

Research paper

Vegetation Recovery after Fire of Subalpine Grassland on the East Peak of Mt. Shei

Ching-An Chiu^{1,2} Wei-Chih Chen³ Yen-Hsueh Tseng² Min-Chun Liao²

Wei Wang² Hsy-Yu Tzeng^{2,*}

【Abstract】 Fire is one of the most critical factors affecting plant growth and vegetation succession. This study established 10 plots on the east peak of Mt. Shei, which burned in 2001 and investigated the post-fire vegetation recovery of *Yushania niitakayamensis* grassland at four stages. A total of 43 vascular plant species were recorded at four stages with 27, 33, 32, and 33 species. The results revealed that after 6 months, most species of *Y. niitakayamensis* grassland occurred in the burned area, and the species diversity increased with the post-fire time. All of the species were perennial plants, among which 36.36% were evergreen plants and 63.64% were winter-withered plants. The coverage of the grassland was rehabilitated within approximately 2 years after the fire, whereas the recovery of the original height and appearance of the grassland required 3 years. A detrended correspondence analysis revealed that sequential changes in vegetation succession occurred after the fire. The composition of plant differences resulted from a decrease in species at an early stage after the fire and an increase in species at a later stage after the fire. The aboveground part of *Salix fulvopubescens* was burned after the grassland fire, and caespitosa shoots then sprouted from the surface. The saplings of *Abies kawakamii* were not resistant to fire, and the growth of adult *A. kawakamii* after the fire declined. At the marginal zone of fire, *A. kawakamii* saplings grew well. These phenomena confirmed that *Y. niitakayamensis* grasslands subject to periodic fire remain the grassland community, whereas grasslands transform into potential natural vegetation, an *A. kawakamii* forest, if no fire disturbance blocks succession.

【Key words】 *Yushania niitakayamensis*, *Abies kawakamii*, fire, vegetation recovery, potential vegetation, the east peak of Mt. Shei

研究報告

雪山東峰亞高山草生地火燒後植群之回復

邱清安^{1,2} 陳韋志³ 曾彥學² 廖敏君² 王偉² 曾喜育^{2,*}

1. 國立中興大學實驗林管理處 Experimental Forest, National Chung-Hsing University.

2. 國立中興大學森林學系 Department of Forestry, National Chung Hsing University.

3. 國立屏東科技大學生物資源研究所 Graduate Institute of Bioresources, National Pingtung University of Science and Technology

* 通訊作者，40227臺中市國光路250號Corresponding Author. 250 Kuokwang Rd., Taichung 40227, erecta@nchu.edu.tw

【摘要】火燒是影響植物生長與植群演替的主要因子之一。雪山東峰玉山箭竹草生地於2001年發生火燒，本研究在火燒後設置10個樣區於4個不同時期進行植群調查。植物社會恢復過程中，共計調查到25科41屬43種維管束植物，蕨類商數為2.56；火燒後4個時期調查之物種數分別為27、33、32及33種，顯示火燒後6個月，大部分的草生地植物種類即出現，而物種多樣性則隨著火燒後植群恢復時間的增加而有增加趨勢。植物種類全部為多年生植物，其中36.36%為常綠植物，63.64%植物屬於冬枯。雪山東峰草生在火燒後約2年可回復至火燒前的植被覆蓋狀態，但植群高度回復則約須3年後才能接近火燒前之原有高度。由DCA分析結果顯示，火燒後植群演替具時序的變化，物種組成差異來自火燒干擾初期的物種消失，以及火燒後期非萌蘖種類的新增。雪山東峰玉山箭竹草生地火燒後，玉山箭竹、褐毛柳等木本植物之地上部死亡，但在火後地際再度萌蘖；臺灣冷杉稚樹不耐火燒而死亡，成株亦因樹皮燒傷而剝落，並導致生長勢逐漸衰退，然在火燒跡地邊緣未受火燒傷害的臺灣冷杉稚樹生長良好。本研究發現，玉山箭竹草生地若發生火燒則將維持其原有形相，但長期無火燒的情況下，雪山東峰草生地將緩慢恢復至本地的潛在自然植群—臺灣冷杉林。

【關鍵詞】玉山箭竹、臺灣冷杉、火燒、植群回復、潛在自然植群、雪山東峰

一、前言

火燒(fire)影響植物生長與植群演替，為生態系的主要趨動力(force)之一，雖然火燒常因損及人類生命財產而被視為災害事件，並被稱之為火災，但在特定的生態環境下，火燒經常是常態性的發生，且涉及養分循環、更新演替、野生動物保育等多種複雜面向，故非人為引發之火燒可視為自然生態系中的擾動現象。全世界每年發生林火平均在22萬次以上，焚毀森林約佔總面積之0.23% (舒立福&田曉瑞，1997)；在東南亞之季風區中，火燒經常於乾季時發生(Baker *et al.*, 2008)；臺灣地區森林發生火燒主要為人為因素所引起，於乾季或在某些植群型火燒發生頻繁(陳源長，1967；呂金誠，1990)，其中尤以臺灣二葉松林與高山草生地為最典型，其主要組成分子如臺灣二葉松(*Pinus taiwanensis*)、芒草類(*Miscanthus* spp.)、變大蕨(*Pteridium aquilinum* subsp. *wightianum*)、玉山箭竹(*Yushania niitakayamensis*)等，均會聚積多量燃料，容易致使火燒之發生，並維持其優勢(呂金誠，1990；林永發&邱清安，2002)。若以區域而論，則以大甲溪事業區為最多，尤其於梨山、武陵一帶人為活動頻繁且以臺灣二葉松林發生火燒最為頻繁(林朝欽，1992、1993a,b)，而臺

灣高山地區常見之玉山箭竹草生地，則殆由火燒所致(柳楮，1986；呂金誠，1990)。

林火對環境的影響，包括對土地(土壤)、水分、空氣、植物、動物以及生物多樣性變化等的影響(林朝欽&黃清吟，2006)，就臺灣亞高山(3,100~3,600 m)而言，其氣候極盛相下的潛在自然植群為臺灣冷杉(*Abies kawakamii*)森林(邱清安，2006；Su, 1984)，但在火燒後則大都退化為以玉山箭竹為主的草生地，其林緣則形成森林-草生地推移帶。推移帶之玉山箭竹草原有利於林緣之臺灣冷杉種子發芽及苗木建立(劉業經等，1984)，依賴國祥(1982)之估計，臺灣冷杉入侵玉山箭竹草原之平均速率每年約為0.188 m，草生地若不受干擾則將逐漸演替成臺灣冷杉單叢，而達極盛相；臺灣冷杉侵入草生地之苗木建立的平均間隔約為4.6年，此或可視為臺灣冷杉之平均結實週期(賴國祥，1992)。另外，林永發&邱清安(2002)則曾報告雪山東峰玉山箭竹火燒後之開花現象，隨後廖敏君等(2005)即進行長期觀測，發現5~11月為玉山箭竹開花期，授粉方式有小花打開及小花不打開二種，玉山箭竹在開花後雖有結實，但未發現種子苗之建立。

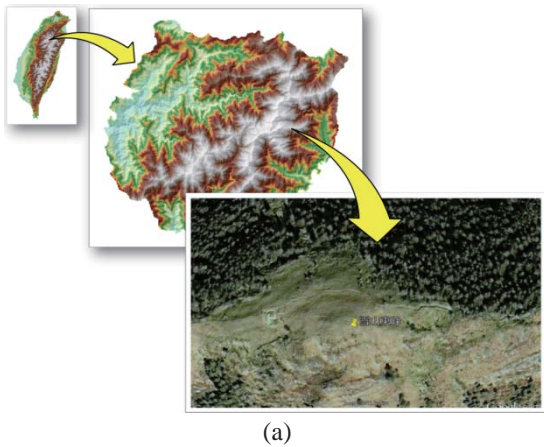
雪山東峰於2001年2月因登山客不慎而於玉山箭竹草生地引發火燒，為瞭解火燒發生後

植物社會之變化，本報告於火燒跡地設置樣區，並於火燒後4個不同時期進行樣區內之植物組成、覆蓋與高度等調查，以瞭解植物社會之回復狀況，提供了解臺灣亞高山生態系火燒後植群動態資料。

二、材料與方法

(一) 研究區概況

本研究地點位於臺中市和平區平等里的雪山東峰一帶，於雪霸國家公園生態保護區內，林政隸屬東勢林區管理處大甲溪事業區之第30林班；雪山東峰(N24.3888°，E120.2721°，海拔約3,150 m)位雪霸國公園境內熱門登山路



線之雪東線上，為大甲溪上游桃山西溪與高山溪之分水嶺；研究區域之潛在自然植群為臺灣冷杉林(邱清安，2006)，目前為玉山箭竹草地(圖1a)。本區於2001年2月18~20日間因登山客不慎而引發火燒，經分析火燒發生前後(2001年2月18日與2月21日)之SPOT衛星影像，火燒範圍之投影面積約為23 ha (圖1b)。由雪山東峰之生態氣候圖顯示(圖2)，本區年均溫約6.97°C，年降水量約2,185 mm，反映本區於夏季降水較多，而冬季較為乾旱，但全年生態氣候條件均處於相對潤濕(relative humid)或超濕(perhumid)之環境(魏聰輝&林博雄，2011)；土壤屬極酸性(顏江河，2011)。

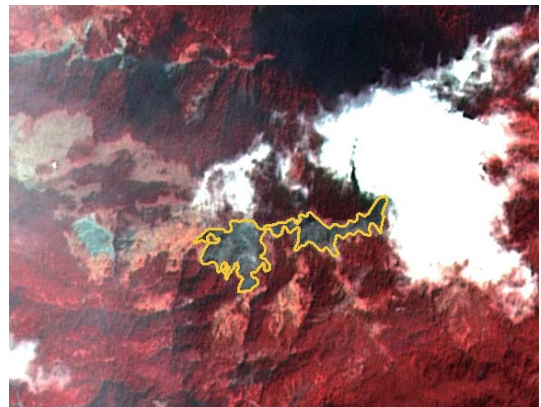


圖1. 本研究調查位置圖。(a) 雪山東峰之位置，由Google Earth影像可見目前為火燒後所產生之玉山箭竹草地；(b) 由SPOT衛星影像所判釋之雪山東峰2001年2月火燒範圍。

Fig. 1. Location of the study site. (a) Position of east peak of Mt. Shei and the *Yushania niitakayamensis* grassland after fire acquired from Google Earth. (b) The fired area in February 2001 from SPOT image interpretation.

(二) 研究方法

1. 樣區設置與調查

於雪山東峰火燒跡地共設置10個5 m × 5 m之樣區，其中樣區6及樣區8設於火燒與未火燒區域之間，以便比較火燒及未火燒的植群狀態。野外調查分別於2001年6月20日(火燒後約4個月，以下標示為F4)、2001年8月28日(火燒後約6個月，以下標示為F6)、2002

年11月11日(火燒後約21個月，以下標示為F21)、2010年9月24日(火燒後約115個月，以下標示為F115)等4次進行。

2. 火燒後植物回復之種類多樣性

本研究在雪山東峰火燒後(post-fire)調查(F4、F6、F21、F115)植物出現種類，記錄木本植物火燒後反應(萌蘖或死亡)，計數火燒後物種出現頻度，整理4次調查之植物

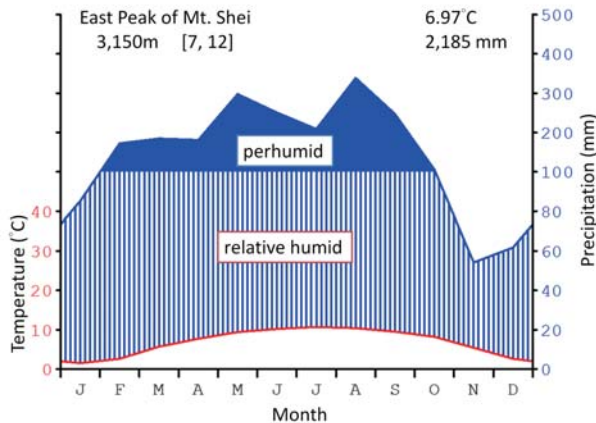


圖2. 雪山東峰之生態氣候圖(資料取自Chiu et al., 2009)。

Fig. 2. Ecological climate diagram of east peak of Mt. Shei (data source from Chiu et al., 2009).

名錄清單，植物分類及名稱主要依據Flora of Taiwan第二版(Huang et al., 2003)；依植物生活史(life history)、Raunkiaer生活型(Raunkiaer life-form)、葉候(leaf phenology)等性狀進行分析。依據8個樣區調查資料，計算火燒後各時期之蕨類商數(pteridophyte-quotient, Ptp-Q)、Shannon及Simpson生物多樣性指數(劉棠瑞&蘇鴻傑, 1983)，其公式如下：

$$\text{Shannon index} = -\sum P_i \ln P_i \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{Simpson index} = 1/\sum P_i^2 \dots\dots\dots (2)$$

P_i 為第*i*種個體數(N_i)與總個體數(N)的比值(N_i/N)

欲了解雪山東峰火燒後植物種類之時序變化情形，本研究利用Sørensen相似性指數(Sørensen similarity index)與Wilson β 多樣性指數(Wilson β diversity index)來分析探討(張金屯, 2011)。

$$\text{Sørensen similarity index} = 2C/(A+B) \dots\dots\dots (3)$$

式中C為2次調查期間皆出現的物種數，A、B分別為2次調查出現的物種數。

$$\text{Wilson } \beta \text{ diversity index} = (G+L)/2A \dots\dots\dots (4)$$

式中G為沿火燒時序變化後樣區增加的物種數，L為沿火燒時序變化後樣區減少的物種數，A為2次調查期間出現物種的平均

數。

3. 火燒後植群回復

植群覆蓋度為瞭解草本植物社會火燒後回復的重要指標，本研究以2種方法計算4次調查之各樣區內植群的覆蓋度，(1)覆蓋度量測：實地量取各樣區內所有植物種類之覆蓋度，計算其絕對覆蓋度，並依樣區面積換算其相對覆蓋度；(2)覆蓋度估計：考量火燒後植物在不同時期之生長回復的疏密程度不一，例如在同一範圍內，植物生長殆較為稀疏，隨復原時間而漸次生長茂密，因此量測植物之覆蓋度可能具有一定之誤差(在同一覆蓋範圍內疏密程度不同)，故在調查時另由三位研究人員估測樣區內之整體覆蓋率，亦即估計植物體佔樣區面積之百分率，並加以平均為植物回復覆蓋率，以瞭解火燒後植物社會覆蓋之回復。

植物的高度為瞭解火燒後植物社會回復的指標之一，本研究於樣區內不同地點選取最優勢植物10株量測高度，再計算其平均高度，藉以代表各樣區在火燒後植物高度生長之回復，木本植物則分別量取火燒後所有單株之地徑及高度。除以上數值量測之外，於火燒後各時期均拍攝現地影像，以做為植群回復情況之佐證。

降趨對應分析(detrended correspondence analysis, DCA)分析可以提供瞭解雪山東峰火

燒後植群時序變化趨勢(Engle *et al.*, 2000; 曾喜育等, 2010)。本研究以雪山東峰草生地火燒後之8個樣區(排除樣區6及樣區8)進行DCA分析, 提供瞭解火燒後草生地植被回復後時序變化。以上運算使用PCORD (McCune & Mefford, 1999)軟體進行植群分析。

三、結果與討論

(一) 雪山東峰火燒後植相之回復

雪山東峰火燒後8個樣區4次(F4、F6、F21、F115)調查出現之維管束植物種類清單計有25科41屬43種, 其中蕨類植物有4科4屬4種, 種子植物21科37屬39種, 含雙子葉植物有15科23屬25種, 單子葉植物有6科14屬14種(表1)。火燒後4次調查的種類出現時期與頻度不一, 但皆為多年生植物(表1)。Körner (2003)指出高山生態系植物主要組成以多年生為主, 而雪山地區3,000 m以上的植物組成絕大多數亦為多年生, 一年生植物僅發現伊澤山龍膽(*Gentiana itzershanensis*)(鄭婷文等, 2012), 但未在本研究樣區內發現。

火燒後4個調查時期出現植物種類分別為27、33、32及33種, 雪山東峰在2月份火燒發生後同年之6月(F4), 在樣區內即出現27種維管束植物, 佔4次調查總種數的60%以上, 與後續3次調查到的物種數相差不大, 顯示雪山東峰火燒跡地在火燒後4個月(F4), 大部分的箭竹草地植物種類即出現, 反映出本區域在火燒後植物種類快速回復。在火燒後4次調查中均記錄到的維管束植物中, 如玉山箭竹、高山芒、一枝黃花(*Solidago virgaurea*)、玉山毛蓮菜(*Picris hieracioides* subsp. *morrisonensis*)、玉山金絲桃(*Hypericum nagasawai*)等21種植物, 從火燒後初期至火燒後約10年均持續性地出現, 顯示此類植物適應於玉山箭竹草生地生育環境之植物種類, 而此類植物皆屬於火燒後萌蘖的物種(曾喜育等, 2010)。

由DCA分析得知, 雪山東峰草生地火燒後各時期之植物社會呈現時序變化(圖3a),

由物種排序圖可發現, 造成此時序變化的主要因素來自於火後不同時期的物種出現(圖3b)。岩蕨(*Woodsia polystichoides*, Wop)和臺灣龍膽(*G. davidii* var. *formosana*, Ged)僅出現在火後4個月的草生地中(表1), 在植物社會恢復過程其他3次調查中未再出現, 而玉山鹿蹄草(*Pyrola morrisonensis*, Pym)亦只出現在第1年(F4和F6)(表1); 此類僅在火後初期出現的物種, 可能為植株經火燒干擾後, 因對環境不適或因其他物種競爭而消失。腰只花(*Hemiphragma heterophyllum*, Heh)和山桔梗(*Peracarpa carnosus*, Pec)則僅在火燒6個月後出現(表1), 但在植物社會演替過中就消失的物種, 為種子發芽後的植株, 由於此2種植物多為林下或較潮濕環境下的種類, 推測可能因不適火燒干擾演替初期的環境而消失。高山露珠草(*Circaea alpina* subsp. *imaicola*, Cia)、阿里山忍冬(*Lonicera acuminata*, Loa)、油薹(*Carex satsumensis*, Cas)、臺灣天南星(*Arisaema formosanum*, Arf)等僅在火燒9年後才出現的物種(表1)為種子傳播或種子庫之種子萌發的新植株(圖3b)。在物種DCA排序圖中央的植物, 為火燒後各時期調查中出現頻度高類群, 屬於具萌蘖能力的物種(圖3b)。

植群在火燒後早期出現的物種多為具萌蘖能力的種類(Eggers & Porto, 1994; 曾喜育等, 2010), 其在火燒後通常快速地佔據生育地, 而藉由土壤種子庫或鄰近地區種子傳播的植物, 則是增加火燒後的物種多樣性(曾喜育等, 2010)。由於雪山3,000 m以上多為冬季落葉或冬枯之植物(鄭婷文, 2010), 加上研究區火燒發生於冬季, 致使在火燒後1年內之出現的植物以冬枯植物增加, 尤以火燒後4個月(F4)的冬枯植物種類達最高, 但在火燒後3年以上的植物組成比例漸趨穩定(表1)。此外, 臺灣亞高山生態系箭竹草原之燃料量遠較森林少, 火燒強度相對較小, 至使大多數物種在火燒後得以在溫度較高、降水較多的春、夏季快速生長, 植被回復迅速。在許多草生地生態系中,

表1. 雪山東峰火燒後4個時期(F4、F6、F21、F115)在8個調查樣區所出現之植物種類

Table 1. The recover species recorded in 8 sample plots at 4 stages (F4、F6、F21、F115) after fire in Mt. Shei

| 中文 | 學名 | 代號 | life history | life form* | leaf phenology | F4 | F6 | F21 | F115 |
|--------|---|------|--------------|------------|----------------|----|----|-----|------|
| 假石松 | <i>Lycopodium pseudoclavatum</i> | Lyc | 多年生 | Pt | 常綠 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 巒大蕨 | <i>Pteridium aquilinum</i> subsp. <i>wightianum</i> | Pta | 多年生 | Pt | 冬枯 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 岩蕨 | <i>Woodsia polystichoides</i> | Wop | 多年生 | Pt | 常綠 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 玉山蕨 | <i>Crypsinus quasidivariatus</i> | Crq | 多年生 | Pt | 常綠 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 褐毛柳 | <i>Salix fulvopubescens</i> | Saf | 多年生木本 | P | 冬枯 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 火炭母草 | <i>Polygonum chinense</i> | Poc | 多年生草本 | C | 冬枯 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 虎杖 | <i>Polygonum yunnanense</i> | Poy | 多年生草本 | C | 冬枯 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 玉山石竹 | <i>Dianthus pygmaeus</i> | Dip | 多年生草本 | H | 冬枯 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 玉山小檗 | <i>Berberis morrisonensis</i> | Bem | 多年生木本 | P | 冬枯 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 玉山金絲桃 | <i>Hypericum nagasawai</i> | Hyn | 多年生木本 | C | 常綠 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 臺灣茶藨子 | <i>Ribes formosanum</i> | Rif | 多年生草本 | P | 冬枯 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 高山薔薇 | <i>Rosa transmorrisonensis</i> | Rot | 多年生木本 | P | 冬枯 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 刺萼寒莓 | <i>Rubus pectinellus</i> | Rup | 多年生木本 | C | 常綠 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 假繡線菊 | <i>Spiraea hayatana</i> | Sph | 多年生木本 | C | 冬枯 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 雪山堇菜 | <i>Viola adenothrix</i> var. <i>tsugitakaensis</i> | Via | 多年生草本 | H | 常綠 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 高山露珠草 | <i>Circaea alpina</i> subsp. <i>imaicola</i> | Cia | 多年生草本 | H | 常綠 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 玉山鹿蹄草 | <i>Pyrola morrisonensis</i> | Pym | 多年生草本 | H | 常綠 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 阿里山龍膽 | <i>Gentiana arisanensis</i> | Gea | 多年生草本 | H | 常綠 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 臺灣龍膽 | <i>Gentiana davidii</i> var. <i>formosana</i> | Ged | 多年生草本 | H | 常綠 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 巒大當藥 | <i>Swertia macrosperma</i> | Swm | 多年生草本 | H | 冬枯 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 腰只花 | <i>Hemiphragma heterophyllum</i> | Heh | 多年生草本 | H | 常綠 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 玉山水苦蕒 | <i>Veronica morrisonicola</i> | Vem | 多年生草本 | H | 常綠 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 阿里山忍冬 | <i>Lonicera acuminata</i> | Loa | 多年生木本 | P | 半落葉 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 山桔梗 | <i>Peracarpa carnosia</i> | Pec | 多年生草本 | G | 常綠 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 玉山抱莖籟簾 | <i>Anaphalis morrisonicola</i> | Anm | 多年生草本 | H | 冬枯 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 細葉山艾 | <i>Artemisia morrisonensis</i> | Arm | 多年生草本 | H | 常綠 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 玉山毛蓮菜 | <i>Picris hieracioides</i> subsp. <i>morrisonensis</i> | Pih | 多年生草本 | H | 冬枯 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 黃苑 | <i>Senecio nemorensis</i> var. <i>dentatus</i> | Sen | 多年生草本 | H | 冬枯 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 一枝黃花 | <i>Solidago virgaurea</i> var. <i>leiocarpa</i> | Sov | 多年生草本 | H | 冬枯 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 臺灣粉條兒菜 | <i>Aletris formosana</i> | Alf | 多年生草本 | G | 冬枯 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 臺灣藜蘆 | <i>Veratrum formosanum</i> | Vef | 多年生草本 | G | 冬枯 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 臺灣地楊梅 | <i>Luzula taiwaniana</i> | Lut | 多年生草本 | H | 常綠 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 油薹 | <i>Carex satzumensis</i> | Cas | 多年生草本 | H | 常綠 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 玉山針蘭 | <i>Trichophorum subcapitatum</i> | Trs | 多年生草本 | H | 常綠 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 臺灣鵝觀草 | <i>Agropyron formosanum</i> | Agf | 多年生草本 | H | 冬枯 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 玉山翦股穎 | <i>Agrostis infirma</i> | Agi | 多年生草本 | H | 冬枯 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 曲芒髮草 | <i>Deschampsia flexuosa</i> | Def | 多年生草本 | H | 冬枯 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 羊茅 | <i>Festuca ovina</i> | Feo | 多年生草本 | H | 冬枯 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 高山芒 | <i>Miscanthus sinensis</i> | Mis | 多年生草本 | H | 冬枯 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 臺灣三毛草 | <i>Trisetum spicatum</i> var. <i>formosanum</i> | Trsp | 多年生草本 | H | 冬枯 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 玉山箭竹 | <i>Yushania nitakayamensis</i> | Yun | 多年生木本 | G | 常綠 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 臺灣天南星 | <i>Arisaema formosanum</i> | Arf | 多年生草本 | G | 冬枯 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 厚唇粉蝶蘭 | <i>Platanthera mandarinorum</i> subsp. <i>pachyglossa</i> | Plm | 多年生草本 | G | 冬枯 | 1 | 1 | 1 | 1 |

1 Life history ; 2 Ptp-Q ; 3 Raunkiaer life-form; 4 leaf phenology.

表2. 雪山東峰火燒後4個時期調查樣區植物組成特性摘要

Table 2. Characteristic summary of vascular plants at 4 stages after fire

| 火燒調查時期 | F4 | F6 | F21 | F115 | 總計 |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|
| 物種數 | 27 | 33 | 32 | 33 | 43 |
| 總覆蓋(%) | 30.5 | 41.0 | 51.3 | 86.1 | |
| 覆蓋度(%) | 53.6 | 86.1 | 98.2 | 99.6 | |
| 植群平均高度(cm) | 19.9 | 27.3 | 51.8 | 72.9 | |
| 火燒/未火燒植群平均高度(cm) | 12.2 / 68.7 | 25.4 / 70.1 | 35.6 / 70.8 | 71.0 / 73.1 | |
| 多年生草本1 | 17 73.91 | 23 76.67 | 23 76.67 | 22 73.33 | 31 79.49 |
| 多年生木本1 | 6 26.09 | 7 23.33 | 7 23.33 | 8 26.67 | 8 20.51 |
| Pteridophytes2 | 4 14.81 | 3 9.09 | 2 6.25 | 3 9.09 | 4 9.30 |
| Phanerophytes3 | 3 11.11 | 4 12.12 | 4 12.50 | 5 15.15 | 5 11.63 |
| Chamaephytes3 | 11 40.74 | 16 48.48 | 17 53.13 | 15 45.45 | 23 53.49 |
| Hemicryptophytes3 | 5 18.52 | 5 15.15 | 5 15.63 | 5 15.15 | 5 11.63 |
| Geophytes3 | 4 14.81 | 5 15.15 | 4 12.50 | 5 15.15 | 6 13.95 |
| 常綠4 | 12 44.44 | 12 36.36 | 9 28.13 | 12 36.36 | 18 41.86 |
| 冬枯4 | 15 55.56 | 21 63.64 | 23 71.88 | 21 63.64 | 25 58.14 |
| Diversity H | 0.318 | 0.418 | 0.424 | 0.528 | |
| Evenness J | 0.195 | 0.256 | 0.260 | 0.323 | |

1 Life history ; 2 Ptp-Q ; 3 Raunkiaer life-form; 4 leaf phenology.

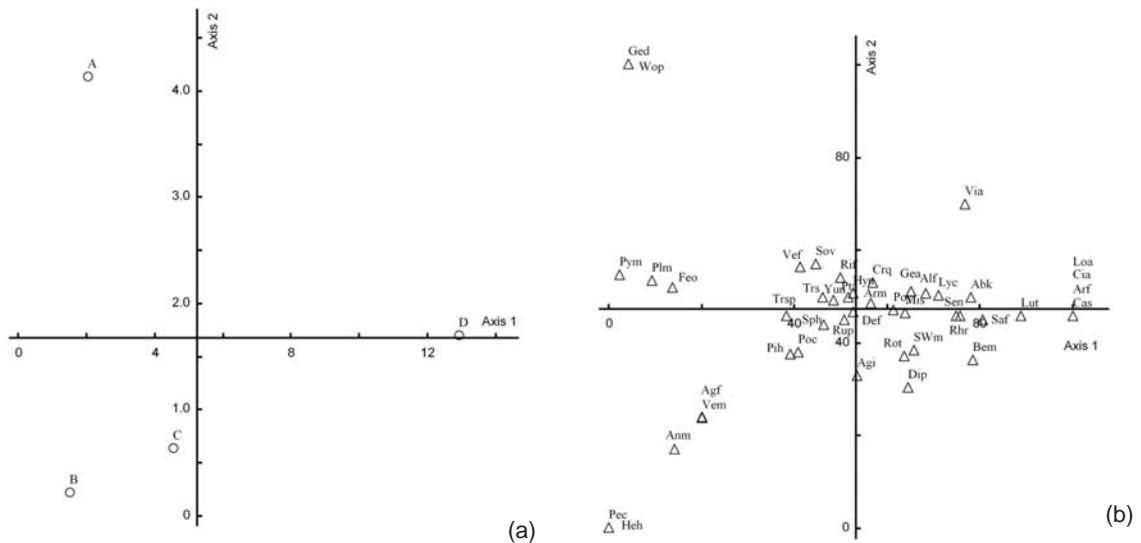


圖3. 雪山東峰草生地火後各時期DCA排序圖。(a) 草生地火後各時期排序圖；(b) 草生地火後各時期物種排序圖。A-D表示火後不同時期，分別為F4、F6、F21和F115；物種代號如表1。
Fig. 3. DCA ordination of (a) different periods and (b) species of subalpine grassland after fire of east peak of Mt. Shei.

火燒增加物種豐富度，通常在1年至數年後達到高峰(Denslow, 1980；曾喜育等，2010)。物種多樣性隨著植物社會火燒恢復時間的增加而有增加趨勢(表1)，在火燒後6個後物種數變化逐漸趨緩，此可能顯示隨火燒時間增加，生育地資源漸趨飽和，物種間競爭漸增，玉山箭竹、高山芒等優勢組成的優勢度有下降趨勢，此現象反映出種數-個體數分布亦逐漸趨向均勻(曾喜育等，2010)。火燒後物種豐富度增加的組成包含有入侵植物、因機會散布而來的先鋒樹種，以及一年生和多年生植物等不同生活史的物種(Vogl, 1974)。Overbeck *et al.* (2005)研究發現，在火燒後第1年的物種數、歧異度和均勻度顯著增加，顯示出物種在火燒後生育地快速的拓殖；具有小型種子的物種，或1-2年生植物通常在火燒後演替早期出現(Ghermandi *et al.*, 2004; Overbeck *et al.*, 2005)。

依Raunkiaer生活型劃分，雪山東峰草生地火燒後全部調查共出現43種植物計有5種挺空植物 (phanerophytes, P, 12.82%)、5種地表植物 (chamaephytes, C, 12.82%)、23種半地中芽植物 (hemicyptophytes, H, 58.97%)、6種地中植物 (geophytes, G, 15.38%)；火燒後種子植物之生活型組成比例與王偉等 (2010)、鄭婷文等 (2012)研究雪山主峰沿線3,000 m以上草生地之生活型譜 (life-form spectrum) 相似，均是以半地中芽植物佔最多數。火燒後4次調查的生活型譜變化不大，其中，挺空植物種類在火燒後的生育地建立相對較緩慢，一方面反映在高山惡劣環境下，木本植物種類組成較少，另一方面顯示木本植物在火燒後植群演替過程中相對

較緩慢出現(表1)。

本研究利用Sørensen相似性指數與Wilson β 多樣性指數了解雪山東峰火燒後植物種類之時序變化情形，結果顯示火燒後物種相似性逐漸升高，但在火燒後10年(F115)有降低趨勢(表3)；而Wilson β 多樣性指數則顯示在火燒後1年內(F4與F6)的則最高，隨著火燒後植群演替時間增加，Wilson β 多樣性指數呈現波動現象。此結果反映出在火燒後初期1年內，因生育地空間及資源的釋出，加上環境變動性較大，植物藉由萌蘖及種子傳播進入，部分植物因競爭與適應不良而死亡，致使物種轉換率增加(曾喜育等，2010)；在火燒後2年，環境漸趨穩定，物種轉換最小，而2次(F6 & F21)調查期間之物種相似性最高。隨著雪山東峰草生地火燒演替時間的增加，一些由土壤種子庫或其他鄰近地區種子散佈建之的植物逐漸建立，例如油薹、高山露珠草、臺灣地楊梅(*Luzula taiwaniana*, Lut)等(表1)，致使Wilson β 多樣性指數升高，相似性指數降低。

(二) 火燒後植群之回復

就覆蓋度量測而言，於F4時回復之植物已覆蓋樣區30.5%的面積，於F6時已覆蓋41.0%的面積，於F21時植群已覆蓋樣區51.3%的面積，至F115時已覆蓋樣區70.5%的面積(表2)；另就覆蓋度估計而言，於F4時回復之植物已覆蓋樣區53.6%的面積，於F6時已覆蓋86.1%的面積，於F21時植群已覆蓋樣區98.2%的面積，至火燒後約10年(F115)，回復之植群已幾乎完全覆蓋地表(99.6%)(表2)。比較上述覆蓋度之量測與估計值，可知對草生地之覆蓋度計算方式存在

表3. 雪山東峰火燒後4個時期之Sørensen相似性指數(左下)與Wilson β 多樣性指數(右上)

Table 3. Sørensen similarity index (bottom left) and Wilson β diversity index (top right) of subalpine grassland after fire of east peak of Mt. Shei.

| | F4 | F6 | F21 | F115 |
|------|------|------|------|------|
| F4 | | 0.40 | 0.51 | 0.47 |
| F6 | 0.80 | | 0.22 | 0.42 |
| F21 | 0.73 | 0.89 | | 0.34 |
| F115 | 0.77 | 0.79 | 0.83 | |

甚大的差異，其主要的差異來源是由於覆蓋度量測係以皮尺量測植物之覆蓋面積，但無法顯示同一覆蓋面積內植物生長之疏密程度，而覆蓋度估計則為以目視方式估測全部植物佔樣區面積之百分率；然由圖4可知，不論覆蓋度量測或估計值均顯示，火燒後植群之覆蓋度隨

時間而增加。

在火燒後22天(圖4a)玉山箭竹草生地之地上部殆被全數燃燒消失，但由於火燒發生日期為草生地乾枯的冬季，現場之觀察顯示其為燃燒快速之地表火，受土壤保護的玉山箭竹地下莖依然存活；在火燒後若逢雨水滋潤，即能由



(a)雪山東峰火燒後22天(2001-03-13)



(b)雪山東峰火燒後7個月(2001-09-21)



(c)雪山東峰火燒後21個月(F21; 2002-11-11)



(d)雪山東峰火燒後9年餘(F115; 2010-09-24)



(e)調查樣區火燒後22天(2001-03-13)之玉山箭竹草生地



(f)調查樣區火燒後7個月(2001-09-21)之玉山箭竹草生地

圖4. 雪山東峰火燒後之植群回復：(a), (b), (c) ,(d)為4個不同時期之火燒跡地；(e), (f)為調查樣區在火燒後玉山箭竹之回復

Fig. 4. Vegetation recovery after fire on east peak of Mt. Shei: (a), (b), (c) ,(d) The same scenery through 4 different stages. (e), (f) Recovery of *Yushania niitakayamensis* on the sample plot.

地下莖再度萌芽，快速回復植群；圖4b為火燒後7個月(因F6調查時下雨未拍攝)之雪山東峰植群影像，可知玉山箭竹等植物回復情形良好；至火燒後21個月(圖4c)，玉山箭竹草地之覆蓋與高度均有增加，此期時序已進入冬季，草地之地上部漸呈乾枯狀；圖4d攝於雪山東峰火燒後9年餘，從影像上及現地外觀已無法察覺玉山箭竹草地在2001年火燒前後之差異。另由調查樣區之近距離影像記錄來看，圖4e為火燒後22天，圖4f為火燒後7個月，由二者之差異明顯可知玉山箭竹草地在乾枯季發生火燒後能快速回復。

賴國祥&陳明義(1992)指出合歡山地區火後植物恢復以原有種類占較大優勢，火後7個月覆蓋度約28%，優勢物種為高山芒、巒大蕨及玉山箭竹，火後19個月覆蓋度可達85%。陳隆陞(1995)調查玉山塔塔加地區1993年1月火後植群演替，結果發現具地下莖的玉山箭竹和高山芒在火後萌發迅速，火燒6個月後覆蓋度可達65%。草地優勢植物對火燒通常有較大的適應性(Collins *et al.*, 1995; Collins & Glenn, 1997)。比較本研究與陳隆陞等(1993)在塔塔加森林火燒跡地之調查，其火燒後6個月之覆蓋估測值為65%以上，可知雪山東峰箭竹草地火燒後植群回復狀況較為快速；另2001年2月11-13日在環山地區之臺灣二葉松林亦曾發生火燒(林永發&邱清安, 2002)，比較兩地在火燒後之植群回復情形，雪山東峰箭竹草地火燒後植群之復原亦比環山松林火燒跡地更為快速，推測應是由於原有植群與枯枝落葉的差異，造成火燒之強度與持續時間的不同，進而影響火燒後植群之復原速度，亦即當箭竹草地發生地表火之後，其植群之回復較森林火後之回復更為快速。Eggers & Porto (1994) 亦提到草地在火燒後物種組成可以快速回復到未火燒的狀態，就像植被覆蓋可藉由主要組成物種的萌蘖快速回復一樣。

在植群回復之高度方面，火燒後10個樣區內植物之平均高度，於F4時為19.9 cm，於F6

時為27.3 cm，於F21時為51.8 cm，於F115時為72.9 cm (表3)；同時樣區No.6與No.8為火燒、未火燒各半之樣區，其平均高度於F4時分別為12.2 cm、68.7 cm，於第6個月分別為25.4 cm、70.1 cm，於第21個月分別為35.6 cm、70.8 cm，於第115個月分別為71.0 cm、73.1 cm。配合上述火燒後植群之覆蓋率回復結果，可知玉山箭竹草地在火燒後之覆蓋率回復較快，約2年即能回復其覆蓋，但植群之高度的回復則約須3年後才能接近火燒前之原有高度。

(三) 火燒後木本植物之更新

比較雪山東峰火燒後歷次調查資料，以及歷時9年餘之影像記錄(圖5)，可知雪山東峰火燒後木本植物更新狀態有(1) 玉山箭竹草地之火燒具有明顯的終止界線(圖5a)，即使是在距火燒邊緣1 m處的臺灣冷杉，因未受火直接燒傷，仍能存活(圖5b)，因玉山箭竹草地燃料量較少，可推論其火燒屬於低強度地表火。火燒地邊緣的臺灣冷杉經過9年餘觀察生長良好(圖5c)，原先於樣區No. 8內的4株臺灣冷杉已長至平均高度5.3 m，平均胸徑9.5 cm；(2) 玉山箭竹草地雖為地表火，但在火燒跡地範圍內臺灣冷杉不耐火燒，即便是成熟植株，在火燒時未立即死亡，但觀察發現其生長勢已逐漸衰退(圖5d)，由圖5d亦可看出受火燒傷之臺灣冷杉成株生長衰退，而其右下方未受火燒傷之冷杉稚樹則生長良好。木本植物的致死作用與樹種、樹徑、火燒強度、火燒季節等有關(呂金誠, 1990；陳明義&施纓煜, 1998；Engle *et al.*, 2000)；而裸子植物到火燒致死率通常大於闊葉樹(呂金誠, 1990；曾喜育等, 2010；Kennedy & Horn, 2008)；(3) 圖5e亦可發現臺灣冷杉稚樹不耐火燒而死亡，然在同一樣區內之褐毛柳(*Salix fulvopubescens*)之地上部在火燒後雖全數枯死，但經過7個月已可見其由地際多數萌蘖，玉山箭竹草地之褐毛柳殆呈叢生狀(圖5f)，應是週期性火燒所造成；(4) 經過9年餘在火燒跡地內仍未記錄到臺灣冷杉之幼苗，依賴國祥(1992)之估計，臺灣冷杉



(a) 樣區NO. 8火燒後22天(2001-03-13)，具明顯之火燒終止界線



(b) 樣區NO. 8火燒後7個月(2001-09-21)，玉山箭竹已近完全覆蓋



(c) 樣區NO. 8火燒後9年餘(2010-09-24)，已無法分辨火燒終止界線，臺灣冷杉平均高度達5.3 m



(d) 臺灣冷杉喬木2001年受火燒傷後，至2010年其被燒傷之樹皮已剝落，並漸顯生長勢衰退



(e) 火燒後7個月(2001-09-20)，前方臺灣冷杉已被燒死，後方褐毛柳地際萌蘖



(f) 火燒後21個月(2002-11-11)，褐毛柳生長良好，呈叢生狀

圖5. 雪山東峰火燒後之林木回復：(a), (b) and (c) 同一樣區內，火燒後之玉山箭竹快速回復，未遭火燒傷之臺灣冷杉生長良好；(d) 遭火燒後臺灣冷杉生長勢衰退；(e), (f) 調查樣區內較小之臺灣冷杉已被燒死，褐毛柳則從地際萌蘖

Fig. 5. Tree recovery after fire on east peak of Mt. Shei: (a), (b), (c) The same scenery of prosperous growth of *Abies kawakamii*. (d) Declining growth of *Abies kawakamii* suffered fire burns. (e) and (f) One burned dead *Abies kawakamii* small tree and the post-fire shoot recovery of *Salix fulvopubescens*.

入侵之入侵模式為一次長距離，在此距離內逐年建立多數苗木，待結實或形成林緣效應後，才再次長距離入侵，平均間隔年數約為36年；因此，可推論由2001-2010年間此地尚無臺灣冷杉下種更新，而由直徑級判斷，圖5a,b,c、圖5d右下方、圖5e前方之臺灣冷杉稚樹可能為同一時期所建立；(5) 在玉山箭竹草生地火燒跡地內之木本植物，除臺灣冷杉、褐毛柳外，亦可見許多玉山小蘗(*Sedum morrisonense*)，及不耐火燒而枯死之玉山杜鵑(*Rhododendron pseudochrysanthum*)。

四、結論

本研究綜合雪山東峰火燒後回復之植物種類、覆蓋度與高度、影像記錄，玉山箭竹草生地在火燒後約半年即可見大多數的植物種類重新進駐，且草生地在地表火之後，覆蓋之回復甚快，但植群之高度的回復則約須3年後才能接近火燒前之原有高度；然以玉山箭竹為優勢份子之植物社會，為演替過程中之亞極盛相群落，屬不安定之植群，如無火燒等重大擾動發生，長期而言，此處將朝臺灣冷杉組成的針葉樹林發展。

五、誌謝

本文部分資料來自第一作者於雪霸國家公園管理處自行研究計畫成果(No.9111)，承管理處補助調查經費及同仁與高山志工協助野外調查，特致由衷謝忱。

六、引用文獻

王忠魁 (1974) 臺灣高山草原之由來及其演進與亞極相群落之商榷。中央研究院生物研究中心特刊 4: 1-16。

王偉、邱清安、蔡尚憲、許俊凱、曾喜育、呂金誠 (2010) 雪山主峰沿線植物社會調查研究。林業研究季刊 32(3): 15-34。

呂金誠 (1990) 野火對臺灣主要森林生態系影響之研究。中興大學植物學研究所博士論

文。

林永發、邱清安 (2002) 環山與雪山東峰火燒後植群之變化。內政部營建署雪霸國家公園管理處九十一年度自行研究案報告。

林朝欽 (1992) 臺灣地區國有林之森林火分析 (1963-1991)年。林業試驗所研究報告季刊 7(2): 169-178。

林朝欽 (1993a) 玉山、太魯閣及雪霸地區國有林森林火災之研究。中華林學季刊 26(2): 51-61。

林朝欽 (1993b) 國有林大甲溪事業區之森林火災及防火線。林業試驗所研究報告季刊 8(2): 159-167。

林朝欽、黃清吟 (2006) 火燒干擾對森林生態系之影響與對策。林業研究專訊 13(5): 14-17。

邱清安 (2006) 應用生態氣候指標預測臺灣潛在自然植群之研究。國立中興大學森林學系博士論文。

柳楮 (1986) 竹類之形態與竹類群落之特性。現代育林 2(1): 20-26。

陳明義、施纓煜 (1998) 野火對環山、雪山地區植群影響之研究 II。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告。

陳隆陞、許重洲、陳道正、蘇志峰、江丁祥 (1993) 玉山塔塔加森林火燒跡地生態環境變遷及保育措施之研究。玉山國家公園管理處研究報告。

陳隆陞 (1995) 玉山塔塔加森林火燒跡地生態環境變遷及保育措施之研究。國家公園學報 6(1): 25-46。

陳源長 (1967) 臺灣之森林火災。臺灣銀行季刊 18(2): 329-360。

張金屯 (2011) 數量生態學(第二版)。科學出版社。

舒立福、田曉瑞 (1997) 國外森林防火工作現況及展望。世界林業研究 10(2): 28-35。

廖敏君、邱清安、歐辰雄、呂金誠 (2005) 雪山東峰玉山箭竹開花物候之探討。國家公園

- 學報 15(1): 29-44。
- 劉棠瑞、蘇鴻傑 (1983) 森林植物生態學。臺灣商務印書館。
- 劉業經、呂福原、歐辰維、賴國祥 (1984) 臺灣高山箭竹草生地之植物演替與競爭機制。中華林學季刊 17(1): 1-32。
- 賴國祥 (1982) 臺灣高山箭竹草生地之植物演替與競爭機制。國立中興大學森林研究所碩士論文。
- 賴國祥 (1992) 臺灣亞高山針葉樹林與草生地間推移帶動態結構之探討。國立中興大學植物學研究所博士論文。
- 賴國祥、陳明義 (1992) 合歡北峰臺灣二葉松林火燒後之植群與嚙齒類消長。中華林學季刊 25(2): 33-42。
- 鄭婷文 (2010) 雪山主峰東線步道維管束植物相之研究。國立中興大學森林研究所碩士論文。
- 鄭婷文、曾喜育、邱清安、劉思謙、王秋美、曾彥學 (2012) 雪山主峰東線步道維管束植物生活型之研究。國家公園學報 22(1): 41-51。
- 曾喜育、蔡尚惠、賴國祥、王偉、呂金誠 (2010) 第九章 高山生態系火燒與植群動態研究。歐辰雄、呂金誠 (2010) 雪山地區高山生態系整合研究。雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- 顏江河 (2011) 第三章 雪山地區主要林型菌根共生關係之研究。歐辰雄、呂金誠 (2011) 雪山地區高山生態系長期監測與研究。雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- 魏聰輝、林博雄 (2011) 第一章 高山微氣象與熱量收之研究。歐辰雄、呂金誠 (2011) 雪山地區高山生態系長期監測與研究。雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- Baker, P. J., Bunyavejchewin, S., and Robinson, A. P. (2008) The impacts of large-scale, low-intensity fires on the forests of continental South-east Asia. *International Journal of Wildland Fire*, 17, 782-792.
- Bell, D. (2001) Ecological response syndromes in the flora of southwestern Western Australia: fire reproters versus reseederers. *The Botanical Review*, 67(4), 417-440.
- Chiu, C. A., Lin, P. H., and Lu, K. C. (2009) GIS-based tests for quality control of meteorological data and spatial interpolation of climatic data: a case study in mountainous Taiwan. *Mountain Research and Development*, 29(4), 339-349.
- Collins, S. L. and Glenn, S. M. (1997) Intermediate disturbance and its relationship to within- and between-patch dynamics. *New Zealand Journal of Ecology*, 21, 103-110.
- Collins, S. L., Glenn, S. M. and Gibson, D. J. (1995) Experimental analysis of intermediate disturbance and initial floristic composition: decoupling cause and effect. *Ecology*, 76, 486-492.
- Denslow, J. S. (1980) Patterns of plant species diversity during succession under different disturbance regimes. *Oecologia*, 46 18-21.
- Eggers, L. and Porto, M. L. (1994) Phytosociological analysis of the effects of fire on a secondary grassland community. *Boletim do Instituto de Biociencias*, 53, 1-88.
- Engle, D. M., Palmer, M. W., Crockett, J. S., Mitchell, R. L., and Stevens, R. (2000) Influence of late season fire on early successional vegetation of an Oklahoma prairie. *Journal of Vegetation Science*, 11, 135-144.
- Ghermandi, L., Guthmann, N., and Bran, D. (2004) Early postfire succession in northwestern Patagonia grasslands. *Journal of Vegetation Science*, 15, 67-76.

- Huang, T. C., and Editorial Committee of the Flora of Taiwan (eds.) (2003) *Flora of Taiwan*, 2nd ed., Vol. 6. Department of Botany, Nation Taiwan University, Taipei, Taiwan, ROC.
- Kennedy L. M. and Horn, S. P. (2008) Postfire vegetation recovery in highland pine forests of the Dominican Republic. *Biotropica*, 40(4), 412-421.
- Körner, C. (1998) A re-assessment of high elevation treeline positions and their explanation. *Oecologia*, 115, 445-459.
- Körner, C. (2003) *Alpine Plant Life: Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems*. John Wiley & Sons, Berlin.
- Overbeck, G. E., Müller, S. C., Pillar, V. D., and Pfadenhauer, J. (2005) Small-scale dynamics after fire in South Brazilian humid subtropical grassland. *Journal of Vegetation Science*, 16, 655-664.
- Su, H. J. (1984) Studies on the climate and vegetation types of the natural forests in Taiwan (2) Altitudinal vegetation zone in relation to temperature gradient. *Quarterly Journal of Chinese Forestry*, 17(4), 57-73.
- Vogl, R. J. (1974) Effects of fire on grasslands. p. 139-194. In: T.T. Kozlowski and C.E. Ahlgren, editors. *Fire and Ecosystems*. Academic Press, New York, N.Y.