

# 基于植被指数特征和空间分析的石漠化信息提取<sup>\*</sup>

凌成星, 林 辉, 薛晓坡, 车 风, 马延辉

(中南林业科技大学 林业遥感信息工程研究中心, 长沙 410004)

**摘 要:**通过对多光谱数据谱间特征与多种植被指数差异分析,采用改进的 EVI 指数提取石漠化信息,并使用 NDWI 指数修正水体信息,结合空间坡度分析进行决策树分析,提高信息提取精度。以贵州省务川仡佬族苗族自治县 CBERS-02B 星 CCD 数据为例,研究最新的中巴资源一号 02B 星在采用植被指数特征和空间决策树分析对石漠化信息快速的准确性。研究表明这一方法可以克服只靠单一指数提取出现信息混淆问题,共抽查 203 个图斑,其中石漠化图斑 179 个,误判图斑 19 个,漏判的石漠化图斑 5 个,其总精度判率 88.2%,是一种快速有效提取石漠化信息的方法。

**关键词:**遥感; 石漠化; EVI; NDWI; 空间分析

**中图分类号:** X171.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2009)01-0167-05

## Research on Extracting Rock-desertification Information Based on Vegetation Indexes and Spatial Analysis

LING Cheng-xing, LIN Hui, XUE Xiao-po, CHE Feng, MA Yan-hui

(Research Center of Forestry Remote Sensing & Information Engineering, Central South University of Forestry & Technology, Changsha 410004, China)

**Abstract:** In this paper, we adopt a new method which used improvement EVI index, NDWI index and Spatial-gradient analysis, to reduce the mixed information problems and ameliorate extracting technique, based on the analysis in Multi-spectral Remote Sensing Images and the varieties of main Vegetation Indexes. Using CBERS-02B CCD RS image data, it is researched on the principle and method of quickly extracting the Rock-desertification information in Wuchuan County Guizhou province. Experiments results show that our method drop off the problem of image information confusion. We spot-check 203 sampling vector polygons, including 179 rock-desertification vector polygons, 19 commission vector polygons, 5 omission vector polygons, and its overall accuracy reaches 88.2%.

**Key words:** remote sensing; rock-desertification; EVI; NDWI; spatial analysis

土地石漠化是土地劣化演变的极端形式之一,是严重的生态环境与社会经济问题,泛指在热带、亚热带湿润、半湿润气候条件和岩溶及其发育的自然背景下,受人为活动干扰,地表植被遭受破坏,造成土壤侵蚀程度严重,基岩大面积裸露,土地退化的表现形式。我国现有石漠化土地面积 12.96 万 km<sup>2</sup>,涉及贵州、云南、广西、湖南、湖北、重庆、四川、广东等 8 个省(区、市),其中以贵州、云南和广西 3 省区分布最集中,危害最严重。因此,研究石漠化的分布状况,及时准确地了解石漠化区域变化信息,对加快

石漠化治理步伐,尽快遏制和扭转石漠化扩展态势,改善生态环境有着十分重要的意义<sup>[1]</sup>。

具有高精确、高时效和高效率等突出优点的遥感信息技术在对地观测技术方面有着明显优势,不少国内外专家学者研究出多种利用遥感影像光谱信息提取石漠化信息的技术:2002 年李文辉等在岩溶石山地区利用 TM 多光谱数据 TM1, TM4, TM7 假彩色合成图像,人工解译较好地区分植物、黏土及碳酸盐裸岩。2003 年童立强采用 Fraser 等提出的对数剩余变换方法进行辐射校正,生成反射率图像,然

<sup>\*</sup> 收稿日期:2008-06-10

**基金项目:**国家自然科学基金(30471391);湖南省教育厅青年基金(04B059);中南林业科技大学青年科学研究基金(07005B);中南林业科技大学研究生科技创新基金(2006sz17)

**作者简介:**凌成星(1982-),男,四川宜宾人,硕士研究生,研究方向为遥感信息技术。E-mail:lingchengxingjob@yahoo.com.cn

**通信作者:**林辉(1965-),女,教授,主要从事林业遥感、地理信息系统、森林经理学研究。E-mail:linhui88@sina.com.cn

后利用 TM5/ TM4 增强石漠化信息,生成石漠化指数图像。2006 年夏学齐等提出“植被线”概念,并定义“石漠化几何指数”(GRI),客观稳定地提取石漠化程度。2007 年李朝阳等利用增强型植被指数(EVI)的改进,较好地反映了石漠化分布和变化情况<sup>[2]</sup>。总之,利用遥感信息提取石漠化信息已是目前遥感信息提取领域的一个研究热点。本文以贵州省务川仡佬族苗族自治县为例,提出一种应用多光谱数据的谱间特征与多种植被指数差异分析,以及对研究区的空间分析相结合的方法来建立石漠化指数影像,提取石漠化信息的方法,并且采用了我国最新的中巴资源一号 02B 卫星影像数据,探讨了 CBERS-02B 卫星 CCD 数据在喀斯特石漠化调查中的应用。

## 2 基本原理

### 2.1 谱间特征分析

遥感影像对地表各类地物的信息所发射、反射进行接收和记录,根据各类地表物对太阳光的吸收和反射程度的不同,就可以通过遥感影像解译出电磁波波谱信息的差别。根据不同的土物类型特点及其在 CBERS-02B 星 CCD 多光谱数据的反应,选取研究区水体、植被、植被(阴影)、建筑用地(县城)、土壤、裸岩、道路 7 种土地类型,每种类型采集 10 个样点测定多光谱数据的亮度值。从图 1 研究区记录下来的主要反射光谱曲线可以看出各种地类的反射光谱强度在各个波段有明显的区别,分析和找出石漠化地类也就是裸岩和其他地类信息之间的差异,进行石漠化信息的提取<sup>[3]</sup>。

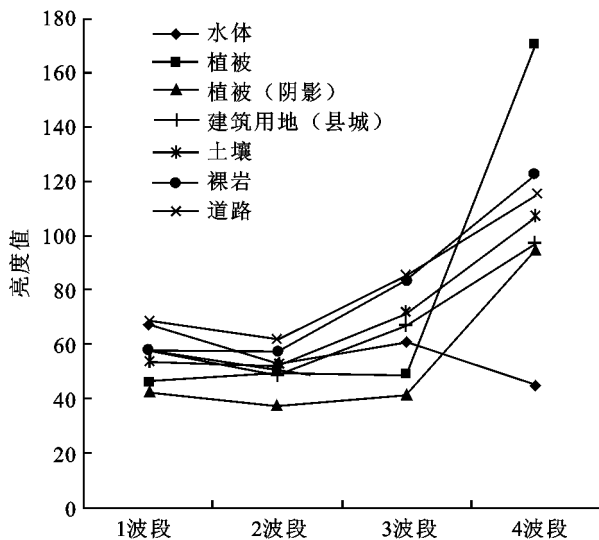


图 1 研究区主要土地类型的光谱特征

### 2.2 指数模型分析

#### 2.2.1 NDVI 归一化植被指数 $NDVI = (NIR -$

$R) / (NIR + R)$ , 广泛应用于大区域范围内植被和生态系统变迁、土地覆盖动态变化、荒漠化和气候变化演变趋势等等。NDVI 是多光谱遥感中反映植被信息最广泛的植被指数:(1) NDVI 是在卫星反映植被覆盖度最佳红外波段因子的比值运算,采用近红外波段与红光波段的差异比值运算大大增强植被信息亮度。是绿色植物的灵敏指示参数,与 LAI、叶干生物量(DM)、叶绿素含量相关性高,可用于监测和估算植被生物量。(2) NDVI 能反映出植物冠层的背景影响,如土壤、潮湿地面、枯叶、粗糙度等,且与植被覆盖有关。(3) 非线性比值指数,可以减弱部分背景信息的干扰,增强植被响应能力。 $-1 < NDVI < 1$ , 负值表示地面覆盖为云、水、雪等,对可见光高反射;裸土等接近 0 值,NIR 和 R 近似相等;正值,表示有植被覆盖,且随覆盖度增大而增大。

2.2.2 SAVI 土壤调整植被指数  $SAVI = [(NIR - R) / (NIR + R + L)](1 + L)$ , 归一化植被指数 NDVI 是一个假设研究区域内所有土壤都是相同的情况,但事实并非如此,也就说明了它的不稳定性,它会随着土壤颜色和含水量、二向性反射分布函数(BRDF)效应、大气状况和冠层自身情况产生变化。由此改进的植被指数 SAVI 特别整合了土壤背景状况和大气调整因子,修正了 NDVI 对土壤背景的敏感,增加了根据实际情况确定的土壤调节系数  $L$ ,取值范围为  $0 \sim 1$ 。 $L = 0$  时,表示植被覆盖度为零; $L = 1$  时,表示土壤背景的影响为零,即植被覆盖度非常高,土壤背景的影响为零,这种情况只有在被树冠浓密的高大树木覆盖的地方才会出现。改进的指数与单纯的 RVI(简单比值指数)和 NDVI 相比较,增强了石漠化信息,而且对传感器增益、太阳照度、坡向影响都有适当消除。不过 SAVI 仅在土壤线参数  $a = 1, b = 0$  (即非常理想的状态下)时才适用。因此有了 TSAVI, ATSAVI, MSAVI, SAVI2, SAVI3, SAVI4 等改进模型。

2.2.3 EVI 增强型植被指数  $EVI = G(1 + L) \cdot (NIR - R) / (NIR + C_1 \cdot R - C_2 \cdot B + L)$ , 它是修正的 NDVI,而且也整合了 SAVI 的土壤调整因子  $L$ ,其中  $C_1$  和  $C_2$  两个系数,以描述使用蓝光波段校正红光波段的大气溶胶散射影响。系数  $C_1, C_2$  和  $L$  的经验值分别是 6.0, 7.5, 1.0, 增益系数  $G$  设定为 2.5 该算法增强了对高生物量区域的敏感性,避免了基于比值的植被指数饱和问题,并通过分离冠层背景信号和降低大气影响来提高对植被监测的能力。由此,植被覆盖监测度的提高,可以提高与植被覆盖程度成负相关关系的石漠化分布和程度信息状况。

表 1 三种主要土地类型的 EVI ,NDVI ,SAVI 均值及其差异比较

项 目	EVI	NDVI	SAVI	项 目	EVI 差异	NDVI 差异	SAVI 差异	差异比较
植 被	0.624	0.551	0.556	植被 vs. 裸土(包括岩石)	0.519	0.439	0.374	EVI>NDVI>SAVI
裸土(包括岩石)	0.104	0.112	0.182	裸土(包括岩石) vs. 水体	0.145	0.287	0.226	NDVI>EVI>SAVI
水 体	-0.042	-0.175	-0.043	水体 vs. 植被	0.664	0.727	0.601	NDVI>EVI>SAVI

2.2.4 NDWI 归一化水体指数 由 McFeeters 在 1996 年创建以用于水体提取的归一化水体指数,  $NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR)$ , 其中 Green 代表绿光波段,在 CBERS - 02B 星 CCD 数据中为 2 波段。在近红外和中红外波长范围内(740 ~ 2 500 nm)吸收性最强,几乎无反射。因此用可见光波段和近红外波段的反差构成的 NDWI 可以快速提取影像中的水体信息。

2.3 空间坡度分析

喀斯特地区石漠化形成主要是由于人为因素的破坏,造成了植被和土壤退化,丧失土地生产力,本质上是由于区域的成土速率远小于水土流失的速率。由此,地形的空间变化特征之一——坡度起伏决定了地表现代侵蚀作用的强弱,直接影响着水土流失的速度和强度,影响到土层厚度、土壤肥力状况。坡度越大,地表物质不稳定性就越强,越容易形成石漠化。因此,地表坡度是石漠化形成中一个非常重要的影响因素。

综上对各波谱特征的分析 and 植被指数的对比试验(表 1),基于各植被指数的功能和特点分析,本文采用了改进的 EVI 植被指数  $EVI = 2.5 \times (NIR - R) / (NIR + C_1 \cdot R - C_2 \cdot B + L)$ ,进行对 CBERS - 02B 星 CCD 数据的处理,得到石漠化指数图像,从得出的阈值分析出利用 EVI 指数无法精确提取水体信息,由此通过 NDWI 归一化水体指数进行修正水体信息,再将地形坡度图和石漠化指数图像和水体指数图像进行空间叠加分析,引入坡度因子对石漠化指数图像进行决策树分析,可望较准确地利用中巴资源一号的 02B 星提取石漠化分布状况信息<sup>[4]</sup>。

3 技术方法

3.1 研究区概况

贵州省务川仡佬族苗族自治县位于黔东北,地理坐标为东经 107°30' - 108°13',北纬 28°11' - 29°06',是贵州省北部喀斯特石漠化最复杂、类型最齐全、分布面积较大的喀斯特区域之一。碳酸盐岩是务川自治县沉积岩中发育最好的岩类,由于自然土层厚度小,抗蚀年限一般较低,在部分基岩裸露的地

段甚至表现为无土可蚀,由于多种自然和人为因素,使水土流失严重,生态环境恶化,是典型的石漠化土地。土层较厚的山地多为针叶林、阔叶林、针阔混交林及灌木覆盖;沟谷冲积地带土壤肥厚,适宜农业耕种,但面积极其有限。“退耕还林还草”工程实施以后,植被覆盖率有所增加,但仍需加大石漠化治理力度,促进地区的生态经济发展。

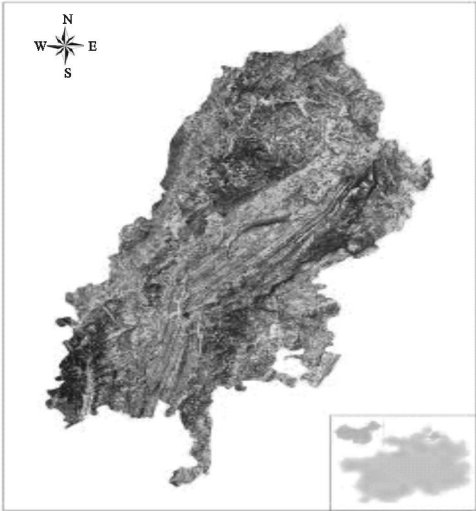


图 2 研究区 3(R),2(G),1(B) 波段合成 CBERS - 02B 影像

3.2 数据选择

数据来源于我国在 2007 年 9 月发射升空的资源一号 02B 卫星(CBERS - 02B) CCD 数据,接收时间为 2008 年 4 月 25 日,共两景,包括 5 个多光谱波段,空间分辨率为 19.5 m,幅宽 113 km,侧摆能力 ±32°,重访时间 26 d,数传数据率 106 Mbps(表 2)。影像数据质量完好,含云量低于 1%,无条带。空间分析数据 DEM:90 m 分辨率 srtm\_58\_07。遥感软件采用 ENVI4.4。

表 2 CBERS - 02B 星 CCD 数据

平台	有效 载荷	波段号	光谱范围/ μm
CBERS - 02B	CCD 相机	B01	0.45 ~ 0.52
		B02	0.52 ~ 0.59
		B03	0.63 ~ 0.69
		B04	0.77 ~ 0.89
		B05	0.51 ~ 0.73

### 3.3 数据预处理

大气辐射校正:对两景 CBERS - 02B 星 CCD 数据分别进行辐射定标,根据 MODIS 4 月 25 日对应地区的大气产品,获取 CBERS - 02B 卫星过境时刻的大气含量。利用美国 TOMS 卫星网站,获取务川县区域当天的臭氧含量。采用大陆型气溶胶类型,输入辐射传输软件 6S 中进行大气模拟,对该研究区域的遥感影像进行大气校正,公式如下:

$$y = x_a \cdot mrad - x_b; arc = y / (1 + x_c \cdot y)$$

式中:  $x_a$ ,  $x_b$ ,  $x_c$  ——大气校正参数;  $Y$  ——粗大气校正结果;  $arc$  ——精确大气校正后反射率;  $mrad$  ——图像表观辐亮度。

几何精校正:校正坐标系统为 UTM/WGS84, Zone 49N,利用 1:5 万地形图,均匀分布选取典型 GCP 点,对 CBERS - 02B 星 CCD 数据进行精度校正,校正后误差不超过 0.5 个象元。地形辐射校正:首先对数据进行预处理和建立坡度分析图,将 90 m 分辨率的 DEM 数据重投影并利用 ARCGIS 双线性内插到 30 m 分辨率,对研究区域的 CBERS - 02B 星 CCD 数据影像进行地形辐射校正。

### 3.4 建立空间分析坡度图

贵州省是全国惟一没有平原支撑的省份,坡度是地形因素中影响土壤侵蚀强弱的重要因素,直接影响着径流的冲刷能力,各种类型坡地的存在是诱发石漠化的重要原因之一<sup>[5]</sup>。本次研究主要是针对碳酸盐岩溶地区的石漠化分布进行调查,将研究区域喀斯特地区的坡度划为以下 5 个等级<sup>[6]</sup>:

(1) 平缓坡:坡度  $< 10^\circ$ ,有轻度片蚀作用主要分布在盆地和浅丘中。

(2) 缓坡:坡度  $10^\circ \sim 18^\circ$ ,土壤有轻度片蚀和沟蚀作用,主要分布于丘陵中,盆地中分布也较多。

(3) 缓陡坡:坡度  $18^\circ \sim 25^\circ$ ,水土流失较强,主要

分布于浅切割低山和低中山区。

(4) 陡坡:坡度为  $25^\circ \sim 35^\circ$ ,水土流失比较严重,在低中山、高中山中分布面积都很广,在低山中的比例也较高。

25 是农耕地的上限,在旱坡耕地中,大于 25 的坡地水土流失最为严重。

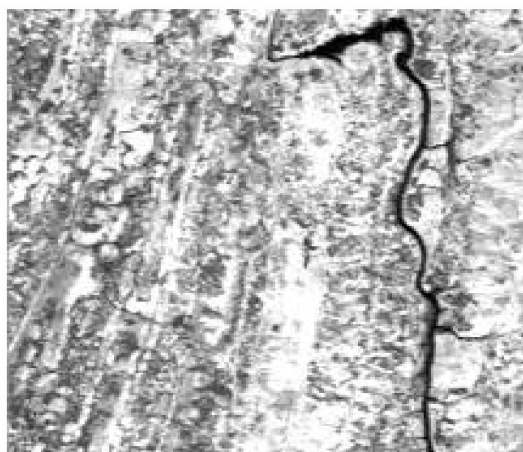
(5) 极陡坡:坡度  $> 35^\circ$ ,分布在低中山、深切割高中山和深切割低山区。土层瘠薄,一旦水土流失极易形成石漠化。

### 3.5 建立石漠化指数影像

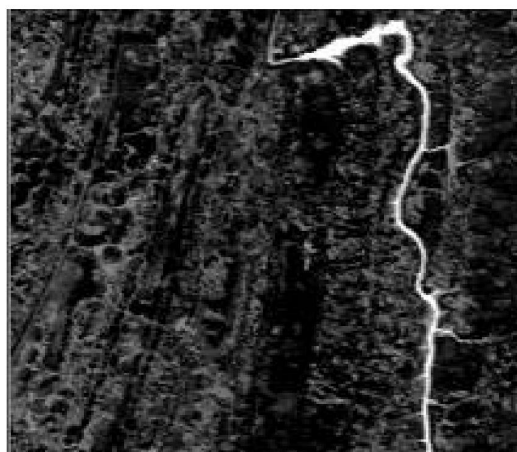
研究区域采用改进的增强植被指数 EVI 建立与植被负相关的指数影像(图 3a),阈值范围为  $(-0.119 \sim 0.787)$ ,参照石漠化综合治理分级基本标准,将碳酸盐岩喀斯特区域石漠化程度分为 6 个等级:无石漠化(岩石裸露度  $< 10\%$ )、潜在石漠化(岩石裸露度  $10\% \sim 30\%$ )、轻度石漠化(岩石裸露度  $30\% \sim 50\%$ )、中度石漠化(岩石裸露度  $50\% \sim 70\%$ )、强度石漠化(岩石裸露度  $70\% \sim 90\%$ )、极强度石漠化(岩石裸露度  $> 90\%$ )。在根据 EVI 生成的阈值范围研究发现,无石漠化和潜在石漠化由于植被覆盖率较高,无法通过阈值区分,且按石漠化综合治理方案,将无石漠化和潜在石漠化归为同一级。利用野外调查样点结果确定每个量化等级的阈值范围,利用不同的阈值建立石漠化指数影像<sup>[7]</sup>。

### 3.6 归一化水体指数影像

通过利用 EVI 建立的石漠化指数影像阈值分析,发现在水体信息部分,单独利用改进的增强型植被指数 EVI 无法准确提取出来,单靠阈值  $< 0$  提取水体是无法将水体信息完整提取出来,其间夹杂了许多本应是水体但阈值却大于 0 的信息,因此引入归一化水体指数 NDWI,增强水体与其他地类反差,更精确地提取水体信息(图 3b)。



(a)



(b)

图 3 研究区 EVI(a)、NDWI(b)影像图(两端直方图剔除 0.5%线性对比度拉伸)

3.7 石漠化信息提取

本次研究针对石漠化分布信息特点,对波谱特性进行分析,综合 EVI 和 NDWI 的互补性和空间坡度分析的逻辑筛选性,利用前期得到的改进增强型植被指数 EVI 得出的石漠化指数影像,再结合归一化水体指数 NDWI 和空间坡度分析图进行决策树分析(图 4)。

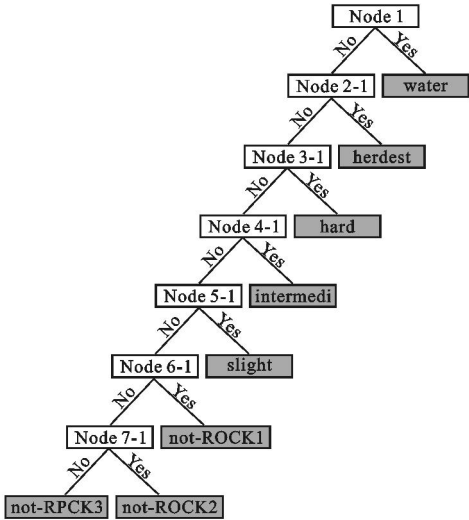


图 4 决策树分析

将已经得到的石漠化指数影像,根据实地调查样点量化结果,把阈值范围 0 ~ 0.353 确定为石漠化区域范围,但其中仍有水体部分的阈值不是负值而是在石漠化阈值范围内,所以利用 NDWI 指数影像对 EVI 指数影像进行对比筛选,将水体信息通过 NDWI 提取来取代 EVI 水体信息,增强水体信息的准确性。在石漠化区域的阈值范围内还存在裸土与裸岩混合象元情况,根据贵州省石漠化分布特点情况,利用空间坡度分析确定坡度值 > 18 为石漠化区域,在地势平缓区域基本无石漠化现象,多为耕地和非石漠化以及潜在石漠化区域,鉴于本次研究只考虑石漠化区域,可以通过空间坡度分析区分出裸土和裸岩的信息<sup>[8]</sup>。至此,以上方法降低了不同地类的光谱混淆现象,快速提取研究区域的石漠化信息<sup>[9-10]</sup>(附图 7)。

4 精度验证

对研究方法的精度验证采用的是利用相关实地调查材料进行验证。经 2008 年 4 月对研究区务川县石漠化综合治理野外勘察,结合全县土地利用现状材料,选取涪阳小流域、官庄小流域、龙潭小流域、毛岗小流域、茅天小流域 5 个综合治理小流域范围进行实地调查,选用同区域的 CBERS - 02B 星 CCD 数据 321 波段真彩色组合,确定石漠化图斑,共抽查

203 个图斑,其中石漠化图斑 179 个,误判图斑 19 个,漏判的石漠化图斑 5 个,其总精度判率 88.2 %。

5 结论

本文采用了植被指数和空间坡度分析结合的综合方法对石漠化信息进行提取,克服了以前只靠单一的指数提取出现的问题。研究证明改进的增强型植被指数 EVI 增强了植被敏感性,避免了基于比值的植被指数饱和问题,增强了与植被信息负相关的石漠化信息,比 SAVI 和 NDVI 具有更高的动态数据范围,经过对比,灰度级别增大。引入归一化水体指数 NDWI 对水体信息进行修正,同时对研究区空间坡度分析,减弱了由于土壤和裸岩混合信息引起的提取误差,提高了石漠化信息提取的准确性。

此次研究采用我国最新的 CBERS - 02B 星遥感数据为信息源,对贵州省务川县石漠化信息进行提取,结果表明 CBERS - 02B 星完全可以达到与相似空间分辨率和光谱波段设计的国外遥感卫星影像水平运用于石漠化信息提取,自主性更强,数据来源更好,而且能够达到较好的效果。

参考文献:

[1] 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 (2) : 101-105.

[2] 王正兴, 刘闯, Huete Alfredo. 植被指数研究进展: 从 AVHRR - NDVI 到 MODIS - EVI[J]. 生态学报, 2003, 23 (5) : 979-987.

[3] 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 (1) : 34-37.

[4] 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, 2003, 11 (4) : 82-87.

[5] 李瑞玲, 王世杰, 熊康宁, 周德全. 贵州省岩溶地区坡度与土地石漠化空间相关分析[J]. 水土保持通报, 2006, 26 (4) : 82-85.

[6] 《贵州省农业地貌区划》编写组. 贵州省农业地貌区划[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 1989: 1-212.

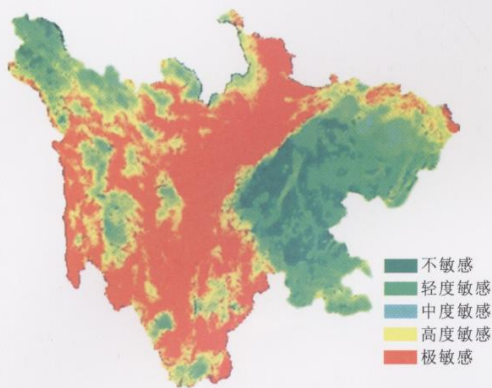
[7] 李朝阳, 况顺达, 李志忠, 等. 喀斯特石漠化遥感信息增强与监测技术[J]. 桂林工学院学报, 2007, 27 (1) : 30-35.

[8] Wu C, Murray A T. Estimating Impervious Surface Distribution by Spectral Mixture Analysis[J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 84 (4) : 493-505.

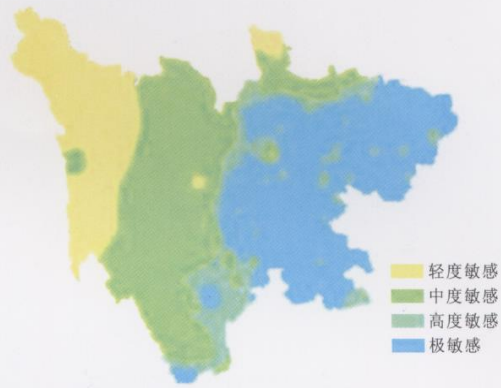
[9] 童立强. 西南岩溶石山地区石漠化信息自动提取技术研究[J]. 国土资源遥感, 2003 (4) : 33-35.

[10] 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) : 467-473.

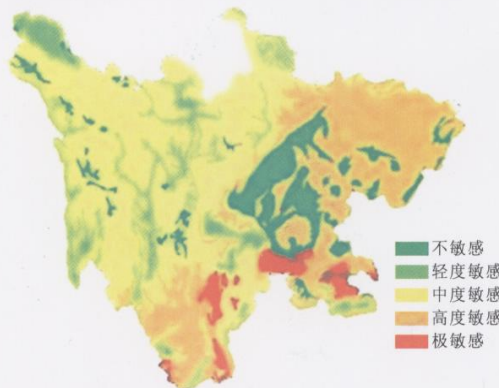




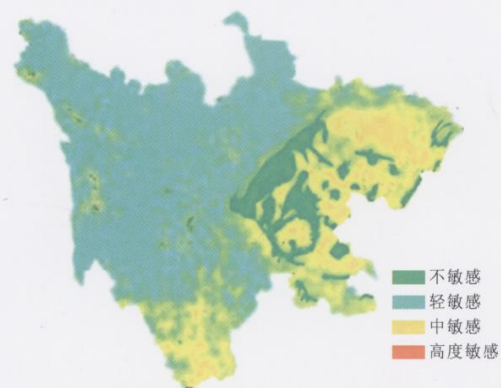
附图1 四川省地形的水土流失敏感性空间分异



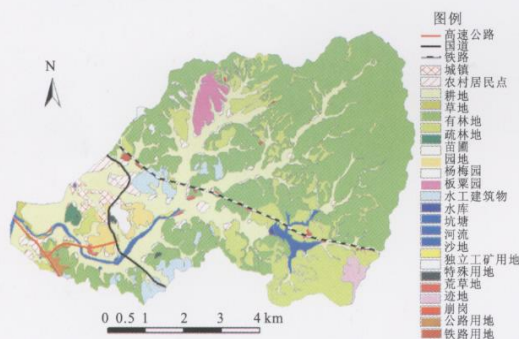
附图2 四川省降水的水土流失敏感性空间分异



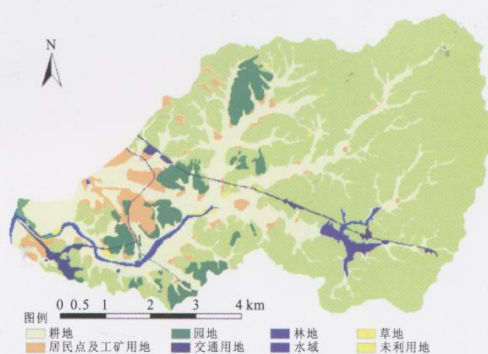
附图3 四川省土壤的水土流失敏感性空间分异



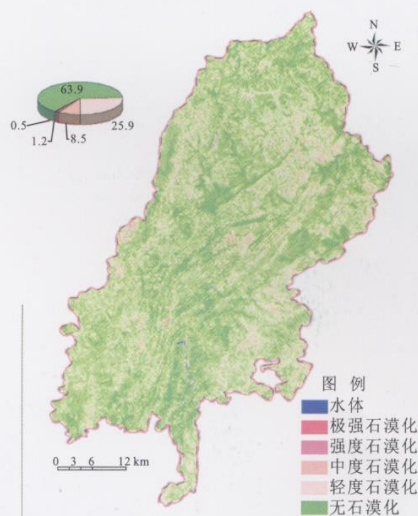
附图4 四川省植被的水土流失敏感性空间分异



附图5 朱溪河小流域土地利用现状图



附图6 朱溪河小流域土地利用景观图



附图7 石漠化信息提取图