

# 基于PSR框架模型的南四湖健康评价

史可庆

(河海大学公共管理学院, 江苏南京 210098)

**摘要:**根据“压力-状态-响应”(PSR)框架模型,对南四湖健康状态进行评价。选取南四湖流域人口密度、工农业供水需求、富营养化程度、南四湖生物多样性指数、环保投资指数等能够充分反映南四湖压力、状态和响应的指标构建评价指标体系;通过专家经验赋值法对各评价指标进行权重确定,并对指标进行标准化赋值;提出了南四湖健康评价模型并且得出南四湖的健康综合指数;根据健康综合指数,确定南四湖健康状况。研究表明,南四湖健康评价指数为0.4051,南四湖健康处于“亚健康”状态。

**关键词:**湖泊健康;(PSR)模型;南四湖;山东省

**中图分类号:**X144

**文献标识码:**B

## 0 引言

当前,由于工农业生产的快速发展和人口数量的不断增加,我国的湖泊生态系统,尤其东部沿海地区的湖泊生态系统,已经遭受到了比较严重的生态破坏与退化。伴随着未来可预计的持续快速发展,如果这种不适当的湖泊资源利用状况不能得到改善,那么将会对我国湖泊资源的可持续利用产生重大影响,甚至逐步制约我国的经济发展,在造成巨大经济损失的同时,也对人们的生活健康与社会和谐造成负面影响。

根据湖泊的实际情况和功能价值进行全面的健康评价,不仅可以为当前湖泊的利用与管理提供科学全面的决策依据,而且对湖泊的科学治理与功能开发具有重要的意义。即在促进湖泊生态健康发展的同时,进而可以保障湖泊周边地区以及整个流域的可持续发展,针对现状,对我国湖泊进行健康评价就显得尤为迫切和重要。

## 1 湖泊健康内涵与研究区概况

### 1.1 湖泊健康的内涵

一般而言,湖泊健康的概念分为2个层次:一方面是指湖泊自身生态系统的健康状况,比如湖泊的水质水量、物种数量等;另一方面是指湖泊所承担的

区经济发展功能,比如可提供的水资源、防洪与航运等。一个健康的湖泊不仅要具有良好的生态环境,而且还要能够满足当地的经济增长和社会发展需求。

### 1.2 研究区现状

南四湖位于山东省西南部,地处华北平原与黄淮平原的交界区域。由南阳湖、独山湖、昭阳湖和微山湖等4个串联湖泊组成,全湖面积1266 km<sup>2</sup>,是山东第一大湖,也是我国北方东部平原地区最大的淡水湖,不仅是山东省重要的水源地之一,也是集防洪、除涝、水产、航运、旅游等功能于一身的综合性湖泊。

近年来,随着南四湖地区经济的不断发展,也出现了诸多的问题:湖泊调蓄能力较差,水质污染严重,湖泊多处严重淤积等。这些问题的出现,说明南四湖的健康状况已经开始恶化,如不加以控制和改善,势必无法实现南四湖的可持续利用,对地区经济的发展也会产生阻碍作用。

## 2 评价方法与评价指标

### 2.1 评价方法

由于湖泊类型多样<sup>[1]</sup>,地区差异显著,在研究评价湖泊时,不同学者和专家采用的评价方法也各有不

\* 收稿日期:2010-11-06;修订日期:2010-11-22;编辑:陶卫卫

作者简介:史可庆(1982—),男,山西太原人,硕士研究生,主要研究方向为水利行政及水利经济;E-mail:paradoxbirdy@yahoo.com.cn。

同。近些年主要的评价方法有:Jorgenson 提出的初步评价法<sup>[2]</sup>,徐福刘等倡导的实测计算(DMM)和生态模型(EMM)评价方法<sup>[3]</sup>,刘永等提出的综合健康指数法等<sup>[4]</sup>。到目前为止,不论采用指标体系法还是综合指标法,都没有相对较成熟的评价方法。

“压力-状态-响应”(PSR)概念模型最初是由加拿大统计学家 David J. Rapport 和 Tony Friend 于 1979 年提出,后由 OECD(经济合作与发展组织)和 UNEP(联合国环境规划署)于 20 世纪末期共同提议发展起来的用于评价环境问题的框架体系,也是当前环境质量评价与生态系统健康评价领域中比较常用的一种模型。

PSR 模型使用“压力-状态-响应”这一思维逻辑,体现了人类与环境之间的相互作用关系。一方面,人类通过各种生产活动从自然环境中获取必需的资源;另一方面,又向环境排放各种废弃污染物,从而改变了自然资源的生态环境,而自然和环境状态的变化又反过来影响人类的社会经济发展,进而迫使社会通过制定政策与改变生产生活行为方式,最终改进人类对待自然资源与环境的方式方法,达到人与自然的和谐。

## 2.2 评价指标体系与建立

根据 PSR 理论体系,湖泊状况可以用 3 个相互联系又不同的指标类型来表达:压力、状态和响应。其中压力是指人类活动对湖泊环境所造成的影响和改变;而状况则表征湖泊系统本身的状态以及其自身与环境的关系;响应则是指人类面对湖泊状况所采取的有针对性的措施和对策。三者之间有着非常清晰的逻辑因果关系;人类活动对湖泊环境产生压力和影响,湖泊状态随之发生改变,面对湖泊状况的改变,人类又作出相应的对策,以防止湖泊环境质量的改变和功能的退化(图 1)<sup>[5]</sup>。

## 3 南四湖 PSR 模型的建立

### 3.1 构建原则

本着全面客观反映南四湖健康状况的原则,分别考虑反映湖泊一般特征的指标以及反映南四湖功能特点的指标,并且依据指标的完整性、系统性、可比性与可操作性原则来构建评价体系。

### 3.2 指标选定及模型建立

根据以上原则,从压力、状态和响应 3 个方面分

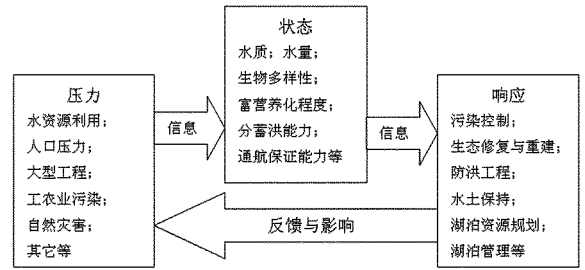


图 1 湖泊健康评价框架(PSR)

别选取能够切实反映南四湖健康状况的指标构成完整的指标体系<sup>[6]</sup>：

方案层:以评价结果显示目前南四湖的整体健康评价结果,共分为 4 个档次:健康、比较健康、亚健康 and 疾病。

目标层:以南四湖整体的健康状况作为总的评价目标。

项目层:包括生态环境系统压力( $U_1$ ),生态环境系统状态( $U_2$ ),生态环境系统响应( $U_3$ )。

指标层:由可直接度量的指标构成,指标数据名称及涵义见表 1<sup>[7]</sup>。

### 3.3 指标权重确定

根据南四湖生态系统的特点和各评价指标对南四湖系统健康的贡献大小,采用专家经验法对项目层和指标层的评价指标进行权重确定,项目层指标权重确定为:压力是( $U_1$ )0.3,状态是( $U_2$ )0.4,响应是( $U_3$ )0.3。

### 3.4 指标标准化

由于指标体系中的各项评价指标的类型多样,各指标系数之间的量纲不统一,因此各指标之间缺乏可比性。因此在利用上述指标时,不得不对评价因子进行标准化处理,使其简便、明确、易于计算。具体方法为:首先对这些指标数据值进行等级区间划分,分为 5 级。然后根据它们的影响大小及关切程度对 5 个等级分别给予标准化赋值。标准化赋值设定在(0,1)之间(表 2)。

表 1 南四湖 PSR 框架模型

方案层	目标层	项目层	指标层	指标涵义
健康	南四湖健康评价	压力 (U <sub>1</sub> )	工农业供水(m <sup>3</sup> )(U <sub>11</sub> )	表征水资源利用对南四湖生态系统健康的压力
较健康			南四湖流域人口密度(人/km <sup>2</sup> )(U <sub>12</sub> )	流域内单位面积的人口数量,表征人口压力
			农药施用强度(kg/km <sup>2</sup> )(U <sub>13</sub> )	表征面源污染对流域生态系统健康的压力
			化肥施用强度(kg/km <sup>2</sup> )(U <sub>14</sub> )	表征面源污染对流域生态系统健康的压力
亚健康	南四湖健康评价	状态 (U <sub>2</sub> )	水质(U <sub>21</sub> )	表征南四湖作为饮用水源地的状况
			富营养化程度(U <sub>22</sub> )	表征南四湖水体营养元素富集状况
			香农-维纳多样性指数(U <sub>23</sub> )	表征湖泊水生生物多样性状况
			Pielou 均匀度(U <sub>24</sub> )	表征湖泊水环境生态稳定性状况
疾病			蓄洪行洪能力(U <sub>25</sub> )	表征南四湖的水文调节功能
			堤防工程建设标准(U <sub>26</sub> )	表征南四湖的防洪强度状况
	水产养殖(g/m <sup>2</sup> )(U <sub>27</sub> )	表征南四湖的物质生产功能状况		
严重疾病	南四湖健康评价	响应 (U <sub>3</sub> )	环保投资指数(%) (U <sub>31</sub> )	通过表征生态环境治理力度来反映环境得以保护和改善的趋势,以环保投入占 GDP 比重来表示
			污水处理达标率(%) (U <sub>32</sub> )	表征人类社会对生态系统压力的对策响应

表 2 评价指标标准化赋值

评价指标	标准化赋值				
	(0.8, 1.0)	(0.6, 0.8)	(0.4, 0.6)	(0.2, 0.4)	(0, 0.2)
工农业供水(10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> )	(>30)	(25,30)	(20,25)	(10,20)	(0,10)
南四湖流域人口密度(人/km <sup>2</sup> )	(0,100)	(100,300)	(300,600)	(600,1000)	(1000,1500)
农药施用强度(kg/km <sup>2</sup> )	(0,5)	(5,10)	(10,20)	(20,35)	(35,50)
化肥施用强度(kg/km <sup>2</sup> )	(0,300)	(300,600)	(600,900)	(900,1200)	(1200,1500)
水质	I	II	III	IV	V
富营养化程度	贫营养	轻度营养	中度营养	富营养	重度富营养
香农-维纳多样性指数	(>4.5)	(3.0,4.5)	(2.0,3.0)	(1.0,2.0)	(0.0,1.0)
Pielou 均匀度	(>0.8)	(0.5,0.8)	(0.3,0.5)	(0.1,0.3)	(0.0,0.1)
蓄洪行洪能力	强	较强	中等	较弱	弱
堤防工程建设标准	百年一遇	≥50 年一遇	≥20 年一遇	≥10 年一遇	<10 年一遇
水产养殖(g/m <sup>2</sup> )	(>40)	(30,40)	(20,30)	(10,20)	(0,10)
环保投资指数(%)	(>6)	(5,6)	(3.5,5)	(2,3.5)	(0,2)
污水处理达标率(%)	(>80)	(65,80)	(50,65)	(25,50)	(0,25)

### 3.5 南四湖健康综合评价

为了使标准化赋值的各个评价指标能够从整体上反映南四湖的健康状况,需要对评价指标的量化赋值进行处理计算,得出南四湖健康综合指数<sup>[8]</sup>。设南四湖健康综合指数(E)为:

$$E = \sum_{i=1}^n W_i \cdot X_i$$

式中:E 表示南四湖健康综合指数;W<sub>i</sub> 表示各评价指标的权重;X<sub>i</sub> 表示各指标赋值结果。最终根据南四湖健康综合指数从高到低排序,将评价结果分为 5 个等级:(0.8,1.0)意味着健康状况为“健康”;(0.6,0.8)意味着健康状况为“较健康”;(0.4,0.6)意味着健康

状况为“亚健康”;(0.2,0.4)意味着健康状况为“疾病”;(0,0.2)意味着健康状况为“严重疾病”。根据南四湖各评价指标的现状值,确定各评价指标值对应的等级及相应的标准化赋值范围,再由专家意见赋值或者将现状值与赋值区间进行差值等比例转化得到标准化赋值,具体赋值结果见表 3<sup>[9]</sup>。

根据表 3 计算,压力指数 U<sub>1</sub> 为 0.1498 ÷ 0.3 = 0.499;状态指数 U<sub>2</sub> 为 0.1278 ÷ 0.4 = 0.320;响应指数 U<sub>3</sub> 为 0.1275 ÷ 0.3 = 0.425;南四湖健康综合指数 E = 0.4051。由以上数据分析可得,南四湖所承受的压力较大,整体状况也不太理想,而相关的响应效果也不是很理想。综合指数处于(0.4,0.6),也意味着南四

湖的整体状况处于“亚健康”阶段,如果不能及时采取有效措施,将很有可能恶化至“疾病”状况。

表 3 南四湖健康评价指标标准化赋值与健康指数

评价指标	指标现状值	标准化赋值 $X_i$	指标权重 $W_i$	指标健康指数
工农业供水( $10^8 m^3$ )	19.73	0.39	0.16	0.0624
南四湖流域人口密度(人/ $km^2$ )	33	0.93	0.06	0.0558
农药施用强度( $kg/km^2$ )	22.4	0.37	0.04	0.0148
化肥施用强度( $kg/km^2$ )	876	0.42	0.04	0.0168
水质	V	0.10	0.10	0.0100
富营养化程度	富营养	0.30	0.08	0.0240
香农-维纳多样性指数	1.98	0.22	0.04	0.0088
Pielou 均匀度	0.74	0.76	0.04	0.0304
蓄洪行洪能力	较弱	0.30	0.06	0.0180
堤防工程建设标准	20 年一遇	0.40	0.06	0.0240
水产养殖( $g/m^2$ )	31.5	0.63	0.02	0.0126
环保投资指数(%)	3.55	0.41	0.15	0.0615
污水处理达标率(%)	52.7	0.44	0.15	0.0660

## 4 结语

通过以上分析计算,可以得出南四湖健康状况的整体评价,即目前南四湖处于“亚健康”的状况。由表 3 的标准化赋值一栏可知,赋值低于 0.4 的项目共有 6 项,其中“水质”和“香农-维纳多样性指数”的赋值为最低,充分说明改善南四湖的水质状况已经刻不容缓。另外,“富营养化程度”和“行洪蓄洪能力”也应当得到高度重视,并作为南四湖长期管理的重要项目,以保证其持续的改善和维持。同时,加强农药施

用的管理,减少面源污染;提高工农业用水效率,开源节流,使南四湖的水量能够满足周边地区的生产发展要求。这些都需要南四湖相关管理部门在今后进行大量的工作。综合以上可以看出,通过 P-S-R 框架模型的运用,能够为科学、持续的利用南四湖湖泊资源提供全面合理的建议与有效的支持。

## 参考文献:

- [1] 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.
- [2] Jorgensen SE, Nielsen SN, Mejer H. Emergy, environ, energy and ecological modeling[J]. Ecological Modeling, 1995, (77): 99-109.
- [3] Xu FL and Tao S. On the study of ecosystem health: The state of the art[J]. J. Envir. Sci, 2000, 12(1): 33-38.
- [4] 刘永,郭怀成,戴永立,等. 湖泊生态系统健康评价方法研究[J]. 环境科学学报, 2004, 24(4): 723-729.
- [5] 颜利,王金坑,黄浩,等. 基于 PSR 框架模型的东溪流域生态系统健康评价[J]. 资源科学, 2008, 30(1): 107-113.
- [6] 崔保山,杨志峰. 湿地生态系统健康评价指标体系 I. 理论[J]. 生态学报, 2002, 22(7): 1005-1011.
- [7] 刘倩辉,裴海燕,胡文容,等. 南四湖浮游植物种群构成特征及季节变化[J]. 山东大学学报(理学版), 2010, 45(5): 12-18.
- [8] 马克明,孔红梅,关文彬,等. 生态系统健康评价: 方法与方向[J]. 生态学报, 2001, 21(12): 2106-2116.
- [9] 王元军. 南四湖水域环境现状及生态管理对策[J]. 水环境治理, 2009, (5): 48-50.

# Assessment on Health of Nansihu Lake Based on PSR Framework Model

SHI Keqing

(Business Management College of Hehai University, Jiangsu Nanjing 210098, China)

**Abstract:** Based on the Pressure - State - Response (PSR) model and properties of Nansihu Lakes, health level of Nansi Lake is evaluated in this paper. Choosing people consistency, water supply of industry and agriculture, environmental purification, fish resources, nutrient cycling factors which can reflect pressure, state and response, an evaluation system has been set up. The proportion of the indicators is confirmed by experts and experience, and the assessment criteria are based on related national standards, then complete evaluate model is put forward and the health index of Nansihu Lake is figured out. According to health index, the health state of Nansihu Lake is determined. As showed by the results, the health assessment index of Nansihu Lake is 0.4051, which belongs to a "sub-healthy" state.

**Key words:** Lake health; PSR model; Nansihu lake; Shandong province