

# 基于 GIS 的邢江河流域生态环境敏感性分析

肖小林<sup>1</sup>, 兰安军<sup>2</sup>, 熊康宁<sup>1</sup>

(1. 贵州师范大学中国南方喀斯特研究院 贵州省山地生态环境国家重点实验室培育基地, 贵州 贵阳 550001;  
2. 贵州师范大学 地理与环境科学学院, 贵州 贵阳 550001)

**摘要:** 为了解邢江河流域存在的生态问题, 结合相关资料和研究数据, 选择土壤侵蚀、石漠化、酸雨、生境、水域缓冲区 5 个生态敏感性指标, 借助 GIS 技术, 利用栅格数据 GIS 空间分析方法对各评价因子进行量化提取, 采用多因子加权求和模型对各评价指标进行空间叠加分析和综合生态敏感性分析。结果表明: ① 邢江河流域生态敏感区的面积排序为轻度敏感区 (34.50%), 高度敏感区 (25.44%), 极度敏感区 (23.67%), 中度敏感区 (12.65%), 不敏感区 (3.73%), 极度敏感区和高度敏感区占了 49.11%; ② 极度敏感区主要分布在流域的上游, 高度敏感区分布在流域上、中游, 中度敏感区与轻度敏感区则零散地分布在整个流域, 不敏感区集中分布于流域的中上游。邢江河流域的生态敏感性在空间分布上存在差异, 生态敏感度较高, 生态环境状况较差, 地区的社会经济发展应充分注意生态环境的保护。

**关键词:** 生态敏感性; GIS; 邢江河; 贵州省

**中图分类号:** X171.4

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.09.016

进行生态敏感性分析, 制定生态环境保护规划, 指导区域社会经济建设是目前世界各国和地区面对日益严重的生态环境问题普遍采用的战略<sup>[1]</sup>。确定优先或重点开展生态环境建设和保护的区域, 进行生态敏感性评价是一种有效的方法<sup>[2]</sup>。所谓生态敏感性即生态因子对外界干扰的耐受能力, 进行生态敏感性分析就是研究在不损失或降低环境质量情况下, 生态因子对外界干扰和压力的适应能力<sup>[3]</sup>。目前, 国内外对生态敏感性的研究多集中在某一单一生态问题上, 如关于水土流失与土地退化的动态敏感性分析<sup>[4-5]</sup>、酸雨发生敏感性<sup>[6]</sup>、土壤盐渍化动态敏感性<sup>[7]</sup>、沙漠化敏感性等<sup>[8]</sup>, 而将流域作为研究对象的生态敏感性评价则不多见。

本文以 GIS 为技术支撑, 在生态环境现状调查、分析的基础上, 结合邢江河流域生态系统特征及生态环境主要影响因子, 充分考虑主要生态环境问题, 运用 ArcGIS 的空间分析功能, 以栅格数据的形式评价和分

析流域生态环境敏感性, 以期生态环境保护管理、治理决策提供科技支撑, 为土地利用综合分区以及空间综合管制的研究提供科学依据, 为生态功能分区发挥生态作用。

## 1 研究区概况

邢江河流域属长江流域乌江水系, 地处东经 105°35'50"~105°41'25"、北纬 25°53'45"~26°31'50"之间, 西接安顺城区, 东靠红枫湖, 可衔接清镇连接贵阳。邢江河流域面积约 134 km<sup>2</sup>, 流域主河道全长近 80 km, 多年平均径流量 4.38 亿 m<sup>3</sup> (见图 1)。流域属北亚热带季风湿润气候, 流域内气候温暖湿润, 对森林植物的生长发育、保存和繁衍具有深刻影响。流域处于贵州省主体功能区划所确定的生态系统脆弱度较高的区域, 生态安全重要性较高; 该区域岩溶发育, 保水能力较差, 是水土流失易发区; 区域基本农田分布广但土层瘠薄, 植被空间分布差异大, 覆盖率较低; 地表水渗透

收稿日期: 2014-10-28

基金项目: 贵州省科技计划项目“喀斯特山区低碳乡村旅游示范区建设关键技术与示范”[黔科合 SY 字 (2012) 3058]

作者简介: 肖小林, 男, 硕士研究生, 主要研究方向为喀斯特生态建设与区域经济。E-mail: 313208979@qq.com

通讯作者: 兰安军, 男, 副教授, 主要研究方向为喀斯特环境遥感分析。E-mail: 493486980@qq.com

性强,易导致石漠化,另外,区域城镇及居民点较多,生态环境压力较大。

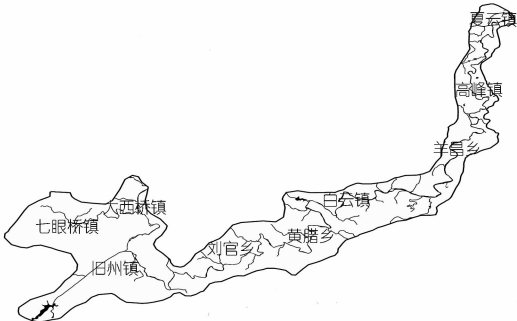


图 1 邢江河流域地理位置

## 2 数据与方法

### 2.1 数据来源

研究数据主要包括:研究区 2012 年 ALOS 遥感影像、1:1 万地形图、1:20 万水文地质图、1:20 万地貌图、1:2.5 万行政区划图,以及 1:1 万 DEM 数据、1:5 万坡度数据、高程数据、平坝县综合农业区划等。

### 2.2 评价指标体系的构建

生态环境问题形成和产生的原因往往是多个因子综合作用的结果,在进行生态环境敏感性分析时,常常采用多因子综合方法;影响生态敏感性的因子随研究区域和研究尺度的不同,因子选择具有明显差异。欧阳志云等在对我国生态环境敏感性划分研究中选用了气候、地形、土壤、地表覆盖度等因子<sup>[9]</sup>;杨志峰等在对广州市生态敏感性进行分析时选用了土地利用现状、面积、坡度、当地保护区类型和物种多样性 5 个生态因子<sup>[10]</sup>;张伟等在进行山地城市生态敏感性分析研究时,选取了坡度、高程、植物多样性、地质灾害、河流水库缓冲区等因子<sup>[11]</sup>;范凌云等在西北干旱区水环境生态敏感性分析时,选用了地形、土壤、植被、降水、蒸发、地下水、地表径流等因子<sup>[12]</sup>;陶星名等在对杭州市进行生态敏感性分析时,选取了地形起伏度、土壤质地、植被、生物多样性等因子<sup>[13]</sup>。

生态环境敏感性的制约因素多种多样,指标体系构建过程中要分清主次,结合实际,不能以偏概全、顾此失彼。建立指标体系是生态敏感性分析的核心工作,指标体系建立时要考虑区域的实际情况<sup>[3]</sup>。本次研究结合实际情况,依据区域差异性、资料完整性、因子可行性与代表性原则,选取了对区域生态敏感性影响较大的土壤侵蚀、石漠化、酸雨、生境和水域缓冲区 5 个生态指标,作为生态敏感性分析的主要影响因子。

### 2.3 土壤侵蚀敏感性评价方法

土壤侵蚀敏感性评价是为了识别容易形成土壤侵

蚀的区域,评价土壤侵蚀对人类活动敏感程度。邢江河位于中国水力侵蚀类型区的西南土石山区,流域内碳酸盐类和砂页岩分布,发育黄壤、红壤和黄棕壤;流域大小水系纵横交错、星罗棋布,加之气候温和湿润,雨量充沛,有利于碳酸盐岩类的溶解,因此,岩溶发育强烈,土壤可蚀性较高。本次土壤侵蚀敏感性的评价方法是综合考虑降水、地形、植被与土壤质地等因素(见表 1),运用 GIS 叠加运算来分析土壤侵蚀敏感性及其空间分布特征。

表 1 土壤侵蚀敏感性评价指标分级标准

项目	不敏感	低度敏感	中度敏感	高度敏感	极敏感
降雨侵蚀力(R)	≤25	25~100	100~400	400~600	>600
土壤可蚀性因子(K)	≤0.3	0.3~0.36	0.36~0.42	0.42~0.48	>0.48
地形起伏度(LS)	0~20	21~50	51~100	101~300	>300
植被(C)	水体、草本沼泽、稻田	阔叶林、针叶林、草甸、灌丛和萌生矮林	稀疏灌木草原、一年两熟粮作、一年水旱两熟	荒漠、一年一熟粮作	无植被
分级赋值(C)	1	3	5	7	9
分级标准(SS)	1.0~2.0	2.1~4.0	4.1~6.0	6.1~8.0	>8.0

在 ArcGIS 空间分析功能的支持下,综合评价因子的土壤侵蚀敏感性值,可按下式计算

$$SS_j = \sum_{i=1}^4 c(i,j)w_i \tag{1}$$

式中,  $SS_j$  为  $j$  空间单元土壤侵蚀敏感性指数;  $c(i,j)$  为  $i$  因素  $j$  空间的敏感性等级,  $w_i$  为  $i$  因子影响土壤侵蚀敏感性的权重。

### 2.4 石漠化敏感性评价方法

石漠化敏感性评价是为了辨识岩溶地区容易发生石漠化的区域,评价石漠化现象对人类活动的敏感程度<sup>[14]</sup>。碳酸盐岩的存在是发生石漠化的基础,邢江河流域在大地构造单元中属扬子准地台的上扬子大褶带中部,地层出露以二叠系、三叠系为主,非碳酸盐类岩层占总面积的 25%;土层贫薄、土壤抗蚀年限短、植被覆盖率低、石漠化现象严重。研究区石漠化敏感性评价选用岩性、坡度、植被覆盖度和土地利用类型 4 个因子作为石漠化敏感性的评价指标(见表 2)。其方法与土壤侵蚀评价方法一致,不再赘述。

表 2 石漠化敏感性评价指标分级标准

敏感性	岩性	坡度/	植被覆盖/	土地	分级赋值	分级标准
分级		(°)	%	利用	C	SS
不敏感	非碳酸盐岩	≤5	70 以上	水体、水田、建筑用地	1	1.0~2.0
轻度敏感	夹层型碳酸盐岩	5~15	60~70	有林地、平坦旱地、高覆盖草地	3	2.1~4.0
中度敏感	混合型碳酸盐岩	15~25	40~60	灌木林地、疏林地、中覆盖草地	5	4.1~6.0
高度敏感	纯石灰岩	25~35	20~30	低覆盖草地、坡耕地	7	6.1~8.0
极敏感	纯白云岩	35 以上	≤20	裸土、裸岩地	9	≥8.0

2.5 酸雨敏感性评价方法

酸雨间接影响生态系统的结构和功能改变的相对难易程度。生态系统的结构和功能与地区的气候、土壤、母质、植被及土地利用等自然条件都有关。研究区处于贵州省岩溶地区,发育有石灰岩、白云岩、碎屑岩、少量页岩与砂岩,抗侵蚀力差;土壤类型主要为黑色石灰土、黄色石灰土、黄棕壤、黄壤以及水稻土,土壤固结力差;流域雨水充沛,水分盈亏量达 300 ~ 600 mm/a。根据酸雨敏感性的特有性质,参照相关方法,选取岩石类型、土壤类型、植被与土地利用、水分盈亏量 4 个因子的各自贡献率及权重值(见表 3),叠加计算出酸雨敏感性的总体敏感性值。

表 3 生态系统对酸雨的相对敏感性分级指标

因子	贡献率	等级	权重
岩石类型	1	I A 组岩石	1
		II B 组岩石	0
土壤类型	1	I A 组土壤	1
		II B 组土壤	0
植被与土地利用	2	I 针叶林	1
		II 灌丛、草地、阔叶林、山地植被	0.5
		III 农耕地	0
水分盈亏量( $P - PE$ )	2	I > 600mm/a	1
		II 300 ~ 600mm/a	0.5
		III < 300mm/a	0

注:  $P$  为降水量,  $PE$  为最大可蒸发量。A 组岩石包括花岗岩、正长岩、花岗片麻岩(及其变质岩)和其他硅质岩、粗砂岩、正石英砾岩、去钙砂岩、某些第四纪砂/漂积物;B 组岩石包括砂岩、页岩、碎屑岩、石灰砂岩、石灰岩、白云石。A 组土壤包括砖红壤、褐色砖红壤、黄棕壤、暗棕壤、暗色草甸土、红壤、黄壤、黄红壤、褐红壤、棕红壤;B 组土壤包括褐土、棕壤、草甸土、灰色草甸土、棕色针叶林土、白浆土、黑钙土、黑色石灰土、灰钙土等。

2.6 生境敏感性评价方法

生境类型和数量在保护区域生物多样性、改善区域景观质量和生态环境质量方面具有非常重要的作用,对生态环境的稳定性和敏感性均有直接的影响。生境资源分布具有很强的地区性,不同的地区有不同的生境资源,其种类组成和结构特点也不同;流域地形变化大,地貌类型各异,可造就生境类型的多样性,其生态敏感性也不同。根据研究区植被类型图和土地利用图并参考相关研究<sup>[15-16]</sup>,确定研究区生境敏感性评价分级标准表(见表 4)。

2.7 水域缓冲区敏感性评价方法

水域在调节区域温度与湿度、改善区域生态环境质量方面具有非常重要的作用,是生态环境建设不可或缺的自然基底和元素,具有较高的生态敏感性界值。水域因子是生态系统中不可或缺的重要组成部分,是影响岩溶发育的主要原因;水域分布范围对区域的景

观和生态质量均有较大影响。基于研究区特殊的环境本底,依据水域缓冲区范围对水体影响感应程度,按照德尔菲法所确定的单项指标适宜性评价值对水域缓冲区进行等级划分(见表 5)。

表 4 生境敏感性分级标准

项目	不敏感	轻度敏感	中度敏感	高度敏感	极敏感
生境类型	耕地、建设用地、裸岩、石砾地、裸土地	园地、草原、草本沼泽、高寒草甸、高山稀疏植被、灌木荒漠	寒温带针叶林、落叶阔叶林、灌丛、灌草丛、竹林、	针阔混交林、落叶阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、暖性常绿针叶林、常绿灌丛、常绿草甸	常绿阔叶林、温性针叶林、季雨林、雨林、水域
分级赋值	1	3	5	7	9

表 5 生态系统对水域缓冲区的相对敏感性分级指标

项目	不敏感	轻度敏感	中度敏感	高度敏感	极敏感
水域缓冲区	> 400m	200 ~ 400m	100 ~ 200m	50 ~ 100m	< 50m
分级赋值	1	3	5	7	9

2.8 生态环境综合敏感性评价方法

进行区域生态环境敏感性分析与评价,就是要明确哪些地方容易产生生态环境问题,将产生何种生态环境问题,以便在进行生态环境规划与管理时将这些区域作为生态环境保护 and 恢复的重点,为区域生态恢复与重建服务。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产生的敏感程度是有所差异的,不宜直接进行空间叠加运算,可运用 AHP 法对土壤侵蚀敏感性、石漠化敏感性、酸雨敏感性、生境敏感性以及水域缓冲区进行相对权重计算,根据生态环境综合敏感性评价分级标准(见表 6),结合用 GIS 空间叠加分析法,进行生态环境敏感性综合评价。

表 6 生态环境综合敏感性评价分级标准

项目	不敏感	轻度敏感	中度敏感	高度敏感	极敏感
综合敏感性指数	< 9	9 ~ 12	12 ~ 15	15 ~ 18	> 18
分级赋值	1	3	5	7	9

3 结果与分析

3.1 单生态指标敏感性评价分析

3.1.1 土壤侵蚀敏感性评价

流域土壤侵蚀敏感性以轻度敏感为主,占流域总面积的 42.36%,在流域境内各处均有分布;其次是中度敏感区,占流域总面积的 33.02%,集中分布于流域西部与东部、旧州镇北部、西北部以及西南部的鹅项水库周围;不敏感区所占比例为 24.61%,分布在流域中部以及北侧高峰镇西侧;高度敏感区所占比例为

0.02%,极为稀少,分布在旧州镇西北侧;极敏感区所占比例为 0%(见图 1)。土壤侵蚀敏感性轻度及以上的区域占了流域总面积的 75.39%。

### 3.1.2 石漠化敏感性评价

流域石漠化敏感性主要以中度敏感为主,占流域总面积的 54.725%,在流域各地均有分布,主要集中于流域西部、东部地区;其次是轻度敏感区,占流域面积的 38.097%,主要分布在流域中部地带;高度敏感与不敏感区分别占流域面积的 6.851%,0.323% 主要分布在非碳酸盐岩地区的东北以及南部地段;极敏感区所占比例为 0.003%,分布在流域西北地带,较集中于七眼桥镇东南一带;石漠化敏感性轻度及以上的占了 99.68%,石漠化现象严重。

### 3.1.3 酸雨敏感性评价

流域酸雨敏感性以轻度敏感区为主,占流域总面积的 38.06%,且分布广泛;其次是不敏感区,占流域总面积 25.76%,分布在高峰镇西部、流域中部、旧洲镇周围、七眼桥东部和黑寨河西部;中度敏感区占 25.67%,整个流域都有零散分布,主要分布在黄腊乡东部、东北部、旧州镇西北、七眼桥东南部;高度敏感区占 8.78%,主要分布黄蜡乡东北及羊昌乡的西南部等地;而极度敏感区仅占 1.73%,主要分布在黄腊乡东北、羊昌乡西南部等地,酸雨敏感性轻度及以上区域占了 74.24%。

### 3.1.4 生境敏感性评价

评价结果显示,流域生境敏感性以不敏感区和中度敏感区为主,其中:不敏感区占 63.76%,主要分布在流域中部、西南部以及北部、东北部;中度敏感区占 17.13%,分布在旧州镇西北部、羊昌乡西南部、刘官乡周边、黄腊乡东部;极度敏感区占流域面积 9.20%,主要分布在旧州镇西北部,与中度敏感区镶嵌分布;高度敏感区占 4.52%,分布规律与极敏感区分布规律相似,其次是轻度敏感区所占比例为 4.39%,在整个流域内均有少量分布,分布较为零散。生境敏感性轻度及以上区域只占 36.24%,说明生境敏感性总体态势较好。

### 3.1.5 水域缓冲区敏感性评价

研究区生态环境敏感性以不敏感区为主,占 41.89%,主要分布在旧州镇、七眼桥镇,这一区域为山区,植被覆盖度较高,离河流较远,受影响较轻;其次是轻度敏感区,占 24.82%;中度敏感区占 17.24%,高度敏感区占 10.35%,主要影响因素是人类活动;极敏感区占 5.71%,分布于整个流域两侧 50 m 以内,水域缓冲区敏感性轻度及以上区占了总面积的 58.11%,主

要影响因素为河流侵蚀、人为干扰及垃圾排放,水域污染严重。

## 3.2 生态环境综合敏感性评价

研究区生态环境敏感性中度敏感区占 15.84%,轻度敏感区占 28.25%,不敏感区占 16.26%,中度敏感区在流域境内各地均有分布,不敏感与轻度敏感区主要分布在流域中部、西南部以及北部、东北部;高度敏感区占 19.19%,除流域东北与西南部分布较少以外,其余地方均有分布;极敏感所占比例较小,仅为 10.46%,主要分布在黄腊乡以东及东北部,羊昌乡南部及西南部、鹅顶水库周围,黑寨河西南部也有分布。综合敏感性轻度及以上面积占总面积的 83.74%,生态环境脆弱。

表 7 各生态环境敏感性的面积与比例

敏感性	土壤侵蚀敏感性		石漠化敏感性		酸雨敏感性		生境敏感性		水域缓冲区		综合评价	
	面积/	比例/	面积/	比例/	面积/	比例/	面积/	比例/	面积/	比例/	面积/	比例/
	hm <sup>2</sup>	%	hm <sup>2</sup>	%	hm <sup>2</sup>	%	hm <sup>2</sup>	%	hm <sup>2</sup>	%	hm <sup>2</sup>	%
不敏感	3312.02	24.61	43.44	0.32	3467.72	25.76	8581.92	63.76	5638.53	41.89	2188.05	16.26
轻度敏感	5701.27	42.36	5127.88	38.09	5122.48	38.06	591.10	4.39	3339.08	24.82	3802.08	28.25
中度敏感	4444.67	33.02	7366.05	54.73	3455.39	25.67	2440.14	18.13	2321.13	17.24	2132.52	15.84
高度敏感	2.04	0.02	922.20	6.85	1181.94	8.78	608.13	4.52	1393.44	10.35	3928.94	29.19
极敏感	0.00	0.00	0.43	0.003	232.47	1.73	1238.72	9.20	767.82	5.71	1408.42	10.46

## 4 讨论与结论

### 4.1 讨论

(1) 生态敏感性评价的理论和方法不是很成熟,还没有建立相对统一的生态敏感性评价指标标准体系,形成有效的生态敏感性评价技术标准。例如,本次研究区域为喀斯特区,所选取的指标体系具有区域性,在实际评价过程中,专家评价法给因子和权重打分存在较多的人为主观性,一定程度上影响了分析结果的准确性。笔者认为,应加大相关方面的研究,针对不同属性区域建立生态敏感性评价指标标准体系,为不同层次的流域敏感性分析选取、构建合理的评价指标体系提供科学依据。

(2) GIS 技术的不断发展为流域生态规划提供了一个科学的技术平台,提高了分析的精确性、时效性,能够准确、快速地提取多种生态环境方面的基础信息,可生成不同时期不同生态因子的专题数据,及时获得研究区生态环境动态变化情况。但将 GIS 应用于流域敏感性分析的研究并不是很多,相关的理论方法还有很多不完善之处,归根结底它只是一种技术手段,在实际的分析过程中不可能解决所有面临的社会、经济、文化、政治等各方面的问题;因此,还需要专业人员不断提高自己的专业水准,结合 GIS 技术、人为主观意识等

各方面的影响因素,更好地评价区域生态环境,提高相关部门生态环境管理的效率。

## 4.2 结 论

结合土壤侵蚀、石漠化、酸雨、生境、水域缓冲区 5 个生态敏感性指标,借助 GIS 技术,利用栅格数据 GIS 空间分析方法对各评价指标进行量化提取,采用多因子加权求和模型对各评价指标进行空间叠加分析,进行综合生态敏感性分析,得出以下结论。

(1) 邢江河流域生态敏感性整体偏高,生态环境比较脆弱,生态敏感性存在空间差异,应根据区域地形地貌、生态环境等自然条件,结合生态环境综合敏感性分析,实现研究区的生态功能分区,建立研究区的空间综合管制。① 高敏感性、四级林区为禁止开发区;② 流域上游区域大都为森林覆盖率较高区,一旦遭到破坏短期内很难恢复,此类区域应作为禁止开发区;③ 中上游区域尽管敏感性不高,但由于受地质地貌、坡度等生态因子的影响,易发生泥石流、土壤侵蚀等生态环境问题,应限制开发建设;④ 不敏感或低敏感区、坡度较小区域宜适度开发建设。

(2) 区域生态环境的敏感性是区域自然条件、社会条件和经济条件共同作用的结果。自然条件是区域生态环境敏感性的基石,社会和经济条件是外在动力。此次研究只考虑了区域的自然条件,没有考虑社会条件和经济条件,得到的数据客观上不尽科学、完整。对不同自然本底、不同尺度、不同发展水平上的生态敏感性评价进行评价指标的选取时,还有待进一步分析各指标的相对重要性、完整性,衡量指标的相关性及权重,对各因子与评价结果的相关性做进一步分析,选取主要影响因子。

(3) 随着 GIS 的发展与应用,将 GIS 技术应用于流域生态敏感性分析,克服了传统技术周期长、操作复杂、区域要素相互独立等弊端,运用 GIS 空间分析功能进行敏感性综合评价,便于各指标的量化提取以及各专题评价空间数据的叠加运算,使生态因子加权叠加

分析变得准确、高效,能有效表达空间数据的分布情况,能为空间数据的定量分析提供有效的技术支持,实现研究成果的数字化和可视化。

## 参考文献:

- [1] 尹海伟,徐建刚,陈昌勇,等. 基于 GIS 的吴江东部地区生态敏感性分析[J]. 地理科学,2006,26(1):64-68.
- [2] 汪立祥. 皖南地区林产资源现状及开发利用对策[J]. 中国林副特产,2006,83(4).
- [3] 王乐滨,袁博,葛大兵,等. 基于“3S”技术的炎陵县生态敏感性分析[J]. 湖南农业科学,2013,(5):124-127.
- [4] 王效科,欧阳志云,肖寒,等. 中国水土流失敏感性分布规律及其区划研究[J]. 生态学报,2001,21(1):14-19.
- [5] 刘康,徐卫华,欧阳志云,等. 基于 GIS 的甘肃省土地沙漠化敏感性评价[J]. 水土保持通报,2002,22(5):30-31.
- [6] 《安徽植物志》协作组. 安徽植物志(第二卷)[M]. 合肥:安徽科学技术出版社,1986.
- [7] 罗先香,邓伟. 松嫩平原西部土壤盐渍化动态敏感性分析与预测[J]. 水土保持学报,2000,14(3):36-40.
- [8] 刘康,徐卫华,欧阳志云,等. 基于 GIS 的甘肃省土地沙漠化敏感性评价[J]. 水土保持通报,2002,22(5):29-32.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 张伟,王家卓任,希岩,等. 基于 GIS 的山地城市生态敏感性分析研究[J]. 水土保持研究,2013,20(3):44-53.
- [12] 范凌云,郑皓. 西北旱区水环境生态敏感性分析[J]. 苏州科技学院学报:工程技术版,2005,18(4):19-23.
- [13] 陶星名,张建英,王宇峰,等. 杭州市生态敏感性及其空间分布[J]. 浙江大学学报:农业与生命科学版,2006,32(1):27-30.
- [14] 熊康宁,黎平,周忠发,等. 喀斯特石漠化的遥感-GIS 典型研究-以贵州省为例[M]. 北京:地质出版社,2002.
- [15] 李月臣,刘春霞,汪洋,等. 重庆市生境敏感性评价研究[J]. 重庆师范大学学报:自然科学版,2009,26(1):34-34.
- [16] 潘竞虎,董晓峰. 基于 GIS 的黑河流域生态环境敏感性评价与分区[J]. 自然资源学报,2006,21(2):267-273.

(编辑:常汉生)

(下转第 110 页)



这一世界性难题的方法。

参考文献：

[1] 孙振刚,张岚,段中德.我国水库工程数量及分布[J].中国水利,2013,10(7):1-2.

[2] 李丹.中国西部水库移民研究[M].成都:四川大学出版社,2010.

[3] 周伯松.西南水电资源开发中少数民族移民问题与对策[J].贵州民族研究,2001,21(1):1-7.

[4] 胡德斌,张林洪,张云平.西部民族地区水电建设中的民族传统文化保护研究[J].昆明理工大学学报:社会科学版,2012,12(5):95-101.

[5] 王美晶.水库移民无形损失研究[D].南京:河海大学,2006.

[6] 张林洪,胡德斌,阮品江,等.水电移民与少数民族的生产、生活方式和风俗习惯的冲突与调试研究[J].昆明理工大学学报:社会科学版,2013,13(5):79-87.

(编辑:邓玲)

Research on non – physical loss of reservoir immigrants in minority nationality region and compensation measures

RUAN Pinjiang , ZHANG Linhong

( College of Electric Power , Kunming University of Science and Technology , Kunming 650500 , China )

**Abstract:** The non – physical losses of reservoir immigrants in minority nationality rigion entail multiple factors, including the production, living, culture, psychology and physiology etc. The reasonable compensation for their non – physical loss would benefit the national solidarity and the quick development of national economy. Through the field visits, the situations of the minority nationality in the aspects of the economy, psychology and physiology, culture and living etc. before and after the relocation were investigated and their non physical losses were quantitatively studied. By consideration of the practical conditions of immigrants, the compensation measures are put forward.

**Key words:** minority nationality; non – physical losses; compensation standard; reservoir immigrants

(上接第 72 页)

Analysis on ecological environmental sensitivity of Xinjiang River Basin based on GIS

XIAO Xiaolin<sup>1</sup>, LAN Anjun<sup>2</sup>, XIONG Kangning<sup>1</sup>

( 1. Institute of South China Karst , Guizhou Normal University , The State Key Laboratory Incubation Base for Karst Mountain Ecology Environment of Guizhou Province , Guiyang , 550001 , China ; 2. School of Geography and Environment Sciences , Guizhou Normal University , Guizhou 550001 , China )

**Abstract:** To understand the existing problems in Xinjiang River Basin, combined with the related data and research results, 5 ecological sensitivity indicators of soil erosion, rocky desertification, acid rain, habitat and waters buffer zone are quantified and abstracted through raster data GIS spatial analysis method based on GIS. The spatial overlay analysis and comprehensive ecological sensitivity analysis for all the assessment indexes are conducted by multi – factor weighted sum model. It is concluded that the rank order of the ecological sensitivity area of Xinjiang River Basin is that: low sensitivity zone ( 34.50% ) , high sensitivity zone ( 25.44% ) , extreme sensitivity zone ( 23.67% ) , medium sensitivity zone ( 12.65% ) , non – sensitivity zone ( 3.73% ) , the extreme sensitivity zone and high sensitivity zone account for 49.11% ; the extreme sensitivity zone is mainly distributed in upstream, the high sensitivity zone is distributed in upstream and midstream, and the medium and low sensitivity zone scatters everywhere in the basin; non – sensitivity zone exists in the upstream. The spatial distribution of ecological sensitivity is different in Xinjiang River Basin, the ecological sensitivity is high there and the ecological environment is worse, so the ecological environment protection should be focused during the economic and social development.

**Key words:** ecological sensitivity; GIS; Xinjiang River Basin; Guizhou