

DOI: 10. 13656/j. cnki. gxkx. 20181030. 007

闫妍, 黄凯燕, 胡宝清. 基于亚米级卫星数据的典型喀斯特小流域石漠化空间格局与演变特征[J]. 广西科学, 2018, 25(5): 620-624.

YAN Y, HUANG K Y, HU B Q. The spatial pattern and evolution features of rocky desertification in representative karst watershed based on sub-meter satellite data[J]. Guangxi Sciences, 2018, 25(5): 620-624.

基于亚米级卫星数据的典型喀斯特小流域石漠化空间格局与演变特征^{*}

The Spatial Pattern and Evolution Features of Rocky Desertification in Representative Karst Watershed based on Sub-Meter Satellite Data

闫妍^{1,2}, 黄凯燕^{1,3}, 胡宝清^{1,2**}

YAN Yan^{1,2}, HUANG Kaiyan^{1,3}, HU Baoqing^{1,2}

(1. 广西师范学院, 北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室, 广西南宁 530001; 2. 广西师范学院, 广西地表过程与智能模拟重点实验室, 广西南宁 530001; 3. 广西师范学院, 地理科学与规划学院, 广西南宁 530001)

(1. Key Laboratory of Environment Change and Resources Use in Beibu Gulf, Ministry of Education, Guangxi Teachers Education University, Nanning, Guangxi, 530001, China; 2. Guangxi Key Laboratory of Earth Surface Processes and Intelligent Simulation, Guangxi Teachers Education University, Nanning, Guangxi, 530001, China; 3. School of Geography and Planning, Guangxi Teachers Education University, Nanning, Guangxi, 530001, China)

摘要:【目的】阐明石漠化演变的过程和机制, 为下一步石漠化综合治理的方向和重点提供科学依据。【方法】选取契合喀斯特地区景观特点的亚米级卫星数据, 使用指数分类法提取 2003 年和 2013 年研究区不同等级石漠化信息, 对研究区石漠化空间格局和演变特征进行分析。【结果】指数分类法分类精度评价结果显示, Kappa 系数大于 0.8, 且野外验证精度为 85%, 说明解译结果可信。2003—2013 年, 研究区石漠化面积从 96.55 km² 减少至 88.97 km², 石漠化面积呈现减少的趋势, 总体减少速率为 0.76 km²/a; 无明显石漠化增加速率最大, 为 20.11 km²/a, 轻度和中度石漠化演变速率为 -0.23 km²/a 和 -0.02 km²/a。虽然不同等级石漠化面积之间均有转化, 但是向无明显石漠化转移的面积(7.65 km²)大于向强度石漠化转移的面积(3.04 km²)。演变方向上, 石漠化轻度改善的面积最大为 10.56 km²。【结论】研究区整体的石漠化状况有所好转, 总体上石漠化治理取得一定的成效, 但是轻度恶化的面积(6.08 km²)也不容忽视, 需要对石漠化治理工程效果进行巩固。

关键词: 指数分类法 石漠化等级 演变方向 演变速率

中图分类号: P951 文献标识码: A 文章编号: 1005-9164(2018)05-0620-05

收稿日期: 2018-09-14

作者简介: 闫妍(1987—), 女, 副研究员, 主要从事生态系统恢复力研究。

* 国家自然科学基金项目(41807522, 41661021)和国家重点研发计划(2016YFC0502401)资助。

** 通信作者: 胡宝清(1966—), 男, 教授, 主要从事脆弱环境演变研究, E-mail: hbq1230@sina.com。

Abstract:【Objective】The study is aimed to clarify the process and mechanism of the karst rocky desertification, which may provide scientific basis for the direction and the focus of the comprehensive control of karst rocky desertification.

【Methods】The sub-meter satellite data matching

the landscape characteristics of the karst area was selected. The index classification method was used to extract the rocky desertification information of different grades in the study area in 2003 and 2013. The spatial pattern and evolution characteristics of rock desertification in the study area were analyzed. **【Results】**The classification accuracy evaluation results of the index classification method showed that the Kappa coefficient was greater than 0.8, and the field verification accuracy was 85%, indicating that the interpretation results were credible. From 2003 to 2013, the area of rocky desertification in the study area decreased from 96.55 km² to 88.97 km², and the rocky desertification area showed a decreasing trend, with an overall reduction rate of 0.76 km²/a. The increase rate of no obvious rocky desertification was the largest, which was 20.11 km²/a, and the evolution rate of mild and moderate rocky desertification was -0.23 km²/a and -0.02 km²/a. Although there were conversions between different grades of rocky desertification, the area transferred to the area without obvious rocky desertification (7.65 km²) was larger than that transferred to the intensity rocky desertification (3.04 km²). In the direction of evolution, the area of slight improvement of rocky desertification was 10.56 km².

【Conclusion】The overall rocky desertification situation in the study area has improved. In general, the rocky desertification control has achieved certain results, but the slightly deteriorated area (6.08 km²) cannot be ignored. It is necessary to consolidate the effect of the rocky desertification control project.

Key words: index classification, classification of karst rocky desertification, evolution direction, evolution rate

0 引言

【研究意义】喀斯特石漠化是我国西南地区的重要生态问题,且逐渐成为自然环境的灾害之源及和谐社会建设的障碍^[1]。自20世纪80年代起石漠化问题的研究就已经开始,研究成果主要围绕石漠化的概念、空间格局、成因机制和综合治理等方面,为石漠化防治提供了强有力的理论支持和实践经验^[2-4]。其中石漠化演变过程作为石漠化问题研究的主要内容之一,不仅反映了区域的生态环境变迁,同时其变化结果还会影响该区域的社会经济发展。**【前人研究进展】**近年来该领域的研究人员运用遥感和GIS技术的优势,快速、精准、经济地提取喀斯特石漠化的分布、时空演变规律等,为喀斯特石漠化的监测和后续治理提供了科学依据。如王敬贵等^[5]运用人机交互解译的方法,对Landsat-7 ETM+遥感影像进行解译,分析珠江上游喀斯特地区土地石漠化现状。左太安等^[6]使用Landsat-5 TM遥感解译2000—2010年毕节试验区的石漠化空间分布,分析石漠化时空演变。**【本研究切入点】**喀斯特地区地表景观的高度破碎化,因此需要采用高空间分辨率的遥感影像及相应的技术方法来提高监测精度。但是由于受遥感数据源的限制,前期研究多使用中等分辨率的多光谱影像,且前期的研究多是关于石漠化演变过程的外部特

征,如面积变化等,缺少对石漠化强度相互转化的内部演变过程的关注。**【拟解决的关键问题】**本研究选取高分辨率的亚米级卫星数据,利用指数分类法,对2003年和2013年典型喀斯特流域的石漠化空间格局和演变动态进行解译,探讨高分辨率遥感影像在石漠化监测中的可行性,并着重对石漠化的内部转移特征进行分析,以期阐明石漠化演变的过程和机制,为下一步石漠化综合治理的方向和重点提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究选取的流域位于广西壮族自治区百色市平果县(图1),面积约97 km²,是典型的喀斯特峰丛洼地地貌,岩性主要为纯灰岩和硅质灰岩。研究区属于亚热带季风性气候,年均气温19.0~21.5℃,年均降雨量约1200~1500 mm,降雨主要集中在5—9月。土壤以砂页岩红壤、棕色石灰土及黑色石灰土为主。现有植被主要有次生常绿阔叶林、马尾松(*Pinus massoniana*)林及人工桉树(*Eucalyptus*)林、丛生竹林等。

1.2 数据来源与预处理

研究使用的亚米级卫星数据:2003年12月14日的Quickbird卫星影像,由0.6 m全色波段和2 m多光谱融合得到真彩色融合数据。2013年12月31

日的 Pleiades 卫星影像,由 0.5 m 全色波段和 2 m 多光谱融合得到真彩色融合数据。

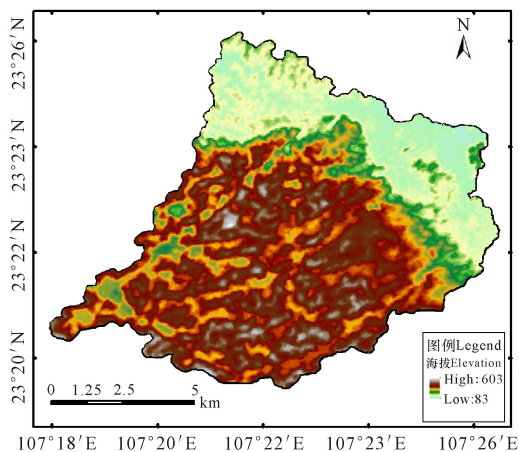


图 1 研究区位置

Fig. 1 Location map of the study area

1.3 石漠化划分方法

目前为止,石漠化强度等级划分还没有严格的标准,也没有统一的评价体系。不同的学者其研究的角度、方法不同,石漠化分类方法亦不同。本研究根据石漠化指数和基岩裸露率划分出石漠化等级(简称指数分类)。石漠化遥感信息提取的研究方法决定了其研究精度,本研究参考已有的研究^[7],建立研究区石漠化信息提取模型,如式(1)所示。

$$D_i = \frac{DN_{b1} \times M_{g2}}{DN_{g2} \times M_{b1}}, \quad (1)$$

计算式中, D_i 为研究区影像中第 i 个像元的石漠化指数值; DN_{b1} 和 DN_{g2} 分别为蓝光和绿光波段的像元亮度值; M_{b1} 和 M_{g2} 分别为蓝光和绿光波段的平均像元亮度值。在实际运用中发现,该石漠化信息模型能减少太阳照度、传感器增益及坡向的影响,有利于石漠化信息的提取^[8]。

岩石裸露率的大小影响了石漠化等级划分,本研究选用基岩裸露率的遥感模型来表征石漠化指数。基岩裸露率的遥感模型选用“混合像元”条件下的等密度模型,如式(2)所示。

$$D_{Gi} = \frac{D_i - D_{\min}}{D_{\max} - D_{\min}} \times 100\%, \quad (2)$$

计算式中, D_{Gi} 为研究区影像中第 i 个像元的岩石裸露率, D_i 为影像中第 i 个像元的石漠化指数值, D_{\max} 为研究区石漠化指数中的最大值, D_{\min} 为研究区石漠化指数中的最小值。计算出岩石裸露率后,根据划分等级表(表 1),对影像进行重新分类,得出石漠化分类图。

1.4 分类精度评价与验证

使用 Envi 5.1 软件中的 Using Ground Truth

ROIs 模块,对石漠化信息提取结果进行精度评价。重新选取新感兴趣区,作为检验感兴趣区,输出混淆矩阵并分析。在分类精度评价表中, Kappa 系数大于 0.8 为合格,否则要重新对影像进行石漠化信息提取。进行野外调查,采集不同等级石漠化的实地样本点,对室内解译的结果进行验证和校正。

表 1 石漠化等级划分

Table 1 Classification of karst rocky desertification

石漠化级别 Grades of karst rocky desertification	基岩裸露率 Bare rate of bedrock (%)
不明显 Potential	<30
轻度 Mild	30~50
中度 Moderate	50~70
强度 Severe	>70

2 结果与分析

2.1 基于指数分类法的石漠化信息精度

对 2003 年和 2013 年的石漠化分类精度进行评价,输出混淆矩阵(表 2),结果显示 Kappa 系数均大于 0.8,符合精度要求。

表 2 2003 年和 2013 年石漠化分类精度混淆矩阵

Table 2 Confusion matrix of classification accuracy of karst rocky desertification in 2003 and 2013

石漠化级别 Grades of karst rocky desertification	制图精度 Mapping accuracy		用户精度 User accuracy	
	2003	2013	2003	2013
不明显 Potential	32.63	98.03	91.86	88.11
轻度 Mild	80.15	61.45	80.12	72.78
中度 Moderate	76.07	94.92	71.81	63.44
强度 Severe	95.84	72.11	64.30	82.12

注:2003 年和 2013 年的 Kappa 系数分别为 0.876 0 和 0.894 2

Note: The Kappa coefficients of 2003 and 2013 were 0.876 0 and 0.894 2 respectively

对研究区进行实地考察,获取不同石漠化等级野外验证点共 20 个,均匀分布在研究区内。将野外采集的样本点导入解译数据中,对照解译结果与采集样本是否相符。检验结果显示 17 个野外样本点与解译结果一致,精度为 85%,解译结果可靠。

2.2 石漠化分布空间格局

如图 2 和表 3 所示,总体上,2003—2013 年,研究区石漠化面积从 96.55 km² 减少至 88.97 km²,石漠化面积呈现减少的趋势。无明显石漠化主要分布在研究区的北部和东北部区域。2013 年无明显石漠化区域面积为 8.03 km²,与 2003 年相比增加显著,无明显石漠化分布范围扩大,说明石漠化面积得到有效的遏制。轻度石漠化分布范围和中度石漠化分布范围广泛存在整个研究区,与 2003 年相比,2013 年

二者的面积分别减少了 9.75 km² 和 0.94 km², 轻度石漠化减少相对显著。强度石漠化零星分布在研究区的西部和西南部地区, 2013 年强度石漠化的面积较 2003 年有所增加, 面积增加 3.04 km²。

2003 年轻度石漠化转化而来, 转化面积为 6.72 km²。2003 年中度石漠化有 3.84 km² 转化为轻度石漠化, 说明石漠化综合治理取得了一定的效果。2013 年强度石漠化主要由 2003 年的轻度石漠化转化而来, 但绝对面积较小, 为 2.07 km², 这有可能是小范围内不合理的人类活动引发。虽然不同等级石漠化面积之间均有转化, 但是向无明显石漠化转移的面积 (7.65 km²) 大于向强度石漠化转移的面积 (3.04 km²), 说明研究区整体的石漠化状况有所好转。

表 4 2003—2013 年研究区石漠化演变面积转移矩阵 (km²)
Table 4 The transfer matrix of karst rocky desertification from 2003 to 2013 (km²)

石漠化级别 Grades of karst rocky desertification	不明显 Potential	轻度 Mild	中度 Moderate	强度 Severe
不明显 Potential	0.24	6.72	1.03	0.04
轻度 Mild	0.11	28.22	3.84	0.03
中度 Moderate	0.02	4.94	48.57	0.00
强度 Severe	0.01	2.07	1.03	0.13
初期总面积 Total area of initial stage	0.38	41.95	54.47	0.20

2.3.2 演变方向

为探讨石漠化演变的方向, 从构建不同石漠化程度演变转移矩阵方面, 分析不同石漠化等级相互转化的情况。将石漠化的状况分为 4 个演变方向, 分别为较好改善、轻度改善、轻度恶化和严重恶化。较好改善表现为某石漠化强度跳跃转化为较低的石漠化等级; 轻度改善表现为某石漠化强度转化为邻近较低的石漠化等级; 轻度恶化表现为某石漠化强度转化为邻近较高的石漠化等级; 严重恶化表现为某石漠化强度跳跃转化为较高的石漠化等级。

根据转移矩阵得到较好改善、轻度改善、轻度恶化和严重恶化 4 个演变方向的面积分别为 1.1 km², 10.56 km², 6.08 km² 和 2.1 km²。其中, 轻度改善的面积最大, 说明研究区总体上石漠化治理取得一定的成效。但是轻度恶化的面积也不容忽视, 这可能是由于石漠化地区立地条件差, 如果管理不到位有些治理工程成果很难得到巩固。另外, 有些地方群众积极性并不高, 存在边治理、边破坏的情况。

2.3.3 演变速率

石漠化演变速率是指某石漠化强度等级面积在单位时间内发生的变化量, 能够反映出某石漠化强度等级面积增减的速度, 即: 演变速率 = 初末变化面积 / 2003 年对应石漠化强度土地面积, 其中正负表示增加或减少, 计算得到 2003—2013 年各级石漠化演变速率如表 5 所示。

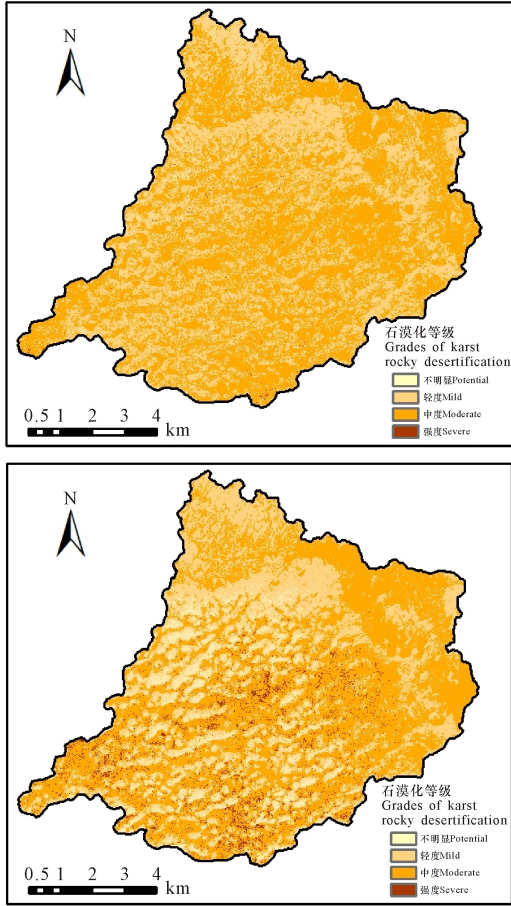


图 2 2003 年和 2013 年研究区不同等级石漠化空间分布

Fig. 2 The spatial pattern of all grades karst rocky desertification in 2003 and 2013

表 3 2003 年和 2013 年各石漠化等级面积统计

Table 3 The area and proportion of all grades karst rocky desertification in 2003 and 2013

石漠化级别 Grades of karst rocky desertification	面积 Area (km ²)	
	2003	2013
不明显 Potential	0.38	8.03
轻度 Mild	41.95	32.20
中度 Moderate	54.47	53.53
强度 Severe	0.20	3.24

2.3 石漠化演变特征

2.3.1 演变方式

将研究区 2 个时期的石漠化等级结构进行叠加分析, 得到两期石漠化信息变化转移矩阵如表 4 所示。结果显示, 2003—2013 年各级石漠化两两之间基本都有互相转化。2013 年无明显石漠化主要由广西科学 2018 年 10 月 第 25 卷第 5 期

表 5 2003—2013 年各级石漠化演变速率

Table 5 The evolution rate of karst rocky desertification from 2003 to 2013

石漠化级别 Grades of karst rocky desertification	初末变化 Changes during the study period (km ²)	演变速率 Evolution rate (km ² /a)
不明显 Potential	7.65	20.11
轻度 Mild	-9.75	-0.23
中度 Moderate	-0.94	-0.02
强度 Severe	3.04	15.20

研究区石漠化面积由 2003 年的 96.55 km² 减少到 2013 年的 88.97 km², 石漠化总面积减少了 7.58 km², 年均减少率为 0.76 km²/a。各石漠化强度等级中, 轻度石漠化面积和中度石漠化面积表现为减少, 中度石漠化的演变速率小于轻度石漠化程度的演变速率, 轻度石漠化演变速率为 -0.23 km²/a, 中度石漠化演变速率为 -0.02 km²/a。无明显石漠化面积和强度石漠化面积均表现为增加, 无明显石漠化演变速率较之强度石漠化演变速率较大, 为 20.11 km²/a, 强度石漠化演变速率为 15.20 km²/a。

3 结论

本研究以石漠化热点问题之一的石漠化演变过程为切入点, 选取典型的喀斯特流域为研究区, 结合遥感和 GIS 等新技术的优势, 应用契合喀斯特地区景观特点的高分辨率亚米级卫星数据, 构建石漠化提取指数分类方法, 提取研究区 2003 年和 2013 年石漠化空间格局和演变动态, 主要结果如下:

1) 对指数分类法提取的研究区石漠化信息进行验证, 分类精度评价结果 Kappa 系数大于 0.8, 且不同等级石漠化解译结果与野外考察验证点有 17 个保持一致, 精度为 85%, 说明解译结果可信。

2) 2003—2013 年, 研究区石漠化面积从 96.55 km² 减少至 88.97 km², 石漠化面积呈现减少的趋势, 总体减少速率为 0.76 km²/a。无明显石漠化增加速率最大, 为 20.11 km²/a, 轻度和中度石漠化演变速率分别为 -0.23 km²/a 和 -0.02 km²/a。

3) 虽然不同等级石漠化面积之间均有转化, 但是向无明显石漠化转移的面积 (7.65 km²) 大于向强度石漠化转移的面积 (3.04 km²), 说明研究区整体的石漠化状况有所好转。演变方向上, 石漠化轻度改善的面积最大, 为 10.56 km², 说明研究区总体上石漠化治理取得一定的成效。但是轻度恶化的面积 (6.08 km²) 也不容忽视, 需要对石漠化治理工程效果进行巩固。

研究通过实地考察验证高分辨率遥感影像在石

漠化监测中的可行性, 并着重对石漠化的内部转移特征进行分析, 阐明石漠化演变的过程和机制, 为喀斯特石漠化的监测和后续治理提供了科学依据。

参考文献:

- [1] 袁道先. 岩溶石漠化问题的全球视野和我国的治理对策与经验[J]. 草业科学, 2008, 25(9): 19-25.
YUAN D X. Global view on karst rock desertification and integrating control measures and experiences of China[J]. Pratacultural Science, 2008, 25(9): 19-25.
- [2] JIANG Z C, LIAN Y Q, QIN X Q. Rocky desertification in southwest China: Impacts, causes, and restoration[J]. Earth-Science Reviews, 2014, 132: 1-12.
- [3] 闫妍, 胡宝清, 蔡会德. 基于综合治理和水文模型的广西县域石漠化小流域区划研究[J]. 地球与环境, 2017, 45(2): 219-228.
YAN Y, HU B Q, CAI H D. There gionalization of small watershed in rocky desertification counties of Guangxi based on comprehensive controls and hydrological model [J]. Earth and Environment, 2017, 45(2): 219-228.
- [4] 温远光, 夏承博, 周晓果, 等. 不同石漠化治理模式下群落的植物组成及多样性[J]. 广西科学, 2017, 24(2): 168-174, 181.
WEN Y G, XIA C B, ZHOU X G, et al. Species composition and diversity in communities of different combating rock desertification models[J]. Guangxi Sciences, 2017, 24(2): 168-174, 181.
- [5] 王敬贵, 杨德生, 余顺超, 等. 珠江上游喀斯特地区土地石漠化现状遥感分析[J]. 中国水土保持科学, 2007, 5(3): 1-6.
WANG J G, YANG D S, YU S C, et al. Analysis on karst rocky desertification in upper reaches of Pearl River based on remote sensing[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2007, 5(3): 1-6.
- [6] 左太安, 刁承泰, 苏维词, 等. 毕节试验区石漠化时空演变过程和演变特征[J]. 生态学报, 2014, 34(23): 7067-7077.
ZUO T A, DIAO C T, SU W C, et al. Spatial-temporal evolution process and its evaluation characteristic of rocky desertification in Bijie experimental area[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(23): 7067-7077.
- [7] 李晖, 尹辉, 蒋忠诚, 等. 典型岩溶区石漠化和土壤侵蚀遥感解译与关键问题[J]. 广西师范大学学报: 自然科学版, 2013, 31(2): 133-139.
LI H, YIN H, JIANG Z C, et al. Remote sensing of rock desertification and soil erosion in typical karst area and the key problems[J]. Journal of Guangxi Normal University: Natural Science, 2013, 31(2): 133-139.
- [8] 杨奇勇, 蒋忠诚, 马祖陆, 等. 基于地统计学和遥感的岩溶区石漠化空间变异特征[J]. 农业工程学报, 2012, 28(4): 243-247.
YANG Q Y, JIANG Z C, MA Z L, et al. Spatial variability of karst rock desertification based on geostatistics and remote sensing [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(4): 243-247.

(责任编辑: 陆 雁)