

應用支持向量機探討山坡地土壤沖蝕程度之研究

林俐玲⁽¹⁾ 王兆文⁽²⁾ 沈哲緯⁽³⁾ 陳品岡⁽⁴⁾ 翁志成⁽⁵⁾

摘要

早期台灣山坡地土地利用由於缺乏通盤規劃，且農地資源隨經濟結構改變之影響，爰於1976年公布山坡地保育利用條例以規範山坡地範疇，為管理山坡地農地資源狀況，乃訂定「山坡地土地可利用限度分類標準」，將山坡地依其平均坡度、土壤有效深度、土壤沖蝕程度及母岩性質等因子，區分宜農牧地、宜林地及加強保育地。並依四項因子條件全面查定山坡地土地利用分類使用，其中土壤沖蝕程度因子之人為判定不易，為減少人為判定之誤判，故本研究以南投縣竹山鎮大坑段、大鞍段、筍子林、鯉魚尾及雲林縣古坑鄉草嶺段等5個地段之地籍單元共計7,622筆，亂數選取輕微沖蝕、中等沖蝕及嚴重沖蝕各850筆土地為訓練資料，餘為測試資料之使用。

本研究採用支持向量機，選取坡度、地形曲率、降雨沖蝕指數、土壤沖蝕指數、土地覆蓋與管理指數等因子進行山坡地土壤沖蝕程度分析，透過分類矩陣得知訓練模式之總體準確度77.18%，而驗證成果以嚴重沖蝕驗證正確性最高，達九成以上，輕微沖蝕次之，亦達到七成，最後是中等沖蝕，準確率有六成以上，故本研究建立之土壤沖蝕程度分類模式，應可輔助查定人員現場判定參考，提升土壤沖蝕程度等級判定之效率。

(**關鍵詞**：山坡地土地可利用限度、土壤沖蝕程度、支持向量機)

A Study of Soil Erosion Degree on Slopeland by Using Support Vector Machine

*Li-Ling Lin⁽¹⁾, Chao-Wen Wang⁽²⁾, Che-Wei Shen⁽³⁾
Pin-Gang Chen⁽⁴⁾, Chih-Cheng Weng⁽⁵⁾*

Professor⁽¹⁾, Graduate Student⁽²⁾, Graduate Student⁽⁴⁾, Graduate Student⁽⁵⁾, Department of Soil and Water Conservation National Chung-Hsing University, Taichung, 402, Taiwan, R.O.C.

Research Engineer⁽³⁾, Geotechnical Engineering Research Center, Sinotech Engineering Consultants, INC., Taipei 11057, Taiwan, R.O.C.

⁽¹⁾ 國立中興大學水土保持學系教授(通訊作者 e-mail:lllin@dragon.nchu.edu.tw)

⁽²⁾ 國立中興大學水土保持學系博士班研究生

⁽³⁾ 財團法人中興工程顧問社研究員

⁽⁴⁾ 國立中興大學水土保持學系研究生

⁽⁵⁾ 國立中興大學水土保持學系博士班研究生

ABSTRACT

Due to the lack of a comprehensive planning on the utilization of slopeland in Taiwan in the early years, as well as the effect of economic structure changes on farmland resources, “Slopedland Conservation and Utilization Act” was promulgated in 1976 to regulate slopedland use. For the management of farmland resources on slopedland, “The classification standard of slopedland utilization limitation” was established to classify lands as suitable for agriculture, animal husbandry, forestry purposes or as land subject to strengthened conservation. The classification was based on four factors which are average slope, soil effective depth, soil erosion degree, and parent rock. Comprehensive classification of slopedland utilization was determined based on these four factors. In view of difficulties in manual verification of soil erosion degree, the study employed a total of 7,622 cadastre entries in five cadastral sections: Da-Keng Section, Da-An Section, Sun-Zih-Lin Section and Li-Yu-Wei Section in Jhushan Township of Nantou County; and Tsao-Ling Section in Gukeng Township of Yunlin County. For training data, 850 pieces of land were randomly selected from slight erosion, medium erosion and severe erosion, respectively, while the rest of the data were used as test data.

The study analyzed soil erosion degree of the slopedland by using Support Vector Machine and selecting factors including slope, terrain curvature, erosivity index, erodibility index, land cover and management index. Via classification array, the general accuracy of the training results is 77.18%. The highest ranking of accuracy in the testing results lies in the severe erosion group, which is above 90%; followed by the slight erosion group, which achieves around 70%; and the last is the medium erosion group, which has an accuracy of at least 60%. Therefore the predictive model of soil erosion degree established by the study can be used as reference for future verifications.

(Keywords: Slopedland Utilization limitation, Soil Erosion Degree, Support Vector Machine)

前言

台灣由於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊的擠壓而形成的特殊地理環境，山坡地面積佔全省之三分之二，隨者經濟快速發展，造成平地資源已趨飽和，山坡地成爲土地開發之重要資源，然近年來保育國土資源及維護自然生態觀念日益

重視之情形下，爲使國土能永續經營發展，應有效實施山坡地土地保育利用合理之規劃與管理。

1976 年公布訂定山坡地保育利用條例規定(行政院農業委員會，1976、1977)：「山坡地供農業使用者，應實施土地可利用限度分類」，該分類標準係依據「山坡地土地可利用限度分類標準」(行政院農業委員會，1995；行政

林俐玲、王兆文、沈哲緯、陳品岡、翁志成：應用支持向量機探討山坡地土壤沖蝕程度之研究

院農業委員會水土保持局，1995），將山坡地依其平均坡度、土壤有效深度、土壤沖蝕程度及母岩性質等因子，區分為 I~IV 級宜農牧地、V 級為宜林地及 VI 級為加強保育地；前項四因子均有所準則，以供查定人員現場判定，其中土壤沖蝕程度因子，係依土壤表面所呈現之沖蝕徵狀與土壤流失量決定，往往查定人員於現場判定土壤流失量多寡（林俐玲，2003），較流於主觀且判別不易，本研究冀以科學及量化方式訂定適宜之分類模式。

本研究以南投縣竹山鎮大坑段、大鞍段、筍子林、鯉魚尾及雲林縣古坑鄉草嶺段等五個地段為研究區域，選取坡度（Wilson，2000）、地形曲率（王鑫，1988；Heimsath et al.，1999）、降雨沖蝕指數（黃俊德，1981；盧光輝，1999；盧昭堯，2005）、土壤沖蝕指數（萬鑫森，1989；林俐玲，1999、2000）、土地覆蓋與管理指數等因子，採用支持向量機（陳木龍，2009）進行山坡地土壤沖蝕程度分析，藉此建立完善的土壤沖蝕程度潛勢分級模式，有效評估土壤沖蝕等級程度，作為查定人員現場判定之參考依據。

文獻回顧

2.1 國內外土壤沖蝕等級規定之探討：

(1) 依據山坡地土地可利用限度分類標準查定有四項因子，其中土壤沖蝕程度因子之查定作業係依土地表面所呈現之沖蝕徵狀與土壤流失量決定之，其分級方式參酌美國各州自訂土地能力分級判定規章所訂定（David，2003；Keith 2004；Francis 2006；Robert，2006；Wisconsin，2009），美國各州土地土壤沖蝕分級略整如表 1：

(2) 加拿大英屬哥倫比亞農業及食品局於 1983 年訂定土壤沖蝕分級規定，如表 2：

(3) 中華人民共和國水利部於 1997 年發佈「土壤侵蝕強度分級標準」簡略如下表 3：

(4) 我國山坡地土地可利用限度分類標準之土壤沖蝕程度基準規定，如表 4：

2.2 國內外土壤沖蝕程度分級研究之探討：

(1) 陳志彰（2005）應用地理資訊系統分析技術結合遙測影像以強化判定，並用來分析南投縣竹山鎮圓山段山坡地查定及土地利用合理性之評估，並利用 U/L ratio 評估法評估土地開發狀況之合理性。

(2) Bakker et al.(2005)以希臘 Lesvos 的西部地區為試區，以土壤沖蝕、土壤深度及坡度為因子，使用羅吉斯迴歸方法來分析土壤沖蝕與土地利用形態的之關聯性。

(3) Magliulo (2010)以義大利南部的 Janare Torrent 集水區為試區，考慮地質、坡度、坡向及土地利用類型。運用 ArcView GIS3.2 套疊分析，並經二變量統計分析得到密度及權重來表示土壤沖蝕程度分級。

(4) 蘇政宇等人（2007）應用地理資訊系統分析技術配合數值地形模型與遙感探測之影像，以廣域快速之方法幫助判定土地可利用限度分類，並藉由 U/L 值評估分析土地利用之適宜性。

(5) Conoscenti et. al. (2008) 以義大利南西西里島為例，篩選土壤利用、土壤質地和基岩岩性，視為可蝕性參數，而水流沖蝕指數（SPI）及的 LS - 因子和計畫曲率，視為侵蝕力的參數。將每個控制因子與 Unique Condition Units 套疊求出密度值，再依據面積比率產生不同類型土壤沖蝕程度潛感圖。

(6) Dabral et al.(2008)以印度東南方 Dikrong river 集水區為試區，將集水區劃分為 200×200

表1 美國肯塔基州、密西西比州、科羅拉多州及內布拉斯加州之土壤沖蝕等級標準

Table 1. The standards of soil erosion degree in the Kentucky, Mississippi, Colorado and Nebraska state, United States

| 沖蝕程度級別 | 肯塔基州 | 密西西比州 | 科羅拉多州 | 內布拉斯加州 |
|--------|--|------------------------------|--|---|
| 輕微沖蝕 | 耕犁層(7 英吋)至少留有 75%的表土 (5.25 英吋) 或沒有超過 25%的底土(1.75 英吋) | 表土流失量少於25%，且無蝕溝產生。 | 1. 土壤移動不明顯或輕微 2. 植物根部及岩石不明顯或輕微露出。 3. 無沖蝕溝產生。 | 1. 沒有明顯的沖蝕現象出現 2. 表層土壤表現出 A 層的土壤特性 3. 表土流失量少於 25%，沒有溝狀沖蝕存在 |
| 中等沖蝕 | 耕犁層(7 英吋)留有 25%至 75%的表土 | 表土流失量在 25%至 75%，可能有少許溝狀沖蝕產生。 | 1. 少數岩石及植物根基露出。 2. 紋溝沖蝕深度介於 0.5~6 英吋 3. 在 10 英尺長的範圍內，小於 10%的長度會產生沖蝕，並生成溝壑。 | 1. 土壤流失量大於 75% 2. 如果土壤 B 層存在則表層土壤表現出 B 層的土壤特性。如果 B 層不存在則會表現出 AC 層或 C 層的土壤特性 |
| 嚴重沖蝕 | 耕犁層(7 英吋)表土少於 25%或底土超過 75%。 | 表土流失量超過 75%，溝狀沖蝕刷深但還可跨越。 | 1. 土壤沿著岩石及植物冠部堆積 2. 多數的植物根基及岩石露出 3. 紋溝沖蝕深度介於 3~6 英吋 4. 在 5 英尺的範圍內，大於 50%的長度會產生沖蝕，並發展出許多完整的溝壑。 | 1. 土壤流失量大於 75% 2. 有許多不可跨越的溝壑。沖蝕開始加速。因為風力爾史土壤重新沉積的情形將會存在 3. 表層土壤表現出 C 層或是 C 層以下土層的土壤特性 |
| 極嚴重沖蝕 | | 表土流失量超過 75%，有不可跨越的溝狀沖蝕及蝕溝 | | |

表 2 加拿大英屬哥倫比亞之土壤沖蝕分級規定

Table 2. Soil erosion classification for agriculture in British Columbia

| 沖蝕程度級別 | 土地沖蝕徵狀及土壤流失量 |
|--------|---|
| 輕微 | 地面有層狀沖蝕、指狀沖蝕或風蝕跡象，需極小處理或水土保持措施。 |
| 中等 | 因層狀沖蝕、指狀沖蝕或風蝕造成有機土層含量在百分之二十五以下，表土流失量超過百分之五十。或有輕微溝狀沖蝕跡象可以一般農地水土保持處理。 |
| 嚴重 | 因層狀沖蝕、指狀沖蝕、風蝕或輕微溝狀沖蝕等一般跡象造成有機土層含量超過百分之二十五至百分之五十，表土流失量超過百分之七十五。較少有中等深到深之溝狀沖蝕發生，亟需特殊方式處理。 |
| 非常嚴重 | 因層狀沖蝕、指狀沖蝕、風蝕或輕微溝狀沖蝕及中等深到深之溝狀沖蝕等一般跡象造成有機土層含量超過百分之五十至百分之七十五，表土流失量超過百分之七十五。 |
| 極嚴重 | 因層狀沖蝕、指狀沖蝕、風蝕或輕微溝狀沖蝕及中等深到深之溝狀沖蝕等一般跡象造成有機土層含量超過百分之七十五，表土流失量超過百分之七十五。對蝕溝間的完密土壤，切割出中等深到深之溝狀沖蝕。 |

表 3 土壤侵蝕強度分級標準

Table 3. The standard of soil erosion intensity in china

| 級別 | 平均侵蝕量 < t/(km ² ·yr) > | 平均流失厚度 (mm/yr) |
|-----|--------------------------------------|------------------------|
| 微度 | < 200, < 500, < 1000 | < 0.15, < 0.37, < 0.74 |
| 輕度 | 200, 500, 1000—2500 | 0.15, 0.37, 0.74—1.9 |
| 中度 | 2500—5000 | 1.9—3.7 |
| 強度 | 5000—8000 | 3.7—5.9 |
| 極強度 | 8000—15000 | 5.9—11.1 |
| 劇烈 | > 15000 | > 11.1 |

表 4 我國山坡地可利用限度分類之土壤沖蝕程度分級表：

Table 4. The classification of soil erosion of the land classification standards for permissible slopeland use

| 沖蝕程度級別 | 土地沖蝕徵狀及土壤流失量 |
|--------|---|
| 輕微 | 地面無小沖蝕溝跡象，表土流失量在百分之二十五以下。 |
| 中等 | 地面有蝕溝系統之跡象，礫石、碎石含量在百分之二十以下，表土流失量超過百分之二十五至百分之七十五。 |
| 嚴重 | 地面沖蝕溝甚多，片狀沖蝕活躍，土壤顏色鮮明，礫石、碎石含量超過百分之二十至百分之四十，底土流失量在百分之五十以下。 |
| 極嚴重 | 掌狀蝕溝分歧交錯，含石量超過百分之四十，底土流失量超過百分之五十，甚至母岩裸露，局部有崩塌現象。 |

的網格，利用GIS及遙測影像來得到USLE公式中所需要的因子。將這些資料帶到USLE公式來預測可能的沖蝕程度。

(7) Luiz et al.(2008)以巴西的Capivara River集水區為試區，考慮土地利用、表土覆蓋、坡度、土壤粒徑及水流(accumulated water flow)，由GIS產生上數個因子的圖層，使用ILWIS 3.3，將各因子之圖層輸入便可以得到土壤沖蝕程度圖。

(8) Bewket et al.(2009)以衣索比亞境內的Chemoga集水區為試區，配合遙測影像及GIS的圖層，如：雨量、土壤、DEM、地表覆蓋、土地利用及坡度等圖層來決定USLE公是各個因子的值，以評估土壤沖蝕危險度。

(9) Dengiz et al.(2009)以土耳其的Ankara-Guvenc集水區為試區，利用遙測影像來分析地表覆蓋及使用DEM取得坡度圖並選取土壤的深度、粒徑大小及不透水層等因子，透過GIS技術做套疊分析即可得到土壤沖蝕危險圖。

(10) Pineda et al.(2009)以米蘭達自治市之Alto Motatan子集水區為試區。從調查區域約4.89ha中隨機取樣18個斷面的土壤物理及化學性質，利用這些特性計算此區的生產力指數(Productivity Index)及土壤沖蝕指數(Erosion Risk Index)。

(11) Wang et al.(2009)以江西省的興國縣為試區，收集1958、1975、1982及2000年的衛星影像並利用GIS來分析其土壤的沖蝕程度。並使用FRAGSTATS來計算10種以上的景觀因子(landscape index)。最後使用IDRISI來計算1958~1975、1975~1982、1982~2000的土壤沖蝕類性的變化。

(12) Zhu et al.(2009)以湖北省為試區，

考慮5項因子分別為坡度、土地利用類型、植生覆蓋率、降雨沖蝕及表土易蝕性，利用GIS的地形分析將考慮的因子分級及網格化，再應用類神經模糊理論分析建立模式，以評估土壤沖蝕程度等級。

(13) 林憶志、陳文福(2009)結合USLE模式針對石門水庫子集水區之坡度因子及土壤沖蝕程度因子，與原查定之成果進行比較，以探討坡度及土壤沖蝕程度對於山坡地土地可利用限度分類上影響之程度。

(14) Li et al.(2010)以皇甫川小流域為例，運用PSO-SVM演算法自動選擇河道密度、溪谷面積，沙岩比例，總植被覆蓋率等四個特性參數進行分析，建立小流域土壤沖蝕預測模式。

(15) Wu et al.(2010)以中國山西省北部為區域。選定土壤調整植生指數(SAVI)、荒漠化土壤指數(DSI)、土壤有機質指數(SOMI)及土壤氧化鐵指數(SFOI)和Normalized Difference Water Index(NDWI)為評估因子，運用SVM和ANN的方法進行分析比較，最後建立土地退化程度之模式。

支持向量機理論基礎

支持向量機(Support Vector Machine，以下簡稱SVM)(Vapnic, 1995)是目前廣泛運用於分類及回歸問題之理論，SVM是以核心函數為基礎的學習方法，可以用在分類與非線性迴歸上。其主要概念是在高維度的特徵空間(feature space)中建構出一個最佳的超平面(Separating Hyperplanes)，透過此平面能有效的分類。在支持向量機中，大部分的訓練樣本 $\{x_i, y_i\}$ 都不是線性可分離的，針對

此問題，可以透過映射的方式，將低維度的樣本空間 $\{x_i\}$ 轉換至高維度的特徵空間 $\phi(x_i)$ 。在這空間中求最優分類面，此時相應的分類函數為：

$$f(x) = \text{sgn} \left[\sum_{i=1}^n \alpha_i y_i k(x_i, x_j) + b \right]$$

式中： α_i 為 Lagrange 乘數 $i = 1, 2, \dots, n$
 $k(x_i, x_j) = \phi(x_i) \cdot \phi(x_j)$ 為核心函數，其中 x 為輸入資料，其維度為 n 。 $\phi(x_i)$ ：將 x 映射到高維度的特徵空間，其維度為 f ，且 $f > n$ ； b 為偏差值。

本研究採用物件導向式資料採礦軟體 Polyanalyst Client 6.0，所使用核心函數是高斯函數進行模式分析，除可大量進行批次分析外，亦可儲存為*.XML檔案儲存，也可輸出程式碼，以利後續編撰與修改參用。

研究資料蒐集及處理

本研究蒐集整理之基本資料包括：5m×5m 數值地形模型 (digital terrain model, DTM)、1/5000地籍圖、降雨沖蝕指數圖、土壤沖蝕性指數、1/5000國土利用現況圖及行政區域圖。

根據經驗及前人研究結果 (Mokma 1996; Bewket 2009)，土壤沖蝕主要受沖蝕力 (Erosivity) 及可蝕性 (Erodibility) 的空間分布所控制，沖蝕力為降雨對土壤破壞能力強弱指標，而可蝕性為土壤抵抗沖蝕能力高低之指標 (吳嘉俊, 1996)，故本研究透過各數化圖層產製坡度、地形曲率、降雨沖蝕指數、土壤沖蝕指數、土地覆蓋與管

理指數，並並以免費軟體 Python 編譯地籍坵塊因子萃取 (factor extraction) 程式，供作土壤沖蝕程度潛感分析，各因子空間分布成果如圖 1~5。為利處理分析，所有資料採用地籍分析單元，並轉為點陣式 (Raster) 資料，再以地籍坵塊進行平均值計算，求出研究區各地籍坵塊之因子平均值。

研究方法

5.1 研究區域：

山坡地土地可利用限度查定範圍係以山坡地範圍內供農業使用之土地為對象，依規定應按地政單位提供之土地登記簿及地籍圖逐筆查定，故本研究南投縣竹山鎮大坑段、大鞍段、筍子林段、鯉魚尾段及雲林縣古坑鄉草嶺段等五個地段為主要區域。經彙整水土保持局資料得知地目包含林、原、道、旱及建，土地區分為國有地及私有地 (廖洪鈞, 2003; Lin, 2010)。其中國有地之管理機關為財政部國有財產局。依據「山坡地土地可利用限度查定工作要點」規定，扣除「不屬查定範圍之土地」之情形，經統計需辦理查定資料有南投縣竹山鎮大坑段計有 1,926 筆土地、大鞍段計有 1,981 筆、筍子林段計有 2,134 筆、鯉魚尾段計有 2,206 筆及雲林縣古坑鄉草嶺段計有 1,824 筆。再藉由水土保持局查定人員依據「山坡地土地可利用限度查定之工作手冊」規定赴現地依土地表面所呈現之沖蝕微狀與土壤流失量判定土壤沖蝕程度，透過 ArcGIS 建立屬性並分析統計竹山

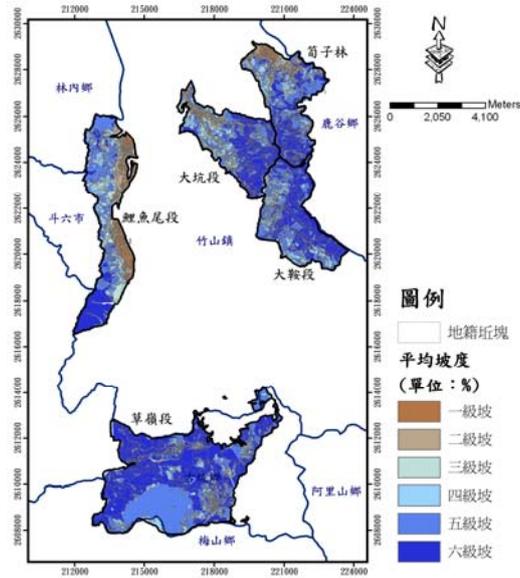


圖1 研究區域各地籍坵塊平均坡度圖

Figure 1. Diagram of average slope overlay with cadastral maps of study area

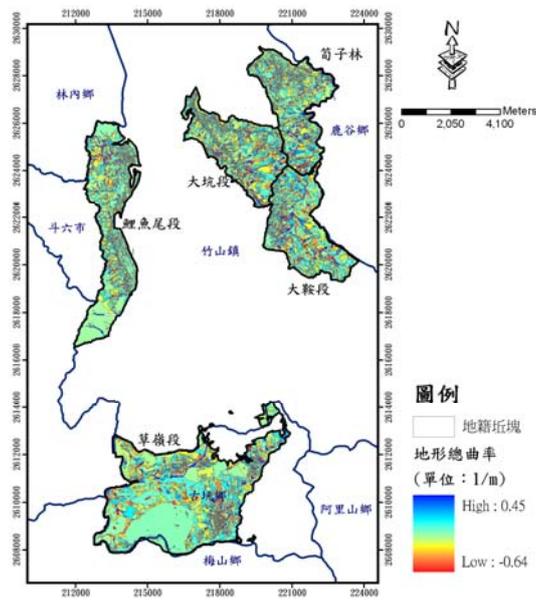


圖2 研究區域地形曲率分布圖

Figure 2. Diagram of terrain curvature overlay with cadastral maps of study area

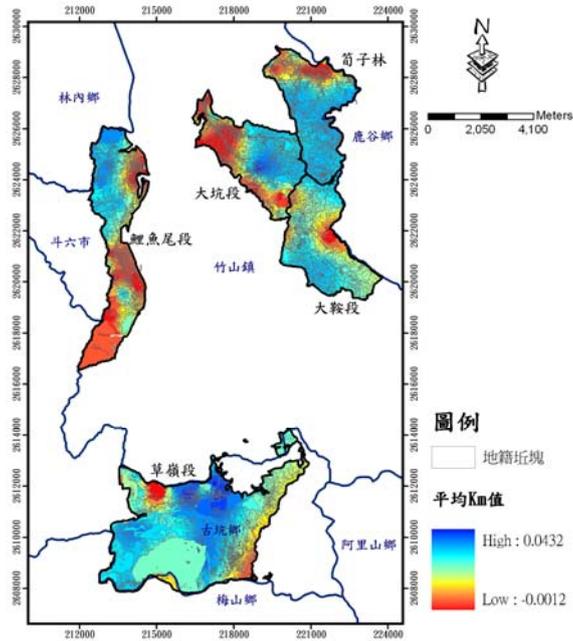


圖3 研究區域土壤沖蝕指數分布圖

Figure 3. Diagram of erosivity index overlay with cadastral maps of study area

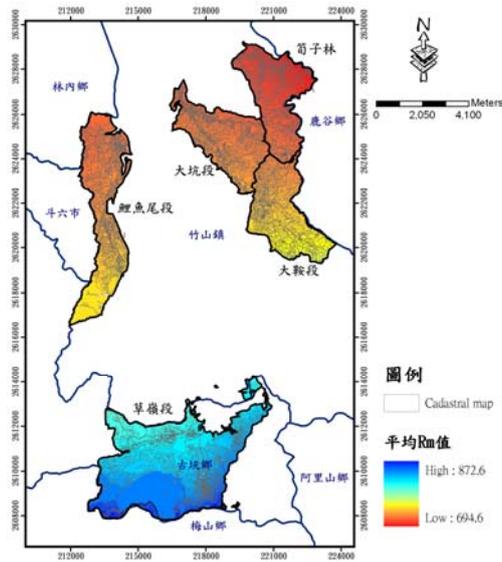


圖4 研究區域降雨沖蝕指數分布圖

Figure 4. Diagram of erodibility index overlay with cadastral maps of study area

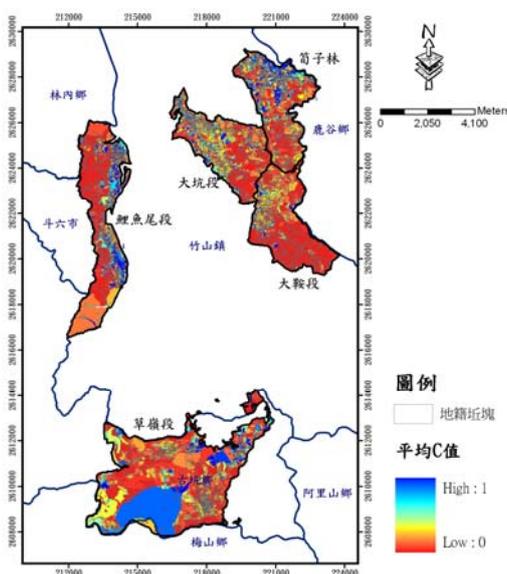


圖5 研究區域土地覆蓋與管理指數分布圖

Figure 5. Diagram of land cover and management overlay with cadastral maps of study area

鎮大坑段等五地段之土壤沖蝕程度等級 (如表 5)，作為本研究之基本資料。

5.2 研究材料：

本研究區五個地段之地籍丘塊，依據土壤沖蝕查定資料，將輕微沖蝕（計 2,335 筆）、中等沖蝕（計 4,315 筆）與嚴重沖蝕（含嚴重與極嚴重沖蝕，共計 982 筆）三類，空間分布如圖 6，以 Python 程式編撰亂數取樣的程式選出各類相同樣本（即輕微沖蝕：中等沖蝕：嚴重沖蝕=1：1：1，各選 850 筆，訓練樣本合計 2,550 筆），其餘未選取者即為測試樣本，共計有 5,072 筆，研究區訓練與測試樣本空間分布如圖 7 所示，最成土壤沖蝕潛勢分級模式。

結果與討論

本研究將資料正規化、分類方法與核

心函數確立後，採用分類矩陣進行訓練模式精確度評估，為了建立分類矩陣，執行上將使用測試資料集中現有的實際值來計算良好預測和不良預測的數目。本分析模式經分類矩陣結果得知研究區之輕微沖蝕正確率 80.35%、中等沖蝕正確率為 62.35% 及嚴重沖蝕（含極嚴重沖蝕）正確率 88.82%，總體正確率達 77.18%。

前述談及已預留 5,072 筆進行模式驗證，由分類矩陣結果可知，本模式驗證成效尚可，以嚴重沖蝕驗證正確性最高，達 91.11%，輕微沖蝕次之，亦達到 74.96%，最後是中等沖蝕，達 61.93%。最後依據 SVM 模型架構針對全數樣本進行土壤沖蝕程度預測分類與原查定資料作疊合分析，其比對分布結果如圖 8 所示。進一步分析研究區竹山鎮大坑段等 5 地段之現地土壤沖蝕程度查定資料與 SVM 預測模式進行分類矩

表 5 研究區之土壤沖蝕程度查定分級表
Table 5. The classification of soil erosion degree in the study area

| 沖蝕分級別 | | 輕微沖蝕 | 中等沖蝕 | 嚴重及極嚴重沖蝕 |
|-------------|------------|-------|-------|----------|
| 段別及類別 | | | | |
| 竹山鎮 大坑段 | 筆數 | 297 | 1112 | 82 |
| | 面積 (公頃) | 82.3 | 604.1 | 67.8 |
| 竹山鎮 大鞍段 | 筆數 | 256 | 1336 | 180 |
| | (公頃) | 636.1 | 66 | 156.9 |
| 竹山鎮 筍子林段 | 筆數 | 341 | 635 | 485 |
| | 面積 (公頃) | 145.6 | 391.8 | 134.7 |
| 竹山鎮 鯉魚尾段 | 筆數 | 652 | 502 | 137 |
| | 面積 (公頃) | 298.8 | 505.3 | 119 |
| 古坑鄉 草嶺段 | 筆數 | 788 | 726 | 93 |
| | 面積 (公頃) | 278 | 818.4 | 92.8 |

資料來源：行政院農業委員會水土保持局

陣結果，分別得知輕微沖蝕、中等沖蝕及嚴重沖蝕之正確率。詳如表 6、7、8、9 及 10。

為探討土壤沖蝕查定資料分級各因子之變異性分析，本研究首先計算各因子不同分級之標準差，進而瞭解各因子變異性較大之因子。結果得知嚴重沖蝕（含極嚴重沖蝕）

於降雨沖蝕指數、地形曲率與覆蓋與管理指數變異性較大，輕微沖蝕則是降雨沖蝕指數與土壤沖蝕指數變異性較大，而中等沖蝕於各因子表現約略相同，促使 SVM 模式分類超平面劃分不易，造成驗證正確率偏低之情形，如圖 9。

表 6 竹山鎮大坑段之 SVM 分類矩陣表

Table 6. The classification results based on confusion matrix by using SVM in Da-Keng Section, Jhushan Township

| 分類目標 | 判定樣本數 (總樣本 1,491 筆) | | | 判定百分比% | | |
|------|---------------------|------|------|--------|-------|-------|
| | 輕微沖蝕 | 中等沖蝕 | 嚴重沖蝕 | 輕微沖蝕 | 中等沖蝕 | 嚴重沖蝕 |
| 輕微沖蝕 | 229 | 84 | 2 | 77.10 | 7.55 | 2.44 |
| 中等沖蝕 | 45 | 683 | 5 | 15.15 | 61.42 | 6.10 |
| 嚴重沖蝕 | 23 | 345 | 75 | 7.74 | 31.03 | 91.46 |
| 總體 | 297 | 1112 | 82 | 100 | 100 | 100 |

表 7 竹山鎮大鞍段之 SVM 分類矩陣表

Table 7. The classification results based on confusion matrix by using SVM in Da-An Section, Jhushan Township

| 分類目標 | 判定樣本數 (總樣本 1,772 筆) | | | 判定百分比% | | |
|------|---------------------|------|------|--------|-------|-------|
| | 輕微沖蝕 | 中等沖蝕 | 嚴重沖蝕 | 輕微沖蝕 | 中等沖蝕 | 嚴重沖蝕 |
| 輕微沖蝕 | 180 | 88 | 2 | 70.31 | 6.59 | 1.11 |
| 中等沖蝕 | 65 | 1017 | 22 | 25.39 | 76.12 | 12.22 |
| 嚴重沖蝕 | 11 | 231 | 156 | 4.30 | 17.29 | 86.67 |
| 總體 | 256 | 1336 | 180 | 100 | 100 | 100 |

表 8 竹山鎮筍子林之 SVM 分類矩陣表

Table 8. The classification results based on confusion matrix by using SVM in Sun-Zih-Lin Section, Jhushan Township

| 分類目標 | 判定樣本數 (總樣本 1,461 筆) | | | 判定百分比% | | |
|------|---------------------|------|------|--------|-------|-------|
| | 輕微沖蝕 | 中等沖蝕 | 嚴重沖蝕 | 輕微沖蝕 | 中等沖蝕 | 嚴重沖蝕 |
| 輕微沖蝕 | 274 | 24 | 3 | 80.35 | 3.78 | 0.62 |
| 中等沖蝕 | 43 | 386 | 8 | 12.61 | 60.79 | 1.65 |
| 嚴重沖蝕 | 24 | 225 | 474 | 7.04 | 35.43 | 97.73 |
| 總體 | 341 | 635 | 485 | 100 | 100 | 100 |

表 9 竹山鎮鯉魚尾段之 SVM 分類矩陣表

Table 9. The classification results based on confusion matrix by using SVM in Li-Yu-Wei Section, Jhushan Township

| 分類目標 | 判定樣本數 (總樣本 1,291 筆) | | | 判定百分比% | | |
|------|---------------------|------|------|--------|-------|-------|
| | 輕微沖蝕 | 中等沖蝕 | 嚴重沖蝕 | 輕微沖蝕 | 中等沖蝕 | 嚴重沖蝕 |
| 輕微沖蝕 | 550 | 38 | 3 | 84.36 | 7.57 | 2.19 |
| 中等沖蝕 | 61 | 315 | 10 | 9.36 | 62.75 | 7.30 |
| 嚴重沖蝕 | 41 | 149 | 124 | 6.29 | 29.68 | 90.51 |
| 總體 | 652 | 502 | 137 | 100 | 100 | 100 |

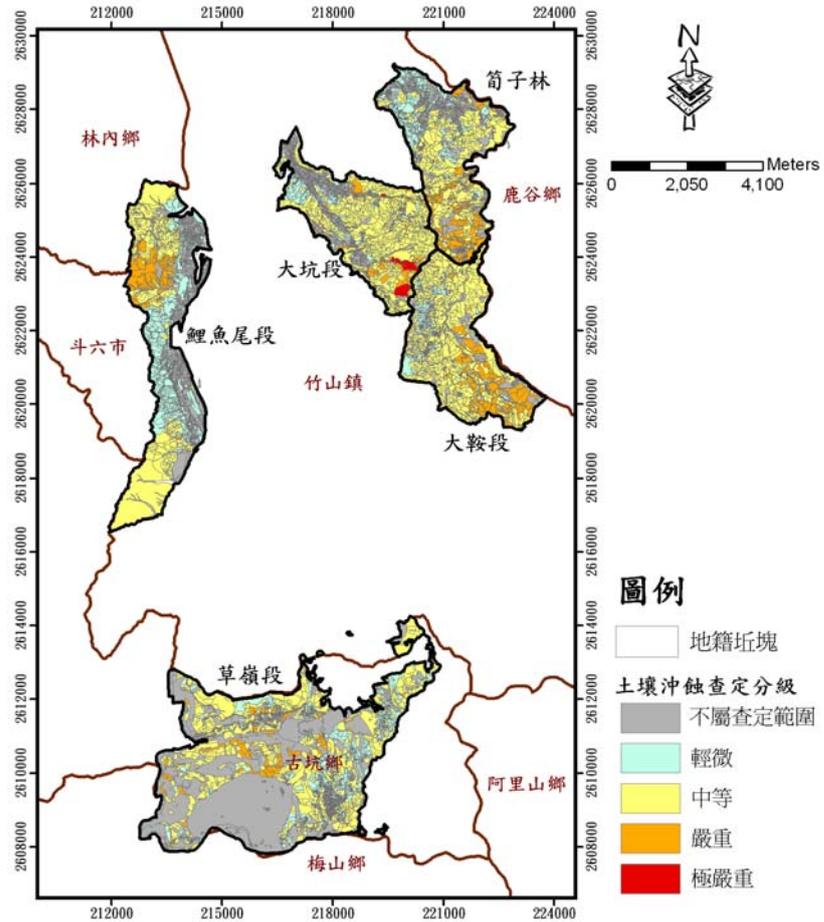


圖 6 研究區現地土壤沖蝕查定資料空間分布圖

Figure 6. Distribution of field data of soil erosion classification in the study area

表 10 古坑鄉草嶺段之 SVM 分類矩陣表

Table 10. The classification results based on confusion matrix by using SVM in Tsao-Ling Section, Gukeng Township

| 分類目標 | 判定樣本數 (總樣本 1,607 筆) | | | 判定百分比% | | |
|------|---------------------|------|------|--------|-------|-------|
| | 輕微沖蝕 | 中等沖蝕 | 嚴重沖蝕 | 輕微沖蝕 | 中等沖蝕 | 嚴重沖蝕 |
| 輕微沖蝕 | 706 | 129 | 3 | 89.59 | 17.77 | 3.23 |
| 中等沖蝕 | 61 | 509 | 0 | 7.74 | 70.11 | 0.00 |
| 嚴重沖蝕 | 21 | 88 | 90 | 2.66 | 12.12 | 96.77 |
| 總體 | 788 | 726 | 93 | 100 | 100 | 100 |

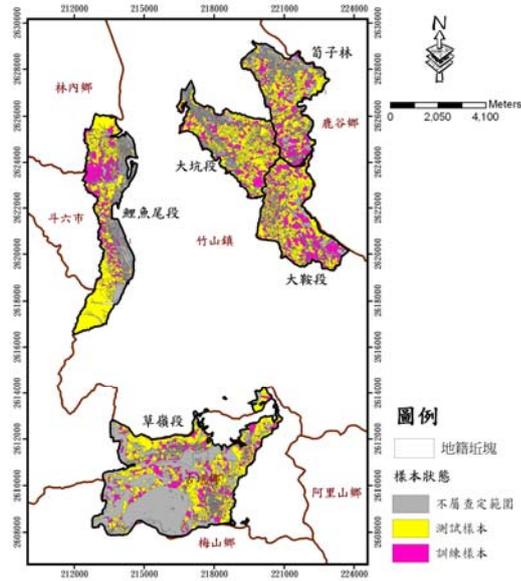


圖 7 研究區訓練與驗證資料空間分布圖

Figure 7. Distribution of training data and testing data in the study area

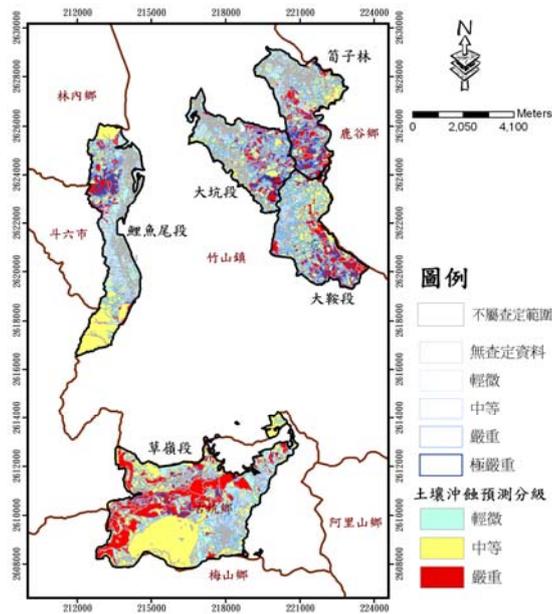


圖 8 研究區土壤沖蝕現地查定資料與預測資料比對空間分布圖

Figure 8. Distribution of soil erosion degree between field and predicted data in the study area

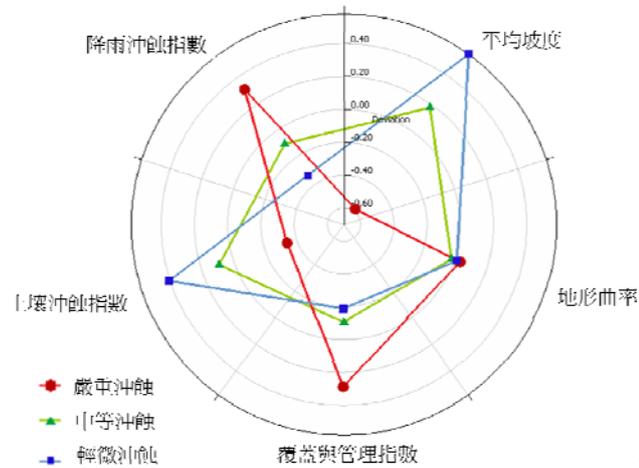


圖 9 土壤沖蝕程度現地查定資料對應不同因子雷達圖

Figure 9. Radar map of field soil erosion degree corresponding to different factors

結論與建議

山坡地地土地可利用限度分類狀況主要係查定人員於現場判定，往往於現場判釋過程上可能有誤判之情形，故本研究所建立土壤沖蝕程度分級預測模式，可提供查定人員現地查定之參考依據。研究過程中發現，由於地籍坵塊為不規則單元，在 5m×5m 數值高程地形產製坡度及地形曲率等因子進行分析時，其精度會對地籍坵塊面積較小或細長之判定正確率較低，未來可建議採用空載光達技術產製高解析高精度之地形資料作分析，應有助於提升模式判定總體正確率。

從法規層面來看，依據山坡地土地可利用限度查定分類標準規定說明在土壤有效深度在淺層或甚淺層情況下，坡度 30%-55% 且沖蝕嚴重者或坡度 55% 以上且

無論任何沖蝕程度者，均查定為宜林地。足以看出，在查定宜林地及宜農牧地分類上，坡度因子具有決定性影響，但實際面，高海拔較陡之山坡地查定為宜林地，倘週邊有零星且致災之平緩地，卻查定為宜農牧地，應以國土保育觀點進行整體規劃及使用，建議應重新檢討山坡地土地可利用限度標準，以降低生態環境之衝突並符合整體區域之永續發展。

參考文獻

1. 中華人民共和國水利部(1997)，「土壤侵蝕分類分級標準」。
2. 王鑫 (1988)，「地形學」，聯經出版有限公司。
3. 行政院農業委員會(1995)，「山坡地土地可利用限度查定工作要點」。

4. 行政院農業委員會水土保持局 (1995),「台灣省山坡地土地可利用限度查定之工作手冊」。
5. 行政院農業委員會(1976),「山坡地保育利用條例,水土保持法暨相關法規」。
6. 行政院農業委員會(1977),「山坡地保育利用條例施行細則,水土保持法暨相關法規」。
7. 林俐玲(2003),「土壤沖蝕程度判定,92年度山坡地土地可利用限度查定教育訓練教材」,第 57-70 頁,行政院農業委員會水土保持局出版。
8. 林俐玲、洪怡美(1998),「應用地理統計推估土壤沖蝕指數」,碩士論文。
9. 林俐伶、陳錦嫣(2000),「台灣西部區集水區農業土壤資料庫之建立與應用,集水區土砂災害防治與資料庫技術應用推討會」,第 32-43 頁。
10. 林憶志、陳文福(2009),「結合 USLE 以輔助山坡地土地可利用限度分類之探討」,中興大學水土保持系碩士論文。
11. 吳嘉俊、盧光輝、林俐玲(1996),「土壤流失量估算手冊」,國立屏東技術學院編印。
12. 陳木龍、羅榮華(2009),「整合支持向量機及基因演算法來進行軟體可靠度預測」,2009 第 17 屆模糊理論及其應用研討會。
13. 陳志彰(2005),「山坡地可利用限度之查定及土地利用合理性之研究」,國立成功大學地球科學研究所論文。
14. 黃俊德(1981),「台灣降雨沖蝕指數之研究」,中華水土保持學報第十卷,第一期,第 127-143 頁。
15. 萬鑫森、黃俊義(1989),「台灣坡地土壤沖蝕」,中華水土保持學報,第二十二卷,第二期,第 17-45 頁。
16. 廖洪鈞、胡逸舟、許秋玲,(2003),「GIS 於山坡地土地可利用限度查定之應用」,第十屆大地工程學術研討會論文集,第 25 – 28 頁。
17. 盧光輝(1999),「降雨沖蝕指數之修訂」,中華水土保持學報,第三十卷,第二期,第 87-94 頁。
18. 盧昭堯、蘇志強、吳藝昀(2005),「台灣地區年等降雨沖蝕指數圖之修訂」,中華水土保持學報,第三十六卷,第二期,第 159-172 頁。
19. 蘇政宇、鄭旭涵、林家榮、林昭遠(2007),「地理資訊於土地可利用限度之劃定與土地利用適宜性之評估」,水土保持學報,39(4): 333-354。
20. Bakker, M.M., G. Govers, C. Kosmas, V. Vanacker, K. Oost and M. Rounsevell (2005), "Soil erosion as a driver of land-use change.Agriculture", *Ecosystems and Environment* 105, 467-481.
21. Bewket, W.and E. Teferi (2009), "Assessment of soil erosion hazard and prioritization for treatment at the watershed level : case study in the Chemoga watershed, Blue Nile Basin", *Ethiopia. Land Degradation &*

- Development 20, 609-622.
22. British Columbia Ministry of Environment and Ministry of Agriculture and Food. (1983), "Land capability classification for agriculture in British Columbia".
 23. Conoscenti, C., C.D. Maggio and E. Rotigliano (2008), "Soil erosion susceptibility assessment and validation using a geostatistical multivariate approach: a test in Southern Sicily", *Nat Hazards*, 46:287 - 305.
 24. Dabral, P. P., N. Baithuri and A. Pandey (2008), "Soil erosion assessment in a hilly catchment of north eastern India using USLE", *GIS and Remote Sensing. Water Resour Manage* 22, 1783-1798.
 25. David, L. and R. Bill M. (2003), *4-H Land Judging in Kentucky*, University of Kentucky College of Agriculture.
 26. Dengiz, O., T. Yakupoglu and Baskan. (2009), "Soil erosion assessment using geographical information system (GIS) and remotesensing (RS) study from Ankara-Guvenc Basin, Turkey", *Journal of Environmental Biology* 30(3), 339-344.
 27. Dupin, B., A.D. Rouw and K.B. Phantahvong, Valentin C. (2009), "Assessment of tillage erosion rates on steep slopes in northern Laos", *Soil & Tillage Research* 103, 119-126.
 28. Heimsath, A.M., W.E. Dietrich, K. Nishiizumi and R.C. Finkel (1999), "Cosmogenic nuclides, topography, and the spatial variation of soil depth", *Geomorphology* 27(1-2): 151 - 172.
 29. Keith, C. (2004), "Instructions on Land Judging in Mississippi", Mississippi State University Extension Center.
 30. Li, Y., Y. Tian, Z. Ouyang, L. Wang, T Xu, P. Yang and H. Zhao (2010), "Analysis of soil erosion characteristics in small watersheds with particle swarm optimization, support vector machine, and artificial neuronal networks", *Environ Earth Sci* 60:1559 - 1568.
 31. Lin, L.L., C.W. Wang, C.L. Chiu and Y.C. Ko (2010), "A study of rationality of slopeland use in view of land preservation", *Paddy Water Environ*, DOI 10.1007/s10333-010-0231-5.
 32. Luiz, Alberto and Jorge. Blango (2009), "Soil erosion fragility assessment using an impact model and geographic information system", *Sci. agric.* 66(5)

33. Magliulo, P. (2010), "Soil erosion susceptibility maps of the Janare Torrent Basin(Southern Italy)" Journal of Maps 2010, 435-447.
34. Mokma ,D.L., T.E. Fenton and K.R. Olson (1996), "Effect of erosion on morphology and classification of soils in the North Central United States" , Journal of Soil and Water Conservation.
35. Pineda, N., E. Jaimes, B. Hidalgo, Mendoza, J. J. Gonzalezy and H. Rodriguez (2009), "Agricultural land classification with soil conservation purposes in plots of horticultural use" , Alto Motatán sub-basin, Mérida-Venezuela.Rev. Fac. Agron. 26, 532-554.
36. Francis, B. (2006), "Fundamentals of Land Evaluation in Nebraska" , Judging Soil and Land. Natural Resources Conservation and Survey Division University of Nebraska.
37. Robert, H. (2006), "Land Judging in Colorado" , Colorado State University.
38. Vapnic, V. (1995), the Nature of Statistical Learning Theory, Springer-Verlag.
39. Wang, K., H. Wang J., X. Z. Shi, D. C. Weindorf, D. S. Yu, Y. D. Liang and M. Shi (2009), "Landscape analysis of dynamic soil erosion in Subtropical China: A case study in Xingguo County" , Jiangxi Province.Soil & Tillage Research 105: 313-321.
40. Wilson, J.P., and J.C. Gallant (2000), "Digital terrain analysis - principles and applications" , New York, John Wiley & Sons.
41. Wisconsin NRCS. (2009), "Soil Study and Land Evaluation Materials for Land Judging Competitions" , www.wi.nrcs.usda.gov/technical/soil/soiljudging.html.
42. Wu, J., Y. Liu, J. Wang and T. He(2010), "Application of Hyperion data to land degradation mapping in the Hengshan region of China" , International Journal of Remote Sensing 31(19):5145-5161.
43. Zhu, D., T.W. Wang, C.F Cai., L. Li and Z.H. Shi (2009), "Large-scale assessment of soil erosion using a neuro-fuzzy model combined with GIS : a case study of Hubei province,China " ,Land Degradation & Development 20, 654-666.

100年 04月 25日收稿

林俐玲、王兆文、沈哲緯、陳品岡、翁志成：應用支持向量機探討山坡地土壤沖蝕程度之研究

100 年 04 月 28 日修改

100 年 05 月 10 日接受

水土保持學報 43(1) : 49 – 68 (2011)

Journal of Soil and Water Conservation , 43 (1) : 49 - 68 (2011)