

# 山地城市生态基础设施评价研究

——以重庆都市区为例

秦 趣<sup>1</sup>, 张美竹<sup>1</sup>, 冯维波<sup>2</sup>

(1. 六盘水师范学院 生物与地理科学系, 贵州 六盘水 553004; 2. 重庆师范大学 地理科学学院, 重庆 400047)

**摘 要:**以大气系统、绿地系统和水文系统为依据,建立评价指标体系,采用层次分析法和模糊数学法构建评价模型,并以重庆都市区为例,对其生态基础设施质量状况进行实例研究。结果表明:重庆都市区生态基础设施质量状况在绿地系统和水文系统方面属于一般等级;大气系统方面属于较好等级;综合质量状况属于一般等级。

**关键词:**生态基础设施;评价指标;评价模型;重庆都市区

**中图分类号:**F062.2      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2012)01-0058-05

## Evaluation for Ecological Infrastructure in Mountainous the City

——Case of Chongqing Metropolis

QIN Qu<sup>1</sup>, ZHANG Mei-zhu<sup>1</sup>, FENG Wei-bo<sup>2</sup>

(1. Department of Biology & Geography Science, Liupanshui Normal College, Liupanshui, Guizhou 553004, China;  
2. College of Geography Science, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China)

**Abstract:** An evaluation index model was established by analytic hierarchy proces (AHP) fuzzy mathematics on the basis of air, greenbelt and water systems from the conception and connotation of ecological infrastructure. The quality of ecological infrastructure in Chongqing metropolis was examined by the model. The results showed that the quality of ecological infrastructure, comprehensive quality conditions, greenbelt and water system of Chongqing were in ordinary grade, the air system was in better grade. The comprehensive quality status was a general level.

**Key words:** ecological infrastructure; evaluation indicator; evaluation model; Chongqing metropolis

“生态基础设施”这一概念最早见于联合国教科文组织“人与生物圈计划(MAB)”的研究<sup>[1]</sup>。随后,许多学者从不同角度对此进行了阐述。1999年美国可持续发展总统委员会<sup>[2-3]</sup>、2001年马里兰州的绿图计划<sup>[4]</sup>等都对此进行过描述。在国内,俞孔坚教授认为,生态基础设施(EI)是城市可持续发展所依赖的自然系统,是维护城市生态安全和健康的关键性空间格局,是城市 and 居民获得持续自然服务(生态服务)的基本保障,是城市扩张和土地开发利用不

可触犯的刚性限制<sup>[5]</sup>。近年来,众多学者对城市生态基础设施从概念到方法及实施途径等方面系统地进行了研究<sup>[6-9]</sup>,但这些研究概念性和宏观性的研究内容多,而理论上无实质性突破,定量研究较少。本文以重庆都市区为例,拟结合定性和定量分析建立一套相对完整的评价指标体系和评价方法,初步探讨重庆都市区生态基础设施质量优劣的评价方法,划分重庆都市区生态基础设施优劣等级,以期重庆都市区的规划建设提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

重庆都市区包括渝中区、南岸区、沙坪坝区、大渡口区、九龙坡区、江北区、北培区、渝北区和巴南区共 9 个区,面积 5 495 km<sup>2</sup>,占全市总面积和 6.46%,2005 年常住人口 627.16 万,人口密度达到 1 141.3 人/km<sup>2</sup>,城市化水平达到 85%,GDP1 041.98 亿元,占全市的 39.1%,三产业结构比例为 5.4:51.2:43.4<sup>[10]</sup>。重庆都市区是长江上游的经济中心和我国内陆最大的山地城市,人类活动强烈,都市区强大的社会经济驱动与库尾段脆弱的生态环境相互作用,产生了一系列严重的生态环境灾害,如景观生态基质穿孔效应明显;生态系统的稳定性低,生态破坏后恢复性差;水土流失严重;地质灾害突出;热岛、浊岛效应明显;环境污染严重,自净能力差等<sup>[11]</sup>。因此,加强生态基础设施建设刻不容缓。

1.2 评价方法

1.2.1 评价指标的选择 生态基础设施建设的主要目标是维护城市生态安全 and 健康,使城市和居民获得可持续的自然服务,评价生态基础设施建设成效的指标体系也可以归纳到城市生态安全 and 健康的指标体系范畴<sup>[12]</sup>。生态基础设施的指标体系也有其自身特点,它更强调自然生态服务空间,包含了绿地系统、水文系统、大气系统、林业系统等。在这些系统中,有的指标具有相似性和重复性,为了避免指标间相关性,本文将林业系统合并到绿地系统<sup>[13-15]</sup>。以城市大气系统、绿地系统、水文系统为依据,提出评价城市生态基础设施的初级指标体系(图 1)。



图 1 城市生态基础设施评价指标体系  
Fig. 1 Evaluation index system for ecological infrastructure in the Chongqing metropolis

1.2.2 评价标准 参考国内外公认的生态城市、园林城市中与生态基础设施相关的各项指标为依据,将各项指标的最大值和最小值的差值等分确定每项指标的质量优劣等级,使评价标准分为很好、较好、一般、较差、极差等 5 个质量优劣等级,以各项指标的最大值作为质量很好等级的标准值,以各项指标的最小值作为质量极差等级的标准值,在前者的基础上逐级向下浮动 20%作为质量“较好”和“一般”的标准值,在后者的基础上逐级向上浮动 20%作为质量“一般”和“较差”的标准值,前后两次确定的“一般”标准值相互调整得到最终值<sup>[16-17]</sup>。在确定各项评价指标的标准值时,为了适应当前评价的要求,现拟定以下几项原则供制定标准值时参考:(1)凡已有国家标准或国际标准的指标,尽量采用规定的标准

表 1 城市生态基础设施评价指标分级标准和重庆都市区现状值

各指标分级标准								
级别	$D_1/\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	$D_2/\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	$D_3/\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	$D_4/\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	$D_5/\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	$D_6/\%$	$D_7/\%$	$D_8/\text{m}^{-2}$
很好 I	<0.10	<0.05	<0.02	<1.50	<0.05	>50	>45	>18
较好 II	0.10~0.20	0.05~0.08	0.02~0.04	1.50~2.00	0.05~0.08	45~50	40~45	14~18
一般 III	0.20~0.35	0.08~0.12	0.04~0.06	2.00~3.00	0.08~0.12	30~45	30~40	10~14
较差 IV	0.35~0.50	0.12~0.15	0.06~0.10	3.00~5.00	0.12~0.15	20~30	20~30	7~10
极差 V	>0.50	>0.15	>0.10	>5.00	>0.15	<20	<20	<7
重庆都市区	0.120	0.048	0.073	2.620	0.056	20.6	22.2	5.04

各指标分级标准							
级别	$D_9/\%$	$D_{10}/\%$	$D_{11}/\%$	$D_{12}/\%$	$D_{13}/\%$	$D_{14}/\%$	$D_{15}/\%$
很好 I	>20	>50	>20	95~100	95~100	>50	95~100
较好 II	15~20	45~50	15~20	85~95	85~95	45~50	85~95
一般 III	12~15	30~45	12~15	60~85	65~85	30~45	75~85
较差 IV	8~12	20~30	8~12	40~60	50~65	20~30	70~75
极差 V	<8	<20	<8	<40	<50	<20	<70
重庆都市区	10.82	30	10.7	100	97.3	22.2	93.7

\* 重庆都市区相关资料来源:2008 年重庆统计年鉴。

值;(2)参考国外具有良好特色的城市的现状值作为标准值;(3)参考国内城市的现状值,作趋势外推,确定标准值;(4)对那些目前统计数据不十分完整,但在指标体系中又十分重要的指标,在缺乏有关指标统计数据前,暂用类似指标替代<sup>[18]</sup>。根据以上原则,城市生态基础设施各指标分级标准列表 1。

1.3 评价模型

1.3.1 指标权重的确定 由于各指标因子在指标体系中的贡献不同,对生态基础设施的影响程度有差异,为了区分其对系统影响的差异性,本文采用层次分析法(AHP)来确定城市生态基础设施评价指标参数的权重<sup>[19-20]</sup>。按照评价指标体系确定的层次结构,根据 AHP 法要求,咨询有关专家意见,构成判断矩阵,获得各层次指标的权重值(表 2)。

表 2 重庆都市区生态基础设施评价指标权重

Table 2 Evaluation indicator weight of ecological infrastructure of Chongqing metropolis						
指标等级	指标名称	权重	指标名称	权重	指标名称	权重
一级指标	大气系统 $C_1$	0.307	绿地系统 $C_2$	0.382	水文系统 $C_3$	0.311
	$D_1$	0.313	$D_6$	0.091	$D_{12}$	0.055
二级指标	$D_2$	0.258	$D_7$	0.086	$D_{13}$	0.118
	$D_3$	0.127	$D_8$	0.101	$D_{14}$	0.564
	$D_4$	0.101	$D_9$	0.199	$D_{15}$	0.263
	$D_5$	0.201	$D_{10}$	0.341		
			$D_{11}$	0.182		

当  $x_i \geq r_{i5}$  时,

$$u_{i5}=1,u_{i1}=u_{i2}=u_{i3}=u_{i4}=0 \tag{2}$$

当  $r_{ij} \leq x_i \leq r_{ij+1}$  时,

$$u_{ij}=c_i-c_i \cdot \left| \frac{x_i-r_{ij}}{r_{ij+1}-r_{ij}} \right|,$$
$$u_{ij+1}=c_i \cdot \left| \frac{x_i-r_{ij}}{r_{ij+1}-r_{ij}} \right| \tag{3}$$

当  $x_i \leq r_{i1}$  时,

$$u_{i1}=1,u_{i2}=u_{i3}=u_{i4}=u_{i5}=0 \tag{4}$$

对负向指标其公式计算为:

当  $x_i \leq r_{i1}$  时,

$$u_{i1}=1,u_{i2}=u_{i3}=u_{i4}=u_{i5}=0 \tag{5}$$

当  $r_{ij+1} \leq x_i \leq r_{ij}$  时,

$$u_{ij}=c_i-c_i \cdot \left| \frac{x_i-r_{ij}}{r_{ij+1}-r_{ij}} \right|,$$
$$u_{ij+1}=c_i \cdot \left| \frac{x_i-r_{ij}}{r_{ij+1}-r_{ij}} \right|; \tag{6}$$

当  $x_i \geq r_{i5}$  时,

$$u_{i5}=1,u_{i1}=u_{i2}=u_{i3}=u_{i4}=0 \tag{7}$$

式中,  $u_{ij}$  为第  $i$  个指标对第  $j$  级标准的相对隶属度;  $c_i$  为第  $i$  个指标的权重系数;  $x_i$  为第  $i$  个指标的现状值;  $r_{ij}$  为第  $i$  个指标的第  $j$  级质量标准值。当  $1 \leq i \leq 5$  时,  $u_{ij}$  组成矩阵  $U_{1j}$ ; 当  $6 \leq i \leq 11$  时,  $U_{ij}$  组成矩阵  $u_{2j}$ ; 当  $12 \leq i \leq 15$  时,  $U_{ij}$  组成矩阵  $u_{3j}$ 。

1.3.2 建立评价模型 应用模糊数学方法拟定的城市生态基础设施质量评价模型为  $Z=C \cdot U$ 。其中  $Z$  为城市生态基础设施评价结果,  $C$  为 3 个评价要素(大气系统、绿地系统、水文系统)对总体质量的权重矩阵,  $C=(C_1,C_2,C_3)$ 。  $U$  为各生态基础设施评价要素对各级标准的隶属度矩阵<sup>[22]</sup>:

$$U=\begin{bmatrix} U_{11} & U_{12} & U_{13} & U_{14} & U_{15} \\ U_{21} & U_{22} & U_{23} & U_{24} & U_{25} \\ U_{31} & U_{32} & U_{33} & U_{34} & U_{35} \end{bmatrix} \tag{1}$$

其中:  $U_{mm}$  为第  $m$  个评价要素对第  $n$  级标准的隶属度矩阵元素,  $m=3, n=5$ 。相对隶属度的计算主要分正向指标和负向指标 2 种计算方法, 等级标准值取范围的平均值。

对正向指标其计算公式为:

2 结果与分析

将重庆都市区各指标值代入评价模型, 再根据相对隶属度的计算公式, 得到各要素矩阵为:

$$U=\begin{bmatrix} 0.035 & 0.302 & 0.284 & 0.203 & 0.176 \\ 0.047 & 0.106 & 0.319 & 0.303 & 0.225 \\ 0.176 & 0.097 & 0.317 & 0.147 & 0.263 \end{bmatrix}$$

通过各要素隶属度矩阵看出, 重庆都市区生态基础设施质量状况大气系统属于较好等级的隶属度最大( $U=0.302$ ), 绿地系统属于一般等级的隶属度最大( $U=0.319$ ), 水文系统属于一般等级的隶属度最大( $U=0.317$ ), 那么按照隶属度最大原则, 重庆都市区生态基础设施质量在大气系统方面属于较好等级, 绿地系统和水文系统属于一般等级(图 2)。

为对重庆都市区生态基础设施综合质量状况进行评价, 先根据  $C_1、C_2、C_3$  对  $EI$  的权重值组成权重矩阵:  $C=(0.307 \quad 0.382 \quad 0.311)$ , 然后利用评价模型  $Z=C \cdot U$  计算, 即

$$Z=(0.307 \quad 0.382 \quad 0.311) \times \begin{bmatrix} 0.035 & 0.302 & 0.284 & 0.203 & 0.176 \\ 0.047 & 0.106 & 0.319 & 0.303 & 0.225 \\ 0.176 & 0.097 & 0.317 & 0.147 & 0.263 \end{bmatrix}$$

由矩阵相乘得出重庆都市区生态基础设施质量

状况的概率值:很好的概率为 8.34%,较好的概率为 16.33%,一般的概率为 30.76%,较差的概率为 22.39%,极差的概率为 22.18%,按照最大隶属度原则,重庆都市区生态基础设施质量状况属于一般等级,且有向较差等级发展的趋势(图 3)。

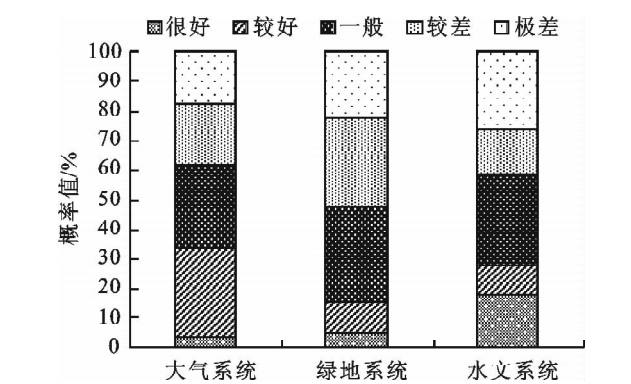


图 2 重庆都市区生态基础设施各要素评价结果

Fig. 2 Evaluation results of individual factors of ecological infrastructure of Chongqing metropolis

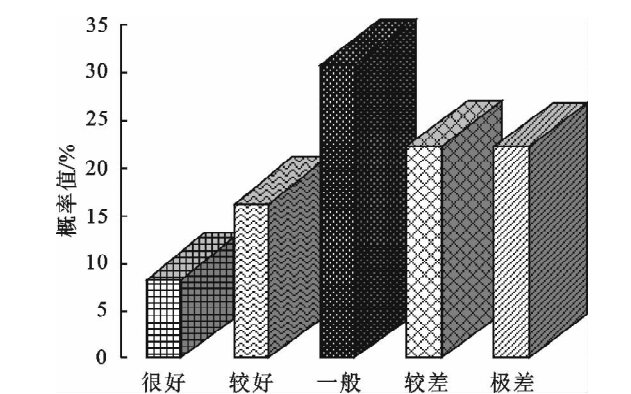


图 3 重庆都市区生态基础设施综合评价结果

Fig. 3 Evaluation results of general ecological infrastructure of Chongqing metropolis

### 3 讨论与结论

对重庆都市区生态基础设施进行评价分析,结果表明,重庆都市区生态基础设施质量状况大气系统方面属于较好等级,绿地系统和水文系统方面属于一般等级,综合质量状况属于一般等级。

(1)都市区生态基础设施质量状况大气系统方面属于较好等级,这主要是因为随着都市区功能的转变,“退二进三”(退第二产业进第三产业)政策的实施,都市区钢铁厂、化工厂等企业相继迁出,使得大气系统质量较好。但是,大气污染仍然存在,治理率不高,反弹势头强劲,因此不能盲目乐观,应当在巩固当前成果的同时,加强各种污染的综合治理,继续提高大气质量从而推进生态基础设施建设。

(2)都市区生态基础设施质量状况绿地系统方面属于一般等级,这主要是因为都市区城市绿化覆盖率低,人均绿地面积少,保护区面积占土地总面积

的比重过低,在都市区不断扩大过程中,对原有绿地的破坏较为严重,而建成区绿地率又不高,从而导致绿地系统质量一般。因此,在以后的城市建设过程中,应该应用“反规划”原理,在城市规划各种建设用地之前,先行规划和设计城市生态基础设施,再行安排城市各种建设用地。这样不仅可以有效的保护原有的绿地系统,还可以在先行规划和设计的控制区域内大量增加绿地面积,从而提高绿地系统质量<sup>[23]</sup>。

(3)都市区生态基础设施质量状况水文系统方面属于一般等级,主要原因为:一方面,传统工业污水排放较多,乱排乱放现象严重;另一方面,重庆直辖以来,城市化迅速过快,城市人口急剧膨胀,生活污水排放过多,而城市污水处理率较低,导致水文系统质量一般。因此,应当强化企业排污的处理,改善城市环境,加强生态基础设施建设 对传统工业应逐渐改变产业结构、制定严格的工业排污标准、进行积极有效的监督,以减轻对环境带来的污染负荷,必须进行有效污染控制,以帮助其逐步恢复并防止大规模扩散,在经济发展的同时必须对产业结构进行合理调整,大力发展第三产业,并提高城市污水处理率,进行完善的生态基础设施建设,促使其逐步恢复。同时,控制人口增长,减轻密集的人口对生态基础设施建设造成的压力。

本文构建的评价指标体系,是基于重庆都市区的研究,从多个备选指标中筛选出来的,其科学性还有待进一步探讨。

### 参考文献:

[1] BOHEMEN H. Habitat fragmentation, infrastructure and ecological engineering[J]. Ecological engineering, 1998, 29 (11):199-207.

[2] AHERN J. Greenways as a planning structure[J]. Landscape and Urban Planning, 1995,25(33):131-155.

[3] LITTLE C. Greenways for America[M]. New York: John Hopkins University Press,1990.

[4] RANDOLPH J. Environmental land use planning and management[M]. Baltimore, Maryland: Island Press, 2004.

[5] 俞孔坚. “反规划”途径[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2005.

[6] 张景春,徐建洲,徐志强. 浅谈张家口市生态基础设施建设[J]. 河北建筑工程学院学报,2004,22(4):80-82.

ZHANG J C, XU J Z, XU Z Q. Concerning developments of the ecological infrastructure in Zhangjiakou[J]. Journa of Hebei Institute of Architectural Engineering, 2004,22(4):80-82.

[7] 沈莉莉,柏益尧,左玉辉. 城市景观生态规划:生态基础设施建设与人文生态设计——以常州市为例[J]. 四川环境,2006,25 (2):71-74.

SHEN L L, BAI Y Y, ZUO Y H. Ecological planning of urban landscape: ecological infrastructure construction and hu-

manistic ecology design—in the case of Changzhou city[J]. Sichan Environment, 2004, 22(4):80-82.

[8] 朱强,李迪华,方婉丽. 基于生态基础设施的格网城市模式——台州市永宁江中心段城市设计[J]. 城市规划, 2005, 29(9):81-84.

ZHU Q, LI D H, FANG W L. Reinterpretation of the grid city: urban design of the central section of Yongning Jiang River in Taizhou[J]. City Planning Review, 2005, 29(9): 81-84.

[9] 滕明君,周志翔,王鹏程,等. 快速城市化生态基础设施结构特征与调控机制[J]. 北京林业大学学报, 2006, 28(增刊): 105-110.

TENG M J, ZHOU Z J, WANG P C, *et al.* Landscape structure features of urban ecological infrastructure under rapid urbanization and adjusting mechanism[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2006, 28(sup):105-110.

[10] 重庆市统计局. 重庆统计年鉴(2008)[M]. 北京:中国统计出版社, 2008.

[11] 苏维词. 重庆都市圈可持续发展面临的生态系统问题及保障措施[J]. 水土保持研究, 2006, 13(1):45-47.

SU W C. Analysis on problems of ecological system health of chongqing metropolis and their countermeasures [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2006, 13(1):45-47.

[12] 秦趣,冯维波,梁振民,等. 我国四大直辖市生态基础设施品质对比研究[J]. 华中师范大学学报:自然科学版, 2008, 42(3): 471-476.

QIN Q, FENG W B, LANG Z M, *et al.* Study on evaluation characteristics of ecological infrastructure in four municipalities directly under the central government of China[J]. Journal of HUAZHONG Normal University: Natural Science Edition, 2008, 42(3):471-476.

[13] 王华,苏春海. 水资源可持续利用指标体系研究[J]. 排灌机械. 2003, 21(1):33-36.

WANG H, SU C H. Study on the Index system for assessing the sustainable utilization water resources[J]. Drainage and Irrigation Machinery, 2003, 21(1):33-36.

[14] 张坤民,温宗国,杜斌,等. 生态城市与指标体系[M]. 北京:化学工业出版社, 2003.

[15] 任德智,刘悦翠. 区域森林资源健康评价指标体系研究[J]. 西北林学院学报, 2007, 22(2):194-199.

REN D Z, LIU Y C. A Study on index system about health assessment of regional forest resources[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2007, 22(2):194-199.

[16] 曾勇,沈根祥,黄沈发,等. 上海城市生态系统健康评价[J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14(2):208-212.

ZENG Y, SHEN G X, HUAG S F, *et al.* Assessment of urban ecosystem health in Shanghai[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2005, 14(2):208-212.

[17] 官冬杰,苏维词. 城市生态系统健康评价方法及其应用研究[J]. 环境科学学报, 2006, 26(10):1716-1722.

GUAN D J, SU W C. Study on evaluation method for urban ecosystem health and its application[J]. Acta Scientiae Circum stantiae, 2006, 26(10):1716-1722.

[18] 李亚兰,陈志新,王佳运. 多级模糊模式识别模型在地质环境质量评价中的应用[J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(4): 90-93.

LI Y L, CHEN Z X, WANG J Y. Application of multi-classification fuzzy pattern recognition model in geological environment quality assessment[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2004, 26(4):90-93.

[19] 宋永昌,戚仁海,由文辉,等. 生态城市的指标体系与评价方法[J]. 城市环境与城市生态, 1999, 12(10):16-19.

SONG Y C, QI R H, YOU W H, *et al.* A study on indices system and assessment criterion of eco-city[J]. Urban Environment & Urban Ecology, 1999, 12(10):16-19.

[20] 刘祥梅,郭志华,肖文发,等. 基于GIS的三峡库区生态环境综合评价Ⅱ. 气候评价[J]. 自然资源学报, 2007, 22(7):613-622.

LIU X M, GUO Z H, XIAO W F, *et al.* Integrated assessment of eco-environment in the three gorges reservoir area based on GIS and DEM[J]. Journal of Natural Resources, 2007, (7):613-622.

[21] 杨泽元,王文科,马雄德,等. 秃尾河流域表生生态环境现状评价[J]. 地球科学与环境学报, 2006, 28(3):87-91.

YANG Z Y, WANG W K, MA X D, *et al.* Assessment of present state on super gene eco-environment in Tuwei River Watershed[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2006, 28(3):87-91.

[22] 冯宝成. 模糊数学实用集粹[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 1991.

[23] 陈洁,郎薇薇,田国行. 城市规模对于绿地系统构建的影响[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(5):199-202.

CHEN J, LANG W W, TIAN G H. Impacts of the city size on construction of urban green space [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010, 25(5):199-202.