

DOI: 10.5846/stxb201502160364

孙晓, 刘旭升, 李锋, 陶宇. 中国不同规模城市可持续发展综合评价. 生态学报, 2016, 36(17): - .

Sun X, Liu X S, Li F, Tao Y. Comprehensive evaluation of sustainable development for different scale cities in China. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(17): - .

## 中国不同规模城市可持续发展综合评价

孙 晓<sup>1</sup>, 刘旭升<sup>2</sup>, 李 锋<sup>1,\*</sup>, 陶 宇<sup>1</sup>

1 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085

2 国家林业局调查规划设计院, 北京 100714

**摘要:**城市是一类社会—经济—自然复合生态系统,城市的可持续发展指标体系和评价方法是衡量城市经济、社会、环境状况及可持续发展能力的重要手段。采用全排列多边形综合图示法,以中国 277 个地级及地级以上城市为研究对象,建立了不同规模城市的可持续发展指标体系,包括经济发展、社会进步、生态环境 3 类 24 项指标,对其 2000—2010 年的可持续发展能力进行了综合评价。研究表明:从不同城市规模类型间横向对比分析来看,随着城市规模的增大,经济发展、社会进步和可持续发展综合指数相应提高,生态环境指数却随之下降。从不同规模城市类型内的时间序列分析对比来看,2000—2010 年不同规模城市的经济发展、社会进步、生态环境指数各个方面均有显著提高,可持续发展综合指数也伴随着提升。并且,巨大特大型城市在生态环境保护方面提高幅度最大;大型城市在社会进步方面提高幅度最大;中小型城市在经济发展和可持续发展综合能力方面提高幅度最大。但截止到 2010 年,不同规模城市的可持续发展综合指数均为 III 级,可持续发展能力仅处于一般水平。探究了中国不同规模的城市可持续发展过程中面临的诸多问题,然后提出相应的对策建议,为今后的新型城市化建设提供参考。

**关键词:**复合生态系统;城市化;可持续发展;指标体系;综合评价

## Comprehensive evaluation of sustainable development for different scale cities in China

SUN Xiao<sup>1</sup>, LIU Xusheng<sup>2</sup>, LI Feng<sup>1,\*</sup>, TAO Yu<sup>1</sup>

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 Chinese Academy of Forest Inventory and Planning, State Forestry Administration, Beijing 100714, China

**Abstract:** Cities are complex socio-economic-natural ecosystems that have the highest concentration of people and their activities. Implementation of sustainable development is the necessary approach to urbanization. Sustainable urban development can be monitored using an indicator system that accounts for both the socio-economic development and environmental protection. We used 277 cities at prefecture level or above and a municipality directly under the central government in China as case studies to develop an indicator system for sustainable development of different scale cities that comprised 24 indicators in three themes: economic development, social progress, and eco-environmental protection. The capacity for sustainable development of the 277 cities from 2000 to 2010 was evaluated using the full permutation polygon synthetic indicator method. The comparison among different scale cities showed that the larger the city scale, the higher the levels of economic development and social progress and the better the comprehensive capacity for sustainable development, but the worse the level of eco-environmental protection. Concurrently, the overall level of the eco-environmental protection was the worst of the three categories for all city scales. The cities clearly did not observe the same degree of resource

基金项目:国家自然科学基金面上项目(71273254)

收稿日期:2015-02-16; 网络出版日期:2015-00-00

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lifeng@rcees.ac.cn

conservation and environmental protection as they did for economic development and social progress. This was a common problem that different scale cities faced during the urbanization in the past 10 years. Furthermore, the comparison within different scale cities from 2000 to 2010 revealed that the indicator values for economic development, social progress, and eco-environmental protection of different scale cities increased significantly in the same period. Similarly, the comprehensive capacity for sustainable development of different scale cities also increased. Additionally, during the 10-year period, the megalopolises had the greatest increase in eco-environmental protection, whereas the large cities had the greatest increase in social progress. The small or medium-sized cities experienced the greatest increase in economic development and comprehensive sustainability capacity. These results indicated that the increase in city scale decreases the potential to improve comprehensive capacity for sustainable development. Therefore, China should focus more on promoting the development of small and medium-sized cities. However, by 2010, the indicator values for comprehensive capacity for sustainable development of megalopolises, large cities, and small and medium-sized cities were 0.40, 0.29, and 0.25, respectively (where a value of 1 represents complete sustainable development). The sustainability level was only moderate. This illustrated that different scale cities in China are facing many problems in the process of sustainable development and implementation of certain measures is required to guide future urbanization in China. In terms of economic development, it is necessary for cities to adjust the economic and industrial structure, raise the proportion of tertiary industry, promote the development of green and low-carbon industries, and build a more sustainable economy. In terms of social progress, government should improve the social management system and guarantee the rationality and fairness of education and healthcare resource allocation. As for environmental protection, we should promote the upgrade of environmental technology, reduce the energy consumption, and increase the investment in environmental pollution control. Attaining sustainable development requires simultaneous balanced development in economic, social, and environmental areas. Under such scenario, we can establish a new urbanization model that will lead us toward sustainable development.

**Key Words:** complex ecosystems; urbanization; sustainable development; indicator systems; comprehensive evaluation

城市是人类活动最密集的区域,城市将各种社会的、经济的、环境的、文化的因素与冲突融为一体,形成一类社会—经济—自然复合生态系统<sup>[1]</sup>。中国的城市人口比例从 1978 年的 17% 激增至 2010 年的 50%<sup>[2]</sup>,城市化在给人们带来经济和社会效益、改善生活水平同时带来了一系列的生态环境问题,例如城市化导致物种丰富度减少<sup>[3]</sup>、水质恶化<sup>[4]</sup>、能源消耗、资源困乏、热岛效应<sup>[5]</sup>、空气污染<sup>[6]</sup>、基础设施不完善、交通堵塞<sup>[7]</sup>等。

自 1992 年在巴西里约热内卢召开联合国环境与发展大会以来,国际社会陆续积极推动实施了各种可持续发展计划和议程。1994 年中国通过了《中国 21 世纪议程》,提出了促进经济、社会、资源和环境相互协调的可持续发展战略目标。目前,中国已成为世界第二大经济体和最大的能源消费国与碳排放国,中国的城市化对全球生态环境的影响举足轻重。因此,实行可持续发展是中国城市化发展的必由之路<sup>[8-10]</sup>,也是国际形势的迫切需求。

目前,可持续发展指标体系和评价方法的研究是一项世界性的普遍课题。国内外有关城市的可持续发展评价方法和评价指标体系的研究有很多,但仍旧没有形成统一的指标体系和评价方法。一些国际组织也都有各自的可持续发展指标体系,例如联合国可持续发展委员会(UNCSD)依据“21 世纪议程”设计了 134 个指标构成的指标体系,它包含 23 个经济指标,41 个社会指标,55 个环境指标以及 15 个系统指标;世界银行的可持续发展指标体系综合了自然资本、社会资产、人力资源和社会资源四组要素。国家尺度上,德国、芬兰等把重点放在项目上;英国主要集中在社会方面,建立了“生活质量评估”的可持续发展指标体系;瑞典等国则是从效率、公平和参与、适应性、价值和给后代的资源 4 个方面出发构建指标体系;中国作为一个发展中国家,坚持从自己的实际情况出发,构建有中国特色的可持续发展指标体系<sup>[11]</sup>。国内的可持续发展研究也一直是热点,

目前的研究区域多针对全国各省和直辖市、单个或者某几个城市<sup>[12-13]</sup>、生态城市<sup>[14-15]</sup>或城市社区<sup>[16]</sup>,例如王如松等针对扬州市从发展状态、发展动态和发展实力 3 个方面进行了可持续发展评价<sup>[17]</sup>;王爱辉等从经济、社会与环境协调发展角度构建的评价指标体系<sup>[18]</sup>;袁晓玲等从经济发展、社会发展和人口、资源与环境发展角度评价了陕西省的城镇化可持续发展水平<sup>[19]</sup>。评价方法则主要包括层次分析法<sup>[20]</sup>、德尔菲法<sup>[21]</sup>、环境可持续发展指数法<sup>[22]</sup>、生态足迹法<sup>[23]</sup>、能值分析法<sup>[24-26]</sup>、生态网络分析法<sup>[27]</sup>、指标体系综合评价法<sup>[28]</sup>、数据包络分析方法<sup>[29]</sup>和基于场景分析的评估模型<sup>[30]</sup>等。

本研究主要从经济发展、社会进步、生态环境三个方面建立了 2000—2010 年全国不同规模 277 个城市(包括地级和地级以上城市、直辖市)的可持续发展评价指标体系。采用全排列多边形综合图示法<sup>[31]</sup>对不同规模城市可持续发展能力进行综合评估。进一步发掘中国各个城市可持续发展过程中所面临的诸多问题,从而提出相应的调控对策,为今后的新型城市化建设提供借鉴和参考。

## 1 研究区域及方法

### 1.1 城市划分

本研究以城市规模为依据进行综合评估和比较研究,城市的空间尺度范围一般为市区及部分市辖县。目前我国对大中小城市规模概念尚未有统一定论,本研究参考《中小城市绿皮书》<sup>[32]</sup>,结合目前中国城市人口规模现状,将全国地级及地级以上城市划分为巨大、特大型城市(大于 300 万),大型城市(100 万-300 万),中小城市(100 万以下)三类,研究对象包括 20 个巨大特大型城市、105 个大型城市、152 个中小城市。

### 1.2 构建指标体系

城市的可持续发展评价指标体系应反映城市的经济、社会、资源、环境各方面的发展状况。依据科学性原则、独立性原则、客观性原则、易获得性原则<sup>[33]</sup>,选取的指标数据库包含了全国不同规模 277 个城市关于经济发展、社会进步、生态环境等方面的 24 项指标,并建立了相应的指标体系(表 1)。

表 1 全国不同规模城市可持续发展评价指标体系

Table 1 An evaluation indicator system for cities with different scales

一级指标	二级指标	三级指标	下限值 L	临界阈值 T	上限值 U	
1 <sup>st</sup> level indicator	2 <sup>nd</sup> level indicator	3 <sup>rd</sup> level indicator	Lower limit	Critical threshold	Upper limit	
可持续发展综合能力 of urban sustainable development	经济发展	1 人均国内生产总值/万元	0.5	2.7	7.3	
		2 人均地方财政收入/千元	0.2	2.3	7.5	
		3 人均固定资产投资/万元	0.2	1.7	5.3	
	社会进步	社会进步	4 第二产业比重/%	28.6	50.1	70.2
			5 第三产业比重/%	25.7	41.6	59.6
			6 人均工业产值/万元	0.2	4.6	16.1
			7 人均社会消费品零售总额/万元	0.3	1.4	3.6
			8 城市居民年人均收入/万元	0.4	1.2	2.3
			9 年末总人口/万人	31.3	126.0	340.9
			10 非农业人口所占比重/%	19.4	60.9	95.4
			11 市区人口密度/千人/平方公里	0.1	1.1	2.9
			12 每万人拥有中专及中学人数/千人	0.5	0.7	1.3
			13 每百人公共图书馆藏书/(册、件)	9.0	69.3	204.4
			14 每万人拥有医生数/人	10.5	27.9	50.1
			15 人均道路面积/平方米	2.2	8.0	17.6
			16 每万人拥有公共汽电车/辆	1.1	6.6	15.3
			17 人均居住面积/平方公里	8.0	21.5	45.6
			18 自然增长率/%	-0.4	6.0	15.0
生态环境	生态环境	19 每平方公里工业二氧化硫排放量的倒数/(1/吨)	0.005	0.4	0.8	

续表

一级指标	二级指标	三级指标	下限值 L	临界阈值 T	上限值 U
		20 工业废水排放达标率/%	45.0	86.5	100.0
		21 人均绿地面积/平方米	5.0	31.9	74.1
		22 建成区绿化覆盖率/%	14.0	33.9	46.5
		23 人均生态用地/平方米	2.5	24.9	74.5
		24 人均生活用电量的倒数/(1/千瓦时)	0.001	0.004	0.01

指标数据主要来源于 2001 年、2006 年、2011 年的《中国城市统计年鉴》和《环境统计年鉴》，部分缺失数据来源于中国经济与社会发展统计数据库 (<http://tongji.cnki.net/kns55/>)。指标数据来源一致，从而保证了各个城市数据的可比性。

本研究中将 2000 年、2005 年和 2010 年三个年份全国不同规模城市的各个单项指标值从小到大进行排列，依次取 5% 处的值、均值和 95% 处的值作为相应指标的下限值、临界阈值和上限值。其中，依据整体的指标数据分布特点，选取均值作为临界阈值，可以保证阈值两侧数据分布的均衡性。另外，取 5% 和 95% 处的值分别作为下限值和上限值，可以消除极值带来的影响。

### 1.3 研究方法

本研究测度各类城市的可持续发展水平时，所采用的指标处理和综合评价方法是全排列多边形综合图示法<sup>[31]</sup>。在该方法中，以  $n$  个指标（标准化后的值）的上限值为半径构成一个中心  $n$  边形，各指标值的连线构成构成一个不规则  $n$  边形，这个不规则  $n$  边形的顶点是这些指标的首尾相接的全排列。 $n$  个指标共可以构成  $(n-2)!/2$  个不同的不规则中心  $n$  边形，综合指数定义为所有这些不规则多边形面积的均值与中心多边形面积的比值。

指标的标准化计算公式为：

$$S_i = \frac{(U_i - L_i)(X_i - T_i)}{(U_i + L_i - 2 \cdot T_i)X_i + U_i \cdot T_i + L_i \cdot T_i - 2 \cdot U_i L_i} \quad (1)$$

式中， $S_i$  表示第  $i$  个三级指标的标准化值， $X$  为各个三级指标原始值， $U$  为指标  $X$  的上限， $L$  为指标  $X$  的下限， $T$  为指标  $X$  的临界值。0。

利用  $n$  个指标可以作出一个中心正  $n$  边形， $n$  边形的  $n$  个顶点为  $S_i = 1$  时的值，中心点为  $S_i = -1$  时的值，中心点到顶点的线段为各指标标准化值所在区间，而  $S_i = 0 (X_i = T)$  时构成的多边形为指标的临界区。临界区的内部区域表示各指标的标准化值在临界值以下，其值为负；外部区域表示个指标的标准化值在临界值以上，其值为正（图 1）。从这个多边形的示意图既可以看到各单项指标的大小及其最大、最小和临界值的差距和随时间的变化动态，又可以从各指标两两组成的  $n(n-2)/2$  个三角形计算其综合指标值。

全排列多边形综合指数计算公式为：

$$S = \frac{\sum_{i \neq j}^{ij} (S_i + 1)(S_j + 1)}{2 \cdot n \cdot (n - 1)} \quad (2)$$

式中， $S_i$  和  $S_j$  表示同一个二级指标目录下第  $i$  个和第  $j$  个三级指标的标准化值。 $S$  为二级综合指标值，即经济发展、社会进步、生态环境指数值。同样可以将综合指标标准化再计算以  $S$  为次级指标的更上一级指标值（可持续发展综合指数）。

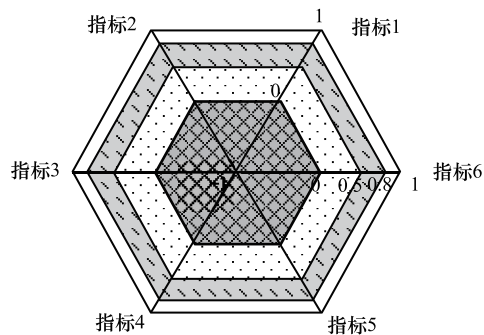


图 1 全排列多边形综合图示法示意图

Fig.1 Full Permutation Polygon Synthesis Illustration method

为了定性表示城市的可持续发展能力,本研究采用了一个4级分级表<sup>[15]</sup>(表2)。

表2 城市可持续发展能力分级标准  
Table 2 Classification scheme for the sustainability capacity

等级 Grade	指数值 Value	定性评价 Qualitative evaluation
I	>0.75	可持续发展能力优良
II	0.5—0.75	可持续发展能力较好
III	0.25—0.5	可持续发展能力一般
IV	<0.25	可持续发展能力较差

## 2 结果与分析

### 2.1 不同城市规模类型间的横向对比分析

#### 2.1.1 经济发展综合评价

随着城市规模的增大,城市的经济发展水平相应提高。其中,巨大特大型城市的经济发展指数为0.38,处于III级水平;大型城市的经济发展指数为0.23,中小型城市的经济发展指数为0.19,均处于IV级水平。不同规模城市经济发展的具体指标规律为:城市规模越大,第二产业所占比重越小,除此之外,其他具体指标的规律均与整体经济发展规律相同。说明规模越小的城市,工业占城市产业更大的比重,第三产业发展更加不成熟(图2,图3)。

#### 2.1.2 社会进步综合评价

随着城市规模的增大,城市的社会发展水平也相应提高。巨大特大型城市的社会进步指数为0.34,处于III级水平;大型城市的社会进步指数为0.23,中小型城市的社会进步指数为0.18,均处于IV级水平。不同规模城市社会进步的具体指标规律为:城市规模越大,自然增长率和每万人拥有的中专及中学人数这两个指标值越小,除此之外,其他各项社会进步的具体指标规律均与社会进步规律相同。说明规模大的城市,其自身的户籍人口数量比规模小的城市增长得慢,但是外来常住人口的数量却很多(图2,图3)。

#### 2.1.3 生态环境综合评价

总体上来看,全国不同规模城市所呈现出来的生态环境特点是规模越大的城市,其生态环境质量指数越低,污染也相对越严重。巨大特大型城市的生态环境指数为0.12,大型城市的生态环境指数为0.14,中小型城市的生态环境指数为0.16,三者均处于IV级水平。不同规模城市生态环境的具体指标规律为:城市规模越大,工业废水排放达标率、人均绿地面积、建成区绿化覆盖率、每平方公里二氧化硫排放量、人均生活用电量指标值也相应越高,但人均生态用指标值越小。说明城市规模越大,其废水处理和绿化效果越好,大气污染越严重,人均消耗电量越多,且市区建设用地面积也越大,并相应导致人均生态用地越少(图2,图3)。

#### 2.1.4 可持续发展能力综合评价

全国不同规模的城市可持续发展综合指数所呈现的总体规律为:随着城市规模的增大,城市的可持续发展综合能力也相应提高。巨大特大型城市的可持续发展综合指数为0.29,处于III级水平;大型城市的可持续发展指数为0.20,中小型城市的可持续发展指数为0.17,均处于IV级水平。说明城市规模越大,经济发展和社会进步指数越高,但规模越小的城市,生态环境质量指数越高。综合分析可以得出:对于不同规模类型的城市,其可持续发展综合指数之间的差距相对于经济发展和社会进步综合指数之间的差距明显减小(图3)。

### 2.2 不同城市规模类型内的时间序列分析

#### 2.2.1 巨大特大型城市可持续发展能力评估

经济发展指标方面,除了第二产业比重和第三产业比重两项指标几乎不变以外,其余指标在2000年到2010年间均增加,而且增幅很大,说明十年间巨大特大城市的总体经济发展水平得到了飞速提升,但是产业结构却没有明显的改变;社会进步指标方面,年末总人口、每万人拥有中专及中学人数、每百人公共图书馆藏

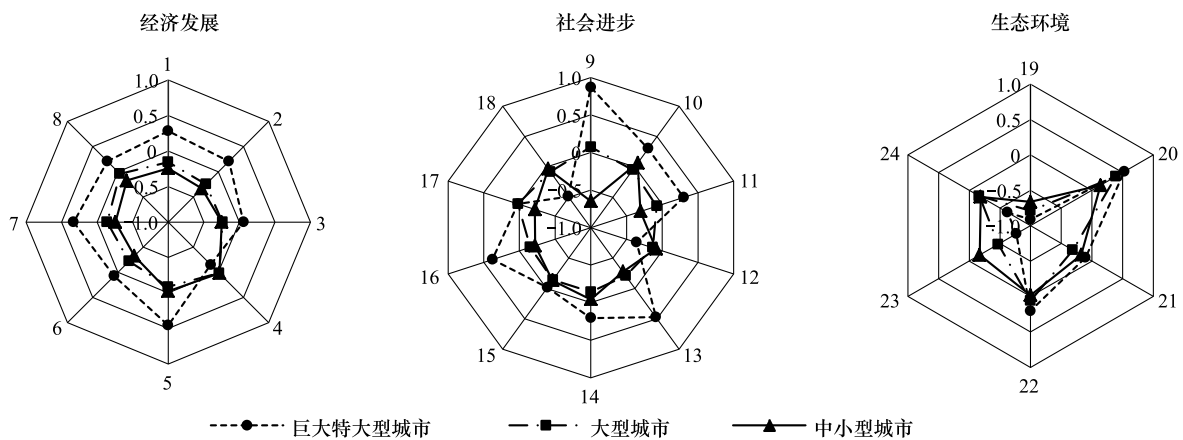


图2 不同规模城市的经济、社会、生态环境指标评价

Fig.2 Evaluation of the specific indicators that comprise the economic, social, and eco-environmental indicators

1) 人均国内生产总值 Per capita GDP, 2) 人均地方财政收入 Average annual per capita tax revenues, 3) 人均固定资产投资 Per capita investment in fixed assets, 4) 第二产业比重 Proportion of secondary industry, 5) 第三产业比重 Proportion of tertiary industry, 6) 人均工业产值 Average per capita industrial output, 7) 人均社会消费品零售总额 Per capita total retail sales of social and consumer goods, 8) 城市居民年人均收入 Average annual income per urban resident, 9) 年末总人口 Total population at the end of the year, 10) 非农业人口所占比重 Proportion of non-agricultural population, 11) 市区人口密度 Urban population density, 12) 每万人拥有中专及中学人数 Number of people who have graduated from at least technical programs or high school, 13) 每百人公共图书馆藏书 Public library collection (number of books and other items), 14) 每万人拥有医生数 Number of doctors, 15) 人均道路面积 Per capita area of paved roads, 16) 每万人拥有公共汽电车 Number of public buses and trams, 17) 人均居住面积 Per capita living space, 18) 自然增长率 Natural population growth rate, 19) 每平方公里工业二氧化硫排放量的倒数 The reciprocal of industrial SO<sub>2</sub> emissions, 20) 工业废水排放达标率 Industrial wastewater discharge compliance rate, 21) 人均绿地面积 Per capita green area, 22) 建成区绿化覆盖率 Proportion of green cover in the built-up urban area, 23) 人均生态用地 Per capita area of ecological land, 24) 人均生活用电量 The reciprocal of the per capita household electricity consumption

书、人均铺装道路面积、每万人拥有公共汽电车、人均住房使用面积这六项指标在十年间均增加,而其余四项指标在十年间均略有减小,说明十年间巨大特大型城市的社会福利水平得到了明显提高。虽然巨大特大型城市的医疗条件在全国处于较高水平,但是人均医疗资源仍然不足。同时,城市户籍人口增长速率逐渐减慢,大量的农业人口流向巨大特大型城市导致非农业人口比重有所减小;生态环境指标方面,工业废水排放达标率、人均绿地面积、建成区绿化覆盖率这三项指标在十年间均增加。而每平方公里二氧化硫排放量、人均生态用地这两项指标值在十年间基本保持不变,人均生活用电量这项指标在十年间逐渐增大,说明十年间巨大特大型城市加强了废水处理和城市绿化,但能源消耗仍持续增加(图4)。

2000—2010年,巨大特大型城市经济发展、社会进

步、生态环境三项综合指标均逐渐提高,尤其是经济发展水平提升最快。其中,经济发展指数由0.17提升到0.64,即由IV级水平提升到II级水平,发展能力由较差变到了较好;社会进步指数由0.29提升到0.40,即IV级水平提升到III级水平,发展能力由较差变到了一般;生态环境指数由0.09提升到0.15,处于IV级水平,生态环境保护水平略有提升,但效果不明显,发展能力一直处于较差水平。同时,可持续发展综合能力也得到了

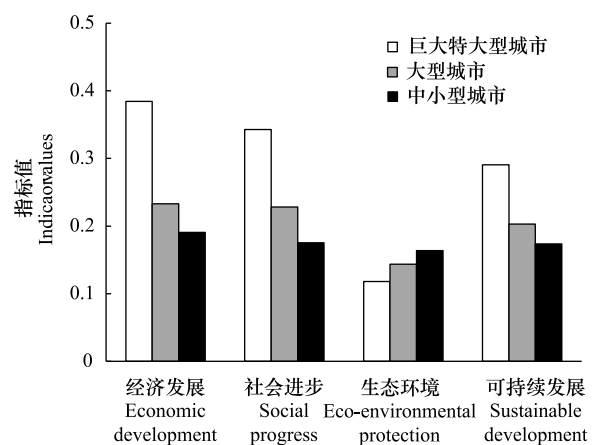


图3 不同规模城市可持续发展能力综合评价

Fig.3 Evaluation of the sustainability indices for economic, social, and eco-environmental factors, and the overall composite sustainability index for cities at three size scales

提高,综合指数由 0.19 提升到 0.40,仅发展为一般水平,但却得到了稳步提升(图 5)。

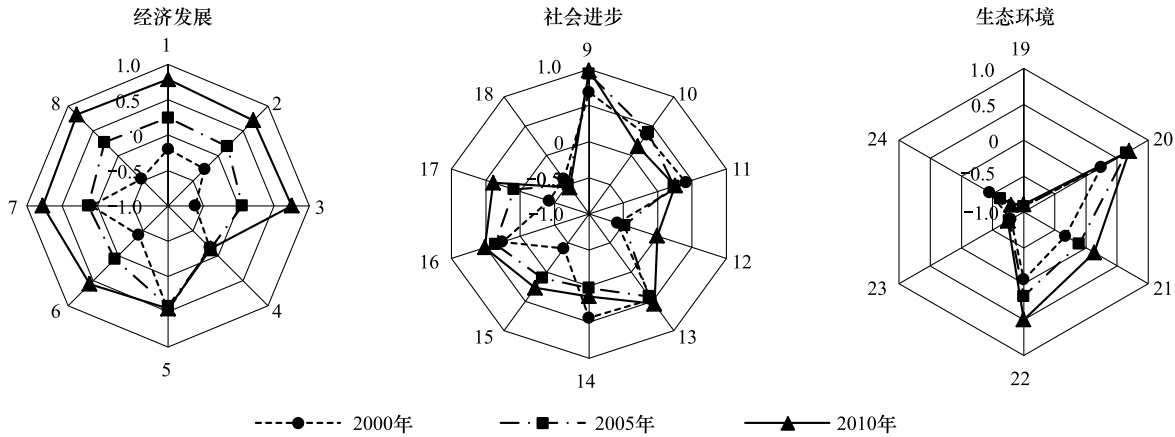


图 4 巨大特大型城市经济、社会、生态环境指标评价

Fig.4 Changes in the specific indicators in the economic, social, and eco-environmental categories from 2000 to 2010 for megalopolis

图 4 中的数字序号所表示的含义与图 2 相同

### 2.2.2 大型城市可持续发展能力评估

经济发展指标方面,第三产业比重几乎不变,第二产业比重略有增加,其余指标在 2000 年到 2010 年间均增加,而且增幅很大,说明十年间巨大特大城市的总体经济发展水平得到了飞速提升,但产业结构却没有明显的改变;社会进步指标方面,除自然增长率、市区人口密度这两项指标在十年间减小以外,其余指标在十年间均增加,说明十年间巨大特大型城市的各项社会福利水平都得到了明显提高。大型城市户籍人口增长速率逐渐减慢,且城市土地扩张,从而导致市区人口密度略微减小;生态环境指标方面,除人均生态用地指标在十年间有所减小以外,其余指标均大幅增加,说明大型城市更加注重废水治理和城市绿化,但十年间大气污染却更加严重,人均能源消耗也增加(图 6)。

2000—2010 年,大型城市经济发展、社会进步、生态环境保护三项综合指标均逐渐提高,尤其是经济发展提升最快。其中,经济发展指数由 0.10 提升到 0.41,社会进步指数由 0.17 提升到 0.30,即由 IV 级水平提升到 III 级水平,发展能力均由较差提升到一般水平;生态环境指数由 0.12 提升到 0.17,即 IV 级水平,生态环境保护水平略有提升,但效果不明显,发展能力一直处于较差水平。同时,可持续发展综合能力也得到了提高,综合指数由 0.13 提升到 0.29,发展为 III 级水平,即处于一般水平,但却得到了稳步提升(图 7)。

### 2.2.3 中小型城市可持续发展能力评估

经济发展指标方面,第三产业比重几乎不变,第二产业比重略有增加,其余指标在 2000 年到 2010 年间均增加,而且增幅很大,说明十年间巨大特大城市的总体经济发展水平得到了飞速提升,但产业结构却没有明显的改变;社会进步指标方面,市区人口密度在十年间略有减小,自然增长率先减小后略有增加,人均住房使用面积先增加后略有减小,其余指标在十年间均增加,说明十年间中小型城市的社会福利水平整体提高,2000

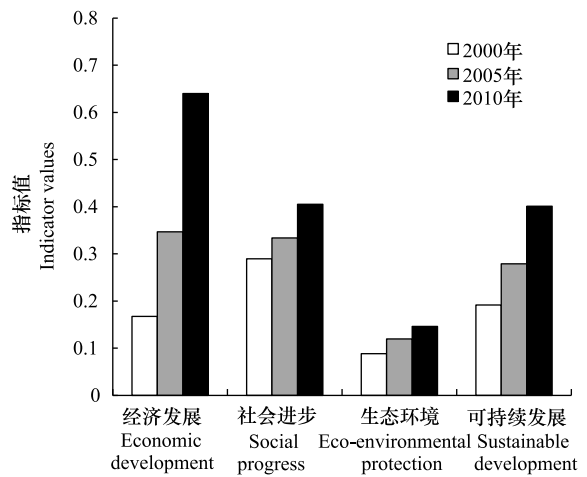


图 5 巨大特大型城市可持续发展能力综合评价

Fig.5 Evaluation of the sustainability indices for the economic, social, and eco-environmental categories, and for overall composite sustainable development, from 2000 to 2010 for megalopolis

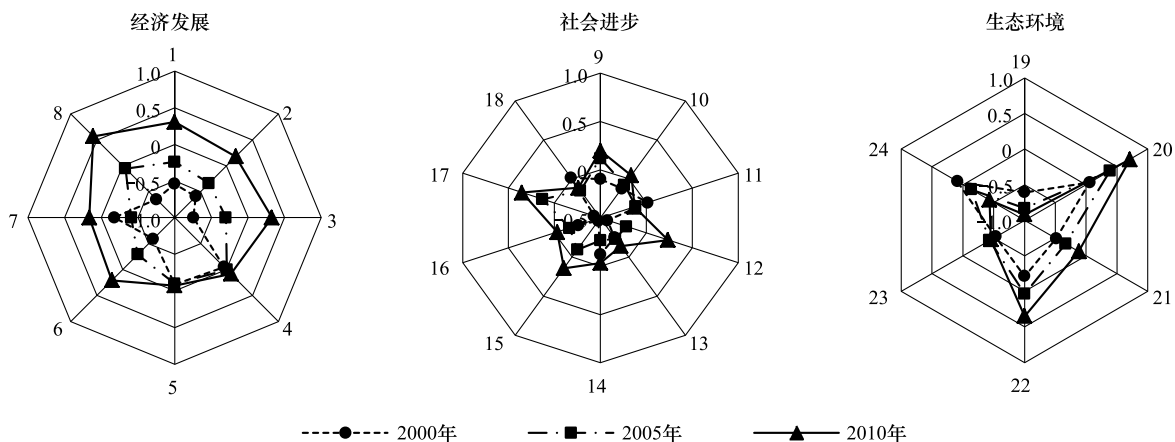


图 6 大型城市经济、社会、生态环境指标评价

Fig.6 Changes in the specific indicators in the economic, social, and eco-environmental categories from 2000 to 2010 for large cities

图 6 中的数字序号所表示的含义与图 2 相同

年到 2005 年间由于实行计划生育,人口增长速率有所减慢,人均住房面积随之增加,之后到 2010 年间由于独生子女生育政策的放宽,人口增长率又略有增加,相应的人均住房面积又随之减小;生态环境指标方面,每平方公里二氧化硫排放量、人均生活用电量两项指标在十年间有所增加,人均生态用地略有增加,工业废水排放达标率、人均绿地面积、建成区绿化覆盖率三项指标均明显增加,说明十年间中小城市更加注重废水治理和城市绿化,但是大气污染却更加严重,人均能源也增加(图 8)。

2000—2010 年,中小型城市经济发展、社会进步、生态环境保护三项综合指标均逐渐提高,尤其是经济发展提升最快。其中,经济发展指数由 0.06 提升到 0.36,即由 IV 级水平提升到 III 级水平,发展能力由较差变到了一般;社会进步指数由 0.13 提升到 0.22,处于 IV 级水平,社会发展水平有所提升,但发展能力一直处于较差水平;生态环境指数由 0.14 提升到 0.19,处于 IV 级水平,生态环境保护水平略有提升,但效果不明显,且一直处于较差水平。同时,可持续发展综合能力也得到了提高,综合指数由 0.11 提升到 0.25,即发展为 III 级水平,可持续发展能力一般,但得到了稳步提升(图 9)。

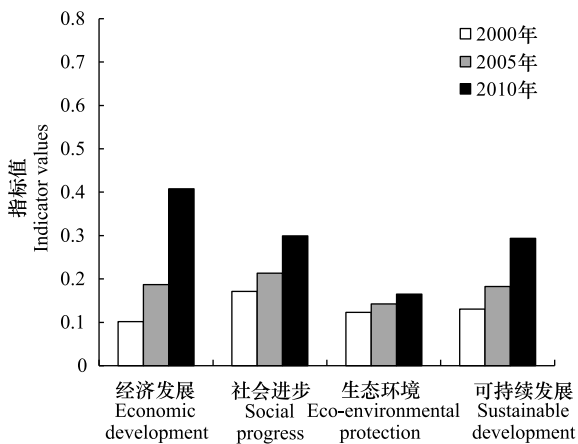


图 7 大型城市可持续发展能力综合评价

Fig.7 Evaluation of the sustainability indices for the economic, social, and eco-environmental categories, and for overall composite sustainable development, from 2000 to 2010 for large cities

### 3 结论与讨论

#### 3.1 结论

2000—2010 年,全国不同规模的地级及地级以上城市,其经济、社会和环境所呈现出的整体特点是经济发展、社会进步、生态环境指数各个方面均有显著提高,巨大特大型城市在这三方面分别提高了 276.5%、37.9%和 66.7%,大型城市的提高幅度则为 310.0%、76.5%、41.7%,中小型城市的提高幅度为 500.0%、69.2%、35.7%。同时,可持续发展能力综合指数也伴随着提升,巨大特大型城市、大型城市和中小型城市的提高幅度分别为 110.5%、123.1%、127.3%。



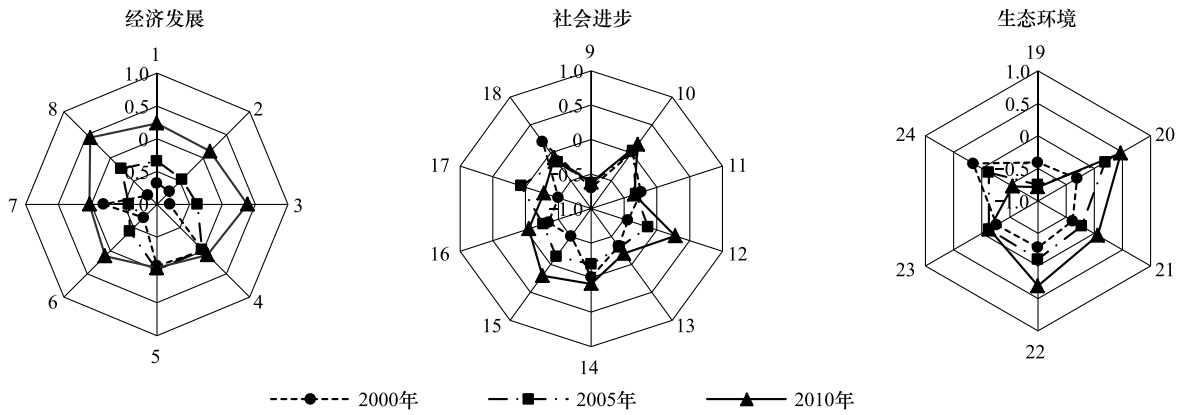


图 8 中小型城市经济、社会、生态环境指标评价

Fig. 8 Changes in the specific indicators in the economic, social, and eco-environmental categories from 2000 to 2010 for small and medium-sized cities

图 8 中的数字序号所表示的含义与图 2 相同

可以发现,对于不同规模的城市,经济发展指数均比其他二级指标的提高幅度大。并且巨大特大型城市在生态环境保护方面提高幅度最大;大型城市在社会进步方面提高幅度最大;中小型城市在经济发展和可持续发展综合能力方面提高幅度最大。就全国范围来看,城市规模越大,经济发展和社会进步的水平越高,可持续发展综合能力也越好,但生态环境保护却相对越差。同时,对于不同规模的城市,其生态环境指数均低于经济发展和社会进步指数,说明各类城市在寻求经济发展和社会进步的同时,并没有同等程度的重视生态环境治理与保护,这是全国不同规模的城市化发展过程中出现的共性问题。

### 3.2 讨论与建议

本文尽可能地建立全面完整的城市可持续发展指标体系,但部分指标数据搜集困难,特别是生态环境方面的指标还有所缺失,今后需要进一步完善相应的指标体系。由于所选的指标都相对比较重要,且研究中所包含的城市数目较多,故将各个指标的权重认为是相等的。另外,本研究所采用的全排列多边形综合图示法既有单项指标与综合指标的结合,又有静态分析与动态趋势的结合。与传统简单加权法相比,不用专家主观评判系数的大小,只需要参考相关阈值和上、下限确定,减少了主观随意性。并且该方法改传统加法为多维乘法,反映了整体大于或小于部分之和的系统整合原理<sup>[34]</sup>。当其应用于城市可持续发展评估时,既可以直观静态的显示不同年份各类城市单项指标和综合指标的相对大小,又可以动态的反映各类城市的可持续发展年际变化趋势。

对于全国不同规模城市 2000—2010 年间可持续发展过程中遇到的问题,应采取相应的调控对策。经济发展方面,针对产业结构几乎不变的状况,应该优化调整产业结构,提高第三产业比重,实现从传统的高污染、高耗能投入的制造业向绿色、低碳、环保的产业转变<sup>[35]</sup>;社会进步方面,应保障不同规模城市间的教育、医疗资源分配的合理性与公平性,同时要缩小居民的收入差距<sup>[36]</sup>,健全社会保障体系与管理体系,以确保居民享有同等的社会保障和福利待遇;生态环境方面,针对人均能源消耗增加和大气污染愈加严重的现象,应逐步加

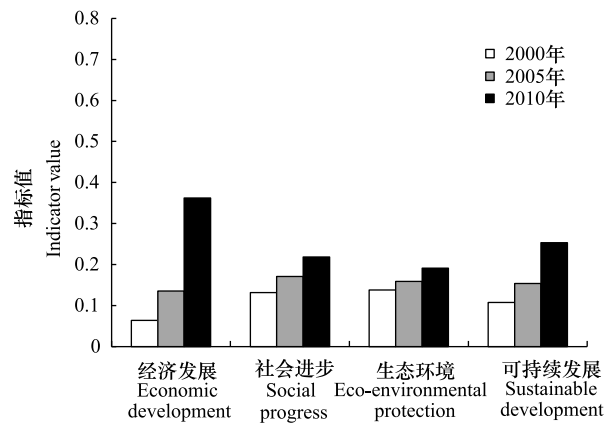


图 9 中小型城市可持续发展能力综合评价

Fig. 9 Evaluation of the sustainability indices for the economic, social, and eco-environmental categories, and for overall composite sustainable development, from 2000 to 2010 for small and medium-sized cities

强新能源的使用、提升能源效率和低碳环保技术<sup>[37]</sup>,实施节能减排政策<sup>[35]</sup>,同时增加环境治理投资占 GDP 的比重,建立和完善城市环境政策和生态管理制度。

不同规模的城市在十年间经济、社会、环境及可持续发展综合指标值都呈增加趋势,且城市规模越小,可持续发展综合指数提升幅度越大。说明规模越小的城市,其可持续发展潜力越大,为《国家新型城镇化规划(2014—2020)》提出的“加快发展中城市,有重点地发展小城镇,促进大中小城市和小城镇协调发展,把加快发展中城市作为优化城镇规模结构的主攻方向”战略提供了科学依据。但总体来说,截止到 2010 年,全国不同规模城市的可持续发展综合能力并不高,仅处于一般水平。因此,在未来的城市化发展过程中,不同规模的城市应进一步针对自身特点实行合理分阶段的规划和理性的发展<sup>[38]</sup>。城市的经济发展和社会进步必须要有良好的生态环境作为依托,以最少的资源消耗,实现社会、经济和环境的协调可持续发展,同时也要健全可持续发展相关法律法规。

#### 参考文献(References):

- [ 1 ] 马世骏,王如松. 社会-经济-自然复合生态系统. 生态学报, 1984, 4(1): 1-9.
- [ 2 ] Tian G J, Qiao Z. Assessing the impact of the urbanization process on net primary productivity in China in 1989-2000. *Environmental Pollution*, 2014, 184: 320-326.
- [ 3 ] McKinney M L. Effects of urbanization on species richness: A review of plants and animals. *Urban Ecosystems*, 2008, 11(2): 161-176.
- [ 4 ] Seilheimer T S, Wei A H, Chow-Fraser P, Eyles N. Impact of urbanization on the water quality, fish habitat, and fish community of a Lake Ontario marsh, Frenchman's Bay. *Urban Ecosystems*, 2007, 10(3): 299-319.
- [ 5 ] Liu S W, Zhang P Y, Jiang X L, Lo K. Measuring sustainable urbanization in China: a case study of the coastal Liaoning area. *Sustainability Science*, 2013, 8(4): 585-594.
- [ 6 ] Xia T Y, Wang J Y, Song K, Da L J. Variations in air quality during rapid urbanization in Shanghai, China. *Landscape and Ecological Engineering*, 2014, 10(1): 181-190.
- [ 7 ] Rana M M P. Urbanization and sustainability: challenges and strategies for sustainable urban development in Bangladesh. *Environment, Development and Sustainability*, 2011, 13(1): 237-256.
- [ 8 ] Wang Y H, Deng X M, Marcucci D J, Le Y E. Sustainable development planning of protected areas near cities: case study in China. *Journal of Urban Planning and Development*, 2013, 139(2): 133-143.
- [ 9 ] Ericson J A. A participatory approach to conservation in the Calakmul Biosphere Reserve, Campeche, Mexico. *Landscape and Urban Planning*, 2006, 74(3/4): 242-266.
- [ 10 ] Jansson Å. Reaching for a sustainable, resilient urban future using the lens of ecosystem services. *Ecological Economics*, 2013, 86: 285-291.
- [ 11 ] 李天星. 国内外可持续发展指标体系研究进展. 生态环境学报, 2013, 22(6): 1085-1092.
- [ 12 ] 许学强,张俊军. 广州城市可持续发展的综合评价. 地理学报, 2001, 56(1): 54-63.
- [ 13 ] 王黎明,毛汉英. 我国沿海地区可持续发展能力的定量研究. 地理研究, 2000, 19(2): 156-164.
- [ 14 ] 吴琼,王如松,李宏卿,徐晓波. 生态城市指标体系与评价方法. 生态学报, 2005, 25(8): 2090-2095.
- [ 15 ] 李锋,刘旭升,胡聃,王如松. 生态市评价指标体系与方法——以江苏大丰市为例. 应用生态学报, 2007, 18(9): 2006-2012.
- [ 16 ] Luederitz C, Lang D J, Von Wehrden H. A systematic review of guiding principles for sustainable urban neighborhood development. *Landscape and Urban Planning*, 2013, 118: 40-52.
- [ 17 ] 王如松,徐洪喜. 扬州生态市建设规划方法研究. 北京:中国科学技术出版社, 2005.
- [ 18 ] 王爱辉,刘晓燕,龙海丽. 天山北坡城市群经济、社会与环境协调发展评价. 干旱区资源与环境, 2014, 28(11): 6-11.
- [ 19 ] 袁晓玲,梁鹏,曹敏杰. 基于可持续发展的陕西省城镇化发展质量测度. 城市发展研究, 2013, 20(2): 52-56, 86-86.
- [ 20 ] 曹慧,胡锋,李辉信,梁镇海,王昭昭. 南京市城市生态系统可持续发展评价研究. 生态学报, 2002, 22(5): 787-792.
- [ 21 ] 黄朝永,顾朝林,甄峰. 江苏可持续发展能力评价. 经济地理, 2000, 20(5): 43-46.
- [ 22 ] 杜斌,张坤民,彭立颖. 国家环境可持续能力的评价研究: 环境可持续性指数 2005. 中国人口·资源与环境, 2006, 16(1): 19-24.
- [ 23 ] Wackemagel M, Rees W. *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. Gabriola Island, BC, and Philadelphia: New Society Publishers, 1996.
- [ 24 ] Chen S Q, Chen B. Assessing inter-city ecological and economic relations: An emergy-based conceptual model. *Frontiers of Earth Science*, 2011, 5(1): 97-102.
- [ 25 ] Chen S Q, Chen B, Fath B D. Urban ecosystem modeling and global change: Potential for rational urban management and emissions mitigation.

- Environmental Pollution, 2014, 190: 139-149.
- [26] Zhang L X, Feng Y Y, Chen B. Alternative scenarios for the development of a low-carbon city: a case study of Beijing, China. *Energies*, 2011, 4 (12): 2295-2310.
- [27] Chen S Q, Chen B. Urban energy consumption: different insights from energy flow analysis, input-output analysis and ecological network analysis. *Applied Energy*, 2015, 138: 99-107.
- [28] Singh R K, Murtya H R, Gupta S K, Dikshit A K. An overview of sustainability assessment methodologies. *Ecological Indicators*, 2009, 9(2): 189-212.
- [29] 曾珍香, 顾培亮, 张闽. DEA 方法在可持续发展评价中的应用. *系统工程理论与实践*, 2000, 20(8): 114-118.
- [30] Mörtberg U, Haas J, Zetterberg A, Franklin J P, Jonsson D, Deal B. Urban ecosystems and sustainable urban development-analysing and assessing interacting systems in the Stockholm region. *Urban Ecosystems*, 2013, 16(4): 763-782.
- [31] Li F, Liu X S, Hu D, Wang R S, Yang W R, Li D, Zhao D. Measurement indicators and an evaluation approach for assessing urban sustainable development: A case study for China's Jining City. *Landscape and Urban Planning*, 2009, 90(3/4): 134-142.
- [32] 中国城市经济学会中小城市经济发展委员会. 中国中小城市发展报告(2010): 中国中小城市绿色发展之路. 北京: 社会科学文献出版社, 2010.
- [33] 曹斌, 林剑艺, 崔胜辉. 可持续发展评价指标体系研究综述. *环境科学与技术*, 2010, 33(3): 99-105.
- [34] 李锋, 刘旭升, 胡聘, 王如松. 城市可持续发展评价方法及其应用. *生态学报*, 2007, 27(11): 4793-4802.
- [35] Liu L Q, Liu C X, Gao Y G. Green and sustainable City will become the development objective of China's Low Carbon City in future. *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 2014, 12(1): 34-34.
- [36] Ram R. Income, inequality, and social welfare: a study of the U. S. states. *International Advances in Economic Research*, 2013, 19(1): 65-67.
- [37] Jiang L, Ji M H, Bai L. Characterizing China's energy consumption with selective economic factors and energy-resource endowment: a spatial econometric approach. *Frontiers of Earth Science*, 2015, 9(2): 355-368.
- [38] Wang J Y, He D Q. Sustainable urban development in China: challenges and achievements. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2015, 20(5): 665-682.