

基于 3S 技术的“后三峡时代”万州区生态敏感性评价研究^{*1}

李辉

(重庆工商大学融智学院, 重庆 401320)

【摘要】:以重庆市万州区作为研究对象,以 2016 年 TM 遥感影像、环境监测公报数据、《统计年鉴》数据作为研究的基础数据,以“3S”作为技术支撑,运用层次分析评价法对万州区生态敏感性进行评价。结果表明:万州区平均生态敏感性(ESI)指数处于中等偏低水平,在空间分布上存在差异。生态一般敏感区主要分布在万州区的边界部分;轻度敏感区则相对均匀地分布在整个研究区且分布十分广泛;中度敏感区主要分布在万州区东南和西南的山麓;高度敏感区主要分布在万州区的高海拔山区并且呈带状分布,是需要引起特别关注的区域。以此为三峡库区制定生态恢复和生态保护相关政策与措施提供参考。

【关键词】:生态敏感性;层次分析法;3S;万州区;评价

【中图分类号】:X826 **【文献标志码】**:A **【文章编号】**:1005-8141(2018)02-0160-06

国外对生态脆弱性研究起步较早,相关理论较成熟。1905 年,Elements Ecotone 将“生态过渡带”引入生态学研究。国外对生态脆弱性的研究主要关注全球变化,尤其是全球气候变化背景下生态系统脆弱性的响应变化。国内脆弱性研究最早始于 20 世纪 80 年代对生态脆弱区域的识别,近几十年来生态脆弱性的研究大多从气候变化和社会经济入手,横跨资源、灾害、人类活动三方面,同时将自然要素与人类活动要素相结合进行综合研究。

随着全球人口数量的快速增长和社会经济的飞速发展,人类对自然环境和资源的过度利用与开发,使许多区域出现了生态系统退化现象^[1]。三峡库区主要是指受水位变化影响的区域,包括重庆和湖北省 26 个行政区县^[2]。三峡库区是长江流域具有重要战略意义的生态屏障地区,对我国社会经济发展的影响是极为深远的。它在防洪防汛、发电、交通运输等方面发挥着作用巨大,同时也对三峡库区的生态系统产生深远影响^[3]。三峡工程的三次大蓄水后,受水位变化对库区的生态环境造成了严重影响,生态系统表现出一定的不稳定状态,是典型的生态脆弱带^[4,5]。

本文主要选取三峡库区万州区这样一个特殊的生态脆弱带作为研究样本,利用 RS 和 GIS 技术,并充分依据三峡库区万州区生态环境的实际状况和特征,结合多方面因素综合考虑,构建指标体系,采用层次分析评价方法,以 500m×500m 的栅格为评价单元,对其进行生态敏感性评价研究,在一定程度上可以完善和提高生态敏感性评价的基础理论与方法,生态敏感性评价研究的内容也能够得到一定的丰富;同时,研究成果可以为三峡库区制定生态恢复和生态保护相关政策与措施提供参考,对三峡库区实现生态

¹ 收稿日期:2017-12-17; 修订日期:2018-01-24

基金项目:教育部人文社会科学研究项目(编号:14YJCZH069);重庆市教委科技项目(编号:KJ1719373);2017 年重庆市教委人文社科一般项目(编号:17SKG243)资助;2015 年重庆市教委人文社科项目(编号:15SKG095);重庆工商大学融智学院 2016 年人文社科研究一般项目(编号:20167001)资助。

第一作者及通讯作者简介:李辉(1989-),男,湖南省株洲人,硕士,主要研究方向为 3S 理论与应用。

环境与社会经济的可持续发展具有一定的意义。

1 研究区概况

1.1 基本概况

三峡库区是指受长江三峡工程建设而导致部分区域被淹没,并有移民任务的 20 个县(区),介于四川盆地和长江中下游之间。万州区处于三峡库区核心区域,长江中上游结合部,是三峡库区经济、文化、教育和交通枢纽中心。万州区位于长江中上游结合部、重庆市东部、三峡库区腹心、四川盆地东部边缘,介于 $30^{\circ} 24' - 31^{\circ} 14' N$, $107^{\circ} 52' - 108^{\circ} 53' E$ 之间,距重庆水路 327km,陆路 328km,距三峡工程三斗坪大坝 283km,是长江沿岸十大港口之一,下辖 11 个街道办事处(包括江南新区)、28 个建制镇、14 个乡,区域总面积达 3457km^2 ,具有山城和江城双重特色(图 1)。万州区跨越大巴山断皱带,川东褶皱带和川、鄂、黔褶皱带交融处(图 2)。境内地形复杂、地貌类型众多,整个区域平均海拔达到 907m,最高海拔 1762m。区内水系丰富,皆为长江水系,长江过境长度达 83.4km,共有河流 46 条。万州区地处湿润亚热带季风气候带,研究区年平均温度达到 18.1°C ,四季分明,夏长有伏旱,冬天暖春季旱,气候温和。

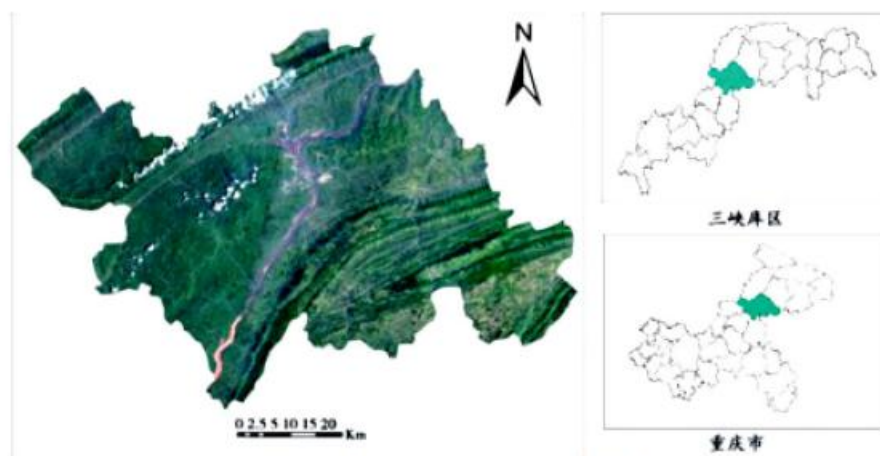


图 1 研究区区位与遥感影像

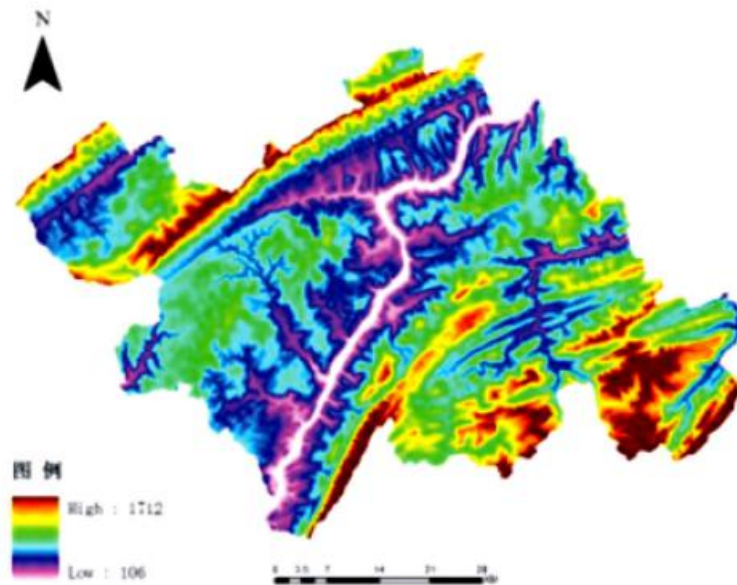


图2 万州区 DEM 分布

1.2 生态环境概况

目前,三峡库区重庆段森林覆盖率约为 22%,沿江两岸区县森林覆盖率只有 10%左右,远低于长江上游 28%的平均值^[6]。三峡库区自然灾害频发,为著名的伏旱区,伏旱频率高达 80—90%。三峡库区是全国水土流失最严重的地区之一^[7],库区频繁且大强度的水土流失现象对土层造成了极大破坏,使地表肥力降低;大量泥沙流进水库,河床随之升高、水体被污染,同时对三峡大坝的生态安全和社会经济效益造成不利影响^[8-11]。

研究区地形地貌复杂多样,未利用耕地资源匮乏,致使人地关系矛盾突出,生态环境系统压力较大。受三峡水库蓄水的影响,消落带面积随之增大,随着产生一系列的生态问题。此外,万州区土壤侵蚀和水土流失问题严重。由于水库的三次大蓄水对长江沿岸的岩体造成了一定的压力,提高了地质灾害发生的几率,生态敏感性程度有加深趋势,属于典型的生态环境脆弱区。

2 数据源与数据处理

2.1 数据源

主要是:①地形坡度。参考水土保持行业对地形的分类标准,将地形分为 $0<5^{\circ}$ 、 $5-8^{\circ}$ 、 $8-15^{\circ}$ 、 $15-25^{\circ}$ 、 $25-60^{\circ}$ 和 $>60^{\circ}$ 五个等级进行水土流失敏感性评价。在 ArcGIS 软件技术支撑下,通过 DEM 数据(1:50000)的表面分析功能获得坡度数据。②土地利用类型。该指标数据来源于重庆工商大学空间信息研究所基于 TM 遥感数据解译的三峡库区土地利用现状数据库。③地质灾害。本文对地质灾害的敏感性评价数据来源于国家地质调查局官方网站上的中国地质灾害分布图。④植被覆盖度。以万州区 2016 年 Landsat TM 遥感影像为基础数据源,在 RS 和 GIS 的技术支撑下获取研究区归一化植被指数。

2.2 数据处理

评价指标量化:由于指标体系中的各项评价指标的类型复杂,为了便于计算,有必要对各项指标的原始数据进行标准化^[12-14]。生态敏感性评价数据标准化的方法众多,本文主要采用极差标准化和专家分级法进行数据标准化处理。

权重分配方法:评价指标进行权重分配是所有评价研究重点工作,评价指标权重是否科学合理直接影响到评价结果的可信度^[15-17]。本研究采取专家打分法和层次分析法相结合确定指标权重。

3 万州区生态敏感性评价方法

3.1 评价单元的划分

评价单元是反映研究区生态敏感性的最小单元,可以反映出生态环境的客观特征和空间的分异特征^[18]。本文以三峡库区万州区为研究对象,根据数据的收集情况、研究内容和研究要求,采用栅格单元评价方法。

3.2 评价指标体系的构建

构建评价指标体系是本次生态敏感性评价的关键问题^[19]。在构建指标体系时,主要依据是指标体系的构建原则和研究区生态环境特征的客观辨识,再选取生态敏感性最具代表性的具体指标因子进行评价指标体系的构建,见图 3。

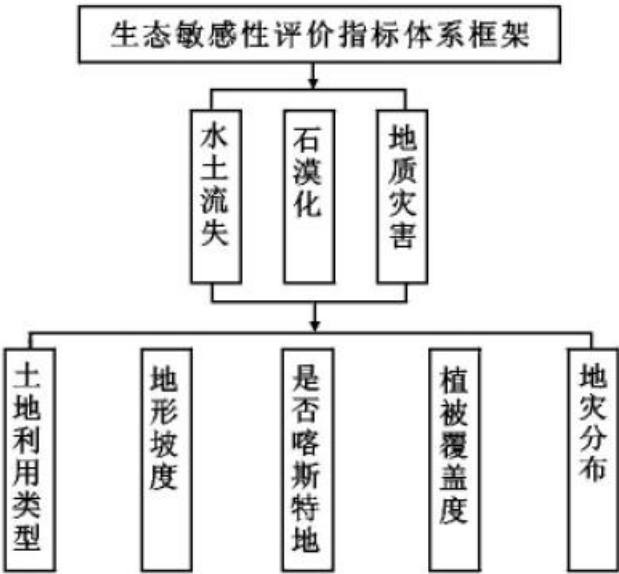


图 3 万州区生态敏感性评价指标体系

3.3 指标权重的确定

由于万州区生态敏感性评价具有多层次、多目标的特点,经综合分析研究,选取层次分析法计算各评价指标的权重值。在区域生态敏感性评价的指标层中,本文将各因子相对于评价系统层的重要性进行相互比较,以比较结果建立成判断矩阵,再计算判断矩阵的最大特征根和特征向量,特征向量中的各个元素则为相对应的评价指标的权重。然后,进一步在评价系统层上计算出目标层的权重值,将评价指标层的权重矩阵与评价系统层的权重值相乘,可得到评价目标层的权重,见表 1。

表 1 万州区生态敏感性评价指标体系与权重

目标层	权重	准则层	权重	评价指标	权重
A 生态 敏 感 度	0.5	B ₁ 水土流失 敏感性指数	0.45	C ₁₁ 土地利用类型	0.65
				C ₁₂ 地形坡度	0.35
				C ₂₁ 是否喀斯特地貌	0.45
		B ₂ 心石漠化 敏感性指数	0.45	C ₂₂ 地形坡度	0.25
				C ₂₃ 植被覆盖度	0.30
		B ₃ 地质灾害敏感度指数	0.1	C ₃ 地灾分布	1

3.4 生态敏感性评价模型的选择

生态敏感性综合评价涉及到很多影响因素, 根据研究区的特点, 总结出易发生的生态问题主要有土壤侵蚀、沙漠化、自然灾害等。假设生态系统的敏感程度取决于 A₁, A₂, A₃, ..., A_n 等 n 个因子, 则该生态系统的敏感性程度指数 ESI (Ecological Sensitivity Index) 的计算公式可表达为:

$$ESI = f(A_1, A_2, A_3, \dots, A_n) \dots\dots\dots (1)$$

对研究区来说, 水土流失、盐渍化、土壤侵蚀、地质灾害和石漠化是较易发生的生态问题。生态敏感度的具体计算公式为:

$$ESI = \sum_{i=1}^n S_i \times W_i \dots\dots\dots (2)$$

式中, ESI 表示生态敏感性指数; S_i 表示研究区生态系统中生态环境问题的易发程度; W_i 表示潜在生态问题 i 对应的权重值。

3.5 生态敏感性分级

生态敏感性评价结果分级的主要目的首先是为了使生态敏感性评价的结果更加清晰、更加准确、更有针对性; 其次可全面反映研究区生态环境敏感性现状程度, 以便更有针对性地对生态恢复和生态治理提出建议。为了达到评价结果更直观地显示, 本文对生态脆弱度指数划分为五级 (从高到低)。分级的标准主要参考乔青 2007 年对川滇农牧交错带景观格局与生态敏感性评价一文, 各等级的划分标准和生态敏感性特征见表 2。

表 2 万州区生态敏感性划分标准

敏感性分级	脆弱性指数	生态环境特征
一般敏感区	<20	生态系统中无明显生态敏感因素,生态承载力高,生态系统抵抗干扰能力及自我恢复能力较强,人类可进行合理的生态环境和资源开发利用活动,也能使生态环境和社会经济得到协调发展
低度敏感区	20-40	生态系统敏感度相对较低、改生态系统暂无明显的生态环境问题,但自身会有潜在生态问题发生的可能性;可在一定程度上承受人类进行科学合理的相关活动
中度敏感区	40-60	生态系统的敏感程度较低,生态环境问题突发的机率相对较大,但该生态系统具有一定的生态自我恢复能力,也具有恢复到原有生态功能的潜力
高度敏感区	60-80	生态系统的生态敏感性较高,存在潜在的生态风险;生态系统对外界干扰的反抗能力较小,可承载的人类活动的强度小
极度敏感区	>80	区域生态系统敏感性高、对外界干扰的抵抗力十分薄弱;生态问题严重,人类的生存和社会经济的发展已经受到相当大的影响

4 万州区生态敏感性评价结果与分析

4.1 水土流失敏感性评价

水土流失敏感性评价指标的确定:不同区域的自然条件和生态特征不同,因此生态系统对不同生态问题的敏感性易发程度也不同。根据万州区的自然和社会经济情况,本文选取地形坡度和植被覆盖类型作为研究区水土流失敏感性的两大评价指标,分级和赋值见表 3。

表 3 水土流失敏感因子及分级

因子指标	不敏感	轻度敏感	中度敏感	高度敏感	极敏感
土地利用类型	水体（河流、湖泊、水库、坑塘）友湿地	阔叶林、针叶林、灌木林	疏林地 经济林	建设用地 旱地	无植被（裸地、采矿用地等）
地形坡度	<5°	5-8°	8-15°	15-25°	>25°
分级赋值	10	30	50	70	90

水土流失敏感度指数计算模型:水土流失敏感性评价一般情况下,在土壤侵蚀方程为基础上,针对研究区的具体情况对水土流失产生的条件筛选相关评价指标。本文以通用水土流失方程为参考,从地貌和植被因素对研究区进行水土流失评价,并在地理信息系统的技术支持下反映水土流失敏感性指数在空间上的分布情况,计算公式为:

$$S_a=\sum_{i=1}^n d11_i \times W_i \dots\dots\dots (3)$$

式中, S_a 为水土流失敏感性指数; $d11_i$ 为水土流失敏感性评价第 i 个指标的分值; W_i 为水土流失敏感性评价第 i 个指标对应的权重值。

万州区水土流失敏感性评价结果:水土流失敏感性指标数据的准确计算,决定了评价结果的有效性与科学性。在 ArcGIS10.2 的技术支撑下,利用式(3)计算出研究区每个评价栅格单元上的水土流失敏感度指数,再通过 Arc GIS 软件综合制图功能,得到研究区水土流失敏感性指数分布图(图 4)。

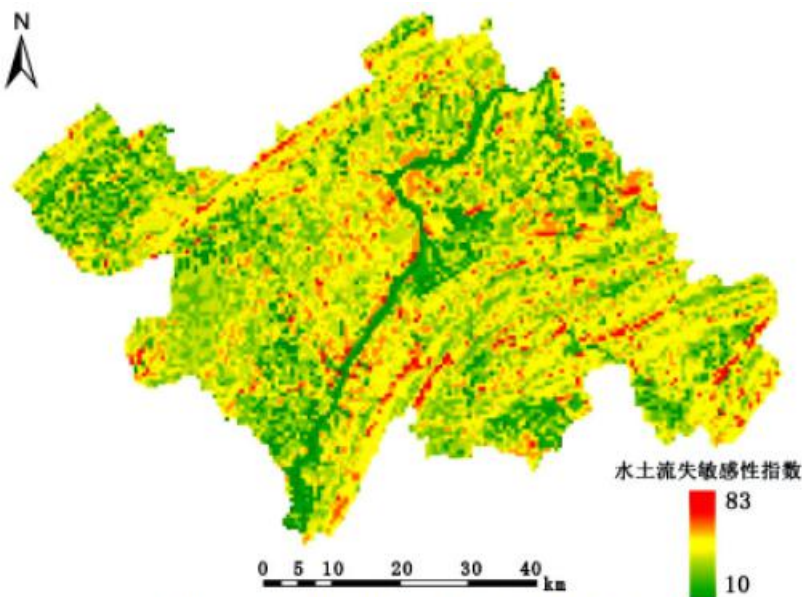


图 4 万州区水土流失敏感性分布

4.2 石漠化敏感性评价

石漠化敏感性评价指标确定:本研究根据石漠化产生原因、石漠化敏感性评价的机理和研究区的实际情况,确定地貌类型、坡度和植被覆盖度作为研究区石漠化评价指标(表 4)。

表 4 石漠化敏感性评价指标分级

指标名称	指标分级标准
------	--------

	一般敏感	轻度敏感	中度敏感	高度敏感	极敏感
地貌类型 (是否为喀斯特地貌)	不是	是	是	是	是
地形坡度	<5°	5° -8°	8° -15°	15° -25°	>25°
植被覆盖度	>90	>70	50-70	30-50	<30
分级分值	10	30	50	70	90

石漠化敏感性指数计算模型:根据石漠化的形成机理和研究区的实际情况,石漠化计算模型为:

$$S_b = \sum_{i=1}^n d12_i \times W_i \dots\dots\dots (4)$$

式中, S_b 为石漠化敏感性指数; $d12_i$ 为石漠化敏感性评价第 i 个指标的分值; W_i 为石漠化敏感性评价第 i 个指标对应的权重值。

万州区石漠化敏感性评价结果:在 Arc GIS10.2 的技术支撑下,本文获得了研究区植被覆盖度分布图和喀斯特地貌分布图(图 5、图 6)。

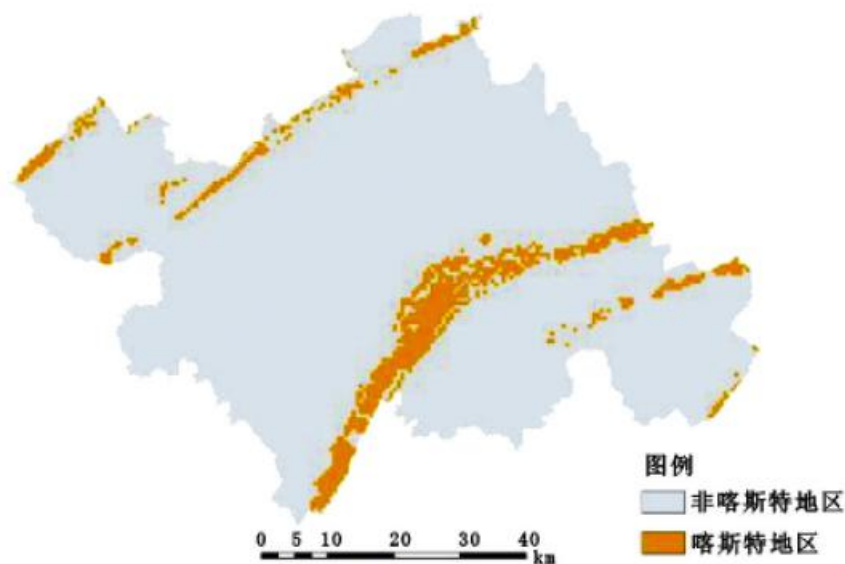


图 5 喀斯特地貌分布

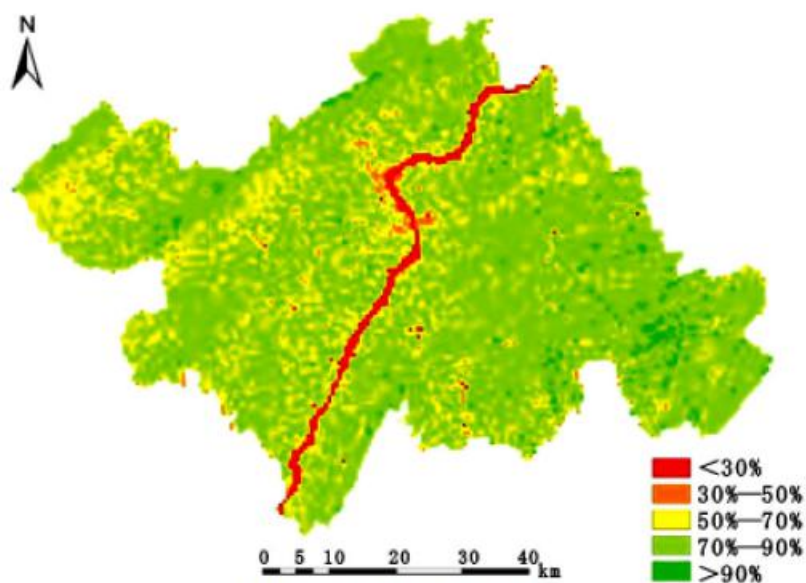


图 6 植被覆盖度分布

在 ArcGIS10.2 的技术支撑下,利用式(4)可计算得出三峡库区万州区每个评价栅格单元上的石漠化敏感度指数,再通过 ArcGIS 软件综合制图功能,得到研究区石漠化敏感性指数分布图(图 7),研究区的石漠化敏感度指数值处于 0—80.5 之间;以 20 分为一个生态敏感性程度间隔,将其从 0—100 划分为五个级别,栅格单元的分值越高,则石漠化敏感性也越大。

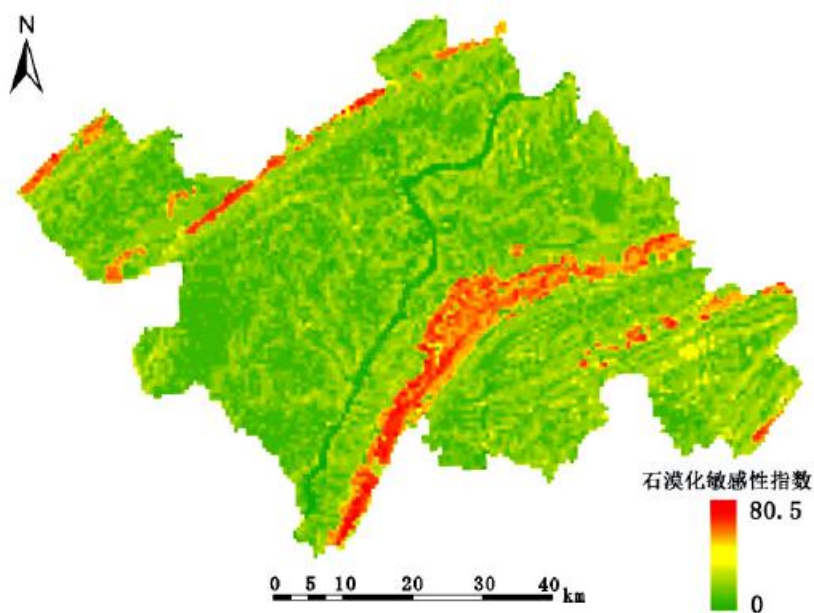


图 7 万州区石漠化敏感性分布

4.3 地质灾害敏感性评价

研究区地质灾害类型及成因分析:三峡库区由于自然环境特殊、地质条件复杂、环境容量有限,是我国地质灾害的易发区和重灾区。研究表明,地质灾害发生的主要是受地貌与地质运动的控制、水及人类活动等因素影响。

地质灾害敏感性分析方法:根据研究区地质灾害数据来源,本文进行了分级,见表 7。

表 7 三峡库区万州区地质灾害敏感性分级标准

项目	一般敏感	轻度敏感	中度敏感	高度敏感	极度敏感
地灾发生程度	微度易发区	轻度易发区	中度易发区	重度易发区	极度易发区

万州区地质灾害敏感性评价结果:本研究以中国地质调查局公布的中国地质灾害分布图为基础,利用 ArcGIS10.2 相关功能将研究区单独提取,并对其进行矢量化和坐标投影校准,得到三峡库区万州区地质灾害易发程度分区图(图 8)。

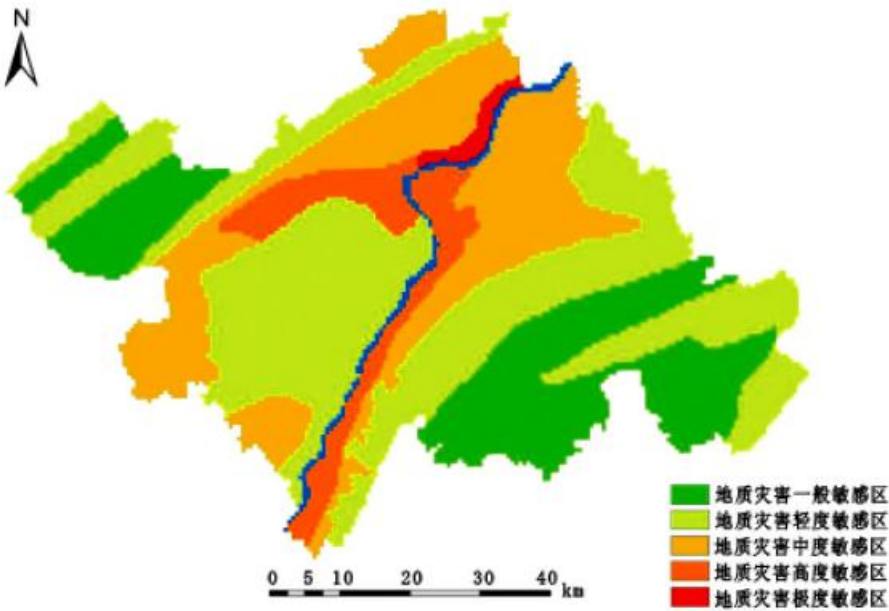


图 8 万州区地质灾害敏感性分布

4.4 生态敏感度评价结果

为了获得研究区生态敏感性的综合评价结果,本研究按照生态敏感性计算方法,在 ArcGIS10.2 的技术支撑下,将上述研究获得的水土流失敏感性、石漠化敏感性和地质灾害敏感性的单项评价结果进行叠加分析和加权求和,得到研究区每个栅格单元的生态敏感性指数,计算结果见图 9、图 10。从图 9 可见,万州区生态敏感性指数在空间分布上具有一定的特征。参照本文的生态敏感性分级来看,研究区生态敏感度可划分为生态高度敏感区、生态中度敏感区、生态轻度敏感区、生态一般敏感区四个等级。从整体上看,研究区生态环境脆弱性指数不高,但部分区域需在维护的基础上,进一步降低其生态敏感性。

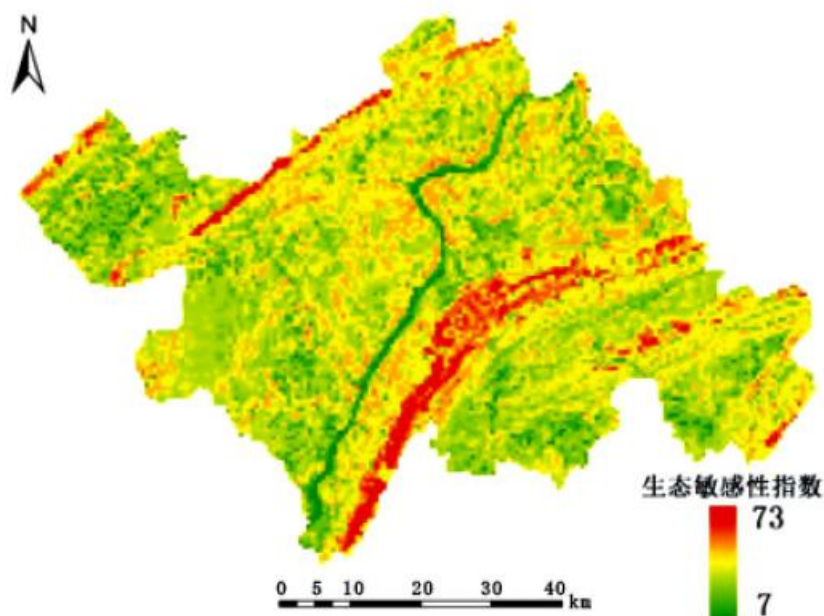


图 9 万州区生态敏感性分布

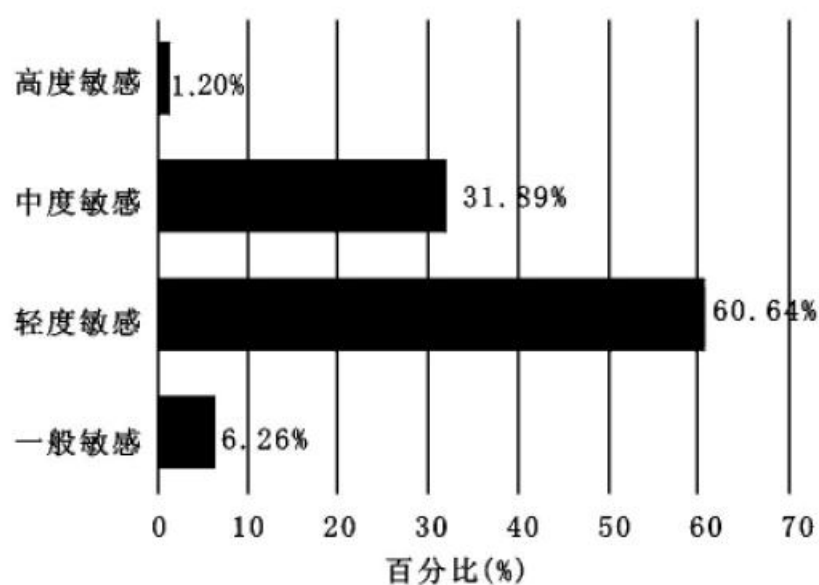


图 10 万州区各生态敏感程度比例

一般敏感性区:一般敏感区面积为 208.46km², 占万州区总面积的 6.26%, 主要分布在研究区行政边界部分, 这些区域森林覆盖率高、地形坡度起伏缓和、水土流失敏感性低, 石漠化生态灾害发生的可能性相对较小, 生态环境地质灾害不易发生, 生态敏感性整体较低, 抵抗人类活动干扰能力强, 是万州区需要重点维护的生态屏障, 但仍要防止城市化过程中的过度开发, 增加生态敏感性。

轻度敏感区:轻度敏感区面积为 2017.91km², 占万州区总面积的 60.64%, 是万州区各生态敏感性程度面积比例最大的级别, 均匀分布在万州区。通过调查发现, 这些地区人口少、林业和农业面积比例大、生态环境完好、能承受人类干扰的能力相对较强、生态系统相对稳定性、生态敏感性较低、人类开发建设活动对其影响有限, 但在利用资源和环境的过程中, 需要注意生态保护与经济发

展的协调。

中度敏感区:中度敏感区的面积为 1061.27km²,占万州区总面积的 31.89%,大部分位于该区的东南和西南的山地区域,这些区域坡度较陡、水土流失现象明显,地质灾害发生频率相对较高。这些地区需要对城镇、工矿业和陡坡耕种加以引导,迁出该区域,积极做好退耕还林措施,恢复和维护好森林生态系统。此外,还需要发展部分生态林,对河流和森林生态系统起着一定的隔离屏障作用。

高度敏感区:高度敏感区面积相对较小,仅有 40.23km²,占万州区总面积的 1.2%,是万州区生态敏感性四个程度中面积最小的一个等级。从图 10 可见,高度敏感区集中分布在万州区的高海拔山区,呈带状分布,这些地区人口分布十分稀少、经济发展较落后、林地郁闭度高、性森林资源较丰富,但由于地形复杂、水土流失敏感性和石漠化敏感程度较高,建议作为禁止开发区,尽量减少人为活动对其造成的影响和破坏,使区域的生态系统保持健康安全的状态。

5 结论与讨论

5.1 结论

主要结论包括:①从水土流失敏感性的空间分布看,长江中部靠右部分和万州区的西北部分、西南部分的水土流失敏感性较低。研究区西北部和东南部的两大山脉由于地貌为峡谷高山,地形坡度大,再加上岩石破碎,水土流失的敏感性高。②从石漠化敏感性空间分布看,石漠化轻度敏感区都均匀分布在万州区地势平坦的浅丘,是万州区各种石漠化程度面积比例最大的地区;西北部和东南部的两大山脉是典型的喀斯特地貌区,该区域的岩石破碎,再加上部分区域植被覆盖度低,石漠化发生几率较高。③从地质灾害敏感性的空间分布看,地质灾害高敏感区主要分布在长江东北沿岸和研究区西北的部分区域,呈“一横一纵”分布形态,主要的地质灾害类型是滑坡和崩塌。研究区的东南区域和西南区域地质灾害敏感性相对较低。④万州区的生态敏感性在空间分布上存在差异,一般敏感区占万州区总面积的 6.26%,主要分布在研究区行政边界部分;轻度敏感区占万州区总面积的 60.64%,相对均匀地分布在整个研究区且分布十分广泛;中度敏感区占万州区总面积的 31.89%,主要分布在万州区东南和西南的山麓;高度敏感区占万州区总面积的 1.2%,主要分布在万州区的高海拔山区,呈带状分布,是需要重点关注的区域。

5.2 讨论

主要是:①本研究所采用的基础数据在尺度上缺乏统一性,如 DEM 数据在空间尺度上的分辨率为 30m×30m,年降水量数据在空间尺度上的分辨率为 25m×25m,部分环境监测数据则为站点数据,因此在指标量化过程中,可能会造成尺度上存在一定的误差。②指标体系、指标因子和指标权重的制定有待做进一步检验。在对指标体系的建立和评价标准的制定这两个方面,虽然参考了大量的相关研究成果,并通过综合分析归纳后建立了指标体系和评价标准,但在区域生态敏感性评价中的准确性有待做进一步的探讨和细化。③评价结果的准确性有待提高。本文采用综合指数评价法对万州区进行生态敏感性评价,由于评价指标体系的层次过多,在一定程度上会对最终评价结果的准确性造成影响。

参考文献:

- [1]包双叶.当前中国社会转型条件下的生态文明研究[D].上海:华东师范大学硕士学位论文,2012.
- [2]张晓媛.三峡库区土地利用生态风险评价以万州区为例[D].重庆:重庆工商大学硕士学位论文,2015.
- [3]李瑞改.三峡库区城市化对生态系统服务功能的影响研究[D].长春:东北师范大学硕士学位论文,2005.

-
- [4]程辉, 吴胜军, 王小晓, 等. 三峡库区生态环境效应研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(2): 127-140.
- [5]靳毅, 蒙古军. 生态脆弱性评价与预测研究进展[J]. 生态学杂志, 2011, 30(11): 2646-2652.
- [6]AL Dousari A M, Misak R, Shahid S. Soil Compaction and Sealing in Al-Saimi Area. Western Kuwait[J]. Land Degradation and Development, 2000, 11(5): 401-418.
- [7]周彬, 董杰, 葛兆帅, 等. 三峡库区生态环境与可持续发展对策研究[J]. 生态学杂志, 2005, 24(12): 1503-1506.
- [8]张为. 水库下游水沙过程调整及对河流生态系统影响初步研究[D]. 武汉: 武汉大学硕士学位论文, 2006.
- [9]蔡玉鹏. 大型水利工程对长江中下游关键生态功能区影响研究[D]. 南京: 河海大学硕士学位论文, 2007.
- [10]肖建红. 水坝对河流生态系统服务功能影响及其评价研究[D]. 南京: 河海大学硕士学位论文, 2007.
- [11]樊大勇, 熊高明, 张爱英, 等. 三峡库区水位调度对消落带生态修复中物种筛选实践的影响[J]. 植物生态学报, 2015, 39(4): 416-432.
- [12]周旭. “3S”支持下喀斯特退化景观生态安全评价研究——以贵阳市为例[Z]. 2006.
- [13]许洛源, 黄义雄, 叶功富, 等. 基于土地利用的景观生态质量评价——以福建省海坛岛为例[J]. 水土保持研究, 2011, 18(2): 207-212.
- [14]尹剑慧, 卢欣石. 中国草原生态功能评价指标体系[J]. 生态学报, 2009, 29(5): 2622-2630.
- [15]王夏林. 月河流域水生态环境综合评价研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学硕士学位论文, 2013.
- [16]廖丹. 海岸带开发的生态效应评价研究[D]. 海口: 海南大学硕士学位论文, 2010.
- [17]彭建, 党威雄, 刘焱序, 等. 景观生态风险评价研究进展与展望[J]. 地理学报, 2015, 70(4): 664-677.
- [18]张红梅. 遥感与 GIS 技术在区域生态环境脆弱性监测与评价中的应用研究[D]. 福州: 福建师范大学硕士学位论文, 2005.
- [19]孙国军. 基于 BP 人工神经网络的内蒙古乌拉特前旗生态环境脆弱性评价[D]. 兰州: 西北师范大学硕士学位论文, 2009.