

研究報告

## 2000年碧利斯颱風干擾前後福山試驗林NDVI變動之研究

康若蘭<sup>1)</sup> 林登秋<sup>1,4)</sup> 詹進發<sup>2)</sup> 黃正良<sup>3)</sup>

### 摘要

頻繁的颱風干擾對台灣森林生態系有廣大而深遠的影響，透過不同時期遙測資料所得植生指數的比較，可用來探討颱風干擾所造成的植生變動。本研究選定福山試驗林，利用2000年8月10日、2000年9月5日、2001年7月1日碧利斯颱風前後三個時期的SPOT影像，計算各期的常態化差異植生指數(normalized difference vegetation index, NDVI)及其變遷，以了解颱風干擾所造成的植生之時空變動。結果發現，福山試驗林植生覆蓋率高，區域內變異少；碧利斯颱風造成福山試驗林NDVI整體平均下降了4.8%，但隔年七月其整體平均亦上升了4.8%，回復到颱風前的數值。海拔高、坡向為東或東南的區域NDVI較高，但NDVI較高處其受颱風干擾及之後回復的量亦較大；無論是在海拔、坡度或坡向的比較上，三個時期同一組內之變異，常較不同組別間的差異為大，故欲完整掌握福山試驗林植生分布的空間變異，應對較小空間尺度變異做更深入的探討。

**關鍵字：**常態化差異植生指數(NDVI)、颱風干擾、福山試驗林。

康若蘭、林登秋、詹進發、黃正良。2005。2000年碧利斯颱風干擾前後福山試驗林NDVI變動之研究。台灣林業科學20(1):73-87。

### Research paper

## Changes in the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) at the Fushan Experimental Forest in Relation to Typhoon Bilis of 2000

Ruo-Lan Kang,<sup>1)</sup> Teng-Chiu Lin,<sup>1,4)</sup> Jih-Fa Jan,<sup>2)</sup> Jeen-Liang Hwong<sup>3)</sup>

### [ Summary ]

<sup>1)</sup> 國立彰化師範大學地理系，500彰化市進德路1號 Department of Geography, National Changhua University of Education. No. 1 Ginte Rd., Changhua 500, Taiwan.

<sup>2)</sup> 國立政治大學地政系，116台北市文山區指南路二段64號 Department of Land Economics, National Chengchi University. No. 64 Jhihnan Rd., Sec. 2, Taipei 116, Taiwan.

<sup>3)</sup> 行政院農委會林業試驗所蓮華池研究中心，55599南投縣魚池鄉郵局五號信箱 Lienhuachih Research Center, Taiwan Forestry Research Institute. PO Box 5, Yuchih, Nantou 55599, Taiwan.

<sup>4)</sup> 通訊作者 Corresponding author, e-mail:kuang@msl.hinet.net

2004年11月送審 2005年1月通過 Received November 2004, Accepted January 2005.

Frequent typhoon disturbances have major impacts on the dynamics of forest ecosystems in Taiwan. By analyzing multi-temporal satellite images, it is possible to detect large-scale forest canopy changes caused by typhoon disturbances. We calculated normalized difference vegetation index (NDVI) from 3 SPOT images (10 Aug. 2000, 5 Sept. 2000 and 1 July 2001) to detect vegetation changes in the Fushan Experimental Forest before and after typhoon Bilis struck Taiwan on 21~23 Aug. 2000. Results indicated that the standard deviation of the NDVI was very small suggesting that the vegetative cover was rather homogenous at the Fushan Experimental Forest. Following typhoon Billis, the NDVI decreased 4.8%, but it subsequently increased 4.8% and therefore had returned to pre-typhoon levels by July 2001. The NDVI tended to be higher at higher elevations and on east-facing slopes than at lower elevations and on slopes with other aspects. There was a positive correlation between the rates of NDVI decrease caused by typhoon Bilis and the post-typhoon recovery. For each of the 3 images, the variation of the NDVI within the same category of elevation, slope, or aspect was typically higher than that among batch variations. Thus, a better characterization of small-scale variations is critical to our understanding of the spatial variations of the vegetation distribution in the Fushan Experimental Forest.

**Key words:** normalized difference vegetation index (NDVI), typhoon disturbance, Fushan Experimental Forest.

**Kang RL, Lin TC, Jan JF, Hwang JL. 2005.** Changes in the normalized difference vegetation index (NDVI) at the Fushan Experimental Forest in relation to typhoon Bilis of 2000. *Taiwan J For Sci* 20(1):73-87.

## 緒言

颱風是台灣森林生態系常遭遇的自然干擾，颱風所帶來的強風，對森林生態系最接的影響，是造成植物的物理傷害(Chang 2001)，使枯落物大量增加(Lin 1997)，連帶也使得林火(Miranda 1996, McNulty 2002)及病蟲害的風險增加(Fredericksen et al. 1995, McNulty 2002)。從森林長期的動態來看，樹木的傾倒及枝葉掉落，產生了孔隙，使陽光穿透林冠的量增加，林下耐陰樹種的小苗得以向上生長，與林分的更新息息相關(Lin et al. 1999, Fujita et al. 2003)。

關於颱風對森林的影響，國外研究已有相當豐碩的成果。在研究的方法上有的透過地面調查(Bellingham et al. 1995, Waide et al. 1998, Cooper-Ellis et al. 1999, Miura et al. 2001, Yamashita et al. 2002)，有的利用航空照片輔助地面調查(Merrens and Peart 1992, Boose et al. 1994, McNulty 2002)，另外也有些研究以衛星多光譜影像來從事分析研究(Nelson et

al. 1994, Mukai and Hasegawa 2000, Ramsey et al. 2001, Ayala-Silva and Twumasi 2004)。國外有關颱風對森林影響的研究多集中在熱帶森林(Nelson et al. 1994, Boose et al. 1994, Bellingham et al. 1995, Waide et al. 1998, Ayala-Silva and Twumasi 2004)及溫帶森林(Mukai and Hasegawa 2000, Ramsey et al. 2001, Merrens and Peart 1992, Cooper-Ellis et al. 1999, Miura et al. 2001, Yamashita et al. 2002)，對於颱風發生頻繁的副熱帶森林研究明顯較少。

位處副熱帶的台灣近年來陸續有學者投入相關研究，Horng et al. (1995)監測福山地區枯枝落葉，發現1994年的多次颱風造成5,000 kg ha<sup>-1</sup>的枯枝落葉量，使該年的總量達8,000 kg ha<sup>-1</sup>，遠超過無颱風的1993年的3,000 kg ha<sup>-1</sup>。Lin et al. (1999)比較颱風前後林冠葉面積指數(leaf area index; LAI)，發現福山試驗林經颱風侵擾後，LAI下降的程度有很大的空間差異，稜線下降幅度較大，溪谷區則無明顯地下降。高頻率

的颱風干擾，使森林一直處於干擾及回復的動態變化中。另有研究指出，頻繁的颱風干擾，可能與福山樹木的葉子營養含量較其他地區低，且生長較為矮小有關(Lin et al. 2003)。Lin et al. (2003)的研究亦發現，枯枝落葉量的變動，只有在有強烈颱風侵襲的年分才會劇增，且即使當年已有強烈颱風侵襲，隨後的強烈颱風仍會造成大量的枯枝落葉量。

上述在台灣的 연구都是以設立樣線或樣區，在較小空間範圍內所做的地面調查，以此研究結果來推論大範圍的現象，只有在整個地景系統對颱風干擾反應相當均質的情況下，才不致有太大的誤差，然此一假定並無研究加以檢驗。遙測技術的快速發展，擴展了在大範圍從事環境生態研究的潛力。遙測影像分析技術，利用植物特殊的波譜反射特性，可建立各式植生指數(Chiao and Cauo 1992, Lin 1998, Chen and Ma 2001)透過不同時期的比較，可獲得植生變動的資訊，配合其它生物與非生物的資料，更可在大範圍內探究植生的時空變動及其原因。

各種植生指數中最廣泛被使用的，仍是「常態化差異植生指數」(normalized difference vegetation index; NDVI) (Teillet et al. 1997, Xiao et al. 2003)。此指數具規整效果，可減低地區間及季節間因光能量不同，所造成之波譜反射差異。在時間上NDVI可用來比較不同時期的植生狀況(Ramsey et al. 1995, Jakubauskas et al. 2002)；在空間上，NDVI可用於地區性甚至全球性不同地點植物狀況的比較(Defries et al. 1995)，且不受地形所造成的陰影影響(Lawrence and Ripple 1998)，為監測植物生長狀態及植被空間分布常用的指標。Hsieh and Cheng (1995)，以NDVI探討1986~1990年福山試驗林的綠色植生量的變遷，發現福山試驗林植生覆蓋率高，而林相的變化除受到衛星掃描偏角影響外，亦與不同時期植生生理狀況有關。另外，Bai (1999)也曾以NDVI分析福山試驗林，植生的季節變化及1994~1997年各年間的變動，並對1994年弗雷特颱風前後的變遷，簡略做過空間差異的分析。其結果顯示，颱風是

重要的干擾因子，沒有颱風的年份，NDVI可持續增長至初秋；颱風的侵襲影響次年植生整體表現，約需要兩年才能完全恢復。

Hsieh and Cheng (1995)與Bai (1999)的研究雖然都用了NDVI來探討植生變動，但其焦點均不在探究颱風此一重要自然干擾對森林變動的影響，其中Bai (1999)的研究雖有提及，但因非其焦點故未深入的分析。本研究同樣選定位於台灣東北部，飽受颱風侵襲的福山試驗林，利用遙測影像，計算出颱風前後三個時期的NDVI，對颱風前後的變動及此變動的空間分布情況進行探討，以期對颱風干擾所造成福山森林生態系植生的時空變動，有更深入的了解。

## 材料及方法

### 一、研究區概述

福山試驗林位於北緯24°46'東經121°43'，總面積1,079.9 ha (Fig. 1)。為雪山山脈北段主、支稜所環抱的盆地，海拔高度約350~1,400 m，除植物園區內地勢較平坦，其餘起伏大。區內有二條溪流，一為蘭陽溪支流粗坑溪，一為南勢溪上游哈盆溪。地質屬第三紀漸新世至中新世之乾溝層及大桶山層，以硬頁岩及板岩為主(Ho 1992)。土壤則分黃壤、崩積土與石質土三種，其中崩積土最多，佔總面積65%，多分布於陡峭的山腰(Lin 1996)。

本區夏熱冬暖，全年有雨。平均氣溫為18°C，最冷月均溫12°C，最暖月均溫24°C，平均降雨日數233 d，平均年雨量達4,225 mm，屬科本(Köpen)氣候中的亞熱帶濕潤氣候(humid subtropical climate)，即Cfa氣候(Chang 2001)。植被則屬於亞熱帶潮濕森林(subtropical wet forest)，樹種組成以樟科及殼斗科佔優勢(Wang et al. 2000)。

### 二、研究分析材料

#### (一) 颱風氣象資料

福山試驗林內氣象記錄與福山森林生態系研究共同始於1992年，從1992到2002年間，

侵襲福山的颱風共有29個，其中強烈颱風有七個。由於前人研究發現，強烈颱風才對福山試驗林枯落物年變異量有顯著影響，中小型颱風的

影響則不明顯(Lin et al. 2003)，在考量衛星影像的品質及前後期影像的時間間隔下，選擇侵台時間2000年8月21~23日的強烈颱風碧利斯為

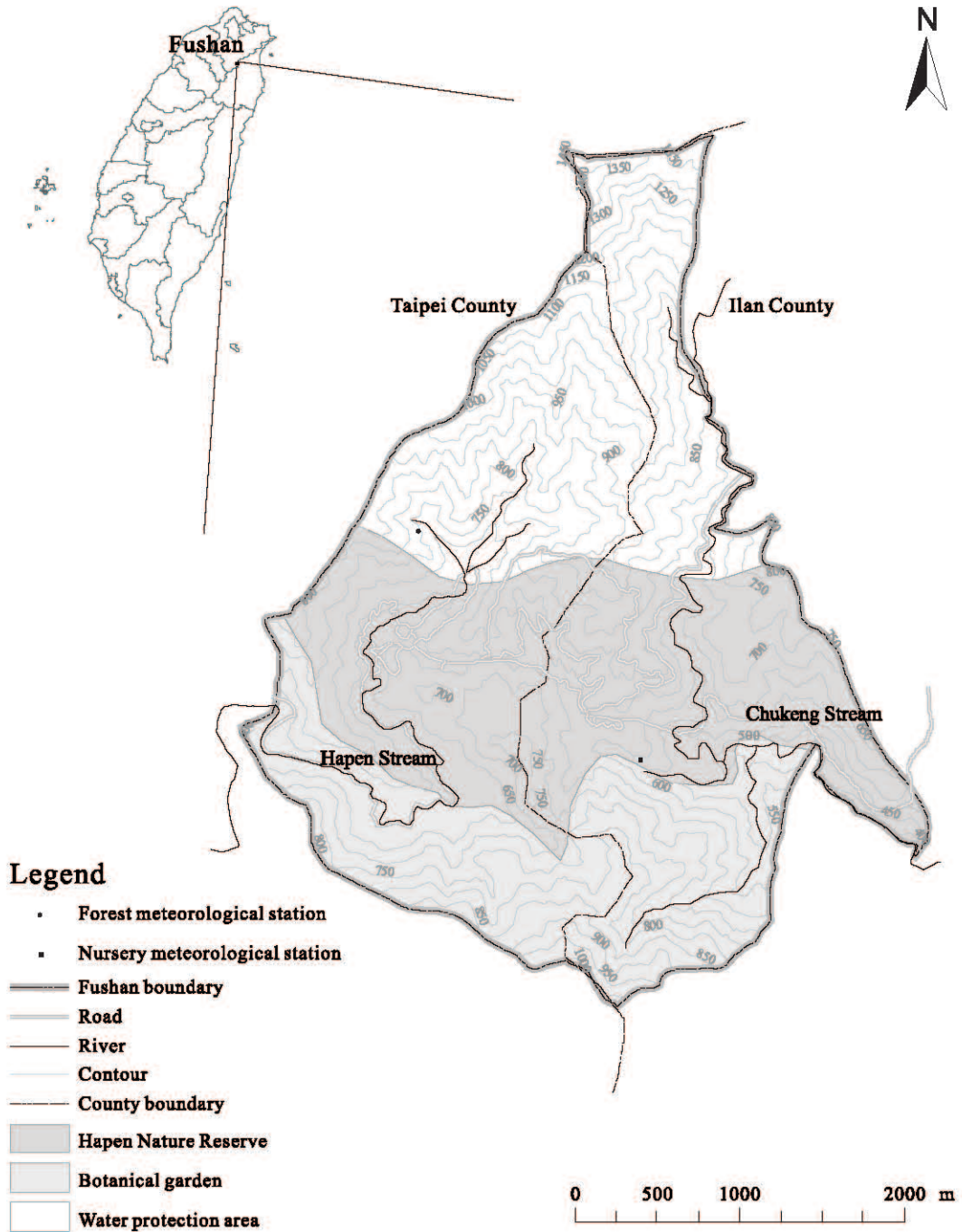


Fig. 1. Topographic map of the Fushan Experimental Forest.

本研究的案例。

根據交通部中央氣象局颱風警報發布概況(2004)，碧利斯(Bilis)颱風，為2000年編號10號的颱風，生成於菲律賓東方海面，形成後以穩定速度朝西北西至西北方向直撲台灣，8月21日發展為強烈颱風，近中心最大風速 $53 \text{ m s}^{-1}$  (16級)。於22日22時30分左右登陸台東縣成功鎮附近，隨後於隔日中午由金門北方近海進入大陸(Fig. 2)。颱風期間福山苗圃氣象站所測得，逐時平均風速及最大風速如Fig. 3，其中最大風速為 $28.8 \text{ m s}^{-1}$ ，屬東風，而風向變化也以東風頻

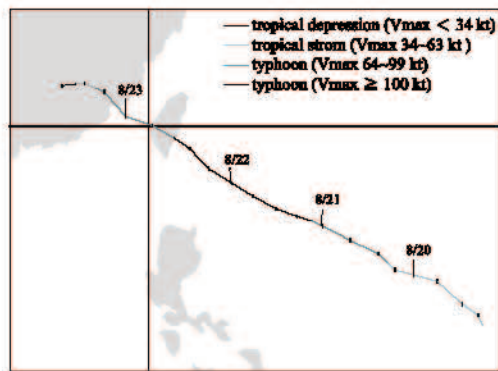


Fig. 2. Path of typhoon Bilis (Central Weather Bureau, 2004).

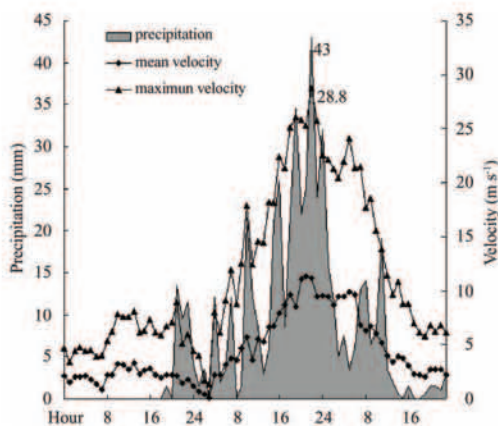


Fig. 3. Hourly precipitation and wind velocity of typhoon Bilis 21~23 Aug. 2000 (data from Fushan nursery meteorological station).

率最高(Fig. 4)。另外，颱風期間內累積雨量達510 mm，最大降雨強度為每小時43 mm (Fig. 3)。

(二)遙測資料

本研究採用的影像是法國資源衛星SPOT多光譜影像，從中央大學太空及遙測中心所購得的第十級產品。影像共有三期，碧利斯颱風前後二週內各一期，另一期則為以及隔年第一個颱風發生前的夏季影像，三時期影像的確切日期分別為2000年8月10日、2000年9月5日以及2001年7月1日(Table 1)。

(三)地面資料

除了衛星影像外，本研究並結合以下地面資料對NDVI的時空變動進行分析討論。

1.農航所製作的數值地形資料(digital terrain model, DTM)及涵蓋研究區範圍的一萬分之一像片基本圖。

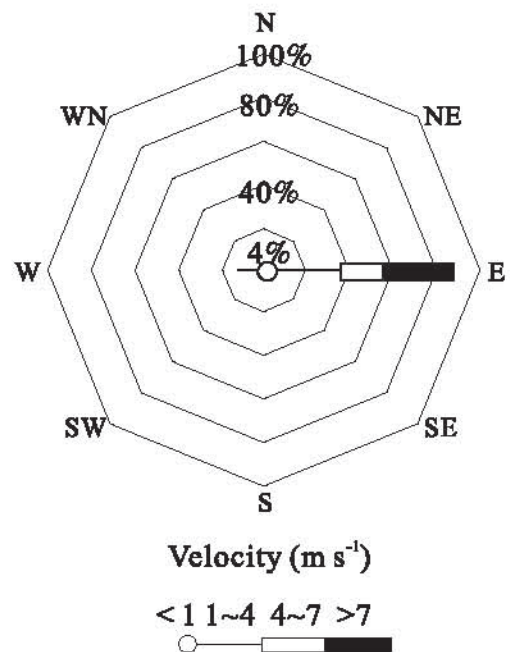


Fig. 4. Frequency wind rose of typhoon Bilis 21~23 Aug. 2000 (data from the Fushan nursery meteorological station).

**Table 1. Attributes of the 3 SPOT images used in this study**

Receiving date		Incidence (°)	Elevation (°)	Azimuth (°)
10 Aug. 2000	SPOT 1	-31.0505371	66.7038422	107.8908005
5 Sept. 2000	SPOT 1	-31.1000000	62.0000000	126.8000000
1 July 2001	SPOT 2	1.8495193	73.4788437	91.2519226

2. 林務局提供之第三次資源調查的宜蘭及烏來試驗區的土地利用圖以及林業試驗所提供之福山試驗林內的道路及植生圖。

### 三、資料分析

本研究主要利用網格式資料，進行疊圖及統計分析，來瞭解颱風前後生物量的變動及分布情況。因此在進行分析前必需以統一的網格式大小產生各資料圖層(以衛星影像的網格式12.5 m<sup>2</sup>為主)，各圖層產出處理如下：

#### (一)數值地形資料

由於農航所製作的DTM，解析度為40×40 m，不能滿足研究所需。因此利用一萬分之一的像片基本圖，數化研究範圍內10 m等高線，內插產生解析度與遙測影像相同(12.5×12.5 m)的DTM，以利疊圖分析。再根據此DTM產生坡向圖、坡度圖。並利用自行撰寫之集水區自動產生程式，輸入DTM，計算出溪流、壟線、及集水區範圍的向量圖。

#### (二)衛星影像資料

1. 輻射同態化(radiometric normalization)：不同期的影像，由於拍攝時間的不同，大氣狀況、太陽角度、高度及掃描器的變化，會產生基本輻射的偏差量。因此在進行變遷分析之前，必須先將之去除。本研究採用相對性輻射校正(relative radiometric normalization)，利用前後期影像中擬似非變異地物(pseudo-invariant features)，即較不會因時間而改變的地如人工建物、道路等為樣本，作線性迴歸，求出迴歸式，再將影像的各像元光譜值代入迴歸式中，求出新的值，去除影像間基本輻射的偏差量(Schott et al. 1988)。本研究根據土地利用圖、

道路圖，選取三期影像中同樣呈藍綠色調的區域，做為校正的樣區，共有229個點。以三時期影像中，雲霧遮蔽最少，影像品質最佳的2001年7月1日影像做為參考影像，透過直線迴歸最小平方方法，建立另外二期各波段的迴歸式。為減少人工選取樣區的誤差，透過逐步刪除殘差(residual)最大者，重覆進行迴歸，以使相關係數(R)達到0.95以上(Her 2003)。

2. 產生NDVI影像：常態化差異植生指數(normalized difference vegetation index, NDVI)，為近紅外光(NIR)和紅光(R)二者的差及和之比，如下式：

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

其值介於-1.0~1.0之間，當NDVI大於零時，指數愈大代表植物生物量愈高。NDVI小於零的像元值，通常屬於非植生之雲層、水域、道路和建築物。

3. 變遷偵測：利用前後期的NDVI影像，代入下式計算每一網格式之變動量 (Change Rate; CR)，CR值小於0，表示植生減損；CR值大於0，表示植生增加：

$$CR = \frac{\text{後期的}NDVI - \text{前期的}NDVI}{\text{前期的}NDVI} * 100\%$$

#### (三)NDVI與地形因子關係之分析

颱風對植生的影響，除了與颱風的強度、頻度、範圍有關外，生態系的生物及地形因子亦與颱風干擾程度有密切的關係。由於本研究並未對植物特徵進行地面調查，故僅就地形因子與植生指數變動之關係利用疊圖配合描述性統計進行分析探討。探討的項目包括海拔高度、坡度與坡向。福山試驗林地形起伏大，高

差約為1,100 m，不過由於雲霧遮蔽，1,200 m 以上的山區沒有植生光譜資料可分析。故在海拔高度上，以50 m為一組，共分為12組，比較其NDVI之差異與變動；坡向上，依方位分為八組比較不同時期之差異及變動；坡度上，則以10°為一組共分五組，分別為< 10°、10~20°、20~30°、30~40°以及> 40°，同樣比較不同坡度之NDVI在不同時期之差異及變動。除了探討各別地形因子與NDVI及其變動的關係外，由於福山試驗林整體地勢，西高東低，因此海拔對NDVI的影響，可能與坡向的影響相互交錯，故分析探討時，亦採用交叉分析，以進一步探討此二因子對NDVI及其變動的影響。

## 結果與討論

### 一、三期NDVI影像的差異

影像圖層在去除雲霧遮蔽區後，可供分析的網格共有52,213個。2000年的二期影像，利用2001年7月1日影像為參考影像，所得之迴歸式(Table 2)進行同態化後，色澤明顯朝參考影像修正，且NDVI平均值皆提升11%。經同態化處理後的三期NDVI之頻率分布並未明顯偏離常態分布，且標準差皆在0.04以下(Fig. 5)，代表植生覆蓋變異小。碧利斯颱風干擾前，87.7%的網格NDVI介於0.58~0.67之間，干擾後的九月，有78.7%介於0.56~0.63之間，而翌年七月則有89.7%介於0.58~0.67之間，代表植生覆蓋相當均質，變異小。比較Fig. 1和5可以看出NDVI在0.5以下的區塊，多為道路、植物園區內的人工建物及多受人為干擾的花圃和植物區。

三期的NDVI影像具有明顯的差異(Fig. 5)，2000年9月5日影像中代表NDVI值較低的

棕色區塊明顯較多，而此一時期的平均NDVI值(0.59)亦較另二時期(皆為0.62)為低。植物生長受限於環境因子，而氣候的季節變化往往主導著植生的生理反應。根據福山氣象資料，自2000年8月10日到9月5日間，除了碧利斯颱風期間有強風豪雨外，其他時間的天氣狀況尚屬穩定。只有8月28~30日三天由於巴比倫颱風掃過台灣北部海面，造成風速及雨量略高，但在福山試驗林所測得之最大風速只有11.3 m s<sup>-1</sup>。前人研究顯示，對許多植物而言，持續暴露在7.5~10 m s<sup>-1</sup>的環境中，會導致葉面變小及生長點間的長度縮短，而長期處在風速超過20 m s<sup>-1</sup>的強風吹拂下，則會造成生長停滯及死亡命(Kimmins 1996)，故巴比倫颱風應不會對植生產明顯影響，我們於颱風後在福山試驗林的野外觀察亦未發現嚴重的枝葉掉落現象。另外依Lin et al. (1997)所做的物候調查，福山試驗林的主要生長期為三到十月，而除了颱風期間外，主要的落葉時間為十月到隔年的二月，本研究的第一、二期影像時間均是在生長期，且相隔不到三十天，因此二期NDVI平均下降4.8%主要應是受強烈颱風碧利斯的影響。而在2000年8月10日~9月5日兩個時期所算出之NDVI變遷圖中(Fig. 6 A)，代表下降的負值佔了大部分，顯示颱風造成整個福山試驗林NDVI值普遍下降，其中91.1%的網格下降達5%以上。

在2000年一共發生了三次侵襲福山的颱風，一次是碧利斯強烈颱風之前(7月6~10日)的啟德；一次是之後的象神(10月30日~11月1日)，二次皆為中度颱風。在三次颱風過後，經過近一年的回復，有86.6%的網格是上升5%以上(Fig. 6 B)，代表雖然在碧利斯颱風過後NDVI平均下降了4.8%但不到一年的時間平均又回復

**Table 2. Radiometric normalization from the linear regression  $Y_i = A + BX_i$  using the 1 July 2001 image as a reference**

Date	Pixels	Band 1			Band 2			Band 3		
		A	B	R	A	B	R	A	B	R
10 Aug. 2000	55	0.93	-4.06	0.95	1.32	-13.24	0.95	1.67	-66.82	0.95
5 Sept. 2000	28	1.54	-63.78	0.96	1.66	-29.84	0.96	1.34	-31.11	0.96

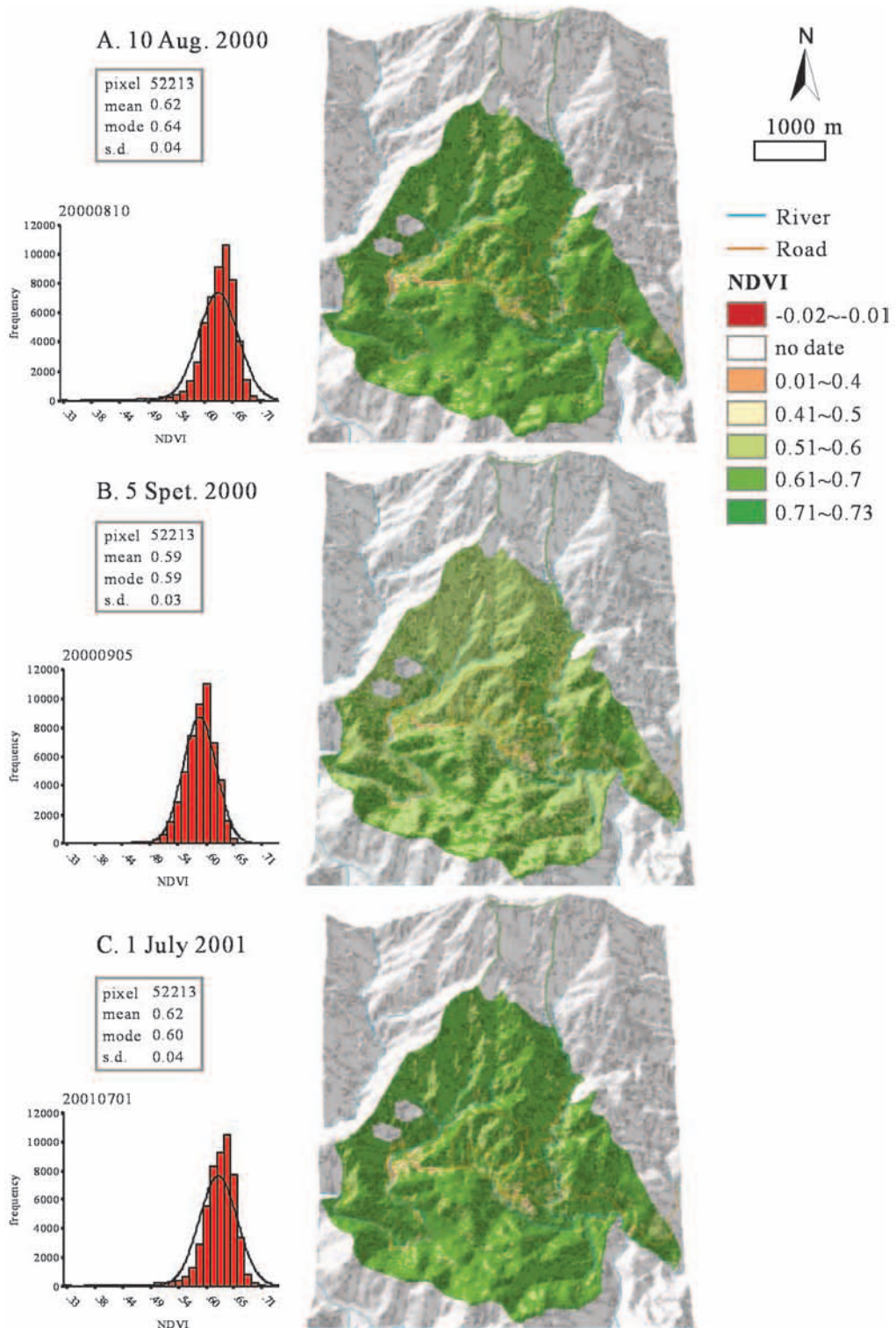
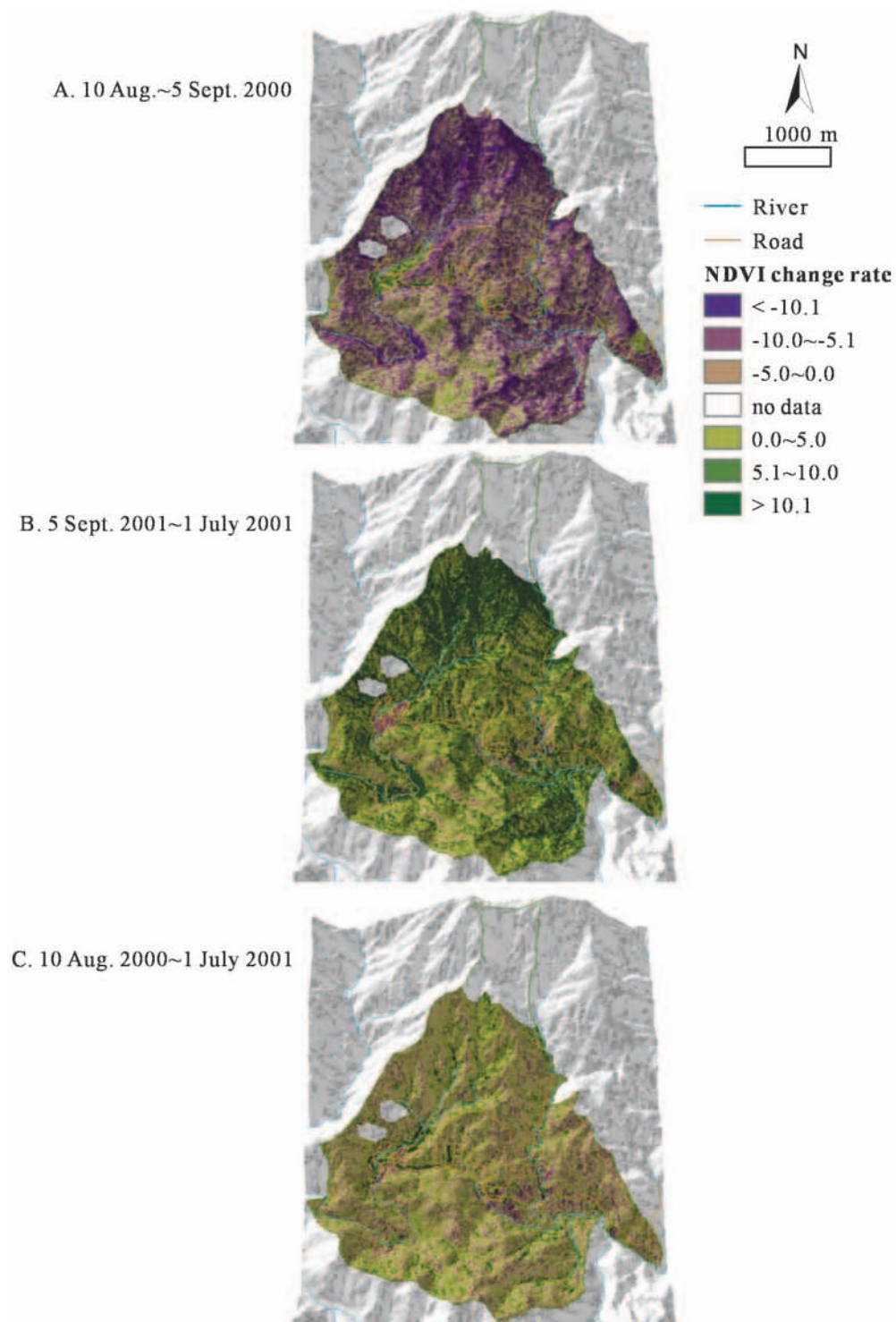


Fig. 5. Frequency and special distribution of the NDVI for the Fushan Experimental Forest.





**Fig. 6.** NDVI changes detected between different images for the Fushan Experimental Forest.

了4.8%，使得2001年7月初的NDVI與2000年颱風干擾前幾無差異(平均值只差0.4%)。然仔細觀察碧利斯颱風侵襲前(10 Aug. 2000)及隔年夏季颱風干擾前(1 July 2001) NDVI的空間差異(Fig. 6-C)，發現其中50.3%的網格下降5%以上，38.6%上升5%以上，11.1%變動小於5%。亦即相隔一年後NDVI的平均值，雖未因颱風干擾發生重大變動，但其空間分布卻有很大的變化，而這種空間變異顯然不是一般描述性統計中之平均值與標準差所能充分解釋。

此外，若忽略颱風的干擾，只比較第一和第三期的NDVI會發現自2000年8月到2001年7月，福山試驗林平均之NDVI幾無變化。然而第二期的影像顯示颱風干擾確實造成NDVI下降。所以若無颱風干擾，NDVI是否會發展到更高的程度，亦即植生覆蓋乃至初級生產力，是否可發展到較高的程度？未來可對NDVI之變動進行長期監測，以探討颱風是否讓福山試驗林的初級生產力維持在一小範圍內變動，處於一動態平衡中。

## 二、NDVI變動與地形因子的關係

### (一)海拔高度變異分析

整個福山試驗林海拔高度在600~700 m之間的網格數最多，佔分析區域的46.7%，而此區亦是所有的海拔高度中NDVI平均值最低者(Fig. 5)。比較福山植物園的導覽圖與地形圖可發現道路、人工建物及人為活動干擾嚴重的區域，多分布於此一海拔高度，造成植生覆蓋率較低，故NDVI平均值較其它海拔高度為低。此外，這些道路或人工建地的NDVI值不易因颱風干擾而發生變動，因此在颱風前後的變動量亦為所有海拔高度中最小者(Fig. 6)。

除去受人為干擾較大的區域，可發現整個福山地區颱風干擾之前在海拔高度的分類中，NDVI差異並不大(Fig. 5A)，且在700 m以上之平均NDVI皆為0.63，可謂相當均質。然而在颱風過的九月，NDVI卻在海拔高度上有相當明顯的差異(Fig. 5B)，顯示颱風對不同海拔的植生有不同程度的損害。比較颱風前後NDVI的變動

值(Fig. 7)，可看出在海拔700 m以上，NDVI下降的程度有隨著海拔高度增加而增加的趨勢。有趣的是在颱風過後翌年七月，不但NDVI平均值回復到颱風前的數值，而且颱風所造成NDVI的垂直差異亦不復見(Fig. 5C)。此乃因為NDVI降低的區域其回復的程度亦較高(Fig. 7)，分析整個福山地區NDVI之變動發現受損率和回復率之間具有顯著相關( $r = -0.49, p < 0.01$ )。這可能與坡向及日照有關，不同坡向的網格，其海拔高度有所差異，而坡向本身與迎風背風及日照時間長短有關，間接造成不同海拔高度之受損及回復率有顯著相關，此在比較不同坡向間NDVI之變動時，有更多的討論。此外，各海拔高度NDVI變動率之標準差在各個時期皆在3%以上，最高達12.9% (Fig. 7)，代表同一海拔高度其植生指數在不同時期的變動，存有很大差異，甚至大於不同海拔間的差異。

### (二)坡向變異分析

研究範圍內，坡向以西南向為最多，佔20%；北向坡最少，佔7%。NDVI值在不同坡向間有顯著的差異，東南向及東向坡較高，北向及西北向較低，且此一差異趨勢在三個時期相當一致(Fig. 5)。比較颱風所造成的減損量在不同坡向間的差異可發現，NDVI值較高的坡向其減損量亦較高，而且和不同海拔高度間的變異趨勢相同，減損越多者回復亦越高(Fig. 8)。

進一步檢視福山試驗林的地形可發現，東南坡向網格的減損與回復率較高，其平均海拔高度亦較高(754 m)；減損與回復率較低的北向坡網格，其海拔高度則較低(660 m) (Fig. 10)。植生減損量多寡可能與迎風背風有關，減損量最多的為東南向(-7.0%)及東向坡(-6.9%)，而由福山苗圃氣象站所測得，碧利斯颱風期間每小時內最大陣風的風向，亦以東風(54%)及東南風(32%)為主，因此東坡及東南坡首當其衝。由台灣東北部的地形圖(Fig. 9)可以看出，福山試驗林的東方及東南方並沒有更高的高山遮蔽，由東或東南向西或西北移動的颱風，在侵襲福山試驗林前並未受到地形破壞，故迎風的偏東坡向受颱風破壞較嚴重、減損較多，而背風的偏

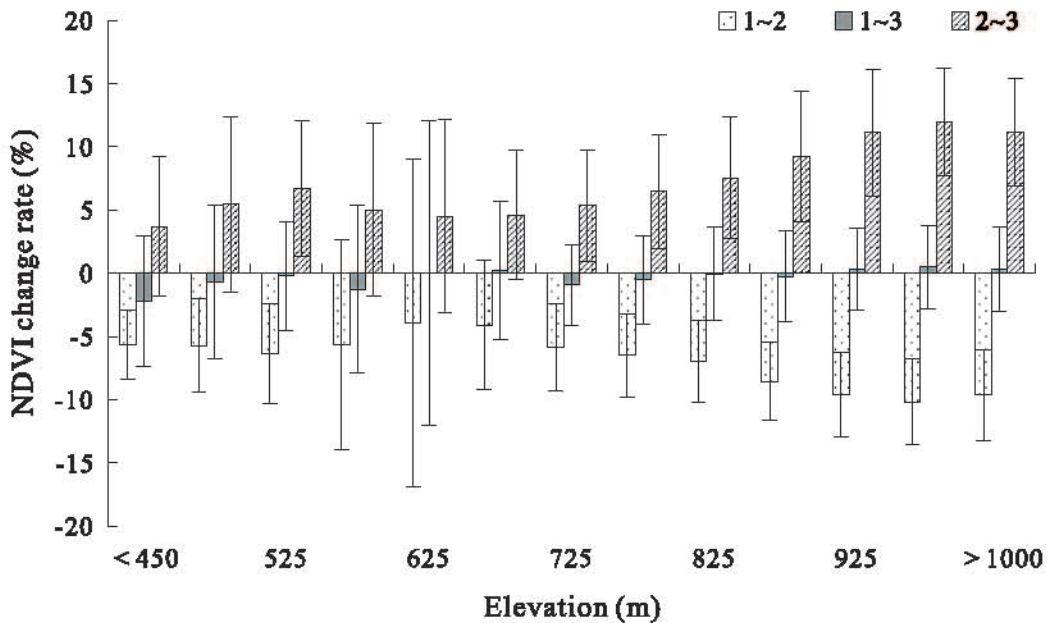


Fig. 7. NDVI change rates in relation to elevation for the Fushan Experimental Forest (mean  $\pm$  SD).

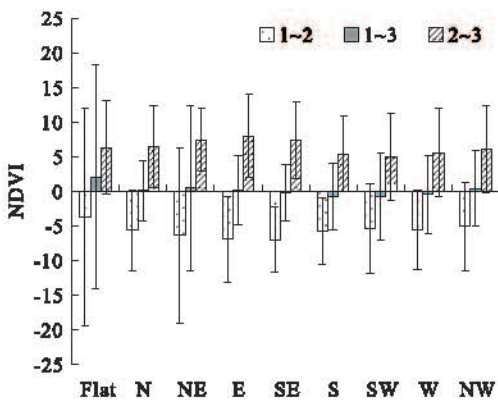


Fig. 8. NDVI change rates in relation to aspect in the Fushan Experimental Forest (mean  $\pm$  SD).

西坡向，干擾的情形相對較輕。

然而颱風期間迎風、背風之差異，並不能解釋為何颱風侵襲後，東向(8.0%)、東南向(7.5%)及東北向坡(7.4%) NDVI回復較多。影響植物生長的主要因子包括了土壤、水分及日照，目前並無資料顯示不同坡向間土壤性質有

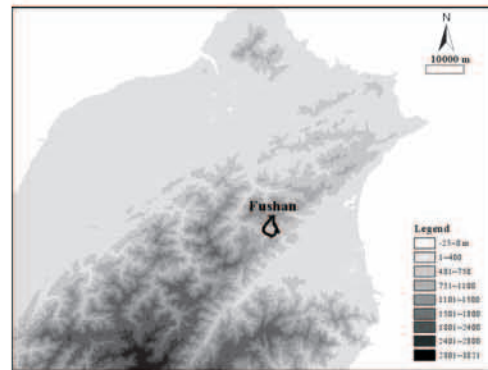


Fig. 9. Topographic map of northeastern Taiwan.

所差異；而水的供給，由於福山地區平均年雨量達4,225 mm，無明顯乾季，因此不虞匱乏；反之，福山地區年平均降雨日數達233 d (Chang 2001)，日照輻射量相對較少，故輻射量可能是影響福山地區，植物生長及干擾回復的重要因子。根據Lin et al. (1997)對福山物候的調查，此區的植生由三月開始抽芽展葉，到十月落葉樹種開始落葉，三至十月間為植生最茂盛的階

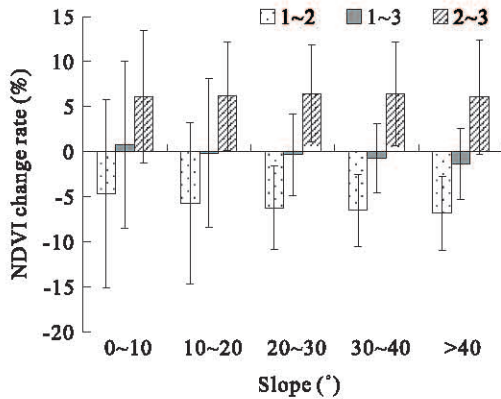


Fig. 10. NDVI change rates in relation to slope in the Fushan Experimental Forest (mean  $\pm$  SD).

段。而此階段中，前半段在受梅雨期影響，全區輻射量低，而後半段夏季氣候，山區下午容易起霧、下雨，因此偏西方向的坡地，所受的輻射量相對較少。另外，試驗林所在的整體地勢，東方地勢較低，而西方則是重重山嶺，尤其越往西南地勢越高(Fig. 9)。此海拔高度與山勢走向對日照所產生的遮蔽效果，可能是海拔高度較低的西南坡回復慢的重要原因之一。

交叉分析不同海拔高度與坡向NDVI的變動情形，支持了上述的推論。分析結果發現，受地形遮蔽最明顯的背風且接近溪谷區域即低海拔(< 750 m)西向坡為受颱風干擾造成減損率最低的區域，平均減損率為-4.39%，而高海拔(> 850 m)的東向坡減損最高，平均為-10.76%；而由前段的討論可知減損率最低的低海拔西向坡區域，同時受到地形及雲霧遮蔽故所得日輻射最低，而其颱風後NDVI回復率也最低，平均為3.9%，高海拔東向坡日輻射所受到的地形遮蔽最小其回復率也最高，平均為12.3%。

### (三) 坡度變異分析

三個時期之NDVI皆有隨坡度增加而增加的趨勢，但在坡度20度以上差異相當小，三個時期NDVI最大與最小的兩組相差均不到1%。颱風造成的減損率在不同坡度之間之變動在同一坡度分組內之變異非常大，遠大於不同組之

間的差異，尤其是變動率平均較小的組別其變異更大，以致不同坡度組別間差異的趨勢並不易看出來(Fig. 10)。此同一坡度組別NDVI變異大於不同組別間的差異顯示，坡度本身在福山試驗林並不是造成植物覆蓋差異的主要環境因子。

由前面的分析可以看出，海拔與坡向的差異可能因為與日照多寡有關，故對NDVI的高低及變動量產生影響。同一坡度位在不同的坡向，或海拔高度，其NDVI差異很大，例如：坡度同為10~20°，位於500~600 m之間的網格減損率僅-3.2%；位於1,000 m以上的則達11.59%。反之，不同坡度的網格因位在相同的坡向或高度，其NDVI值相去不遠，例如：南向坡的各級坡度，減損率皆維持在5~6%，而使得坡度對植物生長的影響無法在福山試驗林展現出來。

另外值得注意的是，無論是海拔、坡度或坡向，由各變遷分析圖中可以看出，不同時間NDVI在組內的變動(以一個標準的範圍來看)相當大，甚至大於不同組間的差異。顯示較小空間尺度內的差異相當大，故欲較完整掌握福山試驗林植生分布的空間變異，應對較小空間尺度，如一集水區內之空間變異有更深入的探討。

## 結論

本研究計算以不同時期的NDVI，比較福山試驗林碧利斯颱風干擾前後及隔年7月間的變動，發現：

一、無論颱風前後，福山試驗林各期NDVI之標準差介於0.03~0.04之間，碧利斯颱風干擾前，87.7%的網格NDVI介於0.58~0.67之間，干擾後的九月，有78.7%介於0.56~0.63之間，而翌年七月則有89.7%介於0.58~0.67之間，代表研究區內植生覆蓋變異不大，空間均質性相當高。

二、碧利斯颱風造成福山試驗林NDVI整體平均下降了4.8%，但隔年七月其整體平均亦上升了4.8%，回復到颱風前的數值。NDVI為植生覆蓋指數，此結果顯示，若無颱風干擾，福山試驗林之植生乃至初級生產力應可發展到較高的程

度。未來將對NDVI之變動進行長期監測，以探討颱風是否讓福山試驗林的初級生產力維持在一小範圍內變動，處於一動態平衡狀態中。

三、颱風前後森林植生指數的變動，在空間上有顯著的差異。海拔高、坡向為東或東南的NDVI較高，但NDVI較高處其受颱風干擾及之後回復的量亦較大。東向及東南向坡為碧利斯颱風的迎風面，故受颱風干擾影響之程度較高。夏季為主要生長期，西向坡因午後福山試驗林常為雲霧所遮蔽，所得日輻射較低，可能是造成不同坡向在颱風後之回復程度不同之主要原因。而此東向及東南坡向之平均海拔高度較其它坡向為高，則可能是較高海拔地區之減損及回復率較高的原因。

四、無論是在海拔、坡度或坡向上，各時期間的變動在同一組內之差異，常較不同組別間的差異為大，顯示若欲較完整掌握颱風對福山試驗林植生分布空間變異的影響，應對較小空間尺度，如一集水區內之空間變異有更深入的探討。

## 謝誌

本研究承國科會專題研究計畫(NSC91-2621-B018-001)補助，謹此謝誌。感謝本系王素芬老師在研究期間的建議及指導，以及湯慶偉先生在資料搜集上給予的協助及支援，在此一併申謝。

## 引用文獻

- Ayala-Silva T, Twumasi YA. 2004.** Hurricane Georges and vegetation change in Puerto Rico using AVHRR satellite data. *Int J Remote Sens* 25(9):1629-40.
- Bai ML. 1999.** Landscape classification, vegetation distribution estimation, and change analysis of Fushan Experimental Forest [master's thesis]. Taipei: National Taiwan Univ. [in Chinese with English summary].
- Bellingham PJ, Tanner EVJ, Healey JR. 1995.** Damage and repositiveness of Jamaican montane tree species after disturbance by a hurricane. *Ecology* 76(8):2562-80.
- Boose RE, Foster DR, Fluet M. 1994.** Hurricane impacts to tropical and temperate forest landscapes. *Ecol Monogr* 64(4):369-400.
- Central Weather Bureau. 2004.** <http://www.cwb.gov.tw/V4/index.htm>.
- Chang YH. 2001.** A study on the effect of wind on forest structure at Fushan Experimental Forest [master's thesis]. Changhua, Taiwan: National Changhua Univ of Education. [in Chinese with English summary].
- Chen CT, Ma SM. 2001.** Estimating leaf area index from SPOT satellite images in Nanjenshan Forest ecosystem. *Q J Chin For* 34(1):63-72. [in Chinese with English summary].
- Chiao KM, Cao CL. 1992.** A study on using spectral reflectance to estimate forest crown closure. *Q J Exp For, NTU* 6(4):149-76. [in Chinese with English summary].
- Cooper-Ellis S, Foster DR, Carlton G, Lezberg A. 1999.** Forest response to catastrophic wind: results from an experimental hurricane. *Ecology* 80(8):2683-96.
- DeFries R, Hansen M, Townshend J. 1995.** Global discrimination of land cover types from metrics derived from AVHRR pathfinder data. *Remote Sens Environ* 54:209-22.
- Fredericksen TS, Heden RL, Williams SA. 1995.** Susceptibility of loblolly pine to bark beetle attack following simulated wind stress. *For Ecol Manage* 76:95-107.
- 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.
- Her PY. 2003.** The effect of radiometric normalization on SPOT satellite image change detection--a case study of Hohuan Mountain area

- [master's thesis]. Taichung, Taiwan: National Chung-Hsing Univ. [in Chinese with English summary].
- Ho CS. 1992.** An introduction to the geology of Taiwan explanatory text of the geologic map of Taiwan. Taipei: Central Geological Survey. [in Chinese].
- Horng FW, Yu HM, Ma FC. 1995.** Typhoons of 1994 doubled the annual litterfall of the Fu-shan mixed hardwood forest ecosystem in northeastern Taiwan. *Bull Taiwan For Res Inst New Ser* 10(4):485-91.
- Hsieh HC, Cheng CC. 1995.** An analysis of vegetation greenness of Fu-shan with SPOT XS multitemporal data. *Bull Taiwan For Res Inst New Ser* 10(1):105-20. [in Chinese with English summary].
- Jakubauskas ME, Peterson DL, Kastens JH, Legates SR. 2002.** Time series remote sensing of landscape-vegetation interactions in the southern great plains. *Photogram Eng Remote Sens* 68(10):1021-30.
- Kimmins JP. 1996.** Forest ecology: a foundation for sustainable management. 2nd ed. City, NJ: Prentice Hall.
- Lawrence RL, Ripple WJ. 1998.** Comparisons among vegetation indices and bandwise regression in a highly disturbed, heterogeneous landscape: Mount St. Helens, Washington. *Remote Sens Environ* 64:91-102.
- Lin C. 1998.** A case study on the application of spectral vegetation indices on the canopy closure estimating models in forest resources survey. *Q J Chin For* 31(1):51-63. [in Chinese with English summary].
- Lin KC. 1997.** Dynamics of litterfall and the layer in the Fushan Forest of northeastern Taiwan. *Taiwan J For Sci* 12(2):135-44. [in Chinese with English summary].
- Lin KC, 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 KC, Horng FW, Cheng WE, Chiang HC, Chang UC. 1996.** Soil survey and classification of the Fushan Experimental Forest. *Taiwan J For Sci* 11(2):159-74. [in Chinese with English summary].
- Lin KC, Hwanwu CB, Liu CC. 1997.** Phenology of broadleaf tree species in the Fushan Experimental Forest of northeastern Taiwan. *Taiwan J For Sci* 12(3):347-53. [in Chinese with English summary].
- Lin TC, Lin TT, Chiang ZM, Hsia TJ, King HB. 1999.** A study on typhoon disturbance to the canopy of natural hardwood forest in northeastern Taiwan. *Q J Chin For* 31(1):67-78. [in Chinese with English summary].
- McNulty SG. 2002.** Hurricane impacts on US forest carbon sequestration. *Environ Pollut* 116:17-24.
- Merrens EJ, Peart DR. 1992.** Effects of hurricane damage on individual growth and stand structure in a hardwood forest in New Hampshire, USA. *J Ecol* 80:787-95.
- Miranda ML. 1996.** Final report: an evaluation of the post-Hugo forest recovery programs: salvage, wildfire hazard mitigation and reforestation. In: Haymond JL, Hook DD, Harms WR, editors. Hurricane Hugo: South Carolina forest land research and management related to the storm. City, ST:USDA Forest Service General Technical Report SRS-5. p 498-532.
- Miura M, Manabe T, Nishimura N, Yamamoto SI. 2001.** Forest canopy and community dynamics in a temperate old-growth evergreen broad-leaved forest, south-western Japan: a 7-year study of a 4-ha plot. *J Ecol* 89:841-9.
- Mukai Y, Hasegawa I. 2000.** Extraction of damaged areas of windfall trees by typhoons using Landsat TM data. *Int J Remote Sens* 21(4):647-54.
- Nelson BW, Kapos V, Adams JB, Oliveira WJ, Braun OPG, Amaral IL. 1994.** Forest disturbance by large blowdowns in the Brazilian Amazon. *Ecology* 75(3):853-8.

- Ramsey EW III, Hodgson ME, Sapkota SK, Nelson GA. 2001.** Forest impact estimated with NOAA AVHRR and Landsat TM data related to an empirical hurricane wind-field distribution. *Remote Sens Environ* 77:279-92.
- Ramsey RD, Falconer A, Jensen JR. 1995.** The relationship between NOAA-AVHRR NDVI and ecoregions in Utah. *Remote Sens Environ* 53:188-98.
- Schott JR, Salvaggio C, Volchok WJ. 1988.** Radiometric scene normalization using pseudo invariant features. *Remote Sens Environ* 26:1-16.
- Teillet PM, Staenz K, Williams DJ. 1997.** Effects of spectral, spatial, and radiometric characteristics on remote sensing vegetation indices of forested regions. *Remote Sens Environ* 61:139-49.
- Waide RB, Zimmerman JK, Scatena EN. 1998.** Controls of primary productivity: lessons from the Luquillo Mountains in Puerto Rico. *Ecology* 79(1):31-7.
- Wang HH, Pan FJ, Liu CK, Yu YH, Hung SF. 2000.** Vegetation classification and ordination of a permanent plot in the Fusahn Experimental Forest, northern Taiwan. *Taiwan J For Sci* 15(3):411-28. [in Chinese with English summary].
- Xiao X, Braswell B, Zhang Q, Boles S, Frohking S, Moore B III. 2003.** Sensitivity vegetation indices to atmospheric aerosols: continental-scale observations in northern Asia. *Remote Sens Environ* 84:385-92.
- Yamashita A, Sano J, Yamamoto SI. 2002.** Impact of strong typhoon on the structure and dynamics of an old-growth beech (*Fagus crenata*) forest, southwestern Japan. *Folia Geobot* 37:5-16.

