

汤 鹏,王 浩. 基于“P-S-R”模型的紫金山国家森林公园生态安全评价[J]. 江苏农业科学,2016,44(8):477-480.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.08.137

# 基于“P-S-R”模型的紫金山国家森林公园生态安全评价

汤 鹏,王 浩

(南京林业大学风景园林学院,江苏南京 210037)

**摘要:**生态旅游事业的快速发展给森林公园的生态环境带来前所未有的破坏,城市型森林公园因其处于市区范围更加容易遭受生态威胁,如何有效地评估城市型森林公园承受的生态威胁状态是提出科学保护策略的前提,具有重要意义。在阐述生态安全理论的基础上,以南京紫金山国家森林公园为研究对象,引用国外进行生态风险评价的“P-S-R”概念模型,从压力(pressure)、状态(state)、响应(response)3个层面构建适用于城市型森林公园的生态安全评价指标体系,运用AHP分析法、综合指数法等对紫金山的生态安全进行综合计算。结果表明,紫金山国家森林公园生态安全指数为0.8608,生态安全度为较安全状态。

**关键词:**紫金山国家森林公园;“P-S-R”模型;生态安全;评价

**中图分类号:** X82;X820.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)08-0477-04

在中国新型城镇化建设过程中,人类建设活动的干扰使得环境污染不断加剧,生态系统安全遭受着极大的威胁和压力<sup>[1]</sup>。城市森林公园、城市湿地公园等绿地斑块作为维护城市生态安全的重要屏障,是城市生态网络的重要组成部分,对它们的生态安全状况进行有效评价是一项刻不容缓的工作<sup>[2]</sup>。

生态安全评价研究起源于国外对生态系统健康评价方面的研究,最早可追溯到1941年Aldo Leopold对土地健康评估的研究,这是国外生态风险评价第一次于实际案例的尝试。Bartell等将生态风险评价的方法运用到水体和流域的风险度评判,将生态风险评价的过程理解为分析其可能遭受生态威胁概率的评估过程<sup>[3]</sup>。20世纪90年代初,美国国家环保局首次提出了被学界较为认可的生态安全评价概念<sup>[4]</sup>。20世纪90年代,联合国经济合作与发展组织(OECD)按照西方G7会议的要求,启动了生态环境指标研究项目,并第一次提出和使用“P-S-R”模型对实际案例进行评价<sup>[5]</sup>。目前,国内学者对生态安全评价的研究已取得了一些成果。相关学者在西方生态风险评价方法的基础上总结了生态安全评价的标准、

评价方法和指标体系构建<sup>[6]</sup>;有学者在研究中扩展了“P-S-R”框架模型,制定了区域生态安全评价指标体系概念框架<sup>[7]</sup>,也有研究者以山岳型森林公园为对象进行了评价指标体系的探索<sup>[8]</sup>。实践运用方面,国内相关研究的对象依然比较局限,主要集中在大中尺度的对象,如山岳、河流乃至城市等<sup>[9-10]</sup>,对于具有高度生态敏感性的城市型森林公园的生态安全评价仍然为国内学者研究的空白。

笔者以江苏南京紫金山国家森林公园为研究对象,运用“P-S-R”模型和层次分析法构建适用于城市型森林公园的评价指标体系,运用综合指数法和权重计算法对南京紫金山国家森林公园的生态安全状况进行计算评价,评价结果较准确地反映了紫金山的生态安全状况,研究结果可以为紫金山国家森林公园的总体规划提供参考。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

紫金山国家森林公园成立于2004年。紫金山位于江苏省南京市玄武区中山门外,山脉从太平门附近向西绵延,方圆31 km<sup>2</sup>,有3个山峰。公园地理坐标为118°48′24″~118°53′04″E,32°01′57″~32°16′15″N,主峰北高峰居中偏北,海拔448.9 m,为宁镇山脉之最高峰。森林公园土地总面积约3 008.8 hm<sup>2</sup>,其中森林面积2 107.6 hm<sup>2</sup>,森林郁闭度为0.75~0.80。紫金山有着季相变化多段、色相丰富多彩的优美的森林植被景观,还有中山陵、明孝陵等享誉海外的人文景点,山上可远眺玄武湖和明城墙,山、水、城、林浑然一体。

收稿日期:2016-01-28

基金项目:国家科技支撑计划(编号:2015BAI01B03);江苏省林业三新工程(编号:LYSX[2014]19)。

作者简介:汤 鹏(1990—),男,江苏泰州人,博士研究生,研究方向为森林公园规划设计理论。E-mail:tang1990peng@126.com。

通信作者:王 浩,教授,博士生导师。E-mail:landscape1@126.com。

[17] 临沂市统计局. 临沂统计年鉴:2014[M]. 北京:中国统计出版社,2014:25-30.

[18] 山东省统计局. 山东统计年鉴:2014[M]. 北京:中国统计出版社,2014:591-606.

[19] 唐修义,赵继尧,黄文辉. 中国煤中的九种金属元素[J]. 中国

煤田地质,2002,14(增刊1):43-54.

[20] 吴泽民,高 健,黄成林,等. 黄山松年轮硫及重金属元素含量动态特征[J]. 应用生态学报,2005,16(5):820-824.

[21] 杨银科,王文科,邓红章,等. 树木年轮中硫、铅元素含量与环境变化[J]. 科学技术与工程,2012,12(28):7309-7313.

1.2 研究方法

1.2.1 指标体系的概念模型——“P-S-R”概念模型 本研究采用国外区域生态风险评价常用的、具备较强系统性和可操作性的“P-S-R”概念模型作为构建紫金山国家森林公园的概念模型,从压力 (pressure)、状态 (state)、响应 (response)3 个方面收集相关指标,结合 AHP 层次分析法,对指标进行阶梯分层归纳,建立适用于城市型森林公园的生态安全评价指标体系。

“P-S-R”模型认为,若人们采取适当的响应措施,这些造成不良安全状态的的压力可以得到减轻或防患于未然<sup>[11]</sup>。模型中,压力主要指源于评价对象外界环境的不良影响因子,直接或间接地对评价对象施加不良影响,如巨大的游客量、旅游污染物、周边人口压力等;状态主要指受压力的影响,评价对象本身所呈现的受威胁状态,如空气环境质量、水环境质量等;响应主要是指针对评价对象所承受的压力及反馈出的状态,从人的知识、科技、政策等角度所能作出的反应和措施,如污染治理的资金投入、环境保护所投入的人力资源、工作者的文化素质等。

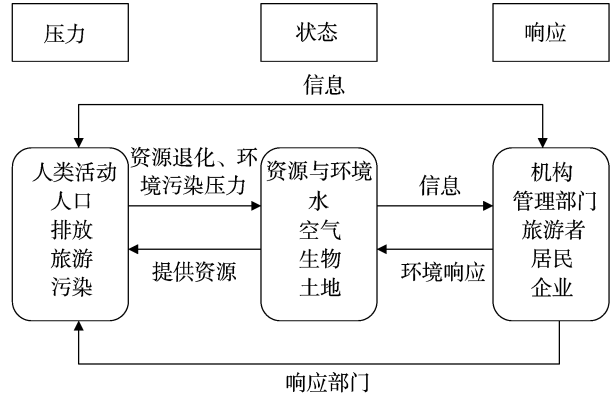


图1 “P-S-R”概念模型示意

1.2.2 指标权重的确定 本研究依据“P-S-R”模型,结合紫金山国家森林公园的实际情况,明确划分压力、状态、响应指标层,建立适合紫金山国家森林公园的生态安全评价指标体系。在指标权重方面,通过层次分析法和专家调查法对各指标的相对重要性进行判断,评价层面包括目标层、系统层、准则层、指标层等若干层次,再建立判断矩阵,通过 DPS 数据处理系统计算最终得到指标权重的最终值。

1.2.3 指标标准值来源 本研究指标标准值主要来源以下几个方面:(1)国家、地方、行业、国际通用的标准,如环境空气质量标准 (GB 3096—1996),地表水环境质量标准 (GB 3838—2002)等,行业标准指行业发布的环境安全评价规范、规定与设计要求等;(2)评价对象的生态环境背景值和本底值,如评价对象所在区域的植物覆盖率、生物多样性等;(3)类比标准,即选用那些没有受严重人为破坏的生态安全度较高的类似的生态系统指标值来作为标准值;(4)科学研究中已判定的标准,即对于那些指标阈值处于不确定状态时,可以采用经过实际研究被证实过、具有较高可信度的实测数据或计算方法,如单位面积的污染物最高承载量、公园环境容量等<sup>[12]</sup>。

1.2.4 评价指标值的处理与计算 评价体系中的指标类型多样,指标值的含义、单位都不尽相同,因而需要对各指标进行规范化处理。首先要将全部指标根据指标所反映的含义不

同,分为正向指标和逆向指标,再分别根据以下过程进行处理:

假设  $X_i (i = 1, 2, 3, \dots, n)$  为第  $i$  个指标的指标值,  $S_i$  为第  $i$  个指标的指标阈值,  $P(X_i)$  为该指标的安全指数,具体步骤为:

(1)正向指标,即越大越有利的指标,设定阈值为安全的下限:

若  $X_i \geq S_i, P(X_i) = 1$ ; 若  $X_i < S_i, P(X_i) = X_i/S_i$ 。

(2)逆向指标,即越小越好的指标,设定阈值为安全的上限:

若  $X_i \geq S_i, P(X_i) = S_i/X_i$ ; 若  $X_i < S_i, P(X_i) = 1$ 。

本研究所构建的指标体系指标本身的数值,只是对某一影响因子的安全状态的直观反映,并不能作为直接计算总体生态安全程度的一部分,因而需要对所有指标采取同样的规范处理后,指标之间的安全程度才具有可比性。经以上步骤对正向、逆向指标分别处理后,紫金山总的生态安全度  $P(O)$  可根据以下公式进行计算:

$$P(O) = \sum_{i=1}^{25} W(D_i) \times P(D_i)。$$

式中:  $D_i$  为第  $i$  项指标;  $P(D_i)$  表示指标  $D_i$  的生态安全值;  $W(D_i)$  表示指标  $D_i$  的权重;  $P(O)$  为生态安全度,表示紫金山国家森林公园的生态安全状态<sup>[13]</sup>。生态安全度的标准划分见表 1。

表 1 生态安全度的标准划分

生态安全度 $P(O)$	生态安全状态
$0.9 < P(O) \leq 1$	很安全
$0.7 < P(O) \leq 0.9$	比较安全
$0.4 < P(O) \leq 0.7$	不安全
$P(O) \leq 0.4$	很不安全

2 紫金山国家森林公园生态安全评价

2.1 紫金山国家森林公园生态安全评价指标体系

通过对紫金山国家森林公园的实地调研,在参考其他学者关于森林公园生态安全评价研究的基础上<sup>[14]</sup>,广泛征求专家意见,确定了紫金山国家森林公园的生态安全评价体系;采用层次分析法确定各指标权重,设计调查问卷征询专家意见,调查对象包括南京林业大学及江苏林业科学院相关研究领域专家、博士生以及紫金山国家森林公园领导及管理人员等 45 人;确定各项指标值及相应的指标阈值,构建紫金山国家森林公园的生态安全评价指标体系(表 2)。

2.2 紫金山国家森林公园生态安全评价结果

通过计算得出紫金山国家森林公园的生态安全综合指数为 0.860 8,结合生态安全度评价标准可以得出紫金山国家森林公园生态安全处于比较安全状态。生态环境压力的生态安全值为 0.852 4,处于较安全状态;生态环境状态的安全指数为 0.771 8,处于较安全状态;生态环境响应的生态安全指数为 0.975 0,处于很安全状态。各指标层指数、权重见表 3。

2.3 紫金山国家森林公园生态安全评价结果分析

通过对紫金山国家森林公园生态安全状况的综合评价,结合生态安全评判划分,结果表明,紫金山国家森林公园的生态安全度为 0.860 8,处于一种较安全状态。虽然总体处于

表 2 紫金山国家森林公园生态安全评价指标体系

目标层	系统层	准则层	指标层	指标值	指标阈值	阈值来源
A:紫金山国家森林公园生态安全综合指数	B <sub>1</sub> :生态环境压力	C <sub>1</sub> :人口压力	D <sub>1</sub> :人口密度(人/km <sup>2</sup> )	1 239	143	2014 年全国统计数据
			D <sub>2</sub> :当地人口自然增长率(‰)	2.70	4.92	2013 年年底全国统计数据
			D <sub>3</sub> :客流量增长率(%)	9.1	10.9	2014 年江苏统计数据
			D <sub>4</sub> :森林公园从业人员增长率(%)	1.6	8.2	2013—2014 年第三产业增长率
		C <sub>2</sub> :土地压力	D <sub>5</sub> :旅游用地需求增长率(%)	0.00	2.33	全国统计数据
		C <sub>3</sub> :水资源压力	D <sub>6</sub> :水资源供需平衡能力	6.2	1.0	作者自定
			D <sub>7</sub> :水体污染压力	0.91	1.00	作者自定
		C <sub>4</sub> :旅游污染压力	D <sub>8</sub> :旅游污染物负荷强度(t/km <sup>2</sup> )	0.02	165	全省平均
		C <sub>5</sub> :旅游资源压力	D <sub>9</sub> :旅游资源利用强度(%)	36	80	专家建议
			D <sub>10</sub> :旅游用地建筑密度(%)	0.3	2.0	专家建议
	B <sub>2</sub> :生态环境状况	C <sub>6</sub> :自然灾害压力	D <sub>11</sub> :台风影响	2.4	4.0	专家建议
			D <sub>12</sub> :降水影响(mm/d)	900.0	653.4	2013 年全国统计数据
		C <sub>7</sub> :环境状况	D <sub>13</sub> 空气质量	一级	一级	GB 3096—1996
			D <sub>14</sub> :水环境质量	三级	一级	GB 3838—2002
			D <sub>15</sub> :环境噪声	53.8	55.0	GB 3096—2008
			D <sub>16</sub> :土壤硬度	1.87	1.13	专家建议
			D <sub>17</sub> :森林覆盖率(%)	80	70	森林法实施细则
		C <sub>8</sub> :生态状况	D <sub>18</sub> :森林物种多样性	1	1	同类公园比较
			D <sub>19</sub> :森林火险指数	4.3	1.0	QX/T77—2007
			D <sub>20</sub> :森林病虫害危害程度	轻度	轻度	专家经验
	B <sub>3</sub> :生态环境响应	C <sub>9</sub> :保护能力响应	D <sub>21</sub> :生态建设投入比重(%)	8.6	3.0	全省平均数据
			D <sub>22</sub> :管理有效性	4.5	5.0	作者自定
		C <sub>10</sub> :智力支持响应	D <sub>23</sub> :当地居民素质	85.4	60.2	全国统计数据
			D <sub>24</sub> :旅游者素质	74.5	58.6	同类旅游区数据
			D <sub>25</sub> :森林公园从业者素质	58.00	46.25	同类旅游区数据

表 3 紫金山国家森林公园生态安全状况评价结果

目标层 A	系统层 B	B 层指标权重	要素层 C	C 层安全指数	C 层指标权重	指标层 D	D 层安全指数	D 层指标权重			
紫金山国家森林公园生态安全综合指数 0.860 8	生态环境压力 B <sub>1</sub> :0.852 4	0.6	C <sub>1</sub>	0.689 0	0.353 5	D <sub>1</sub>	0.115 4	0.248 5			
						D <sub>2</sub>	1	0.143 4			
						D <sub>3</sub>	0.834 9	0.552 1			
						D <sub>4</sub>	1	0.056 0			
						D <sub>5</sub>	1	1			
			C <sub>3</sub>	0.932 5	0.129 0	D <sub>6</sub>	1	0.250 0			
						D <sub>7</sub>	0.910 0	0.750 0			
						D <sub>8</sub>	1	1			
						D <sub>9</sub>	0.450 0	0.666 6			
						D <sub>10</sub>	1	0.333 4			
	生态环境状况 B <sub>2</sub> :0.771 8	0.2	C <sub>6</sub>	0.908 6	0.054 1	D <sub>11</sub>	1	0.666 6			
						D <sub>12</sub>	0.726 0	0.333 4			
						D <sub>13</sub>	1	0.513 6			
						D <sub>14</sub>	0.333 3	0.216 1			
						D <sub>15</sub>	1	0.196 9			
			C <sub>8</sub>	0.744 2	0.666 7	D <sub>16</sub>	0.604 3	0.073 4			
						D <sub>17</sub>	1	0.166 7			
						D <sub>18</sub>	1	0.333 3			
						D <sub>19</sub>	0.232 6	0.333 3			
						D <sub>20</sub>	1	0.166 7			
	生态环境响应 B <sub>3</sub> :0.975 0	0.2	C <sub>9</sub>	0.950 0	0.500 0	D <sub>21</sub>	1	0.500 0			
						D <sub>22</sub>	0.900 0	0.500 0			
						C <sub>10</sub>	1.0	0.5	D <sub>23</sub>	1	0.106 1
									D <sub>24</sub>	1	0.633 4
									D <sub>25</sub>	1	0.260 5

安全状态,但离很安全状态还有一定距离。对评价结果开展了进一步分析。

2.3.1 生态环境压力分析 压力(pressure)系统由6个C层指标和12个D层指标组成,其中,人口密度指标的安全指数为0.115 4,客流量增长率的安全指数0.834 9,水体污染压力的安全指数为0.910 0,表明紫金山的生态压力主要来源于周边人口密度、不断增长的客流量和水体污染, $D_1$ 人口压力则是紫金山最主要的生态压力来源。与城郊型、郊野型森林公园不同,紫金山森林公园位于繁华的南京市市区内,周围人口密度达1 239 人/ $\text{km}^2$ ,特殊的地理位置决定了它在人口压力方面有先天劣势。在压力指标中,客流量的安全指数也较低,紫金山拥有中山陵、明孝陵等世界著名的文化遗产,2014年,紫金山全年客流量已突破1 000万人次,每天本地登山的市民也是络绎不绝,使得紫金山在客流量压力方面形势严峻。紫金山的湖泊水体与城市关系密切,与郊野型的森林公园相比,紫金山的天然水体更容易受到城市发展带来的环境污染影响,经过人工治理,目前紫金山的水体质量已有所改善,但湖泊、溪流的清澈度、水生物的多样性仍有待提高。

2.3.2 生态环境状态分析 状态(state)系统由2个C层指标——环境状态指标和生态状态指标组成,2个C层指标再细分成8个D层指标。从表3可以看出,紫金山的生态环境状态安全指数为0.771 8,表明紫金山生态环境濒临不安全状态,值得引起关注。环境状态和生态状态的安全指数分别为0.826 9、0.744 2,均处于较安全状态。环境状态指标由4个D层指标构成,其中 $D_{14}$ 水环境质量指数为0.333 3,处于较低水平。根据紫金山监测数据,森林公园内地表水质量到达国家地面水环境质量(GB 3838—2002)三类标准,虽然水质在城市内的天然水体中处于较好水平,但与同类型森林公园相比则颇具劣势,已开始对紫金山的生态安全状态产生制约。生态状态指标由4个D层指标构成,值得注意的是 $D_{19}$ 森林火灾风险指数为0.232 6,处于很不安全状态,紫金山地处市区,每天人流量巨大,历史上曾多次发生火灾,表明森林防火问题应成为森林管理人员重点注意的问题。

2.3.3 生态环境响应分析 响应(response)系统由保护能力响应和智力支持响应2个C层指标组成。在紫金山国家森林公园的生态安全评价体系中,生态环境响应的安全指数为0.975,处于很安全状态。通过数据调查,紫金山国家森林公园的游客87%以上是南京市民,根据“全国第六次人口普查”数据显示,常住人口中,大学文化程度(含大专)人口比重达26.11%,在全国副省级城市中列第一位,远高于江苏省平均水平。经实地调查得知旅游者的素质也比较高,约70%以上受教育程度为大专以上。公园的生态投入、管理有效性以及从业者素质也处于很理想的状态。5项D层指标中,公园管理的有效性略低,管理部门还需继续努力提高管理水平。总体来看,紫金山森林公园的生态环境响应能力生态安全指

数在3项B层指标中最为理想。

### 3 结论

本研究立足紫金山国家森林公园相对于其他同类景区的区位特殊性,依据“P—S—R”概念模型建立紫金山国家森林公园生态安全综合评价指标体系,并构建相应的评价标准划分。在此基础上,利用层次分析法和综合指数法,对紫金山国家森林公园2014年的生态安全状况进行评价。由于生态安全是一个动态变化的过程<sup>[15]</sup>,随着紫金山国家森林公园生态安全格局的不断演变,相应的生态安全评价指标体系也应进行修改或补充。将生态安全理论运用于森林公园的研究还处于探索阶段,以期本研究能为紫金山国家森林公园的规划建设提供参考。

### 参考文献:

- [1] 龙涛,邓绍坡,吴运金,等.生态与农村环境学报[J]. 2015,31(6):822—830.
- [2] 兰思仁.国家森林公园理论与实践[M]. 北京:中国林业出版社,2004.
- [3] Bartell S M, Brenkert A L J, O'Neil R V, et al. Ecological risk estimation[M]. Chelsea, Michigan: Lewis Publishers, 1999.
- [4] U S EPA. Framework for ecological risk assessment; report NO. EPA (6301R-92/001)[R]. Washington D C: US Environmental Protection Agency, Risk Assessment Forum, 1992.
- [5] Canadian Council of Ministers of the Environment. A framework for ecological risk assessment; general guidance[R]. Winnipeg Manitoba: Canadian Council of Ministers of the Environment, 1996.
- [6] 王朝科. 建立生态安全评价指标体系的几个理论问题[J]. 统计研究, 2003(9): 17—20.
- [7] 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(2): 68—71.
- [8] 汪朝辉. 山岳型森林公园生态安全评价研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2012.
- [9] 俞孔坚. 生物保护的景观生态安全格局[J]. 生态学报 1999, 19(1): 8—15.
- [10] 李佩武, 李贵才, 张金花, 等. 深圳城市生态安全评价与预测[J]. 地理科学进展, 2009, 28(2): 245—252.
- [11] 汪朝辉, 吴楚材. 我国森林公园生态安全评价标准研究[J]. 资源开发与市场, 2013, 29(2): 152—155.
- [12] Tong C. Review on environmental indicator research[J]. Research on Environmental Science, 2000, 13(4): 53—55.
- [13] 杨珂. 福州国家森林公园生态安全评价研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2012.
- [14] 朱俊, 王祥荣, 樊正, 等. 城市森林评价指标体系研究——以上海为例[J]. 中国城市林业, 2004, 1(1): 36—38, 43.
- [15] 米锋. 北京鹫峰国家森林公园生态安全评价[J]. 林业科学, 2010(11): 52—54.

更正:《江苏农业科学》2016年第44卷第2期244—246页发表的论文《无血清微载体培养Vero细胞增殖传染性法氏囊病毒》中,基金项目的编号应为“CX(14)5045”,特此更正。

《江苏农业科学》编辑部