

文章编号:1001-4810(2009)03-0300-08

喀斯特生态环境敏感性评价 ——以都匀市为例

李荣彪¹, 洪汉烈², 殷科², 李阳兵³, 杨广斌³, 安裕伦³

(1. 凯里学院旅游与经济发展学院, 贵州 凯里 556000; 2. 中国地质大学地球科学学院, 湖北 武汉 430074;
3. 贵州师范大学地理与生物科学学院, 贵州 贵阳 550001)

摘要:以都匀市为例,选取地层岩性、地形坡度、植被覆盖、土地利用类型、人口密度和农民年人均纯收入等6个评价指标,利用3S技术对各评价因子进行量化提取,建立空间分析模型,并对各评价指标进行空间叠合分析,划分出研究区域生态环境敏感性等级,再根据其区域空间分布特征,分别作出相应的分级评价分析。结果表明,强度生态敏感面积为75.23 km²,占全市总面积的3.30%,中度敏感面积为228.32 km²,占全市面积的10.02%,轻度敏感面积为902.11 km²,占全市面积的39.60%,微度敏感面积为841.00 km²,占全市面积的36.92%;非敏感面积为231.35 km²,占全市面积的10.16%。同时,研究发现,喀斯特生态环境敏感性是人为活动长期对喀斯特山区频繁干扰的结果。

关键词:3S技术;喀斯特生态环境;敏感性评价;空间分析;都匀市

中图分类号:S181 **文献标识码:**A

0 引言

生态脆弱性是某些生态系统固有的属性,与外在干扰的存在与否并无直接的联系^[1],而人类活动等外界干扰的存在却加速这一脆弱过程和加深了脆弱性程度。生态环境敏感性是相对于外界干扰的概念,是表征人为活动为主的外界对脆弱生态环境干扰而可能产生的生态变异或出现环境问题的大小^[2-4]。脆弱性的存在使得生态系统产生更高的敏感性,但敏感性并非等同于脆弱性,敏感性大的区域不一定脆弱性也高。

喀斯特生态环境敏感性是指特定时空尺度上,生态环境脆弱的岩溶山区,其生态系统在各种人类活动和环境变异等干扰时产生生态失衡与生态环境问题的概率大小^[4],是这种特定生态系统相对于外界干扰时产生的一种响应程度^[5]。因此,在进行敏感性研究时必须充分考虑人为活动对生态环境的影响。

喀斯特生态环境敏感性已有不少研究^[6-10],并取得一定的成果,但还存在着一些不足。如有一些生态环境敏感性分析与评价,概念很模糊,甚至把生态环境的脆弱性与敏感性等同起来看待,对生态环境敏感性评价的指标选择及其等级划分等方面直接套用脆弱性的“模板”。因此,本文以都匀市为例,考虑喀斯特脆弱生态环境特殊性,顾及人为活动的影响,从喀斯特生态环境的主导因子入手,拟订具有喀斯特山地特点的生态环境敏感性评价指标体系,在3S技术支持下,对各参评因子进行量化分级,通过数学模型来实现空间融合分析,并作出相应的敏感性分级评价,旨在为喀斯特山区脆弱生态环境的规划治理与区域资源开发利用提供更为科学依据。

1 研究区域概况

都匀市位于贵州南部偏东地区,苗岭山脉南侧,

基金项目:国家自然科学基金项目(40872038)

第一作者简介:李荣彪(1983-),男,硕士,研究方向:生态环境遥感与GIS。E-mail: lrbiao@yahoo.com.cn.

收稿日期:2008-07-19

东西长64 km,南北宽63 km,总面积2 278 km²,海拔540~1 961 m,平均为938 m。地势北部和西部高,南部和东部低。地貌类型复杂多样,山地占全市总面积的82.83%,有部分丘陵(13.49%)和极少盆地(3.66%)分布。山地几乎遍布整个都匀,丘陵主要分布于东北部的坝固和大坪等乡镇,盆地散布于部分山地河谷地带。境内出露的地层有泥盆系、石炭系、寒武系、三叠系和二叠系、奥陶系、志留系、第四系等,其中泥盆系和石炭系的面积最大,前者主要分布在中西部和东南部,而后者主要集中于西南区域;寒武系、二叠系和三叠系面积次于泥盆和石炭系,主要分布于东北区域和中部的南北走向带上;奥陶系和志留系主要分布在西北和东部的小部分区域,第四系主要分布在都匀市区河谷地带和西部部分小区域^[23]。碳酸盐岩类有纯的灰岩、白云岩、混合型碳酸盐岩和夹层型碳酸盐岩等,占全市总面积的79%以上,其中较纯的白云岩在境内大面积分布,西部和东南部分布最广,其它岩类镶嵌分布,在中部地区由于受到南北走向地层构造的控制,各种岩类呈南北分布。该区属亚热带高原季风湿润气候,年均温为16.1℃,年均降水量为1 431.1 mm^[21]。全市水资源较为丰富,长10 km以上的河流达31条,地表水年径流量达16.68×10⁹ m³,水系分布见图2。土地利用类型中,有林地面积最大,为1 160.42 km²,占全市总面积的51.03%,分布遍及整个都匀市;其次旱地面积为505.04 km²,占22.21%,中部与东部分布比西部更为广泛;水田面积为134.47 km²,占5.91%,主要分布在地势比较平坦的坝固、王司、大坪,以及其它区域的平坦河谷地带,东部和北部分布广于西部和南部;灌木林地与天然草地也有较广分布,面积分别为134.46 km²和134.27 km²,分别约占总面积的5.9%和5.89%,主要分布在西部乡镇,摆忙、江州、平浪等,石龙、凯口的部分地域和甘塘、杨柳街的西面一带,以及都匀的东南和东北区也有少量分布;城乡建设用地主要分布在都匀市区,而独立工矿用地主要分布在市区周围,未利用地主要在基场周围有分布。在亚热带高原季风湿润气候和当地水热条件的作用下,各种喀斯特地貌类型 and 喀斯特生态类型极为发育。近年来,由于人为活动的严重干扰,部分喀斯特山区的生态环境在不断恶化。另外,在部分中、强度石漠化区域中还分布有独立的工矿用地,对周围生态环境破坏非常大,导致脆弱生态环境变得更为敏感。

2 研究方法

2.1 指标体系与分析

本文选取地层岩性、地形坡度、植被覆盖度、土地利用类型、人口密度和农民年人均纯收入等因子作为都匀生态环境敏感性的评价指标体系。根据对生态环境影响程度的不同,对各因子进行分级量化,并赋予一定等级指数(表1)。但由于一些评价指标的量化值在某一数轴范围内是近似于连续的数值系列,比如,地形坡度在0°~90°范围内是近似于连续的数值分布。再如,植被指数计算值也是在某一数轴段内也近似于连续的系列数值。如果过早地将其定值量化分级,计算出的评价结果将有更大的误差。因此,为了保留这种差异性的存在来获得更为精确的结果,并使整个指标体系的量化值无量纲化,则将这一数轴范围内的数值通过某一数学方法(如,统一缩小一定倍数,开方,或取对数等)转换到与上述指标分级对应数域内,即 $0 < x \leq 5$ (图1)。

2.1.1 地层岩性

碳酸盐岩广泛分布为生态环境敏感性奠定了脆弱背景。碳酸盐岩溶蚀风化强烈^[12],不同岩组形成的地貌或土壤特性差异很大,进而形成不同的生态环境类型,并控制石漠化等生态环境格局^[13]。就岩组生态和成土特点对植被恢复而言,常态地貌岩组优于喀斯特地貌岩组。喀斯特地貌岩组内,夹层型碳酸盐岩组优于混合型碳酸盐岩组、混合型碳酸盐岩组优于纯灰岩组、纯灰岩组优于纯白云岩组^[14]。根据都匀出现的地层,结合各岩组岩性(碳酸盐岩含量)进行归类^[13],并进行量化分级(表1),其空间分布如图1a。

表1 地层岩性量化分级

Tab.1 Quantification and gradation to the geological lithology

| 等级指数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------|-------|---------|---------|------|------|
| 岩性分级 | 非碳酸盐岩 | 夹层型碳酸盐岩 | 混合型碳酸盐岩 | 纯石灰岩 | 纯白云岩 |

2.1.2 地形坡度

贵州高原处于中国地形一阶梯向二阶梯过渡地带,地势由西向东逐渐降低,特殊的地质、水文条件使

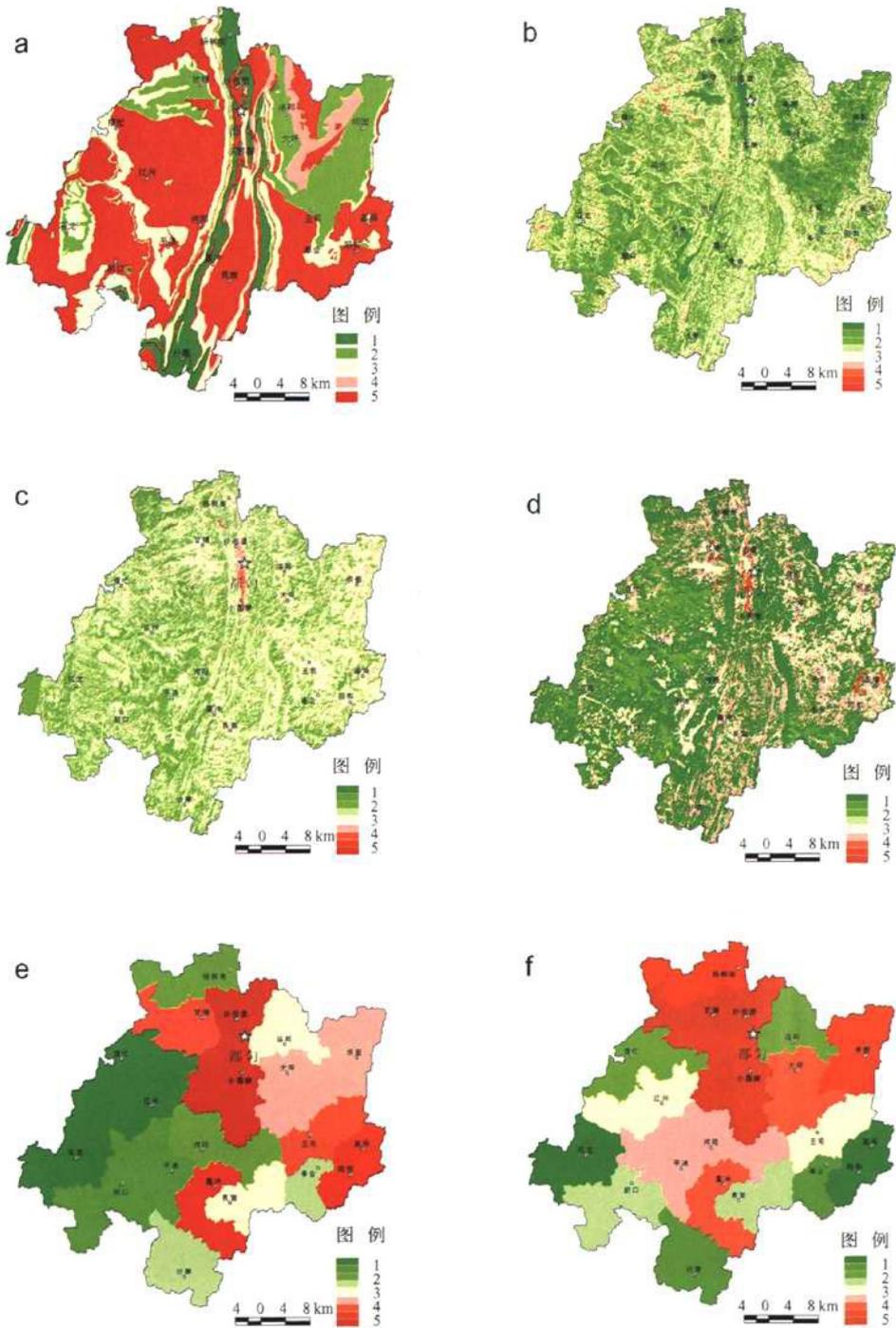


图1 各评价指标生态敏感性量化分级

Fig.1 Quantification and gradation to the ecological sensitivity of the assessment indexes

a. 地层岩性; b. 地形坡度; c. 植被覆盖; d. 土地利用; e. 人口密度; f. 农民年人均纯收入;

1. 非敏感; 2. 微度敏感; 3. 轻度敏感; 4. 中度敏感; 5. 强度敏感

地面切割强烈,地势起伏大,地表崎岖破碎,坡度大,发育各种类型的喀斯特地貌^[5]。在降水量较大、暴雨多的都匀,雨水地表渗流产生强烈的外动力作用,而大的地形坡度则加速这一动力过程^[15]。因此,地形坡度成为水土流失等自然生态退化过程的潜在因素,加上喀斯特区域一旦表层植被遭到破坏,水土流失就会加速发生^[15],恢复非常困难^[16]等,更加增强了生态环境的潜在敏感性。一般认为,坡度越大生态敏感性越高,其生态敏感性空间分布如图1b。

2.1.3 植被覆盖度

植被覆盖是喀斯特环境的命脉,对喀斯特环境水分的循环和贮存、养分的归还和积累有着至关重要的作用,是环境质量的体现指标^[12]。植被越好,形成的生态系统结构越复杂,稳定性越大,抗干扰能力越强,因此环境敏感性越低,反之则敏感性越高。岩溶山区普遍具有基岩裸露、土体浅薄、水分下渗严重、生境保水性差、基质土壤和水环境等富钙的生态特征^[17],由于生境严酷,森林植被一旦遭受破坏,生态系统的物质、能量交换即会暂时中断,生态平衡发生突变,甚至出现不利于人类生存的生态环境,恢复非常困难^[16]。因此,植被覆盖对于喀斯特山区生态环境具有特殊意义。

本文利用遥感影像(2004年的Aster影像 15×15 m)通过归一化植被指数(NDVI)计算可得到某一“连续数域”的系列数值。一般认为,该数值越高植被覆盖度越大,生态系统稳定性也越大,抵抗外界干扰能力强,敏感性低;植被覆盖度低,稳定性小,抵抗外界干扰能力弱,敏感性强。因此,本研究区生态敏感性空间分布如图1c所示。

2.1.4 土地利用

土地利用是土地覆被变化最重要的影响因素,土地覆被的变化对区域水循环、环境质量、生物多样性及陆地生态系统的生产力和适应能力有深刻的影响,而土地覆被的变化又反过来作用于土地利用^[18]。土地利用类型是人们根据地表一定区域的自然属性和不同用途需要而划分的类别,因此,土地利用是有自然和人文双重属性。从自然的角,各土地利用类型是自然生态的重要组成,不同地类由于自然属性的存在,其对生态环境的贡献与影响是有差异的。从人文的角度,不同用途地类决定其受人为活动的频繁程度的差异(即土地利用程度),这对生态环境也有不同影响。

根据笔者应用数学、统计学等分析方法建立“比较矩阵”分析模型^[19],从生物多样性、系统承载力、环境容量、气候调节、物质循环与能量流动、水土保持与流失、环境污染、土地退化等11个指标,对都匀13种土地利用类型分别做比较分析与敏感性量化,然后进行敏感性排序和有序聚类分级研究。结果认为土地利用类型的生态敏感性排序为:独立工矿用地>未利用地>城镇>公路>农村居民点>旱地>陵墓地>稻田>园地>水域>天然草地>灌木林地>有林地。据此,将研究区的13种土地利用类型按其敏感性从大到小的顺序,分别赋予13、12、...、1的量化值,并统一缩小一定倍数(即“ $\times(5/13)$ ”),使其值范围为 $0 < x \leq 5$,其生态敏感性空间分布如图1d。

2.1.5 人口密度

人口密度是单位面积土地上居住的人口数,它是表示某一区域内人口密集程度的指标。人口密度可以从侧面反映该区域内人为的活动程度,而频繁的人文活动则是生态环境敏感性产生的主要原因。密度越大,敏感性越强,因此,本文选用人口密度作为生态环境敏感性的参评指标之一。其以乡镇为单位,将各乡镇的人口密度排序,并按从小到大顺序依次赋予1、2、...、 n 的敏感性量化值,然后统一缩小一定倍数(即“ $\times(5/n)$ ”),使其值范围为 $0 < x \leq 5$,其生态敏感性空间分布如图1e。

2.1.6 农民年人均纯收入

经实地调查,都匀市主要的自然生态分布在乡村,而农村的家庭收入主要来源于农产品,大部分边远山区的农民还保持着传统的生活方式,比如刀耕火种,家庭能源主要是柴薪。可见,农民的生活、生产活动对生态环境有直接的影响,农民的收入水平可以间接反映某一区域内农民生产活动对自然生态环境的影响程度。因此,我们认为,在当地农民收入水平越高,对生态环境影响也越大。本文选用农民年人均纯收入作为生态环境敏感性评价的参评指标,以乡镇为单位进行敏感性量化,量化过程同“人口密度”指标,其生态敏感性空间分布如图1f。

2.2 数据来源

在GIS软件的支持下,将各不同源数据转换在相同的投影坐标下进行相关处理。首先进行矢量化,再借助相关模块(convert to grid)进行矢量(Vector)→栅格(Raster)转换,将各因子统一转换为单元格为 $25 \text{ m} \times 25 \text{ m}$ 的栅格(grid)数据文件,便于叠加分析。

2.2.1 基础图件

地层岩性主要来源于都匀市1:5万区域地质图,通过对其进行矢量化提取地层岩性数据;地形坡度主要来源于都匀市1:5万区域地形图,将其矢量化后转换成DEM提取坡度数据。

2.2.2 遥感影像数据

土地利用类型和植被覆盖度的主要数据来源为2004年Aster(15 m×15 m)遥感影像。土地利用类型是通过遥感影像解译,参考2004年都匀市土地利用现状图,结合野外调查及相关资料不断修改完善,最后输出土地利用现类型图;植被覆盖度主要对遥感数据进行归一化植被指数(NDVI)计算^[20],并结合相关资料和野外调查信息进行解译。

2.2.3 人文社会指标

人口密度和农民年人均纯收入数据均参考《都匀年鉴(2006)》^[21]。通过上述的处理方法将其量化,并借助GIS相关软件实现空间表达,进而作空间分析。

2.3 评价模型

2.3.1 确定指标权重

喀斯特生态环境敏感性评价的指标体系是由多个指标组成的综合体系,各评价因子在其受外界干扰时所产生的敏感程度是有差异的。因此,对喀斯特生态环境敏感性进行评价,必须对各个指标重要程度的大小进行区分和衡量,通常用指标的权重来表示各指标在整个指标体系中的相对重要程度。本文借助数学方法,建立判断矩阵,采用“积和法”^[22]计算各指标相对重要值,并通过一致性检验来确定各项指标权重(如表2)。

表2 喀斯特山区生态环境指标权重*

Tab.2 The index weight of eco-environment sensitivity in karst mountain

| 指标 | 地层岩性 | 地形坡度 | 植被覆盖度 | 土地利用类型 | 人口密度 | 农民年人均纯收入 |
|----|-------|-------|-------|--------|-------|----------|
| 权重 | 0.146 | 0.113 | 0.271 | 0.236 | 0.124 | 0.110 |

*一致性检验:λ_{max}=6.2307, CI=0.0461, RI=1.2400, 0.0372=CR<0.10

2.3.2 建立综合分析模型

本文应用了加权指数求和法^[20],结合GIS空间分析功能,建立的生态环境空间分析综合模型如式(1)所示。借此模型实现各评价指标数据的空间融合,求得评价单元矩阵总分值。

$$M = \sum_{h=1}^p Y_h w_h = (a^{ij})_{m \times n} w_a +$$

$$(b_{ij})_{m \times n} w_b + (c_{ij})_{m \times n} w_c + \dots$$

$$(h = a, b, c \dots p, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

式中,M为空间叠加分析的综合数据,Y_h为第h个参评因子,w_h为第h个参评因子权重。

(注:在每个参评因子对应的矩阵中,研究区域界线以外对应的矩阵单元格值都为0。)

2.3.3 拟定敏感性分级标准

根据式(1)计算得出的空间融合数据范围在0.150~4.368,并将其作转换处理,使其为0<x≤5之间数值,(即统一除以“5”,其值为0.030~0.874)。再通过GPS实地踏勘信息和各方面相关资料作为参考依据,将综合分析数据与其相对应的实地生态环境状况相对比,拟定都匀喀斯特生态环境脆弱性分级标准(表3)并进行生态环境敏感性划分(图2)。

表3 都匀生态环境敏感性分级标准

Tab.3 The grading standard of eco-environmental sensitivity in Duyun

| 敏感性 | 强度敏感 | 中度敏感 | 轻度敏感 | 微度敏感 | 非敏感 |
|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 等级标准 | 0.030~0.150 | 0.151~0.300 | 0.301~0.500 | 0.501~0.600 | 0.601~0.874 |

3 结果与分析

3.1 生态敏感性评价

地质构造控制整个区域的地貌类型,不同的地貌类型控制山体的分布格局,决定着地形坡度的走势,影响着区域水热气候条件的优劣,也影响土壤、植被的空间分布,从而决定人们对土地用途的划分——土地利用类型,这可以从图1a与图1b、c、d对比得以体

现。以上综合条件也影响着人口分布和人类生产活动,最终控制着整个区域的生态环境格局(图2)。例如,都匀中部南北走向的地层控制着南北走势的山脉与谷地,高程等值线沿着山脉分布。因此,地形坡度等值线、河流走向大多也近似地呈南北走向,而植被覆盖受发育于碳酸盐岩之不连续且浅薄的土壤^[16]和地形坡度及水热气候条件等作用与影响,其分布也随着这些条件和环境变化。这些因素限制了区域植被覆盖度分布,从而也决定区域的土地利用类型分布状况和

区域生态环境状况格局。

同时,从图2也可以看出,大部分高敏感性区域中心的周围是人口分布比较密集的乡镇政府所在地,比如,都匀市区(小围寨)、沙包堡、甘塘、基场、墨冲、良亩、阳和、坝固、江州、平浪、凯口、王司等乡镇附近生态环境敏感等级都比周围高。这说明脆弱生态环境敏感性也是人为长期频繁活动干扰的结果。可见,在喀斯特区域,地层岩性对区域生态环境具有决定性的作用,同时,人为活动也是不可忽略的影响因素。

根据以上的评价分析方法和敏感性分级标准,统计出各等级对应面积,得出都匀市生态环境敏感性评价结果为:强度敏感面积为75.23 km²,占全市总面积的3.30%,中度敏感面积为228.32 km²,占全市面积的10.02%,轻度敏感面积为902.11 km²,占全市面积的39.60%,微度敏感面积为841.00 km²,占全市面积的36.92%,非敏感面积为231.35 km²,占全市面积的10.16%。

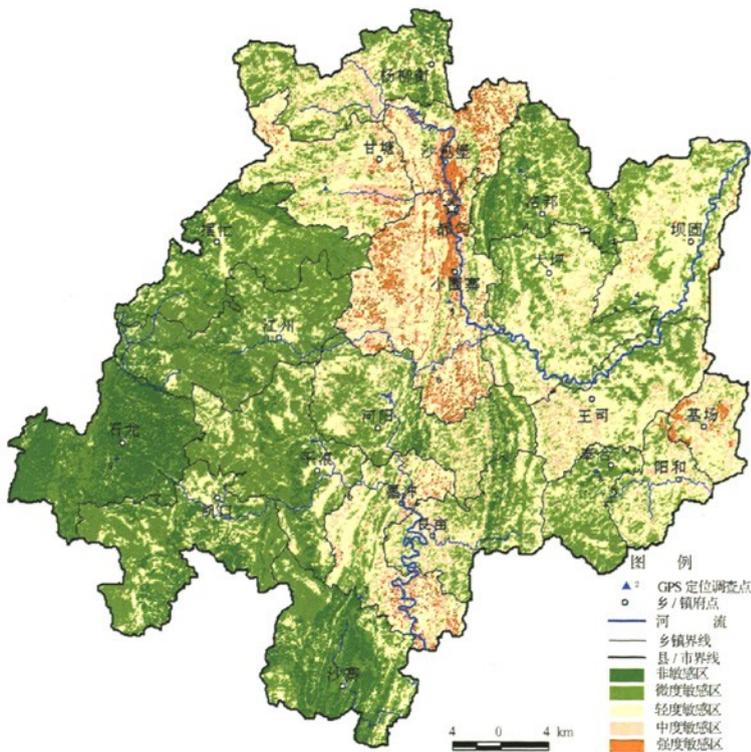


图2 都匀生态敏感性空间分布

Fig. 2 The spatial distribution of the ecological sensitivity in Duyun

3.2 不同生态环境敏感区的主要特征

3.3.1 强度敏感区

强度生态敏感等级主要分布于都匀市区(包括小围寨、文峰、新华、广惠等办事处)和经济开发区(沙包堡办事处)的大部分区域,以及甘塘、墨冲和基场的部分区域。这些地区经济比较发展,人口密度大^[21],并分布有一定的建设用地或未利用地类型,人文活动干扰频繁,植被覆盖度低(图1c),生态环境自我恢复能力弱,人类破坏速度远远超过自然生态的恢复速度。同时,这些强敏感区域往往落在生态基底脆弱的白云岩或灰岩分布区。因此可以看出,强度生态敏感性主要受到人文活动、地层岩性以及土地利用类型和植被

覆盖的严格控制。

3.3.2 中度敏感区

中度生态敏感等级主要分布都匀市区(包括小围寨、文峰、新华、广惠等办事处)和经济开发区(沙包堡办事处)、基场和甘塘等大部分区域,墨冲、良亩、杨柳街、坝固、王司、阳和、大坪和河阳等的部分区域也有大量分布。此敏感性等级基本都分布在基底岩性为比较纯的白云岩和石灰岩上,并与强度生态敏感等级镶嵌在一起,这些区域植被覆盖度普遍较低,土地利用类型主要为独立工矿用地、未利用地、城镇、农村居民点、旱地等敏感性较高的地类,人口密度大,社会经济都比较发展^[21],因此,生态敏感性较强。

3.3.3 轻度敏感区

轻度生态敏感性是都匀市生态敏感性中面积分布最大的等级,除了石龙和沙寨分布较少以外,其它地区都有大面积分布,总体趋势呈中、东部多西部较少。其中坝固、大坪、王司、基场、阳和、甘塘、杨柳街、都匀市区(包括小围寨、文峰、新华、广惠等办事处)和经济开发区(沙包堡办事处)、墨冲、良亩等分布最为广泛,这些地区也是人口密度较高、经济相对发展的区域^[21],土地利用类型以旱地、天然草地为主,有一定面积的水田分布,但有林地较少,植被覆盖相对较低。从地层岩性来看,有些区域分布在比较纯的白云岩或灰岩上,如,墨冲、良亩、杨柳街、小围寨、王司、大坪等的部分轻度生态敏感分布区,也有些分布在混合型或夹层型碳酸盐岩上,如,坝固、大坪、王司等的大部分轻度敏感性分布区。该敏感等级分布区,东部的地形坡度较缓,而西部较大^[11]。

3.3.4 微度敏感区

微度生态敏感等级在分布面积上仅次于轻度敏感性,因此在都匀的大部分区域都有分布,总体上西部分布面积比中、东部要广。其中江州、摆忙、平浪和凯口分布最为广泛,河阳、洛邦、奉合和沙寨等也有较广分布,坝固、王司、大坪、杨柳街、墨冲、良亩等分布有一定面积。该敏感等级分布区,人口比较稀少,经济也相对落后^[21],植被覆盖度相对高(图1c),土地利用类型以有林地、灌木林地为主,也分布有部分天然草地、旱地和水田。但大部分的岩性以灰岩为主,而且地形坡度较大^[11],正因为地形坡度较大,人类的可达性较低,因此,自然生态受到人为干扰较小,生态环境较为良好。

3.3.5 非敏感区

非敏感性区域是生态环境最稳定的区域,其主要分布在人口相对稀少、经济比较落后的石龙和沙寨两个乡镇^[21],以及都匀其它非碳酸盐岩、夹层型碳酸盐岩或混合型碳酸盐岩区域,比如,凯口中南部、洛邦西部、杨柳街东部,摆忙、江州、平浪的部分地区等。同时,这些区域植被覆盖良好(图1c),土地利用类型主要为有林地为主,有部分灌木林分布。

4 结论与讨论

本文采用地层岩性、地形坡度、植被覆盖、土地利用类型、人口密度和农民年人均纯收入等6个自然、人文评价指标,借于GIS相关软件对各参评因子的信息进行量化提取和空间叠加分析,并结合大量野外调

查拟定生态敏感性分级标准,将研究区域划分出5个生态环境敏感性等级,即强度敏感、中度敏感、轻度敏感、微度敏感和非敏感。

研究结果认为,生态环境敏感性是喀斯特山区一个综合的生态环境问题,它不仅由脆弱的生态地质背景和水文气候条件等自然的原因引起,更是人为活动等外界干扰所致。经实地调查发现,在都匀市部分强度脆弱区域都分布有独立工矿用地,矿业开采对周围生态环境破坏非常大,正是这种不合理的资源开发利用给生态环境带来不利影响,导致脆弱生态环境变得更为敏感。可见,人为活动是喀斯特山区脆弱生态环境敏感性形成的主要外驱动力,人为干扰加深了生态环境的敏感性等级程度,从而加速了生态环境脆弱的演化过程。

本研究还存在一些不足,例如,文中引进的两个人文指标,即人口密度和农民年人均纯收入,由于数据收集难度问题,只能以乡镇为单位进行敏感性量化分级,这在一个乡镇内的敏感性状况是均匀的,但现实中的人为活动对生态环境影响往往受到环境条件的限制,如土地利用类型、地形地貌、坡度、距离(可达性)等等因素,一般是以聚居点为中心,向周围逐步扩散,但这种现象在信息提取过程中是难以模拟量化的,因此会产生由于各乡镇社会经济状况差异而导致生态敏感性评价结果也具有明显的界线,这与自然生态实际情况存在一定偏差。

致谢:对贵州师范大学贵州山地信息系统与生态环境保护重点实验室在设备和卫星数据方面提供的帮助表示特别感谢!

参考文献

- [1] 李阳兵,谢德体,魏朝富,等.西南岩溶山地生态脆弱性研究[J].中国岩溶,2002,21(1):25-29.
- [2] 刘康,欧阳志云,王效科,等.甘肃省生态环境敏感性评价及其空间分布[J].生态学报,2003,23(12):2711-2718.
- [3] 肖荣波,欧阳志云,王效科,等.中国西南地区石漠化敏感性评价及其空间分析[J].生态学杂志,2005,24(5):551-554.
- [4] 欧阳志云,王效科,苗鸿.中国生态环境敏感性及其区域差异规律研究[J].生态学报,2000,20(1):9-12.
- [5] 靖娟利,陈植华,胡成,等.中国西南部岩溶山区生态环境脆弱性评价[J].地质科技情报,2003,22(3):95-99.
- [6] 苏维词.岩溶地区生态环境敏感度评价研究——以乌江流域为例[J].中国岩溶,1997,16(1):57-65.
- [7] 王艳强,朱波,王玉宽,等.重庆市石漠化敏感性评价[J].西南农业学报,2005,18(1):70-73.

- [8] 周兴,童新华,华璀,等.广西生态环境敏感性综合评价及其空间分布[J].广西师范学院学报(自然科学版),2006,23:1-8.
- [9] 杜毓超,李兆林,陈宏峰,等.广西漓江流域岩溶生态环境敏感性分析[J].中国岩溶,2006,25(3):220-221.
- [10] 贺秋华,张丹,陈朝猛,等.GIS支持下的黔中地区生态环境敏感性评估[J].生态学杂志,2007,26(3):413-417.
- [11] 贵州省都匀市志编纂委员会.都匀市志[M].贵阳:贵州人民出版社,1999.
- [12] 王德炉,喻理飞.喀斯特环境生态脆弱性数量评价[J].南京林业大学学报(自然科学版),2005,29(6):23-26.
- [13] 李瑞玲,王世杰,周德全,等.贵州岩溶地区岩性与土地石漠化的相关分析[J].地理学报,2003,58(2):314-320.
- [14] 张喜.贵州喀斯特山地坡耕地立地影响因素及分区[J].南京林业大学学报(自然科学版),2003,27(6):98-102.
- [15] 安裕伦,蔡广鹏,熊书益.贵州高原水土流失及其影响因素研究[J].水土保持通报,1999,19(3):47-52.
- [16] 杨明德.论喀斯特环境的脆弱性[J].云南地理环境研究,1990,2(1):21-29.
- [17] 李阳兵,邵景安,王世杰,等.岩溶生态系统脆弱性研究[J].地理科学进展,2006,25(5):1-9.
- [18] 李秀彬.全球环境变化研究的核心领域——土地利用/覆盖变化的国际研究动向[J].地理学报,1996,51(6):553-557.
- [19] 李荣彪,洪汉烈,强秦,等.喀斯特生态环境敏感性评价指标分级方法研究——以都匀市土地利用类型为例[J].中国岩溶,2009,28(1):87-93.
- [20] 张利华,薛重生.“3S”技术在土壤侵蚀研究中的应用——以湖北省东北地区为例[J].长江流域资源与环境,2004,13(5):503-507.
- [21] 都匀年鉴编纂委员会.都匀年鉴(2006)[M].香港:中国文化出版社,2007.
- [22] 徐建华.现代地理学中的数学方法[M].北京:高等教育出版社,2002.
- [23] 贵州地层古生物工作队.西南地区区域地层表贵州分册[M].北京:地质出版社,1977.

Evaluation on karst eco-environment sensitivity — A case study in Duyun city

LI Rong-biao¹, HONG Han-lie², YIN Ke², LI Yang-bing³, YANG Guang-bin³, AN Yu-lun³

(1. Institute of Tourism and Economic Development, Kaili University, Kaili, Guizhou 556000, China;

2. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China;

3. College of Geography and Biology Science, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 550001, China)

Abstract: Evaluation index system of eco-environment sensitivity was established in this paper, which is founded with six kinds of indexes, including stratum lithology, topographical slope, vegetation cover, land use and population density as well as average annual net income of farmers. Based on the 3S technology, the paper extracted evaluation indexes, built spatial analysis model for partial overlap analysis of evaluation indexes, and graded eco-environment sensitivity and its spatial distribution in karst area. Grade evaluation analysis was finally established according to the characteristics of spatial distribution. The results show that strong, moderate, light, minor and non-eco-environment sensitivity area cover an area of 75.23 km², 228.32 km², 902.11 km², 841.00 km² and 231.35 km², respectively, which account for 3.30%, 10.02%, 39.60%, 36.92%, and 10.16% of the total area of the whole city, accordingly. At the same time, the research indicates that the problem of fragile eco-environment sensitivity in karst area is a result that the fragile eco-environment is disturbed perennially by human activities.

Key words: 3S technology; evaluation on karst eco-environment sensitivity; spatial analysis; Duyun city