

湖南省小流域生态安全综合评价指标体系研究

盛 东¹, 李桂元², 徐义军²

(1. 河海大学 水文水资源学院, 南京 210098; 2. 湖南省水利科学研究所, 长沙 410007)

摘 要:该文通过收集整理湖南省小流域基础数据, 结合实际调查完成对湘东、湘南、湘西 3 个区域 11 个典型小流域生态安全评价指标的筛选。基于小流域水土资源、生态环境及社会经济三个方面的复合表征, 采用层次分析法、专家咨询法等方法建立可适用于南方红壤区小流域生态安全综合评价指标体系及评价模型。评价结果表明: (1) 总体而言, 湖南省各地区小流域生态现状评价为基本安全, 湘西地区的生态现状安全程度要高于其他地区, 具体次序为: 湘西较好, 湘南次之, 湘东较差; (2) 小流域生态安全综合评价指数分布与水土流失率分布范围有较好的一致性, 水土流失率大的流域, 其生态安全综合指数明显偏低, 两者存在较强的负相关性; (3) 通过小流域生态安全的障碍因素分析, 影响湖南省小流域生态安全的主要障碍因素为土壤侵蚀量、水土流失率、水土流失治理率及人均纯收入等。

关键词:小流域; 生态安全; 指标体系; 湖南省

中图分类号: X171.4

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)02-0058-06

Evaluation Index System of Ecological Security in the Watershed of Hunan Province

SHENG Dong¹, LI Gui-yuan², XU Yi-jun²

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Hunan Provincial Research Institute of Water Conservancy and Hydropower, Changsha 410007, China)

Abstract: After collecting basic data of 11 small watersheds in Hunan province and considering the practical investigation, the selection of indexes for ecological security assessment for Eastern, Western and Southern Hunan province have been accomplished in this paper. Based on the composite characteristics of soil and water resources, ecological environment and society and economy, the integrated evaluation index system and assessment model on small watersheds in red soil region in Southern China were constructed through analytic hierarchy process method and expert consultation method and so on. In conclusion, the ecological security assessment of every watershed in Hunan is safe, the degree sequence is Western Hunan, Southern Hunan and Eastern Hunan. The distribution of integrated index of ecological security assessment on small watersheds has strong negative correlation with the distribution of rate of soil and water loss. The bigger the water lose rate was, the smaller the integrated index was. The main hindering factors are amount of soil erosion, rate of soil and water lose, per capita income and so on.

Key words: watershed; ecological security; index system; Hunan province

生态安全问题的提出, 最早源于 20 世纪 80 年代, 前苏联的切尔诺贝利核电站事故导致的人为环境灾难, 其次是 90 年代后凸显的跨越国界的全球性环境公害, 各国之间潜在的环境威胁增加^[1-2], 如沙尘暴、水污染、大气污染、温室效应、厄尔尼诺等。一个区域内的多个国家, 在环境问题上将形成一个整体, 他们之间的政治关系将受到环境问题的影响^[3]。

如 2005 年 11 月松花江水污染事件涉及到沿江中俄两国人民的饮水安全^[4]。以上这些引起了世界各国对人类生存环境与国家利益之间关系的关注, 使得人们对自身的“安全”和“威胁”的认识有了很大改变。而关于小流域生态安全的定义, 迄今尚未有一个确切的定义。一般认为包括两层基本含义: 一是防止由于小流域生态环境退化对经济基础构成威

* 收稿日期: 2009-09-04

基金项目: 质检公益性行业科研专项项目“中国南方小流域生态治理标准化研究”(10-153)

作者简介: 盛东(1979-), 男, 湖南衡南人, 博士, 讲师, 主要从事水文水资源, 水环境模拟等方向研究。E-mail: shengdong1979@163.com

胁,主要指环境质量状况低劣和自然资源的减少和退化削弱了经济可持续发展的支撑能力;二是防止由于小流域环境破坏和自然资源短缺引发人民群众的不满,特别是环境难民的大量产生,从而导致国家的动荡^[5-6]。自 20 世纪 90 年代初,国内外学者开始研究探讨流域生态安全评价问题,并作了大量的工作,但主要从生态环境方面进行评价,其方法也是定性的多,人为主观随意性较强,对其体现可持续发展的资源与环境可支撑性和系统运行稳定性评价报道很少,实际上,小流域综合治理的根本目标就是使系统生态环境发生逆转,呈良性循环,实现可持续发展,因此,研究探讨小流域生态安全评价方法,建立科学、有效的评价指标体系,对开展小流域综合治理,实现可持续发展,具有重要的理论和现实指导意义。

1 研究区概况及数据来源

1.1 研究区概况

湖南省地处长江中游,洞庭湖以南,南岭以北。居东经 108°47′ - 114°15′,北纬 24°39′ - 30°08′ 之间。东西宽 667 km,南北长 774 km。周邻鄂、赣、粤、桂、黔、渝 6 省、市。土地总面积 211 829 km²,总

人口 6 438.92 万。属中亚热带季风湿润气候区农业资源条件较好,水稻种植历史悠久。现已发展为全国粮食主产省之一,粮食总产量居全国第 6 位,是一个农业大省。由于地处东亚大陆的东南部,西北有武陵山脉,西南有雪峰山脉,南有五岭山脉,北面为低平的洞庭湖平原,中部为“马蹄形”的大盆地,构成了湖南省较为复杂的地形地貌,无论从位置、气温、降水等特点来看,湖南均属于典型的中亚热带区域,区域内集中了丘陵、平原、山地等中亚热带主要的地形地貌类型,是开展中国南方小流域生态安全评价、生态修复与治理及分区规划研究的理想区域之一。

1.2 数据来源

研究数据主要以湖南省小流域实地调研为基础,以调查地区及湖南省近年统计年鉴资料为辅助;其中湘西地区选取桑植县猛洞河流域上游两岔小流域、车禾小流域、立烈小流域以及慈利县输赢溪小流域及后溪峪小流域;湘南地区选取祁阳县古木堰小流域、长春水小流域、酒塘水小流域;湘东地区选取平江市公安小流域、曲溪小流域、大渔小流域进行重点调查。其所选取的指标含义清楚,概念明确,均可通过实地调查、测试等方法获得。

表 1 湖南省小流域生态安全现状调查数据表

| 项 目 | 两岔 | 车禾 | 立烈 | 古木堰 | 长春水 | 酒塘水 | 公安 | 曲溪 | 大渔 | 输赢溪 | 后溪峪 |
|---|---------|---------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|
| 人均耕地面积(hm ² /人) | 0.09 | 0.12 | 0.09 | 0.07 | 0.06 | 0.08 | 0.07 | 0.06 | 0.05 | 0.1 | 0.08 |
| 人均林地面积(hm ² /人) | 0.66 | 0.89 | 0.63 | 0.08 | 0.07 | 0.09 | 0.20 | 0.24 | 0.21 | 0.15 | 0.23 |
| 人均水资源量(m ³ /人) | 4031 | 4621 | 4781 | 4324 | 3854 | 4021 | 3524 | 3651 | 3598 | 5012 | 4897 |
| 水土流失率/ % | 23.31 | 25.21 | 23.42 | 28.57 | 35.8 | 31.75 | 39.61 | 32.61 | 26.79 | 35.01 | 23.22 |
| 水土流失治理率/ % | 10 | 12 | 8 | 13.74 | 12.86 | 14.05 | 1.58 | 2.8 | 3.86 | 17.02 | 18.2 |
| 土地利用度/ % | 75.49 | 77.29 | 74.10 | 69.70 | 72.02 | 67.27 | 65.61 | 60.5 | 61.21 | 68.23 | 64.44 |
| 植被覆盖率/ % | 82.36 | 80.54 | 80.51 | 77.43 | 80.02 | 74.75 | 72.90 | 67.22 | 68.01 | 75.81 | 70.19 |
| 森林覆盖率/ % | 36.60 | 40.90 | 50.40 | 41.10 | 42.92 | 40.97 | 55.10 | 54.94 | 54.88 | 31.6 | 49.60 |
| 土壤侵蚀模数/(t·km ⁻² ·a ⁻¹) | 3838.40 | 3885.33 | 4395.9 | 2870 | 3036 | 3036 | 6800 | 6800 | 6800 | 5220 | 4808 |
| 水环境质量 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 人口密度(km ² /人) | 125.98 | 94.65 | 128 | 500 | 606.24 | 442.14 | 281.97 | 229.8 | 273.1 | 360.66 | 237.04 |
| 人均粮食产量(kg/人) | 612 | 625 | 602 | 799 | 758 | 849 | 416 | 423 | 419 | 413 | 425 |
| 人均纯收入(元/人) | 954 | 986 | 922 | 2620 | 2530 | 2750 | 1160 | 1200 | 1170 | 1560 | 1440 |
| 人口自然增长率/ % | 9 | 9.12 | 9.85 | 6.05 | 5.96 | 5.98 | 4.12 | 4.15 | 4.56 | 5.23 | 5.54 |
| 农业恩格尔系数/ % | 63 | 60 | 66 | 51 | 52 | 51 | 59 | 58 | 59 | 56 | 58 |
| 基尼系数 | 0.31 | 0.32 | 0.29 | 0.38 | 0.38 | 0.38 | 0.30 | 0.31 | 0.33 | 0.32 | 0.30 |

2 评价指标体系构建

2.1 评价指标体系设计原则

为使所建立的评价指标体系能够综合反映小流域安全评价的各个方面,进行小流域生态安全评价体系的构建中需要遵循一定的基本原则。小流域生

态安全评价指标体系是一个复杂的系统,其构建必须遵循以下基本原则:科学性;目的性;实用性和可操作性;全局性和可比性;定量和定性相结合;均衡性、层次性和简洁性^[7]。

2.2 指标体系框架

采用湖南省湘东、湘南、湘西北 3 个地区的 11

个小流域生态安全现状调查数据(基本数据见表 1),运用软件对所选指标进行相关性分析。对一些相关程度较高的指标进行归并。如评价指标中人均水域面积与人均水资源量($R^2 = 0.7948$);土地利用结构合理性与土地利用率先($R^2 = 0.9083$);水土流失治理率与水土保持治理实施情况($R^2 = 0.8894$);人均基本农田面积、15 以下耕地比例与人均耕地面积

等。分析后,按指标体系构建原则,对一些相关性较强的指标进行归并处理,得到新的评价指标集;根据其相关系数矩阵可知,相关系数绝对值 > 0.5 的有 17 项,占总体系数的 9.2%,相关系数绝对值最大的为 0.735 6,因此该评价指标体系整体上独立性较强,无高度相关的情况。故此,得到最终评价指标的层次结构关系如表 2。

表 2 小流域生态安全综合评价指标体系及生态评估指标阈值

| 目标层 | 准则层 | 指标层 | 涵义与计算方法 | 指标类型 | 不安全 | 基本安全 | 安全 | 指标阈值来源与分级依据 |
|-----------------|---------------|---|--|------|------|------|------|---|
| | 水土资源系统因子 (B1) | 人均耕地面积 (C1) (hm ² / 人) | 耕地面积/ 总人口 | 效益型 | 0.05 | 0.18 | 0.3 | 参照世界公认标准 |
| | | 人均林草地面积 (C2) (hm ² / 人) | 林草地总面积/ 总人口 | 效益型 | 0.15 | 0.25 | 0.45 | 湖南省 2005 年统计年鉴 |
| | | 人均水资源量 (C3) (m ³ / 人) | 总水资源量/ 总人口 | 效益型 | 1500 | 2500 | 3500 | 参照世界公认标准 |
| | | 水土流失率 (C4)/ % | 水土流失面积/ 总土地面积 | 成本型 | 30 | 20 | 10 | 湖南省 2005 年统计年鉴 |
| | | 水土流失治理率 (C5) / % | 水土流失治理面积/ 水土流失面积 | 效益型 | 5 | 15 | 25 | 湖南省 2005 年统计年鉴 |
| 小流域生态安全综合评价 (A) | 生态环境系统因子 (B2) | 土地利用率先 (C6) / % | (耕地、园地、林地、牧草地、其它农用地的总和) / 土地总面积 ×100 % | 效益型 | 60 | 75 | 90 | 湖南省 2005 年统计年鉴 |
| | | 植被覆盖率 (C7) / % | 植被面积/ 总面积 ×100 % | 效益型 | 25 | 55 | 85 | 湖南省 2005 年统计年鉴 |
| | | 森林覆盖率 (C8) / % | 森林面积/ 总面积 ×100 % | 效益型 | 10 | 20 | 30 | 国家级生态县标准 |
| | | 土壤侵蚀模数 (C9)/ (t ·hm ^{- 2} ·a) | 斑块侵蚀量之和 (t) / 总面积 | 成本型 | 5000 | 2500 | 500 | 土壤侵蚀分类分级标准 (SL190 - 2007) |
| | | 水环境质量 (C10) | 河流的水质类别 | 成本型 | 5 | 3 | 1 | 国家级生态县标准 |
| | | 人口密度 (C11)/ (人 ·hm ^{- 2}) | 总人口/ 总面积 | 成本型 | 500 | 300 | 100 | 湖南省 2005 年统计年鉴 |
| | 社会经济系统因子 (B3) | 人均粮食产量 (C12) (kg/ 人) | 粮食总产量/ 总人口 | 效益型 | 100 | 300 | 500 | 国家目前平均水平 400 kg、发达国家设置的安全上限 225 kg 以及发达国家目前平均水平 200 kg 设定 |
| | | 人均纯收入 (C13) (元/ 人) | 总收入/ 总人口 | 效益型 | 1000 | 3000 | 8000 | 国家级生态县标准 |
| | | 人口自然增长率 (C14) / ‰ | 人口出生率 - 人口死亡率 | 成本型 | 10 | 6 | 2 | 湖南省多年平均数据 |
| | | 农村恩格尔系数 (C15) | 食物支出总额 / 总的消费支出总额 × 100 % | 成本型 | 80 | 60 | 40 | 世界平均水平 |
| | | 基尼系数 (C16) | 综合考察居民内部收入分配差异状况指标 | 成本型 | 0.5 | 0.35 | 0.2 | 世界平均水平 |

2.3 小流域生态安全评价指标阈值确定

对于主要描述流域生态安全表征的指标,应确定在保证流域生态安全下的取值范围或阈值应该是多少,在流域生态治理综合效益最大化条件的合理目标应该是多少。湖南省小流域生态安全评价标准主要参照国家、行业和地方规定的标准,背景和本底标准及类比标准等因素综合确定。评价标准确定及其依据如表 2 所示。

3 小流域生态安全综合评价模型

3.1 评价指标权重的确定

评价指标权重的确定是对评价指标的重要性进行赋权,即对各评价指标在整个系统中的影响程度大小的进行度量,以区分其贡献大小。小流域安全评价中评价指标权重的确定是一个十分重要的内

容,可以直接影响到综合评价的结果。权重值确定的方法很多,常见的有层次分析法、频数统计分析法、加权统计法、相关分析法和熵值法等。考虑小流域生态安全评价的多层次性、多因素性,且是一个定性与定量相结合的评价系统,本文采用层次分析法来确定评价指标的权重^[8-10]。通过理论分析方法,

对指标进行频度统计,在广泛调查和大量征求专家意见的基础上,聘请该领域专家为各层次判断评分,构建了小流域生态安全评价指标判断矩阵,求得最大特征值及其对应的特征向量,对该向量归一化处理后作为各指标的权重。

表 3 小流域生态安全评价指标体系权重结果

| 目标层 | 准则层 | 指标层 | 相对权重 | 最终权重 |
|--------------------------------|--------------------|---------|--------|--------|
| 小流域生态安全 综合评价指数(A) 1.0000 | 水土资源系统因子(B1)0.4000 | 人均耕地面积 | 0.0872 | 0.0349 |
| | | 人均林地面积 | 0.1370 | 0.0548 |
| | | 人均水资源量 | 0.1726 | 0.0691 |
| | | 水土流失率 | 0.3043 | 0.1217 |
| | | 水土流失治理率 | 0.1847 | 0.0739 |
| | | 土地利用效率 | 0.1141 | 0.0456 |
| | 生态环境系统因子(B2)0.4000 | 植被覆盖率 | 0.1411 | 0.0565 |
| | | 森林覆盖率 | 0.1411 | 0.0565 |
| | | 土壤侵蚀模数 | 0.4550 | 0.1820 |
| | | 水环境质量 | 0.2627 | 0.1051 |
| | 社会经济系统因子(B3)0.2000 | 人口密度 | 0.1474 | 0.0295 |
| | | 人均粮食产量 | 0.1313 | 0.0263 |
| | | 人均纯收入 | 0.3006 | 0.0601 |
| | | 人口自然增长率 | 0.1687 | 0.0337 |
| | | 农村恩格尔系数 | 0.1405 | 0.0281 |
| | | 基尼系数 | 0.1115 | 0.0223 |

3.2 评价指标隶属度的确定

隶属度函数是模糊综合评判的应用基础,正确构造隶属度函数是能否用好模糊综合评判的关键之一,本研究各指标的隶属函数的采用均匀分布函数,建立方法如下:

(1) 第一级,即 $j = 1$ 时,其隶属函数为:

$$y_{ij} = \begin{cases} 1 & x_i \leq S_{ij} \\ A_{ij} (x_i - S_{i(j+1)}) & S_{ij} < x_i < S_{i(j+1)} \\ 0 & x_i \geq S_{i(j+1)} \end{cases} \quad (1)$$

式中: x_i ——第 i 种因子的实测值; S_{ij} ——第 i 种因子 j 级的标准值; $S_{i(j+1)}$ ——第 i 种因子 $(j + 1)$ 级的标准值; A_{ij} ——系数,用中值法求得。中值是即取相邻两个等级标准值的中间值,中值对于相邻两个等级的隶属度为 0.5,且由于中值可以用两个评价指标标准值的均值代替,于是,将中值(即均值)与隶属度 0.5 代入 $y_{ij} = A_{ij} (x_i - S_{i(j+1)})$ 中可求出 A_{ij} 。 $(x_i - S_{i(j+1)}) > 0, A_{ij}$ 取正值; $(x_i - S_{i(j+1)}) < 0, A_{ij}$ 取负值。其计算公式如下:

$$A_{ij} = \frac{1}{S_{ij} - S_{i(j+1)}} \quad (2)$$

(2) 第二级至 n 级,即 $j = 2, 3, \dots, (n - 1)$ 时,其隶属函数为:

$$y_{ij} = \begin{cases} 1 & x_i \leq S_{ij} \\ A_{ij} (x_i - S_{i(j-1)}) & S_{i(j-1)} < x_i < S_{ij} \\ A_{ij} (x_i - S_{i(j+1)}) & S_{ij} < x_i < S_{i(j+1)} \end{cases} \quad (3)$$

式中: $S_{i(j-1)}$ ——第 i 种因子 $(j - 1)$ 级的标准值;
 A_{ij}, A_{ij} ——系数,计算公式如下:

$$A_{ij} = \frac{1}{S_{ij} - S_{i(j-1)}} \quad (4)$$

$$A_{ij} = \frac{1}{S_{ij} - S_{i(j+1)}} \quad (5)$$

符号意义同上。

(3) 第末级,即 $j = n$ 时,其隶属函数为:

$$y_{ij} = \begin{cases} 1 & x_i \leq S_{ij} \\ A_{ij} (x_i - S_{i(j-1)}) & S_{i(j-1)} < x_i < S_{ij} \\ 0 & x_i \geq S_{i(j-1)} \end{cases} \quad (6)$$

式中: A_{ij} ——系数,计算公式如下:

$$A_{ij} = \frac{1}{S_{ij} - S_{i(j-1)}} \quad (7)$$

符号意义同上,正负向指标(效益型、成本型)均可适用,应用于负向指标,只需将取值范围符号反向即可。依此方法,根据表 1 数据及表 3 评价标准值可写出各小流域各项指标隶属度矩阵。

3.3 评判结果与分析

由模糊变换中加权计算公式 $B = A \cdot R(b_1, b_2,$

..., b_m) (其中 A 为权重矩阵, 见表 3; R 为隶属度矩阵) 计算可得到评价结果如表 4:

表 4 小流域生态安全现状模糊综合评判结果

| 评价等级 | 不安全 | 基本安全 | 安全 | 备注 |
|------|--------|--------|--------|------|
| 两岔河 | 0.2718 | 0.4732 | 0.2552 | 基本安全 |
| 车禾 | 0.2892 | 0.4152 | 0.2957 | 基本安全 |
| 立烈 | 0.3592 | 0.3518 | 0.2890 | 不安全 |
| 古木堰 | 0.3653 | 0.4703 | 0.1645 | 基本安全 |
| 长春 | 0.3172 | 0.4723 | 0.2106 | 基本安全 |
| 酒塘水 | 0.3410 | 0.4572 | 0.2019 | 基本安全 |
| 公安 | 0.5232 | 0.2750 | 0.2019 | 不安全 |
| 曲溪 | 0.5405 | 0.2601 | 0.1995 | 不安全 |
| 大渔 | 0.5184 | 0.2955 | 0.1862 | 不安全 |
| 输赢溪 | 0.4906 | 0.2983 | 0.2111 | 不安全 |
| 后溪峪 | 0.3583 | 0.4241 | 0.2177 | 基本安全 |

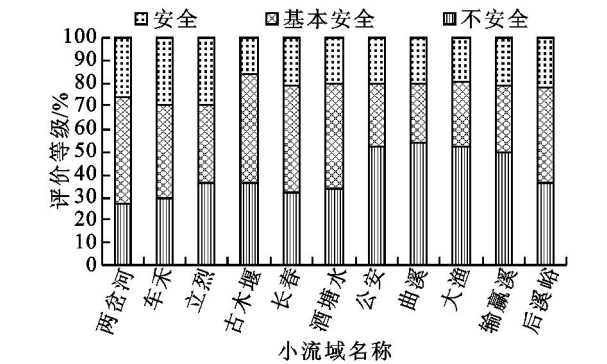


图 1 小流域生态安全综合评价结果

由计算结果可知:两岔河小流域隶属于“基本安全”等级占 0.473 2,大于隶属于“不安全”等级为 0.271 8,隶属于“安全”等级为 0.255 2,根据最大隶属度原则,则判定该小流域生态安全状况为“基本安全”级别,从计算过程上看,该小流域生态安全存在的主要问题是社会经济发展水平较低引起的“压力”

指标过大造成。各小流域生态安全综合评价指数分布还与水土流失率分布范围有较好的一致性,水土流失率大的流域,其生态安全综合指数明显偏低,两者存在较强的负相关性。

4 小流域生态安全的障碍诊断分析

小流域生态系统安全分析评价的目的既在于对小流域系统安全状况水平进行评判,更重要的是在于寻找系统安全的障碍因素,以便有针对性地对小流域进行生态环境整治和政策上的调整,因而,需进一步对小流域生态系统安全进行障碍因素确定。小流域系统障碍诊断是一项极为复杂的工作,为简化问题的表达,本研究引入了“因子贡献率 a_j ”、“指标偏离 b_j ”、“障碍度 BI”的概念。因子贡献率是单项因素对总体目标的影响程度,即单项因素对总体目标的权重;指标偏离度是单项指标与系统健康持续发展目标之间的差距,即单项指标因素与 100 % 之差;障碍度是单项因素对小流域生态安全状况水平的负面影响值,是障碍诊断的目标和结果,目标值取表 3 中安全等级标准值。

设 x_j 和 t_j 分别为—单项指标的实际值与目标值,则该单项指标量化值为:

当 x 为正作用(效益型)指标时

$$a_j = (x_j / t_j) \times 100 \% \tag{8}$$

当 x 为负作用(成本型)指标时

$$a_j = (t_j / x_j) \times 100 \% \tag{9}$$

式中:——描述指标值模糊度的常数,一般 1,该研究中取 = 1。

表 5 小流域生态安全障碍度计算结果

| 障碍度 | 两岔河 | 车禾 | 立烈 | 古木堰 | 长春 | 酒塘水 | 公安 | 曲溪 | 大渔 | 输赢溪 | 后溪峪 |
|---------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 人均耕地面积 | 5.76 | 5.76 | 6.10 | 5.60 | 5.60 | 5.34 | 5.08 | 5.40 | 5.53 | 4.64 | 5.80 |
| 人均林地面积 | - 6.12 | - 14.66 | - 5.45 | 9.52 | 9.38 | 9.12 | 5.76 | 4.89 | 5.55 | 7.35 | 6.14 |
| 人均水资源量 | - 2.47 | - 6.09 | - 6.32 | - 3.47 | - 1.42 | - 2.16 | - 0.09 | - 0.57 | - 0.37 | - 5.96 | - 6.25 |
| 水土流失率 | 16.37 | 20.20 | 17.42 | 16.85 | 17.82 | 17.47 | 16.89 | 16.06 | 14.57 | 17.35 | 15.69 |
| 水土流失治理率 | 10.45 | 10.58 | 12.55 | 7.09 | 7.29 | 6.78 | 12.85 | 12.49 | 11.93 | 4.71 | 4.55 |
| 土地利用 | 1.73 | 1.77 | 2.01 | 2.19 | 1.85 | 2.41 | 2.29 | 2.84 | 2.79 | 2.20 | 2.93 |
| 植被覆盖率 | 0.41 | 0.82 | 0.75 | 1.07 | 0.67 | 1.43 | 1.49 | 2.25 | 2.16 | 1.22 | 2.23 |
| 森林覆盖率 | - 2.93 | - 5.65 | - 9.59 | - 4.45 | - 4.94 | - 4.33 | - 8.78 | - 8.94 | - 8.95 | - 0.60 | - 8.36 |
| 土壤侵蚀模数 | 37.30 | 43.64 | 40.28 | 32.02 | 30.89 | 31.86 | 31.31 | 32.09 | 32.20 | 32.85 | 36.94 |
| 水环境质量 | 16.51 | 19.28 | 17.50 | 14.93 | 14.24 | 14.68 | 13.01 | 13.33 | 13.38 | 13.98 | 15.87 |
| 人口密度 | 1.43 | - 0.46 | 1.61 | 5.03 | 5.01 | 4.78 | 3.54 | 3.17 | 3.57 | 4.26 | 3.86 |
| 人均粮食产量 | - 1.39 | - 1.81 | - 1.34 | - 3.35 | - 2.76 | - 3.85 | 0.82 | 0.77 | 0.81 | 0.91 | 0.89 |
| 人均纯收入 | 12.47 | 14.50 | 13.28 | 8.61 | 8.35 | 8.27 | 9.54 | 9.72 | 9.80 | 9.66 | 11.16 |
| 人口自然增长率 | 6.18 | 7.24 | 6.71 | 4.81 | 4.55 | 4.70 | 3.22 | 3.32 | 3.61 | 4.15 | 4.88 |
| 农业恩格尔系数 | 2.42 | 2.58 | 2.76 | 1.29 | 1.32 | 1.27 | 1.68 | 1.66 | 1.73 | 1.60 | 1.98 |
| 基尼系数 | 1.86 | 2.30 | 1.73 | 2.25 | 2.15 | 2.21 | 1.38 | 1.51 | 1.68 | 1.67 | 1.68 |

注:表中负值表示该指标对于生态安全现状来讲无明显胁迫。

$$j = j \tag{10}$$

$$b_j = 1 - a_j \tag{11}$$

$$BI_j = b_{j \ j} / \sum_{j=1}^n b_{j \ j} \times 100 \% \tag{12}$$

式中： j ——第 j 个单项指标对目标层的综合权重(见表 3)，其中($j = 1, \dots, n$)。由 BI_j 大小排序即可确定小流域系统的障碍因素主次关系和各障碍因素对流域系统健康持续发展的负面影响程度。经计算得到障碍度分析结果如表 5。

从障碍度计算结果上来看,影响湖南省小流域生态安全的主要障碍因素为土壤侵蚀量、水土流失率、水土流失治理率及人均纯收入等,各个不同流域,次序稍有不同。针对其主要障碍因素,在小流域的综合治理过程中要注意:(1)增加资金投入和科技投入,加大水土流失治理力度,加强生态建设,优化环境整治措施;(2)加强生态环保意识,建立以生态农业为主的农业生产模式,减少农业生产过程中废弃物的产生,减少农业面源对河流水质的污染;(3)实现从粗放经营向集约化经营的转变,加快农业产业化进程;(4)注意土地利用规划及相关规划的实施,实现资源有效持续利用;(5)严格控制人口增长,提高人口素质,减轻资源环境压力;(6)积极开展小流域的生态补偿工作,促进流域上中下游协调发展。

5 结 论

通过收集整理湖南省小流域基础数据,结合实际调查完成对湘东、湘西、湘南 3 个区域 11 个小流域生态安全评价指标的筛选,采用模糊层次分析评判方法(FAHP)构建基于水土资源、生态环境及社会经济 3 个方面的复合表征的小流域生态安全综合评价指标体系及评价模型。评价指标体系及评价模型能够准确、真实的描述流域生态现状,并具有诊断影响流域生态安全障碍因素的功能。

(1)总体而言,湖南省各地区小流域生态现状评价为基本安全,湘西地区的生态现状安全程度要高于其他地区,具体次序为:湘西较好,湘南次之,湘东较差。

(2)小流域生态安全综合评价指数分布与水土流失率分布范围有较好的一致性,水土流失率大的流域,其生态安全综合指数明显偏低,两者存在较强的负相关性。

(3)通过小流域生态安全的障碍因素分析,影响湖南省小流域生态安全的主要障碍因素为土壤侵蚀量、水土流失率、水土流失治理率及人均纯收入等。

参考文献:

[1] 邹长新,沈渭寿.生态安全研究进展[J].农村生态环境,2003,19(1):56-59.

[2] 杨京平,卢剑波.生态安全的系统分析[M].北京:化学工业出版社,2002:127-128.

[3] Miranda A S,Dennis P. Ecological security in north-east Asia[M]. Seoul: Yonsei University Press,1998: 113-115.

[4] 陈星,周成虎.生态安全的国内外研究综述[J].地理科学进展,2005,24(6):8-20.

[5] 曲格平.关注生态安全之一:生态环境问题已经成为国家安全的热门话题[J].环境保护,2002(5):3-4.

[6] 曲格平.关注生态安全之二:影响中国生态安全的若干问题[J].环境保护,2002(7):3-6.

[7] 徐宣斌,赵军,李世清,等.西部地区生态修复限制因子及评价指标筛选[J].水土保持研究,2005,12(6):42-45.

[8] 赵焕臣,许树柏,和金生.层次分析法[M].北京:科学出版社,1986:142-145.

[9] 李恺.层次分析法在生态环境综合评价中的应用[J].环境科学与技术,2009(2):30-31.

[10] 朱晓华,杨秀春.层次分析法在区域生态环境质量评价中的应用研究[J].国土资源科技管理,2001(5): 43-46.