

以 UAS 影像結合遙測指標於山坡地土地利用辨識之研究

賴柏霖 蕭宇伸*

摘 要 本研究使用無人飛行系統 (Unmanned Aerial System, UAS) 影像進行山坡地土地利用辨識, 並討論可見光遙測指標的適用性。使用的可見光遙測指標包括綠葉指標 (Green Leaf Index, GLI)、常態化差異綠紅差值指標 (Normalized Difference Green-Red Index, NGRDI) 及可見光大氣抵抗指標 (Visible Atmospherically Resistant Index, VARI), 並以常態化差異植生指標 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) 進行比較。研究區位在台中市東勢區之山坡地。在植被與裸露地正確率分析方面, GLI、NGRDI 及 VARI 均有極佳的植被判釋能力與不錯的裸露地判釋能力; 在分離度指標分析方面, NGRDI 和 GLI 植被判釋成果與 NDVI 接近, 明顯較 VARI 佳, 而 VARI、NGRDI 整地開發區域判釋成果甚至優於 NDVI。整體而言 NGRDI 為最佳之可見光遙測指標。期望本研究未來能提供生態保育、環境災害、土地利用與違規查核等水土保持重要參考。

關鍵詞: UAS、遙測指標、土地利用

Analyzing Land Use on Slopes Through the Integration of Unmanned Aerial System Imagery With Remote-Sensing Indices

Bo-Lin Lai Yu-Shen Hsiao*

ABSTRACT This study utilized unmanned aerial system imagery to analyze land use on sloping terrain and assessed the performance of several visible light remote-sensing indices—namely the green leaf index (GLI), normalized difference green-red index (NDGRI), and visible atmospherically resistant index (VARI)—for comparison with the normalized difference vegetation index (NDVI). The study area was located in the mountainous region of Dongshi District, Taichung City, Taiwan. The GLI, NDGRI, and VARI exhibited strong discriminative capabilities for vegetation and bare soil. In a separability index analysis, the vegetation discrimination results of the NDGRI and GLI were similar to those of the NDVI and significantly better than those of the VARI. Moreover, the VARI and NDGRI outperformed the NDVI in the identification of land development area. Overall, the NDGRI emerged as the optimal visible light remote-sensing index in this study. The present results could serve as a valuable reference for soil and water conservation in the contexts of ecological conservation, environmental disaster management, land use, and violation enforcement.

Key words: Unmanned aerial system, Remote-sensing index, Land use

一、前 言

臺灣山區地形陡峭、地質脆弱, 且山坡地佔臺灣總面積超過 70%, 極端氣候使高強度降雨集中, 加上山坡地的開發, 使臺灣常發生規模大小不一的山崩及土石流災害, 為應對這些災害, 政府採取措施包括設置監測設備、建立預警系統、導入工程措施等, 以減少災害風險並確保公眾的安全和財產。上述的監測系統, 無人飛行系統 (Unmanned Aerial System, UAS) 是非常重要的工具與技術, 因為 UAS 有影像取得快速、方便、成本低、且時間與空間解析度較高等特性, 故如何利用 UAS 影像精準判釋裸露區位變化與土地利用變遷, 是重要的研究課題。通常 UAS 影像會利用遙測指標來輔助判釋, 其中常態化差異植生指標 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) 是最為普遍使用的指標, 然而

NDVI 需使用近紅外光波段運算, 但具有近紅外光之多光譜相機通常昂貴且不易取得, 若 UAS 搭載一般相機並配合可見光遙測指標來進行作業, 可大幅降低航拍成本。

由於近紅外光對葉綠素反射率非常高, NDVI 過去大量應用於監測山坡地植被與裸露區位分佈, 例如黃麗娟等 (2008) 使用 SPOT 衛星影像結合植生指標判釋植生地與裸露地之區域, 並利用倒傳遞類神經網評估植生指標判釋之準確率, 研究結果發現若結合作物及管理因子指標 (Cropping management factor index, CMFI) 與 NDVI, 具有最佳的準確性; 林昭遠與藍欣茹 (2015) 透過衛星影像萃取山區道路沿線坡地之 NDVI, 運用 NDVI 越大、植生物量越多、土壤深度則越深的觀念, 嘗試找出山區道路與小林村崩塌之關聯性; 劉家宏等 (2010) 研究以不同植生指標分析衛星影像對地滑地的辨釋效果, 研究顯示具有近紅外光波段的植生指標

較能有效的分辨植被與裸露地區位，也能藉由植生指標的數值大小分辨植被之濃密程度，證明在臺灣山區可使用衛星影像配合近紅外光指標找出植被與裸露地區域。除了上述監測山坡地植被與裸露區位分佈之應用外，NDVI 也常應用於生態與農業領域，主要應用在評估植被的健康狀況與生物量，例如 He et al. (2007) 使用多種植生指標（包括 NDV），預測數種草種之生長；Boschetti et al. (2007) 透過衛星影像探討夏季高海拔山區植物生物量與多個植生指標（包括 NDVI）之相關性；Eastman et al. (2013) 利用 NDVI 進行大規模的植被監測，由 30 年的紀錄可發現 NDVI 會隨著季節的更替而變化，並分析與氣候變遷之關聯；Noureddin et al. (2013) 使用衛星影像研究多個植生指標（包括 NDVI）在預測水稻產量的結果；Liaqat et al. (2017) 使用 Landsat 8 衛星影像搭配數個植生指標（包括 NDVI）預測小麥產量；Lemenkova and Debeir (2023) 使用 Landsat 8 和 9 影像監測沿海紅樹林逐年之變化情形，發現 NDVI 能清楚偵測紅樹林的面積之增減。

上述 NDVI 相關研究多是衛星影像相關之研究，因為遙測衛星具有近紅外光波段，可迅速提供 NDVI 相關應用。然而對於水土保持領域而言，特別是以農業部農村發展及水土保持署業務來說，勘查山坡地崩塌裸露或土地利用情形之面積及位置是重要的業務，比起大範圍、空間解析度低的衛星影像，更適合使用 UAS 影像。然而近紅外光譜相機昂貴且不易取得，故大部分 UAS 均搭載可見光相機，代表僅能以可見光遙測指標進行分析。過去亦有文獻分析可見光遙測指標之適用性，例如 Lim et al. (2019) 和 Yuliantika et al. (2016) 研究綠葉指標 (Green leaf index, GLI) 與稻作葉綠素含量之相關性；Bassine et al. (2019) 和 Elazab et al. (2016) 以常態化差異綠紅差值指標 (Normalized Green-Red Difference Index, NGRDI) 預測玉米株數量與玉米產量；Zhou et al. (2017) 和 Viña and Gitelson. (2011) 分析可見光大氣抵抗指標 (Visible Atmospherically Resistant Index, VARI) 與稻米產量之相關性等。由上可知，目前國際上針對可見光遙測指標的研究，均以農作物研究為主，較無崩塌裸露與土地利用相關研究，特別是 UAS 影像。

本研究選定台中市東勢區一山坡地，以 UAS 技術取得可見光與近紅外光影像，使用自製程式來分析遙測指標（包括可見光指標 GLI、NGRDI、VARI 與近紅外光指標 NDVI）土地利用判釋成果。透過本研究可了解可見光指標於山坡地植被與裸露區位辨識之準確性，提供水土保持從業人員以平價 UAS (僅搭載可見光相機) 進行空拍時之參考。

二、研究方法

1. 遙測指標

本文分析的遙測指標包括可見光指標 GLI、NGRDI、VARI 與近紅外光指標 NDVI，以下逐一介紹。

(1) NDVI

NDVI 由 Rouse et al. (1973) 提出，為最常被使用以及研究的植生指標。為了開發出能與植物生物量有

良好相關性的指標而選用了近紅外光以及紅光兩個波段，因植物對於近紅外光波段有較高的反射率，且在紅光波段有較低的反射率，藉由兩者相減和相加的比值可以監測植被分布。NDVI 計算公式為：

$$NDVI = \frac{nir-r}{nir+r} \quad (1)$$

上式中 nir 為近紅外光波段反射率、r 為紅光波段反射率。NDVI 最大值為 1、最小值為 -1，NDVI 值越大，則代表該區域綠色植物數量越多、健康狀況越佳。

(2) GLI

GLI 由 Louhaichi et al. (2001) 提出，運用三種可見光波段進行計算，原本設計是用於估計小麥覆蓋率，其計算式為：

$$GLI = \frac{2g-r-b}{2g+r+b} \quad (2)$$

上式中 g 為綠光波段反射率、r 為紅光波段反射率、b 為藍光波段反射率。GLI 的最大值為 1、最小值為 -1，GLI 值越大理論上代表植物或作物越多、生長越茂盛。

(3) NGRDI

由 Gitelson et al. (2002) 提出，由於藍光受大氣折光影響的程度較大，故僅由紅光與綠光波段組合進行計算，判釋地表植被覆蓋，其計算式為：

$$NGRDI = \frac{g-r}{g+r} \quad (3)$$

上式中 g 為綠光波段反射率、r 為紅光波段反射率。NGRDI 的最大值為 1、最小值為 -1，NGRDI 值越接近 1，同樣代表植物或作物越多、生長越茂盛。

(4) VARI

在 Kaufman and Tanre (1992) 的研究中，他們認為藍光受大氣折光影響的程度大於綠光及紅光，Gitelson et al. (2002) 透過測試提出較不受大氣影響的計算式：

$$VARI = \frac{g-r}{g+r-b} \quad (4)$$

上式中 g 為綠光波段反射率、r 為紅光波段反射率、b 為藍光波段反射率。

2. 遙測指標判釋正確率

本研究計算影像資料每一網格之遙測指標數值並且設定門檻值，由門檻值選取成果判斷遙測指標的判釋能力。首先計算目標區域內遙測指標搭配門檻值選取的網格數量，並以百分比表示遙測指標判釋正確率，以檢驗目標區域內的遙測指標判釋成果。公式如下：

$$P = \frac{M}{N} \times 100\% \quad (5)$$

其中 P 為目標區域內遙測指標判釋正確率；M 為目標區域內遙測指標搭配門檻值篩選之網格數量；N 為目標區域內網格總數量。M 若越接近 N，代表此遙測指標之判釋正確率越高。

3. 分離度指標 (Separability Index, SI)

Kaufman and Remer (1994) 為了量化植生指標在判釋植被與非植被區域的準確性，因此開發了分離度指標 SI，其計

算式如下：

$$SI = \frac{|m_v - m_{nv}|}{\sigma_v + \sigma_{nv}} \quad (6)$$

m_v 為植被之遙測指標平均值, m_{nv} 為非植被之遙測指標平均值, σ_v 為植被之遙測指標標準差, σ_{nv} 為非植被之遙測指標標準差。SI 值越大表示該遙測指標越能清楚分辨是否為植被區域。當 SI 值大於 1 則可以認為此植生指標有較佳的辨識植被能力, 若資料空間解析度較低時, 可調整此門檻值 (劉家宏等, 2010)。SI 也可用於判斷遙測指標是否能區分植被有差異之區位, 例如: 判斷遙測指標是否能區分森林火災裸露地與森林區位 (Lasaponara, 2006)。

4. 研究流程

本文研究流程如圖 1 所示, 詳細流程如下:

- (1) 設計一程式 (以 Fortran 語法撰寫) 將 UAS 影像資料進行遙測指標值運算, 程式中包含設定門檻值及計算面積之功能。
- (2) 研究使用的 UAS 影像資料, 將以 Pix4Dmapper 建模軟體處理並建立三維點雲模型, 再使用 GMT 將檔案規則網格化, 整理為輸入程式之格式即可進行運算。
- (3) 利用自製程式結合 GMT 將符合門檻值之網格輸出為成果圖並求得輸出網格之總面積。
- (4) 進行山坡地開發處植被與裸露地判釋成果比較, 透過判釋正確率與篩選面積評估遙測指標判釋目標區域能力。
- (5) 使用 UAS 影像資料進行遙測指標分離度分析, 透過分離度指標以量化植生指標判斷植被區域之能力。

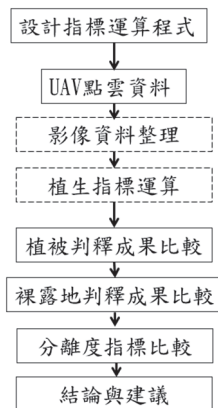


圖 1 研究流程圖。

Fig.1 Research flowchart

三、研究區域及設備

1. 研究區域

研究區位於台中市東勢區山坡地 (如圖 2), 地形環境為臺灣普遍中海拔山坡地開發利用之情形, 平均海拔介於 800 至 1000 公尺之間。因研究需求又分為 3 個研究樣區 (如圖 3 與 4 所示), 第一樣區為遙測指標植被與裸露地判釋研究使用之樣區; 第二、三樣區為遙測指標分離度研究使用之樣區。研究區域內皆有濃密植被生長區、稀疏植被生長區

(農用地)、裸露地、道路以及建築物, 利於檢驗遙測指標判釋成果。各樣區均先以人工圈選植被與裸露地範圍以供後續遙測指標計算結果驗證, 圖 5 與圖 6、圖 7 與圖 8、圖 9 與圖 10 分別為樣區一、樣區二、樣區三可見光與近紅外光影像植被與裸露地圈選範圍。

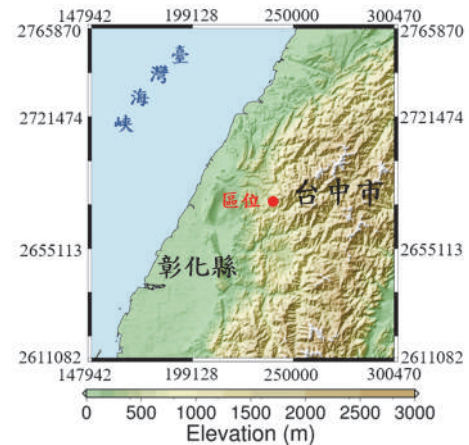


圖 2 研究區位地理位置圖。

Fig.2 The geographic location map of the research area

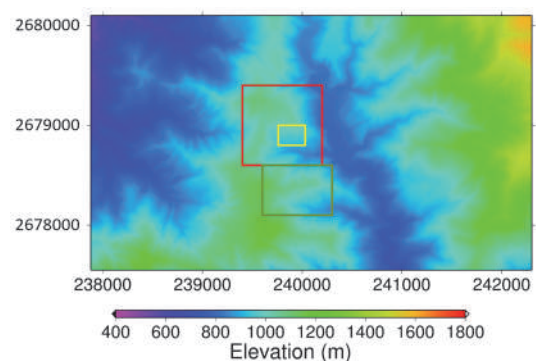


圖 3 研究區位高程圖, 其中黃色框為樣區一、紅色框為樣區二、綠色框為樣區三。

Fig.3 The elevation map of the research area. The yellow, red, and green frames represent the study areas 1, 2 and 3, respectively

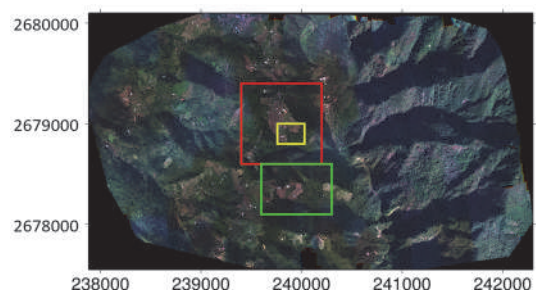


圖 4 研究區位可見光影像, 其中黃色框為樣區一、紅色框為樣區二、綠色框為樣區三。

Fig.4 The visible light image of the research area. The yellow, red, and green frames represent the study areas 1, 2 and 3, respectively



圖 5 樣區一可見光影像，黃色範圍為植被圈選範圍，紅色範圍為裸露地圈選範圍。

Fig. 5 The visible light image of the study area 1. The yellow area represents the selected vegetation zone, while the red area represents the selected bare ground zone

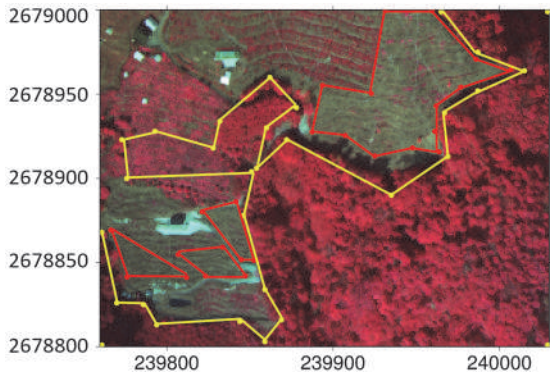


圖 6 樣區一近紅外光影像，黃色範圍為植被圈選範圍，紅色範圍為裸露地圈選範圍。

Fig. 6 The near-infrared image of the study area 1. The yellow area represents the selected vegetation zone, while the red area represents the selected bare ground zone

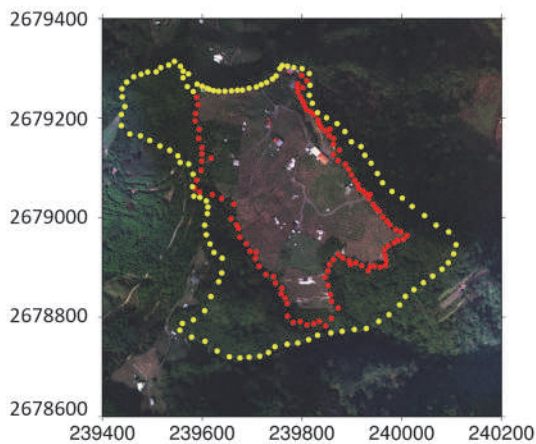


圖 7. 樣區二可見光影像，黃色範圍為植被圈選範圍，紅色範圍為裸露地圈選範圍。

Fig 7. The visible light image of the study area 2. The yellow area represents the selected vegetation zone, while the red area represents the selected bare ground zone

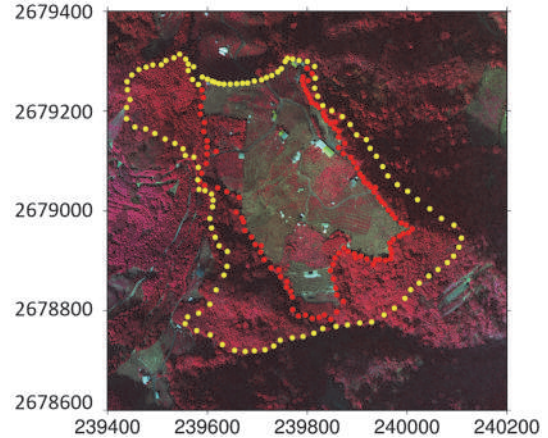


圖 8 樣區二近紅外光影像，黃色範圍為植被圈選範圍，紅色範圍為裸露地圈選範圍。

Fig. 8 The near-infrared image of the study area 2. The yellow area represents the selected vegetation zone, while the red area represents the selected bare ground zone

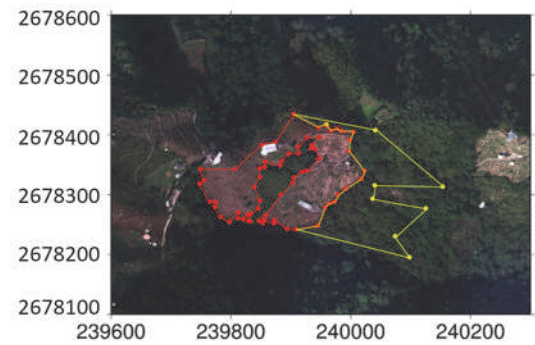


圖 9 樣區三可見光影像，黃色範圍為植被圈選範圍，紅色範圍為裸露地圈選範圍

Fig. 9 The visible light image of the study area 3. The yellow area represents the selected vegetation zone, while the red area represents the selected bare ground zone

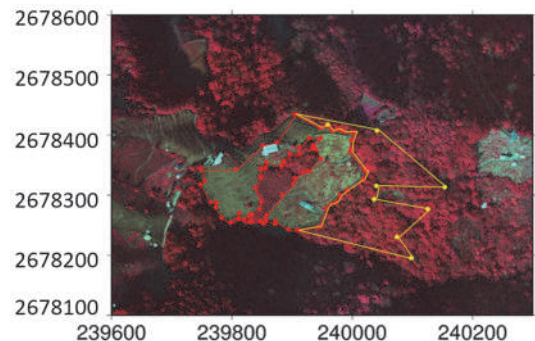


圖 10 樣區三近紅外光影像，黃色範圍為植被圈選範圍，紅色範圍為裸露地圈選範圍

Fig 10. The near-infrared image of the study area 3. The yellow area represents the selected vegetation zone, while the red area represents the selected bare ground zone

2. Sensefly eBee X 及 Micasense Rededge-MX

本研究使用的無人載具與相機為 Sensefly eBee X 搭載 Micasense Rededge-MX 多光譜相機拍攝，航高約 500 公尺，拍攝日期為 2021 年 1 月 2 日，產製之影像三維點雲模型解析度為 1 公尺。Sensefly eBeeX 為定翼無人機，約為 1300 公克至 1600 公克，搭載的 Micasense Rededge-MX 多光譜相機重量 231.9 公克，解析度 1280×960，可獲得藍光、綠光、紅光、近紅外光以及紅邊光 (Red Edge) 等五種光譜。本研究空拍範圍約 600 公頃，將其拍攝之連續照片建置三維點雲模型，搭配程式即可進行植生指標運算。

3. PIX4Dmapper

Pix4Dmapper 是一款三維點雲模型製作及分析軟體，由瑞士 Pix4D 公司研發，可輸入大量 UAS 影像並產製高精度的三維點雲模型及正射鑲嵌影像，也可以在軟體中進行地形分析、測量面積體積等各種測量和分析任務。本研究利用 Pix4Dmapper 將 UAS 影像建立為三維點雲模型，後續再以自製程式計算各遙測指標值，分析各遙測指標判釋能力。

4. GMT

GMT 為一製圖工具，也有整理、計算數據功能，廣泛用於地球、海洋和行星科學及其他學術領域 (Wessel et al., 2019)，於 1987 年開發試用版，之後歷經許多改版被各個學術界廣泛使用。本研究用於遙測指標運算後繪製植被或裸露地篩選成果圖、圈選區域圖等功能。

四、研究結果

1. 植被與裸露地正確率分析

此研究之地區為樣區一，研究中使用 UAS 獲取之資料進行遙測指標植被與裸露地判釋，透過遙測指標運算嘗試將影像中植被與裸露地區域篩選輸出並評估可見光遙測指標的植被辨識能力，並分析與 NDVI 相比之下可見光指標的優點與缺點，討論可見光指標於台灣山坡地之實用性。

樣區一 NDVI 植被篩選成果如圖 11 所示，途中右下方濃密植被區位幾乎都有被選取，左上方稀疏植被區位呈現條狀，原因為農作物種植方式之影響，另外土壤裸露部分幾乎都未被選取，左下方建物、道路和裸露地也皆被刪除，說明 NDVI 遙測指標能確實分類植被與非植被區域，植被區域判釋成果十分良好。GLI、NGRDI 和 VARI 遙測指標植被篩選成果依序如圖 12~14 所示，這三種可見光遙測指標於濃密植被區域也幾乎都將植被篩選輸出，在植被茂密的區域可見光指標都有準確的成果。三種可見光指標在稀疏植被區也可移除較裸露部分，但在成果圖中仍可看見些許代表土壤的褐色網格。然而無論 GLI、NGRDI 或 VARI，無法將淺色建物與道路，深色的建物、水體完全刪除。

表 1 為 NDVI、GLI、NGRDI 與 VARI 等遙測指標植被判釋成果統計 (計算範圍見圖 5 與圖 6)，表中包括判釋正確率、篩選面積、篩選像元數、門檻設定值等，由表可發現，NDVI 有最佳的植被判釋正確率，達 99.2%。雖然 GLI、NGRDI 和 VARI 在道路、建物與水體的判釋度稍差，但植

被判釋正確率依然相當高，達 98.6~99%，與 NDVI 結果相當接近。總結三種可見光植生指標的植被判釋成果無明顯差異，三者植被篩選面積相似。

表 1 遙測指標植被判釋成果

Table 1

植生指標判釋正確率(%)	篩選面積 (HA) (總面積： 5.447ha)	篩選像元數 (總像元數： 54470)	門檻設定值
NDVI	99.2	36190	0.2~1
VARI	99	36040	>-0.02
NGRDI	98.8	35630	0~1
GLI	98.6	36430	0~0.3

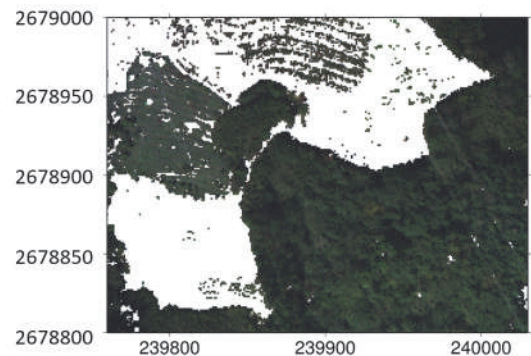


圖 11 樣區一 NDVI 植被篩選成果。

Fig.11 NDVI vegetation screening results in the study area 1

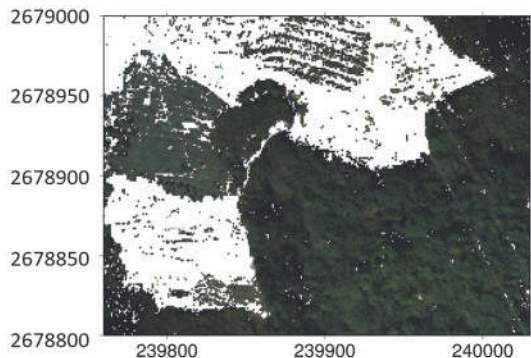


圖 12 樣區一 GLI 植被篩選成果

Fig.12 GLI vegetation screening results in the study area 1

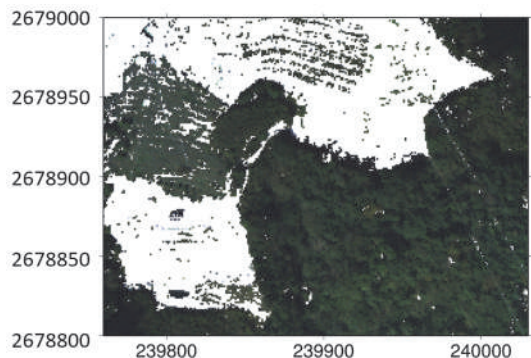


圖 13 樣區一 NGRDI 植被篩選成果

Fig.13 NGRDI vegetation screening results in the study area 1

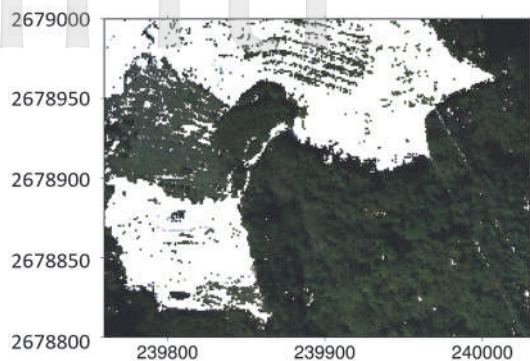


圖 14 樣區一 VARI 植被篩選成果

Fig.14 VARI vegetation screening results in the study area 1

NDVI 裸露地判釋成果如圖 15，由圖可發現 NDVI 能去除植被區域、人工鋪面及建物，但無法將水體部分去除。GLI、NGRDI 與 VARI 篩選成果依序如圖 16~18 所示，由圖中發現三個可見光指標皆可將濃密植被區和稀疏植被區刪除，餘下道路、建物，而 GLI 與其他兩個指標相比，於稀疏植被區刪除較多網格，且 GLI 對於陰影處和深色網格的判釋成果和其他可見光指標明顯不同。

表 2 為 NDVI、GLI、NGRDI 與 VARI 等遙測指標裸露地判釋成果（計算範圍見圖 5 與圖 6），表中包括判釋正確率、篩選面積、篩選像元數、門檻設定值等。由表 2 可發現 NDVI 仍為判釋正確率最高的遙測指標，判釋正確率達 97.6%，可見光指標判釋正確率明顯較差，其中 NGRDI 與 VARI 判釋正確率較接近，分別為 93.2%與 92.4%，GLI 的判釋正確率最差，僅 86.8%。

表 2 植生指標裸露地判釋成果

Table 2

植生指標判釋正確率 (%)		篩選面積 (HA) (總面積： 5.447ha)	篩選像元數 (總像元數： 54470)	門檻設定值
NDVI	97.6	1.656	16560	-0.15~0.12
NGRDI	93.2	1.572	15720	-0.33~-0.05
VARI	92.4	1.525	15250	-0.4~-0.1
GLI	86.8	1.457	14570	-0.3~-0.03

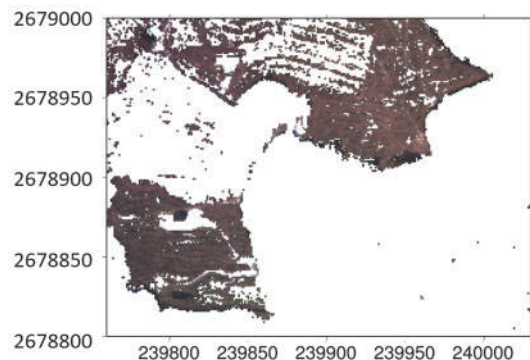


圖 15 樣區一 NDVI 裸露地篩選成果

Fig.15 NDVI bare ground screening results in the study area 1

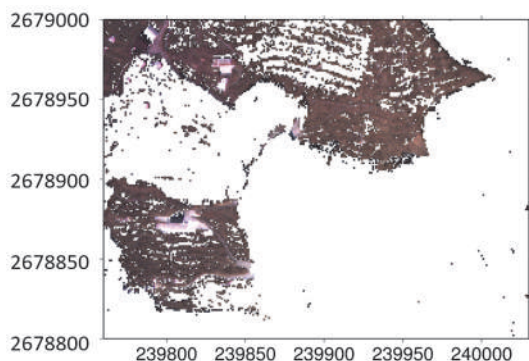


圖 16 樣區一 GLI 裸露地篩選成果

Fig.16 GLI bare ground screening results in the study area 1

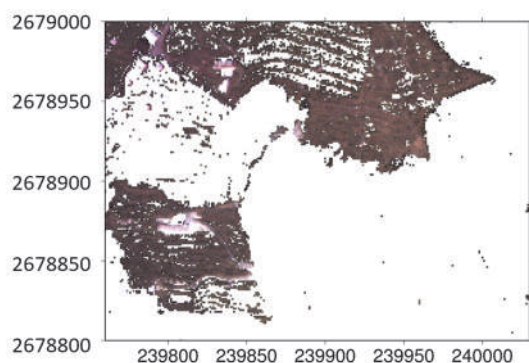


圖 17 樣區一 NGRDI 裸露地篩選成果

Fig.17 NGRDI bare ground screening results in the study area 1

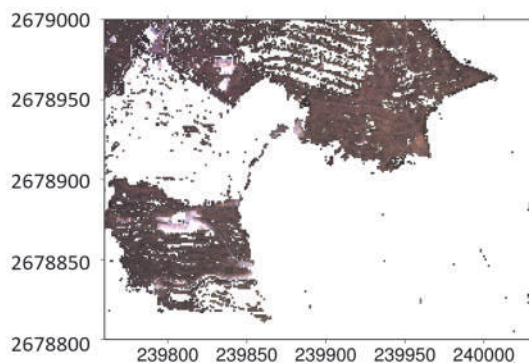


圖 18 樣區一 VARI 裸露地篩選成果

Fig.18 VARI bare ground screening results in the study area 1

2. 分離度指標分析

本研究分離度指標分析分析區分為植被區域辨識成果與整地區域辨識成果，測試區位分別為第三樣區與第二樣區。透過分離度指標可以量化遙測指標正確判斷目標區域之能力，分離度指標越大代表植生指標對於不同類別區域分類清楚。一般而言，若分離度指標值大於或接近 1，表示具有良好的辨識能力。此研究相關成果分述如下。

(1) 植被區域辨識

測試區位為第三樣區，如圖 9 與 10 所示，圖中紅

點標示的非植被區內沒有綠色植物網格,皆為裸露地、不透水鋪面以及建物,黃圈標示的濃密植被區內茂密喬木涵蓋了整個樣區,透過兩個土地利用方式截然不同的樣區進行植生指標植被辨識效果測試。

表 3 為分離度指標植被區域辨識成果,NDVI 仍是植被判釋能力最佳的指標,分離度指標值達 1.71,可見光指標 NGRDI 和 GLI 植被判釋成果與 NDVI 較接近,分別為 1.44 與 1.28,VARI 分離度指標植被判釋成果最差,僅 0.89。

表 3 分離度指標成果 (植被區域辨識)

植生指標	分離度指標
NDVI	1.71
NGRDI	1.44
GLI	1.28
VARI	0.89

(2) 整地區域辨識

測試區位為第二樣區,如圖 7 與 8 所示,圖中黃點與紅點之間標示濃密植被區,區內之喬木樹冠層覆蓋了整個樣區,紅點標示範圍內為整地後區域,整地後區域包含農用地、裸露地、不透水鋪面以及建物。

表 4 為整地區域辨識分離度指標成果,NDVI 分離度指標值 0.92,然而 VARI、NGRDI 與 NDVI 相比,分離度指標值更高,分別達 1.01 與 0.98,代表 VARI、NGRDI 具有更好的整地區域辨識能力,而 GLI 的分離度指數僅 0.75,與前兩者有不小差異,代表在整地區域辨識成效較差。

表 4 分離度指標成果 (整地區域辨識)

植生指標	分離度指標
VARI	1.01
NGRDI	0.98
NDVI	0.92
GLI	0.75

五、結論與建議

本研究使用 UAS 資料進行植生指標運算,利用不同研究方法比較近紅外光指標與可見光指標之植被分布、裸露地等土地利用判釋成果,並分析可見光指標之優缺點,研究成果如下:

1. 在樣區一的分析成果,近紅外光 NDVI 遙測指標與可見光 GLI、NGRDI 及 VARI 等遙測指標植被區域判釋正確率均非常高,至少都在 98.6%以上,而在裸露地判釋正確率方面,NDVI、NGRDI 與 VARI 判釋正確率均達 92.4%以上,GLI 的判釋正確率最差,僅 86.8%。
2. 分離度指標植被辨識成果顯示,NDVI 具有最佳的分離度指標值 (1.71),NGRDI 與 GLI 也具有不錯的分離度指標值成果,VARI 則較差,分離度指標值低於 1。
3. 分離度指標整地區域辨識成果顯示,VARI 和 NGRDI 為所有植生指標中辨識能力最佳的指標,甚至略優於

NDVI,而 GLI 分離度指標值僅 0.75。

4. NGRDI 在植被、裸露地辨識、分離度指標測試中皆有可見光指標中較好的成果,為可見光遙測指標最佳選擇。

本文之研究成果中,可見光指標區分為植被與裸露地區域,但些許建物或人工不透水鋪面因顏色多變造成可見光指標判定產生誤差,在篩選植被及裸露地時都有可能出現建物和人工不透水鋪面,不過在山坡地較少建物及人工不透水鋪面或其顏色單調,讓可見光指標判定失誤的情形較少,因此使用可見光指標在山坡地辨識植被與裸露地區域為可行之方法,可提供山坡地違規查核、土地利用、災害監測等水土保持工作之參考。

此外,本文研究成果中可以歸納出下列幾點改善之建議:

1. 未來可使用其他驗證方式分析遙測指標於山坡地植被辨識的效果,多種驗證方式助於對植生指標的特性有更深入人的認識。
2. 未來可嘗試對山坡地不同的林分結構區域進行研究,實驗山坡地植被種類、結構是否對遙測指標結果造成影響。

參考文獻

- [1] 林昭遠、藍欣茹 (2015),「山區道路與小林村崩塌關係之探討」,中華水土保持學報,47(1),1287-1296。(Lin, C.Y., and Lan, H.J. (2015). "A study of the relationship between the road development and landslide in Xiaolin Village." *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 47(1), 1287-1296. (in Chinese))
- [2] 黃麗娟、莊智瑋、何世華、林昭遠 (2008),「衛星影像植生指標優選之研究」,中華水土保持學報,40(1),39-50。(Huang, L.C., Chuang, C.W., Ho, S.H., and Lin., C.Y. (2008). "Selection of Optimum Vegetation Index from SPOT Satellite Image." *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 40(1), 39-50. (in Chinese))
- [3] 劉家宏、馮正一、楊明德、黃志彰 (2010),「應用 IDRISI 遙測影像程式於地滑地變遷之研析」,中華水土保持學報,41(4),319-332。(Liu, J.H., Feng, Z.Y., Yang, M.D., Huang, J.J. (2010). "Application of IDRISI Remote Sensing Image Program to Landslide Changes." *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 41(4), 319-332. (in Chinese))
- [4] Bassine, F.Z. Errami, A., and Khaldoun, M. (2019). "Vegetation recognition based on UAV image color index." *IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)*, 1-4.
- [5] Eastman, J.R., Sangermano, F., Machado, E.A., Rogan, J., and Anyamba, A. (2013). "Global trends in seasonality of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), 1982-2011." *Remote Sensing*, 5, 4799-4818.
- [6] Elazab, A., Ordóñez, R.A., Savin, R., Slafer, G.A., and Araus, J.L. (2016). "Detecting interactive effects of N fertilization and heat stress on maize productivity by remote sensing techniques." *European Journal of Agronomy*, 73, 11-24.

- [7] Gitelson, A.A., Kaufman, Y.J., Stark, R., and Rundquist, D. (2002). "Novel Algorithms for Remote Estimation of Vegetation Fraction." *Remote Sensing of Environment*, 80(1), 76-87.
- [8] He, Y., Guo, X., and Wilmshurst, J.F. (2007). "Comparison of different methods for measuring leaf area index in a mixed grassland." *Canadian Journal of Plant Science*, 87(4), 803-813.
- [9] Kaufman, Y.J., and Tanre, D. (1992). "Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS." *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 30(2), 261-270.
- [10] Kaufman, Y.J., and Remer, L.A. (1994). "Detection of Forests Using Mid-IR Reflectance: An Application for Aerosol Studies." *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 32(3), 672-683.
- [11] Lasaponara, R. (2006). "Estimating spectral separability of satellite derived parameters for burned areas mapping in the Calabria region by using SPOT-Vegetation data." *Ecological modelling*, 196, 265-270.
- [12] Lemenkova, P., and Debeir, O. (2023). "Computing Vegetation Indices from the Satellite Images Using GRASS GIS Scripts for Monitoring Mangrove Forests in the Coastal Landscapes of Niger Delta, Nigeria." *Marine Science and Engineering*, 11(4), 871.
- [13] Liaqat, M.U., Cheema, M.J.M., Huang, W., Mahmood, T., Zaman, M., and Khan, M.M. (2017). "Evaluation of MODIS and Landsat multiband vegetation indices used for wheat yield estimation in irrigated Indus Basin." *Computers and Electronics in Agriculture*, 138, 39-47.
- [14] Lim, S.E., Ismail, R., Hashim, W., and Baharum, A. (2019). "The use of VARI, GLI, and VIGREEN formulas in detecting vegetation in aerial images." *International Journal of Technology*, 10(7), 1385-1394.
- [15] Louhaichi, M., Borman, M.M., and Johnson, D.E. (2001). "Spatially Located Platform and Aerial Photography for Documentation of Grazing Impacts on Wheat." *Geocarto International*, 16(1), 65-70.
- [16] Noureldin, N.A., Aboelghar, M.A., Saady, H.S., and Ali, A.M. (2013). "Rice yield forecasting models using satellite imagery in Egypt." *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 16(1), 125-131.
- [17] Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., and Deering, D.W. (1973). "Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS." Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I, 309-317.
- [18] Viña, A., and Gitelson, A.A. (2011). "Sensitivity to foliar anthocyanin content of vegetation indices using green reflectance." *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 8(3), 464-468.
- [19] Wessel, P., Luis, J.F., Uieda, L., Scharroo, R., Wobbe, F., Smith, W.H.F., and Tian, D. (2019). "The Generic Mapping Tools version 6." *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 20, 5556-5564.
- [20] Yuliantika, G., Suprayogi, A., and Sukmono, A. (2016). "Analisis Penggunaan Saluran Visible untuk Estimasi Kandungan Klorofil Daun Pade dengan Citra Hymap." *Jurnal Geodesi Undip*, 5(2), 200-207.
- [21] Zhou, X., Zheng, H.B., Xu, X.Q., He, J.Y., Ge, X.K., Yao, X., Cheng, T., Zhu, Y., Cao, W.X., and Tian, Y.C. (2017). "Predicting grain yield in rice using multi-temporal vegetation indices from UAV-based multispectral and digital imagery." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 130, 246-255.

2023 年 09 月 24 日 收稿

2023 年 12 月 12 日 修正

2024 年 03 月 19 日 接受