

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

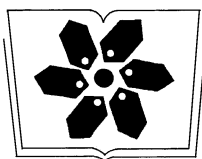
(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 24 期
Vol.30 No.24
2010



中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 30 卷 第 24 期 2010 年 12 月 (半月刊)

目 次

三江平原残存湿地斑块特征及其对物种多样性的影响	施建敏, 马克明, 赵景柱, 等 (6683)
叶片碳同位素对城市大气污染的指示作用	赵德华, 安树青 (6691)
土地利用对崇明岛围垦区土壤有机碳库和土壤呼吸的影响	张容娟, 布乃顺, 崔 军, 等 (6698)
缓/控释复合肥料对土壤氮素库的调控作用	董 燕, 王正银 (6707)
北京海淀公园绿地二氧化碳通量	李 霞, 孙 睿, 李 远, 等 (6715)
三峡库区消落带生态环境脆弱性评价	周永娟, 仇江啸, 王 姣, 等 (6726)
应用碳、氮稳定同位素研究稻田多个物种共存的食物网结构和营养级关系	张 丹, 闵庆文, 成升魁, 等 (6734)
基于弹性系数的江苏省能源生态足迹影响因素分析	杨足膺, 赵 媛, 付伍明 (6741)
中国土地利用多功能性动态的区域分析	甄 霖, 魏云洁, 谢高地, 等 (6749)
遮荫处理对东北铁线莲生长发育和光合特性的影响	王云贺, 韩忠明, 韩 梅, 等 (6762)
臭氧胁迫对冬小麦光响应能力及 PS II 光能吸收与利用的影响	郑有飞, 赵 泽, 吴荣军, 等 (6771)
地表覆草和覆膜对西北旱地土壤有机碳氮和生物活性的影响	谢驾阳, 王朝辉, 李生秀 (6781)
喀斯特峰丛洼地旱季土壤水分的空间变化及主要影响因子	彭晚霞, 宋同清, 曾馥平, 等 (6787)
极干旱区深埋潜水蒸发量的测定	李红寿, 汪万福, 张国彬, 等 (6798)
灌木林土壤古菌群落结构对地表野火的快速响应	徐赢华, 张 涛, 李 智, 等 (6804)
稻田免耕和稻草还田对土壤腐殖质和微生物活性的影响	区惠平, 何明菊, 黄 景, 等 (6812)
造纸废水灌溉对黄河三角洲盐碱地土壤酶活性的影响	董丽洁, 陆兆华, 贾 琼, 等 (6821)
神农宫扁角菌蚊幼虫种群分布及其与环境因子的相关性	顾永征, 李学珍, 牛长缨 (6828)
三亚珊瑚礁水域纤毛虫种类组成和数量分布及与环境因子的关系	谭烨辉, 黄良民, 黄小平, 等 (6835)
淞江鲈在中国地理分布的历史变迁及其原因	王金秋, 成 功 (6845)
黄海中南部小黄鱼生物学特征的变化	张国政, 李显森, 金显仕, 等 (6854)
甲基溴消毒对番茄温室土壤食物网的抑制	陈云峰, 曹志平 (6862)
离子树脂法测定森林穿透雨氮素湿沉降通量——以千烟洲人工针叶林为例	盛文萍, 于贵瑞, 方华军, 等 (6872)
乡土植物芦苇对外来入侵植物加拿大一枝黄花的抑制作用	李愈哲, 尹 昕, 魏 维, 等 (6881)
遂渝铁路边坡草本植物多样性季节动态和空间分布特征	王 倩, 艾应伟, 裴 娟, 等 (6892)
古尔班通古特沙漠原生梭梭树干液流及耗水量	孙鹏飞, 周宏飞, 李 彦, 等 (6901)
碟果虫实种子萌发对策及生态适应性	刘有军, 刘世增, 纪永福, 等 (6910)
原始兴安落叶松林生长季净生态系统 CO ₂ 交换及其光响应特征	周丽艳, 贾丙瑞, 曾 伟, 等 (6919)
五种红树植物通气组织对人工非潮汐生境的响应	伍卡兰, 彭逸生, 郑康振, 等 (6927)
亚高寒草甸不同生境植物群落物种多度分布格局的拟合	刘梦雪, 刘佳佳, 杜晓光, 等 (6935)
内蒙古荒漠草原地表反照率变化特征	张 果, 周广胜, 阳伏林 (6943)
中国沙棘克隆生长对灌水强度的响应	李甜江, 李根前, 徐德兵, 等 (6952)
增温与放牧对矮蒿草甸 4 种植物气孔密度和气孔长度的影响	张立荣, 牛海山, 汪诗平, 等 (6961)
基于 ORYZA2000 模型的北京地区早稻适宜播种期分析	薛昌颖, 杨晓光, 陈怀亮, 等 (6970)
专论与综述	
区域生态安全格局研究进展	刘 洋, 蒙古军, 朱利凯 (6980)
植物功能性状与湿地生态系统土壤碳汇功能	王 平, 盛连喜, 燕 红, 等 (6990)
农田水氮关系及其协同管理	王小彬, 代 快, 赵全胜, 等 (7001)
虫害诱导挥发物的生态调控功能	王国昌, 孙晓玲, 董文霞, 等 (7016)
土壤微生物资源管理、应用技术与学科展望	林先贵, 陈瑞蕊, 胡君利 (7029)
问题讨论	
从演化的角度评价北京市经济系统可持续发展趋势	黄茹莉, 徐中民 (7038)
基于植物多样性特征的武汉市城市湖泊湿地植被分类保护和恢复	郑忠明, 宋广莹, 周志翔, 等 (7045)
濒危兰科植物再引入技术及其应用	陈宝玲, 宋希强, 余文刚, 等 (7055)
研究简报	
实验条件下华北落叶松和白杆苗期生长策略的差异比较	张芸香, 李海波, 郭晋平 (7064)
基于源-库互反馈的温室青椒坐果时空动态模拟	马韞韬, 朱晋宇, 胡包钢, 等 (7072)
西双版纳小磨公路及其周边道路对蛇类活动的影响	孙 戈, 张 立 (7079)
温度变化对藻类光合电子传递与光合放氧关系的影响	张 曼, 曾 波, 张 怡, 等 (7087)
黄土区六种植物凋落物与不同形态氮素对土壤微生物量碳氮含量的影响	王春阳, 周建斌, 董燕婕, 等 (7092)
食细菌线虫 <i>Caenorhabditis elegans</i> 的取食偏好性	肖海峰, 焦加国, 胡 锋, 等 (7101)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 424 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 48 * 2010-12	

三峡库区消落带生态环境脆弱性评价

周永娟¹, 仇江啸¹, 王 姣¹, 王效科^{1,*}, 吴庆标²

(1. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085; 2. 广西大学)

摘要:在对脆弱性的概念重新界定的基础上,从三峡库区消落带的生态环境实际出发,运用 ArcGIS 的空间叠加分析,分别进行了消落带崩塌滑坡脆弱性、水力侵蚀脆弱性、污染脆弱性和景观脆弱性的评价;在此基础上,进行了研究区各生态主题脆弱性的叠加分析;探讨了三峡库区消落带这一特殊地理区域上生态脆弱性的高低分布规律及其在不同主导因子作用下生态脆弱性的空间分异特征。结果表明:研究区的崩塌滑坡脆弱性、水力侵蚀脆弱性和景观脆弱性均以中轻度脆弱为主,分别占消落带总面积的 82.06%、72.23% 和 74.59%;污染脆弱性为轻度以下脆弱为主,占消落带总数的 74.59%;各生态主题脆弱性的叠加结果表明:70% 的消落带至少面临一种生态问题,其余部分则同时面临两种以上的环境问题,四类环境问题皆是极脆弱的消落带有 3%。总体而言,消落带是一个高度脆弱的生态系统,威胁着库区的生态环境安全。管理者应根据消落带的基本特点,合理规划、因地制宜的加以治理。

关键词:生态脆弱性;消落带;指标;指数;评价

Assessment of eco-environmental vulnerability of water-level fluctuation belt in Three-Gorges Reservoir area

ZHOU Yongjuan¹, QIU Jiangxiao¹, WANG jiao¹, WANG Xiaoke^{1,*}, WU Qingbiao²

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Science, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100085 China

2 Guangxi University, Nanning, 530004, China

Abstract: In this study we evaluate several eco-environmental vulnerabilities caused by water level fluctuations of the Three Gorges Reservoir. The Three Gorges Dam (TGD) has been inserted in the middle of a biodiversity hot spot in south-central China. The fluctuation zones of the Three Gorges Dam are made up of very fragile ecosystems which will require careful management in order to preserve them as a unique and rich source of information. Behind the dam water level fluctuate between 145m and 175m, resulting in a belt of water which changes in depth and length throughout the year. In the winters of 2008 and 2009 the pool topped behind the Three Gorges Dam at 175 m above sea level. The result of the increased pool was upstream flooding extending to within reach of the city of Chongqing. These water levels flood former cities, homes, and farm fields of about 1.5 million people seasonally for up to 7 months of the year. So the studied area has many eco-environmental problems, such as landslide, water erosion, pollution, and landscape destruction and so on.

And in this study we used landslide, water erosion, pollution, and landscape deterioration as indicators of vulnerability to flooding. Vulnerability varies widely across communities, sectors and regions. It has no universally accepted definition. This diversity of the “real world” is the starting place for a vulnerability assessment. And it is essential for users to define vulnerability in their own context. In this paper, we defined the concept of “vulnerability” as an inherent property of a system arising from its internal characteristics which make it more or less susceptible to external hazards. Each of our indicators of vulnerability used a set of unique measures. The individual measures of each indicator were ranked between 1 and 5. The geometric mean of these ranks was used to create a final index of vulnerability for each indicator. Using ArcGIS

基金项目:国家科技支撑计划子课题:削落带脆弱性与生态保护模式;三峡库区削落带生态恢复与综合整治技术开发及应用;重大工程建设区生态恢复整治技术研究(2006BAC10B01-01)

收稿日期:2009-11-05; **修订日期:**2010-09-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangxk@rcees.ac.cn

the vulnerability indices were assigned to a grid corresponding to the fluctuation belt. We conducted an overlay analysis of the grids to determine the location and number of eco-environmental problems along the fluctuation belt. The vulnerability indices for landslide, water erosion, pollution, and landscape destruction had high vulnerability ranks only 18 to 35% of the time. However, we found that these high ranking vulnerability problems did not overlap across the fluctuation belt. As a result 70% of our study area had at least one high ranking eco-environmental problem and 30% of the area had two or more. Therefore, every part of the Three Gorges Reservoir Area is experiencing at least one eco-environmental problem.

Many countermeasures for the water-level-fluctuation area have already been proposed including: planning rationally, establishing slope protection, and adjusting rural industrial structures along the two sides of the area. The results from this study provide a scientific base for the government to make policies for distributing relief funds and help the regions to improve their capabilities of adaptability and mitigation. However, in order to take advantage of this opportunity, international funding and long-term collaborations will be needed.

Key Words: eco-environmental vulnerability; water-level fluctuation area; indicator; index; assessment

近年来,人口、资源和环境问题日益成为人类生存所面临的严峻问题,人口急剧增加和资源的不合理利用,使生态系统自身的协调能力不断下降,人类生存环境呈现出越来越脆弱的趋势。随着全球变化影响研究的加强,特别是对于人类活动及人地关系研究的深入,“生态脆弱性”、“脆弱生态区”、“脆弱性评估”等的研究已受到越来越多的关注^[1-3]。20 世纪 60 年代的国际生物学计划(IBM)、70 年代的人与生物圈计划(MAB)以及 80 年代开始的地圈、生物圈计划(GBP)都把生态脆弱性作为重要的研究领域。脆弱性研究已作为一项重要研究内容被许多国际性科学计划和机构(IHDP、IPCC、IGBP 等)提上研究日程^[4-5],成为全球环境变化及可持续性科学领域关注的热点问题和重要的分析工具^[6-7]。

对于脆弱性这一概念,由于不同应用领域间研究对象和学科视角的不同,其对“脆弱性”这一概念的界定角度和方式有很大差异,并且同一概念被不同研究领域学者所运用时内涵有所不同。本文认为脆弱性是指由于系统(子系统、系统组分)对系统内外扰动的敏感性以及缺乏应对能力从而使系统的结构和功能容易发生改变的一种属性。它是源于系统内部的、与生俱来的一种属性,只有当系统遭受扰动时这种属性才表现出来。

三峡库区消落带是典型的脆弱生态系统,是水位反复周期变化的干湿交替区。它不仅与库区水域系统进行着物质、能量交换,同时,还与库区两岸坡地系统进行着物质和能量的交换。其特殊的水陆兼具的环境特点,会引发诸多生态环境问题,比如:水土流失、环境污染、以及景观破坏等等。本文选择消落带作为研究对象,探讨脆弱性定量评价方法,明确生态脆弱区,为三峡库区消落带的治理和保护提供生态学基础。这对三峡水库和长江中下游生态与环境安全,具有十分重要的意义,同时还填补我国乃至世界大型人工湿地特别是消落带研究的空白。

1 研究区概况

三峡工程蓄水达到 175m 之后,将形成一个长 600 多 km、宽 1 至 2km 的大湖泊。三峡库区消落带是指由于三峡大坝的修建而形成的水库季节性水位涨落而使库区周边被淹没土地周期性露于水面的区域,即三峡水库正常水位 175m 与防洪限制水位 145m 之间的区域。

消落带沿岸自然条件复杂,土壤类型多样:河流阶地、盆地、台地消落带,侏罗系紫色砂页岩泥岩和第三系灰岩广布,受第四系冲积物和堆积物覆盖,现在主要土壤类型为冲积土、紫色土和水稻土;低山丘陵段消落带主要是紫色土;在峡谷消落带以碳酸盐岩为主的裸岩地或石旮旯土。

消落带的动植物资源丰富多样。据有关研究表明,三峡库区消落带原有动植物资源 1800 余种,占三峡库区动植物种类的 28%。植被类型多种多样,其中尤以多年生和 1 年生草本及灌木为优势植被类型。

与天然河流的消落带相比较,三峡库区消落带形成速度快,垂直落差大,范围广。据统计,消落带出露面积达 437—446km²,分布在重庆市 22 个区县和湖北省 4 个区县,有的地方集中,有的分散,类型多样。同时,

由于三峡库区消落带的反季节性,其人为干扰大,水库消落带的成陆期与库区 5 月底至 9 月份的光热雨资源集中期基本同步,使水库消落带的土地资源具有较高的生产潜力和多种利用功能。对于人多地少、人地矛盾突出的库区来说,这是一种宝贵的土地资源,在水库开始蓄水及全部建成后的运行过程中,消落带将极可能被当地农民或有关部门季节性利用。由于库区消落带自然环境的特殊性、人地矛盾的尖锐性和土地季节性整理的复杂性,其生态系统异常脆弱。

2 评价指标选取

指标的选取是评价工作的核心,指标体系的选择多依据评价区域的实际情况和评价内容加以考虑^[8],同时评价的目的是为区域环境管理服务。因此要准确把握区域最主要的生态问题,并通过实地调研和专家访谈,本着可操作性、科学性和可度量性的原则,选取指标。三峡库区消落带由于其生态环境的特殊性、人地矛盾的尖锐性和土地季节性整理的复杂性,将可能出现一系列的生态环境问题,主要表现在以下几个方面:

(1) 诱发地质灾害 在整个三峡水库消落带中,大部分区域地形陡峻,河岸地层稳定性差,加上库区沿岸人多地少、人类活动频繁,是我国环境地质灾害的多发区。三峡水库蓄水后,由于库岸两侧岩石周期性地浸泡在水中,库岸山体吃水比重加大,使两岸坡地稳定性减弱,从而诱发滑坡、崩塌等地质灾害,严重威胁库岸人民的生命财产和库区的安全。消落带地质灾害的发生受坡度、岩土性质和高程的影响较大。

(2) 加大土壤侵蚀 三峡水库两岸沟壑纵横,地形陡峻(坡度 15°以上面积占土地总面积的 74%),相对高差大。库区蓄水后,在降水和库水位周期性涨落的作用下,消落带坡面上的植被和土壤结构将被破坏,水土流失量将加大。研究区的坡度、植被覆盖度等均会影响到消落带的水力侵蚀状况。

(3) 加重环境污染 消落带作为水域与陆地环境的过渡地带,其生态系统将受到来自水陆两个界面的交叉污染:一方面,水域中的一些污染物由于风浪和库中水体的运动,将向两岸消落带移动,水中的部分垃圾将进入消落带;同时,水中的一些营养物质也将进入消落带的下部土壤中富营养化。另一方面,三峡库区人口密集,水库两岸人类活动频繁,人类生产、生活产生的大量废物和垃圾、工业废水生活污水都将影响到消落带并进入水库。消落带的污染与蓄水前的土地利用类型、消落带的坡度以及消落带的岩土性质密切相关。

(4) 库岸景观遭到破坏 三峡工程对库区造成的景观生态影响是广泛而深远的。区内以山地、丘陵为主,占 95% 以上,间有少量平原、坝地和岗地,整体地貌类型多样、地质条件复杂,生态条件具有先天的脆弱性。且土地资源有限,土地利用结构不合理,坡耕地广泛分布,地块十分破碎。不同的景观类型和淹水时间影响着景观的被破坏程度。

根据消落带存在的生态问题,消落带的生态环境脆弱性评价亦是针对以上四类环境问题进行评价。

3 评价方法和数据处理

本研究主要借助遥感解译和 GIS 的空间分析技术,具体的软件平台为 ArcGIS9.2 和 Erdas9.1。评价技术路线为:首先构建反映上述生态问题的脆弱性指标体系,对各指标进行分级赋值;然后对指标的脆弱性等级进行叠加,完成各生态问题的脆弱类型图;常见的综合方法为权重法或最大值法,本文采用计算式(1)进行综合计算;最后,将四类环境问题的评价结果进行叠加,采用最大值保留法,来反映不同消落带所面临的最主要的环境问题有哪些。主要数据源包括消落带 1:5 万地形图、消落带淹水前的土地利用数据、植被覆盖数据和景观类型图;消落带土壤类型图、岩土性质图以及 GPS 定位实地调查获得的数据。

$$CVI = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n V_i} \quad (1)$$

式中, CVI 为综合脆弱性指数, V_i 为各评价指标的脆弱性等级。

消落带各环境问题的评价指标及分级标准见表 1。

表 1 中,高程的范围是 145—175m,因为三峡库区的消落带就是这 30m 的落差范围。高程的脆弱性分级是根据水位涨落的规律来划分的,高程越低,淹水的时间越长,对崩塌滑坡等地质灾害的脆弱性越高;坡度是经实地调查后,根据消落带坡度分布的特点以及已有地质灾害的分布来确定的;岩土性质,包括土壤的质地和岩石的质地,其含义实质是消落带地表物质的构成。其划分标准,硬岩是分布有大量石灰岩的岩石,软岩是指

以页岩、泥岩及砂页岩为主的岩石,居于二者之间的为中等岩性;坚固土壤是指粘土和粘土夹杂石砾为主的土壤;松散土壤是指以壤土和沙性土为主的土壤。在相同坡度和淹水时间下,地表的物质构成越紧实、坚固,发生地质灾害的可能性越小,反之脆弱性等级升高。

表 1 消落带崩塌滑坡脆弱性影响因子及其分级标准
Table 1 The indicators and its classification of landslide vulnerability

分级 Classification	不脆弱 Invulnerable	轻度脆弱 Slight vulnerable	中度脆弱 Moderate vulnerable	高度脆弱 High vulnerable	极脆弱 Extreme vulnerable
高程 Elevation/m	175—169	<169—163	<163—157	<157—151	<151—145
坡度 Slope/(°)	<5	<15	15—25	>25—35	>35
质地 Lithology	硬岩	中等岩性	软岩	坚固土壤	松散土壤
赋值 Rank	1	2	3	4	5

其他因素,比如,坡向、土地利用类型等也都会在一定程度上影响崩塌滑坡的发生,也有很多研究^[9-10]将这些因素作为预测崩塌滑坡发生的影响因子,但考虑消落带地质灾害诱发因素的特点,本文只选择最主要的岩土性质、高程和坡度作为评价该研究区崩塌滑坡脆弱性的指标。

表 2 消落带水力侵蚀脆弱性影响因子及其分级标准
Table 2 The indicators and its classification of water erosion vulnerability

分级 Classification	不脆弱 Invulnerable	轻度脆弱 Slight vulnerable	中度脆弱 Moderate vulnerable	高度脆弱 High vulnerable	极脆弱 Extreme vulnerable
坡度 Slope/(°)	<5	<15	15—25	25—35	>35
植被覆盖度/% Vegetation coverage	>50—70	>35—50	>20—35	10—20	<10
土壤类型 soil type	黄壤	紫色土	石灰土	潮土	水稻土
赋值 Rank	1	2	3	4	5

水力侵蚀是发生在地表的过程,并且是一个多因子综合影响的复杂时空变异过程。李谢辉等^[11]在研究渭河下游河流沿线区域生态风险评价中,将植被覆盖度和坡度信息作为研究区水力侵蚀风险源的度量指标。本研究中,水力侵蚀的诱发因素是水库的周期性蓄水,侵蚀的控制因素除植被覆盖度和坡度外,土壤类型也是一个重要的控制因子。因此研究主要选择这 3 个要素来评价消落带的水土流失脆弱程度。

表 3 消落带污染脆弱性影响因子及其分级标准
Table 3 The indicators and its classification of pollution vulnerability

分级 Classification	不脆弱 Invulnerable	轻度脆弱 Slight vulnerable	中度脆弱 Moderate vulnerable	高度脆弱 High vulnerable	极脆弱 Extreme vulnerable
坡度/Oslope	>35	>25—35	15—25	<15	<5
蓄水前地类 land use	林地、草地	湿地、裸岩	农田	居民区	工厂区
质地 lithology	硬岩	中等岩性	软岩	坚固土壤	松散土壤
赋值 Rank	1	2	3	4	5

表 3 中,坡度对污染脆弱性的影响机理和表 1、表 2 中的坡度不同。后者中,随着坡度的增加,脆弱性等级亦随之升高。而对于消落带污染而言,随着坡度的升高污染的机率及持续的时间均会减少,因为地势平坦的地方水位下降时污染物容易滞留,造成污染加重;蓄水前,土地利用类型为林草地的基本不会对消落带造成污染,反之,土地利用类型为工厂区的,对消落带的污染最严重。对于消落带地表物质构成而言,松散土壤较易滞留和吸附污染物,导致夏季水位下降后,河道内沉淀的各种污染物滞留在消落带上,脆弱性等级最高。反之,硬岩在水位下降时,垃圾、杂草等污染物及泥沙都易随水流走,脆弱性最低。因此,消落带污染脆弱性评价选择的指标有坡度、蓄水前的土地利用类型和消落带的地表物质构成。

表 4 消落带景观破坏脆弱性影响因子及其分级标准

Table 4 The indicators and its classification of landscape destruction vulnerability

分级 Classification	不脆弱 Invulnerable	轻度脆弱 Slight vulnerable	中度脆弱 Moderate vulnerable	高度脆弱 High vulnerable	极脆弱 Extreme vulnerable
景观类型 Landscape	草本、沼泽	林灌木	稀疏灌木、草本	荒漠、旱田	裸岩
高程 Elevation/m	175—169	<169—163	<163—157	<157—151	<151—145
赋值 Rank	1	2	3	4	5

水位的周期性涨落影响到库区景观。高程较低的部位,消落带被淹没的时间越长,待水位大幅变动后,消落带大面积的裸岩,宛如“牛皮癣”附着在库岸上,与周围的景观严重不协调。因此,对景观类型而言,裸岩的脆弱性最高,而沼泽地的脆弱性最小。

4 结果与分析

4.1 消落带各环境主题脆弱性评价分析

研究区崩塌滑坡脆弱性分布图(图 1-a)表明:大部分消落带处于轻度到中等脆弱水平,约占整个三峡库区消落带的 82%,其中有 29.45% 的消落带为轻度脆弱。有 15% 的消落带处于高度脆弱至极脆弱的水平,主要分布在巴东、巫山等较陡的地段以及消落带的下部、淹水时间较长的部位。另外,还有 2.26%,约 9.39 km² 的消落带为脆弱不明显地区,主要分布在重庆的长寿以及涪陵等地。Zhang^[12] 和 Fourniadis 等^[13] 等的研究结果验证了本文崩塌滑坡脆弱性评价结果的可靠性。

三峡库区消落带水力侵蚀脆弱性评价结果,如图 1-b 所示,中度以下脆弱水平的消落带主要分布在万州

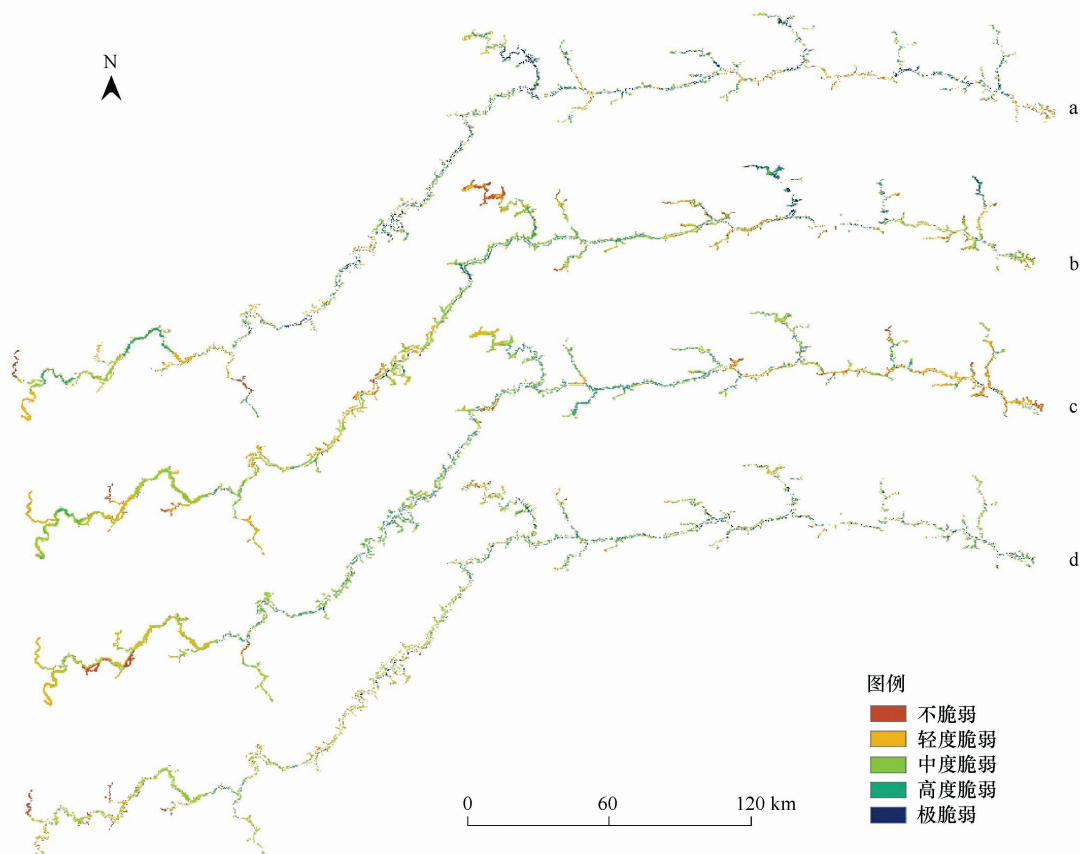


图 1 四类生态环境问题脆弱性的评价结果

Fig. 1 Assessment results of the four eco-environmental vulnerabilities

a. 崩塌滑坡脆弱性; b. 水力侵蚀脆弱性; c. 污染脆弱性; d. 景观破坏脆弱性

至重庆的上游阶段,占消落带面积的 87%,这一地段地势较平坦,水土流失不强烈。其中,长寿和重庆市区以及武陵至忠县一段处于中度脆弱水平,占整个消落带的 36%,面积大约 150km²,其余的 50.59% 为轻度脆弱和脆弱不明显地段,分别占整个消落带的 14.36% 和 36.23%。高度脆弱和极脆弱所占的比例不多,分布为 11.37% 和 2.04%,主要分布在万州至云阳以及巫山至巫溪的大宁河地段。李月臣等^[14]研究认为,三峡库区的水土流失主要发生在陡坡、植被覆盖度低以及降雨侵蚀力较大的区域,本文的评价结果与其研究结果具有很好的吻合性。

消落带污染脆弱性分级结果(图 1-c)表明,重庆市区至涪陵段以及巴东至秭归段都处于轻度脆弱和脆弱不明显的等级,其所占的比例为整个消落带的 72.7%(表 5)。分析其原因,秭归至巴东段,大部分消落带的质地为基岩,且坡度高地势陡,污染物不易滞留,从而对消落带的污染也较弱。重庆市区至涪陵段,消落带多为城镇堤坝,虽然由于人类活动影响污染物的排放较多,但堤坝型的消落带对污染物的吸收极少,因此对消落带造成的污染较小。污染脆弱度较高的地段多分布在各支流消落带,以及干流的奉节至丰都段。这些地段地势较平坦,固体废弃物容易滞留,并且消落带的地质多为岩土性质中的壤土,对污水中的有害物质、重金属以及农田中的杀虫剂等吸收较多,因此对消落带的污染比较严重。中高度脆弱性所占的比例为整个消落带的 21.2%,面积约为 88.2 km²。另外,还有不到 6% 的消落带处于极脆弱等级,该等级的消落带分布比较零散,所占的比例不高,多为影响污染脆弱性的几种影响因子均为极脆弱水平的地段。

表 5 消落带生态主题脆弱性各等级所占比例

Table 5 Proportion of the vulnerability of the four environmental problems

分级 Classification		不脆弱 Invulnerable	轻度脆弱 light	中度脆弱 middle	高度脆弱 highly	极脆弱 extremely
崩塌滑坡脆弱性	比例 Proportion/%	2.26	29.45	52.61	14.09	1.58
Landslide vulnerability	面积 Area/km ²	9.39	122.53	218.87	58.6	6.59
水力侵蚀脆弱性	比例 Proportion/%	14.36	36.23	36.00	11.37	2.04
Water erosion vulnerability	面积 Area/km ²	59.72	150.7	149.78	47.31	8.48
污染脆弱性	比例 Proportion/%	30.25	42.56	8.02	13.22	5.95
Pollution vulnerability	面积 Area/km ²	125.85	177.06	33.35	54.99	24.74
景观破坏脆弱性	比例 Proportion/%	19.68	28.32	36.27	13.01	2.73
Landscape destruction vulnerability	面积 Area/km ²	81.86	117.81	150.87	54.11	11.35

消落带景观破坏脆弱性(图 1-d),从万州至重庆市区多为中度及中度以下脆弱等级,占整个消落带的 84.9%,其中中度脆弱占 36.27%,为脆弱等级中所占比例最高的级别,其中长寿、重庆市区以及忠县附近分布的比例较大。此段消落带地势较平坦,岩土性质多为壤土,在低水位时,先锋的草本植物很容易长出,对景观的影响不大。从万州至秭归的干流消落带多为高度以上脆弱等级,所占比例为 15.1%。此段消落带多为基岩质地,经水浸泡后,其景观和消落带上部的景观十分不协调。并且,基岩质地的消落带因缺乏植被赖以生存的土壤,在水位下降的枯水期,植被很难重新生长,因此消落带景观的破坏程度较高。

4.2 消落带综合脆弱性评价分析

图 2 中,是将 4 类环境主题脆弱性的评价结果叠加得到的,即在一个栅格单元内,如果某一个图层的评价结果是极脆弱,就用 1 表示,是非极脆弱就用 0 表示。图层的顺序是崩塌滑坡脆弱性、水力侵蚀脆弱性、污染脆弱性和景观破坏脆弱性。0001 表示消落带面临的最主要的环境问题是景观的破坏,0010 表示消落带面临的最主要的生态问题是地质灾害,1111 则表明消落带面临的四类环境问题都很严重。由表 6 可知,70.17% 的消落带面临至少一种生态问题,有近 30% 的消落带同时面临两种以上生态环境问题,主要分布在开县大宁河的末端、长寿、丰都以及重庆市的江北区、渝中区和巴南区段的消落带,其中面临 3 种生态问题和面临四种生态问题的消落带各占 3% 左右。这部分消落带是需要重点监测和重点保护的地段。

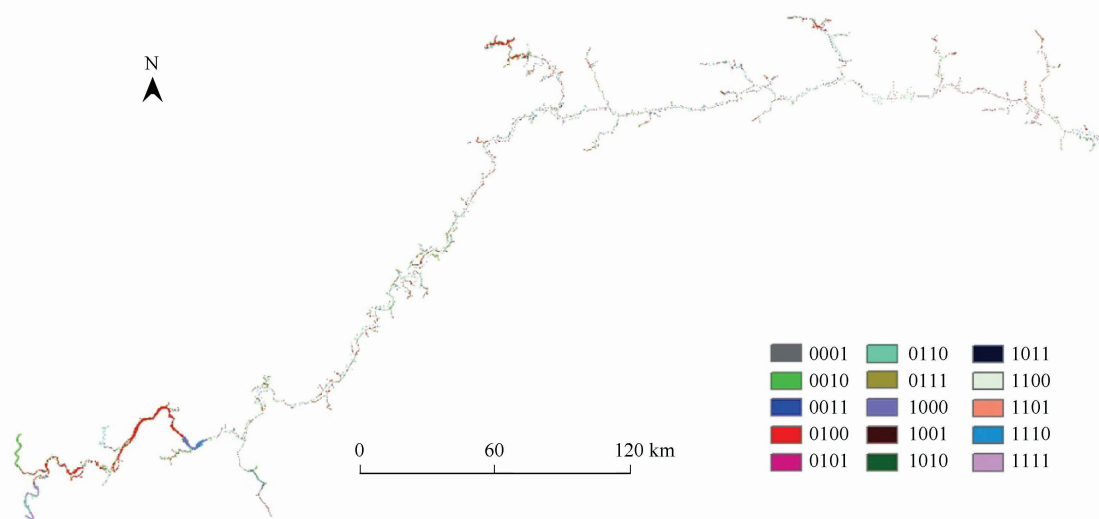


图2 消落带综合脆弱性分布图

Fig. 2 Distribution of the integrated vulnerability

表6 不同等级的消落带所占的比例

Table 6 Proportion of the fluctuation belt in different grades

等级 Grade	一种生态问题 With 1 eco-problem	两种生态问题 With 2 eco-problems	三种生态问题 With 3 eco-problems	四种生态问题 With 4 eco-problems
比例 Proportion/%	70.17	23.75	3.01	3.06
面积 Area/km ²	292.32	98.94	12.54	12.75

5 结语与讨论

三峡库区消落带是一个环三峡水库特殊的生态地带,生态环境十分特殊。本研究通过探讨消落带的生态环境问题,建立生态脆弱性指标体系及其等级标准对消落带的生态主题脆弱性及生态综合脆弱性进行了评价。结果表明:消落带的崩塌滑坡、水土流失和景观脆弱性均以中度和轻度脆弱为主,高度脆弱和极脆弱的比例较低;污染脆弱性整体以轻度以下脆弱为主,其他等级的脆弱性所占比例不高。总体而言,从单个脆弱性评价结果来看,各生态主题的脆弱性均不强烈。但将四类环境问题综合考虑,绝大部分消落带都至少面临一种生态环境问题,有近 30% 的消落带面临的生态环境问题在两种以上。这说明消落带是一个高度脆弱的生态系统,生态风险来源十分复杂,是影响库区生态环境安全的一大隐患,消落带的生态与环境问题不仅影响三峡水库的安全运行,而且还将直接影响库区周边 20 多个县(市、区)经济社会的可持续发展,以及人民身体健康,其潜在的威胁不容忽视。

因此,消落带的保护与治理也是亟待解决的问题,目前,有众多学者^[15-17]均提出过消落带的环境治理对策,主要包括:(1)合理规划治理:根据不同地域消落带的自然地理特征,制定消落带生态环境保护与利用规划,划分不同的功能区,并以此作为三峡库区消落带土地资源利用、生态与环境保护和治理的指导依据。(2)调整库区两岸的农村产业结构:通过加强小城镇建设,大力发展生态旅游、生态农业及其加工业等取代传统的耕种业,以减少滞留在消落带或经过消落带入库的污染物。但在种植过程中,应严格管理,禁止使用有污染的农药或化肥,以保证库区水质的清洁。(3)修建护岸、护坡工程:在库区某些地质灾害发生频率高的地段,应采取适当的工程措施来加以避免。比如,在古滑坡体上修建排水工程,避免淹水后复活;在坡度较大的陡坡岸,适当护坡以防止淹水后形成新的滑坡或崩塌。(4)建立生态环境监测、预警和综合管理等系统:就库区消落带可能出现的重大环境污染、主要地质灾害、重点流行性疾病、有害物种的入侵等生态环境问题,建立预测预警与调控管理系统。

以上对策是从宏观上提出的消落带的治理原则,本文在以上宏观原则的基础上提出了消落带的生态恢复模式,包括裸岩模式、自然恢复模式、人工促进恢复模式、弃耕模式、农耕模式和生态与工程相结合的模式等。根据不同消落带面临的生态环境问题和生态治理模式的适应性区划结果,把不同的生态保护模式合理地安排在不同的地段,使得每一个模式的优点能得到充分的发挥,整体功能达到最优。

References:

- [1] Zhao Y L. Distribution of the Category of Vulnerable Eco-environment and the Comprehensive Improvement in China. Beijing: Chinese Environmental Science Press, 1999.
- [2] Gaber T. Griffith T K. The assessment of community vulnerability to acute hazardous materials incidents. *Journal of Hazardous Materials*, 1980, (8): 323-333.
- [3] Liverman D. The vulnerability of urban areas to technological risks. *Cities*, 1986, (5): 142-147.
- [4] IHDP. IHDP update//Update Issue 3/01. Focus: Vulnerability. IHDP, 2001. [access date]
- [5] Moran E, Ojima D, Buchman N. Global land project: Science plan and implementation strategy//IGBP Report No.53/IHDP Report No.19, 2005. <http://www.ihdp.org>.
- [6] Kates R W, Clark W C, Corell T. Environment and development: sustainability science. *Science*, 2001, (292): 641-642.
- [7] Kasperson J X, Kasperson R E. International Workshop on Vulnerability and Global Environmental Change. Stockholm, Sweden: Stockholm Environment Institute(SEI), 2001.
- [8] Yan L, Xu X G, Xie Z L, Li H L. Integrated assessment on ecological sensitivity for Beijing. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(6): 3117-3124.
- [9] Dai F C, Lee C F. Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology*, 2002, (42): 213-228.
- [10] Saha A K, Gupta R P. GIS-based landslide hazard zonation in the Bhagirathi (Ganga) Valley, Himalayas. *International Journal of Remote Sensing*, 2002, (23): 357-369.
- [11] Li X H, Wang L, Li J Y. Regional ecological risk assessment in catchment area along the Weihe River based on GIS. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(10): 5523-5534.
- [12] Zhang H. Risk assessment of natural hazards in Three Gorges reservoir (with in Chongqing district). *Journal of Chongqing Normal University*, 2008, (25): 25-29.
- [13] Fourniadis I G, Liu J G, Mason P J. Landslide hazard assessment in the Three Gorges area, China, using ASTER imagery: Wushan-Badong. *Geomorphology*, 2007, 84: 126-144.
- [14] Li Y C, Liu C X, Zhao C Y, Huang J H. Spatiotemporal features of soil and water loss in the Three Gorges Reservoir Area of Chongqing. *Acta Geographical sinica*, 2008, 63(5): 502-513.
- [15] Tan S D, Wang Y, Zhang Q F. Environmental challenges and countermeasures of the water-level-fluctuation zone (WLFZ) of the Three Gorges Reservoir. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2008, 17(Z1): 101-105.
- [16] Du F B, Chen J P, Shi J H. Environmental problems and its countermeasures in Three Gorges Reservoir Area. *Urban Geotechnical Investigation*, 2009, (2): 150-152.
- [17] Yang Q W, Liu R, Qin C. Estimating the parameters of Markov model using entropic function as a criterion. *Journal of Chongqing Jiaotong University*, 2006, 25(6): 147-150.

参考文献:

- [1] 赵跃龙. 中国脆弱生态环境类型分布及其综合整治. 北京: 中国环境科学出版社, 1999.
- [8] 颜磊, 许学工, 谢正磊, 李海龙. 北京市域生态敏感性综合评价. *生态学报*, 2009, 29(6): 3117-3124.
- [11] 李谢辉, 王磊, 李景宜. 基于 GIS 的渭河下游河流沿线区域生态风险评价. *生态学报*, 2009, 29(10): 5523-5534.
- [12] 张虹. 三峡库区(重庆段)自然灾害危险性综合评价. *重庆师范大学学报*, 2008, 25(1): 25-29.
- [14] 李月臣, 刘春霞, 赵纯勇, 黄建辉. 三峡库区重庆段水土流失的时空格局特征. *地理学报*, 2008, 63(5): 502-513.
- [15] 谭淑端, 王勇, 张全发. 三峡水库消落带生态环境问题及综合防治. *长江流域资源与环境*, 2008, 17(Z1): 101-105.
- [16] 杜逢彬, 陈继平, 石金胡. 三峡库区消落带环境问题及生态环境评价治理. *城市勘测*, 2009(2): 150-152.
- [17] 杨清伟, 刘睿, 秦诚. 三峡水利工程对库区消落带土地资源的影响及可持续利用探讨. *重庆交通学院学报*, 2006, 25(6): 147-150.

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1~9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任: 孔红梅

执行编辑: 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 30 卷 第 24 期 (2010 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 30 No. 24 2010

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元