

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第17期 Vol.32 No.17 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 17 期

2012 年 9 月 (半月刊)

目 次

基于生物生态因子分析的长序榆保护策略.....	高建国,章 艺,吴玉环,等 (5287)
闽江口芦苇沼泽湿地土壤产甲烷菌群落结构的垂直分布.....	余晨兴,仝 川 (5299)
涡度相关观测的能量闭合状况及其对农田蒸散测定的影响.....	刘 渡,李 俊,于 强,等 (5309)
地下滴灌下土壤水势对毛白杨纸浆林生长及生理特性的影响.....	席本野,王 焯,邸 楠,等 (5318)
绿盲蝽危害对枣树叶片生化指标的影响.....	高 勇,门兴元,于 毅,等 (5330)
湿地资源保护经济学分析——以北京野鸭湖湿地为例.....	王昌海,崔丽娟,马牧源,等 (5337)
湿地保护区周边农户生态补偿意愿比较.....	王昌海,崔丽娟,毛旭峰,等 (5345)
湿地翅碱蓬生物量遥感估算模型.....	傅 新,刘高焕,黄 翀,等 (5355)
增氮对青藏高原东缘典型高寒草甸土壤有机碳组成的影响.....	郑娇娇,方华军,程淑兰,等 (5363)
大兴安岭 2001—2010 年森林火灾碳排放的计量估算.....	胡海清,魏书精,孙 龙 (5373)
基于水分控制的切花百合生长预测模型.....	董永义,李 刚,安东升,等 (5387)
极端干旱区增雨加速泡泡刺群落土壤碳排放.....	刘殿君,吴 波,李永华,等 (5396)
黄土丘陵区土壤有机碳固存对退耕还林草的时空响应.....	许明祥,王 征,张 金,等 (5405)
小兴安岭 5 种林型土壤呼吸时空变异	史宝库,金光泽,汪兆洋 (5416)
疏勒河上游土壤磷和钾的分布及其影响因素.....	刘文杰,陈生云,胡凤祖,等 (5429)
COII 参与茉莉酸调控拟南芥吲哚族芥子油苷生物合成过程	石 璐,李梦莎,王丽华,等 (5438)
Gash 模型在黄土区人工刺槐林冠降雨截留研究中的应用	王艳萍,王 力,卫三平 (5445)
三峡水库消落区不同海拔高度的植物群落多样性差异.....	刘维湄,王 杰,王 勇,等 (5454)
基于 SPEI 的北京低频干旱与气候指数关系	苏宏新,李广起 (5467)
山地枣树茎直径对不同生态因子的响应.....	赵 英,汪有科,韩立新,等 (5476)
幼龄柠条细根的空间分布和季节动态	张 帆,陈建文,王孟本 (5484)
山西五鹿山白皮松群落乔灌木层的种间分离.....	王丽丽,毕润成,闫 明,等 (5494)
长期施肥对玉米生育期土壤微生物量碳氮及酶活性的影响.....	马晓霞,王莲莲,黎青慧,等 (5502)
基于归一化法的小麦干物质积累动态预测模型.....	刘 娟,熊淑萍,杨 阳,等 (5512)
上海环城林带景观美学评价及优化策略	张凯旋,凌焕然,达良俊 (5521)
旅游风景区旅游交通系统碳足迹评估——以南岳衡山为例.....	窦银娣,刘云鹏,李伯华,等 (5532)
一种城市生态系统现状评价方法及其应用.....	石惠春,刘 伟,何 剑,等 (5542)
黄海中南部细纹狮子鱼的生物学特征及资源分布的季节变化.....	周志鹏,金显仕,单秀娟,等 (5550)
蓝藻堆积和螺类牧食对苦草生长的影响.....	何 虎,何宇虹,姬娅婵,等 (5562)
黑龙江省黄鼬冬季毛被分层结构及保温功能.....	柳 宇,张 伟 (5568)
虎纹蛙选择体温和热耐受性在个体发育过程中的变化	樊晓丽,雷焕宗,林植华 (5574)
水丝蚓对太湖沉积物有机磷组成及垂向分布的影响	白秀玲,周云凯,张 雷 (5581)
专论与综述	
城市绿地生态评价研究进展.....	毛齐正,罗上华,马克明,等 (5589)
全球变化背景下生态学热点问题研究——第二届“国际青年生态学者论坛”	万 云,许丽丽,耿其芳,等 (5601)
研究简报	
雅鲁藏布江高寒河谷流动沙地适生植物种筛选和恢复效果.....	沈渭寿,李海东,林乃峰,等 (5609)
学术信息与动态	
生态系统服务时代的来临——第五届生态系统服务伙伴年会述评	吕一河,卫 伟,孙然好 (5619)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 334 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 36 * 2012-09	



封面图说: 带雏鸟的白枕鹤一家——白枕鹤是一种体型略小于丹顶鹤的优美的鹤。体羽蓝灰色,腹部较深,背部较浅,脸颊两侧红色,头和颈的后部及上背为白色,雌雄相似。其虹膜暗褐色,嘴黄绿色,脚红色。白枕鹤常常栖息于开阔平原芦苇沼泽和水草沼泽地带,有时亦出现于农田和海湾地区,尤其是迁徙季节。主要以植物种子、草根、嫩叶和鱼、蛙、软体动物、昆虫等为食。繁殖区在我国北方和西伯利亚东南部。我国白枕鹤多在黑龙江、吉林、内蒙古繁殖,与丹顶鹤的繁殖区几乎重叠,为国家一级保护动物。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201112221951

石惠春, 刘伟, 何剑, 刘鹿, 师晓娟, 万海滢. 一种城市生态系统现状评价方法及其应用. 生态学报, 2012, 32(17): 5542-5549.

Shi H C, Liu W, He J, Liu L, Shi X J, Wan H Y. An urban ecosystem assessment method and its application. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(17): 5542-5549.

一种城市生态系统现状评价方法及其应用

石惠春^{1,2}, 刘 伟^{1,*}, 何 剑¹, 刘 鹿¹, 师晓娟¹, 万海滢¹

(1. 西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730070; 2. 兰州大学资源与环境学院, 兰州 730000)

摘要:生态城市建设是未来城市发展的最终趋势。从结构、功能、活动、发展演化规律等方面来看,城市生态系统都可以被看作一个动态变化的系统。将可持续发展理论引入到城市生态系统现状评价中,提出和解释了城市生态系统可持续发展概念;从可持续发展的角度,评价城市生态系统的现状,建立城市生态系统可持续发展评价指标体系。在此基础上,利用集对分析方法,将评价城市生态系统可持续发展水平的多个指标系统合成一个与最优评价集的相对贴适度,用来描述城市生态系统可持续发展水平,并将该方法应用于兰州市城市生态系统现状评价。结果表明,在 2004—2010 年间,兰州市城市生态系统可持续发展水平呈现折线型关系,而且有明显的陡降现象。具体变化趋势是从 2004 年的 0.5081 平缓上升到 2005 年的 0.5581,然后陡降到 2006 年的 0.4073,接着平缓上升直到 2009 年的 0.5010,最后平缓下降到 2010 年的 0.4706。尽管不同时期城市生态系统可持续发展水平有所变化,但是总体来说,一直处在基本可持续发展的水平,协调程度一般;该评价方法能够很好的反映城市生态系统的发展现状,为建设生态城市提供科学依据。

关键词:可持续发展;城市生态系统现状评价;集对分析;兰州市

An urban ecosystem assessment method and its application

SHI Huichun^{1,2}, LIU Wei^{1,*}, HE Jian¹, LIU Lu¹, SHI Xiaojuan¹, WAN Haiying¹

1 College of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China

2 College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

Abstract: The concept of an eco-city is the ultimate trend for future cities. Supported by the principles of ecology and sustainable development theory, an eco-city is a sustainable urban area developed and designed to create a regional natural city environment. An eco-city is an artificial ecosystem featuring a clean and desirable environment compatible with continuous economic improvement. An eco-city is beneficial to human health, prosperity, social harmony and progress, and it allows for expanding opportunities and is full of complexity. Urbanization continues to increase along with the development of human society, civilization and the economy. Prosperity also brings ecological and environmental problems to cities, such as climate change, pollution, energy shortages, ecological damage and the disruption and destruction of local communities, all of which seriously threaten the health of urban ecosystems. In general, people have started to look at cities from the perspective of maintaining a balance between ecological integrity and sustainable development. The construction of eco-cities has gradually become a global focus point. Urban ecological systems are complex with natural, economic and social subsystems. The primary functions of urban ecosystems are to provide the human residents with satisfactory and productive lives, and with entertainment and local transportation. The characteristics of urban ecosystems are: (1) they are mainly artificial man-made ecosystems, (2) they are incomplete ecosystems, and (3) there is an obvious flow of human harnessed energy in urban ecosystems. The structure and characteristics of urban ecosystems determine their basic function. Because urban ecosystems are similar to natural ecosystems, urban ecosystems have the functions of production, energy flow,

基金项目:国家自然科学基金项目(41161022);甘肃省科技支撑计划项目(090NKCA075)

收稿日期:2011-12-22; **修订日期:**2012-06-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lw200611402030@126.com

material cycling, and information transmission. Because urban production includes economic and biological production, and economic production includes the city's main social processes, the basic functions of urban ecosystems are much more complex than those of natural ecosystems. Urban ecosystems achieve their basic functions through energy flow and material cycling. It is easy to see that urban ecosystems are dynamic based on aspects of the structure, function, activities, and the evolution of urban ecosystems. This paper introduces the concept of sustainable development theory and explains how this theory can be used to assess urban ecosystems and explains the concept of urban ecosystem sustainable development. Urban ecosystems are assessed from the viewpoint and concept of sustainable development and an indicator system is established based on this concept. The Set Pair Analysis Method (SPAM) is used to assess the level of sustainable development in urban ecosystems. SPAM can be used to combine multiple sustainable development indices to optimize a finely tuned degree of sustainable development. The application of this method in Lanzhou City, Gansu Province shows that during 2004—2010, the level of sustainable development in this urban ecosystem fluctuated and sometimes obviously declined. The overall trend of change gently rose from 0.5081 in 2004 to 0.5581 in 2005, declined rapidly to 0.4073 in 2006, rose uniformly and slowly to 0.5010 until 2009, and then declined to 0.4706 in 2010. Despite these changes in sustainable development over time in this urban ecosystem, the overall level of sustainable development slowly increased. Also, the assessment results indicate this method can easily reflect changes to the development of sustainable urban ecosystems, and can provide a scientific basis for the construction of an eco-city.

Key Words: sustainable development; urban ecosystem assessment; set pair analysis; Lanzhou City

城市是经济发展和生态环境保护冲突最激烈的地方。城市在耀眼的繁荣景象背后,也面临着气候变化、环境污染、能源匮乏、生态破坏、文明被毁等各种生态环境问题,城市生态系统的健康受到严重威胁。目前,常用的城市生态系统现状评价方法包括城市生态系统健康评价、城市生态承载力评价、城市生态足迹分析、城市生态系统服务功能价值评估等^[1]。城市生态系统是一个动态变化的系统,经历着由简单到复杂,从低级到高级的过程。现在城市生态系统发展到什么水平或处于哪个阶段,不得而知。鉴于此,引入可持续发展理论进行城市生态系统现状评价,宏观地反映城市生态系统的发展现状。

1 城市生态系统可持续发展

1.1 城市生态系统动态变化

从结构、功能、活动、发展演化规律等方面来看,城市生态系统都可以被看作一个动态变化的系统。土地、交通、建筑、能源、资源、人口等构成城市生态系统的基本结构要素。这些结构要素相互作用、分工明确,通过连续的物流、能流、信息流、货币流和人口流来维持城市生态系统的正常运作,最终实现城市生态系统的生长、发展及自我更新的演化过程。本质上,城市具有类似于生命体(如人)的发展演化规律。近代研究已证明,从宏观角度看,城市化 S 曲线与生物生长 S 曲线非常相似^[2]。具体地说,就是城市生态系统通过自身的生态过程,经历着从出现(城市的产生)、到发展(城市规模的扩大)、到成熟(城市的良性快速发展)、到衰落(城市的衰败甚至消失)的过程。

1.2 可持续发展理论的引入

上面定性地描绘了城市生态系统动态变化的过程。可持续发展理论是经济、社会和生态可持续发展的综合统一体,可持续发展要求在保护环境、节约资源和控制人口的前提下实现经济的发展,即人类在发展中不仅要追求经济利用,还要追求生态和谐和社会公平,最终实现全面发展^[3]。城市生态系统是由自然子系统、经济子系统、社会子系统组成的复合生态系统^[4]。为了对城市生态系统现状作出评价,进而有针对性地对其进行调控和管理,使城市生态系统处于最佳状态。为此,引入可持续发展理论对城市生态系统现状进行评价,宏观地反映城市生态系统的发展状况。城市生态系统可持续发展可以理解为自然子系统、经济子系统、社会子系统三者保持高度和谐的过程。自然可持续是基础,经济可持续是动力,社会可持续是目标。三者相互影响,相互作

用,协调发展,促进城市生态系统可持续发展。为了全面评价整个城市生态系统的发展状况,采用多指标综合评价方法进行评价。具体到操作层面,首先选取合适的描述各个子系统的指标来反映每个子系统的发展状态,然后以一定方式综合为整个城市生态系统发展状态。

2 城市生态系统可持续发展评价

2.1 评价指标体系

城市生态系统可持续发展包括了不同子系统的信息。在制定指标过程中,遵循可持续发展、系统性、动态性、可操作性等原则,参考城市可持续发展指标、生态城市指标、城市生态系统健康指标等^[3,5-7],提出了初始评价指标体系。应用 SPSS for Windows13.0 统计软件对数据进行处理,经主成分分析,从初始指标中选择 28 个评价指标(表 1)。

表 1 城市生态系统可持续发展评价指标体系

Table 1 Indicator system of urban ecosystem sustainable development

系统 System	要素指标 Factor index	具体指标 Concrete index	权重 Weight
自然子系统 Natural subsystem	资源条件及利用	1) 人均生活用水量(L/d)	0.0098
		2) 人均公共绿地面积(m ² /人)	0.0068
		3) 人均道路面积(m ² /人)	0.0263
		4) 建成区绿化覆盖率(%)	0.0051
		5) 森林覆盖率(%)	0.0174
	生态环境质量与安全	6) 空气质量优良率(%)	0.0107
		7) 出现浮尘及扬沙天气(天数)	0.1662
		8) 工业废水排放达标率(%)	0.0001
		9) 二氧化硫排放量(万吨)	0.0070
		10) 工业废水排放量(万吨)	0.0435
		11) 工业固体废弃物产生量(万吨)	0.2529
经济子系统 Economic subsystem	经济发展	12) 人均 GDP(万元)	0.0544
		13) GDP 增长率(%)	0.0026
	经济结构	14) 第三产业占 GDP 比例(%)	0.0005
		15) 第二产业增长率(%)	0.0181
	经济竞争力	16) 全社会固定资产投资占 GDP 比例(%)	0.0088
		17) 第三产业从业人员比例(%)	0.0067
		18) 出口总额占 GDP 比例(%)	0.0808
		19) 城镇人口登记失业率(%)	0.0077
社会子系统 Social subsystem	社会公平	20) 农村与城市居民人均收入差异	0.0012
		21) 万人拥有高等学校学生数(人)	0.2084
	科学与教育	22) 万人专业技术人员数(人)	0.0008
		23) 千人拥有医院床位数(张)	0.0412
	人群健康	24) 千人拥有卫生技术人员	0.0045
		25) 市中心区人口密度(万人/km ²)	0.0005
		26) 恩格尔系数	0.0004
		27) 城镇居民人均住房面积(m ² /人)	0.0034
	生活质量	28) 万人拥有公交数(标台)	0.0142

2.2 评价模型

构建了适宜的评价指标体系之后,选用某种适当的数学方法进行综合评价。常用的有加权法和层次分析法、逼近理想解的排序方法和数据包络分析等。在现有的城市生态系统现状评价研究中,大多通过设立每一个指标的标准,在计算过程中或者在得出评价结果后参照此标准,对城市生态系统现状进行评价。但是,城

市生态系统是一个动态变化的系统,极难确定处于哪种状态,或者说没有一个固定的、唯一的标准状态。鉴于集对分析方法能对不确定性系统描述^[8-9],并已在多属性评价中得到广泛的应用^[10-11],将该方法引入到城市生态系统可持续发展评价中。

2.2.1 集对分析方法

集对分析是关于确定及不确定系统的同、异、反定量分析的系统分析方法。其核心思想是在某一具体问题背景下,系统分析和处理客观事物的确定性联系和不确定性联系^[8]。设根据问题 W 的需要,对由集合 A 和 B 组成的集对 H 展开分析,共得到 N 个特性,其中有 S 个特性为两个集合所共有,这两个集合在另外的 P 个特性上相对立,在其余的 $F=N-S-P$ 个特性上既不对立、又不同一。则在不计各特性权重的情况下,两个集合的联系度表达式如下:

$$\mu(W) = \frac{S}{N} + \frac{F}{N}i + \frac{P}{N}j \quad (1)$$

式中, S/N 为集合 A 与 B 在问题 W 下的同一度; F/N 为差异度; P/N 为对立度。

通常式(1)被简写为式(2),即集对联系度表达式为:

$$\mu = a + bi + cj \quad (2)$$

式中, μ 为联系度; i 为差异度系数,取值于 $[-1, 1]$, i 取 -1 与 1 时,都是确定性的, i 在 $-1 \rightarrow 1$ 之间变化时,随着 $i \rightarrow 0$,不确定性明显增加; j 为对立度系数,取恒值为 -1 ; a 、 b 、 c 分别为两个集合的同一度、差异度及对立度。这种刻划是对确定性与不确定性的定量描述,其中 a 、 c 是相对确定的,而 b 是相对不确定的。

2.2.2 函数构建

利用集对分析方法开展可持续发展水平相对状况评价,具体的计算步骤^[12-14]如下:

(1) 设多属性评价问题(此处为基于可持续发展水平的城市生态系统现状评价问题) $Q = \{S, M, H\}$, 式中 S 为评价区域时间集,表达为 $\{s_k\}$, s_k 表示第 k 个年份, $k=1, 2, \dots, p$; M 为指标集,表达为 $\{m_r\}$, m_r 表示第 r 个指标, $r=1, 2, \dots, n$ 。

通常 M 有不同的类型指标,分别是正向型指标(记为 M_1)和负向型指标(记为 M_2)两种。在本文的评价模型中,城镇人口登记失业率、农村与城市居民人均收入差异、市中心区人口密度、恩格尔系数、出现浮尘及扬沙天气、二氧化硫排放量、工业废水排放量、工业固体废弃物产生量 8 个指标为负向型指标,其他 20 个指标为正向型指标;则基于集对分析的关于问题 Q 的决策矩阵 $H = (h_{kr})_{p \times n}$, h_{kr} 表示为时间段 s_k 关于指标 m_r 的属值。

(2) 由各评价指标中最优指标构成最优评价集 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 和最劣指标构成最劣指标集 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$, 其中, u_r 、 v_r 分别为指标 m_r 的最优值和最劣值。

(3) 针对每一时间段 s_k , 计算指标 m_r 与 u_r 、 v_r 的同一隶属度 a_{kr} 和对立隶属度 c_{kr} , 对于 $m_r \in M_1$, 比较区间为 $[v_r, u_r]$, 则在论域 $X_r = \{h_{kr}, u_r, v_r\}$, ($k=1, 2, \dots, p$) 上定义集对 $\{h_{kr}, u_r\}$ 的同一隶属度 a_{kr} 和对立隶属度 c_{kr} :

$$a_{kr} = \frac{h_{kr}}{u_r + v_r} \quad (3)$$

$$c_{kr} = \frac{h_{kr}^{-1}}{v_r^{-1} + v_r^{-1}} = \frac{u_r v_r}{(u_r + v_r) h_{kr}} \quad (4)$$

式中, a_{kr} 和 c_{kr} 分别表示 h_{kr} 与 u_r 、 v_r 的接近程度。同理, 对于 $m_r \in M_2$ 在比较区间 $[u_r, v_r]$ 得到集对同一隶属度 a_{kr} 和对立隶属度 c_{kr} :

$$a_{kr} = \frac{h_{kr}^{-1}}{v_r^{-1} + v_r^{-1}} = \frac{u_r v_r}{(u_r + v_r) h_{kr}} \quad (5)$$

$$c_{kr} = \frac{h_{kr}}{u_r + v_r} \quad (6)$$

(4) 在 s_k 的比较空间 $[U, V]$ 中, 结合各项指标的权重, 计算平均同一隶属度 a_k 和平均对立隶属度 c_k :

$$a_k = \sum_{r=1}^n w_r a_{kr} \quad (7)$$

$$c_k = \sum_{r=1}^n w_r c_{kr} \quad (8)$$

(5) 计算 s_k 与 u 的相对联系度 r_k , r_k 值越大, 表示状况越好, 即城市生态系统可持续发展水平与最优评价集的贴进度越大, 城市生态系统状况越好:

$$r_k = \frac{a_k}{a_k + c_k} \quad (9)$$

为全面地分析城市生态系统可持续发展程度的相对情况, 根据可持续发展的内涵, 评价城市生态系统可持续发展的程度可以从两个方面来体现: 发展的水平即水平状态和发展的质量及协调程度。发展是城市生态系统本身的一个简单到复杂, 从低级到高级的过程, 协调则反映了在这个过程中各个子系统之间的和谐程度。

本文前面已经对城市生态系统可持续发展水平做了分析, 现对城市生态系统可持续发展协调度进行分析。可持续发展水平记为 L , 可持续发展协调度的具体计算可用下式来表示:

$$C = 1 - \frac{S}{\frac{1}{3}(r_{k1} + r_{k2} + r_{k3})} \quad (10)$$

式中, C 为可持续发展协调度, S 为样本空间 $\{r_{k1}, r_{k2}, r_{k3}\}$ 的标准差, r_{k1}, r_{k2}, r_{k3} 分别为自然子系统、经济子系统、社会子系统的可持续发展水平与最优评价集的相对贴进度 r_k 值。3 个子系统可持续发展水平计算原理和步骤与计算城市生态系统可持续发展水平一样, 只是每个子系统下包含的指标集与整个城市生态系统包含的指标集不同而已。从上式可看出, C 值与 r_k 变化趋势一致。

2.2.3 权重确定

目前常用的权重确定方法有主观赋权法和客观赋权法两种。主观赋权法有层次分析法、功效系数法、模糊评价法、专家调查法等。客观赋权法有因子分析法、主成分分析法、熵权法。为尽量减少主观因素对各指标相对重要程度的影响, 本文采用熵权法^[15]计算。

(1) 数据标准化处理。将数据归一化处理:

$$a_{kr} = \frac{q_{kr}}{q_r} \quad (11)$$

由此得到数据的归一化矩阵 $A = \{a_{kr}\}_p$ 。其中, 正向型指标 $q_{kr} = \frac{h_{kr}}{h_r'}$, ($h_r' = \max(h_{kr})$); 负向型指标 $q_{kr} =$

$$\frac{h_r'}{h_{kr}} (h_r' = \min(h_{kr})); q_r = \sum_{k=1}^p q_{kr}。$$

(2) 计算第 r 项指标的熵值:

$$e_r = -\frac{1}{\ln p} \sum_{k=1}^p a_{kr} \ln a_{kr} \quad (12)$$

(3) 计算第 r 项指标的冗余度:

$$d_r = 1 - e_r \quad (13)$$

(4) 计算第 r 项指标权重:

$$w_r = \frac{dr}{\sum_{r=1}^n dr} \quad (14)$$

以上各式中, h_{kr}, p, k, n, r 的含义与集对分析模型中各式意义相同。

3 城市生态系统现状评价实例

运用本文提出的评价方法, 对兰州市 2004—2010 年城市生态系统现状进行评价。

3.1 评价指标权重系数

根据 2005—2011 年《兰州统计年鉴》收集到 2004—2010 年兰州市相关数据,利用(11)—(14)式得到各指标权重系数,见表 1 最后一列。由表 1 可知,权重排名前 7 的指标分别为:工业固体废弃物产生量、万人拥有高等学校学生数、出现沙尘及浮尘天气、出口总额占 GDP 比例、人均 GDP、工业废水排放量和千人拥有医院床位数;其中反映自然子系统的有 3 个,反映经济子系统的有 2 个,反映社会子系统的有 2 个。这 7 个指标覆盖全面,并且数量分布也比较平均,这也从另一面体现了模型和指标选择的合理性和科学性。

3.2 评价结果

3.2.1 兰州市城市生态系统可持续发展水平

根据收集到的各指标数据和权重系数,利用(3)—(9)式,计算出各年被评价城市生态系统可持续发展水平与最优评价集的相对贴近度 r_k 值(表 2),从而得出基于可持续发展水平的城市生态系统相对情况。

表 2 兰州市城市生态系统可持续发展水平相对情况

Table 2 The relative situation of urban ecosystem sustainable development level of Lanzhou City

项目 Item	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
a_k	0.4905	0.5300	0.3770	0.4223	0.4625	0.5009	0.4655
c_k	0.4869	0.4198	0.5486	0.5371	0.4463	0.4813	0.5236
r_k	0.5018	0.5581	0.4073	0.4402	0.5089	0.5100	0.4706

a_k 、 c_k 和 r_k 分别表示各年被评价城市生态系统可持续发展水平与最优评价集的平均同一隶属度、平均对立隶属度和相对贴近度

从图 1 可以看出,在 2004—2010 年间,兰州市城市生态系统可持续发展水平(r_k)呈现折线型关系,而且有明显的陡降现象。具体变化趋势是平缓上升(2004—2005)、陡降(2005—2006 年)、平缓上升(2006—2009 年)、平缓下降(2009—2010 年)。主要原因,在 2004 年到 2010 年间,随着西部大开发等一系列政策的深入推进,产业结构不断优化,兰州市经济持续快速增长,全市国民生产总值从 500.25 亿元增加到 1100.39 亿元,7a 间增长 1 倍多,年平均增长率保持在 11.89% 左右,全社会固定资产投资不断增加,人均 GDP 不断提高,到 2010 年达到 34011 元,全市居民生活水平逐渐提高,恩

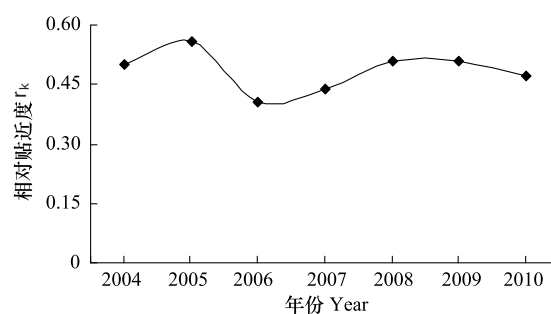


图 1 兰州市城市生态系统可持续发展水平相对变化趋势

Fig. 1 The relative change trend of urban ecosystem sustainable development level of Lanzhou City

格尔系数在降低,居民拥有住房面积有所增加。经济的快速发展使得城市生态环境压力愈来愈大,空气质量一直是兰州城市发展的重要制约因素。整体上兰州城市生态系统可持续发展水平年际变化不大,明显的波谷出现在 2006 年,兰州市出现沙尘及浮尘天气达 13d,比 2005 年高出 2 倍还多,另外其他权重较大指标,如万人拥有高等学校学生数和千人拥有医院床位数都处在最低水平,城镇人口登记失业率达最高的 3.3%,兰州市城市生态系统可持续发展水平出现较大幅度下降。

3.2.2 兰州市城市生态系统可持续发展协调度

在计算出各个子系统可持续发展水平的基础上,利用(10)式,得到兰州市城市生态系统可持续发展协调度,具体结果见表 3。

3.2.4 兰州市城市生态系统可持续发展综合分析

由上面可知,可持续发展水平和可持续发展协调度都是与最优评价集的相对贴近度 r_k 值,在 0—1 之间变化。各具体指标值越接近最优评价指标值, L 值就越接近 1,说明被评价对象发展水平越高,反之亦然;同理,各具体指标值越接近最优评价指标值, C 值就越接近 1,说明 3 个子系统关系越协调,被评价对象发展质量越高,反之亦然(图 2)。

表 3 兰州市城市生态系统可持续发展协调度相对情况

Table 3 The relative situation of urban ecosystem sustainable development coordinate degree of Lanzhou City							
项目 Item	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
r_{k1}	0.5630	0.5440	0.5258	0.5623	0.5443	0.3935	0.6303
r_{k2}	0.3101	0.3561	0.2971	0.2987	0.5508	0.6822	0.7060
r_{k3}	0.5830	0.6657	0.4324	0.4798	0.4762	0.4580	0.3012
S	0.2325	0.2332	0.1928	0.1986	0.2128	0.2236	0.2611
C	0.5210	0.5533	0.5392	0.5555	0.5936	0.5625	0.5217

r_{k1} 、 r_{k2} 、 r_{k3} 分别为自然子系统、经济子系统、社会子系统的可持续发展水平与最优评价集的相对贴近度 r_k 值, C 为可持续发展协调度, S 为样本空间 $\{r_{k1}, r_{k2}, r_{k3}\}$ 的标准差

为了便于观察,宏观地反映城市生态系统现状情况,在分析已有研究的基础上^[16-17],结合现阶段中国城市实际发展的情况,初步将可持续发展水平和可持续发展协调度在 $[0,1]$ 内划分为6类,并给出相关的描述,见表4。

由上面可知,兰州市城市生态系统处于基本可持续发展的水平,协调程度一般。原因是,从具体指标看,工业废水排放量、市区人均公共绿地面积、建成区绿化覆盖率、城镇居民人均住房面积、人均GDP、GDP增长率、万人拥有高等学校学生数、千人拥有医院床位数等指标均向着可持续方向发展;但是工业固体废弃物产生量在波动中不断增加,出现浮尘及扬沙天气天数波动大、很 不稳定,市中心区人口密度一直持续增长,城镇人口登记失业率居高不下(维持在3.1%左右),农村与城市居民人均收入差异有不断扩大的趋势。总的来说,兰州市城市生态系统显示出在经济子系统较强的可持续发展趋势和自然子系统、社会子系统较弱的可持续发展趋势。

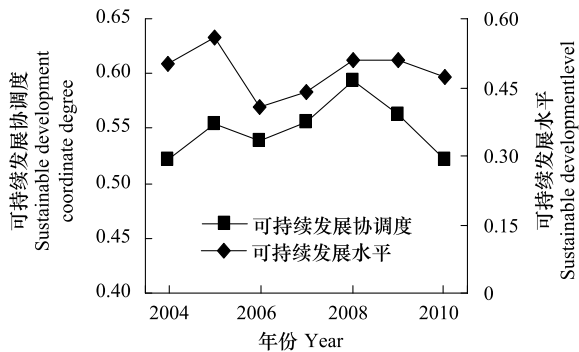


图 2 兰州市城市生态系统可持续发展程度相对变化趋势
Fig.2 The relative change trend of urban ecosystem sustainable development degree of Lanzhou City

表 4 可持续发展程度分类等级
Table 4 Classification grade of sustainable development degree

分类等级 Classification grade	0—0.1	0.1—0.2	0.2—0.4	0.4—0.6	0.6—0.9	0.9—1.0
发展水平描述 Description of development level	衰退	不可持续	弱可持续	基本可持续	良好可持续	强可持续
协调程度描述 Description of coordinate degree	严重失调	中度失调	勉强协调	一般协调	良好协调	优质协调

4 讨论

(1)引入可持续发展理论到城市生态系统现状评价中来评价城市生态系统发展现状,是一种新的研究方向的探索。用已有理论结合实际问题进行研究,还有很多方面需要完善。

(2)今后可以在城市生态系统可持续发展研究的基础上,进行因子分析,确定影响城市生态系统可持续发展的限制因子,掌握城市生态系统生态过程的调控方法,为城市生态建设以及进一步的生态城市建设提供科学的依据。

5 结论

(1)从结构、功能、活动、发展演化规律等方面来看,城市生态系统都可以被看作一个动态变化的系统。经历着由简单到复杂,从低级到高级的过程。为了对城市生态系统的现状做出评价,从而有针对性地对其进行调控和管理,以期达到城市生态系统的最佳状态。基于此,引入可持续发展理论进行城市生态系统现状评价,

直观地反映城市生态系统的发展现状。

(2)城市生态系统是一个动态变化的系统,极难确定处于哪种状态,或者说没有一个固定的、唯一的标准状态。鉴于集对分析方法能对不确定性系统描述,并已在多属性评价中得到广泛的应用,将该方法引入到城市生态系统可持续发展评价中。

(3)采用集对分析,结合权重系数,计算出兰州市 2004—2010 年各年被评价城市生态系统可持续发展水平与最优评价集的相对贴适度,按照划定的等级标准,对城市生态系统现状进行了评价。结果表明,兰州市城市生态系统处于基本可持续发展的水平,协调程度一般。

References:

- [1] Yang Z F, He M C, Mao X Q, Yu J S, Wu Q Z. Programming for Urban Ecological Sustainable Development. Beijing: Science Press, 2004.
- [2] Huang G H, Chen B, Qin X S. Study of diagnosing, preventing and controlling illnesses of modern cities. Journal of Xiamen University of Technology, 2006, 14(3): 1-10.
- [3] Ju M T, Wang Y, Meng W Q, He Y. Theory and Practice for Construction of Eco-City. Beijing: Chemical Industry Press, 2007: 89-94.
- [4] Wang R S. Toward ecopolis: urban ecology and its development strategy. Journal of City and Planning, 1991, 18(1): 1-17.
- [5] Qian Y, Tang X Y. Environmental Protection and Sustainable Development. Beijing: Higher Education Press, 2010: 190-192.
- [6] Yang R J, Shu J M. Construction and Plan of Eco-City. Beijing: Economy Daily Press, 2007: 155-160.
- [7] Su M R, Yang Z F, Chen B, Zhao Y W, Xu L Y. The vitality index method for urban ecosystem assessment. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(10): 5141-5148.
- [8] Zhao K Q, Xuan A L. Set pair theory: a new theory method of non-define and its applications. Systems Engineering, 1996, 14(1): 18-23, 72-72.
- [9] Jiang Y L, Xu C F, Yao Y, Zhao K Q. Systems information of in set pair analysis and its applications//Proceedings of the Third International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Shanghai: IEEE, 2004: 1717-1722.
- [10] Wang D, Zhu Y S, Zhao K Q. Research and application of model based on set pair analysis and fuzzy set theory for evaluation of water eutrophication. Hydrology, 2004, 24(3): 9-13, 41-41.
- [11] Jiang Y L, Zhuang Y T, Li Z X, Cao H P. Application of set pair analysis in urban planning project comprehensive evaluation//Proceedings of the Fourth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Guangzhou: IEEE, 2005: 2267-2271.
- [12] Chen Y, Wang W S, Wang J Y, Chen J. Urban sustainable development assessment based on set pair analysis. Yellow River, 2010, 32(1): 11-13.
- [13] Su M R, Yang Z F, Chen B. Urban ecosystem health assessment based on vitality index and set pair analysis. China Population Resources and Environment, 2010, 20(2): 122-128.
- [14] Su F, Zhang P Y. Vulnerability assessment of petroleum city's economic system based on set pair analysis: a case study of Daqing city, 2010, 65(4): 454-464.
- [15] Zhou W H, Wang R S. An entropy weight approach on the fuzzy synthetic assessment of Beijing urban ecosystem health, China. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(12): 3244-3251.
- [16] Yang Y F, Shi P J. Study on evaluation of coordinative development of urban sustainable development system in Gansu province. Economic Geography, 2011, 31(1): 66-71.
- [17] Zhang X K, An X M. Empirical analysis for Beihai's capacity of urban sustainable development. China Population Resources and Environment, 2011, 21(6): 37-43.

参考文献:

- [1] 杨志峰,何孟常,毛显强,鱼京善,吴乾钊.城市生态可持续发展规划.北京:科学出版社,2004.
- [2] 黄国和,陈冰,秦肖生.现代城市病诊断、防治与生态调控的初步构想.厦门理工学院学报,2006,14(3):1-10.
- [3] 鞠美庭,王勇,孟伟庆,何迎.生态城市建设的理论与实践.北京:化学工业出版社,2007:89-94.
- [5] 钱易,唐孝炎.环境保护与可持续发展.北京:高等教育出版社,2010:190-192.
- [6] 杨荣金,舒俭民.生态城市建设与规划.北京:经济日报出版社,2007:155-160.
- [7] 苏美蓉,杨志峰,陈彬,赵彦伟,徐琳瑜.城市生态系统现状评价的生命力指数.生态学报,2008,28(10):5141-5148.
- [8] 赵克勤,宣爱理.集对论——一种新的不确定性理论方法与应用.系统工程,1996,14(1):18-23,72-72.
- [10] 王栋,朱元珩,赵克勤.基于集对分析和模糊集合论的水体营养化评价模型的应用研究.水文,2004,24(3):9-13,41-41.
- [12] 陈媛,王文圣,汪嘉杨,陈晶.基于集对分析的城市可持续发展评价.人民黄河,2010,32(1):11-13.
- [13] 苏美蓉,杨志峰,陈彬.基于生命力指数与集对分析的城市生态系统健康评价.中国人口·资源与环境,2010,20(2):122-128.
- [14] 苏飞,张平宇.基于集对分析的大庆市经济系统脆弱性评价.地理学报,2010,65(4):454-464.
- [15] 周文华,王如松.基于熵权的北京城市生态系统健康模糊综合评价.生态学报,2005,25(12):3244-3251.
- [16] 杨银峰,石培基.甘肃省城市可持续发展系统协调发展评价研究.经济地理,2011,31(1):66-71.
- [17] 张协奎,安晓明.北海市城市可持续发展能力分析.中国人口·资源与环境,2011,21(6):37-43.

CONTENTS

Conservation strategies for <i>Ulmus elongata</i> based on the analysis of biological and ecological factors	GAO Jianguo, ZHANG Yi, WU Yuhuan, et al (5287)
Vertical distribution of methanogen community structures in <i>Phragmites australis</i> marsh soil in the Min River estuary	SHE Chenxing, TONG Chuan (5299)
Energy balance closure and its effects on evapotranspiration measurements with the eddy covariance technique in a cropland	LIU Du, LI Jun, YU Qiang, TONG Xiaojuan, et al (5309)
Effects of soil water potential on the growth and physiological characteristics of <i>Populus tomentosa</i> pulpwood plantation under subsurface drip irrigation	XI Benye, WANG Ye, DI Nan, et al (5318)
Physiological indices of leaves of jujube (<i>Zizyphus jujuba</i>) damaged by <i>Apolygus lucorum</i>	GAO Yong, MEN Xingyuan, YU Yi, et al (5330)
Economic analysis of wetland resource protection: a case study of Beijing Wild Duck Lake	WANG Changhai, CUI Lijuan, MA Muyuan, et al (5337)
Comparative studies on the farmers' willingness to accept eco-compensation in wetlands nature reserve	WANG Changhai, CUI Lijuan, MAO Xufeng, et al (5345)
Remote sensing estimation models of <i>Suaeda salsa</i> biomass in the coastal wetland	FU Xin, LIU Gaohuan, HUANG Chong, LIU Qingsheng (5355)
Effects of N addition on soil organic carbon components in an alpine meadow on the eastern Qinghai-Tibetan Plateau	ZHENG Jiaojiao, FANG Huajun, CHENG Shulan, et al (5363)
Estimating carbon emissions from forest fires during 2001 to 2010 in Daxing'anling Mountain	HU Haiqing, WEI Shujing, SUN Long (5373)
Predicting the effects of soil water potential on the growth of cut lily	DONG Yongyi, LI Gang, AN Dongsheng, et al (5387)
Rain enrichment-accelerated carbon emissions from soil in a <i>Nitraria sphaerocarpa</i> community in hyperarid region	LIU Dianjun, WU Bo, LI Yonghua, et al (5396)
Response of soil organic carbon sequestration to the "Grain for Green Project" in the hilly Loess Plateau region	XU Mingxiang, WANG Zheng, ZHANG Jin, et al (5405)
Temporal and spatial variability in soil respiration in five temperate forests in Xiaoxing'an Mountains, China	SHI Baoku, JIN Guangze, WANG Zhaoyang (5416)
Distributions pattern of phosphorus, potassium and influencing factors in the upstream of Shule river basin	LIU Wenjie, CHEN Shengyun, HU Fengzu, et al (5429)
COI1 is involved in jasmonate-induced indolic glucosinolate biosynthesis in <i>Arabidopsis thaliana</i>	SHI Lu, LI Mengsha, WANG Lihua, et al (5438)
Modeling canopy rainfall interception of a replanted <i>Robinia pseudoacacia</i> forest in the Loess Plateau	WANG Yanping, WANG Li, WEI Sanping (5445)
The differences of plant community diversity among the different altitudes in the Water-Level-Fluctuating Zone of the Three Gorges Reservoir	LIU Weiwei, WANG Jie, WANG Yong, et al (5454)
Low-frequency drought variability based on SPEI in association with climate indices in Beijing	SU Hongxin, LI Guangqi (5467)
Response of upland jujube tree trunk diameter to different ecological factors	ZHAO Ying, WANG Youke, HAN Lixin, et al (5476)
The spatial distribution and seasonal dynamics of fine roots in a young <i>Caragana korshinskii</i> plantation	ZHANG Fan, CHEN Jianwen, WANG Mengben (5484)
Interspecific segregation of species in tree and shrub layers of the <i>Pinus bungeana</i> Zucc. ex Endl. community in the Wulu Mountains, Shanxi Province, China	WANG Lili, BI Runcheng, YAN Ming, et al (5494)
Effects of long-term fertilization on soil microbial biomass carbon and nitrogen and enzyme activities during maize growing season	MA Xiaoxia, WANG Lianlian, LI Qinghui, et al (5502)
A model to predict dry matter accumulation dynamics in wheat based on the normalized method	LIU Juan, XIONG Shuping, YANG Yang, et al (5512)
Optimization strategies and an aesthetic evaluation of typical plant communities in the Shanghai Green Belt	ZHANG Kaixuan, LING Huanran, DA Liangjun (5521)
Carbon footprint evaluation research on the tourism transportation system at tourist attractions; a case study in Hengshan	DOU Yindi, LIU Yunpeng, LI Bohua, et al (5532)
An urban ecosystem assessment method and its application	SHI Huichun, LIU Wei, HE Jian, et al (5542)
Seasonal variations in distribution and biological characteristics of snailfish <i>Liparis tanakae</i> in the central and southern Yellow Sea	ZHOU Zhipeng, JIN Xianshi, SHAN Xiujuan, et al (5550)
Effects of cyanobacterial accumulation and snail grazing on the growth of <i>vallisneria natans</i>	HE Hu, HE Yuhong, JI Yachan, et al (5562)
The structure and thermal insulation capability of <i>Mustela sibirica manchurica</i> winter pelage in Heilongjiang Province	LIU Yu, ZHANG Wei (5568)
Ontogenetic shifts in selected body temperature and thermal tolerance of the tiger frog, <i>Hoplobatrachus chinensis</i>	FAN Xiaoli, LEI Huanzong, LIN Zhihua (5574)
The influence of tubificid worms bioturbation on organic phosphorus components and their vertical distribution in sediment of Lake Taihu	BAI Xiuling, ZHOU Yunkai, ZHANG Lei (5581)
Review and Monograph	
Research advances in ecological assessment of urban greenspace	MAO Qizheng, LUO Shanghua, MA Keming, et al (5589)
Ecological hot topics in global change on the 2 nd International Young Ecologist Forum	WAN Yun, XU Lili, GENG Qifang, et al (5601)
Scientific Note	
Screening trial for the suitable plant species growing on sand dunes in the alpine valley and its recovery status in the Yarlung Zangbo River basin of Tibet, China	SHEN Weishou, LI Haidong, LIN Naifeng, et al (5609)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 17 期 (2012 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 17 (September, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元