

福建省山仔水库生态安全评价

饶清华¹, 邱宇², 王菲凤^{3,4}, 许丽忠^{3,4}, 张江山^{3,4}

(1. 福建师范大学 福清分校 生物与化学工程系, 福建 福清 350300; 2. 福建省环境科学研究院, 福州 350013;
3. 福建师范大学 环境科学研究所, 福州 350007; 4. 福建师范大学 环境科学与工程学院, 福州 350007)

摘要:从经济状态、环境状态、社会状态 3 个方面建立了水库生态安全评价指标体系,应用全排列多边形图示指标法构建评价模型,对福建省山仔水库 2000—2003 年生态安全状况进行了评价。结果表明:2000—2003 年期间,山仔水库经济状态、环境状态、社会状态总体上呈上升趋势,但仍然处于较差水平;综合考虑经济状态指数、环境状态指数、社会状态指数后,山仔水库生态安全状况优劣顺序为:2002 年>2003 年>2001 年>2000 年。评价结果较为客观地反映了该区域生态环境安全状况,对于生态安全薄弱区的生态环境保护、资源利用和可持续发展具有指导意义。

关键词:生态安全评价; 福建省; 山仔水库; 指标体系; 全排列多边形图示指标法

中图分类号:TV697; X171

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2011)05-0221-05

Evaluation on Ecological Security in Shanzi Reservoir Region of Fujian Province

RAO Qing-hua¹, QIU Yu², WANG Fei-feng^{3,4}, XU Li-zhong^{3,4}, ZHANG Jiang-shan^{3,4}

(1. *Department of Biology and Chemistry Engineering, Fuqing branch of Fujian Normal University, Fuqing, Fujian 350300, China*; 2. *Fujian Research Academy of Environmental Science, Fuzhou 350013, China*; 3. *Institute of Environmental Science, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China*; 4. *College of Environmental Science and Engineering, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China*)

Abstract:Based on the established ecological security index system including economic status, environmental condition and social status, the state of ecological security of Shanzi Reservoir Region in 2000—2003 was evaluated by using entire-array-polygon synthesis illustration method. The results showed that the state of economic status, environmental condition and social status rose in 2000—2003 period, but the level of ecological security was still poor. Considering the economic status, environmental condition and social status, the ecological security situation through 2000 to 2003 from superior to inferior states were in the sequences of 2002, 2003, 2001 and 2000 in Shanzi Reservoir, Fujian Province. The results reflected the ecological security situation objectively, which can provide scientific evidence for ecological conversation and sustainable development in the study area.

Key words:ecological security evaluation; Fujian Province; Shanzi Reservoir; indicator system; entire-array-polygon synthesis illustration method

随着人口的快速增长和社会经济的发展,人类活动对环境的压力不断增大,由环境退化和生态破坏及其所引发的环境灾害与生态灾难对区域发展、国家安全、社会进步的威胁越来越大,生态安全问题已受到世界各国的高度重视。生态安全及评价已在世界范围内成为多学科、多领域的热门课题。学者们围绕着生态安全的概念^[1-4]、问题评述^[5-7]及指标取舍^[8-12]等

方面进行了大量的研究,但尚未形成系统的评价指标体系,定量评价的方法与准则的确定仍处于探索阶段。

在生态安全评价指标体系方面,由于指标体系有其自身的特点,其关注的是社会、经济、自然子系统在“关系”上的协调^[13]。因此,从社会、经济、自然 3 个子系统的分析出发构建指标体系,综合考虑区域系统

收稿日期:2011-03-24

修回日期:2011-05-13

资助项目:福建省自然科学基金(W0650007)

作者简介:饶清华(1981—),男,福建福州人,硕士,讲师,主要从事环境影响评价方面研究。E-mail:raoqinghua@sina.com

通信简介:张江山(1946—),男,福建泉州人,研究员,博士生导师,从事环境影响评价、环境规划、环境治理、环境教育等工作。E-mail:JSZhang@fjnu.edu.cn

的生态需求与生态承载力,客观反映社会—经济—自然复合生态系统之间的相互作用机理,从整体上体现生态系统的协调程度和可持续发展能力。在生态安全评价方法方面,常用的评价方法有综合指数法、层次分析法、熵权法、模糊数学评价法和灰色理论评价法等^[14-17]。生态安全评价的本质就是根据研究区域可持续发展对区域生态环境质量的要求,建立区域生态安全指标体系和安全等级标准,将研究区域各评价指标转换成一维实数的综合安全指数,进而对各区域生态安全等级进行综合评价。如何合理地确定这些评价指标的权重是生态安全评价最主要的难点之一,而传统的评价方法在确定指标权重时,主观随意性较强,其评价结果的合理性和科学性就值得探讨。全排列图示指标法是多指标综合评价方法的一种,与传统的简单加权法相比,不用专家主观评判权重系数的大小,只要确定与决策相关的上限、下限和临界值即可,减少了主观随意性^[13]。

本文以福州市第二水源地山仔水库为例,提出基于经济状态、环境状态和社会状态 3 个子系统指标耦合的指标体系,衡量复合生态体系的生态安全等级。并采用全排列图示指标法,对指标体系的量化数据进行综合评价,得到生态环境安全等级的量化综合指标,为生态环境规划和建设提供依据。

1 研究方法

全排列多边形图示指标法^[13,18-20]具体定义为:设共有 n 个指标(标准化后的值),以这些指标的上限值为半径构成一个中心 n 边形,各指标值的连线构成一个不规则中心 n 边形,这个不规则中心 n 边形的顶点是 n 个指标的一个首尾相接的全排列, n 个指标总共可以构成 $(n-1)/2$ 个不同的不规则中心 n 边形;综合指数定义为所有这些不规则多边形面积的均值与中心多边形面积的比值。

指标值标准化采用双曲线标准化函数:

$$F(x) = \frac{a}{bx+c} \quad (1)$$

$F(x)$ 满足:

$$F(x) \big|_{x=L} = -1, F(x) \big|_{x=T} = 0, F(x) \big|_{x=U} = +1$$

式中: U ——指标 x 的上限; L ——指标 x 的下限; T ——指标 x 的临界值。根据上面 3 个条件,可得:

$$F(x) = \frac{(U-L)(U-T)}{(U+L-2T)x+UT+LT-2LU} \quad (2)$$

由 $F(x)$ 性质可知,标准化函数 $F(x)$ 把位于区间 $[L,U]$ 的指标值映射到 $[-1,+1]$ 区间。标准化后的值改变了指标的增长速度,当指标值位于临界值以下

时,标准化后的指标增长速度逐渐降低,当指标位于临界值以上时,标准化后的指标增长速度逐渐增加,即指标由没有标准化以前的沿 x 轴的线性增长变为标准化后的快—慢—快的非线性增长,临界值为指标增长速度的转折点。

对第 i 个指标,标准化计算公式为:

$$S_i = \frac{(U_i - L_i)(X_i - T_i)}{(U_i + L_i - 2T_i)X_i + U_iT_i + L_iT_i - 2U_iL_i} \quad (3)$$

利用 n 个指标可以作出一个中心正 n 边形, n 边形的 n 个顶点为 $S_i = 1$ 时的值,中心点为 $S_i = -1$ 时的值,中心点到顶点的线段为各指标标准化值所在区间 $[-1,+1]$,而 $S_i = 0$ 时构成的多边形为指标的临界区。临界区的内部区域表示各指标的标准化值在临界值以下,其值为负;外部区域表示各指标的标准化值在临界值以上,其值为正,如图 1 所示。

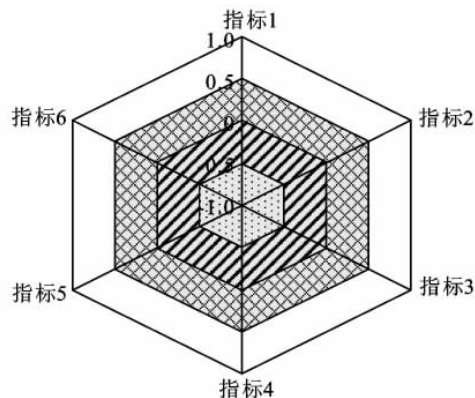


图 1 全排列多边形图示指标法示意图

全排列多边形综合指数:

$$S = \frac{\sum_{i \neq j}^{i,j} (S_i + 1)(S_j + 1)}{2n(n-1)} \quad (4)$$

式中: S ——综合指标值; S_i ——单项指标值。

2 生态安全评价应用实例

2.1 山仔水库概况

福建省山仔水库位于敖江流域的中游,具有发电、灌溉、防洪和城市供水等综合利用功能。水库流域内有古田县的卓洋、鹤塘、杉洋、大甲;闽清县下祝;闽侯县延坪、大湖;罗源县霍口、飞竹;连江县小沧;福州晋安区日溪等 11 个乡镇,现有人口 6.55 万左右,居民主要以林业、农业为主。福州第二水源取水口位于山仔大坝下约 7 km,距福州市约 21 km,水库流域集水面积为 1 646 km²,多年平均年径流量为 18.59 亿 m³,调节库容 10.64 亿 m³。

2.2 生态安全评价指标体系与标准

指标体系构建时,充分考虑水库生态环境现状、

对生态安全有潜在影响的重要因素以及能够能动反映人类活动的指标。建立指标体系时遵守以下基本原则：完备性、客观性、独立性、可测性、数据可获得性、动态性和相对稳定性^[13,18,20]。

在借鉴吴开亚^[14]等、郭树宏^[15]等所构建的生态安全评价指标体系基础上,通过查阅文献以及《福州年鉴》(2001—2004),建立山仔水库生态安全指标体系。指标体系分为 3 级,包括社会、经济、环境 3 个子系统的状态。山仔水库周围土地利用类型以林地和耕地为主,工业与建筑用地较少,近年来其区域开发程度和土壤侵蚀率都稳定在较低水平,农业废物秸秆的产生量和沼气的使用量都很少,因此将文献^[14]中的“区域开发指数”、“土壤侵蚀模数”、“秸秆综合利用

率”、“沼气普及率”、“城镇密度”和“农场发展综合指数”6 个指标省略。此外,山仔水库是福州市第二水源地,近年来有呈现富营养化的趋势,考虑到湖泊水库水质富营养化的主要影响因素及富营养时所反映出来的特征,将“水环境质量”扩展为“化学需氧量(COD_{Mn})”、“总磷(TP)”、“总氮(TN)”、“固体悬浮物(SS)”、“透明度(SD)”5 个指标。经过补充修正的山仔水库生态安全指标及数值见表 1。扩展“水环境质量”而引入的 5 个指标的上限值、临界值和下限值由孔健健^[21]等所采用的评价标准的最高值、平均值以及最低值确定;其余部分指标的上限值、临界值和下限值由文献^[14]提出的评价标准的最高值、平均值以及最低值确定。

表 1 福州市山仔水库生态安全评价指标体系各年指标值

一级指标	二级指标	三级指标	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年
水库 环境 生态 安全 状 态	经济状态 A ₁	人均 GDP B ₁ (元/人)	4072.6	4368.1	4756.8	5103.3
		人均财政收入 B ₂ (元/人)	1670.5	1785.4	1832.5	1890.2
		农民人均纯收入 B ₃ /元	3101.2	3235.8	3473.9	3621.7
		经济密度 B ₄ /(万元·km ⁻²)	302.56	324.5	365.4	378.2
		人均固定资产投资 B ₅ /元	1236.1	1293.6	1386.5	1425.7
		第三产业比例 B ₆ /%	26.35	28.28	31.25	32.12
	环境状态 A ₂	工业用水量 B ₇ (m ³ /万元)	221.3	215.4	203.8	235.6
		农业用水量 B ₈ (m ³ /万元)	2350.2	2284.6	2063.7	2432.3
		生活用水量 B ₉ [L/(人·d)]	206.8	212.2	2232.5	254.9
		化学需氧量 COD _{Mn} B ₁₀ /(mg·L ⁻¹)	3.32	2.48	2.75	3.71
		总磷 B ₁₁ /(mg·L ⁻¹)	0.043	0.035	0.026	0.050
		总氮 B ₁₂ /(mg·L ⁻¹)	0.952	0.585	0.608	1.0
		固体悬浮物 B ₁₃ /(mg·L ⁻¹)	30.8	7.8	3.4	3.0
		透明度 B ₁₄ /m	0.99	0.82	0.83	0.84
		水土流失面积比 B ₁₅ /%	8.85	6.54	5.35	9.18
		化肥施用量 B ₁₆ /(t·hm ⁻²)	0.534	0.637	0.612	0.595
		农药使用量 B ₁₇ /(kg·hm ⁻²)	12.10	10.17	8.65	9.36
		农药残留量 B ₁₈ /(kg·hm ⁻²)	0.2316	0.2432	0.2654	0.2551
		人均活立木蓄积量 B ₁₉ (m ³ /人)	2.029	2.136	2.365	2.217
		森林覆盖率 B ₂₀ /%	56.3	57.4	55.8	56.5
		人均水资源量 B ₂₁ (m ³ /人)	1016	1112	1047	982
		受保护土地比例 B ₂₂ /%	0.105	0.115	0.218	0.227
		科教投入占 GDP 比例 B ₂₃ /%	1.75	1.98	2.12	2.09
	社会状态 A ₃	文盲和半文盲人数比 B ₂₄ /%	6.52	6.23	6.17	5.02
		人口密度 B ₂₅ /(人·km ⁻²)	382.2	386.7	391.5	393.1
		人均耕地 B ₂₆ (hm ² /人)	0.052	0.057	0.063	0.051

由于计算所得的综合指数值往往不符合人们判断“好”和“差”的习惯,因此,需要将指标的标准化值和综合指数值转换为等级值,即建立评判集与标准化值的概念关联^[22]。利用吴开亚^[14]等所采用的分级标准,将山仔水库生态安全状况划分为 5 个等级:Ⅰ级为很安全(优良)、Ⅱ级为较安全(较好)、Ⅲ级为安全(一般)、Ⅳ级为较不安全(较差)、Ⅴ级为很不安全(很差),把综合指数值所在的[0,1]区间平均分为 5 个区

间,分别代表生态安全等级很差、较差、一般、较好、优良,具体数值见表 2。

表 2 生态安全评价标准

等级	指数值	生态安全等级
Ⅰ	>0.8	优良
Ⅱ	0.6~0.8	较好
Ⅲ	0.4~0.6	一般
Ⅳ	0.20~0.4	较差
Ⅴ	<0.20	很差

2.3 评价结果与分析

按照不同年份,对山仔水库生从经济状态、环境

状态和社会状态 3 个方面进行评价,最后进行综合评价。评价结果见表 3 和图 2。

表 3 山仔水库生态安全评价结果

二级指标	2000 年		2001 年		2002 年		2003 年	
	指数	等级	指数	等级	指数	等级	指数	等级
经济状态 A_1	0.252	Ⅳ	0.279	Ⅳ	0.367	Ⅳ	0.340	Ⅳ
环境状态 A_2	0.330	Ⅳ	0.395	Ⅳ	0.429	Ⅲ	0.373	Ⅳ
社会状态 A_3	0.175	Ⅴ	0.204	Ⅳ	0.335	Ⅳ	0.287	Ⅳ
水库环境生态安全综合指数	0.127	Ⅴ	0.166	Ⅴ	0.281	Ⅳ	0.222	Ⅳ

(1)经济状态。山仔水库周边乡镇的经济状态指数总体呈上升趋势,说明经济发展状况呈现好转迹象,但其经济状态总体处于较差水平。因此针对山仔水库周边乡镇经济发展水平较低的现实,一方面要制定合理的经济发展规划,另一方面要加强对农村生态环境的监控与治理。可考虑通过推广先进、绿色农业科技的形式,以先进、绿色、健康的农业科技来刺激农民,引导农民科学合理地发展农村经济。即要大力发展生态农业、绿色农业,引导农民形成“绿色”的生活和生产方式,使经济发展和环境保护相互协调。

(2)环境状态。山仔水库环境状态指数 2002 年最高、2001 年次之。可能与政府在 2001—2002 年间对水库上游的石板材加工业、畜禽养殖业、渔业、旅游业、种植业等污染源给予陆续关停取缔有关;而 2003 年的环境状态指数略有下降,可能与部分已取缔的污

染源“死灰复燃”和水库底泥的污染源释放有关^[15]。为提升山仔水库生态环境状况,建议采取以下措施:加强植树造林,严禁滥砍滥伐,减少水土流失面积;控制农药使用量,提倡施用生态农药,严防农药滥用;继续取缔水库上游有关的重污染行业;调整农业结构,大力发展生态农业、绿色农业;建立污水处理系统,生活污水处理后循环再利用。

(3)社会状态。山仔水库周边乡镇的社会发展状态指数值较低,处于Ⅳ—Ⅴ级水平。主要原因是科教投入占 GDP 的比例比较低,当地居民文盲和半文盲人数比较高,居民的文化水平处于较低的层次,普遍缺乏环境保护的意识。因此,要重视和发展教育,努力构建合理多样化的教育方式,提升当地居民的文化水平;加强农村地区环保宣传教育的力度,进一步提高农民对环境保护工作重要性的认识。

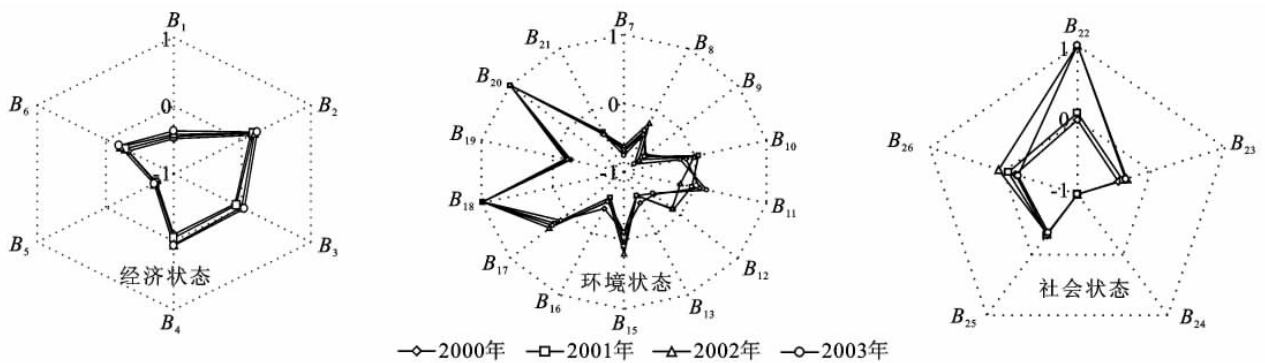


图 2 山仔水库经济状态、环境状态、社会状态综合评价

(4)生态安全综合指数。山仔水库生态安全综合指数值总体呈上升趋势,但仍处于较差水平,距离安全水平仍有较大的差距。2000—2003 年期间,山仔水库生态安全状况从优到劣的排序为:2002 年>2003 年>2001 年>2000 年。由表 3 可以看出,经济状态、环境状态、社会状态的指标数值均是 2002 年最优,2000 年最差。因此,依靠科技进步,发展循环经济,倡导生态文明;引导农民发展节约型、环境友好型生态农业,控制农药、化肥、农膜等对农田和水源的污染,改善农村环境质量。提升山水库的生态环境安全,当地政府还需要长时间持续不断的努力和积累。

(5)评价方法有效性验证。为了验证全排列多边形图示指标法的有效性,同时利用多目标决策综合评价模型对山仔水库进行生态安全评价。两种评价方法的评价结果优劣排序见表 4。

表 4 不同评价方法评价结果比较

年份	全排列多边形图	多目标决策综合
	示指标法	评价模型
2000	4	4
2001	3	3
2002	1	1
2003	2	2

由表 4 可以看出,基于全排列多边形图示指标法

的山仔水库生态安全评价结果与多目标决策综合评价模型的评价结果一致。全排列图示指标法和多目标决策综合评价模型都属于多指标综合评价方法,其操作过程相似,最终的评价结果也完全吻合,说明全排列多边形图示指标法可以用来生态安全综合评价,评价结果能够较为客观地反映该区域生态环境的安全状况。

3 结论

生态安全评价是一个多因素、多指标的复杂系统,科学构建评价指标体系,准确客观反映区域生态安全等级,是推进生态环境规划和建设的关键。按照指标体系的构建原则,在综合国内外相关研究的基础上,结合生态安全的实际,提出一套科学、合理的生态安全评价排指标体系。引入全排列图示指标法对福建省山仔水库 2000—2003 年的生态安全进行综合评价,拓展了全排列图示指标法的应用领域。该方法既有单项指标又有综合指标,既有几何直观图示,又有代数解析数值,既有静态指标,又有动态趋势;每个指标都有上限、下限和临界值;与传统简单加权法相比,不用专家主观评判权系数的大小,只要确定与决策相关的上限、下限和临界值即可,减少了主观随意性;综合方法改传统加法为多维乘法,当分项指标值落在临界值以下时,对综合指标产生紧缩效应(边长 <1);当分项指标值落在临界值以上时,对综合指标产生放大效应(边长 >1)。评价结果不但可以得出区域生态安全的优劣及其在时间上的差异,还能明确系统中薄弱的环节,便于将评价结果与指标之间进行时空相关性分析,在生态系统综合评价问题中具有一定的应用价值。

参考文献:

- [1] 肖笃宁,陈文波,郭福良. 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.
- [2] 肖荣波,欧阳志云,韩艺师,等. 海南岛生态安全评价[J]. 自然资源学报,2004,19(6):769-775.
- [3] 王根绪,程国栋,钱鞠. 生态安全评价研究中的若干问题[J]. 应用生态学报,2003,14(9):1551-1556.
- [4] 贾良清,欧阳志云,赵同谦,等. 城市生态安全评价研究[J]. 生态环境,2004,13(4):592-596.
- [5] 刘红,王慧,张兴卫. 生态安全评价研究述评[J]. 生态学杂志,2006,25(1):74-78.
- [6] 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.
- [7] 张浩,马蔚纯,HO Hon Hing. 基于 LUCC 的城市生态安全研究进展[J]. 生态学报,2007,27(5):2109-2117.
- [8] 左伟,王桥,王文杰,等. 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):67-71.
- [9] 左伟,周慧珍,王桥. 区域生态安全评价指标体系选取的概念框架研究[J]. 土壤,2002,35(1):2-7.
- [10] 杨时民,李玉文,吕玉哲. 扎龙湿地生态安全评价指标体系研究[J]. 林业科学,2006,42(5):127-132.
- [11] 王振祥,朱晓东,石磊,等. 安徽省沿淮地区生态安全评价模型和指标体系[J]. 应用生态学报,2006,17(12):2431-2435.
- [12] 肖薇薇,谢永生,王继军. 黄土丘陵区农业生态安全评价指标体系的建立[J]. 水土保持通报,2007,27(2):146-149.
- [13] 吴琼,王如松,李宏卿,等. 生态城市指标体系与评价方法[J]. 生态学报,2005,25(8):2090-2095.
- [14] 吴开亚,张礼兵,金菊良,等. 基于属性识别模型的巢湖流域生态安全评价[J]. 生态学杂志,2007,26(5):759-764.
- [15] 郭树宏,王菲凤,张江山,等. 基于 PSR 模型的福建山仔水库生态安全评价[J]. 湖泊科学,2008,20(6):814-818.
- [16] 谭克龙,任志远,王全九. 黄河中上游流域生态综合评价研究[J]. 水土保持学报,2007,21(4):173-176.
- [17] 左太安,苏维词,马景娜,等. 三峡重庆库区针对水土流失的土地资源生态安全评价[J]. 水土保持学报,2010,24(2):74-78.
- [18] 李锋,刘旭升,胡聃,等. 生态市评价指标体系与方法:以江苏大丰市为例[J]. 应用生态学报,2007,18(9):2006-2012.
- [19] 李锋,刘旭升,胡聃,等. 城市可持续发展评价方法及其应用[J]. 生态学报,2007,27(11):4793-4802.
- [20] 王如松,徐洪喜. 扬州生态市建设规划方法研究[M]. 北京:中国科学技术出版社,2005.
- [21] 孔健健,张江山. 属性识别理论模型在湖泊水质富营养化评价中的应用[J]. 环境工程,2004,22(5):66-68.
- [22] 游文荪,丁惠君,许新发. 鄱阳湖水生态安全现状评价与趋势研究[J]. 长江流域资源与环境,2009,18(12):1173-1180.