

基于面向对象的石漠化山区植被信息提取及分布特征研究^{*1}

郑惠茹¹ 罗红霞^{1*} 向海燕¹ 程玉丝¹ 杨任飞¹ 程全英²

(1. 西南大学地理科学学院, 重庆 400715;

2. 中国林业科学研究院资源信息研究所, 北京 100091)

【摘要】:重庆东北部地区是重庆岩溶石漠化重点治理区, 该区地形复杂, 山高坡陡, 植被退化现象严重。了解该地区的植被分布特征, 对该区环境的改善和石漠化治理具有十分重要的现实意义。基于 LandsatOLI 等数据, 运用面向对象分类方法对研究区植被信息进行提取, 然后对分类后的数据进行统计、制图和分析, 并在空间布局上进行总结和探讨, 旨在了解该区域植被的空间分布特征和规律。结果表明: (1) 在 eCognition9.0 软件中进行多尺度分割, 再结合地物类型特征使用隶属度函数法进行分类, 该方法符合山地地物类型的分布规律和特点, 分类精度达到 81.35%; (2) 研究区属典型的中山地区, 海拔在 500~1500m 之间的地区约占 64.49%, 林地和耕地是该区域主要的地物类型, 所占总面积为 8872.22km², 占研究区总面积的 96.50%, 各地物类型分布受地形地势的影响较大; (3) 综合研究区地形因子(高程和坡度)与植被分布的相关性可知, 耕地和草灌主要分布在高程为 200~1500m 且坡度等级在 2~4 级(5°~35°)之间, 该区域人类活动频繁, 故受人类活动影响较大, 植被覆盖度低, 群落生长不稳定, 容易受到干扰。针阔混交林主要分布在高程>500m 且坡度等级在 2~4 级(5°~35°)之间。马尾松林、阔叶林和柏木林主要分布在高程大于 500m 且坡度等级在 2~5 级(5°~45°)之间。

【关键词】:多尺度分割; 面向对象分类; 地形因子; 植被空间分布

【中图分类号】:Q948 **【文献标识码】**:A **【文章编号】**:1004-8227(2018)03-0648-10

DOI:10.11870/cjlyzyyhj201803021

石漠化是中国西南喀斯特地区最严重的生态问题之一, 植被恢复又是喀斯特地区进行生态重建和石漠化治理的首要任务^[1]。在对岩溶区的研究过程中, 国外的学者主要侧重于对岩溶地区植物生态系统的多样性及生态系统中生物多样性演变研究、岩溶脆弱生态环境成因机理以及该系统碳循环及其全球效应等方面的研究。而国内学者则更侧重于对岩溶森林形成的原因、植被群落演替的基本特征、规律以及与之相关的土壤、种子库等方面的研究。现代学者在传统研究的方法基础上, 结合了许多学科如数学模型、地理学方法、物理学方法等, 实现了植被研究由定性到定量, 从一维到多维, 从线性到非线性的转变, 为植被研究注入了新方法, 开创了有关植被研究的新思路^[2~4]。如王代麟、宋同清等学者对岩溶区植被的研究主要集中在用生态学方法结合其他野外调查数据对岩溶区植被的物种组成、空间分布特征和变化规律及分析植被退化的自然、人为因素等方面的研究^[5~10]。

¹ 收稿日期:2017-05-01; 修回日期:2017-05-30

基金项目:国家自然科学基金(41201436)

作者简介:郑惠茹(1990~), 女, 硕士研究生, 主要从事遥感与地理信息系统应用研究。E-mail:zhenghui1990@126.com

*通讯作者 E-mail:tam_7236@swu.edu.cn

随着遥感技术和计算机技术的迅速发展,利用遥感影像数据进行植被信息提取是一种有效的技术手段。由于岩溶区地质背景条件、地理环境和生物分布特性,森林植被普遍存在“同物异谱”、“异物同谱”现象,采用传统方法进行植被信息提取效果不佳。面向对象的信息提取方法突破了传统基于像元信息提取方法的局限性,充分挖掘隐藏在客观存在实物中丰富的空间信息,该方法是针对高分辨率影像的特点提出来的^[11],但在研究尺度较大且数据源有限的情况下,其应用受到了一定的限制。许多研究表明,面向对象的信息提取方法对中分辨率影像的地物提取效果也明显优于基于像元的提取效果^[12~14],在以往的研究中,该方法主要被用于对单一地物类型如灌木林、道路、水体的提取^[15~17]。本研究以重庆典型中低山区 LandsatOLI 遥感影像为基础,结合野外实地调查数据等,采用面向对象分类方法实现该区域植被类型的划分,并结合地形地势等数据对该区域的植被分布空间格局特征进行分析。

1 研究区概况与数据源

1.1 研究区概况

本文以位于重庆东北部的巫溪县、巫山县和奉节县(长江以南地区)为研究区域,地理位置介于 $108^{\circ} 44' 01'' \sim 110^{\circ} 11' 45''$ E, $30^{\circ} 29' 19'' \sim 31^{\circ} 44' 04''$ N 之间,面积约为 9194.46km^2 ,属典型的山地地形(图 1)。气候类型属亚热带湿润季风气候区,年均气温 17.2°C ,由于该区域内地貌、海拔的差异,气温垂直差异大,年降雨量在 $1100\sim 1200\text{mm}$ 之间,降水总量丰度较高,但时空分布不均,利用率低。研究区植被类型属于亚热带阔叶林区,植被类型包括针叶林、常绿阔叶林和落叶阔叶林、针阔混交林、暗针叶林、灌丛及草甸,具有明显的水平和垂直分布特征。该区域为三峡库区的腹心地带,长江横穿巫山和奉节两县,境内流域长度分别为 56.6 和 41.5km 。

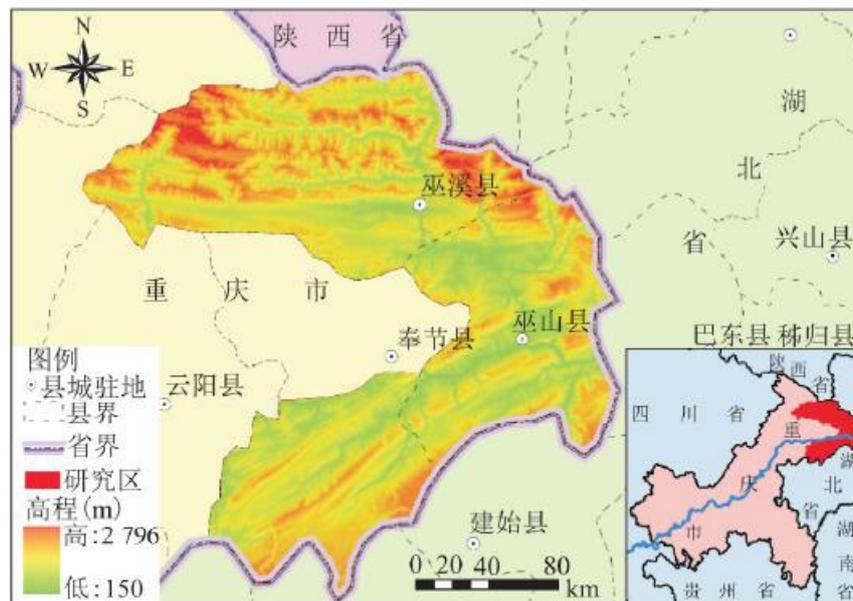


图 1 研究区地理位置图

Fig. 1 Location of the research area

1.2 数据来源

1.2.1 遥感数据产品

本研究选取成像时间为 2013 年 10 月 24 日 Landsat OLI 遥感影像(轨道号为 126/38、126/39)两景, 研究中主要运用了波长范围为 0.45~2.30 μm 的多光谱波段, 其空间分辨率为 30m, 数据来源于中国科学院计算机网络信息中心国际科学数据镜像网站(<http://www.gscloud.cn>)。运用 ENVI5.1 软件进行数据预处理, 包括辐射定标、大气校正、研究区的拼接与裁剪等。

1.2.2 其他数据产品

其他数据类型包括重庆地区 30mDEM、渝东北地区 2012 年土地利用现状图、渝东北地区植被野外调查样方数据, 遥感调查数据以及与研究有关的该区域的行政区划、交通、地质、地貌、岩性、土壤及农林等方面的资料。

2 面向对象植被信息提取与结果分析

2.1 植被分类信息提取

2.1.1 分类方案

参考吴征镒《中国植被》分类系统、1:400 万中国植被分类图及渝东北地区岩溶石漠化的主要植被类型, 确定研究区的植被遥感分类包括: 暖性针叶林: 马尾松林、柏木林; 亚热带阔叶林; 针阔混交林; 灌草, 外加非植被包括水体、人工建筑、耕地和裸地共 9 类。

2.1.2 植被特征信息提取

(1) 遥感图像光谱特征

本文根据野外实地调查和室内判读分析, 在多光谱遥感影像上提取 8 种主要地物类型的光谱响应值, 并分别统计了各地物在各波段的平均值作为波谱曲线值, 如图 2 所示。进行波段组合时, 须综合考虑波段或波段组合信息量大、相关性小和地物类型的光谱差异等因素, 从图 2 可以看出, 不同地物类型具有不同的光谱曲线, 4 种非植被类型人工建筑、耕地、水体和裸地的光谱差异较大; 4 种植被类型的光谱曲线特征相似, 在第 2 波段差异性小, 因此排除包含第 2 波段的组合, 在 3、5、6 波段差异性较大, 尤其是在第 5 波段, 主要因为该波段位于植被的高反射区, 可很好地用于植物的识别和分类。

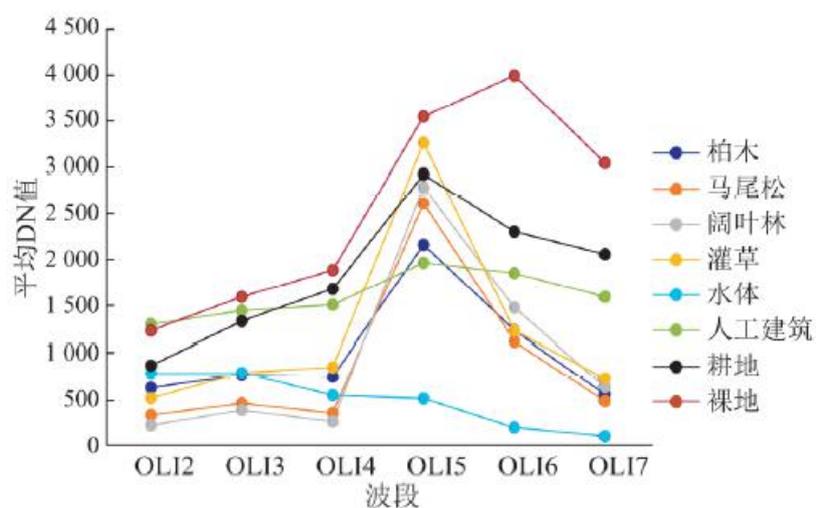


图 2 8 种主要地物类型的样本光谱曲线

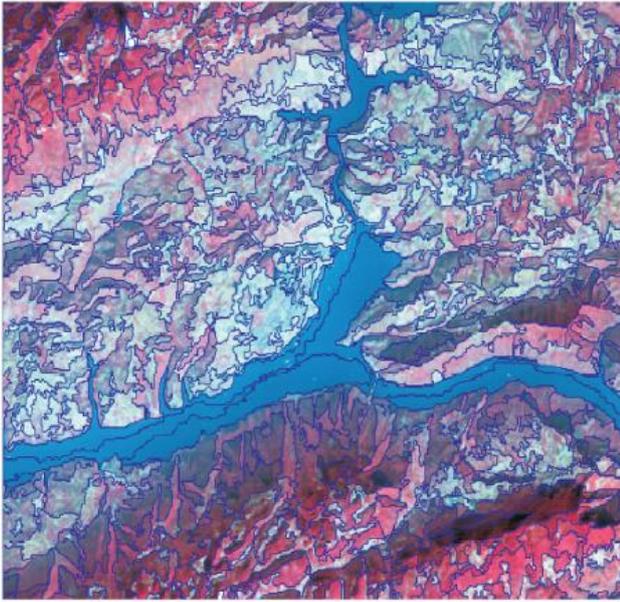
Fig. 2 Sample spectral response curve of 8 main object types

(2) 遥感图像其他特征

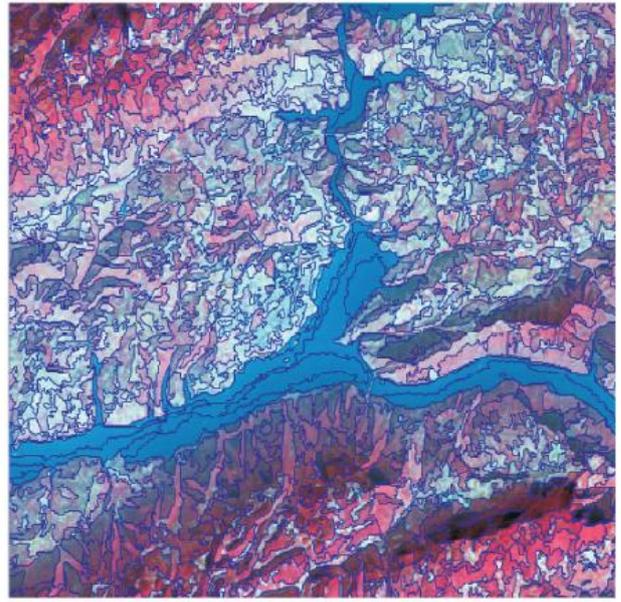
遥感影像其他特征提取包括对植被特征表现比较明显的归一化植被指数 (NDVI)、8 个纹理特征指数和缨帽变换 (K-T 变换) 后所得到的亮度值数据^[18~20]。

2.2 多尺度影像分割

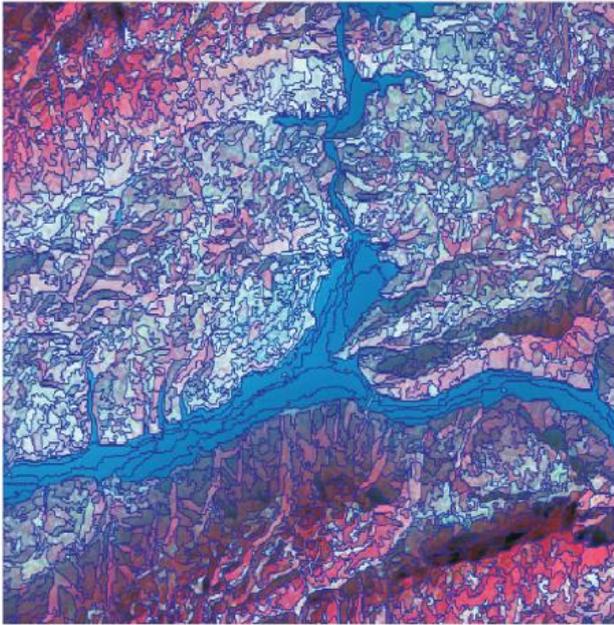
影像分割是面向对象分类的基础，分割尺度的大小直接影响了最终的分类精度^[21, 22]，根据最终分类目标的特征经过反复的试验对比，最终确定利用多尺度分割技术形成大、中、小 3 种分割尺度的分割对象，分割尺度分别为 100、60 和 40。不同分割尺度的对比效果如图 3。异质性指标由分割对象的形状因子、颜色因子、光滑度、紧促度来衡量。在 eCognition9.0 软件中输入 OLI 数据的 2~7 波段和对地物分布影响较大的 DEM 数据，分别作为输入数据的第 1~7 个波段。分割参数设置如表 1 所示。



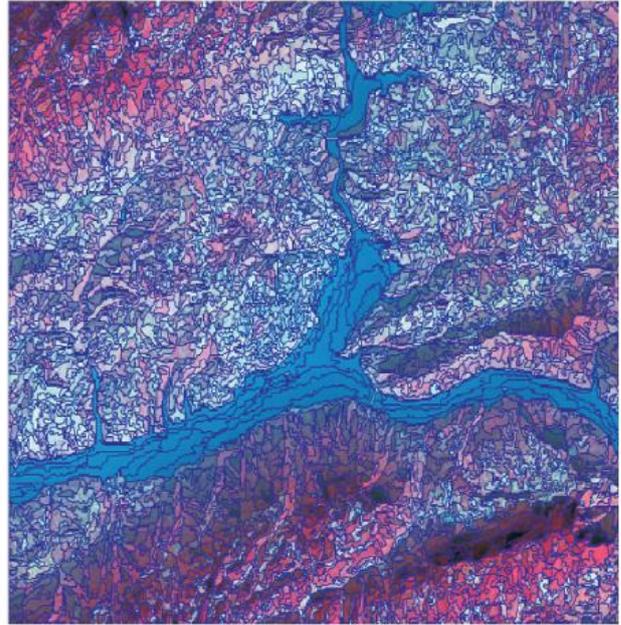
分割尺度为150



分割尺度为100



分割尺度为60



分割尺度为40

图 3 不同分割尺度效果图

Fig. 3 Comparison of the segmentation results with different scales

表 1 多尺度分割权重因子设置

分割层	分割尺度	颜色参数色彩	现状参数	波段权重
-----	------	--------	------	------

		现状		光滑度	紧致度	
Level 1	100	0.9	0.1	0.6	0.4	1, 2, 2, 2, 1, 1, 0
Level 2	60	0.9	0.1	0.7	0.3	1, 2, 2, 2, 1, 1, 0
Level 3	40	0.8	0.2	0.6	0.4	1, 2, 2, 2, 1, 1, 0

2.3 影像分类与结果

通过使用隶属度函数法，结合地物特征，对经过多尺度分割所形成的同质对象进行规则集的建立，根据分类目标确定分类层次网络结构中的父类和子类，父类通过大尺度分割获得而子类通过小尺度分割获得，子类继承父类的特征，使分类更加便捷和精确^[23~26]。

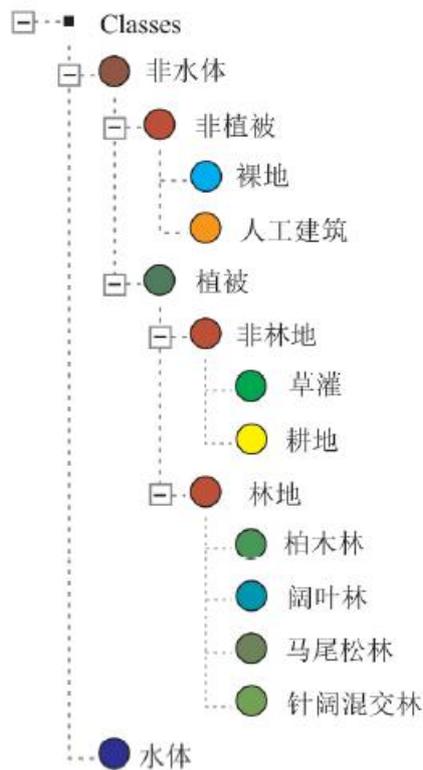


图4 地物提取层次图

Fig. 4 Feature extraction hierarchy

Level1层是利用近红外波段值和NDVI值来提取水体、植被区和非植被区。Level2层是在Level1层基础上，将分割尺度转

换为 60，完成对植被区域(林地和非林地)和非植被区域(人工建筑和裸地)内地物类型的区分。在植被区域，林地和非林地的区分一般根据影像对象的 NDVI 值和亮度值。由于耕地种植作物，会将耕地错分在了植被区域的非林地部分。非林地部分主要包括草灌和耕地，根据耕地纹理信息单一和其一般分布在坡度小于 45° 的区域的特点提取出耕地后，草灌部分取反即可获得。在非植被区域主要区分人工建筑和裸地，该地区地势崎岖，除城镇区域人工建筑聚集分布外，其他地方的人工建筑均散布在耕地周围，提取困难，可借助归一化建筑指数 NDBI 辅助进行提取。裸地的亮度值比人工建筑要高很多且形状纹理单一，可以很容易地区分。Level3 层是在 Level2 层的基础上，将分割尺度转换为 40，区分出林地中的具体地物，即实现林地中二级类的提取。林地主要包括针叶林(马尾松林和柏木林)、阔叶林和针阔混交林。针叶林在标准假彩色影像上呈暗红色，而阔叶林呈鲜红色，且纯阔叶林的 NDVI 值高于纯针叶林。针叶林中的马尾松林和柏木林 NDVI 值相似，但渝东北的柏木作为治理该地区岩溶石漠化的主要树种，一般都为人工种植或者飞机撒种，排列整齐但很稀疏，生长缓慢，而马尾松林长势较好，剩下的即为针阔混交林。地物提取的层次顺序如图 4 所示，各层提取指标如图 5 所示。在 e Cognition 软件中对提取结果进行同类地物合并(Mergeregion)处理和消除小斑点(Remove objects)处理后，最终得到该地区的地物类型分布图，如图 6 所示。

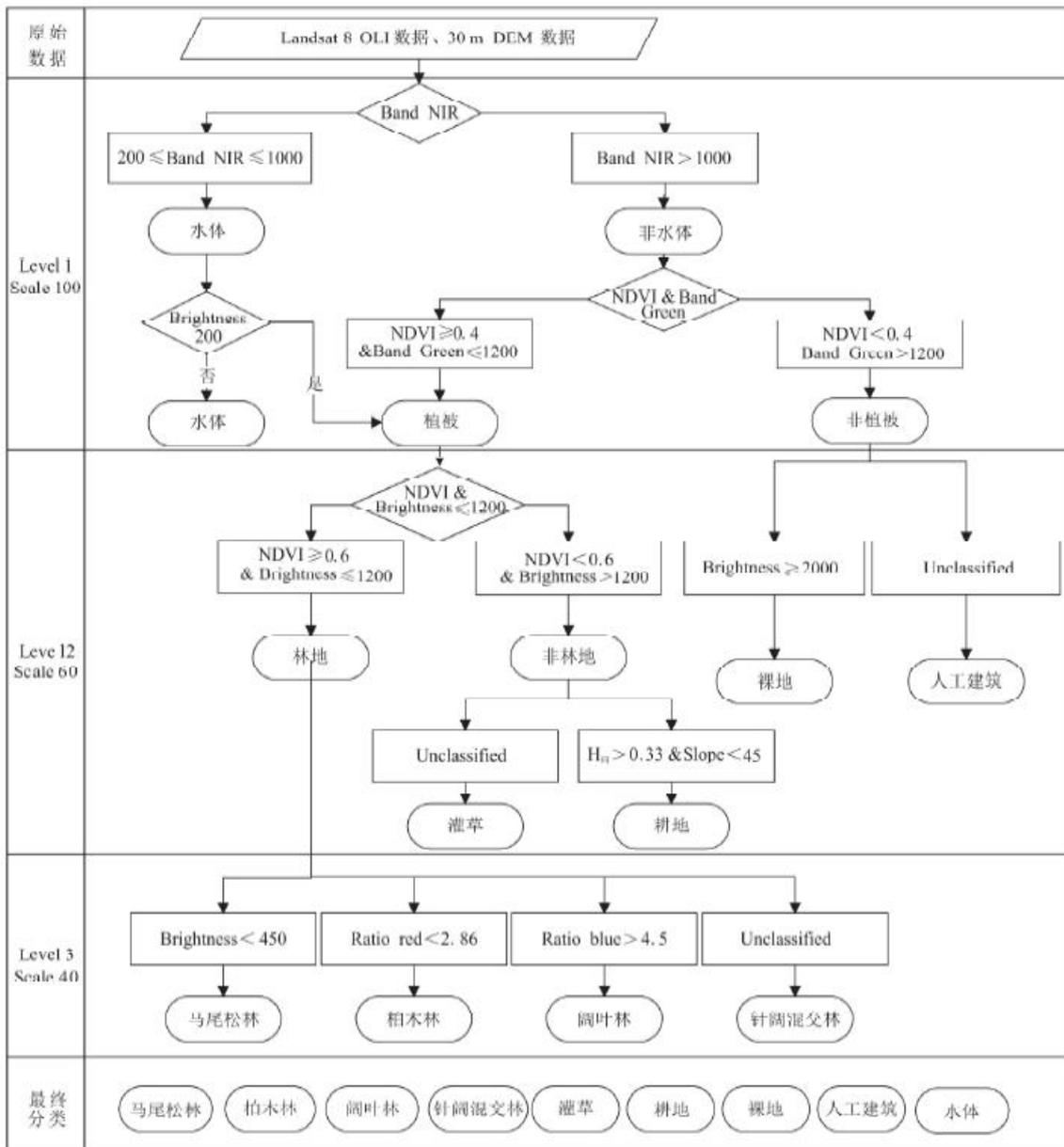


图 5 多层次分类规则

Fig. 5 Multi-levels classification rules

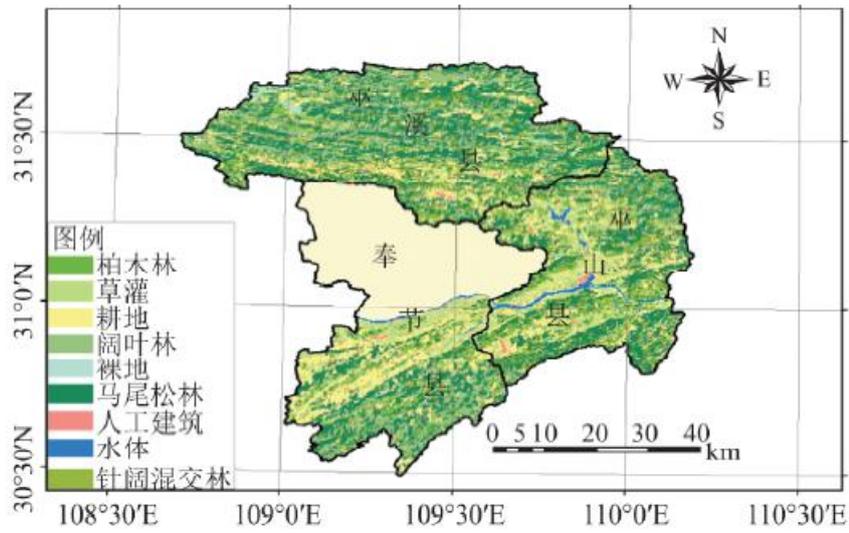


图 6 研究区分类图

Fig. 6 Classification results of the study area

2.4 分类精度评价

验证样本点主要来源于研究区野外实地调查数据所收集到的实测资料，区县国土资源局提供的该地区 2012 年土地利用现状图数据，林业部门提供的研究区森林资源调查专题矢量图，根据野外实测点并参照 GoogleEarth 提供的 Quickbird 高空间分辨率卫星影像图确定的遥感估算点等参考数据，使用随机采样法在研究区内均匀地选取 229 个检验样本点，确定经纬度位置并逐个目视判读确定像元点的实际类别，建立混淆矩阵对分类结果进行精度评价，验证样本点如图 7 所示，精度评定结果如表 2 所示。

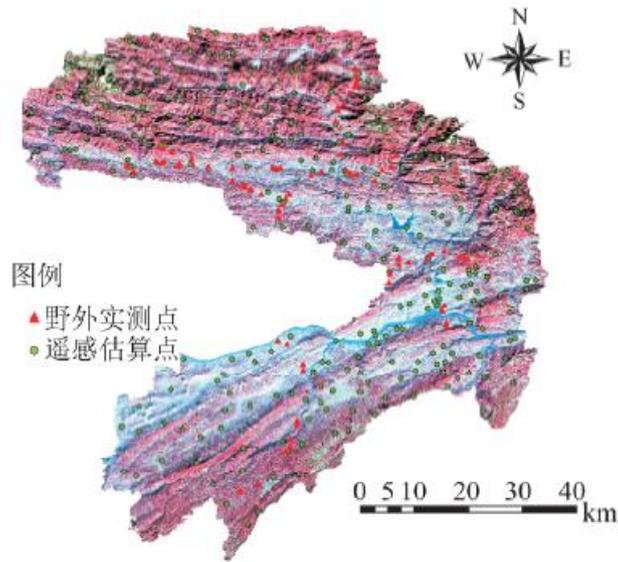


图 7 研究区的验证样本点分布

Fig. 7 Sample point distribution in the study area

表 2 基于面向对象的分类误差矩阵

类别	马尾松林	柏木林	阔叶林	针阔混交林	草灌	耕地	人工建筑	水体	裸地	Sum	错分误差 (%)	用户精度 (%)
马尾松林	30	1	2	3	1	0	0	0	0	37	18.92	81.08
柏木林	1	24	1	0	1	0	0	0	0	27	11.11	88.89
阔叶林	7	1	18	3	3	0	0	0	0	32	43.75	56.25
针阔混交林	3	1	2	25	0	0	0	0	0	31	19.35	80.65
草灌	0	1	0	0	32	3	0	0	0	36	11.11	88.89
耕地	0	0	0	0	5	23	3	0	0	31	25.8	74.2
人工建筑	0	0	0	0	0	2	12	0	1	15	20	80
水体	0	0	0	0	0	0	0	12	0	12	0	1
裸地	0	0	0	0	0	0	0	0	8	8	0	1

Total	41	28	23	31	42	28	15	12	9	229
漏分误差 (%)	26.83	14.29	21.74	19.36	23.8	17.86	20	0	11.11	
制图精度 (%)	73.17	85.71	78.26	80.64	76.2	82.14	80	1	88.89	
总体精度: 81.35%					Kappa 数: 0.7742					

从表 2 可知, 面向对象分类方法分类精度为 81.35%, Kappa 系数为 0.7742, 其中马尾松、柏木、针阔混交林、草灌、人工建筑的分类精度均在 80% 以上。这说明面向对象的分类方法综合运用了反映地物特征的纹理信息、几何信息以及对地物分布影响较大的 DEM、坡度等, 更符合山地地物类型的分布规律和特点, 基本满足中分辨率遥感影像对山区植被二级类别的提取。

2.5 植被空间分布格局特征分析

2.5.1 植被空间分布格局

通过对地形因子和分类结果图的统计分析, 研究区属于典型的中山地区, 海拔在 500~1500m 之间的地区约占 64.49%, 各地物类型分布受地形地势的影响较大。林地和耕地是该区域主要的地物类型, 总面积为 8872.22km², 占研究区总面积的 96.50%。经调查发现, 马尾松林一般生长在海拔高且受人为干扰较小的地方, 成林面积大, 一般混杂着少许杉木。柏木多稀疏分布在荒坡上, 生长缓慢, 基本未成林, 所以在中分辨率遥感影像上很难提取出来, 通常会将柏木幼苗归类到灌草当中, 例如自巫山县县城往西的长江两岸均为裸露的石山, 是石漠化的难治理区, 灌草丛生, 只有在坡度较平缓的地方才有人工种植的比较稀疏的柏木。针阔混交林作为针叶林和阔叶林的过渡林, 会因所混物种种类、比例等不同因素而有明显的差异, 无法用统一的特征和规律来进行描述。阔叶林由生长在土壤水分条件较好的天然林和由坡耕地改造的人工经济林, 如板栗林、李树林等组成。耕地通常分布于人工建筑(居民地)附近, 且坡度一般小于 45° 的地方, 主要种植玉米、大豆、红薯、水稻等农作物。草灌一般为退耕还林初期的撂荒地或生长在人为因素影响较大的地方。人工建筑临江河而建或者聚集在地势较为平坦的地区, 例如巫山县、奉节县县城都位于长江主干道两侧, 巫溪县县城位于大宁河畔。

2.5.2 海拔与植被空间分布

研究区高差大, 随着海拔的上升, 气温、土壤、湿度等都会有明显的变化, 不同海拔会生长适应特定环境的植被物种。根据植被垂直分布带谱特征和研究区植被的特点, 将高程数据重分类为 5 级(图 8): 小于 200、200~500、500~1000、1000~1500 和大于 1500m。根据面积-频度计算公式得到研究区高程-面积的频度统计表如图 9, 其中横坐标代表高程的分级梯度, 纵坐标代表 P(各地类面积所占研究区总面积的百分数)取对数后的值。各植被类型分布在垂直方向上表现为: 耕地和草灌在海拔小于 1000m 出现的频度最高, 该海拔范围也是人类活动频繁区域。而在海拔大于 1000m 的地区, 耕地和草灌的频度迅速减小, 而林地频度迅速增加并占据主导地位。在所有林地类型中, 海拔在 500~1500m 之间, 马尾松林、阔叶林、针阔混交林占据绝对的优势; 柏木林的分布面积最小, 在海拔大于 1000m 之后, 随着海拔的增加频度减小。结合野外样方数据和调查数据可知: 该地区海拔在 800m 以下地区主要为榆、柏、女贞、泡桐、栎树、檫木、马桑、黄荆、油桐、白杨以及刺槐等树种; 海拔在 800~1500m 之间的地区多为柏树、马尾松、栓皮栎、麻栎等栎类树种以及杉木、核桃、杜仲、厚朴等经济树种, 林下灌丛为铁仔、马桑、黄荆、

杜鹃等；海拔在 1500m 以上的地区，主要有华山松、油松、巴山松等取代马尾松，冷杉、云杉、巴山冷杉及漆树成为主要的针叶林树种，阳坡面还夹杂分布着桦树林和山杨林，林下有箭竹、大叶杜鹃、蔷薇等灌木。

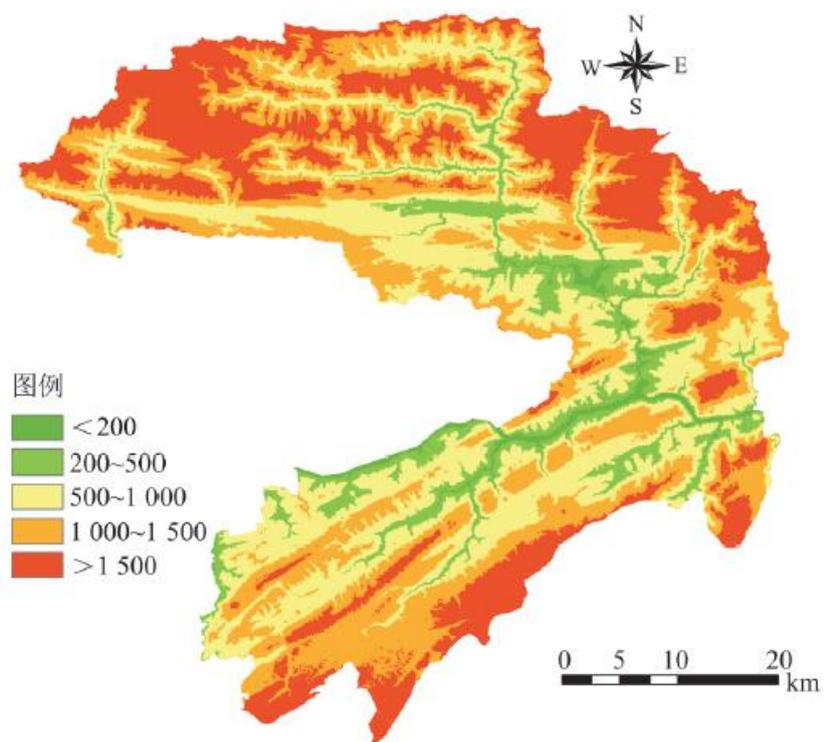


图 8 高程分级图

Fig. 8 Classifier grade of elevation

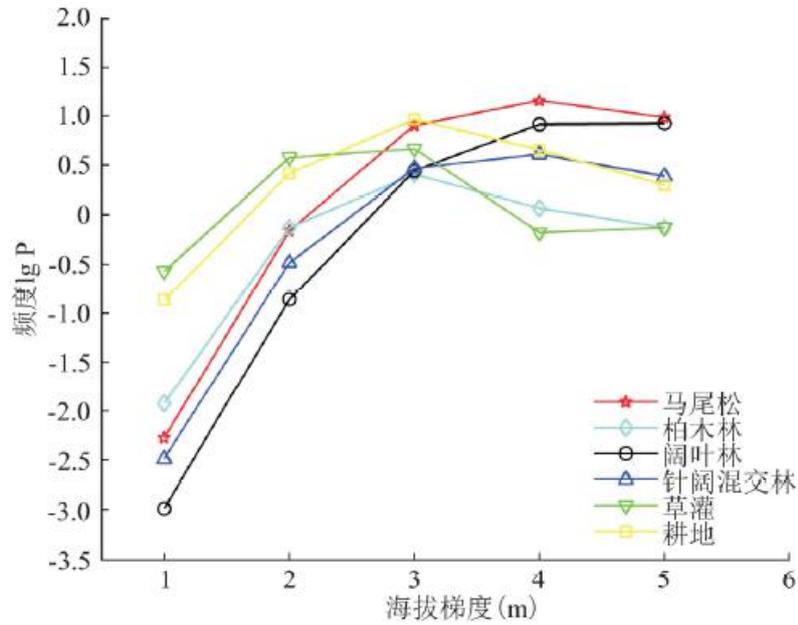


图9 不同高程下的面积_ 频度分布

Fig. 9 Area frequency distribution in different elevation grade

2.5.3 坡度与植被分布

坡度不同，导致土壤、水分、温度和热量的积累有显著差异，同时坡度的变化也从一定程度上反映了人为干扰的强度，一般来说，坡度越大，人为干扰越小。由坡度变化所引起的生境条件变化和人为干扰程度共同影响着坡面上的地物类型及其分布。参照山地坡度分级和坡度影响土地利用的方式和程度，将坡度数据分为6个等级，如图10所示，即微坡(0°~5°)、缓坡(5°~15°)、斜坡(15°~25°)、陡坡(25°~35°)、急坡(35°~45°)、险坡(>45°)。从分布在各等级坡度上的各种地物类型来看(图11)，水体、人工建筑主要分布在坡度小于15°的微坡和缓坡上。耕地主要分布在坡度小于35°的微坡、缓坡和斜坡上，根据《水土保持法》规定，坡度大于25°的地方要实行退耕还林，表明该地区的耕地还存在大量陡坡耕种的现象，加上该地区人们不合理的土地利用方式，诸如毁林(草)开荒、过度放牧、过度樵采等行为，减缓了该地区植被恢复的进程。马尾松林、柏木林、阔叶林、针阔混交林和草灌主要分布在坡度大于5°而小于35°的缓坡、斜坡和陡坡上，说明研究区植被类型适宜在这3种坡度上生长，所以后期的植树造林工程中应尽量选在这3种坡度上进行。耕地、草灌和林地分布的频度与坡度变化有很强的相关性，总体变化趋势相似，表现为坡度小于25°时呈正相关，而坡度大于25°时呈负相关，具体表现为耕地和马尾松林在1、2级坡度(0°~15°)出现的频度最高，阔叶林、针阔混交林和草灌次之。草灌在2、3级坡度(5°~25°)出现的频度最高，之后随坡度的增大而逐渐减小。林地在坡度大于25°之上占据明显的优势，代表的植被类型有马尾松林和阔叶林。

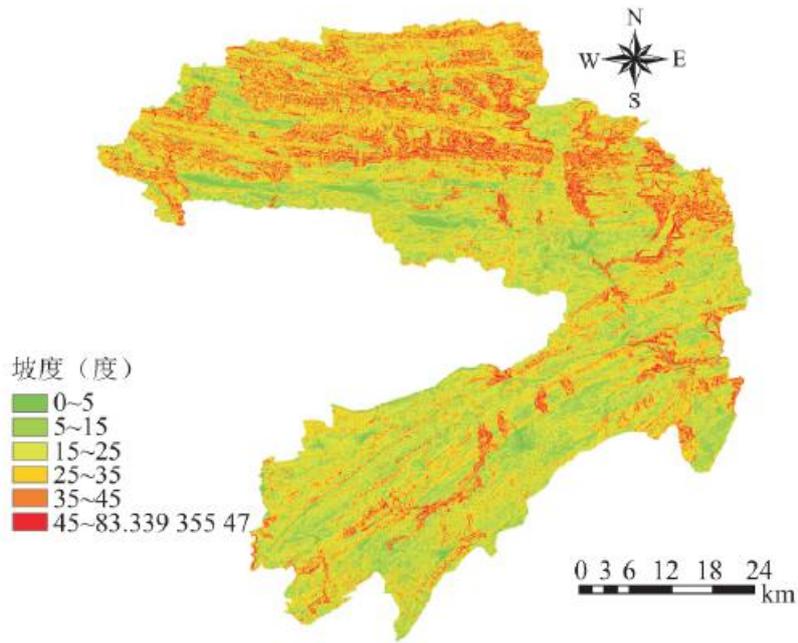


图 10 坡度分级图

Fig. 10 Classifier grade of slope

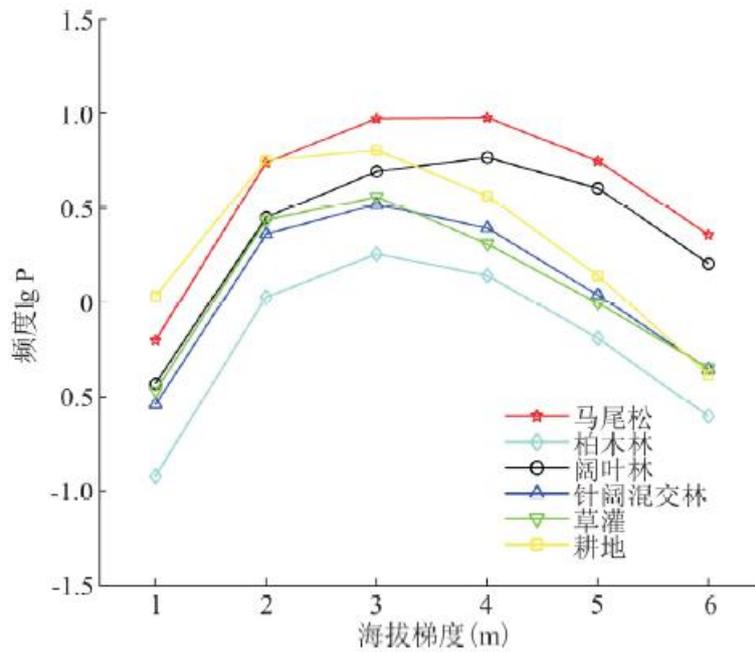


图 11 不同坡度下的面积_ 频度分布

Fig. 11 Area frequency distribution in different slope grade

3 结论与讨论

3.1 结论

本文在“3S”技术的支持下,综合分析和运用遥感影像数据、野外调查数据、土地利用现状图等数据,使用面向对象的分类方法实现中分辨率遥感影像的信息提取,并对该地区的植被空间分布特征进行分析。得到以下结论:

(1)针对中分辨率遥感影像数据源和研究区范围大、地形地势复杂、图斑破碎的实际情况和为实现各类地物边界完整提取的要求,本文通过使用面向对象的分类方法,充分挖掘并利用隐藏在遥感影像中的深层信息,避免了仅使用像元信息造成的孤立化分析,消除斑点噪音,提高了分类精度,使得总体的分类精度达到了81.35%。

(2)综合研究区地形因子(高程和坡度)与植被分布的相关特征可知,耕地和草灌主要分布在高程为200~1500m且坡度等级在2~4级(5° ~ 35°)之间,该区域人类活动频繁,故受人类活动影响较大,植被覆盖度低,群落生长不稳定,容易受到干扰。针阔混交林主要分布在高程 $>500\text{m}$ 且坡度等级在2~4级(5° ~ 35°)之间,马尾松林、阔叶林和柏木林主要分布在高程大于500m且坡度等级在2~5级(5° ~ 45°)之间。植被生境条件进一步反映了植被进化的方向,虽然该地区以林地为主,但大多数都属于原生植被遭破坏后的次生林,生物群落结构不完整,稳定性差,植被一旦破坏很难恢复。研究区中的大多数植被生长在岩溶区中的潜在石漠化区,由于坡度为 35° ~ 50° 之间为水土流失较严重区域,进一步导致了该坡度区域范围内植被群落的不稳定性。因此,在该地区进行石漠化治理和生态恢复时,应考虑水土保持方面的因素,通过保水保土工程、引入对该地区生境环境适应性强的马尾松、柏木等措施,将更有利于该地区植被生态系统的稳定和形成。

3.2 讨论

(1)由于数据源的局限性(分辨率较低且云量较多)和受地形地势限制,对野外采样数据质量的产生了较大影响,给室内解译工作造成了一定的局限性困扰,例如阔叶林群落没有给出具体的建群种,草本群落和灌丛群落因为没有办法区分而只能合并为灌草群落。在之后的研究中,可通过将多源数据进行结合,挖掘更深层的地物特征信息,在满足地物目标提取同时提高分类精度。

(2)根据该地区的地形地势和植被分布特征可知,该区是喀斯特水土流失的敏感性区域。所以该地区进行石漠化治理的首要任务是在特殊的岩溶地质背景条件下,基于保水保土基础上的植被恢复,在减小对地面侵蚀强度的同时种植具有多种植被类型的分层次结构的植被群落,增加生物多样性的同时,使植被、水土之间形成一个相互促进的过程和格局。

(3)渝东北各区县应根据各种地物的分布特征,以小流域为基本的设计和处理单元,按照统筹安排、先易后难、分类治理的原则,科学地选择治理的区域和措施。具体的治理模式为:①生态脆弱区以种植林草植被措施为主,恢复和保护现有植被;②缓坡区实施坡耕地综合治理工程,提高土地生产力;③产业区实施经果林建设工程,提高农民收入和生活水平;④畜牧区实施草食畜牧工程,转变畜牧产业生产方式。

参考文献:

[1] 李先琨,何成新. 西部开发与热带亚热带岩溶脆弱生态系统恢复重建[J]. 农业系统科学与综合研究. 2002, 18(1):13-16.

LI X K, HE C X. Comprehensive development of western China and ecological rehabilitation and reconstruction in tropical and subtropical karst regions [J]. System sciences and Comprehensive Studies in Agriculture, 2002, 18(1): 13-16.

[2] 彭少麟, 郭志华, 王伯荪. RS 和 GIS 在植被生态学中的应用及其前景 [J]. 生态学杂志, 1999, 18(5) : 52—64.

PENG S L, GUO Z H, WANG B S. Application of RS and GIS on terrestrial vegetation ecology [J]. Chinese Journal of Ecology. 1999, 18(5) : 52—64.

[3] NAKASHIZUKA T. Forest canopy structure analyzed by using aerial photographs [J]. Ecological Research, 1995, 10: 13 —18.

[4] 熊康宁, 周文龙, 龙健, 等. 喀斯特石漠化综合治理区表层土壤有机碳时空动态特征与趋势探讨 [J]. 中国岩溶, 2011, 30(4) : 383—390.

XIONG K N, ZHOU W L, LONG J, et al. Spatial-temporal dynamic features and tendency of the topsoil organic carbon in integrated rehabilitating Karst rocky desert [J]. Carsologica Sinica, 2011, 30(4) : 383—390.

[5] 王代麟, 容丽, 梅再美, 等. 喀斯特石漠化生态治理区结构与物种多样性研究 [J]. 水土保持通报, 2005, 25(2) : 31—35.

WANG D L, RONG L, MEI Z M, et al. Structure and Species diversity of artificial vegetation in rocky desertification areas [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2005, 25(2) : 31 —35.

[6] 宋同清, 彭晚霞, 杜虎, 等. 中国西南喀斯特石漠化时空演变特征、发生机制与调控对策 [J]. 生态学报, 2014, 34(18) : 5328—5341.

SONG T Q, PENG W X, DU H, et al. Occurrence, spatialtemporal dynamics and regulation strategies of Karst rocky desertification in southwest China. Acta Ecologica Sinica, 2014 34(18) : 5328—5341.

[7] 郭红艳, 王月荣, 卢琦, 等. 岩溶石漠化地区生态系统服务价值评价——以金沙县为例 [J]. 中国岩溶, 2013, 32(2) : 211—217.

GUO H Y, WANG Y R, LU Q, et al. Assessment on the ecoservice value in Karst rocky desert: a case study in Jinsha County [J]. Carsologica Sinica, 2013, 32(2) : 211—217.

[8] 李阳兵, 王世杰, 容丽. 不同石漠化程度岩溶峰丛洼地系统景观格局的比较 [J]. 地理研究, 2005, 24(3) : 371—377.

LI Y B, WANG S J, RONG L. A comparative researches on landscape pattern changes in different rock desertification peak cluster—depressions [J]. Geographical Research, 2005, 24(3) : 371—377.

[9] 王宇, 张贵. 滇东岩溶石山地区石漠化特征及成因 [J]. 地球科学进展, 2003, 18(6) : 933—938.

WANG Y, ZHANG G. On the desertification and genesis of Karst stone mountain area in east Yunnan [J]. Advance in Earth Sciences, 2003, 18(6) : 933—938.

[10] 郑惠茹, 罗红霞, 邹扬庆, 等. 基于地学信息图谱的重庆岩溶石漠化植被恢复演替研究 [J]. 生态学报, 2016, 36(19) : 6295—6307.

ZHENG H R, LUO H X, ZOU Y Q, et al. Quantifying vegetation in a karst rocky desertification area in Chongqing based on Geo-informatic Tupu [J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(19) : 6295—6307.

[11] 张慧惠. 面向对象的高分辨率遥感影像森林植被信息提取 [D]. 北京林业大学, 2012.

ZHANG H H. Study on extraction techniques for forest vegetation information based on high spatial resolution remote sensing image [D]. Beijing Forestry University, 2012.

[12] 何宇华, 史良树, 张荣慧, 等. 中巴资源卫星数据 (CBERS-02) 在土地调查中的应用 [J]. 中国土地科学, 2007, 21(2) : 51—57.

HE Y H, SHI L S, ZHANG R H, et al. Application research of CBERS-02 data in land-use survey. China Land Science, 2007, 21(2) : 51—57.

[13] 韩闪闪, 李海涛, 顾海燕. 面向对象的土地利用变化检测方法研究 [J]. 遥感应用, 2009(3) : 23—29.

HAN S S, LI H T, GU H Y. The study on land use change detection based on object-oriented analysis [J]. The Application of Remote Sensing, 2009(3) : 23—29.

[14] 陈彬, 于秀波, 刘宇. 基于中低分辨率遥感影像的分类方法对比研究——以潘阳湖水鸟栖息地遥感分类为例 [J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(11) : 1834—1842.

CHEN B, YU X B, LIU Y. Comparison research on classification methods based on medium-low resolution remote sensing image—A case study of habitats extraction in Poyang Lake [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2015, 24(11) : 1834—1842.

[15] 许高程, 毕建涛, 王星星, 等. 面向对象的高分辨率遥感影像道路自动提取试验 [J]. 遥感信息, 2012, 2(2) : 108—111.

XU G C, BI J T, WANG X X, et al. Object-based urban road auto extraction from high resolution imagery [J]. Remote Sensing Information, 2012, 2(2) : 108—111.

[16] 张超, 黄清麟, 朱雪林, 等. 基于 ETM+和 DEM 的西藏灌木林遥感分类技术 [J]. 林业科学, 2011, 47(1) : 15—21.

ZHANG C, HUANG Q L, ZHU X L, et al. Remote sensing classification technique of shrub in Tibet based on ETM+ and DEM [J]. Scientia Silvae Science, 2011, 47(1) : 15—21.

[17] MARTHA T R, KERLE N, JETTEN V, et al. Characterising spectral, spatial and morphometric properties of landsliders for semi-automatic detection using object-oriented methods [J]. Geomorphology, 2010, 116(1) :

[18] WANG Q, TENHUNEN JOHN D. Vegetation mapping with multi temporal NDVI in North Eastern China Transect [J]. International Journal of Applied Observation and Geo information, 2004, 6: 17-31.

[19] 冯建辉, 杨玉静. 基于灰度共生矩阵提取纹理特征图像研究 [J]. 北京测绘, 2007, 3(5) : 19-22.

FENG J H, YANG Y J. Study of texture images extraction based on gray level cooccurrence matrix [J]. Beijing Surveying and Mapping, 2007, 3(5) : 19-22.

[20] 张景奇, 关威, 孙萍, 等. 基于 K-T 变换的地表水体信息遥感自动提取模型 [J]. 中国水土保持科学, 2011, 9(3) : 88-92.

ZHANG J Q, GUAN W, SUN P, et al. Automatic water bodies extraction model based on K-T transformation [J]. Science of Soil and Water Conservation, 2011, 9(3) : 88-92.

[21] 黄慧萍, 吴炳方. 地物大小、对象尺度、影像分辨率的关系分析 [J]. 遥感技术与应用, 2006, 21(3) : 243-248.

HUANG H P, WU B F. Analysis to the relationship of feature size, objects scales, image resolution [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2006, 21(3) : 243-248.

[22] 杨海平, 明冬萍. 综合多层优选尺度的高分辨率影像分割 [J]. 地球信息科学学报, 2016, 18(5) : 632-638.

YANG H P, MING D P. Optimal scales based segmentation of high spatial resolution remote sensing data. Journal of Geo-information Science, 2016, 18(5) : 632-638.

[23] 买买提·沙吾提, 塔西普拉提·特依拜, 丁建丽. 面向对象的干旱区盐渍地信息提取方法研究 [J]. 中国沙漠, 2013, 33(5) : 1586-1592.

MAMAT SAWUT, TASHPOLAT TIYIP, DING J L, et al. Object-oriented information extraction method for soil salinization in arid area [J]. Journal of Desert Research, 2013, 33 (5) :1586-1592.

[24] 郭琳, 裴志远, 吴全, 等. 面向对象的土地利用植被遥感分类方法与流程应用 [J]. 农业工程学报, 2010, 26(7) : 194-198.

GUO L, PEI Z Y, WU Q, et al. Application of method and process of object-oriented land use-cover classification using remote sensing images [J]. Transactions of CSAE, 2010, 26(7) : 194-198.

[25] 曹小敏, 李爱农, 雷光斌, 等. 尼泊尔土地覆被遥感制图及其空间格局分析 [J]. 地球信息科学学报, 2016, 18(10) : 1384-1398.

CAO X M, LI A N, LEI G B, et al. Land cover mapping and spatial pattern analysis with remote sensing in Nepal

[J] . Journal of Geo-information Science, 2016, 18(10) : 1384—1398.

[26] 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 X D, YANG G B, LI M, 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.