

應用環境指標萃取火燒潛勢區位之研究

謝巧柔⁽¹⁾ 蘇潘⁽²⁾ 林政侑⁽³⁾

摘 要

雪霸國家公園雪東步道自 1969 年起發生多起火燒事件，春冬兩季為火燒高峰期，主要係乾旱草地因人為用火不當所致，為高火燒潛勢區位。本研究目的係利用環境指標萃取樣區之火燒潛勢區位，先以 12 期衛星影像之常態化差異植生指標(NDVI)，經計算其標準差後，萃取樣區之草地空間分布，再藉由常態化多波段乾旱指標(NMDI)找出乾旱草地區位，可視為高火燒潛勢區位。另藉由 2001、2008 及 2014 年火燒事件之衛星影像，以常態化火燒指標(NBR)萃取火燒跡地，將其與高火燒潛勢區位相比對，顯示兩者區位之吻合度極高，可見藉由 NDVI 與 NMDI 能有效萃取火燒潛勢區位，冀提供防災單位實施減災策略之具體點位。

(**關鍵詞：**火燒、NDVI、NMDI、地形校正)

Extraction of Wildfire Potential Site Using Environmental Indices

Chiao-Jou Hsieh¹ Chuphan Chompuchan² Cheng-Yu Lin³

Graduate Student⁽¹⁾, Ph.D. Student^{(2), (3)}, Department of Soil and Water Conservation, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan, 402, R.O.C.

ABSTRACT

Wildfire events occurred more frequently since 1969 when the East trail of Mt. Xue opened up in the Shei-Pa National Park. Most of the wildfires were initiated from dry grass ignited by human activities. The purpose of this study is to extract wildfire potential sites through using satellite-derived environmental indices. By computing the standard deviation of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to obtain the grass spatial distribution, then using Normalized Multi-band Drought Index (NMDI) for grass moisture evaluation to identify the dry grass sites with high potential of fire ignition. In order to evaluate the accuracy of wildfire potential extraction, the potential sites were compared with the burned locations in 2001, 2008

¹ 國立中興大學水土保持學系碩士班研究生(通訊作者 e-mail:grace771209@gmail.com)

² 國立中興大學水土保持學系博士班研究生

³ 國立中興大學水土保持學系博士班研究生

and 2014 which detected by Normalized Burn Ratio (NBR) with satellite images. The goodness of fit of the comparison was high. The successful application of NDVI and NMDI for extracting wildfire potential sites is expected to provide precise location prediction for disaster reduction.

(Keywords: Wildfire, NDVI, NMDI, Topographic correction)

前言

國內森林火燒普遍屬人為因素引發，雖鮮少直接造成人員傷亡，但間接之森林資源損害、地貌改變等，仍是國土保安之疑慮。近年國內登山旅遊盛行，人為影響對自然環境造成嚴重衝擊；雪霸國家公園屬典型之高山型國家公園，境內雪東線(1969 年開闢)係熱門登山路線之一，尤以冬季為前往雪山主峰賞雪的路徑，吸引許多登山客前往(雪霸國家公園遊憩服務課，2014)；園區雖施行登山客承載量(carrying capacity)管制，但「無痕山林」觀念未普及情況下，仍會發生人為用火不當引發森林火燒之憾事。據雪霸國家公園管理處研究成果報告及相關前人文獻，該國家公園之雪東線沿線自1903年起至今，分別於(自入口處起)哭坡、雪山東峰、369 山莊及雪山主峰發生多起火燒，其中 369 山莊一帶經樹幹年輪追蹤，曾於1903~1904 年及 1957~1958 年間發生火燒，至

若於火燒重現性高的集水區內圈劃火燒潛勢區位，以提供防火策略實施之具體點位，如進行防火帶配置、敏感季節刈草等配套措施，便可降低火燒事件發生或是降低火燒嚴重度。然大面積山坡地監測受限於地形變化，致人力物力耗費極大，災害前後勘查不易。近年遙測技術之應用有效取代人力物力，其影像高解析度、涵蓋範圍廣與週期性拍攝之特點，有利於大面積環境監測分析。

近年 2008 年、2014 年分別再度發生(整理歸納於表 1)。

本樣區火三角除了戶外開放式空間之充足氧氣(Oxygen)外，其中之燃料因子可藉由火燒歷史事件點位配合樣區圖資得知；據國土利用調查圖資顯示，過去火燒現地之地覆以草地及針葉樹林居多(表 2)，其燃料特性亦有時間性的變化，根據林朝欽(1993)調查1963~1991 年間林務局森林火災紀錄內容顯示，雪霸國家公園林火發生高峰月份以 1~4 月最多，次數最少月份為 6、9 月，另外 11、12 月又呈現一年度之第二高峰時期屬較特殊之情形，係因大安溪比較乾燥之故。樣區植生會因冬季(12 月~翌年 2 月)日照量低、強烈季風吹拂致生長萎靡及植體乾燥，致燃燒條件極佳，而進入春季(3 月~5 月)屬植生萌芽階段，植生情況尚未良好穩定如夏秋季，故仍是發生林火之敏感季節。

本研究係以雪霸國家公園雪山區之億年橋集水區為研究樣區，利用多期衛星影像萃取環境指標：常態化植生差異指標(NDVI)，針對高變異區域進行季節性地覆改變分析探討，並進一步利用 NDVI 指數界定植生與裸地像元之門檻值，作為判讀常態化多波段乾旱指標(NMDI)指數特性之依據，以劃出符合該樣區燃燒條件之火燒潛勢區域。

表 1 雪東沿線歷年火燒事件

Table 1 The history wildfire events along the East trail of Mt. Xue.

火燒事件點位	火燒時間	事件概述
哭坡 (4.5K)	1963~1964 年	火燒時間推測自哭坡所採集到之鐵杉年輪 (陳明義、施纓煜, 1997)。
雪山東峰 (5K)	2001 年 2 月 18 日	起因為登山客燃燒垃圾, 風勢助長火勢引燃現地之二葉松與矮竹林, 引發森林大火 (黃曼瑩, 2001)。
	1903~1957 年	藉由當地存活之臺灣冷杉炭跡及年輪火燒痕跡推估出火燒時間(陳明義、施纓煜, 1997)。
	1957~1958 年	
369 山莊 (7.1K)	2008 年 12 月 18 日	登山客因不慎摔傷向外求援, 依消防人員建議施放狼煙標示位置, 結果失火不當, 火勢無法控制遂成森林大火 (張軒哲、蔡宗勳等, 2008)。
	2014 年 1 月 20 日	初估亦因登山客用火不慎所引起, 369 山莊部分建築受到波及 (黃千容、彭煥群, 2014)。
雪山主峰 (圈斗地區 9.8K)	1991 年 1 月 1~4 日	燒毀約 11 公頃之玉山圓柏灌叢及杜鵑類(陳明義, 1997)。

表 2 歷年火燒點位之燃料植生群

Table 2 Vegetation category of history wildfire events area.

火燒事件點位	地覆類別	植群帶	優勢物種
哭坡	草地、天然竹針闊葉混淆林	鐵杉雲杉林帶	臺灣鐵杉、高山櫟
369 山莊	草地、天然竹針闊葉混淆林	冷杉林帶	臺灣冷杉、玉山箭竹、高山芒
雪山東峰	草地、天然竹針闊葉混淆林	冷杉林帶	臺灣冷杉、玉山箭竹、高山芒
雪山主峰(圈斗)	草地、天然針葉樹純林	高山植群帶	玉山圓柏、玉山杜鵑

研究流程

藉文獻回顧選定火燒重現性高之億年橋集水區, 蒐集該樣區 2006~2008 年數值航照圖、2009 年國土利用資源調查圖、16 幅無雜訊之陸地衛星影像等相關圖資; 首先將樣區衛星影像進行輻射校正, 使影像數值免受大氣干擾且成一致性; 接著將數值高程模型 (DEM) 之坡度與坡向地形因子與影像日照因子, 以經驗式 b-correction 進行地形校正。另

外, 依據火燒歷史事件之燃料特性萃取常態化植生差異指標 (NDVI) 以及常態化多波段乾旱指標 (NMDI), 圈劃出火燒潛勢區位, 並將其與近年火燒事件點位進行疊合以驗證研究方法之有效性。

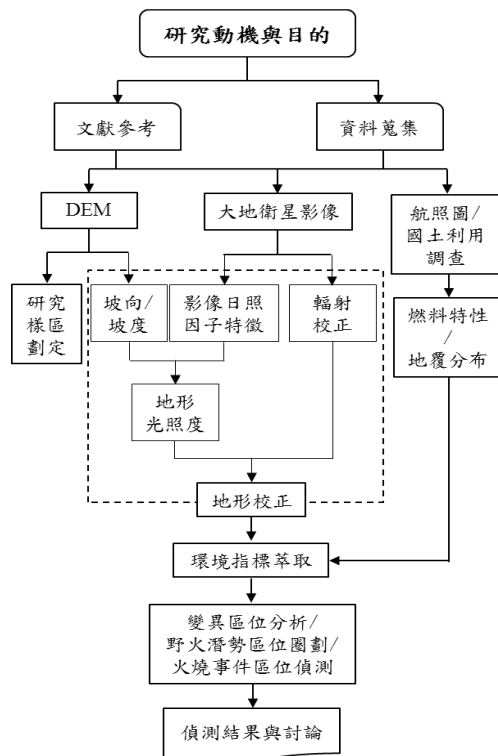


圖 1 研究流程

Fig. 1 The study flowchart.

研究樣區

億年橋集水區位於雪霸國家公園雪山區內，坐落於宜蘭、新竹、苗栗縣及臺中市交界之處；境內雪東線登山步道自 1969 年開闢，係雪山主峰向東邊稜線延伸之步道：由入口處武陵農場起，沿線之硬體設施與地標有：哭坡(4.5K)、七卡山莊(2K)、雪山東峰(5K)、369 山莊白木林(7.1K)、黑森林(9K)、圈斗(8.9K)至終點雪山主峰(10.9K)；因設有完善的路標指引及休憩設施，係相當熱門的登山路線；該路線之海拔以雪山主峰最高達 3886 m，與入口 2140 m 海拔高度落差 1746 m，地形起伏高。樣區氣候依陳正祥(1975)氣候的分類與分區，屬於溫帶重濕氣候及寒帶重濕氣候，

氣溫呈週期性變化，最高溫 7 月：8~12℃，最低溫 1 月：-1~3℃，雨量集中於夏季(魏聰輝、林博雄，2011)。

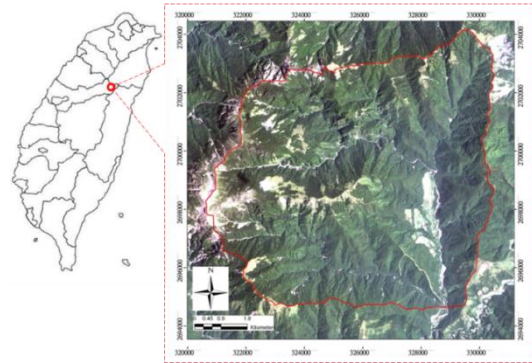


圖 2 研究樣區地理位置

Fig. 2 Location of study area.

材料與方法

1. 研究材料

首先利用內政部地政司提供之數值高程模型(解析度：30m×30m)擷取坡度及坡向地理因子，以進行樣區劃設及地形校正之地形光照度計算；另藉由 2008 年之國土利用資源調查圖取得樣區內林型資料與分布，以及藉由數值航照圖判釋地覆類別，以得知燃料特性與分布。

研究所使用之衛星影像由美國陸地衛星(Landsat TM、+ETM)偵測拍攝而得，自美國內政部地質調查所(USGS, U.S. Geological Survey)網站資料庫下載，均選用無雲層無雜訊之清晰影像，共計 18 幅(表 3)，解析度為 30m×30m，全部影像皆進行輻射校正與地形校正之資料前處理後，依下述之使用目的進行環境指標萃取：火燒前之潛勢分析—選用 2000~2004 年間 1~12 月共 12 幅影像，依據燃料特性進行環境指標萃取，分析高變異區位並圈劃火燒潛勢區位；火燒後之區位界定—

另依據近年(2008、2014 年)兩起火燒事件，使用火燒前、後共 4 幅影像以火燒指標(NBR)界定發生點位，與潛勢區位進行套疊驗證。

表 3 衛星影像拍攝日期

Table 3 Date of satellite imageries taken.

使用目的	日期	
火燒前— 火燒潛勢 區位圈劃	2001-10-24、2001-11-24、 2002-01-04、2002-02-21、 2002-03-01、2002-07-23、 2002-08-24、2003-04-29、 2003-09-28、2003-12-01、 2003-05-31、2004-06-26	
	2006-12-25	2009-01-15
	2010-12-20	2014-01-29
火燒後— 火燒事件 區位偵測	2006-12-25	2009-01-15
	2010-12-20	2014-01-29

2. 衛星影像之地形校正

因樣區內山巒起伏，地形效應大，地覆光學反射率會受坡度及坡向影響，感測器接收之輻射值將與平地有所差異(田應平，2010)，尤以冬季太陽高度角易低於 45°，常與樣區部分坡度相同甚至更低，致使反射光譜接收失真，無法準確提取影像資訊，故於影像分析前進行地形校正。常用之地形校正方法主要分為經驗式校正(Empirical approaches)、朗伯體校正(Lambertian methods)與非朗伯體校正(Non-Lambertian methods)三類；若太陽高度角與坡度相等時，易使朗伯體與非朗伯體之公式中分母之餘弦函數等於零，導致其值無意義(Not a number)，惟經驗式的 b-correction 公式(Vincini et al., 2002)無分母為零之問題，並建議使用 b-Correction 法時，可見光(Visible light)波段採用下列式：

$$L_m = L \cdot \exp[b \cdot (\cos \theta - \cos i)]$$

紅外光(Infrared)波段則採用下列式：

$$L_m = L + (b + x) \cdot (\cos \theta - \cos i)$$

式中 L_m 為地形校正後之輻射值； L 為地形校正前之輻射值； θ 為坡度角； i 為太陽入射角； x 為 $L - (a + b) \cdot \cos i$ ； $a + b$ 與 $\cos i$ 線性迴歸方程式之截距與斜率。

3. 變異區位分析及火燒潛勢區位圈劃

山區大面積地覆之調查藉由衛星影像科學量化處理，可省時省力地獲取樣區環境資訊。環境指標便是根據影像中地物物理特性反射之光譜特徵，由差異甚大或是極穩定的 1 至 3 個波段進行差值運算所組合而成，較單一波段更能具體辨識地物

(1) 常態化差異植生指標 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)

NDVI 為多數研究調查綠色植被之植生指標，以檢定地表植生覆蓋情況及生長良窳情形；指標原理為太陽輻射照射下，植物葉綠素吸收紅光波段(Red, R, 0.63-0.69 μ m)，並反射近紅外光波段(Near Infrared, NIR, 0.77-0.90 μ m)，隨著植物光合作用的旺盛，會吸收越多紅光，但植物若生長靡弱，情況則反之。NDVI 便是利用此生物物理特性，算取兩波段之差值，以顯示植物生長狀況信息以及分布，計算公式如下：

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

(2) 常態化多波段乾旱指標 (Normalized Multi-Band Drought Index, NMDI)

NMDI 計算使用之波段為近紅外光以及兩段不同波長之短波紅外光 (Short-wave Infrared, SWIR1, 1.55-1.75 μ m; SWIR2, 2.09-2.35 μ m)，原理係因良好植生、乾燥植生與裸地地覆之近紅外光(NIR)反射數值相近，但短波紅外光 1(SWIR1)反射值漸有差異，

短波紅外光 2(SWIR2)反射值差異更甚，利用不同地覆之不同地覆波段反射差異進行差值計算，便可展示出植生與土壤之相對濕度，用於提供乾旱嚴重度參考依據。但因植生與裸地像元之乾旱指數呈現為反向線性關係，故在 NMDI 指數分析使用前須先將兩類地覆劃分開來，避免混淆誤判，之後 NMDI 指數依據 Wang & Qu et al.(2008)建議之指數乾旱分級表(表 4)作分類；其公式表示如下：

$$NMDI = \frac{NIR - (SWIR_1 - SWIR_2)}{NIR + (SWIR_1 - SWIR_2)}$$

表 4 NMDI 指數乾旱分級(Ling Wang et al., 2008)

Table 4 Drought level of NMDI.		
植生像元	裸地像元	特性
<0.2	0.7~0.9	極度乾燥
<0.4	>0.5	乾燥
0.4~0.6	0.3~0.5	濕潤
>0.6	<0.3	極度濕潤

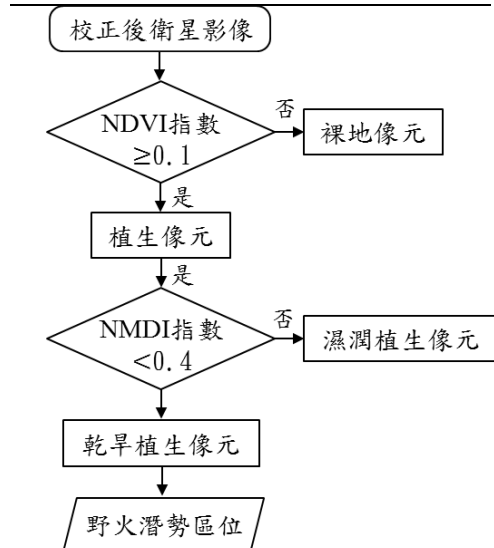


圖 3 火燒潛勢區位萃取流程圖

Fig. 3 Flowchart of wildfire potential site

extraction.

為進行本研究之火燒潛勢區位圈劃，選用適性之常態化差異植生指標(NDVI)與常態化多波段乾旱指標(NMDI)；首先藉由 NDVI 了解樣區植生分布與生長情形，並藉由多期影像之標準差能進一步監測植生消長情形，從地覆之改變瞭解該樣區土地利用變遷與植群類別，將觀察之高變異區位空間分布進行取樣分析，以探討該區位之變異原因。

接著以 NDVI >0.1 門檻值劃分而出之植生像元，萃取乾旱指標 NMDI 予以分級乾旱嚴重度，將乾旱植生特性之高火燒潛勢區位圈劃而出(圖 3)。

4. 火燒區位偵測與精確度評估

(1)常態化火燒指標 (Normalized Burn Ratio, NBR)

NBR由 Lopez & Caselles 於 1991 年提出，使用了近紅外光(NIR)及短波紅外光(SWIR2)，構造原理在於使用不同地覆、但相似穩定之 NIR，與不同地覆但反射量差異極大之 SWIR2 進行差值運算；目的在於偵測經火燒後地覆強烈改變之區位，而非僅有植生分布情況，計算公式如下：

$$NBR = \frac{NIR - SWIR_2}{NIR + SWIR_2}$$

Key & Benson(2006) 在研究內指出美國西岸某場火燒事件後 NIR 反射量減低，SWIR2 反射量升高，其改變幅度是整體波段內最大的，故此波段之組合能提供火燒前後最佳區別效果。其後配合 Key & Benson (2006) 提出之 dNBR (difference NBR)，利用火燒前 NBR 值減去火燒後 NBR 值，以具體量化出環境受火燒干擾的變化情形，計算式如下：

$$dNBR = NBR_{prefire} - NBR_{postfire}$$

計算結果參考表 5(Key & Benson, 2006)，當計算值落於 0.270~0.439，顯示該網格火燒程度屬中低嚴重度，值越大則表示火燒程度越嚴重。火燒影響範圍則以此界定而出。

表 5 火燒嚴重度分級表(Key & Benson, 2006)

Table 5 Level of dNBR wildfire severity.

火燒嚴重度	dNBR 值
未火燒	-0.100~0.099
低嚴重度	0.100~0.269
中低嚴重度	0.270~0.439
中高嚴重度	0.440~0.659
高嚴重度	0.660~1.300

(2)精確度評估

表 6 誤差矩陣表(Fielding, 1999)

Table 6 Error Matrix

Classification class (分類項目)	Observation (火燒區位偵測)	
	Present (+)	Absent (-)
Prediction Present (+) (火燒潛勢)	<i>a</i>	<i>b</i>
Absent (-)	<i>c</i>	<i>d</i>
Correct classification rate (整體正確率)	$\frac{(a + d)}{n} \times 100\%$	

註： $n = a + b + c + d$

火燒潛勢區位之萃取結果需與實際火燒區位之偵測結果進行精確度評估，以判斷萃取方法是否符合需求。研判方法以誤差矩陣(表 6)算取整體正確率，作為精確度評估之依據。將火燒潛勢與實際火燒區位之呈現各分為「有(Present)」、「無(Absent)」兩類，計算

其相對像元個數，將其中之 *a* 與 *d* 數值相加除以總類別數 *n*，推算出正確分類率。

結果與討論

1. 地形校正

因研究樣區屬高海拔山區，地勢起伏強烈所造成之地形效應將改變地表反射能量，影響正確資訊的提取，故地形校正此一前處理步驟，將使後續環境指標萃取更為精確。

在此以環境指標 NDVI 指數呈現校正前後差異；為反映出顯著的校正前後差異，特選取太陽高度角較低之冬季影像(拍攝日期 2002-01-04)；冬季日照軌道係由東南往西南方向，為討論因太陽高度角與坡度角影響地表反射量變化，劃設一南北向剖面線以萃取指數，若劃設東西向剖面線，則因向陽或背陽條件相同而無顯著差異供比對。

圖 4 左為剖面線 A-A' 由北至南劃設於樣區之相對位置，黃色框線則是以步道稜線為中軸，向南、北面坡各拓展約 2 km² 之取樣面積。圖 4 之(1)為 A-A' 與 a-a' 剖面線之相對高程與校正前後之 NDVI 指數，因 a-a' 段係背陽坡面，地表反射量受山岳陰影覆蓋影響最為嚴重，故校正前後之 NDVI 指數差異顯著，劃線所及之處，NDVI 指數落差最高可達 0.64。另圖 4 之(2)為指數落差較顯著區域之正射航拍影像以及校正前後之 NDVI 指數分布影像，該區域之植生除步道稜線附近為草生分布外，其他均為植生情況良好之林地分布，但在未校正前之影像，背陽坡之 NDVI 指數多數落於 0.2，依 Weier & Herring(2000)之指數相對地覆分級，已歸類於草生地，明顯與地真不符，然校正後影像之

NDVI 指數萃取則已無陰影覆蓋之影響，資訊提取較為正確，指數較符合地真。

2. 變異區位分析

單一 NDVI 影像能即時監測植生分布與生長訊息，但卻無法得知地覆之改變特性，例如植群之消長以判定植群結構或是土地利

用之判定；然藉多期 NDVI 影像之標準差計算，可觀察樣區變異空間之分布。

透過前言之研究報告與相關文獻彙整，該樣區之燃料分布可藉由 12 期影像之 NDVI 標準差，進行地覆類別及其季節性變化加以劃分而出。

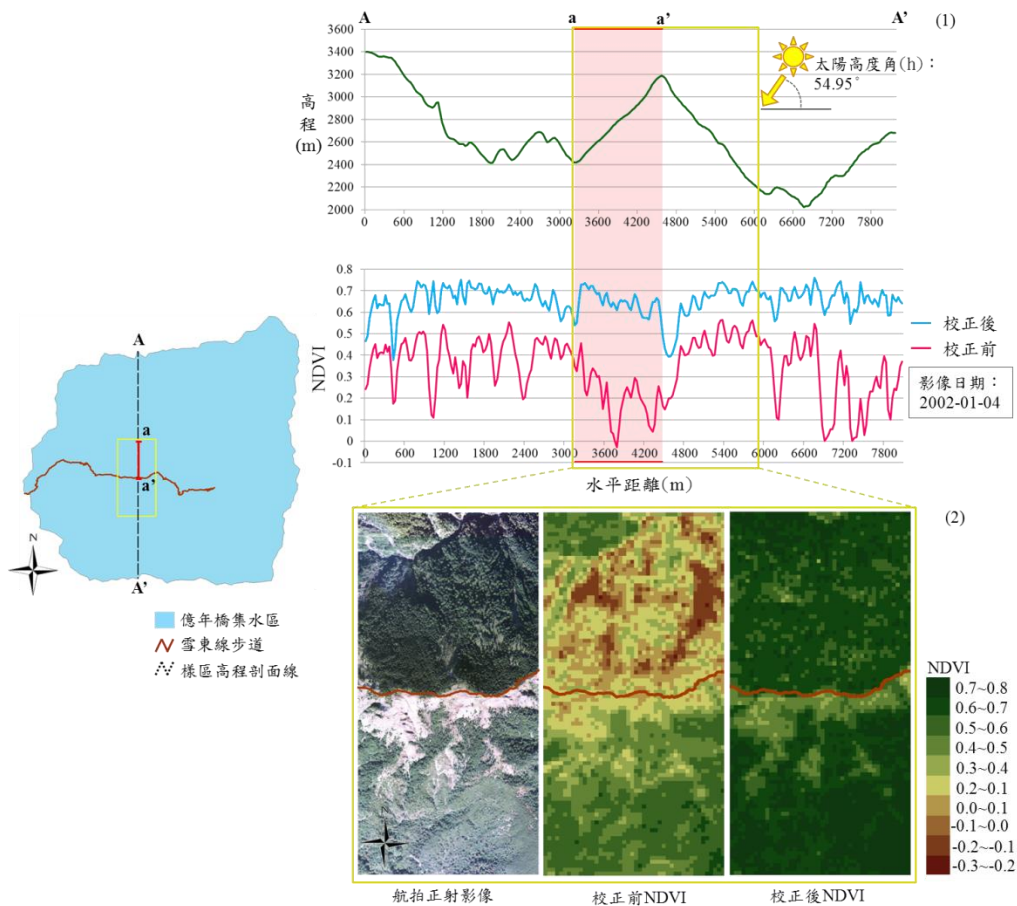


圖 4 地形校正前後之 NDVI 指數：

(1)高程及相對之 NDVI 指數曲線；(2)樣區正射影像及相對之 NDVI 指數影像

Fig 4 NDVI variation affected by the topographic effect:

(1) The elevation and the NDVI variation curves of A-A' hatching. (2) Aerial photo and the corresponding NDVI pre & post topographic corrected.

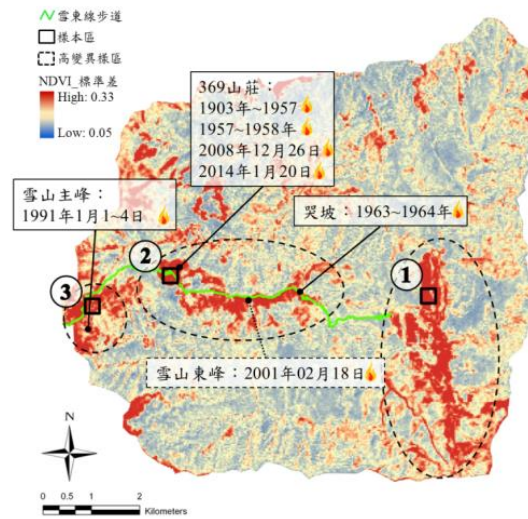


圖 5 NDVI 標準差高變異區位之相對火燒歷史事件

Fig. 5 High variations of NDVI standard deviation and the corresponding history wildfire events

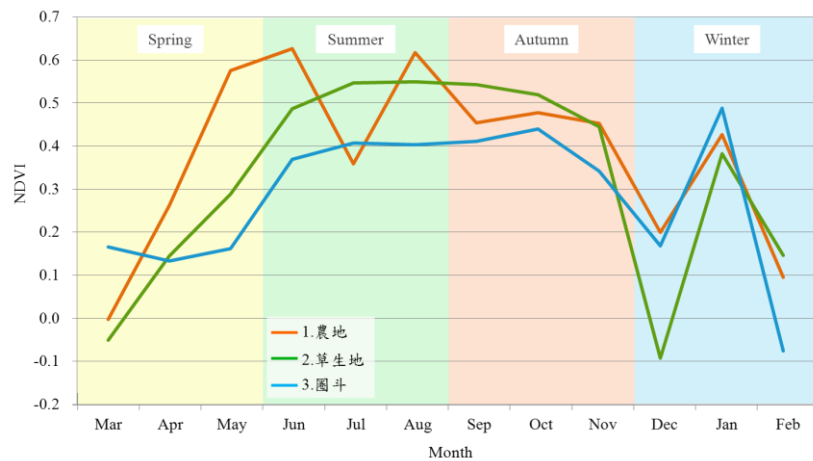


圖 6 NDVI 季節性變異

Fig. 6 Seasonal variations of NDVI

首先由 NDVI 標準差影像(圖 5)判釋高變異區位，變異數值高低之像元色塊變化由紅至藍色展示；變異較低之區位經航拍圖判釋，多為植生穩定良好的林地組成，變異較高之區位，主要由農地、草生地及圈斗(圖 5 虛線圈，由右至左數字編碼)所組成，於三處各取

300m × 300m 範圍作檢視樣本，藉 12 個月之 NDVI 指數曲線(圖 6)以探討該區位之變異原因，依編號分別敘述如下：

(1) 農地：

七家灣溪沿岸之武陵農場所在地，早期為高山開墾農地，近 90 年代為配合國土保育

政策及觀光產業發展，逐漸轉型為農業結合觀光產業經營，並同時兼顧生態保育。現經濟作物多種植茶葉、高山蔬菜及果樹，亦有景觀植物櫻花樹、楓樹等，指數特性變異與之相關；取樣區恰為茶園，四季皆有採收作業，尤春、秋季採收之茶葉品質較優良、市場價格高，於 4、8~10 月前後採集，係茶農較注重的採收高峰期(長興茶行，2013)。

(2)草生地：

樣本區落於登山步道雪東線之草生路段，範圍涵蓋 369 山莊及其後方草坡，以草本與灌叢植生為主，於初春與冬季時植生指數低落，隨日照量漸升植物生長狀況越趨良好，夏、秋季植生最為良好旺盛(王偉等，2010)。

(3)圈斗：

雪霸國家公園一號圈斗所在地，係全臺規模最大之圈斗地形；現地地覆為裸石覆土及以草本植物與灌叢為主之植群，消長趨勢與第 2 樣區相似，但因整體樣區海拔較高且植被較稀疏，指數來得較低，另冬季 2 月受覆雪影響致指數驟降(林政侑，2012)。

根據上述的各高變異樣區之探討，第 1 樣區屬國家公園一般管制區之農地，變異主因為農作採收行為，故不屬研究範疇；2、3 號樣區屬國家公園之生態保護區，且有相對位置之火燒事件發生紀錄，該區域之地覆於敏感季節內極度符合燃燒條件：草生地為主，鄰近灌叢次之，植體水分較高之喬木燃燒條件則較低。此結果顯示利用 NDVI 標準差判讀衛星影像，據初步篩選環境敏感區位，以利進一步檢測地覆變異特性之效益。

3. 火燒潛勢區位圈劃

經歷史火燒資料彙整，該樣區火燒點位之地覆多為草生地及鄰近灌叢，發生季節多於春、冬季，故分析作業之時間尺度，將 1~12 月共 12 幅影像分類為四季進行(春：3~5 月；夏：6~8 月；秋：9~11 月；冬：12 月~翌年 2 月)。

本研究火燒潛勢區位圈劃方式，係由 NDVI 0.1 指數界定植生與裸地像元，依據 John Weier 等(2000)針對 NDVI 指數之相對地表分類，門檻值 0.1 用以界定植生與裸土，當像元 NDVI > 0.1，則歸類於植生像元，包含了草生、灌木、喬木等植體，NDVI ≤ 0.1 之像元則歸類於裸地。接著將植生像元內之 NMDIveg 指數依 Wang & Qu et al. (2008)所提出之乾旱指數分級表予以分級乾旱程度，NMDIveg 值域由 0 到 1 組成，值越低代表乾旱較嚴重，而 NMDIveg < 0.4 之像元表植生乾旱程度為一般乾旱致嚴重乾旱，予以定性圈劃火燒潛勢區位。

萃取後之影像(圖 7)呈現，夏季因植生水體含量高，草生地與林地日照充足、生長情況良好，燃燒條件較差，並無火燒潛勢像元(NMDIveg < 0.4)分布其中；秋季於 369 山莊後方草坡之植群主要由高山芒與玉山箭竹，因受氣候影響，植體含水量低已漸枯萎，故有些微火燒潛勢像元分布其中；春、冬季之火燒潛勢像元(NMDIveg < 0.4)最多，且廣布於樣區之草生地與農地，春季則些微分布於圈斗區。

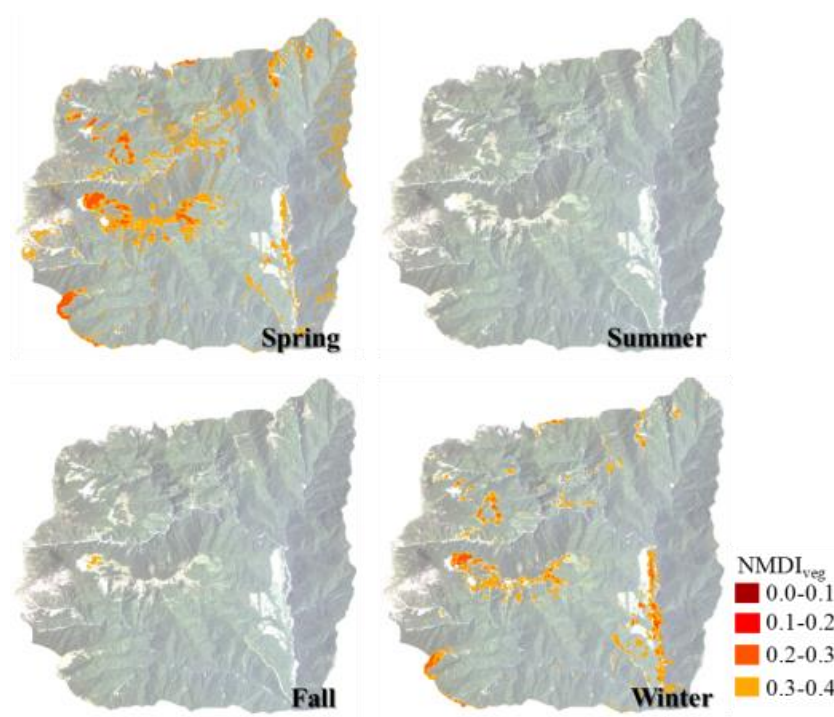


圖 7 四季火燒潛勢區位

Fig. 7 Seasonal variations of wildfire potential sites.

4. 火燒事件區位界定與套疊

本研究樣區之雪山東峰於 2001 年 2 月 18 日年發生火燒，另 369 山莊後方草坡分別在 2008 年 12 月 18 日及 2014 年 1 月 20 日因人為用火不慎引發火燒事件，然火燒範圍並無實際量測數據，本研究藉由環境指標 NBR 進行影像相減，以偵測出火燒發生範圍；因 NBR 使用 SWIR2 波段，能偵測綠色植生與乾燥植生之水體含量差異，故以火燒前後 dNBR 相減之強烈像元變化，以指數之分級界定火燒跡地範圍(圖 8)。

本研究分別為三起火燒事件進行火燒區位界定，利用火燒事件前、後之衛星影像(時距為 1~3 個月)萃取 NBR 值，進行相減得 dNB

值，參考 Key & Benson (2006) 提出之火燒嚴重度分級表，將 dNBR 值 ≥ 0.27 相當於中低嚴重度之像元界定為火燒區位。

表 7 誤差矩陣表之分類結果

Table 7 Evaluation result of the error matrix

Classification class (分類項目)		Observation (火燒區位偵測)	
		Present (+)	Absent (-)
Prediction (火燒潛勢)	Present (+)	485	8018
	Absent (-)	23	71075
Correct classification rate (整體正確率)		89.9%	

界定而出之火燒區位與火燒潛勢區位精確度評估結果為 89.9%(表 7)，顯示火燒潛勢區位與實際火燒區位疊合程度極高，僅些許像元超出邊界；而整體火燒範圍未超出邊界，係因非潛勢區位之植生植體較濕潤，致燃燒

風險降低，且有緩解火勢之特性。此套疊結果顯示，依據該樣區之歷史火燒事件所彙整而出之燃料特性應用於環境指標門檻值界定上，可有效的劃分區火燒潛勢區位。

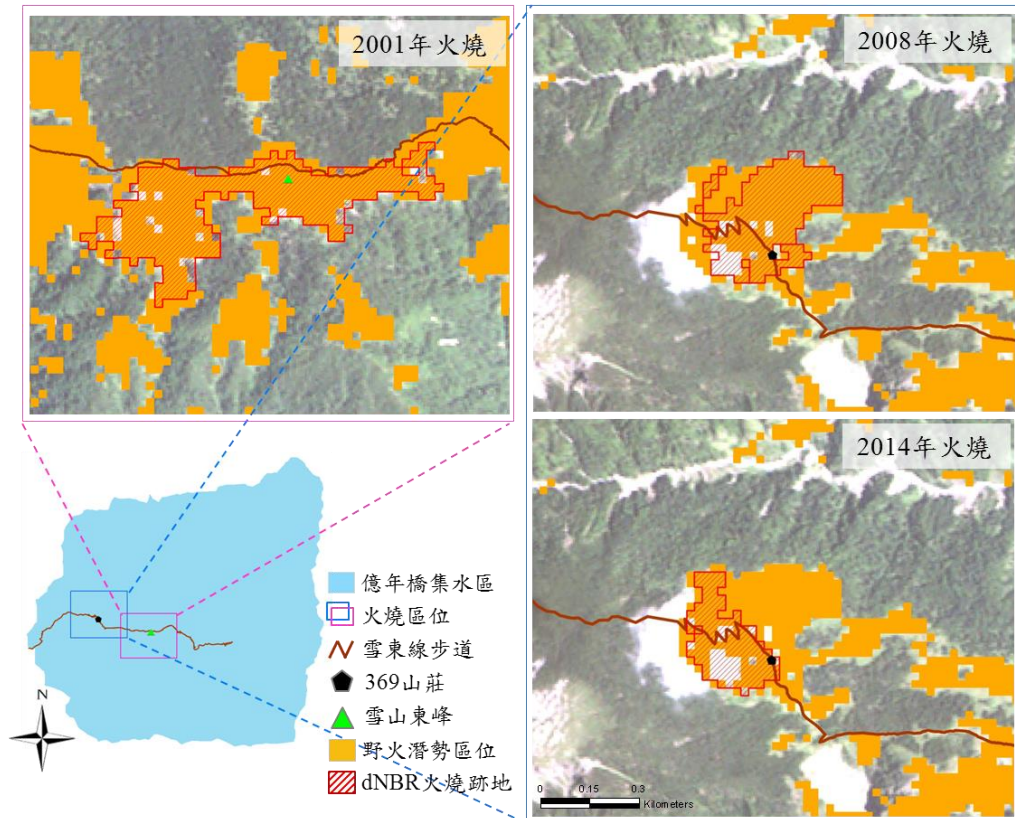


圖 8 火燒區位界定示意圖

Fig 8 Schematic diagram of wildfire identification

結論

雖春、冬季之火燒潛勢像元分布於整體樣區之草地，但在人為可及因子影響下，大幅提高了火燒發生之風險，2001、2008、2014 年三起近年火燒均發生於雪東延線，雖未造成人員傷亡，但火燒波及範圍之植群均被燒毀，地貌遭改變，森林資源損失慘重，

火燒週期之長短對生態系養分循環有其影響，但在短週期火燒情況下，對於該樣之灌叢草生地的物種生存、更新演替、生態系健康等的影響仍有待進一步探討(曾彥學、曾喜育，2014)。另火燒皆波及 369 山莊此等硬體設施，除了損害公財之虞，因燃燒區位在步道周圍，將持續擴大人為活動造成之生態影響與衝擊；據林政侑於 2012 年執行之現地田野調查，當

地植群多為火燒適存禾本科植物：玉山箭竹與高山芒，其適應乾燥氣候以及火燒後快速生長之特性，將持續為高潛勢火燒之隱患，另禾本科植物入侵火燒跡地後，因根系填滿土壤孔隙，致水源涵養能力變差、地表植生於冬季時會變得較乾旱，亦會提高火燒發生之風險；經逐次火燒事件的發生，火燒適存植生的範圍擴增，會迫使臺灣冷杉木、鐵杉等木本植群帶退移，除林木資源受損外，亦將會提高火燒範圍擴大之風險。

藉由遙測技術之大面積偵測，以環境指標常態化植生標 NDVI 與常態化多波段乾旱指標 NMDI 萃取火燒潛勢區位，冀能提供相關單位防火策略之具體實施點位以及範圍；高海拔國家公園之林火發生，主因係人為因素，相關單位需加強登山客教育宣導，降低用火對環境的衝擊，全民攜手合作方能遏止森林火燒對環境衝擊之惡性循環。

本研究以季節為時間單位進行環境指標偵測火燒潛勢區位，係經由樣區之歷史火燒事件推估高敏感時節，故掌握較佳之分析時間尺度，無須以單一影像分別萃取，較省時省力。常態化多波段乾旱指標萃取屬傳統感測器測得之影像應用，因感測器偵測波段數較少的緣故，非常適宜低成本研究之使用，但陸地衛星所提供之影像時間解析度較長，且影像品質較不穩定，故須慎選影像使用。

參考文獻

1. 王偉、邱清安、蔡尚惠、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，第三十二期，第三卷，第 15-34 頁。
2. 田應平(2010)，「山區森林影像地形校正：MVECA 法的嘗試」，國立臺灣師範大學地理研究所碩士論文。
3. 林政侑(2012)，「應用環境指標劃定集水區地覆類別及熱點區位監測之研究」，國立中興大學水土保持學系研究所碩士論文。
4. 林朝欽(1993)，「玉山、太魯閣及雪霸地區國有林森林火災之研究(1963-1991年)」，中華林學季刊，第二十六卷，第二期，第 51-61 頁。
5. 長興茶行(2013)，「茶葉採收季節」，長興茶行網站，<http://www.sumusen.com.tw/article.php?id=412>。
6. 張軒哲、蔡宗勳、余雪蘭、張文川(2008)，「生狼煙求援 燒毀 4 公頃森林」，自由時報新聞網，<http://news.ltn.com.tw/news/life/paper/267022/print>。
7. 陳正祥(1957)，「氣候之分類與分區」，林業叢刊，第七號，國立臺灣大學農學院實驗林。
8. 陳明義、施纓煜(1997)，「野火影響環山與雪山地區植群之研究(I)」，內政部營建署雪霸國家公園管理處八十六年度研究報告。
9. 雪霸國家公園遊憩服務課(2014)，「雪東線路線介紹」，雪霸國家公園網站，<https://www.spnp.gov.tw/default.aspx?lang=1>。
10. 曾彥學、曾喜育(2014)「雪山高山生態系生態健康指標調查」，內政部營建署

雪霸國家公園委託辦理報告。

11. 黃曼瑩(2001),「雪山大火/東峰森林延燒 10 公頃 火勢可望控制」, NOWnews 今日新聞網, <http://www.nownews.com/2001/02/19/738-370131.htm>。
12. 顏添明、吳景揚(2004),「南投林區林火影響因子之探討」, 林業研究季刊, 第二十六卷, 第一期, 第 47~60 頁。
13. 魏聰輝、林博雄 (2011),「雪山高山微氣象與水量與熱量時空分布特性」, 內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告, 第 35 頁。
14. Fielding, A.H.(1999). “How should accuracy be measured?” In: A.H. Fielding, Ed, Machine Learning Methods for Ecological Applications, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: p. 209 – 223.
15. Key, C.H., and Nathan C. Benson(2006). “Landscape Assessment (LA).” Sampling and Analysis Methods (CD-ROM), USDA Forest Service Gen., Tech., Rep., RMRS-GTR-164-CD
16. Vincini, Massimo., David Reeder and Ermes Frazzi(2002), “An Empirical Topographic Normalization Method for Forest TM Data,” IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 40(11): 2586-2590.
17. Wang, Lingli and John J.Qu(2007), “NMDI: A Normalized Multi-band Drought Index for Monitoring Soil and Vegetation Moisture with Satellite Remote Sensing,” Geophysical Research Letters, Vol. 34, L20405: 1-5.
18. Wang, Lingli., John J. Qu and Xianjun Hao(2008), “Forest Fire Detection Using the Normalized Multi-band Drought Index (NMDI) with Satellite Measurements, ” Agricultural and Forest Meteorology, 148: 1767-1776.
19. Weier, John and David Herring(2000), “Measuring Vegetation (NDVE & EVI),” NASA Earth Observatory website: <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/>.

104 年 06 月 18 日收稿

104 年 06 月 27 日修改

104 年 06 月 29 日接受