

研究報告

多期衛星影像相對輻射糾正於台中縣烏石坑地區 變遷偵測之探討

潘麗慧¹ 羅南璋² 黃凱易³

【摘要】多期影像變遷偵測常應用於地景變遷監測，但因非地表因子如大氣效應、光照、觀視幾何和感測儀校準及地表因子季節物候和地形效應等形成假變遷，以致變遷偵測正確率降低。本研究探討非地表因子及物候導致影像光譜變異對變遷偵測之影響，確認影像同態化對變遷偵測之重要性，同時評估各影像同態化法之功效。本研究將擬似不變異地物線性迴歸 (PIFLR)、全影像迴歸 (IR)、直方圖匹配 (HM) 等三方法應用在台中縣烏石坑地區之十三期 SPOT 影像上，以評估其同態化效果。就影像外觀、操作難易、均方根誤差及變遷偵測正確率來進行比較，HM 之效果最優，IR 居次，而 PIFLR 最遜。就波段來看，兩可見光波段之效果優於規整差植生指標 (NDVI)，且紅光略優於綠光，而近紅外光最差。變遷偵測正確率降低之主因在無變遷誤授為疑似或有變遷，HM 及 IR 法能有效改善，PIFLR 法則起伏不定。另一方面，有變遷之漏授雖佔甚小比例卻是關鍵。各方法之改善漏授效果缺乏規律性，似因缺乏不同試區且具充足之真變遷樣本，仍需深入研究。然影像同態化對變遷偵測至為重要。

【關鍵字】相對輻射糾正、擬似不變異地物線性迴歸、影像迴歸、直方圖匹配、規整差植生指標

Research paper

Radiometric Normalization of Multi-date Satellite Images for Change Detection in the Wu-Shyr-Keng Area of Taichung Prefecture

Li-Huey Pan¹ Nan-Chang Lo² Kai-Yi Huang³

【Abstract】Change detection from multi-date images has been commonly used in monitoring changes in landscape. However, spurious changes caused by variations of non-surface factors including illumination, viewing geometry, sensor calibration, and atmospheric effects, as well as surface factors

1. 國立中興大學森林學系碩士

Master, Department of Forestry, National Chung-Hsing University.

2. 國立中興大學 實驗林管理處技士

Specialist, Experimental Forest Office, National Chung-Hsing University.

3. 國立中興大學森林學系 教授 (通訊作者)

Professor, Department of Forestry, National Chung-Hsing University (Corresponding author).

including seasonal phenological differences and topographic effects, may lead to inaccurate results, thereby reducing the accuracy of landscape change detection. The study was intended to examine the influence of spectral variations caused by the non-surface factors and phenology on change detection and to confirm the importance of image normalization to change detection. The study also evaluated the performance of three image normalization methods in relation to change detection. Pseudo-invariant feature linear regression (PIFLR), image regression (IR) and histogram matching (HM) requiring the use of a reference-subject image pair, were applied to thirteen-date SPOT images from the Wu-Shyr-Keng area of Taichung Prefecture. The methods were compared in terms of their capability to improve visual image quality, statistical robustness, and ease of implementation. The result showed that HM method was the first in overall performance, IR was the second, and PIFLR was the last. Image normalization had better performance by using visible bands than using normalized difference vegetation index, using red band slightly better than using green band, and the near-infrared band had the least. Low accuracies in change detection were primarily due to the erroneous assignment of no-change pixels to the likely-change class or true-change class. HM and IR improved accuracies effectively, but PIFLR performed unsteadily. On the other hand, the omission of true-change pixels is the key to change detection in spite of usually occupying a small proportion of the entire image. The three methods performed unsteadily, probably due to a scarcity of different test areas with sufficient true-change samples. Further research should be conducted in the future. Nevertheless, image normalization overall is very important for change detection.

【Key words】 Relative Radiometric Normalization, Pseudo-invariant Features Linear Regression (PIFLR), Image Regression (IR), Histogram Matching (HM), Normalized difference vegetation index (NDVI).

一、前言

臺灣森林所在的地形陡峭崎嶇，因具難以到達之特性，使得林地調查所費不貲。若應用具大面積涵蓋之空間特性及多期重照之時間特性的遙測影像，則可依多頻譜之時序影像作比對，從而得知地表變遷過程，以提供森林經營所需之變遷資訊。衛星影像的光譜資料因受到非地表因子如大氣效應、光照、觀視幾何、感測儀校準、影像處理程序等及地表因子如季節物候、土壤濕度、地形效應等影響而傾向隨時間變異 (Teillet, 1986)。同一地區多期影像目標物的真變遷因非地景相關偽變遷之遮蔽而很難以自動模態加以比較 (Kim and Elman, 1990)。多期影像變遷偵測應用於地覆變遷偵測時，由於上述因素所造成之偽變遷，致使變遷偵測正確率大幅降低。有效之遙測變遷偵測

必須注意遙感系統本身及周遭環境之特性。分析者若未深入瞭解影響變遷偵測之各種因子將會產生錯誤或誤差甚大之結果 (Dobson *et al.*, 1995)。

爲了能夠從多期衛星影像偵測地表反射率改變所顯現地景之真變遷，有需要實施輻射糾正，以降低或消除上述不同之效應 (Eckhardt *et al.*, 1990；Hall *et al.*, 1991；Elvidge *et al.*, 1995；Jensen *et al.*, 1995；Jensen, 1996；Yuan and Elvidge, 1996；Yang and Lo, 2000；Du *et al.*, 2002)。通常有兩類可採行之輻射糾正法：絕對與相對輻射糾正 (Jensen *et al.*, 1995；Yang and Lo, 2000)。絕對輻射糾正法必須使用影像拍攝當時之大氣相關實測資料，然而這項要求不僅困難而昂貴，且對以檔存歷史衛星影像用於變遷分析是不切實際的 (Hall *et al.*,

1991)。相對輻射糾正或同態化 (relative radiometric normalization, RRN) 方法較為可行，乃因它不需衛星飛越當時之大氣相關實測資料。相對輻射糾正之目的在使不同期影像，即從屬影像 (subject image)，同態化至分析者所選擇的參考影像 (reference image)，以移除與地物改變無關之光譜變異 (Yang and Lo, 2000)，使各期影像之間像元亮度值之變化與地表真實情況之變遷密切關聯。

本研究使用擬似不變異物體線性迴歸、全影像迴歸法及直方圖匹配法對台中縣烏石坑地區十三期 SPOT 原始影像進行相對輻射糾正，檢測糾正前後影像之同態化效果，目的係探討非地表因子及植被物候導致反射光譜變異對變遷偵測之影響，以凸顯影像同態化對變遷偵測之重要性。同時，評估三種方法對變遷偵測辨識率的改善效果，並比較三種方法對於不同波段、不同季節之同態化效果及其執行的難易。

二、材料與方法

(一)研究區域

台灣於 1999 年發生九二一大地震後，中部山區多處崩塌，本研究以台中縣烏石坑地區為研究區域，因其為地震受災地區，且可獲得品質甚佳之多期 SPOT 衛星影像及充分而完整的地面參考資料，以利於遙感資料之分析與驗證。烏石坑地區位於北緯 24°18'，東經 120°56'，在台中縣和平鄉之西北隅，總面積 225 km²，屬林務局東勢林管處所轄大安溪事業區及八仙山事業區之林班地，其位置如圖 1 之紅框所示。

(二)衛星影像

本研究使用購自中央大學太空及遙測研究中心之 SPOT 衛星多光譜態原始影像。選擇影像時要求其雲遮蔽量在 10% 以下，視角或入射角在 ±20° 以內，其影像參數內容如表 1 所示。

(三)參考影像

影像進行輻射同態化是為了減少非表面因

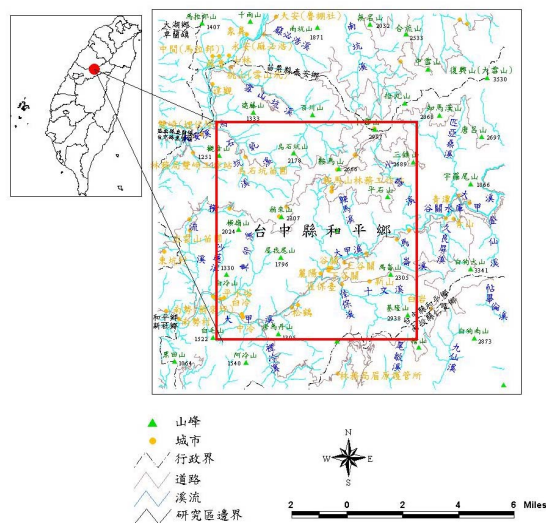


圖 1. 台中縣烏石坑研究區域位置圖

Fig. 1 Location map of the study area in the Wu-Shyr-Keng of Taichung.

子及背景之表面因子所造成之像元亮度值的變異，故選取同態化之參考影像時，太陽高度角要大(通常是夏季)，以盡量避免地形效應所造成之影響；視角要盡量小，最好是接近零度，較不受大氣效應之干擾者；且假色組合影像清晰、對比鮮明，有最大的亮度值動態範圍 (dynamic range)，以儘可能保留更多的地表資訊 (Schott *et al.*, 1988)。

表 1. 研究區 SPOT 衛星影像之拍攝日期及背景參數

Table 1. Acquisition dates and parameters of SPOT satellite images of the study area.

時序	影像日期	視角(度)	方位角(度)	高度角(度)
I	1999.01.05	-17.19	154.96	39.19
II	1999.01.10	-9.32	155.17	39.89
III	1999.11.23	-2.90	161.16	43.46
IV	2000.03.04	12.04	146.10	54.11
V	2000.07.14	-2.90	92.96	72.07
VI	2000.09.20	-17.19	139.29	61.56
VII	2001.03.05	-2.90	144.17	53.47
VIII	2001.11.08	-1.54	160.35	47.22
IX	2002.01.04	5.61	158.12	40.04
X	2002.07.26	-1.70	103.10	70.70
XI	2002.10.17	6.30	157.10	52.90
XII	2002.12.03	-1.70	160.60	40.20
XIII	2003.04.21	-1.60	124.30	68.00

本研究依據表 1 選擇第 V 期影像 (2000 年 7 月 14 日) 作為同態化之參考影像。考量四季太陽照射條件之差異, 另選取兩幅作為比對之參考影像, 一為太陽高度角最小 (通常是冬季) 的第 I 期影像 (1999 年 1 月 5 日); 另一為太陽高度角中等 (春、秋季節) 的第 XI 期影像 (2002 年 10 月 17 日)。其目的是在驗證不同季節的參考影像對於同態化效果之影響。

(四) 影像相對輻射糾正

影像相對輻射糾正即將參考影像以外其他各期之從屬影像同態化至有如與參考影像在相同的感測儀及相似之大氣與光照條件下掃描成像的過程。

(1) 線性迴歸同態化 (Linear Regression Normalization, LRN)

「衛星感測器所接收之各波段輻射量與地表的反射率為一線性關係」是 LRN 之基本假設。

$$DC_{1i} = m_i DC_{2i} + b_i \dots\dots\dots(1)$$

式 1 中依變項 DC_{1i} 為參考影像之像元亮度值, 自變項 DC_{2i} 為從屬影像之像元亮度值。斜率 m_i 係乘項, 為造成光譜變異之非地表因子, 包括太陽角、日地距離 (Earth-sun distance)、感測器校正之差異、大氣衰減、相差 (phase angle between dates) 的綜合係數 (Jensen, 1995)。截距 b_i 為加項, 指示各期間大氣路徑輻射之差異。斜率與截距同為第 i 波段的之轉換係數。

本研究以 PIF 地物像元 (即 PIFLR 法) 及整幅影像之全部像元 (即 IR 法) 作為線性迴歸法同態化糾正所需之地覆樣本。PIF 地物係取其反射率近似不變異之特性; 而整幅影像之全部像元則可簡單解釋每一像元間於兩期影像間之關係, 亦即利用最小平方迴歸來產生從屬與參考影像間波段對波段的線性方程式 (Jensen, 1983)。

(2) 直方圖匹配法

HM 為一普遍用於影像輻射顯揚之方法 (Richards, 1993)。以非線性的直方圖匹配, 使兩幅影像在亮度值分布的外觀上儘可能的相似。本法與輻射物理量並無相關, 僅以影像上亮度數值進行函數計算, 使兩影像外觀相似, 可有效匹配同一地區或相鄰地區在不同日期或在略有差異之太陽角度或大氣效應下所獲之影像 (ERDAS, Inc., 1999)。

(3) 規整差植生指標

NDVI 是由遙測影像的近紅外光波段及紅光波段以代數組合而成的實數比值 (如式 2)。對於因照度條件、地表坡度、坡向及其他外部因子所引起亮度值變異具有補償作用, 可減少大氣輻射誤差, 減低地區間及季節間因光能量不同, 所造成之光譜反射差異 (Lillesand and Kiefer, 2004)。故本研究將 NDVI 視為一種輻射同態化之光譜波段。

$$NDVI = \frac{XS3 - XS2}{XS3 + XS2} \dots\dots\dots(2)$$

此外, 為驗證影像上所出現之白雲及陰影是否影響同態化糾正之效果, 使各期從屬影像對參考影像剔除白雲及陰影像元後, 再進行上述相對輻射糾正方法, 以作為對照之用。

(五) 同態化效果評估

本研究針對輻射同態化影像的視覺品質及統計嚴謹性, 評估相對輻射糾正後影像之同態化程度, 作為判定各種糾正方法之整體執行效果。

(1) 視覺相似性評估

將相對輻射糾正法所得之同態化影像在螢幕上展示, 以視覺外觀的接近程度決定其同態化效果, 是最直接、迅速的方法, 但較為主觀 (Yang and Lo, 2000)。

(2) 均方根誤差

均方根誤差 (root-mean-square error,

RMSE) 可對同態化程度在數量上做客觀之比較，量測同態化後影像與參考影像在統計上之一致性。當 RMSE 小，表示糾正後之影像近似於參考影像 (Yang and Lo, 2000)，即達同態化之效果。

$$RMSE_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (DN_{ij} - DN'_{ij})^2}{N}} \dots\dots\dots(3)$$

式 3 中 i 為假色組合影像的第 i 波段； j 為檢核樣本之第 j 像元； DN_{ij} 為糾正前或後從屬影像之亮度值； DN'_{ij} 為參考影像之亮度值； N 為樣本區塊內之像元數。

(六)變遷偵測分析

本研究採用操作簡易之影像相減法進行變遷偵測，觀察糾正前後與參考影像之變遷偵測結果，是否減少因輻射變異導致變遷偵測的錯誤，作為輻射同態化糾正效果之驗證。將兩幅影像亮度值相減的期差影像分為有變遷 (大於閾值)、疑似變遷 (大於零且小於閾值) 及無變遷 (亮度差值為零者) 三種類別。

一般採用多期影像所跨越的時距內不至於產生滄海桑田之變化，其所涵蓋之無變遷地覆比例遠高於有變遷地覆。因此，變遷偵測之錯誤多發生在誤授 (commission error)，將無變遷像元判定為疑似變遷甚或有變遷；而少數發生在漏授 (omission error)，將有變遷像元判定為疑似變遷甚或無變遷。誤授發生比率高於漏授，乃因非地表因子及物候產生之光譜變異所造成。因此，本研究對無真變遷之植被樣本及真變遷之崩塌地樣本進行變遷偵測分析，觀察並評估輻射同態化是否具有降低變遷偵測錯誤發生之功效。

三、結果與討論

(一)視覺相似性評估

同態化影像對照比較後發現，更換不同季節的參考影像，視覺相似性評估結果具有一致性。以剔除或未剔除白雲及陰影的 HM 同態化

影像有較佳的相似性，IR 同態化效果亦佳，而 PIFLR 同態化效果不盡理想。另外，同態化影像的整體亮度會隨參考影像作調整，如第 XI 期參考影像中有白雲，使得 HM 同態化後影像之整體亮度提高，經剔除白雲及陰影之處理可避免過度調整之情形。且以參考第 V 期 (2000.07.14, 夏) 所得同態化影像較亮，可看出不同季節對於同態化影像整體亮度的影響。

(二)均方根誤差

表 2 所示為更換三組參考影像所得 RMSE 評估的結果，因每組皆有 12 期結果，若全部列出，所佔篇幅過鉅，故採 12 期平均值，雖與各期同態化結果略有差異，但可呈現同態化效果整體之傾向。表中 RMSE 的值愈小，代表同態化效果愈佳，同一波段某一方法具 RMSE 最小值者，代表該方法於此波段具最佳同態化效果，而若具 RMSE 最大值則相反。從屬及參考影像對在季節差異之同態化效果，以影像對為相同或相似季節者有較佳的同態化效果，且受影像對時距長短之影響，時距愈短，效果有愈佳之傾向。由表 2 結果得知，以 IR 法及 HM 法為三種輻射同態化方法中糾正效果較佳者，皆能有效降低非表面因子造成之光譜變異，又若純以數據來看 IR 法似略優於 HM 法，然兩者應在伯仲之間。PIFLR 法相對較差，同態化效果不穩定，甚或產生反效果。就各波段對同態化效果而言，以紅光最佳，綠光居次，NDVI 第三，而近紅外光波段最遜。上述結果在更換三組參考影像下大致維持相近，未產生重大差異。

表 3 所示係更換三組參考影像並採用三種方法對無真變遷之植被樣本及影像全區進行變遷偵測評估之結果。表中改變率若為正值代表同態化有效果，而其值愈大，代表效果愈佳；若為負值，則同態化不但無作用且具反效果，其值愈小，則反效果愈強。由表 3 可發現從屬及參考影像對在季節差異之同態化效果，以影像對為相同或相似季節者有較佳之同態化效果，且受到影像對時距長短之影響，時距越

短，呈現之效果似有越佳之傾向。

在經不同相對輻射糾正後，疑似變遷類別之像元數與百分率大致上都有不同程度之下降，並轉入無變遷類別中，其效果隨使用之波段而異。雖然不同之參考影像會導致同態化結果產生若干差異，但其整體改善之傾向與 RMSE 評估分析的結果一致，以 IR 法及 HM 法為三種方法中糾正效果較佳者，能有效改善

無真變遷樣本之辨識率。PIFLR 法表現較差，同態化效果不穩定，致使無變遷像元數偵測之改變率多為負值。執行變遷偵測之波段大致上以紅光改善幅度最大，綠光居次，近紅外光及 NDVI 最差。表 3 中全區偵測之結果與無真變遷植被樣本偵測之結果大致相符，無明顯之差異。

表 2. 糾正前後檢核樣本之十二期 RMSE 平均值

Table 2. Twelve-date RMSE averages of test samples before and after normalization.

參考影像	波段	糾正前 RMSE	糾正後 RMSE		
			PIFLR	IR	HM
V (2000.07.14, 夏)	XS1	<u>11.15</u>	9.89	2.67	5.79
	XS2	5.83	<u>6.97</u>	1.63	4.00
	XS3	<u>34.55</u>	19.34	15.98	15.52
	NDVI	7.91	<u>16.45</u>	5.62	6.30
I (1999.01.05, 冬)	XS1	<u>7.60</u>	2.38	3.27	3.84
	XS2	<u>6.05</u>	2.71	4.04	2.58
	XS3	22.95	<u>26.90</u>	13.11	12.12
	NDVI	6.56	<u>15.67</u>	7.59	4.84
XI (2002.10.17, 秋)	XS1	<u>8.33</u>	5.39	2.41	3.14
	XS2	<u>4.82</u>	2.84	1.69	2.22
	XS3	<u>23.11</u>	18.12	12.89	15.85
	NDVI	5.88	<u>9.73</u>	4.10	4.87

註 1：檢核樣本之總像元數 = 34,408 個。

註 2：XS1 為綠光、XS2 為紅光、XS3 為近紅外光波段、NDVI 為規整差植生指標。

註 3：同一波段的**最小值**以粗斜體表示，**最大值**以粗體加底線表示。

(三)變遷偵測分析

(1)偵測無真變遷樣本

(2)檢測樣區變遷偵測

檢測樣區變遷偵測係以影像對中之包含真變遷崩塌地區塊進行變遷偵測。表 4 顯示 I - III 影像對在 PIFLR 法糾正後，僅在近紅外光波段之有變遷像元數增加，略有改善漏授；相反地在 IR 及 HM 法糾正後幾乎都使真變遷樣本減少，似無助於改

善漏授。三種方法之 NDVI 波段之有變遷像元數皆減少，無助於改善漏授。由此結果來看，三種輻射同態化方法對於真變遷樣本之漏授似乎皆無改善效果，反而多呈負面之效果。

表 5 顯示輻射同態化對於崩塌地區塊中無變遷部分的改善情形。在綠光波段僅 HM 法有明顯改善無變遷像元之偵測正確率，在紅光波段上，I - III 影像對在 PIFLR 法、IR 法及 HM 法糾正後皆使無

變遷像元數增加。就近紅外光及 NDVI 而言，以 IR 法及 HM 法糾正後可達成改善變遷偵測正確率之效果，然 I - III 影像對在 PIFLR 法糾正後使無變遷像元數減少，產生反效果。綜合表 4 及表 5 結果來看，

各方法對於改善崩塌地區塊中之漏授及誤授的效果缺乏穩定之規律性，後續研究將需選取若干不同試區且具充足之真變遷樣本予以深入探討。

表 3. 相對輻射糾正前後無變遷樣本偵測之結果

Table 3. Detection Results of no-change test samples before and after RRN.

參考影像 (年月日,季)	檢核樣本	波段	相對輻射糾正		
			PIFLR	IR	HM
			改變率 (%)	改變率 (%)	改變率 (%)
V (2000.07.14, 夏)	植被	XS1	<u>-0.98</u>	<i>13.25</i>	4.49
		XS2	<u>-1.65</u>	<i>19.80</i>	4.89
		XS3	<u>1.19</u>	1.80	<i>1.84</i>
		NDVI	<u>-4.27</u>	0.95	<i>1.35</i>
	全區	XS1	<u>1.69</u>	<i>7.56</i>	5.47
		XS2	<u>1.78</u>	<i>10.03</i>	6.77
		XS3	<u>1.02</u>	<i>1.25</i>	1.04
		NDVI	<u>-0.64</u>	<i>1.23</i>	0.97
I (1999.01.05, 冬)	植被	XS1	<i>12.39</i>	<u>6.51</u>	8.02
		XS2	<u>2.73</u>	5.15	<i>9.98</i>
		XS3	<u>-1.50</u>	1.64	<i>2.23</i>
		NDVI	<u>-4.78</u>	4.23	<i>4.47</i>
	全區	XS1	<u>3.74</u>	8.10	<i>8.90</i>
		XS2	<u>4.48</u>	15.09	<i>16.45</i>
		XS3	<u>-0.14</u>	1.11	<i>1.52</i>
		NDVI	<u>-1.23</u>	0.70	<i>0.71</i>
XI (2002.10.17, 秋)	植被	XS1	<u>0.75</u>	<i>13.46</i>	8.87
		XS2	<u>3.51</u>	<i>15.21</i>	10.18
		XS3	<u>1.16</u>	<i>2.35</i>	2.28
		NDVI	<u>-4.82</u>	<i>3.57</i>	2.11
	全區	XS1	<u>1.88</u>	<i>8.64</i>	7.53
		XS2	<u>4.95</u>	<i>11.30</i>	9.76
		XS3	<u>1.74</u>	<i>2.07</i>	1.99
		NDVI	<u>-0.52</u>	<i>1.50</i>	0.94

註 1：植被檢核樣本總像元數 = 34,408 個；影像全區總像元數 = 1,440,000 個。

註 2：改變率 = (糾正後正確偵測之像元數 - 糾正前正確偵測之像元數) / 檢核樣本像元數。

註 3：同一波段的**最大**值以粗斜體表示，**最小**值以粗體加底線表示。

表 4. 相對輻射糾正前後檢測樣區內有變遷像元偵測之結果

Table 4. Detection Results of change samples in test area before and after RRN.

影像對	波段	相對輻射糾正						
		未糾正			相對輻射糾正			
		有變遷 像元數	有變遷 像元數	改變率 (%)	有變遷 像元數	改變率 (%)	有變遷 像元數	改變率 (%)
I-III	XS1	9039	7745	-0.90	10035	0.69	4498	-3.17
	XS2	10695	7286	-2.38	8136	-1.78	3778	-4.82
	XS3	9354	11909	1.78	4845	-3.14	4659	-3.27
	NDVI	9801	7403	-1.67	5091	-3.28	1730	-5.63

註 1：參考影像為第 I 期 (1999.01.05, 冬)。

註 2：樣區總像元數 = 143,429 個，真變遷像元數 = 12,599 個，無變遷像元數 = 130,830 個。

註 3：改變率 = (糾正後正確偵測之像元數 - 糾正前正確偵測之像元數) / 143,429。

表 5. 相對輻射糾正前後檢測樣區內無變遷像元偵測之結果

Table 5. Detection Results of no-change samples in test area before and after RRN.

影像對	波段	相對輻射糾正						
		未糾正			相對輻射糾正			
		有變遷 像元數	有變遷 像元數	改變率 (%)	有變遷 像元數	改變率 (%)	有變遷 像元數	改變率 (%)
I-III	XS1	125056	123131	-1.34	121271	-2.64	128631	2.49
	XS2	116203	117092	0.62	120480	2.98	123780	5.28
	XS3	110062	103049	-4.89	122738	8.84	123361	9.27
	NDVI	105059	95045	-6.98	115557	7.32	117000	8.33

註 1：參考影像為第 I 期 (1999.01.05, 冬)。

註 2：樣區總像元數 = 143,429 個，真變遷像元數 = 12,599 個，無變遷像元數 = 130,830 個。

註 3：改變率 = (糾正後正確偵測之像元數 - 糾正前正確偵測之像元數) / 143,429。

四、結論與建議

本研究發現 HM 法整體而言是三種同態化方法中效果最佳者，IR 法居次，PIFLR 法最遜。就方法操作之難易來看，HM 法簡易快速；IR 法雖自動化程度高，但電腦計算耗時；而 PIFLR 法之操作費工耗時。就方法使用樣本之多寡影響同態化效果來看，IR 法及 HM 法使用整幅影像所有像元，故獲得較佳的效果；PIFLR 法僅使用影像中小部分的像元，因此 PIFLR 法之輻射同態化效果較差。三種同態化

方法對改善真變遷地覆偵測正確率都不盡理想，可能是因缺乏不同試區且真變遷檢核樣本數不足等因素的影響，各方法的效果無法呈現一致之規律性。

就各波段同態化效果來看，以紅光波段之效果最優，綠光居次，NDVI 再次之，近紅外光最差。波段造成同態化效果之差異，推測是屬非地表因子之大氣效應對短波長可見光影響較強，造成反射光譜變異，而輻射同態化能有效減緩此一非地表因子之影響，使可見光波段

之糾正效果佳。長波之近紅外光受大氣效應影響較小，又因植被生理狀態的差異性會顯著地影響其反射率，導致近紅外光波段有較大變異，不利於輻射糾正，故同態化效果較差。以紅光及近紅外光波段組合計算所得 NDVI 的同態化效果介於兩者之間。

參考與從屬影像對為相同季節者，雖已降低季節性變異，但仍受輻射變異之影響。不過使用相同或相近季節之影像對有較佳的同態化糾正效果，其中以夏季為優先選擇。同態化效果另與影像對之時距長短有關，時距短者糾正效果具有較佳之傾向。因此，影像對最好選擇同屬夏季者，同屬秋春者次之，避免選擇分屬冬夏者。

五、參考文獻

- Dobson, J. E., R. L. Ferguson, D. W. Field, L. L. Wood, K. D. Haddad, H. Iredale, J. R. Jensen, V. V. Klemas, R. J. Orth, and J. P. Thomas (1995) NOAA Coastal Change Analysis Project (C-CAP): Guidance for Regional Implementation, National Oceanic and Atmospheric Administration, NMFS 123, 92 p.
- Du, Y., P. M. Teillet, and J. Cihlar (2002) Radiometric normalization of multitemporal high-resolution satellite images with quality control for land cover change detection. *Remote Sensing of Environment* 82: 123–134.
- Eckhardt, D. W., J. P. Verdin, and G. R. Lyford (1990) Automated update of an irrigated lands GIS using SPOT HRV imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 56 (11): 1515–1522.
- Elvidge, C. D., D. Yuan, R. D. Weerackoon and R. S. Lunetta (1995) Relative radiometric normalization of Landsat MSS data using an automatic scattergram controlled regression. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 61 (10): 1255–1260.
- ERDAS, Inc. (1999) ERDAS Field Guide. ERDAS, Inc., Atlanta, Georgia.
- Hall, F. G., D. E. Strelbel, J. E. Nickeson, and S. J. Goetz (1991) Radiometric rectification: toward a common radiometric response among multi-date, multi-sensor images. *Remote Sensing of Environment* 35: 11–7.
- Jensen, J. R. (1983) Urban and suburban land use analysis, *Manual of Remote Sensing*, 2nd, Vol. II, Interpretation and Applications (J. R. Estes, Editor), ASPRS, Falls Church, Virginia, pp. 1618–1620.
- Jensen, J. R. (1996) *Introductory Digital Image Processing—A Remote Sensing Perspective*, Prentice – Hall, Inc., New Jersey.
- Jensen, J. R., K. Rutchey, M.S. Koch, and S. Narumalani (1995) Inland Wetland Change Detection in the Everglades Water Conservation Area 2A Using A Time Series of Normalized Remotely Sensed Data, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 61 (2): 199–209.
- Kim, H. H. and G. C. Elman (1990) Normalization of satellite imagery, *International Journal of Remote Sensing* 11 (8): 1331–1347.
- Lillesand, T. M. and R. W. Kiefer (2004) *Remote Sensing and Interpretation*, 5th Ed., John Wiley & Sons, New York, 763 pages.
- Richards, J. A. (1993) *Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction*, Springer-Verlag, Berlin, German, 340 pages.
- Schott, J. R., C. Salvaggio, and W. J. Volchok (1988) Radiometric scene normalization using pseudoinvariant features. *Remote Sensing of Environment* 26: 1–16.
- Tillet, P. M. (1986) Image correction for radiometric effects in remote sensing.

- International Journal of Remote Sensing 7 (12): 1637–1651.
- Yang, X. and C. P. Lo (2000) Relative Radiometric Normalization Performance for Change Detection from Multi-date Satellites. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 66 (8): 967–980.
- Yuan, D. and C. D. Elvidge (1996) Comparison of relative radiometric normalization techniques. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 51: 117–126.