

况忠,包平,吴开彬,等.基于Landsat-X GEVI的贵州纳雍地区2003—2015年岩溶石漠化分布变化遥感调查[J].中国岩溶, 2019,38(6):883-888.

DOI:10.11932/karst20190605

基于Landsat-X GEVI的贵州纳雍地区 2003—2015年岩溶石漠化分布变化遥感调查

况忠,包平,吴开彬,蒋开源

(贵州省地质调查院, 贵阳 550018)

摘要:岩溶石漠化是困扰中国西南岩溶地区发展的一种脆弱的生态环境,为了解贵州纳雍地区岩溶石漠化的改善情况,基于Landsat数据利用改进增强型植被指数模型(GEVI)方法提取了2003年和2015年的岩溶石漠化信息,分别为540.06 km²和390.99 km²,并将两期岩溶石漠化信息进行叠加分析和对比研究,发现该地区岩溶石漠化面积减少了149.07 km²,改善率(减少率)达12.88%,尤其是原成片分布的石漠化区域(如朝阳谷、滥坝和猫场等地)多呈碎斑状缩小,且发现研究区岩溶石漠化位置有自南西向北东迁移的现象,迁移面积为289.47 km²,以中度岩溶石漠化为主,说明治理与破坏同步,防治形势仍很严峻,但岩溶石漠化总面积减少,生态状况呈良性发展态势,反映出近年来综合治理成效显著。

关键词:Landsat-X GEVI;纳雍地区;岩溶石漠化;分布变化;遥感调查

中图分类号:X171;X87 **文献标识码:**A

文章编号:1001-4810(2019)06-0883-06 **开放科学(资源服务)标识码(OSID):**



0 引言

岩溶石漠化(也称喀斯特石漠化)是指在亚热带岩溶山地区脆弱的生态环境背景条件下,由于自然演化并叠加不合理的人为活动,导致植被遭受破坏、土层严重流失而引起的基岩逐步裸露的生态退化、地表呈现荒漠化景观的过程,是存在于中国西南岩溶地区的脆弱的生态地质问题^[1-5],具有明显的自然属性和社会学属性,是当今最严重的由环境引起的社会经济问题之一,已经严重影响了这些地区的可持续发展。

自20世纪80年代以来,很多专家和学者在岩溶石漠化的形成、监测和恢复治理等方面进行了研究和探讨^[6-10],并取得了丰富的成果,但对岩溶石漠化

位置迁移的研究报道相对较少。因此,为了解纳雍地区(下文称研究区)在退耕还林、还草、及其它恢复治理工程后的改善情况,为今后政策制定提供参考,笔者采用改进增强型植被指数模型(GEVI)^[11-12]提取了该地区的岩溶石漠化信息,并进行了对比研究和分析。

1 研究区概况

研究区位于乌蒙山中部,距六盘水市城区约5 km,是西南八省(区)岩溶石漠化的腹地(图1),也是贵州相对较贫困的地区之一。行政区划以纳雍县为主,涉及大方、织金、水城和六枝4个县(区)的部分区域,属于长江流域乌江水系,主要河流为抵母河和六冲河,滥坝南侧近研究区边缘为长江流域乌江水

资助项目:中国地质调查局乌蒙山区地质矿产综合调查项目(12120113051800)

第一作者简介:况忠(1975—),男,高级工程师,主要从事遥感地质应用研究。E-mail:812613218@qq.com。

收稿日期:2018-03-26

系与珠江流域北盘江水系的分水岭所在。属亚热带季风气候区,年平均气温为 13.7℃,多年平均降雨量为 1 243.9 mm。

研究区仅纳雍县 2015 年末户籍人口为 104.38 万人,常住人口 67.73 万人,农业人口约占总人口的 95%,人多地少。地形地貌以中山山地为主,地形切割大,地表破碎崎岖,耕地以坡土旱地为主,较为瘠薄,土壤侵蚀面积约占全区的 64.67%。在 20 世纪 80、90 年代,几乎能开垦的种植的地方都有人为活动;区内交通极为不便,导致生活在织(金)纳(雍)煤田岩溶区的农民依然以柴薪为主要燃料,植被遭到了极大的破坏,基岩尤为裸露,岩溶石漠化率约为 21.06%^[13-14],生态环境综合评价为中等^[15]。

研究区出露的地层有震旦系—寒武系、泥盆系—三叠系、白垩系和第四系,缺奥陶系、志留系和侏罗系,各组(段)主要岩性如表 1、图 2 所示。

研究区总面积为 2 297 km²,碳酸盐岩和碎屑岩的分布面积分别为 1 157.32 km²和 1 139.68 km²,占

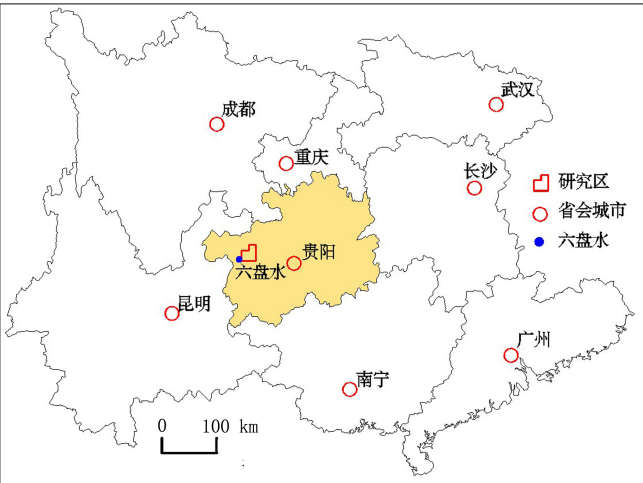


图 1 研究区位置示意图
Fig. 1 Sketch map showing location of the study area

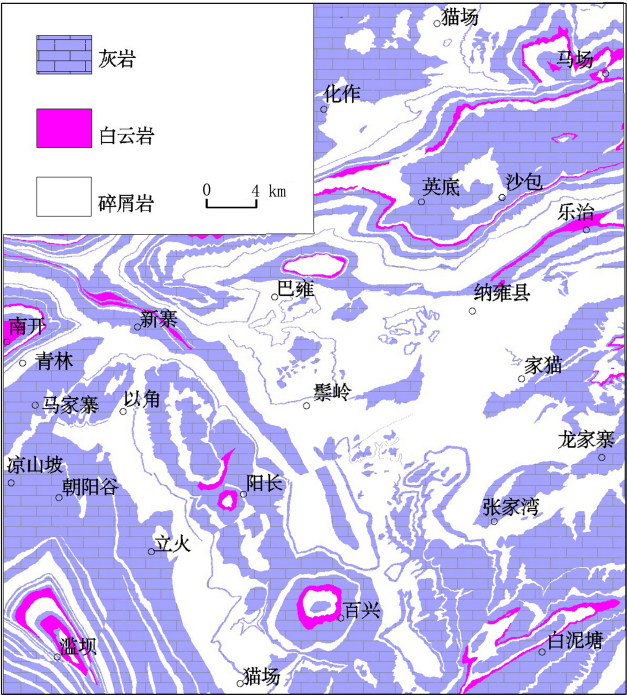


图 2 研究区灰岩、白云岩和碎屑岩的分布图
Fig. 2 Distribution map of limestone, dolomite and clastic rocks in the study area

总面积的 50.38% 和 49.62%,两者比例大致相当,但因岩层产状陡缓差异而造成岩石局部呈不均匀状分布。

2 岩溶石漠化遥感信息提取

2.1 遥感数据准备

利用分辨率为 30 m 的 Landsat 数据进行岩溶石漠化遥感信息提取,时相分别为 2003 年 2 月 21 日(Landsat 7)(文中称“第一期遥感数据”)和 2015 年 4 月 3 日(Landsat 8)(文中称“第二期遥感数据”)。影

表 1 研究区出露地层岩性分类表

Table 1 Lithologic classification table of exposed strata in the study area

岩性	地层
碳酸盐岩	震旦系灯影组(白云岩);泥盆系高坡场组(白云岩夹灰岩);石炭系上司组(灰岩)、摆佐组(白云岩)、黄龙组(灰岩)、马平组(灰岩)、威宁组(灰岩、白云岩)、南丹组(灰岩);二叠系平川组(灰岩)、龙吟组第二段(灰岩)、栖霞组—茅口组(灰岩)、长兴组(灰岩);三叠系飞仙关组第二段(灰岩)、夜郎组第二段(灰岩)、嘉陵江组(第一、三段灰岩、第四段白云岩)、关岭组第二段(灰岩)、杨柳井组(白云岩)、改茶组(灰岩)
	寒武系牛蹄塘组、明心寺组(局部夹少许灰岩)、金顶山组;石炭系祥摆组;二叠系龙吟组第一段(局部夹灰岩)、梁山组、峨眉山玄武岩、龙潭组、大隆组;三叠系飞仙关组第一、三段,夜郎组第一、三段,嘉陵江组第二段,关岭组第一段(夹少量灰岩),二桥组;白垩系茅台组(砾岩)

注:据 1:5 万纳雍、以角等 5 幅区域地质图及报告整理。

像数据清晰,无畸变,无云,无水气影响,信息量丰富,通过不同波段组合目视可分辨六类地物:林地、草地/灌木、耕地、裸地、沙地和其他。将该两期遥感数据辐射校正后,再利用 1:5 万地形图采集同名点与遥感数据匹配并进行几何校正,其校正精度均在一个像元内,能满足研究需求。

2.2 岩溶石漠化遥感信息提取的技术和方法

岩溶石漠化遥感信息提取的方法较多,有监督分类、综合分析法、光谱分析和定量法^[16-21]等。本文使用改进增强型植被指数模型(GEVI)方法(据《岩溶石漠化遥感信息增强技术探讨》^[11]),以增大增强土壤、植被、裸岩及水体之间的反差,进行了石漠化信息提取。

$$GEVI = \frac{2 \times \rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{Red} + \rho_{Blue}}$$

式中: ρ 分别为经大气校正的反射值(NIR, Red, Blue)。

2.3 岩溶石漠化在遥感影像上的特征

在进行岩溶石漠化信息提取前,研究区首先采

用假彩色遥感影像图进行预判,初步解译出重度、中度、轻度和非岩溶石漠区;再依据初译情况进行路线踏勘,验证初次判译情况,采集不同石漠化程度区照片,根据需要对训样区样本进行调整。

以第二期遥感数据 R6G5B3 组合的假彩色影像图和野外照片(图 3)相结合可看出,重度岩溶石漠化区色调呈橘红色、粉红色,局部及岩溶洼地处见浅绿色(图 3a);中度石漠化区以橘红色、粉红色和绿色为主,呈斑状,绿色主要分布于低洼处,但绿色明显低于粉红色(图 3b);轻度石漠化区以浅绿色、绿色和粉红色为主,绿色范围大于粉红色(图 3c);非石漠化区以绿色调为主,仅局部见粉红色、橘红色(图 3d)。其中重度和中度石漠化分布区地形以峰丛、峰林为主,地形坡度中等,人类活动频繁,发生的地层以威宁组、茅口组、嘉陵江组、关岭组和杨柳井组为主;而轻度石漠化主要发生在山体边缘、地形低洼处以及陡坡处(前两者为有意种植和保护的结果,而后者人类活动较少触及),发生地层无明显规律。非石漠化分布区主要存在于碎屑岩分布区及岩溶生态恢复保护区。

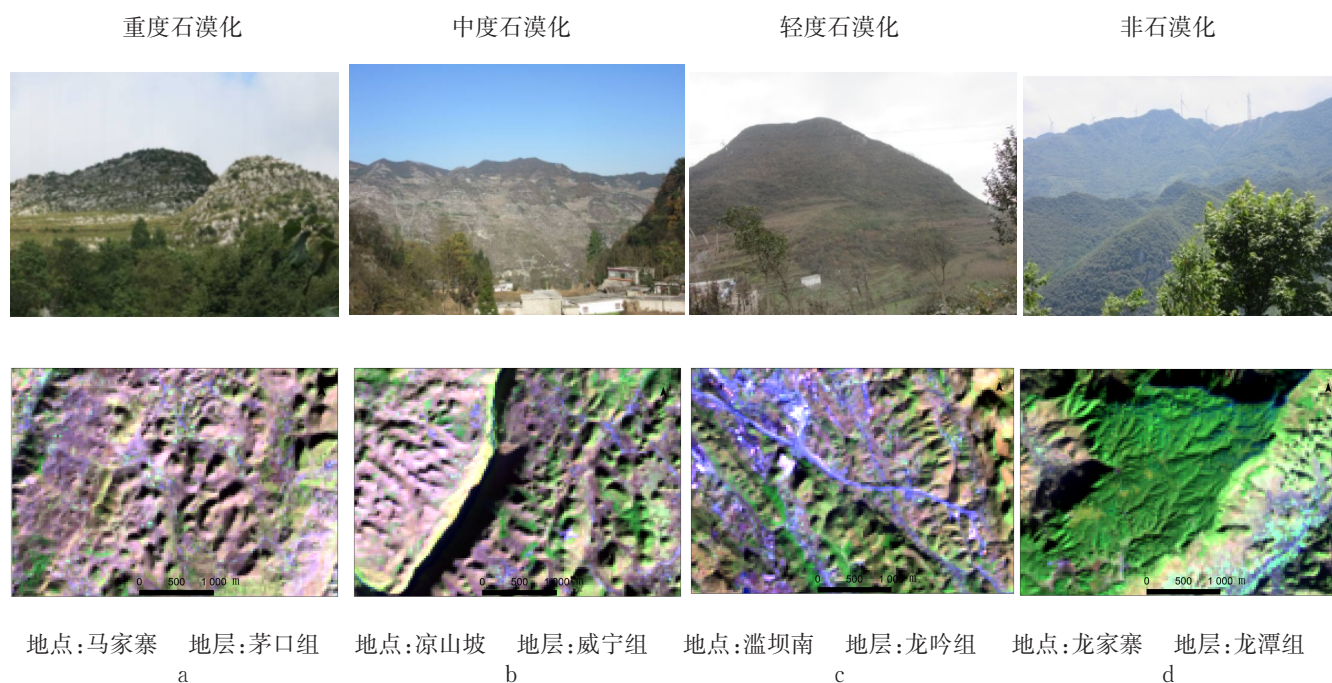


图 3 研究区岩溶石漠化照片及遥感影像对比图

Fig. 3 Comparison of photos and remote sensing images of karst rocky desertification in the study area
注:上为照片,下为 Landsat8 影像 R6G5B3。

2.4 岩溶石漠化分级及后处理

在进行训样研究的基础上,结合前人划分指标,将研究区石漠化等级划分为重度、中度、轻度和非石

漠化(包含无石漠化和潜在石漠化)四类(表2),同时将提取的石漠化信息与岩性图层叠加分析,去掉非岩溶区的信息,从而获得岩溶区分布的各级石漠化信息。

表2 研究区岩溶石漠化等级划分指标

Table 2 Classification index of karst rocky desertification in the study area

划分指标	植被覆盖度/%	岩石裸露率/%	土层厚度/cm	坡度/°	与图3的对应关系
非石漠化	>50	<35	>15	<15	d
轻度石漠化	35<~≤50	>35	<15	>15	c
中度石漠化	20<~≤35	>65	<10	>20	b
重度石漠化	10<~≤20	>85	<7	>25	a

注:引用相关文献^[13],有改动。

3 岩溶石漠化分布特征

3.1 2003年的岩溶石漠化分布特征

研究区2003年的岩溶石漠化总面积(图4)为540.06 km²,占总面积的23.51%,占出露碳酸盐岩总面积的46.66%,其中重度、中度和轻度岩溶石漠化分别为144.08 km²、202.30 km²和193.69 km²,以中度和轻度石漠化为主,重度相对较少。

从图4中可看出,岩溶石漠化成片分布的区域主要有南开、青林、朝阳谷—滥坝、猫场、英底—马场、白泥塘等地。

3.2 2015年岩溶石漠化分布特征

研究区2015年岩溶石漠化面积(图5)为390.99 km²,占总面积的17.02%,占出露碳酸盐岩总面积的33.78%。其中重度、中度和轻度石漠化面积分别为

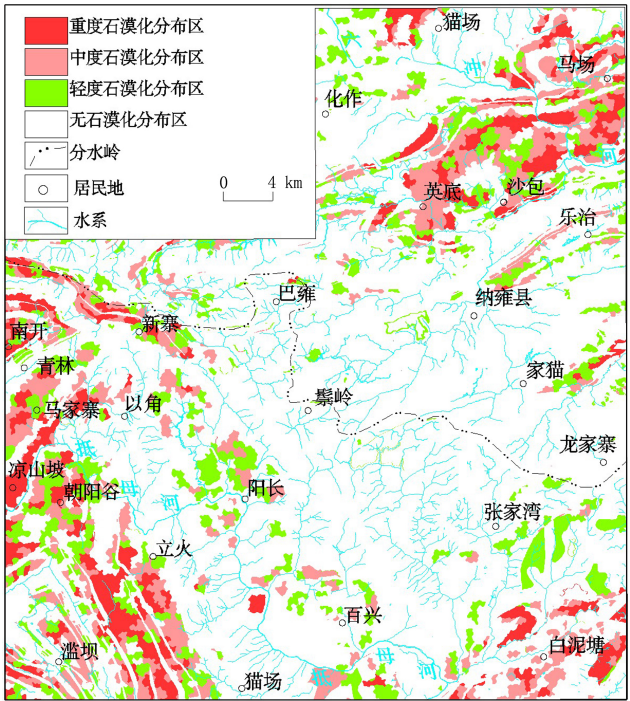


图4 研究区2003年岩溶石漠化信息分布图

Fig. 4 Information distribution map of karst rocky desertification in the study area in 2003

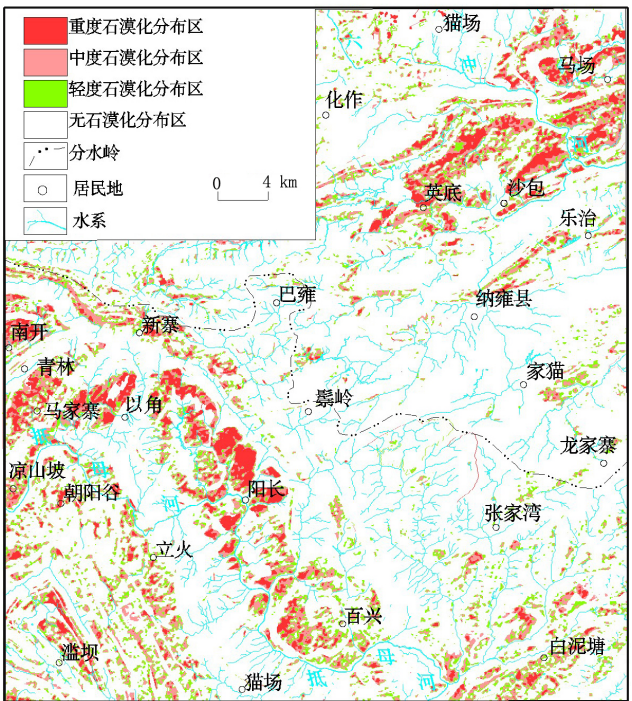


图5 研究区2015年岩溶石漠化分布图

Fig. 5 Distribution map of karst rocky desertification in the study area on 2015

90.86 km²、170.00 km²和 130.13 km²。仍然以中度和轻度石漠化为主,重度比重相对较小。野外验证结果显示,准确率达 95%。

从图 5 中可以看出,岩溶石漠化主要分布于南开、青林、以角、新房—阳长、英底、沙包和马场等地,重度石漠化区较 2003 年零碎。

(1)以分水岭为界,对不同河流内的分布面积进行统计(表 3),其中六冲河(流域面积为 997.9 km²)的岩溶石漠化率为 14.6%,低于研究区平均值(17.02%)约 2.42%;抵母河(流域面积为 1 299.1 km²)岩溶石漠化率为 18.9%,超过研究区平均值(17.02%)约 1.88%。相对而言,抵母河流域的岩溶石化较六冲河流域严重。

表 3 研究区不同河流的岩溶石漠化分布面积

Table 3 Distribution area of karst rocky desertification in different rivers in the study area

石漠化分级	六冲河/km ²	抵母河/km ²
重度石漠化	35.42	55.44
中度石漠化	63.54	106.46
轻度石漠化	46.39	83.74
合计	145.35	245.64

(2)以不同碳酸盐岩的分布面积进行统计,白云岩石漠化率高于灰岩。研究区灰岩分布面积为 1 048.03 km²,石漠化面积为 334.55 km²(表 4),占研究区岩溶石漠化的 85.56%,岩溶石漠化率为 31.92%。白云岩分布面积为 109.29 km²,石漠化面积为 56.44 km²,占研究区岩溶石漠化的 14.44%;石漠化率为 51.61%。由此可见,两者石漠化率不尽相同,白云岩高于灰岩。

表 4 研究区白云岩、灰岩石漠化面积统计表

Table 4 Statistics of the area of dolomite and limestone desertification in the study area

岩性	灰岩/km ²	白云岩/km ²	合计/km ²
重度石漠化	78.98	11.88	90.86
中度石漠化	142.52	27.48	170.00
轻度石漠化	113.05	17.08	130.13
合计	334.55	56.44	390.99

3.3 两年情况对比研究

以第一期遥感数据提取的岩溶石漠化信息为基础,分别将重度、中度和轻度置为独立图层,用同样方法将第二期遥感数据提取的岩溶石漠化信息与之叠加分析,并将剩余信息重新进行组合,从而得到研究区岩溶石漠化迁移分布图(图 6)。

在叠加分析的过程中,第一期与第二期没有相交的部分,将其理解生态已恢复,相交部分理解为生态尚未恢复,仍相持原有状况,第二期溢出部分理解为新破坏部分,即发生了岩溶石漠化迁移的部分。

从图 6 中可以看出,2015 年石漠化面积比 2003 年减少了 149.07 km²,其中重度、中度和轻度石漠化面积分别减少了 53.22 km²、32.30 km²和 63.56 km²(表 5)。

表 5 2003 年、2015 年监测情况对比

Table 5 Comparison of monitoring results in 2003 and 2015

岩性	2003 年/km ²	2015 年/km ²	减少/km ²
重度石漠化	144.08	90.86	53.22
中度石漠化	202.30	170.00	32.30
轻度石漠化	193.69	130.13	63.56
合计	540.06	390.99	149.07

研究区的岩溶石漠化面积在减少的同时,位置也自南西向北东方向发生了迁移,其迁移总面积为 289.47 km²,其中重度、中度和轻度石漠面积分别为 63.00 km²、122.07 km²和 104.40 km²,中度石漠化迁移面积最大,轻度石漠化次之,重度石漠化最少。尤其以阳长一带岩溶石化最为明显,有加重的趋势。

4 结论与讨论

(1)通过两期(2003 年 2 月 21 日(Landsat 7)和 2015 年 4 月 3(Landsat 8))遥感数据提取岩溶石漠化信息,并进行对比研究,发现研究区岩溶石漠化面积减少了 149.07 km²,改善率(减少率)达 12.88%,且重度、中度和轻度石漠化均有减少。2015 年的岩溶石漠化分布与 2003 年相比,重度岩溶石漠化除南开、青林、以角—阳长、英底、沙包和马场等地有小面积成片分布外,其余地区均较零碎,说明经过十多年来的综合治理,生态环境得到了极大改善。

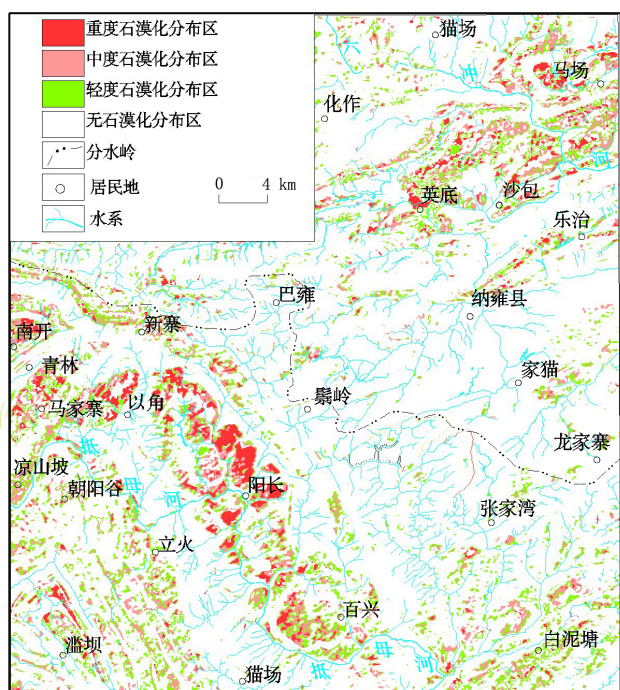


图6 研究区岩溶石漠化迁移分布图(基于2003、2015年叠加分析)

Fig. 6 Migration and distribution of karst rocky desertification in the study area (overlay analysis of data in 2003 and 2015)

(2)研究区位于六盘水市北东,通过信息叠加分析,发现岩溶石漠化从原有的近城郊(六盘水市)部位向远城郊(山区)部位迁移,迁移总面积达289.47 km²。据调查研究认为,一方面是城市发展加强了周边环境保护,进行了退耕还林、还草等综合治理,生态环境得到了恢复,另一方面是城市建设将原有的需求(譬如砂石矿开采、以及工业园和牛羊养殖园的兴建等)转移到了较边远的乡村,以致于边远山区岩溶石漠化局部有加重现象,以阳长一带最为典型,近年来修建有电厂、工业园等。

(3)六冲河岩溶石化率为14.6%,抵母河岩溶石化率为18.9%,抵母河岩溶石化率高于六冲河。结合地理位置分析认为,滥坝一带位于长江流域和珠江流域的分水岭,相对于次级河流分水岭而言,水土流失更为严重,生态环境更脆弱。

(4)灰岩岩溶石漠化率为31.92%,白云岩石漠化率为51.61%,白云岩石漠化率高于灰岩,与前人研究成果相比较,呈相反情况。在验证过程中发现,白云岩分布区耕地相对多于灰岩区,且多临近农用耕地,为有利于农作物生长,常将其周围植被砍掉,以致该区域岩石较为裸露。

参考文献

- [1] 袁道先. 我国西南岩溶石山的环境地质问题[J]. 大自然探索, 1996(4): 21-23.
- [2] 王世杰, 李阳兵, 李瑞玲. 喀斯特石漠化的形成背景、演化与治理[J]. 第四纪研究, 2003, 23(6): 657-667.
- [3] 苏维词. 中国西南岩溶山区石漠化的现状成因及治理的优化模式[J]. 水土保持学报, 2002, 16(5): 24-27.
- [4] 李阳兵, 王世杰, 容丽. 关于喀斯特石漠和石漠化概念的讨论[J]. 中国沙漠, 2004(6): 689-695.
- [5] 周德全, 王世杰, 张殿发. 关于喀斯特石漠化研究问题的探讨[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2003(2): 127-132.
- [6] 李瑞玲, 王世杰, 熊康宁. 喀斯特石漠化评价指标体系探讨: 以贵州省为例[J]. 热带地理, 2004, 24(2): 145-149.
- [7] 刘方, 王世杰, 刘元生, 等. 喀斯特石漠化过程土壤质量变化及生态环境影响评价[J]. 生态学报, 2005, 25(3): 639-644.
- [8] 郭丽琴, 赵志芳, 代启学, 等. 基于RS和GIS文山州石漠化时空演变特征及成因研究[J]. 国土资源遥感, 2017, 29(1): 106-113.
- [9] 邓艳, 曹建华, 蒋忠诚, 等. 西南岩溶石漠化综合治理水土—植被关键技术进展与建议[J]. 中国岩溶, 2016, 35(5): 476-485.
- [10] 王月容, 卢琦, 周金星, 等. 贵州省岩溶石漠化地区生态服务价值损失评估[J]. 中国岩溶, 2013, 32(1): 88-94.
- [11] 况顺达, 戴传固, 王尚彦, 等. 岩溶石漠化遥感信息增强技术探讨[J]. 贵州地质, 2009, 26(1): 44-48.
- [12] 鞠建华, 戴传固, 况顺达, 等. 岩溶石漠化遥感监测与防护规划[M]. 北京: 地质出版社, 2003.
- [13] 贵州省国土资源厅, 贵州省测绘局. 贵州省地图集[R]. 2005: 188-189.
- [14] 贵州省国土资源厅, 贵州省地矿局. 贵州省石漠化分布特征[EB/OL] (2011-06-20) [2018-04-26]. <https://wenku.baidu.com/view/7b4962d728ea81c758f578d5.html>.
- [15] 纳雍县政府网. 纳雍县2015年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL] (2016-09-19) [2018-04-26]. http://www.ahmhxc.com/tongjigongbao/5112_4.html.
- [16] 夏学齐, 田庆久, 杜凤兰. 石漠化程度遥感信息提取方法研究[J]. 遥感学报, 2006, 10(4): 469-474.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 杨青青, 李泗清, 蔡乐, 等. 喀斯特石漠化的遥感提取方法研究进展[J]. 北方环境, 2011, 23(12): 95-98.
- [20] 李文辉, 余德清. 岩溶石山地区石漠化遥感调查技术方法研究[J]. 国土资源遥感, 2002, 51(1): 34-37.
- [21] 陈起伟, 兰安军, 熊康宁, 等. 基于遥感光谱特征的喀斯特石漠化信息提取[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2003, 21(4): 82-87.

(下转915页)

Principles and methods for preventing and controlling the hourglass-type karst ground collapse

LIANG Ligang¹, CHEN Liang¹, LIU Jianfang²

(1. Beijing Urban Construction Design & Development Group Co., Ltd., Beijing 100037, China; 2. Wuhan Metro Group Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430030, China)

Abstract There are 6 limestone belts trending in nearly EW trending fold structures in the Wuhan area, where karst ground collapse occurs frequently. Such failure can be divided into three basic types, i.e. hourglass type, soil cavity type and vacuum erosion type, each has its special geological conditions and corresponding collapse mechanism. As the disaster caused by hourglass-type collapse is the most serious and most difficult to control, this paper focuses on its geological conditions, collapse mechanism, prevention principles and methods. Analysis shows that the key factor to cause the hourglass is the groundwater (karst water and pore water) seepage, of which original power is the karst water seepage. Consequently, the fundamental measure to prevent hourglass collapse is to set up curtains to cut off karst water seepage. At last, the principles and methods of preventing and controlling the hourglass collapse of subway stations and section shield are proposed, which have attained good effects in practice.

Key words subway engineering, karst ground collapse, hourglass type, prevention principles, Wuhan area

(编辑 张玲)

(上接 888 页)

Remote sensing investigation to the distribution and change of karst rocky desertification from 2003 to 2015 in the Nayong area of Guizhou based on Landsat-X GEVI

KUANG Zhong, BAO Ping, WU Kaibin, JIANG Kaiyuan

(Guizhou Institute of Geological Survey, Guiyang, Guizhou 550018, China)

Abstract Karst rocky desertification is a fragile ecological environment that puzzles the development of karst areas in southwest China. In order to understand the improvement of karst rocky desertification in the Nayong area of Guizhou, the authors extracted the scale information of karst rocky desertification in 2003 and 2015 by using the improved enhanced vegetation index model (GEVI) method based on Landsat data, which is 540.06 km² and 390.99 km², respectively. Comparison of data over these two periods shows that the area of karst rocky desertification in this area has been reduced by 149.07 km², and the improvement rate has reached 12.88%, especially in the areas of severe rocky desertification (such as Chaoyanggu, Lanba and Maochang), which have been distributed in vast swaths previously. It is also found that the karst rocky desertification in this area is migrating from southwest to northeast, with an area of 289.47 km², dominated by a moderate degree. It indicates that the control and destruction are synchronized, and the control task remains a great challenge. Nevertheless, the total area of karst rocky desertification is reduced and ecological conditions show a benign development trend, reflecting the effectiveness of comprehensive efforts in recent years.

Key words Landsat-X GEVI, Nayong area, karst rocky desertification, distribution changes, remote sensing survey

(编辑 张玲)