

环长株潭城市生态系统健康评价

李嘉琪¹, 王大娟^{1*}, 刘挺², 田倩倩¹, 王欢¹

(1. 湖南师范大学 资源与环境科学学院, 湖南 长沙 410000; 2. 湖南省怀化市环境保护局, 湖南 怀化 418000)

摘要:城市生态系统健康是区域可持续发展的基础。本文以环长株潭城市群作为研究对象,根据压力—状态—响应(PSR)模型,选取25个指标构建城市群城市生态系统健康评价指标体系,采用熵值法确定指标权重,以模糊综合评价法建立评价模型,对环长株潭城市生态系统健康进行评价。结果表明:总体来看,环长株潭城市生态系统健康水平处于“较健康”状态(0.236 2),处于一个良性发展阶段;城市群内部健康水平存在较大差异,不同地区的城市生态系统健康状况不同。长沙市和株洲市的隶属度为“健康”,湘潭市和益阳市属于“较健康”状态,岳阳市和常德市属于“临界状态”,衡阳市属于“不健康”状态,娄底市的隶属度为“病态”。未来,环长株潭城市群要加强城市生态服务功能建设,缩小城市群内部差距,提升城市生态系统健康水平。

关键词:环长株潭城市群;城市生态系统健康;熵值法;模糊综合评价法

中图分类号:X826

文献标志码:A

文章编号:2095-7300(2019)01-0009-07

城市建设的加速发展和城市化水平的不断提高,对城市生态系统健康产生了一定影响。生态系统健康研究始于20世纪80年代,自生态系统健康的概念提出后,生态系统健康状况备受重视,引起国外学者的广泛关注。Harpham^[1]、Jerry^[2]、Rapport^[3]、Pietro^[4]主要集中于相关概念、指标体系和评价方法的探讨。21世纪以来,我国开始重视对生态系统健康的研究,不少学者对生态系统健康概念、评价指标体系、方法、存在的问题及发展趋势等重要内容进行了研究。在评价指标方面,史永亮^[5]、陈克龙^[6]、郁亚娟^[7]探讨了不同的指标分类。在评价方法上主要有指标综述法^[8]、物元可拓模型法^[9]、属性综合评价法^[10]、V-O-R模型^[11]、模糊综合评价方法^[12]、能值分析法^[13]等。城市生态系统健康评价是生态系统健康评价的一个重要领域,主要指城市人居环境的健康,即城市作为一个生态系统如何良好运行^[14]。城市生态系统健康程度直接影响着城市的生存与发展,它不仅是城市生态系统的综合特征,也是城市可持续发展的坚固保障^[15]。

对城市生态系统健康进行评价的目的,一是了解城市生态系统健康状态,二是明确人们对城市健康的期望状态,预测其未来的健康发展趋势^[16]。

然而,当前研究大多是从时间或空间上对某一城市生态系统健康状况进行分析,对城市群生态系统健康评价的研究并不多。本文选取环长株潭城市群作为研究对象,对其8个城市进行城市生态系统健康评价与比较,根据PSR模型初步建立了环长株潭城市群城市生态系统健康评价指标体系,并利用模糊综合评价法对城市生态系统健康状态进行定量分析,从而为环长株潭城市群强化生态环境管理、制定区域发展规划提供理论依据。

1 研究区域及研究方法

1.1 研究区域

《湖南省国民经济与社会发展“十二五”规划纲

收稿日期:2018-08-05

基金项目:国家自然科学基金项目(41301638)

作者简介: *为通信作者:王大娟,博士,教授,研究方向:生态环境评价与规划, E-mail: dajuanwan@163.com。李嘉琪,硕士生,研究方向:城市与区域规划, E-mail: 773996834@qq.com

引文格式:李嘉琪,王大娟,刘挺,等. 环长株潭城市生态系统健康评价[J]. 湖南生态科学学报, 2019, 6(1): 9-15.

要》提出要重点培育环长株潭城市群,打造省域经济核心竞争力载体。环长株潭城市群是指以长沙、株洲、湘潭三市为核心,包括周边衡阳、岳阳、常德、益阳和娄底 5 个城市,共 8 个城市组成的城市群。环长株潭城市群是湖南省经济最活跃的区域,2016 年,行政区域面积 9.76 万 km^2 , 占全省的 45.9%;区域内常住总人口 4 163.73 万人,占全省的 61%;实现规模以上工业总产值 32 208.28 亿元,占全省的 80.1%;地区生产总值 23 391.98 亿元,城镇化率 60%左右。环长株潭城市群在湖南省占据重要地位,其城市生态系统健康状况影响湖南省社会经济发展和区域发展战略的实施,因此有必要对城市群的生态系统健康状况进行研究和评价。

1.2 研究方法

1.2.1 熵值法

熵的概念源于热力学,用来描述离子或分子运动的不可逆现象,后在信息论中度量事物出现的不确定性,被一些学者用来确定多元综合评价指标的权重。熵值法是根据计算各指标数据的变异程度对指标进行赋权的方法,符合运算规律,具有严格的数学逻辑性,可以较大程度上消除指标权重计算时的人为干扰。因此本文采取熵值法确定指标权重^[17],使评价结果更科学合理。

1.2.2 模糊综合评价法

模糊综合评价法是一种基于模糊数学的综合评价方法,是根据模糊数学的隶属度理论把定性评价转化为定量评价,即用模糊数学对受到多种因素制约的事物或对象做出一个总体的评价。它具有结果清晰,系统性强的特点,能较好地解决模糊的、难以量化的问题,是一种处理不定性和不精确性问题的新方法。城市生态系统是一个动态变化的系统,评价指标包含多个,健康程度是相对于标准值而言的,具有相对性,很难硬性描述成固定状态,只能说城市生态系统具有某种程度的“健康”成分或者某种程度的“不健康”成分^[18]。

2 城市生态系统健康评价

2.1 评价指标与分级标准

指标选取时应遵循综合性、可获性、科学性和

整体性原则,针对每个要素的内涵提出相应的评价指标。经济合作与开发组织(OECD)和联合国环境规划署(UNEP)将某个环境问题通过压力、状态和响应 3 个不同又相互联系的指标类型来表达,即 PSR 概念模型。压力指标代表了环境恶化的原因,状态指标用于测量人类行为引起的生态系统的变化,响应指标代表了社会为减少环境污染和对资源的破坏而作出的努力。本文参考 PSR 模型,根据环长株潭城市群的生态系统特征,通过查阅《湖南统计年鉴 2017》《中国城市统计年鉴 2017》和各地区国民经济和社会发展统计公报,初步选择能反映系统特征的要素指标。采用主成分分析对初级指标进行筛选,最终形成了包含 25 个指标的环长株潭城市群生态系统健康评价指标体系(表 1)。城市生态系统健康评价指标确定后,需要对指标健康状态进行分级,明确各项指标的健康标准范围,从而对城市生态系统的健康状况进行评价。目前学术界还未形成统一的分级标准,基于生态城市是健康城市的这一认识,本文依据国家对健康城市和国家生态文明建设示范市的要求,借鉴前人研究成果将健康标准划分为 5 种等级:病态、不健康、临界状态、较健康和健康。以相关文献中对生态城市的建议值作为健康的标准值,以全国最低值为病态的限定值,在前者基础上向下浮动 20%作为较健康和临界状态的标准值,在后者基础上向上浮动 20%作为不健康和临界状态的标准值,把前后两次确定的标准值进行调整得到最终分级标准^[19]。

2.2 隶属函数的建立

设计城市生态系统健康模糊综合评价模型为:

$$E = W * R$$

式中: E 为城市生态系统健康状况矩阵; W 为生态系统健康评价要素的权重矩阵; R 为各生态系统健康评价要素对各级健康标准的隶属度矩阵。隶属度的值介于 $[0, 1]$ 之间,越接近 1,说明隶属度越好。隶属度的计算是模糊综合评价法的关键,正向指标(指标值越大,健康程度越高)和负向指标(指标值越小,健康程度越高)有所不同,在计算过程中要区分正负向指标,进行分类计算。在得到各个指标的隶属度以后,建立隶属度矩阵 R 。

表 1 环长株潭城市生态系统健康评价指标体系和分级标准

Tab. 1 Urban ecosystem health evaluation index system and grading standards in Changsha-Zhuzhou-Xiangtan

评价要素	评价指标	具体指标	病态	不健康	临界状态	较健康	健康	权重
系统压力	人口压力	人口密度/(人/km ²)	8 000	7 000	5 000	4 000	3 000	0.068 2
		人口自然增长率/%	13.00	11.00	9.00	7.00	5.00	0.015 6
	资源压力	人均生活用水量/m ³	120.00	180.00	240.00	300.00	400.00	0.027 7
		人均道路面积/m ²	6.00	10.00	15.00	20.00	28.00	0.016 7
		人均耕地面积/hm ²	0.02	0.03	0.05	0.08	0.10	0.017 8
		人均 GDP/万元	0.70	3.00	5.00	10.00	20.00	0.059 7
	经济压力	城镇居民恩格尔系数/%	50.00	40.00	35.00	30.00	25.00	0.003 2
系统状态	能源状态	城镇登记失业率/%	4.20	3.60	3.00	2.50	1.20	0.006 4
		万元 GDP 能耗/(吨标准煤)	1.50	1.25	0.75	0.30	0.10	0.298 3
		万元 GDP 水耗/m ³	300.00	225.00	175.00	75.00	50.00	0.030 8
	资源状态	森林覆盖率/%	30.00	35.00	55.00	75.00	80.00	0.004 1
		人均公园绿地面积/m ³	4.00	7.00	10.00	16.00	20.00	0.006 9
		建成区绿化覆盖率/%	20.00	25.00	30.00	40.00	50.00	0.000 3
		饮用水源达标率/%	80.00	85.00	92.50	97.50	100.00	0.000 1
	环境状态	城市区域环境噪声/分贝	85.00	70.00	50.00	45.00	40.00	0.000 2
		空气质量优良天数/%	20.00	40.00	60.00	80.00	100.00	0.000 9
		第三产业占 GDP 的比重/%	30.00	40.00	50.00	60.00	80.00	0.001 8
系统响应	经济响应	RD 经费占 GDP 的比重/%	1.00	1.50	2.50	4.00	5.00	0.022 3
		环保投入占 GDP 的比重/%	1.00	1.50	2.00	3.00	5.00	0.139 1
		工业固体废弃物综合利用效率/%	30.00	50.00	70.00	90.00	100.00	0.000 9
	环境响应	城市生活污水处理率/%	30.00	50.00	70.00	90.00	100.00	0.000 2
		生活垃圾无害化处理率/%	70.00	75.00	85.00	95.00	100.00	0.004 5
		城市用气普及率/%	70.00	80.00	90.00	95.00	100.00	0.000 1
		万人高等学历数/人	50.00	150.00	300.00	450.00	600.00	0.265 0
	文化响应	科教投入占 GDP 的比例/%	1.00	1.50	2.00	3.00	5.00	0.009 2

$$R = \begin{pmatrix} R_{11} & R_{12} & \cdots & R_{1m} \\ R_{21} & R_{22} & \cdots & R_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ R_{n1} & R_{n2} & \cdots & R_{nm} \end{pmatrix}$$

其中, $R_{i1} + R_{i2} + \cdots + R_{im} = 1; i = 1, 2, \cdots, n$

根据相对健康隶属度矩阵和各指标权重, 计算 E 值. $E = W * R = (E_1, E_2, \cdots, E_m)$, $(E_1, E_2, \cdots, E_m)$ 为城市生态系统健康评价分级标准中健康级别的隶属度, 采取隶属度最大的原则即可得到城市生态系统健康的评价结果.

表 2 环长株潭城市生态系统健康状态评价结果

Tab. 2 Urban ecosystem health assessment results in Changsha-Zhuzhou-Xiangtan

地区	城市生态系统健康等级得分					所属健康等级
	病态	不健康	临界状态	较健康	健康	
长沙	0.003 7	0.036 9	0.087 1	0.287 4	0.584 9	健康
株洲	0.024 0	0.167 5	0.182 8	0.312 4	0.313 3	健康
湘潭	0.014 5	0.047 1	0.364 6	0.407 0	0.166 8	较健康
衡阳	0.106 1	0.330 2	0.101 0	0.289 6	0.173 1	不健康
岳阳	0.151 3	0.207 5	0.421 4	0.075 6	0.144 2	临界状态
常德	0.217 4	0.156 7	0.260 5	0.158 9	0.206 5	临界状态
益阳	0.260 3	0.158 4	0.092 6	0.373 6	0.115 1	较健康
娄底	0.624 9	0.242 4	0.096 9	0.026 6	0.009 2	病态
总得分	0.175 3	0.168 3	0.206 2	0.236 2	0.214 0	较健康

3 评价结果与分析

环长株潭城市生态系统健康状态评价结果如表 2 所示, 所属健康等级指标个数如图 1 所示.

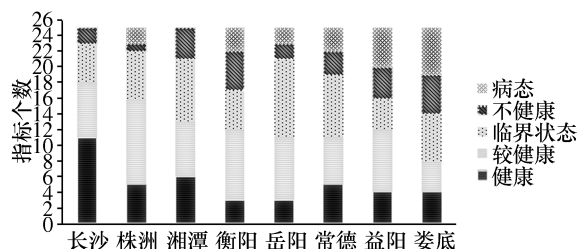


图 1 环长株潭城市生态系统健康等级指标个数

Tab. 1 Urban ecosystem health assessment results in Changsha-Zhuzhou-Xiangtan

用 ArcGIS10.2 对环长株潭城市生态系统健康状态评价结果进行可视化表达, 如图 2 所示.

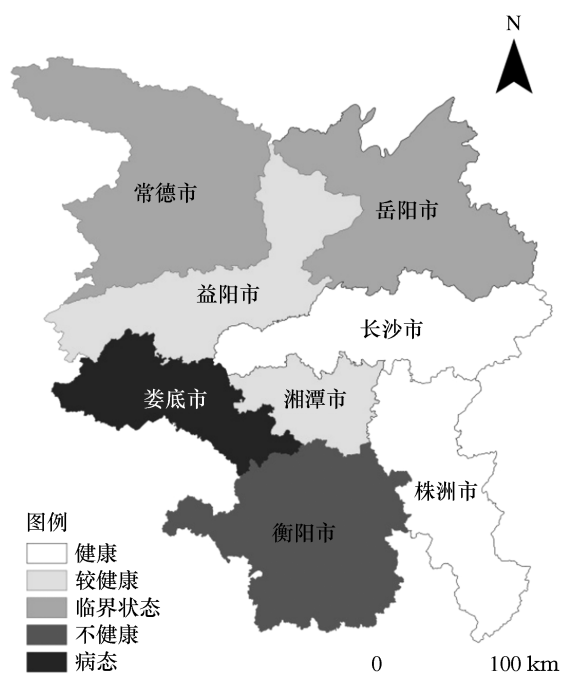


图 2 环长株潭城市生态系统健康状态空间分布图

Fig. 2 Spatial distribution of ecosystem health status in Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration

1) 从总得分来看, 环长株潭城市群的城市生态系统处于“较健康”状态 (0.236 2), “较健康”状态以上的隶属度为 0.450 2, 说明环长株潭城市群生态健康系统处于一个良性发展状态. 环长株潭城市群致力

于建设全国“两型”社会建设示范区和现代化生态型城市群, 近些年整体发展速度加快, 虽然发展过程中各类资源和能源的消耗有所增加, 但政府部门加大基础设施的投资力度, 通过调整结构、提高科教、环保投入以及加强对环境的管理, 提高城市生态健康水平, 使城市生态系统保持在“较健康”状态.

2) 城市群内部存在较大差异, 不同地区的生态系统健康状况有很大不同. 长沙市和株洲市处于城市生态系统的“健康”状态, 湘潭市和益阳市属“较健康”状态, 岳阳市和常德市属于“临界状态”, 衡阳市属于“不健康”状态, 娄底市的隶属度为“病态”. 城市群内部出现生态系统健康水平差异, 原因是多方面的, 其中最主要的原因是经济发展水平差异, 各个地区的发展差异, 对生态保护和环境管理的侧重点有所不同, 环保投入力度不一样, 对环境破坏的处理能力不同, 从而对城市生态系统健康水平带来不同影响.

3) 长沙市、株洲市、湘潭市、益阳市四个地区的城市生态健康水平在环长株潭城市群处于领先地位, 长沙市 (0.584 9) 和株洲市 (0.313 3) 的城市生态系统健康状态为“健康”. 究其原因, 长沙市“健康”状态隶属度指标有 11 个, “较健康”状态隶属度指标有 7 个, “临界状态”隶属度以下的指标有 7 个. 株洲市“健康”状态隶属度指标有 5 个, “较健康”状态隶属度指标有 11 个, “临界状态”隶属度以下的指标有 9 个. 株洲市的“健康”状态隶属度比长沙低 0.271 6, 健康水平有一定差距, 经济发展、城市基础设施和环境设施均劣于长沙市, 并且株洲“健康”状态隶属度和“较健康”状态隶属度相差 0.000 9, 意味着向“较健康”状态转变的可能性很大. 长沙作为湖南的省会城市, 经济实力雄厚, 在长株潭城市群和环长株潭城市群发展中起重要带动作用. 湘潭市 (0.407 0) 和益阳市 (0.373 6) 的城市生态系统健康状态为“较健康”, “较健康”隶属度相差 0.033 4, 湘潭市“健康”隶属度指标为 6 个, “较健康”隶属度指标为 7 个, 益阳市“较健康”隶属度指标为 8 个, “健康”和“临界状态”隶属度指标各为 4 个. 近些年长株潭城市群经济实力不断增强, 益阳市受长株潭城市群辐射带动作用, 经济发展速度提升快. 这四个城市加大 R&D 经费、环保投入、科教投入比重, 扩大人均公园绿地面积, 提高建成区绿化覆盖率, 使得城市生态系统健康水平处于良性发展阶段.

4)岳阳市和常德市城市生态健康水平为“临界状态”;衡阳市城市生态健康水平为“不健康”状态;娄底市城市生态健康水平状态为“病态”,这四个地区的城市生态系统健康水平在环长株潭城市群处于落后地位,城市生态系统健康状态不佳。岳阳市(0.421 4)“临界状态”隶属度指标为10个,常德市(0.260 5)“临界状态”隶属度指标为8个,岳阳市和常德市“临界状态”隶属度相差0.160 9,岳阳市的城市生态系统健康水平略好于常德市;衡阳市和娄底市的城市生态系统健康水平不乐观,衡阳市(0.330 2)“不健康”状态和“病态”隶属度指标为8个,但衡阳市“较健康”状态隶属度指标为9个,与“不健康”状态隶属度相差0.040 6,意味着衡阳市如果采取措施加大对环境的保护力度,加大资金投入改善生态环境,则向“较健康”状态转化的可能性较大。娄底市(0.624 9)“不健康”状态和“病态”隶属度指标为11个,在8个市中,娄底的城市生态系统健康水平最差,在今后的发展过程中,政府部门应对城镇失业人口进行妥善处理,加大R&D经费和科技投入占GDP的比重,提高城市生活垃圾无害化处理率,提升城市生态系统健康水平,改变目前城市生态系统健康状态差的局面。

4 讨 论

环长株潭城市群是中部地区比较有代表性的区域,研究其城市生态系统健康状态可以为中部其他城市群提供借鉴和参考。本研究选用PSR模型,从城市生态系统的压力-状态-响应三个方面构建城市生态健康评价框架。模型框架对于城市生态系统健康评价具有至关重要的作用,由于理论基础和研究区域的不同,构建的模型框架也不尽相同。史永亮等^[5]利用PSR模型对大丰市的城市生态系统健康进行了评价。Liu等^[20]基于能值理论,构建了活力-结构-弹性-功能维护框架评价了包头的城市生态系统健康。颜文涛等^[10]基于属性理论构建指标体系,对重庆市北部新区的城市生态系统健康进行评价。与这些模型框架相比,PSR模型的最大优势是可以将城市生态系统中各种要素联系起来,并考虑要素之间的相互作用。

评价指标的选择对城市生态系统健康评价结果有很大影响。本研究基于社会-经济-自然复合生态系统理论^[21],从人口、资源、环境和经济等多方面

选择了25个评价指标。并考虑到环保投入强度对城市生态系统的响应,选用环保投入占GDP的比重表征经济响应,构建的指标体系全面反映了城市生态系统的不同维度,与其他类似研究相比,可以更好的评估城市生态系统健康。

研究发现,环长株潭城市群的生态系统处于“较健康”状态,与熊鹰等^[22]的研究结果较为一致。主要是由于该地区政府部门加大基础设施的投资力度,通过调整结构、提高科教、环保投入以及加强对环境的管理,提高了城市生态系统的健康水平。另外,本文只对2016年环长株潭地区城市生态系统进行评价,无法分析该地区城市生态系统健康的时间演变特征,因此长时间序列的城市生态系统健康评价也是下一步研究的重点。研究还存在着一些不足,如在指标体系选取和评价标准确定方面存在主观性,受到数据的可获取性和一致性的影响,没有选取城市土壤污染、生物多样性等指标,在今后的研究中,应注重构建更为完善的指标体系,选取其他城市群进行对比分析,找出城市群在生态系统健康评价方面的共性,利用更科学的技术提高评价结果的科学性。

5 结 论

本文根据压力-状态-响应模型,选取25个指标构建城市群生态系统健康评价指标体系对环长株潭城市群生态系统健康进行评价。总体来看,环长株潭城市群的城市生态系统健康水平处于较健康状态(0.236 2),处于一个良性发展阶段;但是城市群内部存在较大差异,8个市的城市生态系统健康水平不协调,长沙市和株洲市的隶属度为“健康”,湘潭市和益阳市属于“较健康”状态,岳阳市和常德市属于“临界状态”,衡阳市属于“不健康状态”,娄底市的隶属度为“病态”。环长株潭城市群在今后发展过程中要发挥政府的政策导向作用和市场的调节作用,加大科技、资金投入,开发资源节约和环境保护的新技术,加快建设资源节约型和环境友好型示范区,美化城市环境,增强城市群发展的吸引力,提升城市群生态系统健康发展水平。

参考文献:

- [1] Harpham T. Urban health in the Gambia: a review [J]. Health & Place, 1996, 2(1): 45-49.

- [2] Spiegel J M, Bonet M, Yassi A, et al. Developing ecosystem health indicators in centro Habana: a community-based approach[J]. *Ecosystem Health*, 2001, 7(1): 15-26.
- [3] Magnuson J J, Benson B J, Kratz T K. Patterns of coherent dynamics within and between lake districts at local to inter-continental scales[J]. *Boreal Environment Research*, 2004, 9(5): 359-369.
- [4] Bertollo P. Assessing ecosystem health in governed landscapes: a framework for developing core indicators[J]. *Ecosystem Health*, 1998, 4(1): 33-51.
- [5] 史永亮, 杨东峰, 王如松, 等. 基于PSR模型的大丰市城市生态系统健康综合评价[J]. *环境科学与技术*, 2008, 31(2): 120-123.
- Shi Y L, Yang D F, Wang R S, et al. Ecosystem health assessment based on PSR model—a case study of Dafeng City in Jiangsu Province[J]. *Environmental Science & Technology*, 2008, 31(2): 120-123.
- [6] 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): 214-222.
- Chen K L, Su M X, Li S C, et al. The health assessment of the urban ecosystem of Xining City[J]. *Geographical Research*, 2010, 29(2): 214-222.
- [7] 郁亚娟, 郭怀成, 刘永, 等. 城市病诊断与城市生态系统健康评价[J]. *生态学报*, 2008, 28(4): 1 736-1 747.
- Yu Y J, Guo H C, Liu Y, et al. Syndromic city illnesses diagnosis and urban ecosystem health assessment[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(4): 1 736-1 747.
- [8] 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.
- Xiao F J, Ouyang H. Ecosystem health and its evolution indication and method[J]. *Journal of Natural Resources*, 2002, 17(2): 203-209.
- [9] 戴晓兰, 季奎, 吕方, 等. 基于物元模型的城市生态系统健康评价[J]. *云南地理环境研究*, 2007, 19(2): 58-63.
- Dai X L, Ji K, Lv F, et al. Urban ecosystem health assessment based on matter element model[J]. *Yunnan Geographic Environment Research*, 2007, 19(2): 58-63.
- [10] 颜文涛, 袁兴中, 邢忠. 基于属性理论的城市生态系统健康评价——以重庆市北部新区为例[J]. *生态学杂志*, 2007, 26(10): 1 679-1 684.
- Yan W T, Yuan X Z, Xing Z. Urban ecosystem health assessment based on attribute theory: a case study in the new district of northern Chongqing City[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(10): 1 679-1 684.
- [11] 孔红梅, 赵景柱, 姬兰柱, 等. 生态系统健康评价方法初探[J]. *应用生态学报*, 2002, 13(4): 486-490.
- Kong H M, Zhao J Z, Ji L Z, et al. Assessment method of ecosystem health[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(4): 486-490.
- [12] 单海燕, 杨君良. 长三角区域城市生态系统健康评价分析[J]. *阅江学刊*, 2017, 9(3): 62-71, 146.
- Shan H Y, Yang J L. Evaluation and analysis of urban ecosystem health in Yangtze River delta region[J]. *Yuejiang Academic Journal*, 2017, 9(3): 62-71, 146.
- [13] 李恒, 黄民生, 姚玲, 等. 基于能值分析的合肥城市生态系统健康动态评价[J]. *生态学杂志*, 2011, 30(1): 183-188.
- Li H, Huang M S, Yao L, et al. Dynamic assessment of urban ecosystem health in Hefei City based on emergy analysis[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2011, 30(1): 183-188.
- [14] 桑燕鸿, 陈新庚, 吴仁海, 等. 城市生态系统健康综合评价[J]. *应用生态学报*, 2006, 17(7): 1 280-1 285.
- Sang Y H, Chen X G, Wu R H, et al. Fuzzy comprehensive assessment of urban ecosystem health[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(7): 1 280-1 285.
- [15] 钱翌, 王灵, 陈敬锋. 乌鲁木齐城市生态系统健康模糊综合评价[J]. *水土保持研究*, 2008, 15(6): 128-132.
- Qian Y, Wang L, Chen J F. Fuzzy comprehensive evaluation of urban ecosystem health in Urumqi[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2008, 15(6): 128-132.
- [16] 刘明华, 董贵华. RS和GIS支持下的秦皇岛地区生态系统健康评价[J]. *地理研究*, 2006, 25(5): 930-938.
- Liu M H, Dong G H. Ecosystem health assessment and driving force analysis in Qinhuangdao area based on RS & GIS[J]. *Geographical Research*, 2006, 25(5): 930-938.
- [17] 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.
- Liu H, Wang H, Zhang X W. Research review on ecological security assessment[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(1): 74-78.
- [18] 李婷婷, 郑丽琳. 基于模糊评价法的合肥城市生态健康动态评价[J]. *重庆科技学院学报(自然科学版)*, 2017, 19(5): 119-124.
- Li T T, Zheng L L. Urban ecosystem health dynamic assessment in Hefei City based on fuzzy mathematics[J]. *Journal of Chongqing University of Science and Technology (Natural Science Edition)*, 2017, 19(5): 119-124.
- [19] 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.
- Guo X R, Yang J R, Mao X Q. Primary studies on urban ecosystem health assessment[J]. *China Environmental Science*, 2002, 22(6): 525-529.

- [20] Liu G Y, Yang Z F, Chen B, et al. Emergy-based urban health evaluation and development pattern analysis [J]. Ecological Modelling, 2009, 220(18): 291-2301.
- [21] 马世骏, 王如松. 社会-经济-自然复合生态系统[J]. 生态学报, 1984, 4(1): 1-9.
- Ma S J, Wang R S. The social-economic-natural complex ecosystem[J]. Acta Ecologica Sinica, 1984, 4(1): 1-9.
- [22] 熊鹰, 陈昊林. 基于属性理论的长株潭城市群生态系统健康评价[J]. 生态环境学报, 2010, 19(6): 1422-1427.
- Xiong Y, Chen H L. Assessment of Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration ecosystem health based on attribute theory[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2010, 19(6): 1422-1427.

Assessment of Urban Ecosystem Health in Changsha-Zhuzhou-Xiangtan Urban Agglomeration

Li Jiaqi¹, Wan Dajuan^{1*}, Liu Ting², Tian Qianqian¹, Wang Huan¹

(1. School of Resources and Environmental Sciences, Hunan Normal University, Changsha 410000, China;

2. Huaihua City Environmental Protection Bureau, Hunan Province, Huaihua 418000, China)

Abstract: Urban ecosystem health is the basis of the regional sustainable development. Taking Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration as the research object, according to the pressure-state-response (PSR) model, 25 indicators were selected to build the urban ecosystem health assessment index system, and the entropy method was used to determine the index weights and the fuzzy comprehensive evaluation method was adopted to establish an evaluation model to evaluate the urban ecosystem health in Changsha-Zhuzhou-Xiangtan. The results showed that on the whole the health status of the urban ecosystem in Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration was in a “healthier” state (0.2362), which was in a healthy development stage. But there were great differences in the internal health level of the urban agglomeration. The health status of urban ecosystems in different regions was different. Both Changsha City and Zhuzhou City were affiliated to “healthy”, Xiangtan City and Yiyang City belong to “healthier”, Yueyang City and Changde City belong to “critical state”, Hengyang City belong to “unhealthy” state, and Loudi City affiliated to “ill”. In the future, the construction of urban ecological services in Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration should be strengthened so as to narrow the gap within the urban agglomeration and increase the overall level of urban ecosystem health.

Keywords: Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration; urban ecosystem health; entropy method; fuzzy comprehensive evaluation method

责任编辑: 范 适

英文校对: 王 芬