

## 研究報告

## 颱風擾動後台灣中部蓮華池森林動態樣區 木本植物的傷害及更新

張勵婉<sup>1,4)</sup> 陳意婷<sup>2)</sup> 黃正良<sup>3)</sup>

### 摘 要

颱風是台灣自然生態系最常遭遇的天然災害，為瞭解因颱風的擾動對森林樹木的影響，以及颱風過後森林內物種的更新機制，需要經由地面即時調查與監測。本研究在台灣中部蓮華池25 ha森林動態樣區內，於2008年颱風季過後，展開詳細的地面調查及更新監測。結果顯示，颱風所帶來豪雨共引起11處崩塌，面積共9159.47 m<sup>2</sup>，發生的崩塌區域多分佈於溪谷兩側及下坡處；強風對於樹木的傷害主要以樹木倒伏及樹冠層、枝條的損傷，豪雨引發的崩塌多造成樹木消失及死亡；另颱風對小徑級植株的傷害大於中、大徑級的植株，優勢種的數量及底面積受颱風傷害比例較低，而先驅種及稀有種所受傷害的比例較高。

此外，將崩塌區域分為崩塌地內、邊緣過渡帶及崩塌地外三個區域，設置1×1 m小樣方於2009~2012年進行更新小苗及地被覆蓋度監測。結果顯示，崩塌地內及邊緣過渡帶區域小苗密度、物種種類及地被覆蓋度皆增加，但先驅樹種比例下降，各項監測數值變動幅度大，又以崩塌地內較為激烈；但崩塌地外則呈現幼苗密度、種類、新增數量、先驅樹種比例變動較其他兩個區域小且穩定的趨勢。另崩塌地內先驅樹種的比例及每株苗木的平均高度生長量都明顯較其他兩個區域高。而各區域內更新小苗與原本該區上層木本植物之Sorenson相似性指數，以崩塌地內之相似性最低為26.82%，邊緣過渡帶次之37.38%，而崩塌地外和原本該區的相似度最高41.65%。

總體而言，2008年颱風擾動帶來豪雨及強風，豪雨造成的崩塌，對台灣中部蓮華池森林樹木所造成的傷害大於強風的影響，也因颱風造成新的更新棲位，有利於不同種類植物的更新與共存，維持了蓮華池森林物種的多樣性。

關鍵詞：颱風擾動、森林動態樣區、傷害、樹木更新。

張勵婉、陳意婷、黃正良。2017。颱風擾動後台灣中部蓮華池森林動態樣區木本植物的傷害及更新。

台灣林業科學32(1):1-14。

<sup>1)</sup> 林業試驗所技術服務組，10066台北市南海路60號5樓 Division of Technical Service, Taiwan Forestry Research Institute, 5th Fl., 60 Nanhai Rd., Taipei 10066, Taiwan.

<sup>2)</sup> 98341花蓮縣富里鄉富里村中山路358號 358 Zhongshan Rd., Fuli Township, Hualien County 98341, Taiwan.

<sup>3)</sup> 林業試驗所中埔研究中心，60081嘉義市文化路432巷65號 Chungpu Research Center, Taiwan Forestry Research Institute, 65, Wenhua Rd., Ln. 432, West Dist., Chiayi City 60081, Taiwan.

<sup>4)</sup> 通訊作者 Corresponding author, e-mail:liwanc@tfri.gov.tw

2015年12月送審 2016年4月通過 Received December 2015, Accepted April 2016.

Research paper

## Damage and Regeneration of Trees in the Liehuachih Forest Dynamics Plot in Central Taiwan after Typhoons Disturbance

Li-Wan Chang,<sup>1,4)</sup> Yi-Ting Chen,<sup>2)</sup> Jeen-Lian Hwong<sup>3)</sup>

[ Summary ]

Typhoons are the common natural disturbances in Taiwan. In order to study species regeneration, coexistence and maintenance of biodiversity of forests, immediate field surveys and monitoring should be done. In 2008, we surveyed a forest after typhoon season, and monitored species regeneration in the Lienhuachih forest dynamics plot in central Taiwan. Our results showed 11 landslide areas caused by typhoons totalled 9159.47 m<sup>2</sup>, and most landslide areas were located in the valley and on lower slopes. Strong winds caused trees to fall down and branches or the canopy to be damaged; heavy rainfall caused tree death or disappearance. The typhoon caused greater damages to trees with a small diameter at breast height than to larger ones. The typhoon also caused greater damage to the number of individuals and basal area of pioneer and rare species than it did to dominant species.

In addition, we set up 1 × 1 m plots and divided landslides into 3 areas, the center of the landslide area, edge of the landslide area, and non-landslide areas, to study differences in regeneration of tree species and understory coverage during 2009~2012. Our results showed that for landslide areas and edges of landslide areas, the density, number of species, and understory coverage increased, but the proportion of pioneer species decreased. The number of seedlings that regenerated changed very dramatically, especially in landslide areas. In contrast, in non-landslide areas, the density, number of species, recruitment, and proportion of pioneer species changed less than in the other 2 areas or were stable. The proportion of pioneer species and average growth per seedling were significantly higher than in the other 2 areas. Then, we used the Sorensen similarity index to understand similarity between regenerated seedlings and overstory trees. The Sorensen similarity index was the lowest at 26.82% in landslide areas, 37.38% in edges of landslide areas, and 41.65% in non-landslide areas.

Overall, our study concluded that when typhoons hit landslide formed, more trees were damaged by heavy rainfall than by strong winds in 2008, and new niches were formed, which benefited tree species regeneration and maintained tree diversity and coexistence in the Lienhuachih broad-leaf forest.

**Key words:** typhoon disturbance, forest dynamics plot, damage, tree regeneration.

**Chang LW, Chen YT, Hwong JL. 2017.** Damage and regeneration of trees in the Liehuachih forest dynamics plot in central Taiwan after typhoons disturbance. *Taiwan J For Sci* 32(1):1-14.

## 緒言

颱風(typhoon)為強烈的熱帶氣旋，在西太平洋稱為「颶風」(hurricane)，在印度洋又稱為「氣旋」(cyclone) (Neumann 1993)，侵襲時不僅帶來強勁的風速，更帶來豐沛的雨量(Lugo 2008)，是台灣自然生態系最常遭遇到的天然災害(Lin et al. 2011)，對於森林生態系的功能與森林結構具有重大的影響(Frangi and Lugo 1991, Tanner et al. 1991, Fujita et al. 2003, Lin et al. 2011)。

過去研究颱風擾動森林，多為利用颱風季前後的SPOT衛星影像，比較常態化差異植生指標(normalized difference vegetation index, NDVI)的變遷率(Ma 2000, Chuang 2005, Lee 2006)，所瞭解的往往限於大地景尺度下的植生覆蓋變動(Chou and Cheng 1992, DeFries et al. 1995)，但如需要探討颱風的擾動如何影響森林中各樹種的更新，如何維持物種共存及多樣性，則需經由精細的每木地面調查才能瞭解。

然而，台灣對於颱風過後的森林即時調查，常礙於人力或時間的限制，研究非常少，僅有Mabry et al. (1998)調查福山試驗林經颱風擾動過後，樹木的傷害與樹冠層孔隙的恢復；但前述研究僅強風的擾動，並無探討豪雨的影響。根據Chang et al. (2012)研究指出，隨著氣候的變遷，統計過去50年來侵襲台灣的颱風，所夾帶的雨量有明顯增加的趨勢。又因台灣的地勢陡峭，颱風所帶來短而集中的強降雨，容易造成土石滑動而產生崩塌，使得原本生長於其上樹木因為基地流失，而造成森林樹木的損傷或死亡。

林業試驗所蓮華池試驗林位於台灣的中部低海拔山區，因其東部有中央山脈屏障，相對於台灣其他地區，雖受颱風的擾動頻度較少(Lee 2006)，但每年仍平均有0.7個颱風侵襲(颱風資料庫統計<http://rdc28.cwb.gov.tw/>)，另根據Chen (2011)研究指出，由中部陸地經過的颱風，通常帶來較多的雨量。2007年10月起根據熱帶森林研究中心(CTFS)進行森林動態學樣區研究所發展成的作業模式(Condit 1998)，於蓮華池試驗林劃設一25 ha之森林動態樣區，調查

樣區內所有胸高直徑(diameter at breast height, DBH)達到1 cm以上的植株，記錄物種名稱、胸高直徑與每一株樹木的位置。

2008年7月完成樣區內每木調查，當年颱風季有卡玫基(Kalmaegi)以及辛樂克(Sinlaku)等兩個颱風侵襲樣區，在颱風季過後，隨即在蓮華池森林動態樣區展開詳細的地面調查及3年8個月(2009.04~2012.12)的植生恢復監測，本研究將探討：1. 颱風所帶來豪雨在樣區內產生崩塌的位置以及面積，2. 颱風所帶來豪雨及強風對於樹木的擾動，3. 森林經擾動過後產生新的崩場地植物更新與恢復狀況。

## 材料與方法

### 一、蓮華池動態樣區概述

蓮華池森林動態樣區(N 23°54'49", E 120°52'43")在林業試驗所蓮華池研究中心的西北方天然試驗林林地內，樣區面積500×500 m, 25 ha，年平均氣溫20.8℃，年總降雨量平均為2285 mm，夏季受颱風影響，雨季集中於3~9月，而10~2月降雨少，乾季明顯(Lu et al. 2008)。樣區海拔介於667~841 m，地勢由西邊之山地向東傾斜，坡度陡峭，地形起伏甚大，有許多小乾溝、沖蝕溝，微地形變異明顯。樣區內木本植物調查方法為將25 ha樣區劃分為625個20×20 m的小樣方，調查各小樣方內所有胸高直徑(DBH)達到1 cm的木本植物，記錄物種名稱、胸高直徑與每一株樹木的位置。樣區內共39科86屬144種木本植物，密度為153,268 stems/25 ha、胸高斷面積為869.25 m<sup>2</sup>/25 ha。全區以殼斗科(Fagaceae)、樟科(Lauraceae)、茜草科(Rubiaceae)最為優勢(Chang et al. 2010)。

### 二、調查與分析

2008年7~9月侵襲蓮華池森林的颱風，分別為中度颱風卡玫基(7/16~7/18)，以及強烈颱風辛樂克(9/11~9/16)，中心最大風速分別為33及51 m/s (央氣象局颱風資料庫<http://rdc28.cwb.gov.tw/>)；降雨量分別為450及520.5 mm/24 h (林業試驗所蓮華池研究中心氣象塔資料)。颱風

過後造成樣區內產生多處崩塌及樹木損傷，為了解颱風所帶來的強風和豪雨對於蓮華池森林動態樣區的影響，本研究在豪雨所產生的崩塌區域，及僅受強風影響的非崩塌區域進行詳細的地面調查。

#### 1.崩塌位置、面積及樹木受損調查：

樣區內所有胸高直徑(DBH)  $\geq 1$  cm之木本植物皆已建立GIS位置資料，故在調查崩塌區域發生的位置時，為沿著崩塌區域的邊緣記錄邊緣樹的編號，如遇崩塌地邊緣無樹時，則參考附近具編號樹木的相對位置，於現場實際測繪出崩塌地的邊界；再將調查崩塌地邊緣樹木編號輸入GIS軟體中，並與實際測繪資料比對校正，即可在GIS軟體中繪出崩塌區域在樣區中的位置，並利用GIS軟體計算崩塌區域的面積。

針對崩塌區域內每株樹木進行受損狀況調查，將受損狀況區分為死亡、消失、樹冠、主幹或分枝受損、倒伏、及其它狀況等。死亡的判定為調查時可找到具該編號的死亡樹木；消失的判定為調查時無法在原本樹的位置或樣區其他地方找到該編號樹木；樹冠、主幹或分枝受損判定標準為樹冠、主幹或分枝有明顯的斷肢、或缺損等現象；倒伏判定為樹幹明顯較第一次調查傾斜；其他狀況為樹木有受損但不能歸類為以上任一種。另針對崩塌後因土石滑動所造成樹木位移距離進行調查。位移距離為於現地標示出樹木主幹在樣區中的新位置，並經由數化輸入GIS後，計算出新位置與原本位置移動的水平投影距離(m)。

#### 2.非崩塌區域樹木受損調查：

礙於人力及時間限制，無法進行非崩塌區域的全面調查，故選擇二條不經崩塌地的穿越線，分別為南北向第9線，及東西向第15線，面積共2 ha，進行因強風擾動造成樹木受損狀況調查(Fig. 1)。調查方法及樹木受損判定方式與崩塌區域相同。

#### 3.樹木受損狀況統計

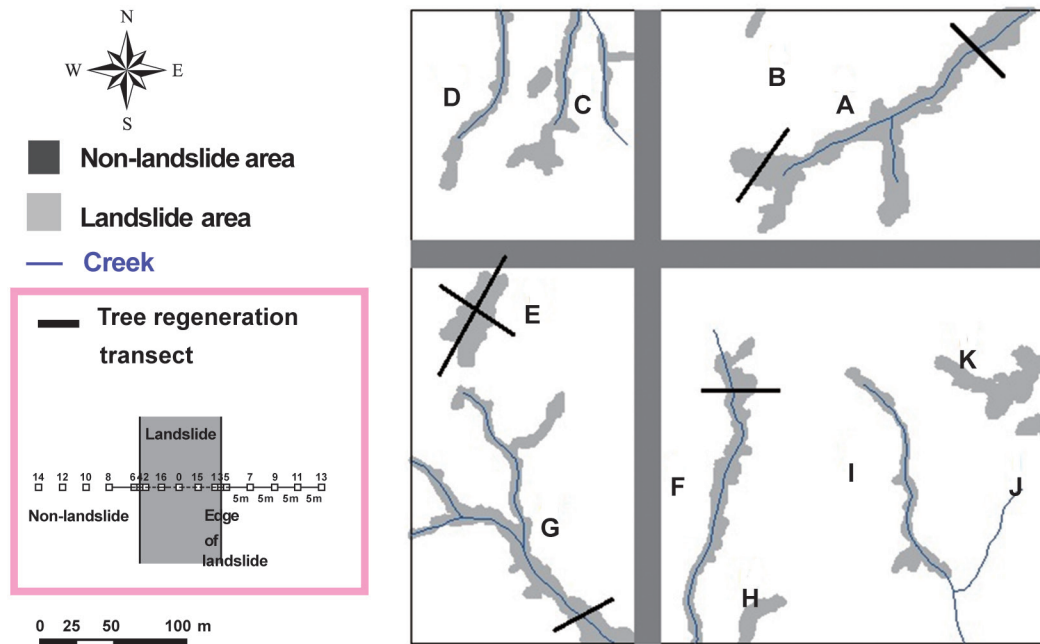
統計崩塌區域及非崩塌區域內樹木各種受損形式的比例，可了解強風或豪雨對樹木的影

響；並統計優勢種、稀有種及先驅樹種之受損狀況，優勢種依據該物種在樣區內的重要值指數排名，重要值指數為該物種之相對密度及相對底面積的總和；稀有種則為每公頃數量少於1株的種類(Chang et al. 2010)；先驅種判定根據Kao et al. (2014)研究台灣原生180種稚樹的光合潛力，以此量化數據當作樹種耐陰性的生理指標，並配合該樹種小苗在野外出現的光環境來判定屬於先驅種。植物個體受損百分比=(受損的植物個體數/調查到該種的總個體數)\*100%，植物底面積受損百分比=(受損的樹木的底面積/調查到該種的總底面積)\*100%)。另將所有調查受損的樹木依胸高直徑區分為1~5、5.1~10、10.1~30、30 > cm等4個徑級，統計颱風對於不同徑級樹木產生的損害。

#### 4.樹木的更新與地被層的恢復：

在崩塌區域橫斷面超過20 m處共設置6條穿越線，在每條穿越線上從崩塌地中心至兩旁無崩塌的森林內，每隔5 m設置一個1×1 m的小樣方，並將各小樣方依所在的位置，區分為崩塌地內樣方、邊緣過渡帶樣方及森林內非崩塌樣方(Fig. 1)，以了解崩塌過後在不同生育地內樹木的更新差異，統計6條穿越線各小樣方數量，崩塌地內19個、邊緣過渡帶30個及崩塌地外48個，共計97個小樣方。2009年4月至2012年12月，於小苗生長季4~10月每個月調查1次、而非生長季11月至隔年3月則每2個月調查1次；記錄各小樣方內小苗種類、數量、新增苗與死亡苗的種類與數量。各小苗高度於每年10月生長季結束後調查1次。另對於小苗胸高直徑(DBH)生長達1 cm，亦測量；此外，於每年4月調查非木本植物(草本、藤本及蕨類)在各小樣方的總覆蓋百分比，以了解各小樣方地被植物覆蓋度的變化。

計算2009~2012各年崩塌地內、邊緣過渡帶、與崩塌地外等各區域內小苗之平均密度(individuals  $m^{-2}$ )、物種種類、小苗之平均新增數量(individuals  $m^{-2}$ )、舊苗之平均死亡數量(individuals  $m^{-2}$ )、每株小苗平均生長高度(各物種於調查期間內總增加的高度/所調查到存活小苗的數量)、平均地被植物覆蓋率(每個小



**Fig. 1.** Landslide areas, non-landslide areas and tree regeneration surveys after typhoons disturbance in the Lienhuachih forest dynamics plot.

樣方的地被植物覆蓋率/全部小樣方的數量)、先驅種比例((先驅種的物種數/調查到全部的物種數)\*100%)；另為了解各區域內更新小苗與原本該區上層木本植物之關聯性，統計各區各小樣方出現的物種數與原來該區域20×20 m樣方內之物種數，計算Sorensen相似性指數，Sorensen相似性指數= (C/A+B)\*100，C兩個地區相同的物種數，A區域的物種數，B區域的物種數。

另以Behrens-Fisher test， $p < 0.05$ 方法檢測(Munzel and Hothorn 2001)崩塌地內、邊緣過渡帶及非崩塌地等三個區域內小苗之種類、數量、新增、死亡數量、生長高度、草本覆蓋與先驅種比例是否有顯著差異。

## 結果

### 一、崩塌位置及面積

颱風過後發生崩塌的區域共有11處，面積共約9159.47 m<sup>2</sup> (Table 1)，面積最大為2561.62 m<sup>2</sup>最小為83.85 m<sup>2</sup>，各崩塌區域在樣區內發生的

**Table 1.** Areas of landslides caused by 2008 typhoons disturbance in the Lienhuachih dynamics plot

Landslide	Area (m <sup>2</sup> )
A	2561.62
B	83.85
C	947.43
D	575.14
E	871.94
F	1254.50
G	1217.96
H	162.88
I	656.37
J	151.48
K	616.31
Total	9159.47

位置如Fig. 1，經現場調查並用GIS軟體與樣區內之溪溝位置套疊後發現，除區域E之外，發生崩塌的區域皆在溪溝的兩側及陡峭下二坡處。

## 二、颱風擾動對樹木的傷害

颱風擾動對於樹木的影響如Fig. 2，強風對於樹木的影響多為倒伏(33.77%)、其他傷害(18.43%)、枝條(18.27%)、樹冠(14.85%)及樹幹(13.54%)損傷等，而豪雨引起的崩塌多造成土石流失，而使得樹木消失(68.50%)、倒伏(15.53%)及死亡(12.25%)，對於樹冠、樹幹或枝條損傷的比例都小於10%；總體而言，颱風過後對樹木的傷害，以豪雨導致崩塌所導致樹木的消失或死亡的傷害，較強風產生倒伏或枝條、樹冠受損的的傷害為大。其中較為特殊的現象是，共有106株樹木因土石流失而發生位移，雖樹體有受損，但仍存活；其中19株植物有雖有位移，但毫無損傷；位移最遠的距離約82.4 m，最近距離約2 m。

如將受損樹木之胸高直徑區分成4種不同徑級，颱風擾動對於小徑級(1~5 cm)及中徑級(5.1~10、10.1~30 cm)的樹木，多造成消失(44.0、40.9、38.9%)、枝折(12.6、23.4、24.3%)及死亡(12.1、11.8、13.2%) (Fig. 3)；而對於胸徑30 cm以上大徑級樹木，多為造成枝折(40%)及幹折(20%) (Fig 3)。總體而言，颱風對小徑級及中徑級植株的傷害，造成其死亡或消失的影響大於大徑級的植株。

颱風擾動對於優勢種、稀有種以及先驅

樹種樹種的數量、底面積影響結果如Table 2，颱風擾動對於優勢種排名1~3名的物種茜草樹(*Randia cochinchinensis*)、柏拉木(*Blastus cochinchinensis*)及鵝掌柴(*Schefflera octophylla*)數量受損率分別為16.05、38.39及28.98%，另對於其他優勢種的數量影響亦較小，其受損率在14.81~28.53%之間；而對於先驅種白匏子(*Mallotus paniculatu*)、白臼(*Sapium discolor*)、食茱萸(*Zanthoxylum ailanthoides*)至野牡丹(*Melastoma candidum*)等11種，造成其數量受損率皆大於30%；對於稀有種朱紅水木(*Ilex micrococci*)、薄葉嘉賜木(*Casearia membranacea*)、毛雞屎樹(*Lasianthus cyanocarpus*)、海州常山(*Clerodendrum trichotomum*)的傷害則變異較大，分別為100、20、25及50%；此外，對其底面積的影響亦呈現相同的趨勢。

## 三、樹木的更新與地被層的恢復

統計2009~2012各年崩塌地內、崩塌地邊緣過渡帶及崩塌地外各區更新結果如Table 3。以小苗的密度及新增數量而言，2009年以崩塌地內最少(4.82, 1.56 individual m<sup>-2</sup>)、崩塌地外次之(6.83, 1.68 individual m<sup>-2</sup>)、而邊緣過渡帶最多(9.15, 5.00 individual m<sup>-2</sup>)，小苗密度三個

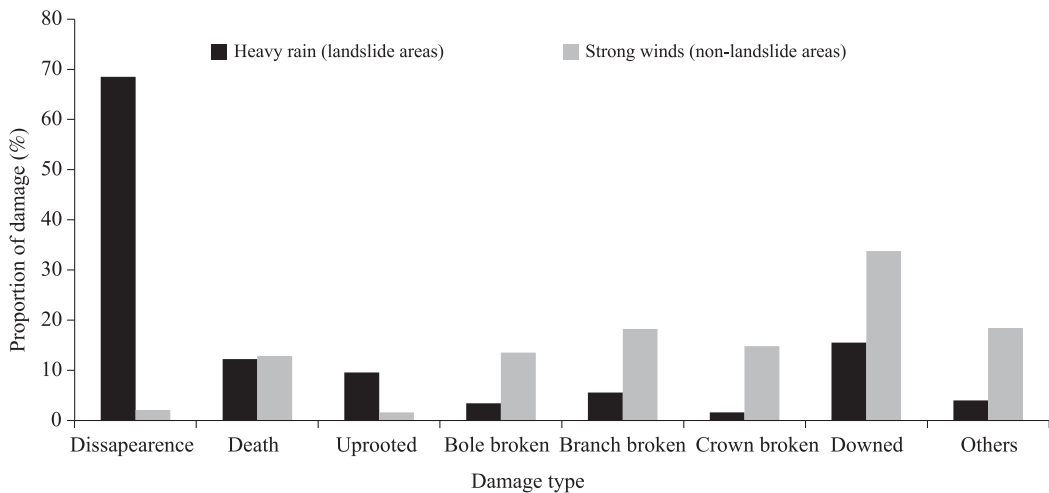
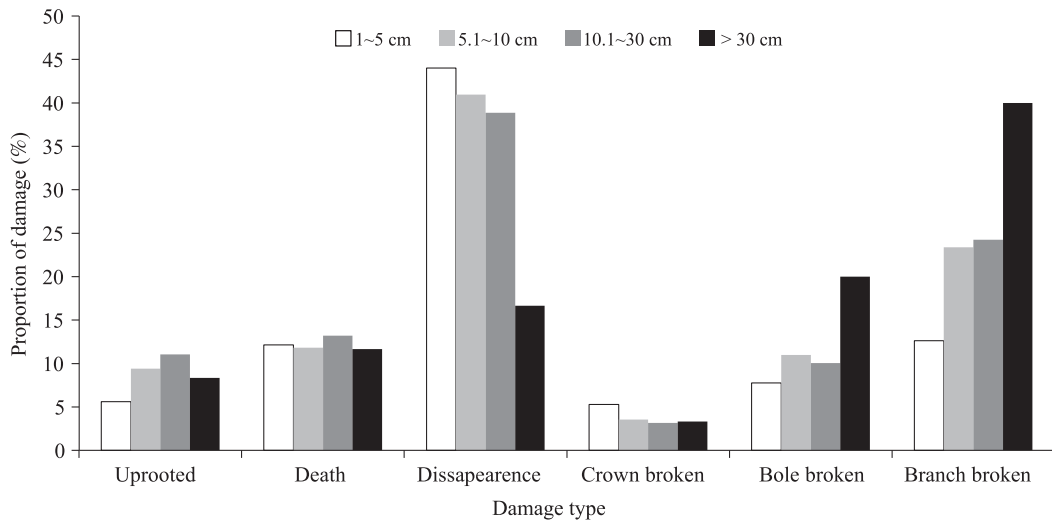


Fig. 2. Proportions of damage types of trees caused by heavy rains or strong winds in the Lienhuachih dynamics plot.



**Fig. 3. Proportions of damage types of trees for different ranks of diameter at breast height (DBH).**

區域呈現顯著差異( $p < 0.05$ )，而新增數量則是在邊緣過渡帶和其他兩個區域呈現顯著差異( $p < 0.05$ )；但2010~2012年則呈現不同趨勢；以崩塌地內最多，邊緣過渡帶次之，而崩塌地外最少；小苗死亡的數量方面，2009~2010年皆是以邊緣過渡帶排名第一(18.50, 11.00 individual  $m^{-2}$ )，崩塌地內第二(6.48, 4.42 individual  $m^{-2}$ )，而崩塌地外最少(6.29, 3.21 individual  $m^{-2}$ )，2011~2012年呈現仍以崩塌地外最少(3.56, 2.31 individual  $m^{-2}$ )，崩塌地邊緣次之(5.77, 4.27 individual  $m^{-2}$ )，崩塌內死亡數量最多(9.63, 7.11 individual  $m^{-2}$ )，三個區域呈現顯著差異( $p < 0.05$ )。

以各年度各區域總體的物種數而言，崩塌地外的物種數(36種)與邊緣過渡帶的物種數(33~38種)無顯著差異( $p > 0.05$ )，均多於崩塌地內的物種數(16~22種)。先驅樹種的比例以崩塌地內的比例最高(40.91~50.00%)、邊緣過渡帶次之(18.42~21.21%)而非崩塌地最低(16.67%)。統計2009~2012年崩塌地內、邊緣過渡帶區域先驅樹種的比例皆呈現下降的趨勢，但崩塌地外的先驅樹種的比例則無變動。

以地被草本覆蓋度而言，2009~2012年三個區域所呈現的趨勢亦不同，前二年以崩

塌地外的覆蓋度最高(52.66, 42.87%)、邊緣過渡帶次之(37.23, 39.40%)、而崩塌內的覆蓋度最低(3.55, 22.37%)；2011年則以邊緣過渡帶最高(50.60%)，2012年則以崩塌地內最高(58.84%)。統計2009~2012年崩塌地內、邊緣過渡帶區域地被植物覆蓋度皆隨著時間增加，但崩塌地外的地被植物覆蓋度卻呈現先減少及小幅增加後又減少的波動的趨勢。另計算各區域每年每株苗木的平均高度生長量，以崩塌區域高達105~144 cm最多，崩塌地邊緣生長量59~61 cm次之，而崩塌地外35~39 cm生長最少，皆呈現顯著差異( $p < 0.05$ )。

整體而言，2009年監測之始至2012年止，3年8個月來，崩塌地內及邊緣過渡帶區域小苗密度、物種種類及地被覆蓋度皆增加，但先驅樹種比例下降，各項監測數值變動幅度大，又以崩塌地內較為激烈；但崩塌地外則呈現幼苗密度、種類、新增數量、先驅樹種比例等變動較其他兩個區域小且穩定的趨勢。

各區新增、死亡樹種數量排名前14名之種類如Table 4，崩塌地內、邊緣過渡帶皆以長葉木薑子(*Litsea acuminata*)及黃杞(*Engelhardtia roxburghiana*)之數量最多，而非崩塌地則是以香楠(*Machilus zuihensis*)、鵝掌柴、茜草樹等種

**Table 2. Proportion of damaged individuals and basal areas of dominant, pioneer, and rare species. \* Pioneer species: Bold, rare species**

Species	Importance value	No. of damaged individuals	Total surveyed individuals	Proportion of individuals damaged (%)	Proportion of basal area damaged (%)
<i>Randia cochinchinensis</i>	8.43	263	1639	16.05	17.12
<i>Blastus cochinchinensis</i>	5.50	1118	2912	38.39	39.33
<i>Schefflera octophylla</i>	5.41	302	1042	28.98	26.16
<i>Cryptocarya chinensis</i>	5.31	248	959	25.86	21.27
<i>Engelhardtia roxburghiana</i>	4.63	44	166	26.51	18.17
<i>Pasania nantoensis</i>	4.46	8	54	14.81	9.46
<i>Cyclobalanopsis pachyloma</i>	3.34	67	302	22.19	20.26
<i>Diospyros morrisiana</i>	3.17	145	604	24.01	24.57
<i>Cinnamomum subavenium</i>	3.00	103	361	28.53	34.92
<b>*<i>Mallotus paniculatu</i></b>	2.98	471	1035	45.51	31.07
<b>*<i>Sapium discolor</i></b>	1.78	52	170	30.59	15.71
<b>*<i>Zanthoxylum ailanthoides</i></b>	0.00	1	1	100.00	100.00
<b>*<i>Litsea cubeba</i></b>	0.05	9	13	69.23	79.91
<b>*<i>Rhus succedanea</i></b>	0.06	5	9	55.56	80.60
<b>*<i>Tetradium glabrifolium</i></b>	0.08	28	48	58.33	70.06
<b>*<i>Trema cannabina</i></b>	0.08	37	53	69.81	49.85
<b>*<i>Trema orientalis</i></b>	0.12	11	22	50.00	10.58
<b>*<i>Melastoma candidum</i></b>	0.07	8	25	32.00	20.43
<b><i>Ilex micrococci</i></b>	0.01	1	1	100.00	100.00
<b><i>Casearia membranacea</i></b>	0.01	1	5	20.00	52.04
<b><i>Lasianthus cyanocarpus</i></b>	0.01	1	4	25.00	16.35
<b><i>Clerodendrum trichotomum</i></b>	0.01	2	4	50.00	77.07

類為主；另以先驅種類而言，多出現於崩塌地內，且死亡數量占新增數量比例較低，而邊緣過渡帶及非崩塌地內先驅樹種出現少，且死亡數量占新增數量比例為高。另檢視各區域內更新小苗與原本該區上層木本植物之相似性，計算Sorenson相似性指數，崩塌地內之相似性最低26.82%，邊緣過渡帶次之37.38%，而崩塌地外和原本該區上層喬木的相似度最高41.65%。

## 討論

2008年卡玫基以及辛樂克等兩個颱風擾動，造成蓮華池森林近溪谷及下坡處產生多處崩塌。Koide (1954)研究因豪雨誘發之崩塌，常見於下坡面及複合坡面之谷地凹面，外觀形

狀呈現樹枝狀及掌狀，此與本研究調查颱風夾帶豪雨所引發的崩塌位置與形式相吻合，是屬於崩塌深度沒有切入岩層，且發生崩塌之邊坡表面，距地層主要滑動面深度不超5 m的淺層崩塌(Fell et al. 2000)。探討原因，可能是溪谷與下坡區域易匯集自上坡或稜線流動到下坡的雨水，而產生較高的土壤孔隙壓力，使得近溪谷區的地質相對不穩定，所引起的崩塌(Scatena and Lugo 1995)。

Liang (2011)研究時亦指出，淺層崩塌為臺灣山區在豪雨過後常發生的崩塌形式，多造成淺層的土壤流失，以及生長於上的樹木因土壤基質滑動而死亡，與本研究結果颱風所帶來的豪雨引起崩塌，主要使得原本生長於該區域的樹木死亡、消失或位移結果相當；而



**Table 3. Density, numbers of recruited and dead seedlings, number of species, proportion of pioneer species, understory coverage, and average growth per seedling for landslide areas, edges of landslide areas, and non-landslide areas in 2009~2012. Values with different superscripts in a row denote a significant difference at  $p < 0.05$  (Behrens-Fisher type nonparametric multiple-comparison test; Munzel and Hothorn 2001)**

	Year	Landslide areas	Edges of landslide areas	Non-landslide Areas
Density (individuals m <sup>-2</sup> )	2009	4.82 <sup>a</sup>	9.15 <sup>b</sup>	6.83 <sup>c</sup>
	2010	19.15 <sup>a</sup>	14.97 <sup>b</sup>	9.04 <sup>c</sup>
	2011	16.00 <sup>a</sup>	12.83 <sup>b</sup>	7.75 <sup>c</sup>
	2012	11.63 <sup>a</sup>	11.03 <sup>a</sup>	6.29 <sup>b</sup>
Recruits (individuals m <sup>-2</sup> )	2009	1.56 <sup>a</sup>	5.00 <sup>b</sup>	1.68 <sup>a</sup>
	2010	18.78 <sup>a</sup>	16.13 <sup>a</sup>	5.40 <sup>b</sup>
	2011	6.47 <sup>a</sup>	3.63 <sup>b</sup>	2.27 <sup>b</sup>
	2012	2.79 <sup>a</sup>	2.47 <sup>a</sup>	0.88 <sup>b</sup>
Mortality (individuals m <sup>-2</sup> )	2009	6.48 <sup>a</sup>	18.50 <sup>b</sup>	6.29 <sup>a</sup>
	2010	4.42 <sup>a</sup>	11.00 <sup>b</sup>	3.21 <sup>a</sup>
	2011	9.63 <sup>a</sup>	5.77 <sup>b</sup>	3.56 <sup>c</sup>
	2012	7.11 <sup>a</sup>	4.27 <sup>b</sup>	2.31 <sup>c</sup>
No. of species	2009	16 <sup>a</sup>	33 <sup>b</sup>	36 <sup>b</sup>
	2010	17 <sup>a</sup>	36 <sup>b</sup>	36 <sup>b</sup>
	2011	19 <sup>a</sup>	38 <sup>b</sup>	36 <sup>b</sup>
	2012	22 <sup>a</sup>	38 <sup>b</sup>	36 <sup>b</sup>
Proportion of pioneer species m <sup>-2</sup> (%)	2009	50.00 <sup>a</sup>	21.21 <sup>b</sup>	16.67 <sup>c</sup>
	2010	47.06 <sup>a</sup>	19.44 <sup>b</sup>	16.67 <sup>c</sup>
	2011	47.37 <sup>a</sup>	18.42 <sup>b</sup>	16.67 <sup>b</sup>
	2012	40.91 <sup>a</sup>	18.42 <sup>b</sup>	16.67 <sup>b</sup>
Understory coverage m <sup>-2</sup> (%)	2009	3.55 <sup>a</sup>	37.23 <sup>b</sup>	52.66 <sup>c</sup>
	2010	22.37 <sup>a</sup>	39.40 <sup>b</sup>	42.87 <sup>b</sup>
	2011	34.73 <sup>a</sup>	50.60 <sup>b</sup>	44.06 <sup>c</sup>
	2012	58.84 <sup>a</sup>	52.83 <sup>a</sup>	41.15 <sup>b</sup>
Growth per seedling (cm)	2009			
	2010	144.40 <sup>a</sup>	61.56 <sup>b</sup>	37.15 <sup>c</sup>
	2011	117.49 <sup>a</sup>	59.17 <sup>b</sup>	35.40 <sup>c</sup>
	2012	105.73 <sup>a</sup>	59.30 <sup>b</sup>	39.18

颱風所帶來的強風，主要影響山脊稜線及上坡區域，經本研究調查結果，多造成樹木傾斜倒伏、幹折、枝折及樹冠等傷害，在過去許多研究亦指出森林樹木因受颱風風力影響，所造成的傷害主要以樹冠層落葉為主(Walker 1991, Mabry et al. 1998, Lin et al. 2003, Lin et al. 2011)，但少造成樹木的死亡(Bellingham et

al. 2009)。此外，Lee (2006)以NDVI減損量來判斷蓮華池森林所受颱風影響的研究同時指出，颱風對森林的擾動在不同的地形位置所產生的影響並不相同，隨著地形梯度的變化，強風與強降水的影響分別往山脊及溪谷遞增，在低海拔近溪谷處的NDVI減損量，約為高海拔區域減損量的三倍。因此，本研究認為如以

**Table 4. Top 14 species ranked by individuals for number of recruits and death of seedlings in landslide areas, edges of landslide areas, and non-landslide areas during 2009~2012. R, recruits; D, death; \* pioneer species**

Landslide areas			Edges of landslide areas			Non-landslide areas		
Species	R	D	Species	R	D	Species	R	D
<i>Litsea acuminata</i>	408	84	<i>Litsea acuminata</i>	259	104	<i>Machilus zuihensis</i>	281	123
<i>Engelhardtia roxburghiana</i>	110	79	<i>Engelhardtia roxburghiana</i>	145	96	<i>Schefflera octophylla</i>	115	104
* <i>Glochidion acuminatum</i>	30	8	<i>Schefflera octophylla</i>	118	85	<i>Randia cochinchinensis</i>	109	15
<i>Schefflera octophylla</i>	28	7	<i>Blastus cochinchinensis</i>	85	15	<i>Cryptocarya chinensis</i>	93	24
* <i>Mallotus paniculatu</i>	27	12	* <i>Mallotus paniculatu</i>	77	42	<i>Euonymus laxiflorus</i>	55	12
* <i>Sapium discolor</i>	24	11	* <i>Sapium discolor</i>	71	35	* <i>Sapium discolor</i>	38	23
* <i>Melastoma candidum</i>	17	2	<i>Euonymus laxiflorus</i>	61	17	<i>Litsea acuminata</i>	31	10
<i>Blastus cochinchinensis</i>	12	2	* <i>Glochidion acuminatum</i>	57	21	* <i>Mallotus paniculatu</i>	28	17
<i>Maesa perlaria</i> var.	11	1	<i>Machilus zuihensis</i>	53	18	<i>Syzygium buxifolium</i>	23	7
<i>formosana</i>								
* <i>Trema cannabina</i>	10	4	<i>Wendlandia formosana</i>	26	1	<i>Blastus cochinchinensis</i>	22	7
<i>Machilus zuihensis</i>	5	1	<i>Melastoma candidum</i> *	22	6	<i>Helicia formosana</i>	20	9
<i>Callicarpa kochiana</i> *	4	0	<i>Maesa perlaria</i> var.	21	4	<i>Ardisia cornudentata</i>	20	1
			<i>formosana</i>			<i>subsp. morrisonensis</i>		
* <i>Gordonia axillaris</i>	2	0	<i>Saurauia oldhamii</i>	19	3	<i>Engelhardtia</i>	19	8
						<i>roxburghiana</i>		
<i>Randia cochinchinensis</i>	2	0	<i>Ficus fistulosa</i>	15	0	<i>Psychotria rubra</i>	17	3

2008年颱風所帶來的強風及豪雨影響而言，豪雨對蓮華池森林動態樣區內樹木造成的擾動，遠大於強風的影響。

以各類樹木受損狀況而言，稀有樹種因個體稀少，如有受損，則占森林內族群受損比例大，如無受損，則比例小，因此受損比例變動大；優勢種因個體多，故受損比例較為不嚴重；比較台灣其他森林動態樣區複查結果 (Wu 1998, Yeh 2006) 亦顯示，優勢種傾向於低新增率及低死亡率。另本研究顯示先驅樹種的受損比例大，皆超過30%，但經由2009~2012年的更新監測亦可知，先驅種小苗數量及種類在崩塌地多，且生長量亦大，為擾動後所建立的物種，故可維持先驅物種在樣區內的數量及種類。在颱風擾動影響不同徑級植株方面，颱風對於小徑級植株的傷害大於中、大徑級的植株，Wu (1998) 及 Chang et al. (2005) 在南台灣南仁山及高士佛森林複查後指出，小徑級的死亡率最高，而隨著徑級的增加死亡率隨之下降，

推論可能與單一的歷史事件造成影響相關，例如颱風所產生的擾動。

比較崩塌地內、邊緣過渡帶及非崩塌地等三個區域，2009~2012年植生恢復情形，結果顯示，以小苗密度、新增數量及種類而言，第一以崩塌區域最少，推測可能因崩塌過後土壤基質尚不穩定，且土壤裸露無植被覆蓋，在崩塌地木本小苗建立不易，故小苗之數量、種類、新增的數量均少。Myster and Sarmiento (1998) 研究指出，崩塌植被恢復之初，以先驅草本植物或藤本植物建立為主，木本植物小苗較少；但在2010~2012年，崩塌地內小苗數量明顯較2009年增加，可能是由於土壤基質趨於穩定，且地被覆蓋植物明顯增加(3.55%增加至58.84%)，而有利於小苗種子的萌發與建立，因此小苗種類及數量亦隨之增加；Walker 1994 及 Berkowitz et al. (1995) 研究皆指出在小苗萌芽的初期，地被層植物扮演著保護作用，使小苗免於日光的直射傷害，兩者間呈正相關。

檢視崩塌地新增小苗雖以黃杞及長葉木薑子為主，可能是由於黃杞的種子具翅，結實後能以風力飄散方式傳播，傳播距離遠，因此能在崩塌地內大量出現，2009年記錄新生苗93株，但當年死亡高達74株；而長葉木薑子則是在崩塌地環境較為穩定後的2010~2011年才大量出現。除以上兩種外，在崩塌地內出現的物種大多是先驅樹種的小苗，且其在崩塌地內的存活的數量明顯較其他兩個區域高；在過去許多研究亦指出，先驅樹種的建立，多存在於大型孔隙或孔隙中央，而非先驅樹種的更新建立多出現於小孔隙或孔隙的邊緣(Brandani et al. 1988, Brokaw and Scheiner 1989)，本研究崩塌面積約83.85~2561.62 m<sup>2</sup>確實較一般的森林孔隙(10~120 m<sup>2</sup>)為大(McCarthy 2001)，故先驅物種的比例較其他兩個區域高，但隨著時間非先驅種的建立，先驅種的比例隨之下降。

Beatty (1984)及Peterson et al. (1990)研究指出，從森林孔隙內中央到森林邊緣至林下，無論是光照、土壤溫度及濕度等微環境皆呈現顯著且迅速的梯度變化，邊緣過渡帶因同時具有崩塌地內及非崩塌地林下兩種不同環境的異質性，因此在該區域幼苗更新時，亦同時呈現兩個區域的綜合表現；檢視邊緣過渡帶2009年新增的種類及數量，除有先驅種白白56株、白匏子51株及裏白饅頭果(*Glochidion acuminatum*)39株外，另有非先驅種如黃杞120株、鵝掌柴108株、大丁黃(*Euonymus laxiflorus*)46株及香楠42株等，而2010~2012年新增最多的物種為長葉木薑子283株、柏拉木25株及水金京(*Wendlandia formosana*)15株；此外，統計3年8個月來，邊緣過渡帶在2012年時之總物種數是三個區域中最多的，也反應在森林交界邊緣常擁有較高的物種豐富度(Praver 1994, Meiners and Pickeet 1999)。另外，以非崩塌地而言，林下環境較前兩個區域變化小且穩定(Liu et al. 2000)，相對穩定的環境反應在物種的密度、種類、優勢種的比例及新增的數量相對變化較小，及呈現較穩定之趨勢。

另記錄三年多來幼苗胸高直徑≥ 1 cm植株，崩塌地內共7株幼苗，分別是白白2株，1.5

與3.1 cm、野牡丹1株1.2 cm、裏白饅頭果1株1.8 cm、及白匏子3株5.8、4.2及3.7 cm；邊緣過渡帶共紀錄3株幼苗，分別為水冬瓜(*Saurauia tristyla* var. *oldhamii*)1.0 cm、銳葉山黃麻(*Trema cannabina*)2.3 cm，以及白白2.9 cm；而非崩塌區域則無胸高直徑達到1 cm以上之幼苗。Lin et al. (2008)研究台灣天然闊葉林冠層孔隙內微環境的變化與苗木之生長時歸納，光量主要顯著影響高生長及胸高直徑生長。本研究亦曾在三個區域各小樣方利用半球攝影法，使用Nikon Coolpix 5400相機接魚眼鏡頭拍攝樹冠照片，並以Gap Light Analyzer 2.0軟體分析計算各小樣方上方之樹冠開闊度，代表各區域小樣方之受光量。結果顯示，各崩塌地之樹冠開闊度平均值(19.46%)明顯較邊緣過渡帶(12.51%)及崩塌地外(7.25%)高，表示崩塌地內陽光較其他兩個區域充足。因此，崩塌地內平均每株小苗之高生長均達1 m以上，胸高直徑生長最大的可達5.8 cm。

統計各區域小苗死亡數量，2009~2010年以邊緣過渡帶最多，2010~2012年則是以崩塌地內最多。記錄小苗死亡的主因為遭土石掩埋，少部分因乾季缺水乾枯死亡、被動物或昆蟲啃咬、以及遭附近樹木枝條斷折掉落而壓死。根據現場調查發現，小樣方設置地點因來年颱風過後部分區域基地再度流失，而導致小苗死亡；推測蓮華池森林在遭到強降雨擾動後，在近溪谷的下坡兩側區域可能經常發生崩塌，因此可持續維持裸露的棲地。Chang et al. (1998)指出較大面積的裸露地所更新的幼苗多來自土壤種子庫，土壤種子庫內是以先驅的物種為主，而小孔隙林下的更新物種則多是林下的小苗庫，此也同時解釋本研究崩塌地外更新的幼苗和原本該區上層喬木的相似度最高41.65%，邊緣過渡帶37.38%較低，而崩塌地內26.82%最低。

## 結論

本研究調查2008年颱風對於台灣中部蓮華池森林樹木擾動及更新，結果顯示，颱風所帶來豪雨所引發的崩塌區域多分佈於溪谷兩側及下坡

處；強風對於樹木的擾動主要以樹木倒伏及樹冠層、枝條的損傷，而豪雨引發的崩塌多造成樹木的消失或死亡。另將崩塌區域分為崩塌地內、邊緣過渡帶及崩塌地外三個區域進行3年8個月小苗更新及地被覆蓋度監測，結果顯示，崩塌地內及邊緣過渡帶區域小苗密度、新增及死亡數量、物種種類、先驅樹種比例、地被覆蓋度及每株苗木的平均高度生長量之變動較為劇烈，而崩塌地外則相對較為穩定。總體而言，颱風擾動帶來豪雨及強風，因豪雨造成樣區崩塌區域的產生，對台灣中部蓮華池森林樹木所造成的傷害大於強風的影響，而森林因颱風產生新的更新棲位，有利於不同類型的植物更新與共存，維持了蓮華池森林物種的多樣性。

## 謝誌

本研究承蒙蓮華池研究中心工作人員，郭智筌、羅士福、楊雅婷、葉秋妤、簡銀榮等人協助野外調查，以及兩位匿名者的審查及寶貴意見，本研究才得以完成，特此致謝。

## 引用文獻

- Bellingham PJ, Kapos V, Varty N, Healey JR, Tanner EVJ, Kelly DL, et al. 2009.** Hurricanes need not cause high mortality: the effect of Hurricane Gilbert on forests in Jamaica. *J Trop Ecol* 8:217-23.
- Beatty SW. 1984.** Influence of microtopography and canopy species on spatial patterns of forest understory plants. *Ecology* 65:1406-19.
- Berkowitz AR, Canham CD, Kelly VR. 1995.** Competition vs. facilitation of tree seedling growth and survival in early successional communities. *Ecology* 76:1156-68.
- Brandani A, Hartshorn GS, Gordon HO. 1988.** Internal heterogeneity of gaps and species richness in Costa Rican tropical wet forest. *J Trop Ecol* 4:99-119.
- Brokaw NVL, Scheiner SM. 1989.** Species composition in gaps and structure of a tropical forest. *Ecology* 70:538-41.
- Chang CP, Yang YT, Kuo HC. 2012.** Large increasing trend of tropical cyclone rainfall in Taiwan and the roles of terrain. *J Climate* 26:4139-47.
- Chang LW, Wang HH, Chen YH, Yang KC, Chien CT, Hsueh HF. 2005.** Short-term stand dynamics of an evergreen forest in the Kaoshifo Experimental Forest, southern Taiwan. *Taiwan J For Sci* 20:293-302.
- Chang LW, Hwong JH, Chiu ST, Wang HH, Yang KC, Chang HY, et al. 2010.** Species composition, size-class structure and diversity of the Lienhuachih forest dynamics plot in a subtropical evergreen broad-leaved forest in central Taiwan. *Taiwan J For Sci* 25(1):81-95.
- Chang NH, Ma FC, Yu HM, Hsui YR. 1998.** Dynamics of soil seed bank and seedlings in the Fushan broadleaf forest. *Taiwan J For Sci* 13(4):279-89.
- Chen CA. 2011.** The influence of typhoon tracks on Taiwan precipitation Taipei, Taiwan: Chinese Culture Univ. 109 p. [in Chinese with English summary].
- Condit R. 1998.** Tropical forest census plots: methods and results from Barro Colorado Island, Panama and a comparison with other plots. New York: Springer 220 p.
- Chou CF, Cheng CC. 1992.** A study on change detection of forest land-cover using SPOT data. *Bul Taiwan For Res Inst* 7(4):305-17. [in Chinese with English summary].
- Chuang YC. 2005.** The crown disturbance of typhoon in Nanjenshan forest ecosystem [MS thesis]. Pingtung, Taiwan: National Pingtung University of Science and Technology. 120 p. [in Chinese with English summary].
- DeFries R, Hansen M, Townshend J. 1995.** Global discrimination of land cover types from metrics derived from AVHRR pathfinder data. *Remote Sens Environ* 54(3):209-22.

- Fell R, Hungr O, Leroueil S, Riemer W. 2000.** Keynote lecture-Geotechnical engineering of the stability of natural slopes, cuts and fills in soil. *Geo Engin* 2000(1):21-120.
- Frangi JL, Lugo AE. 1991.** Hurricane damage to a flood plain forest in the Luquillo Mountains of Puerto Rico. *Biotropica* 23(4a):324-35.
- Fraver S. 1994.** Vegetation responses along edge to interior gradients in the mixed hardwood forest of the Roanoke River Basin, North Carolina. *Conserv Biol* 8:822-32.
- Fujita T, Itaya A, Miura M, Manabe T, Yamamoto SI. 2003.** Long-term canopy dynamics analysed by aerial photographs in a temperate old-growth evergreen broad-leaved forest. *J Ecol* 91:686-93.
- Kao YL, Chen HL, Yeh CL. 2014.** Photosynthetic capacity and light environment of 180 broadleaf tree species in Taiwan. Collection of the theses of forest resources conservation and use conference. Taipei, Taiwan: Taiwan Forestry Research Institute., p 33-37.
- Koide H. 1954.** Landslide. Tokyo: KOKINN Publisher.
- Lee MF. 2006.** Changes in the vegetation cover in relation to the 1996 strong Typhoon Herb at the Lienhuachi experimental forest in central Taiwan [MS thesis]. Changhua, Taiwan: National Changhua Univ. of Education.. 103 p. [in Chinese with English summary].
- Liang WL. 2011.** If we over expected forest prevent landslide? *For Res Newsl* 18(2):49-51.
- Lin CY, Kuo SR, Liou SW, Yang JC, Shen CW. 2008.** Micro-environmental variation and seedling growth in canopy gaps of a broad-leaved forest in central Taiwan. *Q J Chin For* 41(4):465-81.
- Lin TC, Hamburg SP, Tang SL, Hsia YJ, Lin TC. 2003.** Typhoon effects on litterfall in a subtropical forest. *Can J For Res* 33:2184-92.
- Lin TC, Hamburg SP, Lin KC, Wang LJ, Chang CT, Hsia YJ, et al. 2011.** Typhoon disturbance and forest dynamics: lessons from a Northwest Pacific subtropical forest. *Ecosystems* 14:127-43.
- Liu WJ, Li QJ, Zhang GM, Shi JP, Bai KJ. 2000.** Microclimatic characteristic of caps in *Shorea chinensis* forest in Xishuangbanna. *Acta Phytoecol Sin* 24(3):356-61.
- Lugo AE. 2008.** Visible and invisible effects of hurricanes on forest ecosystems: an international review. *Austr Ecol* 33:368-98.
- Lu SY, Hwang LS, Huang HH. 2008.** Complication of meteorological records for the Lienhuachih station 1997-2007. Taipei, Taiwan: Taiwan Forestry Research Institute. 166 p. [in Chinese with English summary].
- Ma SM. 2000.** Using SPOT remote sensing image to estimate leaf area index and litterfall in Nanjenshan forest ecosystem [Ms thesis]. Pingtung, Taiwan: National Pingtung Univ. of Science and Technology. 74 p. [in Chinese with English summary].
- Mabry CM, Hamburg SP, Lin TC, Horng FW, King HB, Hsia YJ. 1998.** Typhoon disturbance and stand-level damage patterns at a subtropical forest in Taiwan. *Biotropica* 30:238-50.
- Meiners SJ, Pickett STA. 1999.** Changes in community and population responses across a forest-field gradient. *Ecography* 22:261-7.
- McCarthy J. 2001.** Gap dynamics of forest trees: a review with particular attention to boreal forests. *Environ Rev* 9:1-59.
- Munzel U, Hothorn LA. 2001.** A unified approach to simultaneous rank test procedures in the unbalanced one-way layout. *Biometr J* 43(5):553-69.
- Myster RW, Sarmiento FO. 1998.** Seed inputs to microsite patch recovery on two Tropandean landslides in Ecuador. *Restor Ecol* 6:35-43.
- Neumann CJ. 1993.** Global overview-Chapter 1. In: Holland GJ, editor. *Global guide to tropical cyclone forecasting*, WMO/TCNo. 560, Report No. TCP-31. Geneva, Switzerland:

World Meteorological Organization.

**Peterson CJ, Carson WP, McCarthy BC, Pickett STA. 1990.** Microsite variation and soil dynamics within newly created treefall pits and mounds. *Oikos* 58:39-46.

**Scatena FN, Lugo AE. 1995.** Geomorphology, disturbance, and the soil and vegetation of two subtropical wet steepland watersheds of Puerto Rico. *Geomorphology* 13:199-213.

**Tanner EVJ, Kapos V, Healey JR. 1991.** Hurricane effects on forest ecosystems in Caribbean. *Biotropica* 23(4a):513-521.

**Walker LR. 1991.** Tree damage and recovery

from Hurricane Hugo in Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. *Biotropica* 23(4a):379-85.

**Walker LR. 1994.** Effects of fern thickets on woodland development on landslides in Puerto Rico. *J Veg Sci* 5:525-32.

**Wu SH. 1998.** Short-term dynamics of a subtropical rain forest in Nanjenshan [MS thesis]. Taipei, Taiwan: National Taiwan University. 161 p. [in Chinese with English summary].

**Yeh DH. 2006.** Fifteen years dynamics of woody floristic community in a subtropical rain forest, Lanjenshi plot, southern Taiwan [MS thesis]. Taipei, Taiwan: National Taiwan University. 99 p. [in Chinese with English summary].