

# 基于PSR模型的艾比湖流域生态安全评价研究

王雪梅<sup>1,2</sup>, 柴仲平<sup>3</sup>, 热依拉·阿里木江<sup>1</sup>

(1.新疆师范大学地理科学与旅游学院, 新疆 乌鲁木齐 830054; 2.新疆维吾尔自治区重点实验室“新疆干旱区湖泊环境与资源实验室”, 新疆 乌鲁木齐 830054; 3.新疆农业大学草业与环境科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

**摘要:** 基于压力-状态-响应(PSR)概念模型, 结合层次分析法并采用综合评价模型对艾比湖流域生态安全进行综合评价。研究表明:(1)在13项评价指标中, 影响流域生态安全的主导因素为森林覆盖率、草地面积和水土流失治理面积, 其所占权重均在0.1以上;(2)自2000—2010年以来, 艾比湖流域生态安全指数由0.2309增加至0.7556, 流域生态环境呈现良性发展趋势, 生态安全状况有所好转。当地政府通过提高森林覆盖率、增加草地面积以及治理水土流失等措施, 不断改善了该流域的自然生态环境。

**关键词:** PSR模型; 生态安全评价; 艾比湖流域

中图分类号: X820.4

文献标志码: A

文章编号: 1005-4944(2013)05-0086-05

## Ecological Security Evaluation of the Ebinur Lake Basin Based on the PSR Model

WANG Xue-mei<sup>1,2</sup>, CHAI Zhong-ping<sup>3</sup>, Reyila·Almujiang<sup>1</sup>

(1.College of Geography Science and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China; 2.Xinjiang Uygur Autonomous Region Key Laboratory "Xinjiang Laboratory of Lake Environment and Resources in Arid Zone", Urumqi 830054, China; 3.College of Pratacultural and Environmental Science, Xinjiang Agriculture University, Urumqi 830052, China)

**Abstract:** Based on the model of pressure-state-response (PSR), combining the method of analytic hierarchy process with the comprehensive evaluation model, we comprehensively evaluated the ecological safety of the Ebinur Lake basin. Research results showed that: (1) Of the 13 evaluation indexes, the forest coverage, grassland area and the area of water and soil conservation were all the dominant factors in ecological safety influence factors, their weights were above 0.1; (2) From year 2000 to 2010, the ecological safety index increased from 0.2309 to 0.7556 in the Ebinur Lake basin. The basin ecological environment presented benign development trend, ecological security situation improved. By increasing the forest cover rate, grassland area and controlling soil erosion, ecological environment of the river basin were improved.

**Keywords:** the model of PSR; ecological security evaluation; the Ebinur Lake basin

生态安全问题作为决定人类生存与发展的根本性问题, 已经成为生态学、地理学、环境科学、安全科学等相关学科的研究热点<sup>[1-3]</sup>。目前, 对于生态安全的研究, 国外主要集中在基因工程生物的生态风险与生态安全、化学物质的施用对农业生态系统健康及生态安全的影响等2个方面的微观研究; 国内则主要集中

在生态环境治理与恢复、生态安全评估指标体系和评价方法的研究方面。近年来, 以生态安全评价研究最为活跃, 评价生态安全的手段也趋于多元化, 包括生态足迹法, “压力-状态-响应”(PSR)模型、属性识别模型、层次分析法、景观分析等评价方法<sup>[4-7]</sup>。PSR模型从社会经济与环境有机统一的观点出发, 表明了人与自然这个生态系统中各种因素间的因果关系, 能更精确地反映生态系统安全的自然、经济和社会因素之间的关系, 为生态安全指标构造提供了一种逻辑基础<sup>[8-11]</sup>。

艾比湖流域作为我国西北内陆干旱区生态系统退化最为严重的区域之一, 其生态系统安全状况的好坏, 对该流域社会经济的发展起到了至关重要的作

收稿日期: 2013-04-01

基金项目: 国家自然科学基金(41261051); 新疆维吾尔自治区重点实验室“新疆干旱区湖泊环境与资源实验室”基金(XJDX0909-2010-08); 新疆师范大学博士科研启动基金(xjnubs1005)

作者简介: 王雪梅(1976—), 女, 江苏铜山人, 博士, 副教授, 研究方向为干旱区资源环境遥感应用研究。

E-mail:wangxm2006@yahoo.com.cn

用。鉴于此,本文采用 PSR 概念模型,从广义生态安全概念出发,构建了 3 个层次、13 个指标的艾比湖流域生态安全评价指标体系,运用层次分析法(AHP)对各指标进行赋权,并采用综合评价模型对艾比湖流域 10 年来的生态安全状态进行定量评价。通过分析艾比湖流域生态安全的变化趋势和指标权值,找出影响流域生态系统安全的主导因素,为流域生态环境的综合治理、合理规划以及生态系统的稳定和社会经济的发展提供科学依据。

## 1 研究区概况

艾比湖流域位于新疆维吾尔自治区的西北部,准噶尔盆地西南方向, 界于北纬 43°38'~45°52'、东经 79°53'~85°02'之间。流域包括博尔塔拉蒙古自治州(赛里木湖集水区除外)、乌苏市、奎屯市、克拉玛依市的独山子区和托里县南部。流域总面积 50 621 km<sup>2</sup>,其中山地 24 317 km<sup>2</sup>,平原 25 762 km<sup>2</sup>,流域西、南、北三面环山,中间为谷地平原,东部为尾闾艾比湖,宏观上与准噶尔盆地连为一体,是准噶尔盆地西南缘的最低汇水中心,也是新疆最大的咸水湖。艾比湖现有湖泊面积约 542 km<sup>2</sup>,具有调节气候、防风减沙、维持生物多样性等重要生态功能。

20 世纪 50 年代至 20 世纪 90 年代末,在人为因素和自然因素的双重作用下,艾比湖水面面积急剧缩小,水资源量减少,水质恶化,湖区荒漠生态系统受到了严重破坏,艾比湖流域的生态环境发生急剧恶化。2000 年以来,在国家政策方针的指引下,当地政府部门对流域生态环境进行了合理的保护与治理,使得流域生态环境状况得到了逐步改善<sup>[12]</sup>。

## 2 数据来源和研究方法

### 2.1 数据收集及标准化处理

通过实地考察,并对 2000—2010 年艾比湖流域人口、气象、社会经济、土地利用状况、水文等统计数据进行了收集。在生态安全评价中,未经处理的评价指标值无法直接进行评价,因此,首先要对参评指标进行标准化处理。本文采用最小-最大规范化对原始数据进行线性变换<sup>[13]</sup>:

效益型指标(数值越大越好的指标)标准化方法:

$$X' = \begin{cases} 1 & X_{ij} \geq X_{\max} \\ (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) & X_{\max} > X_{ij} > X_{\min} \\ 0 & X_{ij} \leq X_{\min} \end{cases} \quad (1)$$

成本型指标(数值越小越好的指标)标准化方法:

$$X' = \begin{cases} 0 & X_{ij} \geq X_{\max} \\ 1 - (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) & X_{\max} > X_{ij} > X_{\min} \\ 1 & X_{ij} \leq X_{\min} \end{cases} \quad (2)$$

式中: $X_{ij}$  为指标的原始值; $X_{\max}$  为该项指标参考值的最大值; $X_{\min}$  为该项指标参考值的最小值; $X'$  为指标的标准化值。

### 2.2 PSR 模型

PSR 模型是联合国经济合作开发署建立的压力-状态-响应(Pressure-State-Responses)框架模型。压力指标反映人类活动给环境造成的负担;状态指标反映环境质量、自然资源与生态系统的状态;响应指标反映人类面临环境问题所采取的对策与措施。PSR 模型从人类与环境系统的相互作用与影响出发,对环境指标进行组织分类,具有较强的系统性。

### 2.3 综合评价模型

基于 PSR 概念模型在压力、状态、响应 3 个子系统相互协调下,构建目标层、准则层和指标层。通过 AHP 分析法获得各指标和各子系统的权重,采用单项评价模型(公式 3)和综合评价模型(公式 4)对艾比湖流域生态安全进行定量评价:

$$Y_i = \sum_{j=1}^m R_{ij} \times W_{ij} \quad (3)$$

$$Y = \sum_{i=1}^n Y_i \times W_i \quad (4)$$

式中: $Y$  为综合安全指数; $Y_i$  为第  $i$  个子系统的安全指数; $R_{ij}$  为第  $i$  个子系统,第  $j$  个评价指标的标准化值; $W_{ij}$  为第  $i$  个子系统,第  $j$  个评价指标的权重; $W_i$  为各子系统的权重, $n$  为准则层, $m$  为指标层。

参照国内外相关研究和成果,同时进一步咨询有关方面的专家,制定了生态安全的分级标准如表 1 所示。

## 3 结果与分析

### 3.1 构建评价指标体系

基于 PSR 模型和 AHP 分析方法,本文设定目标

表 1 生态安全分级标准

综合安全指数(Y)	安全级别	评价结果说明
0-0.2	非常不安全	生态环境恶劣
0.2-0.4	不安全	生态环境较差
0.4-0.6	临界安全	生态环境一般
0.6-0.8	安全	生态环境较好
0.8-1.0	理想安全	生态环境优越

层为“生态安全指数”,综合表征研究区生态安全的总体态势。准则层为“社会经济压力”、“自然环境状态”、“人文响应”。准则层下设各指标层,分别为:“社会经济压力”指标表征人类经济社会活动对人文与环境的压力、负荷,主要包括经济发展压力、粮食压力、人口压力、土地承载人口的压力、环境压力等。“自然环境状态”指标指自然环境当前的状态或趋势,表征环境质量、自然资源与生态系统的状况,主要包括:地形、地貌、土壤、气候、降雨、日照、气温等状况。“人文响应”指标表征人类面临环境问题所采取的对策与措施,是环境政策措施中的可量化部分,它在社会处理环境问题过程中不断发展,包括人口措施、耕地保护、产业结构调整、科学研究投入和沙地、盐

碱地治理等措施。该评价指标体系构建的关键在于指标层具体指标的选取上,最终确定的具体指标如表 2 所示。

### 3.2 评价指标权重的确定

通过运用 AHP 分析方法,经过相关计算得到各判断矩阵  $CR$  均小于 0.1,符合 AHP 评价要求,最终得到评价指标层次总排序的结果(表 3)。分析显示:在 13 项评价指标中,森林覆盖率、草地面积和水土流失治理面积这 3 项评价指标所占权重均在 0.1 以上,对研究区生态安全影响最大;其次为年降水量、人均国内生产总值、林业系统营林固定资产投资、年均气温和第三产业占 GDP 比重,而人口密度、人口自然增长率、人均耕地面积、人均粮食总产量和日照时数所

表 2 艾比湖流域生态安全评价指标体系

目标层	准则层	指标层	各指标意义	指标特征
生态安全评价	社会经济压力	人均国内生产总值/元	经济发展压力	值越大表示越好
		人均粮食总产量/kg	粮食压力	值越大表示越好
		人口密度/人·km <sup>-2</sup>	土地承载人口的压力	值越小表示越好
	自然环境状态	森林覆盖率/%	地貌	值越大表示越好
		草地面积/hm <sup>2</sup>	土壤	值越大表示越好
		年均气温/°C	气温	值越大表示越好
		年降水量/mm	降水	值越大表示越好
		日照时数/h	日照	值越大表示越好
	人文响应	人口自然增长率/%	人口措施	值越小表示越好
		人均耕地面积/hm <sup>2</sup> ·人 <sup>-1</sup>	耕地保护	值越大表示越好
		第三产业占 GDP 比重/%	产业结构调整	值越大表示越好
		林业系统营林固定资产投资/万元	环境投入	值越大表示越好
		水土流失治理面积/hm <sup>2</sup>	环境投入	值越大表示越好

表 3 层次总排序权重表

总排序指标	经济社会压力(0.10)	自然环境压力(0.64)	人文响应(0.26)	指标权重
人均国内生产总值	0.649			0.064
人均粮食总产量	0.230			0.024
人口密度	0.122			0.012
森林覆盖率		0.491		0.314
草地面积		0.232		0.148
年均气温		0.092		0.059
年降水量		0.138		0.088
日照时数		0.046		0.029
人口自然增长率			0.061	0.016
人均耕地面积			0.062	0.016
第三产业占 GDP 比重			0.152	0.040
林业系统营林固定资产投资			0.231	0.060
水土流失治理面积			0.492	0.128

占权重相对较小。

### 3.3 生态安全评价与分析

根据各评价指标的权重,经计算得出准则层的生态安全评价价值,在此基础上再得出目标层的生态安全指数,综合表征了艾比湖流域生态安全的总体变化态势。最终生态安全评价结果如表 4 所示。2000 年的生态安全指数最低,为 0.230 9,说明在这个时期,艾比湖流域的生态环境较差;2010 年的生态安全指数最高,为 0.755 6,说明此时艾比湖流域生态环境状况较好,而 2005 年的生态安全指数居中,为 0.457 0,说明该流域生态环境状况一般。上述分析表明,自 2000—2010 年以来,艾比湖流域的生态环境总体变化呈现为良性发展趋势,生态安全状况有所好转。通过进一步分析社会经济压力值、自然环境状态值和人文响应值,发现自然环境状态值在生态安全指数中占据了很大的比重,从而反映出该流域生态安全的好转得益于自然生态环境的改善。在这 10 年间,由于艾比湖流域经济的快速发展,地方政府通过提高森林覆盖率、增加林业系统营林固定资产投资费用等各项措施对生态环境进行改善,其效果较为显著<sup>[12]</sup>。同时,由于该时期降水量的增加以及入湖水量和水利工程的建设,使得艾比湖面积有所增大<sup>[12]</sup>。

### 3.4 生态安全保护措施

依据艾比湖生态环境保护与生态安全评价结

果,对艾比湖流域生态安全保护提出以下对策与建议<sup>[14]</sup>:

#### 3.4.1 合理规划调水工程,保证艾比湖湖体水面面积

艾比湖生态环境恶化的核心是缺水、干旱。根据现有的入湖水量,基本做到了水量供需平衡。但要彻底解决艾比湖沙漠化及生态环境问题,其根本出路就是跨流域调水。

#### 3.4.2 制止乱采乱伐,有效控制牲畜数量

荒漠植被是艾比湖流域的主要生态景观,占平原区面积的 70%,其退化直接影响区域生态质量以及绿洲的稳定。过去盲目扩大耕地面积和乱采乱伐是艾比湖流域生态环境恶化不可忽视的影响因素。建议要对过去已确定的开荒项目进行重新审核,凡对森林、草场、湿地等有破坏作用的开垦活动应坚决制止,尤其是要制止对现有林木的破坏,特别是在荒漠中生长的灌木和草类,要严禁乱采乱挖,加大执法力度。

#### 3.4.3 建设阿拉山口-艾比湖周边防风、固沙林草体系工程

治理风沙天气,首先要改变下垫面状况。改变下垫面状况的最基本的方法是植树造林,尤其是农田防护林,其次是退耕还林还草,建立科学的防风、固沙林草体系工程。实施阿拉山口防风绿色屏障,在风沙前沿,选择抗风、耐旱植物,乔、灌、草结合,营造绿色防风固沙体系。

表 4 艾比湖流域生态安全评价结果

生态安全评价	指标	2000 年	2005 年	2010 年
社会经济压力值	人均国内生产总值	0.000 2	0.019 7	0.064 0
	人均粮食总产量	0.000 1	0.002 0	0.023 8
	人口密度	0.000 1	0.007 0	0.012 2
	小计	0.000 4	0.028 7	0.100 0
自然环境状态值	森林覆盖率	0.000 2	0.157 3	0.314 2
	草地面积	0.148 5	0.000 1	0.000 4
	年均气温	0.058 9	0.000 1	0.044 2
	年降水量	0.000 2	0.088 3	0.052 8
	日照时数	0.004 8	0.029 4	0.000 1
	小计	0.212 6	0.275 2	0.411 8
人文响应值	人口自然增长率	0.015 9	0.001 1	0.000 1
	人均耕地面积	0.001 7	0.000 5	0.016 1
	第三产业占 GDP 比重	0.000 2	0.028 7	0.039 5
	林业系统营林固定资产投资	0.000 2	0.057 4	0.060 1
	水土流失治理面积	0.000 1	0.065 5	0.127 9
	小计	0.018 0	0.153 2	0.243 8
生态安全指数		0.230 9	0.457 0	0.755 6

## 4 结论

艾比湖流域湿地属典型的生态环境脆弱地区,生态安全的测度尤为重要。本文基于PSR模型,从压力度、状态度和响应度3个方面对艾比湖流域生态环境状况进行了系统的研究,并对该流域生态系统安全进行评价,研究结果表明:

(1)从评价因子权重的构成上来看,研究区自然环境状态因子对其生态安全影响较大,评价指标所占的权重较高。其中,森林覆盖率和草地面积所占权重均在0.1以上。此外,在人文响应因子中,水土流失治理面积对生态安全的影响也较大,所占权重为0.128。在13项评价指标中,人口密度、人口自然增长率、人均耕地面积、人均粮食总产量和日照时数所占权重相对较小。

(2)研究区在2000、2005年和2010年的生态安全指数分别为0.2309、0.4570和0.7556,表明自2000—2010年以来,艾比湖流域的生态环境总体变化呈现为良性发展趋势,生态安全状况有所好转。

(3)分析表明,自然环境状态值在生态安全指数中占据了较大的比重,这说明当地政府通过提高森林覆盖率、增加草地面积以及治理水土流失等措施,不断改善该流域的自然生态环境。

由于区域生态系统的复杂性,决定了对区域生态安全的评价是一项艰巨而复杂的任务<sup>[15]</sup>。本文仅对艾比湖流域近10年的生态系统安全状况进行评价,旨在反映该流域生态环境的变化趋势,期望对该流域今后社会经济的稳定发展以及生态环境的逐步改善起

到引导作用。

### 参考文献:

- [1] 肖笃宁.干旱区生态安全研究的意义与方法[C]//生态安全与生态建设——中国科协2002年学术年会论文集,2002.
- [2] 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.
- [3] 付在毅,许学工,林辉平,等.辽河三角洲湿地生态风险评价[J].生态学报,2001,21(3):365-373.
- [4] 方创琳.西北干旱区生态安全系统结构与功能的监控思路初论[J].中国沙漠,2000,20(3):326-328.
- [5] 杨正礼,杨改河,张大鹏.中国西部生态安全与农业可持续发展中几个科学问题的讨论[J].干旱地区农业研究,2001,19(2):89-93.
- [6] 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.
- [7] 陈星.区域生态安全空间格局评价模型的研究[J].北京林业大学学报,2008,30(1):21-28.
- [8] 孙志高,刘景双.三江自然保护区湿地生态系统生态评价[J].农业系统科学与综合研究,2008,24(1):43-48.
- [9] 陈彩虹,齐旭明.基于PSR模型的长沙市生态安全评价[J].中南林业科技大学学报,2010,30(1):105-109.
- [10] 魏兴萍.基于PSR模型的三峡库区重庆段生态安全动态评价[J].地理科学进展,2010,29(9):1095-1099.
- [11] 刘维忠,陈彤,柴军.新疆塔城盆地生态安全格局与可持续发展对策研究[J].新疆农业大学学报,2002,25(2):83-86.
- [12] 陈丽华,毕琰玲.浅议艾比湖流域生态环境演变与经济发展[J].新疆师范大学学报:自然科学版,2006,25(1):77-79.
- [13] 万本太,吴军,徐海根.国家生态安全综合评价研究[J].环境科学研究,2008,21(4):57-62.
- [14] 张艳.基于CVM的艾比湖流域农地生态价值评价[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2011:53-57.
- [15] 张艳芳,任志远.区域生态安全定量评价与阈值确定的方法探讨[J].干旱区资源与环境,2006,20(2):11-16.