

基于GIS的星云湖流域生态敏感性评价

李益敏^{1,2}, 管成文^{1,2}, 朱军^{1,2}

(1. 云南大学 资源环境与地球科学学院, 昆明 650500; 2. 云南省高原湖泊流域污染过程与管理重点实验室, 昆明 650034)

摘要: 基于GIS技术, 根据星云湖流域主要生态问题选取6个因子, 采用多因子加权求和模型对星云湖流域生态敏感性及其空间分布进行了评价分析, 并按生态敏感性评价值将研究区划分为高度敏感区、中度敏感区、低度敏感区和非敏感区4个等级。结果表明: 研究区高度敏感、中度敏感、低度敏感和非敏感区域面积分别为104.08 km², 124.52 km², 102.78 km², 39.30 km²; 中度及以上敏感区面积约为228.60 km², 占流域总面积的61.67%, 生态敏感性总体较高, 空间上主要分布在江城镇、星云湖及其湖滨和雄关乡等; 建议将高度敏感区划定为生态保护区加以重点保护, 中度敏感区划定为控制发展区, 低度敏感区和非敏感区为适宜发展区。评价结果能较好地反映流域综合生态敏感性空间分布特征, 可作为流域土地资源开发建设和环境规划与保护的依据, 并为高原湖泊流域开展类似研究提供参考。

关键词: 生态敏感性; GIS; 星云湖流域; 高原湖泊流域

中图分类号: X171.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2017)05-0266-06

GIS-Based Ecological Sensitivity Analysis in Xingyun Lake Basin

LI Yimin^{1,2}, GUAN Chengwen^{1,2}, ZHU Jun^{1,2}

(1. College of Resource Environment and Earth Science, Yunnan University, Kunming 650091, China;

2. Key Laboratory of Pollution Process and Management of Lake Basin in Yunnan Province, Kunming 650034, China)

Abstract: Geographical Information System (GIS), and multi factor weighted sum model were used to analyze the ecological sensitivity and its distribution by selecting regionally representative factors according to environmental background in Xingyun Lake Basin. Four classes of ecological sensitivity ranging from high to low were generated: high sensitivity zone, moderate sensitivity zone, low sensitivity zone and non-sensitivity zone. The results indicate that the area percentages of the four classes are 104.08 km², 124.52 km², 102.78 km² and 39.30 km², respectively. The area of high sensitive area and moderately sensitive area are 228.60 km², accounting for 61.67% of the total area of the basin, which shows that ecological sensitivity in Xingyun Lake Basin is. The high ecological sensitivity mainly distributes in Jiangcheng town, Xiongguan township, Xingyun Lake and its rural area. It is suggested that the highly sensitive areas should be designated as the ecological protection areas, and the moderate sensitive areas should be defined as the control areas, the low sensitive areas and the non sensitive areas should be planned as the suitable development areas. The evaluation results can reflect the comprehensive ecological sensitivity of catchment characteristics, can be used in the area of land resources development and environmental construction, and provide the reference for similar topography of plateau lakes.

Keywords: ecological sensitivity; GIS; Xingyun Lake Basin; plateau lake basin

生态敏感性是指生态系统对自然环境变化和人类活动干扰的反映程度, 表征发生生态环境问题的难易程度和可能性大小或生态因子对外界压力或外界干扰适应的能力^[1-2]。生态敏感性分析是从另一个侧面来分析生态系统的稳定性, 是从否定与批判的角度

来实现对生态系统的保护^[3]。国内外学者对生态敏感性给予关注, 国外有关研究主要集中在湿地和湿地植物对于气候变化的敏感性^[4-5]、雨林对选择采伐的生态敏感性^[6], 水文系统对气候变化的敏感性^[7], 海岸带及大陆架生态敏感性等方面^[8]、自然保护区划

收稿日期: 2017-01-09

修回日期: 2017-03-28

资助项目: 云南省高原湖泊流域污染过程与管理重点实验室开放基金资助项目“高原湖泊流域关键生态用地识别技术及空间优化研究”(KH100992)

第一作者: 李益敏(1965—), 女(白族), 云南省昆明市人, 学士, 教授, 主要从事山地环境与发展研究。E-mail: 648119611@qq.com

定^[9]等。如2010年,Eggermont等通过研究湖泊对气候变暖的生态敏感性,发现气候变暖导致了鲁文佐里山脉湖泊生态脆弱性^[5],2008年,Rossi P等通过栖息地生态敏感指数、生态系统压力价值指数和人口压力指数的评价来划定自然保护区^[9]。国内对生态系统敏感性的研究日益重视,评价指标已从单一生态敏感性问题发展到生态敏感性综合评价,但研究多集中于某一生态问题、城市或大尺度上的研究^[10-16];研究方法已经从定性发展到定量评价方法,特别是GIS等技术应用到生态敏感性评价方法中,实现评价结果的定量定位化研究。刘军会等^[10]针对陆地生态系统土地沙化、土壤侵蚀和石漠化等典型生态问题,构建评价指标和评价模型,开展生态环境敏感性综合评价。定量揭示中国陆地生态环境敏感程度和地域分布差异,并划定生态环境敏感区的保护红线控制区域;杨月圆等^[11]从土壤侵蚀、石漠化、生物多样性、地质灾害、水环境5个方面,开展了云南省土地生态敏感性评价;如魏伟等^[12]采用ArcGIS区统计方法,选取水土流失、土壤盐渍化、土壤沙漠化、生物多样性四个指标定量评价石羊河流域土地生态敏感性;朱东国等^[15]基于山地生态特征和人为活动状况,运用遥感和GIS技术,采用因子加权叠加法,选取高程、坡度、植被覆盖、水域和地质灾害易发性等5个因子对张家界市域进行综合生态敏感性评价;吕远洋等^[16]采用多因子综合分析法,选取水力侵蚀敏感性、冻融侵蚀敏感性、沙漠化敏感性、石漠化敏感性指标对川西高原进行生态敏感性评价。

针对流域生态敏感性的研究主要集中于江、河流域层面^[17-20],而对湖泊流域生态敏感性的研究则较少,对高原湖泊流域生态敏感性的研究则鲜见报道。湖泊流域内高强度的人类活动和高速发展的社会经济已经给许多湖泊造成生境退化、生物多样性丧失、水体富营养化等生态安全问题^[3]。开展湖泊生态敏感性分析以揭示流域内生态系统对人类活动反应的敏感程度,反映出流域内发生生态环境问题的时空分布格局,敏感性高的区域容易产生生态环境问题,是生态环境保护与恢复的重点,评价对于湖泊流域防治和保护具有重要意义。

云南省约30%的GDP来源于九大高原湖泊,高原湖泊流域经济对云南省的经济发展起到了巨大推动作用^[21]。城市化进程的不断推进,使高原湖泊流域生态系统发生巨大的变化,流域的脆弱性、敏感性与适应能力等问题已经成为政府和科学界关注的重要方向。星云湖是云南省九大高原湖泊之一,也是云南省环境保护重点整治保护的三大湖泊之一,其生态

遭到相当程度的破坏,重点表现在:星云湖已进入湖沼发育的中晚期,泥沙淤积湖中,降低了供水蓄水能力,缩短了湖泊寿命,加快了湖泊老化;湖水受农业、生活和工业影响,水污染严重;植被涵养能力差、部分区域水土流失严重,不能很好地发挥涵养水源、保持水土、调节气候的作用,保护及恢复其生态具有重要的意义,同时星云湖流域是云南省高生态敏感区,对星云湖流域生态敏感性评价有重要的现实意义。目前对于高原湖泊流域生态敏感性研究较少,对高原湖泊流域生态敏感性的研究尤为重要而迫切。本研究以星云湖流域为研究区域,采用单因子与多因子相结合的评价体系,结合星云湖流域现状,基于GIS的空间分析、栅格运算与叠加方法,以30 m栅格单元作为敏感性评价的单位,完成对星云湖流域生态敏感性评价,为星云湖流域生态保护、土地利用规划的制定和实施提供科学的依据,并为相似地形地貌高原湖泊展开类似研究提供参考。

1 研究区概况

星云湖流域位于云南省玉溪市江川区境内,地理位置为东经102°45′—102°48′,北纬24°17′—24°23′。流域总面积为371.10 km²,包括大街、江城、路居、雄关、前卫、安化6个乡镇,截至2014年底,流域总人口数为19.75万人(资料来源:星云湖流域水污染综合防治“十二五”规划)。东临华宁县,西接玉溪,南与通海接壤,北与晋宁、澄江两县为邻。海拔最高点2 648 m,海拔最低点1 690 m。流域内山区半山区约占65%,坝区占35%,水域占14%。流域内生态问题突出,南部山区水土流失严重,星云湖污染严重。湖水主要靠地表径流和湖面降水补给。2000年前星云湖水质较好,为Ⅲ类水质;2000年后,全湖水质迅速下降为Ⅳ,Ⅴ类,2003—2016年基本已处于Ⅴ类与劣Ⅴ类(星云湖流域水污染综合防治“十三五”规划)。本地区属中亚热带半干燥高原季风气候,平均气温15.6℃,年降雨量700~1 100 mm。

2 研究方法

2.1 数据预处理

论文数据包括1:5万江川区DEM数据,玉溪市和江川区行政界线矢量图,星云湖流域边界数据,2014年江川区高分一号影像数据矢量化并到实地验证得到2014年江川区土地利用现状图,地质灾害易发性分区、土壤侵蚀分布和水域纸质图矢量化。矢量化在ArcGIS 10.3环境下进行,空间地理配准的均方根误差控制在0.5个像元内;所有矢量数据投影坐标

系为 Beijing_1 954_GK_Zone_18 N 下,栅格大小为 30 m×30 m。应用 ENVI 5.1 软件分析影像,经过辐射定标与大气校正,借助 Basic Tool→Transform→NDVI 功能经过归一化等处理得到植被覆盖度指标,并利用校正后的植被覆盖度图对由 DEM 得到坡度图等;星云湖流域山区和坝区的生态敏感性因子权重不同,根据山区、坝区定义和本文研究的实际将水域划入坝区进行评价分析,数字化得到山区和坝区边界矢量数据;土地利用分类参照全国《土地利用现状调查技术规程》,结合当地的实际情况,将研究区土地利用划分为耕地、园地、林地、草地、水域、沼泽地、建设用地和未利用地 8 种类型。社会经济及农业相关数据主要来源于 2014 年《江川区统计年鉴》。

2.2 湖泊流域评价指标体系构建

2.2.1 构建原则 我国湖泊水体严重污染已经成为常态,湖泊流域生态敏感,以保护湖泊水质健康和生态安全为主要目的构建评价指标系统,评价指标应全面真实反映研究区环境、资源、社会和生态等基本特征,评价指标体系是一个多属性、多层次的体系,因此,构建敏感性评价指标体系要遵循系统相关性、系统层次性、系统整体性和系统综合性等原则,分析湖泊生态系统对各种自然和人类活动干扰的敏感程度。考虑到高原湖泊地形地貌特征的复杂性,在山区和坝区的生态问题不同,敏感性程度也不同,本研究提出将研究区分为山区和坝区,分别确定各因子在山区和坝区的权重,分析的结果更能反映出区域特色,更具科学性、针对性和可操作性。

2.2.2 湖泊流域生态敏感性评价体系 生态敏感性评价是根据研究区所存在的主要生态问题及其形成机制,通过分析影响各主要生态环境问题敏感性的主导因素,评价特定生态环境问题敏感性及其空间分布特征,对区域主要生态环境问题的敏感性进行综合评价^[14]。星云湖是云南重点保护的三个湖泊之一,针对星云湖流域,本研究结合地形地貌特征和人类干扰等因素考虑评价因子,分别从单因子评价与多个因子综合评价两方面来考虑。其中单因子评价部分参考杨月圆等对云南省^[11]的研究、研究区实际情况和数据的可得性选取土壤侵蚀、生物多样性、地质灾害、水环境作为评价的一级指标因子。参考原国家环保总局制定的《生态功能区划暂行规程》(2003)中关于省级区域生态敏感性评价指标及分级标准,并结合星云湖流域生态特点,确定各因子分级标准,将各单因子敏感性划分为不敏感、轻度敏感、中度敏感、高度敏感 4 级。详见表 1。

(1) 土壤侵蚀敏感性评价。星云湖流域每年大量的水土流失造成了生态环境的破坏。本文针对土

壤侵蚀选择由江川区环保局提供的土壤侵蚀分布图数字化得到的土壤侵蚀分布矢量,土壤侵蚀强度分为高度侵蚀、中度侵蚀、轻度侵蚀和微度侵蚀。分级标准见表 1。

(2) 生物多样性敏感性评价。生物多样性能表征重要物种的栖息地对人类活动的敏感程度。特殊的地形地貌和复杂的气候环境虽然赋予了星云湖流域丰富的物种资源,但同时也带来种群稀、数量少、分区区域小、生态适应能力低、对外界的感染非常敏感等不利影响^[11]。一旦遇到自然灾害和人为破坏,物种就很容易陷入濒危境地甚至灭绝,而生物多样性丧失,对生态环境造成的影响是十分突出的。本文参考相关研究^[18]选择土地利用类型和植被覆盖度评价生物多样性。其中土地利用类型由江川区国土资源局提供的土地利用现状图数字化得到;一般而言,植被覆盖度越高的地方能为生物提供良好生态环境,其中植被覆盖度为零的区域有建设用地、水域、交通用地等,但是针对湖泊流域,水域作为生物多样性高度敏感区。植被覆盖度数据源为 ETM,以 ENVI 5.1 软件得到,具体计算公式如下:

$$C = \frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \quad (1)$$

式中: C 为植被覆盖度; $NDVI$, $NDVI_{\max}$, $NDVI_{\min}$ 分别代表最大、最小的归一化植被指数值^[22]。

(3) 水环境的敏感性评价。星云湖流域是江川区重要的工农业活动最强区域和动植物多样性丰富区,人类活动对水源环境的干扰强,流域内高强度的人类活动和高速发展的社会经济已经给湖泊生态系统的结构和功能造成严重的影响,导致星云湖水体污染严重,为了湖泊生态系统健康及功能的可持续性,减轻星云湖水体的污染为目的构建水环境的敏感性评价。相关部门已对其周围规划建立湖滨湿地带,湖泊周围有大量居民点和农田分布是造成湖泊水体污染的主要原因,距离水源越近对水体的潜在污染越大,生态敏感性越高。通过参考相关文献^[17]和本研究区实际情况,以 500 m 为缓冲单元做三级缓冲,分级标准见表 1。

(4) 地质灾害的敏感性评价。星云湖流域地形起伏度较大,海拔高差 958 m;坡度陡,易发生滑坡、泥石流等地质灾害。评价地质灾害的易发程度有利于更准确地进行流域生态环境敏感性分区。参考相关研究^[11,18],选择坡度和灾害易发性为主要评价因子。其中灾害易发性由江川区国土资源局提供的灾害易发性分区图,经过配置、校正、数字化得到的矢量。坡度是由 DEM 图提取。分级标准见表 1。

表 1 星云湖流域生态敏感性评价指标体系

一级指标	二级指标	敏感性等级			
		高度敏感	中度敏感	低度敏感	非敏感
土壤侵蚀	土壤侵蚀强度	高度侵蚀	中度侵蚀	低度侵蚀	微度侵蚀
生物多样性	土地利用类型	林地、水域、沼泽地	草地、耕地	园地、未利用地	建设用地
	植被覆盖度	0(指水域),(0.7,1]	(0.5,0.7]	(0.3,0.5]	(0,0.3]
水环境	距水源距离(m)	[0,500]	(500,1000]	(1000,1500]	1500 以上
地质灾害	坡度(°)	(25,63)	(15,25]	(8,15]	(0,8]
	灾害易发性	高易发区	中易发区	低易发区	非易发区
分级赋值		4	3	2	1

2.3 评价方法

运用 GIS 技术,根据表 1 所示,对土壤侵蚀、生物多样性、水环境和地质灾害各个敏感性因子的生态敏感性贡献分为高度敏感、中度敏感、低度敏感和非敏感并分别赋值 4,3,2,1。本文根据流域的地形地貌,在山区和坝区的生态问题不同,敏感性程度也不同,提出将研究区分别山区和坝区(包含水域),并运用层次分析法分别确定单因子分别在山区和坝区的权重。

运用层次分析法确定权重,方法分为以下 4 步:(1) 建立层次结构分析模型;(2) 采用 1~9 标度法对评价指标进行两两比较,构造判断矩阵;(3) 进行层次单排序和层次总排序及其一致性检验;(4) 根据分析计算结果,考虑相应的决策。两两重要性程度之比的形式表示出两个评价指标的相对重要性等级。对因子的评价决定各个因子在山区和坝区的贡献大小,本研究结合已有资料、现场调查数据及室内解译结果,并结合专家打分法,采用 1~9 及其倒数的标度进行每两指标间的相对比较,对判断矩阵各项指标进行权重赋值,最终经过 YAAHP 软件计算得出结果。权重结果见表 2。

表 2 山区和坝区单因子权重

权重	土壤侵蚀	生物多样性	水环境	地质灾害
山区	0.2654	0.4188	0.1207	0.1950
坝区	0.0513	0.3584	0.5391	0.0513

根据上文单因子生态敏感性评价和层次分析法确定的权重,在 ArcGIS 环境下运用多因子加权求和模型(公式 2),并采用自然断裂法对叠加结果进行空间聚类,最终确定星云湖流域生态敏感性的等级和分布。

$$P_j = \sum_{i=1}^n A_{ij} W_j$$

(2)

式中: P_j 表示第 j 个栅格像元的综合生态敏感性评价价值; A_{ij} 表示第 i 个指标上第 j 个栅格像元上的生态敏感性贡献值; W_j 表示第 j 个指标的生态敏感性权重值; n 表示栅格像元个数。

3 结果与分析

3.1 单因子敏感性评价

3.1.1 土壤侵蚀敏感性评价 星云湖流域土壤侵蚀敏感性评价中,见图 1A 和表 3 所示,主要以非敏感区为主,面积为 242.83 km²,占流域总面积的 63.42%。根据分析,在各类敏感区域中,最危险的区域是高度和中度敏感区,主要分布在江城镇、路居镇、大街镇和雄关乡等地区。这些区域主要是植被覆盖低、坡度较大、土地利用类型主要为耕地(旱地)地区。

3.1.2 生物多样性敏感性评价 流域经济的发展伴随着巨大的生态环境被破坏,生物多样性锐减。评价结果见图 1B 和表 3,生物多样易受影响的地区主要分布在星云湖、雄关乡、江城镇北部等地区,面积为 84.54 km²,占流域总面积的 21.87%;较为稳定的地区主要分布在大街镇(主要以江川区城区)、前卫镇等地区,主要土地利用类型为建设用地、耕地,面积为 170.76 km²,占流域总面积的 44.17%。

3.1.3 水环境的敏感性评价 整个流域的生产、生活用水大部分来源于星云湖,水环境的安全至关重要。评价结果见图 1C 和表 3,高度敏感区面积为 193.7 km²,占流域总面积的 50.12%,影响水环境的区域主要是分布在其周围的城镇。非敏感区面积为 21.93 km²,占流域总面积的 5.67%,从这个角度来看,水环境安全对于整个流域的生态安全起到核心作用。

3.1.4 地质灾害的敏感性评价 地质灾害易发生的地区主要分布在江城镇、大街镇、雄关乡地区,主要为坡度较大,植被覆盖度低,易发生灾害的地区,面积为 57.08 km²,占流域总面积的 15.27%,也可以从图 1D 看出,大都分布在山区。

3.2 综合生态敏感性评价

根据以上单因子分析,在 GIS 技术支持下,利用多因子加权求和模型,对土壤侵蚀敏感性评价图、生物多样性敏感性评价图、水环境敏感性评价图和地质灾害敏感性评价图进行加权叠加运算,得到星云湖流

域生态综合敏感程度,并将它划分为不敏感、低度敏感、中度敏感和高敏感 4 个等级(图 2),和最后星云湖流域综合生态敏感性评价(表 3)。经过统计分析,

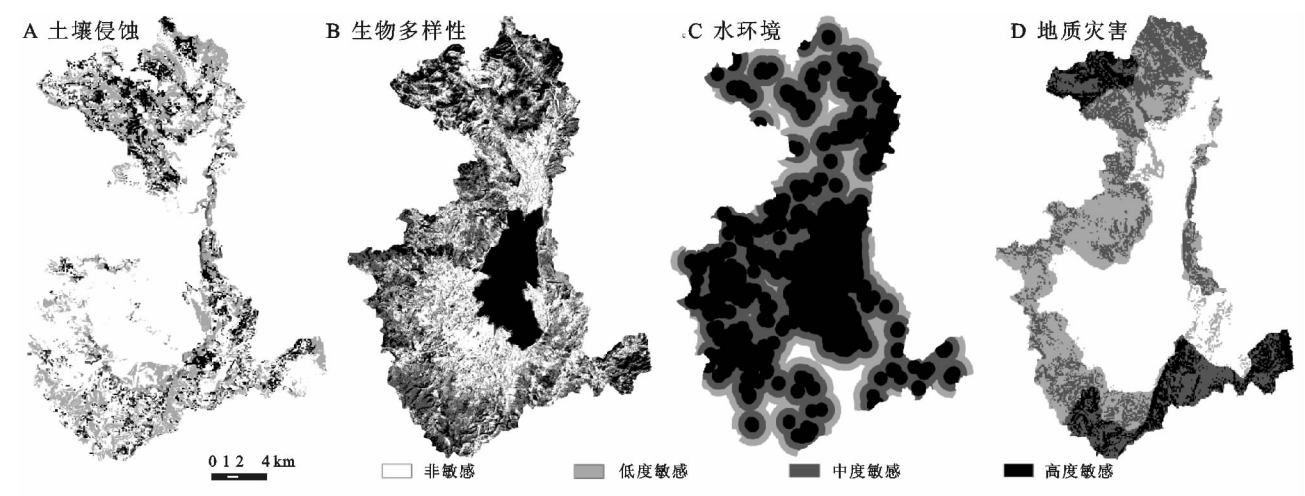


图 1 单因子敏感性评价结果

表 3 单因子及综合敏感性评价结果

生态问题	敏感性等级	栅格个数	面积/km ²	百分比/%	累计百分比/%
土壤侵蚀	高度敏感	36638	32.97	8.61	8.61
	中度敏感	17343	15.61	4.08	12.69
	低度敏感	101617	91.46	23.89	36.58
	非敏感	269811	242.83	63.42	100.00
生物多样性	高度敏感	93929	84.54	21.87	21.87
	中度敏感	145873	131.29	33.96	55.83
	低度敏感	138975	125.08	32.35	88.18
	非敏感	50758	45.68	11.82	100.00
水环境	高度敏感	215222	193.70	50.12	50.12
	中度敏感	129456	116.51	30.14	80.26
	低度敏感	60410	54.37	14.07	94.33
	非敏感	24363	21.93	5.67	100.00
地质灾害	高度敏感	63418	57.08	15.27	15.27
	中度敏感	79392	71.45	19.13	34.40
	低度敏感	139739	125.77	33.65	68.05
	非敏感	132662	119.40	31.95	100.00
综合生态敏感性评价结果	高度敏感	115642	104.08	28.08	28.08
	中度敏感	138354	124.52	33.59	61.67
	低度敏感	114195	102.78	27.73	89.40
	非敏感	43672	39.30	10.60	100.00

高度敏感区面积为 104.08 km²,占流域总面积的 28.08%,主要土地利用类型为林地、水域、沼泽地等,是星云湖流域最为脆弱的生态环境区,极易受到人为干扰,而且一旦破坏很难短期恢复,此类区域可作为生态保护区。对于星云湖而言,目前星云湖水污染严重,其污染主要来自于其周围的耕地,农业面源污染严重,需调整农业结构,以降低农业带来的污染;其次加大对星云湖的湖滨带建设,并加强保护力度。对于林地,应当进行保山育林,维持生态系统的稳定

星云湖流域敏感性总体较高(中度和高度敏感区),面积为 228.60 km²,占流域总面积的 61.67%,主要分布在江城镇、星云湖及其缓冲区、雄关乡等。

性,避免人为干扰。

中度敏感区面积为 124.52 km²,占流域总面积的 33.59%,主要为草地、部分林地、部分耕地区域,它包围着高度敏感区,对维护高度敏感区的生态整体性具有关键作用,是高度敏感区的重要保护屏障。中度敏感区属于较脆弱的生态环境区,较易遭受人为干扰,从而造成生态系统的扰动与不稳定,此类区域可以作为控制发展区。对于中度敏感区,应当提高区域森林覆盖率,促进生态产业的发展,如较高经济收入的果园、城镇及湖泊防护林地和培育风景树苗圃基地等。

低度敏感区面积为 102.78 km²,占流域总面积的 27.73%,是中度敏感区和非敏感区的过渡地带,对于发展林地效率相对较低,但具有一定的抗干扰能力,是高度敏感区的一道隔离带。主要为耕地、较少部分林地和城镇公园休闲娱乐的区域。此区域对生态环境的影响不大,可作为适宜发展区,可进行强度较大的开发,但必须严格控制“三废”。该区除了进行生态林种植外,可发展有经济收入的工业用材林、园地、发展畜牧业,以及局部性的农业活动。

非敏感区 39.30 km²,占流域总面积的 10.60%,主要为人类生产、生活区,该区主要为流域各种农业生产集中区和人类居住区,是流域居民生存和发展的基础条件,从这个角度看,该区经济发展远大于生态保护,经济发展为主生态保护为辅,也作为适宜发展区。在生活区应当努力改善城镇生态状况,创造良好的人居环境,为居民提供游憩休闲园地,完善城市可持续发展的重要基础设施;在生产区应尽可能地调整优化该区的农业生产布局,发展低污染高经济效益的种植结构,降低农业所带来的污染。

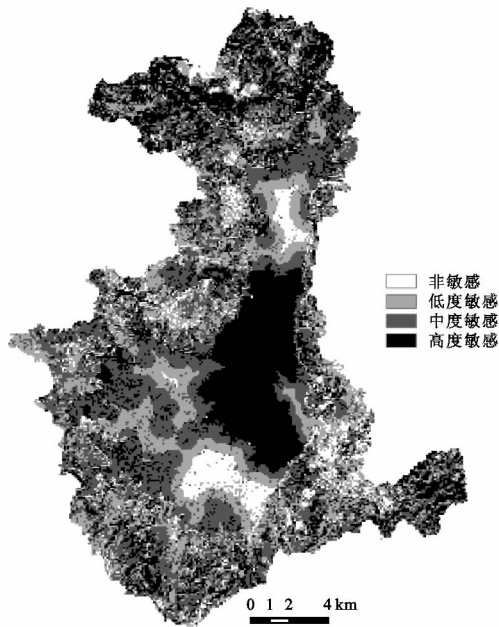


图2 星云湖流域综合生态敏感性等级

4 结论与讨论

4.1 结论

本文分析了影响星云湖流域生态环境的主要因子,并建立了生态敏感性评价指标体系;根据星云湖流域的地形地貌,提出将研究区分为山区和坝区;借助层次分析法确定了生态因子分别在山区和坝区的权重,减少了主观因素的影响,增加了评价的客观性和科学性;利用GIS技术进行了高原湖泊星云湖流域生态敏感性评价,并对各生态敏感区提出初步的功能区划定及其管理意见,主要结论如下:(1)本文选取土壤侵蚀强度、土地利用类型、植被覆盖度、距水源距离、坡度、灾害易发性6个二级指标,构建了流域生态敏感性评价指标,并基于GIS技术进行评价,评价结果能较好地反映流域综合生态敏感性空间特征,并对其进行定量分析和制图表达,且结果可作为该地区的土地资源开发建设和环境规划与保护的依据,并为相似地形地貌高原湖泊展开类似研究提供参考。

(2)评价结果将星云湖流域分为不同的单一型敏感区和综合型敏感区,能为环境保护、土地开发和地质灾害防治工作的实施提供科学依据,利于达到因地制宜的目的。单一型敏感区主要包括江城镇、大街镇、雄关乡和星云湖及其湖滨等,这些地区单一的生态敏感性等级较高,应针对性地制定防御措施;综合型生态敏感区主要分布在江城镇、星云湖及其湖滨和雄关乡等,这些地区生态特性复杂,是生态环境保护的重点。

总之,星云湖流域由于其独特的地理位置、地形因素、海拔因素等,人类活动对自然环境的影响很大,生态环境现状较差,且星云湖流域生态非敏感区少,

一旦破坏自我修复能力弱,易发展成高度敏感、中度敏感,生态环境急剧恶化,应引起足够的重视。

4.2 讨论

(1)指标体系选取过程中,没有考虑单位面积GDP、人口密度等人文因子。就本研究区的单位面积GDP主要集中产生于城镇,其多少很难直接与影响区域生态敏感性相联系,例如一些高新技术产业对生态环境影响不大。人口密度主要考虑到难以将其对区域生态敏感性的影响落实到具体空间上去。

(2)选取的6个二级指标较准确和全面地反映星云湖最主要的生态问题,简易的指标体系能起到快速评价的作用。然而受限于研究资料,仍有值得改进之处。生物多样性敏感性评价选择土地利用类型和植被覆盖度评价总体来看可以反映,但严格来说应考虑物种的生境来评价生物多样性敏感性,如斑块、基质、廊道等。

致谢:江川区政府、江川区农业、林业、国土、统计、环保等部门为本文资料收集提供了帮助,特此致谢。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 杨志峰,徐俏,何孟常,等.城市生态敏感性分析[J].中国环境科学,2002,22(4):360-364.
- [3] 李中强,王双玲,杨梅,等.基于生态敏感性分析的湖泊保护与利用:以湖北省斧头湖为例[J].长江流域资源与环境,2010,19(6):714-718.
- [4] Carrington D P, Gallimore R G, Kutzbach J E. Climate sensitivity to wetlands and wetland vegetation in mid-Holocene North Africa[J]. Climate Dynamics, 2001, 17(2/3):151-157.
- [5] Eggermont H, Verchuren D. Limnological and ecological sensitivity of Rwenzori mountain lakes to climate warming[J]. Hydrobiologia, 2010, 648(1) 123-142.
- [6] Horne R, Hickey J. Ecological sensitivity of Australian rainforests to selective logging[J]. Australian Journal of Ecology, 1991, 16(1):119-129.
- [7] Muzik I. Sensitivity of Hydrologic Systems to Climate Change[J]. Canadian Water Resources Journal, 2001, 26(2):233-252.
- [8] Rodriguez E, Vila L. Ecological sensitivity atlas of the argentine continental shelf[J]. International Hydrographic Review, 1992, 69(2):47-53.
- [9] Rossi P, Pecci A. Coupling indicators of ecological value and ecological sensitivity with indicators of demographic Pressure in the demarcation of new areas to be Protected: The case of the Oltrepo Pavese and the Ligurian-Emilian Apennine area (Italy)[J]. Landscape and Urban Planning, 2008, 85(1):12-26.

- 及其分析[J]. 地理科学进展, 2012, 31(11): 1546-1551.
- [3] 赵荣钦, 秦明周. 中国沿海地区农田生态系统部分碳源/汇时空差异[J]. 生态与农村环境学报, 2007, 23(2): 1-6, 11.
- [4] Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2007: Mitigation of climate change. Contribution of working group III to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change Cambridge [R]. London: Cambridge University Press, 2007(4): 63-67.
- [5] 中华人民共和国. 中华人民共和国气候变化初始国家信息通报[M]. 北京: 中国计划出版社, 2004.
- [6] 李国志, 李宗植. 中国农业能源消费碳排放因素分解实证分析: 基于 LMDI 模型[J]. 农业技术经济, 2010, 29(10): 66-72.
- [7] 田云, 李波, 张俊飏. 给予投入角度的农业碳排放时空特征及因素分解研究: 以湖北省为例[J]. 农业现代化研究, 2011, 32(6): 752-755.
- [8] 黄祖辉, 米松华. 农业碳足迹研究: 以浙江省为例[J]. 农业经济问题, 2011(9): 93-98.
- [9] 张小平, 王龙飞. 甘肃省农业碳排放变化及影响因素分析[J]. 干旱区地理, 2014, 37(5): 1029-1035.
- [10] 韩岳峰, 张龙. 中国农业碳排放变化因素分解研究: 基于能源消耗与贸易角度的 LMDI 分解法[J]. 当代经济研究, 2013(4): 47-52.
- [11] 李波, 张俊飏, 李海鹏. 中国农业碳排放时空特征及影响因素分解[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(8): 80-86.
- [12] 高标, 房骄, 许靖涛, 等. 吉林省农业碳排放动态变化及驱动因素分析[J]. 农业现代化研究, 2013, 34(5): 617-624.
- [13] 李波, 张俊飏. 基于投入视角的我国农业碳排放与经济发展脱钩研究[J]. 经济经纬, 2012(4): 27-31.
- [14] 李立, 周灿, 李二玲, 等. 基于投入视角的黄淮海平原农业碳排放与经济发展脱钩研究[J]. 生态与农村环境学报, 2013, 29(5): 551-558.
- [15] 田素妍, 郑微微, 周力. 中国畜禽养殖业低碳清洁技术的 EKC 假说检验[J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(7): 28-33.
- [16] 高标, 房骄, 许靖涛. 吉林省农业碳排放量动态分析与预测研究[J]. 中国农机化学报, 2014, 35(1): 310-315.
- [17] 赵荣钦, 刘英, 丁明磊, 等. 河南省农田生态系统碳源/汇研究[J]. 河南农业科学, 2010, 39(7): 40-44.
- [18] 田云, 李波, 张俊飏. 我国农地利用碳排放的阶段特征及因素分解研究[J]. 中国地质大学学报, 2011, 11(1): 59-63.
- [19] West T O, Marland G A. Synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture; Comparing tillage practices in the United States[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2002, 91(1/3): 217-232.
- [20] 陆钟武, 王鹤鸣, 岳强. 脱钩指数: 资源消耗、废物排放与经济增长的定量表达[J]. 资源科学, 2011, 33(1): 2-9.
- [21] OCED. Indicators Environmental Presuure from Economic Growth[R]. Paris: OCED, 2002.
- [22] Tapio P. Towards a theory of decoupling: Degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001 [J]. Journal of Transport Policy, 2005(12): 137-151.
- [23] Grossman G M, Krueger A B. Economic Growth and Environment[J]. The Quarterly Journal of Economic, 1995, 110(2): 353-377.
- [24] 李周, 包晓斌. 中国环境库兹涅茨曲线的估计[J]. 科技导报, 2002, 23(4): 57-58.

~~~~~  
(上接第 271 页)

- [10] 刘军会, 高吉喜, 马苏, 等. 中国生态环境敏感区评价[J]. 自然资源学报, 2015, 30(10): 1607-1616.
- [11] 杨月圆, 王金亮, 杨丙丰. 云南省土地生态敏感性评价[J]. 生态学报, 2008, 28(5): 2253-2260.
- [12] 魏伟, 石培基, 周俊菊, 等. 基于区统计方法的石羊河流域土地生态敏感性评价[J]. 水土保持研究, 2015, 22(6): 240-244.
- [13] 刘智慧, 周忠发, 郭宾. 贵州省重点生态功能区生态敏感性评价[J]. 生态科学, 2014, 33(6): 1135-1141.
- [14] 李东梅, 高正文, 付晓, 等. 云南省生态功能类型区的生态敏感性[J]. 生态学报, 2010, 30(1): 138-145.
- [15] 朱东国, 谢炳庚, 陈永林. 基于生态敏感性评价的山地旅游城市旅游用地策略: 以张家界市为例[J]. 经济地理, 2015, 35(6): 184-189.
- [16] 吕远洋, 刘志红, 叶帮苹, 等. 川西高原精细化生态敏感性评价[J]. 水土保持研究, 2016, 23(1): 272-277.
- [17] 杨世凡, 安裕伦, 王培彬, 等. 贵州赤水河流域生态红线区划分研究[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(8): 1405-1411.
- [18] 李德旺, 李红清, 雷晓琴, 等. 基于 GIS 技术及层次分析法的长江上游生态敏感性研究[J]. 长江流域资源与环境, 2013, (05): 633-639.
- [19] 周雨露, 杨永峰, 袁伟影, 等. 基于 GIS 的济南小清河流域生态敏感性分析与评价[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(3): 50-56.
- [20] 马琪. 陕北无定河流域生态敏感性十年变化评价[D]. 西安: 西北大学, 2013.
- [21] 王佳旭. 高原湖泊流域人居环境生态敏感性评价及空间优化研究[D]. 昆明: 云南大学, 2015.
- [22] 王志涛, 门明新, 崔江慧. 沾源县未利用地生态重要性空间识别及其地形梯度特征分析[J]. 中国生态农业学报, 2016, 24(2): 256-264.