第 35 卷 第 5 期	中国岩溶	Vol. 35 No. 5
2016年10月	CARSOLOGICA SINICA	Oct. 2016

刘超群, 亢 庆, 邝高明, 等. 基于 RapidEye 影像的蚂蝗田小流域土壤侵蚀与岩溶石漠化分析[J]. 中国岩溶, 2016, 35(5): 574-585. DOI: 10.11932/karst20160514

基于 RapidEye 影像的蚂蝗田小流域 土壤侵蚀与岩溶石漠化分析

刘超群¹, 亢庆^{1,2}, 邝高明¹, 王敬贵^{1,2}, 俞国松^{1,2}

(1.珠江水利科学研究院,广州 510611;2.珠江流域水土保持监测中心站,广州 510611)

摘 要:依据《岩溶地区水土流失综合治理技术标准》(SL461-2009),以蚂蝗田岩溶小流域为研究对象,实地 测量了 22 组典型地物光谱,发现岩石和土壤在红光一近红外二维光谱特征空间具有线性分布规律,由此推导 出土壤—岩石指数方程,并构建了岩溶区土壤侵蚀与石漠化强度分析技术流程。在此基础上,利用研究区 RapidEye 卫星遥感影像,通过提取土地利用、植被覆盖度、基岩裸露率和坡度等指标因子信息,实现了土壤侵 蚀与岩溶石漠化强度的分析评价。研究发现:岩溶区土壤侵蚀与植被覆盖度呈负相关性,与坡度和基岩裸露 率无单向相关性;岩溶石漠化与植被覆盖度呈负相关性,与坡度呈正相关性,与基岩裸露率呈线性相关。 关键词:RapidEye 遥感影像;土壤—岩石指数;土壤侵蚀;岩溶石漠化;相关性 中图分类号:S157;TP79 文献标识码:A 文章编号:1001-4810(2016)05-0574-12

0 引 言

石漠化是南方岩溶地区土地退化的极端表现形 式[1],在脆弱的岩溶生态环境中,水土流失是石漠化 的直接原因,石漠化是水土流失不断发展、长期作用 的终极结果[2]。石漠化是岩溶地区最严重的生态环 境问题,查清岩溶地区土壤侵蚀和石漠化的强度与空 间分布,是有效开展岩溶石漠化综合防治的前 提[3-4]。长期以来,岩溶区土壤侵蚀与石漠化遥感调 查缺乏技术标准依据,不同学者和部门采用的技术方 法差异较大,包括利用遥感影像进行人机交互判别或 计算机自动分类,通过植被覆盖度反推石漠化强度, 利用指数模型直接判别石漠化强度等[5-14]。上述方 法存在对影响因素考虑不全,难以区分裸露岩石和裸 露土壤,不能获取基岩裸露率指标等不足。因此,不 同时期、各部门的调查成果难以进行综合应用和对比 分析,不利于开展岩溶区水土流失与石漠化规划、治 理与效益评价等工作。

为了规范岩溶区土壤侵蚀与石漠化调查,指导岩 溶石漠化与水土流失综合防治工作,水利部颁布了 《岩溶地区水土流失综合治理技术标准》(SL461-2009)(以下简称《技术标准》)。本文通过选取贵州省 蚂蝗田岩溶小流域为研究对象,依据《技术标准》开展 土壤侵蚀与岩溶石漠化遥感调查,形成了一套成熟可 行、满足技术标准要求的岩溶区土壤侵蚀与石漠化遥 感调查技术方法,熟化了《技术标准》在实际业务工作 中的应用,以期为岩溶区水土流失与石漠化综合规 划、设计与防治提供技术支撑。

1 研究区概况

蚂蝗田小流域位于贵州省关岭县花江镇境内,东 经105°33′48″~105°34′15″,北纬25°43′52″~25°45′ 61″之间,东西宽6.63 km,南北长5.78 km,面积 16.51 km²(图1),其中岩溶区面积有12.68 km²,非 岩溶区面积有3.83 km²。

基金项目:水利部预算项目"岩溶地区石漠化现状及变化趋势监测"(1261420610833);国家自然基金项目"天然林演替为人工林对林地水量平衡 及土壤水影响作用机制"(41501019)

第一作者简介:刘超群(1980一),男,高级工程师,主要从事岩溶石漠化与水土保持遥感应用研究。E-mail:lcqun_2000@163.com。 收稿日期:2016-06-20



图 1 研究区地理位置图

Fig. 1 Map showing geographical location of the study area

研究区内最高海拔为1764 m,最低海拔为 1133 m;土壤以石灰土为主,兼有水稻土和黄壤;出 露三叠系地层,石灰岩大范围出露,岩溶发育,有溶洞 分布;原生植被破坏严重,目前保存较完善的乔木林 有40.7 hm²,分布于陡峭的山坡、土层较厚的山头和 村寨周围,森林覆盖率为16.4%,现有植被多为次生 乔木林、疏幼林,乔木品种主要有杉木、柳杉、马尾松、 楸树、桦木、滇柏等;属亚热带季风气候区,具有夏季 炎热多雨、冬季寒冷多雾的特点;年均降雨量约1236 mm,其中雨季(5-9月)降雨量占全年的75.9%,年 最大降雨约1465 mm,年最小降雨约827 mm;年平均 径流深约451 mm;年均气温为19.2℃。

2 技术与方法

2.1 数据来源

综合遥感影像的可获取性、性价比和分辨率要求, 选择了德国 RapidEye 遥感影像为研究区基础影像数 据,RapidEye影像的技术参数见表1,影像时相为2010 年2月25日(图2),对遥感影像进行正射校正等预处 理工作。基础地形地质资料为1:1万地形图和1:20 万水文地质图,并对地质图和地形图进行数字化。野 外实地详细调查了研究区地质岩性、地形地貌、植被、 土地利用、土壤类型、基岩裸露率、土壤侵蚀及岩溶石 漠化情况,测试了典型地物的野外光谱数据。

表 1 RapidEye 影像技术参数

Table 1 RapidEye image technical parameters

技术指标	参数
轨道高度	630 km
幅宽	77 km
空间分辨率	6.5 m
	蓝 440~510 mm
	绿 520~590 mm
光谱波段	红 630~685 mm
	红边 690~730 mm
	近红外 760~850 mm

注:本数据引自 http://www.east-dawn.com.cn.



图 2 研究区 RapidEye 卫星影像 Fig. 2 RapidEye satellite image of the study area

2.2 典型地物光谱特征

(1)研究区典型地物光谱测量

利用 FieldSpec@3 便携式地物光谱仪(表 2),在 研究区测量了 22 组典型地物野外光谱数据。经分析,岩石、干土壤、湿土壤、林草、作物和水体具有典型 的特征光谱(图 3),具体表现在:①水体光谱特征明 显,光谱反射率很低,并在红外光谱区间接近于0值; 表 2 FieldSpec@3 便携式地物光谱仪技术参数

Table 2 Technical parameters of FieldSpec@3 portable spectrometer

	技术指标	性能参数
	波长范围	350~2 500 nm
	采样时间	10次/秒
	波段精度	+/-1 nm
	采样间隔	1.4 nm@350~1 050 nm;2 nm@1 000~2 500 nm
	光谱分辨率	3 nm@700 nm;10 nm@1 400 nm,2 100 nm
_		

注:本数据引自《FieldSpec 图R3 User Manual》C 2008 by ASD Inc.

②土壤和岩石的光谱曲线形态相似,随着波长增加反 射率逐渐增加并趋于稳定,无明显的吸收特征,湿润 土壤的光谱反射率低于岩石反射率,干燥土壤的光谱 反射率高于岩石反射率;③林草和作物的光谱曲线形 态相似,在绿光和红光区间分别具有叶绿素引起的反 射峰和吸收谷,在近红外区间具有高反射率,在 980 nm、1 200 nm和 1 400 nm 两侧都存在细胞构造引起 的吸收谷。



图 3 岩溶区典型地物野外实测光谱曲线

Fig. 3 Field measured spectral curve of typical features in karst area

由光谱特征可知:研究区典型地物光谱既具有宏 观上的相似性(如土壤与岩石的光谱曲线形态相似, 林草与作物的光谱曲线形态相似),也具有微观上的 差异性,不同类型地物在可见光及近红外光谱区间内 具有可识别性。

(2)典型地物的红光-近红外二维空间特征分析

参照 RapidEye 遥感影像的波段设置范围,选取 野外实测地物光谱在红光(red,波长 0.63~0.685 μm)和近红外(nir,波长 0.76~0.85 μm)区间的光 谱反射率平均值(表 3),分析研究区地物光谱在 red-nir二维光谱特征空间的分布特征。

表 3	不同地物在红光和近红外区间的实测光谱反射率值

Table 3	Measured spectral	reflectance of	different	ground	objects	in red	and	near	infrared	ranges
---------	-------------------	----------------	-----------	--------	---------	--------	-----	------	----------	--------

光谱 编号	地物 类型	red (0. 63~0. 685 μm)	nir (0.76~0.85 μm)	光谱 编号	地物 类型	red (0.63~0.685 μm)	nir (0.76~0.85 μm)
1	水体	0.059 3	0.030 0	12	岩石	0.121 2	0.155 0
2	湿土壤	0.096 2	0.118 8	13	岩石	0.145 1	0.186 3
3	湿土壤	0.112 2	0.135 4	14	林草	0.049 2	0.316 0
4	湿土壤	0.094 7	0.120 4	15	林草	0.085 0	0.351 9
5	湿土壤	0.103 9	0.135 2	16	林草	0.108 1	0.438 5
6	干土壤	0.194 8	0.241 1	17	林草	0.062 8	0.325 9
7	干土壤	0.167 7	0.2077	18	作物	0.074 1	0.587 5
8	干土壤	0.197 0	0.246 0	19	作物	0.041 7	0.610 3
9	干土壤	0.267 4	0.311 5	20	作物	0.050 8	0.536 5
10	岩石	0.112 6	0.166 4	21	作物	0.026 9	0.544 8
11	岩石	0.143 9	0.203 3	22	作物	0.070 4	0.615 2

研究发现,地物光谱在 red-nir 二维光谱特征 空间中具有明显的分布规律(图4):林草和作物光谱 在近红外区间具有高反射率,位于左上方;水体光谱 在红光和近红外区间反射率都很低,位于左下角;岩 石和土壤在 red-nir 二维光谱特征空间中呈线性分



布,干土壤位于岩石的右上方,湿土壤位于岩石的左 下方。

本文将 red-nir 二维光谱特征空间中岩石和土 壤光谱的线性关系定义为土壤一岩石指数(Soil and Rock Index),根据研究区实测地物光谱推导出土壤一 岩石指数方程表达如下:

 $SRI = 0.74 \times NIR + 0.67 \times RED$ (1) 式中: SRI — 土壤 - 岩石指数; NIR 、RED — 近红外、红光区间的光谱反射率值。

2.3 分级标准

(1)非岩溶区土壤侵蚀分级标准

依据《土壤侵蚀分类分级标准》(SL190-2007), 非岩溶区根据地类、坡度和植被覆盖度3个指标划分 土壤侵蚀强度等级(表4)。

(2)岩溶区土壤侵蚀分级标准

岩溶区土壤稀薄,局部区域当土壤侵蚀达到一定 程度以后,地表已无土被覆盖,基岩呈裸露状态,土地 石漠化,土壤侵蚀强度反而减轻。因此,除地类、坡度 和植被覆盖度3个指标之外,基岩裸露率是岩溶区土 壤侵蚀强度分级的重要指标。依据《技术标准》,岩溶 区土壤侵蚀强度分级标准见表5。

中	玉	岩	溶

表 4 非岩溶区土壤侵蚀强度分级标准

Table 4 Classification standard of soil erosion intensity in non-karst areas

抽米			:	坡度/°		
地大		5~8	8~15	15~25	25~35	>35
	60~75		な声			
非枡地	45~60			山中		强烈
₩ 中 血 (0/	30~45			中皮	强烈	极强烈
)支/70	≤30		-	그런 것이	+17 714 751	티네 프네
坡耕地		轻度	中度	5虫22	权 短 然	

注:本数据引自《土壤侵蚀分类分级标准》(SL190-2007)。

表 5 岩溶区土壤侵蚀强度分级标准

Table 5 Classification standard of soil erosion intensity in karst areas

				坡度/°	annan ann an ann ann ann ann ann ann an			
土地	1类型		<5 5~8	8~15	15~25	25~35	>35	
		<5			卫动	拉迟刀列	尼山石山	
	甘山洲	5~30	轻度		5虫22	权强烈	固烈	
(1) 坡耕地		30~50			山中	强烈	极强烈	
	路 "平 / 70	50~70	_				强烈	
		>70	微度				r i dhamaaa	
				基法	岩裸露率/%			
			<5	5~30	30~50	50~70	>70	
		60~75	_					
(2)	林草覆 盖度/%	45~60		_				
(坡度<15°)		30~45	山庄	11.又		微度		
		<30	て反					
		60~75	-	轻度	微度			
(3) 荒地	林草覆	45~60		- 山度	以由	御宦		
(坡度15 [°] ~25°)	盖度/%	30~45	品列		11月	似反		
		<30	JEAN		中度	轻度	微度	
		60~75	中度	轻度	微度			
(4) 荒地	林草覆	45~60	强烈	中度	轻度	御由	—	
(坡度>25°)	盖度/%	30~45		强烈	山府	1成/受		
		<30	10, 19, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10			轻度	微度	

注:本数据引自《岩溶地区水土流失综合治理技术标准》(SL461-2009)。

(3) 岩溶石漠化分级标准

《技术标准》根据基岩裸露率大小,将岩溶石漠化 强度划分为无明显、潜在、轻度、中度和重度5个等级 (表 6)。

2.4 技术流程

研究区以岩溶区为主,西北部分布有碎屑岩。本 文将研究区划分为岩溶区与非岩溶区,针对岩溶区进 行土壤侵蚀强度分级和石漠化强度分级,技术指标参 照《技术标准》^[15];对非岩溶区(无岩溶石漠化现象) 只进行土壤侵蚀强度分级,技术指标参照《土壤侵蚀 分类分级标准》(SL190-2007)^[16]。研究区土壤侵蚀 与石漠化分级技术流程如下(图 5):

表	6	岩溶石漠化强度分级标准	

Table 6 Standard for classification of karst

rocky desertification

石漠化强度	基岩裸露率/%	_
无明显	<30	
潜在	<30	
轻度	30~50	
中度	50~70	
重度	>70	

注:无明显石漠化的土壤侵蚀强度为微度,潜在石漠化的土壤侵蚀强 度为轻度以上;本数据引自《岩溶地区水土流失综合治理技术标准》 (SL461-2009)。



图 5 研究区土壤侵蚀与石漠化分级技术流程

Fig. 5 Technological process of soil erosion and rocky desertification in the study area

(1) 岩溶/非岩溶区划分

利用1:20万地质图结合遥感影像进行地层岩 性判别,将研究区划分为岩溶区和非岩溶区,获得岩 溶/非岩溶区分布图。

(2)土地利用分类

利用 eCognition Developer 面向对象遥感分析 软件进行土地利用分类^[17-18],获得土地利用类型图 (图 6)。

(3) 植被信息提取

采用归一化植被指数法计算研究区植被指数 (NDVI),计算公式见式(2),分析各个地块图斑的植 被覆盖度,获得植被覆盖度图(图 7)。

$$NDVI = \frac{b_{nir} - b_{nd}}{b_{nir} + b_{nd}}$$
(2)

式中: NDVI —— 归一化植被指数; b_{nir}、b_{nd} —— 遥 感影像近红外、红光波段的反射率值。

(4)裸露基岩信息提取

利用 RapidEye 遥感影像计算岩溶区土壤-岩石指数(SRI),计算公式见式(1),提取裸露基岩信息,分析地块图斑的基岩裸露率,获得基岩裸露率图(图 8)。

(5)地形坡度计算

采用1:1万地形图,利用 ArcGIS 软件的 3D Analyst 模块计算数字高程模型(DEM),利用 Spatial analyst 模块计算坡度,获得坡度图(图 9)。

(6)土壤侵蚀与石漠化强度分析

依据《技术标准》和《土壤侵蚀分类分级标准》,利 用自主开发的 KarstGIS 软件,基于地块图斑进行多因 子空间叠加分析,进行研究区土壤侵蚀和石漠化强度 分析,得到土壤侵蚀强度图(图 10)和岩溶石漠化强度 图(图 11)。



图 6 土地利用类型图 Fig. 6 Land use types map



Fig. 8 Rock exposure rate map



图 10 土壤侵蚀强度图 Fig. 10 Soil erosion intensity map



图 7 植被覆盖度图 Fig. 7 Vegetation coverage map



图 9 坡度图 Fig. 9 Slope map



图 11 岩溶石漠化强度图 Fig. 11 Karst rocky desertification intensity map

3 结果与分析

3.1 土壤侵蚀强度分析

由表7可知,研究区土壤侵蚀总面积有857.27 hm²,占全区的 51.92%。其中,轻度侵蚀面积有 324.57 hm²,占 19.66%;中度侵蚀面积有 387.88 hm²,占 23.49%;强烈侵蚀面积有 125.12 hm²,占 7.58%;极强烈侵蚀面积有 19.70 hm²,占 1.19%;无 剧烈侵蚀。研究区以中、低强度土壤侵蚀为主,占 43.15%,高强度侵蚀面积较小,仅占8.77%。高侵 蚀强度土地主要分布在植被较差的碎屑岩区以及基 岩裸露率和植被覆盖度都较低的岩溶荒山区;中部河 谷洼地和西北部碎屑岩区土层较厚,植被生长好,土 壤侵蚀强度低(图 10)。不同土壤侵蚀强度等级的遥 感影像特征与实地照片见图 12。

	Table	7 Statistics of	of soil erosio	n area in the	study area				
		土地面积/							
区域尖型		比例	轻度	中度	强烈	极强烈	小计		
山谷口	面积/hm ²	1 268.30	314.68	302.65	76.98	1.29	695.60		
宕俗区	比例/%	100.00	24.81	23.86	6.07	0.10	54.85		
나 나 XP 더	面积/hm ²	382.79	9.89	85.23	48.14	18.41	161.67		
非石浴区	比例/%	100.00	2.58	22.27	12.58	4.81	42.23		
A 31	面积/hm ²	1 651.09	324.57	387.88	125.12	19.70	857.27		
合计	比例/%	100.00	19.66	23.49	7.58	1.19	51.92		

表 7 研究区土壤侵蚀面积统计表



微度侵蚀

图 12 5 种土壤侵蚀强度遥感影像与实地照片对比



分析岩溶区与非岩溶区土壤侵蚀分布特征可知, 岩溶区土壤侵蚀面积有 695.60 hm²,占岩溶区面积 的 54.85%,非岩溶区土壤侵蚀面积有 161.67 hm²,

占非岩溶区面积的 42.23%,岩溶区土壤侵蚀面积占 比稍大,而非岩溶区的中度和强烈侵蚀面积比稍高, 这说明研究区内岩溶区以中、低强度土壤侵蚀为主, 非岩溶区的高强度土壤侵蚀比岩溶区大,其原因是岩 溶区土层较薄,基岩裸露,土壤侵蚀模数小,高强度侵 蚀面积较小。

3.2 岩溶石漠化强度分析

研究区的岩溶面积有 1 268.30 hm²,无明显石 漠化土地面积有 493.26 hm²,占岩溶面积的 38.89%,主要分布在中部的平缓河谷洼地;潜在石漠 化和轻度石漠化土地面积分别为 399.58 hm² 和 212.20 hm²,分别占 31.51%和 16.73%,主要位于 植被较好的岩溶荒山区;中度和重度石漠化土地分别 为129.44 hm² 和 33.83 hm²,分别占 10.21% 和 2.67%,主要位于植被较差、基岩裸露率高的岩溶荒 山区(表 8 和图 11)。不同岩溶石漠化强度等级的遥 感影像特征与实地照片见图 13。

表 8 岩溶石漠化面积统计表 Table 8 Statistics of learnt reaky description area

Table of Statistics of Karst focky descrimination area								
石漠化强度	无明显	潜在	轻度	中度	重度	小计		
面积/hm ²	493.26	399.58	212.2	129.44	33.83	1 268.30		
比例/%	38.89	31.51	16.73	10.21	2.67	100.00		





图 13 5 种岩溶石漠化强度遥感影像与实地照片对比

Fig. 13 Remote sensing images and field photos of five intensities of karst rocky desertification

研究区无明显和潜在石漠化面积占岩溶区面积的 70.40%,岩溶石漠化土地以轻度和中度为主,二 者占岩溶区面积的 26.94%,重度石漠化土地只占 2.67%。岩溶石漠化强度的主要影响因素是人为坡 地开垦种植和植被砍伐,导致地表土壤流失,岩石裸 露;此外,地形坡度也是导致石漠化发生的重要因素。

3.3 精度验证

研究区共有土壤侵蚀基础图斑 203 个,有石漠化 基础图斑 151 个。精度验证按照不小于 10%的抽样 比例,遵循均匀分布、随机抽样的原则选取样本,共抽 取土壤侵蚀图斑样本 28 个进行实地精度验证,误分 图斑 4 个,精度 86%;抽取石漠化图斑样本 19 个进 行实地精度验证,误分图斑2个,精度89%。

3.4 相关性分析

本文选取植被覆盖度、坡度、基岩裸露率和地类 4 个指标,分别计算岩溶区各级土壤侵蚀强度和石漠 化强度的植被覆盖度、坡度、基岩裸露率面积加权平 均值,计算公式见式(3),分析各个指标与岩溶区土壤 侵蚀和石漠化之间的相关关系。

$$FAWA_{i} = \frac{Value_{Factor} \times S_{landuse}}{\sum_{i=1}^{n} S_{landuse}}$$
(3)

式中: FAWA_i — 指标因子面积加权平均值; Value Factor — 单个地块图斑的因子值; S_{landuse} — 地 块图斑面积值; n — 地块图斑数量。 指标

(1)土壤侵蚀相关性分析

由表 9 和图 14 可知,岩溶区土壤侵蚀与植被覆 盖度呈负相关性,随着土壤侵蚀增强,植被覆盖度值 呈总体下降趋势,植被覆盖好,侵蚀强度低,植被覆盖 差,侵蚀强度高;岩溶区坡度与土壤侵蚀无单向相关 性,微度侵蚀的坡度值最低,为 13.47°,极强烈侵蚀 的坡度值最高,为 26.35°,但轻度至强烈侵蚀与坡度 值呈负相关性;基岩裸露率与土壤侵蚀无单向相关 性,微度侵蚀的基岩裸露率最低,为15.65%,轻度侵 蚀的基岩裸露率最高,为34.41%,中度、强烈和极强 烈侵蚀的基岩裸露率值基本相同;不同地类中,水田、 梯地土壤侵蚀强度较低,坡耕地、灌草地等人为破坏 植被强度大的地类土壤侵蚀强度较高。

 Table 9 Statistical values of all indexes of soil erosion in karst areas

 微度

 微度

表 9 岩溶区土壤侵蚀各指标统计值

主要地类	水田、梯地、疏幼林、 灌草地、未利用地	灌 草 地、乔 木 林、疏 幼林、坡耕地	灌 草 地、坡 耕 地、疏 幼林	坡耕地、灌草地	灌草地
基岩裸露率/%	15.65	34.41	25.37	26.53	24.86
坡度/°	13.47	26.35	22.56	18.56	28, 41
植被覆盖度/%	47.32	47.60	33.78	15.75	11.17
	微度	轻度	中度	强烈	极强烈







(2) 岩溶石漠化指标相关性分析

由表 10 和图 15 可知,岩溶石漠化与植被覆盖度 呈负相关性,随着石漠化增强,植被覆盖度明显降低, 无明显石漠化至重度石漠化的植被覆盖度值依次为 51.73%、48.63%、28.32%、16.95%和 10.67%;坡 度与石漠化呈正相关性,但相关性不强,随着石漠化 增强,坡度值增大不明显;基岩裸露率与石漠化呈线 性正相关性,随着基岩裸露率的增大,石漠化增强,无 明显石漠化至重度石漠化,基岩裸露率依次为 8.73%、17.30%、40.54%、55.97%和 73.12%;根据 地类分析,水田、梯地和未利用地石漠化较轻,灌草 地、疏幼林、坡耕地石漠化强度高。

Table 10 Statistical values of karst focky desertification indexes						
指标因子 -	石漠化强度					
	无明显	潜在	轻度	中度	重度	
植被覆盖度/%	51.73	48.63	28.32	16.95	10.67	
坡度/°	10.83	22.74	25.59	27.08	27.43	
基岩裸露率/%	8.73	17.30	40.54	55.97	73.12	
主要地类	水田、梯地、 未利用地	灌草地、坡耕 地、疏幼林	灌草地、疏幼林、 灌木林、坡耕地	灌草地、坡耕地、 疏幼林	灌草地、疏幼林	

表 10 岩溶石漠化指标统计值

able 10 Statistical values of karst rocky desertification indexes







4 结 论

参照《岩溶地区水土流失综合治理技术标准》 (SL461-2009),以蚂蝗田岩溶小流域为研究对象, 实地测量了 22 组典型地物光谱,发现岩石和土壤在 red-nir二维光谱特征空间中具有线性分布规律,由 此推导出土壤一岩石指数方程,并构建了岩溶区土壤 侵蚀与石漠化强度分析技术流程。在此基础上,利用 RapidEye 卫星遥感影像实现了研究区的土地利用类 型、基岩裸露率、植被覆盖度等指标信息提取,以及土 壤侵蚀与石漠化强度等级的划分,取得了好的应用效 果。经实地精度验证,成果精度满足实际应用要求。

本文分析得出:岩溶区土壤侵蚀与植被覆盖度呈 负相关性,与坡度、基岩裸露率无单向相关性,水田和 梯地的土壤侵蚀强度较低,坡耕地、灌草地等人为破 坏植被严重大的地类土壤侵蚀强度较高;岩溶石漠化 与植被覆盖度呈负相关性,与坡度呈正相关性,与基 岩裸露率呈线性相关,水田、梯地和未利用地石漠化 较轻,灌草地、疏幼林和坡耕地石漠化强度高。

致 谢:审稿专家和编辑老师对论文修改提出了宝贵 的意见,特表感谢!

参考文献

- [1] 张殿发,王世杰,周德全,等.贵州省喀斯特地区土地石漠化的内 动力作用机制[J].水土保持通报,2001,21(4):1-5.
- [2] 王世杰. 喀斯特石漠化概念演绎及其科学内涵的探讨[J]. 中国 岩溶,2002,21(2);101-105.
- [3] 袁道先.对南方岩溶石山地区地下水资源及生态环境地质调查的一些意见[J].中国岩溶,2000,19(2):103-108.
- [4] 张学俭,陈泽健.珠江喀斯特地区石漠化防治对策[M].北京: 中国水利水电出版社,2007.
- [5] 周忠发,黄路迦,肖丹.贵州高原喀斯特石漠化遥感调查研究: 以贵州省清镇市为例[J].贵州地质,2001,67(2):93-98.
- [6] Li W H, Yu D Q. A study of the technology for remote sensing investigation of rocky desertification in areas of karst stony hills [J]. Remote Sensing of Land &. Resources.2002.(1):34-37.
- [7] 苏锋,何丙辉,熊友胜,等.基于"3S"技术的奉节县喀斯特石漠
 化调查及精度评价[J].西南师范大学学报(自然科学版),2007, 32(6);61-65.
- [8] 李丽,童立强,李小慧.基于植被覆盖度的石漠化遥感信息提取 方法研究[J].国土资源遥感,2010,84(2):59-62.
- [9] Xia X Q. Tian Q J. Du F L. Analysis of hyperspectral remote sensing image using a simplex methods [J]. Journal of Image and Graphics, 2004,9(12): 1486-1490.
- [10] Tong L Q. A method for extracting remote sensing information from rocky desertification areas in southwest China[J].
 Remote Sensing of Land &. Resources. 2003.(4): 33-35.
- [11] 童立强.西南岩溶石山地区石漠化信息自动提取技术研究[J].国土资源遥感,2003,58(4):35-38.
- [12] 岳跃民,王克林,张兵,等.喀斯特石漠化信息遥感提取的不确 定性[J].地球科学进展,2011,26(3);266-273.
- [13] 涂杰楠,杨亮,梁丽新,等,基于 RapidEye 遥感影像的比值密度 分割法在岩溶石漠化调查中的应用:以云南鹤庆县为例[J].中 国岩溶,2015,34(3):298-307.
- [14] 杨奇勇,蒋忠诚,李晖,等. 基于 Google Earth 的果化示范区石 漠化评估[J]. 中国岩溶,2013,32(1);95-99.
- [15] 水利部水土保持司.岩溶地区水土流失综合治理技术标准 (SL461-2009)[M].北京:中国水利水电出版社,2009.
- [16] 水利部水土保持司.土壤侵蚀分类分级标准(SL190-2007)
 [M].北京:中国水利水电出版社,2007.
- [17] 祖 琪,袁希平,莫源富,等. 基于面向对象分类方法在 SPOT 影 像中的地物信息提取[J]. 中国岩溶,2011.30 (2):227-232.
- [18] 李雪冬,杨广斌,李蔓,等.面向对象的喀斯特地区土地利用遥 感分类信息提取:以贵州毕节地区为例[J].中国岩溶.2013.32 (2):231-237.

Analysis of soil erosion and karst rocky desertification in the Mahuangtian small watershed based on RapidEye remote sensing images

LIU Chaoqun¹, KANG Qing^{1,2}, KUANG Gaoming¹, WANG Jinggui^{1,2}, YU Guosong^{1,2}

(1. Pearl River Hydraulic Research Institute, Guangzhou, Guangdong 510611, China;

2. Soil and Water Conservation Monitoring Center of Pearl River Basin, Guangzhou, Guangdong 510611, China)

Abstract The Mahuangtian small watershed, located at Huajiang town of Guanling county in Guizhou Province, covers an area of 16.51 km² which extends about 5.78 km in north-south and 6.63 km in east-west directions, respectively. As a developed karst region where limestone outcrops widely, its karst area is 12.68 km² while the rest is 3.83 km². Based on field spectral reflectance measurements in 22 study regions by FieldSpec@3 spectroradiometer, spectral features of typical ground objects (e.g. rock, dry soil, wet soil, forest, grassland, crop, water) were analyzed and a linear distribution of soil and rock spectral was found in the red-nir dimensional feature space. We defined the linear relationship as the rock-soil index and further derived the formula of this index to get the exposed bedrock fraction of the karst area using remote sensing images. According to Techniques standard for comprehensive control of soil erosion and water loss in the karst region (SL461-2009), the technical process was designed to evaluate the soil erosion (SE for short) and karst rocky desertification(KRD for short) in the karst area. Applying this method, we carried out the intensity classification of SE and KRD on the basis of index factors, such as land use, vegetation coverage, exposed bedrock fractions and gradients, generated from RapidEye images, geographical map (1:200,000) and topographic map (1: 10,000). Results demonstrate that the correct ratios of SE and KRD are respectively 86% and 89%, which can satisfy the specification requirement. By analyzing the interpretation, the SE area is 857.27 hm2, accounting for 51.92% of the research region. Among them, the area of SE in the karst is 695.60 hm² which accounts for a higher proportion of 54.85% in the Mahuangtian watershed while the non-karst area is 161. 67 hm² which accounts for 42. 23% and has a major part of the severe SE. For the 1,268.30 hm2 KRD area, the constituent ratio decreases by 38.89% of inconspicuous KRD, 31.51% of potential KRD, 16.73% of slight KRD, 10.21% of moderate KRD and 2.67% of intense KRD. And their areas are, in order, 493.26 hm², 399.58 hm², 212.20 hm², 129.44 hm² and 33.83 hm². Obviously, the slight and moderate KRD are predominant in this karst region. In addition, our study indicates that the SE is inversely associated with vegetation coverage but has no common bond with gradients and exposed bedrock fractions in this area. And the KRD is negatively related with vegetation coverage and positively correlated with gradients and the rate of exposed bedrock.

Key words RapidEye image, soil-rock index, soil erosion, karst rocky desertification, correlation

(编辑 黄晨晖)