

面向对象的喀斯特地区石漠化遥感信息提取研究 ——以贵州省大方地区为例

周迪¹, 倪忠云^{2,3,4}, 杨振宇¹

(1. 首都师范大学地球空间信息科学与技术国际化示范学院, 北京 100048;

2. 首都师范大学资源环境与旅游学院, 北京 100048;

3. 成都理工大学旅游与城乡规划学院, 四川 成都 610059;

4. 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 四川 成都 610059)

摘要: 针对现有基于像素的监督和非监督分类方法在地质环境复杂、地形起伏较大、阴影明显的喀斯特石漠化地区难以满足石漠化信息提取精度要求的问题, 采用基于纹理特征数据和地形数据辅助面向对象方法进行喀斯特地区石漠化信息的提取。该方法首先依据石漠化分布在TM/ETM+影像面积大小不均匀的特征, 利用纹理和地形因子计算最优分割参数进行多尺度分割; 然后根据植被覆盖率、岩石裸露率以及坡度因子构建石漠化分级指标; 最后参照石漠化分级标准、光谱信息以及纹理特征等建立的分类规则提取喀斯特地区石漠化信息。选取贵州省石漠化严重的大方县时序TM/ETM+影像进行石漠化信息提取试验, 结果表明: 与基于像素的监督分类和非监督分类方法相比, 基于面向对象的分类可以有效地减少因复杂地形导致石漠化信息提取结果“椒盐化”现象, 提取精度明显优于基于像素的监督分类和非监督分类方法。

关键词: 喀斯特石漠化; 面向对象分类; 监督分类; 非监督分类; 信息提取; 大方地区

中图分类号: TP79; P391.5

文献标识码: A

OBJECT-ORIENTED REMOTE SENSING INFORMATION EXTRACTION METHOD FOR ROCKY DESERTIFICATION IN KARST AREA—A CASE STUDY OF DAFANG COUNTY, GUIZHOU

ZHOU Di¹, NI Zhongyun^{2,3,4}, YANG Zhenyu¹

(1. College of Geospatial information Science and Technology, Capital Normal University, Beijing 100048, China;

2. College of Resource Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100048, China;

3. College of Tourism and Urban-Rural Planning, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China;

4. State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

Abstract: The existing pixel-based supervised and unsupervised classification methods can't meet the requirements of rocky desertification information extraction accuracy in karst rocky desertification area under the circumstances of complicated geological environment, large topographic relief and obvious shadows. In order to improve the accuracy of remote sensing image information extraction, texture feature data and topographic data are used to assist the object oriented method in the rocky desertification information extraction in karst rocky desertification area. Firstly, based on the characteristics of rocky

基金项目: 四川省教育厅项目 (16ZA0080); 2016 年成都理工大学校级教学改革及课程建设项目 (11100-16x056919)

作者简介: 周迪 (1994-), 女, 在读硕士, 研究方向: InSAR 技术监测地面沉降。E-mail: zhoudi_cnu@163.com

通讯作者: 倪忠云 (1982-), 女, 博士, 讲师, 从事生态环境遥感和遥感地质等研究。E-mail: theoneyun@gmail.com

收稿日期: 2017-09-29; **修回日期:** 2018-02-16

吴芳编辑

desertification with uneven image sizes in TM/ETM +, the optimal segmentation parameters are calculated using texture and terrain factors to conduct multi-scale segmentation. Secondly, the grading indexes of rocky desertification are established based on vegetation coverage rates, rock exposure rates and slope factors. Finally, according to the grading rules of rocky desertification, spectral information and texture features, the information of rocky desertification in Karst area is extracted. The temporal TM/ETM + images of rocky desertification areas in DaFang, Guizhou, are selected for rocky desertification information extraction. The results show that comparing with pixel-based supervised classification and unsupervised classification methods, the object-oriented classification technology can effectively reduce the “salt and pepper phenomenon” caused by complicated topography, and the extraction accuracy is much better.

Key words: karst rocky desertification; object-oriented classification; supervised classification; unsupervised classification; information extraction; Dafang County

0 引言

贵州省大方地区石漠化分布面积广, 类型多样, 在人类活动的影响下, 石漠化的程度加剧, 已威胁到该区域的生态安全, 成为当地自然灾害频发和贫困落后的主要原因之一^[1]。因此, 喀斯特地区石漠化信息的快速和精确提取, 对于石漠化的治理、生态环境恢复以及经济发展都具有重要意义。

由于遥感技术具有高时效性, 监测范围广, 成本低等特点, 近年来已逐渐成为石漠化信息提取的主要手段。目前, 国内外学者提取喀斯特地区石漠化遥感信息的方法主要包括两大类, 一类是基于像素的监督和非监督分类; 另一类是面向对象分类。随后, 学者们在基于像素的监督分类法基础上发展了人机交互解译法^[2-3]、光谱分析法^[4-6]、比值增强法(包括各类植被指数)^[7-9]、综合分析法^[10-12]等一系列监督分类方法^[13-14]; 以及基于遥感影像时间序列的非监督分类方法^[15-16]。基于像素的监督分类和非监督分类方法已具备了喀斯特地区石漠化信息提取的适用性, 但由于大方地区地质背景复杂、地形高差大、地物斑块零星破碎等因素影响, 分类精度难以满足石漠化防治和生态监测的精度需求。

相较于基于像素的监督分类与非监督分类方法, 面向对象分类方法在喀斯特地区的石漠化信息提取过程中融合了多种空间信息, 同时减少了像元间光谱异质性, 大大提高了分类精度。国内采用面向对象的分类方法研究较晚, 比如森林植

被专题信息获取^[17-19]、城市专题信息获取^[20-21]、土地利用类型识别^[22-23]、自然灾害评价^[24]以及生态监测^[25]。对于石漠化信息提取, 刘海龙^[26]等采用 ENVI 中 Feature Extraction 模块对广南县 2002 年和 2008 年的 LandsatTM/ETM + 影像进行喀斯特石漠化信息提取, 获得广南县岩溶石漠化分级分布图。余宇晨^[27]等基于 GF-2 影像的石漠化光谱特征, 利用 ENVI IDL 语言, 通过编程完成了观山湖地区石漠化信息自动提取的模块化操作。但这种模块化的操作是建立在样本质量较好的基础上完成的, 并且分类规则较单一。而大方县石漠化分布极不均匀, 具有不同尺度的斑块效应, 采用单一尺度的分类规则不能满足石漠化信息提取的精度需求, 因此需考虑多尺度分割的分类规则。

鉴于此, 在之前学者的研究基础上, 针对石漠化区域的地质背景复杂的情况, 采用基于纹理特征数据和地形辅助的面向对象分类方法, 通过纹理和地形因子计算最优分割参数对遥感影像进行多尺度分割; 然后依据不同石漠化程度在植被覆盖度、纹理、亮度等方面的差异建立分类规则, 快速地提取石漠化信息, 避免石漠化信息提取中只依靠光谱特征带来的限制, 减少基于像素的监督分类和非监督分类产生的“椒盐现象”, 分类精度明显提高。同时结合多时相遥感监测结果, 较好地反映出大方地区石漠化分布范围的变化情况, 为石漠化整治决策的制定以及环境综合治理提供科学依据。

1 研究区概况

研究区主要位于贵州省毕节地区大方县(见

图1),总面积为2746 km²。大方县位于低纬度高海拔地区,属亚热带湿润季风气候,年平均气温11.8℃,年平均降雨量1155 mm,降水多集中在4~9月。山脉多呈东北西南走向,地势西南高东北低。研究区碳酸盐岩分布广泛,岩溶地形较为发育,地表的松散土层以及碎屑物质的堆积较少,露头较好;砂、泥岩分布,常形成构造侵蚀地形。石漠化发育地区,主要位于乌蒙山脉南麓的黔西高原向黔中山原丘陵过渡的斜坡地带,属中山地貌类型。根据地貌的成因,研究区地貌可分成岩溶、溶蚀—侵蚀、侵蚀—构造三种类型。区内山坡陡峻,海拔起伏大,地面相对破碎,坡度为10~30°,地表植被保持水土能力差,如遇降雨,地表水对坡面的冲刷能力加强,为水土流失提供了水动力条件。坡面土壤遭冲刷而向下运移,导致碳酸盐岩暴露地表,形成石漠化并呈大面积连片状分布,且相对集中。区内特有的岩溶地貌特征,为石漠化的发生、发展提供了内在因素和物质基础。后期,又由于人为的因素,加剧了石漠化范围的扩大,从而导致水土流失、土地退化等环境问题。

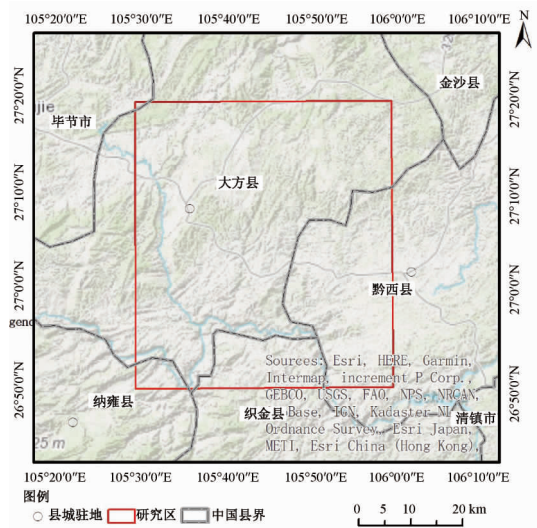


图 1 研究区位置图

Fig. 1 Location map of the study area

2 研究方法与数据来源

2.1 原理与技术流程

面向对象分类方法主要包括四个部分：遥感影像的分割、定义类层次结构、建立分类规则以及信息提取，具体通过多尺度技术分割划分成大

小不同的对象,提取出符合实际目标的地物信息。技术流程见图2,首先基于纹理特征与地形数据进行影像多尺度分割,再利用对象的空间特征和光谱特征等定义类层次结构,并在隶属度函数分类的过程中结合 NDVI、地形数据、纹理特征数据等多源信息,对提取出的石漠化信息进行精度评价。

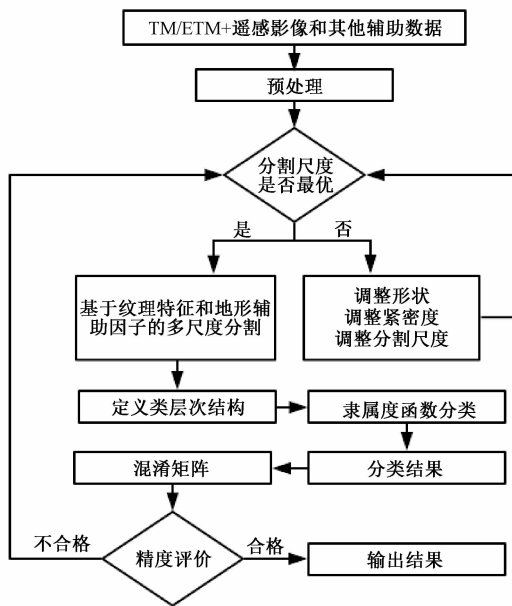


图2 石漠化遥感影像信息提取流程图

Fig. 2 Flow chart of rocky desertification remote sensing image information extraction

2.2 数据来源及其预处理

鉴于中等分辨率的 Landsat 影像选择的分割尺度可以得到较高精度的分类结果, 而高分数据由于发射时间的原因, 不利于开展时序方面的研究且不能将建立在 Landsat 影像的分类规则直接应用于高分数据, 会产生分类精度误差。因此, 采用美国地质调查局网站提供的免费、易获取、覆盖范围广的三景 LandsatTM/ETM+ 影像, 时间分别为 1988-9-15、2002-8-29 和 2016-9-21, 分辨率为 30 m, 轨道号为 128/41, 影像的预处理主要包括辐射校正、几何校正、影像裁剪和坐标转换等。此外, 由于岩溶石漠化的分布与碳酸盐岩的分布密切相关, 为了更好的区分喀斯特地区和非喀斯特地区, 根据 1:5 万地质图, 先做非喀斯特地区分割处理, 然后在喀斯特地区进行分类方法和精度的比较。

2.3 纹理特征与地形数据提取

在确定影像最优分割尺度之前,需要提取影像的纹理特征和地形数据,两者作为辅助因子参

与多尺度分割。首先根据灰度共生矩阵原理^[28]，对研究区第一主成分影像进行纹理特征分析，能够得到纹理特征影像，这些纹理特征各有特点，如果都参与分割或分类会产生数据冗余；依据香

农信息熵原理^[29]，计算所得指标的信息熵，选择在遥感影像中地物纹理信息的差异较为显著且信息熵较大的4个特征作为研究区纹理特征数据，即对比度、同质度、二阶矩、熵（见图3）。

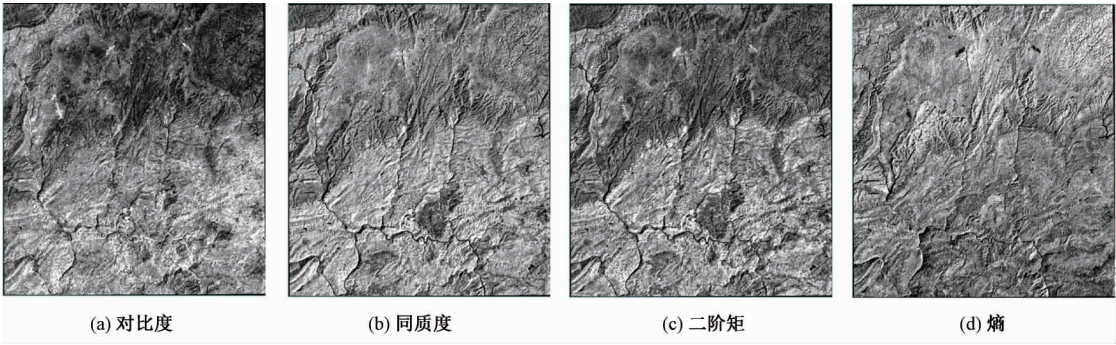


图 3 纹理特征数据
Fig. 3 Texture feature data

然后运用 ENVI 软件平台 Transform 菜单下的 NDVI 工具完成对 NDVI 的提取。且高程、坡度、坡向、地形起伏度等是常见的地形因子。因此，采用

地理空间数据云网站提供的空间分辨率为30 m 的 DEM 数据，运用 Arcgis 软件平台提取坡度、高程作为重要辅助因子参与多尺度影像分割（见图4）。

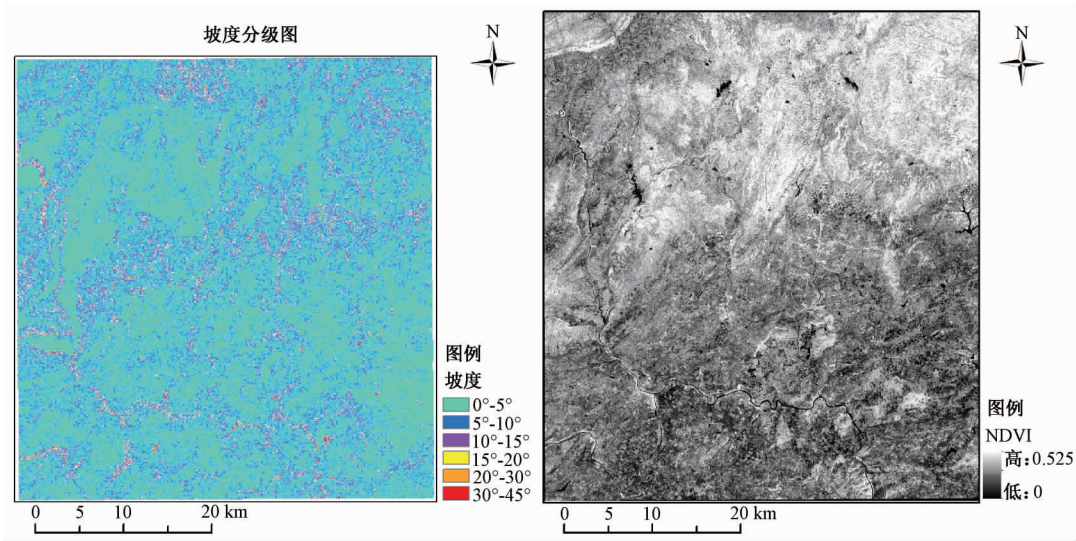


图 4 坡度和 NDVI 信息提取结果
Fig. 4 Results of gradient and NDVI information extraction

3 石漠化遥感影像信息提取

3.1 最优分割尺度的确定

为获取分割的最佳尺度，起始分割阈值设为5，并以5为单位依次递增进行分割，当分割阈值增加到105时，会出现较严重的“过分割”现象，因此不再提高分割尺度。通过计算各个分割阈值所得多边形面积的均值方差，可得到均值方差曲

线图（见图5），不同地物类别的最佳分割尺度就是每个峰值对应的分割尺度。结果表明，该曲线一共有3处峰值（方差曲线极大值），与峰值相对应的分割阈值即为三个层次的最优分割尺度，分别为20、50和100。

3.2 遥感影像多尺度分割

首先将得到的纹理特征数据和地形数据参与多尺度分割。分割过程中，分割阈值设置为60保持不变，分别在纹理特征数据和地形数据参与和

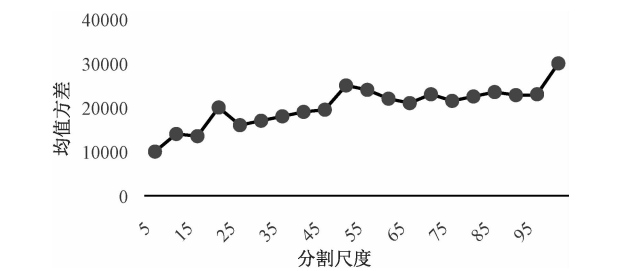
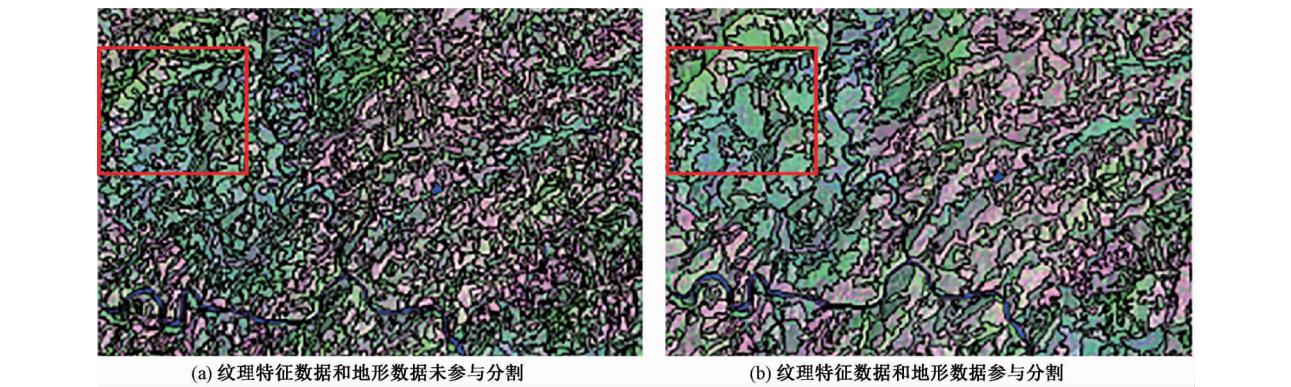


图 5 均值方差曲线
Fig. 5 Mean variance curve



a—纹理特征数据和地形数据未参与分割；b—纹理特征数据和地形数据参与分割

图 6 分割结果对比图
Fig. 6 Comparison charts of segmentation results

参与分割得到的结果比仅基于像元信息进行分割得到的结果更加完整，信息更加丰富，在一定程度上提高了多尺度分割的精度和效率。

为保证纹理特征数据充分发挥其辅助作用，将每一个分割层次的纹理特征数据的波段权重数设为 4。并对异质性因子的参数进行调整，结合多次分割实验的对比，得到最优分割参数（见表 1）。

表 1 分割参数的设置						
Table 1 Settings of segmentation parameters						
分割层次	波段选择	分割尺度	异质性因子			
			光谱权重	形状权重	光滑度	紧密度
Level1	741 + 4 纹理	20	0.7	0.3	0.5	0.4
Level2	741 + 4 纹理	50	0.7	0.3	0.5	0.4
Level3	741 + 4 纹理	100	0.7	0.3	0.5	0.4

3.3 石漠化等级划分标准

石漠化等级的划分是建立分类规则的基础。根据熊康宁^[30]等人提出的坡度、岩石裸露率、植被覆盖率和利用价值 4 个石漠化等级划分指标，对喀斯特地区石漠化进行等级划分（见表 2）。

3.4 分类规则的建立

参照确定的石漠化等级，对多尺度分割后的

不参与的情况下进行分割（见图 6）。从图 6 中红色线框处可观察到：两者未参与分割生成的多边形对象细小破碎；而两者参与分割后，所生成的多边形对象破碎程度显著下降，并把拥有相似特征的地物包含在一个对象里，较好的保留了地物的边界信息和整体性。而且，从图 6 可以看出，在相同的分割尺度下，通过纹理特征数据和地形数据共同参与分割后，地物内部的多边形对象数目显著减少。因此，纹理特征数据和地形数据共同

表 2 石漠化等级划分标准 ^[30]				
Table 2 Grading standards of rock desertification ^[30]				
强度等级	坡度/ %	岩石裸露率/ %	植被覆盖率/ %	利用价值
无石漠化	< 15	< 10	> 70	宜农宜林牧
微度石漠化	> 15	10 ~ 30	50 ~ 70	宜林牧
轻度石漠化	> 18	30 ~ 50	35 ~ 50	临界宜林牧
中度石漠化	> 22	50 ~ 70	10 ~ 30	难利用地
重度石漠化	> 25	> 70	< 10	无利用价值

对象进行特征计算，提取出对象的特征信息，并利用特征信息与地物之间的对应关系来建立分类的层次结构及模糊规则。由于喀斯特地区垂直分异较为明显、地形复杂等，在构建规则的过程中，根据各类型石漠化的内在特征和分布特点，运用研究区 TM/ETM + 遥感影像和 DEM 数据进行叠加得到三维模拟影像，目视解译石漠化信息提取结果，并对石漠化类型分布特征进行实地考察，得到了研究区石漠化分布的临界地形条件。并根据所选取石漠化类型样本的纹理特征（纹理均值）、NDVI、形状特征（长宽比、形状指数）、地形特征（坡度）以及光谱特征（波段标准差）等进行分析，找出判别地物类型的临界条件或特征参数，

最终按照对象的特征分析结果建立遥感影像多尺度分割提取规则（见表3）。

表3 面向对象的喀斯特地区石漠化遥感信息提取规则

Table 3 Rules of object-oriented remote sensing information extraction method for rocky desertification in Karst area			
分割层次	分割尺度	提取信息	规则（模糊分类定义的成员函数）
Level1	20	水体	$200 \leq \text{Ratio} (B4) \leq 800$, $\text{Brightness} < 180$, $\text{length/width} > 3.28$, $\text{Mean} (\text{con}) < 0.34$;
		喀斯特地区非喀斯特地区	$\text{Ratio} (B4) \geq 800$, $\text{Ratio} (B2) \leq 1000$, $\text{NDVI} \geq 0.405$, $\text{Shape Index} > 0.62$;
			$\text{NDVI} < 0.405$, $\text{Ratio} (B2) > 1000$, $\text{Mean} (\text{con}) < 5$;
Level2	50	无石漠化	$\text{NDVI} \geq 0.525$, $\text{Brightness} \leq 1300$, $\text{length/width} > 1.5$, $\text{Mean} (\text{slope}) < 15$;
		有石漠化	$\text{NDVI} < 0.525$, $\text{Brightness} > 1300$, $\text{Std}v (B2) + \text{Std}v (B3) + \text{Std}v (B4) < 20$, $15 < \text{Mean} (\text{slope}) < 45$;
Level3	100	中度石漠化	$\text{Ratio} (B2) < 4.45$, $\text{Std}v (B4) < 12$, $\text{NDVI} < -0.25$, $\text{Mean} (\text{slope}) > 22$;
		轻度石漠化	$200 < \text{Brightness} < 400$, $\text{Mean} (\text{slope}) > 18$, $1.5 < \text{Mean} (\text{Ent}) < 2.6$;
		重度石漠化	$\text{Ratio} (B3) < 2.26$, $\text{Mean} (\text{slope}) > 25$, $\text{Mean} (\text{Ent}) > 2.6$, $\text{Mean} (\text{con}) > 5$;
		微度石漠化	$0.25 < \text{Ratio} (B7) < 0.31$, $\text{Mean} (\text{slope}) > 15$, $\text{Mean} (\text{con}) > 7$;

注：Brightness 为对象平均的多光谱灰度值，length/width 为对象的长宽比，Stdv 标准差，Ratio 为比率，Mean (con) 为对比度均值，Mean (Ent) 为熵均值，Mean (slope) 为坡度均值，NDVI = (Nir-red) / (Nir + red)，Shape Index = $e/4\sqrt{A}$ (e 为边长，A 为面积)，B2、B3、B4、B7 是 TM/ETM+ 多光谱影像的波段。

3.5 信息提取结果与分析

依据多尺度最优分割结果和已定义的分类规则集（见表3），利用 eCognition 软件平台对研究区石漠化信息进行分层提取，并将该方法的提取结果与基于像素的监督分类和非监督分类方法的提取结果进行对比分析，三种方法的石漠化信息提取结果见图7。

如图7所示，非监督分类在石漠化分布破碎的地区（见图7红色框），对象内其他地物“杂质”太多、同质性较差，纹理特征和形状信息也不明显，“椒盐现象”十分严重。所得结果与地面实体相差较大，分类不准确。基于像素的监督分类结果相较于非监督分类，对象同质性稍好，但也存在错分和混分的情况，未能准确地反映地物空间分布状况，并且纹理特征也较差。而基于地形和纹理辅助的面向对象分类方法把对象作为分类的最小单元，其分类结果边界清晰、光滑，图斑破碎度较低，在地物的光谱特征接近时，能根据其他模糊特征值较好地进行地物类型的判断。

而且，基于像素的监督分类和非监督分类在地物被阴影遮盖的情况下，分类效果较差；且在修改、合并破碎图斑时，需耗费大量的人力和时间。而面向对象方法在分类过程中，利用明度等可以提取阴影，并利用邻近关系，判别阴影的类型；可以通过多尺度分割将零星斑块合并到邻近较大的图斑中，保持了较好的整体性，从视觉上看，能够有效地减少传统基于像元分类方法产生的“椒盐现象”，提高了石漠化信息提取的精度和分类的效率，能更好地反映石漠化的空间分布。

由于大方县2000年3月被列为贵州省14个退耕还林还草试点县之一，从而选取与其相对应前后十年的1988年、2016年的遥感影像，通过基于纹理特征数据和地形数据辅助的面向对象分类方法对大方地区进行遥感信息提取，得到了研究区近28年来的石漠化分布情况（见图8）。由此可见，利用面向对象分类方法可以在时间上补充研究区石漠化信息提取的连续性。

通过分布图可看出，除轻度石漠化的面积有所上升之外，其他程度的石漠化面积都呈下降的趋势（见图8红框处），研究区的石漠化总面积从329.2 km² 下降到了303.76 km²（见表4）。

表4 1988—2016年大方地区喀斯特石漠化面积

Table 4 Area of karst rocky desertification in Dafang from 1988 to 2016						
	1988 年		2002 年		2016 年	
	面积/ km ²	比例/ %	面积/ km ²	比例/ %	面积/ km ²	比例/ %
微度石漠化区	139.27	5.07	89.67	3.27	77.64	2.83
轻度石漠化区	78.5	2.86	135.8	4.95	144.43	5.26
中度石漠化区	74.15	2.70	66.35	2.42	61.91	2.25
重度石漠化区	37.28	1.36	30.6	1.11	19.78	0.72
水系	73.81	2.69	75.39	2.75	74.24	2.70
无石漠化区	1746.29	63.59	1751.49	63.78	1771.3	64.50
非喀斯特地区	596.7	21.73	596.7	21.73	596.7	21.73
总计	2746	100.00	2746	100.00	2746	100.00

4 精度评价

从大方地区石漠化信息提取结果对比图（见图7）得出，面向对象方法比基于像元的监督分类和非监督分类方法在地物判别的归类，尤其是地物类别复杂地区的信息提取精度上有所提高，斑

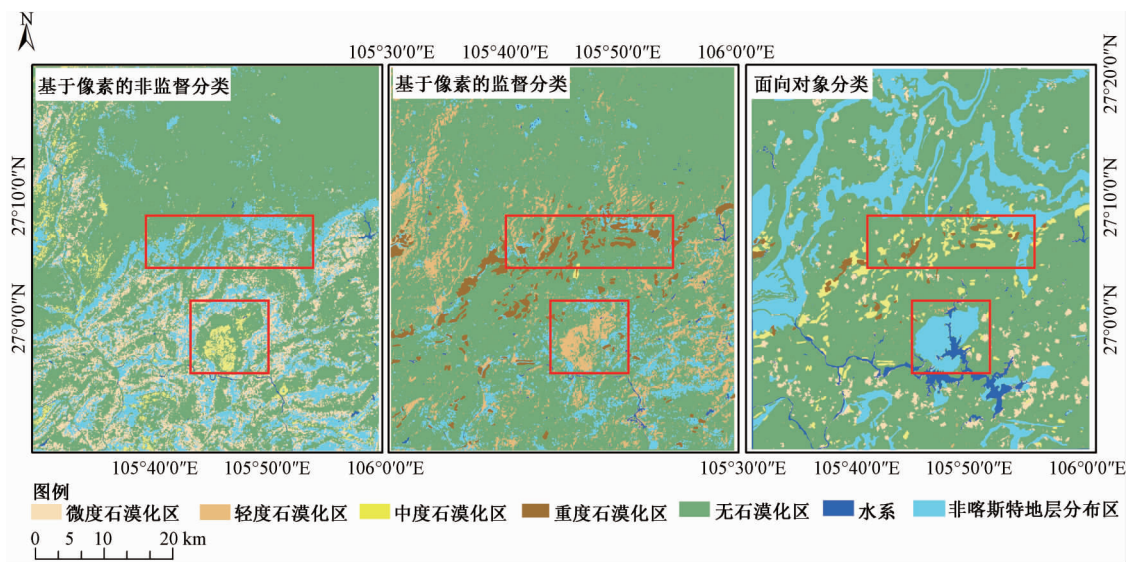


图 7 研究区石漠化信息提取结果对比图

Fig. 7 Comparison of information extraction results of rocky desertification in study area

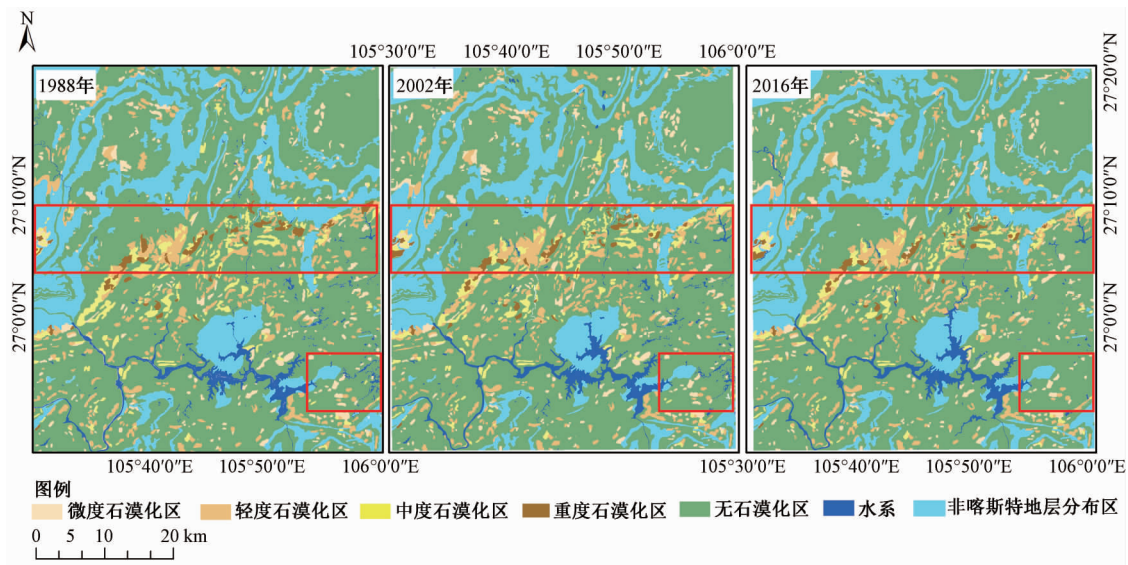


图 8 研究区石漠化分布图

Fig. 8 Distribution of rocky desertification in study area

块的破碎程度有所降低，因此将 2016 年的面向对象分类结果进行定性及定量对比。

4.1 定量评价

将基于纹理特征数据和地形数据辅助的面向对象分类、基于像素的监督分类和非监督分类三种方法提取的石漠化遥感信息进行对比，同时用 Google earth 上的高清影像图来验证分类的正确性，最后对分类结果的精度，采用分类混淆矩阵进行评价。以研究区 2016 年的遥感影像为例，通过在 Google earth 中采集的 500 个精度评价样本点，其中喀斯特地区样点 246 个，非喀斯特地区样点 154

个。通过混淆矩阵计算得到生产者精度为 94.56%，用户精度 95.43%，总体精度为 95.31%，Kappa 系数为 0.94。由表 5 可知，三个年份信息提取的精度，面向对象分类方法的精度最高，分类效果较好，证明了这种方法在石漠化信息提取方面具有一定的优势。而基于像素的监督分类得到的分类效果一般，分类过程略显繁琐，分类精度最高为 78.81%。对于基于像素的非监督分类，过程简单，操作快捷，分类精度最高为 72.9%，Kappa 系数为 0.58，分类的后处理过程较麻烦，结果误差较大，分类精度远不如前两种方

法，地物内部存在较多“椒盐”点，不能准确对地物进行分类。

表 5 分类方法精度对比表
Table 5 Comparison of the accuracy of each method

方法	监督分类			非监督分类			面向对象分类		
年份	1988 年	2002 年	2016 年	1988 年	2002 年	2016 年	1988 年	2002 年	2016 年
总体精度	72.15%	78.81%	76.43%	62.50%	63.25%	72.90%	91.45%	93.56%	95.31%
Kappa 系数	0.65	0.71	0.68	0.54	0.55	0.58	0.9	0.92	0.94

4.2 实地验证

为了进一步说明分类的准确性，在基于纹理特征数据和地形辅助的面向对象分类结果中选取无石漠化、轻度石漠化、重度石漠化三个程度中变化特征明显的石漠化区域与实地考察的照片进

行对比验证（见图 9）。
无石漠化区选取研究区北部平寨地区，该区属于寒武系白云岩地层，地表林灌葱郁，灌林覆盖率可达 70% ~ 90%，仅局部可见零星基岩露头（见图 10a）。

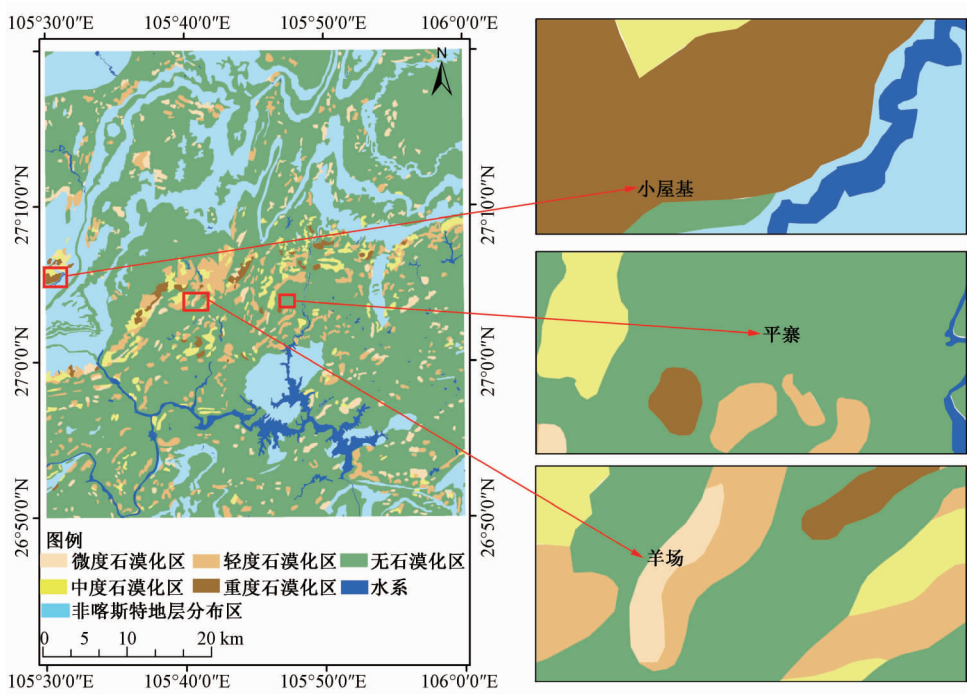


图 9 实地验证区域图
Fig.9 Maps of field verification



图 10 实地验证石漠化区域照片
Fig. 10 Pictures of field verification in desertification areas

轻度石漠化区选取研究区中部羊场地区,该区是三叠系碳酸盐岩分布区,呈片状分布。基岩多为二叠系—三叠系灰岩及少量白云岩,地表发育峰丛洼地、溶丘洼地,基岩裸露率 30% ~ < 50%,地表灌林、灌草覆盖为主,次为耕地,植被覆盖可达 50% (见图 10b)。

重度石漠化区选取位于研究区西北部小屋基地区,该区三叠系嘉陵江组碳酸盐岩出露区,呈片状、带状分布。地表发育峰丛洼地、溶丘洼地,基岩多为嘉陵江组一、三段灰岩、关岭组狮子山段灰岩,基岩裸露率 > 70%,地表灌林、灌草稀疏,植被覆盖率 < 20%。该区域多在溶沟、溶槽周围有少量土壤残留,耕地浅薄。仅在窄小的溶沟内种植少量玉米,大部分地方基岩裸露 (见图 10c)。

经实地考察,确认了分类结果的准确性。

5 研究结论

通过基于纹理特征数据和地形辅助的面向对象方法,对喀斯特地区石漠化信息提取进行研究,主要得到以下几点结论:

(1) 在不同分割尺度下的多边形面积的均值方差曲线图中,每个峰值对应的分割尺度就是不同地物类别的最优分割尺度。

(2) 相较于仅依靠光谱特征参与多尺度分割所得结果,基于纹理特征数据和地形数据参与多尺度分割得到的结果整体性更好,在一定程度上能够提高面向对象方法信息提取的精度。

(3) 利用地表真实地物的空间信息特征如面积、形状、长宽比、坡度因子以及纹理特征数据等参与影像分类规则建立的过程,有效地避免了石漠化信息提取中,只依靠喀斯特地区光谱特征带来的限制,提高了在中高分辨率遥感影像中石漠化信息识别的精度,较好地解决了基于像素的监督分类和非监督分类方法地形起伏大、地质背景复杂的喀斯特地区石漠化分类产生的“椒盐”效应。

(4) 与基于像素的监督分类和非监督分类方法所提取石漠化信息相比,文中方法针对喀斯特地区石漠化信息提取分类精度上明显提高,分类效果更好。且利用面向对象所得的信息提取结果经实地考察得到了较好验证。

(5) 研究成果可以为后续石漠化的治理提供

科学的指导和依据,同时该时序结果拓展了研究区石漠化信息提取在时间上的连续性,也丰富了研究区石漠化时空分布的数据资料,但仅参考了熊康宁^[30]等人提出的石漠化等级划分指标进行分级,并没有比较该分级标准与其他分级标准之间差异性。

参考文献/References

- [1] 周忠发. 遥感和 GIS 技术在贵州喀斯特地区土地石漠化研究中的应用 [J]. 水土保持通报, 2001, 21 (3): 52 ~ 54.
ZHOU Zhongfa. Application of remote sensing and GIS technology for land desertification in Guizhou Karst Region [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2001, 21 (3): 52 ~ 54. (in Chinese with English abstract)
- [2] 王金华. 近 30 年来粤北土地石漠化动态变化及发展趋势研究 [D]. 广州: 华南师范大学, 2007.
WANG Jinhua. Study on dynamic change and development trend of rocky desertification in Northern Guangdong in recent 30 years [D]. Guangzhou: South China Normal University, 2007. (in Chinese)
- [3] 陈起伟, 熊康宁, 兰安军. 基于 3S 的贵州喀斯特石漠化遥感监测研究 [J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28 (3): 62 ~ 67.
CHEN Qiwei, XIONG Kangning, LAN Anjun. Monitoring studies on Karst rocky desertification in Guizhou based on 3S [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2014, 28 (3): 62 ~ 67. (in Chinese with English abstract)
- [4] Gill T K, Phinn S R, Armston J D, et al. Estimating tree-cover change in Australia: Challenges of using the MODIS vegetation index product [J]. International Journal of Remote Sensing, 2009, 30 (6): 1547 ~ 1565.
- [5] 岳跃民, 张兵, 王克林, 等. 石漠化遥感评价因子提取研究 [J]. 遥感学报, 2011, 15 (4): 722 ~ 736.
YUE Yuemin, ZHANG Bing, WANG Kelin, et al. Remote sensing of indicators for evaluating karst rocky desertification [J]. Journal of Remote Sensing, 2011, 15 (4): 722 ~ 736. (in Chinese with English abstract)
- [6] Townsend P A, Walsh S J. Remote sensing of forested wetlands: Application of multitemporal and multispectral satellite imagery to determine plant community composition and structure in southeastern USA [J]. Plant Ecology, 2001, 157 (2): 129 ~ 149.
- [7] 李朝阳, 况顺达, 李志忠, 等. 喀斯特石漠化遥感信息增强与监测技术 [J]. 桂林工学院学报, 2007, 27 (1): 30 ~ 35.
LI Zhaoyang, KUANG Shunda, LI Zhizhong, et al. RS monitoring technology in karst rocky desertification [J]. Journal of Guilin University of Technology, 2007, 27 (1): 30 ~ 35. (in Chinese with English abstract)
- [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 Qiyong, JIANG Zhongcheng, MA Zulu, et al. Spatial variability of karst rock desertification based on geostatistics and remote sensing [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28 (4): 243 ~ 247. (in Chinese with English abstract)
- [9] Gambarova E, Gambarov A, Ismayilov J. Applying neural networks in rare vegetation communities classification of remotely sensed images [J]. Optical Memory and Neural Networks, 2008, 17 (2): 157 ~ 166.
- [10] 胡宝清, 王世杰. 基于 3S 技术的区域喀斯特石漠化过程、机制及风险评估: 以广西都安为例 [M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- HU Baoqing, WANG Shijie. Process, Mechanism and risk assessment of regional Karst desertification based on 3S technology: a case study of Du'an, Guangxi [M]. Beijing: Science Press, 2008. (in Chinese)
- [11] Willhauck G, Schneider T, De Kok R, et al. Comparison of object oriented classification techniques and standard image analysis for the use of change detection between SPOT multispectral satellite images and aerial photos [A]. Proceedings of XIX ISPRS Congress [C]. Amsterdam: IAPRS, 2000.
- [12] 贾明明, 任春颖, 刘殿伟, 等. 基于环境星与 MODIS 时序数据的面向对象森林植被分类 [J]. 生态学报, 2014, 34 (24): 7167 ~ 7174.
- JIA Mingming, REN Chunying, LIU Dianwei, et al. Object-oriented forest classification based on combination of HJ-1 CCD and MODIS-NDVI data [J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34 (24): 7167 ~ 7174. (in Chinese with English abstract)
- [13] 谢雨萍, 吴虹, 刘泽东, 等. 恭城县岩溶石漠化环境变化定量遥感研究 [J]. 桂林工学院学报, 2009, 29 (1): 65 ~ 71.
- XIE Yuping, WU Hong, LIU Zedong, et al. Environment change of karst rocky desertification by quantitative remote sensing in Gongcheng [J]. Journal of Guilin University of Technology, 2009, 29 (1): 65 ~ 71. (in Chinese with English abstract)
- [14] Lupo F, Linderman M, Vanacker V, et al. Categorization of land-cover change processes based on phenological indicators extracted from time series of vegetation index data [J]. International Journal of Remote Sensing, 2007, 28 (11): 2469 ~ 2483.
- [15] 孟小军, 莫源富. 基于遥感技术的打狗河流域 1999—2009 年间石漠化及绿化研究 [J]. 桂林理工大学学报, 2013, 33 (4): 622 ~ 628.
- MENG Xiaojun, MO Yuanfu. Rocky desertification and afforestation of Dagou River basin during 1999—2009 based on remote sensing technology [J]. Journal of Guilin University of Technology, 2013, 33 (4): 622 ~ 628. (in Chinese with English abstract)
- [16] 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, (4): 35 ~ 38.
- TONG Liqiang. A method for extracting remote sensing information from rocky desertification areas in Southwest China [J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2003, (4): 35 ~ 38. (in Chinese with English abstract)
- [17] 林雪. 面向林地信息的高分一号遥感影像融合与分类研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2016.
- LIN Xue. Study on fusion algorithms and classification methods for GF-1 data oriented to forestland information [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2016. (in Chinese with English abstract)
- [18] 杨盼盼. 基于高分辨率遥感影像纹理特征的面向对象植被分类方法研究 [D]. 昆明: 云南师范大学, 2017.
- YANG Panpan. Research on object-oriented vegetation classification method based on texture features of high resolution remote sensing images [J]. Kunming: Yunnan Normal University, 2017. (in Chinese with English abstract)
- [19] 梁茂昆. 基于面向对象及 Landsat 影像的广州市城市空间格局演变研究 [D]. 抚州: 东华理工大学, 2017.
- LIANG Maokun. Research on the evolution of Guangzhou urban spatial pattern based on object-oriented and Landsat images [D]. Fuzhou: East China University of Technology, 2017. (in Chinese with English abstract)
- [20] 李海霞. 高分辨率遥感影像对象分类方法研究及其城乡规划监测应用 [D]. 北京: 中国农业大学, 2014.
- LI Haixia. Study on the methods of object classification and its application on urban and rural plan monitoring with high spatial resolution remotely sensed data [D]. Beijing: China Agricultural University, 2014. (in Chinese with English abstract)
- [21] 陈建容. 面向对象的土地利用/覆被信息提取——以乐山市 GF-1 号影像为例 [D]. 成都: 成都理工大学, 2016.
- CHEN Jianrong. Object-oriented land use/cover information extraction [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2016. (in Chinese)
- [22] 贾伟. 面向对象的复杂地形区土地利用信息提取研究 [D]. 西宁: 青海师范大学, 2015.
- JIA Wei. Land use information extraction for complicated terrain regions from object-oriented classification technique [D]. Xining: Qinghai Normal University, 2015. (in Chinese with English abstract)
- [23] 欧阳华璘, 沈敬伟, 周廷刚. 面向对象分类方法在台风灾害信息提取中的应用研究 [J]. 自然灾害学报, 2016, 25 (6): 9 ~ 17.
- OUYANG Hualin, SHEN Jingwei, ZHOU Tinggang. Application of object-oriented classification method to typhoon disaster information extraction [J]. Journal of Natural Disaster, 2016, 25 (6): 9 ~ 17. (in Chinese with English abstract)
- [24] 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.
- LI Xuedong, YANG Guangbin, LI Man, et al. RS classification

information extraction of landuse in karst area by means of object oriented approach: a case in Bijie, Guizhou [J]. *Carsologica Sinica*, 2013, 32 (2): 231 ~ 237. (in Chinese with English abstract)

[25] 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 Hailong. Object-oriented remote sensing monitoring and process simulation of rocky desertification [D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2015. (in Chinese)

[26] 曹密媛. 基于遥感影像的地物要素智能识别与提取研究 [D]. 西安: 长安大学, 2015.
CAO Miyuan. Based on the feature elements of intelligent recognition and extraction of remote sensing image [D]. Xi'an: Chang'an University, 2015. (in Chinese with English abstract)

[27] 余宇晨. 基于 GF-2 光谱特征的石漠化信息自动提取 [D]. 株洲: 中南林业科技大学, 2017.
SHE Yuchen. Automatic extraction of desertification information based on GF-2 spectral characteristics [D]. Zhuzhou: Central South University of Forestry & Technology, 2017. (in Chinese with English abstract)

[28] 苏伟, 李京, 陈云浩, 等. 基于多尺度影像分割的面向对象城市土地覆被分类研究—以马来西亚吉隆坡市中心区为例 [J]. *遥感学报*, 2007, 11 (4): 521 ~ 530.
SU Wei, LI Jing, CHEN Yunhao, et al. Object-oriented urban land-cover classification of multi-scale image segmentation method——a case study in Kuala Lumpur City center, Malaysia [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2007, 11 (4): 521 ~ 530. (in Chinese with English abstract)

[29] LIAO Ning, XU Lisha, QIAN Xiaoshan. Texture classification based on multi-scale wavelet [J]. *Journal of System Simulation*, 2015, 27 (9): 1951 ~ 1959.

[30] 熊康宁. 喀斯特石漠化的遥感—GIS 典型研究 [M]. 地质出版社, 2002
Xiong Kangning. A Typical Remote Sensing-GIS Study of Karst Rocky Desertification [M]. Geological Publishing House, 2002 (in Chinese)