
长江经济带城市生态系统健康评价¹

王旭熙^{1,2}

(1. 西华师范大学国土资源学院, 四川南充 637009:

2. 西华师范大学嘉陵江流域研究所, 四川南充 637009)

【摘要】生态系统健康评价是生态学研究热点之一. 本研究以长江经济带的40个城市为研究对象, 从系统活力、组织力、恢复力、生态服务功能和人群健康状况等5个维度构建城市生态系统健康评价模型, 对其2006—2018年生态系统健康状况进行综合分析. 研究表明: 从整体上看, 2006—2018年长江经济带城市生态健康状况向健康方向发展, 但不同城市间生态系统健康状况存在明显差异, 还有一些城市生态系统处于亚健康或病态水平如恩施、宜宾、泸州与鄂州等. 这为政府采取差异化的城市发展战略, 进而实现长江经济带城市经济与生态环境的协调、可持续发展.

【关键词】 指标体系; 生态系统健康; 模糊数学综合评价法; 长江经济带

【中图分类号】 X826 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1672-612X(2021)02-0105-06

引言

近些年, 随着中国城镇化的加速发展, 城市生态系统出现了空气质量恶化, 水资源短缺, 土地污染, 交通拥挤等一系列不健康症状, 甚至威胁到人类健康, 学者们越来越关注城市生态系统健康问题^[1-2]. 城市作为一个复杂的社会-经济-自然生态系统, 三者之间相互联系并相互制约^[3]. 因此, 对于城市生态系统健康问题的研究不仅要关注其自然生态系统的健康, 保证其自然生态系统的完整性, 而且也应关注与其密切联系的生活在其内部的人类的社会与经济发展问题^[4]. 目前学者们对于城市生态系统健康问题的研究主要集中在城市生态系统健康评价方面, 其主要是根据相关理论与区域实际情况, 建立适宜的指标体系, 并构建相应的模型对城市生态系统健康状况进行综合评价^[5]. 其中, 指标体系的构建是其评价的重点^[6]. 如 Costanza^[7]从生态力、组织结构与恢复力3个方面构建生态系统健康评价指标体系; 师谦友等^[8]选取活力、组织力、恢复力、生态服务功能和人群健康状况构建城市健康评价指标体系. 本研究在参考相关研究的基础上, 结合研究实际情况, 从系统活力、组织力、恢复力、生态服务功能和人群健康状况构建等5个维度构建城市生态系统健康评价指标体系对长江经济带各城市生态环境健康进行评价. 此外, 在城市生态系统健康评价的方法上, 主要采用指标综述法、神经网络模式识别法、综合指数评价法与物元可拓模型法等, 常见的评价模型有层次分析模型、压力-状态-响应模型、物元模型等^[9-11].

长江经济带是继新型城镇化后国家的一种新战略, 其对于推动中西部区域的发展起到重要作用. 长江经济带战略实施以上海带动全流域的全面发展、以武汉、重庆分别带动中游与上游地区的平衡发展, 而且长江经济带沿江各城市发展的经济支撑带基

收稿日期: 2020-09-03

基金项目: 四川省科技厅项目(2020JDR0208); 西华师范大学博士科研启动项目(17E036); 西华师范大学科研创新团队(CXTD2018-10)华师范大学英才科研基金项目(2017YC114).

作者简介: 王旭熙(1985-), 女, 四川眉山人, 讲师, 博士, 研究方向: 生态环境及区域规划.

础条件已经具备, 它们也是中国新型城镇化战略主战场^[12]. 但是, 随着沿江城市经济的日益发展, 人口也逐渐密集, 将造成这些城市经济发展与资源环境之间的矛盾日益突出^[13]. 因此, 对这些城市开展城市生态系统健康评价具有重要意义. 本研究选取长江经济带沿江城市上海、苏州、无锡与常州等 40 个城市为研究对象, 从系统活力、组织力、恢复力、生态服务功能和人群健康状况构建等 5 个维度构建城市生态系统健康评价指标体系, 并运用模糊数学评价的方法对其 2006—2018 年的生态系统健康状况进行综合分析, 以期对长江经济带沿江城市建设管理以及城市的可持续发展提供决策依据.

1 研究区域

长江经济带位于我国亚热带湿润地区, 区域内资源丰富, 气候温和, 雨量较充沛. 东起上海、西至云南, 涉及上海、重庆与江苏等 9 个省 2 个直辖市, 总面积为 148.23 万 km² 已占全国土地面积的 15.44%; 人口约 6 亿, 占全国总人口的 40% [15]. 本文参考 2011 年《长江保护与发展报告》中关于长江沿江地区发展态势评估所确定的城市, 并根据研究需要进行调整, 选取长江经济带的 40 个城市为研究对象 (图 1).

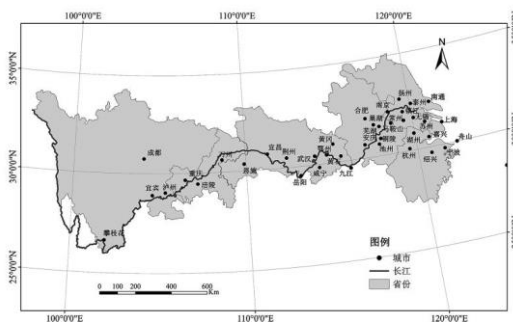


图 1 长江经济带 40 个城市分布图

2 城市生态系统健康评价

2.1 评价指标与分级标准

本研究参照现有各种城市生态系统健康评价指标^[16-18], 并结合研究区实际情况, 从活力、组织结构、恢复力、系统服务功能与人群健康状况等 5 个维度, 选取人均 GDP、GDP 增长率、实际利用外资等 17 项指标 (表 1) 来反映城市生态系统健康状况. 其中, 城市人口密度、恩格尔系数与人口自然增长率为负向指标, 其它均属于正向指标^[19]. 本研究基于生态医学的理论, 将城市生态系统健康状况评价标准划分为病态、不健康、亚健康、健康与很健康等 5 个等级^[10, 20].

本研究中很健康的标准值参考相关城市生态系统健康研究^[10, 21-23], 病态的限定值参考《中国城市年鉴》中城市同类指标的全国最低值来确定, 在很健康的限定值基础上向下浮动 20% 作为健康和亚健康的标准值, 在病态的限定值基础上向上浮动 20% 作为不健康和亚健康的标准值, 然后对前后两次确定的亚健康标准值进行对比, 得到亚健康标准的最终值^[10] (表 1). 本文中 40 个城市的数据主要来源于各年中国城市统计年鉴、中国城市建设统计年鉴、中国国土资源统计年鉴与中国环境年鉴. 其它数据以相应年份各省 (市、区) 统计年鉴中的数据加以补充.

表 1 城市生态系统健康评价指标体系

评价指标	初级指标	病态	不健康	亚健康	健康	很健康
活力	人均 GDP (万元)	<0.7	0.7~3	3~6	6~8	>8
	GDP 增长率 (%)	<4	4~6	6~8	8~10	>10

组织结构	实际利用外资 (亿美元)	<10	10~25	25~50	50~75	>75
	第三产业占 GDP 比例 (%)	<20	20~30	30~40	40~50	>50
	第三产业从业人员比例 (%)	<30	30~40	40~60	60~80	>80
恢复力	城市人口密度 (万人/km ²)	>0.6	0.6~0.5	0.5~0.4	0.4~0.3	<0.3
	建成区绿化覆盖率 (%)	<10	10~20	20~30	30~40	>40
	工业固体废物综合利用率 (%)	<30	30~50	50~70	70~90	>90
	城市生活废水处理率 (%)	<40	40~50	50~70	70~90	>90
系统服务功能	空气质量达标率 (%)	<40	40~60	60~80	80~90	>90
	人均住房面积 (m ² /A)	<20	20~28	28~35	35~40	>40
	人均拥有道路面积 (m ² /A)	<6	6~10	10~15	15~20	>20
人群健康状况	万人拥有医生数 (人)	<20	20~30	30~40	40~50	>50
	万人拥有公交数 (台)	<5	5~10	10~20	20~30	>30
	恩格尔系数 (%)	>40	40~35	35~30	30~25	<25
	万人高等学历数 (人)	<50	50~150	150~300	300~450	>450
	人口自然增长率 (%)	>11	11~9	9~7	7~5	<5

2.2 模糊物元与复合模糊物元

在物元分析中所描述的对象 T 及其特征 C 和量值 x 组成物元 $R = (r, C, x)$ ^[23]. 如果其中量值 x 具有模糊性, 便称其为模糊物元, 事物 T 有 n 个特征 C_1, C_2, \dots, C_n 及其相应的量值 x_1, x_2, \dots, x_n 则称 R 为 n 维模糊物元^[19]. m 个对象的 n 维物元在一起便构成 m 个对象的 n 维复合模糊物元 R_{mn} . 相应的物元矩阵表示为:

$$R = \begin{pmatrix} R_{11} & R_{12} & \cdots & R_{m1} \\ R_{12} & R_{22} & \cdots & R_{m2} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ R_{1n} & R_{2n} & \cdots & R_{mn} \end{pmatrix}$$

2.3 隶属函数的建立

u_{ij} 代表第 k 指标层的第 i 个指标对 j 等级的隶属度值^[8,10], R_{ij} 代表实际值, $k=1, 2; i=1, 2, \dots, m; m$ 表示 u_{ij} 所在指标层包含的指标个数, B_j 表示 j 等级的标准值, $j=1, 2, \dots, 5$.

对于正向指标, 隶属函数的公式如下:

当 $R_{ij} < B_1, u_{i1}=1, u_{i2}=u_{i3}=u_{i4}=u_{i5}=0$;

当 $B_j < R_{ij} < B_{j+1}, r_{ij} = \frac{B_{j+1} - R_{ij}}{B_{j+1} - B_j} = \frac{R_{ij} - B_j}{B_{j+1} - B_j}$

而对其它健康程度的隶属度均为 0

当 $R_{ij} > B_5$, $u_{i5} = 1, u_{i2} = u_{i3} = u_{i4} = u_{i5} = 0$;

对于负向指标, 隶属函数的公式如下:

当 $R_{ij} > B_1$, $u_{i1} = 1, u_{i2} = u_{i3} = u_{i4} = u_{i5} = 0$;

当 $R_{j+1} < R_{ij} < B$, $r_{ij} = \frac{B_{j+1} - R_{ij}}{B_{j+1} - B_j} r_{j+1} = \frac{R_{ij} - B_j}{B_{j+1} - B_j}$

而对其它健康程度的隶属度均为 0

当 $R_{ij} < B_5$, $u_{i5} = 1, u_{i2} = u_{i3} = u_{i4} = u_{i5} = 0$;

2.4 权重的确定

与层次分析法等其他主观赋权法的结果相比, 熵值法得出的指标权重值更加客观^[24], 因此, 本文采用熵值法来确定各测量指标的权重值.

2.5 模糊矩阵的复合运算

$A = (a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1n}) \times \begin{pmatrix} u_{11}, u_{12}, \dots, u_{1n} \\ u_{21}, u_{22}, \dots, u_{2n} \\ \dots \\ u_{m1}, u_{m2}, \dots, u_{mn} \end{pmatrix}$ 为城市生态系统健康评价标准级别的隶属度, 采取最大隶属度的 $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n), \alpha_j (j = 1, 2, \dots, n)$ 原则取得最终评价结果^[10].

3 结果与分析

从图 2 得出, 2006 与 2012 年, 长江下游的大部分城市的生态系统健康处于很健康状况, 长江中游各城市的生态系统健康一部分处于病态状态, 一部分处于很健康状态, 长江上游的大部分城市的生态系统健康都处于病态状态, 2018 年, 长江上、中、下游大部分城市生态系统健康处于很健康状况. 这表明 2006—2018 年长江经济带城市生态健康状况整体向健康方向发展.

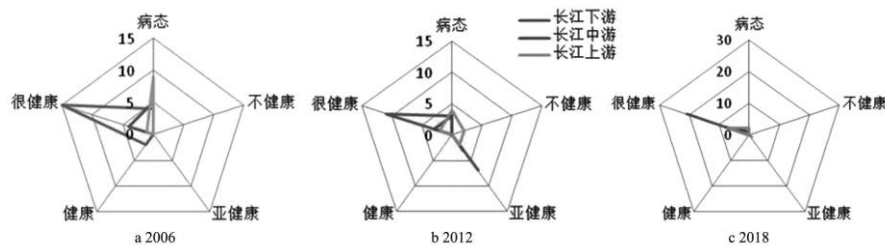


图 2 长江经济带各城市生态系统健康分布

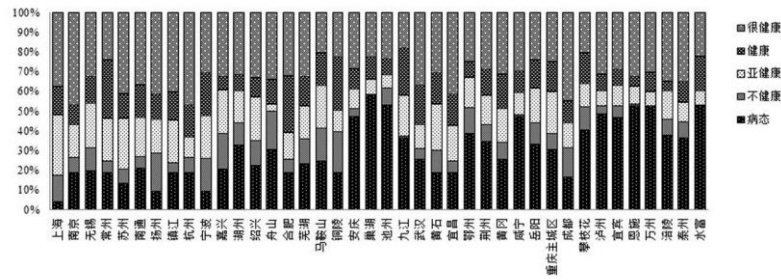


图3 2006年长江经济带各城市生态系统健康评价结果

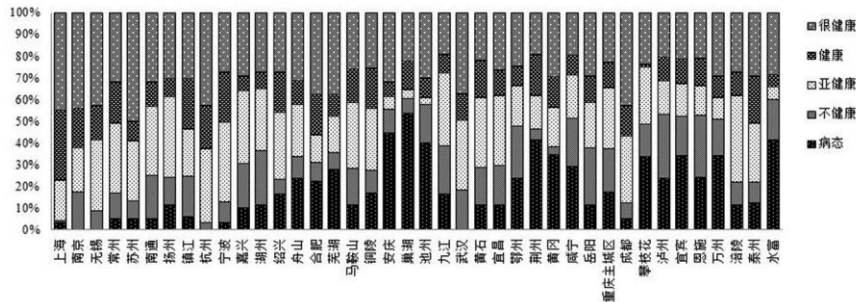


图4 2012年长江经济带各城市生态系统健康评价结果

3.1 2006年长江经济带沿江各城市生态系统

健康状况分析

从图3得出,2006年上海、南京、无锡、苏州、南通、扬州、镇江、杭州、宁波、嘉兴、湖州、绍兴、舟山、合肥、芜湖、武汉、黄石、宜昌、黄冈与成都市城市生态系统健康处于很健康状况,且各市之间存在明显差异,南京>杭州>成都>扬州>宜昌>苏州>镇江>上海>武汉>南通>舟山>绍兴>芜湖>嘉兴>无锡>合肥>湖州>黄冈>宁波>黄石;常州、铜陵市城市生态系统健康处于健康状况;巢湖、池州、恩施、万州、水富、泸州、咸宁、安庆、宜宾、攀枝花、鄂州、涪陵、泰州、九江、荆州、岳阳、重庆与马鞍山市城市生态系统健康处于病态水平,且对于病态水平的隶属度依次减小。

3.2 2012年长江经济带沿江各城市

生态系统健康状况分析

从图4看出,2012年苏州、上海、南京、无锡、杭州、成都、合肥、芜湖、武汉、常州、南通、舟山、扬州、镇江、泰州、岳阳与鄂州市城市生态系统健康处于很健康水平,且对于很健康水平的隶属度依次减小;宁波、嘉兴、湖州、绍兴、马鞍山、铜陵、九江、黄石、宜昌、重庆与涪陵市城市生态系统处于亚健康状况;泸州、恩施市城市生态系统处于不健康状况;咸宁、宜宾、万州、黄冈、攀枝花、池州、荆州、水富、安庆与巢湖市城市生态系统处于病态水平,且对于病态水平的隶属度依次增加。

3.3 2018年长江经济带沿江各城市

生态系统健康状况分析

从图5得出,2018年杭州、成都、南京、无锡、苏州、合肥、武汉、上海、镇江、芜湖、舟山、巢湖、常州、扬州、绍兴、

-
- [6]王旭熙, 彭立, 苏春江, 等. 城镇化视角下长江经济带城市生态环境健康评价湖南大学学报: 自然科学版, 2015, 42(12):132-140.
- [7]COSTANZAR. Towardanoperational definition of health. *Ecosystem Health*, 1992, 6(5):239-256.
- [8]师谦友, 赵檐瑾, 罗晶. 基于腐权分析的西安城市生态系统健康评价[J]. *资源开发与市场*, 2011, 27(4):304-307.
- [9]向丽, 王红瑞, 李迎霞. 北京市城市生态系统健康评价[J]. *广州环境科学*, 2008, 1:34-40.
- [10]陈克龙, 苏茂新, 李双成, 等. 西宁市城市生态系统健康评价[J]. *地理研究*, 2010, 29(2)-. 214-221.
- [11]张良. 绿色生态城区指标体系与管控办法[D]. 西宁:青海师范大学, 2013.
- [12]魏昊星, 柳洁. 同心·同力·同行一合力打造长江经济带构建新的经济增长极[J]. *湖北政协*, 2014, 6:9-14.
- [13]毕东苏, 马民·城市生态系统生态化综合评价: 以长三角为例[J]. *环境科学与技术*, 2008, 31(9): 142-1
- [14]李靖, 谷人旭. 长江经济带合作发展探讨. *地理与地理信息科学*, 2003, 1:74-77.
- [15]周龙. 区域高校科技创新实力及其对绿色经济的影响研究[D]. 苏州:苏州大学, 2014.
- [16]郭秀锐, 杨居荣, 毛显强·城市生态系统健康评价初探[J]. *中国环境科学*, 2002, 22(6): 525-529.
- [17]米玛. 西藏拉萨市生态城市建设研究[D]. 天津:天津大学, 2009.
- [18]赵帅. 城市生态系统健康评价模型及其应用[D]. 天津:天津大学, 2012.
- [19]刘娜. 基于燃权的模糊物元模型在城市生态系统健康评价中的应用[J]. *成都理工大学学报:自然科学版*, 2007, 34(5):589-595.
- [20]李双江, 罗晓, 胡亚妮. 快速城市化进程中石家庄城市生态系统健康评价[J]. *水土保持研究*, 2012, 19(3):245-249.
- [21]官冬杰, 苏维词, 周继霞. 重庆都市圈生态系统健康评价研究[J]. *地域研究与开发*, 2007, 26(4):102-106.
- [22]刘丽丽, 刘金萍, 李建国, 等. 基于属性层次-识别模型的重庆市南岸区生态系统健康评价长江流域资源与环境, 2010, 19(2):214-219.
- [23]刘黎, 徐逸伦, 江善虎, 等. 基于模糊物元模型的城市活力评价[J]. *地理与地理信息科学*, 2010, 26(1): 73-77.
- [24]刘鹏发. 浙中城市群城市能级提升研究[D]. 杭州:浙江师范大学, 2013.
- [25]朱远, 刘国平. 全要素福利绩效的时空演化与影响因素研究:以长江经济带 11 省市为例[J]. *东南学术*, 2017(6):107-114.

[26]谭雪红. 徐州市城市生态系统健康评价[J]. 徐州工程学院学报: 自然科学版, 2009, 1:63-67.

[27]黄娟, 程丙. 长江经济带“生态优先”绿色发展的思考环境保护, 2017, 45(7): 59-64.