	6.4 ± 1.7 ^{cde}	7.6 ± 1.8 ^{cd}	0.83 ± 0.16 ^d
	富里 1 號	0.1 ± 0.6 ^d	5.9 ± 1.5 ^{de}	7.0 ± 1.8 ^{cde}	0.85 ± 0.15 ^{cd}
	富里 2 號	1.0 ± 2.1 ^{cd}	6.9 ± 1.5 ^c	7.6 ± 1.4 ^{cd}	0.93 ± 0.11 ^{ab}
	卓溪 1 號	1.6 ± 2.6 ^c	7.6 ± 1.8 ^a	9.2 ± 1.9 ^a	0.95 ± 0.09 ^a
套袋	丹大 3 號	2.7 ± 2.7 ^b	6.3 ± 1.7 ^{de}	7.0 ± 1.8 ^e	0.93 ± 0.13 ^b
	丹大 4 號	2.6 ± 2.6 ^b	6.5 ± 1.9 ^{cd}	7.2 ± 1.8 ^{cde}	0.89 ± 0.09 ^c
	富里 1 號	2.2 ± 1.9 ^{bc}	5.0 ± 1.4 ^e	6.6 ± 1.6 ^e	0.81 ± 0.16 ^d
	富里 2 號	3.9 ± 2.8 ^a	6.6 ± 1.5 ^{cd}	6.9 ± 1.5 ^e	0.89 ± 0.11 ^c
	卓溪 1 號	2.4 ± 2.5 ^b	6.4 ± 2.1 ^{de}	7.6 ± 2.3 ^c	0.84 ± 0.11 ^d
未套袋平均值		1.07 ± 2.12 ^b	7.3 ± 1.77 ^a	8.5 ± 1.86 ^a	0.94 ± 0.11 ^a
套袋平均值		2.77 ± 2.62 ^a	6.3 ± 1.83 ^b	7.2 ± 1.93 ^b	0.88 ± 0.13 ^b
套袋：未套袋		2.59	0.86	0.85	0.94

¹⁾ values within each grouping do not differ at $P \leq 0.05$.

二、種子園之種子產量

2016 及 2017 年分別建立澧水及照興種子園後，2018 年此 2 種子園即開始開花結實，種子產量逐年增加(表 2)。2020 年從照興種子園已採收將近 15 萬粒飽滿種子，澧水種子園雖栽植株數比照興種子園多逾 70%，且早於照興種子園建立，但種子產量始終遠低於照興種子園。採種株數佔種子園內所有存活株數之比例，兩個種子園從 2018 年後皆逐年增加。2018-2020 年照興種子園此比例為 70.6 %、72.3%、78.2%，皆在 70%以上，但澧水種子園則僅為 37.2%、48.3%、57.4%(表 2)。採種株比率高，意味著單株之間彼此的授粉機率亦較高，這可能是造成照興種子園的飽滿種子收穫高於澧水種子園的原因之一。

表 2. 相思樹種子園 2018-2020 年種子產量及採種相關資訊

	照興種子園			澧水種子園		
	2018 年	2019 年	2020 年	2018 年	2019 年	2020 年
飽滿種子採收量(粒)	3,466	78,062	149,896	313	21,975	78,029
採種營養系數量	48	50	51	32	42	43
存活營養系數量	57	56	56	54	53	53
採種株數	72	73	79	67	86	101
存活株數	102	101	101	180	178	176
採種株比率(%)	70.6	72.3	78.2	37.2	48.3	57.4
採種期	6-9 月	6-7 月	6-7 月	7-8 月	4-8 月	7 月
採種次數	12	5	3	6	6	2
種子產量比：照興 vs 澧水	11.1	3.6	1.9	1	1	1

種子園種子產量逐年增加，不過單株間差異大，產量並不平均。2020 年 2 個營養系種子園之結實資料顯示，照興營養系種子園全年種子產量約 15 萬粒，而最高產量的大溪 6 號(位置 1-23)，1 株即生產 23,915 粒飽滿種子。照興營養系種子園種子產量排名前 10 名的單株產量經合計後，佔該年度種子產量的 47.9%(表 3A)。澧水營養系種子園 2020 年飽滿種子產量約 7.8 萬粒，位置在 18-3 的小關山 B11 單株之種子產量即達 1.1 萬粒，種子產量前 10 名之單株經合計產量後，已達澧水種子園全年種子產量的 53.3%(表 3B)。2018-2020 年此二種子園種子產量比值分別為 11.1、3.6、1.9，顯現種子園間產量差距有逐漸縮減之趨勢。

2016-2017 年建立二處相思樹優良母樹嫁接營養系種子園後，2018-2020 年合計已收穫約 33 萬粒飽滿種子，顯見相思樹建立種子園進行集約經營，可以迅速生產遺傳改良種子。相思樹種子園生產的種子目前主要供後裔試驗及相關試驗之用，未來也可應用於推廣造林。

表 3. 相思樹營養系種子園 2018-2020 年間種子產量前 10 名單株的採種量及佔全年度種子總產量之比例

A. 照興種子園

排序	2018 年			2019 年			2020 年		
	營養系	位置	飽滿種子數	營養系	位置	飽滿種子數	營養系	位置	飽滿種子數
1	大埔 4	2-20	1,408	六龜 3	2-5	7,483	大溪 6	1-23	23,915
2	卓溪 1	1-10	348	大溪 9	5-12	3,651	頭城 1	3-8	7,539
3	丹大 4	1-24	278	小關山 B11	4-17	3,214	大埔 17	2-23	7,337
4	丹大 3	2-19	131	小關山 B12	4-4	3,106	大埔 4	2-7	6,228
5	丹大 9	1-15	129	大埔 4	2-20	2,785	大埔 15	5-4	5,393
6	大埔 2	3-15	119	大埔 2	3-15	2,712	六龜 3	2-5	5,258
7	丹大 3	1-11	119	大埔 4	3-11	2,550	大埔 20	1-19	4,967
8	大安溪 2	5-11	113	大埔 4	4-18	2,282	長良 5	3-21	3,893
9	六龜 14	1-21	109	富里 2	2-17	2,218	丹大 9	5-8	3,803
10	富里 2	2-17	107	大埔 4	5-14	2,111	卓溪 1	1-10	3,519
合計			2,861			32,112			71,852
前 10 名合計佔全年比例			82.5%			41.1%			47.9%

B. 澁水種子園

排序	2018 年			2019 年			2020 年		
	營養系	位置	飽滿種子數	營養系	位置	飽滿種子數	營養系	位置	飽滿種子數
1	員山 3	19-8	82	大埔 4	15-2	3,637	小關山 B11	18-3	11,264
2	大埔 4	19-10	42	小關山 B11	18-3	1,798	六龜 3	14-11	9,865
3	小關山 A10	8-11	31	富里 3	10-6	1,336	丹大 3	12-11	3,849
4	南澳 1	11-9	27	丹大 9	9-11	1,197	小關山 B12	13-8	3,614
5	知本 1	11-8	17	大埔 20	14-6	1,150	富里 2	6-12	2,628
6	知本 6	7-13	14	知本 1	6-4	800	大埔 4	19-10	2,268
7	大埔 4	15-2	11	丹大 3	12-11	735	尖石 18	15-4	2,252
8	大埔 20	16-4	11	卓溪 1	16-6	712	丹大 3	7-9	2,024
9	丹大 3	17-12	11	大禹 1	10-12	703	丹大 14	13-10	1,935
10	六龜 15	14-2	8	大埔 4	19-10	689	大埔 4	17-2	1,863
合計			254			12,757			41,562
前 10 名合計佔全年比例			81.2%			58.1%			53.3%

目前共有 68 個野外優良母樹營養系栽植於照興及澁水營養種子園中。這 2 個種子園共同的營養系有 42 個，澁水獨有的營養系 11 個，照興獨有的營養系 14 個。

在 2 處種子園的 68 個營養系中，2018-2020 年間有 6 個營養系尚未有結實紀錄：

照興種子園：丹大 1。

澧水種子園：丹大 5、丹大 8、小關山 B3、初鹿 10、長良 11。

三、澧水種子園中相思樹果莢內之昆蟲

澧水種子園蟲害嚴重，依據 2018 年進行套袋試驗的初步觀察結果，套袋處理每果莢內飽滿種子數為 3.3 個，而未套袋者則僅有 0.3 個(蔡佳彬等 2018)。澧水種子園相思樹果莢內的種子害蟲主要為鞘翅目、鱗翅目及膜翅目昆蟲。2020 年 6 月下旬至 8 月中旬不同時間採集相思樹未經套袋之發育中果莢，採得鞘翅目長角象鼻蟲科(Anthribidae) *Exechesops* 屬之末齡幼蟲及蛹，鱗翅目幼蟲及蛹，膜翅目 1 種。鞘翅目的末齡幼蟲及蛹只發現於成熟相思樹種子內，而鱗翅目及膜翅目幼蟲則出現於果莢內種子外取食幼嫩種子(圖 1)。

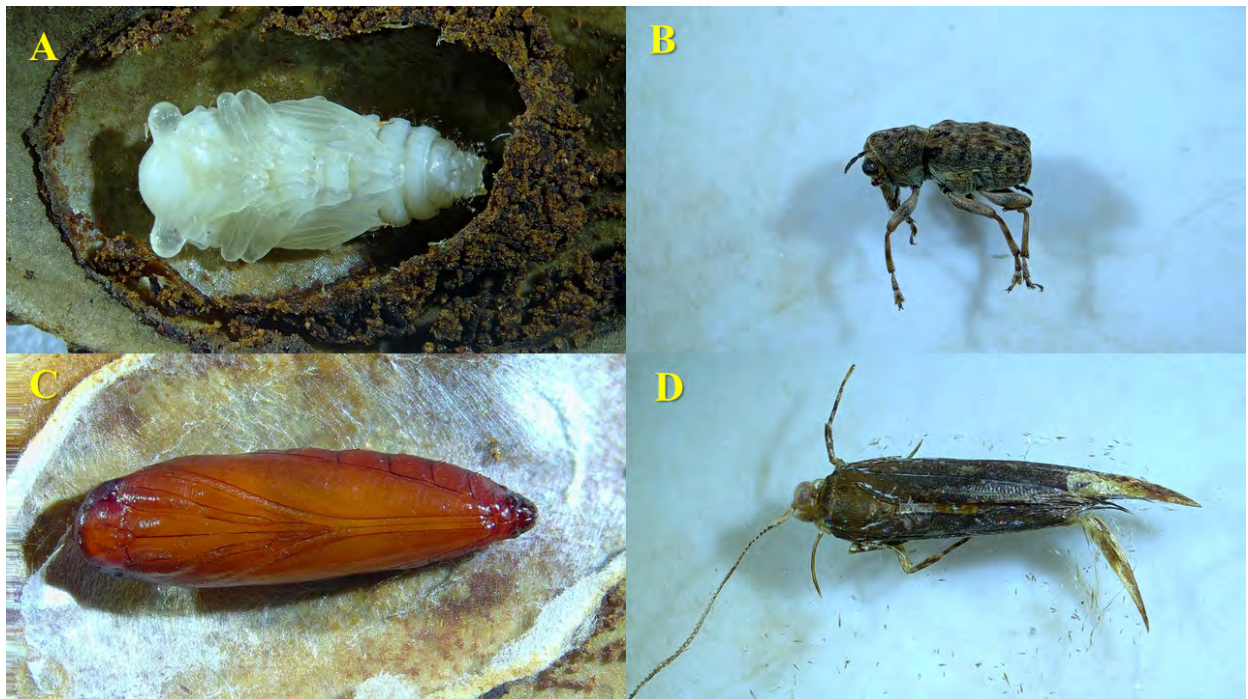


圖 1. 澧水種子園中相思樹未套袋果莢及種子內發現的蛹及置於生長箱培養後羽化之昆蟲。A. 鞘翅目長角象鼻蟲科 *Exechesops* 屬昆蟲的蛹。B. *Exechesops* 屬昆蟲羽化後之雌成蟲。C. 鱗翅目紋翅蛾科昆蟲 *Labdia* sp. 的蛹。D. *Labdia* sp. 的蛹羽化後之成蟲。

長角象鼻蟲科 *Exechesops* 屬幼蟲(圖 1A)在相思樹種子內成長，並在將種子取食完後於果莢內化蛹，羽化後(圖 1B)咬破種皮及果莢鑽出相思樹果莢外。2020 年 7 月 29 日採集 5 隻末齡幼蟲及 7 隻蟲蛹後，末齡幼蟲有 2 隻於 8 月 13 及 16 日化蛹，9 月 2 日及 9 日羽化。7 隻蟲蛹則於 8 月 14 日至 19 日之間陸續羽化。這些成蟲之種類尚在

持續鑑定中。目前已發現取食相思樹發育中種子及果莢內部之昆蟲，鞘翅目為長角象鼻蟲科 *Exechesops* 屬之昆蟲，鱗翅目有蕈蛾科(Tineidae)及紋翅蛾科(Cosmopterigidae)昆蟲，膜翅目有廣肩小蜂科廣肩小蜂屬之昆蟲。

引用文獻

林務局 (2019) 林業統計-中華民國 107 年年報。30-33 頁。

游漢明、蔡佳彬、陳溢宏、林介龍、孫銘源、陸象豫、藍佩芬、蕭祺暉、張森 (2016) 私有林地造林優選樹種-相思樹種子園之建立。台灣林業 42(5): 27-32。

蔡佳彬、鍾振德、游漢明、孫銘源、蔡彥新、陳溢宏、張森、孫英玄 (2018) 相思樹嫁接營養系之開花結實。2018 森林資源保存與利用研討會論文集。

Harwood CE, Hardiyanto EB, Yong WC. (2015) Genetic improvement of tropical acacias: achievements and challenges. South. For.: J. For. Sci. 77: 11-18.
<http://dx.doi.org/10.2989/20702620.2014.999302>.

Nikles DG, Harwood CE, Robson KJ, Pomroy PC, Keenan RJ. (1997) Management and use of ex situ genetic resources of some tropical Acacia species in Queensland. In: Turnbull JW, Crompton HR, Pinyopusarerk K (eds), Recent developments in acacia planting. ACIAR Proceedings no. 82. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research. pp 184-196.

White TL, Adams WT, Neale DB (2007) Forest genetics. CABI, UK.

台灣西部木麻黃海岸林土壤碳庫之變化：2006-2021

王巧萍^{1)*} 黃菊美¹⁾ 杜清澤¹⁾ 林冠穎¹⁾

緒言

台灣四面環海，海岸為漁業、農業、工業、遊憩與商業港口發展之重要區域，然而海風之飛砂、鹽霧，加上夏季颱風與冬季東北季風的嚴重侵襲，沿海地區多需種植海岸防風林，以保護農作、廠區與當地居民之安全。木麻黃類(*Casuarina* spp.)因具有優良的抗風、耐旱、耐鹽特性，且根系有固氮共生菌可在貧瘠的砂質土壤上生長(林信輝 1987)，為台灣海岸第一線主要的造林樹種(鄧書麟等 2005)。海岸林生態系除用於環境防護以外，本身亦肩負提供生物棲地、淨化水、保護漁場與碳吸存等生態系服務功能(Lau 2013)。然而由木麻黃所組成的海岸林生態系，在海岸鹽霧、強風挾帶飛砂、土壤貧瘠與養分不均、乾旱與淹水等多重逆境的條件下，台灣西部木麻黃海岸林多呈現生長早衰(許博行 2006)，且天然更新不易(鄧書麟等 2015)，除影響其環境防護功能、生物多樣性與棲地品質(陳怡茹 2012)，亦可能影響整體碳吸存能力。

一般而言，土壤為海岸生態系內最大的養分儲存庫(Bhomia et al. 2016)，然而據 Chen 等人之研究木麻黃海岸林土壤在高溫、高鹽、高濕的狀態下，旺盛的分解作用(Chen et al. 2005)是否影響其碳吸存能力，目前可供參考的資料極為缺乏。為瞭解在無特殊人為撫育下的木麻黃海岸林土壤碳庫之變化，本研究針對曾於 2006 年調查過的台灣西部三個木麻黃海岸林進行土壤碳庫複查，以供未來海岸林撫育經營與生態系服務功能評估之參考。

材料與方法

一、樣區選定與取樣

本試驗於 2006 年在臺灣北(永安)、中(台中港)、南(四湖)選擇不同生育地之木麻黃海岸林地，各設立 4 個 30 m*30 m 小樣區，於樣區內四個角落與中心點各取一個樣點，以土柱法(core method)定面積取枯枝落葉層(直徑 20 cm、高 10 cm 大型鋼管)及土壤總體密度(採土用鋼管三種，其直徑*長度分別為 5 cm*5 cm、9.5 cm*10 cm 和 6.5 cm*20 cm，

¹⁾ 行政院農業委員會林業試驗所育林組，100060 臺北市中正區三元街 67 號 9 樓。

* 通訊作者，E-mail: cpwang@tfri.gov.tw。

分別用於 0-10 cm、10-20 cm、和 20-60 cm 土層)。枝葉層依分解程度分 Ol (未分解)、Of (半分解)、Oh (全分解)三層(Zanella 2011)，放入封口袋並帶回實驗室處理。採完枯枝落葉層樣品後，於同位置依序垂直打入選用之鋼管，採取 0-5 cm、5-10 cm、10-20 cm、20-40 cm 與 40-60 cm 之土壤，每小區 5 重複。樣品帶回實驗室後，風乾備用。2021 年進行土壤碳庫複查，因原設立樣區地貌多已改變，於試驗地原樣區位置視木麻黃現況選擇 5 個具全區性代表性之樣點，採樣方式同前。

二、土壤分析與統計

枝葉層挑出細根後，以 45°C 烘乾稱重以打粉機粉碎均勻，並取部分已粉碎樣本細磨(<80mesh)後進行碳濃度測定，另取次樣品測含水率以計算各層之生物量乾重。土壤樣本經風乾後稱其總土重，取部分樣品以 105°C 烘 24 小時測含水率，以估算土樣總絕乾重並求得土壤總體密度(BD)。土壤以 2 mm 之篩網過篩並挑除其中的石礫、根系等，經細磨(<80mesh)後取適量樣品製成錫錠，以元素分析儀分析，(Elemental analyzer，2006 年使用 Thermo Finnigan NA1500, Bremen Germany，2021 年機器汰換改用 Elementar vario EL III, Elementar Analysensysteme GmbH)用乾燒法測定全碳濃度(Nelson and Sommers 1996)。

所得資料經 Shapiro-wilk 常態性檢定及 Levene 變異數同質檢定，顯示土壤碳貯量及總體密度資料為非常態分佈且變異數同質，故採 Kruskal-walis test 進行變異數分析，若因子顯著隨後再以 Mann-Whitney U tests 進行事後檢定。

結果與討論

一、O 層碳庫

台灣西部北中南三處木麻黃海岸林次土壤有機層，均隨分解程度越高而碳濃度降低，其中又以 Oh 層最厚的台中港最為明顯。Ol、Of、Oh 層之 C 濃度在兩次調查中無特別變化，Ol、Of 之平均 C 濃度分別介於 44.1-45.8 與 35-40%之間，差異不大。而分解較完全的 Oh 雖兩年間無明顯不同，但樣區間則兩次調查都是以台中港(2006 與 2021 年各分別平均為 17.8%與 13.9%)明顯低於四湖的 23.8%與 19.7%以及永安的 20.2%與 23.9%。但 O 層的生物量則不僅在如此個樣區中有明顯差異，且在兩次調查中亦明顯改變。2006 年時以不直接臨海的台中港港區內堆積最多(64.4 ton/ha)，永安(29.4 ton/ha)與四湖(28.2 ton/ha)均不及台中港的一半；然至 2021 年時，台中港區內因許多木麻黃枯倒及現場可見的林相更新作業，整體 O 層減少了大約 1/3；而位於永安漁港北岸之木麻黃

林亦因人工構造物之突堤效應，漂沙流失導致海岸嚴重退縮，O 層生物量亦嚴重減少 1/3，唯此二處 2021 年之有機層碳庫較 2006 年為低，但因空間變異度大，因此未達統計上的顯著水準。四湖海岸林則在面對地層下陷、積水及海水倒灌下，雖 Ol 層減少，但全分解的 Oh 層激增，且可能與礦質土壤混合難以區分而使量測所得之碳濃度下降，但有機層之碳庫存量在 15 年內顯著增加，平均每年增加約 444 kg-C/ha。

二、土壤總體密度

不論年份，永安樣區的各層土壤總體密度明顯高於台中港和四湖樣區。自 2006 至 2021 年之 15 年間，三樣區的土壤總體密度皆有下降的趨勢，其中永安在 0-20 和 40-60 cm 明顯降低，台中港區 0-40 cm 和四湖區 10-20 cm 土層下降幅度亦達顯著水準。就各別樣區觀之，各不同深度的土壤總體密度均有隨深度增加而增高之趨勢，其中 0-10 cm 土層明顯比 10-60 cm 土層為低，而 0-5 cm 又明顯低於 5-10 cm。

三、礦質土壤總碳貯量之變化

在 2006 年，三樣點的礦質土壤總碳貯量以四湖區最高，永安區最低，台中港區次之，樣區間的差異達統計明顯水準，其量由高至低依序為 37.6(10.3)、26.2(6.3)和 25.0(6.7) ton/ha。至 2021 年，由於四湖樣區土壤 C 濃度與總體容積密度均下降，雖然其礦質土壤中碳庫存量 33.1(6.2) ton/ha 仍居三個樣區之冠，但因永安樣區與台中港各土層在有機質的輸入下，C 濃度明顯增高且總體容積密度均明顯下降，兩樣區礦質土壤之總碳庫均亦明顯增多，分別為 32.2(14.5) 與 29.2(5.2) ton/ha，三樣區間已無明顯差異。

四、土壤總碳庫存量

比較同一樣點 15 年前後土壤總碳貯量的變化，如圖 1 所示。永安樣區 O 層碳貯量平均減少速率為 -199(84) kg/ha-yr；礦質土層在 0-5 cm 和 40-60 cm 雖有略減的現象，但統計上無顯著差異，而土層 5-40 cm 明顯增加，其中 5-20 cm 差異達統計顯著水準，剖面 0-60 cm 土層的碳量平均以 +399(78) kg/ha-yr 的速率增加。

台中港木麻黃則林分多老化衰退，林內多倒木，現場可見林冠出現很多大孔隙與林睿(2007)之研究觀察類似，因落葉回歸量減少，在有機質快速分解的狀況下，以至雖然土壤中碳吸存量微微上升，但地表有機質大量減少，因而使整體碳吸存量呈負值。而台中港樣區碳量的剖面變化與永安樣區有相同的趨勢，但其除 0-5 cm 外，5-60 cm 土層的碳量皆有增加情形，其中 20-40 cm 增加顯著，估算得 O 層和礦質土層平均碳蓄存速率分別為 -327(248)和 +285(49) kg/ha-year。

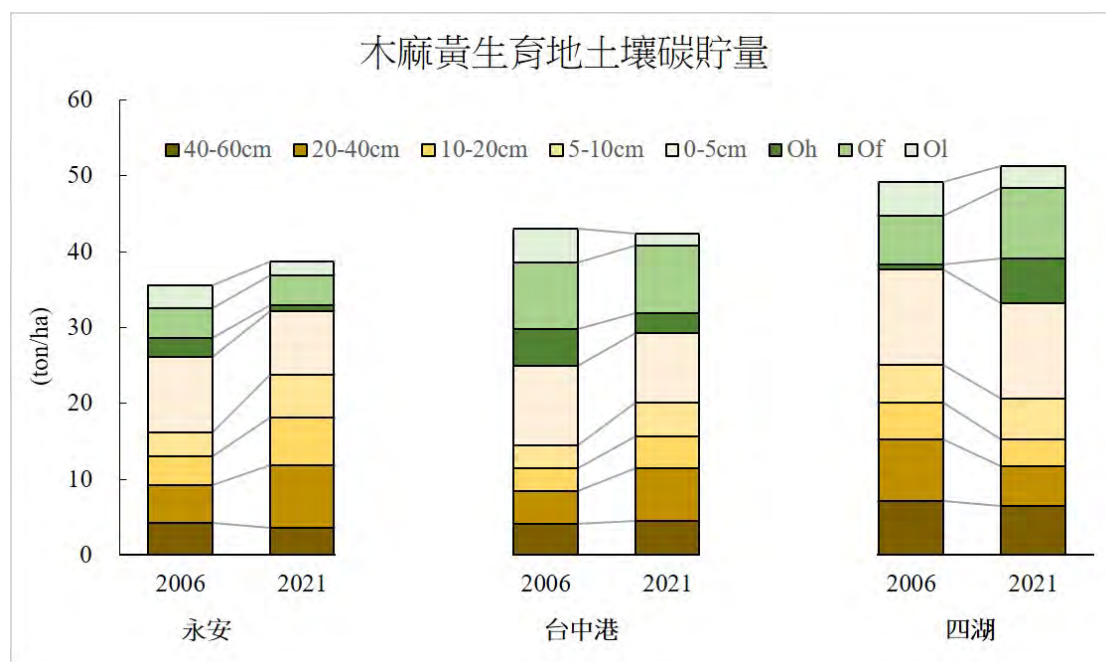


圖1. 2006-2021年間不同木麻黃生育地土壤碳貯量之變化

四湖樣區的變化與永安和台中港區相反，其 O 層每年平均以+444(209) kg/ha 的速率增加，礦質土層除 5-10 cm 外，其餘土層的碳貯量皆呈降低現象，其中 0-40 cm 降幅顯著，整個 60 cm 礦質土層的碳貯量以-357(204) kg/ha-yr 的速率減少。

結論

本研究所得估算，台灣西部三個木麻黃海岸林土壤之碳吸存速率，由北向南之永安、台中港與四湖分別為+207、-42 和+86 kg/ha-yr。其中直接臨海的永安木麻黃林，雖然潮水可湧入造林地將土表有機質帶走，但不緊臨海岸的造林地則較無此一影響。因此整體而言，土壤總碳貯量有隨造林年數而增加。位於防坡堤內的台中港木麻黃則林分多老化衰退，林內多倒木，因落葉回歸量減少，在有機質快速分解的狀況下，以至雖然土壤中碳吸存量微微上升，但地表有機質大量減少，因而使整體碳吸存量呈負值。而四湖木麻黃海岸林因經歷多次颱風擾動與淹水，可能導致礦質土壤中的有機碳明顯流失，土壤碳吸存的角色以地表有機層為主。

引用文獻

林信輝 (1987) 三種防風林植物在海岸環境下之生理生態反應。興大植物所博士論文，238 頁。

- 林睿思 (2007) 台中港木麻黃天然更新可行性之研究。中興大學森林系碩士論文, 62 頁。
- 許博行 (2006) 海岸木麻黃林分易衰老原因之探討。台灣林業 32(2): 40-44。
- 陳怡茹 (2012) 颱風對海岸防風林及鳥類多樣性影響評估。中興大學園藝所碩士論文。110 頁。
- 鄧書麟、何坤益、陳財輝、王志斌、高銘發 (2005) 台灣西部海岸防風林造林策略與樹種之選介。台灣林業 31(1): 62-67。
- 鄧書麟、黃正良、張怡萱、徐浚騰 (2015) 四湖海岸低濕地木麻黃天然更新可行性之研究。中華林學季刊 48 (3): 205-220。
- Bhomia RK, MacKenzie RA, Murdiyarso D, Sasmito SD, Purbopuspito J. (2016)** Impacts of land use on Indian mangrove forest carbon stocks: implications for conservation and management. *Ecol Appl* 26(5): 1396-1408.
- Chen TH, Chiu CY, Tian GL. (2005)** Seasonal dynamics of soil microbial biomass in coastal sand dune forest. *Pedobiologia* 49: 645-653.
- Lau WWY. (2013)** Beyond carbon: Conceptualizing payments for ecosystem services in blue forests on carbon and other marine and coastal ecosystem services. *Ocean Coastal Manage* 83: 5-14
- Zanella A, Jabiol B, Ponge JF, Sartori G, de Waal R et al. (2011)** European Humus Forms Reference Base. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00541496v2>

台東金崙海岸林復舊植栽之生長表現初探

劉宇軒^{1)*} 洪聖峰²⁾ 黃俊元³⁾ 王相華¹⁾ 施郁庭¹⁾

緒言

金崙大橋是「省道台 9 線南迴公路改善工程」其中一項，目的是讓南迴公路截彎取直、達到便捷的目的。此項工程取道位於金崙溪出海口北岸的海濱保安林地，為林務局台東林區管理處管轄，於 2010 年 9 月通過環保署環境影響評估。環評承諾將針對因工程執行而受損的海岸林進行植生復育及景觀生態重建，此一工作由公路局委託林業試驗所協助執行，在 2017 年 7 月簽訂合約。林業試驗所接受委託後，針對栽植基地不良環境擬定栽植、管理策略、方法，如樹種選擇、植穴改良、植苗播種並行、水源水權取得、灌溉系統設置等，並於 2018 年 7 月依合約如期完成 2 公頃海岸林復舊作業，栽植包含瓊崖海棠、林投、棋盤腳等 30 多種、1 萬多株的各類台灣海岸原生植物。經過第 1 年東北季風、夏季高溫的考驗，截至 2019 年 10 月，初步觀察復舊造林區域的植栽生長良好、綠意盎然，為道路建設後的生態造林縫補作業，提供了可行性極高的實作案例。為取得實測資料，本研究於 2019 年 10 月在此一復舊造林地設置了 6 條監測樣帶，追蹤調查南、北兩區塊造林地及不同造林樹種之存活、生長表現，截至 2021 年 4 月，每半年進行 1 次調查，總計進行了 4 次調查，本研究針對不同造林樹種生長表現，以及於南、北兩造林區塊的適應性，進行了初步分析與評估。

材料與方法

一、研究地區概述

本試驗地面積範圍約 2 公頃，位於台東縣金崙鄉，西側緊鄰金崙火車站、東側臨海(圖 1)。試驗範圍的地理氣候區屬夏雨型氣候東南區(蘇鴻傑 1985)，依據大溪山氣象站 2016-2020 年的統計資料，研究區域之年平均氣溫為 21.3°C，最高月均溫為 7 月 26.1°C，最低月均溫為 1 月 17°C，年平均降雨量 2388.5 mm，主要集中在 5-10 月，1 月至隔年 3

¹⁾ 行政院農業委員會林業試驗所集水區經營組，100051 臺北市中正區南海路 53 號。

* 通訊作者，E-mail: yuhsuan0423@tfri.gov.tw。

²⁾ 行政院農業委員會林業試驗所恆春研究中心，946004 屏東縣恆春鎮公園路 203 號。

³⁾ 行政院農業委員會林業試驗所太麻里研究中心，963001 臺東縣太麻里鄉大王村橋頭 6 號。

月平均降雨量低於年降雨量 20%，具有明顯的乾濕季。復舊造林地區分為南、北兩區塊，北區塊的海拔略高於南區塊，在金崙大橋橋墩施工前，此區域為林務局轄管的海岸防風林，北區塊的地表稍有壟起，也有較高的次生海岸林覆蓋率，南區塊的地表較為平緩，次生海岸林覆蓋率較低，結構也比較破碎。



圖 1. 試驗地位置(左鄰金崙車站、右側鄰海)及植栽調查樣帶、土壤取樣點分布

二、取樣調查方式

(一)植物生長調查

分別於南、北兩區塊造林地各設置 3 條植物調查監測樣帶，樣帶長軸與海岸線垂直，約略為東西走向(圖 1)，樣帶長度在 50-60 m 之間，寬度為 6m。2019 年 10 月進行第 1 次調查，後續每半年進行 1 次複查，分別為 2020 年 4 月、2020 年 10 月、2021 年 4 月，總計於 18 個月調查期間進行了 4 次調查。調查項目包括造林苗木的種類及其地徑、苗高、冠幅，地徑部分測量苗木主幹離地 2 cm 處之直徑；苗高部分，量測苗木主幹生長點至地面之長度；冠幅部分，分別量測植栽南北、東西向的枝葉覆蓋長度，經計算轉化成冠幅面積。

(二)土壤取樣

分別於 6 條植栽調查樣帶的近海側、近路側各取 1 個土壤取樣點(圖 1)，在上述 12 個樣點分別以土壤採樣器取挖取土壤深度 0-10 cm 及 10-20 cm 的土壤樣本，共計 24 份

土壤樣本。土壤樣本置於室內自然風乾後，以 2 mm 篩網進行過篩，並將過篩的土壤進行化學性質分析。

三、分析方式

(一)土壤分析

依據農業試驗所張愛華(1981)發表的方法進行分析：(1)土壤中有機質含量測定：比色法。(2)土壤中全氮量測定：元素分析儀法。(3)土壤中有效性磷含量測定：白雷氏第一法 (Bray P1 method)。(4)土壤中交換性陽離子鉀(Exch. K)、鈣(Exch. Ca)、鎂(Exch. Mg)含量測定：孟立克氏法(Mehlich's method)。土壤樣本有 24 個，南、北區各 12，土深 0-10 cm 樣本 6、10-20 cm 樣本 6，分別計算 4 種處理(2 區塊、2 深度)的平均值及標準差。

(二)植物生長資料分析

植栽冠幅採用橢圓面積公式計算， $S=\pi(\text{圓周率})\times a\times b$ (a,b 分別是橢圓的半長軸，半短軸的長)。復舊造林使用許多不同植物種類，植株大小在種間、種內的大小差異很大，無法直接採用調查數據進行生長比較，因此除了存活率比較外，皆經由計算導出地徑、苗高、冠幅的相對生長率。

結果

一、土壤

北區塊造林地土壤的電導度、有機質含量、全氮、有效性磷、交換性鉀、鈣、鎂含量都明顯高於南區塊，不論是在 0-10 cm 或 10-20 cm 深度(表 1)；北區塊造林地土壤的全氮量在 0-10 cm 深度土壤明顯高於南區塊造林地，但在 10-20 cm 深度並無差異(表 1)。整體而言，北區土壤的化學性質優於南區土壤，但土壤的全氮量在全區都普遍偏低。

表 1. 不同復舊造林區域、土壤深度的土壤化學性質

區域(土深)	電導度 (mS/cm)	有機質 (%)	全氮 (%)	有效性磷 (ppm)	交換性鉀 (ppm)	交換性鈣 (ppm)	交換性鎂 (ppm)
北區(0-10 cm)	0.14±0.05	4.2±1.1	0.03±0.04	58.8±28.6	155.8±31.4	6419.7±4441.9	288.0±125.7
北區(10-20 cm)	0.12±0.04	4.1±0.3	0.01±0.02	39.4±22.0	102.0±24.4	6348.9±4414.0	233.1±123.7
南區(0-10 cm)	0.07±0.01	3.0±0.1	0.00±0.00	21.3±11.4	29.6±8.5	1865.8±222.0	100.9±22.7
南區(10-20 cm)	0.06±0.01	3.6±0.8	0.01±0.02	14.0±3.7	21.9±9.3	1524.1±249.0	78.2±13.3

二、植栽生長

調查紀錄 22 種、796 株海岸原生植物，包括北區 368 株、南區 428 株。包括土沉香 (*Excoecaria agallocha*)、文珠蘭(*Crinum asiaticum*)、水黃皮(*Millettia pinnata*)、台灣海棗

(*Phoenix hanceana*)、白水木(*Heliotropium foertherianum*)、林投(*Pandanus odoratissimus*)、紅柴(*Aglaia formosana*)、紅頭李欖(*Chionanthus ramiflorus*)、苦林盤(*Clerodendrum inerme*)、海欖果(*Cerbera manghas*)、臭娘子(*Premna serratifolia*)、草海桐(*Scaevola taccada*)、棋盤腳(*Barringtonia asiatica*)、黃槿(*Hibiscus tiliaceus*)、樹青(*Planchonella obovata*)、繖楊(*Thespesia populnea*)、鵝鑾鼻蔓榕(*Ficus pedunculosa* var. *mearnsii*)、瓊崖海棠(*Calophyllum inophyllum*)、蘭嶼樹杞(*Ardisia elliptica*)、蘭嶼羅漢松(*Podocarpus costalis*)、欖仁(*Terminalia catappa*)、葛塔德木(*Guettarda speciosa*)。其中文珠蘭、台灣海棗及林投為單子葉植物，無明顯木質化主幹，故不予量測其地徑，僅量測其高度、冠幅。此外，白水木、鵝鑾鼻蔓榕、草海桐、棋盤腳、蘭嶼羅漢松，因樣本數量不足(低於 3 株)或僅出現於南區或北區，後續進行部分生長介量統計時，將不納入分析範疇。受限於篇幅，除季節性生長比較外，本文僅針對第 1 次及第 4 次生長、存活調查資料進行分析比較。

(一)存活率表現

全區紀錄 22 種、796 株原生造林植物，調查期間死亡 28 株，總體存活率高達 96.5%。就種類而言，存活率 100%的樹種計有水黃皮、白水木、海欖果、臭娘子、草海桐、黃槿、樹青、鵝鑾鼻蔓榕、欖仁，共計 9 種。北區存活率較南區高的有瓊崖海棠、繖楊、紅柴、蘭嶼樹杞，南區存活率較北區高的有林投、台灣海棗、苦林盤、葛塔德木、文珠蘭、紅頭李欖。存活率低於 80%的，僅出現於北區的文珠蘭及南區的紅柴、蘭嶼樹杞(表 2)。

(二)地徑生長表現

列入地徑生長比較分析的有 14 個物種。北區塊的物種生長率以葛塔德木(255.2%)表現最佳，黃槿(178.7%)、瓊崖海棠(116.7%)次之，欖仁、海欖果、水黃皮、苦林盤、紅頭李欖、繖楊、樹青、臭娘子、土沉香的生長率亦高於 50%，但紅柴僅有 18.2%，蘭嶼樹杞則呈現停滯生長狀態(表 3)。同一種類在南區塊的生長率多數較北區塊差，但欖仁、臭娘子、蘭嶼樹杞在南區塊的生長率較北區塊高(表 3)。

(三)高生長表現

列入高度生長比較分析的有 17 個物種。北區塊的物種生長率以黃槿(184.1%)表現最佳，葛塔德木(171.7%)次之，紅柴、林投、瓊崖海棠、欖仁的生長率亦高於 100%，繖楊、海欖果、樹青、水黃皮、台灣海棗、文珠蘭、臭娘子、土沉香、紅頭李欖的生長率亦高於 49%，但苦林盤僅有 29.7%，蘭嶼樹杞則呈現負生長狀態(表 4)。同一種類在南區塊的生長率多數較北區塊差，但欖仁、水黃皮、臭娘子、紅頭李欖、蘭嶼樹杞在南區塊

的生長率較北區塊高(表 4)。

表 2. 不同植栽種類在復舊造林地南、北區塊的樣本數及存活率

種類	株數			存活率(%)			生活型
	全區	北區	南區	全區	北區	南區	
水黃皮	49	17	32	100	100	100	喬木
白水木	3	-	3	100	-	100	小喬木
海欖果	60	34	26	100	100	100	小喬木
臭娘子	13	4	9	100	100	100	小喬木
草海桐	14	14	-	100	100	-	灌木
黃槿	96	33	63	100	100	100	喬木
樹青	46	18	28	100	100	100	喬木
鵝鑾鼻蔓榕	3	-	3	100	-	100	灌木
欖仁	37	21	16	100	100	100	喬木
土沉香	102	69	33	99	99	100	小喬木
林投	86	26	60	99	96	100	灌木
瓊崖海棠	50	26	24	98	100	96	喬木
台灣海棗	30	8	22	97	88	100	小喬木
繖楊	56	18	38	95	100	92	小喬木
苦林盤	35	12	23	94	83	100	灌木
葛塔德木	17	12	5	94	92	100	喬木
文珠蘭	26	7	19	92	71	100	草本
紅頭李欖	12	9	3	92	89	100	小喬木
蘭嶼羅漢松	12	12	-	92	92	-	小喬木
棋盤腳	11	11	-	91	91	-	喬木
紅柴	22	13	9	86	100	67	喬木
蘭嶼樹杞	16	4	12	50	75	42	灌木
合計	796	368	428				

表 3. 不同植栽種類在復舊造林地南、北區塊的地徑生長情形

種類	北區			南區			生活型
	Oct-19	Apr-21	生長率	Oct-19	Apr-21	生長率	
葛塔德木	0.7 ± 0.1	2.4 ± 0.5	255.2	1.1 ± 0.9	1.3 ± 0.4	22.6	喬木
黃槿	2.5 ± 2.2	6.9 ± 4.4	178.7	2.3 ± 1.7	4.6 ± 3.0	96.8	喬木
瓊崖海棠	1.8 ± 0.9	3.8 ± 1.7	116.7	2.0 ± 0.8	3.7 ± 1.3	82.3	喬木
欖仁	3.1 ± 1.2	6.1 ± 2.0	97.5	1.8 ± 0.9	3.6 ± 1.6	106.7	喬木
海欖果	2.7 ± 1.5	5.1 ± 2.0	93.0	2.9 ± 1.6	4.6 ± 2.1	58.2	小喬木
水黃皮	2.6 ± 0.8	5.0 ± 1.3	92.7	2.2 ± 0.4	4.0 ± 1.4	82.5	喬木
苦林盤	2.3 ± 1.1	4.3 ± 1.5	84.7	2.0 ± 1.0	3.2 ± 1.5	61.1	灌木
紅頭李欖	2.1 ± 0.6	3.6 ± 0.6	72.3	1.5 ± 0.2	2.2 ± 1.1	48.9	小喬木
繖楊	3.0 ± 1.6	5.1 ± 2.5	71.9	2.1 ± 1.1	3.3 ± 1.9	60.7	小喬木
樹青	2.0 ± 0.6	3.1 ± 0.8	61.3	1.6 ± 0.4	2.1 ± 0.6	28.9	喬木
臭娘子	7.6 ± 1.6	12.1 ± 3.5	60.3	4.2 ± 1.1	7.3 ± 3.0	73.9	小喬木
土沉香	2.3 ± 1.3	3.7 ± 2.1	57.9	2.8 ± 0.8	3.7 ± 1.2	30.9	小喬木
紅柴	1.3 ± 0.3	1.5 ± 0.3	18.2	1.2 ± 0.4	1.2 ± 0.4	0.9	喬木
蘭嶼樹杞	2.1 ± 1.0	2.1 ± 0.7	0.0	1.5 ± 0.5	1.8 ± 0.6	17.3	灌木

表 4. 不同植栽種類在復舊造林地南、北區塊的高度生長情形

種類	北區			南區			生活型
	Oct-19	Apr-21	生長率	Oct-19	Apr-21	生長率	
黃槿	96.2 ± 67.3	273.3 ± 138.7	184.1	74.0 ± 60.0	175.9 ± 107.7	137.7	喬木
葛塔德木	44.2 ± 8.3	120.0 ± 26.3	171.7	35.8 ± 2.8	60.0 ± 27.6	67.6	喬木
紅柴	40.9 ± 13.8	104.6 ± 52.1	155.6	32.7 ± 12.7	45.8 ± 9.7	40.3	喬木
林投	63.3 ± 25.8	156.2 ± 42.3	146.7	47.3 ± 20.6	100.2 ± 33.5	111.6	灌木
瓊崖海棠	88.0 ± 44.4	203.4 ± 81.1	131.2	91.2 ± 43.5	190.0 ± 83.1	108.4	喬木
欖仁	127.8 ± 40.7	284.1 ± 75.7	122.3	66.7 ± 35.2	153.4 ± 113.1	130.0	喬木
繖楊	134.9 ± 64.3	255.1 ± 112.4	89.0	94.8 ± 59.1	168.2 ± 107.5	77.5	小喬木
海欖果	100.2 ± 33.7	185.6 ± 58.6	85.2	103.3 ± 37.2	165.1 ± 59.3	59.9	小喬木
樹青	103.8 ± 23.4	172.8 ± 50.2	66.5	79.8 ± 14.9	111.6 ± 44.6	39.8	喬木
水黃皮	106.4 ± 36.8	173.8 ± 33.6	63.3	72.1 ± 21.5	136.0 ± 60.9	88.7	喬木
台灣海棗	103.5 ± 46.2	167.6 ± 42.2	61.9	53.6 ± 16.5	63.5 ± 24.9	18.4	小喬木
文珠蘭	41.7 ± 10.3	66.0 ± 29.9	58.2	53.6 ± 18.2	50.4 ± 13.1	-5.9	草本
臭娘子	178.8 ± 26.1	275.0 ± 26.5	53.8	105.3 ± 25.1	199.3 ± 60.4	89.2	小喬木
土沉香	97.6 ± 39.5	146.4 ± 71.4	50.1	101.6 ± 23.0	132.3 ± 53.5	30.2	小喬木
紅頭李欖	124.0 ± 27.8	185.8 ± 36.1	49.8	75.7 ± 27.7	136.7 ± 89.6	80.6	小喬木
苦林盤	101.8 ± 35.5	132.1 ± 45.2	29.7	91.5 ± 33.8	111.7 ± 30.0	22.1	灌木
蘭嶼樹杞	52.0 ± 22.7	26.7 ± 10.4	-48.7	50.5 ± 26.7	53.0 ± 20.2	5.0	灌木

(四)冠幅生長表現

列入冠幅生長比較分析的有 17 個物種。北區塊的物種生長率以葛塔德木(702.2%)表現最佳，黃槿(682.7%)次之，繖楊、瓊崖海棠、林投、苦林盤、紅柴、樹青、欖仁、台灣海棗、海欖果的生長率高於 252%，紅頭李欖、水黃皮、土沉香、臭娘子的生長率亦高於 189%，但文珠蘭、蘭嶼樹杞則呈現負生長狀態(表 5)。同一種類在南區塊的生長率多數較北區塊差，但欖仁、紅頭李欖、水黃皮、臭娘子、文珠蘭、蘭嶼樹杞在南區塊的生長率較北區塊高(表 5)。

(五)季節性生長變化

本研究每半年進行 1 次調查，調查期訂在 4 月及 10 月，可分別記錄 4-10 月間、10-4 月間的苗木生長情形。金崙海岸林 4-10 月間為相對高溫炎熱的時期，10-4 月間為相對低溫涼爽的時期。圖 2-4 分別呈現不同造林物種在上述 2 個不同期間的地徑、高度、冠幅生長表現。就地徑生長而言，除了苦林盤、臭娘子外，其餘物種在 4-10 月間的地徑生長速率較 10-4 月間高，但差異性不明顯；就高生長而言，除水黃皮、苦林盤、台灣海棗外，其餘物種在 4-10 月間的高生長速率較 10-4 月間高，且多數物種在這 2 個期間的高生長差異性相當明顯；就冠幅生長而言，除台灣海棗外，其餘物種在 4-10 月間的冠幅生長速率較 10-4 月間高，其中黃槿、苦林盤在 2 個期間的生長差異性相當明顯。

表 5. 不同植栽種類在復舊造林地南、北區塊的冠幅生長情形

種類	北區			南區			生活型
	Oct-19	Apr-21	生長率	Oct-19	Apr-21	生長率	
葛塔德木	409 ± 176	3282 ± 2134	702.2	364 ± 85	999 ± 600	174.7	喬木
黃槿	7814 ± 12649	61161 ± 72946	682.7	6534 ± 11110	27946 ± 37232	327.7	喬木
繖楊	6188 ± 6247	28969 ± 40130	368.1	3371 ± 5048	9699 ± 14765	187.7	小喬木
瓊崖海棠	1951 ± 1510	8876 ± 6681	354.9	1907 ± 1567	7304 ± 6798	282.9	喬木
林投	7029 ± 5111	29866 ± 17958	324.9	5381 ± 3465	17985 ± 11200	234.2	小喬木
苦林盤	14014 ± 12075	57869 ± 72157	312.9	13849 ± 9718	38805 ± 41801	180.2	灌木
紅柴	489 ± 311	2014 ± 1290	312.1	215 ± 166	563 ± 568	162.4	喬木
樹青	2369 ± 1732	9735 ± 7600	311.0	1335 ± 971	3363 ± 2693	151.9	喬木
欖仁	17150 ± 12317	63749 ± 36320	271.7	5754 ± 8718	29225 ± 40898	407.9	喬木
台灣海棗	9453 ± 4073	34196 ± 5820	261.7	6563 ± 4773	9948 ± 6346	51.6	小喬木
海欖果	4457 ± 4486	15698 ± 10126	252.2	4255 ± 3790	11849 ± 11557	178.5	小喬木
紅頭李欖	4967 ± 3456	14775 ± 10429	197.5	1802 ± 1923	5799 ± 7419	221.9	小喬木
水黃皮	4218 ± 4166	12293 ± 8182	191.4	1772 ± 1133	7267 ± 7849	310.2	喬木
土沉香	3433 ± 5226	9962 ± 15461	190.1	3147 ± 2656	6667 ± 6665	111.8	灌木
臭娘子	31396 ± 6721	90719 ± 20431	189.0	15558 ± 7445	52475 ± 24413	237.3	小喬木
文珠蘭	2853 ± 1110	1666 ± 2355	-41.6	4775 ± 2261	5025 ± 3061	5.2	草本
蘭嶼樹杞	847 ± 567	490 ± 532	-42.2	568 ± 538	475 ± 939	-16.4	灌木

土壤分析結果顯示北區塊土壤的化學性質優於南區塊，但欖仁、臭娘子、蘭嶼樹杞等在南區塊的地徑生長、高生長及冠幅生長較北區塊佳。此一現象，或可從下列兩個方向予以解釋，(1) 不同植物有不同的生態適應性，在同樣的土壤狀態下，並非所有植物都會呈現相同的適應性，或許欖仁、臭娘子、蘭嶼樹杞本身就比較適應砂質含量高、有機質含量低的相對貧瘠土壤；(2) 植物的生長表現除受到土壤因子影響外，陽光、水分等也是重要的環境影響因子，因多數物種、單株在北區的生長表現較佳，極有可能導致彼此間呈現較高強度的陽光、水分競爭狀態。現場觀察顯示，因蘭嶼樹杞為灌木，與周邊植株的陽光、水分競爭呈現劣勢，在北區塊植株間相對強烈的競爭狀態下，確實明顯處於生長不佳的被壓狀態；然而，目前無法評估欖仁、臭娘子在北區塊生長較南區塊差的原因為何。

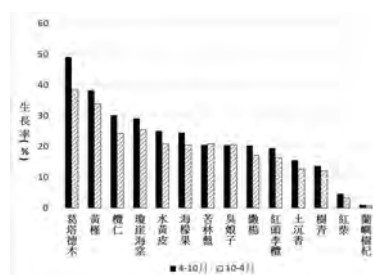


圖 2. 復舊造林物種在不同季節的地徑生長率表現

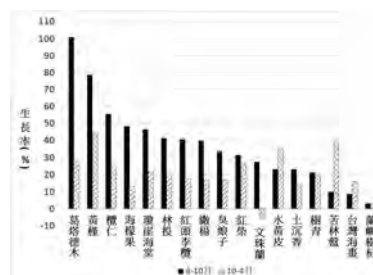


圖 3. 復舊造林物種在不同季節的高生長率表現

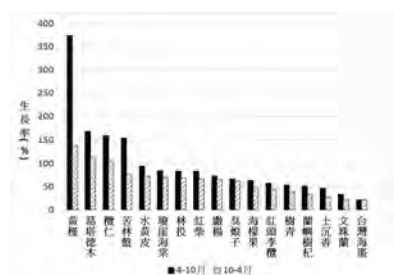


圖 4. 復舊造林物種在不同季節的冠幅生長率表現

結論

- 一、復舊造林植栽的總體成活率高達 96.5%，存活率低於 80%的僅出現於造林區北區塊的文珠蘭及南區塊的紅柴、蘭嶼樹杞。
- 二、就造林物種的適應性表現而言，表現較好的依序為黃槿、葛塔德木、欖仁、瓊崖海棠、林投、海欖果、水黃皮、苦林盤、繖楊、臭娘子，表現相對較差的為蘭嶼樹杞。
- 三、多數復舊造林植栽物種在 1.5 年間(2019 年 10 月至 2021 年 4 月)的地徑、高度、冠幅都呈現明顯成長，顯示所選擇的多數物種對金崙海岸的貧瘠土壤，以及夏季高溫炎熱、冬季強風的氣候特性適應良好。然而，此海岸復舊林地也有「受颱風強浪擾動」的潛在隱憂，因調查期間此復舊林地並未遭受到颱風直接侵襲，其對颱風擾動的抗性及恢復性如何，目前尚無法得知，監測調查工作將持續執行。
- 四、復舊造林地南、北兩區塊的土壤性質有明顯差異，北區塊的土壤有機質、主要化學元素含量都較南區塊為佳，此一差異也明顯反映在多數造林苗木的生長表現上。

引用文獻

- 王相華等 (2009) 復舊苗木在墾丁熱帶海岸林銀合歡防除地之初期生長。國家公園學報 19(1): 9-22。
- 張愛華 (1981) 本省現行土壤測定方法。臺灣省農業試驗所特刊第 13 號: 9-26。
- 郭家和、陳朝圳 (2017) 恆春海岸地區銀合歡移除造林初期之苗木生長表現。林業研究季刊 39(2): 113-129。
- 陳財輝 (2008) 人工海岸保安林復舊。林業研究專訊 15(1): 18-21。
- 黃俊元等 (2017) 臺東太麻里溪堤內洪氾區八種闊葉樹種造林之初期生長表現及施肥效應。林業研究季刊 39(1): 57-69。
- 蘇鴻傑 (1985) 台灣天然林氣候與植群型之研究(III): 地理氣候區之劃分。中華林學季刊 18(3): 33-44。

都市林落葉經營方式對土壤碳吸存之影響 --以中和公園及台北植物園為例--

王巧萍^{1)*} 黃菊美¹⁾ 杜清澤¹⁾ 林冠穎¹⁾

緒言

全球人口激增促使都市建設快速向農田與近郊淺山擴張，造成土壤生態系服務功能產生劇烈的改變(Pickard 2016)。由千禧年生態系統評估報告中已知，土壤生態系服務功能已由過去提供土石原物料、支持建物、供給動植物生產、過濾淨化與緩衝，以及基因多樣性保存等五大類，擴充包括文化與碳吸存等(Blum 2005)與人類社會發展更直接相關的功能。然而在人口密集的都會區，土壤因以支持人工建物為主要功能而遭封存，而未受封存的公園綠地土壤，則以提供植物生長立基與營養為考量。甚或在低碳城市設計與計算都市碳收支時，亦多只計算到地上部的綠覆率和植物屬性(張學聖等 2014)，使得都市土壤在生物多樣性(Santoruf et al. 2012)及碳吸存(Pouyat et al. 2006)的功能直到近年才被漸漸重視。

土壤碳庫的大小直接影響土壤品質，也關係著生態系養分循環與淨化污染的功能(Lorenz & Lal 2015)。然而，一般都會公園的設計與管理多是以景觀及休憩為出發點，因此過去鮮少將生態系服務功能列為考量(陳青洲 2006)，以致公園為清潔維護而將落葉全面掃除，使土壤缺乏有機質輸入，再加上長年遭踐踏而密實，使難得露面的土壤失去了固碳的機會。本研究以落葉多留於現地或回收製成堆肥以再利用的台北植物園，以及落葉隨時被移除的中和四號公園為對象，比較兩公園的土壤物理化學性質與碳庫存，以瞭解都市林的落葉管理方式對土壤碳吸存能力的影響。

材料與方法

一、試驗地與樣區

本研究於大台北地區進行，依氣象局統計 1991-2020 年之年均溫為 23.5℃，年平均降雨量 2368 mm。樣區台北植物園(25.03389N, 121.50756E)設立於 1895 年，占地 8.2 公頃，園區收集上千種植物，依植物展示類別規劃成十七個主題區，並設置各種人行步道規範民眾行動空間。園區內之枯落物，除病死株外大都回收至綠資源中心製成堆肥，再

¹⁾ 行政院農業委員會林業試驗所育林組，100051 臺北市中正區南海路 53 號。

* 通訊作者，E-mail: cpwang@tfri.gov.tw。

施放回園區。另一區為 1989 年建成的新北市中和四號公園(25.00154N, 121.51351E)，面積 11 公頃，是人口稠密的中永和重要的活動空間。林冠較連續可遮陰的區域以及平坦的草皮，因民眾使用強度高，土壤多裸露甚至流失。園區木本植物約 98 種，以榕樹、樟樹、台灣欒樹、楓香為最優勢，近年有大量栽植山櫻花。兩試驗地之氣候條件一致，唯因規劃屬性不同，在土壤經營與擾動強度上有明顯的對比。

二、土壤取樣與分析

為瞭解都市林的落葉管理方式對土壤碳吸存的影響，本研究以表層 30 cm 為主要研究範圍。於兩試驗地各依樣區特質擇 9 處進行土壤取樣。台北植物園之取樣點以林冠鬱閉且地表較無人為擾動之區域為條件，中和公園因植被類型與人為擾動間有明顯關係，因此 9 個取樣點分成林冠鬱閉的裸地、草皮以及較難遭擾動的灌木叢三組，每組各取 3 點。每一取樣點之表層 0-5 與 5-10 土壤，以直徑 5 cm、長 5 cm 之不鏽鋼管取土柱 2 管，而為避免取樣時土壤擾動面積過大，10 cm 以下的土壤以直徑 7 cm、長 25 cm 之鋼管取樣至 30 cm，取回實驗室後再以每 5 cm 長度分切。因中和公園 20 cm 以下客土中多含水泥磚塊，故許多樣點土深僅及 20 cm。一管土柱以 105°C 烘 24 小時測定總土壤容積密度(Bulk Density, BD=全重/體積)，而後過篩測定 <2 mm 細土含量(fine soil content, FS=細土重/體積)，以供計算土壤碳庫。另一管土柱於鮮土時挑出根石、過 2 mm 篩網、陰乾，取次樣品測含水率以供校正總重，另以瑪瑙砵細磨後包以錫囊，用 EA 測定其全碳濃度。土壤碳庫量是以細土含量乘上碳濃度與土壤深度計算。

結果與討論

一、土壤容積密度

土壤密實化是都市土壤普遍的問題(Edmondson et al. 2011)，台北植物園或中和四號公園亦不例外。兩處土深 15 cm 以下之土壤總體容積密度，多已超過 1.4 g/cm³，幾已無根系生長，而四號公園 15 cm 以下的 BD 均已超過一般植物根系可穿透之 1.6 g/cm³，兩公園之土壤總容積密度均隨土壤深度而上升，各深度之測值均以四號公園高於台北植物園，顯見四號公園之土壤密實化較台北植物園為劇，其中又以嚴重人為踩踏的裸地最為嚴重。 <2mm 細土含量因下層不均勻混雜石礫磚塊而無穩定變化趨勢，唯整體而言，中和公園三種地被狀況下各層之細土含量多高於台北植物園(表 1)。

表 1. 都市林不同土壤深度總體密度與碳貯量之分布

試區	土壤深度 (cm)	重複數 (BD/FS)	總體密度(BD) (g/cm ³)	fine soil (FS) (g/cm ³)	C濃度 (%)	C貯量 (ton/ha)
台北植物園	0-5	10/10	1.13(0.13)	1.09(0.15)	2.19(0.74)	11.69(3.33)
	5-10	10/10	1.29(0.13)	1.24(0.15)	1.34(0.53)	7.95(2.62)
	10-15	10/10	1.40(0.18)	1.35(0.17)	0.93(0.34)	6.32(2.77)
	15-20	10/10	1.44(0.16)	1.31(0.14)	0.84(0.37)	5.32(1.80)
	20-25	8/8	1.42(0.07)	1.32(0.24)	0.72(0.27)	4.53(1.24)
	25-30	6/6	1.50(0.25)	1.27(0.27)	0.67(0.34)	3.94(1.36)
	0-30cm合計					39.76
中和公園灌木	0-5	3/3	1.14(0.37)	1.14(0.37)	2.19(1.56)	10.61(4.14)
	5-10	3/3	1.34(0.15)	1.34(0.15)	1.15(0.79)	7.29(4.24)
	10-15	2/3	1.39(0.02)	1.09(0.53)	0.64(0.31)	3.88(2.97)
	15-20	3/3	1.54(0.09)	1.50(0.06)	0.50(0.11)	3.75(0.89)
	20-25	2/2	1.65(0.14)	1.45(0.34)	0.44(0.00)	3.18(0.77)
	25-30	1/1	1.70	1.65	0.51	4.25
	0-30cm合計					32.96
中和公園草皮	0-5	3/3	1.20(0.12)	1.16(0.15)	2.01(0.39)	11.71(3.15)
	5-10	3/3	1.35(0.27)	1.33(0.28)	1.22(0.49)	7.92(2.50)
	10-15	3/3	1.23(0.10)	1.03(0.08)	1.02(0.21)	5.25(1.44)
	15-20	3/3	1.63(0.10)	1.43(0.23)	0.71(0.12)	5.00(0.68)
	20-25	3/3	1.66(0.12)	1.30(0.20)	0.71(0.04)	4.87(1.05)
	25-30	2/2	1.70(0.09)	1.55(0.03)	0.60(0.13)	4.65(0.88)
	0-30cm合計					39.40
中和公園裸地	0-5	3/3	1.30(0.28)	1.30(0.29)	1.20(0.69)	8.28(5.43)
	5-10	3/3	1.49(0.05)	1.47(0.03)	0.56(0.21)	4.13(1.45)
	10-15	3/3	1.54(0.15)	1.54(0.15)	0.52(0.13)	4.00(0.98)
	15-20	2/2	1.63(0.15)	1.62(0.14)	0.47	3.59
	20-25	1/1	1.88	1.80	ND	ND
	25-30	ND	ND	ND	ND	ND
	0-20cm合計					20.00

二、土壤全碳濃度

兩公園之土壤平均全碳濃度均隨土深而下降，且各深度均以台北植物園較高(表 1)。土壤全碳量是由土壤有機碳與無機碳共同組成，前者不僅代表土壤碳吸存能力，也與淨化污染、土壤微生物量及其活性及土壤動物有關(Lehmann & Kleber 2015)。土壤有機質複雜的化學特性以及與生物間的交互作用，其含量越高，生物活性越強，則土壤容積密度將成反比的降低(Ruehlmann & Körschens 2009)。而土壤無機碳則為土壤酸化之緩衝物，與都會區土壤污染物之吸附與稀釋有重要關係(Lorenz & Lal 2015)。由本研究之結果可知，四號公園除了草皮樣點 10-15 cm 土壤，因不明原因有較低的 BD 及較高全碳濃度，是較特殊的例外，整體而言，中和四號公園各深度的土壤全碳濃度，均低於落葉多可保留回歸的台北植物園，唯清潔工作較不可及的濃密的灌木叢位置，因落葉能自然堆

積，其表土 0-5 cm 全碳量與台北植物園相當，可見落葉的管理是土壤碳吸存的重要關鍵(Renforth et al. 2011)。

由於中和公園客土中多出現建築水泥廢棄物，且整體土壤酸鹼度(各深度分別平均值界於 6.8 至 7.7)高於台北植物園(各深度分別之平均值為 5.4 至 5.9)可以推測，其無機碳含量佔整體碳庫存率應較台北植物園多，唯仍有待進一步分析定量。

三、土壤碳庫存

兩公園表層 30 公分內各深度的土壤碳庫存量，均有隨土壤深度而遞減的趨勢(表 1)，唯中和公園在土深 25-30 cm 處因 BD 極高，加以含水泥的客土可能含較高量的 CaCO_3 等無機碳，因此不似台北植物園受有機碳之影響有明顯化育分層的現象。整體而言，兩公園土壤 0-30 cm 總碳存量不及 40 ton-C/ha，有趣的是，中和公園草皮之碳庫總量與台北植物園相似，而裸地因下層土取樣困難，僅能估算表層 20 cm 的總碳庫量約 20 ton/ha。都市林土壤碳庫明顯低於台灣一般森林土壤碳庫存量，例如林國銓等(2004)估算中海拔的六龜地區 20 及 27 年生台灣杉土壤 0-30 cm 分別貯存了 68.1 與 157.7 ton/ha 的碳；林國銓等(2009)另調查台東低海拔處 30 年生相思樹與 25 年生楓香林 0-30cm 土壤碳庫量則分別為 54.9 與 53.9 ton-C/ha；何正品等(2010)調查玉山國家公園中高海拔土壤 0-30 cm 則含 58.0-83.1 ton-C/ha；更遠低於分解作用較緩慢的溫帶櫟木與落羽松土壤礦質層的總碳量(0-20cm 53.3 與 97.1 ton-C/ha，Schulp et al. 2008)，而與貧瘠的海岸林土壤碳庫總量類似(王巧萍等，本研討會論文集)。

結論

由落葉回歸至土壤的有機質，不僅攸關養分循環，也是驅動土壤微生物及動物與土壤物理化學性質的主要關鍵。比較中和四號公園灌叢、草地與裸地三種植被類別之間，以及其與台北植物園土壤總體容積密度、碳濃度與碳庫存量之差異，可知掃除落葉不僅降低了都市林土壤碳吸存的功能，亦降低土壤內生物擾動(bioturbation)的機會，加以密集的人為踩踏，土壤容積密度顯示出嚴重密實化的現象，進一步影響土壤孔隙度，而使入滲率與透氣性均降低，而衝擊都市林土壤的生態系服務功能。

引用文獻

- 何正品、簡士濤、許正一 (2011) 玉山國家公園不同海拔梯度下之土壤理化性質及碳儲存量評估。玉山國家公園管理處自行研究報告，56 頁。
- 林國銓、黃菊美、王巧萍、張乃航 (2004) 六龜台灣杉人工林碳和氮的累積和分布。台灣林業科學 19(3): 225-235。
- 林國銓、杜清澤、黃菊美 (2009)。台東地區相思樹與楓香兩人工林碳累積量。林業研究季刊 31(3): 55-68。
- 張學聖、郭婷婷、陳姿伶 (2014) 從碳平衡觀點探討都市空間發展之特性-以台灣各縣市為例。建築學報 87:137-157。
- 陳青洲 (2006) 從生態觀點探討臺北市都市公園之規劃。臺北科技大學建築與都市設計研究所學位論文，184 頁。
- Blum WEH. (2005) Functions of soil for society and the environment. Rev Environ Tech Biotech. 4: 75-79.
- Edmondson JL, Davies ZG, McCormack SA, Gaston KJ, Leake JR. (2011) Are soils in urban ecosystems compacted? A citywide analysis. Biol Lett 7(5): 771-774.
- Lehmann J, Kleber M. (2015) The contentious nature of soil organic matter. Nature 528: 60-68.
- Lorenz K, Lal R. (2015) Managing soil carbon stocks to enhance the resilience of urban ecosystems. Carbon Management 6(1-2): 35-50.
- Pickard BR, van Berkel D, Petrasova A, Meentemeyer RK. (2017) Forecasts of urbanization scenarios reveal trade-offs between landscape change and ecosystem services. Landscape Ecol (2017) 32: 617-634.
- Pouyat RV, Yesilonis ID, Nowak DJ. (2006) Carbon Storage by Urban Soils in the United States. J Environ Qual 35: 1566-1575.
- Renforth P, Leake JR, Edmondson J, Manning DA, Gaston KJ. (2011) Designing a carbon capture function into urban soils. Proc ICE-Urban Des Plan 164: 121-128.
- Ruehlmann J, Körschens M. (2009) Calculating the effect of soil organic matter concentration on soil bulk density. Soil Sci Soc Am J 73: 876-885.
- Santorufu L, van Gestal CAM, Rocco A, Maisto G. (2012) Soil invertebrates as bioindicators of urban soil quality. Environ Pollution 161: 57-63.

- Tresch S, Moretti M, Le Bayon RC, Mäder P, Zannetta A, Frey D, Fliessbach A. (2018)** A gardener's influence on urban soil quality. *Front Environ Sci* 6: online article 25
<https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00025>
- Schulp CJE, Nabuurs GJ, Verburg PH, de Waal RW. (2008)** Effect of tree species on carbon stocks in forest floor and mineral soil and implications for soil carbon inventories *Forest Ecology and Management* 256: 482-490.

高溫乾燥竹構造稈材之現況

李銘鐘^{1)*} 胡元瑋¹⁾ 塗三賢²⁾

緒言

竹材含有大量的澱粉，易受竹蠹蟲的侵害，未經乾燥處理容易長霉，竹稈使用一段時間容易產生劈裂，因而降低竹材之使用年限及其經濟價值。藉由高溫乾燥加工技術的改進，以及產官學界共同努力，協助竹產業轉型升級，再創本土竹產業的高峰，讓竹材成為環境友善之建築新素材。由於竹子生長快速，4~5 年即可採收利用，且竹林具備優越的碳吸存能力，增進竹資源的產銷潛能，對減碳固碳並減緩溫室效應必將有所貢獻。

預噴蒸汽處理對木材窯乾效益之研究(馬子斌和翟思湧 1978)，預噴蒸汽處理可縮短乾燥時間，亦可減少乾裂之發生。而預噴蒸汽處理的時間，與所乾燥材料之材料性質尺寸及乾燥窯設備規格密切相關。

台灣於民國六十五年間竹材加工業開始蓬勃發展，當時中國農村復興聯合委員會大力支持發展竹材加工業。當時林業試驗所副所長翟研究員思湧領導下，進行一系列竹材加工利用研究開發，奠定了台灣竹加工業發展的堅實基礎。現今林業試驗所積極加強國內竹材加工利用之試驗研究，期能在先進伐採技術，改良傳統加工方法下，使竹稈材長時間使用後不發生劈裂，且不發霉，不受竹蠹蟲之侵蝕。

台灣目前竹構造材料主要以高溫乾燥的方式進行處理，這「竹稈材之乾燥技術」是來自行政院農業委員會林業試驗所的技術，2015 年已技轉給竹山的工廠業者，以 110°C 的高溫將竹子的含水率乾燥至 10% 左右。

竹稈材之乾燥技術，生產竹構造用材。由於乾燥設備、竹種、竹林生長立地環境及竹稈之新鮮度均會影響高溫乾燥品質，竹稈會產生潰陷及劈裂等乾燥缺點。因此首先針對乾燥窯設備進行調整，孟宗竹材料需選向陽面且竹稈伐口底部厚度適中。山坳水源充足孟宗竹生長快速者其竹稈強度弱，經高溫乾燥劇烈收縮過程中易生潰陷。

首座高溫乾燥竹構造建築物，以金屬接頭接合，於 2016 年在台北市客家文化中心落成(甘銘源建築師)。接著以傳統工法，以藤網綁結構，建造高溫乾燥孟宗竹涼亭，

¹⁾ 行政院農業委員會林業試驗所太麻里研究中心，963001 臺東縣太麻里鄉大王村橋頭 6 號。

* 通訊作者，E-mail: mclee@tfri.gov.tw。

²⁾ 行政院農業委員會林業試驗所森林利用組，100051 臺北市中正區南海路 53 號。

於三義地區民宅完工(陽光永續設計紀瑞棋設計師)。

高溫乾燥孟宗竹稈材構造物，經過五年觀察。竹稈均無發生嚴重劈裂，未遭竹蠹蟲侵食。由於未經防霉藥劑處理，高溫乾燥竹稈材料在剛開始施工組合過程中，置於室外，經雨水浸泡兩週時間，竹稈並未發生劈裂，但是當結構組合後，產生嚴重發生黑霉現象，經擦拭後可去除並不再生黑霉至今。

進行高溫乾燥孟宗竹稈，其直徑收縮率(竹節間)高溫乾燥平均 9.9%，孟宗竹稈傳統乾燥直徑收縮率平均 5.3%。經高溫乾燥 110°C，19 小時，生竹稈平均含水率由 59.9%，達到含水率 7%，乾燥速率為 2.8(Mc%/hr)。而孟宗竹傳統乾燥，溫度依各階段 60-90°C，生竹稈平均含水率由 42%降至 12.5%需 118 小時乾燥速率為 0.25(Mc%/hr)。

材料與方法

一、試驗材料

新鮮孟宗竹稈取自竹山地區，試材長度鋸切成 160 cm，伐口稈徑平均約 10 cm，平均節間長約為 34.6 cm，未貫通竹節，每批次乾燥試材 46 支。

二、試驗方法

未去除孟宗竹稈表面雜物與油污。高溫乾燥採用空氣與蒸汽混和法，單一階段乾燥，乾球溫度 110°C，濕球溫度 85°C，相對濕度為 40%，平衡含水率為 3.8% (翟思湧 1985，吳學旦 1985，王松永 1992)；傳統乾燥法則分為 3 階段進行乾燥，乾球溫度 60°C-90°C，濕球溫度 40°C-75°C (吳學旦 1977b)，相對濕度分別為 32%、18%、56%，平衡含水率分別為 4.8%、2.1%、6% (吳學旦 1977b)。高溫乾燥法每 4 小時取出樣竹稱重，傳統乾燥法每 24 小時取出樣竹稱重，並記錄孟宗竹稈樣竹中間直徑尺寸變化。高溫乾燥法及傳統乾燥法，各進行一窯次乾燥試驗。

計算孟宗竹直徑收縮率， $((\text{生樣竹直徑} - \text{乾燥後樣竹直徑}) / \text{生樣竹直徑}) \times 100\%$ 。

樣竹最後所共減少含水率與乾燥所使用時間，計算樣竹乾燥速率， $((\text{生樣竹含水率} - \text{乾燥後樣竹含水率}) / \text{乾燥時間}) \times 100\%$ 。

生材竹稈進行乾燥時，內外水分移動速率差距大時往往產生蜂巢裂，為減少此一現象，每一窯次開始前均施以預噴蒸氣處理 2 小時，以飽和蒸氣加熱，再依各基準表依序進行乾燥處理。

乾燥窯為自製全不銹鋼電氣加溫，調濕為全自動電熱式蒸氣產生器，以蒸氣調整乾燥窯濕度，馬達外置，以皮帶驅動內置風扇，橫向循環，材間風速約 400 ft/min，全自

動小型試驗用木竹材乾燥窯。

結果與討論

孟宗竹採用高溫乾燥法時入窯前樣竹平均含水率為 59.9%，高溫乾燥 19 小時後樣竹平均含水率 7%，乾燥速率為 2.8(Mc%/hr)；傳統乾燥法孟宗竹入窯前樣竹平均含水率為 42%，在乾燥 118 小時後樣竹平均含水率 12.5%，乾燥速率為 0.25(Mc%/hr)。孟宗竹試材經上述高溫乾燥與傳統乾燥後均未發生開裂。

高溫乾燥孟宗竹稈，其直徑收縮率(竹節間)高溫乾燥平均為 9.9%，孟宗竹稈傳統乾燥直徑收縮率平均為 5.3%。竹稈乾燥後需待冷卻後再行出窯，避免因熱脹冷縮引起竹稈開裂。

桂竹及孟宗竹因材質密度較大，高溫乾燥與傳統乾燥處理後，均未發生竹材表皮潰陷的現象。但技轉商因孟宗竹稈材備料來源多，常因立地因子影響竹稈材質鬆軟，高溫乾燥常有少數竹稈發生潰陷情形。

技轉商以 1% NaOH 熱水處理去除孟宗竹稈表面雜物與油污，會破壞竹稈表層組織，孟宗竹稈材在高溫乾燥過程中，均勻收縮時少數易發生劈裂。

結論

孟宗竹稈材先施以預噴蒸汽處理後，可以避免竹稈開裂的狀況。高溫乾燥之孟宗竹乾燥速率約為傳統乾燥法的 11 倍，因此可節省乾燥時間。

高溫乾燥孟宗竹構造建築物經五年觀察，室外耐久性與使用環境密切相關，未見發生如未經高溫乾燥處理過竹稈鎖發生的嚴重劈裂。且因竹稈材經 110°C 溫度改變內含物性質，竹蠹蟲不喜啃食竹稈。一如預期高溫乾燥孟宗竹不曝曬於惡劣環境是可使用 50 年以上。接著再經 10 年後觀察高溫乾燥孟宗竹稈材風化情形。

高溫乾燥竹稈材，如應用在傳統竹管傢具，可在高級竹工藝品發光發熱。對振興竹材加工業必貢獻良多。

高溫乾燥竹稈材，應推廣用與傳統竹屋，使先人的建造智慧得以相傳。

引用文獻

吳學旦 (1977b) 省產經濟竹種人工乾燥之研究(二)。中華林學季刊 10(2): 81-94。

翟思湧 (1978) 預噴汽處理對木才窯乾效益之研究。林業試驗所研究報告第 313 號。

李銘鐘、塗三賢、江吉龍 (2012) 麻竹稈材之高溫乾燥。林產工業 31(4): 207-212。

櫟木花與果實之發育

鍾振德^{1)*} 李函嫻¹⁾ 蔡仔涵¹⁾ 張育維¹⁾

緒言

櫟木(*Zelkova serrata* Makino)榆科(Ulmaceae)櫟木屬，台灣原生喬木，分布於全島海拔 300~1000m，本種亦分布於中國、日本與韓國等地。櫟木屬有 5 種，台灣之櫟木 1920 年經早田文藏區分成兩種，分別為櫟木(*Zelkova formosana* Hay)與太魯閣櫟(*Zelkova tarokoensis* Hay)，櫟木已被認為與日本之櫟木同種，1952 年李惠林將太魯閣櫟歸類為櫟木(*Zelkova serrata* Makino)之變種，然而 Naciri 等(2019)以 DNA 分析採自太魯閣的櫟木，發現遺傳與大葉櫟樹(*Zelkova schneideriana*)相近，因此台灣可能存在兩種櫟木。

櫟木在台灣分布包括北部桃園巴陵、大曼與高義，新竹尖石，苗栗東河與秀巒，中部台中裡冷、環山、八仙山與青山，南投霧社、仁愛與廬山等地，南部高雄多納與屏東茶茶牙賴，東部台東延平與南橫新武，花蓮太魯閣天祥、洛韶、綠山與岳王亭等地，台灣從北到南與東部都有其分布。

櫟木大徑木材質堅硬，適合製造高級傢具，林務局統計 90~109 年間，中材每立方公尺平均價格為 28,030 元，為闊葉樹用材價格最高之樹種。根據林務局第四次全國森林調查，櫟木人工林面積 374 公頃(邱立文等 2015)，台糖平地造林樹種，櫟木造林 863 公頃(謝漢欽等 2009)。

櫟木族群的遺傳變異，多指出族群間遺傳變異不高，變異來源主要為族群內(張國禎 2005，洪培元 1992)。族群間的變異不大，因此選種應以優良單株為主。但根據《天下》雜誌報導，台糖於屏東栽植的人工林長得最糟的是阿勃勒、烏柏與櫟木，且根據邱志明等(2016)調查平地造林栽植 13 年生櫟木的生長，每公頃木材蓄積量僅 34.05 m³，意即每公頃每年的生長量僅 2.6 m³。第四次全國森林調查，人工林的每公頃每年的生長量雖為 6.8 m³(邱立文等 2015)，然而櫟木的生長僅為人工林生長平均值的 1/3 左右。

櫟木之母樹林共有 4 處，分別位於林務局新竹林區管理處大湖事業區第 39 與 40 林班，大湖事業區第 21 林班，以及東勢林區管理處大安溪事業區第 102 林班，大湖事業區 39，40 與 21 林班為人工林，大安溪事業區則為天然林。大湖事業區第 39 與 40 林班

¹⁾ 行政院農業委員會林業試驗所育林組，100051 臺北市中正區南海路 53 號。

* 通訊作者，E-mail: ljm8829@tfri.gov.tw。

為 1932 年建造之人工林，面積 1.08 公頃，1970 年劃設為母樹林，位於海拔 800 m，坡向為西北向，坡度 15 度，土壤為石礫土，現存母樹共計 65 株，樹高高於 20 m，胸徑集中在 45~50 cm。大湖事業區第 21 林班為 1947 年建造之人工林，面積 7.72 公頃，位於海拔 600~1400 m，土壤為泥質石砂岩，現存母樹共計 185 株，胸徑集中在 45~50 cm，樹幹通直比率達 96.2%。大安溪事業區 102 林班，海拔 1000~1300 m，坡度 10~25 度，面積 0.75 公頃，母樹有 15 株，樹高 17~35 m，平均 24.2 m，胸徑 42~134 cm，平均為 68.4 cm，最大樹冠幅 4~12 m 平均 7.4 m(林務局 未發表資料)。

櫟木散生分布於全島，因此不易劃設母樹林。由於母樹接受的花粉源，來自於週遭居多，而週遭的母樹彼此的親緣性高，因此，櫟木母樹林近親繁殖的現象非常的普遍。

櫟木選育計畫於 2013 年由林試所簡慶德博士開始，採集包括苗栗騰龍與冬瓜山、新竹尖石、大安溪林班、郡大林道、坪瀨林道、多納與嘉義阿樂野地共計 40 株母樹之枝條進行嫁接，2015 年初將成活之嫁接苗，於林試所六龜多納苗圃與林務局南投東光苗圃，各建立約 0.2 與 0.5 公頃種子園，2 個種子園至 2020 屆齡 6 年生，仍未能開花結實，種子園尚未達到預期之目標。深入了解開花誘導與種子發育過程，為台灣櫟育種首先要克服的問題，後續的育種工作才能順利地展開。

材料與方法

一、花分化數量調查

花的分化數量調查有 2 株母樹，分別位於台北新店溪旁之河濱公園與林試所總所庭園(圖 1a, b)，花綻放時，取其開花枝條，兩株母樹分別取 40 個小枝，計算其雄花、兩性花與雌花數量。

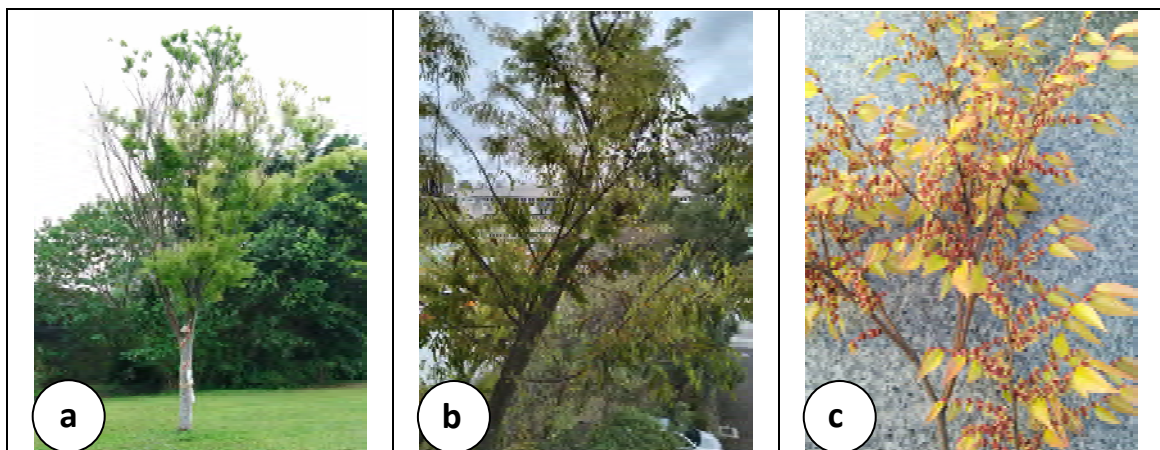


圖 1. a:新店溪旁之河濱公園栽植之櫟木，b:林試所總所庭園內栽植之櫟木，c:櫟木花枝。

二、花與胚胎發育解剖觀察

本解剖觀察於 2 月開始進行，至 9 月底果實成熟可以獲得整個生殖週期輪廓，再經組織切片解剖觀察，調查台灣欖木的花芽分化與胚胎發育過程。採集樣品觀察包括(1)花芽分化之觀察：於當年 2 月下旬花芽萌發，到花芽分化形成定期採集。(2)花之發育：從 3 月初開始，以間隔 7 天分別採集花芽，至控制授粉完成為止。(3)胚胎觀察：從 3 月開始，至 9 月種子成熟為止，以間隔 7 天採集授精後的果實，到種子收穫為止。

樣品採集處理與觀察，將上述採集之芽體、花藥、花柱和授粉過後的果實，整個被放入固定液固定，必要時修剪木質化組織，使固定液比較容易滲入。固定液 formalin-acetic acid-alcohol (FAA)中固定一天後，以三己丁醇(*tert*-butanol)、蒸餾水與酒精調製之系列濃度進行脫水(Johansen 1940)，經滲蠟及埋蠟包埋後，切成厚 10~15 μm 之薄片置於載玻片上，然後再進行脫蠟，並分別以 safranin O 與 fast green 進行染色，於 Zess 光學顯微鏡下進行觀察並拍照。

部分樣品進行掃描式電子顯微鏡觀察，樣品先以 2.5% glutaraldehyde (in 0.1 M phosphate)固定 2 h，後經 0.1 M phosphate 緩衝液清洗，再以 1% OsO_4 (in 0.1 M phosphate)固定 2 h，經 0.1 M phosphate 緩衝液清洗，以 30~100%丙酮開始進行系列脫水，再置於臨界點乾燥機與二氧化碳進行置換，完成後粘貼於鋁載台上行金離子覆膜，於 Hitachi 2400 掃描式電子顯微鏡下觀察之。

三、種子採集處理與發芽及苗木性狀調查

台灣欖木種子 9 月成熟，以水進行篩選，區分成沉水與漂浮種子，置入濕水苔混合放入封口的 PE 袋內，於種子發芽箱進行發芽，發芽溫度 25/15°C。種子發芽後，栽植於穴植管內，培育成苗調查苗木的分叉性狀。

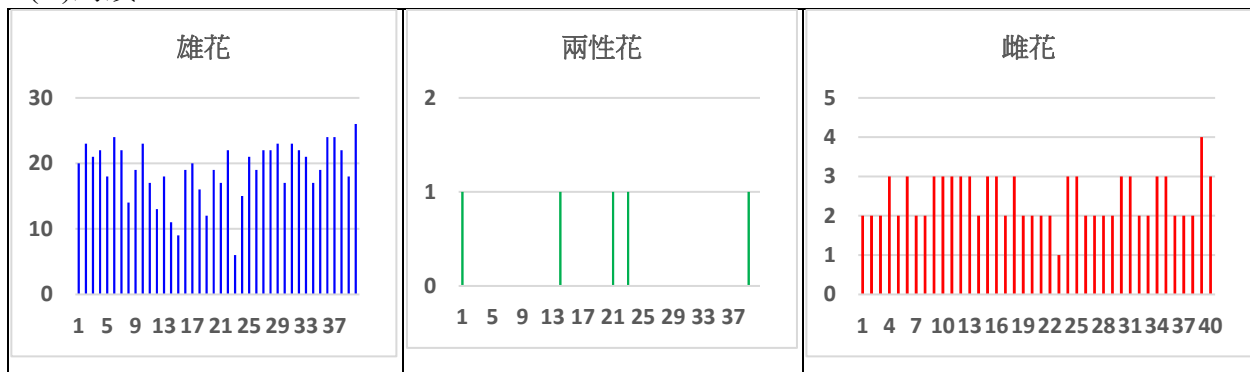
結果與結論

一、欖木之花與數量調查

台灣欖木為落葉樹種，花與新葉同時長出，花小形，淡黃綠色，雌雄同株，雄花多位於枝條下方，雌花多位於枝條先端之葉腋，也有兩性花，與雌花混生(圖 1c)。調查河濱與林試所兩母樹的開花數量，河濱欖木雄花平均為 19 ± 4.4 個，林試所欖木雄花平均為 26.9 ± 6.1 個，兩者在兩性花與雌花的比率有很大的差異，圖 2 河濱欖木在調查的 40 個小枝裡，僅 5 個小枝各具有 1 個兩性花，每個小枝的雌花數量 1~4 個，雌花平均為 2.5 ± 0.6 個，林試所欖木，在調查的 40 個小枝裡，所有的小枝都具兩性花，僅 3 個小枝發現各 1

個單純的雌花，兩性花平均為 3.6 ± 1.4 個。河濱與林試所的櫟木為什麼會有這樣的差異，除了兩株母樹的年齡與大小不同之外，是否有其他原因，需要進一步探討。Suo and Hashizume (1995)提到日本之櫟木有兩性花，在一個短枝上，雄花平均 22.6 個，兩性花 2.2 個，雌花則 3.3 個。

(A)河濱



(B)林試所

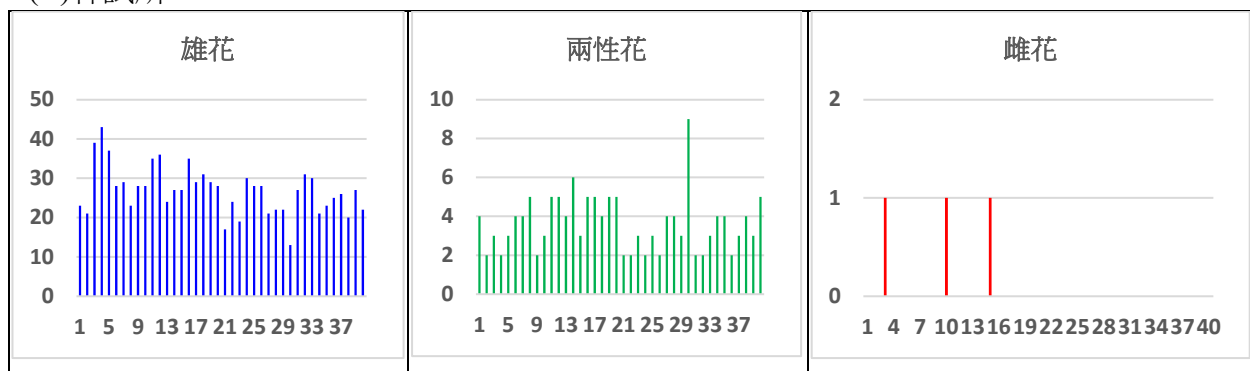


圖 2. 河濱與林試所櫟木開花枝條之小枝的雄花、兩性花與雌花的數量。橫軸：小枝流水號。縱軸：花朵數。

雄花內的雄蕊(stamen)數量(圖 3)，在雄花與兩性花內，也有顯著性的差異，雄花內的雄蕊數量 3-6 個，平均為 5.1 ± 0.8 個，兩性花內的雄蕊數量 1-6 個，平均為 3.9 ± 1.1 個。雄蕊與花萼裂片同數，花絲直立而挺出。

二、台灣櫟木之結實與空粒及發芽率

櫟木果實為核果，種子於 9 月到 10 月成熟，種子儲藏性質為中間型(Yang et al. 2007)。2019 年於南投採集櫟木種子，共獲取 486 個種子，用水去篩選，結果有 357 粒種子約 73.5%浮在水上面，這些種子在 25/15°C變溫處理下，種子的發芽率僅 1 粒約 0.28%，另外 129 粒約 26.5%種子沉在水底，種子在 25/15°C變溫處理下，第二週發芽率即可達 56.6%，第三週大部分的種子都可發芽完畢，發芽率 87.6%，種子最終發芽率為 91.5%(表 1)。

表 1. 台灣櫟種子處理發芽

編號	發芽溫度	25/15°C	種子總數	發芽粒數	發芽率(%)
沉水	2020/04/29		129	118	91.47
浮水	2020/04/29		357	1	0.28

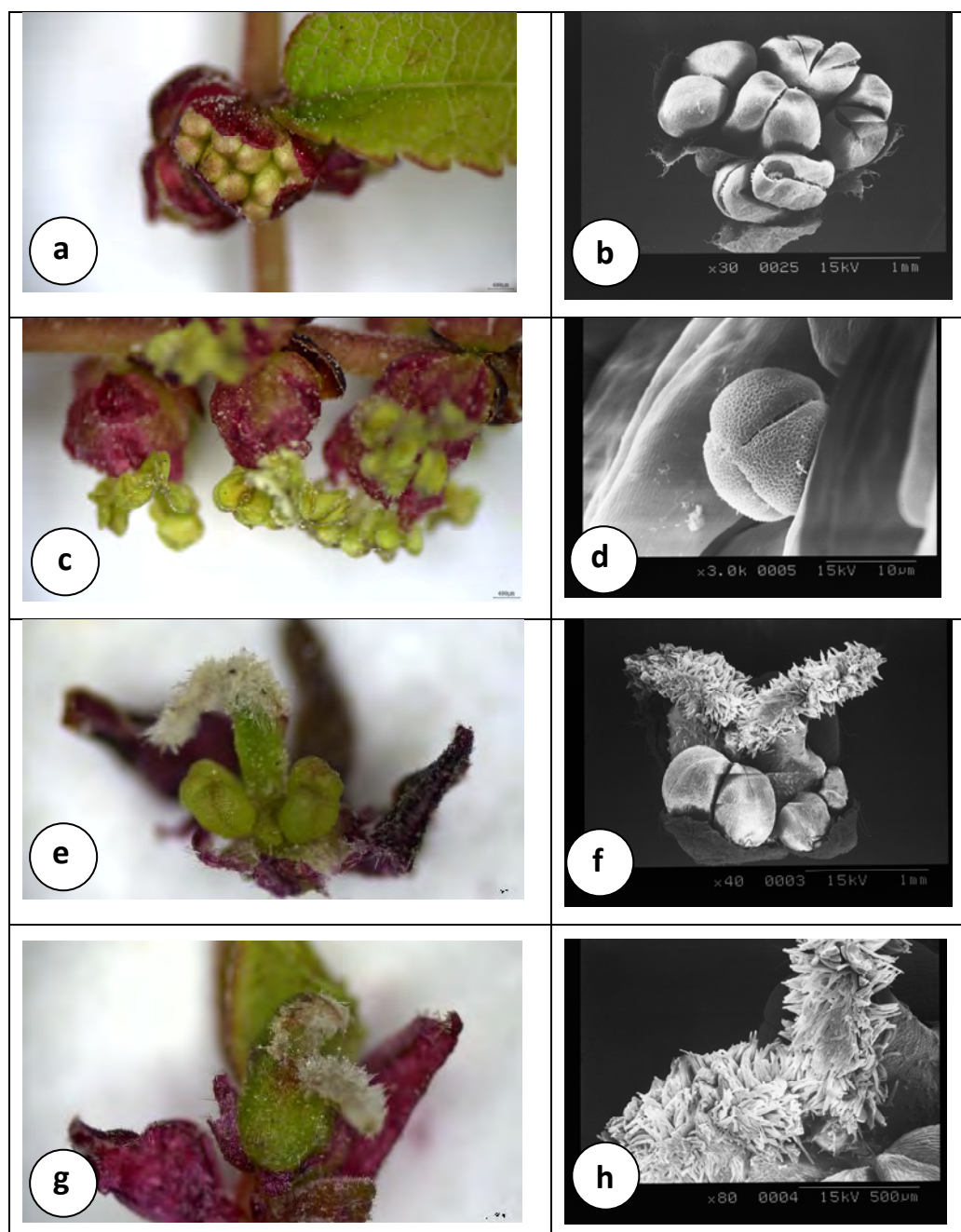


圖 3. 櫟木雄、雌花與兩性花 SEM。(a, b)雄花，(c)雄花綻放雄蕊伸出，(d)花粉，(e, f)兩性花，(g, h)雌花。

三、台灣櫟木苗木分叉比率

種子發芽後栽植於穴植管內，1 個月後苗高 4-5cm，發芽種子成苗率接近 100%。苗木栽植 6 個月，發現可以區分出直立與分叉，調查分叉比率為 80%，這個比率與羅卓振南等(1995)所調查的 5 年生台灣櫟木林分的分叉比率 82%相近，意即分叉的性狀是從小

苗帶到造林地。台灣大學和社營林區，日治時期栽植的台灣檫木人工林呈現通直，台灣檫木人工林分叉應該不是台灣檫木的原本習性，本研究所取的種子來自台灣大學和社營林區，但母樹基本性狀不明，仍有此分叉問題，後續可能需從遺傳與育苗去一一釐清，才能解決目前遭遇的問題。

台灣檫分叉習性一直困擾林業界許久，至今仍沒有一個很好的解決方案，從選育通直的母樹下手，將兩個直立的母樹，透過控制授粉的手段，培育出後裔苗木，觀察其分叉習性是否改善，為後續應該證明的的工作。

引用文獻

- 邱立文、黃群修、吳俊奇、謝小恬 (2015) 第 4 次全國森林資源調查成果概要。台灣林業 41(4): 3-13。
- 洪培元 (1992) 不同種源臺灣檫同功酶變異之研究。國立台灣大學森林學研究所碩士論文，57 頁。
- 張國禎 (2005) 台灣檫遺傳變異之研究。國立台灣大學森林學研究所博士論文，84 頁。
- 邱志明、鍾智昕、唐盛林、彭炳勳 (2016) 平地造林混合林生長之探討。2016 年平地造林試驗及監測研討會論文集，1-7 頁。
- 謝漢欽、陳弘毅、張鈞媛 (2009) 從統計分析看台灣的平地造林地—以 2002 年至 2005 年整合平地造林地地理資訊為例。林業研究專訊 16(5): 10-22。
- 羅卓振南、鍾旭和、邱志明 (1995) 修枝對台灣檫幼林生長及節癒合之研究。林業試驗所研究報告季刊 10(3): 315-23。
- Johanson DA. (1940) Plant microtechnique. In: Sass JE, editor. Botanicae microtechnique. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, The Iowa State Univ. Press.
- Naciri Y, Christe C, Betrisey S, Song YG, Deng M, Garfi G, Kozlowski G. (2019) Species delimitation in the East Asian species of the relict tree genus *Zelkova* (Ulmaceae): A complex history of diversification and admixture among species. Mol Phylogenetics Evol 134: 172-85.
- Suo Z, Hashizume H. (1996) Flower bearing habits, flowering, pollination, pollen production and pollen dispersal in *Zelkova serrata* Makino. J. Jpn For Soc 77: 332-9.
- Yang JC, Kuo SR, Lin TP. (2007) Intermediate storage behaviour and the effect of prechilling on germination of Japanese *Zelkova* (*Zelkova serrata*) seeds. Seed Sci and Tech 35(1): 99-110.

五種蕨類之乾燥耐受性

黃曜謀^{1)*} 張藝翰²⁾ 陳筠¹⁾

緒言

過去半個世紀以來，受到氣候變遷的影響，極端天氣事件發生的頻率有增高的趨勢，局部地區大氣環境條件改變速度加快，造成許多生育地不適合大多數植物生長，而產生劣化現象，甚而影響整個生態系的穩定。生物需要有足夠的水分以維持生命活力，然而，有少數生物可承受極度失水的氣乾狀態，即使細胞已喪失 90% 的水份，或與 50% 相對溼度達到平衡，水勢低於 -100 MPa，復水後仍可恢復活力，這群生物統稱復甦或耐乾燥生物(Desiccation tolerant creature)(Alpert 2000, 2006)。越來越多的研究學者相信，探索復甦植物不僅可解決劣化地植生復舊問題，洞悉控制復甦植物耐乾燥機制，亦對全球氣候變遷下的生態系平衡及世界糧食安全提供解決之道(Leprince and Buitink 2015)。

不同植物類群間，復甦植物種數比例差異甚巨，其中以低等且個體小的苔蘚類所佔比例最高(大多數)，蕨類與石松類次之(0.6%)，高等且個體大的種子植物最低(0.09%) (Proctor and Tuba 2002, PPGI 2016)。蕨類為臺灣森林中重要組成，復甦植物物種比例為開花植物的 60 倍，實屬一絕佳研究復甦植物耐乾燥機制題材，在臺灣原生 800 多種蕨類(包含石松類植物)中，究竟有哪些物種屬於復甦物種，已陸續被證實，然多集中在演化基群中的石松類，包括萬年松、臺灣水韭及金門水韭(Liu et al. 2008，廖宇賡和葉媚媚 2009，Huang et al. 2018)，相對在森林中佔優勢的新近演化蕨類類群反而較少被研究，國外有許多報導，生長在沙漠環境下的多種蕨類被證實為復甦植物(Tuba and Lichtenthaler 2011)，臺灣並無典型的沙漠環境，然而裸露的岩石及樹幹保水能力差，植物生長於此，勢必面臨缺乏水分的困境，可能具有耐乾燥生理特性。

因此，本研究從野外採集常著生在岩石上 4 種鳳尾蕨科植物，並另以一復甦蕨類萬年松做為對照，透過乾燥/復水的實驗處理，探索哪些物種歸屬於復甦物種。

¹⁾ 行政院農業委員會林業試驗所育林組，100051 臺北市中正區南海路 53 號。

* 通訊作者，E-mail: huangym@tfri.gov.tw。

²⁾ 行政院農業委員會林業試驗所恆春研究中心，946004 臺屏東縣恆春鎮公園路 203 號。

材料與方法

一、樣本蒐集

2021 年 3 月 2 日沿台 7 甲線沿途採集北橫地區 4 鳳尾蕨科物種(臺灣車前蕨 *Antrophyum formosanum*、姬書帶蕨 *Haplopteris anguste-elongata*、臺灣粉背蕨 *Aleuritopteris formosana*、細葉碎米蕨 *Cheilanthes chusana*)及卷柏科萬年松 *Selaginella tamariscina* (圖 1)，每一物種至少採 3 棵成熟植株，樣本均生長在道路邊坡岩壁上，植株多少呈現枯萎狀，採集時保持根系完整性。



圖 1. 乾燥耐受性測試物種。A:臺灣車前蕨。B:姬書帶蕨。C:臺灣粉背蕨。D:細葉碎米蕨。E:萬年松。

二、乾燥-復水處理

將帶回實驗室植株樣本，每一物種各取 3 植株，清除根系的土壤雜質後，置放於桌面上先進行室內陰乾 2 週，隨後將植株擺放在有氯化鋅飽和鹽水的密閉玻璃缸中進行為期 2 週的乾燥，乾燥後植株浸入自來水中復水 48 小時。最後將植株種植 3 寸盆中，套上透明塑膠杯保持空氣濕潤，種植 1 個月後，觀察植株生長狀況，視為物種乾燥耐受性指標。

三、植株含水率

稱每一樣株在處理過程中的重量，及各項處理時的環境溫度及相對濕度，換算當時植株的含水率(WC，公式 1)、相對含水率(RWC，公式 2)(ISTA 1985)及由大氣相對濕度及溫度，套用公式 3 (Adegbola 2016)，計算出平衡水勢值 MPa。

$$WC=(\text{當次植株測定重量}-\text{絕乾重})/\text{植株飽水重量}*100\% \quad \text{公式 1}$$

$$RWC=(\text{當次植株測定重量}-\text{絕乾重})/(\text{植株飽水重量}-\text{絕乾重})*100\% \quad \text{公式 2}$$

$$\Psi=(R \cdot T/V_w) \cdot \ln(RH/100) \quad \text{公式 3}$$

其中，絕乾重=植株以 130°C 烘乾 3 小時後重量；飽水重量=植株復水 48 小時內最大重量。R 為通用氣體常數($8.314 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)，T 為絕對溫度(K)， V_w 是水的莫爾體積($18 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$)，RH 為空氣相對溼度的百分比。

結果與討論

一、植株環境及生長狀況

野外採集發現生長在開闊地岩壁上的臺灣粉背蕨、細葉碎米蕨面臨乾旱逆境，葉片會嚴重捲縮，將被白粉的遠軸面朝外，而將無白粉被覆的近軸面葉面包在內側；而生長在較陰暗樹冠下岩壁環境的姬書帶蕨、臺灣車前蕨，遇到乾旱逆境同樣會將產生捲縮現象，程度不如前兩者明顯，且葉片兩面無顯著顏色分化現象。萬年松出現在嚴重裸露的岩石上或道路水泥邊坡，乾旱時分枝呈拳頭狀捲縮，將深綠色的近軸面葉面包裹在內，將淺綠色遠軸面葉面朝向外側。

二、植物體含水量

植物體飽水狀態含水率種間具有顯著差異，其中以臺灣車前蕨平均植株含水率最高(90.7%)，萬年松最低($67.5 \pm 5.9\%$)。

植物採回陰乾 2 週後各物種之平均植物體含水率介於 8.8~18.0%之間，細葉碎米蕨含水率顯著高於其他 4 種，室內氣溫 26-28°C，RH 50~60%，空氣水勢-71.0~-95.7 MPa。

再經氯化鋅飽和鹽水乾燥處理後，可有效降低植物體內水分含量，經此處理後，各物種之平均植物體含水率降至 6.8~10.2%，物種間無顯著差異(表 1)。在相對含水率方面，陰乾平均植株相對含水率細葉碎米蕨(26.1%)明顯高於其餘 4 種(10.4~16.7 %)，氯化鋅飽和鹽水乾燥處理 2 週後，植株相對含水率降至 8.2~14.7%(表 1)，重量維持恆定，此時密閉玻璃缸相對濕度 14~16%，溫度 26~28℃，水勢介於-254.8~-271.5 MPa 之間。

表 1.5 種蕨類經不同乾燥處理後之植株含水量(n=3)。

	含水率(%) ^{1,2}			相對含水率(%) ¹		
	飽水	陰乾	氯化鋅	飽水	陰乾	氯化鋅
臺灣車前蕨	90.7±0.2a	9.6±0.2a	7.4±0.5a	100	10.6±0.2a	8.2±0.5a
姬書帶蕨	83.9±1.9b	8.8±0.4a	7.2±0.5a	100	10.4±0.2a	8.5±0.5b
臺灣粉背蕨	71.3±0.9c	11.9±4.3a	6.8±0.8a	100	16.7±6.1a	9.5±1.2c
細葉碎米蕨	69.2±0.3d	18.0±3.4b	10.2±1.9a	100	26.1±4.9b	14.7±2.8c
萬年松	67.5±5.9e	10.5±2.6a	8.3±2.0a	100	15.5±3.7a	12.3±2.9c

1 mean±sd

2 各列數值後面標示不同英文單字表示具顯著差異(one way ANOVA, followed by Fisher LSD test, p<0.05)。

經上述乾燥處理後，各物種植物平均含水量 6.8~10.2%。將植株浸入水中，讓植株能夠充分獲得水分，植株快速吸收水分，原本捲縮乾枯的葉片逐漸伸展膨潤，1 小時後植株平均含水率增加 5 倍之多，達 31.0~56.7%，浸水 4 小時後葉片幾乎已全數開展膨潤。浸水 7 小時後含水率 64.8~87.4%，此後含水率增加速度趨緩(圖 2)。浸水 48 小時後，臺灣車前蕨及姬書帶蕨葉肉細胞有明顯的浸潤現象，顏色偏褐色且組織被細菌分解而釋放發出異味，其他 3 種蕨類葉片葉肉細胞正常，葉片鮮綠色，無異味(圖 3)。

三、乾燥復水後植株生長狀況

經上述的乾燥復水後 1 個月，發現鳳尾蕨科細葉碎米蕨、臺灣粉背蕨，及卷柏科(萬年松)所有植株生長狀況良好，而臺灣車前蕨、姬書帶蕨植株皆已死亡。結果顯示前三種的植株耐乾燥能力高於後兩種。根據耐乾燥生物的三個評斷標準：細胞已喪失 90%的水份，50%相對溼度達到平衡，水勢低於-100 MPa，復水後仍可恢復活力(Alpert 2000, 2006)。本研究除了再次確認萬年松為復甦植物，首次證實細葉碎米蕨、臺灣粉背蕨也是復甦植物。

雖然蕨類植物具有獨立生活的孢子體與配子體，若干蕨類僅見配子體而無孢子體，稱之獨立配子體，獨立配子體被普遍認為是一種適應惡劣環境下的一種產物(Kuo et al.

2017), 比孢子體植株具有更強的耐乾燥能力, 生長在岩壁上的臺灣車前蕨、姬書帶蕨是否透過配子體度過長期乾旱, 待雨季來臨時, 在原地恢復生長, 還有待進一步證實。

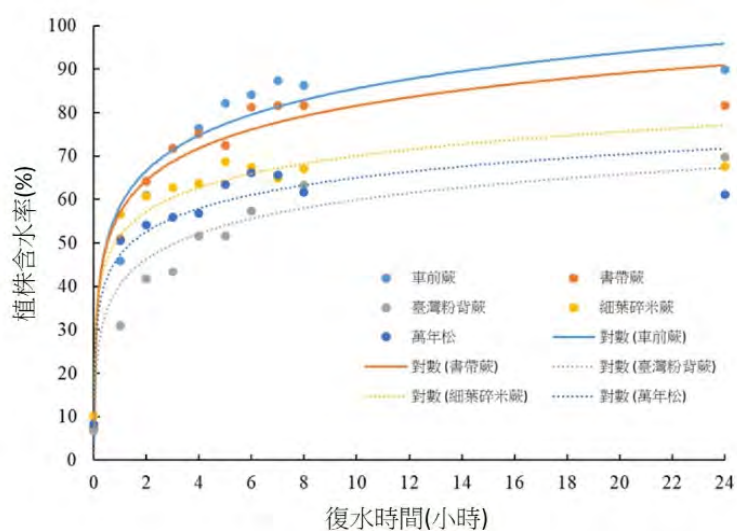


圖 2. 各種乾燥蕨類植株經過復水後含水率變化趨勢圖。



圖 3. 復水 48 小時後植株外觀。
A:台灣車前蕨。B:姬書帶蕨。
C:臺灣粉背蕨。D:細葉碎米蕨。E:萬年松。

結論

生物需要有足夠的水分以維持生命活力，然而，復甦植物可承受極度失水，復水後恢復活力。臺灣森林中蕨類植物種類豐富，不僅材料容易取得且有相對高比例的復甦物種，提供絕佳研究維管束植物耐乾燥能力題材，本研究從野外採集著生在岩石上 4 種鳳尾蕨科植物及萬年松，透過乾燥/復水/存活的實驗，除了再次確認萬年松為復甦植物，並首度證實細葉碎米蕨、臺灣粉背蕨也是復甦植物。

引用文獻

- 廖宇賡、葉媚媚 (2009) 金門產水韭的耐旱性及其栽培初探。自然保育季刊 68:23-27。
- Adegbola YU, Pérez HE. (2016) Extensive desiccation and aging stress tolerance characterize *Gaillardia pulchella* (Asteraceae) seeds. HortScience 51(2): 159-163.
- Alpert P. (2000) The discovery, scope, and puzzle of desiccation tolerance in plant. Plant Ecology 151: 5-17.
- Alpert P. (2006) Constraints of tolerance: why are desiccation-tolerant organisms so small or rare? The Journal of Experimental Biology 209: 1575-1584.
- Huang YM, Yap YQ, Li CW. (2018) A semiaquatic but desiccation-tolerant plant, *Isoetes taiwanensis* DeVol (Isoetaceae; Lycopphyta). The International Journal of Plant Reproductive Biology 10: 10-13.
- ISTA (1985) International Rules for Seed Testing. Seed Science and Technology. 13: 307-520.
- Kuo LY, Chen CW, Shinohara W, Ebihara A, Kudoh H, Sato H, Huang YM, Chiou WL. (2016) Not only in the temperate zone: independent gametophytes of two vittarioid ferns (Pteridaceae, Polypodiales) in East Asian subtropics. Journal of Plant Research 130: 255-262.
- Liu MS, Chien CT, Lin TP. (2008) Constitutive components and induced gene expression are involved in the desiccation tolerance of *Selaginella tamariscina*. Plant and Cell Physiology 49(4): 653-663.
- PPG I. (2016) A community-derived classification for extant lycophytes and ferns Journal of Systematics and Evolution 54: 563-603.
- Proctor MCF, Tuba Z. (2002) Poikilohydry and homoihydry: antithesis or spectrum of possibilities? New Phytologist 156: 327-349.
- Tuba Z, Lichtenthaler HK. (2011) Ecophysiology of homiochlorophyllous and poikilochlorophyllous desiccationtolerant plants and vegetations: Plant Desiccation Tolerance. Ecological Studies 215: 157-183. Springer-Verlag, Berlin -Heidelberg.

原住民族文化弓材樹種大丁黃之種子發芽試驗

林鴻志^{1)*} 何姍穎¹⁾ 游漢明¹⁾ 黃建益¹⁾

緒言

大丁黃(*Euonymus laxiflorus*) (衛矛科)為原住民族所使用重要的弓材及雕刻材料，根及樹皮具藥用價值，也是耐陰的庭園綠美化景觀植物。大丁黃弓木多採自原始山林，但因生長速度緩慢，長至可利用胸徑 4 cm 以上需耗費數十年，如持續野採利用，將面臨弓材資源匱乏的窘境，發展原鄉林下栽植復育模式為一可行途徑。

以往認為衛矛屬(*Euonymus*)種子具有休眠性，濕冷處理前需先經 15~20°C 暖溫濕處理 1~3 個月，使種子發生變化，胚發育完全後解除形態的休眠，再行濕冷處理 4~6 個月，才能解除生理的休眠，以獲得高發芽率(郭華仁 2015)。另一方面，大丁黃種子通常採自假種皮轉紅之成熟蒴果，且種子保存及催芽前需揉除橙紅色假種皮(龍建華等 2006)。然而臺灣常面臨採收前，種子即遭鳥類啄食殆盡，致採收量有限的窘況，而假種皮有油質且沾黏，亦相當不易去除。如能確認種子飽滿、假種皮轉紅的青皮蒴果階段，此時種子已具備良好發芽能力，並掌握種子預處理方法及催芽相關條件，就能在青皮熟果階段採收種子，確保種源及種子量無虞，故本研究就大丁黃種子進行相關發芽試驗。

材料與方法

大丁黃通常於 5~6 月開花，果實約在 9~11 月成熟，果皮由綠轉紅，蒴果逐漸開裂後可見鮮紅色假種皮之種子。本試驗果實採自南投縣蓮華池海拔約 750 m 林地，經查看鄰近樟湖及日月潭氣象站資料，2020 年 6~11 月之累積降雨量較過去 2011-2020 年 10 年之平均值減少約 40%，果實成熟期似有延遲現象。10 月底先行採集首批大丁黃果實(ⅠC₀)，蒴果果皮青綠色但尚未開裂，裡面種子之假種皮已轉為鮮紅色，但觀察發現發育尚未完全充實。因此，12 月初再採集一批果實，種子皆已充實，一部分假種皮已轉為紅色，且蒴果開裂的紅皮熟果(ⅠM)，另一部分仍為果皮青綠、蒴果未開裂之青皮熟果(ⅠI)，每顆果實有 1~4 粒成熟種子。

¹⁾ 行政院農業委員會林業試驗所育林組，100051 臺北市中正區南海路 53 號。

* 通訊作者，E-mail: hclin@tfri.gov.tw。

各試驗組種子預處理方式如下：發芽試驗之種子均勻混合濕潤水苔包覆，裝入封口袋於常溫環境約 20~25°C 下發芽，每周檢查紀錄種子發芽粒數 1~2 次，以胚根突出 5 mm 作為發芽標準，觀察期持續 3 個月。

(IC₀) 綠皮未熟青果陰乾，僅剝取硬實飽滿種子 43 粒，保留紅色假種皮；

(M) 紅皮熟果陰乾，剝取種子後浸泡流水 1~2 日後，去除紅色假種皮之種子(MR)，每袋 50 粒種子，8 個重複；未去除紅色假種皮之種子(MC)，每袋 30 粒 4 個重複；

(I) 青皮熟果陰乾，剝取種子直接去除假種皮 85 粒(IR)，種子泡水靜置 1 晚；未去除種皮種子以流水浸泡 8 日(IC-F)，每袋 100 粒種子，20 個重複，另外水盤泡水靜置 8 日(IC-S)之處理，種子 309 粒。

種子發芽率(%，germination percentage, G)(郭華仁 2015)、平均發芽時間(天，mean germination time, MGT) (Kotowski 1962，李承輝 1990)、發芽整齊度(天，uniformity of germination, T)(Soltani et al. 2015，郭華仁 2015)計算式如下：

(1) $G = n / N \times 100\%$ n:發芽種子總粒數

N:供試種子總粒數

(2) $MGT = \Sigma(n_i \times t_i) / S$ ni: 從播種試驗開始第 ti 天的當日發芽粒數

S: 試驗結束日止之總發芽粒數

(3) $T_{75-25} = T_{75} - T_{25}$ T₂₅, T₅₀, T₇₅ 表種子累積發芽率達 25%，50%，75%所需天數

結果與討論

各觀察組發芽試驗結果，2020 年 10 月底所採綠皮未開裂之未熟青果，保留紅色假種皮之硬實種子(IC₀)仍具發芽活力，惟發芽率僅 44%。同年 12 月初所採熟果，各組發芽試驗結果統計如表 1，每週發芽率如圖 1、累積發芽率如圖 2。

表1. 不同處理組發芽試驗結果統計表

	MC	MR	IR	IC-S	IC-F
平均發芽率(%)	67±16%	96±3%	95±5%	79%	86±3%
腐敗種子汰除率(%)	30.8%	2.5%	3.5%	14.6%	11.3%
首次檢查到種子發芽(天)	40	30	27	34	19
25%種子發芽(天)	47	30	27	40	34
50%種子發芽(天)	53	34	31	49	40
75%種子發芽(天)	-	38	35	68	49
平均發芽日數(天)	50.0±1.1	34.6±1.2	31.3±1.6	47.2	39.4±1.4
發芽整齊度 T ₇₅₋₂₅ (天)	-	8	8	28	15

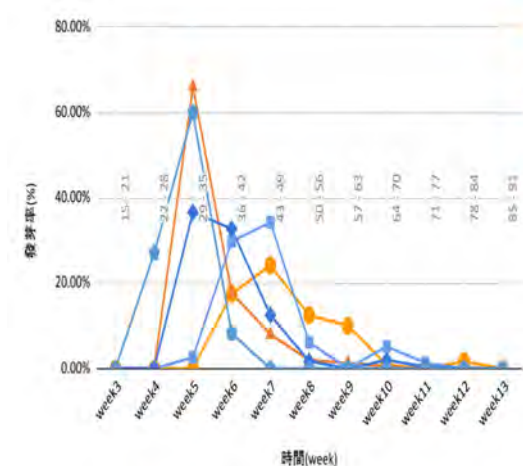


圖1. 每週發芽率(%)

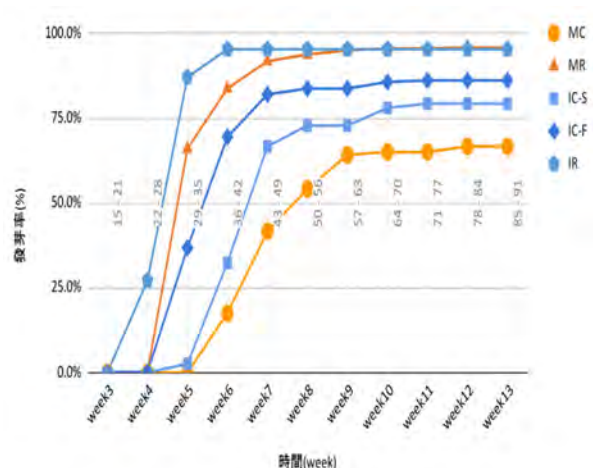


圖2. 累積發芽率(%)

種子飽滿之果實，紅皮熟果如未去除紅色假種皮(MC)，其種子發芽率為 $67 \pm 16\%$ (表1)，因種皮留存致種子表面發霉腐敗之比例高達 30.8%；而 MC 組種子發芽率略高於龍建華等(2006)未剝除大丁黃假種皮，且經冬季濕沙貯藏 4 個月再於春季播種之發芽率；MC 組常溫下發芽時間 40~53 天，亦早於龍等種子發芽期 78~88 天。

不論果實成熟度為未開裂之青皮熟果(IR)或紅皮熟果(MR)，充實種子都已具備良好的發芽活力，只要去除假種皮，即便未經低溫濕層積處理，於當年度常溫下之種子發芽率都有 95%以上，且發芽速度、發芽整齊度於各處理組中表現最佳，即首次檢查到種子發芽約在播種後 1 個月左右，並在往後 1~2 週內發芽率達到 75%，發芽整齊度皆為 8 天，相當集中；平均發芽日數分別 31 天(IR)、35 天(MR)，較未剝除種皮之其他處理組 MC、IC-S、IC-F，約略提早 4.8~18.7 天；發霉腐敗情形也較未剝除種皮組低；青皮熟果(IR)去除種皮之發芽表現，甚至比未去除種皮之紅皮熟果(MC)更佳。

本試驗當年度種子在常溫下即可發芽之現象，與衛矛屬種子通常具有休眠特性，需經低溫濕層積處理以解除休眠的理解並不一致，有可能是我們採收的大丁黃種子，處於剛(近)發育成熟，尚未進入生理休眠階段，而大丁黃種子是否無休眠性，則待進一步試驗觀察。

未開裂之青皮熟果，如未去除紅色種皮，泡水靜置組(IC-S)和流水浸泡組(IC-F)種子發芽率分別為 79%和 $86 \pm 3\%$ ，較紅皮熟果未去除種皮之種子(MC 組)發芽率高，而種子腐敗的比例則分別下降為 14.6%和 11.3%，顯示未去除種皮種子，如泡水多日，有助於提高種子發芽率，可能是泡水有利於較多水分滲透過油質的假種皮，種子得以膨脹撐開油質種皮，吸潤更多水分而促進發芽。

未去除假種皮之 IC-S、IC-F 組經泡水處理後，發芽速度在 25%種子發芽、50%種子發芽、75%種子發芽及平均發芽日數表現上，雖較去除種皮之 MR、IR 組為慢，但較未去除種皮之 MC 組為快；流水處理 IC-F 在平均發芽率、種子腐敗情形、發芽速度上，則略較靜置處理 IC-S 為佳，IC-F 發芽整齊度 15 天則較 IC-S 之 28 天明顯縮短。由於去除種皮工作耗時費工，施力過程也會損傷種子，大量育苗時建議採用流水浸泡處理，至種子充分吸水即可。

結論

綜合上述，雖然普遍認為衛矛屬種子具有休眠性，須歷經低溫濕層積處理，以打破休眠，才能促使種子發芽。然本試驗結果認為，若能掌握大丁黃種子成熟物候，於當年度將已充實飽滿之青皮熟果提前採收，此時種子已具備良好的發芽能力，無須等待果皮裂開，假種皮紅熟，易受到鳥類啄食而採不到種子之窘境。無論青皮熟果或紅皮熟果，如除去種皮，在常溫下播種，將有 9 成以上之發芽率，但較費時費工。若大量育苗時，可以流水浸泡處理種子，至種皮略微撐裂，種子充分吸潤膨脹，此時無需剝除種皮立即進行催芽，仍有良好的發芽表現，以獲得種苗。至於大丁黃果實熟落後採收庫藏，其種子發芽休眠變化，仍需後續試驗及種子解剖觀察加以釐清。以往為了保存林木種子，需要考慮種子儲藏性(濕儲型或乾儲型)及休眠性，但未來種子在成熟尚未進入休眠期階段採收，如有不錯的發芽表現，亦可加以應用於育苗作業。

引用文獻

李承輝 (1990) 林木種子品質之鑑定。臺灣林業 16(6): 7-10。

郭華仁 (2015) 種子學。國立台灣大學出版中心，共 398 頁。

龍建華、伍銘凱、龍治學 (2006) 疏花衛矛種子育苗試驗。種子 25(8): 80-81。

Kotowski F. (1962) Temperature relations to germination of vegetable seeds. Proceedings of American Society of Horticultural Science 23: 176-177.

Soltani E, Ghaderi-Far F, Baskin CC, Baskin JM. (2015) Problems with using mean germination time to calculate rate of seed germination. Australian Journal of Botany 63: 631-635.



2021森林資源保存與利用研討會論文集

發行人 曾彥學
編輯 游漢明、吳家禎
出版單位 行政院農業委員會林業試驗所
100051 臺北市中正區南海路53號
電話: 02-2303-9978
傳真: 02-2314-2234
網址: <https://www.tfri.gov.tw>
印刷 勝利數位設計印刷中心
電話: (02)2754-0526
出版日期 中華民國一一〇年九月
工本費 新台幣350元整

圖文有著作權 未經同意請勿使用