

研究報告

應用植物生理特徵推估新化林場大葉桃花心木面積

蔡正一¹ 呂俊廷² 馮豐隆³

【摘要】本研究主要目的為利用SPOT 5多光譜衛星影像與土地利用型圖，推估新化林場大葉桃花心木(簡稱大桃)面積。每年3月底至4月初，大桃有在極短時間內完全落葉，並在1至2星期內快速發芽的植物生理特徵，此物候現象造成影像光譜產生明顯變異，故研究計算兩期SPOT 5衛星影像的常態化植生指標(normalized difference vegetation index, NDVI)值與進行影像差異演算法，得到現況與變遷資料，以2009年的土地利用型為依據設定大桃門檻值，推估大桃分布與面積。為確認分類結果適合性，研究以永久樣區(36個)與臨時樣區(148個)做地真，計算整體分類準確度與Kappa統計值。結果顯示，單以多時期SPOT 5影像計算大桃面積，會有高估情形產生，整體分類準確度約63.58%(Kappa值0.28)，可能係外在環境或其他植物生理特徵影響光譜，故研究將土地利用型圖納入分析，將非植生或無大桃區域去除後，分類準確度提升至85.87%(Kappa值0.71)，屬分類良好的結果。研究也發現，林分邊界產生的混淆像元，以及林分密度太低區域會降低分類結果。如果使用者可以準確掌握大桃的落葉與萌芽時間，配合此法可在短時間內，將大面積的大桃於混淆林中選取出來，減少調查所需之人力與物力。

【關鍵詞】SPOT 5多光譜衛星影像、植物生理特徵、大葉桃花心木、常態化植生指標、光譜變異

Research paper

Application of Plant Physiological Mechanism for the Estimation of the Big-leaf Mahogany (*Swietenia macrophylla*) Area in Hsin-Hua Experimental Forest Station

【Abstract】The main purpose of this study is using SPOT 5 multi-spectral satellite images and a land-use map to estimate the distribution of big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla*) in Hsin-Hua Experimental Forest Station. Mahogany has a specific mechanism, which was completely deciduous and germinates during a short period around March or April each year. This mechanism made the spectral variance. We collected two periods SPOT 5 images and obtained status and change of Mahogany with normalized

1. 國立中興大學森林系博士班研究生

Ph.D., Department of Forestry, National Chung Hsing University

2. 國立中興大學森林系碩士班研究生

Graduate Student, Department of Forestry, National Chung Hsing University

3. 國立中興大學森林系教授，通訊作者

Professor, Department of Forestry, National Chung Hsing University, Corresponding author ,e-mail: flfeng@nchu.edu.tw

difference vegetation index (NDVI) and image differencing algorithm. The training areas were chosen based on land-use map to set the ranges of threshold. We compared the classification results with ground truth (temporal and permanent sample plots) to determine the accuracy assessment. The results showed that it was not suitable to estimate the Mahogany area with SPOT images only (the overall accuracy was 63.58 % and *Kappa* coefficient was 0.28). After we removed the non-vegetation and no mahogany areas accorded to the landuse map, the overall accuracy increased to 85.87 % and the *Kappa* coefficient became 0.71. The reason might be the change of environmental factors and other physiological characteristics made the spectral variance either. The results also showed that the stand neighbor could reduce the overall accuracy, and the method was could not be used in the lower density stand. If we could realize the periods between leave falling and sprouting clearly, the method helps us to estimate the areas of mahogany in pure and mixed forest in very short time.

【Key words】 SPOT 5 multi-spectral images, plant physiological mechanism, *Swietenia macrophylla*, NDVI, spectral variance

一、前言

大葉桃花心木(以下簡稱大桃)，學名 *Swietenia macrophylla*，係近年來台灣造林計畫的重點栽植樹種，包括平地造林、農地造林、綠海計畫與愛台十二大建設等皆將該物種列名。中興大學新化實驗林場，於1975年進行林相改量，並於1986年5月開始大量種植大桃，隨後新化林場擁有全台面積最廣的大桃人工林，且生長勢良好。大桃木材顏色特殊、且具有均勻木紋等特色，長期以來皆為受歡迎的熱帶樹種之一，但因原產國家過度砍伐生長較好的林木，亦無考量森林更新等的經營策略，使該物種於2002年11月被列於瀕臨絕種野生動植物的名單中，其林木經營也成為重要課題。

SPOT 5衛星影像等光譜資訊，可在短時間內取得大面積地景(landscape)資料，配合航、遙測技術等，可轉變成有利資訊，供經營者參考。植物所含的葉綠素等色素，會吸收紅光波段(0.61~0.69 μ m)進行光合作用，使反射強度相對下降，而波長0.79~0.90 μ m的近紅外光波段(NIR)，因植物體幾乎無法吸收，反射強度強烈，對植被差異及植物生長勢反應敏感，為葉子健康狀況最靈敏的指標(Cohen, 1991)。國內有許多使用結合這兩波段而發展出的常態

化植生指標(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)進行植生與土地利用型研究，亦有利用NDVI分析植生與非植生在時間或空間上的變化，如邱祈榮等人(2008)研究台大實驗林8種不同植生類型光譜特徵隨季節的變化，發現柳杉(*Cryptomeria japonica*)及台灣杉(*Taiwania cryptomerioides*)的NDVI值會隨季節產生變化，而劉瑋育(2008)研究新化林場林型特性時，以Formosat-II研究大桃純林四季NDVI值，發現該值在不同季節中明顯差異。Lin等學者(2005)研究不同時期NDVI值差異與演算，設定門檻值，分析九九峰植生的恢復情況。林文賜等(2007)則以類似方法，配合粗分類與細分類法，發展出崩場地自動萃取模式。經觀察發現，大桃在每年3月底至4月初時，有著在極短時間內完全落葉，並於落葉後1至2星期內快速發芽的獨特性，此生理特徵會使光譜產生明顯變異，故研究以此為假設，參考Lin等(2005)與林文賜等(2007)的方法，利用落葉前、後兩個時期的SPOT 5衛星影像，配合遙測技術、土地利用型及樣區等資料，期望在短時間內推估出新化林場大桃於純林及混淆林面積，並評估效益。本研究購買SPOT 5的全色態與多譜態(4波段)影像資料，經影像融合(merge)技術，

產生空間解析力2.5m的多譜態影像，即集合全色態及多譜態優勢，進行大桃判識。除了植物的內在因素(葉面積、水分壓力改變等)，外在環境(太陽入射角、地形遮蔽與氣溶膠狀態等)亦會對光譜造成影響，研究先以NDVI減低季節性的光譜變異，配合影像差異演算法(image differencing algorithm)取得現況與變遷資訊，並以2009年土地利用型為依據設定門檻植，期望得到良好的結果。最後，將分類結果與地真資料進行比較，計算整體分類準確度及Kappa值，評估該方法效益。

二、材料與方法

(一)研究樣區

新化林場，又稱國家植物園，屬中興大學農學院實驗林管處所有，係虎頭埤之水源涵養保安林，林場內所有溪流均匯集於虎源溪再流入虎頭埤，林場轄區10個林班，面積共505.05

ha，其中私有地佔131.09 ha，林場管轄面積則為373.96 ha，該林場地理及氣候條件，非常適合做熱帶林業示範區域。

地處台南縣新化區礁坑里，西起東經 $120^{\circ}21'39''$ ，東至 $120^{\circ}23'$ ，北起北緯 $23^{\circ}1'54''$ ，南至北緯 23° 左右(如圖1所示)。最低海拔約35 m，最高海拔約152.3m，為觀音山所在處，除幾處較急峻坡面外，其餘區域皆屬地勢較平坦的丘陵地，風景宜人且地形較緩，假日時，吸引許多遊客，亦有「台南後花園」之別名。新化林場於1975年開始辦理林相改良工作，以大桃、摩鹿加合歡(*Albizia falcata*)及樟樹(*Cinnamomum camphora*)等取代原有的低劣樹種，因大桃生長勢良好，逐漸取代竹類、柚木、相思樹等純林而形成混淆林(馮豐隆等，1997)。

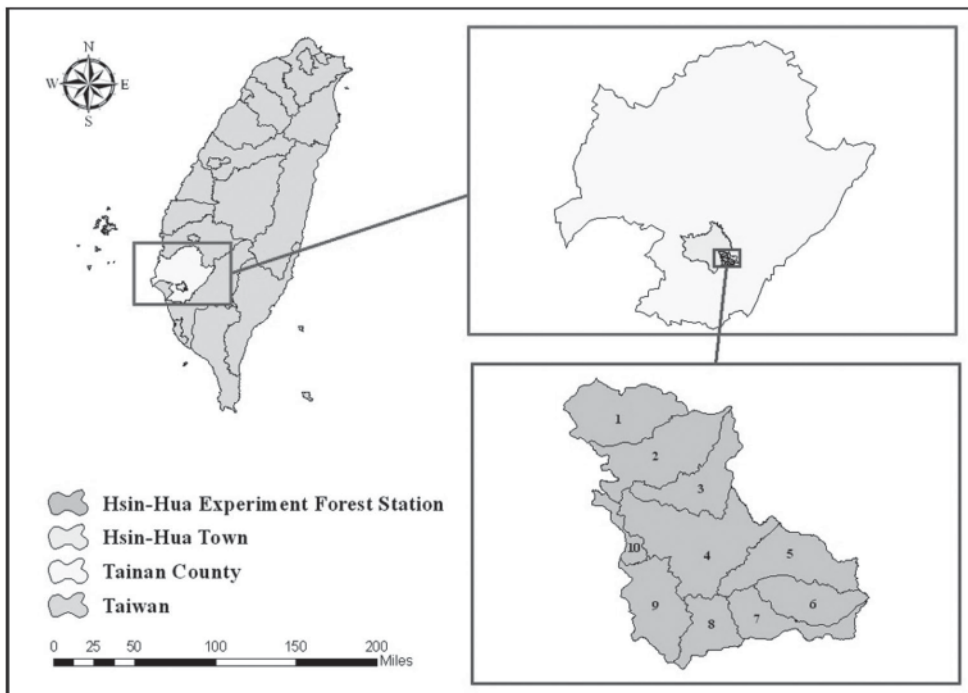


圖1. 新化林場位置圖

Fig. 1. The location of Hsin-Hua Experimental Forest Station

(二)大葉桃花心木

大桃為楝科(Meliaceae)桃花心木屬(*Swietenia*)，原產墨西哥、中美洲及哥倫比亞等區域，因木材具特殊顏色、均勻木紋與易刨光等特性，成為長時期受歡迎的熱帶樹種之一，但原產地採用傳統經營系統，即收穫砍伐生長最好的林木，且無考量森林更新與存留木的生長性，故該物種在2002年11月被列入「瀕臨絕種野生動植物國際貿易公約」附錄II(Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora Appendix II, CITES Appendix II)中(馮豐隆

等，2008)。引進台灣後，生長快速，成為平地造林、農地造林、綠海計畫與愛台十二大建設等造林計畫中的重要造林樹種之一，故該物種經營有其重要性。大桃純林分布與面積可從正射影像推估出，但此方法卻不適用於混淆林中，在台灣，大桃落葉時間約為每年3月底至4月初，且落葉後為立刻萌芽，此特殊的生理特徵大幅度改變林木葉面積，造成光譜明顯變異，故研究利用落葉前、後，兩個時期的SPOT 5衛星影像，配合遙測技術、土地利用型及樣區等資料，期望在短時間內推估出新化林場大桃於各類混淆林中所佔面積。

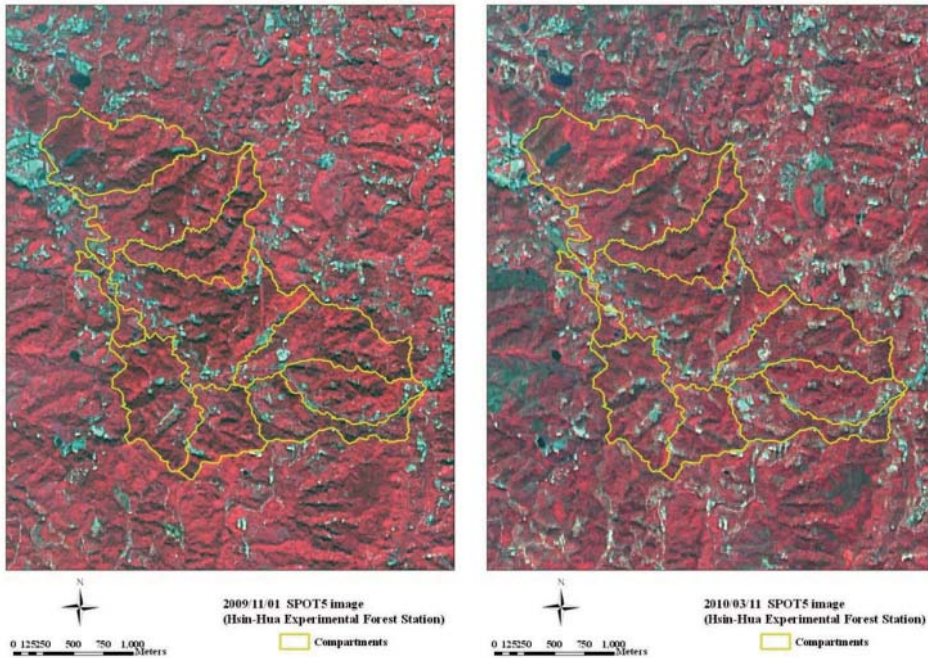


圖2. 二時期SPOT 5衛星影像 (a)2009/11/01；(b)2010/03/11

Fig. 2. The SPOT 5 satellite images at two periods

(三)SPOT 5衛星影像

研究向中央大學太空及遙測研究中心，購買2張不同時期的SPOT 5全色態及多光譜衛星影像資訊，分別為2009年11月01日(落葉前)與2010年03月11日(落葉後)拍攝的地景

情況。SPOT 5全色態空間解析力為2.5m，但僅有一波段，多譜態則為包含綠光波段(0.5~0.59 μm)、紅光波段(0.61~0.68 μm)、近光外光波段(0.79~0.89 μm)及短波紅外光波段(1.58~1.75 μm)的4波段影像，空間解析力為

10m。由於研究希望將混淆林中，破碎區域的大桃準確分類出，故利用影像融合(merge)技術，產生像元為2.5m的高解析力4波段多譜影像(如圖2所示)，即集全色態及多譜態的優勢，作為大桃判識的分類基礎。

(四)研究流程及細項

考量大桃在短時間完全落葉的生長特性，造成葉面積變化與光譜變異，故整合SPOT 5衛星影像、地真(樣區資料)與土地利用型圖等資料，配合影像分析技術，推估新化林場大桃面積，並進行效益評估。圖3為本研究的研究流程圖，細項則分開說明。

(五)影像變異分析(NDVI)

1.常態化植生指標

紅光和近紅外光在植物判識判演極重要角色，而NDVI更是結合這2波段所發展出的指標，其定義為近紅外光段與紅光段之差與2波段之和比值(如式1)，因NDVI值具有減低區域間及季節間因光能所造成波譜反射差異，供相對量比較，是遙測衛星影像研究植被及植物物候中最廣泛應用的指標之一(陳朝圳，1999；Rouse et al., 1973；Rondeaux et al, 1996)，該指標正常值介於-1.0至1.0間，小於0時屬於非植生的物體，如水域、道路及建築物的背景像元，而指標值越大代表綠色生物量增加。

$$NDVI = (NIR-Red) / (NIR+Red) \quad \text{式1}$$

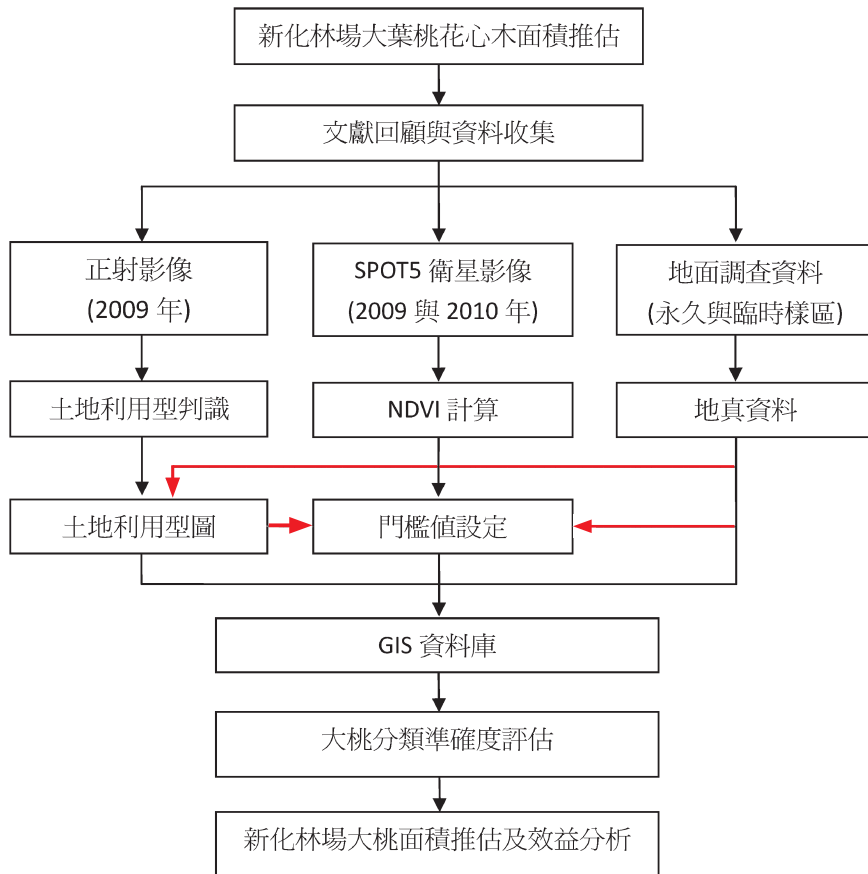


圖3. 研究流程圖

Fig. 3. The study flowchart

2. 影像變異分析及門檻值設定

影像差異演算法(image differencing algorithm)是可快速取得地景變遷資訊的方法(Jensen and Toll, 1982)。以多時期的網格資料,如土地利用型圖與分類結果圖,做像元對像元的逐一相減,即可取得新的變遷影像及資訊(Ridd and Liu, 1998)。

研究先以NDVI分析新化林場的植生覆蓋現況,再配合影像差異演算法了解變遷,但如

土壤含水率、陰影遮蔽與人為干擾等外在因素,也會造成光譜變異,故研究從2009年的土地利用型資料中,選出大桃純林區域做訓練樣區,並以該區域的光譜差異程度做門檻值(threshold)範圍設定,變異程度在此範圍間,即可能是大桃林分因落葉產生NDVI差異的區域。影像差異演算法與門檻值的計算方法,分別如式2及式3所示。

$$\text{Image algorithm} = \text{後期影像} - \text{前期影像 (called NDVI')} \tag{式2}$$

$$\text{Threshold (\%)} = \text{NDVI}' / (\text{NDVI}'_{\max} - \text{NDVI}'_{\min}) \times 100 \tag{式3}$$

式中NDVI'_{\max} 為影像差異最大值,NDVI'_{\min} 為影像差異最小值。

3. 分類準確度評估(accuracy assessment)

分類準確度評估是將分類結果與所蒐集的地真資料(ground truth)進行比較,以評估分類結果的準確性。評估時,以每一個被檢核點所在的座標位置對照地面真值進行檢核,並產生一矩陣與計算生產者精度(producer's accuracy, PA)、使用者精度(user's accuracy, UA)與整體分類準確度(overall accuracy)等,計算方法及如表1與公式4~式6。為了整體表現影像分類的誤差

性,可藉由誤差矩陣的相互運算而產生Kappa統計值,Cohen(1960)表示Kappa指標為表示分類成果較隨機分類好多少的指標,因Kappa考慮到分類結果與地真資料的一致性,以及取樣和地真資料的一致性機率,故更可有效評估準確性,如式7,範圍介於0到1間,值越大表分類結果越好,且Kappa需高於0.7才算是優良的分類結果(Janssen and Vanderwel, 1994)。

表1. 影像分類準確評估之分類混淆表

Table 1. The error matrix of classification results

		地 真 資 料				
分 類 結 果	Class code	1	...	C	Row total	UA
		1	n11	...	n1c	n1+

	C	nc1	...	ncc	nc+	PAC
	Column total	n+1	...	n+c	N	
	PA	UA1	...		UAC	

生產者精度(PA) (%) = $n_{ii} / n_{i+} \times 100$式4

使用者精度(UA) (%) = $n_{ii} / n_{+i} \times 100$式5

整體分類準確度(%) = $\frac{1}{N} \sum_{i=0}^n n_{ii} \times 100$式6

Kappa coefficient = $\frac{N \sum_{k=1}^c n_{kk} - \sum_{i=1}^c (n_{k+} \times n_{+k})}{N^2 - \sum_{k=1}^c (n_{k+} \times n_{+k})}$ 式7

綜合以上，研究以整體分類準確度與

Kappa值來評估分類結果及效益，地真包含本研究室設置的36個永久樣區(permanent sampling plots, PSPs)及為此研究新設的148個臨時樣區(temporal sampling plots, TSPs)，其分布位置如圖4所示，因永久樣區點位分布不均，且點位較少，若單利用該資料進行分類準確度評估，可能會失去準確性，故設置臨時樣區彌補缺陷。

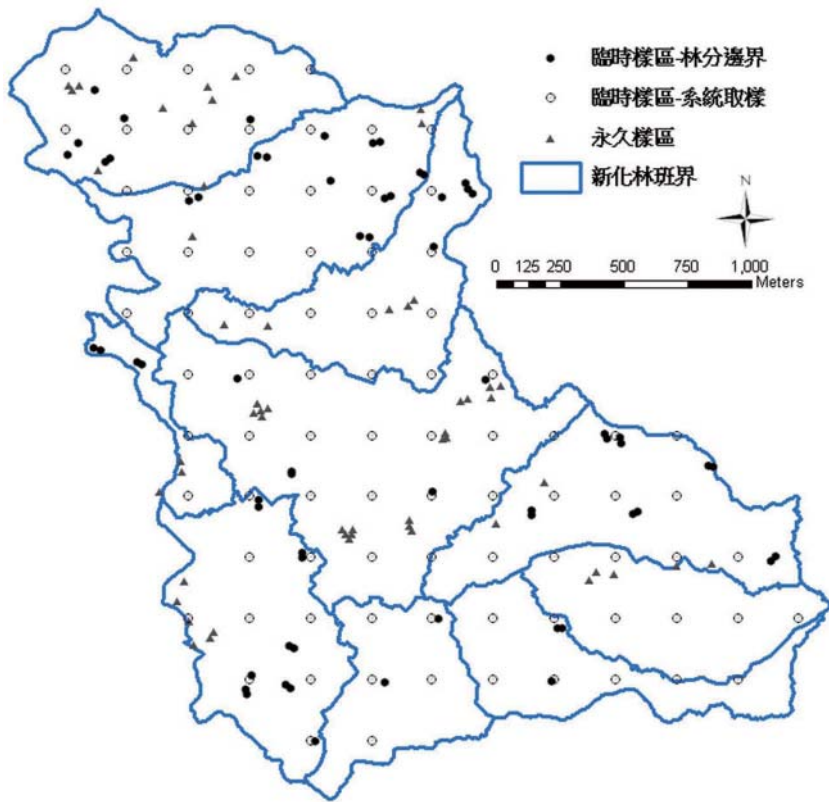


圖4. 永久樣區與臨時樣區位置圖(圖型為臨時樣區，三角型為永久樣區)
Fig. 4. The location of permanent sampling plots and temporal sampling plots (circular form points = permanent sampling plots ; triangular form points = temporal sampling plots)

臨時樣區包含系統取樣樣區與林分邊界調查點位，系統取樣係以每240m為一單位做取樣依據(共取85個點)；考量林分交界產生的混淆像元，亦會造成光譜變異，故研究又於林

分與林分交界處另設置63個調查點位，期望了解該方法的可行性。將以上點位，與2009年正射影像、土地利用型圖及道路圖等圖層套疊，依據GPS(global positioning system)與

於2011年12月中至現場進行調查，並儲存於GIS(geographic information system)資料庫中，供準確度評估使用。36個永久樣區中，共有26個大桃樣區與10個非大桃樣區，而148個臨時樣區則分別為59個大桃區域及89個非大桃區域。

三、結果與討論

(一)衛星影像分類結果

1.SPOT 5分類結果

分別計算大桃落葉前、後SPOT 5衛星影像的NDVI值，並進行影像差異演算與門檻值範圍設定處理後，可推估出新化林場大桃可能的分布區域，分類結果如圖5所示，以SPOT 5

推估的大桃所佔面積約為285.16 ha，依據2009年土地利用型圖結果顯示，大桃純林與混淆林面積約為184.04 ha，故研究有高估情形。對照地真資料，進行整體分類準確度計算，分類正確者約60.83%，而Kappa值則只有0.28(表2)。分析後，發現大桃落葉前、後光譜反射值有極大差異，但不同植群覆蓋率，使背景像元更容易造成影響，如林地土壤濕潤程度(Todd and Hoffer, 1998)，又或是新化林場大桃為複層混淆林，上層的大桃落葉後，下層植被裸露關係，而影響研究分類結果(Wang *et al.*, 2005)，故研究加入土地利用型圖層與屬性資料希望取得良善的分類準確度。

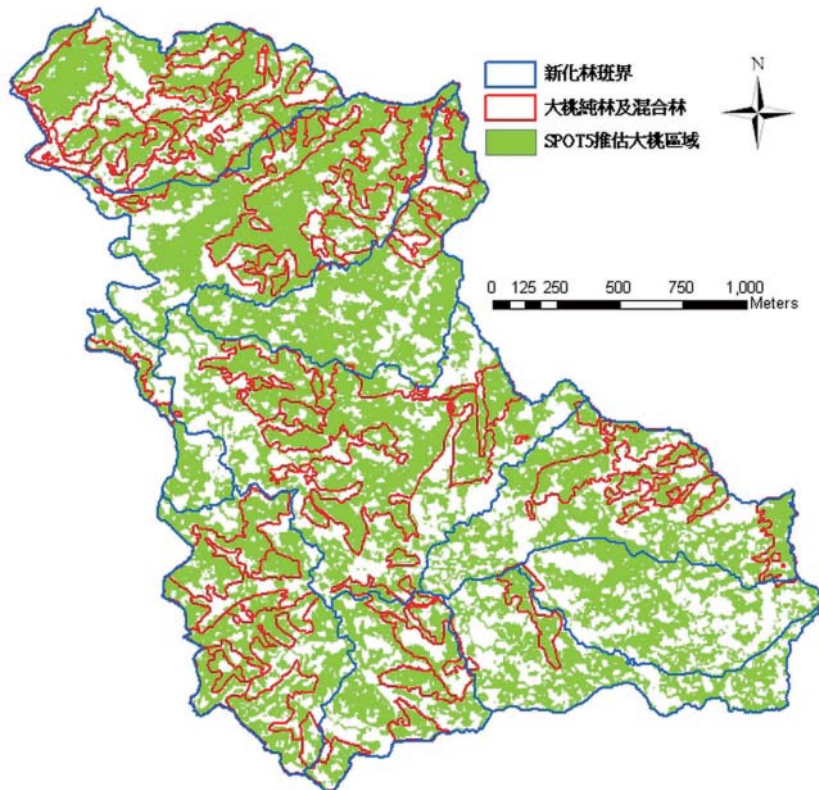


圖5. SPOT 5衛星影像分類結果

Fig. 5. The classification of SPOT 5 image

表2. SPOT 5分類誤差矩陣

Table 2. The error matrix of SPOT 5 classification results

衛星影像判識	地真資料(永久樣區與臨時樣區)		總和	使用者精度(%)
	大桃	非大桃		
大桃	64	46	110	58.18
非大桃	21	53	74	71.62
總和	85	99	184	
生產者精度(%)	75.29	53.54		

整體分類準確度63.58%；Kappa值0.28

2.整合2009年土地利用型與SPOT 5分類結果

本研究係以大桃落葉的生理特徵，所造成光譜變化為前提假設進行面積推估，雖盡可能縮短2次影像拍攝時間(2009年11月與2010年3月)，但外在環境(太陽入射角、土壤含水量、地形遮蔽與氣溶膠狀態等)及內在因素(植物葉綠素含量、色素變化、葉面積與水分壓力等)，皆會產生光譜變異，影響分類結果，故研究嘗試以2009年的土地利用型資料做輔助，

將裸露地、建地與確定無大桃的林地去除後，再進行分析與分類準確度計算。結果顯示，SPOT 5多光譜影像配合土地利用型分類結果的分類準確度可高達85.87%，而Kappa值則約為0.71(如表3所示)，推估面積約為125.89 ha。此分析結果的Kappa值高於0.7，屬於可接受與利用的範圍，亦表示該方法可將大桃從混淆林中進一步分類出，圖6顯示出大桃可能的分布區域。

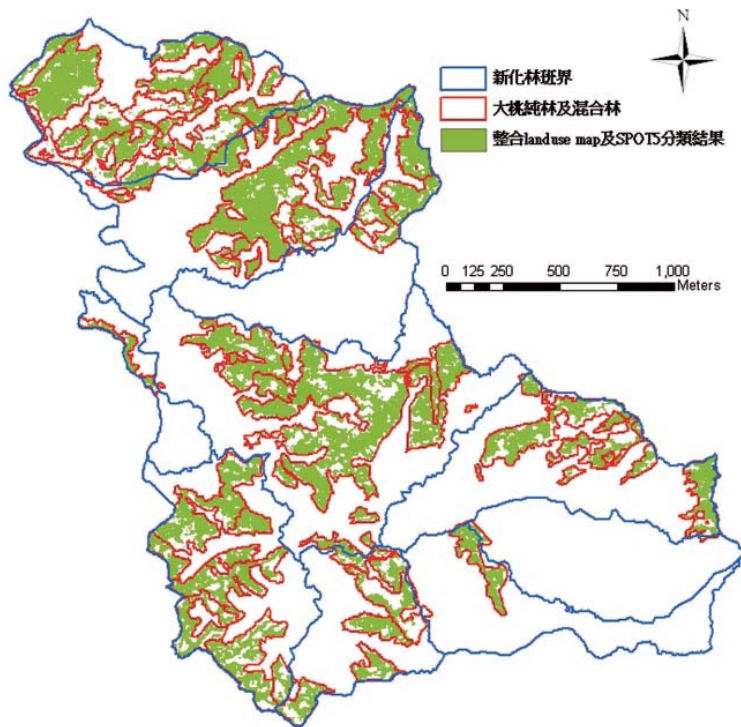


圖6. 整合土地利用型及SPOT衛星影像判識分類結果

Fig. 6. The classification result of the integration of land-use map and SPOT 5

表3. 整合土地利用型圖與SPOT 5分類誤差矩陣

Table 3. The error matrix of classification result of the integration of land-use map and SPOT 5

衛星影像判識	地真資料(永久樣區與臨時樣區)		總和	使用者精度(%)
	大桃	非大桃		
大桃	64	5	69	92.75
非大桃	21	94	115	81.74
總和	85	99	184	
生產者精度(%)	75.29	94.95		

整體分類準確度85.87%；Kappa值0.71

另外，將林分邊界的樣區拿掉，即單利用永久樣區與系統取樣資料做地面真值，重新計算分類準確度，可獲得88.33%與Kappa為0.78的整體分類準確度(如表4)，此結果顯示，該方

法較不適合應用於林分較為複雜，或邊界較不清楚的天然林，其準確度可能會因為光譜混淆的關係而下降。研究同時發現，林分密度太低的大桃林，會侷限此分析方式的效果。

表4. 整合土地利用型圖與SPOT 5的分類誤差矩陣(無林分邊界樣區)

Table 4. The error matrix of classification result of the integration of land-use map and SPOT 5 (without the TSPs in stand boundaries)

衛星影像判釋	地真資料(永久樣區與臨時樣區)		總和	使用者精度(%)
	大桃	非大桃		
大桃	34	4	77	44.16
非大桃	10	72	43	167.44
總和	44	76	120	
生產者精度(%)	77.27	94.74		

整體分類準確度88.33%；Kappa值0.78

製做土地利用型圖或林分圖時，常利用航空照片與正射影像等資料，以人力或電腦進行劃分，再至現場調查而完成，而無法清楚分類出之區域則劃分成混淆林，如希望計算單一樹種的面積，配合樣區設置與調查，並花費人力、物力才可了解，考量大桃的特殊生理特徵，研究以2009年土地利用型圖層為底，利用SPOT 5影像資訊及航、遙測技術，再做準確度評估，結果顯示，整體分類準確度超過85%(Kappa值高於0.7)，即此方法可在短時間內，將大面積的目標樹種(大桃)於混淆林中選

取出來，補足正射影像數化土地利用型的限制，減低調查人力與物力花費。然而，大桃落葉與萌芽常在一個星期內完成，且每個林分，甚至每株林木又略有不同，如何精確掌控大桃落葉時間與有無適合的光譜資料，將為研究成敗的關鍵點。

四、結論

大桃係近年來造林計畫的重點栽植樹種，加上原產地的錯誤經營方式，使該物種成為瀕臨絕種野生植物，大桃的經營日漸受到重視，新化林場有全台最廣的大桃人工林區域，且大

桃生長勢優良。因該物種有在短時間內大量落葉的生理特性，進而使光譜產生明顯變異，故研究整合落葉前、後的SPOT 5多光譜衛星影像資訊、2009年土地利用型圖與地面調查等資料，配合航、遙測技術等，在短時間內分類出新化林場大桃於混淆林中所佔面積。因外在環境亦會對光譜造成影響，故研究採用NDVI與影像差異演算法取得地景現況與變遷資訊，並以土地利用型為依據設定分類門檻植，並計算整體分類準確度及Kappa，做效益評估。結果顯示，直接以SPOT 5分析，會高估大桃分布面積，且分類準確度較差，Kappa值只有0.28，但加入土地利用型圖後，Kappa值則提升到0.71的良好分類準確度。研究也發現，林分邊界的混淆像元會影響分類結果，故在林分較為複雜，或邊界較不清楚的天然林較不適用，而林分密度較低的大桃林，亦會侷限此分析方式的效果，雖此方法可在短時間內，將大面積的大桃於混淆林中選取出來，補足單純使正射影像分類之限制。大桃落葉與萌芽時間短，且時間點略有不同，故大桃葉落時間的精確掌握與有無適合材料將為研究成敗的重點，另外，減低外在環境與其他植物因素的影響，包含使用或加入同態化糾正、其他植生指標或監督式分類等，為本研究未來將繼續探討之課題。

五、參考文獻

本研究感謝中興大學實驗林管理處經費補助，並感謝中興大學新化林場提供調查時間安排、調查點位路線與技術等協助。

林文賜、林昭遠、周文杰、黃碧慧 (2007) 921 震災崩塌地景變遷監測之研究—以九九峰為例。明道學術論壇3(1) : 189-200。

邱祈榮、潘麗慧、蔡維倫、張振生 (2008) 台大實驗林不同植生型之光譜資訊分析。台大實驗林研究報告22(2):117-133。

陳朝圳(1999)南仁山森林生態系植生綠度之季節性變化。中華林學季刊32(1):51-66。

馮豐隆、林子玉、黃志成、陳志賢、陳英彥、林明進 (1997) 新化林場第二次林木資源調

查與地理資料庫之建立。中興大學實驗林研究彙刊19(1):1-21。

- 馮豐隆、張鈞媛、馮冠達 (2008) 桃花心木生態系的保育與永續經營34(3): 27-34。
- 劉瑋育 (2008) 新化林場林型特性之研究。中興大學碩士論文。
- Cohen, J. (1960) A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement* 20(1) : 37-46.
- Cohen, W. B. (1991) Response of vegetation indices to changes in three measures of leaf water stress. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 57(2) : 195-202.
- Janssen, L. F. and Vanderwel, J. M. (1994) Accuracy assessment of satellite derived land-cover data: A review. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 60(4) : 419-426.
- Jensen, J. R. and Toll, D. L. (1982) Detecting residential land-use development at the urban fringe. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 48 : 629-643.
- Lin, W. T., Chou, W. C., Lin, C. Y., Huang, P. H. and Tsai, J. S. (2005) Vegetation recovery monitoring and assessment at landslides caused by earthquake in central Taiwan. *Forest Ecology and Management* 210 : 55-66.
- Ridd, M. K. and Liu, J. (1998) A comparison of four algorithms for change detection in an urban environment. *Remote Sensing of Environment* 65: 95-100.
- Rondeaux, G., Steven, M. and Baret, F. (1996) Optimization of soil adjusted vegetation indices. *Remote Sensing of Environment* 55 : 95-107.
- Rouse, J. W., R. H. Haas, J. A. Schell, and Deering, D. W. (1973) Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third

- ERTS Symposium, NASA SP-351 I, 309-317.
- Todd, S. W. and Hoffer, R. M. (1998) Responses of spectral indices to variations in vegetation cover and soil background. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 64: 915-921.
- Wang, Q., Tenhunen, J. N., Dinh, Q., Reichstein, M., Otieno, D., Granier, A. and Pilegarrd, K. (2005) Evaluation of seasonal variation of MODIS derived leaf area index. *Remote Sensing of Environment* 96:475-484.