

行政院農業委員會林務局委託研究計畫系列105-15-15

銅山地區玉山箭竹族群枯死及開花之研究(2)

The study on flowering, fruiting and withering of Yushan Canes

(*Yushania niitakayamensis*) in Tongshan area (II)

期末報告



委託機關：行政院農業委員會林務局羅東林區管理處

執行期間：105年02月24日至105年10月31日

執行機關：國立宜蘭大學森林暨自然資源學系

計畫主持人：林世宗教授

中華民國一百零五年十月

目錄

目錄	I
圖目錄	II
表目錄	IV
摘要	V
壹、已完成計畫之成果摘要	1
貳、計畫背景與研究目標	1
參、重要工作項目	3
肆、計畫施作地點	3
伍、計畫施作架構	5
陸、材料與方法	6
一、玉山箭竹林之枯萎後回復潛力評估	6
二、玉山箭竹天然更新繁殖	7
三、玉山箭竹種子活力檢定與發芽特性調查	10
四、玉山箭竹播種苗之環境適應性調查	11
五、苗圃之玉山箭竹苗光適應探討	12
六、臺灣水青岡林之玉山箭竹與臺灣水青岡幼苗發芽及生長調查	15
七、統計方法	15
柒、結果	16
一、玉山箭竹之枯萎後回復能力評估	16
二、玉山箭竹天然更新繁殖	21
三、玉山箭竹種子活力檢定與發芽特性調查	25
四、玉山箭竹播種苗之環境適應性調查	28
五、玉山箭竹苗光適應探討	35
六、臺灣水青岡林之玉山箭竹與臺灣水青岡幼苗發芽及生長之調查	39
捌、結論	42
致謝	43
玖、參考文獻	44
附錄	46

圖目錄

圖 1. 地下莖走出合軸叢生型 (呂錦明, 2010).....	2
圖 2. 銅山地區 2014 年玉山箭竹林結實枯萎情形.....	2
圖 3. 銅山地區玉山箭竹調查樣區位置圖.....	4
圖 4. 太平山地區 2015 年 1 月至 2016 年 7 月平均溫度(°C)及累積雨量(mm)..	4
圖 5. 研究架構.....	5
圖 6. 玉山箭竹調查樣區示意圖.....	6
圖 7. 玉山箭竹開花的小花(右.雌蕊,左.雄蕊).....	7
圖 8. 玉山箭竹結實的小穗.....	8
圖 9. 天然更新調查樣區示意圖(隨機樣區).....	8
圖 10. 天然更新調查樣區示意圖(固定樣區).....	9
圖 11. 玉山箭竹種子苗 A. 種子苗初期呈單稈狀, B 為種子苗基部已長出分稈呈叢生狀.....	9
圖 12. 玉山箭竹地下莖萌發之新筍.....	10
圖 13. 兩種冠層環境(大孔隙:L 及小孔隙:S)-2015 年 8 月以魚眼拍攝.....	11
圖 14. 兩種冠層環境之各播種地被環境-少、中及密箭竹.....	12
圖 15. 播種樣區示意圖.....	12
圖 16. 樣區位置示意圖(冠層:L 大孔隙、S 小孔隙; 地被:少箭竹、中箭竹、密箭竹).....	12
圖 17. 白嶺苗圃玉山箭竹苗遮光試驗區(無遮蔭、中光及低光).....	13
圖 18. 2016 年 7 月 16 日三種遮蔭處理之玉山箭竹苗.....	14
圖 19. 臺灣水青岡天然下種苗調查之樣區(右圖為林下區,左圖為小孔隙區)	15
圖 20. 各玉山箭竹樣區之冠層鬱閉度、光環境光度(PPFD)變動.....	16
圖 21. 各玉山箭竹樣區之 R/FR 值變動.....	17
圖 22. 玉山箭竹覆蓋度之變動(2015/1/6~2016/9/25).....	18
圖 23. 檜木及臺灣水青岡林下玉山箭竹綠色度(%)變動(2015/1/6~2016//9/25)	20
圖 24. 玉山箭竹芒草覆蓋度之變動(2015/1/6~2016/9/25).....	20
圖 25. 三種林分試區之玉山箭竹繁殖觀測 A. 開花率(%)、B. 結實率(%).....	21
圖 26. 2016 年 3~8 月於三種環境下發筍數(筍數/m ²).....	24
圖 27. 玉山箭竹種子未層積之發芽曲線(2014/12/4~2016/10/4).....	26
圖 28. 玉山箭竹種子層積處理 1 個月及 2 個月之發芽曲線.....	27
圖 29. 玉山箭竹播種區之冠層鬱閉度(%)變動(2015/5/16~2016/9/25).....	28
圖 30. 玉山箭竹播種區之 R/FR 變動(2015/5/16~2016/9/25).....	28
圖 31. 玉山箭竹播種區之逐期發芽率(%)變化(2015/4/11~2016/9/25).....	29
圖 32. 玉山箭竹播種區之死亡率(%)變動(2015/4/11~2016/9/25).....	30
圖 33. 玉山箭竹播種區之累積發芽率(%)變動(2015/4/11~2016/9/25).....	30

圖 34.	2015 年 11 月至 2016 年 9 月播種苗的苗高生長	31
圖 35.	玉山箭竹天然下種苗之發芽數(株/m ²)變動(2015/4/11~2016/9/25) ..	32
圖 36.	玉山箭竹下種苗之死亡數(株/m ²)變動(2015/4/11~2016/9/25)	33
圖 37.	玉山箭竹下種苗之累積發芽數(株/m ²)變動(2015/4/11~2016/9/25) ..	33
圖 38.	2015 年 7 月~2016 年 9 月天然下種苗的苗高生長.....	34
圖 39.	玉山箭竹苗的存活率(%)(35 株)	35
圖 40.	遮蔭試驗之玉山箭竹苗光合速率曲線.....	36
圖 41.	遮蔭試驗之玉山箭竹苗氣孔導度及 Ci/Ca 值.....	37
圖 42.	遮蔭試驗之玉山箭竹苗蒸散速率與水分利用效率.....	37
圖 43.	遮蔭試驗之玉山箭竹苗高生長(cm).....	38
圖 44.	遮蔭試驗之玉山箭竹最長稈生長(cm).....	38
圖 45.	遮蔭試驗之玉山箭竹苗發筍數(稈/株).....	39
圖 46.	2015 年 3 月~2016 年 9 月臺灣水青岡天然下種苗發芽數及存活率之動態	40
圖 47.	2015 年 4 月 9 日臺灣水青岡幼苗與玉山箭竹種子苗競爭	41

表目錄

表 1. 2015~2016 年臺灣颱風歷史紀錄(中央氣象局)	5
表 2. 白領苗圃玉山箭竹苗遮光試驗區量測之光度($\mu \text{ mol s}^{-1} \text{ m}^{-2}$)	13
表 3. 檜木林及臺灣水青岡林玉山箭竹覆蓋度變動與比較(2015/1/6~2016/9/25)	18
表 4. 檜木及臺灣水青岡林的玉山箭竹平均留存稈數(稈/ m^2)(2016/8/24) ...	18
表 5. 檜木及臺灣水青岡林下玉山箭竹綠色度變動比較(2015/1/6~2016/9/25)	19
表 6. 檜木林及臺灣水青岡林芒草覆蓋度變動與比較(2015/1/6~2016/9/25).	20
表 7. 檜木及臺灣水青岡林下玉山箭竹樣株高度與展葉率(2016/4/16).....	21
表 8. 2016 年春季(3~5 月)的紅檜林及水青岡林種子苗數、筍數、苗生長及筍高的 雙因子變異數分析	22
表 9. 2016 年夏季(7 月)的紅檜林及水青岡林種子苗數、筍數、苗生長及筍高的 雙因子變異數分析	22
表 10. 檜木林及臺灣水青岡林下玉山箭竹繁殖更新苗數量調查(2016 年 3~7 月)	23
表 11. 檜木林及臺灣水青岡林下玉山箭竹更新苗生長調查(2016 年 3~7 月).	23
表 12. 2016 年 3~8 月於三種環境下發筍數比較	23
表 13. 三種林相環境下玉山箭竹天然更新苗生長調查(2016 年 8 月 24 日) ..	24
表 14. 低溫層積時間與發芽溫度對玉山箭竹種子發芽之效應檢定.....	25
表 15. 低溫層積及發芽溫度對玉山箭竹種子發芽率之效應檢定.....	26
表 16. 不同層積時間與發芽溫度處理之玉山箭竹種子發芽率比較.....	26
表 17. 層積時間與發芽溫度之玉山箭竹種子 T50(日數)比較	27
表 18. 冠層與地被箭竹密度對玉山箭竹發芽率及存活率之效應檢定.....	30
表 19. 不同冠層孔隙與地被下玉山箭竹播種苗之發芽率(%)及存活率 (%)(2016/9/25)	31
表 20. 不同冠層孔隙與地被條件下玉山箭竹播種苗二年生苗高(cm)(2016/9/25)	31
表 21. 冠層與地被箭竹密度對玉山箭竹天然更新苗發芽數及存活率之比較...	34
表 22. 玉山箭竹天然更新苗之發芽數(株/ m^2)、存活率(%)及存活數.....	34
表 23. 不同冠層孔隙與地被下玉山箭竹天然下種苗二年生苗高比較(cm)....	35
表 24. 測定淨光合值的葉片基本測值.....	36
表 25. 各光環境之光合速率參數.....	36
表 26. 冠層與地被箭竹密度對臺灣水青岡天然下種苗發芽數及存活率之效應	40
表 27. 2015~2016 年臺灣水青岡天然下種苗發芽數(株/ m^2).....	40
表 28. 2016 年 9 月臺灣水青岡天然下種苗存活率(%)及存活數(株/ m^2).....	41
表 29. 2016 年 9 月 25 日臺灣水青岡天然下種苗苗高(cm)	41

摘要

銅山地區玉山箭竹林於 2014 年大量開花結實與枯萎後至 2015 年及 2016 年仍持續有開花結實現象，惟開花率與結實率甚少。由不同林相下玉山箭竹覆蓋度及綠色度變動呈現檜木人工林之玉山箭竹仍持續枯萎，無回復生機跡象。於臺灣水青岡林的玉山箭竹枯萎度較低且覆蓋度及綠色度已有回復情形。由玉山箭竹種子活力檢定及天然下種的發芽率調查，於檜木人工林及臺灣水青岡林均有種子苗發生，但夏季影響，幼苗死亡率高。檜木林的地被箭竹玉山箭竹以種子苗更新方式回復，臺灣水青岡林則有種子更新及地下莖分生繁殖更新。

苗圃之光度試驗，玉山箭竹種子苗光合速率為 $4.0\sim 5.5 \mu \text{mol CO}_2 \text{ m}^{-1}\text{s}^{-2}$ ，無遮蔭及中光相對較高，於銅山地區臺灣水青岡林的玉山箭竹幼苗存活率與生長受冠層及地被箭竹密度影響。

同時調查臺灣水青岡林之種子苗存活及生長變動顯示臺灣水青岡幼苗初期生長適應力低，綜合初步結果，銅山地區枯萎玉山箭竹林已有逐漸回復，對臺灣水青岡更新苗的影響，尚須進一步研究分析提供臺灣水青岡更新復育策略之參考。

關鍵詞：玉山箭竹、大量枯萎、種子、繁殖更新、臺灣水青岡

壹、 已完成計畫之成果摘要

經調查發現銅山地區玉山箭竹叢於2014年至2015年二年均有開花結實及大量枯萎情形，主要之分布地區為翠峰湖周遭林地至銅山地區之臺灣水青岡天然林嶺線與兩側。期間發現溪頭至阿里山地區一帶亦有開花結實與枯萎情形。

於銅山設置玉山箭竹生態調查樣區定期觀測繁殖物候周期，玉山箭竹於3~5月間開花，7~8月間穎果成熟，同時間植株漸枯萎。經觀察紀錄不同冠層環境下，玉山箭竹族群覆蓋度及綠色度之變化，開花枯萎植株迄今尚無展葉跡象。

以2014年8月採取之玉山箭竹種子檢測活力，發芽率為 $42.4 \pm 3.3\%$ ，低溫層積處理2個月顯著縮短發芽時間，判定玉山箭竹種子具生理休眠現象。2015年由林地樣區調查亦發現，枯萎之玉山箭竹叢下已有種子發芽幼苗及未枯萎植株有少數地下莖萌芽繁殖現象。經玉山箭竹種子播種試驗結果，不同冠層環境下，與地被處理間其發芽率、死亡率皆無顯著交感效應。林下之中或密箭竹叢下發芽量最多，發芽率 $8.4 \sim 7.2\%$ 。在孔隙下少箭竹地被發芽率在 $4 \sim 7\%$ 。林下的各地被環境之發芽苗存活率約在59%以上。

在試驗區林地發現有玉山箭竹更新繁殖苗及在溫室內培育半年之玉山箭竹種子苗已開始分生地下莖及新筍等生長現象，顯示銅山地區開花結實一年後玉山箭竹世代交替逐漸形成，族群開始回復的跡象。對後續的繁殖更新苗之存活與生長適應能力，及玉山箭竹叢枯萎回復和生態環境之效應，需持續調查與分析。

貳、 計畫背景與研究目標

一、計畫背景

玉山箭竹(*Yushania niitakayamensis* (Hay.) Keng f.) 屬禾本科(Poaceae)、竹亞科(Bambusoideae)、玉山箭竹屬(*Yushania*)，分布在臺灣、中國西南部、菲律賓等地之海拔1100~3600m高山地區針、闊葉樹林帶之間，在生態上有重要之地位。玉山箭竹常與高山芒(*Miscanthus transmorrisonensis*)混生，為高山草原之優勢族群(王忠魁，1974)，如在小雪山高山草原為極群社會(柳樞，1963)，也是冷杉、鐵杉(莊俊逸等，2004)及臺灣水青岡(陳子英，2011)等高山地區之優勢地被植物。

玉山箭竹生長及形態變異大，於高海拔地區陵線及空曠地之植株矮小；然在森林下層的體型較大，植株可達20~50cm或數公尺(廖敏君等，2004)。地下莖(rhizomes)橫向密織交錯生長於地下20~50cm間，為走出莖合軸叢生(metamorph II)型之地下莖，繁殖擴展力強，以地下莖無性繁殖(圖1)。有學者推估玉山箭竹族群由少數營養系組成(呂金城與歐辰雄，2003)，另由多分子標誌分析，臺灣玉山箭竹不同地區之族群遺傳同質性相當高，個體間遺傳變異度大，可能是因素為有性繁殖來增加個體間的遺傳變異度(Hsiao and Lee, 1999; 賴裕芳，2000; 陳致仁，2002)。

玉山箭竹如同其他竹類，在生活史中，開花結實後即進行世代交替，如雪山地區玉山箭竹叢因火燒干擾造成開花結實及枯萎現象，經進行箭竹開花、結實與枯萎玉山箭竹於開花後結實即枯萎，第二年未枯萎的稈可能再度開花，其枯萎率高於第一年，且結實

率低(呂金城、歐辰雄, 2003)。玉山箭竹繁植物候、種子發芽及幼苗生長等有性繁殖過程及細節仍須探討(呂金城、歐辰雄, 2004)。在包籜矢竹 (*Pseudosasa usawai*) 也有相似情形, 1999 年陽明山國家公園山區發生開花結實情形, 隨後即斑塊狀枯死, 2000 年陸續開花, 枯死量增加, 也發現種子苗, 小苗復健情形良好穩定, 並認為包籜矢竹有性繁殖行為增加遺傳變異之機會(韓中梅與黃生, 2002)。

玉山箭竹大量開花、結實及枯萎的原因, 尚須加以驗證。玉山箭竹天然更新機制及拓殖過程的相關研究目前仍知之甚少。大部分竹類一生僅開一次花, 結實後死亡, 即進行世代交替, 但有些則不會枯死, 但何時開花結實及其週期性尚無法預期(McClure, 1966; Janzen, 1976)。

2014年7月觀察到銅山地區玉山箭竹有大量開花、結實及枯萎現象(圖2), 104年度研究目的為探討銅山地區玉山箭竹開花結實後另回復及繁殖更新方式, 本年度延續104年度試驗, 瞭解種子休眠及發芽特性, 增加對苗木光合適應、生長及形態表現部分, 以及觀察不同冠層環境與地被環境箭竹發芽苗存活與生長之效應, 與其他世代交替對臺灣水青岡天然更新之影響。



圖 1. 地下莖走出合軸叢生型 (呂錦明, 2010)



圖 2. 銅山地區 2014 年玉山箭竹林結實枯萎情形

二、本年度目標

本年度以樣區定期調查及監測銅山一帶玉山箭竹族群枯萎與開花結實之物候變化, 及枯萎箭竹之天然更新策略及回復潛力。探索2014年開花結實之玉山箭竹種子品質及發

芽特性，為觀察發芽之種苗的生理、生長及形態性狀，探討玉山箭竹繁殖之更新機制，以及與臺灣水青岡天然更新之影響。

參、 重要工作項目

1. 在銅山地區所設立玉山箭竹族群枯死及開花之樣區，延續第一年調查分析森冠層下光環境(檜木及水青岡)與地被植物組成(箭竹及芒草)與結構變動之關係。
2. 調查森林樣區內玉山箭竹之物候變化及評估復建潛力。
3. 調查玉山箭竹天然更新繁殖適應性及生長。
4. 評估分析玉山箭竹種子發芽特性。
5. 評估玉山箭竹幼苗之光環境適應性。
6. 分析玉山箭竹與臺灣水青岡天然更新之關係。

肆、 計畫施作地點

本研究試區位於宜蘭縣大同鄉及南澳鄉銅山地區檜木人工林及臺灣水青岡天然林，海拔在 1,200 ~ 1,900 m 之間，樣區選取於(1)宜蘭大同鄉太平山臺灣山毛櫸步道 1.9~2.4 km 旁的紅檜、臺灣杉人工林。樣區內上層植群以紅檜及臺灣杉為優勢種，地被植物層以玉山箭竹(*Yushan Cane (Yushania niitakayamensis)*)為優勢。(2)宜蘭南澳鄉銅山地區(北緯 24°30"，東經 121°37")的臺灣水青岡林長期動態樣區之間(圖3)，此族群主要分布於北坡向(陳品邑，2011)，樣區內上層植群以臺灣水青岡為優勢種，灌木層優勢植物以阿里山灰木(*Symplocos arisanensis*)、短柱山茶(*Camellia brevistyla*)及假鈴木(*Eurya crenatifolia*)等為主，地被植物主要為玉山箭竹。從林分上層結構來看，臺灣水青岡之徑級分布呈現波浪型曲線，各徑級數量主要集中於 1~10 cm 及 40~65 cm (陳品邑，2011)。銅山地區土壤質地屬黏質壤土，0~20 cm 土層 pH 值為 3.47±0.11(李明仁，2011)。

距離試驗地最近的氣象站為太平山自動測站，直線距離約 14 公里，據大氣研究資料庫(Data Bank for Atmospheric Research; DBAR)太平山自動測站 2015 年 1 月至 2016 年 7 月氣象資料，年平均溫度為 11.9°C，7 月平均溫度最高在 17.7°C 左右，1 月平均溫度最低在 5.3°C 左右。平均年降雨量為 4675.5 mm，其中 2016 年 7 月單月累積雨量高達 1800mm 以上(圖 4)。臺灣夏季的雨量主要來源為颱風，於試驗期間 2015 年登陸臺灣的有 6 個颱風，尤其是 8、9 月的杜鵑及天鵝強颱風重創臺灣。2016 年到目前(10 月)為止已有 5 個颱風，其中莫蘭蒂及尼伯特強烈颱風帶來強風大雨，對山林破壞明顯可見(表 1)。

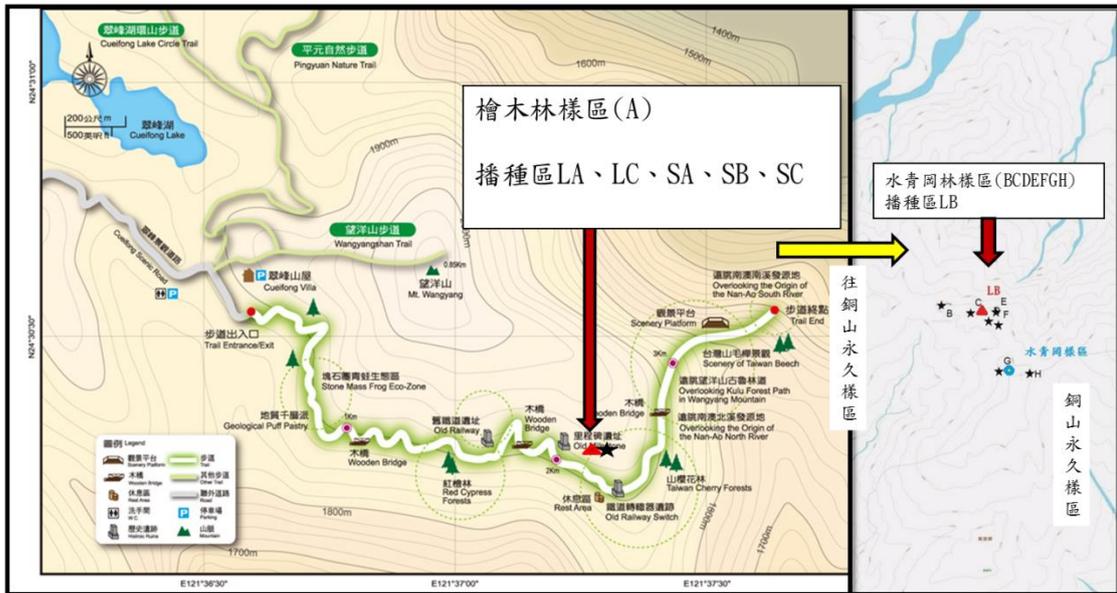


圖 3. 銅山地區玉山箭竹調查樣區位置圖

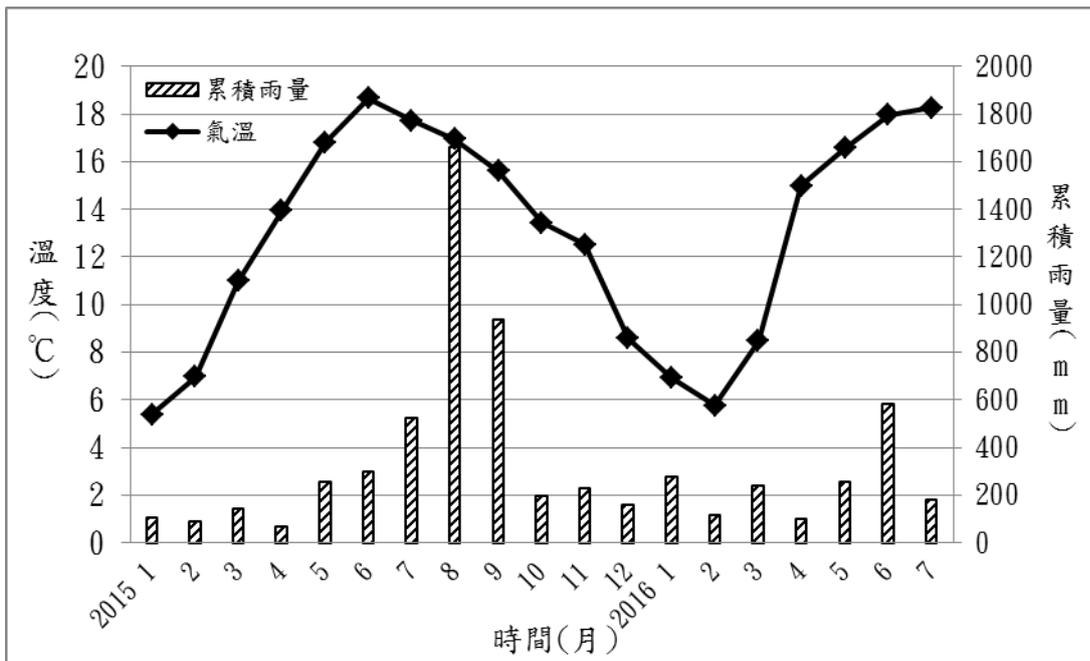


圖 4. 太平山地區 2015 年 1 月至 2016 年 7 月平均溫度(°C)及累積雨量(mm)

表 1. 2015~2016 年臺灣颱風歷史紀錄(中央氣象局)

時間	颱風名稱	強度
2016/10/16	艾利	輕度
2016/09/25	梅姬	中度
2016/09/15	馬勒卡	中度
2016/09/12	莫蘭蒂	強烈
2016/07/06	尼伯特	強烈
2015/09/27	杜鵑	強烈
2015/08/20	天鵝	強烈
2015/08/06	蘇迪勒	中度
2015/07/06	蓮花	輕度
2015/07/09	昌鴻	中度
2015/05/10	紅霞	強烈

伍、計畫施作架構

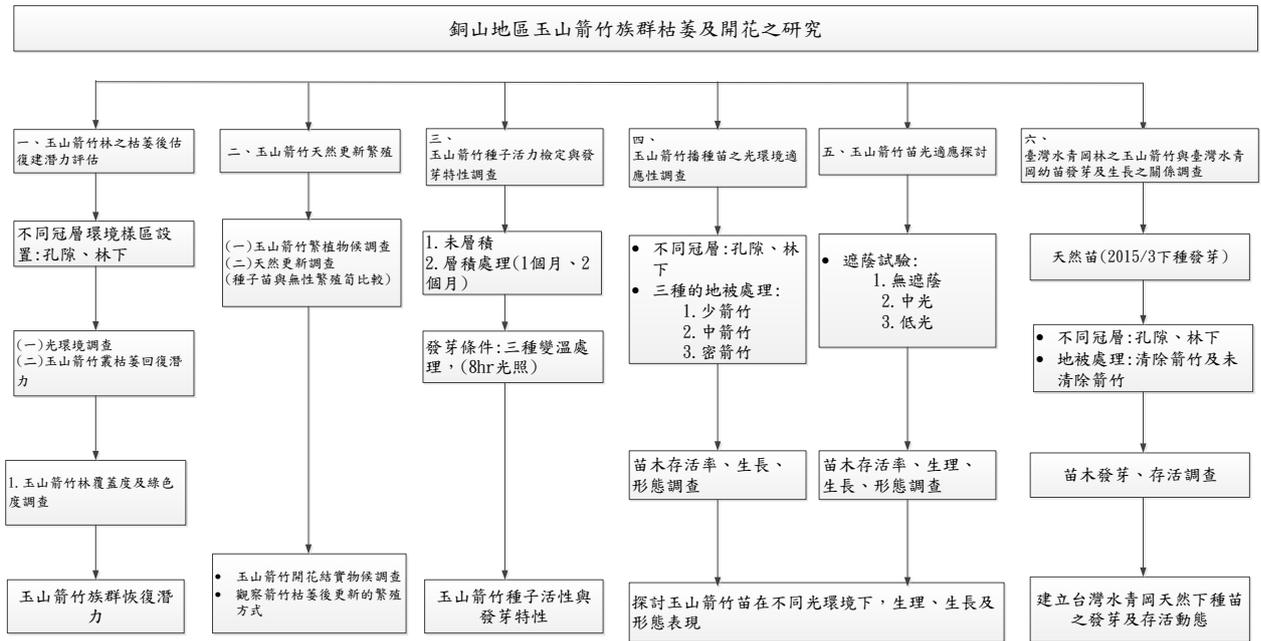


圖 5. 研究架構

陸、 材料與方法

一、玉山箭竹林之枯萎後回復潛力評估

(一)樣區設置

在不同冠層條件下設置，共設10個 $10 \times 10 \text{m}^2$ 之調查樣區，檜木林設置3個(A、A2、A3)，臺灣水青岡小稜線有5個(B、C、D、E、F)、臺灣水青岡純林有2個(G、H)。每 $10 \times 10 \text{m}^2$ 樣區內再劃分成3條 $2 \times 10 \text{m}^2$ 之樣帶，樣帶相互間隔著2 m當為走道(圖6)。每樣帶內再分成5個 $2 \times 2 \text{m}^2$ 的方形小區。

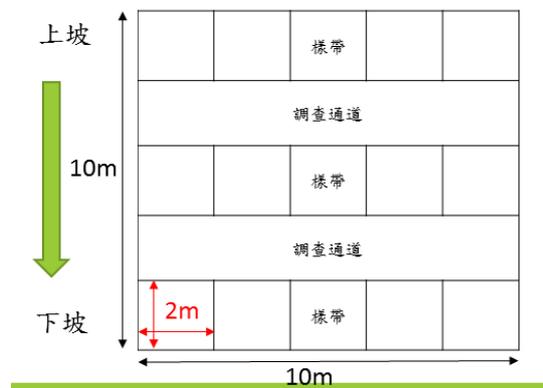


圖 6. 玉山箭竹調查樣區示意圖

(二)光環境調查

為了解樣區之冠層及光環境，於每季調查各樣區樹冠層下光環境，測量天氣在晴天或陰天，避免起霧時，測量時間約早上9點至下午2點止，測量高度於胸高處(1.3m)，光環境測量包括：

1. 冠層鬱閉度(Canopy Closure)：於樣區二走道中間各設測點，使用半球凹面鏡與 Nikon D90 接 8 mm 魚眼鏡頭拍攝冠層並以 CID Plant Canopy Analysis System 軟體分析冠層覆蓋度。
2. 光度量測：於樣區二走道中間各設測點，以 LI-COR 250 光照計測量及 LI-COR190 光度接收器，量測光度 PPF D ($\mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)。
3. 光質分析：光譜式光量子照度分析儀(LM-100B)量測各樣區之可見光譜與光質(R/FR)，每樣區($10 \times 10 \text{m}^2$)中間設置測點。

(三)玉山箭竹叢枯萎回復潛力

1. 玉山箭竹林覆蓋度及綠色度調查

每季目視評估每樣區三個樣帶內 5 小區($2 \times 2 \text{m}^2$)調查計算每小區地被箭竹覆蓋度(cover degree) (%)及綠色度調查，每 3 條樣帶為重複，推估玉山箭竹

在太平山及銅山地區枯萎面積及回復變動。地被芒草覆蓋度(cover degree) (%) 調查，以樣帶內 5 小區(2×2m²)為觀察單位。

覆蓋度及綠色度的測量方法為覆蓋地面的面積(2×2 m²)百分比，將 100% 分為 0~20 等級，5%為一級距(如：5%、6~10%，以此類推)。

二、玉山箭竹天然更新繁殖

(一) 玉山箭竹繁植物候調查

2016 年 3 月開始每月物候調查，其樣區同於”玉山箭竹之枯萎後估復建潛力評估”之樣區(10×10m²)，檜木林 3 個樣區，水青岡林的 7 樣區，每樣區有 3 樣帶(2×10m²)為重複，每樣之 5 小區(2×2m²)為觀察最小單位。

調查項目包括開花、結實現象，開花指當花芽抽出，形成穗狀花序且由綠色轉為紫紅色，小花打開，花藥外露(圖 7)，至花藥萎縮，花序變為枯黃色為止(圖 8)，開花率指開花出現的程度，即樣區(10×10m²)的開花百分率。結實指花藥已萎縮，此時花序內漸漸充漿呈現胚乳狀，穗狀花序且由紫紅色至枯褐色，直至果實成熟掉落時期，結實率(%)指樣區(10×10m²)的結實程度百分率。每樣區(10×10m²)以 3 條樣帶為重複，每條帶 100 %，其中劃分的 5 小區(2×2m²)為觀察單位，每小區各占 20%。



圖 7. 玉山箭竹開花的小花(右.雌蕊，左.雄蕊)



圖 8. 玉山箭竹結實的小穗

(二) 天然更新調查(種子苗與無性繁殖筍比較)

承續 2015 年枯萎玉山箭竹地下莖活力調查發現，即使地上部直立稈枯萎，其地下莖仍具有活力，開花枯萎之單株，仍有機會以地下莖發筍方式恢復族群，故目的為調查 2016 年箭竹恢復更新模式-有性繁殖(種子苗)或無性繁殖(發筍)，本試驗的發筍皆指未全枯萎或乾枯卻未死亡的植株地下莖所萌發新筍，因樣區內尚未見種子苗之新筍。

1. 隨機樣區(圖 9):在臺灣水青岡步道 2.3~3k 旁檜木林(2015 年 3 月、7 月調查)及銅山地區臺灣水青岡林(5 月、7 月調查)，於兩種地被環境，分玉山箭竹叢處及無箭竹叢處(裸地:1x1cm²箭竹密度 25%以下)隨機取樣，每種地被環境取樣 25 x 25 cm²，10 重複。調查種子苗或發筍數量及其生長(筍高及苗高)。種子苗及筍型態明顯不同，種子苗(第 1~2 年生)於初期為單稈生長至基部已分稈叢生(圖 11)，發筍為直立型地下莖萌芽之新鮮筍稈(圖 12) (呂錦明，2010)。



圖 9. 天然更新調查樣區示意圖(隨機樣區)

2. 無性繁殖筍調查於 2016 年 3 月之”玉山箭竹之枯萎後估復建潛力評估”的 $10 \times 10\text{m}^2$ 樣區中 5 小區 ($2 \times 2\text{m}^2$) 增加發筍釋數之觀察調查。
3. 固定樣區(圖 10):”天然更新調查”之種苗數及新筍數調查因調查面積太小且過於集中，也易受人為主觀性影響，故於 2016 年 8 月 24 日之”玉山箭竹之枯萎後估復建潛力評估”的 $10 \times 10\text{m}^2$ 樣區中，選取編號 1~5 的小區 ($2 \times 2\text{m}^2$) 觀察發筍釋數，於同 5 小區的第三象限之 $1 \times 1\text{m}^2$ 的樣區增加種子苗調查。

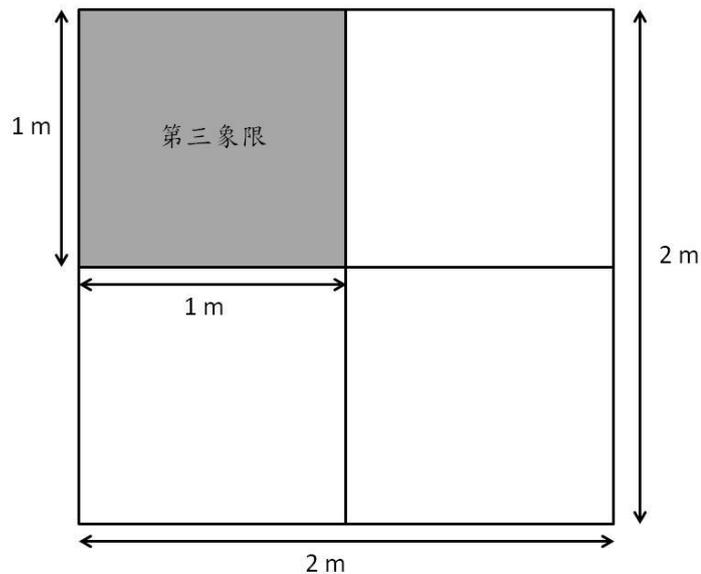


圖 10. 天然更新調查樣區示意圖(固定樣區)



圖 11. 玉山箭竹種子苗 A. 種子苗初期呈單稈狀，B 為種子苗基部已長出分稈呈叢生狀



圖 12. 玉山箭竹地下莖萌發之新筍

三、玉山箭竹種子活力檢定與發芽特性調查

2014 年 8 月 12 日在銅山地區採集之玉山箭竹穎果，放置於 5°C 低溫冰箱乾藏。至 12 月以發芽檢定法測定種子活力，發芽溫度設定為 30°C/20°C、25°C/15°C、20/10°C 溫度生長箱中進行發芽，8/16hr 光照，將種子與濕潤細水苔均勻混合(1:2)放置於 7 號夾鏈袋中進行試驗，袋內需保留 2/3 的空氣供種子發芽所需，每重複 50 粒，各 5 重複。每周檢查水分是否充足，並翻動種子及水苔更換氧氣，每週紀錄種子發芽數量 2 次，至連續 2 週已無發芽種子時，視其發芽截止，結束試驗。並於 2015 年 6 月以 5°C 低溫層積處理一個月及兩個月，分別於 7 月及 8 月置於前述之三種發芽溫度生長箱進行發芽檢測。

試驗結果所得數據，由發芽曲線及發芽率(指以發芽總數對全供試種子粒數之比)，探討發芽適宜溫度，並由其發芽率代表本批玉山箭竹種子之活力。同時與經低溫層積 1 個月及 2 個月的發芽行為比較，包括發芽時間、發芽速度及發芽率。

種子發芽能力的檢測，包括發芽率、發芽速率、發芽起始時間及發芽一致性等。發芽速率的量測有許多方法，其中平均發芽日數(MGT)廣為種子科學家使用。另一個計算方式是 T50，即有活力種子發芽率達到 50% 的日數。Soleani 等(2015)認為 MGT 不是發芽的平均時間，而是僅為表現發芽速度的指標，因 MGT 是在不同發芽率的時間，因此不適用於種子試驗比較，並經實證 T50 可取代 MGT 的利用。本研究亦以玉山箭竹種子初始發芽時間長且發芽速率極為緩慢。對最終之發芽率常因種子樣本間或處理間的變化而不易界定，如未層積的種子最終發芽調查時間是定於不再出現發芽種子之 105 年 10 月 4

日止，經層積處理之種子最終調查發芽時間較短。

四、玉山箭竹播種苗之環境適應性調查

1. 播種樣區設置

為了瞭解冠層環境及地表之玉山箭竹族群對種子苗存活及生長的影響，於太平山臺灣山毛櫸步道沿線之檜木人工林及銅山地區 臺灣水青岡林進行播種試驗，2015 年 3 月設樣並播種。依冠層鬱閉度分為大孔隙(L)及小孔隙(S)，設置兩種不同光環境的樣區，(圖 13)。上述 2 種各冠層環境下分別設置 3 種地被玉山箭竹叢密度狀況，分為少箭竹(箭竹密度 25%以下)、中箭竹(25~75%)與密箭竹(75%以上)(圖 14)，樣區位置在檜木林地區(L-少、密箭竹、S-少、中、密箭竹)，及小嶺線區(L-中箭竹)，每地被狀況 5 重複及 3 個對照組，樣區為 $1 \times 1 \text{ m}^2$ ，於樣區中心的 $30 \times 30 \text{ cm}^2$ 進行播種(圖 15)，每區播種 100 粒種子，對照組為未播種區(圖 15)。

2. 樣區光環境調查

為監測兩種不同冠層光環境，探討不同光環境對玉山箭竹苗的發芽及存活影響，並探討光環境的季節變動與幼苗的相關。本試驗於每季量測量不同冠層鬱閉度(%)及光質(R/FR)，冠層鬱閉度以半球凹面鏡與 Nikon D90 接 8 mm 魚眼鏡頭拍攝冠層，測點高度為 20 cm，水平向上拍攝，並以 CID Plant Canopy Analysis System 軟體分析冠層鬱閉度。光質(R/FR)分析使用光譜式光量子照度分析儀(LM-100B)量測各樣區之可見光譜與光質(R/FR)，共有 7 個測點。

3. 播種苗及天然下種苗的存活、生長表現

每月調查種子苗存活率(%)，每季調查生長(苗高 cm)情況，探討不同光環境對玉山箭竹苗的發芽及存活影響，並探討光環境的季節變動與幼苗的相關。



圖 13. 兩種冠層環境(大孔隙:L 及小孔隙:S)-2015 年 8 月以魚眼拍攝



圖 14. 兩種冠層環境之各播種地被環境-少、中及密箭竹

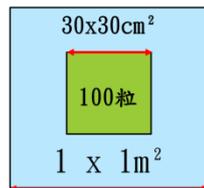


圖 15. 播種樣區示意圖

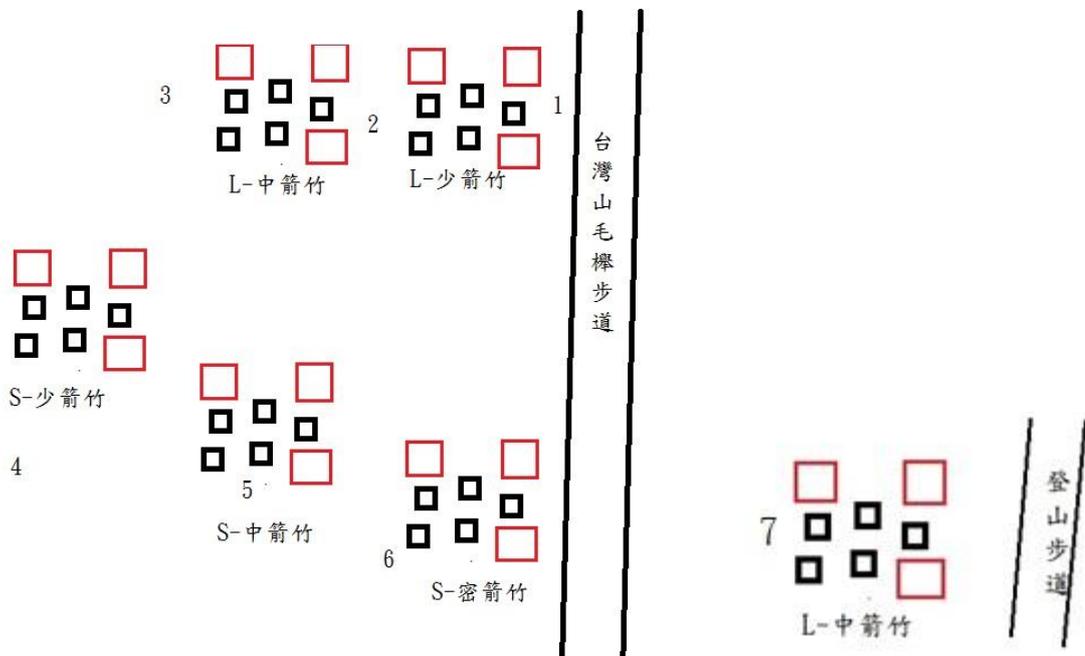


圖 16. 樣區位置示意圖

(冠層:L大孔隙、S小孔隙；地被:少箭竹、中箭竹、密箭竹)

五、苗圃之玉山箭竹苗光適應探討

於羅東林管處之太平山白領苗圃進行玉山箭竹種苗遮光試驗，以不同針織密度之黑色塑膠網搭設小型陰棚，分別為中光(相對光度為 50%)及低光(相對光度為 20%)區，另一為無遮棚之全光區等三種光度處理區，以 2015 年 2 月發芽之一年生之幼苗，栽種於長條白盆(60 x 23 x 18 cm³)，培育介質為壤土、珍珠石、培養土及稻殼為 1:1:1:1 混合而成，每盆栽種 1 株。於不同光度處理區，放置 30 株種子苗(圖 17、表 2)。各處理區之光度量測如表 2。

表 2. 白嶺苗圃玉山箭竹苗遮光試驗區量測之光度($\mu \text{ mol s}^{-1} \text{ m}^{-2}$)

日期	天氣	全光(100%)	中光(50%)	低光(20%)
2016/2/22	雨、起霧	100.7±10.4	44.3±4.5	22.9±3.0
2016/4/16	陰天	758.0±59.8	281.1±29.9	155.8±31.0

每兩個月調查苗木存活及苗株株高(cm)、最長稈長度(cm)、平均寬幅(cm)及發筍數(稈)。苗株株高(cm)指苗頂端與土面垂直之高度。最長稈條指玉山箭竹叢生稈中最長稈的長度，平均寬幅為最長寬幅及最短寬幅之平均，探討玉山箭竹苗於不同遮光環境之存活、生長形態及光合之調適表現。

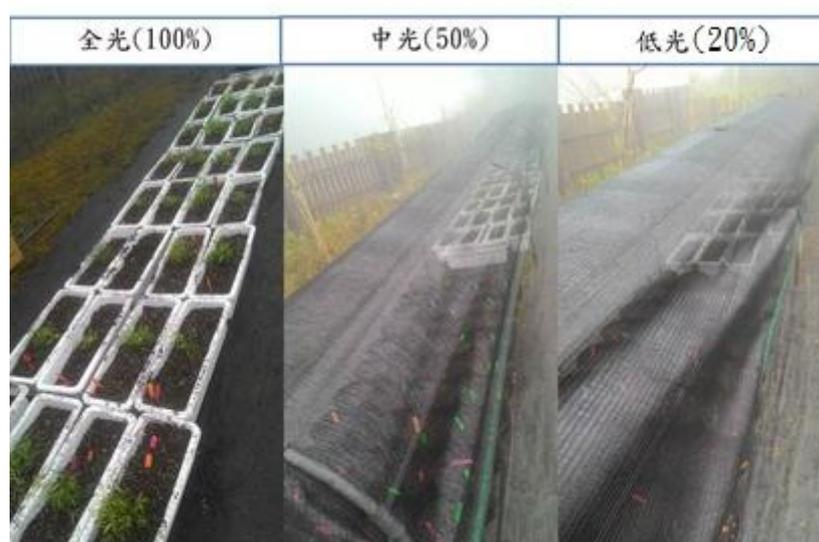


圖 17. 白嶺苗圃玉山箭竹苗遮光試驗區(無遮蔭、中光及低光)

玉山箭竹苗經光馴化一段時間後進行光合檢測：淨光合速率、氣孔內外二氧化碳濃度比(C_i/C_a)、水分利用效率(Water Use Efficiency, WUE)等。不同光處理區，各處理區挑選 5 株生長良好與均質的幼苗(圖 18)，試驗的前一天，苗床施予充足水分，以陰天或晴天，氣溫約 22~28°C 進行測定，測定時間於早上 6:00 至下午 15:00 止。

無遮蔭

中光

低光



圖 18. 2016 年 7 月 16 日三種遮蔭處理之玉山箭竹苗

1. 淨光合速率(Net Photosynthesis)

以氣體交換系統(Gas exchange system, LI-6400, LI-COR, USA)測定光合作用參數,每株苗木挑選1片完全開展且成熟者為樣葉進行測定。氣體交換系統設定,二氧化碳濃度 380 ± 5 ppm 之間,流速為 $500 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$,相對濕度 65~75%,葉室溫度設定為室溫下 26°C 。試驗開始先以光度 $500 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 誘發其光合機制,光度 0、10、20、30、50、100、300、500、800、1200、1500 及 2000 $\mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 共 12 個不同光度級連續測定其光合速率,配置其光合曲線。

2. 氣孔傳導度(Stomatal Conductance to Water Vapor, COND)

計算葉片對飽和蒸汽壓的總傳導度(包含葉片氣孔及界面層的傳導度)。
氣孔傳導度由總傳導度減去界面層傳導度(受葉片的氣孔比率影響)而得。

$$\text{COND} = 1 / (1 / g_{\text{tw}} - k / g_{\text{bw}})$$

COND = 氣孔傳導度(stomatal Conductance to Water Vapor, $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$)。

g_{tw} = 總傳導度(total Conductance to Water Vapor, $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

g_{bw} = 界面層傳導度(bound layer Conductance to Water Vapor, $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$)。

$$K_f = (k+1) / (k+1)^2$$

K = 氣孔比率(stomatal ratio, dimensionless; estimate of the ratio of stomatal conductance of one side of the leaf to the other)

3. 碳羧化效率(Ci/Ca)

由植物葉片外二氧化碳濃度(Ca)與氣孔內細胞間隙二氧化碳濃度(Ci)之比值變化,反應植物光合作用的碳羧化效率(carboxylation efficiency)。

4. 蒸散速率(Transpiration, TRANS)

量測進出葉室的水分產生的差異,計算單位葉面積的蒸散速率。

$$\text{TRANS} = (F(W_s - W_r)) / (100S(1000 - W_s))$$

TRANS = 蒸散速率 (transpiration, $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$)。

Wr = 進入測定葉室前的水蒸氣壓(reference IRGA mole fraction of water vapor, $\text{mmol H}_2\text{O mol air}^{-1}$)。

Ws = 流經測定葉室後的水蒸氣壓(sample IRGA mole fraction of water vapor, $\text{mmol H}_2\text{O mol air}^{-1}$)。

S = 葉面積(leaf area, cm^2)。

F = 流量($\mu\text{mol s}^{-1}$)。

5. 水分利用效率(Water Use Efficiency, WUE)

水分利用效率為光合作用率除以蒸散作用率之比值(P_n/TRANS)，代表著在一單位蒸散作用率下，所換來的光合作用率，也就是在葉片進行氣孔運動時，單位水分的散失量之 CO_2 交換量。

六、臺灣水青岡林之玉山箭竹與臺灣水青岡幼苗發芽及生長調查

以臺灣水青岡林三種冠層環境，包括大孔隙(L)、小孔隙(S)及林下(B)，各設立一個 $5 \times 5 \text{ m}^2$ 的樣區，並清除地被之玉山箭竹(巫智斌, 2013)，本試驗將樣區($5 \times 5 \text{ m}^2$) 劃分為 4 個小區($2.5 \times 2.5 \text{ m}^2$) 為重複；另外在三種冠層環境下各設置一個 $2 \times 2 \text{ m}^2$ 未清除箭竹區，樣區劃分為 4 個($1 \times 1 \text{ m}^2$) 小區，調查地被植物與臺灣水青岡發芽苗及存活數量，探討冠層環境及清除玉山箭竹是否對臺灣水青岡的更新造成影響(圖 19)。

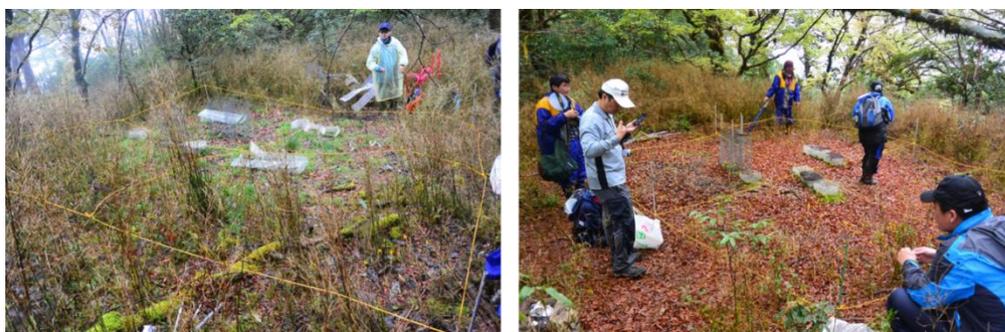


圖 19. 臺灣水青岡天然下種苗調查之樣區(右圖為林下區，左圖為小孔隙區)

七、統計方法

玉山箭竹覆蓋度及綠色度、箭竹種子發芽檢定，數據皆進行雙因子變異數分析(ANOVA)，處理間若具顯著差異($p < 0.05$)，進一步以 scheffe' 進行事後分析，做處理間之差異比較。播種試驗發芽、存活及苗高，臺灣水青岡之發芽及存活，以雙因子變異數分析，觀其交感作用，進一步以 scheffe' 進行事後分析，分析均利用 SPSS 統計軟體計算。

柒、 結果

一、 玉山箭竹之枯萎後回復能力評估

1. 樣區冠層微環境

各種林相之冠層鬱閉度及其光度與光質(R/FR於2014年12月開始調查至2016年9月(圖20、21)。

鬱閉度部分，2015年檜木人工林約50~65%左右，臺灣水青岡林小嶺線區夏季(展葉期)約70~80%，冬季(落葉期)約45%，臺灣水青岡林林下區夏季(展葉期)約60~75%，冬季(落葉期)約45%；但在2015年7、8月受強颱風蘇迪勒及天鵝颱風影響，2016年夏季的冠層鬱閉度皆明顯下降，2016年7月尼伯特及9月莫蘭蒂兩個強颱風，主要影響2016年9月臺灣水青岡林林下區的冠層鬱閉度(圖20)。

於三種環境下於陰天測量，2015~2016年夏季平均光度約在 $50 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，因冬季落葉期影響，約在 $100 \sim 200 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，2016年夏季颱風破壞冠層影響，當年9月的臺灣水青岡林樣區光度增加至 $250 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (圖20)。

R/FR值，檜木人工林約隨季節變化，但因2015年8月受強颱風蘇迪勒及天鵝颱風影響，冠層破壞與倒木形成冠層孔隙，故2015年的R/FR值皆略有增加，小嶺線及臺灣水青岡林趨勢相似，展葉期約0.8~0.9，落葉期約1.2~1.3，以臺灣水青岡林略高(圖21)。

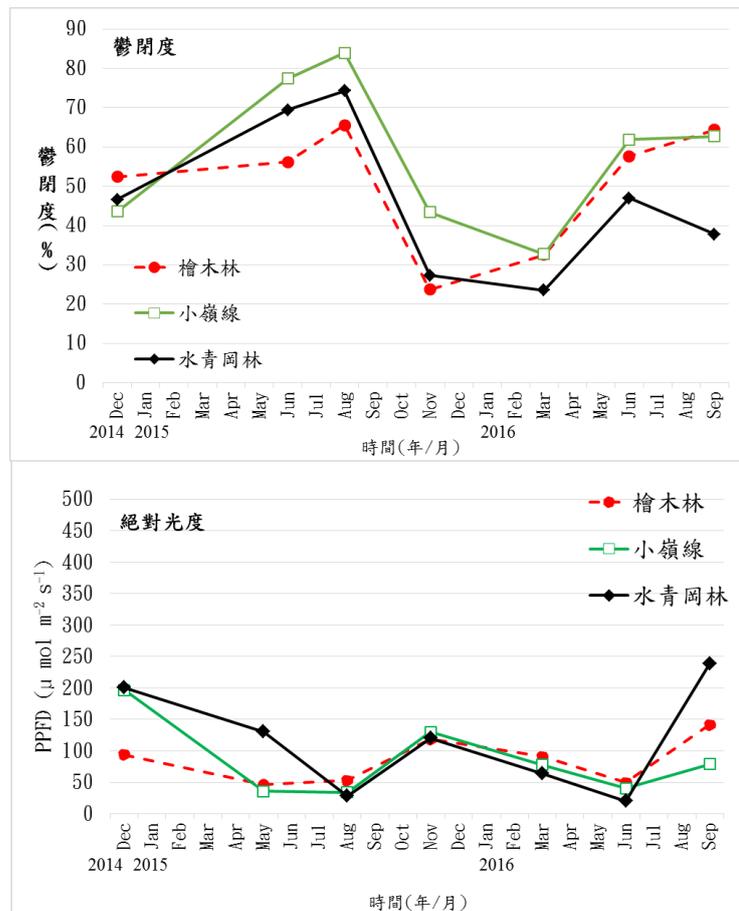


圖 20. 各玉山箭竹樣區之冠層鬱閉度、光環境光度(PPFD)變動

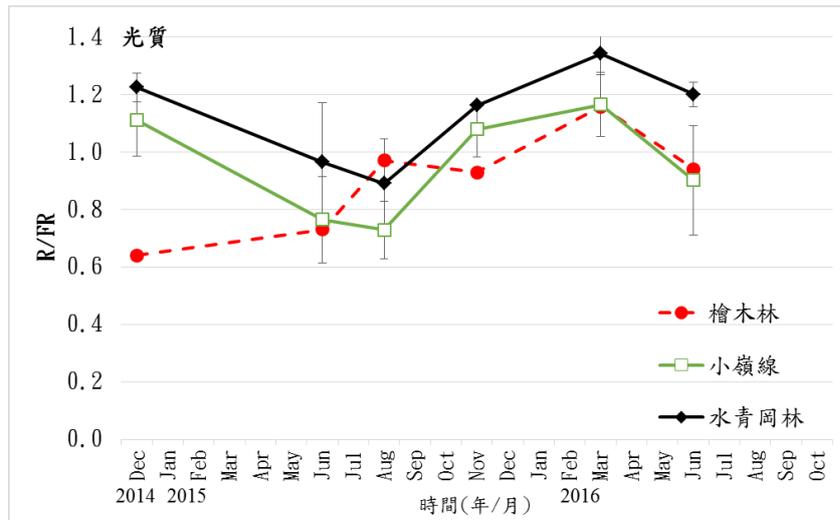


圖 21. 各玉山箭竹樣區之 R/FR 值變動

2. 玉山箭竹覆蓋度及綠色度調查

於 2015 年 1 月至 2016 年 9 月以目視法調查玉山箭竹覆蓋度，來表現各林相下之玉山箭竹林活性變化。檜木人工林樣區於 2015 年 1 月覆蓋度約 60 % 以上，隨時間持續下降，5 月已下降至 30 %。2016 年 3 月新設的檜木人工林樣區枯萎之玉山箭竹也無恢復之跡象，且經 2016 年 1 月大雪及夏季颱風過後也折斷枯萎之箭竹稈，覆蓋度持續下降，9 月僅為 19.9 % (圖 22)，至 2016/8/24 調查留存之玉山箭竹平均稈數約 7.0 ± 2.4 稈/ m^2 (表 4)。

位臺灣水青岡林小嶺線區之玉山箭竹覆蓋度均維持在 30% 左右，沒有太大變動，整體顯示目前玉山箭竹仍維持原枯萎狀態，至 2016 年 7 月覆蓋度雖有明顯增加，9 月亦受颱風影響下降至 23.9 % (圖 22)，2016/8/24 調查玉山箭竹留存平均稈數約 12.1 ± 3.3 稈/ m^2 (表 4)。

臺灣水青岡林林下樣區玉山箭竹覆蓋度於 2015 年 5 月前維持在 60 %，8 月開始逐漸下降，至 2016 年 5 月趨於平緩，7 月有覆蓋度增加可見箭竹有恢復之現象，9 月因颱風影響下降至 35.3 % (圖 22)，2016/8/24 調查玉山箭竹留存平均稈數約 15.7 ± 6.1 稈/ m^2 (表 4)。

2016 年 3 月增設 2 個紅檜林樣區，故 2016 年 3 月前僅比較臺灣水青岡林小嶺線區及林下區玉山箭竹覆蓋度的差別，結果顯示林下區的玉山箭竹覆蓋度顯著較多於小嶺線 ($P \leq 0.05$) (表 3)，平均覆蓋度為臺灣水青岡林林下區為 50~65 %，小嶺線區為 30~35 %，而檜木林區為 50~60 %。在 2016 年 3 月後，增設 2 個紅檜林樣區後，分析結果顯示不同林相環境下的玉山箭竹覆蓋度並無顯著差別，但 3 月時的檜木林及臺灣水青岡林之玉山箭竹覆蓋度皆明顯下降，可能因 2016 年 1 月 24 日大雪(近 10 年最強寒流)壓斷枯萎

竹桿，以檜木林區尤為明顯，顯示檜木林區之玉山箭竹一直呈現枯萎狀態，而臺灣水青岡林區玉山箭竹覆蓋度於2016年5月至7月間有增加之現象，說明玉山箭竹林活性有恢復情況。

表 3. 檜木林及臺灣水青岡林玉山箭竹覆蓋度變動與比較(2015/1/6~2016/9/25)

測值	時間	df	F	P
覆蓋度 (小嶺線及水青 岡林比較)	2015/1/6	1	11.667	0.019
	2015/5/2	1	11.950	0.018
	2015/8/3	1	12.389	0.017
	2015/11/28	1	12.555	0.017
	2016/3/6	1	9.211	0.029
覆蓋度 (紅檜林、小嶺 線及水青岡林 比較)	2016/5/14	2	0.970	0.425
	2016/7/13	2	0.959	0.429
	2016/9/25	2	1.401	0.308

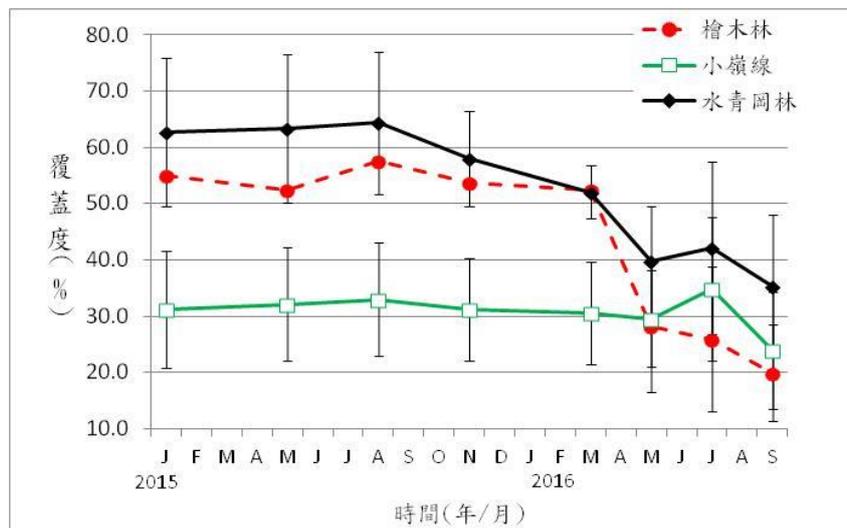


圖 22. 玉山箭竹覆蓋度之變動(2015/1/6~2016/9/25)

表 4. 檜木及臺灣水青岡林的玉山箭竹平均留存稈數(稈/m²)(2016/8/24)

測值	樣區	檜木林	小嶺線	水青岡林
稈數(稈/m ²)		7.0±2.4	12.1±3.3	15.7±6.1

進一步由 2015 年 1 月至 2016 年 9 月調查檜木人工林及水青岡林樣區內的玉山箭竹林綠度變動，判釋玉山箭竹林枯萎程度及其生機回復的能力。止，結果顯示檜木人工林樣區於 2015 年 1 月其玉山箭竹林之綠度僅 12 %，隨時間快速下降，至 2015 年 8 月已全部呈枯萎狀態，至 2016 年也無回復跡象。臺灣水青岡林小嶺線樣區 2015 年 1 月綠色度約 6.3 %，至春季綠色度上升增至 10%，至 7 月開始緩慢下降至 2016 年 5 月綠色度復回復，但至 9 月(4.3 %)卻又下降，主要是受颱風折斷枯萎稈而受到的影響。臺灣水青岡林的林下樣區於 2015 年 1 月冬季至五月綠色度維持約 25 %，7 月夏季大量枯萎，綠色度下降至 12 %左右，隨時間持續下降至 2016 年 5 月為最低。年 7 月綠色度上升回復至 11.3 %，可見臺灣水青岡林地被之玉山箭竹族群活力有有回復的跡象(圖 23)。

2016 年 3 月增設 2 個紅檜林樣區，故 2016 年 3 月前僅比較臺灣水青岡林小嶺線區及林下區玉山箭竹綠色度的差別，結果顯示，僅 2015 年 1 月及 5 月的水青岡林內的玉山箭竹綠色度顯著較多於小嶺線 ($P \leq 0.05$)(表 5)。

表 5. 檜木及臺灣水青岡林下玉山箭竹綠色度變動比較(2015/1/6~2016/9/25)

測值	時間	df	F	P
綠色度 (小嶺線及水青 岡林比較)	2015/1/6	1	45.950	0.001
	2015/5/2	1	16.345	0.010
	2015/8/3	1	0.201	0.673
	2015/11/28	1	0.248	0.640
	2016/3/6	1	1.617	0.259
綠色度 (紅檜林、小嶺 線及水青岡林 比較)	2016/5/14	2	4.441	0.057
	2016/7/13	2	1.444	0.298
	2016/9/25	2	2.079	0.196

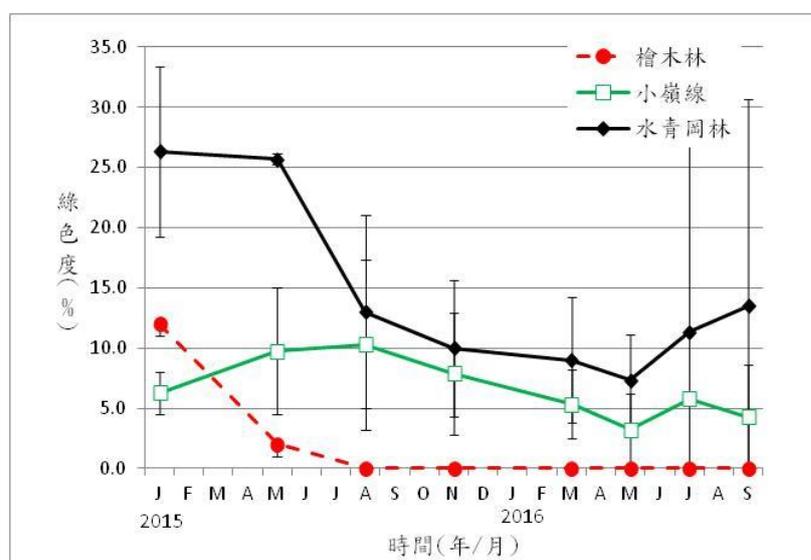


圖 23. 檜木及臺灣水青岡林下玉山箭竹綠色度(%)變動(2015/1/6~2016//9/25)

玉山箭竹覆蓋度及綠色度調查期間亦發現，枯萎死亡之玉山箭竹漸被其他地被植物所取代，最主要的物種為芒草，故觀察芒草覆蓋度之變動，評估玉山箭竹林枯萎及芒草拓殖之相互關係。於 2016 年 5 月至 9 月調查比較三種林相環境下的地被植物覆蓋度，5 月間芒草覆蓋度有顯著差異($p \leq 0.05$)(表 6)，以檜木人工林最多，佔 $8.9 \pm 5.2\%$ ，臺灣水青岡林較低，小嶺線區為 $1.0 \pm 2.1\%$ ，下區為 $1.7 \pm 2.4\%$ ，隨時間增加，芒草覆蓋度皆有增加之趨勢，仍以檜木林之芒草覆蓋度較高，約 15%，臺灣水青岡林之小嶺線區較低，不到 5%，但三林相間並無顯著差別，主要是重複之樣區間變化大所致(圖 24)。

2015 年玉山箭竹叢以檜木林及臺灣水青岡林林下區的箭竹叢較密集，其綠色度則以臺灣水青岡林林下樣區較多，檜木人工林的玉山箭竹叢皆為枯萎狀態，三種環境下的箭竹叢，其覆蓋度及綠色度皆持續下降趨勢。至 2016 年 4 月檜木林為發現玉山箭竹新展葉，於臺灣水青岡林之玉山箭竹發現新展葉，以林分區之展葉率較高(表 7)，2016 年 7 月，臺灣水青岡林小嶺線及林下區的玉山箭竹密度及綠色度皆有增加的趨勢，但芒草的覆蓋度也有明顯增加的情況，可見檜木人工林的玉山箭竹叢植株並無恢復跡象，小嶺線及水青岡林皆有回復現象，但芒草也漸漸地取代玉山箭竹的現象。

表 6. 檜木林及臺灣水青岡林芒草覆蓋度變動與比較
(2015/1/6~2016/9/25)

測值	時間	df	F	P
芒草覆蓋度	2016/5/14	2	6.022	0.030
(紅檜林、小嶺線及水青岡林比較)	2016/7/13	2	3.054	0.111
	2016/9/25	2	1.561	0.275

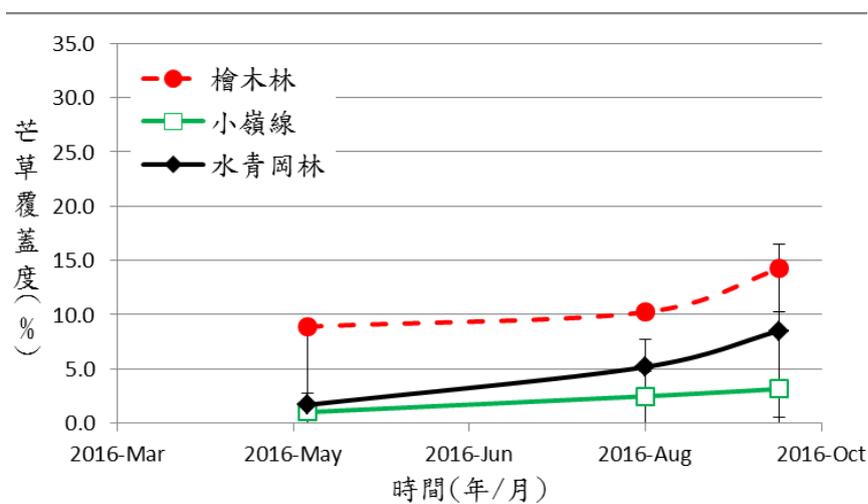


圖 24. 玉山箭竹芒草覆蓋度之變動(2015/1/6~2016/9/25)

表 7. 檜木及臺灣水青岡林下玉山箭竹樣株高度與展葉率(2016/4/16)

冠層環境	株高(cm)	展葉率(%)
檜木林	100.7	0.0
小嶺線	71.4±7.3	0.4±1.1
臺灣水青岡林	74.0±7.5	13.5±1.1

二、玉山箭竹天然更新繁殖

(一) 玉山箭竹繁殖物候調查

2014 年銅山地區玉山箭竹開花結實枯萎後，並產生有效種實，但未有發筍現象。2015 年 4 月復發現有開花情形，但零星開花，2016 年延續觀察，從 2016 年 3 月至 9 月的繁殖物候觀察。2016 年檜木林未發現開花，小嶺線及水青岡林於 5、6 月皆有開花現象，開花率約 4.7~9.3%。於 2016 年 6 月小嶺線開始結實(結實率為 1.3%)，水青岡林 8 月開始結實(結實率 1.7%)，結實小穗逐漸轉色成熟，9 月結實率皆稍微增加，結實率分別為小嶺線 4.6%，水青岡林 2.0%(圖 25)。

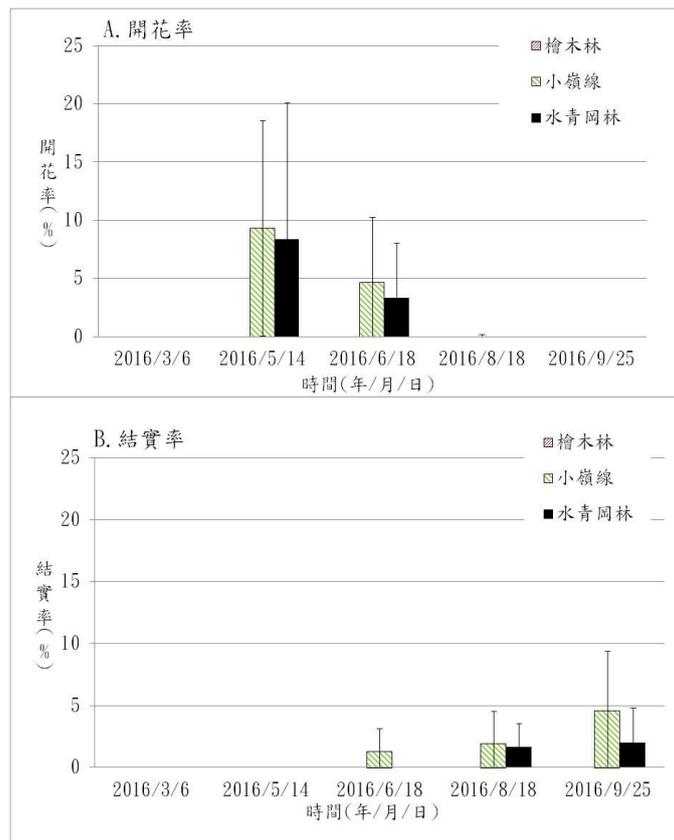


圖 25. 三種林分試區之玉山箭竹繁殖觀測 A. 開花率(%)、B. 結實率(%)

(二) 玉山箭竹天然更新(種子苗及筍)調查

1. 隨機樣區

銅山地區玉山箭竹(2014 年)開花結實下種後，於 2015 年及 2016 年陸續發芽，

為了解 2016 年玉山箭竹天然更新的種子苗及新發筍量，分別在 2016 年春夏兩季進行調查，選擇在檜木人工林及臺灣水青岡林環境，兩種不同地被(箭竹叢下或非箭竹叢下)(25x25cm²) 隨機取樣。

以雙因子統計分析後結果顯示，春季的筍數於不同環境沒有顯著差異，在檜木林未發現有玉山箭竹地下莖所萌發的新筍(表 8)。於臺灣水青岡林兩種地被環境皆發現有玉山箭竹地下莖萌發新筍，平均有 1~4 桿/m²，萌發新竹高度約 10-15cm。春季的種子苗於不同林相有顯著差異($p \leq 0.05$) (表 8)，且具交感效應，於檜木林的非箭竹叢下發現較多玉山箭竹種子苗，平均為 41.6±8.3 株/m²(表 10)，兩個地被環境的種子苗高度約 9.6~17.2 cm，相對較高。臺灣水青岡林玉山箭竹種子苗約 23~25 株/m²，種子苗苗高約 10cm(表 11)。

夏季的筍數於不同環境沒有顯著差異，在檜木林及臺灣水青岡林皆未發現新筍(表 9)。種子苗部分，於不同林相及地被皆有顯著差異($p \leq 0.05$) (表 9)，無具交感效應，檜木林的種子苗相對較臺灣水青岡林下還多，檜木林平均約為 9.6~17.2 株/m² (表 9)，種子苗苗高約 8.4~12.0 cm。臺灣水青岡林約 6.8~9.2 株/m²，種子苗苗高 11.5~14.8 cm(表 11)。

此二林相之不同繁殖方式，紅檜林主要以種子苗繁殖為主，臺灣水青岡繁殖方式包括種子苗及發筍方式。然春季為主要發新筍的時期。

表 8. 2016 年春季(3~5 月)的紅檜林及水青岡林種子苗數、筍數、苗生長及筍高的雙因子變異數分析

處理	df	平均筍數	平均苗株數	平均筍高	平均苗株高
林相	1	ns	**	-	*
地被	1	ns	ns	-	ns
林相×地被	1	ns	**	-	ns

以雙因子變異數分析(two-way-anova)，無顯著差異以 ns 表示，有顯著差異分為三種表示方式，*表示 $p \leq 0.05$ **表示 $p \leq 0.01$ 及極顯著差異。

表 9. 2016 年夏季(7 月)的紅檜林及水青岡林種子苗數、筍數、苗生長及筍高的雙因子變異數分析

處理	df	平均筍數	平均苗株數	平均筍高	平均苗株高
林相	1	ns	*	-	ns
地被	1	ns	*	-	ns
林相×地被	1	ns	ns	-	**

以雙因子變異數分析(two-way-ANOVA)，無顯著差異以 ns 表示，有顯著差異分為三種表示方式，*表示 $p \leq 0.05$ **表示 $p \leq 0.01$ 及極顯著差異。

表 10. 檜木林及臺灣水青岡林下玉山箭竹繁殖更新苗數量調查(2016 年 3~7 月)

林相	地被環境	春季(5月)		夏季(7月)	
		平均筍數 (稈/m ²)	平均苗株數 (株/m ²)	平均筍數 (稈/m ²)	平均苗株數 (株/m ²)
檜木林	箭竹叢下方	0.0	21.6±6.1	0.0	9.6±10.0
	非箭竹叢下	0.0	41.6±8.3	0.0	17.2±7.8
臺灣	箭竹叢下方	2.4±2.2	25.6±6.1	0.0	6.8±3.8
水青岡	非箭竹叢下	1.6±2.1	23.6±7.2	0.0	9.2±5.7

表 11. 檜木林及臺灣水青岡林下玉山箭竹更新苗生長調查(2016 年 3~7 月)

冠層	地被環境	春季(5月)		夏季(7月)	
		筍高(cm)	苗高(cm)	筍高(cm)	苗高(cm)
檜木林	箭竹叢下方	--	4.5±0.6	--	8.4±4.7
	非箭竹叢下	--	4.0±0.5	--	12.0±2.5
臺灣	箭竹叢下方	15.5±12.2	9.0±2.0	--	14.8±4.0
水青岡	非箭竹叢下	9.9±4.7	10.0±1.7	--	11.5±2.7

2. 分生新筍調查

三種林相環境下(檜木林、小嶺線及臺灣水青岡林下)玉山箭竹林於 2016 年 3 月初開始調查發新筍數，均未發現新筍萌發，臺灣水青岡林小嶺線及林下樣區於 5、6 月有新筍萌發，5 月的有顯著差異($p \leq 0.001$)，以臺灣水青岡林林下樣區的發筍量最多，平均發筍量約 0.06 稈/m² (圖 26、表 12)。

表 12. 2016 年 3~8 月於三種環境下發筍數比較

日期	2016/3/6	2016/5/14	2016/6/18	2016/8/18
因子				
林相	ns	***	ns	ns

以單因子變異數分析(one-way-ANOVA)，無顯著差異以 ns 表示，有顯著差異分為三種表示方式，*表示 $p \leq 0.05$ **表示 $p \leq 0.01$ ***表示 $p \leq 0.001$

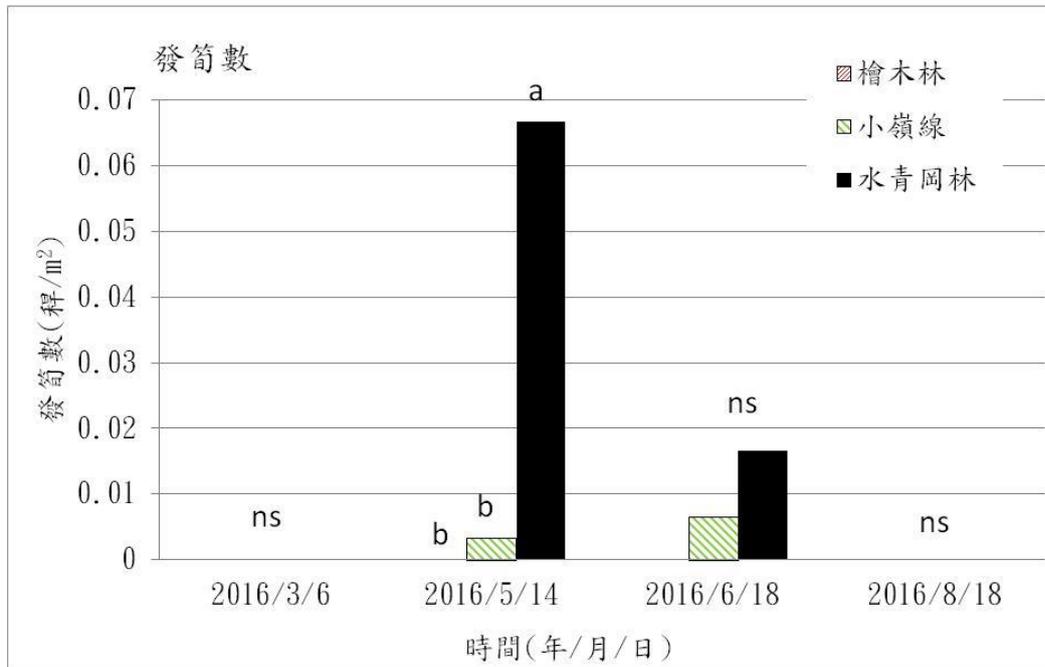


圖 26. 2016 年 3~8 月於三種環境下發筍數(筍數/m²)

3. 固定樣區

2016 年 8 月 24 日在檜木林、小嶺線及臺灣水青岡林下三種環境下，”玉山箭竹之枯萎後估復建潛力評估”的樣區中，選取編號 1~5 的小區(2×2m²)觀察發筍稈數，於同 5 小區的第三象限之 1×1m²的樣區進行種子苗調查，以單因子變異數分析結果顯示，三種環境的平均新筍數、平均苗數、筍高及苗高皆無顯著差異，平均新筍數於 8 月僅有小嶺線樣區僅有 1 稈，高度約 32cm，其平均稈數約 0.04±0.09 稈/m²，其他環境並無新筍萌發。種子苗的平均苗數分別為，紅檜林 20.1±11.0 株/m²，小嶺線 13.1±4.0 株/m²，水青岡林 12.6±4.8 株/m²，平均苗高均在 10.5~16.3 cm 之間(表 13)。

表 13. 三種林相環境下玉山箭竹天然更新苗生長調查(2016 年 8 月 24 日)

林相	平均新筍數(稈/m ²)	平均苗數(株/m ²)	平均筍高(cm)	平均苗高(cm)
檜木林	0.00	20.1±11.0	-	10.5±2.1
臺灣水青岡林				
小嶺線	0.04±0.09	13.1±4.0	-	11.3±1.3
林下區	0.00	12.6±4.8	-	16.3±8.4

總結玉山箭竹繁植物候及天然更新(種子苗及筍)調查結果，可初步判斷玉山箭竹開花期為 5-6 月，結實期 6-9 月，結實後期下種高峰期，至翌年 3 月落地之玉山箭竹種子開始發芽，8-9 月為發芽高峰期，地下莖萌發新筍期約 3-5 月。

三、玉山箭竹種子活力檢定與發芽特性調查

為檢測2014年採獲之玉山箭竹種子活力，於2014年12月4日進行發芽檢定，設定三種發芽溫度處理，經二個月後開始發芽，發芽速度極為緩慢，經持續調查至2016年10月4日，共計670天，累積發芽率以25/15°C溫度處理者較高，為67.6%，20/10°C次之，60.4%，而以30/20°C者較低，為47.2%(圖27、表16)。

為促進種子發芽，於2015年6月種子濕層積於5°C冷藏箱一個月及二個月，經低溫層積後，同樣置於三種設定之發芽溫度檢定。層積一個月者調查至2016年10月04日，共觀察453天。層積二個月者，調查至2016年2月01日，因發芽趨勢已持平，中止調查，共觀察190天(圖27)。並檢定低溫層積處理及發芽溫度對玉山箭竹種子發芽率及發芽日數之影響。

玉山箭竹種子經過低溫層積一個月，則以30/20°C溫度發芽率52.8%，顯著高於25/15°C及20/10°C者($P \leq 0.05$)。但經低溫層積兩個月之種子，其發芽率於3種溫度處理間並無差異。以二因子變異分析低溫層積處理及發芽溫度處理檢定對發芽率之效應，結果層積處理呈顯著差異，溫度處理間則無顯著差異，但發芽率受低溫層積時間及發芽溫度影響有顯著交感現象(表14)。未經層積處理之種子於較高溫之30/20°C限制了發芽率，但經層積一個月之種子發芽率反以高溫30/20°C者高於其他二個溫度處理者；經低溫層積兩個月者，溫度處理間發芽率已無顯著差異。

由單因子變異數檢定後之均數比較，結果如表15、16。玉山箭竹種子未經低溫層積處理，發芽起始時間須經二個月(圖28)，且發芽速度甚慢，顯示種子有休眠性，經過低溫層積一個月者，發芽起始時間提前至40天，低溫層積二個月者，提前至9天即開始發芽(圖28)，同時層積處理與發芽溫度處理間具顯著交感作用(表14)，本研究以T50之天數分析層積時間及發芽溫度對玉山箭竹種子發芽速率的效應，結果如表17。較長的低溫層積時間顯著縮短發芽所需日數，加速種子發芽速率，且隨發芽溫度增加，也顯著地加速種子發芽，表示兩個月之低溫層積明顯打破種子生理休眠現象，促進發芽之效應，此效應說明玉山箭竹其生長環境需要冬季之低溫效應可破除玉山箭竹種子的休眠，翌年春天來臨可發芽成苗。

表 14. 低溫層積時間與發芽溫度對玉山箭竹種子發芽之效應檢定

處理	df	發芽率	T50 發芽日數
層積處理	1	**	**
發芽溫度	1	ns	**
層積處理×發芽溫度	1	**	**

以雙因子變異數分析(two-way-anova)，無顯著差異以 ns 表示，有顯著差異分為三種表示方式，*表示 $p \leq 0.05$ **表示 $p \leq 0.01$ 及極顯著差異。

表 15. 低溫層積及發芽溫度對玉山箭竹種子發芽率之效應檢定

	固定因子	測值	df	F	P
層積處理	未層積		2	7.017	0.010
	層積 1 個月	發芽溫度	2	10.19	0.003
	層積 2 個月		2	0.487	0.626
發芽溫度	30/20	層積處理	2	1.618	0.239
	25/15		2	31.14	0.001
	20/10		2	3.448	0.066

註: 個別檢定以單因子變異數分析(one way ANOVA), n=3, 顯著水準 $\alpha=0.05$ 。未層積者發芽調查 670 天, 層積處理 1 個月者發芽調查 453 天, 2 個月者發芽調查 190 天。

表 16. 不同層積時間與發芽溫度處理之玉山箭竹種子發芽率比較

發芽溫度	層積處理		
	未層積	層積 1 個月	層積 2 個月
30/20°C	47.2±9.4 ^{bNS}	52.8±5.8 ^{aNS}	43.6±8.8 ^{ns NS}
25/15°C	67.6±7.5 ^{aA}	34.8±7.8 ^{bc}	48.4±3.6 ^{ns B}
20/10°C	60.4±9.1 ^{abNS}	49.2±6.2 ^{aNS}	42.0±15.6 ^{ns NS}

註: 以 scheffe' 事後均數檢定, 顯著水準 $\alpha=0.05$, 不同小寫英文字母為不同發芽溫度間具差異, ns 表示無顯著差異, 不同大寫英文字母為層積時間處理間具差異, NS 表示無顯著差異。

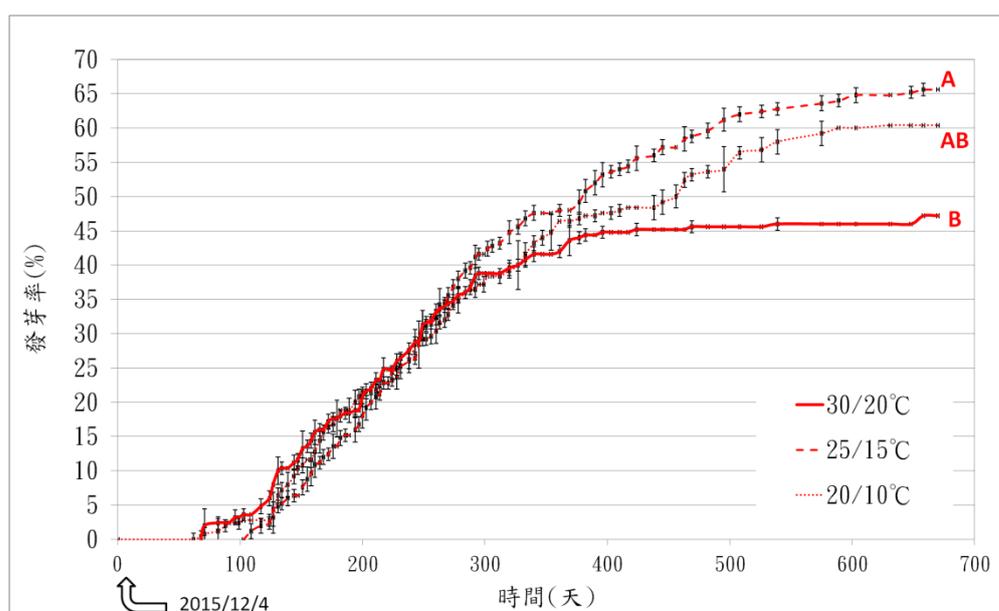


圖 27. 玉山箭竹種子未層積之發芽曲線(2014/12/4~2016/10/4)

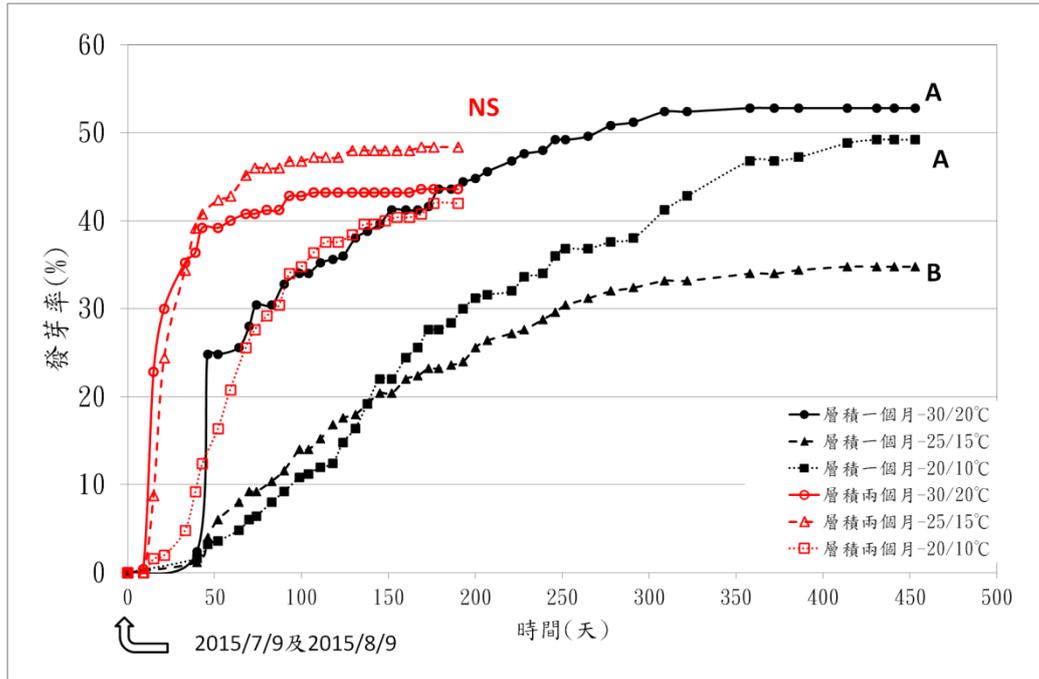


圖 28. 玉山箭竹種子層積處理 1 個月及 2 個月之發芽曲線

註:1個月:2015/7/9~2016/10/4; 2個月:2015/8/9~2016/2/1

表 17. 層積時間與發芽溫度之玉山箭竹種子 T50(日數)比較

層積時間 發芽溫度	未層積	層積 1 個月	層積 2 個月
30/20	215.4±13.5 ^{ns A}	55.8±16.7 ^{c B}	13.1±3.7 ^{b C}
25/15	228.0±16.8 ^{ns A}	107.4±29.3 ^{b B}	22.6±2.9 ^{b C}
20/10	239.0±42.8 ^{ns A}	157.4±16.1 ^{a B}	55.4±13.1 ^{a C}

註：以scheffe' 事後之均數檢定，顯著水準 $\alpha=0.05$ ，不同小寫英文字母為發芽溫度間具差異，不同大寫英文字母為層積時間處理具差異，ns表示無顯著差異。

四、玉山箭竹播種苗之環境適應性調查

1. 播種區之冠層光環境監測

為探討銅山地區臺灣水青岡林地被之玉山箭竹林於 2014 年夏秋後大量結實枯萎後，種子繁殖更新能力，於 2015 年 3 月在臺灣水青岡林設置兩種冠層孔隙環境及三種地被玉山箭竹密度之播種樣區，探討不同冠層光環境與地被玉山箭竹對玉山箭竹種子發芽及苗木存活影響。

於 2015 年 5 月測量，大孔隙之冠層鬱閉度為 65%，小孔隙為 85%，8 月時略微下降，冬季至 2016 年 3 月大孔隙之冠層鬱閉度約 10~20%，小孔隙則約為 40~50%。2016 年夏季(7~9 月)冠層鬱閉度增加，大孔隙約 30%，小孔隙約 60%(圖 29)。光質部分於 2015 年 11 月調查，大孔隙之 R/FR 值約 1.18 左右，小孔隙約為 0.93，2016 年 3 月大孔隙約 1.23，小孔隙約 1.09。夏季 7 月份為生長季，臺灣水青岡冠層葉量多，R/FR 些微下降，冬季至春季為落葉期，增加臺灣水青岡冠層下透光度，R/FR 亦相對提高(圖 30)。

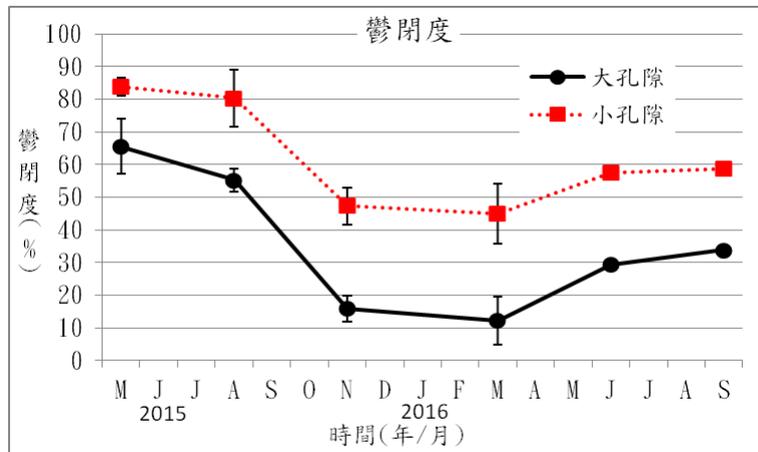


圖 29. 玉山箭竹播種區之冠層鬱閉度(%)變動(2015/5/16~2016/9/25)

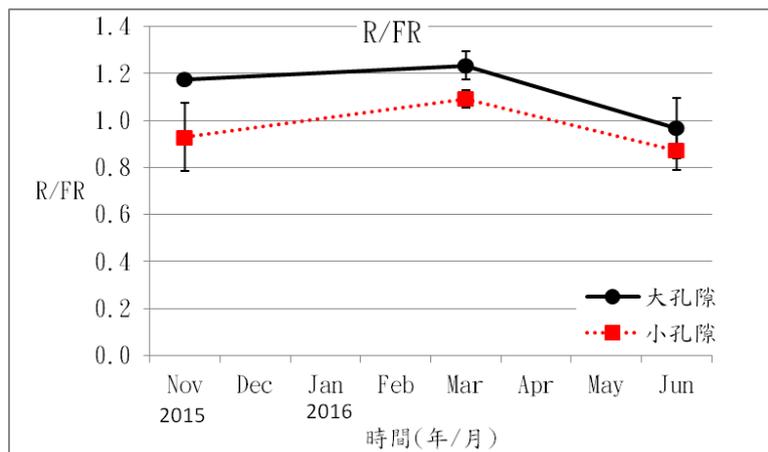


圖 30. 玉山箭竹播種區之 R/FR 變動(2015/5/16~2016/9/25)

2. 玉山箭竹播種苗存活生長變動

2015年3月播種後，從2015年4月到2016年4月皆有種子發芽，可見其發芽間期長達1年之久，以春秋兩季為主要發芽時期(圖31)，2015年及2016年的夏季皆為發芽苗死亡高峰期，2015年夏季死亡率約25~45%，2016年約15%(圖32)。

玉山箭竹種子2015年4月開始發芽，至2016年9月25日共533天，雙因子變異分析冠層及地被箭竹密度檢定對發芽率與存活率之效應，於地被玉山箭竹密度環境呈顯著差異($p \leq 0.001$)，冠層則無顯著差異，冠層環境及地被環境影響則無顯著交感現象(表18)。以事後分析檢定結果顯示，二種冠層孔隙下的玉山箭竹種子累積發芽率皆以密箭竹地被最多(14.6~14.8%)，中箭竹(6.8~13.4%)次之，少箭竹(3.8~7.4%)最少(表19)。然而，至2016年9月播種苗的存活率僅大孔隙下的地被環境有顯著差異($p \leq 0.01$)，依序為密箭竹(11.0±1.4%)、中箭竹(6.8±1.9%)及少箭竹(3.6±3.2%)(表19)。播種苗經第一年生長季後，於2015年11月平均苗高約2.5~5cm，2016年夏季有明顯高生長，到至第二年生長季後之9月平均苗高增加至10cm以上(圖34、表20)。

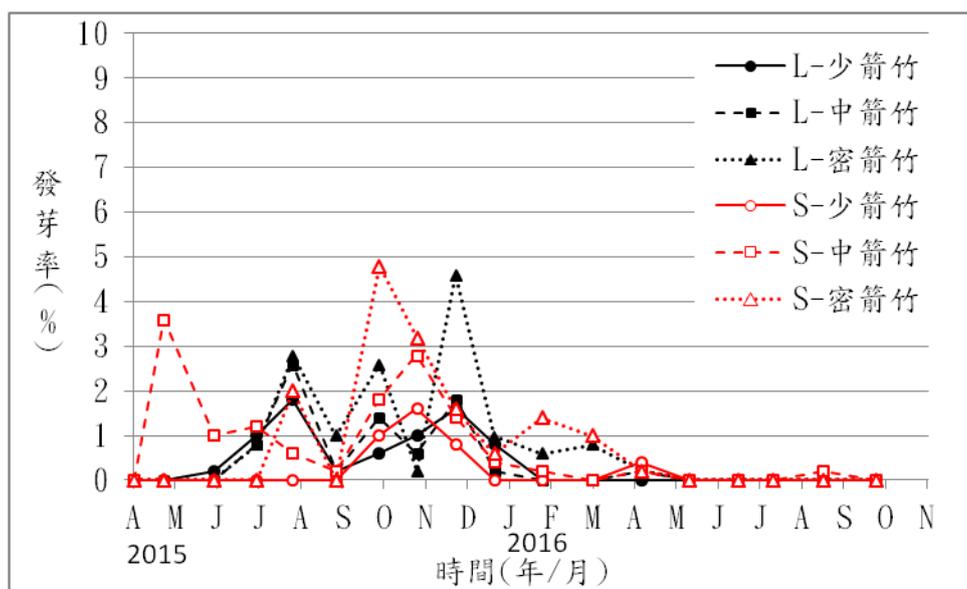


圖 31. 玉山箭竹播種區之逐期發芽率(%)變化(2015/4/11~2016/9/25)

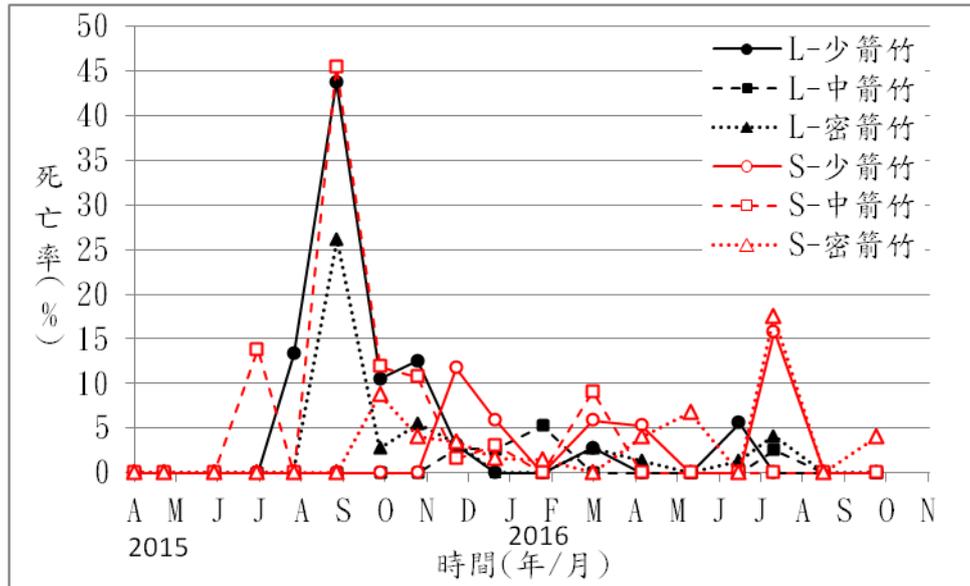


圖 32. 玉山箭竹播種區之死亡率(%)變動(2015/4/11~2016/9/25)

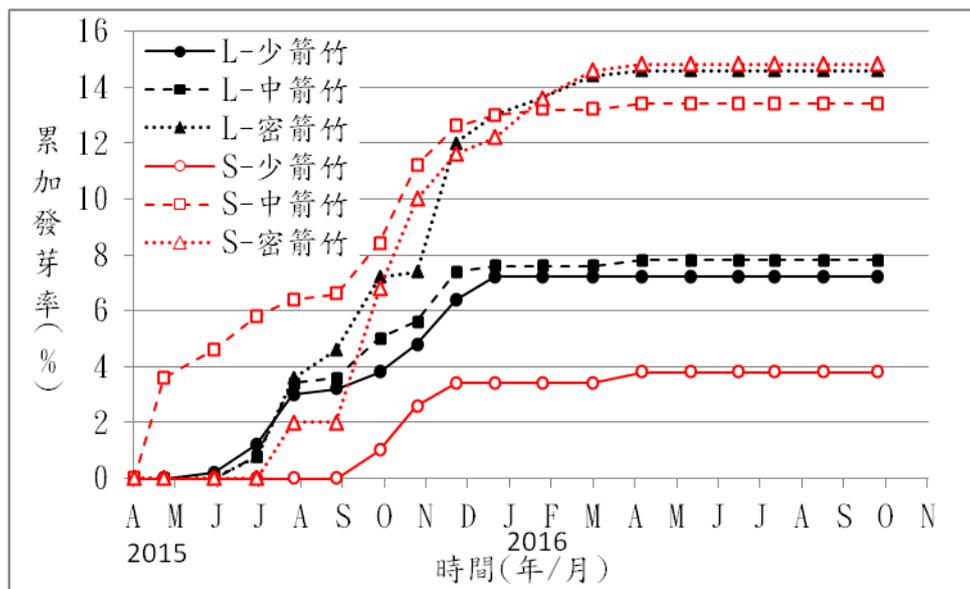


圖 33. 玉山箭竹播種區之累積發芽率(%)變動(2015/4/11~2016/9/25)

表 18. 冠層與地被箭竹密度對玉山箭竹發芽率及存活率之效應檢定

處理	df	發芽率	存活率
冠層環境	1	ns	ns
地被箭竹密度	2	**	**
冠層環境×地被箭竹密度	2	ns	ns

以雙因子變異數分析(two-way-anova)，無顯著差異以 ns 表示，有顯著差異分為三種表示方式，*表示 $p \leq 0.05$ **表示 $p \leq 0.01$ 及極顯著差異。

表 19. 不同冠層孔隙與地被下玉山箭竹播種苗之發芽率(%)及存活率(%) (2016/9/25)

測值	地被			
	冠層	少箭竹	中箭竹	密箭竹
發芽率(%)	大孔隙	7.2±3.9 ^{nsB}	6.8±4.2 ^{nsB}	14.6±2.2 ^{ns A}
	小孔隙	3.8±4.8 ^{nsB}	13.4±4.8 ^{nsAB}	14.8±8.0 ^{ns A}
存活率(%)	大孔隙	3.6±3.2 ^{nsB}	6.8±1.9 ^{nsAB}	11.0±1.4 ^{nsA}
	小孔隙	2.2±2.6 ^{nsNS}	3.6±2.6 ^{nsNS}	8.2±5.8 ^{ns NS}

註:英文字母為 scheffe' 事後檢定, 顯著水準 $\alpha=0.05$, 小寫英文字母為為相同地被環境, 冠層間之差異, ns 表示無顯著差異, 大寫英文字母為相同冠層環境下, 不同地被之差異, NS 表示無顯著差異。

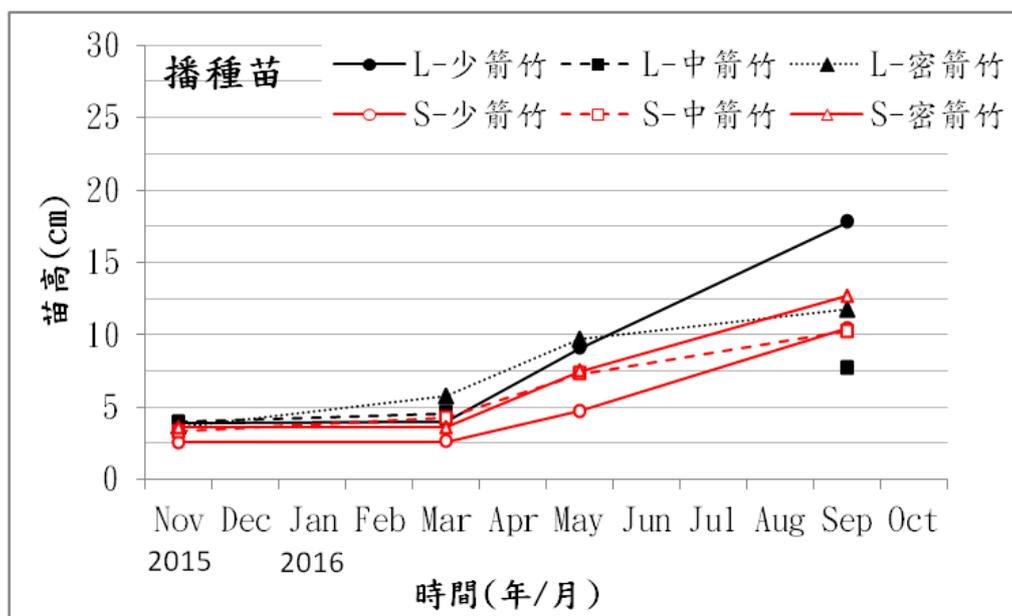


圖 34. 2015 年 11 月至 2016 年 9 月播種苗的苗高生長

表 20. 不同冠層孔隙與地被條件下玉山箭竹播種苗二年生苗高(cm) (2016/9/25)

冠層	地被		
	少箭竹	中箭竹	密箭竹
大孔隙	17.8±1.6 ^A	7.69±1.4 ^{nsC}	11.8±2.6 ^{nsB}
小孔隙	10.4	10.3±2.3 ^{ns}	12.7±2.7 ^{ns}

3. 玉山箭竹天然下種苗變動分析

於播種樣區旁設置天然下種苗樣區為對照組，於2015年4月至2016年9月25日，共533天，調查結果顯示，可見其發芽主要於出現於春秋兩季(圖35)，2015年及2016年的夏季皆為死亡高峰期，2015年夏季死亡率約25~40%，2016年約10%(圖36)，與播種試驗區的結果相似。

雙因子變異分析冠層及地被箭竹密度比較發芽數之效應，結果冠層環境呈顯著差異($p \leq 0.05$)，地被箭竹密度環境則無顯著差異，冠層環境及地被環境影響無顯著交感現象(表21)。以事後檢定分析結果顯示，僅中密度玉山箭竹地被的於不同冠層間有顯著差異，以小孔隙下的發芽數(51.3 ± 6.5 株/ m^2)明顯多於大孔隙(15.3 ± 8.5 株/ m^2)(表22)。

至2016年9月幼苗存活率於地被環境有顯著差異($p \leq 0.01$)，並有交感現象($p \leq 0.05$)。以事後檢定分析結果顯示，大孔隙的密箭竹存活率明顯最高達 $85.0 \pm 3.9\%$ ，然而小孔隙的中箭竹環境($78.2 \pm 11.2\%$)又高於大孔隙的中箭竹($34.8 \pm 6.7\%$)環境(表22)。天然下種苗於2015年11月平均苗高約2.5~5cm，2016年夏季有明顯高生長，到9月平均苗高增加至10cm以上(圖38、表23)。

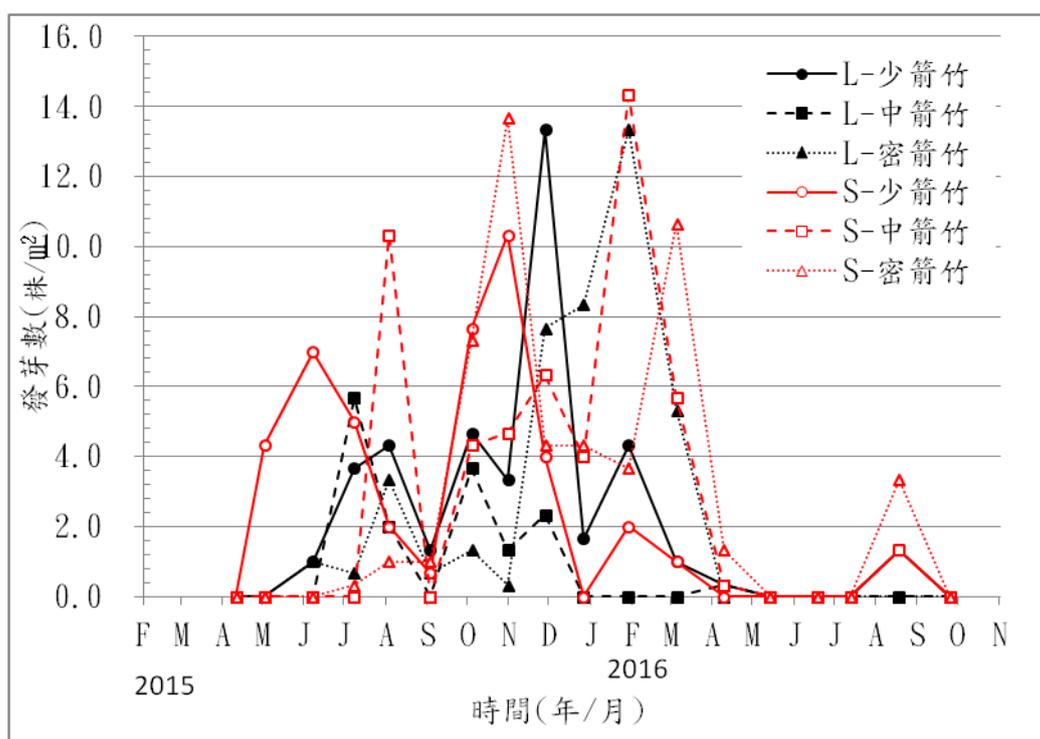


圖 35. 玉山箭竹天然下種苗之發芽數(株/ m^2)變動(2015/4/11~2016/9/25)

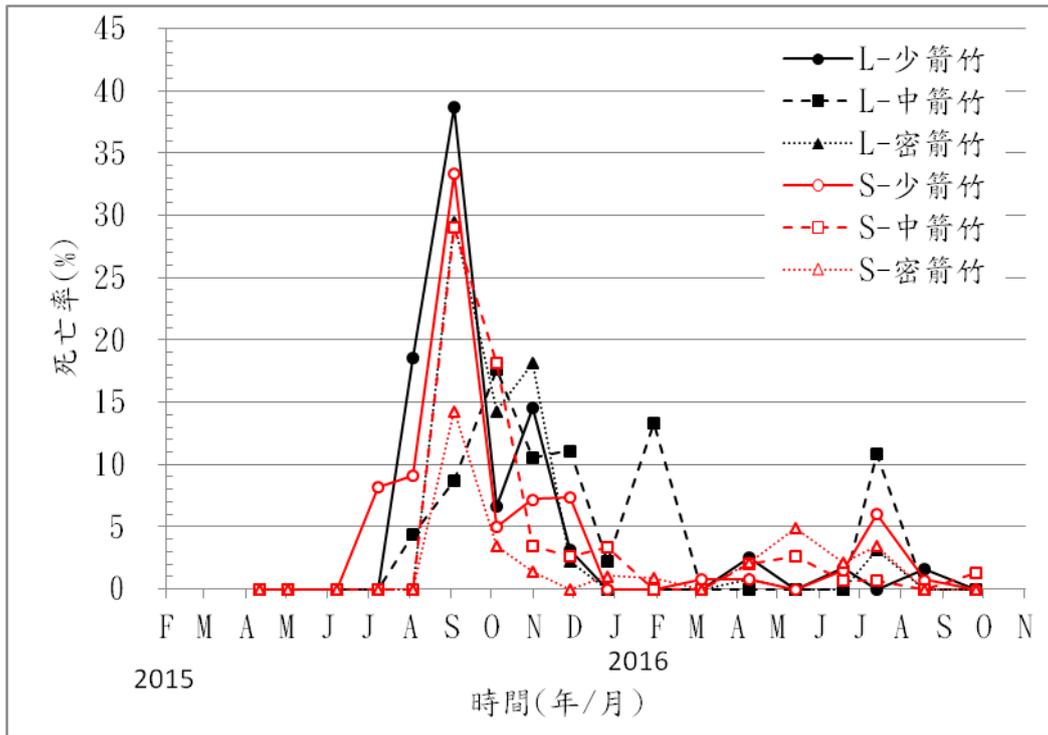


圖 36. 玉山箭竹下種苗之死亡數(株/m²)變動(2015/4/11~2016/9/25)

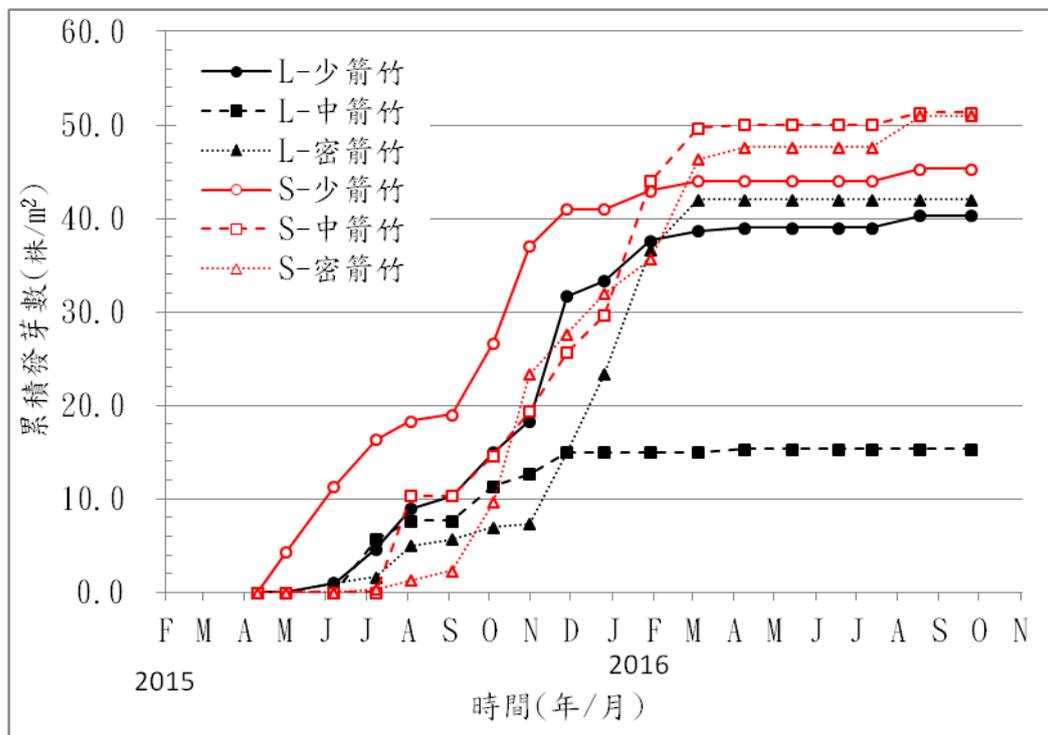


圖 37. 玉山箭竹下種苗之累積發芽數(株/m²)變動(2015/4/11~2016/9/25)

表 21. 冠層與地被箭竹密度對玉山箭竹天然更新苗發芽數及存活率之比較

處理	df	發芽數	存活率
冠層環境	1	*	ns
地被箭竹密度	2	ns	**
冠層環境×地被箭竹密度	2	ns	*

以雙因子變異數分析(two-way-ANOVA)，無顯著差異以 ns 表示，*表示 $p \leq 0.05$ 顯著差異；**; $p \leq 0.01$ 及顯著差異。

表 22. 玉山箭竹天然更新苗之發芽數(株/m²)、存活率(%)及存活數

測值	地被			
	冠層	少箭竹	中箭竹	密箭竹
發芽數	大孔隙	40.3±16.0 ^{nsNS}	15.3±8.5 ^{b NS}	42.0±16.7 ^{nsNS}
	小孔隙	45.3±27.5 ^{ns NS}	51.3±6.5 ^{aNS}	51.0±4.6 ^{nsNS}
存活率 (存活數/m ²)	大孔隙	65.5±13.4 ^{nsAB} (27.7±14.6)	34.8±6.7 ^{bb} (5.3±6.7)	85.0±3.9 ^{nsA} (36.0±15.5)
	小孔隙	59.0±22.8 ^{nsNS} (24.7±11.6)	78.2±11.2 ^{aNS} (39.7±2.1)	85.2±7.4 ^{ns NS} (43.3±4.2)

註:以 scheffe' 事後均數檢定，顯著水準 $\alpha=0.05$ ，不同小寫英文字母為為相同地被環境，不同冠層間之差異，ns 表示無顯著差異；不同大寫英文字母為相同冠層環境下，不同地被之差異，NS 表示無顯著差異。2016/9/25 之調查結果比較。

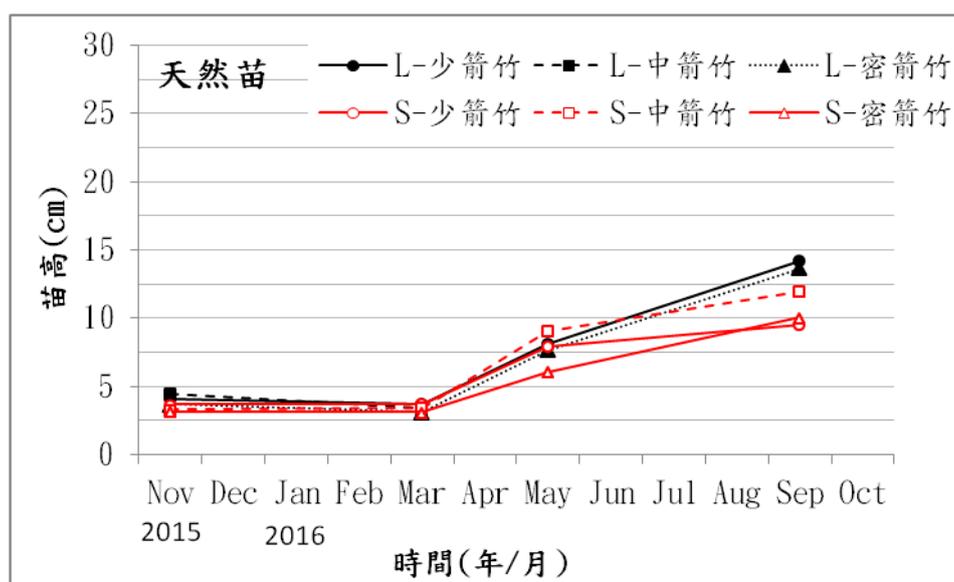


圖 38. 2015 年 7 月~2016 年 9 月天然下種苗的苗高生長

表 23. 不同冠層孔隙與地被下玉山箭竹天然下種苗二年生苗高比較(cm)

冠層 \ 地被	少箭竹	中箭竹	密箭竹
大孔隙	14.2±2.4 ^{nsNS}	11.3±3.9 ^{nsNS}	13.6±3.7 ^{nsNS}
小孔隙	9.5±1.9 ^{nsNS}	11.9±3.2 ^{nsNS}	10.1±1.9 ^{nsNS}

註:以 scheffe' 事後均數檢定，顯著水準 $\alpha=0.05$ ，不同小寫英文字母為為相同地被環境，不同冠層間之差異，ns 表示無顯著差異;不同大寫英文字母為相同冠層環境下，不同地被之差異，NS 表示無顯著差異。2016/9/25 之調查結果比較。

五、玉山箭竹苗光適應

本試驗於 2016 年 2 月 20 日的羅東林管處之太平山白領苗圃進行，玉山箭竹苗為 2015 年 2~6 月所發芽之一年生之幼苗，於 2016 年 2 月 20 日進行移盆及光馴化，光環境包括未遮蔭(H)、中光(M)及低光(L)，至 9 月為止，三種環境下的幼苗存活率皆於 96% 以上(圖 39)。

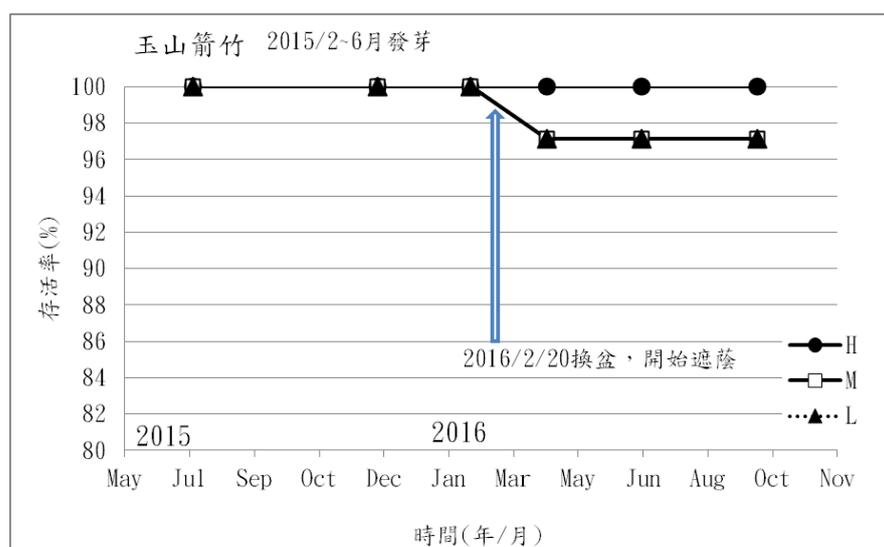


圖 39. 玉山箭竹苗的存活率(%) (35株)

於 2016 年 7 月 16~18 日進行光合測定，每種光度環境選擇 5 株大小、性狀均質且健康之苗木，葉片選擇檢康無蟲害之葉片，葉片長度約 4.6~5.6 cm，葉寬度約 0.6~0.7 cm，葉綠度 SPAD 值約 21~25 之間，葉含氮量約 4.1~4.3 % (表 24)。每日早上 7 點開始測量至下午 15 點，各參數反應如下：

1. 光合速率表現

玉山箭竹苗木淨光合值隨光度上升，至 $2000 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 光合值無下降趨勢，未有光抑制現象發生(圖 40)。三種處理最大光合值(Amax)為無遮蔭 $5.45 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、中光 $5.46 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 和低光 $4.01 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$

m^2s^{-1} 。暗呼吸速率(Rd)無顯著差異($P < 0.05$)，於 $3.07\sim 1.38 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 之間。光補償點(LCP)可視為植物對弱光的適應潛力 (朱佩綺、許博行, 2005)，三種光環境下之玉山箭竹於低光的補光能力無顯著差異。而三者光量子效益(Qy)維持在 $0.03\sim 0.07 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (表 25)。

表 24. 測定淨光合值的葉片基本測值

光環境 \ 測值	葉長(cm/片)	葉寬(cm/片)	SPAD	氮(%)
無遮蔭	4.5±0.6	0.6±0.2	21.7±11.2	4.3±0.14
中光	5.6±0.6	0.6±0.2	23.8±6.3	4.2±0.10
低光	5.6±1.4	0.7±0.2	25.4±2.9	4.1±0.11

表 25. 各光環境之光合速率參數

光環境	暗呼吸速率	光補償點	最大光合速率	Qy
無遮蔭	3.07±1.67 ^{ns}	42.1±16.91 ^{ns}	5.45±2.52 ^{ns}	0.07±0.02 ^{ns}
中光	1.64±0.24 ^{ns}	33.11±1.81 ^{ns}	5.46±1.74 ^{ns}	0.05±0.01 ^{ns}
低光	1.38±0.57 ^{ns}	61.17±41.61 ^{ns}	4.01±0.98 ^{ns}	0.03±0.02 ^{ns}

註:不同小寫字母表示樹種間具顯著差異($p < 0.05$)，ns 為無顯著差異

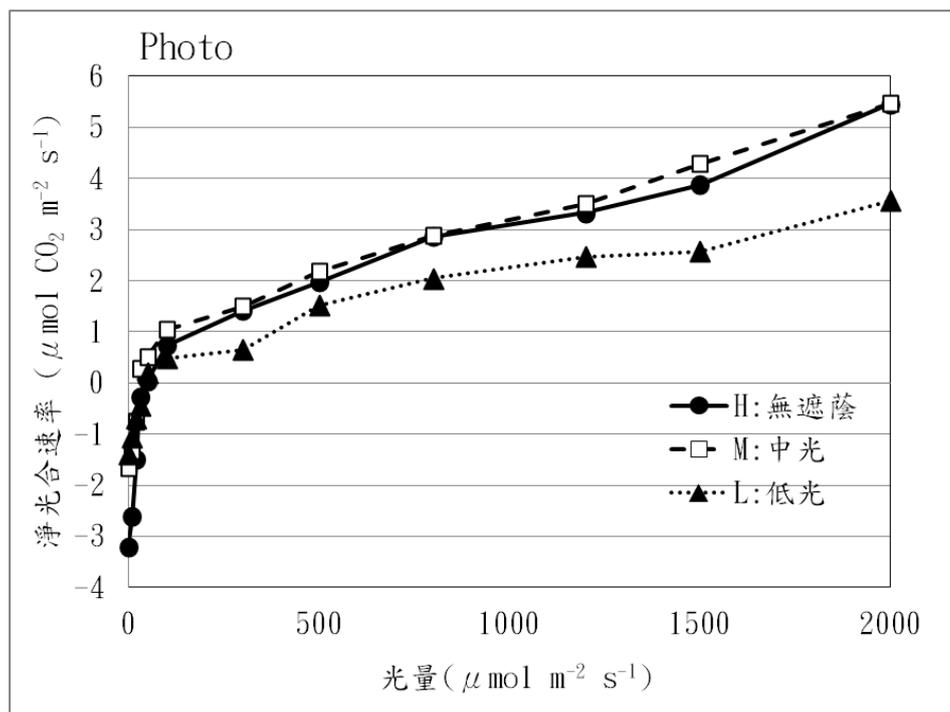


圖 40. 遮蔭試驗之玉山箭竹苗光合速率曲線

2. 三種光度環境下之玉山箭竹氣孔導度(COND)及碳羧化效率

玉山箭竹苗在當無光時，氣孔呼吸作用使氣孔導度較高，低光後，氣孔導度隨光量增加快速下降，在光量 $100 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 達到穩定。苗木 Ci/Ca 值均隨光度增加而下降，至光量 $100 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 後受 CO_2 羧化速率影響呈現穩定，三種光環境之玉山箭竹 Ci/Ca 值曲線趨勢相同，但 Ci/Ca 值依序為低光、無遮蔭、中光，表示中光環境之玉山箭竹碳羧化能力較強(圖 41)。

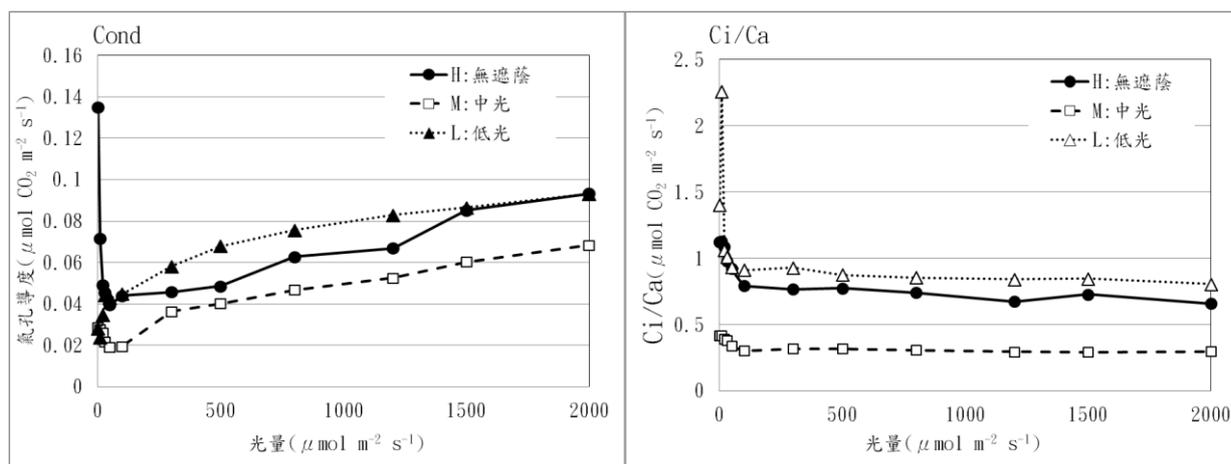


圖 41. 遮蔭試驗之玉山箭竹苗氣孔導度及 Ci/Ca 值

2. 蒸散速率與水分利用效率(WUE)

玉山箭竹苗在低光時，蒸散速率隨光量增加而明顯下降，在光量 $100 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 達到穩定。水分利用效率低光環境下快速增加，在光量 $100 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 後穩定，三者在水分利用效率曲線趨勢相同，於光量 $800 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 後中光者高於其他兩者(圖 42)。

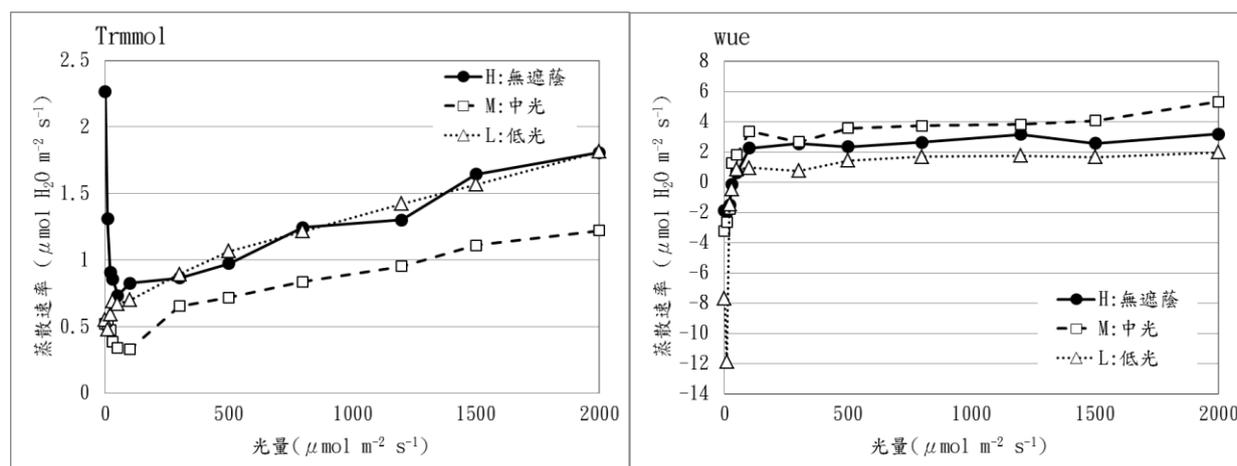


圖 42. 遮蔭試驗之玉山箭竹苗蒸散速率與水分利用效率

並每兩個月調查其生長，2016 年 4 月(遮蔭 2 個月後)苗高約 10 cm，最長稈約 15cm，2016 年 9 月(遮蔭 7 個月後)苗高約 12 cm 以上，最長稈近 20cm(圖 43、44)。2015 年 2~6 月發芽的玉山箭竹種子苗於 2015 年 12 調查調開始有新筍萌發，平均約 1~1.5 稈/

株，2016年7月約有1.5~3.5稈/株。全光的稈數相對較多(圖45)。

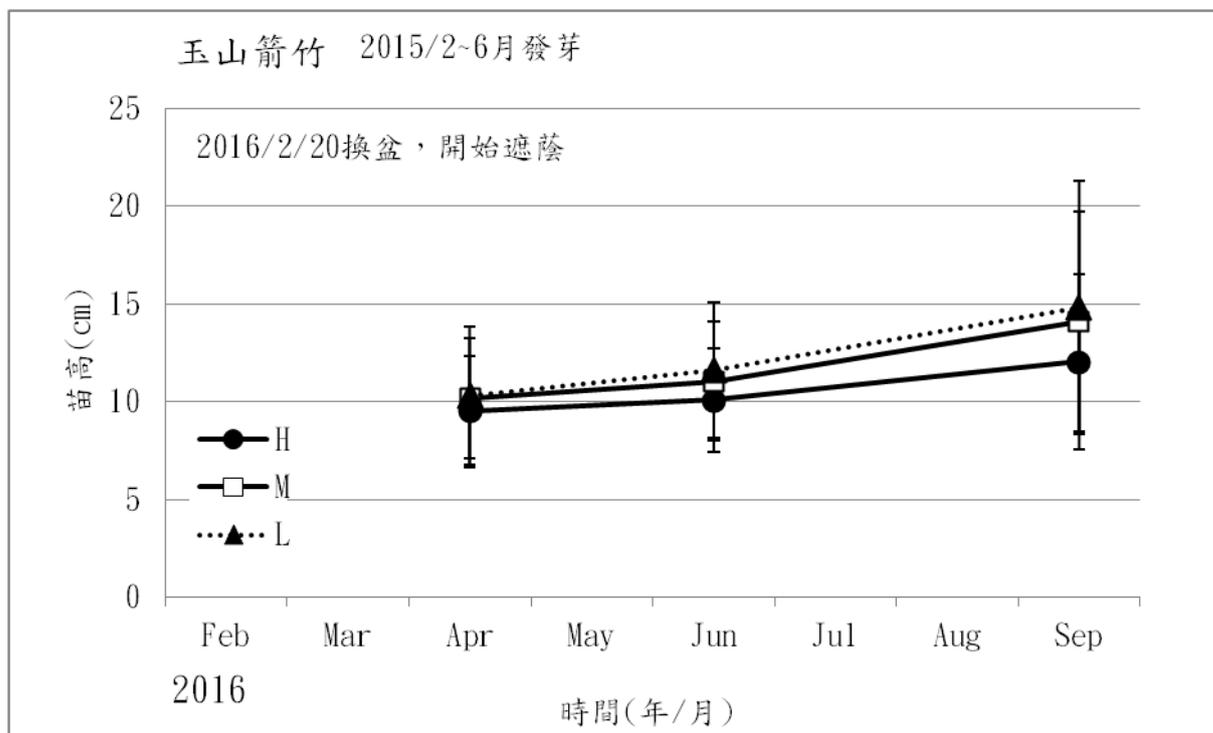


圖 43. 遮蔭試驗之玉山箭竹苗高生長(cm)

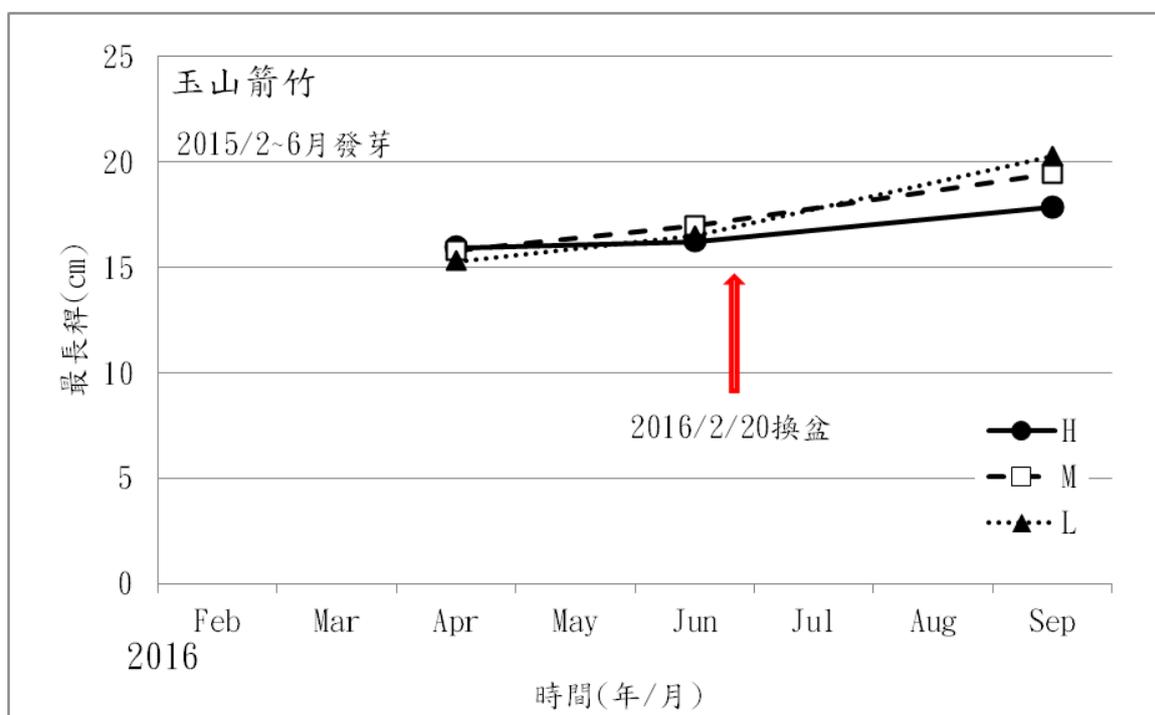


圖 44. 遮蔭試驗之玉山箭竹最長稈生長(cm)

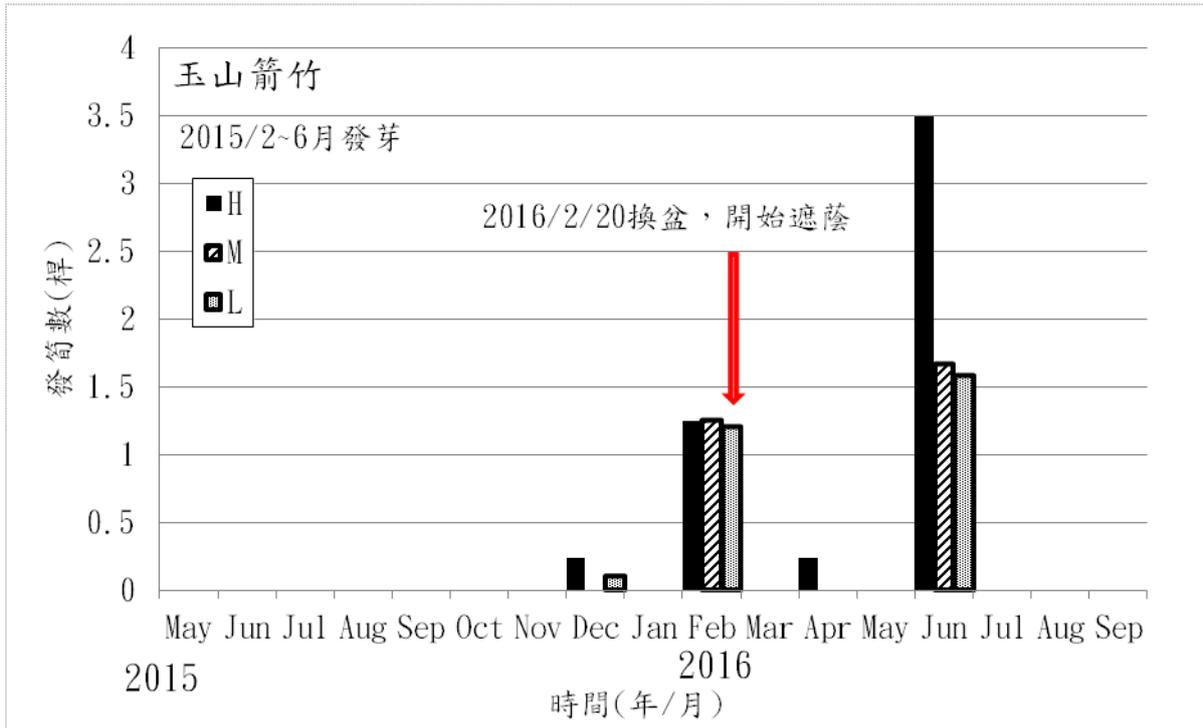


圖 45. 遮蔭試驗之玉山箭竹苗發筍數(稈/株)

六、臺灣水青岡林之玉山箭竹與臺灣水青岡幼苗發芽及生長之調查

2015年春季(3~4月)發現大量的臺灣水青岡天然下種苗，於2015年5月幼苗開始陸續死亡，夏季為死亡高峰期，至2016年1月開始穩定(圖46)。以雙因子變異數分析檢定，於不同的冠層及清除地被(2010年清除)環境下，其發芽數及存活率有顯著差異，且冠層環境及清除地被對發芽數及存活率有明顯的交互作用(表26)。以事後檢定分析結果顯示，不同冠層的發芽數皆有顯著差異，以林下最高、小孔隙次之，大孔隙最少，且清除地被可以提升發芽數，未清除地被的發芽率皆少於10株/m²(表27)。存活率部分冠層環境間皆無顯著差別，但地被箭竹經清除過後，其存活率較高，存活率最高可達15%(表28)。2015年9月25日進行苗高調查，大小孔隙的平均苗高約11.5cm以上，林下苗高相對較低，約7.3cm(表29)。至目前觀察為止，清除樣區內的其他地被植物，如玉山箭竹種子苗有開始與臺灣水青岡幼苗有競爭關係(圖47)。

可見臺灣水青岡下種更新前之地被若經過清理，待臺灣水青岡大量下種時，可增加其下種種子發芽量及種苗的存活率，但地被植物的恢復快速，導致與幼苗競爭效應，若要臺灣水青岡解決的然更新問題，地被植物競爭的問題應受到關注。

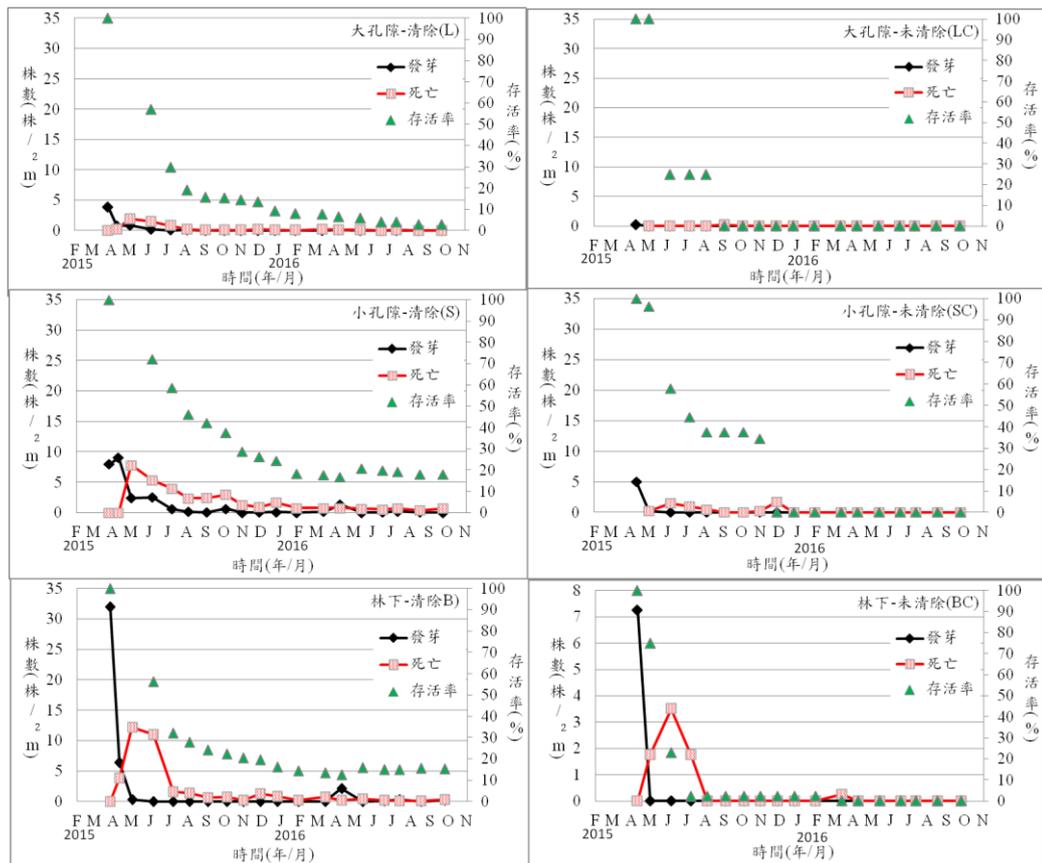


圖 46. 2015 年 3 月~2016 年 9 月臺灣水青岡天然下種苗發芽數及存活率之動態

表 26. 冠層與地被箭竹密度對臺灣水青岡天然下種苗發芽數及存活率之效應

處理	df	發芽數	存活率
冠層環境	2	***	*
地被清除與否	1	***	***
冠層環境×地被清除	2	**	*

以雙因子變異數分析(two-way-anova)，無顯著差異以 ns 表示，有顯著差異分為三種表示方式，*表示 $p \leq 0.05$ **表示 $p \leq 0.01$ ***表示 $p \leq 0.001$ 。

表 27. 2015~2016 年臺灣水青岡天然下種苗發芽數(株/m²)

測值	處理	冠層環境	清除	未清除
發芽數		大孔隙 L	5.9±2.6 ^{ba}	0.3±0.5 ^{bb}
		小孔隙 S	25.8±14.2 ^{abA}	5.3±2.8 ^{abB}
		林下 B	41.4±11.4 ^{aA}	7.3±3.4 ^{aB}

表 28. 2016 年 9 月臺灣水青岡天然下種苗存活率(%)及存活數(株/m²)

測值	處理	冠層環境	清除	未清除
存活率 (存活數)		大孔隙 L	1.9±2.4 ^{nsA} (1.0±1.4)	0.0±0.0 ^{nsB} (0.0±0.0)
		小孔隙 S	14.9±8.5 ^{nsA} (27.7±26.3)	0.0±0.0 ^{nsB} (0.0±0.0)
		林下 B	15.1±9.8 ^{nsA} (35.0±16.6)	0.0±0.0 ^{nsB} (0.0±0.0)

表 29. 2016 年 9 月 25 日臺灣水青岡天然下種苗苗高(cm)

測值	處理	冠層環境	清除	未清除
苗高		大孔隙 L	12.3±3.5	-
		小孔隙 S	11.5±2.3	-
		林下 B	7.3±0.9	-



圖 47. 2015 年 4 月 9 日臺灣水青岡幼苗與玉山箭竹種子苗競爭

捌、 結論

2014年7月間在太平山地區翠峰環湖步道及銅山地區發現有玉山箭竹結實與枯萎情形，為調查地被之玉山箭竹林枯萎及恢復，調查部分臺灣水青岡天然林冠層孔隙處及臨近之檜木人工林下。玉山箭竹之枯萎後回復能力評估調查發現，於2016年9月，紅檜林的玉山箭竹的覆蓋度及綠色度皆相當的低，無恢復之跡象，又經下雪及夏季颱風過後也折斷枯萎之箭竹稈，覆蓋度持續下降。臺灣水青岡林小嶺線處，覆蓋度及綠色度變動較小，僅有些微增加跡象。臺灣水青岡林下之玉山箭竹綠色度變動較小，臺灣水青岡林區玉山箭竹覆蓋度及綠色度於2016年5至9月有增加之現象，說明玉山箭竹林活性有恢復情況。枯萎死亡之玉山箭竹漸被其他地被植物所取代，最主要的物種為芒草。

初步發現2014年銅山地區玉山箭竹開花結實枯萎後，並產生有效種實，但未有發筍現象。2015年、2016年復發現有開花情形，但零星開花。其開花期為5-6月，結實期至8月，結實後期為下種高峰期，期間玉山箭竹逐漸枯黃，秋冬之際進入枯黃期，至翌年3月落地之玉山箭竹種子開始發芽，8-9月為發芽高峰期。

銅山地區玉山箭竹(2014年)開花結實下種後，於2015年及2016年陸續發芽，為了解2016年玉山箭竹天然更新方式(種子苗及新發筍量)，2016年檜木林主要以種子苗繁殖為主，臺灣水青岡林之玉山箭竹繁殖方式包括種子苗及發筍方式，春季為主要發新筍的時期。

2014年開花結實量高，以採取之玉山箭竹種子進行活力檢定及休眠性試驗，種子未經低溫層積處理，發芽速度較慢，顯示種子有休眠性，共計670天，累積發芽率以25/15°C溫度處理者較高，為67.6%，經過低溫層積一個月者，發芽起始時間提前至40天，低溫層積二個月者，提前至9天即開始發芽，兩個月之低溫層積明顯打破種子生理休眠現象，促進發芽之效應，此效應說明玉山箭竹其生長環境需要冬季之低溫效應可破除玉山箭竹種子的休眠，翌年春天來臨可發芽成苗。

銅山地區之玉山箭竹林從2015年4月到2016年4月皆有種子發芽，發芽間期長達1年之久，玉山箭竹天然下種發芽苗平均約40~50株/m²，僅冠層小孔隙下的中密度箭竹明顯多於大孔隙中箭竹。存活率約60~85%，其中大孔隙的密箭竹之地被明顯較高，然而小孔隙的中箭竹環境又高於大孔隙的中密度箭竹環境。2016年夏季有明顯高生長，到9月平均苗高增加至10cm以上。在兩種同冠層下播種試驗的種子發芽率皆以密箭竹地被最多，中箭竹次之，少箭竹最少。然而，目前播種苗的存活率，依序為密箭竹、中箭竹及少箭竹。2016年夏季有明顯苗高生長，到9月平均苗高增加至10cm以上。

玉山箭竹苗的遮蔭試驗，不同遮蔭的苗存活率皆90%以上，玉山箭竹光合速率在4.0~5.5 $\mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，以無遮蔭及中光較高，三種光環境之玉山箭竹於中光環境之玉山箭竹碳同化能力及水分利用效率相對較高。2016年9月(遮蔭7個月後)苗高約12cm以上，最長稈近20cm。2016年7月萌發新筍約有1.5~3.5稈/株，全光的稈數相對較多。

2016年檜木林試驗區現場發現玉山箭竹族群覆蓋度及綠色度無恢復跡象，但有玉山箭竹繁殖苗，水青岡林區玉山箭竹族群覆蓋度及綠色度皆有恢復跡象，除了種子苗，

也有地下莖所萌芽的筍，種子苗也已開始有地下莖萌發的新筍，顯示銅山地區開花結實一年後玉山箭竹世代交替逐漸形成，族群開始恢復。

2015年春季(3~4月)發現大量的臺灣水青岡天然下種苗，於2015年5月幼苗開始陸續死亡，夏季為死亡高峰期，至2016年1月開始穩定於不同的冠層及清除地被(2010年清除)環境下，發芽數以林下最高、小孔隙次之，大孔隙最少，且清除地被可以提升發芽數，未清除地被的發芽率皆少於10株/m²。但地被箭竹經清除過後，其存活率較高，存活率最高可達15%。2015年9月25日平均苗高約11.5cm以上。

由林地樣區調查亦發現，玉山箭竹有種子繁殖及少數地下莖萌芽繁殖更新，且玉山箭竹苗與臺灣水青岡苗同時出現，生長地區也相互重疊，然而本研究對後續臺灣水青岡及玉山箭竹的繁殖更新苗之存活與生長適應能力，及對玉山箭竹林枯萎回復和生態環境之效應，尤其對臺灣水青岡的天然更新苗生長競爭關係等，需持續調查與分析，供未來臺灣水青岡復育更新之參考。

致謝

感謝羅東林區管理處經費支助完成此試驗。

感謝羅東林區管理處及太平山工作站協助相關試驗。

感謝林業試驗所簡慶德博士研究團隊協助箭竹種子發芽檢定。

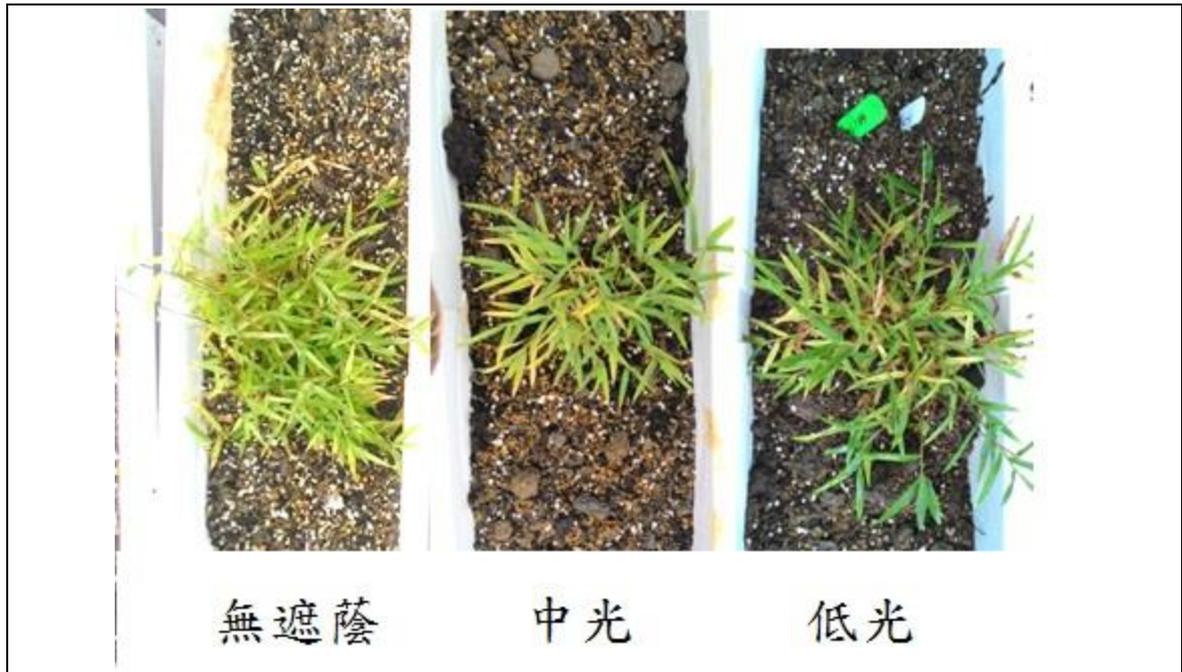
玖、 參考文獻

- 王忠魁 1974 臺灣高山草原之由來及其演進與亞極群落之商榷生物與環境專題研討會講稿集 P:1-16.
- 江濤 1969 竹類開花生理之分析。臺灣大學農學院實驗林。11 頁。
- 杜凡、薛嘉榕、楊宇明、輝朝茂、王涇 2000 15 年來雲南竹子的開花現象及其類型研究。林業科學 36(6):57-68。
- 呂金誠、歐辰雄、廖敏君 2002 雪山東峰火燒後玉山箭竹開花之研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處九十一年度研究報告。24 頁。
- 呂金誠、歐辰雄 2003 雪山東峰玉山箭竹開花之研究(二)。雪霸國家公園管理處委託研究報告。46 頁。
- 呂金誠、歐辰雄 2004 雪山東峰玉山箭竹開花之研究(三)。雪霸國家公園管理處委託研究報告。43 頁。
- 呂錦明 2010 臺灣竹圖鑑。晨星出版有限公司。P19。
- 李明仁 2011 銅山山毛櫸菌根菌對山毛櫸苗木生長及生理特性之效應 行政院農業委員會林務局委託研究計畫 100-00-5-25 65pp
- 巫智斌 2013 臺灣東北部銅山地區臺灣水青岡幼苗建立之研究國立宜蘭大學森林暨自然資源學系論文。66 頁。
- 林維治(1976)臺灣竹亞科植物之分類(續)。林業試驗所試驗報告第 271 號。75 頁。
- 林維治(1961)臺灣竹科植物分類研究。林業試驗所報告第 69 號。
- 柳樞 1963 小雪山高山草原生態之研究 林業試驗所報告 第 92 號。13 頁。
- 柳樞 1963 竹類之型態與竹類群落之特性 現代育林 2(1):20-26。
- 柳樞 1968 臺灣中部之森林植物。中華林學季刊。
- 柳樞 1971 臺灣植物群落之分類(二) 臺灣高山寒原及針葉樹林群系。林試所研究報告 203 號。
- 耿伯介 1957 中國竹類植物之一新屬及二新種。植物分類學報 6(4):355-356。
- 高清 1972 麻竹開花之生理。臺灣農業 8(4):208-218。
- 陳致仁 2002 玉山箭竹親緣地理學探討 國立臺灣師範大學生物研究所碩士論文。57 頁。
- 陳財輝 2011 竹類與眾不同的開花習性。林業研究專訊 Vol.18 No.1:12-15。
- 陳子英 2011 冰河子遺的夏綠林 臺灣水青岡 行政院農業委員會林務局。550 頁。
- 陳品邑 2011 宜蘭銅山臺灣水青岡林長期動態樣區之森林動態與天然更新 國立宜蘭大學森林暨自然資源學系論文。132 頁。
- 廖敏君 2004 玉山箭竹繁殖生物學之探討。國立中興大學森林系研究所碩士論文。60 頁。
- 劉業經、呂福源、歐辰雄 1994 臺灣樹木誌。國立中興大學農學院出版委員會。
- 劉業經、歐辰雄、呂金誠 1986 臺灣之竹類及分布。現代與林 2(1):3-19。
- 賴裕芳、王亞男、張國楨 2000 塔塔加地區不同生育地玉山箭竹變異性之研究 中華林學季刊 33 (4):457-467

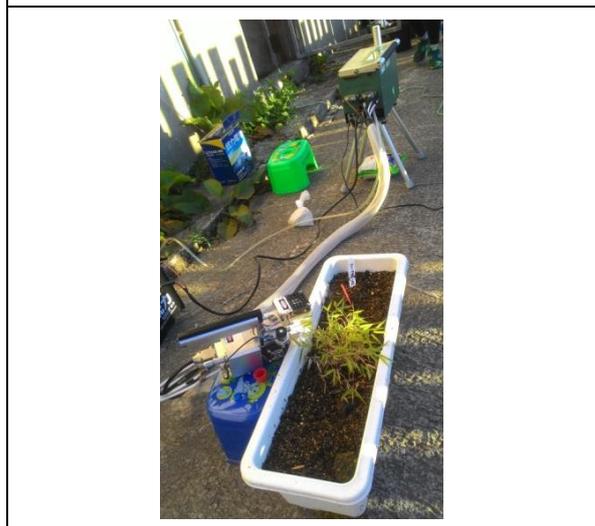
- 應紹舜 1976 雪山地區高山植群的研究。中華林學季刊 9(3)：119-136 頁。
- 應紹舜 1979 臺灣高山植物的研究。國立臺灣大學農學院森林學系。
- 韓中梅、黃生 2002 陽明山地區矢竹族群生態及遺傳研究 內政部營建屬陽明山國家公園管理處
- Hsiao, J. Y. and S. M. Lee 1999 Genetic diversity and microgeographic differentiation of Yushan cane (*Yushania niitakayamensis*); Poaceae) in Taiwan. *Molecular Ecology* 8: 263-270.
- Janzen, D. H. 1976 Why bamboos wait so long to flower. *Ann. Rev. Eco. Syst.* 7:347-391.
- Lu, C. M. 1985. Germination and the cultivation of seedlings of giant bamboo (*Dendrocalamus latiflorus* Munro). Taiwan for Res Inst Note No. 2.
- McClure, F. A. 1966 *The Bamboos, A Fresh Perspective*. Harvard University Press. 347pp.
- Makita, A. 1992 Survivorship of a monocarpic bamboo grass, *Sasa Kurilensis*, during the early regeneration process after mass flowering. *Ecological Research* 7:245-254.
- Makita, A., Y. Konno, N. Fujita, K. Takada, and E. Hamabata 1993 Revert of a *Sasa tsuboiana* after mass flowering and death. *Ecological Research* 8:215-224.

附錄

	
<p>附圖 1. 玉山箭竹開花結實枯萎</p>	<p>附圖 2. 玉山箭竹開花結實枯萎，地被芒草競爭</p>
	
<p>附圖 3. 玉山箭竹開花結實小穗</p>	<p>附圖 4. 2015年3月6日玉山箭竹種子苗</p>



附圖 5. 2016/3/12(遮蔭 20 天) 苗圃遮蔭幼苗



附圖 6. 2016/7/16 玉山箭竹苗生理測定



附圖 7. 2015年4月9日臺灣水青岡幼苗與玉山箭竹種子苗競爭



附圖 8. 玉山箭竹無性繁殖



附圖 9. 二年生種子苗分蘖叢生



附圖 11. 一年生種子苗



附圖12. 兩年生種子苗



附圖 13. 2016/9/25 臺灣水青岡與地被植物競爭(未清地被)



附圖14. 2016/9/25臺灣水青岡與地被植物競爭(已清地被)