

# 基于 PSR 模型的三峡库区重庆段 土地利用生态风险评价

周启刚<sup>1</sup>, 张晓媛<sup>1</sup>, 杨霏<sup>2</sup>, 郑莉<sup>1</sup>, 曹倩倩<sup>1</sup>

(1. 重庆工商大学 旅游与国土资源学院, 重庆 400067; 2. 重庆工商大学 长江上游经济中心, 重庆 400067)

**摘 要:**土地利用变化对生态环境有着重要的影响,不合理的土地利用方式会对生态环境带来风险。采用三峡库区重庆段 2010 年 TM 遥感数据、社会经济数据以及环境监测数据,采用 PSR 模型构建评价指标体系,利用主成分分析法建立评价模型,对三峡库区土地利用生态风险进行评价。结果表明:三峡库区重庆段土地利用生态风险以中度风险和较低风险为主,生态风险由东北到西南逐渐减轻。区域土地利用生态环境稳定性存在明显的差异,不合理的土地利用对重庆主城九区及长寿的生态环境影响力有限;而对三峡库区腹心地带的生态环境影响较大,较低的土地利用风险压力将导致区域生态风险状态与响应值偏高。因此三峡库区腹心地带应重点予以关注,强化土地利用过程中的生态环境建设,加强环境治理与生态环境监测。研究结果可为三峡库区土地合理利用与生态保护提供参考。

**关键词:**土地利用;生态风险评价;PSR 模型;三峡库区

中图分类号:X826

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2013)05-0187-06

## Land Use Ecological Risk Evaluation of the Three Gorges Reservoir Area in Chongqing Based on PSR Model

ZHOU Qi-gang<sup>1</sup>, ZHANG Xiao-yuan<sup>1</sup>, YANG Fei<sup>2</sup>, ZHENG Li<sup>1</sup>, CAO Qian-qian<sup>1</sup>

(1. School of Tourism and Land Resources, Chongqing Technology and Business

University, Chongqing 400067, China; 2. Research Center of the Economy of the Upper

Reaches of Yangtze River, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China)

**Abstract:** The land use of the Three Gorges Reservoir Area has an important influence on the ecological environment. Unreasonable land use patterns lead to ecological environment risks. The data sources include the Landsat TM remote sensing data, social and economic data and environmental monitoring data of the Three Gorges Reservoir Area in 2010. The evaluation index system was built based on the PSR model. And the evaluation model was set up by using the method of principal components analysis to evaluate the land use ecological risks of the Three Gorges Reservoir Area. The results indicated that the main land use ecological risk of Three Gorges Reservoir Area in Chongqing are moderate risk and low risk. And from northeast to southwest the land use ecological risk gradually reduced. There are obvious differences among regional eco-environmental stability of land use. The influences of unreasonable land use on nine districts of Chongqing City and Changshou's ecological environment are limited. And the land use ecological risk pressures of the central parts of the Three Gorges Reservoir area are low, but the ecological risk state and response values are high. This area should be paid more attention to intensive ecological environment construction in the process of land use, and strengthen the environmental management and environmental monitoring. The results offer reference value for land rational use and ecological protection of the Three Gorges Reservoir Area.

**Key words:** land use; ecological risk evaluation; PSR model; the Three Gorges Reservoir Area

土地利用带来地表景观结构的巨大变化,直接改变着生态系统的结构和功能,因而土地利用变化被认

为是对生态环境影响最为重要的变化之一<sup>[1]</sup>,不合理的土地利用方式给土地生态环境带来风险。研究土

地利用变化及其对生态环境产生的风险,对于了解生态环境和合理利用土地资源,恢复和治理生态环境具有极其重要的现实意义,也能为在生态安全条件下制定土地利用规划提供科学依据<sup>[2-4]</sup>。而当前国内生态风险研究主要集中在水环境化学风险、区域灾害以及景观生态风险<sup>[5]</sup>。土地利用变化的生态响应研究还比较薄弱,针对土地利用综合生态响应的研究尤为少见<sup>[6]</sup>。目前,国内外用于生态评价的方法很多,如PSR分析模式、综合指数法、模糊综合评判法、层次分析评价法、生态足迹法、能值分析法、生态模型方法、系统聚类分析法和景观生态学方法等<sup>[7]</sup>。P-S-R模型是联合国经济合作开发署(Organization for Economic Co-operation and Development)建立的压力—状态—响应(Pressure-State-Responses)框架模型<sup>[8-9]</sup>。目前,已被广泛用于生态评价:申艳萍根据压力—状态—响应概念模型,研究了许昌市生态安全预警系统<sup>[10]</sup>;赵莹雪等按照旅游地生态安全“压力—状态—响应”框架模型,构建了滨海旅游地生态安全评价指标体系<sup>[11]</sup>,苏凯等基于PSR模型对西南喀斯特地区进行了石漠化风险评价指标研究<sup>[12]</sup>。

三峡水利工程是对我国影响极为深远的著名工程,将会对库区移民安稳致富、生态环境保护、地质灾害防治等带来持续的影响。而库区生态环境对三峡水库正常运营产生显著影响<sup>[13]</sup>。本文以遥感影像、社会经济统计数据 and 环境监测数据为基础数据源,采用PSR模型构建生态风险压力、生态风险状态和生态风险响应评价指标体系,对三峡库区重庆段土地利用生态风险进行综合评价。研究结果可为科学规划和合理利用库区土地、保持生态平衡,以及区域可持续发展政策制定提供参考。

## 1 研究区概况

三峡库区重庆段位于长江上游末端,东起巫山县、西至江津市、南起武隆县、北至开县。三峡库区重庆段面积占整个三峡库区总面积的85.6%,其行政范围包括重庆市22个区、县(自治县),幅员面积约46 158.53 km<sup>2</sup>。库区(重庆段)地形十分复杂,整个库区,河谷平坝地仅占总面积的4.3%,丘陵占21.7%,山地占74%。库区(重庆段)内水系发达,有多条河流注入长江,主要的北有嘉陵江、南有乌江。库区属于亚热带季风气候,年降水量1 000~1 800 mm,分布均匀。三峡库区(重庆段)总人口1 508.92万人,占全市总人口的58.7%,三峡库区(重庆段)内人口达326人/km<sup>2</sup>,是全国平均水平的三倍。因特定的地理条件,地震、崩塌、滑坡、泥石流等灾害时也

有发生,水土流失严重,该区水土流失面积达1.4万km<sup>2</sup>。三峡库区生态环境脆弱,不合理的土地利用对生态环境破坏影响深远。作为全国乃至全世界关注的热点区域,对三峡库区土地利用生态风险评价研究具有理论意义和实践价值。

## 2 数据源与研究方法

### 2.1 数据源与预处理

本研究主要采用Landsat 2010年遥感影像数据作为基础数据源,同时收集并整理三峡库区重庆段相关社会经济数据和资源环境监测数据。所有影像数据均采用ALBERS投影,中央经线为东经105°,双标准纬线采用分别为北纬25°和47°。

数据预处理包括遥感影像的预处理和相关社会经济环境数据预处理。遥感影像预处理主要是进行辐射校正、大气校正、几何校正和波段融合。研究采用Erdas 8.7图像处理软件,经假彩色合成、增强,参照地形图进行几何纠正、配准,使数据的空间位置偏差控制在0.5个像元以内;其他相关社会经济环境数据主要进行数据的标准化和空间化处理。

### 2.2 土地利用遥感图像解译

本研究中选用Landsat TM 4,3,2波段组合成假彩色遥感影像,结合三峡库区的实际情况,采用目视解译与计算机分类相结合的方法,获取2010年三峡库区内土地利用现状数据。采用中国科学院“八五”期间“国家资源环境遥感宏观调查”的土地利用分类体系,将土地利用类型分为耕地、林地、草地、水域、建设用地以及未利用地6个地类。

### 2.3 土地利用生态风险评价指标选择

PSR模型是应用于评估资源利用和持续发展的模式之一。本研究基于PSR模型,从土地利用生态风险压力、土地利用生态风险状态、土地利用生态风险响应3个方面选择评价指标,构建综合防治评价指标体系。土地利用生态风险压力指标用以表征造成不可持续的人类土地利用活动方式。不合理的土地利用方式会导致生态环境恶化,土地利用方式是生态风险压力源之一。根据三峡库区土地利用方式的种类,结合区域地形地貌特征,以及区域经济社会状况和具体的土地利用条件,确定由三峡库区重庆段土地利用产生的生态风险压力指标有5类:农用地比例、工业污染物排放强度、农田面源污染强度、路网密度和建设用地比例。

土地利用生态风险状态指标用以表征土地利用过程中的生态环境系统状态。结合重庆市的实际情况和前人研究成果<sup>[13]</sup>,选取斑块密度、形状指数、周

长面积分维数、多样性指数和聚集度为主要风险状态指标。其中形状指数、周长面积分维数反映土地斑块的形状复杂程度,斑块密度和聚集度反映斑块的空间分布以及构型,多样性指数反映土地类型的多少。

土地利用生态风险响应指标表征生态环境要素对不合理土地利用的响应。传统的相对生态风险评价中一般选取指示生物种群作为评价终点,但本次研究中基于土地利用视角的生态风险评价,缺乏对野外

种群观测的数据,主要充分考虑了土地利用对生态环境要素的影响;结合实际数据情况,从反映流域自然环境和社会—经济—人类复合生态环境的功能性要素中选取指标,包括水质、植被、源强—等级距离指数以及人口密度等指标<sup>[5]</sup>。通过数据分析和论证,以年水面率、综合水质指数、综合结构指数、人口密度、地表植被覆盖度为主要指标构建土地利用生态风险的响应指标体系,具体见表 1。

表 1 土地利用生态风险评价指标体系

评价指标	
土地利用生态风险压力指标	农用地比例 $P_1$ 、建设用地比例 $P_2$ 、农田面源污染强度 $P_3$ 、路网密度 $P_4$ 、工业污染物排放强度 $P_5$
土地利用生态风险状态指标	斑块密度 $S_1$ 、形状指数 $S_2$ 、周长面积分维数 $S_3$ 、多样性指数 $S_4$ 、聚集度 $S_5$
土地利用生态风险响应指标	人口密度 $R_1$ 、地表植被覆盖度 $R_2$ 、水面率 $R_3$ 、综合结构指数 $R_4$ 、综合水质指数 $R_5$

3 土地利用生态风险评价

3.1 评价单元划分

土地利用生态风险评价单元的选择决定了生态风险评价的精度,因此,在进行土地利用生态风险评价时,要依据土地利用生态风险的精度要求、目的和已有数据来综合选择评价单元。由于本次研究范围较大,基于评价单元内部土地利用具有相对均一性,单元间具有可比性的原则,研究采用县级行政区作为土地利用生态风险基本评价单元;同时考虑重庆市主城区内(主城九区)土地利用与社会经济环境有较高的一致性,将重庆主城九区合并为一个评价单元。基于以上划分方法,将三峡库区重庆段划分为 14 个评价单元。

3.2 评价模型

基于各指标值的计算方法,对评价单元各指标值进行标准化,得到评价指标体系各个指标的标准化值;再分别将评价单元的压力、状态以及响应所包含的各指标标准化值导入 SPSS 软件,进行主成分分析,得出各自的计算公式以及所包含的指标权重值(公式 1—3);根据计算公式进行一级指标值计算:

土地利用生态风险压力:

$$P=-0.357P_1+0.231P_2+0.441P_3+0.446P_4+0.211P_5$$
 (1)

土地利用生态风险状态:

$$S=0.414S_1+0.268S_2+0.237S_3+0.278S_4-0.389S_5$$
 (2)

土地利用生态风险响应:

$$R=0.355R_1-0.44R_2-0.219R_3+0.346R_4+0.304R_5$$
 (3)

综合分析风险源、风险状态、风险响应三要素对土地利用生态风险的综合影响,参考其他研究成果,

采用以下评价模型进行评价:

土地利用生态风险:

$$F=\frac{1}{3}\sqrt{(|P|^2+|S|^2+|R|^2)}$$
 (4)

式中: $P$ ——生态风险压力值; $S$ ——生态风险状态值; $R$ ——生态风险响应值; $F$ ——土地利用生态风险值。

3.3 风险评价

在 ArcGIS 软件支持下,结合各评价单元指标值,利用评价模型(公式 1—4),分别计算土地利用生态风险压力、状态和响应值,以及土地利用生态风险值,结果如表 2 所示。

表 2 三峡库区重庆段土地利用生态风险评价结果

评价单元	生态风险 压力	生态风险 状态	生态风险 响应	生态风 险值
长寿	0.620	0.288	0.333	0.253
丰都	0.381	0.486	0.526	0.270
奉节	0.340	0.651	0.805	0.363
涪陵	0.332	0.610	0.558	0.297
江津	0.312	0.546	0.553	0.279
开县	0.426	0.652	0.496	0.308
石柱	0.080	0.515	0.799	0.318
万州	0.323	0.629	0.424	0.275
巫溪	0.036	0.484	0.96	0.372
巫山	0.191	0.553	0.919	0.363
武隆	0.197	0.510	0.696	0.295
云阳	0.308	0.670	0.642	0.326
忠县	0.390	0.680	0.467	0.304
重庆主城九区	0.838	0.575	0.074	0.340

3.4 土地利用生态风险等级划分

土地利用生态风险压力、状态和响应值共同决定生态风险的大小。根据生态风险值空间分布规律,在 ArcGIS 软件支持下,采用自然断点法进行生态风险分级,将其分为高风险区、较高风险区、中等风险区、较低风险区、低风险区共 5 个等级,见表 3 及图 1。

表 3 三峡库区重庆段土地利用综合风险面积统计

项目	低风险	较低风险	中度风险	较高风险	高风险
面积/km <sup>2</sup>	1460.08	15392.61	14542.29	10550.33	4126.25
所占比例/%	3.16	33.41	31.56	22.9	8.96

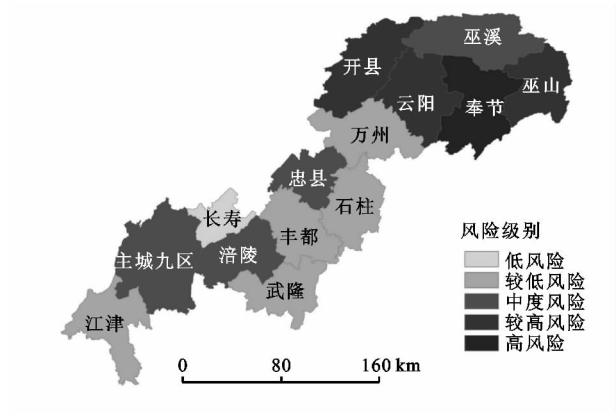


图 1 三峡库区重庆段土地利用生态风险分布

由表 3 可以看出,三峡库区重庆段土地利用生态风险各风险等级面积分布差异明显,以中度风险和较低风险为主。其中,中度风险面积为 14 542.29 km<sup>2</sup>, 占总面积的 31.56%;较低风险区域共占总面积的 33.41%;高风险和较高风险面积分别为 4 126.25 km<sup>2</sup> 和 10 550.33 km<sup>2</sup>,占评价面积的 8.96%和 22.9%;长寿的生态风险值最低,面积为 1 460.08 km<sup>2</sup>,占评价面积的 3.16%。

由图 1 可以看出,三峡库区重庆段土地利用生态风险各风险级在空间上的分布具有由东北到西南逐渐减轻的趋势。高风险与较高风险位于渝东地区,奉节的生态风险最高,与之相邻的巫山、云阳以及开县属于较高的生态风险等级,因其较高的生态风险状态值和较高的生态风险响应值导致。中度风险主要分布于重庆主城九区、涪陵、忠县以及巫溪地区,其中重庆主城九区生态风险压力较大,但生态风险响应值最小,综合作用下导致生态风险值为中度;巫溪生态风险压力最小,但风险响应值却最大,导致生态风险值最高;涪陵与忠县则是由于生态风险压力、状态以及响应的值都处于中等或较高水平导致。较低风险区域呈条带状分布,包括万州、石柱、丰都、武隆以及江津五个区县,石柱和武隆由较低的生态风险压力导致,万州、丰都以及江津则是生态风险三要素共同引起;位于三峡库区重庆段西北部的长寿生态风险最低,因区域生态风险状态与生态响应值较低导致。

4 结果与分析

4.1 土地利用生态风险压力分析

三峡库区土地利用生态风险压力整体较小。除

长寿与重庆主城九区外,其他区县皆小于 0.5,说明生态面临的风险压力处于可控制范围。这主要是因为自三峡库区蓄水以来,三峡库区及生态功能保护区的生态环境建设与保护受到各级政府的高度重视,特别是国家西部大开发战略以生态环境建设为核心,极大地推动了库区的生态环境建设与保护,尤其在自然保护区建设、植被恢复等方面对三峡库区重庆段生态安全的好转起到了关键性的作用。

三峡库区土地利用生态风险压力的分布存在显著的差异。对生态风险压力的分布值进行汇总得到图 2。从图 2 可以看出重庆主城九区的生态风险压力最大,接近于 0.9,作为重庆社会经济发展的中心,土地利用规模和强度以及污染强度的加大导致其建设用地比例、工业污染排放强度以及路网密度三项指标值远远高于其他评价单元,因此面临的生态压力最大。长寿因其较高的建设用地比例与较高的路网密度,导致生态风险压力值仅次于重庆主城九区,达到 0.62。巫溪的风险值最小,仅有 0.036,因全县地貌以山地为主,对土地的利用强度较低,作为生态风险压力主要因子的建设用地比例、工业污染排放强度、路网密度以及农业面源污染指标值都是最低。石柱的风险值仅高于巫溪,较低的农业面源污染以及较低的路网密度是导致其较低生态风险压力的原因。处于三峡库区腹心地带的万州、云阳的风险值接近 0.3,说明面临的风险压力不是特别严重,生态风险压力强的主要指标值分布均衡,在整个三峡库区重庆段中处于中等水平,其生态风险压力也处于中等水平。

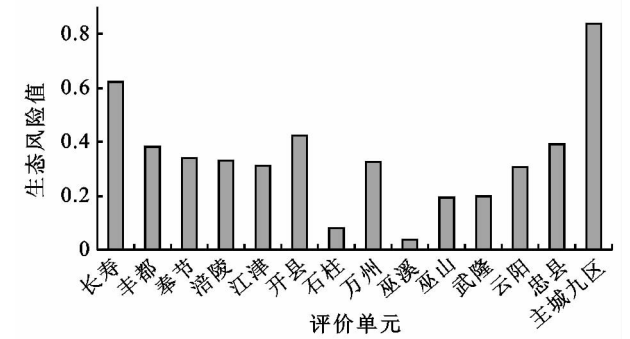


图 2 三峡库区重庆段土地利用生态风险压力值分布

基于以上分析可以发现,重庆主城九区与长寿的生态风险压力远大于其他评价单元,对于此区域应严格控制土地利用的规模与强度,控制污染排放强度以

及建设用地比例,降低其生态风险压力的各指标强度以减小生态风险所面临的压力,从而有效控制区域的土地利用生态风险。

#### 4.2 土地利用生态风险状态分析

生态风险状态反映评价单元在生态风险压力下可能产生风险的大小。根据公式(2)可以看出,形状指数、周长面积分维数、多样性指数和聚集度对生态风险状态值的影响力相当。通过对表 2 中的生态风险状态值进行分析,可得到图 3。

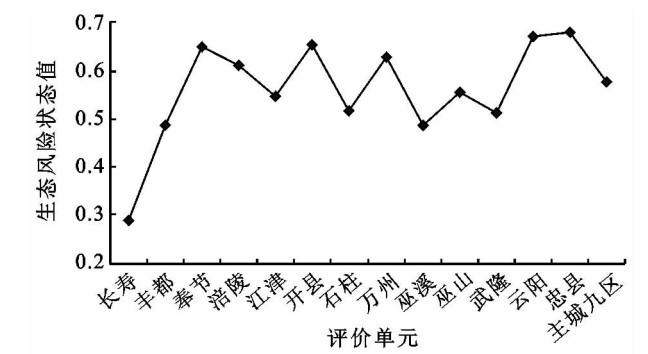


图 3 三峡库区重庆段土地利用生态风险状态值分布

由图 3 可以看出,三峡库区重庆段土地利用生态风险状态值总体较高,除长寿外,其余评价单元都位于 0.4~0.7 之间,表明三峡库区发生潜在生态风险的可能性大。由于建设用地的不断扩张以及耕地的复垦使得土地斑块形状复杂、空间分散、土地类型多,面对生态风险状态值差。三峡库区重庆段生态风险状态的分布相对集中。其中生态风险状态值最大的为忠县,达到 0.680,该区域土地利用空间结构在整个三峡库区中最为分散,土地斑块相对复杂,土地利用类型也较多,导致其生态风险状态值最大。奉节、涪陵、开县、万州以及云阳的生态风险状态值都超过了 0.6,因区域的斑块密度、形状指数、周长面积分维数、多样性指数都较高,而对状态值呈负相关的聚集度指标值则偏低,因此应加强区域土地利用的集约与节约性。生态风险状态值处于 0.4~0.5 之间的区域包括丰都、江津、石柱、巫溪、武隆以及重庆主城九区,表明这些区域土地利用带来的生态风险状态相对比较稳定。风险值最小区域为长寿,主要是该区土地利用类型简单,且空间分布较为集中。

从以上分析可以看出,三峡库区腹心区域(忠县、奉节、涪陵、开县、万州以及云阳)生态所表征的状态较差,其土地利用斑块相对复杂,图斑破碎,结构分散。此区域应加强土地利用的集约性,合理规划土地利用,严格控制乱垦现象以及减少土地撂荒浪费,以恢复良好的生态环境。

#### 4.3 土地利用生态风险响应分析

结合三峡库区重庆段现状,对土地利用生态风险

响应指标进行主成分分析(公式 3),可以看出,水面率与地表植被覆盖度越高,土地利用风险响应值则越低,表明高植被覆盖度和高水面率会降低不合理土地利用对生态环境的干扰和破坏,而高人口密度、高结构指数等则会给生态环境造成更大的风险。通过对表 2 中的生态风险响应值进行分析,结果如图 4 所示。

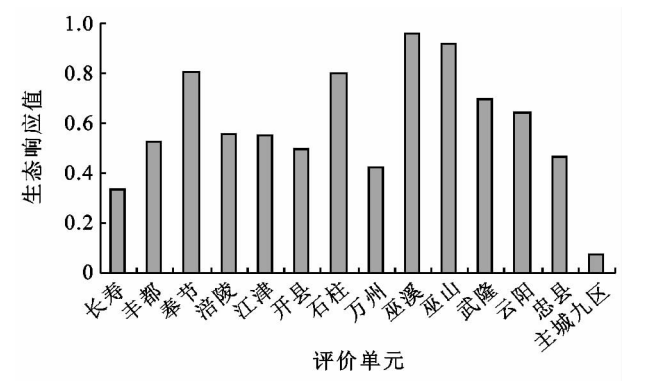


图 4 三峡库区重庆段土地利用生态风险响应值分布

三峡库区重庆段土地利用风险响应值总体较高。由表 2 以及图 4 可看出,生态风险响应值低于 0.4 的只有长寿与重庆主城九区,在 0.4~0.6 间有 6 个区县,高于 0.6 的有 6 个区县;表明三峡库区重庆段总体对不合理土地利用响应显著,区域总体生态环境脆弱,稳定性差,不合理土地利用极易给生态环境带来较大的风险。三峡库区重庆段土地利用生态风险响应值分布存在明显区域差异,说明三峡库区生态环境抗外界干扰能力存在很大差异。响应最大的区域位于巫溪,因具有较低的水面率,而表现出较高的生态风险响应;渝东北地区的万州、丰都、忠县、云阳、奉节、巫山以及开县风险响应值都大于 0.4,区域较高的综合结构指数,容纳和承载了较多的污染物质,导致其生态响应值较高;渝东南地区的武隆、石柱县生态风险响应值高于 0.6,说明区域生态环境已相当严峻;渝西北的长寿因具有较高的水面率,风险响应值明显低于渝东地区;渝西南的江津地区风险响应值也较高,大于 0.5;最小值位于重庆主城九区,该区域水域面积较大,且地形起伏较大,导致其水面率与植被覆盖度都较高,区域对污染的承载能力及净化能力较高。

上述分析可以看出,巫溪、巫山、石柱以及奉节等三峡库区腹心地带生态风险响应值高,极小的风险压力可能导致生态环境的迅速恶化,应予以重点关注,严格控制各类生态压力,重点实施环境治理,强化土地利用过程中的生态环境建设。

#### 4.4 土地利用生态风险分析

通过综合分析表 2 中的生态风险值可知:对于生

态风险的防护与治理,应重点监测三峡库区腹心地带,此区域生态环境脆弱,在面临风险压力时,所表征的状态与响应都极为强烈,应严格控制生态风险压力的力度和强度,保护生态环境。而重庆主城九区与长寿,生态环境自身对污染的降解能力以及环境修复能力较强,不合理的土地利用对生态环境造成的风险相对较弱。

## 5 结论

(1) 三峡库区重庆段土地利用生态风险以中度风险和较低风险为主。其中,低风险、较低风险区域共占总面积的 36.58%,中度风险占总面积的 31.56%,高风险和较高风险面积分别为 4 126.25 km<sup>2</sup> 和 10 550.33 km<sup>2</sup>,占评价面积的 8.96%和 22.9%。

(2) 三峡库区重庆段土地利用生态风险在空间上的分布具有由东北到西南逐渐减轻的趋势。其中高风险与较高风险位于渝东地区,低风险位于三峡库区重庆段西北部。

(3) 三峡库区腹心地带土地利用生态风险应予以高度关注。区域生态风险压力低,但生态风险响应值偏高,应注重生态环境维护和土地集约利用,从源头控制,保护生态环境。而重庆主城九区与长寿,生态环境自身对污染的降解能力以及环境修复能力较强,不合理的土地利用对生态环境造成的风险相对较弱。

### 参考文献:

[1] 臧淑英,梁欣,张思冲. 基于 GIS 的大庆市土地利用生态

(上接第 175 页)

- [8] 李景保,刘晓清. 荆江裁弯与葛洲坝兴建对洞庭湖水情的影响[J]. 湖南师范大学自然科学学报,1993,16(4): 362-368.
- [9] 林承坤,高锡珍. 水利工程修建后洞庭湖径流与泥沙的变化[J]. 湖泊科学,1994,6(1):33-39.
- [10] 姜加虎,黄群. 三峡工程对洞庭湖水位影响研究[J]. 长江流域资源与环境,1996,5(4):367-374.
- [11] 秦文凯,府仁寿,王崇浩,等. 三峡建坝前后洞庭湖的淤积[J]. 清华大学学报:自然科学版,1998,38(1):84-67.
- [12] 卢宏伟,曾光明,张硕辅. 三峡工程的运行对洞庭湖水环境的影响[J]. 环境工程,2004,22(1):61-64.
- [13] 陈绍金. 浅析三峡工程建成后对洞庭湖水环境的影响[J]. 水资源保护,2004,20(5):33-37.
- [14] 卢金友,黄悦,宫平. 三峡工程运用后长江中下游冲淤变化[J]. 人民长江,2006,37(9):55-57,87.
- [15] 洪林,董磊华,李文哲. 三峡工程建库后对洞庭湖水位、

风险分析[J]. 自然灾害学报,2005,14(4):141-145.

- [2] 史培军,潘耀忠. 深圳市土地利用/覆盖变化与生态环境安全分析[J]. 自然资源学报,1999,14(4):293-299.
- [3] 袁艺,史培军. 快速城市化过程中土地覆盖格局研究:以深圳市为例[J]. 生态学报,2003,23(9):1832-1840.
- [4] 刘勇,张红,尹京苑. 基于土地利用变化的太原市土地利用生态风险评价研究[J]. 中国土地科学,2009,23(1): 52-61.
- [5] 孙洪波,杨桂山,苏伟忠,等. 沿江地区土地利用生态风险评价:以长江三角洲南京地区为例[J]. 生态学报,2010,30(20):5616-5625.
- [6] 任志远,张艳芳. 土地利用变化与生态安全分析[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [7] 王恒伟,廖和平,赵宏伟,等. 基于 PSR 的区域生态安全评价:以重庆市渝北区为例[J]. 西南师范大学学报:自然科学版,2010,35(2):211-217.
- [8] 左伟,王桥. 区域生态安全评价指标与标准研究[J]. 地理学与国土研究,2002,18(1):61-67.
- [9] 杨京平,卢剑波. 生态安全的系统分析[M]. 北京:北京化学工业出版社,2002.
- [10] 申艳萍,魏贵臣. 许昌市生态安全评价系统的研究[J]. 许昌学院报,2008(3):120-124.
- [11] 赵莹雪,郑海燕. 滨海旅游地生态安全评价体系初探[J]. 商业时代,2008(28):101-102.
- [12] 苏凯,张军以,苏维词,等. 基于 PSR 模型的石漠化风险评价指标研究[J]. 重庆师范大学学报:自然科学版,2011,28(1):71-75.
- [13] 刘晓,苏维词,王铮,等. 基于 RRM 模型的三峡库区重庆开县消落区土地利用生态风险评价[J]. 环境科学学报,2012,32(1):248-256.
- 泥沙和水质的影响分析[J]. 中国水利,2007(6):13-14.
- [16] 李义天,郭小虎,唐金武,等. 三峡建库后荆江三口分流的变化[J]. 应用基础与工程科学学报,2009,17(1):21-31.
- [17] 李景保,常疆,吕殿青,等. 三峡水库运行初期荆江与洞庭湖区的水文效应[J]. 地理学报,2009,64(11):1342-1352.
- [18] 郭小虎,韩向东,朱勇辉,等. 三峡水库的调蓄作用对荆江三口分流的影响[J]. 水电能源科学,2010,28(11): 48-51.
- [19] 谢永宏,陈心胜. 三峡工程对洞庭湖湿地植被演替的影响[J]. 农业现代化研究,2008,29(6):684-687.
- [20] 黄群,孙占东,姜加虎. 三峡水库运行对洞庭湖水位影响分析[J]. 湖泊科学,2011,23(3):424-428.
- [21] 彭玉明,段文忠,陈永华. 荆江三口变化及治理设想[J]. 泥沙研究,2007(6):59-65.