

## 三峡库区(重庆段)生态系统健康评价

邵田, 张浩\*, 邬锦明, 张镜波, 王祥荣

复旦大学 环境科学与工程系, 上海 200433

**摘要:** 生态系统的健康和相对稳定是人类赖以生存与发展的必要条件. 分析了三峡库区(重庆段)生态系统的健康状况, 使用 3S 技术获取基础地理数据, 构建基于压力-状态-响应模式的三级指标体系模型, 并以 AHP 法结合专家咨询法选取人口密度、地质灾害易发度等 10 项指标, 进行综合得分计算并分级. 结果表明: ①在生态环境调查的基础上, 应用 GIS 空间分析方法进行生态系统健康评价具有可操作性和结果的可靠性; ②三峡库区(重庆段)生态系统健康质量表现出 2~4 级生态系统占主体(82.6%)的特点, 生态质量一般, 人类社会经济活动对生态系统的健康状况造成较大影响; ③生态系统健康质量水平分布表现出明显的区域差异, 从行政范围来看, 彭水县、巫山县较好, 巫溪县、武隆县等次之, 云阳市、万州区等则较差. 结合系统聚类分析方法分析三峡库区(重庆段)生态系统健康状况空间分异的成因; 并从宏观尺度上提出了对该地区人为活动的不良生态后果予以积极预防和有效调控的综合对策.

**关键词:** 生态系统健康; 三峡库区(重庆段); 系统聚类分析

中图分类号: X826 文献标识码: A 文章编号: 1001-6929(2008)02-0099-06

## The Ecosystem Health Assessment of the Three Gorges Reservoir Area (Chongqing Section)

SHAO Tian, ZHANG Hao, WU Jin-ming, ZHANG Jing-bo, WANG Xiang-rong

Department of Environmental Science and Engineering, Fudan University, Shanghai 200433, China

**Abstract:** Healthy ecosystem is an indispensable condition for human survival and development. The ecosystem health of the Three Gorges Reservoir Area (Chongqing Section) was analyzed. Based on the 3S technique, a three-grade indicator system model based on Pressure-State-Response mode was constructed, and the methods of AHP and Delphi were used and 10 indices, including population density and geological disaster frequency, etc., chosen to evaluate the Ecosystem Health Composite Index (ESHCI) in the area. The results show that: ① The method of GIS spatial analysis can be used for the analysis of the ecosystem health and can get a reliable result; ② In Chongqing Section, areas with degrading ecosystem health cover 82.6% of the total area, which may be attributed to the human activities; ③ The distribution of the ESHCI shows an obvious area difference. Distributed by the political region, the Pengshui County and Wushan County are the mostly healthy ones, the Wuxi County and Wulong County are less healthy, and the Yunyang City and Wanzhou are the worst in health. The reason of the distribution was found out by hierarchical cluster analysis. Moreover, the comprehensive countermeasures in a macro-scale were proposed to actively prevent and effectively control the bad ecological results caused by human activities.

**Key words:** ecosystem health; the Three Gorges Reservoir Area (Chongqing Section); hierarchical cluster analysis

自 20 世纪 80 年代以来生态系统健康评价日益引起人们的关注, Schaeffer 等<sup>[1]</sup>首次探讨了有关生态系统度量的问题, Rapport 等<sup>[2,3]</sup>首次论述了“生态系统健康”的内涵, 指出生态系统健康主要研究生态、环境及人类可持续发展之间的关系, 并可以通过

活力 (Vigor)、组织结构 (Organization) 和恢复力 (Resilience) 3 个特征来进行测度. Costanza 等<sup>[4]</sup>把生态系统健康的概念归纳为 6 个特征: ①生态系统的内稳定现象; ②没有疾病的状态; ③系统的多样性或复杂性; ④稳定性或可恢复性; ⑤有活力或增长的空间; ⑥系统要素间的平衡. 测度生态健康应该包括系统恢复力、平衡能力、组织(多样性、结构)和活力(新陈代谢). 目前国内研究主要集中在生态系统健康的概念探讨、生态系统健康评价指标的选择等方面, 对区域或某类生态系统专门进行的研究并不多<sup>[5-12]</sup>. 三峡库区(重庆段)既是长江上游经济带的

收稿日期: 2007-07-12 修订日期: 2007-09-20

基金项目: 复旦大学青年科研基金项目 (EXH591330); 国家自然科学基金重大项目(06&ZD024)

作者简介: 邵田 (1982-), 女, 辽宁铁岭人, 硕士研究生,

shaotian@fudan.edu.cn,

\* 责任作者, zhokzhok@163.com

重要组成部分,更是长江中下游地区的生态环境屏障和西部生态环境建设的重点,也是全国地质灾害最严重的地区之一<sup>[13-14]</sup>,库区建设、环境污染、生态灾害、移民与城镇化问题困扰重重,特别是三峡工程的建设在很大程度上改变了三峡库区生态系统的结构和功能,加剧了库区本来就已十分突出的人地矛盾<sup>[15-17]</sup>.有鉴于此,笔者基于 3S 技术手段,对三峡库区(重庆段)的生态系统健康进行评价.

## 1 区域概况

### 1.1 地理位置与区位特征

三峡库区(重庆段)地处我国西南部地势第二阶梯东缘,地理位置在 28°32'N~ 31°26'N 和 105°49'E~ 110°12'E,包括江津市、重庆市区、长寿区、涪陵区、丰都县、忠县、万州区、云阳县、奉节县和巫山县等长江干流沿岸区县,以及位于乌江、嘉陵江流域,受长江支流影响巨大的巫溪县、开县、石柱县、彭水县、梁平县、武隆县、垫江县、綦江县、永川市、潼南县、合川市、铜梁县和璧山县,共计 23 个区、市、县,面积约为 62 234 km<sup>2</sup>,2003 年末人口数量为 2 652.07 × 10<sup>4</sup> 人<sup>[18]</sup>,人口密度为 426 人/km<sup>2</sup>.

### 1.2 自然地理特征

该区域在地质构造上位于大巴山褶皱带、川鄂湘黔褶皱带、川东褶皱带和黄陵背斜交汇处,北靠大巴山,南依云贵高原,跨越川鄂中低山峡谷和川东平行峡谷低山丘陵区.属于湿润亚热带季风气候,冬暖春早、夏热伏旱、湿度大、云雾多,受地形影响气候垂直变化明显.地貌组合差异大,区内江河纵横,河网密布,生物资源丰富.

## 2 研究方法

### 2.1 区域基础研究数据获取

基于 1:250 000 的研究区域数字化地形图,2002 年 Landsat ETM+ 以及 2004 年 SPOT 卫星遥感影像图,经地形矫正与大气矫正,运用 Geostar 3.0 软件对研究区域的土地利用类型进行了监督分类,经与 2004 年的土地利用现状图进行对比,遥感影像分类精度 KAPPA 指数达到了 85%<sup>[19]</sup>,可以认为影像分类精度适于研究的需要.

将上述用地分类结果经矢量/栅格转换导入 ArcGIS 9.0 进行空间属性编辑.进一步根据研究的需要,导入研究区域数字化地形图、用地类型、土壤类型、水系、水土流失状况、地质灾害发生点、居民点分布状况和人口密度等数字化图件,并结合社会经济发展指标,建立研究区域的基础地理信息数据库.

### 2.2 生态系统健康评价的 PSR 三级模型

生态系统健康的综合评判方法主要有 2 个步骤:①根据生态系统健康评价的特点以及评价目标,按照一定的原则选择对生态系统健康评价有重要影响的指标因子,并利用 AHP 法和 Delphi 法相结合对指标赋予合理的权重,建立科学的评价指标体系;④在借鉴压力-状态-响应(Pressure-State-Response, PSR)模型框架<sup>[20]</sup>的基础上,用加权求和的方法来实现区域景观生态的综合评价.计算公式为:

$$U_h = \sum U_{hi} \times W_i \quad (1)$$

式中,  $U_h$  为各评价区域的生态系统健康评分总分;  $U_{hi}$  为各评价区域的第  $i$  类生态因子的得分;  $W_i$  为第  $i$  类生态因子的权重.

### 2.3 指标选取及权重

笔者采用 PSR 模型对三峡库区(重庆段)生态系统健康进行评价,生态系统健康评价压力-状态-响应模型、指标及权重见图 1.

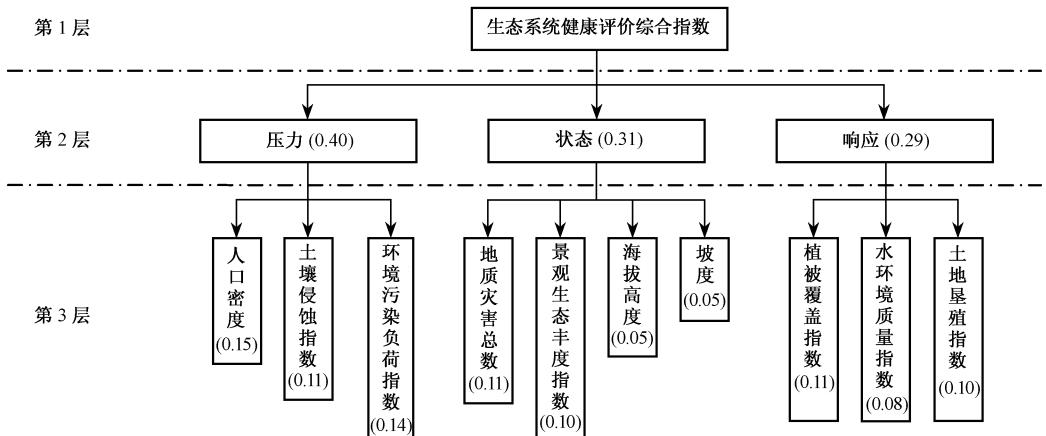


图 1 生态系统健康评价压力-状态-响应模型、指标及权重

图 1 中,第 1 层为生态系统健康评价综合指数;第 2 层为生态系统的活力、组织结构和恢复力;第 3 层为评价指标层。依据指标选取的代表性、综合性、方便性和适用性原则,从自然、经济和社会 3 个层面对评价指标进行筛选。根据所收集的资料<sup>[18,22-25]</sup>,选择 10 项指标(见图 1)来评价该区域的生态系统健康状况,指标类型包括压力指标(Pressure Indicator)、状态指标(State Indicator)和响应指标(Response Indicator)。

压力指标,描述人类活动对环境施加的压力。研究区域的生态系统健康状况较多地受到人类社会经济活动的影响,三峡工程建设对库区生态健康的不利影响主要体现在:①水库淹没耕地加剧植被破坏、水土流失和泥沙淤积;②对局地地质灾害的发生产生影响;③库区水体流速减缓,局部水域的污染将加重;④筑堤建库将改变水生生态环境,导致生物多样性丧失<sup>[26-27]</sup>。由于三峡工程在建设、施工和运行中对库区生态系统的影响具有复杂性、渐进性与长期性等特点,虽然工程建设过程中对库区回水、崩塌、滑坡、岩溶角砾岩堆积体等局部的环境影响尤为重视,但三峡工程建设与运行对整个研究区域的直接影响与生态压力尚难以用围堰运行期变形特性、建基面岩体完整性系数、桩基工程质量、径流量、输沙量等<sup>[28-29]</sup>的工程技术指标来指示说明。因而,笔者主要选取了人口密度、土壤侵蚀指数和环境污染负荷指数这 3 项共性的压力指标,从相对宏观的尺度上综合评价由于库区水位上升导致的人口迁移、城镇建设、产业结构与布局调整对研究区生态环境产生的压力。

状态指标,描述了与环境和自然资源数量及质量有关的环境状态指标。如以地质灾害总数衡量三峡工程建设过程(包括移民城镇迁建及道路、桥梁等配置基础设施建设项目)中诱发的崩塌、泥石流等地质灾害对库区生态系统稳定性的影响;以景观生态丰度指数评价区域内景观生态多样性的丰富程度和三峡工程施工对附近的山川、平原、农田、乡村、城镇及风景旅游地带来的影响。

响应指标,社会对环境变化做出的响应措施。如以植被覆盖指数评价区域林地、草地及农田 3 种类型面积占评价区域面积的综合比例等。

根据需要设计了一套以三峡工程及其环境影响为主题的问卷,先在复旦大学校内对 50 名来自不同专业(文、理、医)背景的师生进行了访谈,然后根据

存在的问题及关注重点重新设计了问卷,并通过邮件与访谈的方式对 15 名环境科学领域的专家和学者进行了咨询,在专家打分的基础上,在统计软件 DPS 中用 AHP 法<sup>[30]</sup>确定各指标的权重(见图 1)。

## 2.4 数据标准化

为便于不同量纲的指标之间的比较,对各指标进行了相应的标准化处理。笔者将所有评价指标分为 2 类:效益型指标(数值越大越好的指标,如景观生态丰度指数、植被覆盖指数等);成本型指标(数值越小越好的指标,如人口密度、土地垦殖指数等)。

对于效益型指标,其标准化方法:

$$B_i = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (2)$$

对于成本型指标,其标准化方法:

$$C_i = 1 - B_i \quad (3)$$

式中, $B_i$ 和 $C_i$ 分别为某参评因子第 $i$ 级的分级标准化值; $X_i$ 为参评因子第 $i$ 级编码值; $X_{\min}$ 和 $X_{\max}$ 分别为参评因子的最小编码值及最大编码值。

## 3 结果与分析

### 3.1 生态系统健康分级评价

在对各指标分级评分的基础上,根据总分计算公式计算各县、市的生态系统健康评价综合指数。生态系统健康评价综合指数分布范围为 0.357~0.754,平均值为 0.546(见图 2)。将三峡库区(重庆

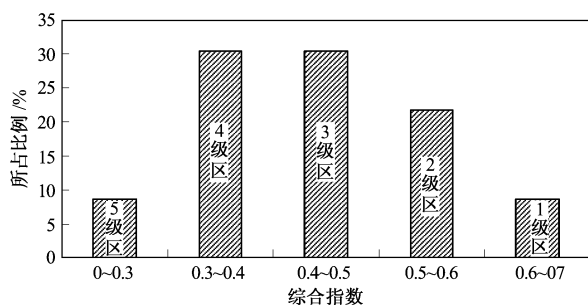


图 2 生态系统健康评价综合指数分析

Fig. 2 Distribution of integrated evaluation index of the ecosystem health

段)生态系统健康程度由好至差分为 5 个等级:① 1 级区(占 8.70%)。稳定性高,可持续生产能力强,人类一般性生产活动不产生永久性变化。② 2 级区(占 21.74%)。稳定性较高,人类活动超过阈值系统健康就会受损,但恢复相对容易。③ 3 级区(占 30.43%)。稳定性低,生态系统健康轻度受损,恢复健康有一定难度。④ 4 级区(占 30.43%)。在自然状态下已处于不稳定状态,生态系统健康中度受损,比

较难以恢复. 1/5 级区(占 8.70%). 在自然状态下已处于极不稳定状态, 系统健康已严重受损, 很难恢复(见图 2).

### 3.2 三峡库区(重庆段)各生态系统聚类分析

系统聚类分析方法是对被评价对象(样本)进行分类的一种多元统计分析方法. 笔者应用 DPS 统计分析软件, 依据生态系统健康状况, 对三峡库区(重庆段)的 23 个区、市、县进行了系统模糊聚类分析(见图 3).

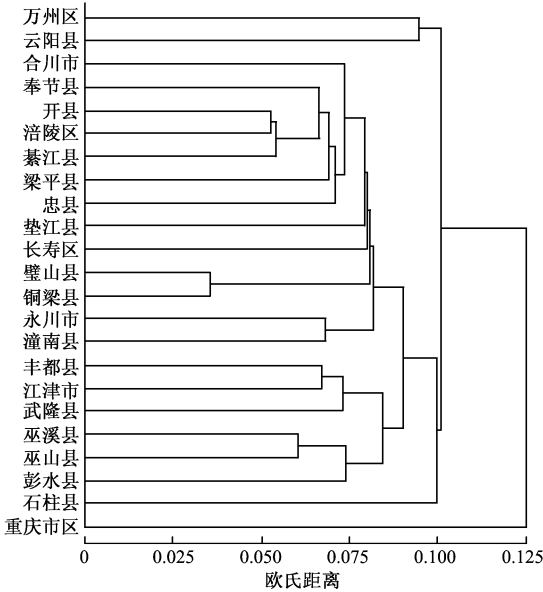


图 3 研究区域生态系统健康状态模糊聚类分析

Fig. 3 Fuzzy cluster of the ecosystem health in the study area

根据系统模糊聚类分析结果, 将上述 23 个区、市、县分为 5 类: A 类区, 如石柱县; B 类区, 如彭水县、巫山县、巫溪县、武隆县、江津市和丰都县; C 类区, 如潼南县、永川市、璧山县、铜梁县、长寿区、垫江县、忠县、梁平县、綦江县、涪陵区、开县、奉节县和合川市; D 类区, 如云阳县和万州区; E 类区, 如重庆市.

### 3.3 库区沿江地区生态系统健康状况的空间分异成因分析

生态系统健康评价主要依据健康程度进行级别划分(见图 4), 对三峡库区(重庆段)各生态系统健康状况进行总体评价; 此外, 通过生态系统聚类分析依据指标对系统的影响, 分析该地区生态系统空间分异的产生原因, 二者的结果互相补充支持. 研究区域海拔高度及坡度分级见图 5, 6.

#### 3.3.1 1 级区

1 级区包括彭水县和巫山县, 它们的生态系统

健康评价综合得分最高, 在聚类分析中同属于 B 类区. 这 2 个县域的共同点是山高坡陡, 特殊的地理状况使得人口密度低于 200 人/km<sup>2</sup>, 人类社会经济

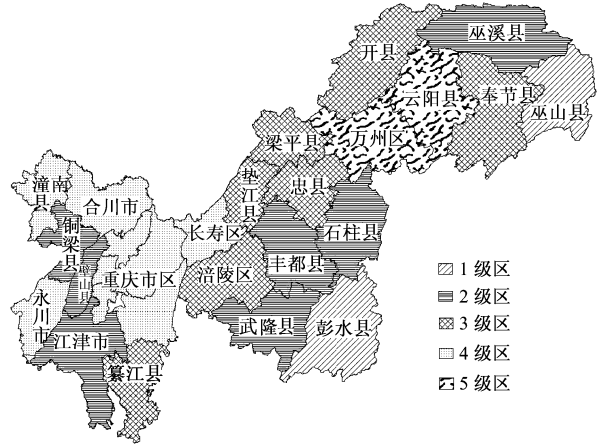


图 4 研究区域生态系统健康综合评价

Fig. 4 Ranks of ecosystem health in the study area

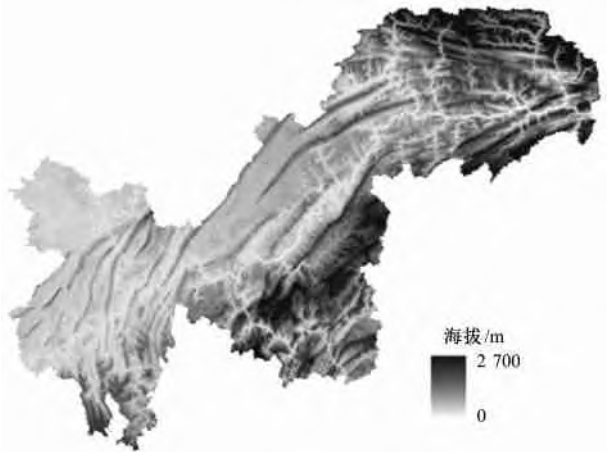


图 5 研究区域海拔高度分级

Fig. 5 Classification of altitude in the study area

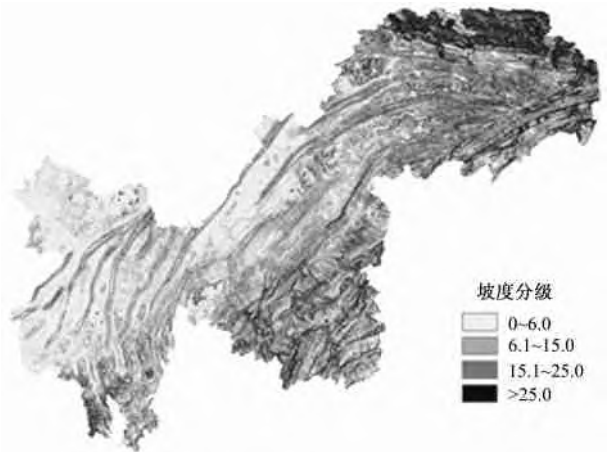


图 6 研究区域坡度分级

Fig. 6 Classification of slope in the study area

活动对自然环境的影响小,景观类型丰富,植被覆盖率高,森林覆盖率达40%,林地面积比超过50%,污染小,土地垦殖率低,水质达到国家地表水环境二类水或三类水标准,生态系统健康状态良好。

### 3.3.2 2级区

2级区包括巫溪县、武隆县、丰都县、璧山县、铜梁县、江津市和石柱县。这7个县域生态系统的共同之处是植被覆盖率较高,在38%以上。其不同之处根据聚类分析结果可分为3种类型:①石柱县地势东高西低,呈起伏式下降,地形复杂,是著名的“中国黄连之乡”、“世界长毛兔之乡”,拥有丰富的旅游资源,境内人口密度很小,为170人/km<sup>2</sup>,污染小,水环境质量为二类水,森林覆盖率较高,是重庆市重点林业县之一,但是,由于土地垦殖率超过50%,因此其生态系统健康受到影响;④巫溪县、武隆县、江津市和丰都县的境内以丘陵及中、低山地地形为主,处于地质灾害较易发生的区域,人口密度小于500人/km<sup>2</sup>,虽然海拔、坡度、土地侵蚀指数等指标存在劣势,土地垦殖指数、污染负荷居中,但是由于其景观生态丰度高,植被覆盖率高,水环境质量好,缓解了其对环境的压力,仍然是比较健康的生态系统;④璧山县和铜梁县以丘陵为主,海拔低,坡度小,地质灾害少,水环境质量较好,土地侵蚀指数小,适宜人类居住,人口密度也较大。区域内景观生态丰度较小,植被覆盖率一般,水环境质量一般,但农业产业结构合理,带来的污染负荷较小,故而生态系统比较健康。

### 3.3.3 3级区

3级区包括垫江县、綦江县、开县、涪陵区、奉节县、梁平县和忠县。这7个县(区)域生态系统在聚类分析中都属于C类区,它们的共同特点是50%的指标属于一般水平,20%的指标相对较好,30%的指标较差,如綦江县和涪陵区的土地垦殖率很小,梁平县的土地侵蚀较少,忠县的海拔较低,但它们同时也各自都存在较大的劣势。因此生态系统稳定性差,生态系统承受的压力较大,自我恢复能力较弱。

### 3.3.4 4级区

4级区包括潼南县、重庆市区、永川市、长寿区和合川市。这5个县(市)域生态系统根据聚类分析结果可以分为3种类型:①潼南县和永川市的工农业比较发达,土地垦殖率高,环境污染较严重,水环境质量较差,对景观生态丰度和植被覆盖破坏较大,生态系统稳定性差,自我恢复能力不强。④重庆市

区的平均坡度较小,城市化水平很高,聚集了大量人口,是研究区域内人口密度最大的区域,工农业生产发达,同时地处地质灾害易发区,导致土地垦殖和侵蚀严重,污染负荷大,对景观生态丰度和植被覆盖产生破坏,因此生态系统稳定性很差,自我恢复能力较弱。④长寿区和合川市处于地质灾害易发区,人口密度大,以工业为主,人类社会经济活动对自然环境造成的压力和污染负荷大,对景观生态丰度和植被覆盖破坏较大,虽然海拔和坡度较小,但是仍然导致生态系统稳定性差,自我恢复能力不强。

### 3.3.5 5级区

5级区包括云阳县和万州区。其中,云阳县海拔高、坡度大,土地侵蚀严重,自然条件恶劣,生态系统的稳定性差,同时人类活动的影响对景观生态丰度和植被覆盖破坏较大,土地垦殖指数和土地侵蚀指数2个指标得分较低,自我恢复能力也较弱,因此生态系统不健康。万州区属向斜地质构造,地质灾害发生频繁、危害严重,且人口密度高,区域内工业密集,污染负荷大,且植被保护、景观生态多样性保护等方面工作力度不够,导致植被覆盖率低,景观生态丰度低,土地垦殖过度,生态系统处于恶性循环,属于不健康的生态系统。且地处三峡库区半淹没区,城市移民的迁建导致不合理开发,人类工程活动已成为危岩发育、生态环境破坏的重要外部影响因素。

## 4 结论与建议

笔者选取了10项指标,从宏观尺度上评价了三峡工程建设过程中产生的人地矛盾对水环境、土壤条件、地质灾害、植被和生物多样性等方面的影响,通过PSR评价模型得出目前三峡库区(重庆段)的生态系统健康类型以2~4级为主(占评价区域面积的82.6%)。对于仍然拥有传统重工业基地的重庆市区、万州区和涪陵区,应逐渐改变产业结构,制定严格的工业排污标准,进行积极有效的监督,以减轻对环境带来的污染负荷,加强对植被和景观生态多样性的保护,对于生态系统健康评价中的5级区,必须进行有效污染控制,以帮助其逐步恢复并防止大规模扩散,在经济发展的同时必须对产业结构进行合理调整,大力发展三产,进行完善的基础设施建设,从而减轻由密集的人口对环境造成的压力,并促使其逐步恢复。对于以农业为主的地区,在人类利用当地自然资源的过程中,应注意因地制宜,引进先进技术,进而提高自然资源(如土地、森林、草地等)

的利用效率,而不能简单地依靠扩大开发(如增大土地垦殖率,增加森林、草地等的利用面积)来获取人类的经济利益。人类活动应尽可能地减小对当地自然环境带来的影响。

由于生态系统对人类活动及干扰响应的渐进性、长期性与复杂性,受限于对生态系统结构与功能的全面了解,特别是迄今在不同尺度上对生态系统健康指标的测度非常困难,在评价指标筛选与模型方法建立方面因不同学者的偏好而有较大差异,这使得目前生态系统健康评价技术与方法仍存在着很大的不确定性,不同地区的研究结果也缺乏可比性。因而,未来对于三峡库区的生态系统健康评价研究应逐步引入数学模型、地理信息系统(GIS)、环境影响评价(EIA)、生态风险评价(ERA)技术以及政策仿真等手段,进行动态化的多场景模拟分析,以进一步提高生态系统健康评价结果的合理性与实用性。

#### 参考文献(References):

- [1] Schaeffer D J, Henricks E E, Kerster H W. Ecosystem health: measuring ecosystem health[J]. *Environ Manag*, 1998, 12: 397-402.
- [2] Rapport D J. What constitutes ecosystem health? [J]. *Perspectives in Biology and Medicine*, 1989, 33: 120-132.
- [3] Rapport D J, Costanza R, McMichael A J. Assessing ecosystem health [J]. *Trends in Ecology and Evolution*, 1998, 13: 397-402.
- [4] Costanza R, Norton B D, Hashell B D. Ecosystem health: new goals for environmental management[M]. Washington DC: Island Press, 1992: 239-256.
- [5] 肖风劲, 欧阳华. 生态系统健康及其评价指标和方法[J]. *自然资源学报*, 2002, 17(2): 203-209.
- [6] 孔红梅, 赵景柱, 吴钢, 等. 生态系统健康与环境管理[J]. *环境科学*, 2002, 23(1): 1-5.
- [7] 蔡为民, 唐华俊, 陈佑启, 等. 土地利用系统健康评价的框架与指标选择[J]. *中国人口·资源与环境*, 2004, 14(1): 31-35.
- [8] 郭秀锐, 杨居荣, 毛显强, 等. 城市生态系统健康评价初探[J]. *中国环境科学*, 2002, 22(6): 525-529.
- [9] 陈美球, 黄靓, 蔡海生, 等. 鄱阳湖区土地健康评价[J]. *自然资源学报*, 2004, 19(2): 170-175.
- [10] 刘明华, 董贵华. RS 和 GIS 支持下的秦皇岛地区生态系统健康评价[J]. *地理研究*, 2006(5): 930-938.
- [11] 肖笃宁, 陈文波. 论生态安全的基本概念和研究内容[J]. *应用生态学报*, 2002, 13(3): 354-358.

- [12] 李瑾, 安树青. 生态系统健康评价的研究进展[J]. *植物生态学报*, 2001, 25(6): 641-647.
- [13] 肖文发. 长江三峡库区陆生动植物生态[M]. 重庆: 西南师范大学出版社, 2000: 1-20.
- [14] 陈国阶, 李鼎甲. 三峡库区自然环境质量现状评价[C]//中国科学院三峡工程生态与环境科研项目领导小组. 长江三峡工程对生态与环境的影响及其对策研究论文集. 北京: 科学出版社, 1987: 1022-1030.
- [15] 水利部长江委员会. 三峡工程移民研究[M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1997.
- [16] 长江水利委员会. 三峡工程生态环境影响研究[M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1997: 54-75.
- [17] 吕怡兵, 宫正宇, 连军, 等. 长江三峡库区蓄水后水质状况分析[J]. *环境科学研究*, 2007, 20(1): 1-6.
- [18] 重庆市统计局. 重庆统计年鉴(2005) [Z]. 北京: 中国统计出版社, 2005.
- [19] Lucas I F J, Frans J M, Wel V D. Accuracy assessment of satellite derived land-cover data: a review [J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 1994, 60(4): 410-432.
- [20] OECD. Using the Pressure-State-Response model to develop indicators of sustainability: OECD framework for environmental indicators [EB/OL]. (2003-11-03) [2007-06-20]. <http://www.oecd.org/honca>, 1999.
- [21] Nunnally J C. Psychometric theory [M]. New York: McGraw-Hill, 1967.
- [22] 重庆市环境保护局. 重庆市生态环境调查报告(2003) [R]. 重庆: 重庆市环境保护局, 2004: 1-35.
- [23] 重庆市人民政府. 重庆市地质灾害防治规划(2004-2015) [R]. 重庆: 重庆市人民政府, 2004: 43-44.
- [24] 罗怀良, 朱波, 刘德绍, 等. 重庆市生态功能区的划分[J]. *生态学报*, 2006, 26(9): 3144-3151.
- [25] 高群. 三峡库区景观格局变化及其影响因素——以重庆市云阳县为例[J]. *生态学报*, 2005, 25(10): 2499-2506.
- [26] 陈永柏, 李盛荣. 三峡工程的环境影响及环境保护进展[J]. *水电站设计*, 2001, 17(4): 65-70.
- [27] 王儒述. 三峡工程的环境影响及其对策[J]. *长江流域资源与环境*, 2002, 11(4): 317-322.
- [28] 吉锋, 葛华, 刘汉超, 等. 三峡库区重庆市万州区塌岸现状调查[J]. *山地学报*, 2007, 25(2): 190-196.
- [29] 谢怀建, 沈平. 长江三峡地质灾害治理中的景观保护与建设方法探索[J]. *重庆建筑大学学报*, 2007, 29(2): 5-9.
- [30] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其DIS数据处理系统[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 6-481.

(责任编辑: 潘风云)