

研究報告

奧萬大楓林區辛樂克颱風後林木生長與存活研究

曾喜育¹ 曾彥學¹ 何伊喬¹ 郭礎嘉¹ 邱清安^{2,3} 呂金誠¹

【摘要】奧萬大楓林區為河床沖積之典型濱岸植群，是臺灣最著名之森林遊樂據點，然於2008年受颱風連續侵襲，遭溪水流浸與土石流掩埋。本研究於2009年1月於楓林區設置90m×230m之長期監測樣區，每季進行樣區之地形量測，及受土石掩埋與洪氾干擾下之各樹種生長與存活調查，期能瞭解洪氾干擾下之林木演替與更新機制，以及提供低溼地區植生復育技術之參考。長期監測樣區共紀錄44科69屬73種植物，地被之蕨類、草本與木本植物之種子苗、稚樹等都遭洪氾沖刷或土石掩埋。地形測量結果顯示，楓林區之河道與地形受降雨、土石流影響而變動。由樣區林木位置圖顯示，樹種組成與分布呈明顯的鑲嵌狀或帶狀分布，喬木層樹種（胸徑≥ 3cm）之林木共1,201株，以楓香（261株）、台灣欒（186株）、山肉桂（159株）、青剛櫟（92株）以及江某（90株）等較為優勢。樣區內林木受洪氾干擾有799株，第1季受害枯死有225株，第2季有97株，第3季有167株，3個季節林木累計枯死率為61.20%。第4季因受莫拉克颱風影響，新增土石掩埋57株林木，第4季林木調查累計枯死率達67.99%。不同季節、不同樹種之存活率均不同，反映其對土石掩埋與洪氾干擾之耐性差異。一年監測結果顯示，主要組成樹種中，僅楓香、九芎的累計枯死率低於20%，反映其對土石衝擊、溪水淹浸有較大的耐受性，此2樹種或可作為經常淹水之低溼地區之植生復育優先選擇樹種。調查發現植物在遭受逆境衝擊後，易因生長勢衰退而遭病蟲害入侵造成二次傷害致死；第3季調查亦發現，楓香樹幹開始遭到蠹蟲為害。奧萬大楓林區的楓香在遭受土石掩埋與衝擊的洪氾干擾下雖大多數植株得以存活，但是否因病蟲害而致死，有待更進一步的後續監測調查。

【關鍵詞】奧萬大、楓香、濱岸植群、颱風、土石流、生態監測

Research paper

Ecological monitoring of tree growth and survival after typhoon Sinlaku at Maple Tree Zone in Aowanda, Taiwan

Hsy-Yu Tzeng¹, Yen-Hsueh Tseng¹, Yi-Chiao Ho¹, Chu-Chia Kuo¹,
Ching-An Chiu^{2,3}, King-Cherng Lu¹

【Abstract】Maple Tree Zone of Aowanda National Forest Recreation Area is the typical riparian

1. 國立中興大學森林學系

Department of Forestry, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan.

2. 國立中興大學實驗林管理處

Experimental Forest, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan.

3. 通訊作者，40227臺中市國光路250號

Corresponding author, 250 Kuokwang Rd., Taichung City 40227, Taiwan, R.O.C. E-mail: cachiou@nchu.edu.tw; phone:(04)2284-0397#123

vegetation where has not disrupted by flooding for a long time, is the most famous Taiwanese forest recreation area in maple scenery. However, the maple trees were lashed by flooding and debris flow of a sequence of typhoons, Sinlaku especially, in 2008. We set a 90 m×230 m long-term monitoring sampling plot at Maple Tree Zone. The location and diameter of breast height (DBH) for each species individual tree and the topography of plot were measured. The status of growth and survival for each species after flooding and debris flow were monitored in each season while the topography was measured at the same time. There are 1,201 individuals in sampling plot and *Liquidambar formosana* (maple tree, 261 trees), *Zelkova serrata* (186 trees), *Cinnamomum insularimontanum* (159 trees), *Cyclobalanopsis glauca* (92 trees), *Schefflera octophylla* (90 trees) were the dominate species. The location map of each species individual tree (DBH≥3 cm) in sampling plot showed mosaic or zonation. Our result showing that the position of streamway and topography of Maple Tree Zone were affected by rainfall. The individuals of fern, herbaceous, and seedlings and saplings of woody plants were destroyed by flooding and debris flow. There were 225, 97 and 167 dead trees were monitored during our survey period, respectively; and total 61.20% individuals were dead. The survival rate showing different between seasons and species reflected the difference of trees sensibility and tolerance after disrupted by flooding and debris flow. *Liquidambar formosana* got the lowest dead rate somewhat expressed the maple trees might adapt in the riparian zone. However, the survival maple trees attacked by scolytid beetles were recorded in our investigation recently and the following survey on survival monitoring of maple trees attacked by those scolytid beetles were necessary.

【Key words】 Aowanda, *Liquidambar formosana*, riparian vegetation, typhoon, debris flow, ecological monitoring

一、前言

森林並非一直處於靜止狀態，常遭受到不同形式的干擾，例如火燒、乾旱、颱風等，尤其颱風的侵襲一直是台灣森林動態研究關切的重點之一（陳財輝、洪富文，1993；林登秋等，1999；郭耀倫等，2007；Lin *et al.*, 2003）。頻繁的颱風干擾對台灣森林生態系有廣大而深遠的影響，其干擾森林的方式不外乎強風與豪雨；強勁、快速的風力易生成大面積之機械傷害而產生孔隙，而大量降水帶來土石流，改變地貌與植物社會，除影響森林的生產力、生物量、更新與演替，亦影響森林之外貌景觀。全球暖化 (global warming) 引起氣候變遷 (climate change) 造成降水、氣溫等氣象極端事件發生次數增多(盧孟明等，2007；黃鎮國、張偉強，2007)，洪氾、乾旱的強度與頻度亦增加，森林遭到極端氣象事件干擾後的反應與回復為氣候變遷對森林生態系影響的研究

重點。

奧萬大國家森林遊樂區是臺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。本區具有面積甚大的天然楓香 (*Liquidambar formosana*) 林，分布於萬大溪河床沖積處，為典型濱岸植群 (riparian vegetation)。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)，楓香生育地遭嚴重土石流掩埋、破壞 (圖1)，部份區域土石掩埋厚度達 2.5 m，部份楓香尚因河流改道而造成淹浸。2009年8月8日莫拉克颱風挾帶豪大雨，楓林區再度遭受嚴重土石流掩埋，除了使穿越楓林區之萬大北溪改道外，楓林區土石再次堆積 2-3 m之高度，使楓林區之土石累積高度超過 5 m，不止受害面積因加大，遭土石掩埋受害林木株數亦增加。

以往未有針對楓香組成之濱岸植群遭淹浸之相關報告，加上楓林區為奧萬大國家森林遊樂區最重要的自然景觀，有必要進行研究探討。故本研究針對楓林區濱岸植物遭土石流掩埋後進行後續生長與存活調查，以及針對楓林區進行植物社會與生育地環境進行監測，進而評估楓林區未來之更新與演替，藉以提供楓林區復育、環境教育解說以及經營管理之依據，並供作低窪淹水地區植生復育之參考。

二、材料與方法

(一) 研究區概況

奧萬大國家森林遊樂區楓林區位於萬大南

溪與萬大北溪沖積處 (23°56'45"N, 121°10'50"E) (圖1)，面積約 8 ha，海拔約 1,240 m。地質基盤岩石以中新世廬山層板岩為主；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，以及部份腐植壤土 (鐘國基，2005)。本區年均溫 16.6°C (1993-2003年)，平均年降雨量為 2,002.8 mm (1993-2004年)，本區乾濕季明顯，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月為本區較缺水時期 (圖2)。

(二) 研究方法

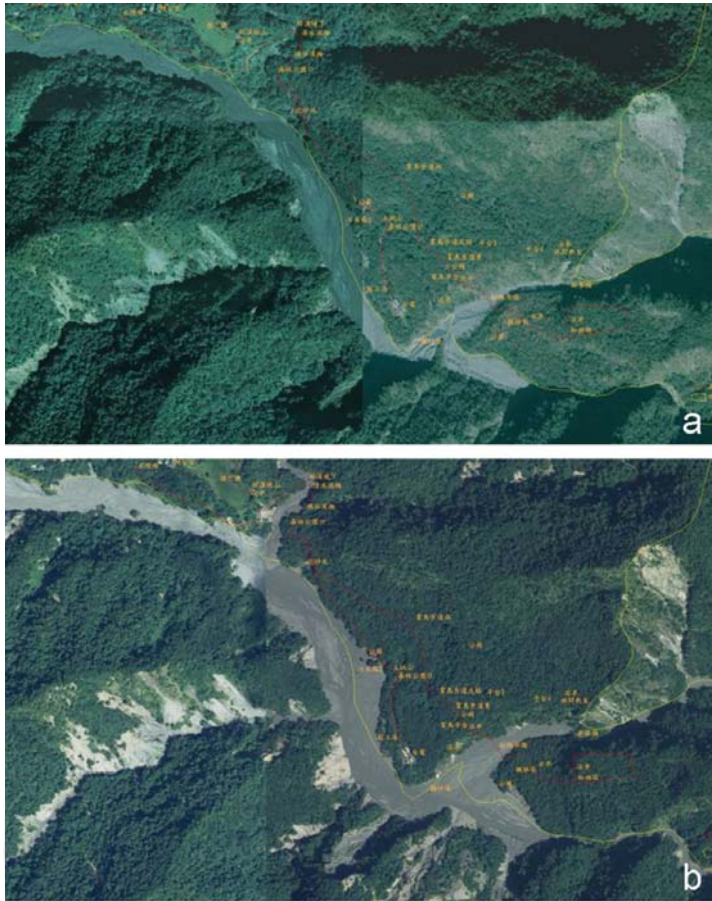


圖1. 奧萬大楓林區辛樂克颱風前(a)、後(b)之楓林區航照圖比較(南投林區管理處提供)。

Fig. 1. Comparing with aerial photographs before (a) and after (b) Sinlaku typhoon of Maple Tree Zone in Aowanda.

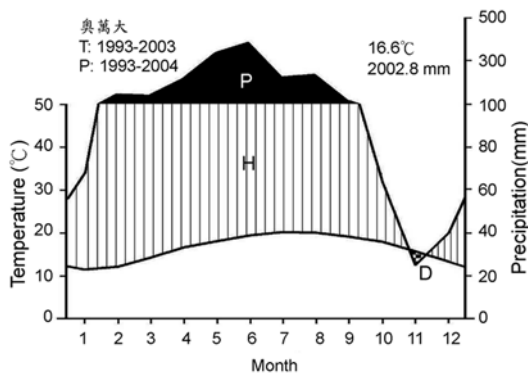


圖2. 奧萬大國家森林遊樂區生態氣候圖。P：月平均降雨量 >100 mm，特濕期，H：相對潮濕期，D：相對乾燥期。

Fig. 2. Ecological climate diagram of Aowanda. P: perhumid, H: relative humid, D: relative drought.

1. 長期動態監測樣區設置與植群調查：於楓林區土石流淹埋區設置 $90 \times 230 \text{ m}^2$ 之長期動態監測樣區，區內再劃設 $10 \times 10 \text{ m}^2$ 之小樣區，分別針對喬木層與地被層進行調查，同時針對 DBH $\geq 3 \text{ cm}$ 以上之林木進行位置測量與標示、編號與掛牌、樹種鑑定、胸高直徑量測與塗漆標示等工作，同時進行地被層調查。
2. 地形測量：在每季植物社會複查時並進行地形測量，以了解楓林區之地形變化；此外，選擇監測樣區3條樣帶，於樣木離地表3 m處塗漆標示，並於每季調查時量測地表至塗漆標示線之高度變化，以了解樣區內土石堆積與沖蝕情形。
3. 植群分析：將長期動態監測樣區調查資料攜回研究室進行編碼，計算相對密度與相對優勢度，並將相對密度與相對優勢度相加為重要值 (importance value index, IVI)。計算方式如下：

$$\text{相對密度 (relative density) \%} = \frac{\text{某種植物之株數}}{\text{所有植物株數之總和}} \times 100\%$$

$$\text{相對優勢度 (relative dominance) \%} = \frac{\text{某種植物胸高斷面積}}{\text{所有植物胸高斷面積之總和}} \times 100\%$$

$$\text{重要值} = \text{相對密度} + \text{相對優勢度} = 200$$

4. 存活率調查：每季針對長期動態監測樣區之各樹種進行存活與死亡調查，並計算每季各樹種之存活率。

三、結果與討論

(一) 地形變化

本研究於2009年1月4日進行第1季樣區調查與地形測量，並於同年3月16日、8月3日與11月3日進行第2~4季的複查與地形量測 (圖3)。雖然前3次調查期間無豪大雨發生，河道與地形仍發生數次變動。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3a)；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，樣區高程差約減少2 m (圖3b)；第3次調查時，因梅雨季較大降雨量，不僅河道發生改變，土石堆積增加，樣區最高與最低位置高程落差達19 m (圖3c)。2009年8月8日莫拉克颱風帶來豐沛的降雨，在11月第4季調查時發現萬大北溪河床土石再堆高3 m以上，河道由樣區內改流至樣區外，楓香林不再受溪水的淹浸，樣區地形高程落差達22 m (圖3d)。推測河床土石增高的原因是楓林區上游(濁水溪事業區第21、22林班萬大北溪兩岸)地形陡峭，加上九二一地震影響，地質不穩，植被難以依附，造成大面積崩塌 (圖1b)；一但上游集水區強度降雨，溪水增加挾帶土石沖刷、沉積，進而改變楓林區之微地貌。

經重複測量樣區內3條樣帶之樣木的3 m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 $0.05 \pm 0.88 \text{ m}$ (217株)，第2季與第3季的平

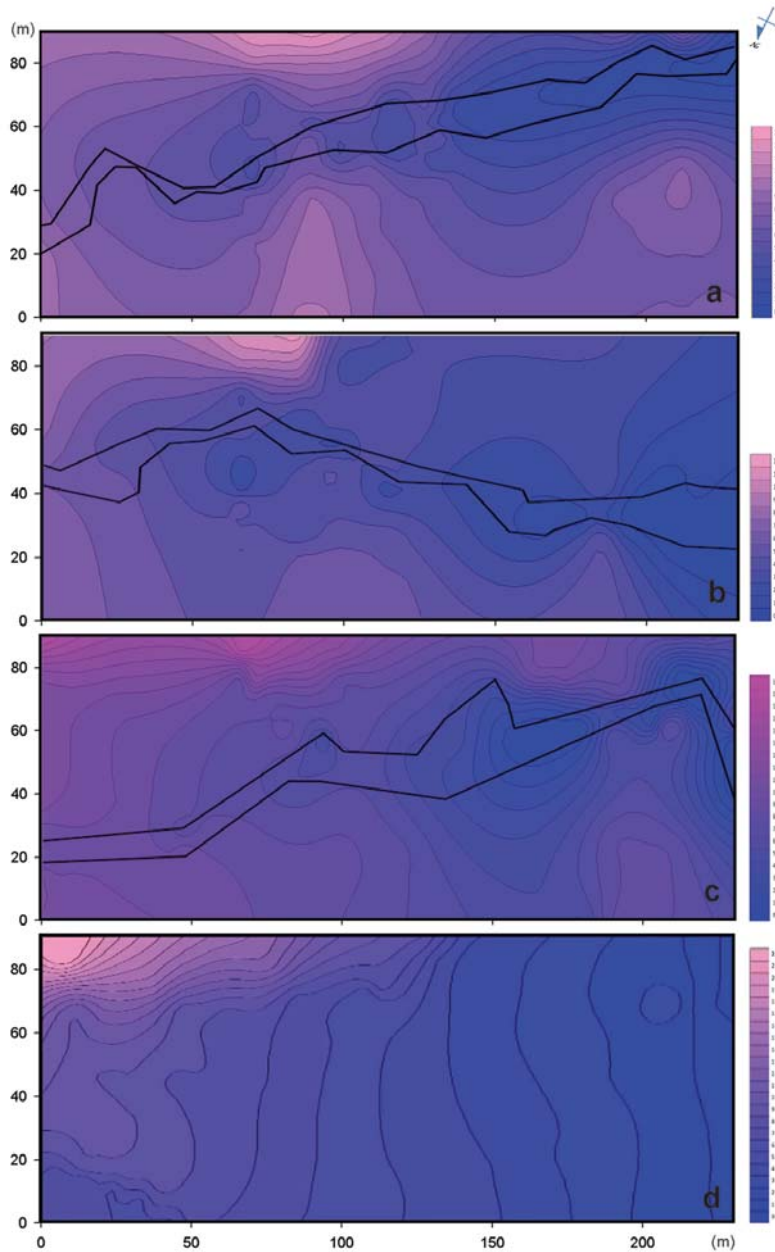


圖3. 奧萬大楓林區監測樣區不同季節地形與河道變化圖。(a) 第1季、(b) 第2季、(c) 第3季、(d) 第4季。

Fig. 3. Comparing the topography and streamway between the (a) first, (b) second (c) third and (c) fourth season of monitoring research sampled plot at Maple Tree Zone in Aowanda.

均高程差為 0.48 ± 1.00 m (229株)，顯示在辛樂克颱風堆積的土石被溪水冲刷而加深；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3 m以上。汪靜明 (1992) 指出，臺灣地形坡度大、地

質不穩和雨季集中，導致臺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。

(二) 物種組成與分布

由於樣區設置時間在楓林區土石淹埋發生之後，因此調查之植物種類清單僅能反映出事件發生後之現存種類與其分布現況。楓林區長期監測樣區共調查49科73屬87種植物，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 (*Pyrrhosia linearifolia*) 等附生蕨類外，其餘地生蕨類僅出現在未受土石淹埋的坡上。在裸子植物中，雖然本區有數量豐富的臺灣五葉松 (*Pinus morrisonicola*) 與臺灣二葉松 (*P. taiwanensis*) (歐辰雄等，1989；鍾國基，2005)，但樣區內僅出現1株臺灣二葉松之稚樹。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淹埋區域發現。單子葉植物6科14屬14種，僅附生蘭如大蜘蛛蘭 (*Chilochista segawai*)、臺灣松蘭 (*Gastrochilus formosanus*) 等分布於土石流區之林木外，其餘多僅分布於未受土石淹埋之區域。

樣區內直徑3 cm以上之喬木層進行分析結果顯示，長期監測樣區內，胸高直徑大於3 cm之林木共計1,201株，其中喬木以楓香數量最多，計有261株，其次依序為臺灣欒 (*Zelkova serrata*) (186株)、山肉桂 (*Cinnamomum insularimontanum*) (159株)、江某 (*Schefflera actophylla*) (92株) 以及青剛櫟 (*Cyclobalanopsis glauca*) (90株) 等，此5種植物為本區最主要優勢之喬木層 (表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 (*Cinnamomum insularimontanum* type) 楓香亞型 (*Liquidambar formosana* subtype) 之植物社會 (鍾國基，2005)。

長年有水的溪流因季節變化有豐水期 (wet

periods) 與枯水期 (drought periods)，甚至間隔一段時間有洪氾發生，因溪水流量變化而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2008年未受颱風之土石流衝擊前，位處萬大北溪較高河床，有較長時期未到干擾。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 (南投林區管理處提供)，楓林區主要區域因景觀作業、人為踐踏等影響，地表植物稀少。由楓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，物種組成相對較豐富。

奧萬大楓林區植物社會為典型的濱岸植群，由林木樣木位置圖顯示 (圖4)，楓林區之樹種組成與分布呈鑲嵌狀或帶狀分布。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 (Gregory *et al.*, 1991; Duncan, 1993; White and Greer, 2006; Kamisako *et al.*, 2007)。Blom and Voesenek (1995) 指出在歐洲濱岸植群中，楊屬 (*Populus*) 與柳屬 (*Salix*) 多分布於洪氾常干擾的生育地，而榆屬 (*Ulmus*)、麻櫟屬 (*Quercus*) 與白蠟樹屬 (*Fraxinus*) 多分布於洪氾干擾頻度高的區域。Kamisako *et al.* (2007) 發現日本中部Rama河日本山毛櫟 (*Fagus crenata*) 主要生長在洪氾干擾週期較長的平台上，水曲柳 (*Fraxinus mandshurica*) 和水胡桃 (*Pterocarya rhoifolia*) 在濕生環境較優勢，而龍江柳 (*Salix sachalinensis*) 和遼楊 (*Populus maximowiczii*) 則生長在河兩岸洪氾頻率較高區域。

由於河流不同區塊受溪流不同強度、頻度、干擾持續時間等影響，在形貌或植物組成都有所不同 (Nilsson *et al.* 1989)；而濱岸植群往往由具有忍受或逃避干擾能力的樹種，

表1. 奧萬大楓林區長期監測樣區(90 m×230 m)株數前20名之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

Table 1. The quantity, relative density, cross section area at breast height (DBH), relative dominance and importance value index (IVI) of major tree species of monitoring research sampled plot at Maple.

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	252,383.22	63.41	85.14
臺灣檫	186	15.49	53,315.63	13.39	28.88
山肉桂	159	13.24	20,096.17	5.05	18.29
青剛櫟	92	7.66	19,247.05	4.84	12.50
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	6.46
臺灣赤楠	37	3.08	585.11	0.15	3.23
細葉鰻頭果	26	2.16	961.25	0.24	2.41
臺灣朴	26	2.16	360.89	0.09	2.26
山豆葉月橘	24	2.00	1,120.20	0.28	2.28
香楠	22	1.83	654.25	0.16	2.00
瓊楠	18	1.50	612.31	0.15	1.65
長梗紫苧麻	16	1.33	166.71	0.04	1.37
栓皮櫟	15	1.25	13,092.84	3.29	4.54
竹葉楠	14	1.17	182.72	0.05	1.21
萊木	14	1.17	1,472.58	0.37	1.54
小葉桑	12	1.00	279.76	0.07	1.07
九芎	11	0.92	3,704.13	0.93	1.85
臺灣山香圓	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	10,619.30	2.67	11.66
總計	1,201	100.00	398,045.33	100.00	200.00

* 註：樣區調查株數前20名以外樹種和無法鑑定樹種者歸類至其它樹種。

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 (郭礎嘉, 2009; Kamisako *et al.*, 2007)。Harper and Macdonald (2001)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。本研究發現，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；不同徑級的楓香在楓林區大致有區隔，徑級較大者多位於近山坡位置，徑級較小者

較近河道林緣 (圖5)，可能反映出溪水擾動頻度對楓香分布的影響。臺灣檫在樣區內的分布較分散 (圖6)，而阿里山千金榆 (*Carpinus kawakamii*) 則多分布於楓林區的近河道林緣。山肉桂分布呈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 (圖7)。青剛櫟、江某、香楠 (*Machilus zuihoensis*)、臺灣朴 (*Celtis formosana*)、細葉鰻頭果 (*Glochidion rubrum*)、栓皮櫟 (*Quercus*

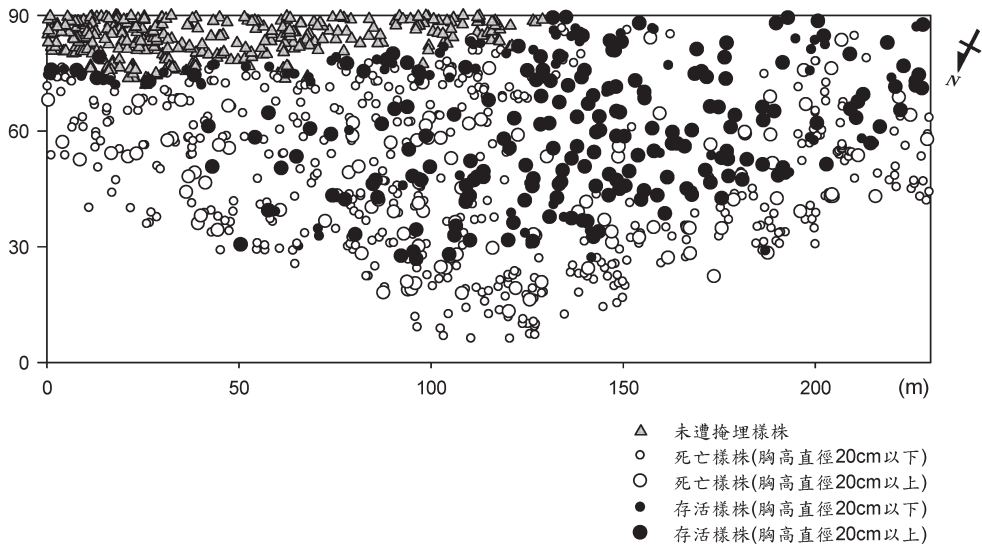


圖4. 奧萬大楓林區長期監測樣區之所有林木分布位置圖。

Fig. 4. Distribution of tree species of monitoring research sampled plot at Maple Tree Zone in Aowanda National Forest Recreation Area.

variabilis) 等演替較中後期的樹種則多分布於楓林區的上半部，且多位於較未受到土石淹埋區域(圖8和圖9)。Nisson and Svedmark (2002) 將影響濱岸植群變化的主要因素分成水文(hydrology)、廊道(corridor)和地景(landscape)等3個主要層次，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。

(三) 林木枯死率調查

長期監測樣區1,201株喬木層植物中，第1季調查799株樹木遭到萬大北溪沖刷與土石堆積掩埋(表2)，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12.14%；第3季調查477株存活的林木中有167枯死，枯死率為20.90%。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，前3季310株存活個體加上新增掩埋株數共367株中，有93

株枯死，枯死率為11.64%。累積4季總共枯死582株，總枯死率為67.99%。樣區內每季枯死林木位置圖(圖4)，枯死株位置開始多位於楓林區長期監測樣區外圍，一方面與林木種類有關(圖5-9)，另一方面可能因林分內外之微環境(如下文詳述)，以及林木所在位置受到土石衝擊程度等有關(王付、趙振興，2003)。

綜觀4季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，調查發現部分樹種如山櫻花(*Prunus campanulata*)、江某，或胸徑較小的林木，其樹皮因土石衝擊而遭剝開，因而致使第1季枯死率高達28.16%(表2)。而在第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，在第2次調查才死亡等因素，致使在第1季存活下來的林木其枯死數量下降。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，在第3季調查時多數已枯死，例如山肉桂、臺灣檫等。

由於經年受到溪流洪氾干擾，長期下來，

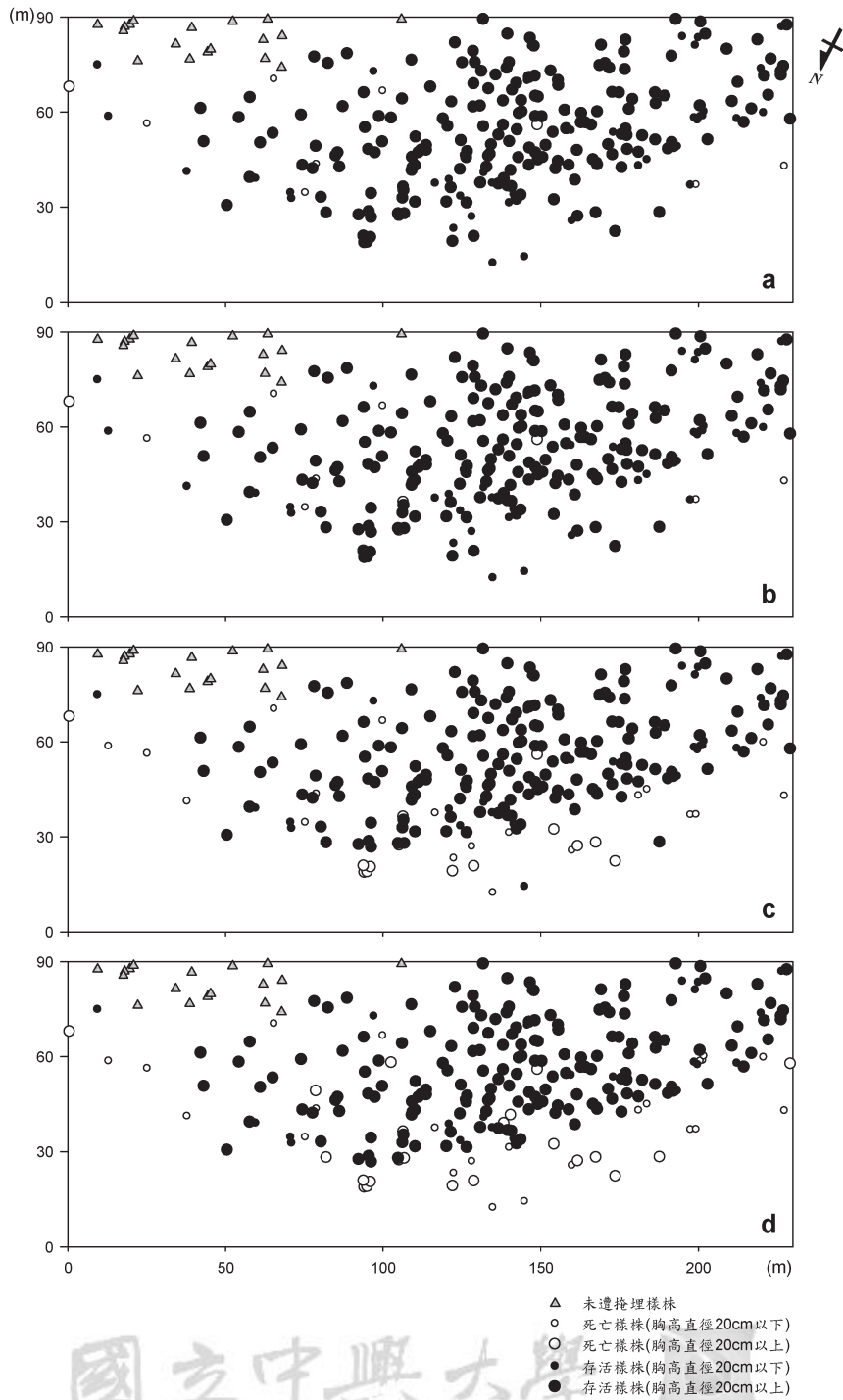


圖5. 奧萬大楓林區長期監測樣區之楓香各季節存活與枯死林木分布位置圖。(a)第1季、(b)第2季、(c)第3季、(d)第4季。

Fig. 5. Distribution of survival and dead trees of *Liquidambar formosana* in monitoring research sampled plot at Maple Tree Zone in Aowanda National Forest Recreation Area in 2008.

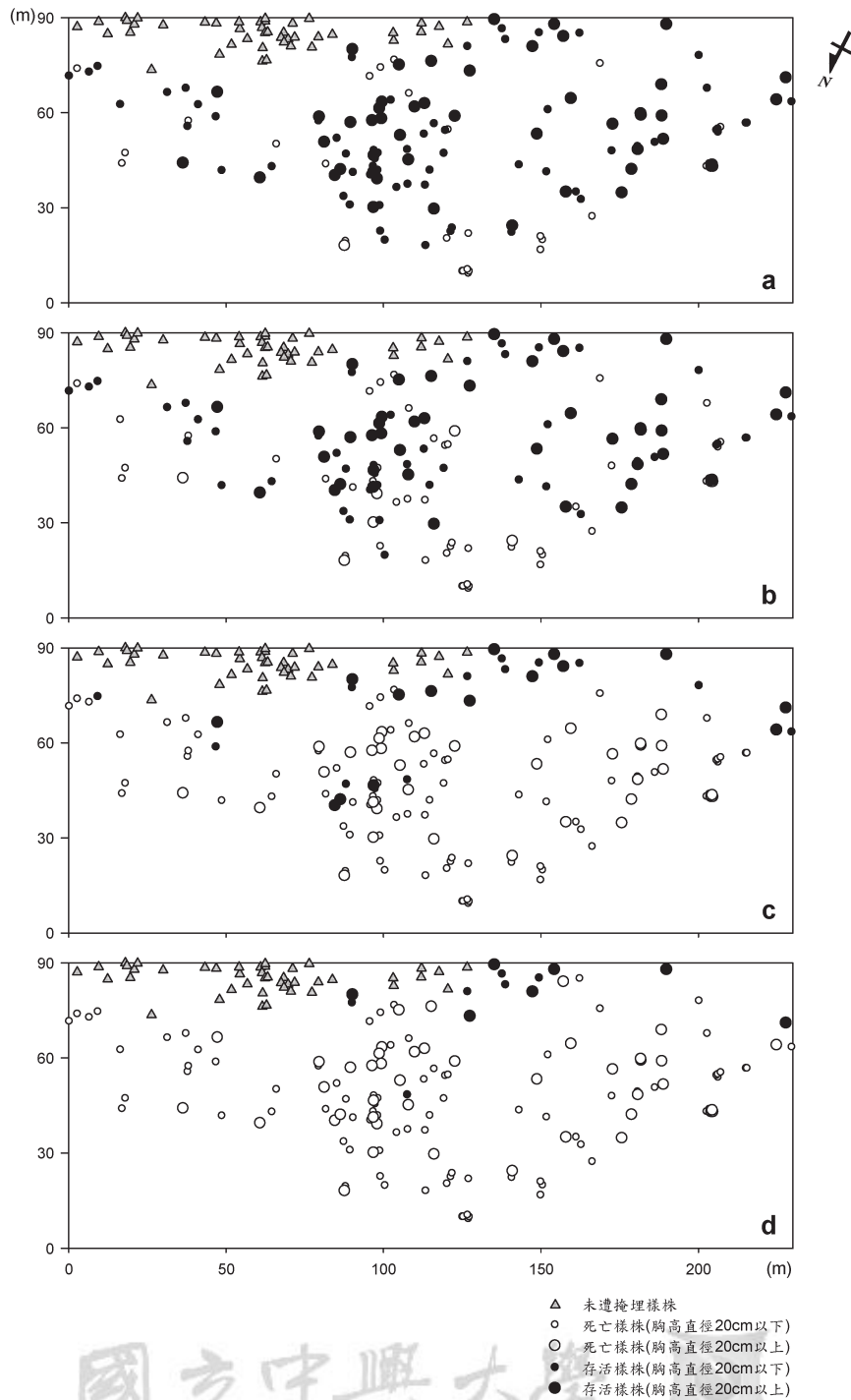


圖6. 奧萬大楓林區長期監測樣區之臺灣欏木各季節存活與枯死林木分布位置圖。(a)第一季、(b)第二季、(c)第三季、(d)第四季。

Fig. 6. Distribution of survival and dead trees of *Zelkova serrata* in monitoring research sampled plot at Maple Tree Zone in Aowanda National Forest Recreation Area in 2008.

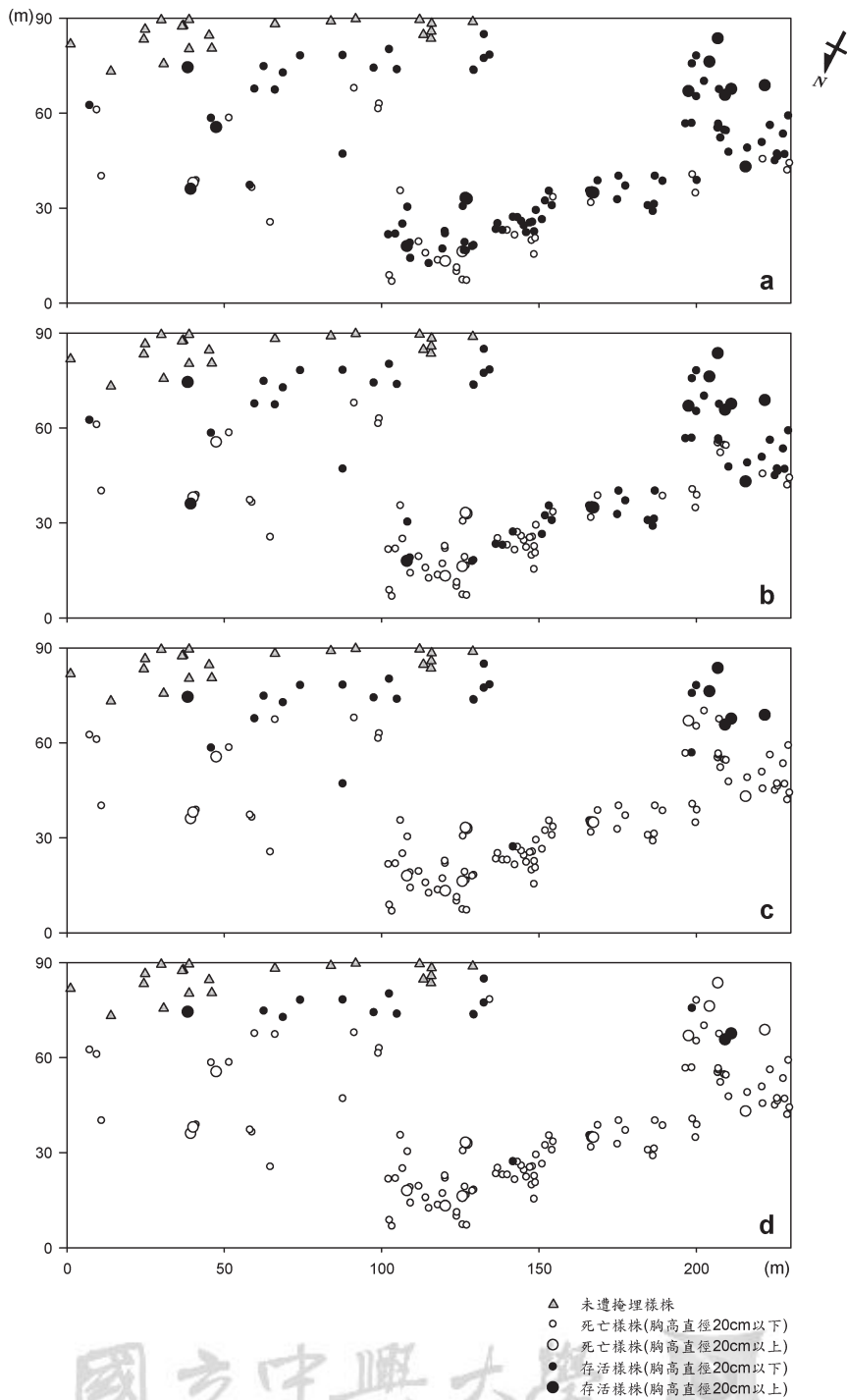


圖7. 奧萬大楓林區長期監測樣區之山肉桂各季節存活與枯死林木分布位置圖。(a)第1季、(b)第2季、(c)第3季、(d)第4季。

Fig. 7. Distribution of survival and dead trees of *Cinnamomum insulari-montanum* in monitoring research sampled plot at Maple Tree Zone in Aowanda National Forest Recreation Area in 2008.

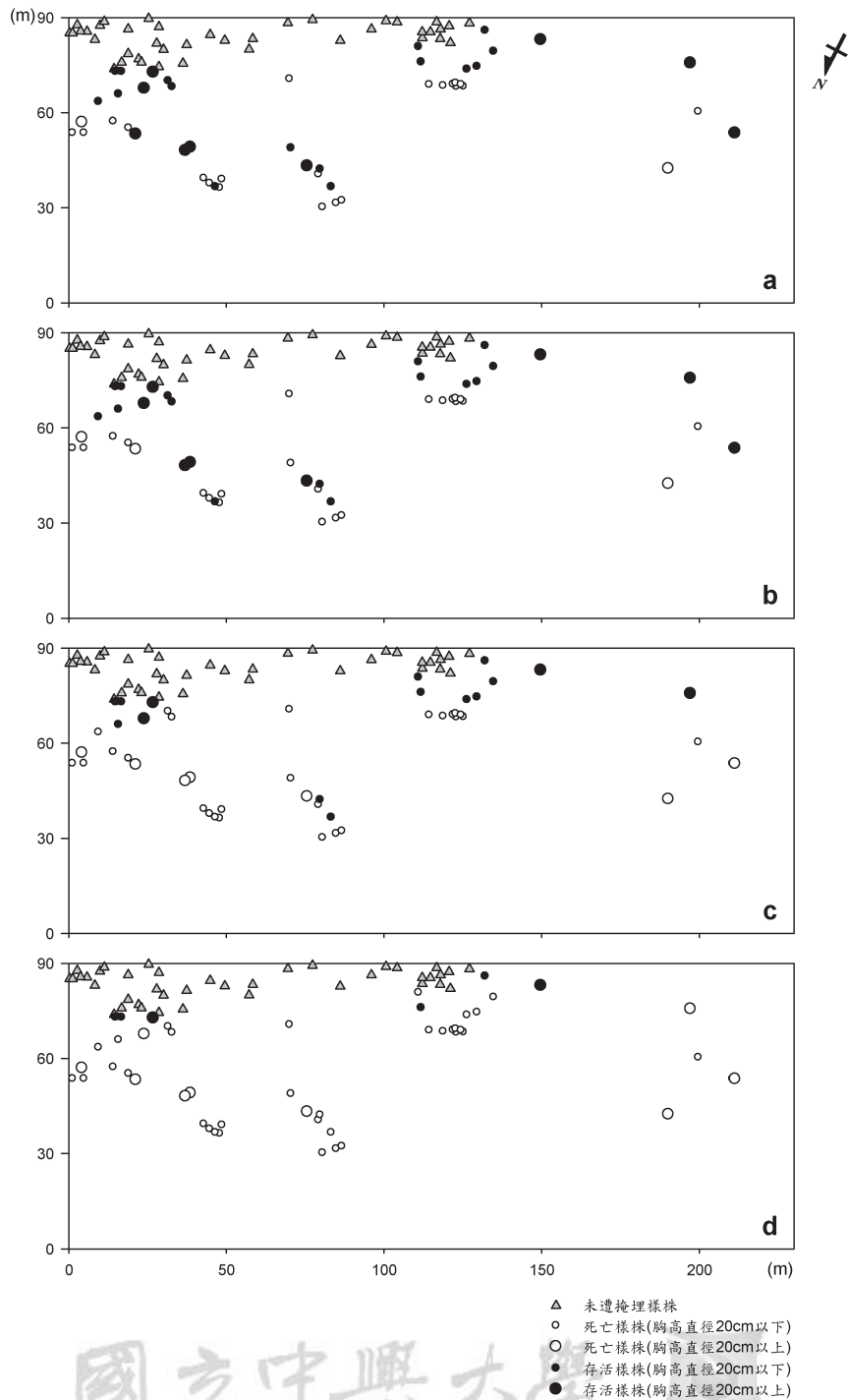


圖8. 奧萬大楓林區長期監測樣區之青剛櫟各季節存活與枯死林木分布位置圖。(a)第1季、(b)第2季、(c)第3季、(d)第4季。

Fig. 8. Distribution of survival and dead trees of *Cyclobalanopsis glauca* in monitoring research sampled plot at Maple Tree Zone in Aowanda National Forest Recreation Area in 2008.

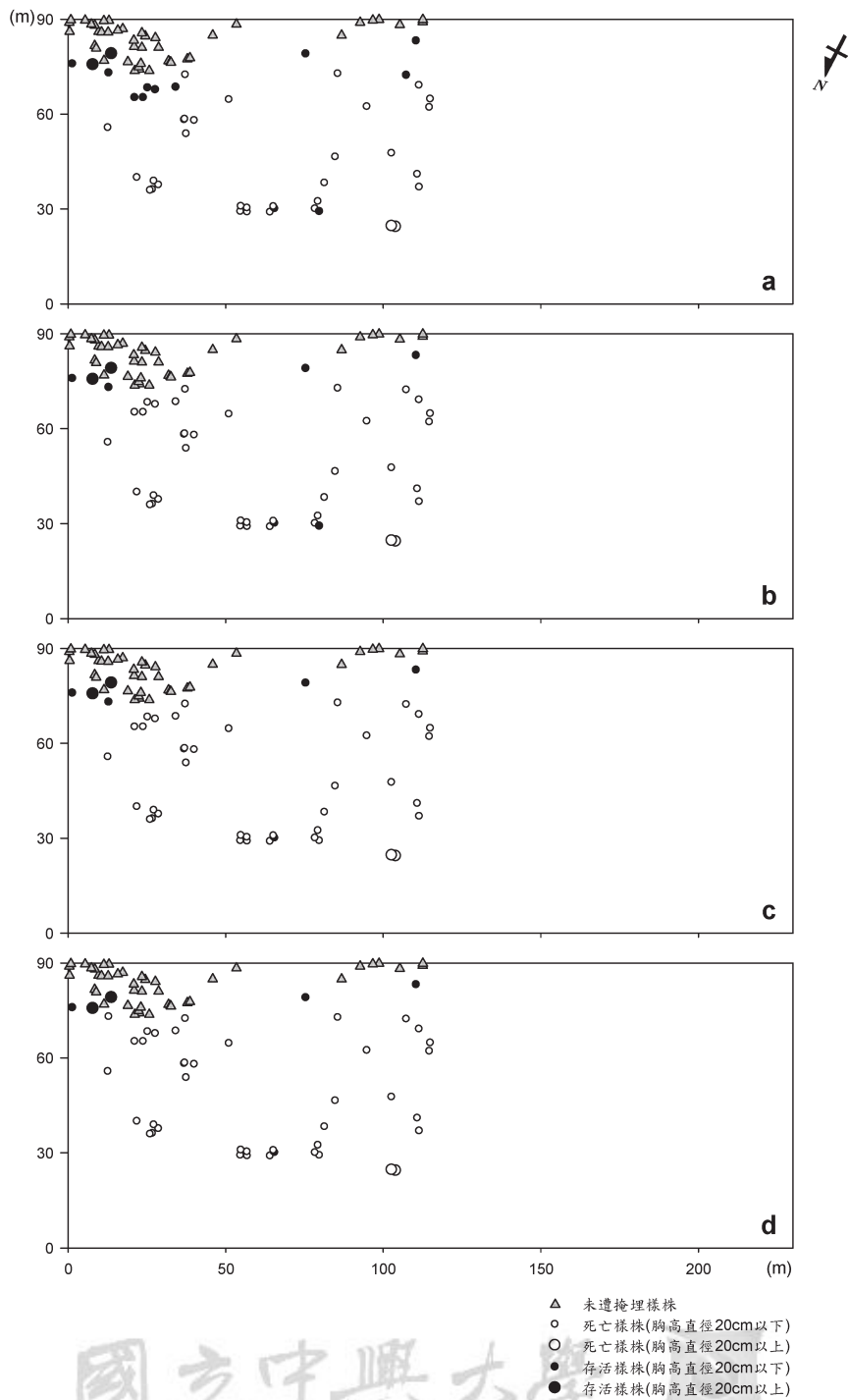


圖9. 奧萬大楓林區長期監測樣區之江某各季節存活與枯死林木分布位置圖。(a)第1季、(b)第2季、(c)第3季、(d)第4季。

Fig. 9. Distribution of survival and dead trees of *Schefflera octophylla* in monitoring research sampled plot at Maple Tree Zone in Aowanda National Forest Recreation Area in 2008.

表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枯死株數與枯死率變化

Table 2. Dead tree and dead rate of major tree species during 4 seasons after flooding and debris flow of monitoring research sampled plot at Maple from 2008-2009.

物種	遭土石掩埋株數	單季枯死株數／單季枯死率／存活株數／累積枯死率																
		第一季			第二季			第三季			第四季			累積枯死株數				
		株數	%	株數	%	株數	%	株數	%	株數	%	株數	%					
楓香	241(235/6)	10	4.26	225	4.26	2	0.85	223	5.11	22	9.36	201	14.47	14	5.96	193	19.92	48
臺灣檫	142(137/5)	29	21.17	108	21.17	25	18.25	83	39.42	60	43.8	23	83.21	14	10.22	14	90.14	128
山肉桂	138(132/6)	36	27.27	96	27.27	34	25.76	62	53.03	44	33.33	18	86.36	9	6.82	15	89.13	123
青剛櫟	51(43/8)	24	55.81	19	55.81	2	4.65	17	60.47	8	18.6	9	79.07	10	23.26	7	86.27	44
江某	47(46/1)	34	73.91	12	73.91	6	13.04	6	86.96	1	2.17	5	89.13	1	2.17	5	89.36	42
阿里山千金榆	27(27/0)	10	37.04	17	37.04	7	25.93	10	62.96	6	22.22	4	85.19	4	14.81	0	100	27
臺灣朴	19(15/4)	13	86.67	2	86.67	0	0	2	86.67	1	6.67	1	93.33	4	26.67	1	94.74	18
香楠	16(16/0)	8	50.00	8	50.00	3	18.75	5	68.75	2	12.5	3	81.25	3	18.75	0	100	16
細葉鰲頭果	15(13/2)	1	7.69	12	7.69	1	7.69	11	15.38	6	46.15	5	61.54	3	23.08	4	73.33	11
栓皮櫟	14(13/1)	6	46.15	7	46.15	0	0	7	46.15	1	7.69	6	53.85	4	30.77	3	78.57	11
萊木	13(13/0)	4	30.77	9	30.77	3	23.08	6	53.85	4	30.77	2	84.62	1	7.69	1	92.31	12
長梗紫芋麻	12(7/5)	4	57.14	3	57.14	1	14.29	2	71.43	0	0	2	71.43	6	85.71	1	91.67	11
九芎	9(9/0)	0	0.00	9	0.00	0	0	9	0.00	1	11.11	8	11.11	0	0	8	11.11	1
山豆葉月橘	9(7/2)	2	28.57	5	28.57	0	0	5	28.57	0	0	5	28.57	2	28.57	5	44.44	4
臺灣赤楠	9(6/3)	1	16.67	5	16.67	1	16.67	4	33.33	1	16.67	3	50.00	4	66.67	2	77.78	7
瓊楠	9(8/1)	2	25.00	6	25.00	2	25	4	50.00	1	12.5	3	62.50	1	12.5	3	66.67	6
山桐子	5(5/0)	4	80.00	1	80.00	0	0	1	80.00	1	20	0	100.00	0	0	0	100	5
山櫻花	5(5/0)	3	60.00	2	60.00	2	40	0	100.00	0	0	0	100.00	0	0	0	100	5
杜英	5(4/1)	4	100.00	0	100.00	0	0	0	100.00	0	0	0	100.00	1	25	0	100	5
其他	70(58/12)	30	51.72	28	51.72	8	13.79	20	0.66	8	13.79	12	0.79	12	20.69	12	68.57	48
總計	856(799/57)	225	28.16	574	28.16	97	12.14	477	40.30	167	20.9	310	61.20	93	11.64	274	67.99	582

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

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。能夠忍受洪氾干擾的植物，可大至分成硬枝植物 (stiff plant) 與軟枝植物 (flexible plant) 兩類 (Bendix and Hupp, 2000)。硬枝植物以堅韌的枝條直接抵抗水流沖刷，而軟枝植物在高流速下，彈性與柔軟性的枝幹彎曲倒伏以減少水流阻力，並保護下游的植物 (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*) 和北美紅欖 (*Q. rubra*) 等先驅樹種 (pioneer tree species) 等為優勢。臺灣中高海拔之常見濱溪樹種則以臺灣赤楊 (*Alnus formosana*) 為優勢 (郭礎嘉, 2009)。

奧萬大楓林區受土石淹埋第1季調查時間接近前一年土石淹埋與衝擊破壞的時間，其樹種存活反映出前一年的土石淹埋與衝擊其傷害程度的忍受性；而第2季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。水分條件是植物生長的重要環境因子之一，影響形態、生理生化代謝及其地理分布範圍。洪氾為害並不是單純水分過多逆境，而是因洪氾後導致的二次傷害影響植物的生長發育；而缺氧是洪氾過程中植物受到最重要次級逆境 (Kozłowski, 2002)。長時間淹水土壤環境逐步形成缺氧，根系能量代謝逐步由有氧代謝轉變成缺氧代謝，致使植株根系供氧受阻，土壤氧化還原能力降低，代謝毒物和還原離子毒害累積，根系活力下降，水分和營養離子的吸收和營養物近的輸送能力減弱，進而影響植物的正常代謝 (Kozłowski, 2002; Jackson and Colmer, 2005)。能適應洪氾的濱岸物種通常具有良好的氧氣輸導能力、肥大的皮孔 (lenticel)、通氣組織 (aerenchyma) 以及發達的側根 (Kozłowski, 1997)。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，其所受到的水分逆境

不只是較長期的淹水逆境，土石淹埋與衝擊的物理傷害對於林木存活影響可能較純粹的淹水逆境更大。

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，其具對於植物存活更加不利。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 (Kozłowski, 1997)。在奧萬大楓林區的洪氾，除了水淹外，挾帶大量的土石流，對植物體造成劇烈的物理傷害，部份植株樹皮遭土石衝擊而有不同程度樹皮剝落現象，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。

第1季調查枯死株數最多者為山肉桂和臺灣欖，有36及29株枯死，山肉桂樣區土石掩埋132株中有36株枯死，枯死率為27.27%，依次為臺灣欖 (137株有29株枯死，枯死率為21.17%)、江某 (46株有34株枯死，枯死率為73.91%)、青剛欖 (43株有24株枯死，枯死率為55.81%)。受辛樂克颱風挾帶土石衝擊下，江某、臺灣朴、山桐子 (*Idesia polycarpa*)、山櫻花有60.00%植株在第1季調查時即枯死，反映這一類對於挾帶土石流的洪氾耐性能力較弱，而楓香、細葉鰻頭果、九芎 (*Lagerstroemia subcostata*) 等有較佳的土石流抵抗力 (表2)。

第2季調查枯死株數較多者為山肉桂 (第1季96株存活中有34株枯死，枯死率為25.76%) 和臺灣欖 (第1季108株存活中有25株枯死，枯死率為18.25%) (表2)。第3季枯死株數最多為臺灣欖，計前季存活83株有60株枯死，枯死率為43.80%，依次為山肉桂 (前季62株有44株枯死，枯死率為33.33%) (表2)。臺灣欖、阿里山千金榆等落葉樹種在第1季調查時，大多植株雖已經落葉，但卻在枝稍展開新葉，此可能因植株受創後所引起。雖然在國內外的研究中顯示，臺灣欖是濱岸植物之一，且屬於演替

中期物種 (鍾國基, 2005; Azami *et al.*, 2004; Choung *et al.*, 2003; Song and Song, 1996)。由於時令1月為寒冷的冬季, 此時期展葉非正常展葉時期, 因此在第2次調查時, 這些在冬季展葉的落葉樹種絕大多數都已枯死。

第2季與第3季的植株存活與枯死情形反映出對逆境過後的生長勢, 由於第2至第3季為本區植物開始進行展葉與開花結果的季節, 此時期植物開始生長, 光合、呼吸等生理作用旺盛, 此時期攸關樹木是否得以持續生長存活。除楓香、九芎及細葉饅頭果的累積枯死率低於20%外 (表2), 臺灣欒、山肉桂、青剛櫟、江某等4種主要組成樹種之累積枯死率在第3季時高達80%; 除上述4種主要組成樹種外, 阿里山千金榆、台灣朴、香楠、萊木 (*Cornus macrophylla*) 等亦是相似的情形, 山桐子、山櫻花及杜英 (*Elaeocarpus decipiens*) 等的累積枯死率更達100%; 此結果顯示除楓香、九芎及細葉饅頭果外, 分布於長期監測樣區的樹種, 在經溪水淹浸、土石衝擊與掩埋等逆境作用後, 將難以存活至下一個生長季。

奧萬大楓林區長期監測樣區在第4季調查前遭到莫拉克颱風豪雨挾帶大量土石, 使樣區土石再堆積, 土石堆積高度超過3 m, 使樣區遭土石掩埋面積增大, 土石流被害林木新增57株, 多屬較耐陰之樹種例如長梗紫芋麻 (*Oreocnide pedunculata*)、山豆葉月橘 (*Murraya euchrestifolia*)、竹葉楠 (*Litsea elongata*)、青剛櫟、臺灣欒等植物之稚樹。其中長梗紫芋麻、臺灣赤楠 (*Syzygium formosanum*) 等在本次新增掩埋個體中, 枯死率超過60%, 反映其對於溪水與土石流的衝擊缺乏耐受性 (表2)。

相較於其他在楓林區數量較優勢的臺灣欒、山肉桂、青剛櫟和江某等4樹種而言 (總枯死率高達85%以上), 僅楓香 (19.92%)、九芎 (11.11%) 對此等逆境的反應有較高的耐受性 (tolerance)。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、土石掩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。

除了楓香、臺灣欒、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、臺灣朴、山櫻花、山桐子、九芎等樹種; 然而, 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接近90%。此結果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, 但此次楓林區挾帶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。

本研究調查發現, 山肉桂、臺灣欒、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季調查時都已有小蠹蟲科的蠹蟲 (Scolytidae, Scolytinae, *Scolytoptatypus raja* Blandford) 排遺 (委請國立中興大學昆蟲學系劉藍玉博士鑑定)。在這些有蠹蟲在的植株, 絕大多數在第2季都死亡; 小蠹蟲科之蠹蟲多半住居住在受傷、羸弱或稍乾的植物中, 寄主植物必須夠潮濕才能發育 (劉藍玉、楊正澤, 2005)。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。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。植物在遭受逆境傷害後，因生理狀態不佳或生長勢衰弱，極易遭害病蟲害的二次傷害因而致死；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得以存活，但是否會因病蟲害而死亡，有待更進一步的監測調查。

經近1年的監測觀察結果發現，山肉桂、臺灣檫、阿里山千金榆、江某、山豆葉月橘、青剛櫟、栓皮櫟、臺灣赤楠、臺灣山香圓 (*Turpinia formosana*)、臺灣朴、細葉鰻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 (楊正釧, 1997；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，但此類樹種對挾帶土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，其與臺灣赤楊在河床分布受到之影響較為相似。

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，在樹幹基部開始發根的現象，顯見其對濱岸帶不定期干擾的適應。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種樹種或可作為低溼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。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能，消耗水流的動能，使河道行洪能力降低 (王付、趙振興, 2003)。因此仍需進行相關研究，搭配其他生態工法降低洪氾或土石流區域之危害。

四、誌謝

本研究承蒙農業委員會林務局南投林區管理處之經費補助與調查協助，特此致謝。

伍、引用文獻

- 王付、趙振興 (2003) 河岸植被對水流影響的研究現狀。水資源保護 19(6): 54-57。
- 汪靜明 (1992) 河川生態保育。國立自然科學博物館。
- 林介龍、盧惠生、王義仲、劉晉榮、黃曜謀 (2006) 六龜試驗林濱溪植群調查。華岡農科學報 18: 111-126。
- 林登秋、林則桐、江智明、夏禹九、金恒鏞 (1999) 颱風對台灣東北部天然闊葉樹林林冠干擾之研究。中華林學季刊 32(1): 67-78。
- 徐憲生 (2006) 七家灣溪濱岸植群監測與地景變遷。國立中興大學森林系碩士論文。
- 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。
- 楊正釧 (1997) 台北縣烏來鄉桶后溪濱植群之研究。台灣林業科學 12(3): 335-346。
- 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。
- 劉藍玉、楊正澤 (2005) 竹木材檢疫重要蟲蟲類 (鞘翅目) 害蟲介紹。植物重要防疫檢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。
- 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。
- 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。
- 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. and L. A. C. J. Voesenek (1995) Flooding: the survival strategies of plants. *Trends in Ecology & Evolution* 11(7): 290-295.
- 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.
- Gregory, S. V., F. J. Swanson, W. A. McKee and K. W. Cummins (1991) An ecosystem perspective of riparian zones. *Bioscience* 41: 540-551.
- Harper, K. A. and S. E. Macdonald. (2001) Structure and composition of riparian boreal forest: new methods for analyzing edge influence. *Ecology* 82(3): 649-659.
- 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.
- Kamisako, M., K. Sannoh and T. Kamitani (2007) Does understory vegetation reflect the history of fluvial disturbance in a riparian forest? *Ecological Research* 22: 67-74.
- 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.
- Lin, T.C., S. P. Hamburg, Y.J. Hsia, T.T. Lin, H.B. King, L.J. Wang and 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., G. Grelsson, M. E. Johansson and U. Sperens (1989) Patterns of species richness

along riverbanks. *Ecology* 70(1): 77-84.

Nisson, C. and M. Svedmark (2002) Basic principles and ecological consequences of changing water regimes: Riparian plant communities. *Environmental Management* 30(4): 468-480.

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.

White, M. D. and K. A. Greer (2006) The effects of watershed urbanization on the stream hydrology and riparian vegetation of Los Pe~nasquitos Creek, California. *Landscape and Urban Planning* 74: 125-138.



National Chung Hsing University