

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2017.03.10

引用格式: 张伟华,赵志芳,谈树成,等.元江—红河界河地区土壤侵蚀研究[J].中国地质调查,2017,4(3): 64-69.

# 元江—红河界河地区土壤侵蚀研究

张伟华<sup>1</sup>, 赵志芳<sup>1,2</sup>, 谈树成<sup>1,2</sup>, 李益敏<sup>1</sup>, 王爱芸<sup>1</sup>

(1. 云南大学资源环境与地球科学学院, 昆明 650500; 2. 云南大学“一带一路”战略研究院, 昆明 650500)

**摘要:** 为支撑我国界河地区国土防护工作,以中国、越南交界的元江—红河界河地区为研究区,基于3S技术进行界河地区的土壤侵蚀研究。采用Landsat 8卫星遥感数据,基于水体指数、植被覆盖度、土壤可蚀性及坡度进行土壤侵蚀强度研究,初步建立了界河地区的土壤侵蚀强度遥感评价方法,提出了界河地区国土防护措施与建议。

**关键词:** 3S; 空间叠置分析; 土壤侵蚀强度; 元江—红河界河地区

**中图分类号:** TP79

**文献标志码:** A

**文章编号:** 2095-8706(2017)03-0064-06

## 0 引言

国土防护是国家安全研究的重点,关系着国家的社会、经济及文化等建设。虽然我国与越南在陆域上已经解决了领土争端,但在以河流为界的地区因土壤侵蚀所导致的河流变迁,仍然可能会影响两国边界的稳定,因此开展界河地区的土壤侵蚀研究对支撑元江—红河界河地区国土防护工作具有重要意义。

土壤是农业经济的基础,土壤侵蚀是土壤研究的重要命题,国内外对土壤侵蚀均有大量研究。早在1989年,Ploey制作了西欧土壤侵蚀图件,并将其应用于区域水土防护<sup>[1]</sup>;1998年,David对生态系统中的土壤侵蚀现象做了研究<sup>[2]</sup>;1999年,Gregory等探索了流域尺度的土壤侵蚀<sup>[3]</sup>;2003年,Anne评价了土壤侵蚀对农业生产的影响程度<sup>[4]</sup>,Alice使用遥感影像解译了土壤侵蚀强度<sup>[5]</sup>;2004年,Shrestha构建了土壤退化模型<sup>[6]</sup>,Martha基于实验研究了土壤侵蚀的各种机制<sup>[7]</sup>。国内许多研究者将土地利用类型视为重要的土壤侵蚀分析因子,如矿区、石漠化分布区、地质灾害易发区等区域都是土壤侵蚀的重灾区。2016年,强建华、杨显华等基于遥感影像提取了矿山开发区域的边

界<sup>[8-10]</sup>;安国英等分析了溶岩区石漠化的演进历程及影响因素<sup>[11]</sup>。综上分析,土壤侵蚀强度估算大致可分为3种主要方法:①基于单独遥感影像的目视解译,此方法未能较准确地划分土壤侵蚀强度;②基于土壤侵蚀的定量估算及分级,此方法仅适用于小尺度区域的土壤侵蚀评价;③基于土地覆盖与地形等信息组合判读土壤侵蚀强度,此方法可快速提取多种侵蚀因子数据,被广泛应用于全国第二次土壤侵蚀强度分级调查中<sup>[12]</sup>。

针对界河地区部分数据难以实地调查获取的情况,本文采用多因素综合法开展元江—红河界河地区的土壤侵蚀强度研究,以期较好地支撑关系到国家安全保障的该地区国土防护工作。土壤的上垫面环境决定了土壤的可蚀性,其中地表是否裸露、植被覆盖情况以及坡度等因素共同影响着土壤侵蚀强度。基于遥感技术、综合上述因素,可以快速提取土壤侵蚀强度及其分布。相对传统研究方法,该方法具有速度快,易于成图的优势。

## 1 技术路线

多因素综合法广泛应用于大面积、大区域土壤侵蚀研究<sup>[13]</sup>。本文首先分析研究区的土壤侵蚀因子,然后按照其分级指标进行编码,根据不同的空

收稿日期: 2017-03-30; 修订日期: 2017-05-02。

基金项目: 中国地质调查局“全国边海防地区基础地质遥感调查(编号: DD20160076)”和云南省“云岭学者云南大学项目(编号: C6153001)”联合资助。

第一作者简介: 张伟华(1991—),男,硕士研究生,主要研究方向为遥感基础资源调查。Email: 839070317@qq.com。

通信作者简介: 赵志芳(1971—),女,教授,主要从事遥感地质调查、矿产资源遥感监测等工作。Email: 371863896@qq.com。

间叠置组合,进行土壤侵蚀强度的研究,制作相应的土壤侵蚀强度图。其技术路线如图1所示。

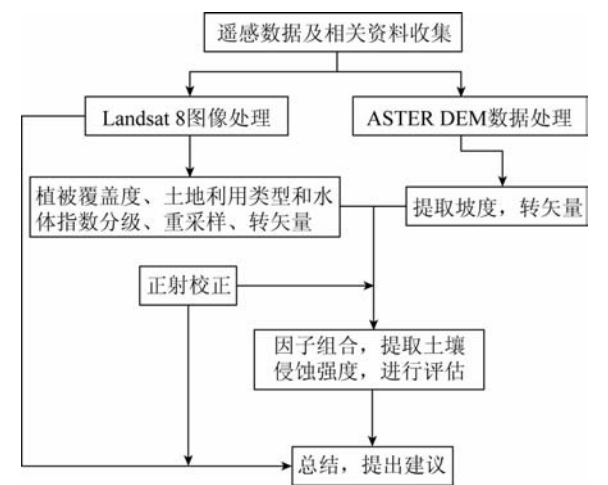


图1 技术路线图  
Fig.1 Technology route

首先,对 Landsat 8 遥感图像进行处理,得到增强的图像;提取植被覆盖度、土地利用类型、水体指数等专题信息;提取 ASTER DEM 坡度信息;对植被覆盖度、土地利用类型、水体指数及坡度等信息进行空间叠置分析,获取元江—红河界河地区的土壤侵蚀强度,并进行精度验证。在此基础上,提出研究区国土防护措施与建议。

2 数据源与研究方法

本文采用了 Landsat 8 多光谱遥感影像数据 2 景。Landsat 8 影像共有 11 个波段,其中第 8 波段为全色波段,分辨率达 15 m。2 景影像轨道号分别为 P128R044、P128R045,成像时间均为 2013 年 6 月 16 日,影像等级为 Level 1T;采用的 ASTER DEM 数据的初始分辨率为 30 m。

用 SRTM 对 Landsat 8 图像进行地形与几何纠正。本文采用 ENVI 5.0 的 Radiometric Calibration 工具与 FLAASH Atmospheric Correction 工具进行辐射定标与大气校正;采用 Georeferenced 工具进行基于地理坐标的图像镶嵌与图像裁剪;采用 Global Map14.1 拼接遥感影像,在 ArcGIS 中进行图像裁剪,利用 slope 工具提取坡度信息。处理后进行几何精纠正和正射校正,图像误差精度优于 1 个像元。

2.1 植被覆盖度计算

植被覆盖度指观测区域内植被垂直投影面积占地表面积的百分比。基于遥感数据的植被覆盖度可以通过归一化植被指数(NDVI)来计算,其表达式为

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad , \quad (1)$$

$$F_c = (NDVI - NDVI_s) / (NDVI + NDVI_s) \quad , \quad (2)$$

式中:  $F_c$  为植被覆盖度;  $NIR$  为近红外波段像元亮度值;  $R$  为红光波段像元亮度值;  $NDVI_s$  为裸地归一化植被指数值<sup>[14-15]</sup>。

元江—红河界河地区有热带雨林、南亚热带季风常绿阔叶林及南温带阔叶林等,四季变化不明显,植被覆盖度变化不大。针对单景图像植被覆盖度的计算式为

$$F_c = (NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} + NDVI_{min}) \quad , \quad (3)$$

式中:  $F_c$  为植被覆盖度;  $NDVI_{min}$  为最小归一化植被指数值;  $NDVI_{max}$  为最大归一化植被指数值<sup>[16]</sup>。

元江—红河界河地区的植被覆盖度分布如图2所示。

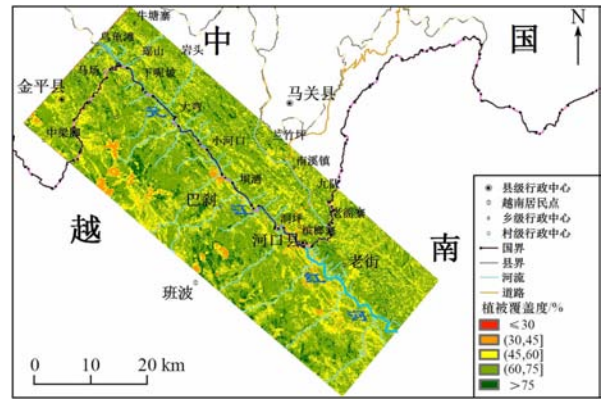


图2 元江—红河界河地区植被覆盖度分布  
Fig.2 Distribution of the vegetation coverage in the Yuanjiang - Honghe boundary river areas

依据水土保持司颁布的标准(GB/T15772 - 2008),对植被覆盖度进行了分级(表1)。

表1 元江—红河界河地区植被覆盖度分级标准  
Tab.1 Grading rules of the vegetation coverage in the Yuanjiang - Honghe boundary river areas

| 植被覆盖度分级/% | 代码 |
|-----------|----|
| ≤30       | 5  |
| (30,45]   | 4  |
| (45,60]   | 3  |
| (60,75]   | 2  |
| >75       | 1  |

植被覆盖度反映一个地区的植被浓密程度,植被覆盖度越高,降水对土壤的冲刷、侵蚀越小,土壤侵蚀能力越弱。河口—老街口岸及部分南溪镇、老街市区等人口密集地区,植被覆盖度较小,也反映出人类活动与植被覆盖度的密切关系。

2.2 土地利用类型分类

土地利用类型是根据土地利用的地域差异划分的,反映土地用途、性质及其分布规律的基本单元。在土壤侵蚀强度评价中,用以表现土壤的可蚀性,不同的土地利用类型,其土壤的可蚀性不同。本次采用 Landsat 8 的波段 7(R)、5(G)、4(B) 进行组合。该组合对植被、水体、建筑用地等区分较为明显。依据《土地利用现状分类标准(GB/T 21020—2007)》中一级类型<sup>[17]</sup>,结合元江—红河界河地区土地类型以往调研状况及研究区影像空间分辨率等因素,本研究主要选取耕地、园地、林地、草地、交通用地、水域、建设用地(商业用地、公共管理与公共服务用地等)及未利用土地(裸岩等)等土地利用分类训练样本,在 ENVI 中采用最大似然分类法进行监督分类,分类后的 Kappa 系数为 0.91,符合分类精度(后处理中对图斑进行聚类处理,图 3)。研究区建设用地主要分布在红河河谷地带,未利用土地分布在高山森林地带边缘,交通用地主要分布在河谷地带,较为分散。

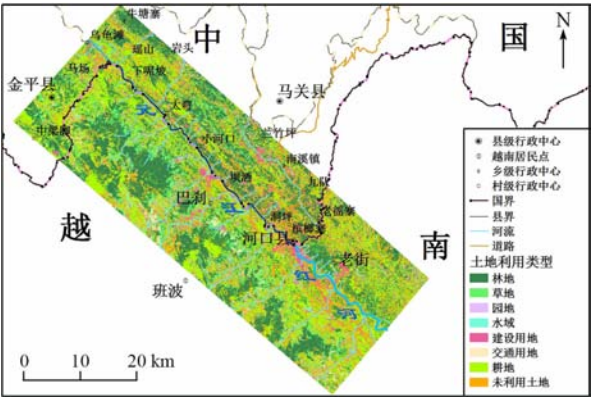


图 3 元江—红河界河地区土地利用类型分布  
Fig.3 Distribution of the land use types in the Yuanjiang – Honghe boundary river areas

林地可以有效减轻降雨对土壤的冲击,其发达的根系有利于水土保持;草地可蚀性较林地稍强;园地同林地一样,但受人类活动影响,土壤可蚀性较前两者更强;水域的边缘区易造成

土壤侵蚀;建筑用地多为混凝土结构,土壤虽被保护,但人类活动更为强烈,土壤可蚀性较前述各类型更强;交通用地分布分散,且受人类活动影响剧烈,土壤极易受侵蚀;耕地为人类活动最频繁地带,土壤可蚀性更强;未利用土地没有保护措施,最易受侵蚀。依据上述分析,结合相关专家建议,对土地利用类型下的土壤可蚀性分级如表 2 所示。

表 2 元江—红河界河地区土地利用类型分级标准  
Tab.2 Grading rules of the land use types in the Yuanjiang – Honghe boundary river areas

| 土地利用类型 | 代码 |
|--------|----|
| 林地     | 1  |
| 草地     | 2  |
| 园地     | 3  |
| 水域     | 4  |
| 建设用地   | 5  |
| 交通用地   | 6  |
| 耕地     | 7  |
| 未利用土地  | 8  |

2.3 水体指数求算

Landsat 8 相比 Landsat 7 增加的 9 号短波红外波段是结合 MODIS 数据特点对水体指数提取设计的波段。归一化水体指数 (NDWI) 的计算公式为

$$NDWI = (B5 - B9) / (B5 + B9) \quad , \quad (4)$$

式中:NDWI 为归一化水体指数;B5 为 Landsat 8 第 5 波段;B9 为 Landsat 8 第 9 波段。在计算归一化水体指数 NDWI 前,对数据进行了大气校正,以最大程度减少大气对结果的影响。分析表明:水体指数越大,表明该区土壤水分越充足,越容易发生土壤侵蚀。据此,本文设计了研究区水体指数分级标准(表 3),其分布如图 4 所示。

表 3 元江—红河界河地区水体指数分级标准  
Tab.3 Grading rules of the normalized difference water index in the Yuanjiang – Honghe boundary river areas

| 水体指数分级/% | 代码 |
|----------|----|
| ≤10      | 1  |
| (10,25]  | 2  |
| (25,40]  | 3  |
| (40,60]  | 4  |
| >60      | 5  |

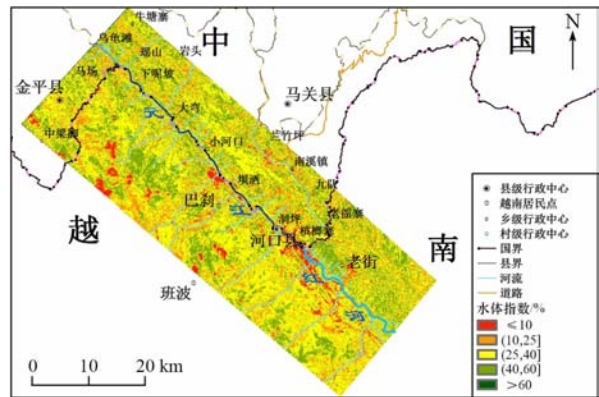


图4 元江—红河界河地区水体指数分级分布

Fig.4 Distribution of the normalized difference water index in the Yuanjiang – Honghe boundary river areas

水体指数反映了各土地利用类型的含水量,也反映研究区内水资源的分布。使用水体指数因子,协同植被覆盖度,可以较好地区分土壤侵蚀强度。

2.4 坡度计算

地形坡度是土壤侵蚀的重要评价因子,坡度的大小直接影响水土保持情况。依据水土保持司颁布的标准(GB/T 15772 – 2008),对坡度进行分级(表4),获取了研究区坡度分布(图5)。

表4 元江—红河界河地区坡度分级标准

Tab.4 Grading rules of the slope in the Yuanjiang – Honghe boundary river areas

| 坡度分级/(°) | 代码 |
|----------|----|
| (0,5]    | 1  |
| (5,8]    | 2  |
| (8,15]   | 3  |
| (15,25]  | 4  |
| (25,35]  | 5  |
| >35      | 6  |

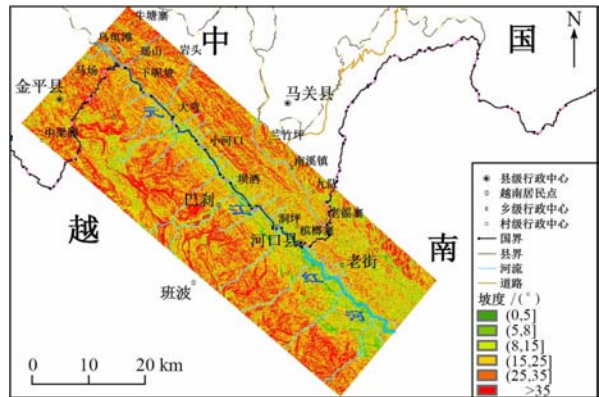


图5 元江—红河界河地区坡度分布

Fig.5 Distribution of the slope in the Yuanjiang – Honghe boundary river areas

研究区内坡度大于25°以上区域主要分布在红河谷地两侧、金平以南地区和河口瑶族自治县北部地区,这些地区崇山峻岭,坡度比降大。研究区15°以下区域主要分布在河口瑶族自治县县城及越南老街以南地区,该地段人类活动强度大。

2.5 土壤侵蚀强度分析与评估

按照表1—4 代码,对元江—红河界河地区的植被覆盖度、土地利用类型、水体指数和坡度进行空间叠置分析,获取了研究区土壤侵蚀强度(图6)。

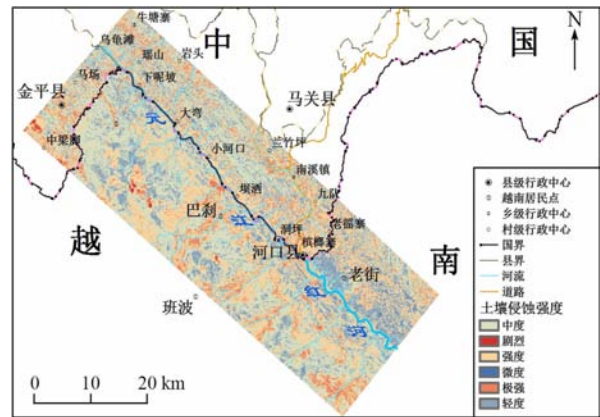


图6 元江—红河界河地区土壤侵蚀强度分布

Fig.6 Distribution of the intensity of soil erosion in the Yuanjiang – Honghe boundary river areas

从图6 可以看出,越南老街至安沛段(沿元江—红河周围)一带土壤侵蚀剧烈,尤其以河口—老河口岸等地区的土壤侵蚀强度最大;越南巴刹县城至越南老街段侵蚀较强,其中以巴刹县城周边等地区较为强烈;河流与道路两旁土壤侵蚀中等。通过统计计算,研究区微弱侵蚀面积24.696 km<sup>2</sup>,轻度侵蚀面积855.888 km<sup>2</sup>,中度侵蚀面积268.482 km<sup>2</sup>,强度侵蚀面积418.731 km<sup>2</sup>,极强侵蚀面积379.828 km<sup>2</sup>,剧烈侵蚀面积32.864 km<sup>2</sup>。

3 结果验证

针对土壤侵蚀强度分布,本文共采集18个野外验证点(表5,图7)对上述结果进行验证。

表 5 野外验证表  
Tab.5 Table of filed verification

| 编号 | 野外情况            | 强度分级 |
|----|-----------------|------|
| 1  | 对岸山坡光秃          | 强度   |
| 2  | 植被覆盖良好          | 轻度   |
| 3  | 山间耕地,土壤零星裸露     | 中度   |
| 4  | 地表裸露,植被覆盖稀少     | 中度   |
| 5  | 植被覆盖浓密,周围有池塘    | 微度   |
| 6  | 基岩裸露,为陡峭山坡      | 极强   |
| 7  | 地表裸露,人类活动剧烈     | 极强   |
| 8  | 植被覆盖良好,地势平坦     | 中度   |
| 9  | 地表裸露,休耕地,山间平地   | 强度   |
| 10 | 植被覆盖较好,30°左右坡度  | 强度   |
| 11 | 道路旁边,地表裸露       | 极强   |
| 12 | 地表大片裸露,山坡较陡     | 剧烈   |
| 13 | 植被覆盖一般,多为灌木     | 中度   |
| 14 | 植被覆盖一般,多为灌木、草地  | 强度   |
| 15 | 植被覆盖一般,周围零星地表裸露 | 中度   |
| 16 | 植被覆盖好           | 轻度   |
| 17 | 植被覆盖一般,靠近河流     | 强度   |
| 18 | 植被覆盖极少,位于河流边    | 强度   |

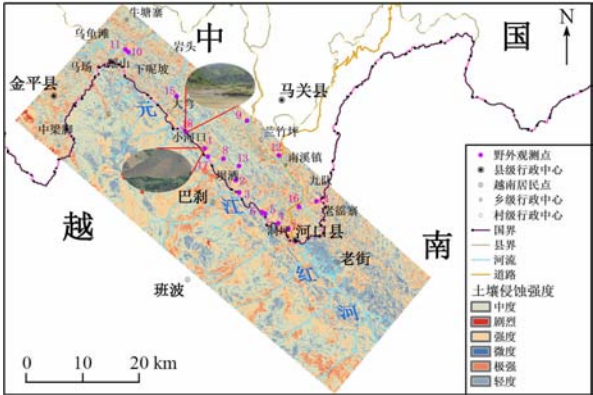


图 7 元江—红河界河地区土壤侵蚀野外验证  
Fig.7 Filed verification of the soil erosion intensity  
in the Yuanjiang – Honghe boundary river areas

将野外验证情况与本文土壤侵蚀强度分级结果进行对比,发现共有 15 个野外观测与实际情况相符,总体精度达 83.33%。

4 国土防护建议

(1) 通过对比分析元江—红河界河地区土壤侵蚀强度,认为河口—老街口岸周围土壤侵蚀最为强烈,因此建议我国相关管理部门重点部署河口地带的土壤侵蚀防护工作,加强河口地带尤其是河口县洞坪、槟榔寨等地带的河岸防护堤建设工作部署。

(2) 区内道路与河流两侧土壤侵蚀较为明显,河口南溪镇周围土壤侵蚀也较为明显。据统计数据分析,土壤侵蚀可能因 1995—1997 年南溪镇等毁林造田运动造成,至今未能完全恢复到原始状态。因此建议我国相关管理部门加强河口地带尤其是兰竹坪等地带的生态环境保护工作。

(3) 越南巴刹县城一带、老街市大部分地区有土壤侵蚀风险,从遥感资料分析多为耕地开垦所致,影响区域生态环境保护。因此建议相关世界环境保护组织部署这些地区的环境监测工作,以促进区域生态环境好转。

5 讨论与结论

(1) 野外验证分析结果表明,本文基于遥感的土壤侵蚀强度研究方法有效可行。

(2) 根据元江—红河界河地区土壤侵蚀研究成果,初步提出了该地区国土防护措施与建议。今后需对遥感评价中指标因子进行优化筛选,结合该区域相关研究成果,进行更深层次的综合评价及措施建议探讨,以期更好地支撑国土防护工作。

参考文献:

[1] D Ploey. Erosional systems and perspectives for erosion control in European loess areas[J]. Soil Technology Series,1989(1):93 – 102.

[2] Pimentel D, Kounang N. Ecology of soil erosion in ecosystems [J]. Ecosystems, 1998, 1(5):416 – 426.

[3] Nagle G N, Fahey T J, Lassoie J P. Management of sedimentation in tropical watersheds[J]. Environ Manage, 1999, 23(4):441 – 452.

[4] Gobin A, Kirkby M, Govers G. Pan – European soil risk assessment[M]//Francaviglia R. Agricultural Impacts on Soil Erosion and Soil Biodiversity: Developing Indicators for Policy Analysis. Rome: OECD, 2003.

[5] Servenay A, Prat C. Erosion extension of indurated volcanic soils of Mexico by aerial photographs and remote sensing analysis[J]. Geoderma, 2003, 117(3 – 4):367 – 375.

[6] Shrestha D P, Zinck J A, Van R E. Modelling land degradation in the Nepalese Himalaya[J]. Catena, 2004, 57(2):135 – 156.

[7] Bakker M M, Govers G, Rounsevell M D A. The crop productivity-erosion relationship: an analysis based on experimental work [J]. Catena, 2004, 57(1):55 – 76.

[8] 杨显华, 黄洁, 田立, 等. 四川省矿山遥感监测主要成果与进展[J]. 中国地质调查, 2016, 3(5):41 – 47.

[9] 强建华,于浩. 新疆矿山环境遥感监测成果综述[J]. 中国地质调查,2016,3(5):28-34.

[10] 薛庆,吴蔚,李名松,等. 遥感技术在辽宁省矿山环境监测中的应用[J]. 中国地质调查,2016,3(5):54-59.

[11] 安国英,雷英凭,温静,等. 广西岩溶石漠化演变趋势及影响因素分析[J]. 中国地质调查,2016,3(5):67-75.

[12] 林惠花. 典型区域土壤侵蚀的地理学分析——以福建长汀为例[D]. 福州:福建师范大学,2009.

[13] 陈万辉,刘良云,张超,等. 基于遥感的土壤侵蚀快速监测方法[J]. 水土保持研究,2005,12(6):8-10.

[14] 江辉. 基于遥感的植被覆盖度估算及其动态研究[D]. 南昌:南昌大学,2005.

[15] 唐世浩,朱启疆,周宇宇,等. 一种简单的估算植被覆盖度和恢复背景信息的方法[J]. 中国图象图形学报,2003,8(11):1304-1308.

[16] Jensen J R. Introductory Digital Image Processing:A Remote Sensing Perspective[M]. 4th ed Upper Saddle River,NJ,USA:Pearson Prentice Hall,2015.

[17] 周为峰. 基于遥感和 GIS 的区域土壤侵蚀调查研究[D]. 北京:中国科学院研究生院(遥感应用研究所),2005.

Study on the soil erosion in the Yuanjiang – Honghe  
boundary river areas

ZHANG Weihua<sup>1</sup>, ZHAO Zhifang<sup>1,2</sup>, TAN Shucheng<sup>1,2</sup>, LI Yimin<sup>1</sup>, WANG Aiyun<sup>1</sup>  
(1. College of Resource Environment and Geosciences, Yunnan University, Kunming 650500, China;  
2. “The Belt and Road” Strategic Research Institute, Yunnan University, Kunming 650500, China)

**Abstract:** In order to provide support for the territorial protection of our boundary river areas, the authors has taken the Yuanjiang – Honghe boundary river areas in China and Vietnam border as the study areas, and studied the soil erosion of the study areas by 3S technology in the study areas. Landsat 8 satellite remote sensing data and the soil erosion factors (normalized difference water index, vegetation coverage, soil erodibility and slope) were used to study the intensity of soil erosion. The remote sensing evaluation method about the intensity of soil erosion in the boundary river areas was preliminarily established. And some measures and suggestions for the territorial protection of our boundary river areas were put forward.

**Key words:** 3S technology; spatial overlay analysis; intensity of soil erosion; Yuanjiang – Honghe boundary river areas

(责任编辑: 刁淑娟)