

基于 ETM 影像的喀斯特石漠化调查研究 ——以重庆南川市为例

黄岩¹, 谢世友^{1,2}, 赵亚萍¹

(1. 西南大学地理科学学院, 重庆 400715; 2. 西南大学三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715)

摘要: 以遥感资料为主要信息源, 以地理信息系统(GIS)为支撑, 采用经验模型法确定植被指数与植被覆盖度之间的关系; 结合由地形图派生的坡度图, 由区域地质图派生的纯碳酸盐岩、不纯碳酸盐岩以及非碳酸盐岩区的岩性背景图, 参考降水量和降雨强度等有关因素, 建立基于专家分类的石漠化定量分析模型, 对南川市石漠化强度进行了分级制图。经实地检验, Kappa 指数均超过最低允许的判别精度要求, 为石漠化信息的获取提供了一个实用而高效的方法。

关键词: ETM 影像; 石漠化; 专家分类; 南川市

中图分类号: TP 79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-070X(2008)01-0055-04

0 引言

石漠化(Rock Desertification), 即碳酸盐岩石漠化, 是指在热带、亚热带湿润地区喀斯特脆弱生态环境下, 由于人为活动的干扰, 地表植被遭受破坏, 造成土壤严重侵蚀, 基岩大面积裸露, 砾石堆积, 地表呈现似荒漠化景观的土地退化乃至消失的现象。中国南方岩溶区分布跨越滇、黔、湘、鄂、粤 7 个省(区), 面积达 54 万 km², 石漠化问题非常严重。因此, 摸清石漠化的面积、分布、程度及成因, 研究防治对策, 对于增加石漠化区生态环境建设的力度, 制定资源、环境、经济以及人口协调发展的战略规划和水土流失治理方案等都有重要意义。在“3S”技术高度发展的今天, 许多学者利用这一技术对不同区域进行了石漠化调查和研究, 避免了利用传统方法进行这类大面积研究中人力物力投入过大、标准难以控制等弊病。如童立强^[1]等设计一种在 GIS 系统下, 以指定区域高程化的遥感影像信息值百分比特征作为判别指标的二次图像信息分析分类法; 陈起伟等^[2]通过分析不同石漠化强度样区各波段的谱值关系, 建立石漠化信息的提取模型; 吴虹等^[3]通过圈定无植被覆盖的石灰岩边界线进行遥感地质填图, 提取石漠化区域; 夏学齐等^[4]在多维光谱向量空间分析的基础上, 提出“植被线”和“石漠化几何指数(GRI)”的概念。由于目前光谱分析模型还不成熟, 而且复杂, 几何指数法又存在“纯净”像元难以确定等限制, 本文采用 ERDAS Imagine 提供的专家分类方

法, 通过归一化植被指数(NDVI)、地形坡度及岩性等信息对南川市的石漠化现状进行分级。

1 研究区概况及数据源

1.1 研究区概况

南川市位于重庆南部(东经 106°54'~107°27', 北纬 28°46'~29°30'之间), 面积 2 609.67 km², 地势呈东南向西北倾斜, 南部属大娄山脉褶皱地带, 北部系川东平行岭谷, 境内以山地为主, 系中山丘陵地区, 为台地低山地貌, 槽坝面积较小, 境内最高海拔 2 251 m, 最低海拔 340 m。属于亚热带湿润季风气候区, 常年平均气温为 16.16℃, 极端最高气温为 39.18℃, 多年平均降雨量 1 185 mm。碳酸盐岩区面积 978.69 km², 占南川市总面积的 37.5%, 非碳酸盐岩区面积 1 630.98 km², 占 62.5%。

1.2 数据源

研究所用的影像数据来源于美国马里兰州大学, 时段为 2000 年 7 月 31 日, 景号为 127/47 的 Landsat 7 ETM 影像。图像处理分析软件为 ERDAS Imagine 9.1 和 ArcGIS 9.0。以 1:5 万地形图为基础, 采用 3 次多项式以及最近邻域插值法对图像进行了几何纠正, 经检验误差在 0.5 个像元之内。研究区完全包含于影像中, 可以直接利用 Mask 工具对影像进行掩模处理, 提取出研究区域; 坡度数据来源于 1:5 万地形图屏幕数字化后生成的 DEM, 在 ERDAS 中使用 Reproject 工具进行投影转换, 使两者具有相同的坐标系和单元格大小, 在空间上完全

配准；岩性信息来源于南川市 1:20 万水文地质图。

2 石漠化信息分级

2.1 石漠化遥感影像的分级判读指标

碳酸盐岩石漠化区是地球表面一定空间域内生态系统与外部物质能量交换不平衡,系统内部结构、功能失调,系统的稳定性弱、抗逆性弱及敏感性强^[5]的区域,其分级指标如下:

(1)岩性及地质指标。碳酸盐岩地区与非碳酸盐岩区的岩性与石漠化有着密切的关系。首先区分出碳酸盐岩、半碳酸盐岩及非碳酸盐岩分布区,不同的岩性会影响其强度级别。碳酸岩区多发育峰丛、峰林、丘峰、丘陵及洼地等地貌形态,具有清楚的影像图形特征。

(2)坡度指标。当岩性、地表质地和植被等状况确定时,石漠化级别主要取决于地形坡度。坡度的获取主要是将数字化的坡度图叠加在 ETM 影像上,从而获得不同级别的坡度。通常坡度越大,石漠化的级别越高,特别是坡度大于 25° 的陡坡,容易遭到破坏,并导致石漠化。

(3)植被指标。当岩性、质地和坡度等因素确定以后,图斑勾绘和石漠化级别判定的指标就是植被。植被覆盖度、植被结构等信息利用影像色调深浅及色相确定,这也是碳酸盐岩石漠化解译中极为重要的因素,一般在标准假彩色影像上有明显的特征。

2.2 石漠化强度分级指标

表 1、2^[6]列出了碳酸盐岩石漠化 6 级分类标准与图斑基本特征。

表 1 纯碳酸盐岩区石漠化强度分级指标

石漠化等级	基岩裸露率/%	土被覆盖率/%	坡度/(°)	(植被 + 土被覆盖率)/%	平均土厚/cm	农用价值
无石漠化	<50	>50	<15	>70	>20	宜有水保措施的农用
潜在石漠化	>50	<50	>15	50~70	<20~15	宜林牧
轻度石漠化	>60	<30	>18	35~50	<15	临界宜林牧
中度石漠化	>70	<20	>22	20~35	<10	无法利用地
强度石漠化	>80	<10	>25	10~20	<5	无法利用地
极强度石漠化	>90	<5	>30	<10	<3	无法利用地

表 2 不纯碳酸盐岩区石漠化强度分级指标

石漠化等级	基岩裸露率/%	土被覆盖率/%	坡度/(°)	(植被 + 土被覆盖率)/%	平均土厚/cm	农用价值
无石漠化	<50	>50	<22	>70	>20	宜有水保措施的农用
潜在石漠化	>50	<50	>22	50~70	<20~15	宜林牧
轻度石漠化	>60	<30	>25	35~50	<15	临界宜林牧
中度石漠化	>70	<20	>30	20~35	<10	无法利用地
强度石漠化	-	-	-	-	-	-
极强度石漠化	-	-	-	-	-	-

(1)无明显石漠化区。这类地区一般包括成片的负地形(限于比例尺,较小洼地等负地形未分出)、平地、缓坡梯田和梯土、覆盖度高的林地,以及特殊的类型如水体、城镇等。

(2)潜在石漠化区。基本特征是植被、土被覆盖度较大,可达 50%~70%,其分布有 2 种情况:①在纯碳酸盐岩石分布区一般植被覆盖度较大,但平均土层较薄,在 20 cm 以下,坡度一般 >15°;②不纯碳酸盐岩分布区则往往有着较低的植被覆盖度和较高的土被覆盖度,水土流失威胁大。

(3)轻度石漠化区。一般特征是坡度在 18° 以上,植被结构以稀疏的灌草丛为主,覆盖度在 35%~50% 之间,土被覆盖率一般在 35% 以上。

(4)中度石漠化区。石漠化特征明显,坡度在 22° 以上,这种类型区大部分产生于纯碳酸盐岩石峰丛洼地或峰林地貌上。离村寨较近山头最容易受到过分樵采演化为这类土地,在地表石沟石芽不太发育的情况下,土被分布零星、破碎。

(5)强度石漠化。土壤侵蚀强烈,主要分布在植被覆盖度为 10%~20%,坡度 >25°,基岩裸露 >80%,平均土厚 <5 cm,在农用价值上属于难利用土地。

(6)极强度石漠化。土壤侵蚀破坏极为强烈,已经导致无土可流失,基岩裸露 >90%,平均土厚 <3cm,分布在坡度 >30° 坡耕地及裸岩地带,已经丧失农用价值^[6]。

3 石漠化信息提取流程及实验过程

3.1 石漠化信息提取流程

本研究以 GIS 技术为支撑,以遥感资料为主要信息源,结合由地形图派生的坡度图,由区域地质图派生出的碳酸盐岩与非碳酸盐岩及石漠化背景图,采用植被覆盖、土壤背景及地面坡度等决定石漠化强度的主要因素,参考降水量和降雨强度等有关因素建立石漠化定量分析模型,应用现代建模技术进行石漠化强度分级和调查制图,技术路线如图 1 所示。

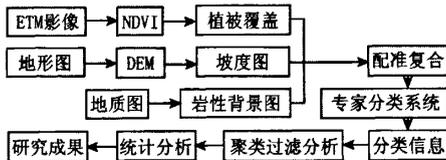


图 1 提取石漠化信息流程

3.2 实验过程

- (1) 确定纯碳酸盐岩区、不纯碳酸盐岩区和非碳酸盐岩区;
- (2) 确定植被覆盖度;
- (3) 确定坡度;
- (4) 参考降雨强度等相关资料进行石漠化信息的提取及检验。

对于坡度的确定,目前可以根据数字高程模型,在 ArcGIS 或 ERDAS Imagine 中利用地表分析功能模块的 Slope 工具可以快速实现,比较难确定的是植被和土被覆盖度。

3.2.1 植被覆盖度信息的提取方法

遥感估算植被覆盖度的方法大致可归纳为 2 种: 植被指数转换法和经验模型法。已有研究表明,NDVI 与地表植被的覆盖度成正比关系,对于同一种植被,NDVI 越大,说明地表植被的覆盖率越高,植被的长势越好^[7]; 植被指数转换法是在对光谱信息进行分析的基础上,通过建立植被指数和植被覆盖度的转换关系来直接估算植被覆盖度。由于植被指数转换法不依赖于植被覆盖度的实测数据,因而实际工作中使用较多。目前广泛使用的是根据归一化差值植被指数(NDVI)计算植被覆盖度的方法。即

$$NDVI = (DN_{NIR} - DN) / (DN_{NIR} + DN) \quad (1)$$

$$F = (NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min}) \quad (2)$$

式中,NDVI 为所求像元的归一化植被指数; DN_{NIR} 、 DN 分别为 ETM 影像的第 4 波段(近红外波段)和第 3 波段(可见光红波段)像元亮度值; F 为植被覆盖度; $NDVI_{min}$ 、 $NDVI_{max}$ 分别为研究区内 NDVI 的最小、最大值。一般说来,归一化植被指数 NDVI 比较真实地表现了影像数据上植被的分布,但由于 NDVI

本身无法完全分离植被和土壤的影响,不管是裸土还是部分植被覆盖的像元,其 NDVI 值都可能是一个较小的整数。所以在实际应用中,往往根据经验确定 $NDVI_{min}$ 、 $NDVI_{max}$, 或从计算得到的影像像元的 NDVI 中提出 $NDVI_{min}$ 、 $NDVI_{max}$, 从而计算植被覆盖度^[8]。

对于面积较小的区域,往往可以采用经验模型法来确定植被指数与植被覆盖度之间的关系。经验模型法基于特定区域的实测数据,通过建立实测植被覆盖度数据与植被指数之间的经验模型来求取大面积植被覆盖。卢玉东等^[9]曾在南川做过这项研究,得出南川市植被覆盖度与植被指数之间的经验模型为

$$y = 1.1682x^2 + 0.786x + 0.0782 \quad (3)$$

式中, y 为南川市植被覆盖度; x 为归一化植被指数 NDVI。

本文将使用 2 种方法得出的植被覆盖度结果相比较发现,在相同 NDVI 的前提下,植被指数法得出的植被覆盖度相对较高(如图 2 所示)。

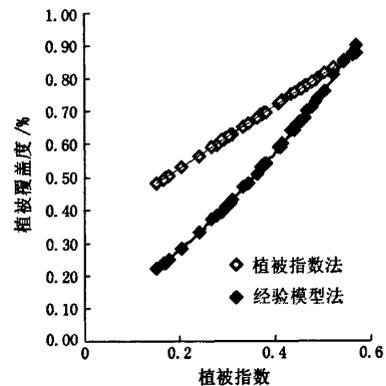


图 2 不同方法得出的植被覆盖度比较

这是因为,植被指数法只是机械地将一个区域内 NDVI 最小值和最大值分别默认为覆盖度为 0 和 100%, 对于一个大区域来说,这种假设可能是成立的,但对于一个相对较小的区域,如植被覆盖度在 10% ~ 80% 之间的县区,它同样会生成 0 ~ 100% 的结果,往往与实际情况不符。故本文采用经验模型(式 3)对南川市植被指数(NDVI)进行换算,得到相应的植被覆盖度信息。

3.2.2 石漠化信息的提取过程

(1) 在 ERDAS Imagine 中,将南川市植被指数和植被覆盖度关系在空间建模工具(Spatial Modeler)里对函数(Function)做以下功能定义:

```

either 0 if ( $n1_memory = = 0 ) or 1.1682 *
( $n1_memory ) power 2 + 0.786 * ( $n1_memory ) +
0.0782 otherwise
  
```

式中, $\$n1_memory$ 为 NDVI 缓存器; either 0 if ($\$n1_memory = = 0$) 语句将亮度值为 0 的背景像

元在运算后的保持原值为0,避免了对植被覆盖度统计的影响。定义函数的过程,实质是确定空间模型如何处理数据、组合功能以及完成目标的过程,经模型运算后,输出的图即为南川市植被覆盖度图。

(2)使用实用工具 Layerstack 将得出的植被覆盖度图、坡度图以及岩性背景图堆栈成一个影像文件,并分别作为影像文件的一个“波段”参与分类运算。

(3)在 ERDAS 软件专家分类器编辑模块中完成分类规则定义。专家分类器为用户提供了一种基于规则的方法 (Rules - based Approach),用于对多波段影像进行分类、分类后处理和 GIS 建模分析。实质上,一个专家分类系统就是针对一个或多个假设建立的一个层次规则集 (Hierarchy Rules) 或决策树 (Decision Tree),而每一条规则就是一个或一组条件语句,用于说明变量的数值或属性。所以,决策树、假设、规则、变量以及由此组成的知识库,便组成了专家分类器中最基本的概念和组成要素。将植被覆盖度、坡度和岩性等作为分类变量,根据石漠化强度分级标准定义规则,完成专家分类模板的编辑。

(4)分类后图像处理。利用专家分类解译的仍为栅格形式的图像。图像一方面包括了一些与石漠化无关或面积较小不能上图的石漠化点群,另一方面又由于土壤和植被等的干扰使某些石漠化呈断续离散的点群。为了突出并准确地圈定石漠化分布区域,既要删除前者,又要保证后者的信息不被损失。基于此,首先对分类图像进行聚类分析 (Clump),可使石漠化离散点得以连接、收缩,然后对石漠化图斑进行过滤分析 (Sieve),通过选择的图斑最小像元数为2,可以把面积较小不能上图且孤立的石漠化点删除,这样,便可获得既符合石漠化实际分布情况又满足成图精度要求的石漠化栅格图像 (如插页影片 14 所示)。

(5)属性信息提取。将处理后的图像导入 Arc-GIS 9.0 中查看并统计其属性信息。提取的石漠化分级信息结果如表 3 所示。

表 3 南川市石漠化强度分级统计

石漠化分级	像元/个	图斑/个	面积/km ²	比重 1/%	比重 2/%
非碳酸盐岩	2 233 548	87	1 401.5	53.7	--
无明显石漠化	120 045	5 743	75.03	2.88	6.21
潜在石漠化	75 551	9 783	47.22	1.81	3.9
轻度石漠化	99 685	10 671	62.30	2.39	5.15
中度石漠化	47 469	2 805	29.67	1.14	2.46
重度石漠化	1 650	782	1.03	0.04	0.09
极重石漠化	336	223	0.21	0.01	0.02
其它用地	1 588 336	48	992.71	38.04	82.17

表中,比重 1 为各类型区占南川市国土面积的比重,比重 2 为占碳酸盐岩区的比重。

(6)分类精度评估。采用手持式 GPS 实地考察的方法,并结合同期土地利用现状图,计算了分类混

淆矩阵和 Kappa 指数^[10]。结果表明,轻度、中度、重度和极重度石漠化的 Kappa 指数分别为 0.8、0.79、0.78 和 0.84,均达到最低允许判别精度 0.7 的要求,说明分类结果可信。

4 结论

(1)采用专家分类模板,依据不同的石漠化程度在植被覆盖度、坡度和岩性等方面的差异建立分类规则,能够快速提取石漠化信息,相对于非监督和监督分类以及传统的目视判读而言,可以达到较高的精度。

(2)运用本文介绍的方法进行小区域的遥感图像计算机信息提取制图时,几何校正和植被覆盖度经验模型的确定是影响成果图精度的关键。几何校正正是多源空间信息(坡度、岩性、植被覆盖度等)在叠加时误差最小的保证;经验模型的构建中,理论上采样点越多,得出的经验越准确,成果图精度也越高。

南川市是重庆石漠化最严重的县市,从解译的结果来看,石漠化和潜在石漠化面积为 140.43 km²,占南川市国土面积的 5.38%,占碳酸盐岩区总面积的 11.62%。其中,潜在石漠化和轻度石漠化面积为 109.52 km²,占石漠化区域面积的 77.99%。今后,本区对石漠化防治的重点应放在保护潜在和轻度石漠化区域上,防止其石漠化程度进一步恶化。

参考文献:

- [1] 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):35-39.
- [2] 陈起伟,兰安军,熊康宁,等.基于遥感光谱特征的碳酸盐岩石漠化信息提取[J].贵州师范大学学报(自然科学版),2003,21(4):82-87.
- [3] 吴虹,陈三明,李锦文.都安石漠化趋势遥感分析与预测[J].国土资源遥感,2002,(2):16-17.
- [4] 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):470-474.
- [5] 熊康宁,黎平,周忠发,等.碳酸盐岩石漠化的遥感-GIS 典型研究[M].北京:地质出版社,2002.
- [6] 吕涛.3S 技术在贵州喀斯特山区土地石漠化现状调查中的应用[J].中国水土保持,2002,(6):26-27.
- [7] 徐兴奎,林朝晖,薛峰,等.气象因子与地表植被生长相关性分析[J].生态学报,2003,23(2):221-230.
- [8] 赵英时.遥感应用分析原理与方法[M].北京:科学出版社,2003.
- [9] 卢玉东,尹光志,熊有胜,等.应用 ETM 图像分析重庆南川市土壤侵蚀与植被覆盖度的关系[J].南京农业大学学报,2005,28(4):72-75.
- [10] Ucas I F J,Frans J M,Wel V D. Accuracy Assessment of Satellite Derived Land - cover Data: A Review EJ[J]. Photo - grammetric Engineering& Remote Sensing,1994,60(4):410-432.

(下转第 71 页)

[3] 许军强. 长白山地表温度反演与地热分布特征研究[D]. 吉林大学, 2007.

[4] 周彦儒. 热红外遥感技术在地热调查中的应用与潜力[J]. 国土资源遥感, 1998(4): 24-28.

[5] 杨锋杰, 韩震, 江涛, 等. 地热资源的热红外遥感[J]. 矿山测量, 1998(3): 25-27.

[6] 杨波, 吴德文, 赖健清. 遥感技术在腾冲西南地区地热资源预测中的应用[J]. 国土资源遥感, 2003(2): 23-26.

[7] 戴文哈. 西安地区隐伏构造-热红外场遥感信息及三维建模与应用[J]. 遥感信息, 2005(1): 40-43.

[8] 田国良. 热红外遥感[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.

[9] 陈述彭, 赵英时. 遥感地学分析[M]. 北京: 测绘出版社, 1990.

[10] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003.

[11] 徐希儒. 遥感物理[M]. 北京: 北京大学出版社, 2005.

[12] 刘若新, 魏海泉, 李继泰. 长白山天池火山近代喷发[M]. 北京: 科学出版社, 1998.

GEOHERMAL RESOURCE PROGNOSIS BASED ON REMOTE SENSING TECHNOLOGY IN CHANGBAISHAN VOLCANIC AREA

XU Jun - qiang¹, BAI Chao - jun¹, LIU Jia - yi³

(1. Henan Institute of Geological Survey, Zhengzhou 450047, China; 2. College of Geo - exploration of Science and Technology, Jilin University, Changchun 130026, China; 3. College of Physics, Jilin University, Changchun, 130026, China)

Abstract: As an important ecotype resource, geothermal resource is extremely useful and has good market potential. With the temperature field of land surface as the object, thermal infrared remote sensing has accumulated abundant successful experience in geothermal resource survey. In previous geothermal resource survey, land surface temperature was frequently replaced by thermal infrared spectral radiance or brightness temperature to interpret the geothermal abnormal area. This replacement, however, is unreasonable in fact. This paper has forecasted favorable geothermal areas by retrieving land surface temperature with the temperature and emissivity separation algorithm and interpreting geological structure based on ASTER data as well as analyzing hot water activity and deep gas characteristics of the earth in Changbaishan volcanic area. The results show that the Tianchi section of Liudaogou—Changbaishan Tianchi—Zengfenshan fault and the Changbai—Julong section of Changbaishan volcanic ring fault make up favorable areas for geothermal resource exploration and volcanic monitoring.

Key words: ASTER data; Land surface temperature; Geothermal resource; Changbaishan volcano

第一作者简介: 许军强(1981 -), 男, 甘肃甘谷人, 硕士, 主要从事定量遥感与 GIS 研究, 已经发表论文 5 篇。

(责任编辑: 李 瑜)

=====

(上接第 58 页)

KARST DESERTIFICATION INVESTIGATION BASED ON ETM IMAGE: A CASE STUDY OF NANCHUAN CITY

HUANG yan¹, XIE Shi - you^{1,2}, ZHAO Ya - ping¹

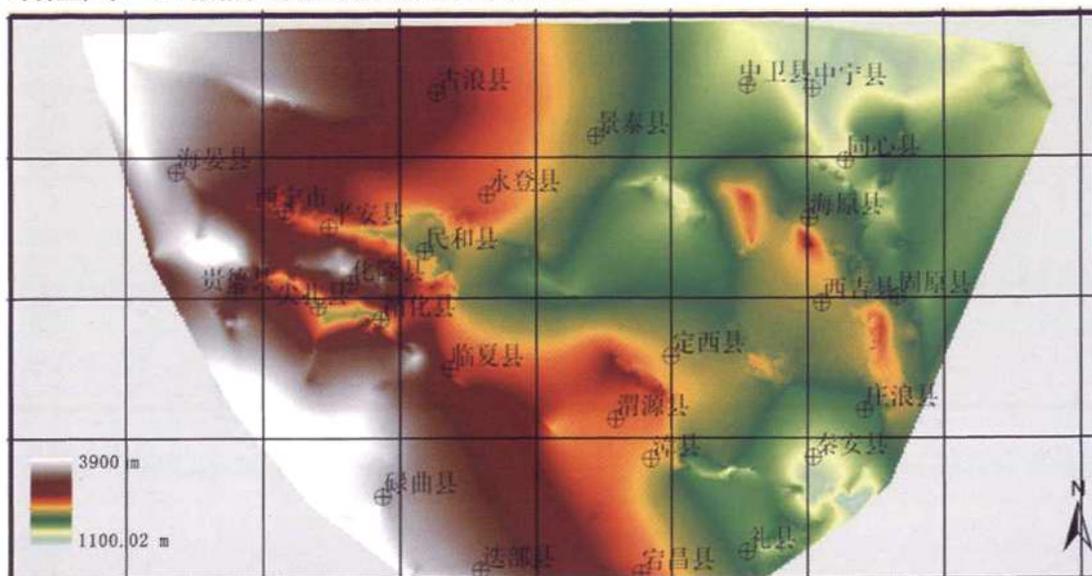
(1. College of Geography Science, Southwest University, Chongqing 400715, China; 2. Key Laboratory of Eco - Environment of Three Gorges Reservoir Region, Ministry of Education, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: With the remote sensing data as the main information source and the geographic information system (GIS) as the strut, the authors used experience modeling to determine relations between vegetation index and vegetation coverage degree. In combination with the slope map derived from the topographic map and the pure carbonate, half - carbonate and non - carbonate areas derived from the regional geologic map and in consideration of the amount of precipitation as well as the rainfall intensity, a quantitative analytical model based on the expert classifier was established. With this model, a map of desertification intensity grade of the Nanchuan City was drawn. Field inspection shows that the Kappa index exceeds the lowest permission distinction precision requirement of 0.7, and thus a highly effective and practical method is provided for acquiring desertification information.

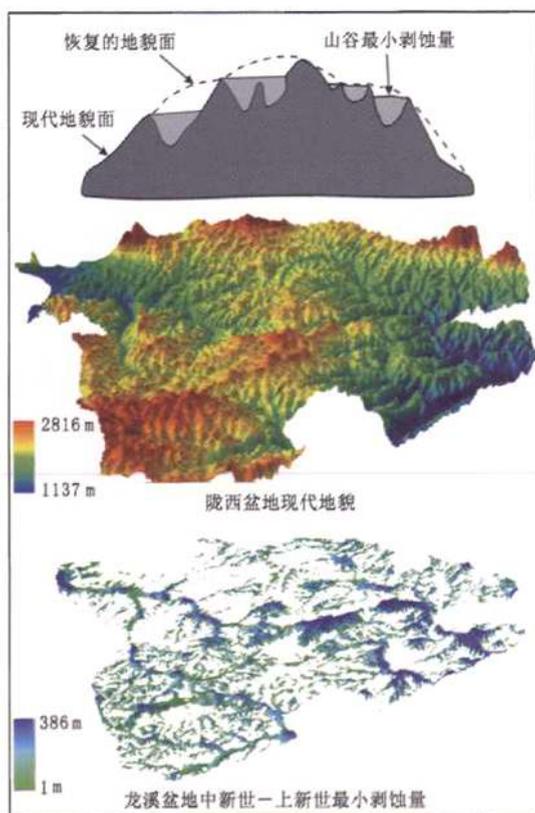
Key words: ETM imagine; Desertification; Knowledge classifier; Nanchuan city

第一作者简介: 黄岩(1979 -), 男, 硕士, 主要从事资源与环境方面的研究。

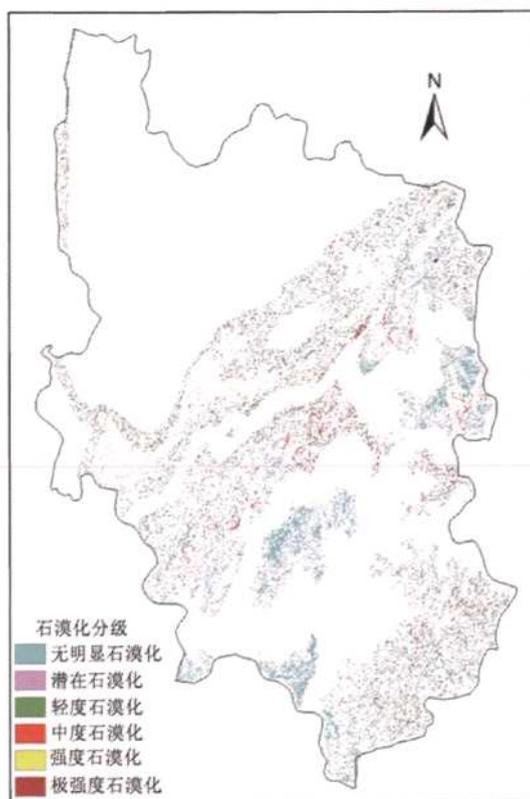
(责任编辑: 肖继春)



彩片12 青藏高原东北端典型时期古充填面恢复图



彩片13 DEM计算区域侵蚀量图一以陇西盆地为例



彩片14 南川市石漠化强度分级图

(彩片14见黄岩一文)