

DOI:10.13656/j.cnki.gxkx.20181031.001

陈燕丽,莫建飞,莫伟华,等.近30年广西喀斯特地区石漠化时空演变[J].广西科学,2018,25(5):625-631.

CHEN Y L,MO J F,MO W H,et al.Temporal and spatial distributions of rocky desertification in Guangxi karst area in the past 30 years[J].Guangxi Sciences,2018,25(5):625-631.

近30年广西喀斯特地区石漠化时空演变* Temporal and Spatial Distributions of Rocky Desertification in Guangxi Karst Area in the Past 30 Years

陈燕丽^{1,2,3},莫建飞^{1,2,3},莫伟华^{1**},钟仕全¹,王君华¹,丁美花¹,胡宝清^{2,3}

CHEN Yanli^{1,2,3},MO Jianfei^{1,2,3},MO Weihua¹,ZHONG Shiquan¹,
WANG Junhua¹,DING Meihua¹,HU Baoqing^{2,3}

(1. 广西气象减灾研究所,国家卫星气象中心遥感应用试验基地,广西南宁 530022;2. 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;3. 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)

(1. Remote Sensing Application and Validation Base of NSMC, Guangxi Meteorological Disaster Mitigation Institute, Nanning, Guangxi, 530022, China; 2. Key Laboratory of Environment Change and Resources Use in Beibu Gulf, Guangxi Teachers Education University, Ministry of Education, Nanning, Guangxi, 530001, China; 3. Guangxi Key Laboratory of Earth Surface Processes and Intelligent Simulation, Guangxi Teachers Education University, Nanning, Guangxi, 530001, China)

摘要:【目的】开展广西喀斯特地区石漠化时空演变特征分析,为广西开展石漠化生态恢复重建和综合治理提供科学参考依据。【方法】利用美国 Thematic Mapper (TM)和国产环境减灾卫星 HJ 遥感数据,结合实地调查采样数据,在分析石漠化遥感光谱特征的基础上,以植被覆盖状况作为石漠化评价指标,采用框式分类方法对广西1988时相、2002时相、2007时相、2015时相4个时相石漠化状况进行等级制图并分析其时空演变。【结果】2002时相广西石漠化面积最大,1988时相次之,2015时相最小。近30年来,广西石漠化面积呈先增加后减少的变化趋势,即1988—2002年呈增加趋势,2002—2015年呈逐渐减少趋势,石漠化程度得到控制。其中,1988时相,广西的喀斯特地区中部石漠化比较严重;2002时相,中部石漠化得到改善,西部加重;2007时相,西部石漠化得到改善,中东部加重;2015时相,全区石漠化得到全面的改善,呈现重度转中度、中度转轻度、轻度转潜在石漠化的良好态势。【结论】植被覆盖是衡量石漠化程度的有效标志, TM和HJ数据可较好的监测大范围石漠化时空演变。

演变。

关键词:石漠化 多源遥感数据 广西喀斯特地区 时空演变

中图分类号: P467 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9164(2018)05-0625-07

Abstract:【Objective】The spatial and temporal evolution characteristics of rocky desertification in the karst area of Guangxi were carried out, which provided a scientific reference for the ecological restoration, reconstruction and comprehensive management of rocky desertification in

收稿日期:2018-09-21

作者简介:陈燕丽(1982—),女,高级工程师,主要从事生态气象与遥感应用研究。

* 中国气象局气候变化专项(CCSF201308),干旱气象科学基金项目(IAM201707),国家自然科学基金项目(41661021),国家重点研发项目(2016YFC0502401),北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室(广西师范学院)和广西地表过程与智能模拟重点实验室(广西师范学院)开放或系统基金项目(GTEU-KLOP-K1703)资助。

** 通信作者:莫伟华(1968—),女,高级工程师,主要从事生态气象应用研究,E-mail:mwh-0419@163.com.

Guangxi. **【Methods】** Based on the remote sensing data of the United States Thematic Mapper (TM) and the domestic environmental disaster reduction satellite HJ, combined with the field survey sampling data, based on the analysis of the remote sensing spectral characteristics of rocky desertification, the vegetation coverage status was used as the evaluation index of rocky desertification, and the box classification method was adopted for level mapping of rocky desertification in 1988, 2002, 2007, 2015 and their temporal and spatial evolution. **【Results】** In 2002, the area of rocky desertification was the largest in Guangxi, the second in 1988, and the smallest in 2007. In the past 30 years, the area of rocky desertification in Guangxi increased first and then decreased. That was, it showed an increasing trend from 1988 to 2002 and a decreasing trend from 2002 to 2015, and the degree of rocky desertification was controlled. Among them, in 1988, the rocky desertification in the central part of Guangxi was more serious; in 2002, the central rocky desertification was improved, and the western part was aggravated; in 2007, the western rock desertification was improved, the central and eastern parts were aggravated; the rocky desertification in the whole region had been comprehensively improved, showing a good trend of heavy to moderate, moderate to mild, and mild to potential rocky desertification. **【Conclusion】** Vegetation cover is an effective indicator to measure the degree of rocky desertification. TM and HJ data can better monitor the spatiotemporal evolution of large-scale rocky desertification.

Key words: rocky desertification, multi-source remote sensing data, Guangxi karst area, spatial and temporal distribution

0 引言

【研究意义】石漠化是指在特定的自然环境背景下,受人为活动干扰,地表植被遭到破坏,土壤侵蚀程度严重及基岩大面积裸露的一种土地退化的表现形式^[1],这些地区承灾能力低,是生态安全的重大隐患,已经引起社会各界的高度关注^[2]。广西地处我国南疆,岩溶地貌分布广泛、石漠化现象突出,自然灾害严重^[3],严重制约了当地经济社会发展,属于全国贫困落后地区。近年来,国家和地方政府明显加大了扶持该地区经济社会发展的力度,石漠化空间分布及时空演变特征分析可为石漠化治理提供指导。**【前人研究进展】**相关学者针对广西石漠化时空变化特征开展了相关研究,选用的数据源主要有美国 Thematic Mapper (TM)和中分辨率成像光谱仪 Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)及地图,采用的分类模型主要有石漠化指数、植被指数、植被覆盖度、基岩裸露度、光谱剖面分析以及多个指标综合^[4],石漠化分级方法包括监督分类^[5]、BP神经网络^[6]、非监督分类、最大似然法、面向对象^[7]、地图数字化^[8]、决策树分类^[9]等。分析的范围主要包括县和广西全区两个尺度,其中针对平果县^[10-11]、大化县^[11]、忻城县^[12]的石漠化空间分布已有专门报道。针对广西全区,胡宝清等^[13]和周欣等^[5]分别采用不

同数据方法分析了广西石漠化空间分布状况,韩昭庆等^[8]、党宇宁^[14]、苏成杰^[9]和赵丽苹^[15]利用多个时相遥感数据分析了广西石漠化时空演变。**【本研究切入点】**目前所见的最新的广西全区石漠化空间分布状况时相更新至2013年,且现有的广西石漠化时空演变研究中多采用单一遥感数据源进行分析,尚未见利用国产环境减灾卫星 HJ 遥感数据在该领域的应用报道。**【拟解决的关键问题】**本研究利用 TM 和 HJ 卫星遥感数据,分析 1988—2015 年近 30 年广西石漠化时空演变状况,拟为广西开展石漠化生态恢复重建和综合治理提供科学参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

遥感数据:选用美国陆地资源卫星 Landsat-5 和 Landsat-7 的 TM、Enhanced Thematic Mapper (ETM) 遥感影像(1988 时相、2002 时相、2007 时相),中国环境减灾卫星 HJ-1 遥感影像(2015 时相),数据的空间分辨率均为 30 m,所有卫星影像数据都经过投影、镶嵌、几何精校正等预处理,其几何校正误差控制在 1 个像元以内。

实地观测采样数据:在东兰、巴马、凤山等多个典型石漠化区选取强度不同的观测样区,分别于 2007 年 4 月、6 月、9 月,2008 年 1 月和 2011 年 7 月、2013

年9月赴训练区进行实地考察和观测,观测要素有植被总盖度、植被类型分盖度、植株类型的平均高度等。观测数据主要用于建立石漠化遥感解译标志和遥感解译精度验证。

地理信息数据:广西碳酸盐分布区矢量图、县行政边界以及数字高程(DEM)数据等地理信息数据均来自广西壮族自治区气象减灾研究所遥感基础数据库。

1.2 方法

1.2.1 石漠化遥感影像及光谱特征

光谱特征是石漠化信息遥感分类的基础。根据实地调查,确定了不同石漠化强度样区(表1),在遥感影像上,喀斯特地貌区呈现桔皮纹状、花生壳纹状等影像特征。无石漠化区为比较饱和的绿色,色调均匀,多分布于河谷谷底(图1 A)或地形比较平缓的岩溶缓丘地带;潜在石漠化区基本为绿色调,略含红紫色斑点(图1 B),地形起伏较无石漠化大;轻度石漠化为绿色中带红紫色斑点或浅色斑块,这些斑点或斑块多为陡坡耕地或裸岩(图1 C);中度石漠化多为斑杂状影像,绿色斑块与洋红色斑块相互混杂,地形相对破碎(图1 D);重度石漠化总体呈红紫色,其中零星有绿色斑点(图1 E),地形破碎,地形坡度较大。

表1 石漠化等级划分标准

石漠化等级 Rocky desertification level	植被覆盖率 Vegetation coverage (%)	岩石裸露率 Rock coverage (%)
潜在 Potential	>70	<30
轻度 Mild	35~70	30~65
中度 Middle	20~35	65~80
重度 Severe	<20	>80

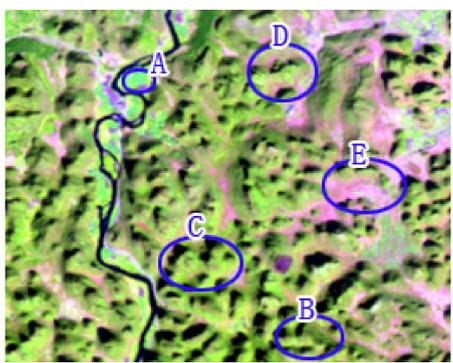


图1 不同等级石漠化遥感影像特征示意图

Fig. 1 Schematic diagram of remote sensing images of different grades of rocky desertification

在遥感影像中,选取喀斯特地貌区的典型地物(林地、耕地、裸岩、阴影和水体),分析各类地物的光谱特征得知,裸岩与其他地物的差异在TM影像中

主要体现在4,5波段,在HJ影像中主要体现在3,4波段(图2)。

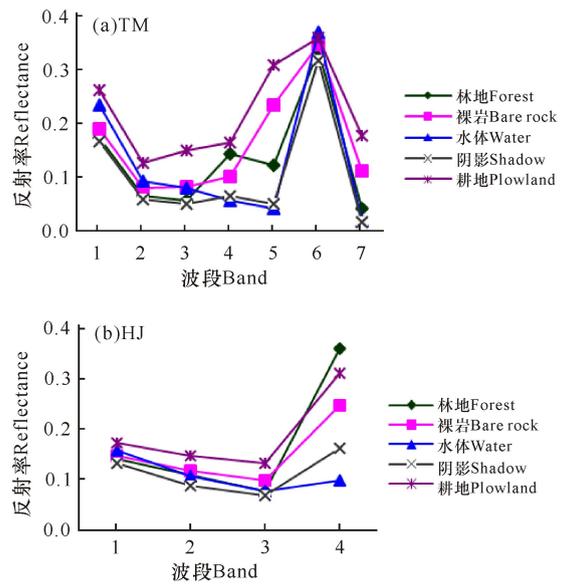


图2 石漠化区遥感影像光谱特征

Fig. 2 Spectral characteristics of remote sensing images in rocky desertification area

1.2.2 石漠化遥感解译模型

根据裸岩在HJ及TM遥感影像上的光谱特征差异,植被覆盖状况可以作为石漠化等级判识的有效指标。针对HJ数据,由于其红光波段(波段3)、近红外波段(波段4)植被指数差异较大,选用归一化植被指数NDVI,对于TM数据,其近红外波段(波段4)、中红外波段(波段5)反射率差异较大,选用归一化水分指数NWDI,表达式如下:

$$NDVI_{HJ} = (R_{NIR} - R_R) / (R_{NIR} + R_R), \quad (1)$$

$$NDWI_{TM} = (R_{MIR} - R_{NIR}) / (R_{MIR} + R_{NIR}), \quad (2)$$

式中,对于HJ遥感影像, R_{NIR} 为近红外波段的反射率值, R_R 为可见光红波段的反射率值;对于TM遥感影像, R_{MIR} 为中红外波段的反射率值, R_R 为近红外波段的反射率值。

根据像元线性分解模型,每个像元的NDVI值可以表达为植被覆盖与无植被覆盖两部分贡献的信息组合,通过变换可获得利用NDVI计算植被覆盖度的公式,表达式如下:

$$f_g = (NDVI - NDVI_o) / (NDVI_g - NDVI_o), \quad (3)$$

式中, $NDVI_o$ 为裸土或无植被覆盖区域NDVI值,即无植被像元NDVI值; $NDVI_g$ 代表完全被植被所覆盖的像元NDVI值,即纯植被像元NDVI值。

当最大植被覆盖度 f_{gmax} 可以近似取100%且最小植被覆盖度 f_{gmin} 可以近似取0时,可得 $NDVI_g = NDVI_{max}$ 和 $NDVI_o = NDVI_{min}$;当 f_{gmax} 与 f_{gmin} 不能

近似取 100% 和 0 时,需要有一定量的实测数据,那么只需要取一组实测数据中的植被覆盖的最大值与最小值,并在图像中找到这两个实测数据所对应像元的 NDVI 值。因此,计算植被覆盖度的公式(4)变为

$$f_g = (\text{NDVI} - \text{NDVI}_{\min}) / (\text{NDVI}_{\max} - \text{NDVI}_{\min}) \quad (4)$$

本研究中 NDVI_{\max} 与 NDVI_{\min} 取值通过选取训练样区的方法获得。针对 TM 数据,覆盖度计算时采用 NDWI 代替 NDVI。

1.2.3 石漠化框式制图

本研究设计了框式分类程序,设定一定大小的扫描框(如 4×4 , 6×6 , 8×8 等),根据假彩色合成图和地面实地调查结果,在石漠化指数图像上利用人机交互法确定石漠化像元的取值范围,即无石漠化、轻度石漠化、中度石漠化和重度石漠化的像元区间值,计算扫描框内各等级像元所占权重,以占权重最大的石漠化等级对扫描框内像元赋值。

分类程序原理描述如下: m 为石漠化等级类别,当 m 取值为 1,2,3,4,分别对应石漠化等级:潜在、轻度、中度和重度, Q_k 为扫描框 ($k = 1, 2, \dots, n$), $P_m(X_{ij})$ 为扫描框内某一石漠化等级像元占总判定像元的百分比, M_k 为扫描框内占百分比数最高的石漠化等级:

$$M_k = \max (P_m (X_{ij})), \quad (5)$$

以公式(5)为判定条件,把扫描框 Q_k 内的判定像元归入第 m 类,即

$$\text{CLASS} (Q_k) = m. \quad (6)$$

根据制图比例尺精度要求确定扫描框大小。比较 4×4 , 6×6 和 8×8 这 3 种扫描框分类效果(图 3),石漠化等级潜在、轻度、中度和重度分别用绿色、黄色、橘色、紫红色表示,对照假彩色合成图,经比较以 6×6 个像元(实地面积为 180 m^2)扫描框分类效果最好。

利用广西碳酸盐分布区矢量图裁剪得到该地区遥感影像,结合数字高程模型(DEM)推算的坡度,去除坡度小于 25° 的平原区,利用石漠化遥感解译模型,根据石漠化框式制图方法、采用 6×6 模板对遥感影像进行潜在、轻度、中度和重度 4 个等级石漠化等级分类。

2 结果与分析

2.1 石漠化空间分布状况

广西石漠化分为潜在、轻度、中度、重度 4 个等级,潜在石漠化在广西碳酸盐岩地区普遍存在。在广西 14 个地市中,有 11 个地市均存在不同程度的石漠

化,以轻度、中度石漠化为主,重度石漠化相对较少。广西石漠化主要分布于桂西北、桂西南、桂中和桂北,其他地区有少量分布。

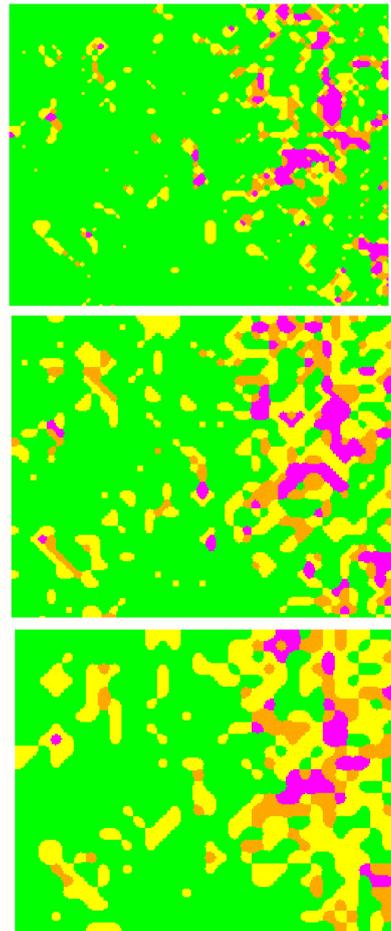


图 3 4×4 (上)、 6×6 (中)和 8×8 (下)石漠化等级分类结果
Fig. 3 Classification results of 4×4 (up), 6×6 (middle) and 8×8 (down) rocky desertification grades

1988 时相,广西石漠化总面积为 $26\,837.4 \text{ km}^2$,其中,轻度石漠化面积为 $9\,359.4 \text{ km}^2$,占石漠化总面积的 34.87%,主要分布于河池、百色、崇左,而贺州、贵港、玉林、梧州面积较少;中度石漠化面积为 $11\,187.2 \text{ km}^2$,占石漠化总面积的 41.69%,主要分布于河池、百色、崇左;重度石漠化面积为 $6\,290.8 \text{ km}^2$,占石漠化总面积的 23.44%,主要分布于百色、河池(表 2,图 4)。

2002 时相,广西石漠化总面积为 $28\,026.4 \text{ km}^2$,其中,轻度石漠化面积为 $11\,224.9 \text{ km}^2$,占石漠化总面积的 40.05%,主要分布于河池、百色、崇左;中度石漠化面积为 $9\,201.1 \text{ km}^2$,占石漠化总面积的 32.83%,主要分布于河池、百色;重度石漠化面积为 $7\,600.4 \text{ km}^2$,占石漠化总面积的 27.12%,主要分布于百色、河池(表 2,图 5)。

2007 时相,广西石漠化总面积为 $26\,745.3 \text{ km}^2$,

其中,轻度石漠化面积为 9 738.3 km²,占石漠化总面积的 36.41%,主要分布于河池、百色、崇左;中度石漠化面积为 10 250.6 km²,占石漠化总面积的 38.33%,主要分布于河池、百色和来宾;重度石漠化面积为 6 756.3 km²,占石漠化总面积的 25.26%,主要分布于河池、桂林和来宾(表 2,图 6)。

其中,轻度石漠化面积为 8 893.7 km²,占石漠化总面积的 35.88%,主要分布于河池、百色、崇左;中度石漠化面积为 10 892.9 km²,占石漠化总面积的 43.94%,主要分布于河池、百色和崇左;重度石漠化面积为 5 003.5 km²,占石漠化总面积的 20.18%,主要分布于桂林、河池和来宾等地(表 2,图 7)。

2015 时相,广西石漠化总面积为 24 790.1 km²,

表 2 广西石漠化面积统计表

Table 2 Statistics on the area of rocky desertification in Guangxi

时相 Time phase	石漠化面积 Area of rocky desertification (km ²)			
	轻度 Mild	中度 Middle	重度 Severe	合计 Total
1988(TM)	9 359.4	11 187.2	6 290.8	26 837.4
2002(TM)	11 224.9	9 201.1	7 600.4	28 026.4
2007(TM)	9 738.3	10 250.6	6 756.3	26 745.3
2015(HJ)	8 893.7	10 892.9	5 003.5	24 790.1

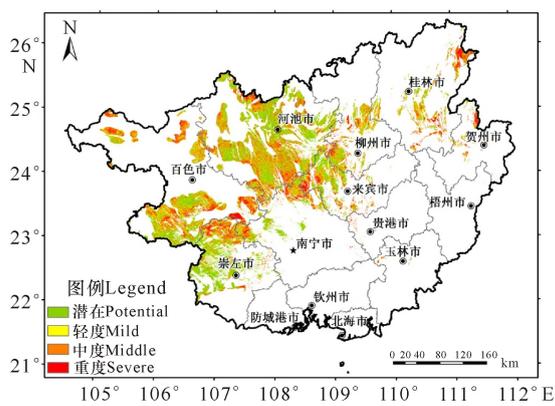


图 4 1988 时相石漠化等级分类结果

Fig. 4 1988 rocky desertification classification results

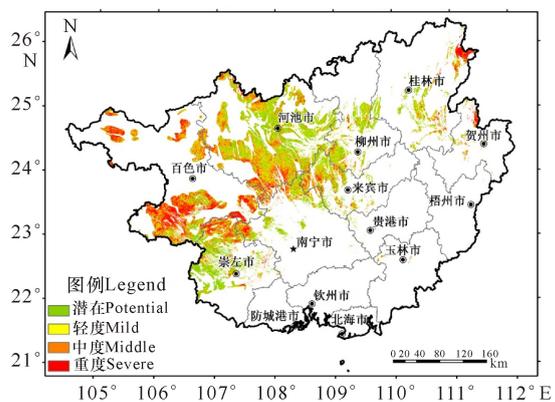


图 5 2002 时相石漠化等级分类结果

Fig. 5 2002 rocky desertification classification results

2.2 石漠化时空演变

根据 4 个时相遥感解译调查结果,广西近 30 年来石漠化面积呈先增加后减少的变化趋势,即 1988—2002 年呈增加趋势,2002—2015 年呈逐渐减少趋势,石漠化程度得到控制。

1988—2002 年,广西石漠化总面积增加了
广西科学 2018 年 10 月 第 25 卷第 5 期

1 189.1 km²,增幅为 4.4%。其中,轻度石漠化面积增加了 1 865.5 km²,除百色外,其他各地市均有不同程度增加,增加面积最大的是河池。中度石漠化面积减少了 1 986.0 km²,除梧州、玉林外,其他地市均有不同程度减少,减少面积较大的有河池、桂林、柳州。重度石漠化面积增加了 1 309.6 km²,有 8 个地市减少,有 3 个地市面积增加,增加面积最大的是百色。

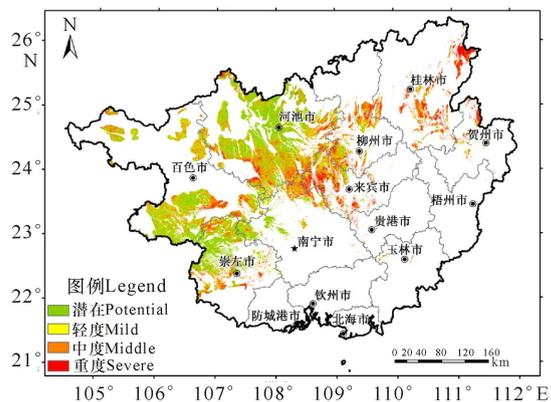


图 6 2007 时相石漠化等级分类结果

Fig. 6 2007 rocky desertification classification results

2002—2007 年,广西石漠化总面积减少了 1 281.1 km²,减少幅度为 4.6%。其中,轻度石漠化面积减少了 1 486.6 km²,除百色、崇左、梧州外,其他各地市均有不同程度减少,减少面积最大的是河池。中度石漠化面积增加了 1 049.5 km²,除百色、河池、梧州和玉林外,其他地市均有不同程度增加,增加面积最大的是柳州。重度石漠化面积减少了 844.1 km²,主要减少的地市有百色、河池、崇左和南宁,其他地市为增加,增加面积最大的是桂林。

2007—2015 年,广西石漠化总面积减少了

1 955.3 km²,减少幅度为 7.3%。其中,轻度石漠化面积减少了 844.7 km²,减少面积最大的是百色市、河池市。中度石漠化面积增加了 642.3 km²,除来宾、柳州、桂林和梧州市外,其他地市均有不同程度增加,增加面积最大的是来宾市。重度石漠化面积减少了 1 752.9 km²,主要减少的地市有百色、来宾、柳州和崇左市,增加面积最大的是百色市。

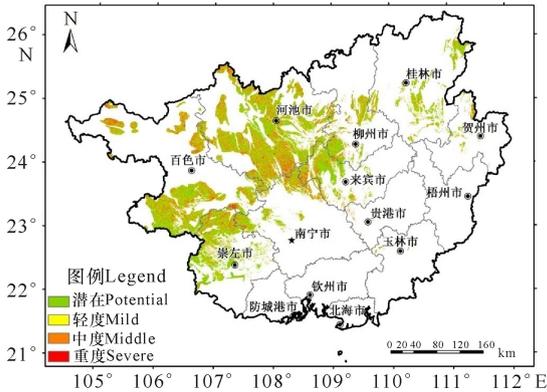


图 7 2015 时相石漠化等级分类结果

Fig. 7 2015 rocky desertification classification results

3 讨论

本研究设计的框式分类方法,是以一定扫描框大小内占比最大的石漠化等级对扫描框内所有像元进行统一赋值,其优点在于可以去除孤立像元,但也会模糊掉石漠化不连片区域中的某些等级,对精度有一定影响。在县级或更小范围的石漠化等级制图时,需要调整扫描框大小以满足精度需求。本研究中采用了 TM 和 HJ 两种遥感数据,所建立的石漠化指数模型也依据不同遥感影像的光谱特征差异, TM 的优点是对不同地物光谱差异响应敏感,但同时也更难聚类,而 HJ 刚好相反。进一步研究中可深入比较两种遥感数据的差异性,对指标进行调整。

1988—2015 年,广西石漠化呈现先增加后减少的趋势,说明石漠化区在实施退耕还林、生态恢复重建过程中,有些地区成效显著,但也有部分地区效果不好,甚至出现局部石漠化加重趋势。由于数据资料有限,本研究采用的时相数据间隔年份并不均匀。由分析结论可知 2002—2007 年石漠化空间分布也发生了较大变化,因此,如果需要更详细地了解石漠化时空演变状况,应进行 5 年为周期的规律制图。

4 结论

2002 时相广西石漠化面积最大,1988 时相次之,2015 时相最小。近 30 年来,广西石漠化面积呈先增加后减少的变化趋势,即 1988—2002 年呈增加趋势,

2002—2015 年呈逐渐减少趋势,石漠化程度得到控制。其中,1988 时相,广西的喀斯特地区中部石漠化比较严重;2002 时相,中部石漠化得到改善,西部加重;2007 时相,西部石漠化得到改善,中东部加重;2015 时相,全区石漠化得到全面的改善,呈现重度转中度、中度转轻度、轻度转潜在石漠化的良好态势。

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]. Prataculturae Sinica, 2008, 25(9): 19-25.

[2] 李阳兵, 王世杰, 谭秋, 等. 喀斯特石漠化的研究现状与存在的问题[J]. 地球与环境, 2006, 34(3): 9-14.
LI Y B, WANG S J, TAN Q, et al. Research development and problems of karst rocky desertification[J]. Earth and Environment[J]. 2006, 34(3): 9-14.

[3] 黄雪松, 陆虹, 廖雪萍, 等. 广西典型石漠化区旱涝灾害分布特征及防御对策[J]. 气象研究与应用, 2015, 36(2): 59-61.
HUANG X S, LU H, LIAO X P, et al. The distribution characteristics and defense strategies of droughts and floods of typical stony desertification area in Guangxi[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2015, 36(2): 59-61.

[4] 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.
YANG Q Q, LI S Q, CAI L, et al. Progress of research on extracting methods of rock desertification from RS images[J]. Northern Environment, 2011, 23(12): 95-98.

[5] 周欣, 吴虹, 党宇宁. 基于 EOS-MODIS 的广西全境石漠化信息提取方法研究[J]. 化工矿产地质, 2008, 30(4): 219-222, 233.
ZHOU X, WU H, DANG Y N. The information extraction method of Guangxi rocky desertification based on the EOS-MODIS[J]. Geology of Chemical Minerals, 2008, 30(4): 219-222, 233.

[6] 麦格, 童新华. 基于 BP 神经网络的石漠化遥感影像分类方法的探讨[J]. 广西师范学院学报: 自然科学版, 2013, 30(1): 70-77.
MAI G, TONG X H. Study of BP neural network in rocky desertification remote sensing image classification method[J]. Journal of Guangxi Teachers Education University: Natural Science Edition, 2013, 30(1): 70-77.

[7] 刘海龙. 面向对象的石漠化遥感监测及过程模拟研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2015.
LIU H L. Object oriented remote sensing monitoring

- and process simulation of rocky desertification[D]. Kunming, Kunming University of Science and Technology, 2015.
- [8] 韩昭庆,冉有华,刘俊秀,等. 1930s-2000年广西地区石漠化分布的变迁[J]. 地理学报, 2016, 71(3): 390-399.
HAN Z Q, RAN Y H, LIU J X, et al. The changing distribution of rocky desertification in the Guangxi Region, 1930s to 2000 [J]. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(3): 390-399.
- [9] 苏成杰. 基于RS的喀斯特石漠化驱动因素研究——以广西区为例[D]. 桂林: 桂林理工大学, 2015.
SU C J. Analysis on driving factors of karst rocky desertification using remote sensing: A case study of Guangxi Province [D]. Guilin: Guilin university of technology, 2015.
- [10] 王君华,莫伟华,陈燕丽,等. 基于3S技术的广西平果县石漠化分布特征及演变规律[J]. 中国水土保持科学, 2014, 12(3): 66-70.
WANG J H, MO W H, CHEN Y L, et al. Distribution characteristics and evolution of rocky and desertified land in Pingguo County of Guangxi based on "3S" techniques [J]. Science of Soil and Water Conservation, 2014, 12(3): 66-70.
- [11] 杨传明. 广西岩溶石漠化变化规律及强弱程度遥感分析[J]. 国土资源遥感, 2003, 56(2): 34-36, 63.
YANG C M. A discussion on the remote sensing analysis of karst stone desertization in Guangxi [J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2003, 56(2): 34-36, 63.
- [12] 赵鹏,陈天伟,赵艳,等. 基于光谱剖面分析的监督分类方法在岩溶石漠化调查中的应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2010, 33(4): 133-135, 139.
ZHAO P, CHEN T W, ZHAO Y, et al. The application of supervised classification method in karst rocky desertification investigation based on spectral profile analysis [J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2010, 33(4): 133-135, 139.
- [13] 胡宝清,蒋树芳,廖赤眉,等. 基于3S技术的广西喀斯特石漠化驱动机制图谱分析——以广西壮族自洽区为例[J]. 山地学报, 2006, 24(2): 234-241.
HU B Q, JIANG S F, LIAO C M, et al. TUPU analysis on driving mechanism of Guangxi karst rocky desertification based on 3S techniques [J]. Journal of Mountain Science, 2006, 24(2): 234-241.
- [14] 党宇宁. 基于EOS-MODIS的广西喀斯特石漠化调查与研究[D]. 桂林: 桂林工学院, 2008.
DANG Y N. Investigation and research on rocky desertification in karst, Guangxi based on EOS-MODIS [D]. Guilin: Guilin University of Technology, 2008.
- [15] 赵丽苹. 基于MODIS数据的喀斯特地区石漠化时空演变特征研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2015.
ZHAO L P. Study on developmental characteristics of the Karst rocky desertification based on MODIS [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2015.

(责任编辑: 陆 雁)