

契約編號 100407A19(100 投育字第 19 號)

林務局南投林區管理處

「奧萬大楓林區遭土石掩埋後生長與存活之監測」

(3/3)

結案報告

The entrusted plan to monitor the plants growth and survival after mudflows and landslides at maple tree zone in Aowanda

(3/3)



執行機關：國立中興大學

執行日期：中華民國 100 年 3 月 31 日

至中華民國 100 年 12 月 31 日

奧萬大楓林區遭土石掩埋後生長與存活之監測(3/3)

委託計畫

The entrusted plan to monitor the plants growth and survival after mudflows and landslides at maple tree zone in Aowanda (3/3)

結案報告



委託機關：行政院農業委員會林務局 南投林區管理處

執行單位：國立中興大學森林學系 森林植物分類暨生態研究室

計畫主持人：呂金誠 教授

協同主持人：曾喜育 助理教授

研究人員：曾彥學、何伊喬、郭礎嘉、王俊閔、王 偉、趙建棟
林惠雯、梁耀竹、鄭婷文、張彥華、陳玟璇、邱于庭
劉惠宜、陳培均、吳博昕、何明軒、吳佳穎、江佳穎
江鴻猷

中華民國 100 年 12 月

目次

表目次.....	II
圖目次.....	III
壹、計畫緣起.....	1
貳、計畫範圍與研究區概況.....	3
參、前人研究概況.....	6
肆、研究方法.....	10
一、文獻與資源之蒐集.....	10
二、植物標本採集與鑑定.....	10
三、長期動態監測樣區設置與植群調查.....	10
四、植群分析.....	11
五、存活率調查.....	12
六、植物社會之複查.....	12
七、長期動態監測樣區之地形測量.....	12
伍、結果與討論.....	15
一、長期監測樣區環境.....	15
(一)樣區微氣候.....	15
(二)研究期間單日降雨變化.....	19
(三)地形變化.....	19
二、楓林區長期監測樣區土石掩埋後林木生長與活存調查.....	26
三、長期監測樣區小苗調查.....	75
四、對照樣區植物組成與結構.....	93
陸、結論與建議.....	106
柒、參考文獻.....	108
附錄一.....	111
附錄二.....	118
附錄三.....	122

表 目 次

表 5-1. 奧萬大楓林區長期監測樣區前 20 名主要組成樹種之株數、相對密度、胸高斷面積、相對優勢度、重要值.....	27
表 5-2. 奧萬大楓林區長期監測樣區遭土石衝擊後主要樹種各季節存活株數與存活率變化.....	41
表 5-3. 奧萬大楓林區長期監測樣區遭土石衝擊後主要樹種各季節累積枯死株數與枯死率變化.....	42
表 5-4. 奧萬大楓林區長期監測樣區遭土石衝擊後主要樹種各季節單季枯死株數與枯死率變化.....	43
表 5-5. 奧萬大楓林區長期監測樣區土石衝擊掩埋後前五名組成樹種於不同年度颱風存活與枯死株數，以及季節枯死株數之平均胸徑比較.....	52
表 5-6. 奧萬大楓林區長期監測樣區干擾後主要組成樹種枯死植株各季節距河岸距離比較.....	55
表 5-7. 奧萬大楓林區長期監測樣區干擾後主要組成樹種存活植株各季節距河岸距離比較.....	55
表 5-8. 奧萬大楓林區長期監測樣區干擾後主要組成樹種枯死植株各季節平均胸徑比較.....	55
表 5-9. 奧萬大楓林區長期監測樣區干擾後主要組成樹種存活植株各季節平均胸徑比較.....	55
表 5-10. 奧萬大楓林區監測樣區之 2010-2011 年木本植物小苗種類與數量.....	77
表 5-11. 奧萬大楓林區監測樣區之 2010-2011 年草本植物小苗種類與數量.....	78
表 5-12. 奧萬大楓林區監測樣區之 2011 年蕨類植物小苗種類與數量.....	81
表 5-13. 奧萬大楓林區對照樣區前 20 名主要組成樹種之株數、相對密度、胸高斷面積、相對優勢度、重要值.....	95

圖目次

圖 2-1. 奧萬大國家森林遊樂區生態氣候圖.....	3
圖 2-2. 奧萬大楓林區辛樂克颱風前、後之楓林區航照圖比較.....	4
圖 2-3. 2006~2008 年奧萬大楓林區景觀與林內地形環境變遷.....	5
圖 3-1. 濱岸帶地形特點結構圖.....	7
圖 4-1. 奧萬大楓林區長期監測計畫工作流程圖.....	10
圖 4-2. 奧萬大楓林區長期監測樣區與對照樣區示意圖.....	11
圖 4-3. 奧萬大楓林區長期監測樣區設置、地形測量，以及樣木調查、標號.....	13
圖 4-4. 奧萬大楓林區長期監測樣區之地形複測，以及樣木存活、位置、標號之複查.....	14
圖 5-1. 奧萬大楓林區長期監測樣區相對濕度變化圖.....	16
圖 5-2. 奧萬大楓林區長期監測樣區氣溫變化圖.....	17
圖 5-3. 奧萬大楓林區長期監測樣區氣溫變化圖.....	18
圖 5-4. 奧萬大國家森林遊樂區 2008 年 1 月至 2011 年 10 月每日降雨變化圖與主要影響颱風關係.....	19
圖 5-5. 奧萬大楓林區長期監測樣區地形變化.....	21
圖 5-6. 奧萬大楓林區長期監測樣區內河道於調查期間之變化.....	22
圖 5-7. 奧萬大楓林區長期監測樣區 2010 年 10 月樣區地形改變之現狀.....	24
圖 5-8. 奧萬大楓林區長期監測樣區 2010 年 3 月樣區地形.....	25
圖 5-9. 奧萬大楓林區長期監測樣區內附生植物種類.....	26
圖 5-10. 奧萬大楓林區長期監測樣區主要組成樹種之徑級分布圖.....	28
圖 5-11. 奧萬大楓林區長期監測樣區外側遭受土石衝擊掩埋後不同時間定點拍攝.....	30
圖 5-12. 奧萬大楓林區長期監測樣區內部遭受土石衝擊掩埋後不同時間定點拍攝.....	31
圖 5-13. 奧萬大楓林區長期監測樣區遭受土石衝擊掩埋後楓香樣株 1 不同時間定點拍攝監測存活情形.....	32
圖 5-14. 奧萬大楓林區長期監測樣區遭受土石衝擊掩埋後楓香樣株 2 不同時間定點拍攝監測存活情形.....	33
圖 5-15. 奧萬大楓林區長期監測樣區遭受土石衝擊掩埋後楓香樣株 3 不同時間定點拍攝監測存活情形.....	34
圖 5-16. 奧萬大楓林區長期監測樣區遭受土石衝擊掩埋後楓香樣株 4 不同時間定點拍攝監測存活情形.....	35

圖 5-17. 奧萬大楓林區長期監測樣區遭受土石衝擊掩埋後楓香樣株 5 不同時間定點拍攝監測存活情形.....	36
圖 5-18. 奧萬大楓林區長期監測樣區遭受土石衝擊掩埋後楓香樣株 6 不同時間定點拍攝監測存活情形.....	37
圖 5-19. 奧萬大楓林區長期監測樣區遭受土石衝擊掩埋後楓香樣株 7 不同時間定點拍攝監測存活情形.....	38
圖 5-20. 奧萬大楓林區長期監測樣區遭受土石衝擊掩埋後楓香樣株 8 不同時間定點拍攝監測存活情形.....	39
圖 5-21. 奧萬大楓林區長期監測樣區遭受土石衝擊掩埋後楓香樣株 9 不同時間定點拍攝監測存活情形.....	40
圖 5-22. 奧萬大楓林區長期監測樣區遭受土石衝擊掩埋後林木存活株數及物種數關係圖.....	46
圖 5-23. 奧萬大楓林區長期監測樣區九芎樣木經土石衝擊、掩埋後基部發根.....	49
圖 5-24. 奧萬大楓林區長期監測樣區主要組成樹種單季與累積枯死率圖.....	50
圖 5-25. 奧萬大楓林區長期監測樣區之喬木分布位置、地形與河道與辛樂克颱風土石掩埋區域.....	51
圖 5-26. 奧萬大楓林區長期監測樣區調查季節各樹種枯死與存活樣株位置圖.....	54
圖 5-27. 奧萬大楓林區長期監測樣區楓香枯死與存活樣株位置圖.....	56
圖 5-28. 奧萬大楓林區長期監測樣區楓香枯死與存活樣株位置圖.....	57
圖 5-29. 奧萬大楓林區長期監測樣區台灣欖各季節枯死與存活樣株位置圖.....	59
圖 5-30. 奧萬大楓林區長期監測樣區山肉桂各季節枯死與存活樣株位置圖.....	60
圖 5-31. 奧萬大楓林區長期監測樣區阿里山千金榆各季節枯死與存活樣株位置圖.....	61
圖 5-32. 奧萬大楓林區長期監測樣區青剛櫟各季節枯死與存活樣株位置圖.....	62
圖 5-33. 奧萬大楓林區長期監測樣區江某各季節枯死與存活樣株位置圖.....	63
圖 5-34. 奧萬大楓林區長期監測樣區土石掩埋後近河流外側林木枯死狀態.....	64
圖 5-35. 奧萬大楓林區長期監測樣區萬大南溪之溪水淹浸現象.....	65
圖 5-36. 奧萬大楓林區長期監測樣區樹種對土石衝擊所受之傷害.....	66
圖 5-37. 奧萬大楓林區長期監測樣區土石掩埋後受創楓香林木遭受昆蟲危害.....	69
圖 5-38. 奧萬大楓林區長期監測樣區土石掩埋後遭受蟲害.....	70
圖 5-39. 奧萬大楓林區長期監測樣區楓香遭受蟲害樹幹倒塌情形.....	71
圖 5-40. 奧萬大楓林區長期監測樣區物種組成之等級—豐量曲線季節變化圖.....	73

圖 5-41. 奧萬大楓林區長期監測樣區外側近奧萬大南溪之對照樣區遭土石衝擊後植物生長狀況.....	74
圖 5-42. 奧萬大楓林區長期監測樣區小苗調查、樣區設置與複查.....	76
圖 5-43. 奧萬大楓林區長期監測樣區遭受土石衝擊掩埋後林下之木本植物小苗.....	82
圖 5-44. 奧萬大楓林區長期監測樣區遭受土石衝擊掩埋後林下之草本植物小苗.....	84
圖 5-45. 奧萬大楓林區長期監測樣區遭受土石衝擊掩埋後樣區內部林冠層不同時間定點拍攝.....	85
圖 5-46. 奧萬大楓林區長期監測樣區遭受土石衝擊掩埋後樣區近林外林冠層不同時間定點拍攝.....	86
圖 5-47. 奧萬大楓林區長期監測樣區內部生長良好之林木.....	88
圖 5-48. 奧萬大楓林區長期監測樣區內部小苗狀態.....	89
圖 5-49. 奧萬大楓林區長期監測樣區林木分布圖及 2010 及 2011 年 7 月各樣帶小苗數量變化圖.....	90
圖 5-50. 奧萬大楓林區長期監測樣區林木分布圖及 2010 及 2011 年 7 月各樣帶楓香小苗數量變化圖.....	91
圖 5-51. 奧萬大楓林區長期監測樣區之小苗等級—豐量曲線之季節變化.....	92
圖 5-52. 奧萬大楓林區長期監測樣區之對照樣區設置、樣木調查及標號.....	93
圖 5-53. 奧萬大楓林區長期監測樣區上方未遭風災土石掩埋之對照樣區.....	94
圖 5-54. 奧萬大楓林區對照樣區主要組成樹種之徑級分布圖.....	97
圖 5-55. 奧萬大楓林區長期樣區之樣株位置圖.....	98
圖 5-56. 奧萬大楓林區長期監測樣區之楓香枯死與存活樣株位置.....	99
圖 5-57. 奧萬大楓林區長期監測樣區之台灣櫟和山肉桂樣株位置.....	100
圖 5-58. 奧萬大楓林區長期監測樣區之阿里山千金榆與青剛櫟樣株位置.....	101
圖 5-59. 奧萬大楓林區長期監測樣區之江某與栓皮櫟、台灣朴樣株位置.....	102
圖 5-60. 奧萬大楓林區長期監測樣區之香楠、竹葉楠與台灣赤楠、細葉饅頭果樣株位置.....	103
圖 5-61. 奧萬大楓林區長期監測樣區之小葉桑、呂宋莢蒾樣株位置.....	104
圖 5-62. 奧萬大楓林區紅葉情形.....	105

壹、計畫緣起

奧萬大國家森林遊樂區是台灣最重要之國家森林遊樂區之一，擁有『楓葉故鄉』之美稱，是全台名氣最響亮的賞楓處，楓紅時節遊人如織。本區具有全台最大面積的天然楓香(*Liquidambar formosana*)純林，分布於萬大溪河床沖積處。然於2008年在卡玫基、鳳凰、辛樂克與薔蜜等颱風連續侵襲下(尤以辛樂克與薔蜜影響最甚)，萬大北溪挾大量砂石衝擊，楓香生育地遭嚴重土石流掩埋、破壞，土石掩埋厚度達2.5 m，萬大北溪改道流經楓林區，部份楓香因河流改道而淹浸。

2009年8月8日莫拉克颱風挾帶豪大雨，在台灣南部地區及部分山區造成嚴重災情，奧萬大國家森林遊樂區亦多處受創，除部分位於萬大溪畔之硬體設施遭受土石沖刷而受到破壞外，楓林區在本次颱風後再度遭受嚴重土石流掩埋，一方面使穿越楓林區之萬大北溪改道回流至楓林區外圍；另一方面，土石再次堆積2-3 m之高度，使楓林區之土石累積高度超過5 m，受害面積因而加大，長期監測樣區內位置較高之林木受到波及，受害林木數量亦增加(呂金誠、曾喜育，2009)。

颱風是台灣森林生態系重要的生態因子，平均每年有3.5次的颱風侵襲，對於樹種繁殖、更新與演替等具有高度的關聯(陳財輝、洪富文，1993；洪富文等，1995；林登秋等，1999；郭耀倫等，2007；Lin et al., 2003)；然近年來，全球氣候暖化造成之氣候劇烈變化，使得氣象預測50年或100年才會出現的特大降雨量發生頻繁(盧孟明等，2007、黃鎮國、張偉強，2007)，其對於台灣森林生態系穩定與平衡，以及森林之公益功能造成重大的影響(陳信雄、謝昱男，2007)。本監測研究進行過程中，楓林區之地形因季節或大量降雨的改變而變化，繼而影響林木之生長存活情形。由於楓林區之林木遭到土石流衝擊、掩埋與溪水淹浸是台灣首次資料，由於相關研究報告資料尚少，且現階段研究結果尚無法對楓林區楓香後續生長情形做正確之推估，故有必要針對長期監測樣區內之林木做持續之監測與觀察，以提供作森林生態研究之基礎，提供自然干擾對楓林區分之演替與更新機制。並可作為生態解說教育之資料。

本計畫為3年期計畫：第1年計畫為瞭解土石掩埋後林木生長情形及地形之變動，於2009年1月開始設置之長期動態監測樣區，已進行12次全林分之林木生長與存活率複查，以及測量樣區內河道及微地形之變化，並在樣區內3

條樣帶之樣木樹幹標記發現，每季複查紀錄高度變化，以求瞭解樣木在災後被掩埋情形是否改變(呂金誠、曾喜育，2009)。第2年(2010年)除持續進行樣區內各樹種生長與存活監測外，針對未淹沒區域增設對照樣區以提供未來楓香復育之參考，並對樣區內之小苗進行調查，以提供濱岸植群遭洪氾干擾後之更新演替之訊息(呂金誠、曾喜育，2010)。

本研究為第3年之監測延續計畫，除針對奧萬大楓林區在颱風土石流掩埋及河流淹浸後，楓香及其伴生植物後續生長、存活情形進行監測外，並針對楓林區進行未淹沒區之植物社會與生育地環境進行調查與監測，進而評估楓林區未來之演替與更新，以期能利用林相整理改良及補植方式，提供楓林區重建奧萬大之楓紅美景所需資訊。

貳、計畫範圍與研究區概況

本計畫範圍為奧萬大國家森林遊樂區之楓林區，位於萬大溪之上游萬大南溪與萬大北溪河床沖積處，面積約 8 ha，海拔約 1,240 m。地理位置約位於北緯 23°56'45"，東經 121°10'50"。萬大溪為濁水溪上溪主要支流，水流湍急，河岸陡峭，土壤化育堆積不易。地質基盤岩石的構成為以中新世廬山層的板岩為主；第四紀沖積層以未固結之砂礫層為主，主要分布於平坦階地緩斜坡面；崩積層由陡坡上滾落之岩塊和砂土堆積於坡腳而成。土壤主要以山地石質土為主，以及部分的腐植壤土(鍾國基，2005)。

本區年均溫 16.6°C(1993-2003 年)，最高氣溫在 7 月(20.3°C)，最低溫為 1 月(11.5°C)，平均年降雨量為 2,002.8 mm(1993-2004 年)(鍾國基，2005)，依據 Walter 生態氣候圖原理繪製奧萬大國家森林遊樂區之生態氣候圖(圖 2-1)，本區的降雨分布不均，乾濕季明顯，降雨集中在 4-8 月，約佔全年降雨之 70%，主要為梅雨與颱風季節，乾季為 10 月至翌年 1 月，其中 11 月為本區較缺水季節。

奧萬大楓林區於 2008~2009 年的卡玫基、鳳凰、辛樂克、薔蜜與莫拉克等颱風侵襲下，楓林區生育地遭嚴重土石流衝擊破壞(圖 2-2 和圖 2-3)，掩埋高度超 5 m，部分楓香尚因河流改道而造成淹浸。

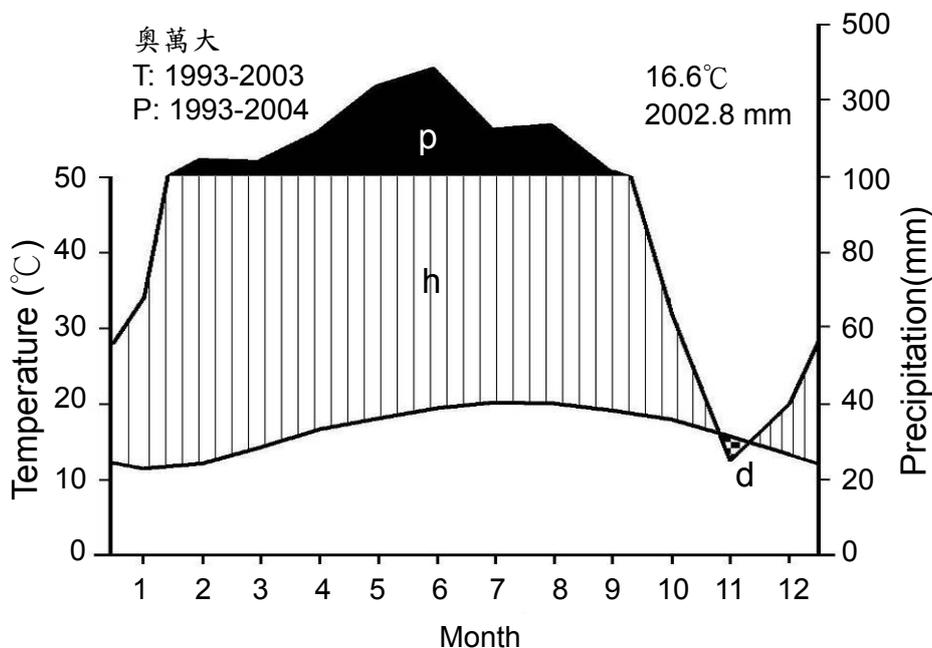


圖 2-1. 奧萬大國家森林遊樂區生態氣候圖。p：月平均降雨量>100 mm，特濕期，h：相對潮濕期，d：相對乾燥期。

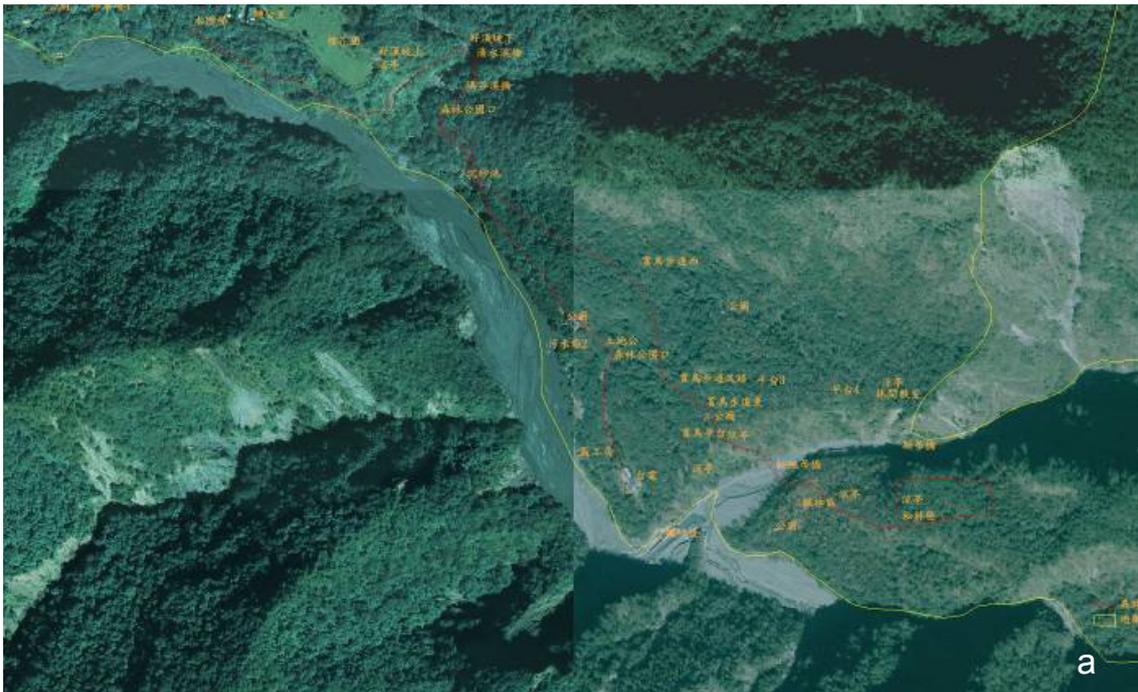


圖 2-2. 奧萬大楓林區辛樂克颱風前(a)、後(b)之楓林區航照圖比較(南投林區管理處提供)。



圖 2-3. 2007~2008 年奧萬大楓林區景觀與林內地形環境變遷。

參、前人研究概況

奧萬大國家森林遊樂區於民國 83 年甫對外正式開放營運，為林務局較晚規劃開放的森林遊樂區之一，自然景觀資源豐富，擁有「春櫻、夏瀑、秋月、冬楓」四季美景。由開園至民國 94 年間，遊客總人數已破 200 萬人(高惠真，2007)，平均每年參觀人數達 19 萬人以上；然而，將近 7 成的遊客於 11 月至翌年 1 月進入園區賞楓，楓紅時節遊人如織，可見「楓紅」在奧萬大國家森林遊樂區之重要性。

本區歷年之植物資源調查有歐辰雄等(1989)開始針對奧萬大國家森林遊樂區之植生進行調查，共調查 127 科 306 屬 394 種，楓林區之主要優勢組成分子有台灣二葉松(*Pinus taiwanensis*)、土肉桂(*Cinnamomum osmophloeum*)、楓香、台灣欒(*Zelkova serrata*)等。鍾國基(2005)針對園區萬大溪進行濱溪植群生態研究，共記錄有 162 科 506 屬 889 種維管束植物，而楓林區屬於山肉桂型(*Cinnamomum insularimontanum* type)中的楓香亞型(*Liquidambar formosana* subtype)之植物社會。濱岸生態系係位於水域與陸域生態系間的交界帶，具有連結兩者的廊道與緩衝功能。濱岸帶植物社會對河流水量的調節和鄰近生物の種類與數量，具重要的影響(Lazdinis and Angelstam, 2005)；因濱岸植群位處於河道兩側，一般呈現狹長型，因常形成帶狀故稱之為濱岸帶(riparian zone)；再者，由相鄰的生態系向溪流傳送的物質和能量，必然經過濱岸帶，因此，濱岸生態系為典型的開放性系統；其三為高地與溪流之間的橋樑(陳吉泉，1996)。

濱岸帶的形成與溪流週期性的氾濫有關。Hupp and Osterkamp(1996)指出，長年有水的溪流隨季節有豐水期(wet periods)與枯水期(drought periods)的變化，甚至每隔一段時間有洪氾發生，由於溪水流量變化產生的侵蝕與沈積作用致使溪岸地文呈現階梯狀結構(河階地形，圖 3-1)。濱岸植群的植物組成種類與數量，由地域性氣候、地質構造與過程、濱岸二側生物和非生物過程等共同決定，並與地形、地貌、土壤、水文、干擾、河流級序等密切相關，進而改變濱岸植群的種類組成、結構以及生產力，亦使濱岸植群呈現鑲嵌狀的分布(White and Greer, 2006)。Nilsson and Svedmark (2002)將影響濱岸植群變化的主要因素分成三個主要層面—水文(hydrology)、廊道(corridor)與地景(landscape)，並指出水文條件影響濱岸植群的主要因素，規律與穩定的洪氾有助於物種多樣性的維持與林分更新，也提高林分對環境敏感性(sensitivity)。

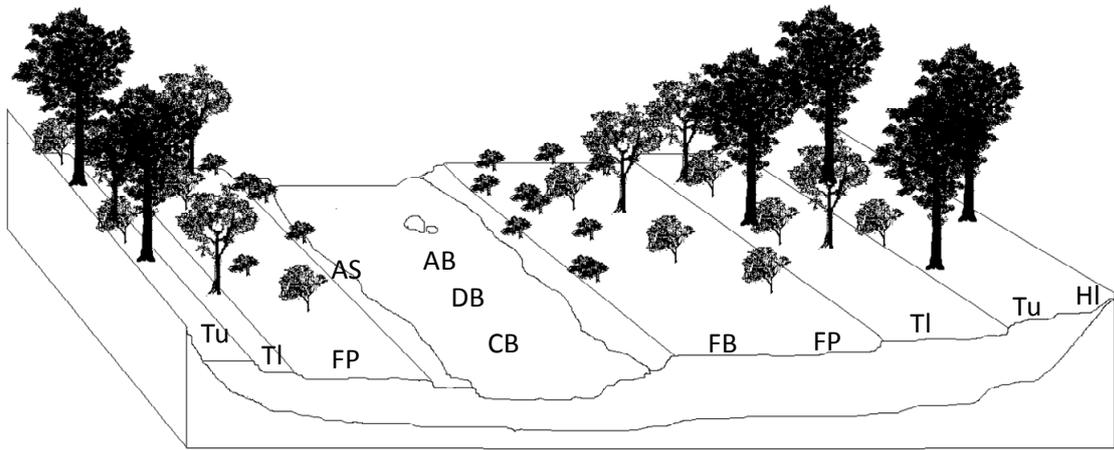


圖 3-1. 濱岸帶地形特點結構圖(修改自 Hupp and Osterkamp, 1996)。AB：河道沙洲邊界，AS：河道沙洲，DB：沈澱沙洲，CB：河道，FB：洪水平原邊界，FP：洪水平原區，Tl：低河階，Tu：高河階，HL：邊坡。

水分為決定植物生態系生產率的重要因素之一，然水分過多或太少對植物生長都不利的影響。淹水是一種水分逆境，其對植物代謝、生理和形態會產生影響(Parolin, 2001)，迫使植物處於周期或長期的厭氧或缺氧的狀態，限制植物的有氧呼吸和維持生命活動所需能量的產生，導致土壤還勢的降低和有毒物質的累積，進而影響植物的生長與存活(譚淑端等，2009)。洪氾干擾會造成濱岸植物受到定期或不定期的淹水，而不同濱岸植物會有不同的適應反映；即在淹水逆境下，濱岸植物經長期的進化與適應，在形態與生理生化的適應，不同種類具有不同的反應，其生長能力與存活率決定植物的對水淹的耐受能力(Mommer *et al.*, 2006)。植物可以透過一些形態適應方式逃避缺氧的環境，例如有些種類會形成較大的皮孔、莖的伸長或不定根(Chen *et al.*, 2002, Islam and Macdonald, 2004；薛豔紅等，2007；羅芳麗等，2007；呂金誠、曾喜育 2009)；有些植物的代謝途徑轉為無氧酵解能力(Malik *et al.*, 2001)。無法適應的種類，生理逐漸只能維持存活的基本代謝需求，植株外觀呈現葉片開始發黃和凋落、地上部生長減緩、生物量累積減少等特徵，若淹水逆境未解除，林木最後將會枯死(Mielke *et al.*, 2001；薛豔紅等，2007；羅芳麗等，2007)。

奧萬大國家森林遊樂區的楓林區連續在 2008 與 2009 年受到颱風的豪大雨致使溪水挾帶土石衝擊，造成楓林區林木遭土石掩埋至 5 m 以上，為非常特殊的氣候生態事件。經 1 年的監測調查發現，山肉桂、台灣檫、阿里山千金榆 (*Carpinus kawakamii*)、江某 (*Schefflera octophylla*)、山豆葉月橘 (*Murraya*

euchrestifolia)、青剛櫟(*Cyclobalanopsis glauca*)、栓皮櫟(*Quercus variabilis*)、臺灣赤楠(*Syzygium formosanum*)、台灣山香圓(*Turpinia formosana*)、臺灣朴(*Celtis formosana*)、細葉饅頭果(*Glochidion rubrum*)等為奧萬大國家森林遊樂區的濱溪植群中常見的樹種(鍾國基, 2005), 其對土石流與淹水逆境的耐受性較差, 在干擾受創後之枯死率多高於 80%; 楓香在干擾後林木死亡率是最低的。九芎(*Lagerstroemia subcostata*)受土石衝擊與淹水逆境後, 在樹幹基部開始發根的現象, 反映其對濱岸帶不定期干擾的適應。楓香、九芎等樹種對溪水淹浸、土石掩埋衝擊之逆境有較大的耐受性, 此 2 種樹種或可作為台灣低漥常淹水區域之植生復育, 或土石流區域之水土保持優先選擇之原生樹種。由濱溪植群之物種組成受到不同海拔、地形、坡度等生育地環境影響而異, 所受到洪氾干擾的程度和型式亦不同; 比較楓林區受土石衝擊與溪水淹浸的干擾型式(呂金誠、曾喜育, 2009), 其與一般洪氾單純的水淹逆境不同(薛豔紅等, 2007; 羅芳麗等, 2007), 而與台灣赤楊(*Alnus formosana*)等樹種在河床分布受到之干擾影響較為相似(郭礎嘉, 2009)。

2010 年(第 2 年)持續進行第 5-8 季之存活率監測顯示(呂金誠、曾喜育, 2010), 第 8 季秋季調查發現樣區內 856 株林木僅 108 株存活, 枯死率高達 88.78%。由於樣區內之楓香、九芎等樹種對溪水淹浸、土石掩埋衝擊之逆境有較大的耐受性, 此 2 種樹種或可作為低漥常淹水區域之植生復育, 或土石流區域之水土保持優先選擇樹種。2010 年於楓林區之監測樣區內部進行之小苗調查顯示, 楓林區在土石流干擾後 1 年多時間, 林地擾動減少, 繁殖體開始進入林床建立族群, 種子苗的種數與均勻度隨季節增加而增加。且其中小苗數量最多的種類為楓香, 佔所有小苗 96.58% 的絕對優勢。為尋找可替代楓林區或重新補植楓香之地點, 本研究於 2010 年在楓林區之監測樣區上方增設 230×110 m² 之對照樣區, 以了解監測樣區上方未受干擾林分之組成(呂金誠、曾喜育, 2010)。研究結果顯示, 其胸高直徑 3cm 以上的木本植物有 72 種, 以山肉桂 411 株最多, 前 5 名依次為山肉桂、青剛櫟(375 株)、楓香(237 株)、阿里山千金榆(241 株), 以及台灣櫟(181 株)。比較楓林區對照樣區與監測樣區組成樹種發現, 兩區的主要組成樹種大致相同。對照樣區內優勢度較高者亦多為落葉性樹種, 建議可利用林相整理和補植等方式重新形塑奧萬大之楓紅美景。

濱岸植群為一個生態過渡帶, 具有高度多樣性與環境不穩定的性質, 在管

理上有別與一般的森林環境。濱岸帶與濱岸植群是野生動物的重要棲息地，是溪流中粗木質碎屑和養分能量的來源、影響溪流的微氣候、保護溪流的水質等功能(張建春，2001；鄧紅兵等，2002)；然一個脆弱或不健康的濱岸帶無法保持陸地和水域生態系統之穩定。因此，對於濱岸植群的管理極其重要，將對保護流域內的各種生物多樣性及維護濱岸帶的各種功能具有重要的意義。因濱岸植群受到溪水不定週期的干擾影響，往往由具有忍受或逃避干擾能力的樹種(Parolin, 2002)，或演替初期的樹種組成，其種類之結構與分佈受到地形與微氣候影響呈現梯度變化；然楓香是否具有忍受或逃避干擾的能力？其對於豪雨造成土石流干擾是否具有回覆生機的能力？又此楓林區在土石衝擊與溪水淹浸干擾逆境下的演替狀態為何？等等的疑惑仍有待更進一步長期觀察才能了解。

肆、研究方法

本研究流程如圖 4-1 所示，各個細項分述如下；

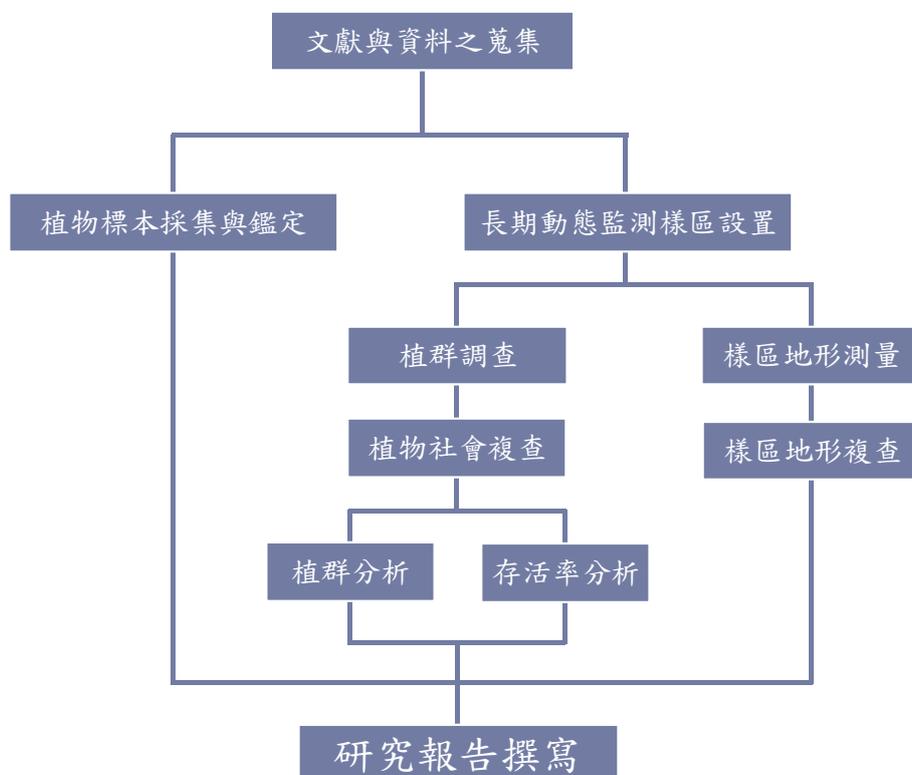


圖 4-1. 奧萬大楓林區長期監測計畫工作流程圖。

一、文獻與資源之蒐集

蒐集與奧萬大國家森林遊樂區相關之基本環境資料，包括地理位置、地質、土壤、氣候、衛星影像與地形圖等資料與文獻，初步了解調查區之環境概況，以了解此地區的經營施業狀況；前人相關植物、植群文獻加以蒐集、整理與分析。

二、植物標本採集與鑑定

進行植物清單調查、標本採集，並攜回研究室予以鑑定；調查之同時並進行幻燈片拍攝；植物標本進行編號，並存放在國立中興大學森林學系標本館以作為日後研究參考。

三、長期動態監測樣區設置與植群調查

本研究於楓林區設置長期動態監測樣區進行調查研究，樣區內劃設 $10 \times 10 \text{ m}^2$ 之小樣區；調查時將植物分喬木層(overstory)及地被層(understory)，凡樣區

內之樹木胸徑(diameter at breast height, DBH)大於 1 cm 者，列入喬木層，逐株量記其胸高直徑、記錄種類；其他胸高直徑小於 1 cm 之樹種及草本、蕨類等維管束植物，則列為地被層，記錄種類及其覆蓋面積。此外，並針對樹高 1.5 m 以上，胸高直徑 > 1 cm 之林木進行位置標示、掛牌與編號、樹種鑑定、量測胸高直徑，以及樣區內林木相對位置距離量測等工作。並於長期監測樣區上方未遭土石淹埋之區域，增設 230 × 100 m² 之對照樣區，調查方法同楓林區長期監測樣區，其結果提供兩個相近的試驗地的比較，供作未來楓林區人工生態復育之參考(圖 4-2)。

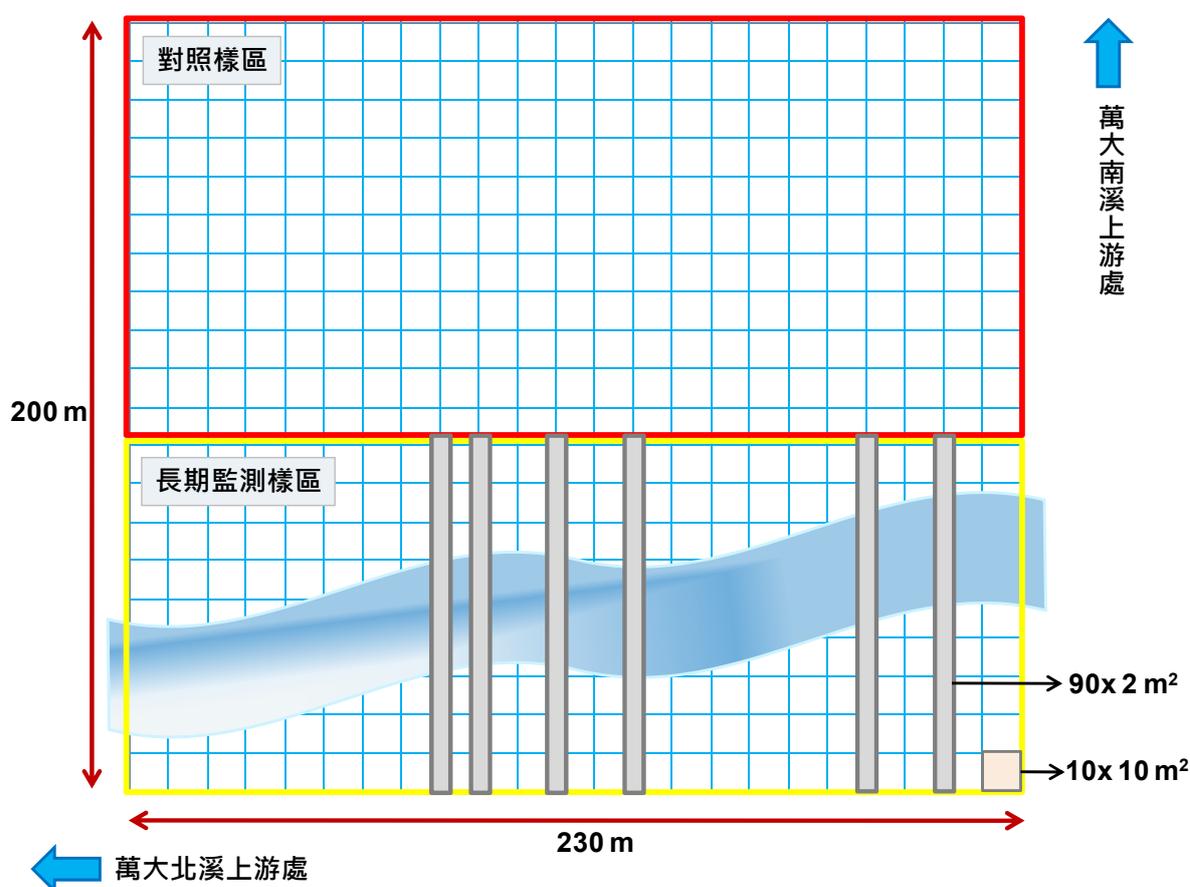


圖 4-2. 奧萬大楓林區長期監測樣區與對照樣區示意圖。

四、植群分析

首先對野外調查原始資料之植物種類進行編碼，於文書處理軟體輸入樣區、植物種類代碼、各株之胸徑或覆蓋度後，再轉換成資料庫格式。樣區之植物社會介量以重要值指數(importance value index, IVI)表示。計算各種植物在小樣區中之密度及優勢度，再轉換成相對值並加總成為植物社會之重要值指數，

其意義代表某種植物在林分樣區中所佔有之重要性。有關各計算公式如下：

$$\text{密度(density)} = \frac{\text{某種植物株數之總和}}{\text{所調查之總樣區數}}$$

$$\text{地被層優勢度(dominance)} = \frac{\text{某種植物覆蓋面積總和}}{\text{所調查之總樣區數}}$$

$$\text{相對密度(relative density)\%} = \frac{\text{某種植物之密度}}{\text{所有植物密度之總和}} \times 100\%$$

$$\text{相對優勢度(relative dominance)\%} = \frac{\text{某種植物優勢度}}{\text{所有植物優勢度之總和}} \times 100\%$$

$$\text{喬木層重要值指數} = \text{相對密度} + \text{相對優勢度} = 200$$

$$\text{地被層重要值指數} = \text{相對頻度} + \text{相對優勢度} = 200$$

相似性指數(IS)之計算係採用 Motyka et al.(1950)之公式：

$$IS\% = \frac{2Mw}{Ma + Mb} \times 100\%$$

式中 Ma 為 a 樣區中所有植物介量之總和

Mb 為 b 樣區中所有植物介量之總和

Mw 為兩樣區中共同出現植物之較小介量的總和

以上計算使用呂金誠氏以 BASIC 及 CLIPPER 語言所設計之 COMB 及 CLUSTER 程式(呂金誠、歐辰雄，1996)運算，最後再利用計算所得之樣區連結相似性百分率繪製樹形圖(dendrogram)，對植物社會進行分類。

五、存活率調查

針對長期動態監測樣區內之各樹種進行每季之存活/枯死等生長狀態調查，分析比較各季節樹種之存活率，及其生長位置(相對於河岸距離)對其存活率之影響(圖 4-3、4-4)。

六、植物社會之複查

每季進行長期動態監測樣區內之 3 條樣帶的地被植物種類組成與覆蓋之調查(圖 4-3、4-4)。

七、長期動態監測樣區之地形測量

每季進行長期動態監測樣區之植物社會複查同時，進行地形之測量(圖 4-3、4-4)，並以 Surfer 32 軟體繪製樣區之地形圖，了解楓林區之地形季節變化狀態。



圖 4-3. 奧萬大楓林區長期監測樣區設置、地形測量，以及樣木調查、標號。



圖 4-4. 奧萬大楓林區長期監測樣區之地形複測，以及樣木存活、位置、標號之複查。

伍、結果與討論

一、長期監測樣區環境

(一)樣區微氣候

自 2009 年 3 月 17 日至 2011 年 10 月 17 日止，於楓林區長期監測樣區掛設環境資料收集器(Data log)(包括濕、溫度計及光、溫度計)，進行相對濕度、溫度及光度資料收集(圖 5-1~5-3)。因其中一組 Data log 於 2009 年 11 月 07 日複查時遭土石沖失，另於 2010 年 1 月 8 日新增濕、溫度計及光、溫度計各 1 組，並於 5 月 25 日新增 4 組光、溫度計。樣區監測期間的 Data log 顯示，林內的相對濕度平均為 84.33%，然在夏秋之季最低可達 60%以下(圖 5-1)。林內的平均溫度為 18.4°C(圖 5-2)，每年平均溫度最高之月份各為 2009 年 7 月(22.8°C)、2010 年 8 月(22.0°C)及 2011 年 7 月(23.2°C)；每年平均溫度最低之月份各為 2009 年 12 月(12.3°C)、2010 年 12 月(12.3°C)及 2011 年 1 月(11.5°C)。最高溫 45.6°C 發生在 2011 年 7 月 27 日，可能為樹幹吸熱時致使 Datalog 感應器吸收熱量所致；最低溫 0.4°C 發生在 2010 年 12 月 27 日。Data log(21-7-4)於 2011 年 7 月 27 日收取資料時發現已掉落於地面，其溫度資料於 6 月份後呈現異常偏高的情形(最高溫可達 66.7°C)(圖 5-2f)，此時期之異常溫度未列入分析，僅於圖中呈現。

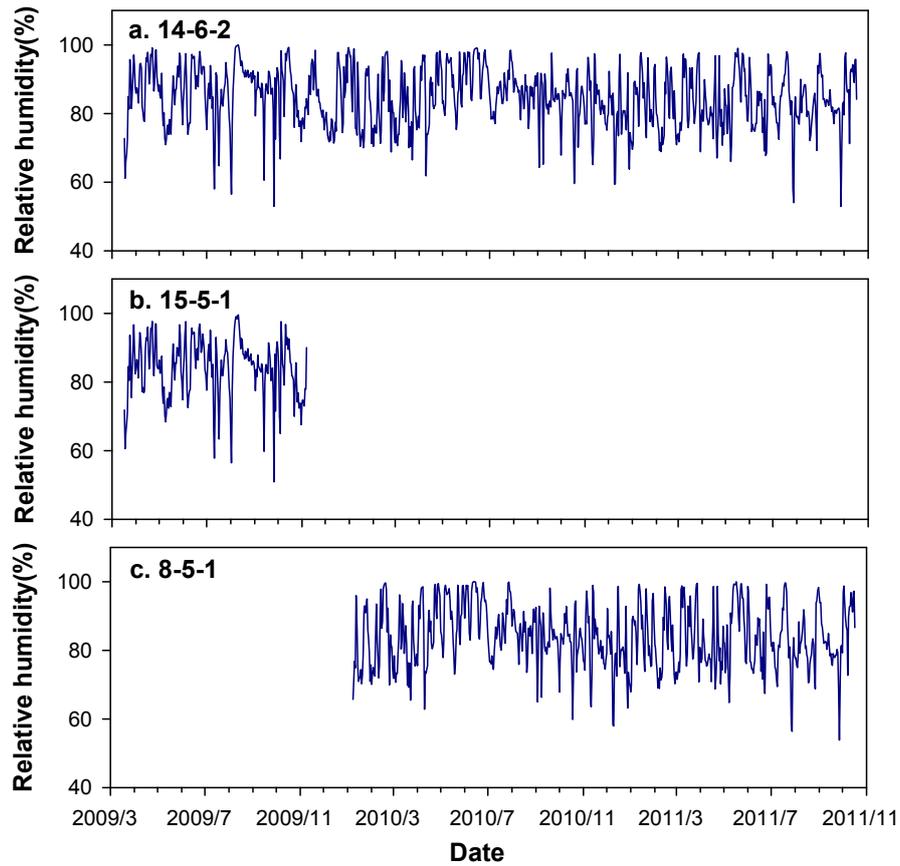


圖 5-1. 奧萬大楓林區長期監測樣區相對濕度變化圖。
各小圖數字表示環境資料收集器所在小樣區位置。

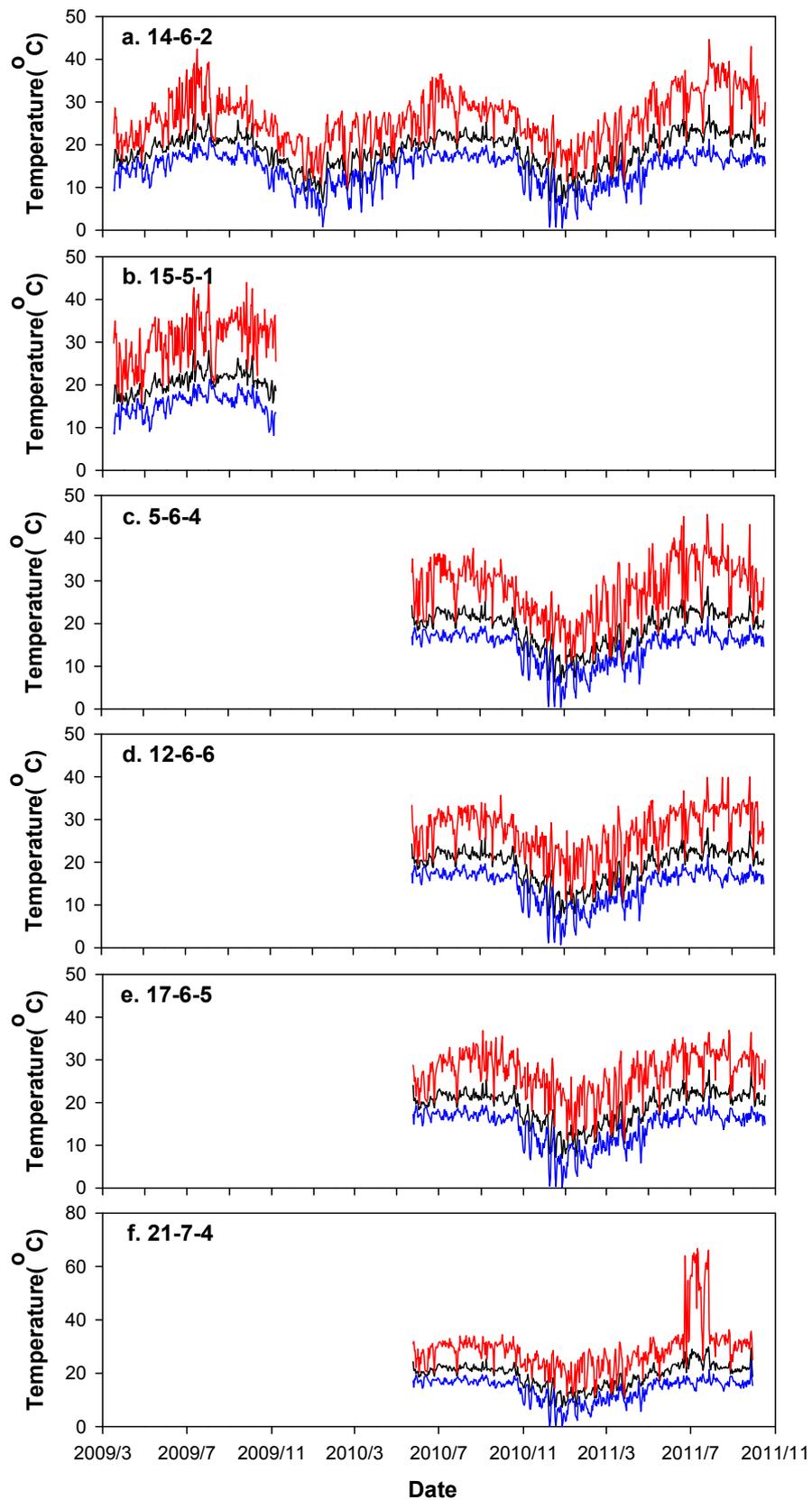


圖 5-2. 奧萬大楓林區長期監測樣區氣溫變化圖。

紅色為每日最高溫，黑色為每日平均溫度，藍色為每日最低溫；
各小圖數字表示環境資料收集器所在小樣區位置。

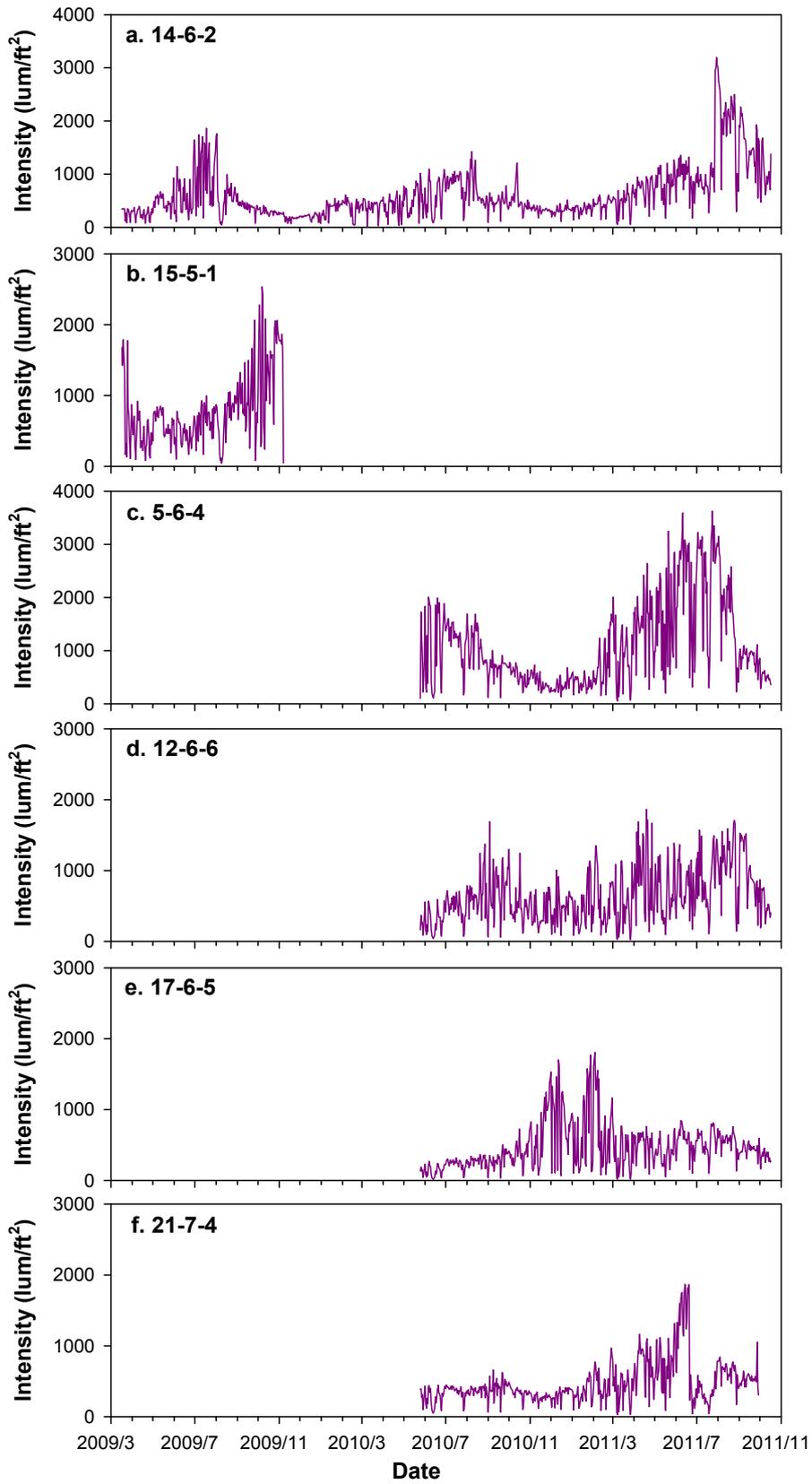


圖 5-3. 奧萬大楓林區長期監測樣區氣溫變化圖。
各小圖數字表示環境資料收集器所在小樣區位置。

(二)研究期間單日降雨變化

由 2008 年至 2011 年 10 月的萬大氣象降雨資料發現(圖 5-4)，本區單日降雨較大的時間皆為颱風，其中 2008 年的辛樂克單日最大降雨超過 500 mm，已超過中央氣象局超大豪雨 350 mm/24 hr 的標準(交通部中央氣象局，2004)；而卡梅基、鳳凰、薔蜜颱風，以及 2009 年莫拉克颱風單日最大降雨超過 250 mm，亦已超過大豪雨 200 mm/24 hr 的標準；今年侵襲台灣的颱風主要有艾利、桑達等 5 個，數量雖較前 3 年為多，但其所挾帶之雨量對於奧萬大地區影響較小，然於 2011 年 10 月初之台灣北部及中部地區受東北季風及西南氣流的共伴效應影響，造成連日豪雨，其單日雨量雖較梅花颱風時為少，但對於中部地區影響頗大(交通部中央氣象局，2004)。

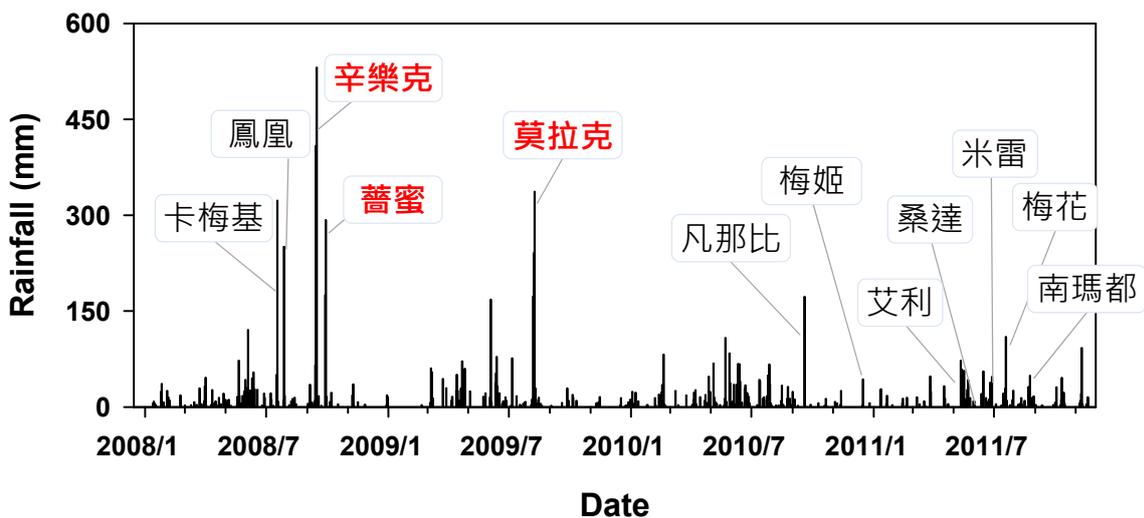


圖 5-4. 奧萬大國家森林遊樂區 2008 年 1 月至 2010 年 10 月每日降雨變化圖與主要影響颱風關係(萬大氣象站)。

(三)地形變化

本研究將長期監測樣區地形測量結果繪製成等高線圖(圖 5-5)，各時期時之長期監測樣區照片如圖 5-6。第 1 次地形測量結果反應出楓林區於 2008 年數次颱風挾帶豪雨造成萬大北溪改道，不僅造成萬大北溪流經楓林區，楓林區亦遭受土石衝擊掩埋，長期監測樣區高程落差約 14 m(圖 5-5a)。搭配樣區樹種存活調查並第 2 次地形複測，以了解不同時期地形地貌改變狀態。雖然 2 次調查期間無強度較大降雨發生，河道位置與地形仍發生變動，樣區高程落差約減少

2 m (圖 5-5b)。第 3 次調查時，歷經梅雨季的較大降雨量關係，不僅河道發生改變，土石堆積增加，樣區高程落差達 19 m (圖 5-5c)。

然 2009 年 8 月 8 日莫拉克颱風帶來豐沛的降雨，致使萬大南溪與萬大北溪的河床土石再堆高 3 m 以上，萬大北溪河道由樣區內改流經樣區外，楓香林不再受萬大北溪的淹浸，樣區地形高程落差達 22 m (圖 5-5d)。推測河床土石增高的原因是第 21、22 林班萬大溪兩岸地形陡峭，地質非常不穩，植被難以依附，加上歷年颱風沖蝕，加上九二一地震影響，造成大面積崩塌(圖 2-2)；一但上流集水區降雨，溪水量便增加挾帶土石沖刷、沈積，進而改變楓林區之微地貌。汪靜明(1992)指出，台灣地形坡度大、地質不穩和雨季集中，導致台灣河川具有河床比降大、流量變化大、侵蝕旺盛、含沙量大等特性有關，致使在連續豪雨或颱風侵襲時，極易發生山洪暴發與流道變遷異常等現象。

經重複測量長期監測樣區 3 條樣帶之 3 m 樣木的高度標記，以了解不同季節之溪水挾帶土石堆積或沖刷造成的高程差。第 1 季與第 2 季平均高程差為 5.5 cm，第 2 季與第 3 季的平均高程差為 47.6 cm，顯示在辛樂克颱風堆積的土石被溪水沖刷而加深；然第 3 季與第 4 季高程差因莫拉克颱風挾帶大量土石堆積樣區中，將樣木 3 m 標記幾乎完成覆蓋，顯示莫拉克颱風造成的土石堆積至少有 350 cm 以上(圖 5-6)。

在長年有水的溪流，因豐水期與枯水期的季節變化以及洪氾的發生，溪水流量變化產生的侵蝕與沈積作用致使溪岸地文呈現河階地形(Hupp and Osterkamp, 1996)。楓林區在未遭受颱風豪雨侵蝕前，為一明顯之河階台地，高於萬大北溪與萬大南溪之河道甚高，以往賞楓遊客必需經由楓林吊橋才能到達楓林區。由於萬大北溪、萬大南溪上流早期有大面積崩塌地，加上在卡孜基、鳳凰、辛樂克與蕃蜜等颱風連續侵襲(尤以辛樂克與蕃蜜影響最甚)，降雨日過度集中，短短數日降下數百毫米雨量，致使大量土石伴隨洪水而下，河床為土石抬升，萬大北溪挾帶大量土石而下，楓林區遭到溪水沖刷與土石衝擊、堆積，萬大北溪改道流經楓林區(圖 5-6)。在長年有水的溪流，因豐水期與枯水期的季節變化以及洪氾的發生，溪水流量變化產生的侵蝕與沈積作用致使溪岸地文呈現河階地形(Hupp and Osterkamp, 1996)。

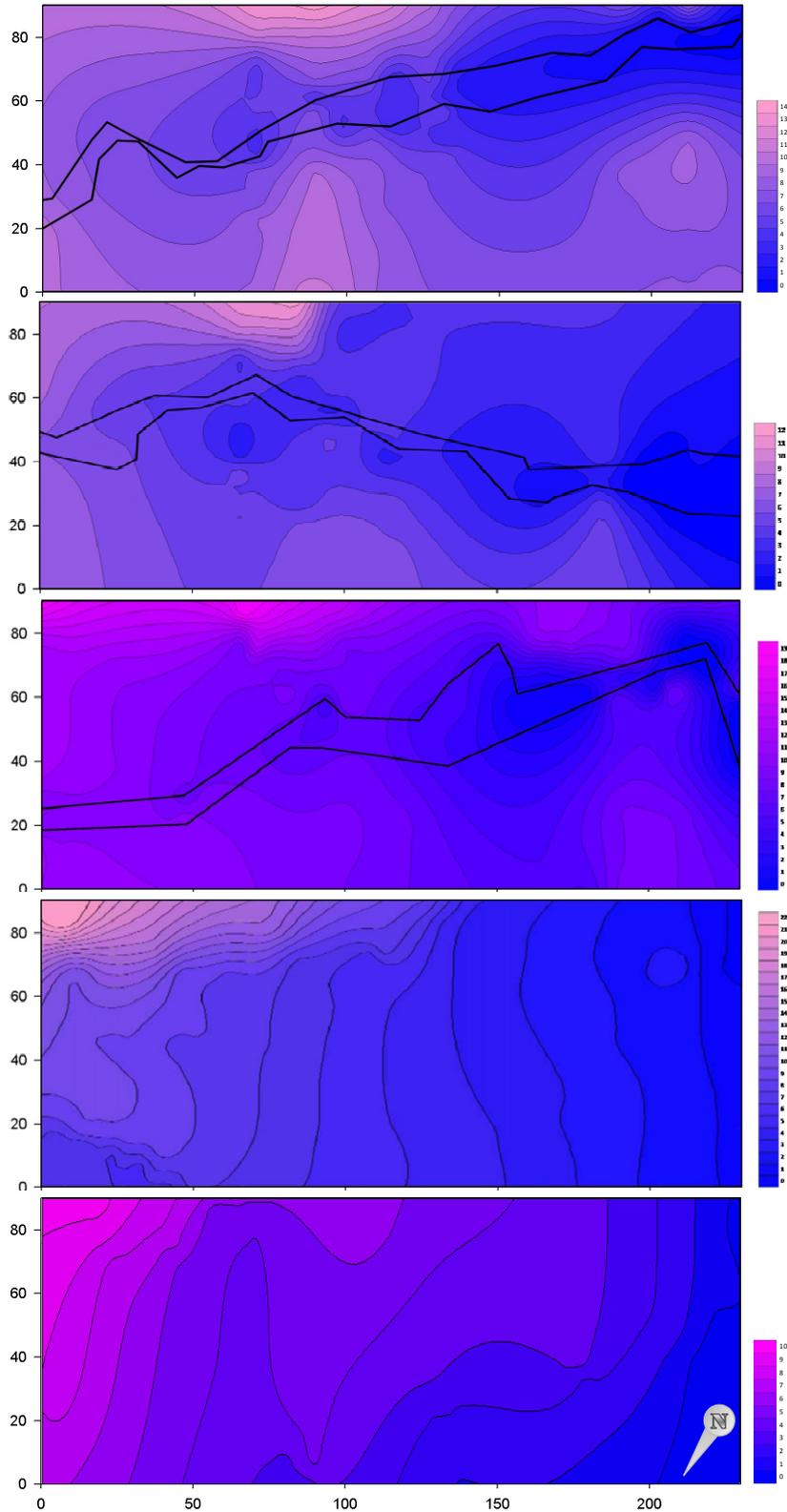


圖 5-5. 奧萬大楓林區長期監測樣區地形變化。a. 2009 年 1 月(辛樂克風災後)，b. 2009 年 3 月，c. 2009 年 8 月(莫拉克風災前)，d. 2009 年 11 月(莫拉克風災後)，e. 2011 年 10 月



圖 5-6. 奧萬大楓林區長期監測樣區內河道於調查期間之變化。

由於 2010 年上半年調查期間缺乏較大量的降水，以及為保護楓林區之楓香，管理處在楓林區萬大北溪沿岸設置生態堤岸；因此，長期樣區內在 2010 年度上半年地形幾無明顯變化，樣區內地勢相對平坦。由長期監測區萬大北溪上游至下游約 230 m 長的距離，高程落差約 11 m(圖 5-7)。2010 年 9 月的凡那比颱風豪大雨，挾帶大量土石，致使萬大北溪河道再堆積，土石堆積高度接近楓林區生態堤岸；在萬大北溪下遊與萬大南溪匯流處，因楓林區末端缺乏堤岸，使得萬大北溪沖刷楓林區邊緣，楓林區沒有太大的地形改變。

然於今(2011)年 10 月 17 日進行樣木存活率調查時，發現樣區內林床之砂石受萬大北溪漫流之故遭沖離，砂石累積高度約下降 0.3-1.2m(圖 5-7)。該次調查再次進行地形量測工作，整體而言靠近山坡(遠離河道方向)及上游的部分被侵襲深度較多。由於楓林區位於萬大北溪及南溪之行水區間，因 10 月份東北季風與西南氣流之共伴效應帶來連日豪雨而造成萬大北溪溪水暴漲，溪水越過生態堤岸進入楓林區內，除使河道改道並改變楓林區之地貌，而後於溪水量減少後河道恢復至生態堤岸外圍；爾後於連日豪雨過後楓林區堆積的土石應會持續地被溪水沖刷帶走，如萬大北溪未再次發生大規模之土石流，楓林區之地貌應可持續發展為河階地形(圖 5-8)，然由於上游累積之土石隨時有崩落的可能，故楓林區之地形發展方向充滿不確定性。



圖 5-7. 奧萬大楓林區長期監測樣區 2010 年 10 月樣區地形改變之現狀。

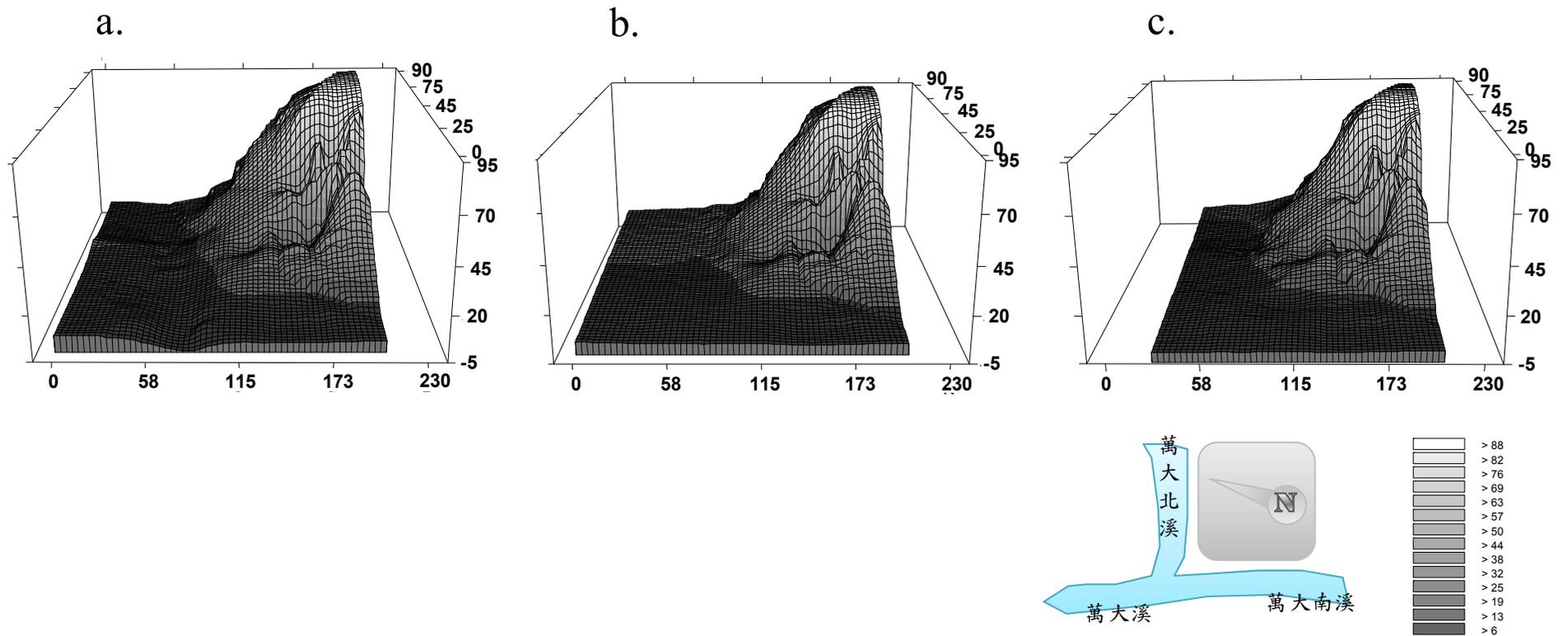


圖 5-8. 奧萬大楓林區長期監測樣區地形變遷。a. 2009 年 1 月(辛樂克風災後)，b. 2009 年 11 月(莫拉克風災後)，c. 2011 年 10 月。

二、楓林區長期監測樣區土石掩埋後林木生長與活存調查

本研究於楓林區長期監測樣區共調查 49 科 73 屬 87 種植物(植物名錄詳如附錄)。由於長期監測樣區設置時間在楓林區土石掩埋發生之後，因此植物種類清單僅能反映出事件發生後之種類與其分布現況。其中，蕨類植物有 10 科 16 屬 17 種，除槲蕨(*Drynaria fortunei*)、伏石蕨(*Lemmaphyllum microphyllum*)、絨毛石葦(*Pyrrosia linearifolia*)等附生蕨類可見於土石掩埋樣區內之林木枝幹上外(圖 5-8a~6c)，其餘地生蕨類僅出現在未受沖刷與土石的掩埋、衝擊的坡上。雖然本區有數量豐富的台灣五葉松(*P. morrisonicola*)與台灣二葉松(歐辰雄等，1989；鍾國基，2005)，但樣區內僅出現 1 株台灣二葉松之稚樹。雙子葉植物 32 科 52 屬 55 種，除未被沖刷帶走之林木與在其植株附生或寄生植物，其餘草本植物與木本植物之種子苗和稚樹等物種亦多僅在未受土石掩埋區域發現。單子葉植物 6 科 14 屬 14 種，僅附生蘭如大蜘蛛蘭(*Chilochista segawai*)、台灣松蘭(*Gastrochilus formosanus*)(圖 5-9d)等，其餘多僅分布於未受土石掩埋之區域。



圖 5-9. 奧萬大楓林區長期監測樣區內附生植物種類。a. 槲蕨；b. 伏石蕨；c. 絨毛石葦；d. 台灣松蘭。

第 1 年第 3 季調查時開始發現，附生植物因其宿主漸漸枯死而生長勢亦逐漸衰退，部份種類於隨後觀察發現逐漸枯死；待宿主的樹皮開始剝落時，附生其上的植物亦開始掉落林床而死亡。寄生植物多為寄生於楓香的桑寄生，多數種在寄主植物開始枯萎時亦逐漸枯死。

由於本區經溪水沖刷與土石衝擊掩埋區之地被植物多已不復存在，因此僅針對樣區內直徑 3 cm 以上之喬木層進行分析。調查分析結果顯示，長期監測樣區內，胸高直徑大於 2 cm 之林木共計 1,201 株，其中喬木以楓香數量最多，計有 261 棵，其次依序為台灣欖(189 株)、山肉桂(159 株)、江某 (92 株)以及青剛櫟 (90 株)等，此 5 種植物為本區最主要優勢之喬木層(表 5-1)，為構成本區主要之林冠組成，屬於萬大溪濱溪植群中的山肉桂型楓香亞型之植物社會(鍾國基，2005)。

表 5-1. 奧萬大楓林區長期監測樣區(90m×230 m)前 20 名主要組成樹種之株數、相對密度、胸高斷面積、相對優勢度、重要值

物種	株數	相對密度	胸高斷面積(cm ²)	相對優勢度	重要值
楓香	261	21.73	252,696.20	63.44	85.17
台灣欖	186	15.49	53,315.63	13.38	28.87
山肉桂	159	13.24	20,096.17	5.04	18.28
青剛櫟	92	7.66	19,247.05	4.83	12.49
江某	90	7.49	9,423.49	2.37	9.86
阿里山千金榆	50	4.16	9,128.74	2.29	6.45
栓皮櫟	15	1.25	13,092.84	3.29	4.54
台灣赤楠	37	3.08	585.11	0.15	3.23
細葉饅頭果	26	2.16	961.25	0.24	2.41
山豆葉月橘	24	2.00	1,120.20	0.28	2.28
台灣朴	26	2.16	360.89	0.09	2.26
香楠	22	1.83	654.25	0.16	2.00
九芎	11	0.92	3,704.13	0.93	1.85
瓊楠	18	1.50	612.31	0.15	1.65
菜木	14	1.17	1,472.58	0.37	1.54
長梗紫芋麻	16	1.33	166.71	0.04	1.37
竹葉楠	14	1.17	182.72	0.05	1.21
小葉桑	12	1.00	267.20	0.07	1.07
台灣山香圓	11	0.92	422.31	0.11	1.02
中國柃木	9	0.75	216.69	0.05	0.80
其他*	108	8.99	10,621.37	2.67	11.66
總計	1,201	100.00	398,347.82	100.00	200.00

*註：前 20 名主要組成樹種之外的樹種和無法鑑定樹種者歸類至其它樹種。

檢視長期監測樣區之林分結構(stand structure)發現，主要組成樹種之徑級分布不甚相同，僅楓香徑級分布呈鐘形分布(圖 5-10a)，台灣檫、山肉桂、青剛櫟、江某、阿里山千金榆等樹種之徑級分布呈反J型(圖 5-10b~7f)，此結果與鍾國基(2005)研究結果大致相符。鍾國基(2005)認為楓香雖為此植物社會主要優勢樹種，但林下缺乏楓香小苗或稚樹，最終將由山肉桂、青剛櫟等耐陰性樹種取代。

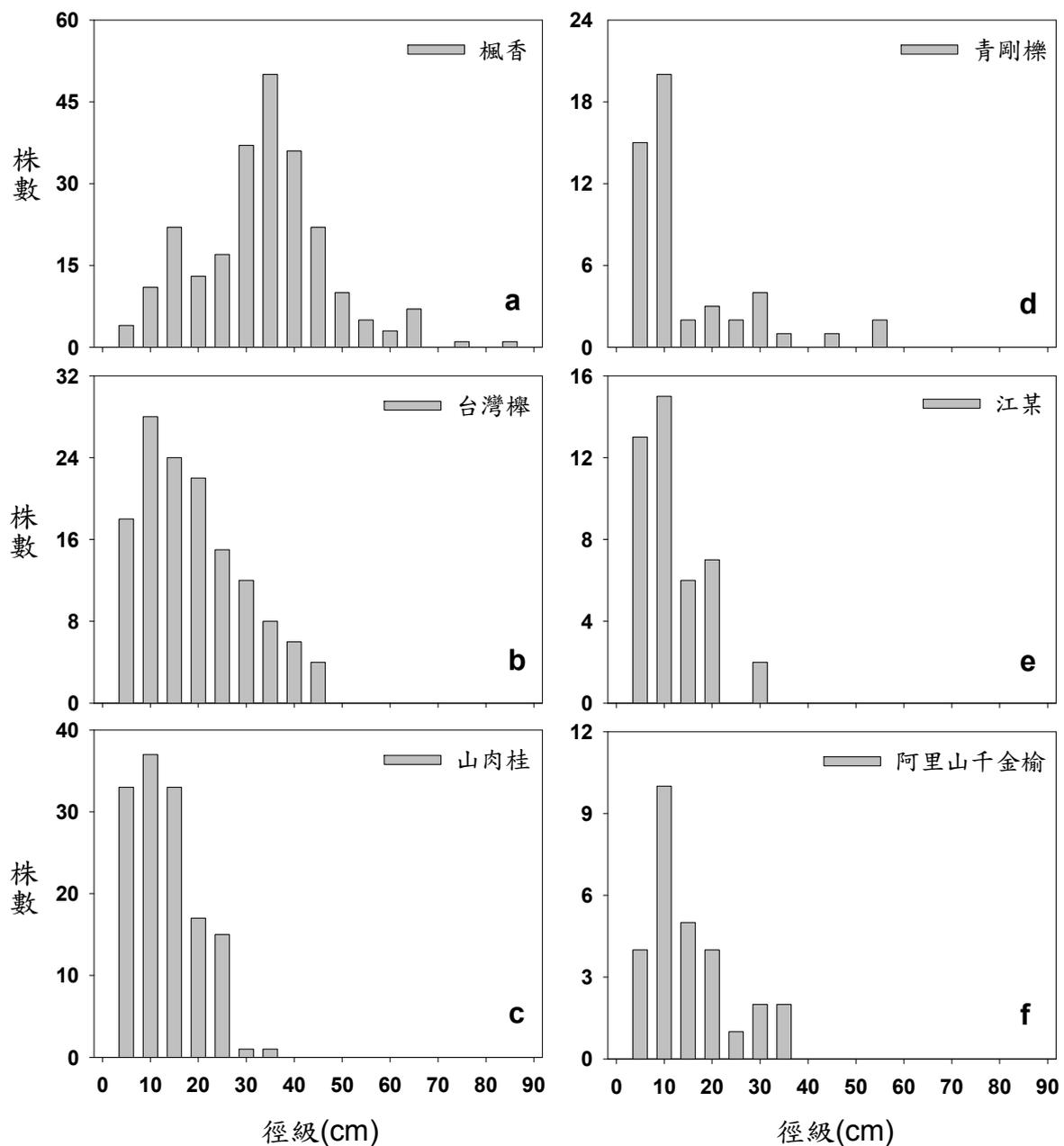


圖 5-10. 奧萬大楓林區長期監測樣區主要組成樹種之徑級分布圖。

為了解土石衝擊與溪水淹浸對楓林區林木生長與活存之影響，除統計在樣區內遭土石流掩埋株數外，並在第 1 季開始調查同時選擇定點及固定樣株方式，拍照觀察樣株在干擾過後的生長與存活情形(圖 5-11~5-21)。監測樣區內原計 799 株林木在楓林區遭土石掩埋，於莫拉克風災後再次確認遭掩埋的區域將遭掩埋株數增加為 856 株，新增株數多位於較上坡的部分遭掩埋情形較輕微(表 5-2、5-3、5-4)；其中佔株數較多的前 5 名種類分別為楓香(241 株)、台灣檫(142 株)、山肉桂(138 株)、青剛櫟(51 株)、江某(47 株)，株數佔前 5 名的樹種株數和約佔土石掩埋區的總株數的 72.31%，楓香株數約 28.15%。

歷經辛樂克、莫拉克颱風土石衝擊與溪水淹浸干擾，土石掩埋區第 1 季調查 799 株樹木遭到萬大北溪沖刷與土石堆積掩埋，其中枯死株數有 225 株，枯死率 28.16%；第 1 季存活 574 株喬木，在第 2 季調查有 97 株陸續枯死，計 477 株存活，枯死率下降為 16.90%；第 3 季調查 477 株存活的林木中有 167 枯死，枯死率升高至 35.01%，累計枯死率 61.20%(表 5-2~4)。因莫拉克颱風侵襲，第 4 季調查時楓林區土石堆積高度再增加超過 3 m，致使楓林區遭土石衝擊掩埋範圍加大，新增有 57 株被土石流影響，多屬較耐陰之樹種例如長梗紫苧麻、山豆葉月橘、竹葉楠(*Litsea elongata*)、青剛櫟、台灣檫等植物之稚樹。其中竹葉楠、長梗紫苧麻、山豆葉月橘、台灣赤楠、台灣朴等在本次新增掩埋個體中，枯死率超過 50%，反映其對於溪水與土石流的衝擊缺乏耐受性。前 3 季存活個體加上新增掩埋株數共 367 株中，在第 4 季有 93 株枯死，枯死率為 25.34%。第 1 年累積 4 個季節總共枯死 582 株，總枯死率為 67.99%(表 5-2~4)。

第 1 年之 4 個季節樣區林木存活率比較結果，第 1 季調查結果顯示，土石淹埋與衝擊對於林木直接傷害的影響甚劇，部分樹種如山櫻花(*Prunus campanulata*)、江某，或胸徑較小的林木，其樹皮因土石衝擊而遭剝開，致使第 1 季枯死率高達 28.16%(表 5-4)。在第 2 季調查時發現，可能因缺乏較大的土石淹埋、衝擊的影響，或者在第 1 季調查時已衰弱但未死亡的林木，於第 2 次調查才死亡等因素，致使在第 1 季存活下來的林木枯死數量下降。第 3 季調查時發現，有些在第 1、第 2 季受創萌發新葉的植株，例如山肉桂、台灣檫等樹種在第 3 季調查時多數已枯死；此可能因第 3 季為研究區域的夏季，屬非常濕熱環境，河床礫石溫度高，而 Datalog 監測樣區氣溫亦發現 7 月的氣溫最高可達 42°C，此對於遭受土石衝擊、掩埋和溪水淹浸等逆境下，受創林木在生理生化衰退情況更容易導致枯死。



圖 5-11. 奧萬大楓林區長期監測樣區外側遭受土石衝擊掩埋後不同時間定點拍攝。



圖 5-12. 奧萬大楓林區長期監測樣區內部遭受土石衝擊掩埋後不同時間定點拍攝。



圖 5-13. 奧萬大楓林區長期監測樣區遭受土石衝擊掩埋後楓香樣株 1 不同時間定點拍攝監測存活情形。



圖 5-14. 奧萬大楓林區長期監測樣區遭受土石衝擊掩埋後楓香樣株 2 不同時間定點拍攝監測存活情形。



圖 5-15. 奧萬大楓林區長期監測樣區遭受土石衝擊掩埋後楓香樣株 3 不同時間定點拍攝監測存活情形。

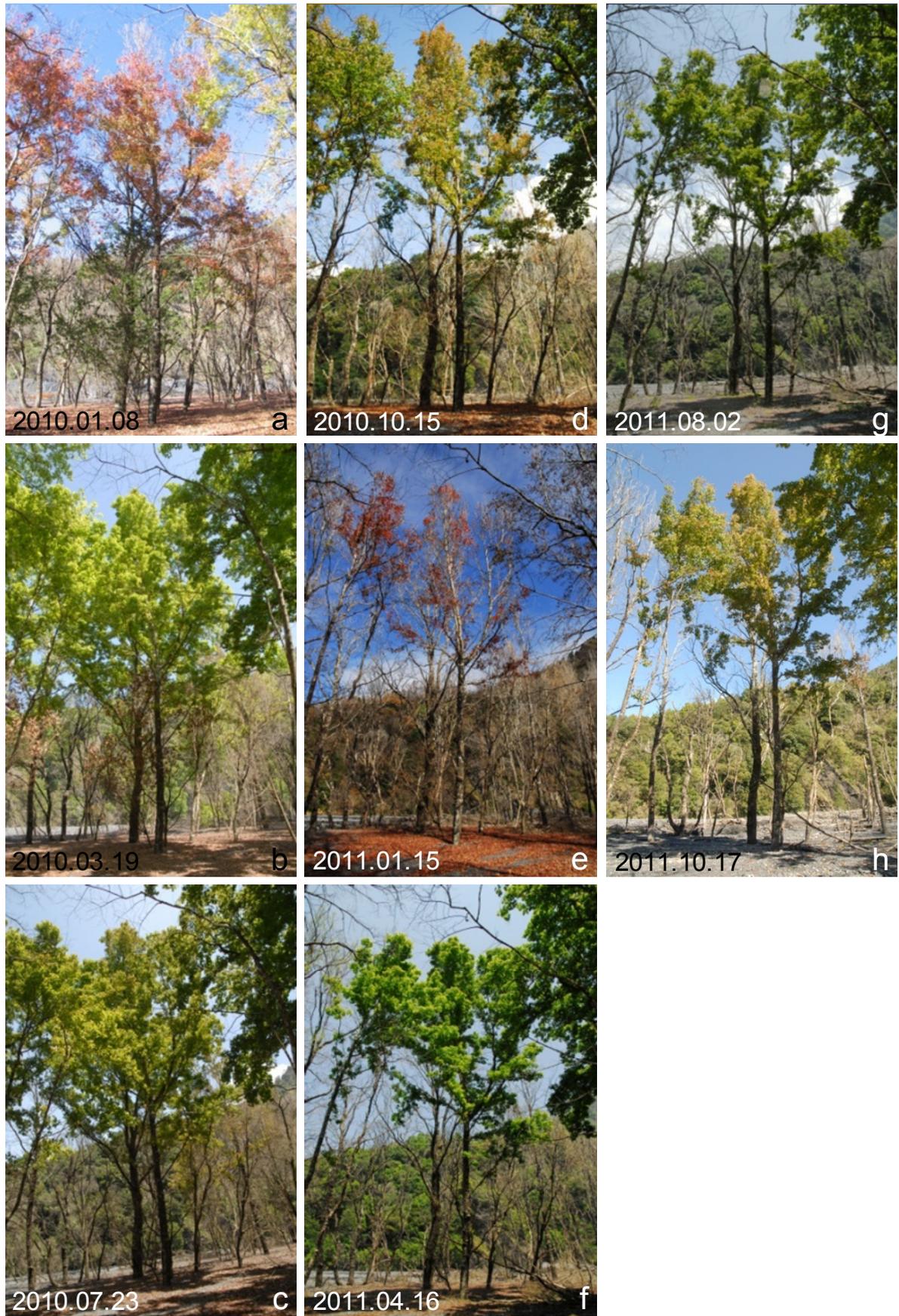


圖 5-16. 奧萬大楓林區長期監測樣區遭受土石衝擊掩埋後楓香樣株 4 不同時間定點拍攝監測存活情形。



圖 5-17. 奧萬大楓林區長期監測樣區遭受土石衝擊掩埋後楓香樣株 5 不同時間定點拍攝監測存活情形。



圖 5-18. 奧萬大楓林區長期監測樣區遭受土石衝擊掩埋後楓香樣株 6 不同時間定點拍攝監測存活情形。



圖 5-19. 奧萬大楓林區長期監測樣區遭受土石衝擊掩埋後楓香樣株 7 不同時間定點拍攝監測存活情形。



圖 5-20. 奧萬大楓林區長期監測樣區遭受土石衝擊掩埋後楓香樣株 8 不同時間定點拍攝監測存活情形。

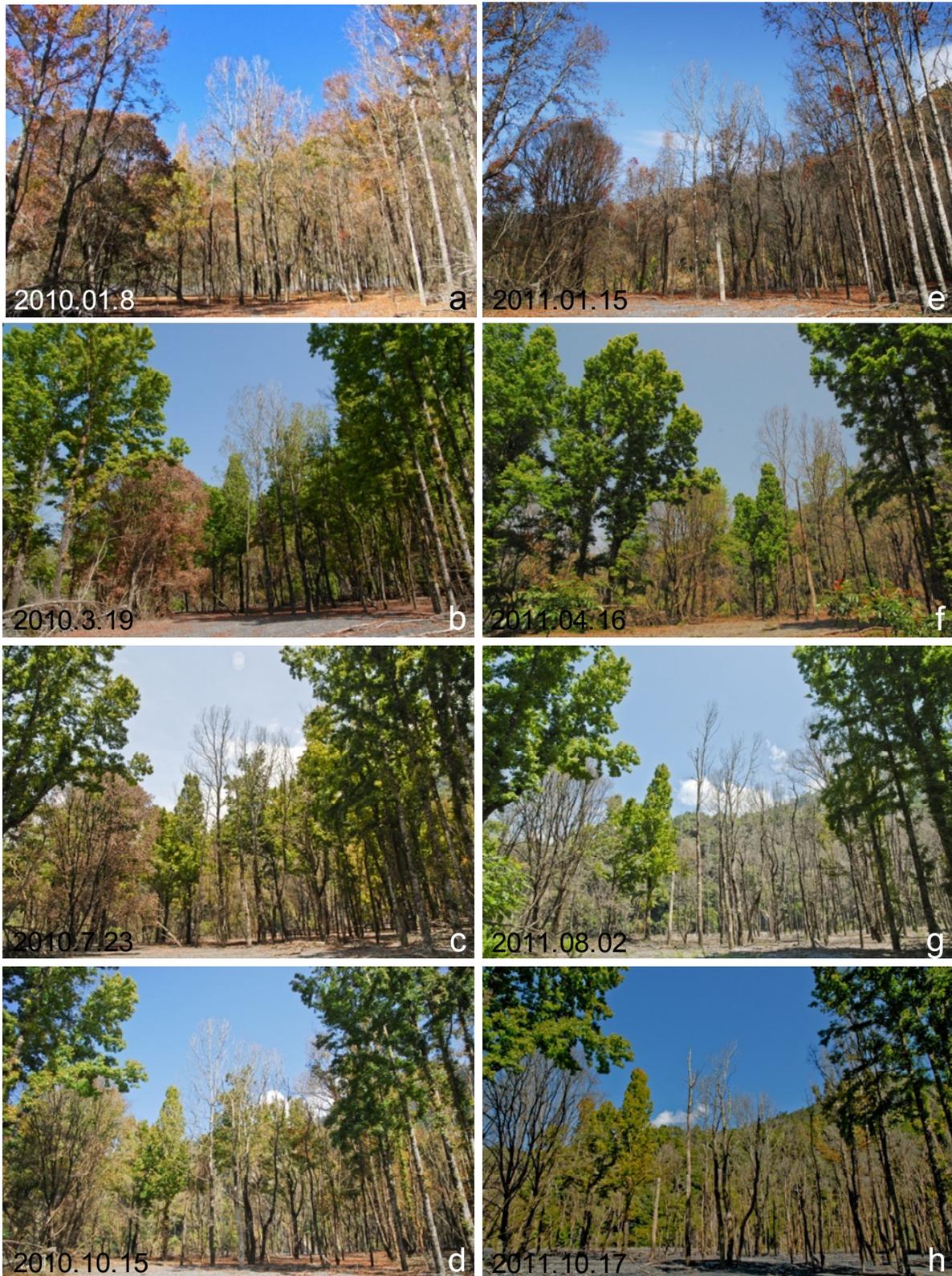


圖 5-21. 奧萬大楓林區長期監測樣區遭受土石衝擊掩埋後楓香樣株 9 不同時間定點拍攝監測存活情形。

表 5-2. 奧萬大楓林區長期監測樣區(90 m×230 m)遭土石衝擊後主要樹種各季節存活株數與存活率變化

物種	遭土石掩埋株數 ¹	單季枯死株數/枯死率																							
		第一季		第二季		第三季		第四季		第五季		第六季		第七季		第八季		第九季		第十季		第十季		第十季	
		株數	(%)	株數	(%)	株數	(%)	株數	(%)	株數	(%)	株數	(%)	株數	(%)	株數	(%)	株數	(%)	株數	(%)	株數	(%)	株數	(%)
楓香	241(235/6)	225	95.74	223	94.89	201	85.53	193	80.08	176	73.03	160	66.39	100	41.49	61	25.31	61	25.31	37	15.35	21	8.71	18	7.47
臺灣檫	142(137/5)	108	78.83	83	60.58	23	16.79	14	9.86	10	7.04	8	5.63	7	4.93	7	4.93	7	4.93	7	4.93	7	4.93	7	4.93
山肉桂	138(132/6)	96	72.73	62	46.97	18	13.64	15	10.87	9	6.52	6	4.35	5	3.62	5	3.62	5	3.62	5	3.62	5	3.62	2	1.45
青剛櫟	51(43/8)	19	44.19	17	39.53	9	20.93	7	13.73	2	3.92	2	3.92	2	3.92	2	3.92	2	3.92	2	3.92	1	1.96	1	1.96
江茛	47(46/1)	12	26.09	6	13.04	5	10.87	5	10.64	5	10.64	5	10.64	5	10.64	5	10.64	5	10.64	5	10.64	5	10.64	4	8.51
阿里山千金榆	27(27/0)	17	62.96	10	37.04	4	14.81	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
臺灣朴	19(15/4)	2	13.33	2	13.33	1	6.67	1	5.26	1	5.26	1	5.26	1	5.26	1	5.26	1	5.26	1	5.26	1	5.26	1	5.26
香楠	16(16/0)	8	50.00	5	31.25	3	18.75	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
細葉饅頭果	15(13/2)	12	92.31	11	84.62	5	38.46	4	26.67	3	20.00	3	20.00	3	20.00	2	13.33	2	13.33	2	13.33	2	13.33	1	6.67
栓皮櫟	14(13/1)	7	53.85	7	53.85	6	46.15	3	21.43	3	21.43	3	21.43	2	14.29	2	14.29	2	14.29	2	14.29	2	14.29	2	14.29
菜木	13(13/0)	9	69.23	6	46.15	2	15.38	1	7.69	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
長梗紫芋麻	12(7/5)	3	42.86	2	28.57	2	28.57	1	8.33	1	8.33	1	8.33	1	8.33	1	8.33	1	8.33	1	8.33	1	8.33	1	8.33
九芎	9(9/0)	9	100.00	9	100.00	8	88.89	8	88.89	4	44.44	4	44.44	4	44.44	4	44.44	4	44.44	4	44.44	4	44.44	2	22.22
山豆葉月橘	9(7/2)	5	71.43	5	71.43	5	71.43	5	55.56	5	55.56	5	55.56	5	55.56	5	55.56	5	55.56	5	55.56	5	55.56	4	44.44
臺灣赤楠	9(6/3)	5	83.33	4	66.67	3	50.00	2	22.22	2	22.22	2	22.22	2	22.22	2	22.22	2	22.22	1	11.11	1	11.11	1	11.11
瓊楠	9(8/1)	6	75.00	4	50.00	3	37.50	3	33.33	2	22.22	2	22.22	2	22.22	2	22.22	2	22.22	2	22.22	2	22.22	2	22.22
山桐子	5(5/0)	1	20.00	1	20.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
山櫻花	5(5/0)	2	40.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
杜英	5(4/1)	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
其他 ²	70(58/12)	28	48.28	20	34.48	12	20.69	12	17.14	9	12.86	9	12.86	9	12.86	9	12.86	9	12.86	9	12.86	9	12.86	6	8.57
總計	856(799/57)	574	71.84	477	59.70	310	38.80	274	32.01	232	27.10	211	24.65	148	17.29	108	12.62	108	12.62	83	9.70	65	7.59	52	6.07

註¹：總株數括號內分別為辛樂克及莫拉克颱風後掩埋植株。

註²：樣區內植株未滿5株或枯死無法辨識者劃分至其他。

表 5-3. 奧萬大楓林區長期監測樣區(90 m×230 m)遭土石衝擊後主要樹種各季節累積枯死株數與枯死率變化

物種	遭土石掩埋株數 ¹	累積枯死株數/枯死率																									
		第一季		第二季		第三季		第四季		第五季		第六季		第七季		第八季		第九季		第十季		第十季		第十季			
		株數	(%)	株數	(%)	株數	(%)	株數	(%)	株數	(%)	株數	(%)	株數	(%)	株數	(%)	株數	(%)	株數	(%)	株數	(%)	株數	(%)		
楓香	241(235/6)	10	4.26	12	5.11	34	14.47	48	19.92	65	26.97	81	33.61	141	58.51	180	74.69	180	74.69	204	84.65	220	91.29	223	92.53		
臺灣檫	142(137/5)	29	21.17	54	39.42	114	83.21	128	90.14	132	92.96	134	94.37	135	95.07	135	95.07	135	95.07	135	95.07	135	95.07	135	95.07	135	95.07
山肉桂	138(132/6)	36	27.27	70	53.03	114	86.36	123	89.13	129	93.48	132	95.65	133	96.38	133	96.38	133	96.38	133	96.38	133	96.38	133	96.38	136	98.55
青剛櫟	51(43/8)	24	55.81	26	60.47	34	79.07	44	86.27	49	96.08	49	96.08	49	96.08	49	96.08	49	96.08	49	96.08	50	98.04	50	98.04	50	98.04
江菜	47(46/1)	34	73.91	40	86.96	41	89.13	42	89.36	42	89.36	42	89.36	42	89.36	42	89.36	42	89.36	42	89.36	42	89.36	42	89.36	43	91.49
阿里山千金榆	27(27/0)	10	37.04	17	62.96	23	85.19	27	100.00	27	100.00	27	100.00	27	100.00	27	100.00	27	100.00	27	100.00	27	100.00	27	100.00	27	100.00
臺灣朴	19(15/4)	13	86.67	13	86.67	14	93.33	18	94.74	18	94.74	18	94.74	18	94.74	18	94.74	18	94.74	18	94.74	18	94.74	18	94.74	18	94.74
香楠	16(16/0)	8	50.00	11	68.75	13	81.25	16	100.00	16	100.00	16	100.00	16	100.00	16	100.00	16	100.00	16	100.00	16	100.00	16	100.00	16	100.00
細葉饅頭果	15(13/2)	1	7.69	2	15.38	8	61.54	11	73.33	12	80.00	12	80.00	12	80.00	13	86.67	13	86.67	13	86.67	13	86.67	14	93.33	14	93.33
栓皮櫟	14(13/1)	6	46.15	6	46.15	7	53.85	11	78.57	11	78.57	11	78.57	12	85.71	12	85.71	12	85.71	12	85.71	12	85.71	12	85.71	12	85.71
萊木	13(13/0)	4	30.77	7	53.85	11	84.62	12	92.31	13	100.00	13	100.00	13	100.00	13	100.00	13	100.00	13	100.00	13	100.00	13	100.00	13	100.00
長梗紫苧麻	12(7/5)	4	57.14	5	71.43	5	71.43	11	91.67	11	91.67	11	91.67	11	91.67	11	91.67	11	91.67	11	91.67	11	91.67	11	91.67	11	91.67
九芎	9(9/0)	0	0.00	0	0.00	1	11.11	1	11.11	5	55.56	5	55.56	5	55.56	5	55.56	5	55.56	5	55.56	5	55.56	7	77.78	7	77.78
山豆葉月橘	9(7/2)	2	28.57	2	28.57	2	28.57	4	44.44	4	44.44	4	44.44	4	44.44	4	44.44	4	44.44	4	44.44	4	44.44	5	55.56	5	55.56
臺灣赤楠	9(6/3)	1	16.67	2	33.33	3	50.00	7	77.78	7	77.78	7	77.78	7	77.78	7	77.78	7	77.78	8	88.89	8	88.89	8	88.89	8	88.89
瓊楠	9(8/1)	2	25.00	4	50.00	5	62.50	6	66.67	7	77.78	7	77.78	7	77.78	7	77.78	7	77.78	7	77.78	7	77.78	7	77.78	7	77.78
山桐子	5(5/0)	4	80.00	4	80.00	5	100.00	5	100.00	5	100.00	5	100.00	5	100.00	5	100.00	5	100.00	5	100.00	5	100.00	5	100.00	5	100.00
山櫻花	5(5/0)	3	60.00	5	100.00	5	100.00	5	100.00	5	100.00	5	100.00	5	100.00	5	100.00	5	100.00	5	100.00	5	100.00	5	100.00	5	100.00
杜英	5(4/1)	4	100.00	4	100.00	4	100.00	5	100.00	5	100.00	5	100.00	5	100.00	5	100.00	5	100.00	5	100.00	5	100.00	5	100.00	5	100.00
其他 ²	70(58/12)	30	51.72	38	65.52	46	79.31	58	82.86	61	87.14	61	87.14	61	87.14	61	87.14	61	87.14	61	87.14	61	87.14	64	91.43	64	91.43
總計	856(799/57)	225	28.16	322	40.30	489	61.20	582	67.99	624	72.90	645	75.35	708	82.71	748	87.38	748	87.38	773	90.30	791	92.41	804	93.93	804	93.93

註¹：總株數括號內分別為辛樂克及莫拉克颱風後掩埋植株。

註²：樣區內植株未滿5株或枯死無法辨識者劃分至其他。

表 5-4. 奧萬大楓林區長期監測樣區(90 m×230 m)遭土石衝擊後主要樹種各季節單季枯死株數與枯死率變化

物種	遭土石掩埋株數 ¹	單季枯死株數/枯死率																							
		第一季		第二季		第三季		第四季		第五季		第六季		第七季		第八季		第九季		第十季		第十季		第十季	
		株數	(%)	株數	(%)	株數	(%)	株數	(%)	株數	(%)	株數	(%)	株數	(%)	株數	(%)	株數	(%)	株數	(%)	株數	(%)	株數	(%)
楓香	241(235/6)	10	4.26	2	0.89	22	9.87	14	6.97	17	8.81	16	9.09	60	37.50	39	39.00	0	0.00	24	39.34	16	43.24	3	14.29
臺灣檫	142(137/5)	29	21.17	25	23.15	60	43.80	14	9.86	4	2.82	2	1.41	1	0.70	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
山肉桂	138(132/6)	36	27.27	34	35.42	44	33.33	9	6.52	6	4.35	3	2.17	1	0.72	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	3	2.17
青剛櫟	51(43/8)	24	55.81	2	10.53	8	18.60	10	19.61	5	9.80	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	1.96	0	0.00
江某	47(46/1)	34	73.91	6	50.00	1	2.17	1	2.13	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	2.13
阿里山千金榆	27(27/0)	10	37.04	7	41.18	6	22.22	4	14.81	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
臺灣朴	19(15/4)	13	86.67	0	0.00	1	6.67	4	21.05	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
香楠	16(16/0)	8	50.00	3	37.50	2	12.50	3	18.75	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
細葉饅頭果	15(13/2)	1	7.69	1	8.33	6	46.15	3	20.00	1	6.67	0	0.00	0	0.00	1	6.67	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	6.67
栓皮櫟	14(13/1)	6	46.15	0	0.00	1	7.69	4	28.57	0	0.00	0	0.00	1	7.14	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
菜木	13(13/0)	4	30.77	3	33.33	4	30.77	1	7.69	1	7.69	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
長梗紫苧麻	12(7/5)	4	57.14	1	33.33	0	0.00	6	50.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
九芎	9(9/0)	0	0.00	0	0.00	1	11.11	0	0.00	4	44.44	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	2	22.22
山豆葉月橘	9(7/2)	2	28.57	0	0.00	0	0.00	2	22.22	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	11.11
臺灣赤楠	9(6/3)	1	16.67	1	20.00	1	16.67	4	44.44	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	11.11	0	0.00	0	0.00
瓊楠	9(8/1)	2	25.00	2	33.33	1	12.50	1	11.11	1	11.11	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
山桐子	5(5/0)	4	80.00	0	0.00	1	20.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
山櫻花	5(5/0)	3	60.00	2	100.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
杜英	5(4/1)	4	100.00	0	0.00	0	0.00	1	20.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
其他 ²	70(58/12)	30	51.72	8	28.57	8	13.79	12	17.14	3	4.29	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	3	4.29
總計	856(799/57)	225	28.16	97	16.90	167	20.90	93	10.86	42	4.91	21	2.45	63	7.36	40	4.67	0	0.00	25	2.92	18	2.10	13	1.52

註¹：總株數括號內分別為辛樂克及莫拉克颱風後掩埋植株。

註²：樣區內植株未滿5株或枯死無法辨識者劃分至其他。

第 2 年進行第 5 季調查時，楓林區長期監測樣區內 856 株林木存活 232 株，存活率為 27.10%，當季枯死率為 15.33%；第 6 季僅存 211 株存活，存活率降為 24.65%；第 7 季林木死亡率已超過 80%，存活率為 17.29%，共死亡 63 株林木，當季死亡率為 29.86%；第 8 季秋季調查發現樣區內 856 株林木僅 108 株存活，枯死率高達 87.38%(表 5-2、5-3、5-4)。第 5 季存活率僅 3 種林木超過 30%，依次為楓香(73.03%)、山豆葉月橘(55.56%)、九芎(44.44%)(表 5-2)，後 2 種因多分布於近岸邊海拔較高處，其受土石衝擊與溪水淹浸的干擾較小，使得存活率得以較高。阿里山千金榆、香楠(*Machilus zuihoensis*)、菜木(*Swida macrophylla*)、山桐子(*Idesia polycarpa*)、山櫻花及杜英(*Elaeocarpus sylvestris*)等樹種，在第 4 季及第 5 季受莫拉克颱風後即全部死亡。

山肉桂、台灣檫、阿里山千金榆、江某、山豆葉月橘、青剛櫟、栓皮櫟、台灣赤楠、台灣山香圓、台灣朴、細葉饅頭果等為奧萬大國家森林遊樂區的濱溪植群中常見的樹種(鍾國基，2005)，部分種類其他濱溪植群中亦常出現(楊正釗，1993；葉慶龍、朱榮三，1999；徐憲生，2006；林介龍等，2006；郭礎嘉，2009)。雖然這一類植物為萬大流域濱溪植群常見樹種，但其對石流之干擾耐受性較差，在逆境干擾受創後之枯死率極高。由濱溪植群之物種組成受到不同海拔、地形、坡度等生育地環境影響而異，所受到溪水與土石流干擾程度亦不同，比較楓林區物種組成受洪氾與土石干擾型式發現，其與台灣赤楊在河床分布受到之影響較為相似。

除了楓香、台灣檫、阿里山千金榆外，在奧萬大楓林區長期監測樣區中調查到的落葉性樹種尚有栓皮櫟(*Quercus variabilis*)、台灣朴、山櫻花、山桐子、九芎等樹種；然而，經近 2 年的監測觀察結果發現，除了楓香、九芎外，其餘在樣區內受土石掩埋影響的落葉樹種，於 4 季調查結果總枯死率幾乎超過 90% 以上(表 5-3)。一方面可能顯示不同落葉樹種對於溪水淹浸、土石掩埋與衝擊之反應不同；另一方面，雖然部分樹種可能在國外或國內的研究報告指出為濱溪植物，但楓林區土石流衝擊掩埋所造成樹種枯死之現象與單純的洪水淹浸影響不同，致使此類濱溪植物的枯死率較高的原因。

相較於其他在楓林區數量較優勢的台灣檫、山肉桂、青剛櫟和江某等 4 樹種而言(總枯死率高達近 90%)，僅楓香、九芎對此等逆境的反應有較高的耐受性(tolerance)，其他伴生樹種的總枯死率亦多超過 80%。此現象可能反映出，楓香、九芎具有濱岸植物之特性，對於洪氾，甚至遭土石衝擊、掩埋的逆境較

其他樹種更具有耐受性。此外，楓林區遭受溪水淹浸、土石淹埋與衝擊大致發生在 2008 年 10-12 月間，此時期為楓香開始休眠，葉候顯示為黃葉至落葉，生理作用較生長季弱，加上楓香樹皮較其他楓林區樹種為厚，耐土石衝擊較強，因此枯死率較低。雖然國內外對楓香的研究很少，但 Angelov *et al.*(1996) 在經過 2 年的模擬洪氾研究中指出，美國楓香(*L. styraciflua*)的死亡率低於 5%，顯示其對洪氾或根系遭受水淹的狀態具有良好的適應性。

第 3 年(2011 年)進行第 9 季調查時，楓林區長期監測樣區內 856 株林木存活 108 株，存活率為 12.62%(表 5-2)，與前一年第 8 季的調查結果相同，因第 9 季之調查時間為 1 月，此時監測樣區內的林木多處於落葉時期，雖發現部分存活的楓香有遭受蠹蟲為害的跡象，但無法立即得知其為落葉期或已受害死亡。第 10 季調查時間為 3 月，樣區內存活 83 株樣木，存活率為 9.70%(表 5-2)。7 月結束第 11 季調查時，長期監測樣區內遭土石掩埋之樣株僅存活 64 株，存活率為 7.48%(表 5-2)，累積枯死株數已達 792 株，累積枯死率為 92.52%(表 5-3)，當季枯死株數為 19 株，枯死率為 22.89%(表 5-4)。

今年第 10 季之死亡株數為 25 株，其中 24 株為楓香，僅 1 株為臺灣赤楠(表 5-3)。於第 11 季調查之枯死樣株中有 16 株為楓香，另外為青剛櫟、臺灣檫及山豆葉越橘各 1 株。10 月 16 日進行第 12 季調查，此次調查結果，長期監測樣區僅存 52 株樣木，存活率 6.07%，累積死亡率已達 93.93%。

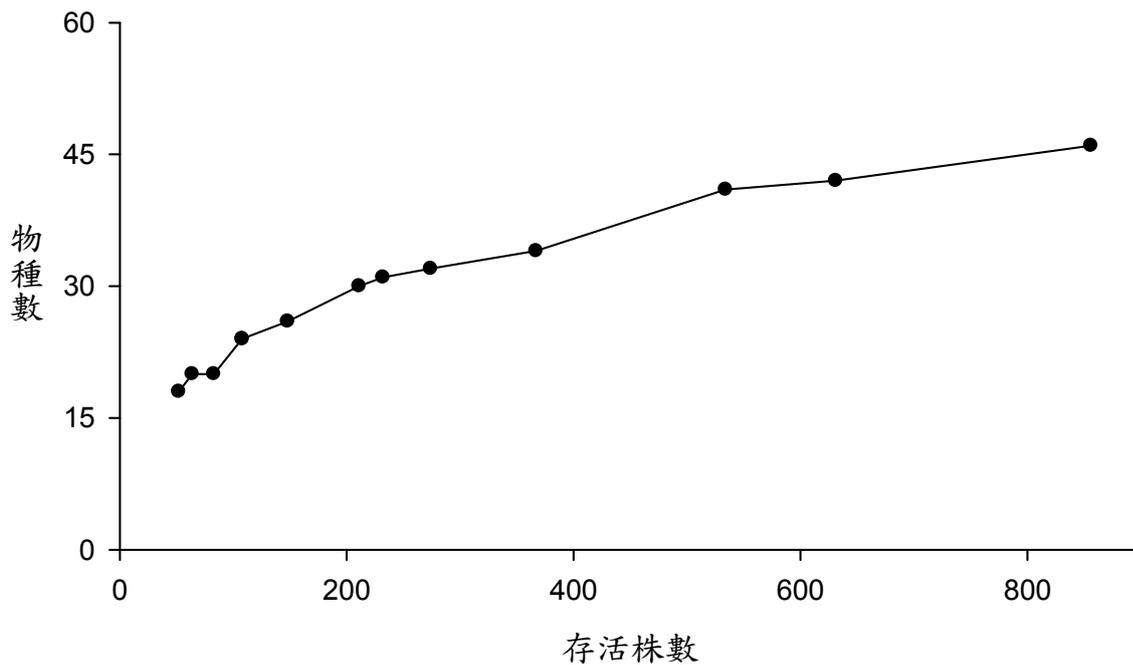


圖 5-22. 奧萬大楓林區長期監測樣區遭受土石衝擊掩埋後存活樣株株數及物種數關係圖。

整體而言，楓林區長期監測樣區之樣株經 3 年的林木生長與存活調查發現，樣株存活株數隨土石流淹沒時期增加而減少(表 5-2)。隨著存活林木樣株的減少，樹種數亦隨之遞減(圖 5-22)，林木存活株數與樹種間大致呈現線性關係，一方面可能因大多存活的林木位於近岸邊，因此受到土石流衝擊淹沒的傷害較小，另一方可能顯示這些存活林木可能對此等逆境耐性較佳。總之，存活監測樣區受土石流干擾區域的林木，其反映可適應被土石掩埋之惡劣環境與物種適應能力及分佈特性有關。

此外，在調查過程中亦發現，九芎雖然在長期監測樣區株數相對少許多，但其對土石衝擊後，在樹幹基部具有發達之發根現象(圖 5-23a and b)，顯見其對濱岸帶不定期干擾的適應。由於此次地形改變部分遭土石掩埋的樣木樹幹得以再次露出，發現部分木本植物亦有萌發不定根之現象，如山肉桂(圖 5-23c)、九節木(圖 5-23d and e)及小葉桑(圖 5-23f)，其發現處為靠近上坡遠離河道的位置，推測除物種具萌發不定根的特性外，樹幹受土石掩埋情形較淺使得通氣性較高及所受土石壓力較小可能皆有關，然其中亦屬九芎發根情形最為良好，但由於不定根之露出，對於植物體而言，為二次傷害，可能持續增加這些樹種的死亡率。本研究發現，楓香、九芎等樹種對溪水淹浸、土石掩埋衝擊之逆境有

較大的耐受性，此 2 種樹種或可作為低漥常淹水區域之植生複育，或土石流區域之水土保持優先選擇樹種。然而，種植植物雖具有避免水土流失，保護土壤之作用，但在洪氾時，水中植物的存在會增加河床阻力，使河道水位升高，水流平均流速減小，並迫使部分河道水流能量轉換成植被附近產生的紊流脈動動能，消耗水流的動能，使河道行洪能力降低(王忖、趙振興，2003)。因此仍需進行相關研究，搭配其他工法降低洪氾或土石流區域之危害。

長期監測樣區楓香、台灣欒、山肉桂、青剛櫟、江某與阿里山千金榆等 6 種主要組成樹種的季節枯死率與累積枯死率變化曲線不同(圖 5-24)，反映對洪氾干擾逆境的適應差異，大致區分成楓香型、台灣欒型和江某型等 3 類。楓香型僅楓香 1 種，是 3 類型中對土石衝擊掩埋與溪水淹浸耐性最強者，枯死率在第 2 年夏季達最高，第 8 季累積枯死率為 75.73%(表 5-3)；可能因胸徑較大、樹皮較厚、分布較集中且接近萬大北溪下游(上游林木可以阻擋、降低土石衝擊的強度)等因素，林木枯死率較低(呂金誠、曾喜育，2009)。台灣欒型包含台灣欒、山肉桂、阿里山千金榆與青剛櫟等 4 種，樹種對洪氾逆境干擾適應中等，在第 3 季時累積枯死率即高達 80%以上(表 5-3)，但單季枯死率變化趨勢不同；其中，青剛櫟因主要分布於近山坡區域，因此部份植株受干擾程度較低，再者，受莫拉克颱風引起的第 2 次洪氾干擾所致，林木枯死率的季節變化與其他 3 種不同。江某型僅江某一種，在洪氾干擾後第 1 季的枯死率即接近 80%，為洪氾干擾耐性最弱的，可能反映其不耐陰性樹種之特性。

與萬大楓林區受土石淹埋之長期監測樣區於第 1 季調查時間接近前一年土石淹埋與衝擊破壞的時間，樹種存活反映出前一年的土石淹埋與衝擊傷害程度的忍受性。第 2 至第 8 季之樹種存活調查則能反映出前 1 季存活樹種對於水淹、土石掩蓋與衝擊等直接傷害，以及病蟲害、高溫等 2 次傷害後的適應表現。結果顯示受到不同樹種、溪水淹浸程度、植株林分內的位置等，皆可能影響其後續的存活。除楓香外，其餘在樣區內數量較多的台灣欒、山肉桂、青剛櫟和江某等 4 種優勢植物的存活率皆低於 5%，反映其對土石衝擊干擾後 1 年的適應不佳。第 6 季存活株數/存活率下降較多是楓香，其餘大多數種類因在第 3 季的累積枯死率多已超過 80%(表 5-3)，致使其他樹種在後期存活變動較不明顯。隨著受土石衝擊與溪水淹浸的逆勢時間增加，存活楓香株數佔總存活株數比率亦隨著增加(表 5-2)，顯示楓香對於土石與溪水干擾的適應。

由長期監測樣區之第 1 季調查之河道位置和林木樣木位置圖顯示(圖

5-25)，楓林區之樹種組成與分布為明顯的鑲嵌狀或帶狀分布。大多數楓香植株多位於樣區的中下方，但位於楓林區林分近中間位置；再者，不同徑級的楓香在楓林區亦大致有區隔，比較受土石堆積掩埋區和未受土石掩埋區之胸徑發現，前者平均胸徑為 31.0 ± 13.8 cm 要比後者平均胸徑為 41.1 ± 18.0 cm 明顯小 ($t = -3.2403 > t_{(0.05, 259)} = 1.6508$)，此結果顯示徑級較大者多位於近山坡位置，徑級較小者較近林緣(表 5-5)，可能反映出楓香由較高位置向近河道拓殖分布。然而其他 4 種主要組成樹種卻沒有呈現相同的趨勢，可能因不同樹種採取之繁殖策略不同、或拓展的時序差異、或在建立過中受其他干擾所致。

主要組成樹種的胸徑與位置(與河岸距離)關係分析結果顯示，楓香的植株胸徑與位置呈顯著負相關($r = -0.239, p < 0.001$)，山肉桂、台灣欒和阿里山千金榆的植株胸徑與位置負相關不顯著($r = -0.051, p = 0.550$; $r = -0.131, p = 0.131$; $r = -0.166, p = 0.398$)，青剛櫟的植株胸徑與位置呈正相關不顯著($r = 0.170, p = 0.239$)，江某的植株胸徑與位置呈顯著正相關($r = 0.580, p < 0.001$)。



圖 5-23. 奧萬大楓林區長期監測樣區九芎樣木經土石衝擊、掩埋後基部發根。a. and b. 九芎；c. 土肉桂；d. and e. 九節木；f. 小葉桑

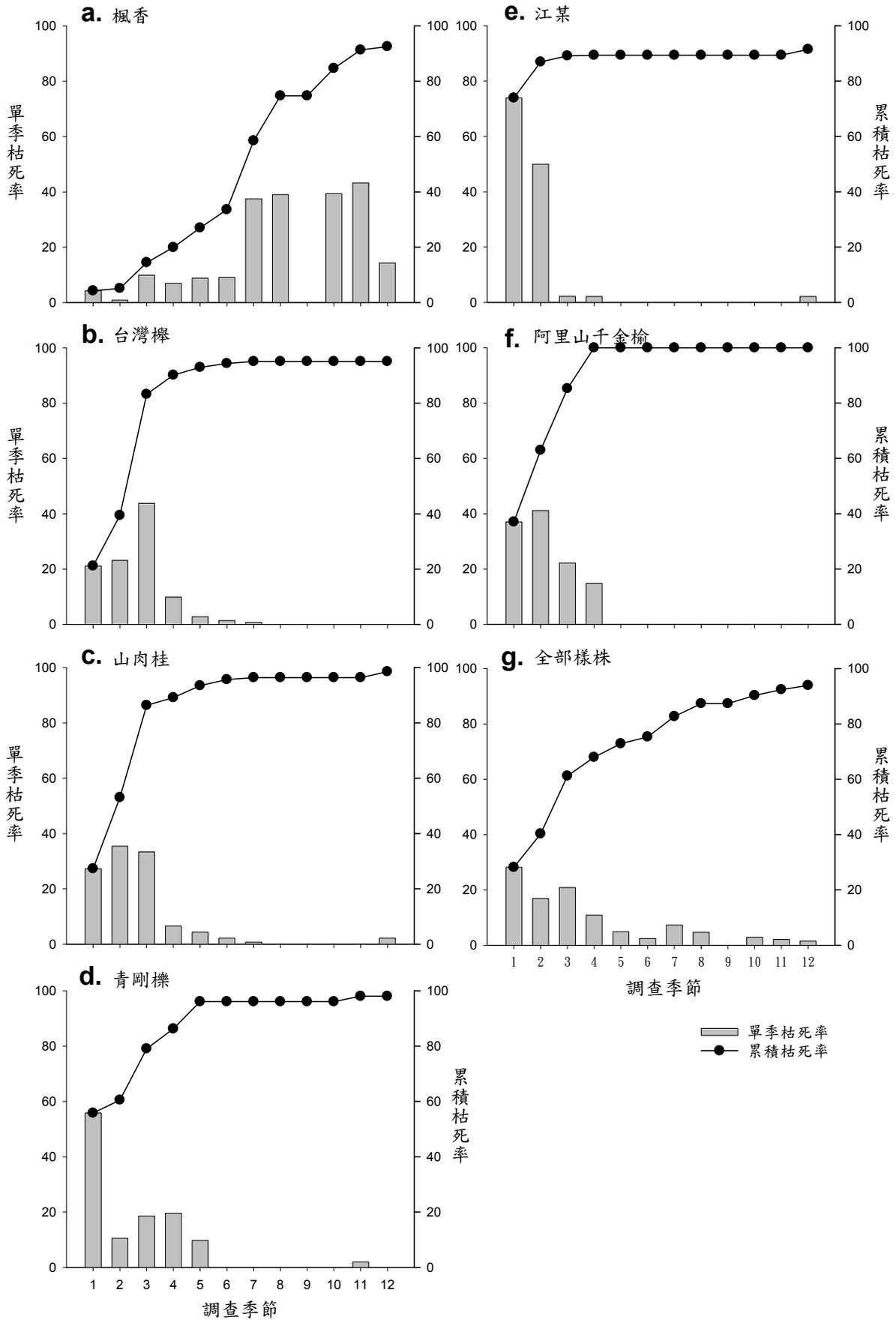


圖 5-24. 奧萬大楓林區長期監測樣區主要組成樹種單季與累積枯死率圖。

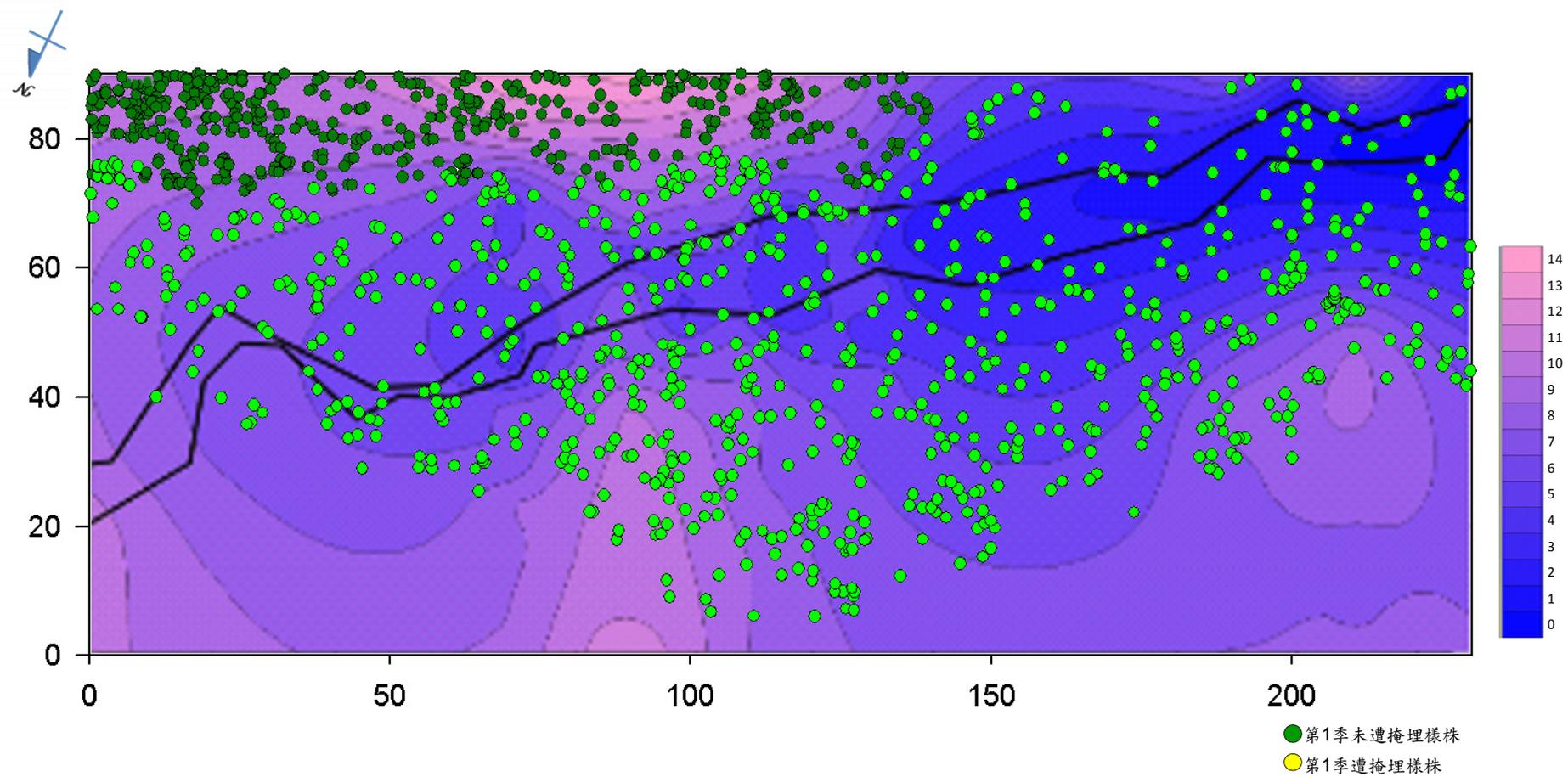


圖 5-25. 奧萬大楓林區長期監測樣區之喬木分布位置、地形與河道與辛樂克颱風土石掩埋區域。

表 5-5. 奧萬大楓林區長期監測樣區土石衝擊掩埋後前五名組成樹種於不同年度颱風存活與枯死株數，以及季節枯死株數之平均胸徑比較

樹種		總株數	未受害 株數	遭土石衝擊樣株			存活樣株	
				辛樂克	莫拉克	總計	辛樂克	莫拉克
楓香	株數	261	23	232	6	238	176	5
	平均胸徑	32.0	41.1	30.8	36.2	31.0	33.5	42.5
	標準差	14.4	18.0	13.7	18.1	13.8	12.8	10.2
台灣櫟	株數	209	67	135	7	142	6	3
	平均胸徑	15.0	13.2	16.7	14.5	16.2	26.9	13.0
	標準差	10.1	10.4	10.4	13.9	10.1	15.1	11.5
山肉桂	株數	160	23	129	8	137	7	6
	平均胸徑	10.3	7.5	11.2	9.6	11.1	14.6	11.2
	標準差	7.0	7.6	6.4	10.0	6.6	7.0	11.2
青剛櫟	株數	92	42	42	8	50	2	4
	平均胸徑	11.2	11.3	14.3	5.1	12.8	12.5	5.9
	標準差	10.1	9.8	13.4	1.2	12.7	13.7	1.3
江某	株數	90	47	42	1	43	7	1
	平均胸徑	8.1	7.5	8.8	3.9	8.7	4.0	3.9
	標準差	7.0	8.0	5.9	-	5.9	1.9	-

林木受土石流干擾後可能因樹種、植株胸徑大小、所在位置(於樣區的相對位置)等差異，後續生長與存活狀態不一(表 5-6~9)；約近 2 年 8 個季節監測觀察發現，遭土石衝擊掩埋區域的林木枯死面積有逐漸變大的趨勢(圖 5-25)。樣株若在前 1 年開始生長不良或在夏季開始有黃葉時，通常在第 2 年春或夏季就會死亡，一些胸徑較小且分布在近河道的林木通常枯死愈早，樣區林木枯死位置的趨勢由監測樣區萬大北溪的上游與距離河道較近處位置(離坡較遠處)開始，逐漸往萬大北溪下游及距離河道較遠處位置(近坡處)(圖 5-26~5-34)，反映在主要組成樹種季節枯死或存活的河岸距離分析(表 5-6、5-7)。枯死植株隨著季節距離土石衝擊的河岸愈近，即隨干擾時間變化，存活林活的位置愈來愈遠離河道的趨勢。青剛櫟、江某、阿里山千金榆的林木枯死/存活距離季節變動不顯著，而楓香、台灣櫟、山肉桂的林木枯死/存活位置則呈現顯著的季節變動，此結果亦反映出各樹種對洪氾干擾逆境的適應差異。

楓香受土石衝擊後之各季節林木枯死位置距河道距離以第 3 季最近(表 5-6、圖 5-27、28)，並在第 4 季以後季節枯死植株增加，其枯死林木的位置逐漸往距離河道較遠之上坡處移動；而第 1 季和第 2 季的枯死林木位置距離則是距河道最近的。楓香各季節的枯死木胸徑以第 1 季和第 2 季的個體胸徑最

小(表 5-8)，此反可能反映出楓香在受到土石衝擊等干擾後，胸徑較小的植株耐受性較小而較易死亡。再者，比較各季節楓香存活林木的位置與胸徑發現(表 5-7、5-9)，隨著調查季節存活楓香的位置愈靠近遠離河道的上坡處，存活植株的胸徑亦愈大。綜合楓香存活/枯死的位置與胸徑各季節比較結果顯示，距河道愈遠的植株，可能因土石流干擾衝擊較小而有較高的存活機會；胸徑較大的植株對土石流干擾耐性較高，後期存活機率較高。

台灣欒在樣區內的分布略呈現聚集，其分布狀態似乎與楓香有區隔的現象(圖 5-27, 5-29)；台灣欒與楓香皆為楓林區之林冠組成樹種，具有相同的生態地位，因此在植株空間分布位置相互競爭。由台灣欒枯死/存活的位置比較發現(表 5-6、5-7)，台灣欒枯死林木的位置由距離河道較近處逐漸往距河道較遠處隨著季節呈顯著變化，而存活個體則呈相反趨勢。台灣欒枯死林木的胸徑呈現顯著季節差異，隨季節變化枯死木的胸徑亦隨之變大；而台灣欒林木存活的林木胸徑雖然隨季節變化而增大，顯示較大胸徑植株對逆境的耐受較高，但季節差異不顯著(表 5-8、5-9)。

山肉桂分布約略呈 2 條帶狀分布，一條分布於楓林區的外緣，另一條分布於未受溪水與土石淹埋的坡地，可能顯示山肉桂在楓林區至少有 2 次主要建立其族群的時期，或受到其他樹種競爭所致(圖 5-30)。由山肉桂各季節林木枯死/存活位置分析顯示，在土石流干擾後的植株枯死位置隨季節由距河道較近處向遠離河道方向的上坡處靠近，存活植株的位置亦有相同趨勢，呈現顯著的季節變化(表 5-6、5-7)。然而，在山肉桂的枯死的胸徑隨季節有增大趨勢但不顯著，而存活林木的胸徑似乎沒有呈現季節變化(表 5-8、5-9)。阿里山千金榆多分布於楓林區的外緣(圖 5-31)，反映其陽性先趨樹種之特性。比較不同季節阿里山千金榆枯死/存活植株的位置發現，隨著干擾時序變化，枯死/存活林木的位置由距河道較近處向遠離河道方向的上坡處靠近，但季節差異都不顯著(表 5-6、5-7)；枯死/存活林木的胸徑有隨季節增大的趨勢，惟變化不顯著(表 5-7、5-8)。

青剛櫟(圖 5-32)、江某(圖 5-33)、香楠、台灣朴、細葉饅頭果、栓皮櫟等樹種多分布於楓林區的上半部，多位於近上坡位置，此類多為演替較後期出現之樹種，或非典型濱岸帶組成樹種，或是受到種子傳播限制，而在相對干擾較低的環境中陸續建立族群。比較不同季節青剛櫟的枯死/存活位置發現(表 5-6、5-7)，枯死植株的位置雖然有著遠離河道的趨勢但季節間沒有顯著差異，

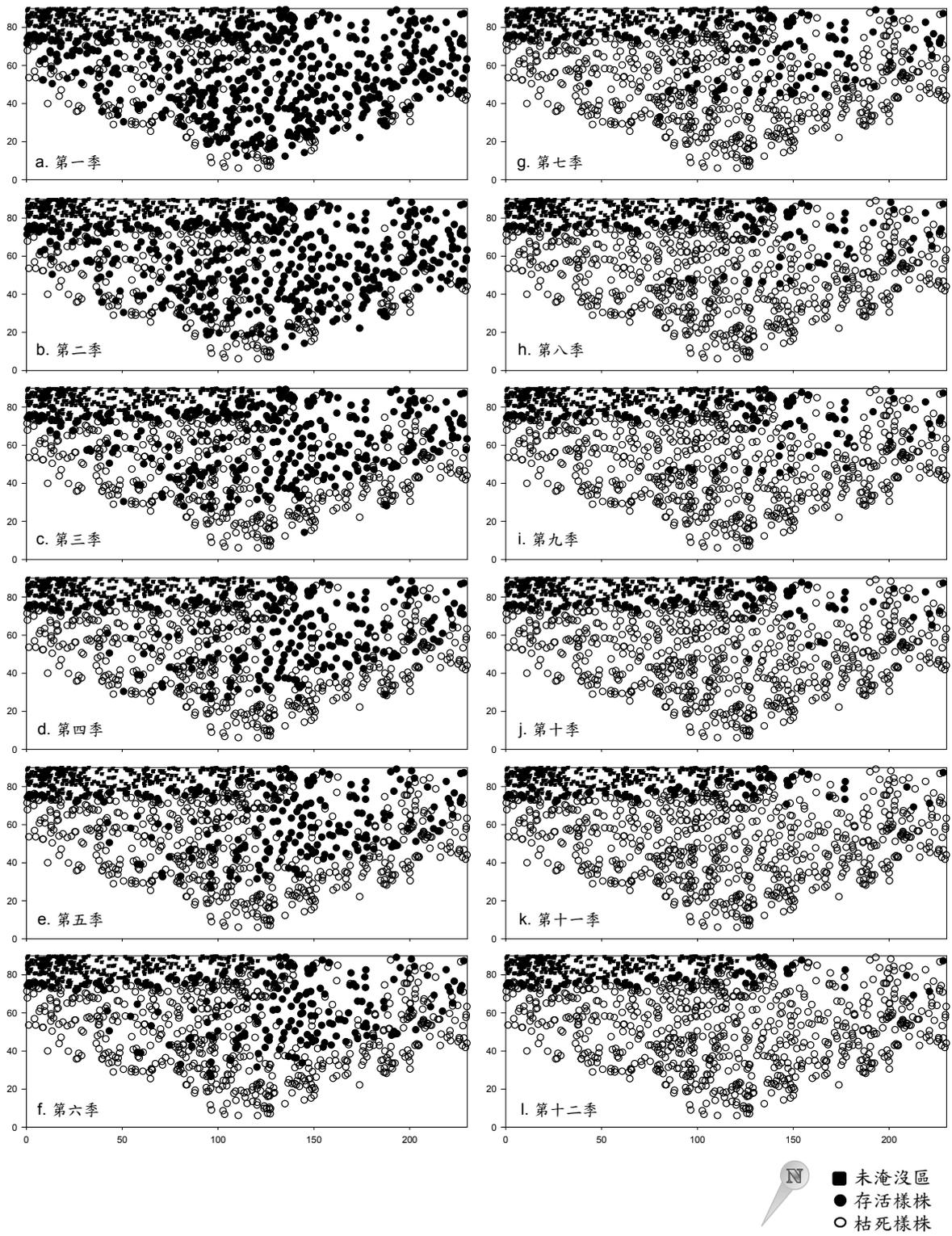


圖 5-26. 奧萬大楓林區長期監測樣區調查季節各樹種枯死與存活樣株位置圖。

表 5-6. 奧萬大楓林區長期監測樣區干擾後主要組成樹種枯死植株各季節距河岸距離比較

	第 1 季	第 2 季	第 3 季	第 4 季	第 5 季	第 6 季	第 7 季	第 8 季
楓香	30.07 ^d	29.91 ^d	25.53 ^c	26.86 ^{cd}	27.60 ^{cd}	24.67 ^c	20.10 ^b	16.38 ^a
台灣檫	29.18 ^b	26.25 ^b	12.62 ^{ab}	6.12 ^a	1.36 ^a	1.13 ^a	-	-
山肉桂	38.59 ^b	31.84 ^b	11.96 ^a	9.93 ^a	1.97 ^a	1.03 ^a	1.08 ^a	-
青剛櫟	13.43 ^b	12.73 ^b	7.30 ^a	1.38 ^a	-	-	-	-
江某*	8.54 ^a	18.55 ^a	-	-	-	-	-	-
阿里山千金榆	28.42 ^a	24.64 ^a	23.01 ^a	-	-	-	-	-

表 5-7. 奧萬大楓林區長期監測樣區干擾後主要組成樹種存活植株各季節距河岸距離比較

	第 1 季	第 2 季	第 3 季	第 4 季	第 5 季	第 6 季	第 7 季	第 8 季
楓香	11.34 ^a	13.96 ^{ab}	18.73 ^{bc}	20.10 ^{bc}	22.08 ^{cde}	22.50 ^{cde}	26.77 ^{de}	28.25 ^e
台灣檫	12.34 ^a	12.30 ^a	15.59 ^{ab}	16.45 ^b	16.52 ^b	16.53 ^b	-	-
山肉桂	9.98 ^a	10.13 ^a	10.62 ^a	10.99 ^a	11.10 ^a	11.15 ^a	11.30 ^a	-
青剛櫟	9.08 ^a	10.77 ^a	12.90 ^a	13.63 ^a	-	-	-	-
江某*	10.49 ^a	9.52 ^a	-	-	-	-	-	-
阿里山千金榆	9.51 ^a	11.28 ^a	12.62 ^a	-	-	-	-	-

表 5-8. 奧萬大楓林區長期監測樣區干擾後主要組成樹種枯死植株各季節平均胸徑比較

	第 1 季	第 2 季	第 3 季	第 4 季	第 5 季	第 6 季	第 7 季	第 8 季
楓香	28.13 ^a	32.17 ^a	45.30 ^c	41.83 ^{bc}	41.24 ^{bc}	39.82 ^{bc}	36.54 ^{abc}	34.19 ^{ab}
台灣檫	40.91 ^b	39.98 ^b	35.71 ^{ab}	33.67 ^a	33.06 ^a	32.58 ^a	-	-
山肉桂	48.60 ^{ab}	50.20 ^b	47.07 ^{ab}	44.78 ^{ab}	43.65 ^a	43.06 ^a	42.74 ^a	-
青剛櫟	25.71 ^a	25.41 ^a	24.98 ^a	21.77 ^a	-	-	-	-
江某*	31.48 ^a	27.29 ^a	-	-	-	-	-	-
阿里山千金榆	48.09 ^a	42.44 ^a	38.15 ^a	-	-	-	-	-

表 5-9. 奧萬大楓林區長期監測樣區干擾後主要組成樹種存活植株各季節平均胸徑比較

	第 1 季	第 2 季	第 3 季	第 4 季	第 5 季	第 6 季	第 7 季	第 8 季
楓香	31.84 ^a	31.90 ^a	33.09 ^{ab}	33.93 ^{ab}	34.61 ^{abc}	35.67 ^{bc}	37.57 ^{cd}	40.20 ^d
台灣檫	17.91 ^a	19.66 ^a	20.74 ^a	22.05 ^a	22.28 ^a	24.48 ^a	-	-
山肉桂	11.56 ^a	12.21 ^a	13.77 ^a	12.51 ^a	11.81 ^a	11.12 ^a	7.12 ^a	-
青剛櫟	15.32 ^a	14.00 ^a	9.55 ^a	8.07 ^a	-	-	-	-
江某*	4.35 ^a	4.93 ^a	-	-	-	-	-	-
阿里山千金榆	15.17 ^a	15.56 ^a	16.04 ^a	-	-	-	-	-

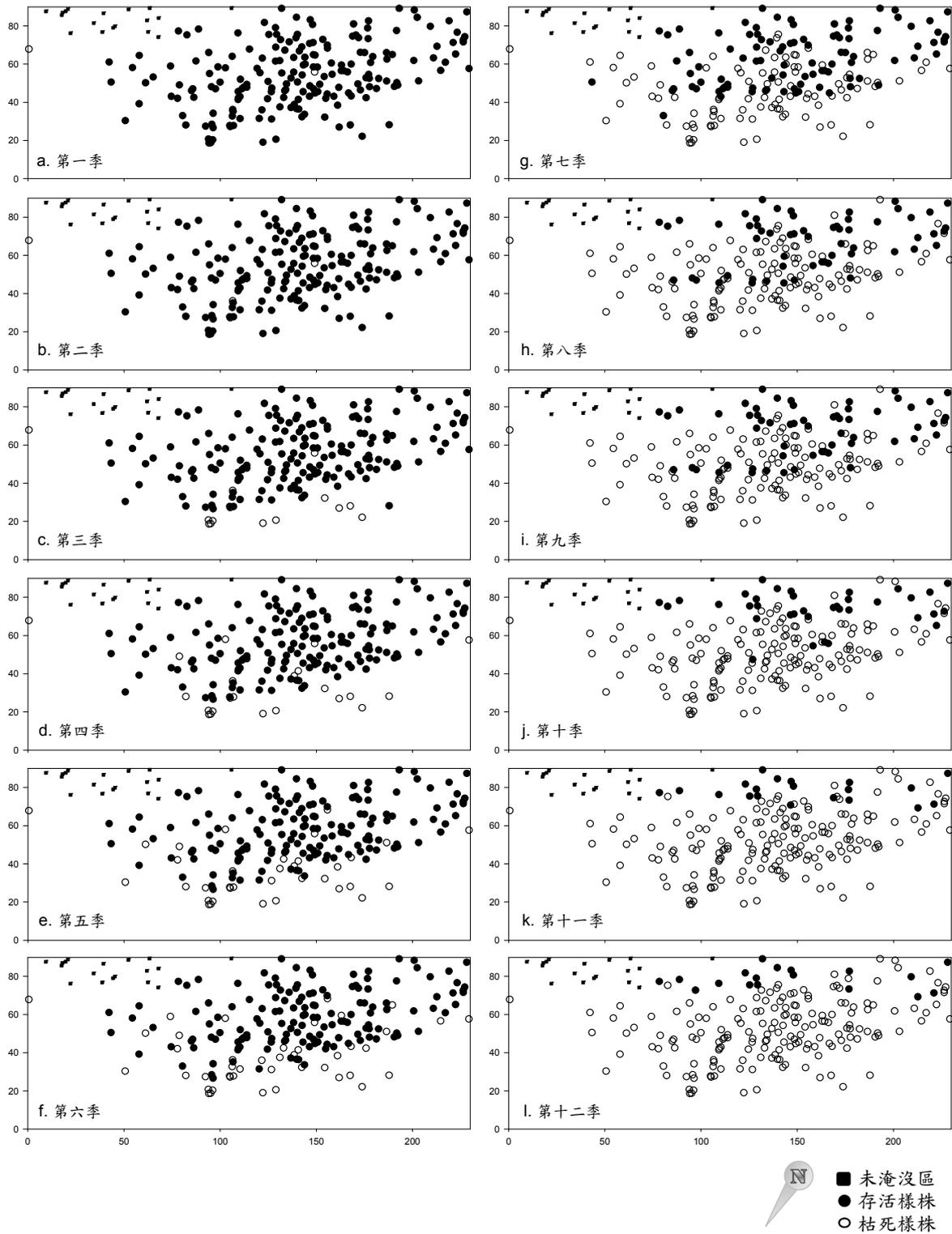


圖 5-27. 奧萬大楓林區長期監測樣區楓香枯死與存活樣株位置圖。

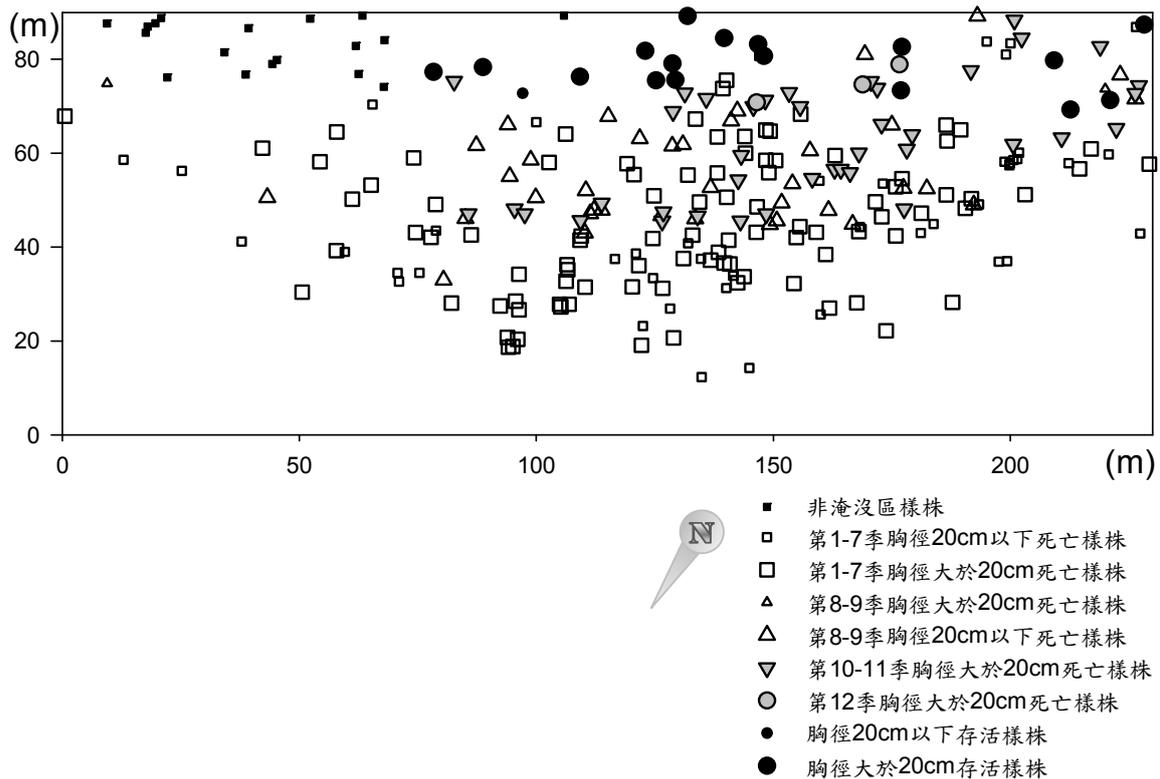


圖 5-28. 奧萬大楓林區長期監測樣區楓香枯死與存活樣株位置圖。

而存活的植株隨土石流干擾後往岸邊的趨勢，存活林木位置隨著季節顯著差異。青剛櫟枯死林木胸徑有隨季節逐漸增大的趨勢，但季節間差異不顯著(表 5-8)；然而，存活的青剛櫟植株胸徑卻隨季節而減小，但季節間差異不顯著(表 5-9)。江某對土石流缺乏耐受性，第 1 與第 2 季的枯死/存活的林木位置和胸徑沒有顯著差異(表 5-6~9)。

濱岸植群往往由具有忍受或逃避干擾能力的樹種，或演替初期的樹種組成，其種類之結構與分佈受到地形與微氣候影響呈現梯度變化。由於經年受到溪流洪氾干擾，長期下來，受到洪氾的篩選與淘汰，使濱岸植群的物種多具有抵抗或逃避洪氾干擾的能力。Bendix and Hupp(2000)指出，能夠忍受洪氾干擾的植物，多半可以分成硬枝植物(stiff plant)與軟枝植物(flexible plant)兩類。硬枝植物是以堅韌的枝條直接抵抗水流沖刷，而軟枝植物則是以彈性與柔軟性，高流速下可彎曲倒伏以減少水流阻力，並保護下游側的植物(Fathi-Maghadam and Kouwen, 1997)。Lyon and Gross(2005)發現在溪流反覆洪

氾干擾下，濱溪植群組成主要以美國紅楓(*Acer rubum*)和北美紅櫟(*Q. rubra*)等先驅樹種(pioneer tree species)等為優勢。台灣中海拔之常見濱溪植物則以台灣赤楊(*Alnus formosana*)為優勢(郭礎嘉，2009)。

濱岸地區的不同區塊受到溪流不同強度、頻度、持續時間的影響等，無論在形貌或植物組成都有所不同(Nisson *et al.* 1989)。又濱岸植群受到地域性氣候、地質構造與過程、濱岸二側生物和非生物過程等共同決定，並與地形、地貌、土壤、水文、干擾、河流級序等密切相關，進而改變濱岸植群的種類組成、結構以及生產力，亦使濱岸植群呈現鑲嵌狀(mosaic)或帶狀(zonation)的分布((Duncan, 1993; Blon, 1999; White and Greer, 2006)。因此，楓林區過去亦應為萬大北溪與萬大南溪之行水區，因長時期的土石堆積形成河階地形，加上溪水干擾降低與植物開始入侵，逐漸形成現今楓林區之植物分布。

洪氾發生季節、洪氾強度、歷時長度等對植物的存活影響甚大；若在植物生長季節發生洪氾干擾，其對植物存活更加不利。當植物生長季節發生洪氾時，無論植物處在任何生長期，洪氾皆會對植物產生不良的影響；除了物理上的直接傷害外，還會抑制種子萌發、植物生長以及繁殖體發育，甚至促使植物提早老化或死亡(Kozlowski, 1997)。在奧萬大楓林區的洪氾，除了一般的水淹之外(圖 5-35)，仍挾帶大量的砂石，對植物體的物理傷害更加劇烈，部分植株樹皮遭土石衝擊而有不同程度樹皮剝落現象(圖 5-36)，嚴重者幾近環剝，輕者雖無樹皮剝落，但對受土石正面衝擊之樹幹已造成不可回復之物理機械傷害。

在淹水狀況下，耐淹水樹種特徵通常是莖幹增粗、皮孔增大、形成不定根、幹基的葉片延遲老化、乙醇脫氫酶(alcohol dehydrogenase, ADH)和過氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)的活性增強、適應厭氧環境、氣孔導度和淨光合速率在水淹時下降幅度小，且在淹水停止後恢復較快等特性，而較不耐水淹的樹種通常不具有這些特性(Jackson and Colmer, 2005; 卓仁英和陳益泰，2001，李錦育，2002)。因此耐水淹性之評估指標主要從植物形態結構、生理代謝，以及植株的生長、存活率等方面探討。然而，對於奧萬大楓林區的樹種而言，其所受到的干擾為土石掩埋與衝擊的物理傷害、長期淹水造成的水分逆境，以及林床石礫的高溫逆境等，因此林木枯死率在第 2 年時即高達 80%以上。

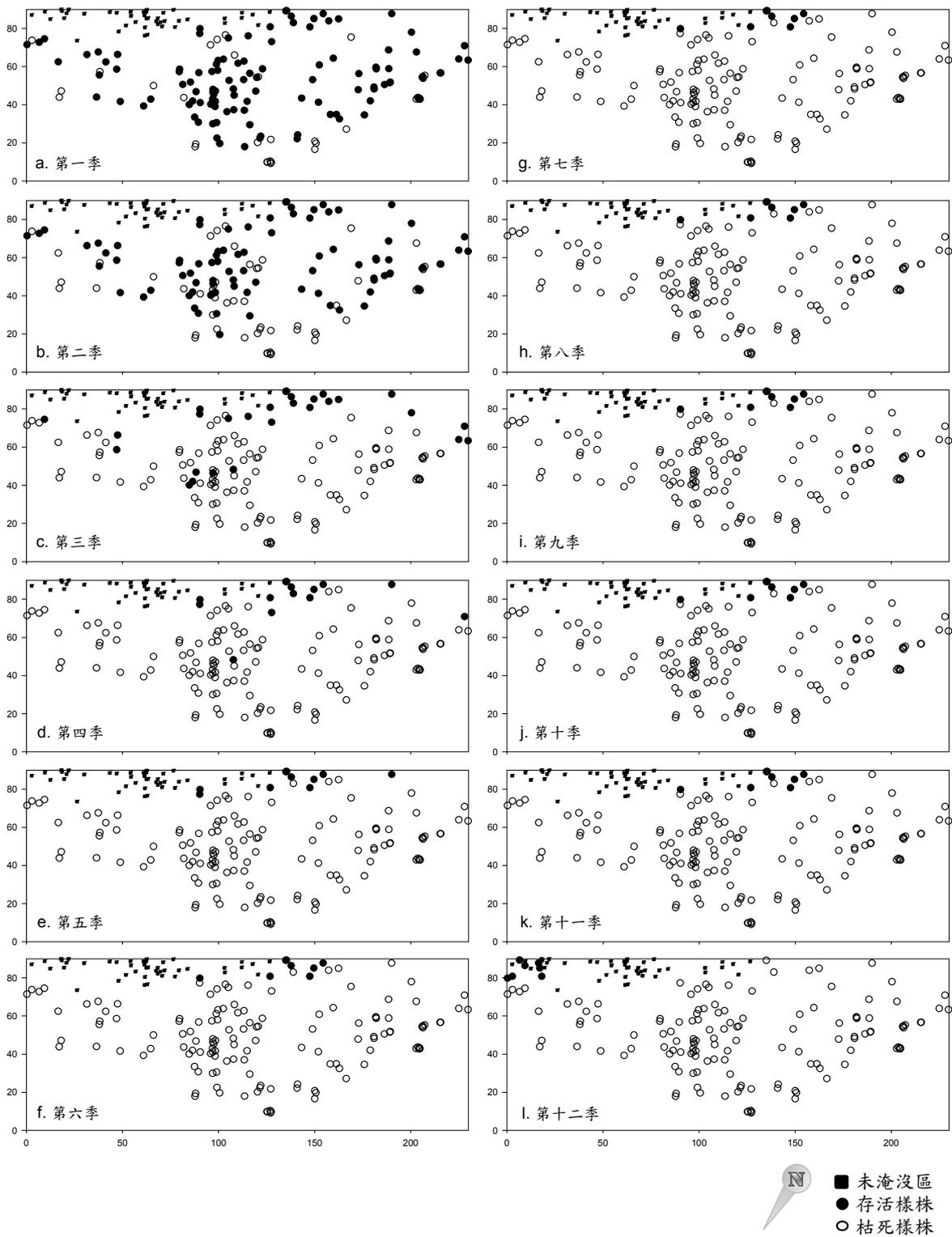


圖 5-29. 奧萬大楓林區長期監測樣區台灣欒各季節枯死與存活樣株位置圖。

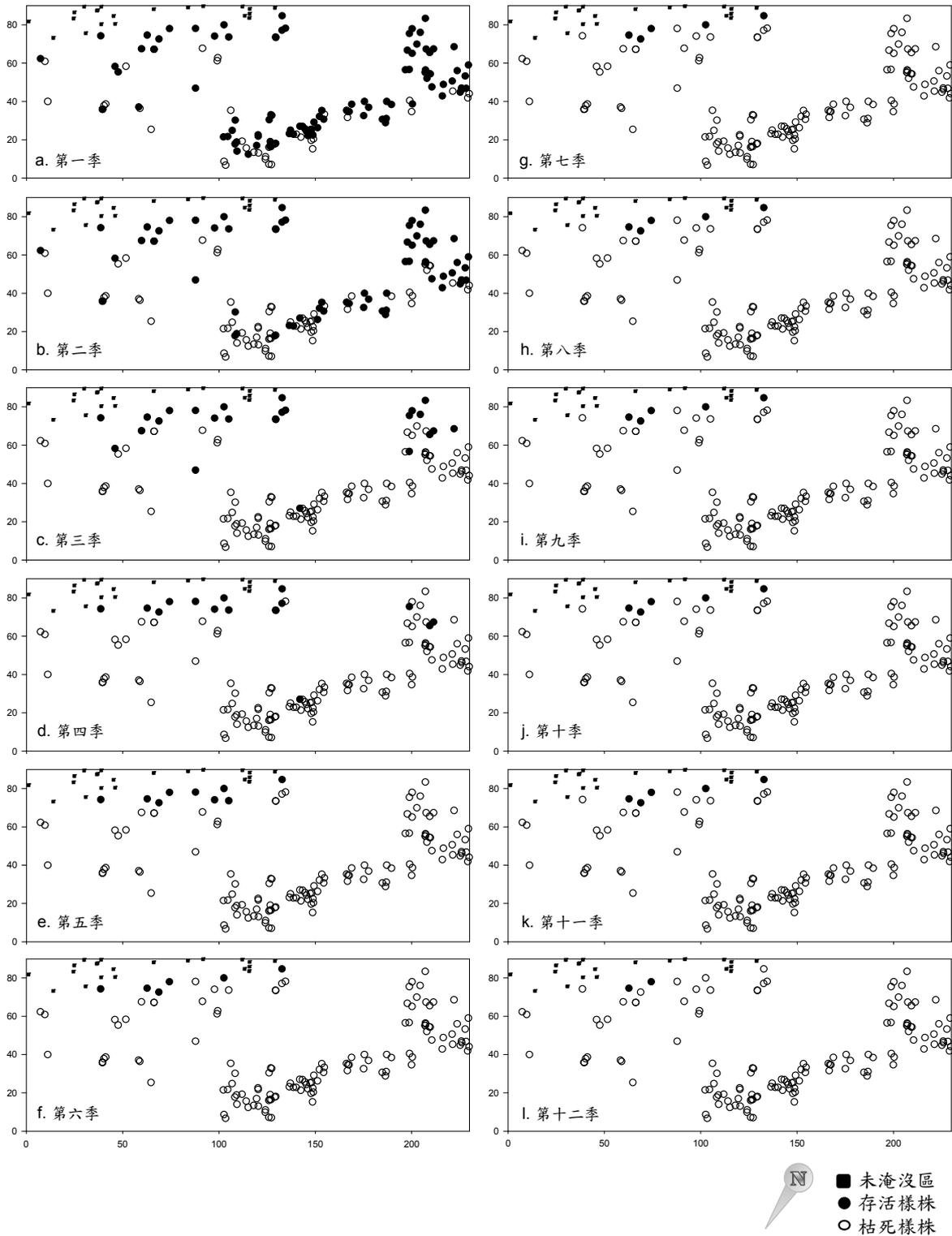


圖 5-30. 奧萬大楓林區長期監測樣區山肉桂各季節枯死與存活樣株位置圖。

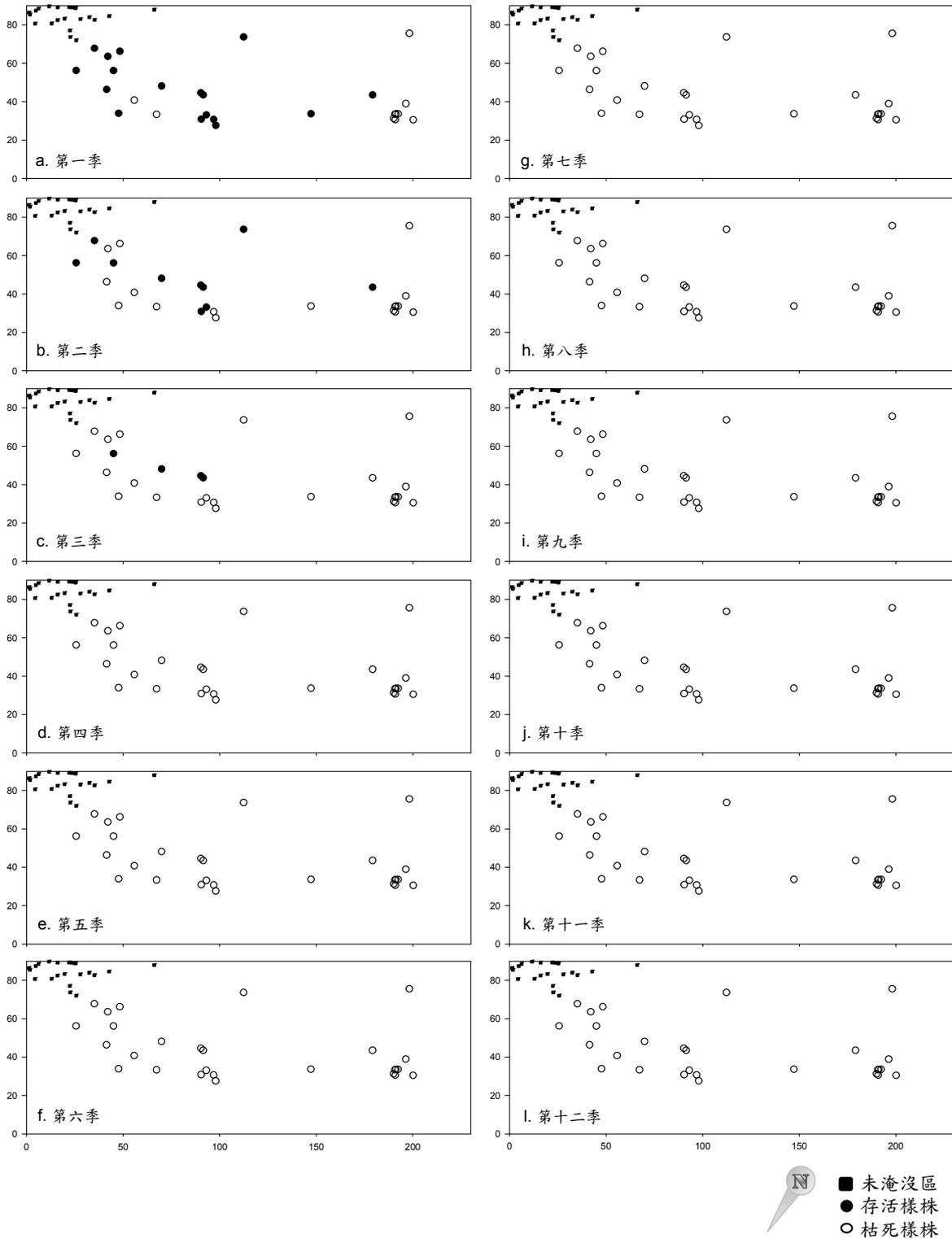


圖 5-31. 奧萬大楓林區長期監測樣區阿里山千金榆各季節枯死與存活樣株位置圖。

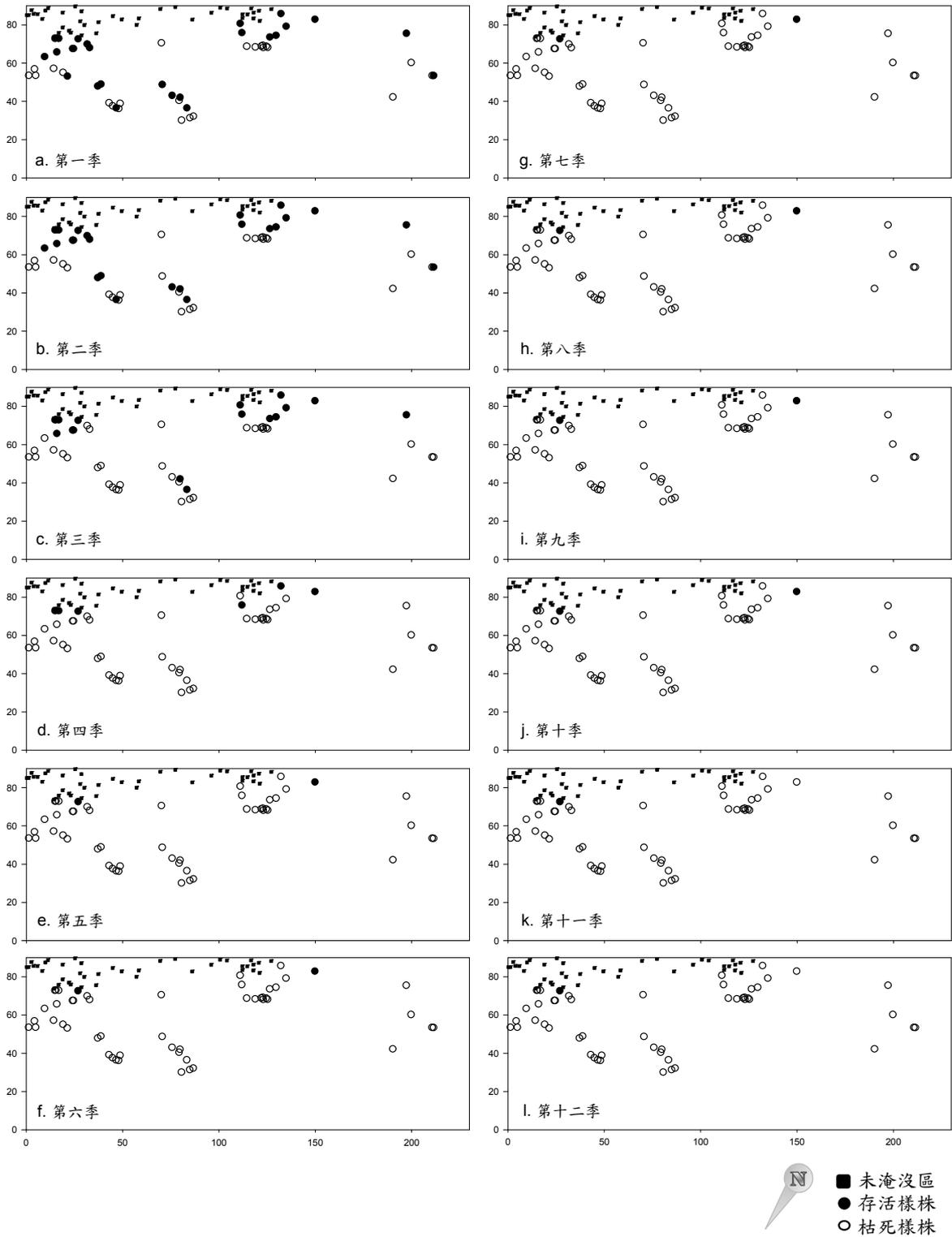


圖 5-32. 奧萬大楓林區長期監測樣區青剛櫟各季節枯死與存活樣株位置圖。

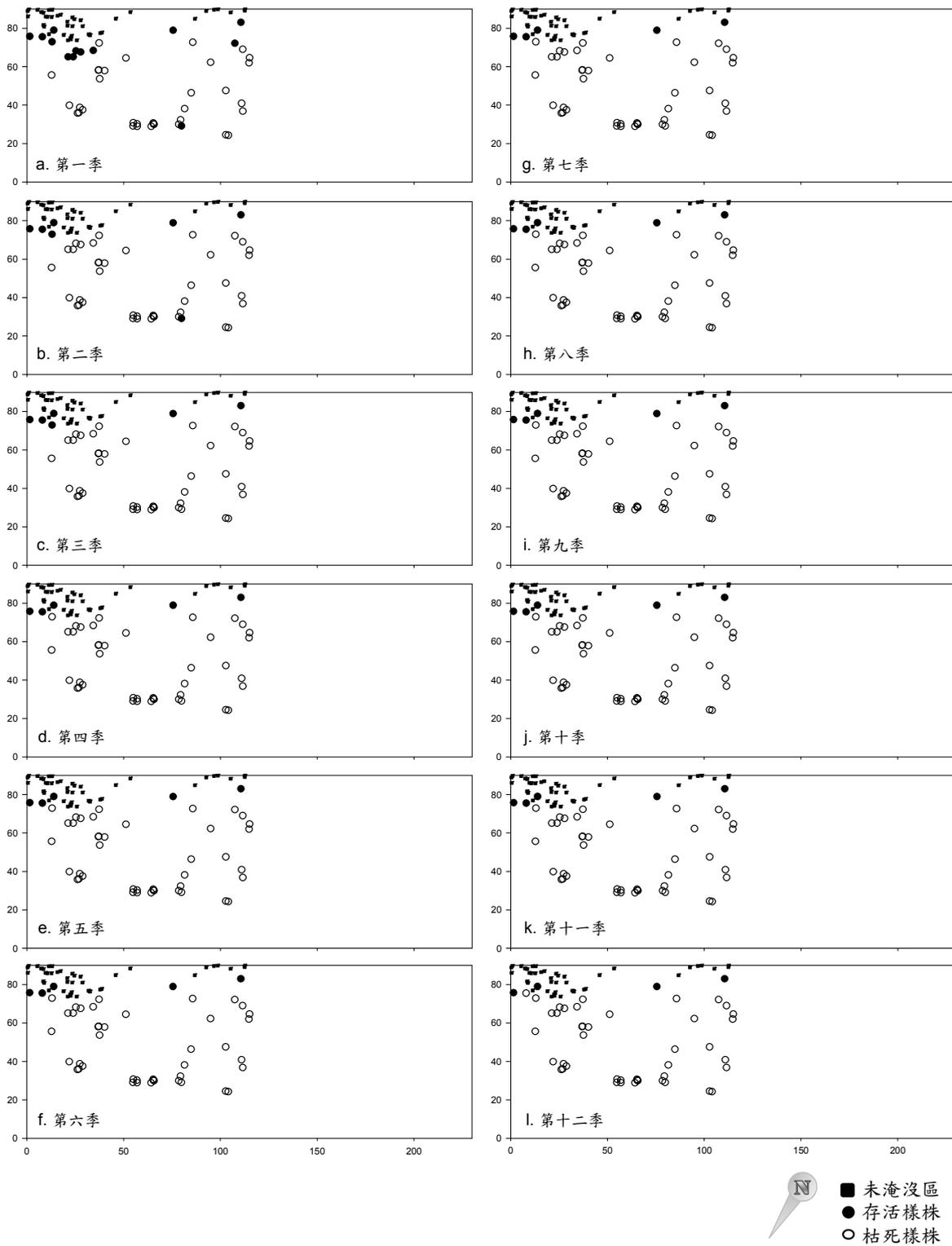


圖 5-33. 奧萬大楓林區長期監測樣區江某各季節枯死與存活樣株位置圖。



圖 5-34. 奧萬大楓林區長期監測樣區土石掩埋後近河流外側林木枯死狀態。



圖 5-35. 奧萬大楓林區長期監測樣區萬大南溪之溪水淹浸現象。



圖 5-36. 奧萬大楓林區長期監測樣區樹種對土石衝擊所受之傷害。a. 楓香；b. 台灣檫；c. 山櫻花；d. 白臘樹；e. 溪水沖刷使根部裸露。

本研究調查發現，山肉桂、台灣檫、阿里山千金榆等樹種在受土石流衝擊後，雖部分在第 1 季調查未死亡的植株，但在第 2 至第 3 季調查時都已死亡，尤其是分布在楓林區林緣者。經追蹤調查發現，這些植株的樹幹在第 1 季調查時都已有象鼻蟲科的蠹蟲(*Scolytidae*, *Scolytinae*, *Scolytoplatypus raja* Blandford))排遺(委請國立中興大學昆蟲學系劉藍玉博士鑑定)，且為數不少(圖 5-37a, b, d, e)。在這些有蠹蟲在的植株，絕大多數在第 2 季都死亡。此外，在 8 月的調查發現，受土石衝擊的楓香樹幹基部幾乎全遭到蠹蟲為害(圖 5-37c, f)。因 2009 年 8 月 8 日莫拉克颱風挾帶豐沛雨量攜帶大量土石而下，致使楓林區之土石掩埋高度增加 2-3 m，將蠹蟲危害部分掩埋至土石下，以致無法進行後續之蟲害觀察。由於植物在遭受逆境傷害後，常因生理狀態不佳及生長勢衰弱，極易遭害病蟲害的二次傷害因而致死。在 7、8 季調查發現，奧萬大楓林區的楓香在遭受溪水淹浸、土石掩埋與衝擊天然干擾傷害下雖然多數植株得以存活過第 4 季(存活率約 80%)；但在第 8 季調查發現，在多重逆境下的楓香存活率僅 25.31%，241 株遭干擾楓香僅存活 61 株(表 5-2)。

在 3 年的調查發現，楓香是長期監測樣區中，族群存活株數最多的樹種，全樣區遭土石掩埋的楓香共有 241 株，第 12 季的存活株數為 18 株，次多為台灣檫(7 株)，其他主要樹種之存活株數皆不達 5 株。楓香在第 1 年存活株數為 193，死亡株數為 48 株，累積死亡率僅 19.92%(表 5-3)；在第 2 年調查結束時存活株數僅 61 株，死亡株數為 180 株，累積死亡率達 74.69%；第 3 年之第 4 季(第 12 季)的存活株數僅 18 株，累積死亡率已達 92.53%，存活率僅存 7.47%。此結果顯示，楓香在第 1 年的適存情形良好，應可適合受水淹沒的環境，然於第 2 年開始，受害楓香植株開始大量死亡，由於枯死或樹勢衰弱的植株皆可發現蠹蟲為害之現象，故推測楓香之大量死亡與蠹蟲之入侵有關。在部份樣株的觀察記錄發現，在前一季外觀健康的植株，於下季調查時即迅速枯萎死亡，並於樹幹基部即可發現多數的蟲孔，樹幹周圍地面密布木屑，部份林木於 2011 年 7 月複查時已傾倒於地面，觀察楓香倒木之斷面，皆可發現密布之蟲孔，顯示危害楓香之蠹蟲種類對於楓香主幹的侵害十分嚴重(圖 5-39e~i)，由於蟲孔多數直接貫穿主幹，除導致楓香快速死亡，外加長期監測樣區位於溪谷，風勢較大，促使楓香死亡樣木加速傾倒。

林木在遭受環境逆境干擾例如火燒、洪氾、乾旱等，因生理生化活力下降，易遭其他病蟲害入侵致使林木死亡。長期監測樣區遭土石衝擊與溪水淹浸的林木，在枯死前幾乎都被蠹蟲危害(圖 5-37、38)。蠹蟲為廣食性之植食昆

蟲，只要林木生理狀態不佳者，極易遭到蠹蟲危害(作者請教台灣大學昆蟲學系吳文哲教授)。由於撲殺蠹蟲缺乏專一性的殺蟲劑，而用藥恐對其他非蠹蟲之昆蟲造成危害，或有藥劑殘留等問題；況且使用殺蟲劑無法確保受創林木可以存活。楓林區位處萬大水庫之萬大溪集水區，為民生用水安全與自然生態保育原則，只需待此一蠹蟲危害期過後即可。基於上述論點，本研究評估結果不建議楓林區受害林木以殺蟲劑撲殺蠹蟲。基於楓林區林木蠹蟲危害為天然偶發事件，為林木受土石衝擊、掩埋與溪水淹浸等逆境致使生理受創而引發的蟲害，對照樣區等非土石掩埋區域的楓香或其他樹種，因其生理生化處於健康活力的狀態，調查過程中未發現有遭到蠹蟲危害的林木。另外，本研究於2011年10月16日針對未遭土石掩埋之楓香健康情形進行調查，以了解楓香遭受蠹蟲為害；此次調查23株楓香，並未發現遭受蠹蟲危害之現象。

雖然本研究缺乏楓林區在溪水與水石淹埋前的植群資料，但由過往照片資料得知，楓林區主要區域因景觀作業、人為踐踏等影響，地表植物較稀少，反觀於斜坡上的物種組成相對較為豐富。此外，由楓林區至松林區之河階地形看出，斜坡相對於楓林區平台而言位置較高，其受到溪水干擾的機會較小，物種組成理應相對較豐富。Nisson and Svedmark(2002)將影響濱岸植群變化的主要因素分成3個主要層次—水文(hydrology)、廊道(corridor)和地景(landscape)，並指出水文條件為影響濱岸植群的主要因素，規律與穩定的洪氾有助於物種多樣性的維持與林分更新，同時也提高林分對環境的敏感性(sensitivity)。Harper and Macdonald(2001)亦指出，濱岸植群隨著與溪流距離的增加呈現梯度變化，表現出明顯的邊緣效應(edge effect)。郭礎嘉(2009)於七家灣溪之濱岸植群研究發現，沿河道岸至內陸區之濱岸植物物種組成亦有類似的情形，且愈近河道其受溪水干擾愈大，物種組成相對簡單，且以散播型的種類為主，而以河岸至內陸植群之中間地帶，因其受溪水干擾程度相對較低，因而物種組成較豐，大致符合中度干擾假說。

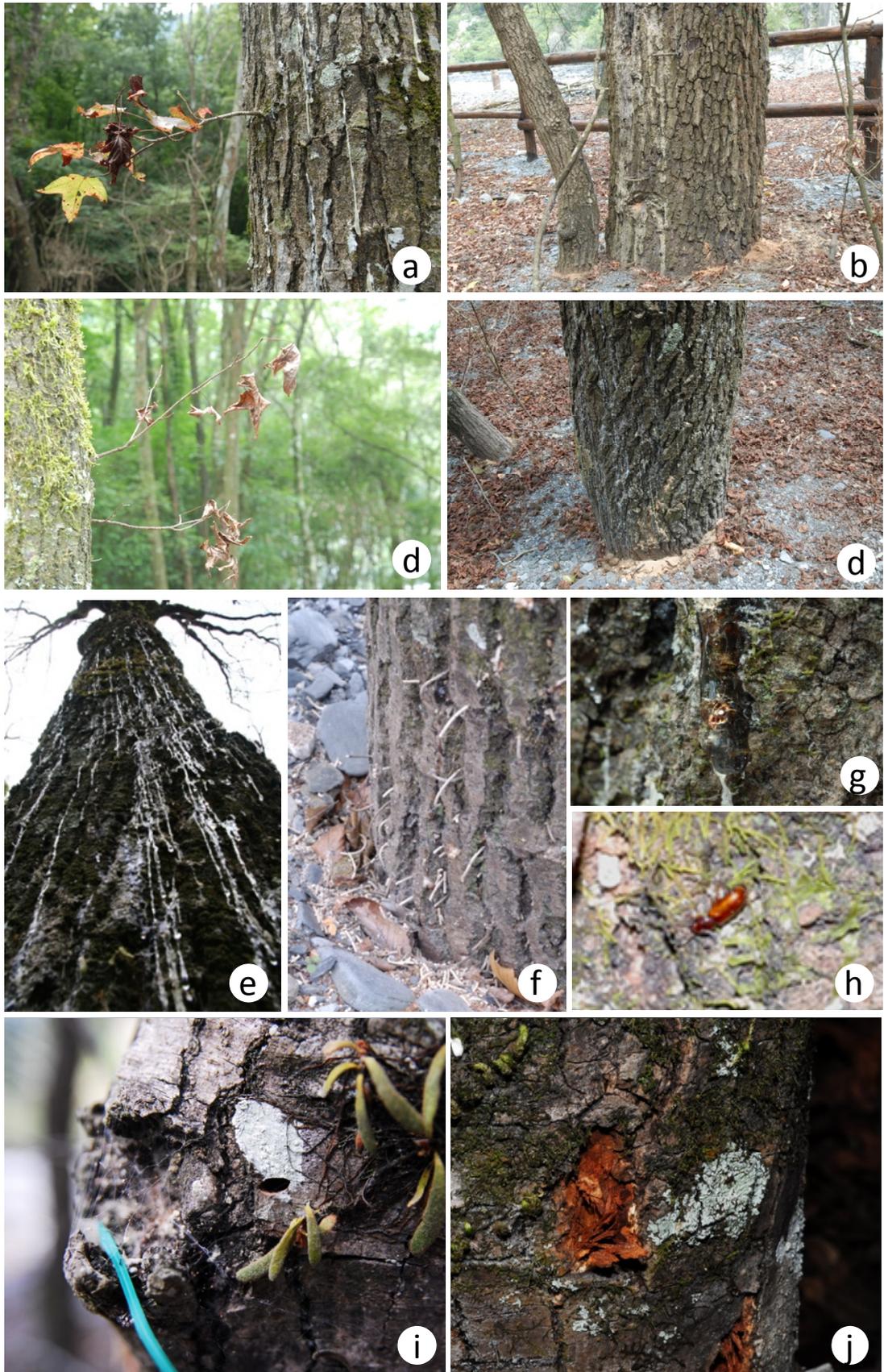


圖 5-37. 奧萬大楓林區長期監測樣區土石掩埋後受創楓香林木遭受蟲蟲及其他昆蟲危害。



圖 5-38. 奧萬大楓林區長期監測樣區土石掩埋後遭受蟲害。a. and d. 山肉桂；b and e. 台灣櫟；c and f. 楓香。



圖 5-39. 奧萬大楓林區長期監測樣區楓香遭受蟲害樹幹倒塌情形。

洪氾會改變河道地形，破壞已存在之濱岸植群，使濱岸帶出現裸露引發次級演替(second succession)，而洪氾的沖刷與沈積作用會挾帶植物繁殖體，淘汰一些不適應洪氾環境的物種，使一些物種得以保持其優勢(Hooke et al., 2005)。Bendix and Hupp(2000)指出濱岸植群的優勢種隨著河水衝擊(stream power)與距地下水位高度而改變，接近溪流時，水流衝擊較大，僅樹幹柔軟

強韌的樹種，如加州赤楊(*A. rhombifolia*)與紅柳(*Salix laevigata*)，或生長速度較快的棉白楊(*Populus fremontii*)能抵抗洪氾危害，形成優勢族群；當水河強度與頻度降低時，其他樹種開始入侵，加州赤楊、紅柳和棉白楊等依賴洪氾更新的樹種優勢程度亦降低或消失。

由每季節調查樹種優勢度建立楓林區監測樣區於土石流後存活樹種之等級-豐量曲線(圖 5-40)，藉以了解楓林區干擾過後樹種之多樣性變化趨勢。本研究將第 1 季調查之所有種類植株視作為干擾前存活個體(第 0 季)，共計有 48 種。隨著土石流干擾發生後時序變化，樹種組成漸漸減少，在第 1 季至第 3 季干擾後存活樹種由 40 種減少至 31 種，減少的樹種為無法適應干擾者；樣區內的物種於第 4 季調查時已不到第 0 季調查樹種的 1/2(22 種)，第 4 季至第 8 季的存活物種數減少的變化較小，存活的樹種為對土石流干擾耐受性較強的種類。由豐量等級第 1 的樹種與豐量等級第 2 的樹種比較發現，豐量比例下降趨勢增大，顯示豐量等級第 1 的樹種優勢程度增加，此與表 5-1 各樹種存活株數與存活率的結果相符。楓香為樣區內優勢度最高的樹種，因其對土石流的干擾耐受性較高，隨著干擾時序變化，其他無法在干擾存活的樹種漸漸枯死，而楓香存活株數佔樣區內存活個體的比例逐漸增加，因而豐量比例差異亦增大。由等級-豐量曲線的土石流干擾時序變化發現，除物種多樣性下降外，等級-豐量曲線的漸趨陡峭，顯示楓林區物種均勻度漸趨下降。

第 9-12 季樣區存活種數僅 17 種，然第 9-11 季各種之相對豐量除優勢種其餘物種變化並不大，但第 12 季時等級—豐量曲線之陡峭程度明顯比前面第 1-11 季明顯(圖 5-40)，原因為在前幾季中主要優勢樹種楓香逐漸死亡，然其他留存物種死亡率無太大改變，使得楓香優勢程度逐漸下降；然於第 12 季其他物種枯死比例較高，使得楓香之優勢程度提高，而造成此次等級—豐量曲線之陡峭程度增加。

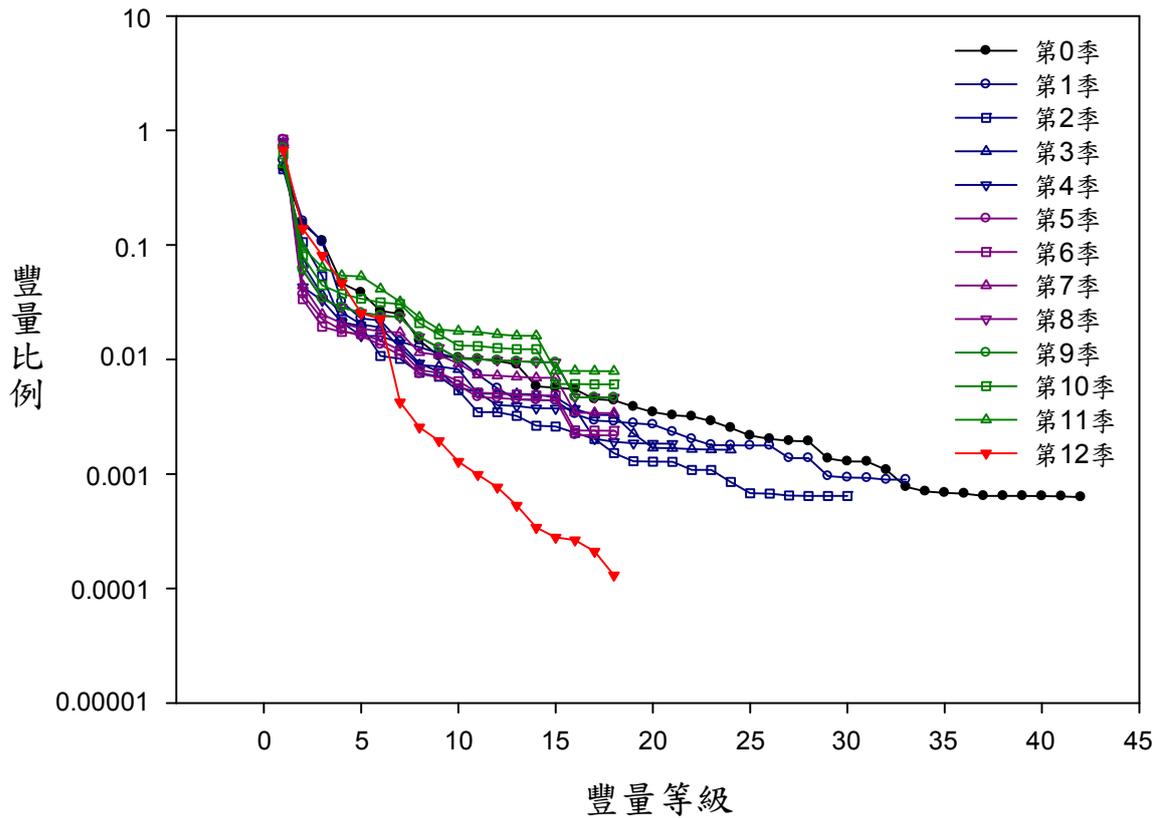


圖 5-40. 奧萬大楓林區長期監測樣區物種組成之等級-豐量曲線季節變化圖。

由於楓林區受洪氾危害方式與其他單純受洪水或洪水挾帶枯木殘材危害方式不同，而是受到溪水挾帶大量土石流衝擊掩埋。較近河道區域多完全為土石掩埋，濱岸帶原有植物社會破壞殆盡，鄰近的繁殖體逐漸進入裸露生育地，新的植物社會重新建立(圖 5-41)。目前調查的物種幾為陽性植物，例如羅氏鹽膚木(*Rhus javanica*)、台灣檫、台灣二葉松、臺灣白臘樹(*Fraxinus griffithii*)、等木本植物，草本植物有昭和草(*Crassocephalum rubens*)、台灣何首烏(*Polygonum multiflorum*)等；然由於第 12 季調查時，地被植物多遭沖失，僅部分陽性樹種因生長快速具較深之根系而留存，如羅氏鹽膚木及揚波(圖 5-41e)，然由於該區域較為開闊，無上木可遮陰使受陽光直曬時間長，且其根系多已暴露，可能造成這些留存木生長不適而死亡。



圖 5-41. 奧萬大楓林區長期監測樣區外側近奧萬大南溪之對照樣區遭土石衝擊後植物生長狀況。

三、長期監測樣區小苗調查

本研究於 2010 年 5 月 25 日(第 1 季)、7 月 23 日(第 2 季)、10 月 15 日(第 3 季)及次年(2011 年)1 月 15 日(第 4 季)、4 月 15 日(第 5 季)、7 月 27 日(第 6 季)及 10 月 17 日(第 7 季)進行長期監測樣區 3 條樣帶(第 1、3 樣帶由 3 條 90 m x 2 m 小樣帶所組成，第 2 樣帶由 2 條 90 m x 2 m 小樣帶所組成)進行的小苗種類與數量調查(圖 5-42~44)。調查結果顯示，第 1 季調查 18 種 906 株，第 2 季調查 40 種 1,026 株，第 3 季調查到 36 種 537 株小苗，第 4 季調查 42 種 625 株，第 5 季調查 53 種 460 株，第 6 季調查到 53 種 1,000 株小苗，第 7 季調查由於地形改變，林床土石因萬大北溪暴漲而流失，進而造成林下多數小苗消失，僅存 11 種 29 株小苗(表 5-10~12)。

第 1 年 3 次調查樣區內的小苗種類共 53 種，木本(36)與草本(17)植物比例約為 2:1；第 2 年 3 次調查樣區內的小苗種類共 68 種，木本(41)與草本(27)植物比例約 1.5:1；2 年共調查 53 種木本及 32 種草本及 14 種蕨類植物小苗(表 5-10~12)。樣區內 53 種木本植物的種子多為翅果或核果，藉由風媒或鳥類、小型哺乳類等取食攜帶進入樣區內，唯在樣區內調查之木本植物小苗大多為樣區內或鄰近地區之主要組成，僅台灣黃杞(*Engelhardtia roxburghiana*)、台灣二葉松等為少數種類未出現在監測樣區內。草本植物小苗最多的科為菊科(10 種)，其次為禾本科 2 種，此 2 科多為干擾地常見先驅植物組成，具種子產量大、質輕、風媒或動物媒、初期生長速度快，以及到達繁殖時期快等特性。部份草本植物為鄰近對照樣區林下常見物種，例如淡竹葉(*Lophatherum gracile*)、距花黍(*Ichnanthus vicinus*)、台灣牛彌菜(*Marsdenia formosana*)、風藤(*Piper kadsura*)、三葉崖爬藤(*Tetrastigma formosanum*)等。

第 1 季調查 18 種小苗種類中，木本植物佔 11 種，數量最多的為楓香，佔木本小苗數之 84.47%，木本植物小苗數量較多的前 5 名依次為楓香、台灣檫、青楓(*A. serrulatum*)、山肉桂、九芎，約佔調查所有小苗數的 99.20%(表 5-10、11)。由於楓林區林床受土石掩埋覆蓋，新林床內的繁殖體幾無，繁殖體必需由外界輸入提供；然楓林區喬木層林木結構尚保存完善，非楓林區內組成物種之繁殖難以侵入，因此第 1 季調查之小苗種類幾全為楓林區物種組成。楓香小苗數量優勢主要因為長期監測樣區之存活上木幾乎全為楓香，且在監測期間，存活的楓香皆可開花結果，有大量的種子飄落林床所致。木



圖 5-42. 奧萬大楓林區長期監測樣區小苗調查、樣區設置與複查。

本植物小苗前 5 名除了山肉桂的果實為核果狀外，其餘 4 者的果實或種子具翅，或果實與枝葉飄落(台灣欒)，其風力作為種子傳播的工具，具有長距離。第 1 季調查的草本植物種類與種子苗數量不多，最多的草本植物小苗為距花黍，小苗數僅 7 株，此可能反映當季節可能缺乏成熟的繁殖體，或楓林區上層林冠較完整，繁殖體較難進入。

第 2 季調查時發現進入樣區的種類數增加，一方面顯示楓林區林分結構因樹種受干擾枯死後林冠破碎形成孔隙，繁殖體容易進入外；孔隙增加林內的光度，提供一些陽性植物足夠的光度使之生長(圖 5-45、46)。木本植物由 11 種增加至 28 種，草本植物由 7 種增至 12 種(表 5-10、11)。種子苗總量亦增加，木本植物種子苗數量前 5 名分別為楓香、臺灣白臘樹、山肉桂、台灣欒和青楓，約佔調查木本小苗總數之 99.21%(表 5-10)。然而，楓香、台灣欒和青楓的種子苗數比第 1 季調查要少，其中，楓香小苗數量更是減少近 1/2。草本植物最多的前 3 者為昭和草、距花黍及淡竹葉(表 5-11)，昭和草及則為區外拓殖而來，而後 2 者為楓林區林下常見優勢地被植物，小苗數量增加相當快，各種草本植物的小苗數為普遍增加。

表 5-10. 奧萬大楓林區監測樣區 2010-2011 年之木本植物小苗種類與數量

物種\調查月份	2010.5	2010.7	2010.10	2011.1	2011.4	2011.7	2011.10
楓香	745	467	156	30	73	91	2
臺灣檫	77	67	44	27	48	25	
青楓	36	20	12	10	30	7	
山肉桂	13	48	31	36	35	15	
九芎	4	8	4		7	8	2
雀梅藤	2	9	4		8	3	
山豆葉月橘	1	1	7	1	3		
長梗紫芋麻		143	31	37		24	
臺灣白臘樹		64	32	6	13	16	1
朴樹		9	1	1	2		
呂宋莢蒾		5			1	1	
臺灣赤楠		5		1		3	
小葉桑		4	3	1	5	5	
臺灣山桂花		3	1	6	1	7	
細葉饅頭果		1	8	2	3	8	
臺灣紫珠		1	2		1	5	
山桐子			9	2	10	4	1
裡白椴木			5	2	1		2
小舌菊				5	3		
密花芋麻					41		
其他	4	19	13	16	23	15	1
株數總計	882	874	363	183	308	237	9
單季種數	11	28	24	24	31	26	6

註*其他之物種為單季出現未達 5 株者。

第 3 季小苗調查結果顯示，40 種小苗中，木本植物佔 24 種，比第 2 季減少 4 種，減少的種類為呂宋莢蒾(*Viburnum luzonicum*)、阿里山千金榆、青剛櫟及臺灣赤楠，其中新增山桐子、裡白椴木(*Aralia bipinnata*)、水冬瓜(*Saurauia tristyla*)、奧氏虎皮楠(*Daphniphyllum glaucescens* subsp. *oldhamii* var. *oldhamii*)、疏果海桐(*Pittosporum illicioides*)及瓊楠(*Beilschmiedia erythrophloia*)等 6 種(表 5-10)。種子苗主要組成前 5 名的樹種為楓香、台灣檫、臺灣白臘樹、山肉桂、長梗紫芋麻(*Oreocnide pedunculata*)，占木本小苗總數之 80.99%；種子苗數較前期調查皆減少，種子苗數佔所有種子苗之 67.60%，優勢種之種子苗比例較前 2 季調查結果低，死亡的種子苗可能反映出其對競爭、生育地環境的不適應。前季調查的淡竹葉、蛇根草(*Ophiorrhiza japonica*)、黃野百合

表 5-11. 奧萬大楓林區監測樣區 2010-2011 年之草本植物小苗種類與數量

物種\調查月份	2010.5	2010.7	2010.10	2011.1	2011.4	2011.7	2011.10
距花黍	7	17	25	22	-	-	-
昭和草	4	81	121	199	23	383	13
淡竹葉	4	18	-	-	29	54	-
大花咸豐草	-	1	1	177	6	58	-
毛酸漿	-	-	-	-	3	5	-
假福王草	-	1	3	7	2	159	-
蛇根草	-	9	-	-	-	1	-
野茼蒿	-	3	8	14	35	48	-
臺灣崖爬藤	-	-	-	1	2	5	-
臺灣澤蘭	-	-	-	-	6	-	1
加拿大蓬	-	-	-	-	-	-	2
波葉山螞蝗	-	-	-	1	1	2	3
紫背草	-	-	-	-	-	-	1
雙花龍葵	-	-	6	3	-	-	-
其他	9	22	10	7	20	15	-
株數總計	24	152	174	431	127	730	20
單季種數	7	12	12	13	19	17	5

註*其他之物種為 2010 年 5 月至 2011 年 7 月間單次調查未達 5 株者。

(*Crotalaria pallida* var. *obovata*) 等 3 種草本植物未發現，新增雙花龍葵 (*Lycianthes biflora*)、王瓜 (*Trichosanthes cucumeroides*)、三葉崖爬藤等 3 種。昭和草、距花黍 (*Ichnanthus vicinus*)、野茼蒿 (*Conyza sumatrensis*) 等為本季小苗數量最多的前 3 名 (表 5-11)，其中昭和草、距花黍的數量皆較前季來得多。樣區木本植物的小苗中，楓香、台灣檫、青楓、九芎、台灣朴、台灣二葉松、木蠟樹 (*Rhus succedanea*)、栓皮櫟、臺灣白臘樹、朴樹 (*Celtis formosana*)、呂宋莢蒾、臭辣樹 (*Tetradium glabrifolium*)、羅氏鹽膚木 (*R. javanica* var. *roxburghiana*)、山桐子等多為陽性樹種，僅山肉桂、台灣赤楠、香楠、烏心石 (*Michelia compressa*)、瓊楠、水冬瓜等少數為中性至耐陰性樹種 (圖 5-43)。楓香、台灣檫等陽性樹種在第 1 季即入侵干擾後的楓林區，山肉桂、香楠。楓林區在萬大南、北溪在歷年颱風挾帶的土石堆積下，不僅土壤基質發生改變，林木生長與存活亦產生變化；楓林區的林木隨著土石流等干擾逆境時間增加大多數枯死，林下透光量增加，使得多數陽性樹種或草本植物之小苗得以萌發 (圖 5-43、44)。

於 2011 年 1 月進行第 4 季之調查，發現長期監測樣區內之小苗數量明顯較前 1 年第 3 季調查為少，該季小苗僅存 42 種 625 株(表 5-10、11)。其中木本植物之小苗有 24 種 183 株(表 5-10)。該季小苗數量最多之前 5 種與上季相同，然其數量明顯減少，僅占木本小苗總數之 74.32%，較上季為低；木本植物之小苗數量減少可能與第 4 季為冬季所致，部分林木小苗可能無法適應溪谷環境之日夜溫差，而造成小苗數大量減少。草本植物小苗 13 種 431 株(表 5-11)，雖種數較上季減少一種，然其數量較上季為多，亦使得木本植物小苗佔所有小苗的比例下降，僅存 29.28%；其中草本植物之小苗組成亦有改變，減少之種類有三葉崖爬藤、山茼蒿及王瓜，新增之種類有波葉山螞蝗(*Desmodium sequax*)、臺灣崖爬藤(*Tetrastigma umbellatum*)、五節芒(*Miscanthus floridulus*)、苦蕒菜(*Sonchus oleraceus*)及新竹堇菜(*Viola shinchikuensis*)，其中波葉山螞蝗及五節芒為崩塌地常見的優勢草本植物，雖其在樣區內數量僅 1-2 株，然於整體長期監測樣區內數量頗多，且其 2 者常生長於開闊且受干擾的崩塌地，亦顯示長期監測樣區內樹冠逐漸疏開而造成裸地化的情形。

第 5 季調查時間為 2011 年 4 月 15 日，小苗數量明顯較前 1 季減少，共有 51 種 460 株(表 5-10、11)，木本植物之小苗由 24 種增加至 31 種(表 5-10)，共 308 株，其中主要新增的種類為九芎、雀梅藤(*Sageretia thea*)、密花苧麻(*Boehmeria densiflora*)、桶鈎藤(*Rhamnus formosana*)及木蠟樹，其中九芎僅於第 4 季沒有出現，但之前第 1-3 季皆有出現，推測可能為前 1 季為九芎之落葉期，小苗亦可能為落葉的狀態，使得調查時被調查者所忽略。草本植物為 19 種 127 株(表 5-11)，其物種數較上季明顯增加，然其數量下降，可能為部分一年生草本植物於冬季以死亡，新增之物種有臺灣澤蘭(*Eupatorium formosanum*)、串鼻龍(*Clematis grata*)、毛酸漿(*Physalis pubescens*)、北五味子(*Schisandra arisanensis*)、柱果鐵線蓮(*Clematis uncinata*)、薄葉艾納香(*Blumea aromatica*)、蔓黃菀(*Senecio scandens*)、南投月桃(*Alpinia flabellata*)及臺灣蘆竹(*Arundo formosana*)，然其中僅有薄葉艾納香、臺灣蘆竹及串鼻龍於下 1 季節再次出現。

第 6 季調查時間為 2011 年 7 月 27 日，小苗數量明顯較前 1 季增加，共有 1,000 株，然物種數與前季相同(表 5-10、11)。主要之木本植物小苗為楓香、山肉桂、臺灣白臘樹、臺灣檫及長梗紫苧麻(表 5-10)，其數量占木本小苗總數之 72.15%，然整體而言，木本植物小苗數量明顯減少，其可能與長期監測樣

區內因枯木不斷倒塌造成微環境快速改變所致。草本植物小苗之數量較上季為多，但物種數下降，為 17 種 730 株(表 5-11)，數量最多之前 5 種為昭和草、野苧蒿、假福王草(*Paraprenanthes sororia*)、大花咸豐草(*Bidens pilosa*)及淡竹葉，僅後者為禾本科，其他皆為菊科。

第 1 年調查時，長期監測樣區內無發現蕨類植物，然而於 2011 年 1 月份第 4 季之調查開始發現樣區內著生蕨類小苗，該次調查發現 5 株 5 種蕨類(表 5-12)，分別為杯狀蓋陰石蕨(*Humata griffithiana*)、密毛小毛蕨(*Cyclosorus parasiticus*)、粉葉蕨(*Pityrogramma calomelanos*)、頂芽狗脊蕨(*Woodwardia unigemmate*)及臺北鱗蓋蕨(*Microlepia marginata*)；於第 5 季發現 9 株 3 種之蕨類，種類為杯狀蓋陰石蕨、粗毛鱗蓋蕨(*Microlepia strigosa*)及斜方複葉耳蕨(*Arachniodes rhomboides*)，第 4 季的後 4 種蕨類小苗可能因不適用於樣區內高溫之環境而死亡；於第 6 季發現 17 株 10 種蕨類小苗，主要為杯狀蓋陰石蕨、粗毛鱗蓋蕨、大葉鳳尾蕨(*Pteris cretica*)及腎蕨(*Nephrolepis cordifolia*)各有 2 株以上。樣區內蕨類小苗種類大部分為對照樣區內可見之蕨類，其孢子之來源可能即由未受干擾之地被蕨類而來。然而，蕨類小苗數量遠少於木本及草本植物，可能因為蕨類生長之環境較偏向遮陰及濕氣較高的生育地，現場觀察發現，蕨類植物分布之地點皆為較靠近未受土石掩埋干擾的上坡處樣區，其生長位置較接近未受干擾之林木，其樹冠可使臨近小樣區之遮陰度較佳。

第 7 季調查時間為 2011 年 10 月 17 日，由於地形之改變，林床土石因萬大北溪暴漲而流失，進而造成林下多數小苗消失，僅存 11 種 29 株小苗；另外，小苗樣區內完全無蕨類小苗之紀錄。

表 5-12. 奧萬大楓林區監測樣區之 2011 年蕨類植物小苗種類與數量

物種\調查月份	2011.1	2011.4	2011.7	2011.10
杯狀蓋陰石蕨	1	6	3	-
粗毛鱗蓋蕨	-	2	3	-
大葉鳳尾蕨	-	-	3	-
密毛小毛蕨	1	-	1	-
腎蕨	-	-	2	-
東方狗脊蕨	-	-	1	-
粉葉蕨	1	-	-	-
斜方複葉耳蕨	-	1	-	-
細葉複葉耳蕨	-	-	1	-
頂芽狗脊蕨	1	-	-	-
傅氏鳳尾蕨	-	-	1	-
絨毛石葦	-	-	1	-
臺北鱗蓋蕨	1	-	-	-
箭葉鳳尾蕨	-	-	1	-
株數總計	5	9	17	-
單季種數	5	3	10	-



圖 5-43. 奧萬大楓林區長期監測樣區遭受土石衝擊掩埋後於林下發芽之木本植物小苗。
 a. 楓香；b. 山肉桂；c. 臺灣白臘樹；d. 台灣檫；e. 青楓；f. 九芎；g. 木臘樹；h. 台灣朴樹。



圖 5-43. 奧萬大楓林區長期監測樣區遭受土石衝擊掩埋後於林下發芽之木本植物小苗(續)。
 i. 細葉饅頭果；j. 青剛櫟；k. 台灣二葉松；l. 栓皮櫟；m. 山桐子；
 n. 野桐；o. 密集生長的青楓小苗；p. 密集生長的楓香小苗。



圖 5-44. 奧萬大楓林區長期監測樣區遭受土石衝擊掩埋後於林下發芽之草本植物小苗。
 a. 淡竹葉；b. 紫花藿香薷；c. 牛彌菜；d. 大花咸豐草；e. 昭和草；
 f. 風藤；g. 愛玉；h. 假地豆。

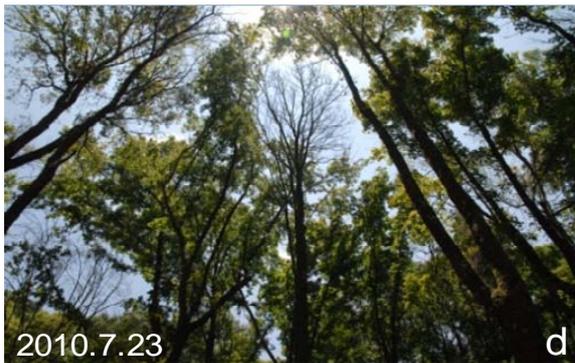


圖 5-45. 奧萬大楓林區長期監測樣區
遭受土石衝擊掩埋後樣區內部林
冠層不同時間定點拍攝。



圖 5-46. 奧萬大楓林區長期監測樣區遭受土石衝擊掩埋後樣區近林外之林冠層不同時間定點拍攝。

綜觀第 2 年之小苗調查結果，發現於第 2 年新增之物種同時具有耐陰性樹種及陽性樹種之小苗，前者主要來自於鄰近之未受干擾對照樣區植物的種子，後者則因長期監測樣區枯死樣株之冠層逐漸斷落甚至多數枯木倒塌，而造成樣區內部空地增加，使得陽性樹種小苗數量增加，其生長良好且快速，如裡白榕木(圖 5-47a)、木蠟樹(圖 5-47b)、山桐子(圖 5-47c)及臺灣白臘樹(圖 5-47d)等。由於部分環境較佳之小樣區苗木數量密集，陽性樹種之小苗可能對前 1 年發育之小苗造成生長之競爭，另一方面大多數菊科之草本植物如野茼蒿或大型灌木如小舌菊生長快速，亦會對木本植物之小苗造成競爭的壓力。另一方面，由於長期監測樣區內枯木於今年度 4 月及 7 月開始大量的倒塌(圖 5-39)，使得許多原本生長健康之苗木生長空間受到擠壓甚至被壓倒等嚴重干擾(圖 5-48)，可能造成部分小苗生長發育之不良。

整體而言，小苗數量於長期監測樣區內可能因為微環與上層林木差異之不同而有所不同；一般而言，越靠近未淹沒區之小苗數量較密集，反之小苗的數量較少且分布較稀疏(圖 5-49 and 50)。各樣帶之小苗數量在不同樣區內分布情形不同(圖 5-49d and h)，靠近未淹埋區域樣區的小苗數量較多，而於相反方向的樣區數量較低(第 2 樣區包含部分未淹埋區，使得新增小苗數量較低)；若比較 3 條樣帶，可發現部分樣帶小苗數量略呈雙峰的情形，此可能與未死亡的楓香母樹或其他樹種大量下種，或是耐陰性草本植物拓殖所致。另一方面，單就楓香之小苗的於各樣區之分佈，在 2010 年於不同的樣帶皆呈現有雙峰的現象(圖 5-50)，然於 2011 年越近未干擾之樣區小苗數量較多，其可能為原本分佈於外側的小苗因上方母樹大量死亡而造成其小苗生長不適而消失。

森林更新是森林植群演替與植群生態恢復的重要生態學過程，其方式受到干擾型式、強度、頻度與規模影響，植物組成與數量發生改變亦不同，決定物種歧異度(species diversity)(Huston, 1979; Fayolle et al., 1998; Shafroth et al., 2002)。楓林區受土石干擾後，部份林木枯死留下空隙，或因林木枯死陽光得以透過枯枝進入林床(圖 5-14)，林地土壤基質亦改變，促進林分的更新。有些植物能在非洪氾期迅速的完成生命史，並在洪氾來臨時，藉由水流散播種子；更有植物演化出符合洪氾頻率，形成需要

洪氾才能更新的機制(成克武等，2006；Strange et al., 1999)。Strange et al.(1999)在研究中提到，在 South Platte River 生長的三角葉楊(*Populus deltoides*)，其母樹通常在洪氾過的六月下種。下種後，種子僅能保存短短數週，而種子萌發後，需要大量的水分使其根部生長至夏季的地下水位線，如此小苗才能存活。因此，若洪氾消失或規模降低，則三角葉楊便會面臨更新困難的情況而遭受淘汰。



圖 5-47. 奧萬大楓林區長期監測樣區內部生長良好之樹苗。a：裡白櫟木；b：木蠟樹；c：山桐子；d：臺灣白臘樹。



圖 5-48. 奧萬大楓林區長期監測樣區內部小苗生長狀態。a：開闢處，b：楓香小苗，c：楓香小苗及昭和草，d：接近未受干擾處，e：山肉桂小苗，f：楓香、臺灣檫、九芎、青剛櫟及山肉桂之小苗。

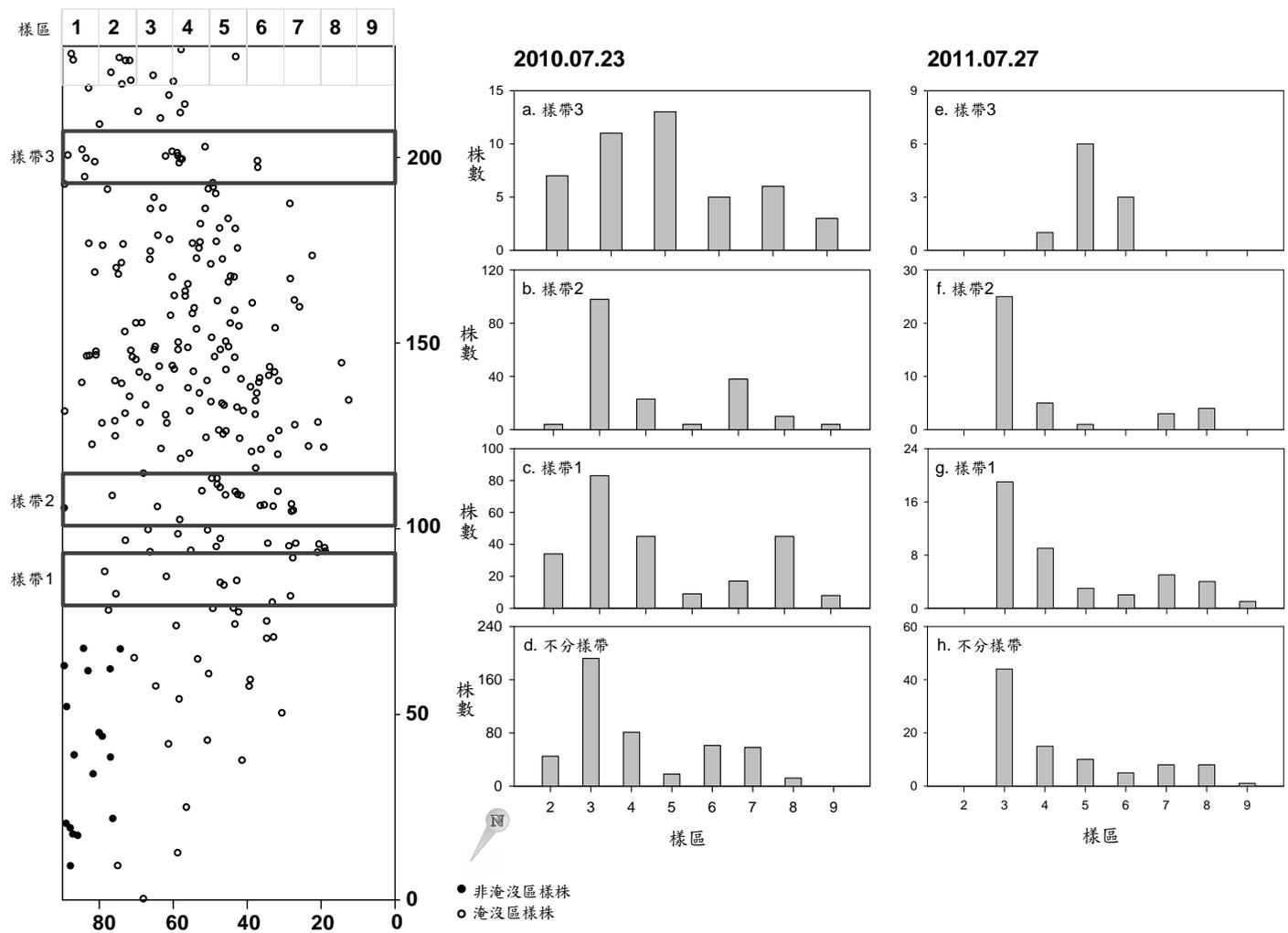


圖 5-50. 奧萬大楓林區長期監測樣區林木分布圖及 2010 及 2011 年 7 月份各樣帶楓香小苗數量變化圖。

由樣區內小苗組成之等級-豐量曲線得知(圖 5-51)，等級-豐量曲線由陡峭而漸趨平緩，物種組成由少而增多，優勢種類由密度比例大而隨季節降低，顯示物種均勻度增加，物種歧異度亦隨著調查季節而增加。楓林區在土石流干擾後接近 2 年的時間，林地擾動減少，繁殖體開始進入林床建立族群，種子苗的種數與均勻度隨季節增加而增加。然，由於第 7 季調查時，小苗因地形改變而消失，進而造成物種多樣性大幅減少，並使第 7 季之等級—豐量曲線長度明顯減短。楓林區植群之自然復育動力須仰賴其林下之種子庫及稚樹庫的累積，由於地形之改變而使種子庫及稚樹庫之組成量下降，並造成楓林區自然復育能力下降，且增加所需之時間，然如無干擾之現象，其等級—豐量曲線可隨時間逐漸增常，並逐漸恢復，然因楓林區即位於萬大北溪及南溪之行水區間，在楓林區形成明顯之河階地形前，此種物種增加後減少的歷程將反覆循環，為典型的干擾式循環。

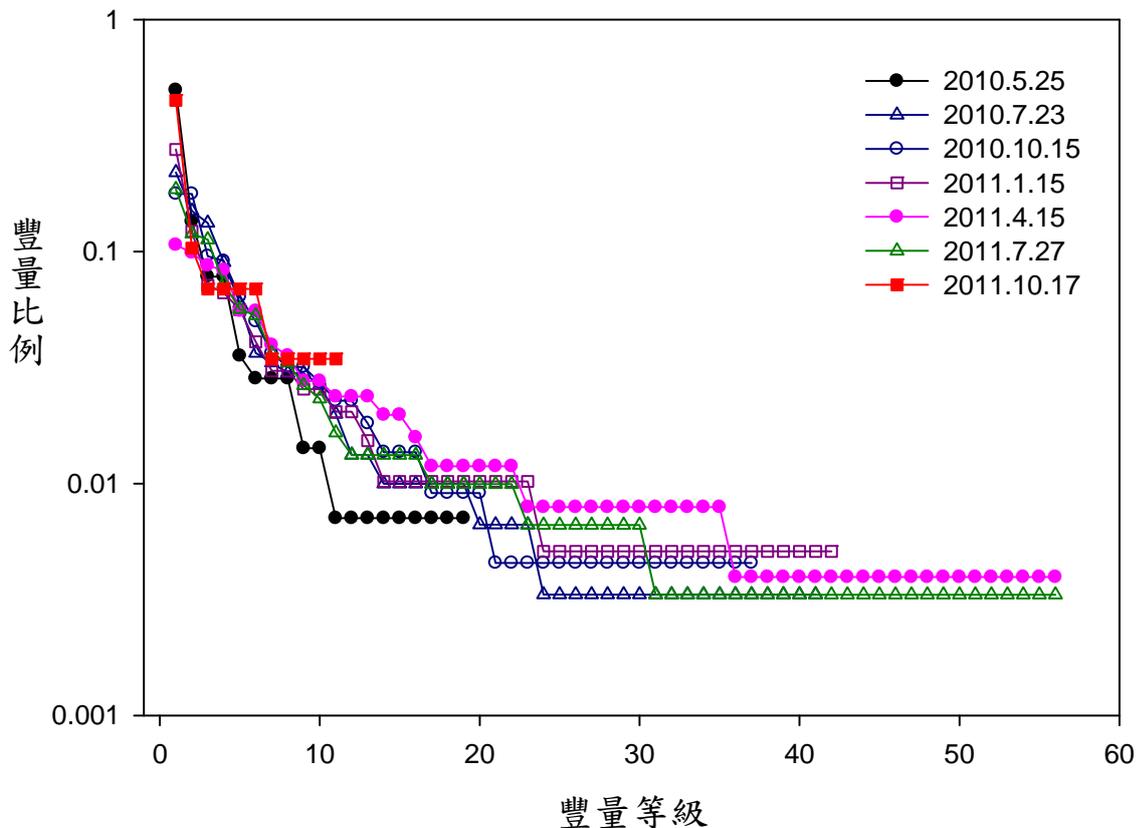


圖 5-51. 奧萬大楓林區長期監測樣區之小苗等級—豐量曲線之季節變化。

四、對照樣區植物組成與結構

去(2010年)年度於楓林區長期監測樣區上方增設 230×110 m² 之長方形對照樣區進行全林普查(圖 5-52~53)，調查方法與長期監測樣區相同，其調查結果可提供作未來楓林區人工或自然生態復育之資訊，並提供遊樂區植物資源利用之參考。除了陡峭的崖壁外未能調查外，全區調查結果發現有 80 科 157 屬 194 種維管束植物，蕨類植物有 11 科 16 屬 25 種，裸子植物 1 科 1 屬 2 種為臺灣二葉松及臺灣五葉松，種子植物中雙子葉植物 60 科 120 屬 146 種，單子植物 8 科 20 屬 21 種。植物種類最多的科為菊科(16 種)，依次為樟科(11 種)、禾本科(6 種)。本區海拔約 1,200 m，屬楠櫛林帶 (*Machilus-Castanopsis zone*)(Su, 1984, 邱清安, 2004)，反映在本區樟科種類的優勢；然因本區乾濕季明顯，地形陡峭，森林土壤保存不易，雖位置處於萬大南、北溪旁，但優勢組成樹種多為落葉性。本區的蕨類商數為 3.90，僅略低於全臺灣維管束植物之蕨類商數 4.56(Boufford et al., 2003)，大致反映出本區為環境陡峭、土壤發育淺薄、相對較濕潤的河谷地區。



圖 5-52. 奧萬大楓林區長期監測樣區之對照樣區設置、樣木調查及標號。

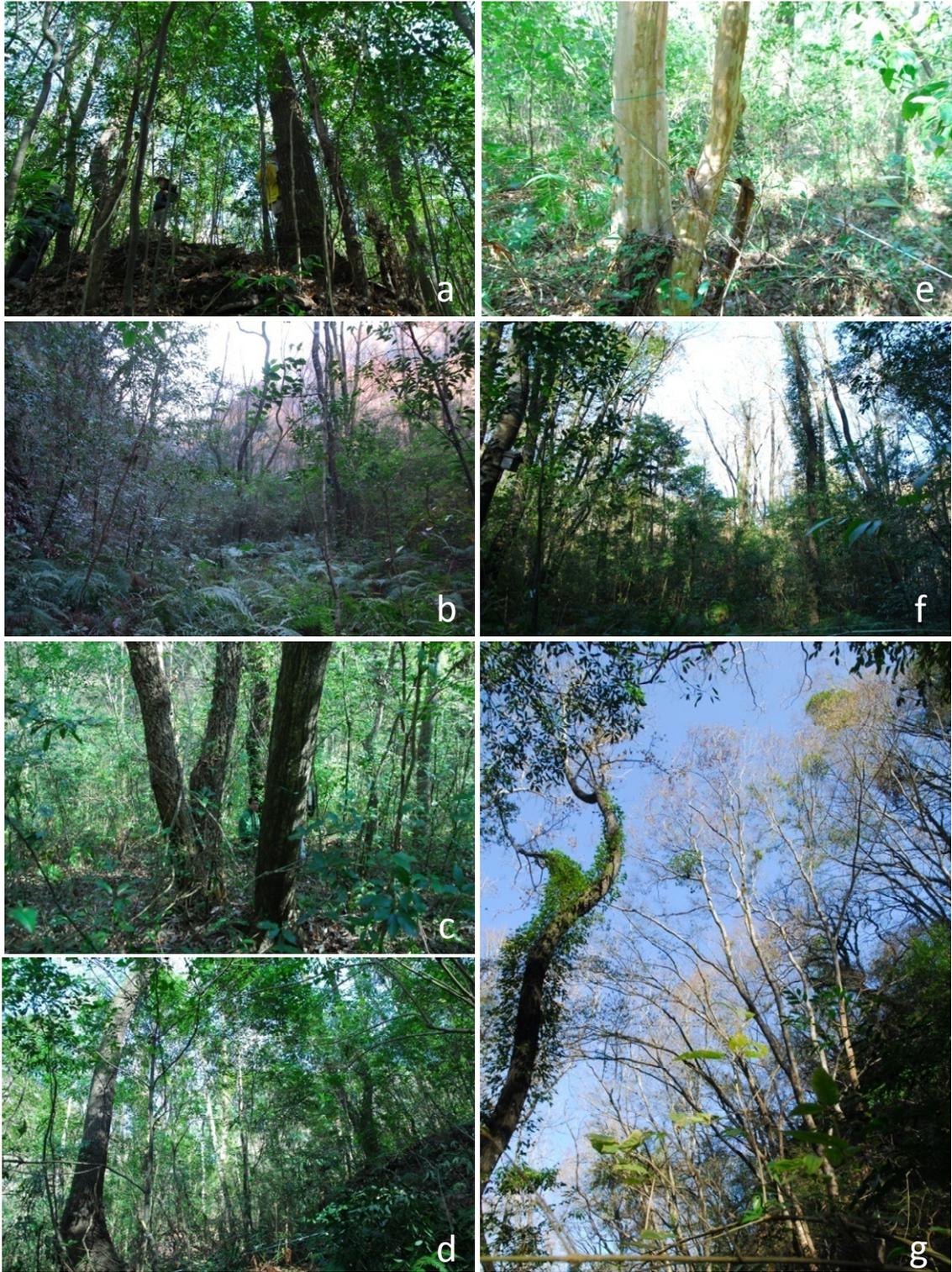


圖 5-53. 奧萬大楓林區長期監測樣區上方未遭風災土石掩埋之對照樣區 (2010年1月10日拍攝)。

胸高直徑 3 cm 以上的木本植物有 72 種，以山肉桂 411 株最多，前 5 名依次為山肉桂、青剛櫟(375 株)、楓香(237 株)、阿里山千金榆(241 株)，以及台灣欒(181 株)(表 5-13)。胸高斷面積以楓香最大，顯示楓香為本區最優勢樹種，依次為楓香、台灣欒、山肉桂、阿里山千金榆、青剛櫟(表 5-13)。比較楓林區對照樣區與監測樣區組成樹種(表 5-13、5-1)發現，兩區的主要組成樹種大致相同，前 20 名主要組成樹種中有 15 種相同；兩區前 7 名的種類相同，但各區的各樹種優勢度程度不一。監測樣區與對照樣區的主要組成優勢程度的差異可能反應各樹種對微環境的適應。其中，阿里山千金榆在對照樣區的優勢程度較監測樣區高出甚多。

表 5-13. 奧萬大楓林區對照樣區前 20 名主要組成樹種之株數、相對密度、胸高斷面積、相對優勢度、重要值

物種	株數	相對密度	胸高斷面積(cm ²)	相對優勢度	重要值
楓香	237	8.72	250,944.25	42.99	51.71
阿里山千金榆	241	8.87	76,243.88	13.06	21.93
山肉桂	411	15.12	36,532.26	6.26	21.38
青剛櫟	375	13.80	18,994.89	3.25	17.05
台灣欒	181	6.66	56,293.82	9.64	16.30
栓皮櫟	75	2.76	64,903.20	11.12	13.88
江棗	117	4.30	6,720.17	1.15	5.46
竹葉楠	98	3.61	4,382.09	0.75	4.36
台灣赤楠	95	3.50	1,410.27	0.24	3.74
香楠	69	2.54	6,783.93	1.16	3.70
小葉桑	88	3.24	1,245.58	0.21	3.45
台灣朴	61	2.24	4,296.72	0.74	2.98
細葉饅頭果	68	2.50	2,518.43	0.43	2.93
呂宋莢蒾	71	2.61	926.11	0.16	2.77
奧氏虎皮楠	47	1.73	1,242.86	0.21	1.94
糙葉樹	40	1.47	2,480.04	0.42	1.90
杜英	44	1.62	1,414.04	0.24	1.86
疏果海桐	46	1.69	485.51	0.08	1.78
瓊楠	30	1.10	668.15	0.11	1.22
台灣紫珠	28	1.03	296.19	0.05	1.08
其他	296	10.89	44,886.67	7.69	18.58
總計	2,718	100.00	583,669.06	100.00	200.00

*註：前 20 名主要組成之外的樹種

由對照樣區之林分結構顯示，主要組成樹種之徑級分布可大致區分成 2 型，楓香與栓皮櫟徑級分布呈鐘形分布(圖 5-54a and g)，顯示其稚樹數量較少，最終可能為其他樹種取代，台灣欒、山肉桂、青剛櫟、江某、阿里山千金榆、竹葉楠等樹種之徑級分布呈反 J 型(圖 5-53b and f)，對照樣區主要樹種的徑級結構與監測樣區的結果大致相同(圖 5-10)。鍾國基(2005)認為楓香雖為此類植物社會之主要優勢種，但其林下缺乏楓香之小苗或稚樹，最終將山肉桂、青剛櫟等耐陰性樹種取代。

由長期樣區(對照樣區與監測樣區)的地形來看，樣區的左上角為地勢較高且多為峭壁，左上角為萬大南溪沖刷區域。由樣株位置圖發現(圖 5-55)，若以胸徑 20 cm 作為劃分上層林冠與中下層林冠的依據，可以發現對照樣區的林木多為 20 cm 以下的個體組成；主要組成樹種為山肉桂(圖 5-57b)、青剛櫟(圖 5-58b)、香楠(圖 5-60a)、竹葉楠(圖 5-60a)等常綠樹種的稚樹，以及呂宋莢蒾(圖 5-61)、細葉饅頭果(圖 5-60b)、山豆葉月橘、疏果海桐等灌木；而胸徑 20 cm 以上的樹種多為楓香(圖 5-56)、台灣欒(圖 5-57a)、阿里山千金榆(圖 5-58a)和栓皮櫟(圖 5-59b)等，主要構成本區的林冠組成樹種。

對照樣區與監測樣區的物種組成比較發現，由對照樣區位於較高海拔，幾無洪氾干擾，演替後期的耐陰性物種，如山肉桂、青剛櫟、江某、香楠、竹葉楠等組成數量，前 2 者多分布在土壤較淺薄的生育地，後 3 者則較偏好土壤發育較好且較平坦的環境；另一方面，由於地勢較高，土壤水分保持不易，青剛櫟、栓皮櫟、台灣欒和阿里山千金榆等較早生的樹種有分布較高位置的趨勢。

比較對照樣區與監測樣區的楓香數量發現(表 5-1、5-13)，雖然對照樣區面積(90 m×230)較監測樣區(110 m×230 m)大，但監測樣區的楓香株數比對照樣區略多；若以整個樣區楓香分布圖來看，楓香主要分布在樣區的中央位置(圖 5-56)，在上游較陡峭區域數量較少。台灣欒植株的分布與楓香在樣區的位置大致相似(圖 5-56、圖 5-57a)，由於此兩種林木皆為林冠組成，顯示其對環境的需求相似，具有相近的生態位。樣區較陡峭區域域多為阿里山千金榆(圖 5-58a)和栓皮櫟(圖 5-59b)分布，其中栓皮櫟分布於樣區位置較高的位置，且主要集中於樣區的左上方。

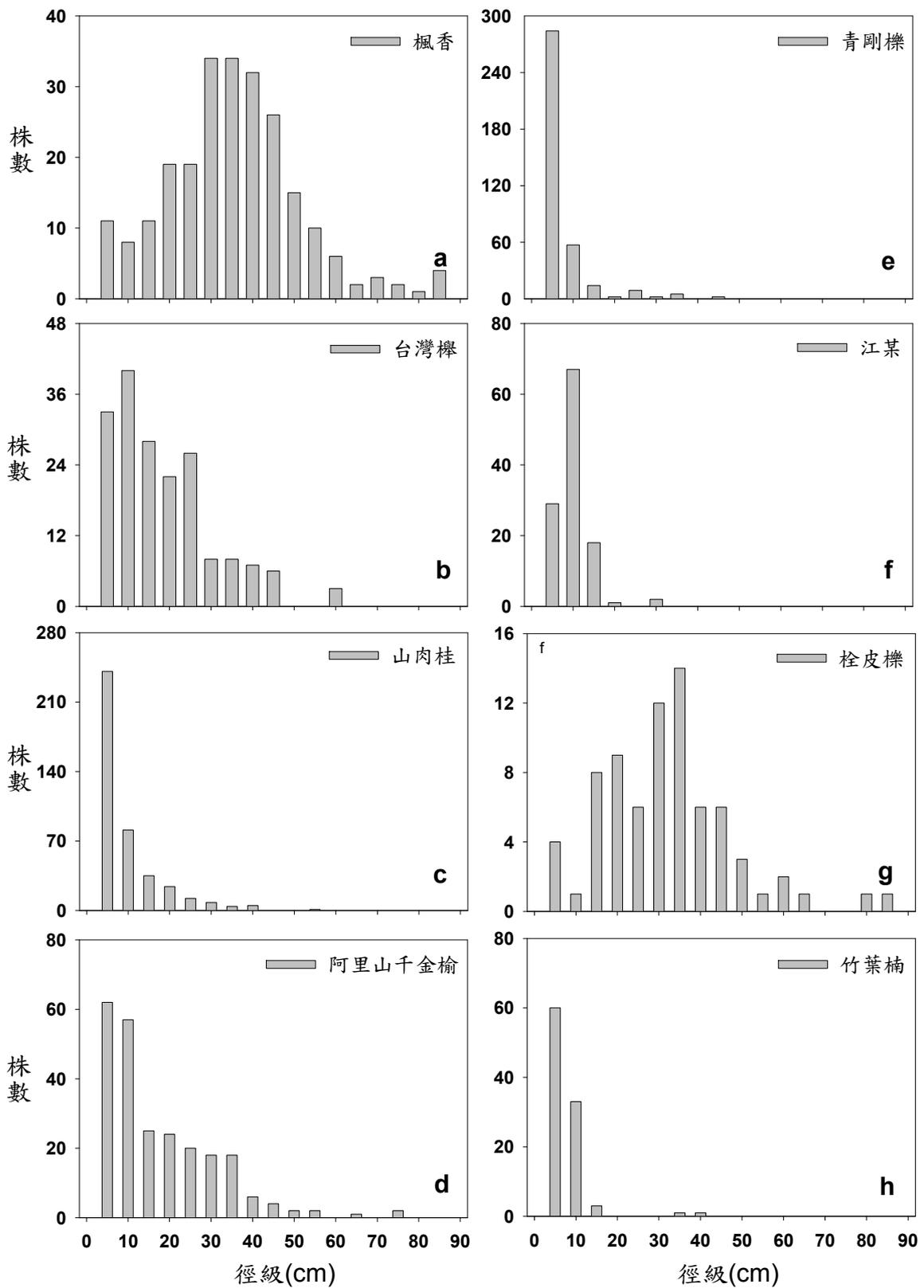


圖 5-54. 奧萬大楓林區對照樣區主要組成樹種之徑級分布圖。

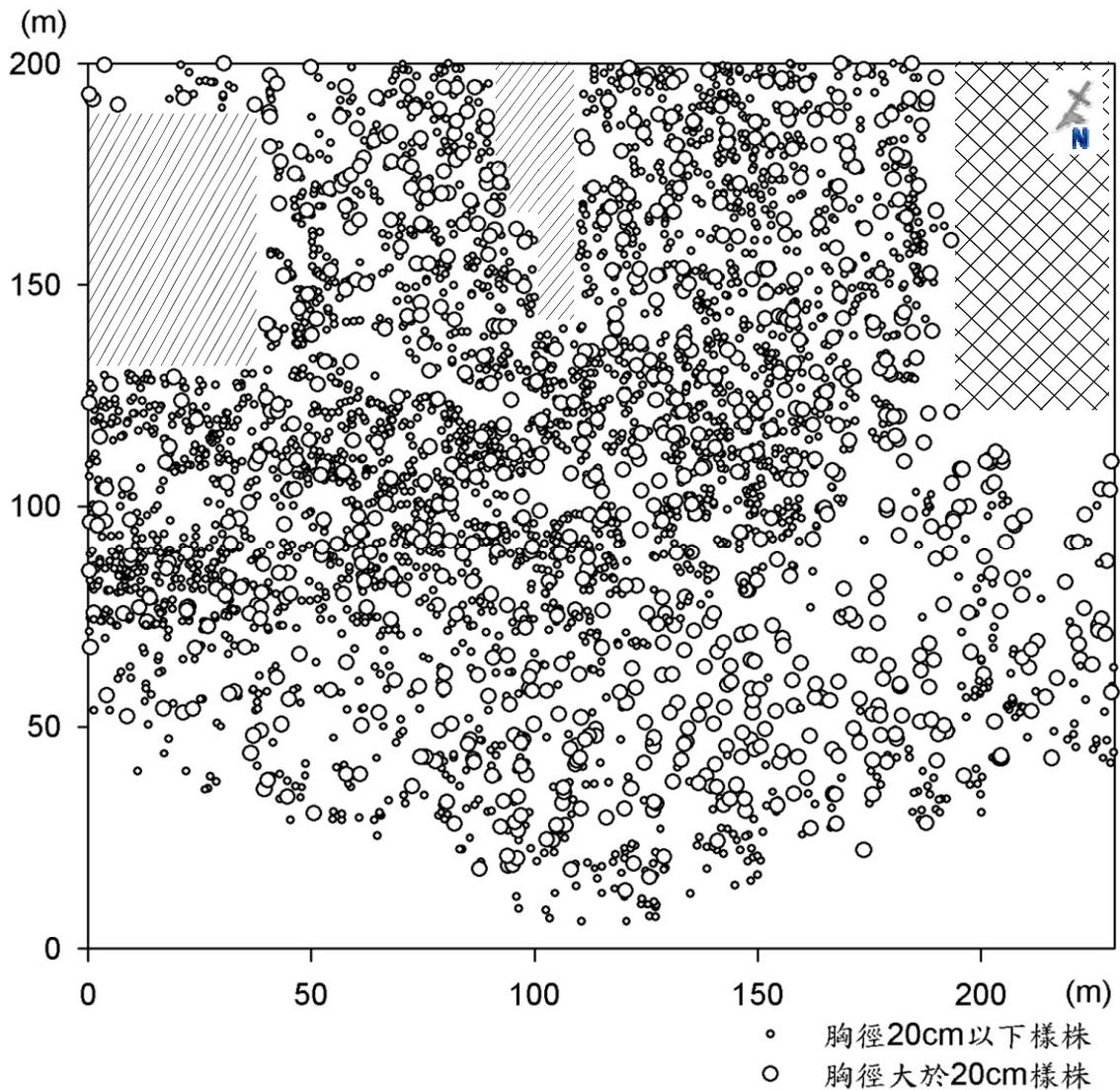


圖 5-55. 奧萬大楓林區長期樣區之樣株位置圖。單斜線區塊為峭壁，雙斜線區塊為萬大北溪沖刷區域。

山肉桂(圖 5-57b)與青剛櫟(圖 5-58b)在對照樣區的空間模式較相似，大抵反映其對環境需求的相似性；惟山肉桂在監測樣區的分布呈帶狀且鄰近萬大南、北溪河床，可能顯示其受種子傳播、拓展過程的競爭或干擾所致。由於山肉桂在干擾後第 3 季枯死率即高達 80%以上，顯示其對洪氾干擾的耐受性不佳，然為何山肉桂可以成為萬大溪的濱溪植群主要組成之一？在監測樣區木本植物種子苗調查發現，雖然山肉桂的種子苗數不是最高，相較 3 個季節生長與存活發現，山肉桂種苗較其他木本植物具有較高的存活率。是否山肉桂具有種子發芽存活較高、種苗建立與後期生長較快速等特性，致使山肉桂可以在干擾相對較頻繁的濱溪植群亦可以建立其族群，後續對於山肉桂的種苗建立與後期生長需再調查研究才能了解山肉桂在濱溪植群的生態地位。

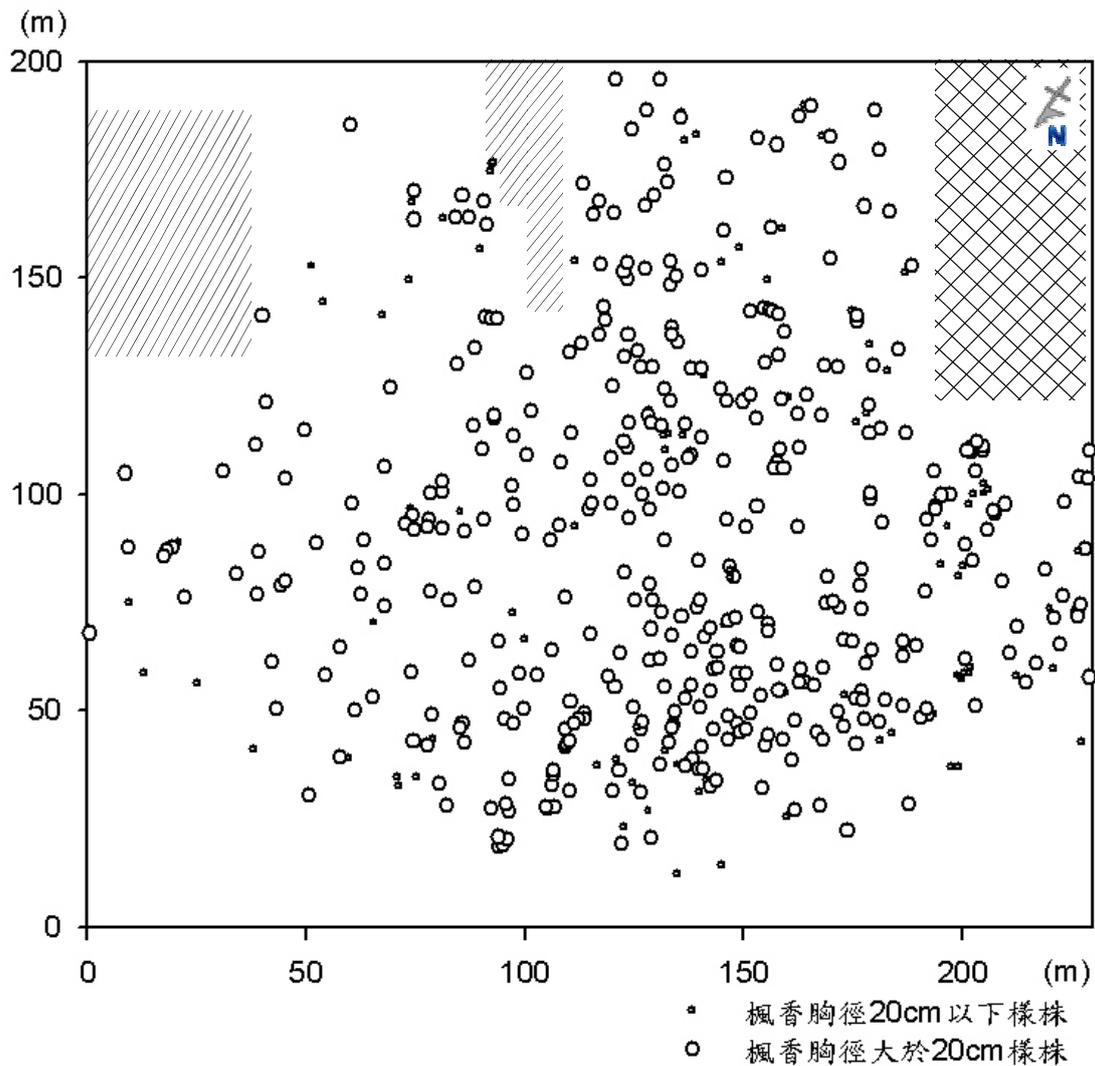


圖 5-56. 奧萬大楓林區長期監測樣區之楓香枯死與存活樣株位置。單斜線區塊為峭壁，雙斜線區塊為萬大北溪沖刷區域。

江某則多聚集於樣區在萬大北溪的邊緣(圖 5-59a)，此區域相較其他位置而言較為濕潤，反映江某對環境的需求特性；台灣赤楠(圖 5-60b)與江某的分布位置大致相似，然台灣赤楠似乎對環境有較大的適應性，分布範圍較江某廣。香楠與竹葉楠多聚集於對照樣區與監測樣區邊緣較平坦處(圖 5-60a)。

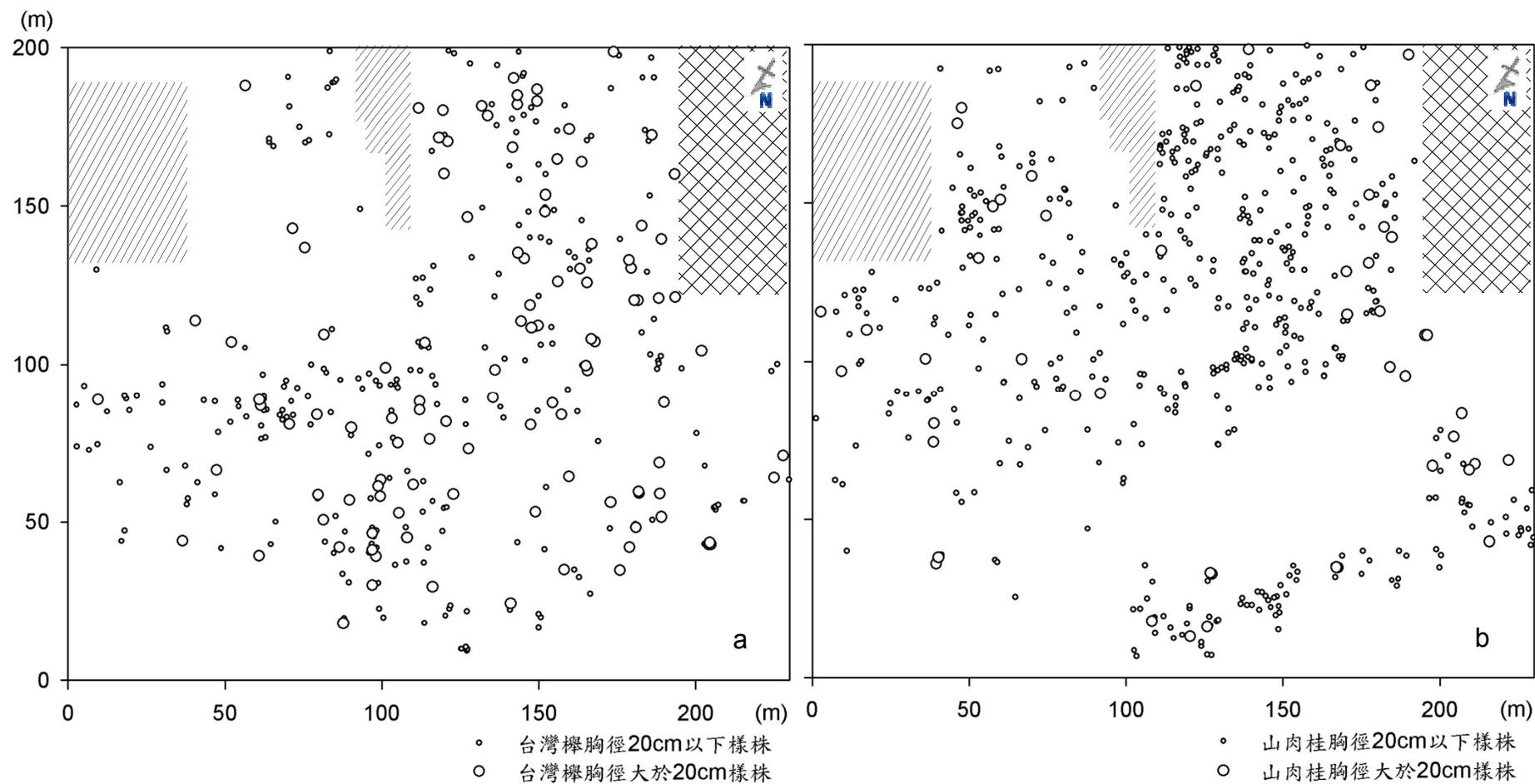


圖 5-57. 奧萬大楓林區長期監測樣區之(a)台灣櫟和(b)山肉桂樣株位置。單斜線區塊為峭壁，雙斜線區塊為萬大北溪沖刷區域。

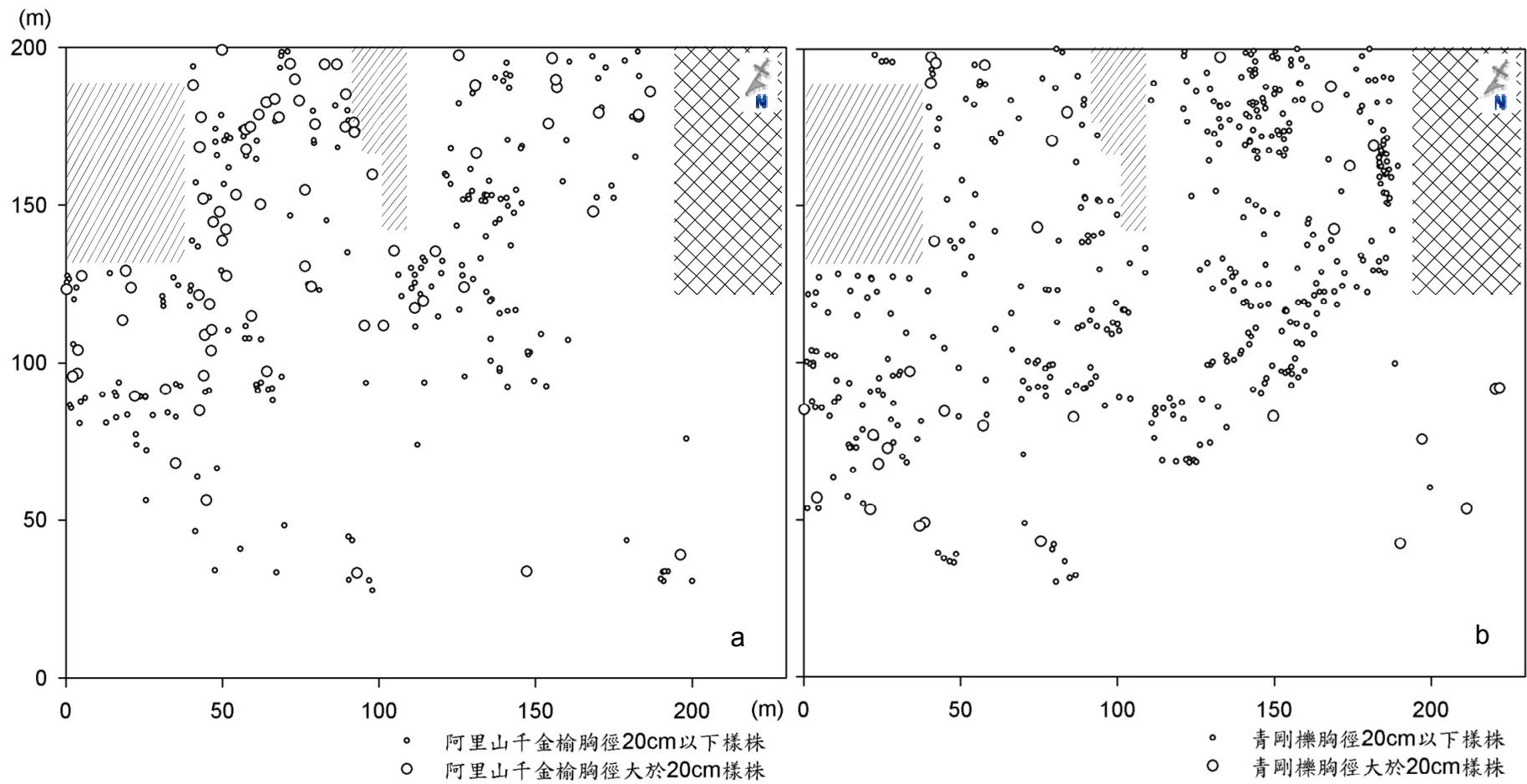


圖 5-58. 奧萬大楓林區長期監測樣區之(a)阿里山千金榆與(b)青剛櫟樣株位置。單斜線區塊為峭壁，雙斜線區塊為萬大北溪沖刷區域。

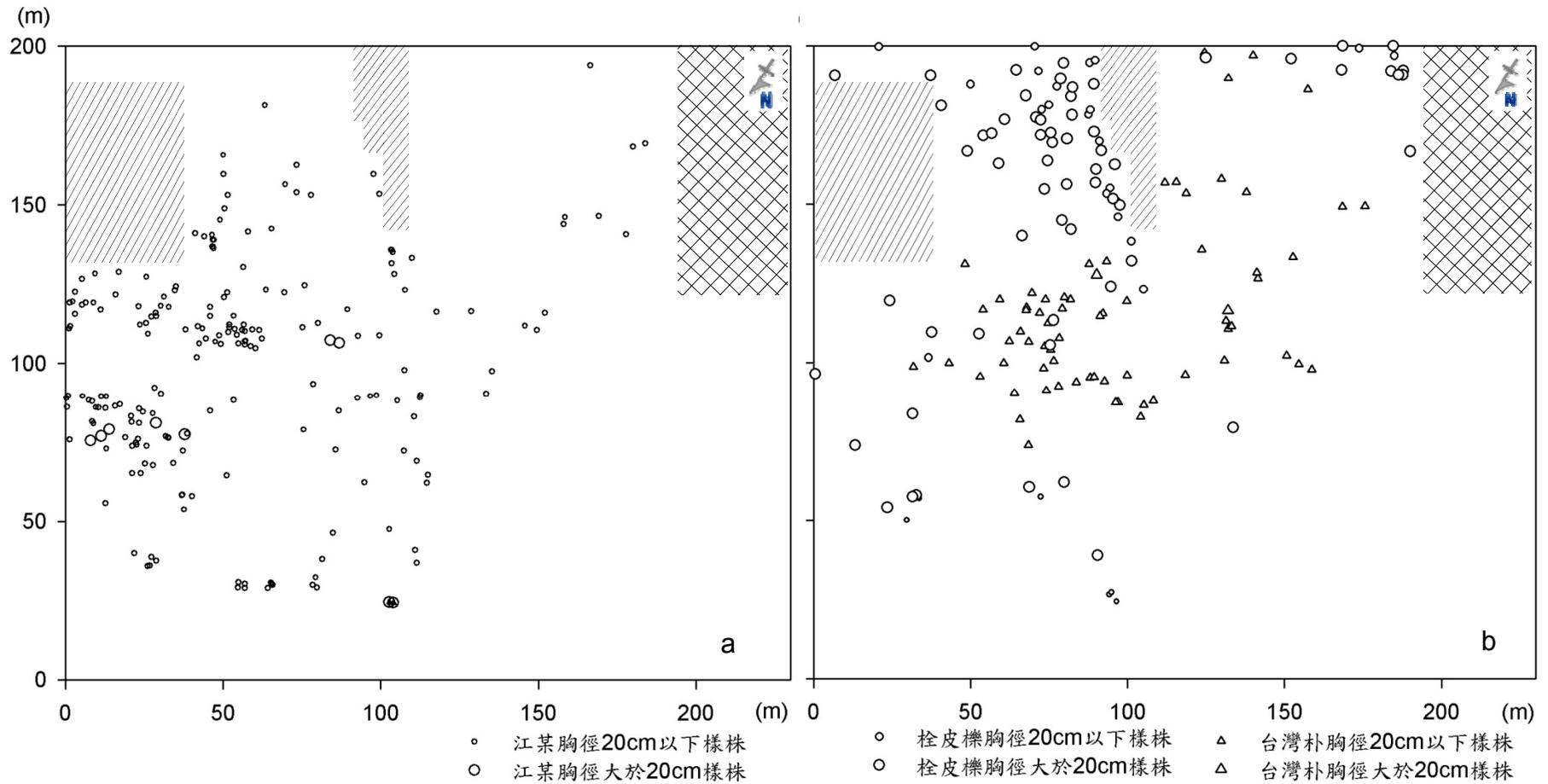


圖 5-59. 奧萬大楓林區長期監測樣區之(a)江某與(b)栓皮櫟、台灣朴樣株位置。單斜線區塊為峭壁，雙斜線區塊為萬大北溪沖刷區域。

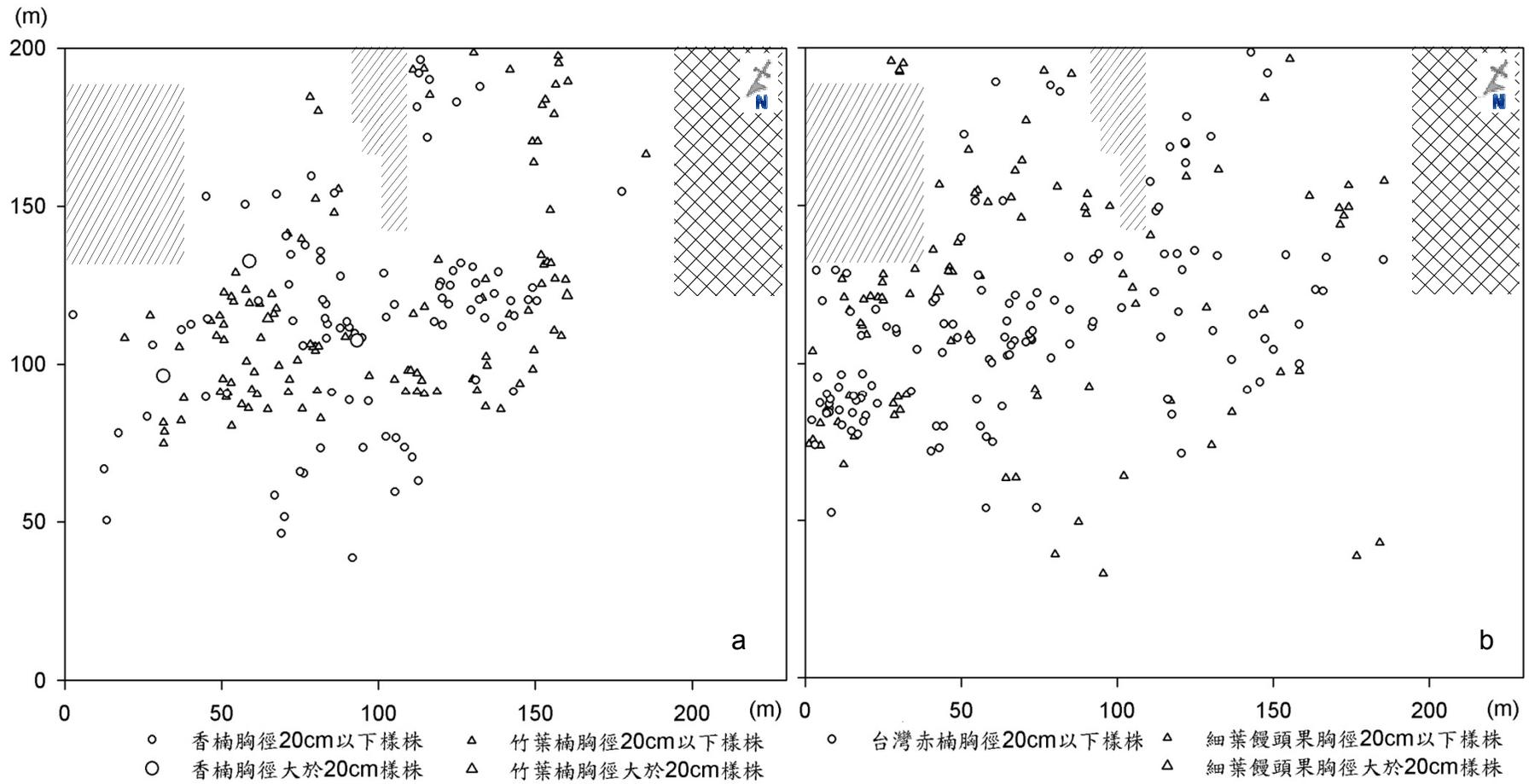


圖 5-60. 奧萬大楓林區長期監測樣區之(a)香楠、竹葉楠與(b)台灣赤楠、細葉饅頭果樣株位置。單斜線區塊為峭壁，雙斜線區塊為萬大北溪沖刷區域。

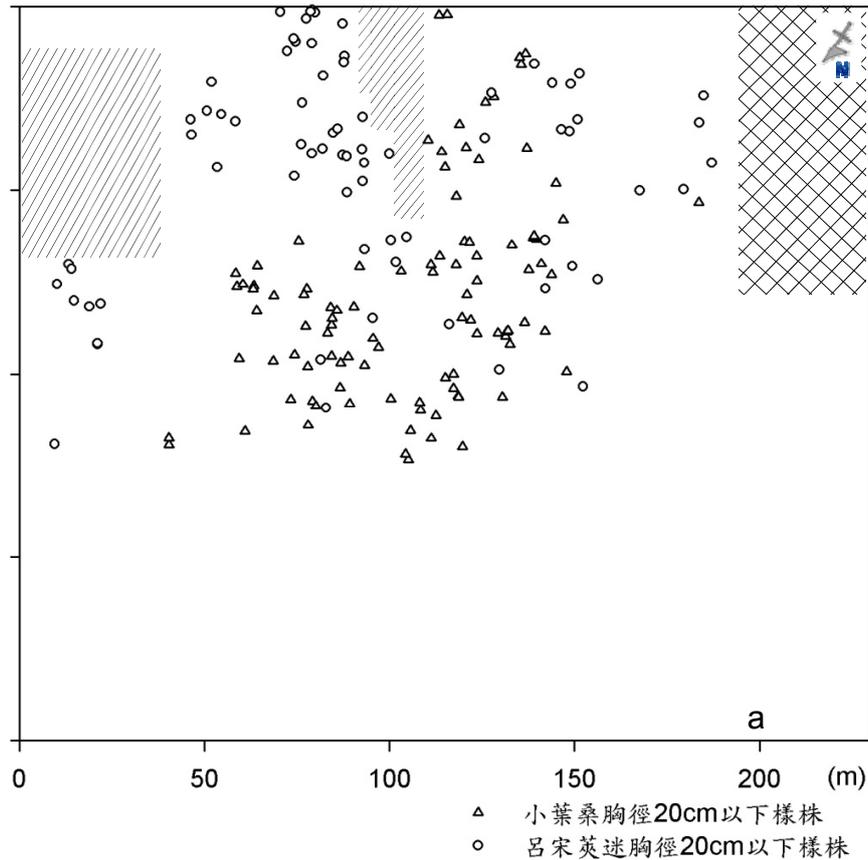


圖 5-61. 奧萬大楓林區長期監測樣區之小葉桑、呂宋莢蒾樣株位置。單斜線區塊為峭壁，雙斜線區塊為萬大北溪沖刷區域。

對照樣區的主要喬木層組成樹種中，落葉(8種)與常綠樹種(12種)比例約 1:2，兩者的株數比約 2:3(表 5-13)。然奧萬大楓林區的氣候乾濕季明顯，由於地形陡峭且土壤保水性不佳，落葉性樹種佔的比例要比相同海拔區域來得高，形成特殊的落葉季風林。雖然在落葉性植物的種數與株數不若常綠樹種高，但落葉樹種多為大喬木，胸徑與樹高皆明顯較常綠樹種大，構成的林冠常覆蓋在常綠樹種的樹冠之上，在樣區內的優勢度較常綠樹種高出甚多(表 5-13)。在秋冬季節，高大落葉樹種的黃葉形成金黃色林冠，可以將下層常綠樹種的綠葉遮蔽，因而造就奧萬大楓葉美景(圖 5-62)。



圖 5-62. 奧萬大楓林區紅葉情形(攝於 2008 年 12 月 11 日)。

陸、結論與建議

- 一、楓林區為典型的濱岸植群，因位於較高河階，致使有較長時期未受溪水干擾而有今日景緻；由監測樣區最大胸徑之楓香推測年代，形成楓林區可能有百年以上。
- 二、受 2008 年至 2010 年連續颱風挾帶豪雨，以及萬大南、北溪上游土石大量崩落之影響，楓林區遭受土石流衝擊與溪水淹浸；於 2008 年楓林區遭土石覆蓋高度超過 2.5 m，2009 年莫拉克颱風後，楓林區土石掩埋再增加 3 m 以上。受到降雨大小及上游土石崩落量的影響，在萬大南、北溪流域之楓林區地形仍處於變化的狀態。待上游土石崩落穩定後，萬大南、北溪將會向下侵蝕，楓林區將會形成明顯的河階地形。
- 三、本研究認為楓林區遭溪水淹浸與土石掩埋為一極為特殊之氣候生態事件，其對溪水、土石流干擾後之林木生長、存活、演替等動態研究可進行較長時間之觀察，作為森林生態與環境監測長期研究之場域。
- 四、楓林區受土石流干擾後，主要組成樹種枯死/存活的位置與胸徑的季節變化發現，枯死/存活植株的位置有往山坡且遠離河岸方向之趨勢，楓香、臺灣檫、山肉桂等樹種有顯著季節間差異，反映出楓林區外圍受土石流干擾後的逆境威脅較大，較易枯死。樣區內枯死/存活植株的胸徑亦隨調查季節呈現顯著差異，顯示胸徑大者對土石衝擊逆境有較大的耐受性。
- 五、楓林區主要組成樹種在土石流逆境後，易遭到蠹蟲、微生物等 2 次傷害，2 次受害植株在第 2 年夏季幾乎全枯死，僅存部分樣株存活；蠹蟲為廣食性之植食昆蟲，然其僅會攻擊生理狀態不佳之林木。基於楓林區林木遭蠹蟲危害為天然偶發事件，且調查過程中未發現有未遭土石掩埋之健康楓香遭蠹蟲侵襲，另由於缺乏專一性之蠹蟲撲殺劑，且楓林區位處濁水溪上游，為民生用水安全與自然生態保育原則，本研究評估只需待此一蠹蟲危害期過後即可，不建議以殺蟲劑撲殺蠹蟲。
- 六、兩年調查結果發現，楓林區遭土石掩埋與溪水淹浸後之樹種大多枯死，僅楓香與九芎較強的耐受性，此 2 樹種或可為土石流或低漥淹水區域植生復育的樹種參考。
- 七、建議楓林區土石掩埋區應暫時維持現況，可以作為奧萬大國家森林遊樂區自然教育中心之生態環境教育活教材，配合楓林區之歷史照片與研究資料，提供中小學戶外地質與生態研習之環境，然相關安全措施應予以維護保全。

- 八、重建楓林區首要為維持楓林區地質之穩定，然於今年度最後一次調查發現，楓林區因萬大北溪漫流之故，土石遭沖刷 0.3-1.2 m，除使地形改變外，更連帶將地被植物及小苗沖失，亦確定楓林區之地質尚處於極不安定之狀態；另由於自去年(2010年)開始楓林區楓香大量死亡，死亡楓香之幹部因遭受蠹蟲嚴重侵害而陸續倒塌，使進入楓林區活動之安全性大幅下降。基於以上兩原因，本研究建議暫緩就原楓林區範圍內以新植楓香苗木復育之提議。
- 九、本研究認為對照樣區極具開發潛力，對照樣區位於現有楓林區之上方及松林區涼亭之間，對照樣區之主要組成樹種為楓香、台灣檫、山肉桂、阿里山千金榆、青剛櫟，其中楓香、台灣檫及阿里山千金榆皆為高大的變葉樹種，其他山肉桂及青剛櫟雖數量眾多，然其樹冠位於前三者之下方，故對照樣區極具開發潛力。且靠近現有楓林區之上方亦有一平台，如將其中林相加以整理，應可替代現有楓林區。然因為其位置與楓林區十分接近，將會有安全方面之顧慮，管理單位應審慎評估。
- 十、楓紅季節部分遊客會跨過警戒線至楓林區賞楓，因楓林區大量枯木有折斷之危險，建議管理處立牌告示，或設置相關安全措施以維護遊客安全。另外，攀登能高越嶺之登山客因舊步道指示常誤入松林區，建議在登山步道出口設指示牌，指出登山客由吊橋出楓林區。

柒、參考文獻

- 王立志 (1996) 濱岸生態系的特性與保育。河川、溪流及水戲保護帶研討會論文集 pp.72-80。國立中興大學水土保持學系。
- 王忬、趙振興 (2003) 河岸植被對水流影響的研究現狀。水資源保護 6: 50-53。
- 王凱立 (2005) 河川濱水帶適生植物及其水流阻力之研究。國立中興大學水土保持學研究所碩士論文。
- 交通部中央氣象局 (2004) 雨量分級定義。 <http://www.cwb.gov.tw/>。
- 成克武、臧潤國、周曉芳、張煒銀、白志強 (2006) 洪水對額爾齊斯河河岸天然林植被的影響研究。北京林業大學學報 28(2): 46-51。
- 江明喜、鄭紅兵、唐濤、蔡慶華 (2002) 香溪河流域河岸帶植物群落物種豐富度格局。生態學報 22(5): 629-635。
- 李錦育 (2002) 近自然工法之設計原理與應用。台灣林業 28(4) 33-45。
- 汪靜明 (1992) 河川生態保育。國立自然科學博物館。
- 卓仁英、陳益泰 (2001) 木本植物抗澇性研究進展。林業科學研究 14(2): 215-222。
- 林介龍、盧惠生、王義仲、劉晉榮、黃曜謀 (2006) 六龜試驗林演溪植群調查。華岡農科學報 18: 111-126。
- 林登秋、林則桐、江智明、夏禹九、金恒鑣 (1999) 颱風對台灣東北部天然闊葉樹林林冠幹擾之研究。中華林學季刊, 32(1):67-78。
- 林維君 (2001) 以生態觀點為基礎的河流廊道規劃-以基隆河為例。國立臺北大學資源管理研究所碩士論文。
- 洪富文、游漢明、馬復京 (1995) Typhoons of 1994 doubled the annual litterfall of the Fu-Shan mixed hardwood forest ecosystem in northeastern Taiwan。林業試驗所研究報告季刊 10(4): 485-49。
- 徐憲生 (2006) 七家灣溪濱岸植群監測與地景變遷。國立中興大學森林學系碩士班碩士論文。
- 高惠真 (2007) 遊客對奧萬大國家森林遊樂區景觀偏好之研究。國立嘉義大學森林暨自然資源研究所碩士論文。
- 張建春 (2001) 河岸帶功能及其管理。水土保持學報 15(6): 143-146。
- 張焜標、張耀聰 (2000) 恆春半島佳樂水瀑布上游溪岸之森林植群分析。屏東科技大學學報 9(1): 9-19。
- 郭礎嘉 (2009) 七家灣溪濱岸植群動態。國立中興大學森林學系碩士班碩士論文。
- 郭耀綸、尤國霖、楊月玲、王相華 (2007) 颱風擾動對台灣南部墾丁森林林下光量及六種樹苗生長的影響。臺灣林業科學 22(4): 367-380。
- 陳吉泉 (1996) 河岸植被特徵及其生態系統和景觀中的作用。應用生態學報 7(4): 439-448。
- 陳信雄、謝昱男 (2007) 森林在公益功能效益上之探討。中華林學季刊 40(1): 135-145。

- 陳財輝、洪富文 (1993) 澎湖海岸林現況及颱風帶來鹽霧危害後林木恢復生長之調查。林業試驗所研究報告季刊 8(2): 129-14。
- 黃婷璟 (2004) 濱溪植物在推移帶分布狀態及其耐受性適生之研究。中華大學土木工程學系碩士論文。
- 黃鎮國、張偉強 (2007) 中國熱帶近百年氣候波動與自然災害。自然災害學報 16(2): 40-45。
- 楊正釗 (1993) 台北縣烏來鄉桶后溪濱溪植群之研究。國立台灣大學森林學研究所保育組碩士論文。
- 葉慶龍、朱榮三 (1999) 屏東縣牡丹鄉牡丹溪濱溪植群研究。林業研究季刊 21(4): 17-32。
- 趙偉成 (2003) 洪水頻與河畔植生關係之研究於台灣南部地區。國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。
- 劉藍玉、楊正澤 (2005) 竹木材檢疫重要蠹蟲類(鞘翅目)害蟲介紹。植物重要防疫害蟲診斷鑑定研習會(五)
- 歐辰雄、呂金誠、簡益章 (1989) 奧萬大森林遊樂區植生調查報告。南投林區管理處。
- 盧孟明、陳佳正、林昀靜 (2007) 1951-2005 年台灣極端降雨事件發生頻率之變化。大氣科學 35(2): 87-103。
- 薛豔紅、陳芳清、樊大勇、謝宗強 (200) 宜昌黃楊對夏季淹水的生理生態學響應。生物多樣性 15(5): 542-547。
- 謝正倫 (2007) 溪流結構物對生態影響之定量評估。國立成功大學水利及海洋工程研究所博士論文。
- 鍾國基 (2005) 萬大溪濱溪植群生態研究。國立嘉義大學林業暨自然資源研究所碩士論文。
- 羅芳麗、曾波、陳婷、葉小齊、劉巔 (2007) 三峽庫區岸生植物秋華柳對水淹的光合與生長響應。植物生態學報 31(5): 910-918。
- 顧玉蓉、趙偉成、謝正倫 (2005) 河濱植生與河川基流量寬度關係之研究。特有生物研究 7(1): 51-60。
- Angelov, M. N., S-J S. Sung, R. L. Doong, W. R. Harms, P. P. Kormanik and C. C. Black (1996) Long- and short-term flooding effects on survival and sink - source relationships of swamp-adapted tree species. *Tree Physiology* 16: 477-484.
- Azami, K., H. Suzuki and S. Toki (2004) Changes in riparian vegetation communities below a large dam in a monsoonal region: Futase Dam, Japan. *River Research and Applications* 20:549-563.
- Bendix, J. and C. R. Hupp (2000) Hydrological and geomorphological impacts on riparian plant communities. *Hydrological Processes* 14 (16-17):2977-2990.
- Blom, C. W. P. M. (1999) Adaptation to flooding stress: from plant community to Molecule. *Plant Biology* 1:261-273.
- Choung, H.-L., C.-H. Kim, K.-C. Yang, J.-I. Chun and H.-C. Roh (2003) Structural characteristics and maintenance mechanism of *Ulmus pumila* community at the Dong River, Gangwon-do,

- South Korea. *Korean Journal of Ecology* 26(5):255-261.
- Duncan R. P. (1993) Flood disturbance and the coexistence of species in a lowland podocarp forest, South Westland, New Zealand. *Journal of Ecology* 81(3):403-416.
- Fathi-Maghadam, M. and N. Kouwen (1997) Nonrigid non-submerged vegetative roughness on floodplains, *Journal of Hydraulic Engineering* 123:51-57.
- Hosner, J. F. (1957) Effect of water upon the seed germination of bottomland trees. *Forest Science* 3:67-70.
- Hupp, C. R. and W. R. Osterkamp (1996) Riparian vegetation and fluvial geomorphic processes. *Geomorphology* 14:277-295.
- Jackson, M. B. and T. D. Colmer (2005) Response and Adaptation by Plants to Flooding Stress. *Annals of Botany* 96: 501–505.
- Kozłowski, T. T. (1997) Responses of woody plants to flooding and salinity. *Tree Physiology Monograph* 1:1-29.
- Kozłowski, T. T. (2002) Physiological-ecological impacts of flooding on riparian forest ecosystems. *Wetlands* 22(3):550-561.
- Lazdinis, M. and P. Angelstam (2005) Functionality of riparian forest ecotones in the context of former Soviet Union and Swedish forest management histories. *Forest Policy and Economics* 7(3):321–332.
- Lin, T. C., S. P. Hamburg, Y. J. Hsia, T. T. Lin, H. B. King, L. J. Wang, K. C. Lin. (2003) Influence of typhoon disturbances on the understory light regime and stand dynamics of a subtropical rain forest in northern Taiwan. *The Japanese Forestry Society* 8:139-145.
- Lyon, J. and N. M. Gross (2005) Patterns of plant diversity and plant-environmental relationships across three riparian corridors. *Forest Ecology and Management* 204:267-278.
- Nilsson, C. and M. Svedmark (2002) Basic principles and ecological consequences of changing water regimes: Riparian plant communities. *Environmental Management* 30 (4): 468-480.
- Nilsson, C., G. Grelsson, M. Johansson and U. Sperens (1989) Patterns of species richness along riverbanks. *Ecology* 70:77-84.
- Song, J.-S. and S.-D. Song (1996) A phytosociological study on the riverside vegetation around Hanchon, an upper stream of Nak-tong River. *Korean Journal of Ecology* 19(5): 431-451.
- Strange, E. M., K. D. Fausch and A. P. Covich (1999) Sustaining ecosystem services in human-dominated watersheds: biohydrology and ecosystem processes in the South Platte River Basin. *Environmental Management* 24(1): 39-54.
- White, M. D. and K. A. Greer (2006) The effects of watershed urbanization on the stream hydrology and riparian vegetation of Los Peñasquitos Creek, California. *Landscape and Urban Planning* 74: 125-138.

附錄一

奧萬大楓林區長期監測樣區植物名錄

蕨類植物

1. ADIANTACEAE 鐵線蕨科

1. *Pityrogramma calomelanos* (L.) Link 粉葉蕨

2. ASPLENIACEAE 鐵角蕨科

2. *Asplenium wilfordii* Mett. ex Kuhn. 威氏鐵角蕨

3. BLECHNACEAE 烏毛蕨科

3. *Blechnum orientale* L. 烏毛蕨
4. *Woodwardia orientalis* Sw. var. *formosana* Rosenst. 東方狗脊蕨
5. *Woodwardia unigemmate* (Makino) Nakai 頂芽狗脊蕨

4. DAVALLIACEAE 骨碎補科

6. *Davallia formosana* Hayata 大葉骨碎補
7. *Humata griffithiana* (Hook.) C. Chr. 杯狀蓋陰石蕨

5. DENNSTAEDTIACEAE 碗蕨科

8. *Microlepia marginata* (Houtt.) C. Chr. var. *bipinnata* Makino 台北鱗蓋蕨
9. *Microlepia speluncae* (L.) Moore 熱帶鱗蓋蕨
10. *Microlepia strigosa* (Thunb.) Presl 粗毛鱗蓋蕨

6. DRYOPTERIDACEAE 鱗毛蕨科

11. *Arachniodes aristata* (G. Forst.) Tindle 細葉複葉耳蕨
12. *Arachniodes rhomboides* (Wall. ex Mett.) Ching 斜方複葉耳蕨

7. OLEANDRACEAE 蓀蕨科

13. *Nephrolepis cordifolia* (L.) C. Presl 腎蕨

8. POLYPODIACEAE 水龍骨科

14. *Lemmaphyllum microphyllum* Presl 伏石蕨
15. *Microsorium fortunei* (T. Moore) Ching 大星蕨
16. *Microsorium punctatum* (L.) Copel. 星蕨
17. *Pyrrosia linearifolia* (Hook.) Ching 絨毛石葦

9. PTERIDACEAE 鳳尾蕨科

18. *Pteris cretica* L. 大葉鳳尾蕨
19. *Pteris ensiformis* Burm. 傅氏鳳尾蕨
20. *Pteris fauriei* Hieron. 傅氏鳳尾蕨

10. SELAGINELLACEAE 卷柏科

21. *Selaginella delicatula* (Desv.) Alston 全緣卷柏
22. *Selaginella moellendorffii* Hieron. 異葉卷柏

11. THELYPTERIDACEAE 金星蕨科

23. *Cyclosorus acuminatus* (Houtt.) Nakai ex H. Ito 小毛蕨
24. *Cyclosorus parasiticus* (L.) Farw. 密毛小毛蕨
25. *Thelypteris torresiana* (Gaudich.) Alston 大金星蕨

種子植物

裸子植物

12. PINACEAE 松科

26. *Pinus morrisonicola* Hayata 臺灣五葉松
27. *Pinus taiwanensis* Hayata 臺灣二葉松

被子植物

雙子葉植物

13. ACERACEAE 槭樹科

28. *Acer albopurpurascens* Hayata 樟葉槭
29. *Acer serrulatum* Hayata 青楓

14. ACTINIDIACEAE 獼猴桃科

30. *Saurauia tristyla* DC. var. *oldhamii* (Hemsl.) Finet & Gagnep. 水冬瓜

15. AMARANTHACEAE 莧科

31. *Achyranthes aspera* L. var. *indica* L. 印度牛膝
32. *Achyranthes aspera* L. var. *rubro-fusca* Hook. f. 紫莖牛膝

16. ANACARDIACEAE 漆樹科

33. *Rhus javanica* L. var. *roxburghiana* (DC.) Rehd. & Willson 羅氏鹽膚木
34. *Rhus succedanea* L. 木蠟樹

17. APOCYNACEAE 夾竹桃科

35. *Trachelospermum jasminoides* (Lindl.) Lemaire 絡石

18. AQUIFOLIACEAE 冬青科

36. *Ilex asprella* (Hook. & Arn.) Champ. 燈稱花

19. ARALIACEAE 五加科

37. *Aralia bipinnata* Blanco 裡白椴木
38. *Dendropanax dentiger* (Harms ex Diels) Merr. 臺灣樹參
39. *Fatsia polycarpa* Hayata 臺灣八角金盤
40. *Schefflera octophylla* (Lour.) Harms 江茛

20. ASCLEPIADACEAE 蘿藦科

41. *Cynanchum atratum* Bunge 牛皮消
42. *Marsdenia formosana* Masam. 臺灣牛彌菜

21. BETULACEAE 樺木科

43. *Carpinus kawakamii* Hayata 阿里山千金榆

22. CAPRIFOLIACEAE 忍冬科

44. *Abelia chinensis* R. Brown var. *ionandra* (Hayata) Masam. 臺灣糯米條
45. *Sambucus chinensis* Lindl. 有骨消
46. *Viburnum luzonicum* Rolfe 呂宋英迷

23. CELASTRACEAE 衛矛科

47. *Celastrus punctatus* Thunb. 光果南蛇藤

24. CHLORANTHACEAE 金粟蘭科

48. *Chloranthus oldhami* Solms. 臺灣及己

25. COMPOSITAE=ASTERACEAE 菊科

49. *Aster taiwanensis* Kitam. 臺灣馬蘭
50. *Bidens pilosa* L. var. *radiata* Sch. 大花咸豐草
51. *Blumea aromatica* DC. 薄葉艾納香
52. *Blumea riparia* (Blume) DC. var. *megacephala* Randeria 大頭艾納香
53. *Conyza canadensis* (L.) Cronq. 加拿大蓬
54. *Conyza sumatrensis* (Retz.) Walker 野茼蒿
55. *Crassocephalum rubens* (Juss. ex Jacq.) S. Moore 昭和草
56. *Emilia sonchifolia* (L.) DC. var. *javanica* (Burm. f.) Mattfeld 紫背草

57. *Eupatorium formosanum* Hayata 臺灣澤蘭
 58. *Gynura bicolor* (Roxb. & Willd.) DC. 紅鳳菜
 59. *Microglossa pyrifolia* (Lam.) Kuntze 小舌菊
 60. *Sonchus oleraceus* L. 苦蕒菜
 61. *Senecio scandens* Buch.Ham. ex D. Don. 蔓黃菊
 62. *Paraprenanthes sororia* (Miq.) C. Shih 假福王草
 63. *Pterocypsela indica* (L.) C. Shih 鵝仔草
 64. *Youngia japonica* (L.) DC. 黃鶉菜
26. CONVOLVULACEAE 旋花科
 65. *Ipomoea mauritiana* Jacq. 槭葉牽牛
27. CORNACEAE 山茱萸科
 66. *Swida macrophylla* (Wall.) Sojak 菜木
28. CUCURBITACEAE 葫蘆科
 67. *Thladiantha nudiflora* Hemsl. ex Forbes & Hemsl. 青牛膽
 68. *Trichosanthes cucumeroides* (Ser.) Maxim. ex Fr. & Sav. 王瓜
29. DAPHNIPHYLLACEAE 虎皮楠科
 69. *Daphniphyllum glaucescens* Blume subsp. *oldhamii* (Hemsl.) T. C. Huang var. *oldhamii* (Hemsl.) T. C. Huang 奧氏虎皮楠
30. ELAEAGNACEAE 胡頹子科
 70. *Elaeagnus glabra* Thunb. 藤胡頹子
31. ELAEOCARPACEAE 杜英科
 71. *Elaeocarpus japonicus* Sieb. & Zucc. 薯豆
 72. *Elaeocarpus sylvestris* (Lour.) Poir. 杜英
32. ERICACEAE 杜鵑花科
 73. *Rhododendron breviperulatum* Hayata 埔里杜鵑
 74. *Vaccinium bracteatum* Thunb. 米飯花
33. EUPHORBIACEAE 大戟科
 75. *Glochidion acuminatum* Muell.-Arg. 裡白饅頭果
 76. *Glochidion rubrum* Bl. 細葉饅頭果
 77. *Mallotus japonicus* (Thunb.) Muell.-Arg. 野桐
34. FAGACEAE 殼斗科
 78. *Cyclobalanopsis glauca* (Thunb.) Oerst. var. *glauca* 青剛櫟
 79. *Cyclobalanopsis globosa* Lin & Liu 圓果青剛櫟
 80. *Quercus variabilis* Bl. 栓皮櫟
35. FLACOURTIACEAE 大風子科
 81. *Idesia polycarpa* Maxim. 山桐子
 82. *Scolopia oldhamii* Hance 魯花樹
36. HAMAMELIDACEAE 金縷梅科
 83. *Liquidambar formosana* Hance 楓香
37. JUGLANDACEAE 胡桃科
 84. *Engelhardtia roxburghiana* Wall. 臺灣黃杞
38. LAURACEAE 樟科
 85. *Beilschmiedia erythrophloia* Hayata 瓊楠
 86. *Cinnamomum insulari-montanum* Hayata 山肉桂
 87. *Cinnamomum osmophloeum* Kanehira 土肉桂
 88. *Litsea akoensis* Hayata 屏東木薑子
 89. *Litsea coreana* Levl. 鹿皮斑木薑子
 90. *Litsea elongata* (Wall. ex Nees) Benth. & Hook. f. var. *mushaensis* (Hayata) J. C. 竹葉楠
 91. *Litsea hypophaea* Hayata 小梗木薑子
 92. *Litsea rotundifolia* Hemsl. var. *oblongifolia* (Nees) Allen 白背木薑子

93. *Machilus zuihoensis* Hayata 香楠
 94. *Neolitsea konishii* (Hayata) Kanehira & Sasaki 五掌楠
 95. *Phoebe formosana* (Hayata) Hayata 臺灣雅楠
39. LEGUMINOSAE=FABACEAE 豆科
 96. *Crotalaria pallida* Ait. var. *obovata* (G.Don) Polhill 黃野百合
 97. *Desmodium heterocarpon* (L.) DC. var. *strigosum* van Meeuwen 直毛假地豆
 98. *Desmodium heterophyllum* (Willd.) DC. 直立假地豆
 99. *Desmodium sequax* Wall. 波葉山蚂蝗
 100. *Dumasia villosa* DC. subsp. *bicolor* (Hayata) Ohashi & Tateishi 臺灣山黑扁豆
 101. *Millettia pinnata* (L.) G. Panigrahi 水黃皮
40. LOGANIACEAE 馬錢科
 102. *Buddleja asiatica* Lour. 揚波
41. LORANTHACEAE 桑寄生科
 103. *Korthalsella japonica* (Thunb.) Engl. 檜葉寄生木
 104. *Scurrula liquidambaricolus* (Hay.) Danser 大葉楓寄生
 105. *Scurrula lonicerifolius* (Hay.) Danser 忍冬葉寄生
42. MAGNOLIACEAE 木蘭科
 106. *Michelia compressa* (Maxim.) Sargent 烏心石
43. MENISPERMACEAE 防己科
 107. *Cocculus orbiculatus* (L.) DC. 木防己
 108. *Cyclea gracillima* Diels 土防己
44. MORACEAE 桑科
 109. *Ficus erecta* Thunb. var. *beeheyana* (Hook. & Arn.) King 牛奶榕
 110. *Ficus pumila* L. var. *awkeotsang* (Mak.) Corner 愛玉
 111. *Maclura cochinchinensis* (Lour.) Corner 柘樹
 112. *Morus australis* Poir. 小葉桑
45. MYRIACEAE 楊梅科
 113. *Myrica rubra* (Lour.) Sieb. & Zucc. 楊梅
46. MYRSINACEAE 紫金牛科
 114. *Ardisia cornudentata* Mez subsp. *morrisonensis* (Hayata) Yuen P. Yang 玉山紫金牛
 115. *Ardisia virens* Kurz 黑星紫金牛
 116. *Embelia laeta* (L.) Mez var. *papilligera* (Nakai) Walker 藤木樹
 117. *Maesa perlaria* (Lour.) Merr. var. *formosana* (Mez) Yuen P. Yang 臺灣山桂花
47. MYRTACEAE 桃金娘科
 118. *Syzygium formosanum* (Hayata) Mori 臺灣赤楠
48. OLEACEAE 木犀科
 119. *Fraxinus griffithii* C. B. Clarke 臺灣白臘樹
49. PIPERACEAE 胡椒科
 120. *Peperomia reflexa* (L. f.) A. Dietr. 小椒草
 121. *Piper kadsura* (Choisy) Ohwi 風藤
50. PITTOSPORACEAE 海桐科
 122. *Pittosporum illicioides* Makino 疏果海桐
51. POLYGONACEAE 蓼科
 123. *Polygonum multiflorum* Thunb. ex Murray var. *hypoleucum* (Ohwi) Liu, Ying & Lai 臺灣何首烏
52. RANUNCULACEAE 毛茛科
 124. *Clematis uncinata* Champ. ex Benth. 柱果鐵線蓮
 125. *Clematis leschenaultiana* DC. 鏽毛鐵線蓮
 126. *Clematis grata* Wall. 串鼻龍

53. RHAMNACEAE 鼠李科
 127. *Sageretia thea* (Osbeck) Johnst. 雀梅藤
 128. *Rhamnus formosana* Matsum. 楠鈎藤
54. ROSACEAE 薔薇科
 129. *Prunus campanulata* Maxim. 山櫻花
 130. *Prunus phaeosticta* (Hance) Maxim. 墨點櫻桃
 131. *Rubus parvifolius* L. 紅梅消
55. RUBIACEAE 茜草科
 132. *Ophiorrhiza japonica* Blume 蛇根草
 133. *Paederia foetida* L. 雞屎藤
 134. *Randia spinosa* (Thunb.) Poir. 對面花
 135. *Tricalysia dubia* (Lindl.) Ohwi 狗骨仔
 136. *Wendlandia formosana* Cowan 水金京
56. RUTACEAE 芸香科
 137. *Citrus poonensis* Hort. ex Tanaka 橘子
 138. *Murraya euchrestifolia* Hayata 山豆葉月橘
 139. *Tetradium glabrifolium* (Champ. ex Benth.) T. Hartley 臭辣樹
 140. *Zanthoxylum scandens* Bl. 藤崖椒
57. SABIACEAE 清風藤科
 141. *Meliosma rhoifolia* Maxim. 山豬肉
58. SAPINDACEAE 無患子科
 142. *Euphoria longana* Lam. 龍眼
 143. *Koelreuteria henryi* Dummer 臺灣欒樹
 144. *Sapindus mukorossii* Gaertn. 無患子
59. SAXIFRAGACEAE 虎耳草科
 145. *Deutzia pulchra* Vidal 大葉溲疏
 146. *Deutzia taiwanensis* (Maxim.) Schneider 臺灣溲疏
 147. *Hydrangea chinensis* Maxim. 華八仙
60. SCHISANDRACEAE 五味子科
 148. *Schisandra arisanensis* Hayata 北五味子
61. SCROPHULARIACEAE 玄參科
 149. *Paulownia fortunei* Hemsl. 泡桐
62. SOLANACEAE 茄科
 150. *Lycianthes biflora* (Lour.) Bitter 雙花龍葵
 151. *Physalis pubescens* L. 毛酸漿
 152. *Solanum americanum* Mill. 光果龍葵
63. STACHYURACEAE 旌節花科
 153. *Stachyurus himalaicus* Hook. f. & Thomson ex Benth. 通條木
64. STAPHYLEACEAE 省沽油科
 154. *Turpinia formosana* Nakai 臺灣山香圓
65. STYRACACEAE 安息香科
 155. *Styrax formosana* Matsum. 烏皮九芎
66. THEACEAE 茶科
 156. *Adinandra formosana* Hayata 臺灣楊桐
 157. *Eurya chinensis* R. Br. 中國柃木
 158. *Gordonia axillaris* (Roxb.) Dietr. 大頭茶
67. THYMELAEACEAE 瑞香科
 159. *Daphne arisanensis* Hayata 臺灣瑞香

68. ULMACEAE 榆科

160. *Aphananthe aspera* (Thunb.) Planch. 糙葉樹
161. *Celtis formosana* Hayata 臺灣朴樹
162. *Celtis sinensis* Pers. 朴樹
163. *Zelkova serrata* (Thunb.) Makino 臺灣欒

69. URTICACEAE 蕁麻科

164. *Boehmeria densiflora* Hook. & Arn. 密花苧麻
165. *Boehmeria nivea* (L.) Gaudich var. *tenacissima* (Gaudich.) Miq 青苧麻
166. *Oreocnide pedunculata* (Shirai) Masam. 長梗紫苧麻

70. VERBENACEAE 馬鞭草科

167. *Callicarpa formosana* Rolfe 臺灣紫珠
168. *Clerodendrum canescens* Wall. ex Walpers 白毛臭牡丹
169. *Clerodendrum trichotomum* Thunb. 海州常山

71. VIOLACEAE 堇菜科

170. *Viola shinchikuensis* Yamam. 新竹堇菜

72. VITACEAE 葡萄科

171. *Ampelopsis brevipedunculata* (Maxim.) Traut. var. *hancei* (Planch.) Rehder 漢氏山葡萄
172. *Tetrastigma formosanum* (Hemsl.) Gagnep. 三葉崖爬藤
173. *Tetrastigma umbellatum* (Hemsl.) Nakai 臺灣崖爬藤

單子葉植物

73. ARACEAE 天南星科

174. *Alocasia odora* (Lodd.) Spach. 姑婆芋
175. *Arisaema formosanum* (Hayata) Hayata 臺灣天南星
176. *Colocasia formosana* Hayata 山芋

74. COMMELINACEAE 鴨跖草科

177. *Commelina communis* L. 鴨跖草

75. DIOSCOREACEAE 薯蕷科

178. *Dioscorea colletii* Hook. f. 南華薯蕷

76. GRAMINEAE=POACEAE 禾本科

179. *Arundo formosana* Hack. 臺灣蘆竹
180. *Cyrtococcum patens* (L.) A. Camus 弓果黍
181. *Ichnanthus vicinus* (F. M. Bailey) Merr. 距花黍
182. *Lophatherum gracile* Brongn. 淡竹葉
183. *Miscanthus floridulus* (Labill.) Warb. ex K. Schum. & Lauterb. 五節芒
184. *Oplismenus compositus* (L.) P. Beauv. 竹葉草

77. LILIACEAE 百合科

185. *Asparagus cochinchinensis* (Lour.) Merr. 天門冬
186. *Lilium formosanum* Wallace 臺灣百合
187. *Liriope minor* (Maxim.) Makino var. *angustissima* (Ohwi) Ying 細葉麥門冬

78. ORCHIDACEAE 蘭科

188. *Calanthe sieboldii* Decne. ex Regel 黃根節蘭
189. *Chilochista segawai* (Masam.) Masam. & Fukuy. 大蜘蛛蘭
190. *Gastrochilus formosanus* (Hayata) Hayata 臺灣松蘭
191. *Luisia teres* (Thunb.) Bl. 金釵蘭

79. SMILACACEAE 菝契科

192. *Smilax bracteata* Presl 假菝契
193. *Smilax bracteata* Presl var. *verruculosa* (Merr.) T. Koyama 糙莖菝契

80. ZINGIBERACEAE 薑科

本名錄各分類群統計如下表：

類別	科數	屬數	種數(含以下分類群)
蕨類植物	11	16	25
裸子植物	1	1	2
雙子葉植物	60	120	146
單子葉植物	8	20	21
總計	80	157	194

附錄二

「奧萬大楓林區遭土石掩埋後生長與存活之監測」(3/3) 期中報告委員意見回覆

陳副處長耀榮(主席)

1. 研究計畫「奧萬大楓林區遭土石掩埋後生長與存活之監測」(3/3)已進入第三年的研究，呂教授金誠領導之研究團隊提供之研究資料詳實，請研究單位提供資訊以做新聞稿之內容，並應由林管處發布。
2. 希望研究團隊能將研究資料轉變成科普性文章以供新聞稿及解說之用。
3. 有關造成楓林區內楓香死亡之蠹蟲是否需要防治。

回覆：

1. 感謝委員建議。
2. 有關造成楓林區內楓香死亡之蠹蟲是否需要防治之問題。
 - i. 楓林區之楓香生長勢衰退主要因為遭土石衝擊、掩埋以及溪水淹浸等逆境，致使林木根部氧氣不足而影響楓香的生長，另一方面因礫石表面受陽光照射後之溫度極高，冷熱交替下可能造成楓香之生長不良，進而引發蠹蟲的危害。
 - ii. 蠹蟲應該是受到林木生長衰退後產生之氣味吸引而來。由於大多殺蟲劑對於宿主無專一性，且林木處於生長不良情況，施藥殺蟲可能效果不佳；再者，楓林區位於萬大南、北溪交會處，亦為濁水溪之上游，基於用水安全，不建議施藥撲殺蠹蟲。
 - iii. 本研究團隊將於翌次調查時，就對照樣區中未遭受土石掩埋的楓香林木進行健康評估調查，以確認是否有遭受蠹蟲為害之疑慮。
3. 將配合林管處發布新聞稿，並將研究之成果及內容轉為科普性之內容。

藍課長其安

1. 首先感謝呂教授領導團隊在 2 年又 4 個月期間對楓林區包括各植群依不同季節，各樹種、徑級及距河岸不同距離等枯死情形調查及分析枯死原因等詳細研究及結果。
2. 依表 5-5 奧萬大楓林區內主要樹種林木遭受水土衝擊後有受傷害林木依不同時間均全部會枯死，以楓香為例，全部株數 261 株，未受損 23 株，迄今存活僅 21 株。本案研究調查區為南北向長方型區塊，而林木遭土石掩埋厚度不同，本次調查對被土石掩埋不同厚度是否與林木存活有相對關係甚少論及，能否補述(北方掩埋厚

度高，靠近南溪較淺，尚有遭水沖蝕形成蝕溝均較淺，是否成活率較高?)。

回覆：

1. 感謝委員建議。
2. 由於楓林區受土石掩埋的土石厚度非常深，無法藉由直接開挖的方式得知林木遭掩埋的深度；另，由於本研究缺乏辛樂克風災前楓林區的地形資料，無法由之後的地形調查中得知風災前後土石堆高之厚度。
3. 由於無法順利取得林木遭土石掩埋厚度，所以本研究依楓林區為一河階地形來推論，利用其他可能與林木遭掩埋厚度有相關的因子進行與林木存活率關係的討論。其中越遠離河道的河岸為相對位置較高之處，可約略推測越靠近河岸的上坡處位置應是遭土石掩埋後度相對小的區域，而越近河道遭土石掩埋的厚度可能越深；另一部分，楓林區靠近萬大北溪上游處的林緣至下游處林緣距離不遠，可能遭土石掩埋的厚度沒有太大的差別，但與受土石衝擊的力道有關係。

林課長文牆

1. 目前枯死木據報告於夏季(第二季)受蠹蟲影響將趨嚴重，是否有相關連，且應即以自然枯死倒下或人為伐除為宜，請貴團隊之專業，究應以何者為宜，建請惠予提供。
2. 針對該區建議復育植栽乙節，基於景觀、保育、管理、教育研究方面，目前尚無具體良策，基於該區為奧萬大遊樂區之精華區現未開放，為兼顧景觀、解說、遊憩資源之善用，並請提供客觀有說服力之方案，至為感激。

回覆：

1. 感謝委員建議。
2. 蠹蟲之問題如前回覆。
3. 受到降雨量多寡及上游土石崩落量的影響，在萬大南、北河流域之楓林區地形仍處於變化的狀態。待上游土石崩落穩定後，萬大南、北溪將會向下侵蝕，楓林區將會形成明顯的河階地形。然目前河階地形尚未完全形成，建議楓林區土石掩埋區應暫時維持現況，可以作為奧萬大國家森林遊樂區自然教育中心之生態環境教育活教材，配合楓林區之歷史照片與研究資料，提供中小學戶外地質與生態研習之環境，然相關安全措施應予以維護保全。
4. 如日後萬大北溪之河道續往下切，並遠離現有楓林區的邊緣可考慮於楓林區內栽植苗木以重建楓林區景致。楓林區遭土石掩埋區域已經有小苗自然更新，但要復育至鬱閉需非常長的時間，且自然復育之樹種可能非所期待之目標物種。在楓林區之周圍已建立擋土牆，如在今年度颱風季節過後楓林區內部地形如無改變，或可考慮在區內補植楓香大苗及其他如九芎等發根性強、存活率高且會變葉的樹種。
5. 就枯立木處置之問題，由於目前大量倒塌之林木為楓香，其原因為蠹蟲幼蟲於

楓香幹部特定高度中鑽鑿多數蟲孔，致使楓香死亡，楓香枯死木再受日曬、雨淋及風吹等自然干擾下加速劣化，並長期受谷地之強風吹襲，其枯死楓香多由具多數蟲孔之位置斷裂倒塌。

6. 由於楓林區之地基尚未完全穩固，暫不建議開放楓林區，建議先任其自然倒塌。楓林區內多數枯立木為97年辛樂克及薔蜜颱風後遭土石掩埋後，林木開始遭受蠹蟲危害而枯死；由於枯立木有傾倒的危險，以及影響其他正常林木的生長，若楓林區開放時建議應予以伐除。

黃技正速汝

4. 楓林區地質尚不穩定，且其土石掩埋區多石礫，建議評估楓香樹苗栽植之可行性。另，本研究在結論的部分於第七點提議楓林區保持原狀以供環境教育解說之用，然於第八點亦建議可在楓林區內栽植楓香苗木，此是否有所衝突。
5. 結論與建議九…警界線，請更正為警戒線；挾帶常誤植為狹帶。

回覆：

1. 感謝委員建議。
2. 楓香苗木栽植問題如前回覆。
3. 建議九及部分文字錯誤已更正，謝謝委員指正。

楊技正淑錠

1. 在期中報告書中有部分用語不統一，以及部分用詞不精確，請再行修正。例如：上流或上游；距河岸遠近即為具河道之距離等問題。
2. 樹種名稱應統一，例如：阿里山千金榆與川上氏鵝耳櫪為同一樹種。
3. 距河岸指的應該是與河邊相反方向的區域，但容易讓人誤解，建議改變名稱或解釋清楚一點。

回覆：

1. 感謝委員建議。
2. 感謝委員針對計畫書中文句用語不精確的問題提出建議，研究團隊已進行文句邏輯及用語之修正，並將樹種統一。

劉技士永正

1. 本研究計畫文中說明隨林木遭受土石掩埋後隨季節推移枯死情形有所不同，然由於圖中標示之樣株非常多，無法清楚的瞭解說明之內容，建議將其位置予公區塊方式呈現，以及歷年季節變遷情形，未來發展生長趨勢等，以便瞭解研究團隊所說明之內文。

回覆：

1. 感謝委員建議。
2. 關於計畫書中，林木生長存活位置圖由於樣株繁多，將進一步研討可讓讀者更一目了然的方式繪製之，以便連結內文之說明。

廖課員慶森

1. 於對照樣區內楓香之數量亦多，佔所有組成五成以上，這樣是否可建置成新的楓林區；現有之楓林區受風災土石掩埋後，萬大北溪之河道尚可能改變，河階地形尚未形成，如用小苗栽植重新營造楓林區景致是否具有風險。
2. 現有楓林區之大量枯木應如何處理，任其自然腐朽或人工移除。

回覆：

1. 感謝委員建議。
2. 本研究認為對照樣區極具開發潛力，對照樣區位於現有楓林區之上方及松林區涼亭之間，對照樣區之主要組成樹種為楓香、台灣檫、山肉桂、阿里山千金榆、青剛櫟，其中楓香、台灣檫及阿里山千金榆皆為高大的變葉樹種，其他山肉桂及青剛櫟雖數量眾多，然其樹冠位於前三者之下方，故對照樣區極具開發潛力。且靠近現有楓林區之上方亦有一平台，如將其中林相加以整理，應可替代現有楓林區。然因為其位置與楓林區十分接近，將會有安全方面之顧慮，管理單位應審慎評估。
3. 枯木處理問題如前回覆。

吳技士詩婷

1. 對照樣區範圍是否具有開發價值，以代替舊有楓林區。
2. 楓林區已關閉，然奧萬大園區內之標語需適時改變已讓民眾瞭解。
3. 目前奧萬大生態教室正在規劃內裝展示，請研究團隊提供照片及研究結果以供展示之用。

回覆：

1. 感謝委員建議。
2. 本研究計畫之成果如彩色照片、數據等皆會提供貴處。並配合林管處需求，將計畫書中說明文字部分轉變為大眾可接受的科普性文章，以製做成海報、解說教材等。如以環境教育解說的角度而言，保留楓林區並詳盡的解說其受自然災害後之林木生長影響等內容，應對於來訪奧萬大森林遊樂區的遊客有正面的影響。

附錄三

「奧萬大楓林區遭土石掩埋後生長與存活之監測」(3/3) 期末報告委員意見回覆

藍課長其安

1. 第 12 季留存楓香僅 18 株，7.47%，以後是否全繼續枯死。
2. 留存木與枯死木除遭土砂掩設外，是否林木植體受傷害造成。
3. 林木有樹脂流出顯示受蠹蟲為害，是否有防治方法。

回覆：

1. 感謝委員建議。
2. 楓林區內遭土石掩埋之 18 株存活楓香未來亦會持續衰弱至死亡，然其死亡速率會逐漸減緩，楓香本為陽性樹種，壽命相較為短暫，且在受到強烈干擾後，會促使其加速死亡。楓林區之楓香遭受蠹蟲危害乃因其遭受土石掩埋後遭受創傷並處於水淹逆境致使生理機能不適應，其衰弱之樹勢招引蠹蟲前來危害，而健康未受創的楓香因其生理防禦機制完整，能抵抗蠹蟲之侵害，故遭受蠹蟲危害之林木本身即處於生態系中遭淘汰邊緣的個體，以藥劑治療這個個體，無實際經濟及生態的意義，且其僅能治標不能治本。
3. 本研究於第一年調查楓林區內遭掩埋楓香存活情形時，僅胸徑最大之植株 (83cm) 有長期流出樹脂之現象，其他皆無；然於第二年開始，大量植株亦被發現具有流出樹脂之現象，之後可觀察該植株大量結果，隨後葉片枯黃且發現蟲洞並死亡；然於同一時期對照區健康之林木並無發現此現象。故本研究推測，當遭土石掩埋後之楓香具有流出樹脂現象時，極有可能為已遭受蠹蟲之危害，且已達即將枯死之表現，以本研究之結果而言，單一植株自發現樹脂至死亡之期間未達一年。

劉課長忠憲

1. 萬大溪因下游河道淤積，輸砂不易，致楓林區萬大北溪之河道淤砂排出困難，目前針對該野溪仍以控制流心、開挖深槽線等方式辦理，儘量減小土砂及水流對楓林區之危害。
2. 目前楓林區已枯死的楓樹範圍是否還會擴大、影響的界限是否已明確？這些枯立木在未來幾年枯倒之情形，將如何進行？
3. p102 結論與建議第五點有關「楓林區位處萬大水庫之萬大溪集水區」因楓林區非屬霧社（萬大）水庫集水區，建請查明修正。

回覆：

1. 感謝委員建議。
2. 目前死亡之林木僅分布於遭受土石掩埋之範圍，未遭受土石掩埋的林木皆未遭波及生長情形良好，故楓林區之死亡植株僅會在此範圍內有限度地增加，不會擴張至未受土石掩埋之區域。
3. 將依委員建議確認並修改。

林課長文牆

1. 感謝貴團隊三年來，對於楓林區遭土石掩埋後生長與存活之監測委託計畫，尤其提供諸多寶貴建議，基於管理單位立場，將審慎評估妥處。
2. 建議可利用林相整理和補植等方式，重新形塑奧萬大楓紅之美，建議七、暫緩重建維持現況，究應如何種為最宜？惠請提供寶貴意見。
3. 有關從第1季（2009-2011）至第12季，其監測相片、同地點不同季節之變化，能以樹種相片列比對照，則三年監測成果將更完美。
4. 蠹蟲危害，據報告指出係天然偶發，不建議楓林區受害林木以殺蟲劑撲殺，是否會影響鄰近或上方楓林區林木之危害？

回覆：

1. 感謝委員建議，照片的呈現方式將再檢討改進。
2. 本研究認為對照樣區極具開發潛力，對照樣區位於現有楓林區之上方及松林區涼亭之間，對照樣區之主要組成樹種為楓香、台灣檫、山肉桂、阿里山千金榆、青剛櫟，其中楓香、台灣檫及阿里山千金榆皆為高大的變葉樹種，其他山肉桂及青剛櫟雖數量眾多，然其樹冠位於前三者之下方，故對照樣區極具開發潛力。或可考慮在遊樂區內補植楓香大苗及其他如九芎等會變葉的樹種。
3. 蠹蟲危害如前回覆。

賴技士慶展

1. 楓林區發生蠹蟲危害，研究報告書指出不建議用藥處理，近期發現園區精楓亦出現蠹蟲危害，應如何處置？
2. p103第十項部份指出登山客由吊橋出楓林區，應更正為松林區。

回覆：

1. 感謝委員建議。
2. 蠹蟲危害如前回覆。
3. p103之錯誤已更正為松林區。

吳技士詩婷

1. 緣起緣滅→緣起不滅，員工會再接續進行監測。

回覆：

1. 感謝委員的肯定及建議，研究團隊可提供貴處拍照地點及相關資訊以利持續進行觀察。