

## 南京市城市生态系统可持续发展评价研究

曹 慧<sup>1,2</sup>, 胡 锋<sup>1\*</sup>, 李辉信<sup>1</sup>, 梁镇海<sup>3</sup>, 王昭昭<sup>3</sup>

(1. 南京农业大学资源与环境科学学院, 农业资源与生态环境研究所, 南京 210095; 2. 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008; 3. 南京市规划设计研究院, 南京 210029)

**摘要:** 采用一种完全递阶的层次结构, 建立了城市生态系统评价的指标体系。指标体系分为 3 个层次, 第一层次是目标层, 以城市综合发展能力为目标, 第二层次是准则层, 即发展水平、发展力度和发展协调度 3 个准则, 第三层次是指标层, 选择了 30 项具体指标。运用层次分析、模糊综合评价以及线性隶属方法对南京市城市生态系统进行了评价。评价结果表明, 南京市城市生态系统总体上向着高效、和谐的方向发展, 但发展过程中存在的问题是发展水平较低, 发展的协调度年际变化较大, 且子系统及其组成要素存在着发展的非均衡性。因而, 必须进一步调整南京市城市生态系统的结构与功能。  
**关键词:** 城市生态系统; 可持续发展; 评价指标; 南京市

## Evaluation of Sustainable Development of Urban Ecosystem in Nanjing City

CAO Hui<sup>1,2</sup>, HU Feng<sup>1\*</sup>, LI Hui-Xin<sup>1</sup>, LIANG Zhen-Hai<sup>3</sup>, Wang Zhao-Zhao<sup>3</sup> (1. College of Resources and Environmental Sciences and Institute of Agricultural Resources and Environment, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 3. Nanjing Urban Planning and Design Research Institute, Nanjing 210029, China). Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(5): 787~792

**Abstract** On the basis of the connotation of sustainable development and adopting a completely graded layer structure, this thesis established an evaluation index system for urban ecosystem. The evaluation index system included 3 levels. The first level was the target level, selecting the capacity of urban integrate development as the target. The second was criterion level, including the level, force and coordination degree of development. The third was index level, selecting 30 concrete items. Nanjing urban ecosystem was evaluated using analytic hierarchy process, fuzzy integrated evaluation and linear subordinated function. The results showed that Nanjing urban ecosystem generally develops in the direction of high efficiency and harmony. However, the level of sustainable development was lower, and the coordination degree fluctuated greatly. Therefore, it is necessary to improve the structure and function of Nanjing urban ecosystem.

**Key words:** urban ecosystem; sustainable development; indices system; Nanjing City

文章编号: 1000-0933(2002)05-0787-06 中图分类号: X22 文献标识码: A

城市问题包括生态环境问题的产生是城市发展过程中的一种普遍现象, 这种现象随着城市化进程的进一步发展, 随着人口的增加、经济的增长而日渐突出<sup>[1,2]</sup>。由于城市是由自然、经济、社会等各方面要素组成的复合生态系统, 单因素的、割裂系统要素之间关系的、定性的描述, 难以全面把握城市问题的实质, 只有从整体出发, 探讨城市生态系统结构、功能及其动态变化, 才能找出人与自然关系失调的生态学实质, 运用各种技术的、行政的和行为的手段调控城市生态系统中各子系统及其组分间的生态关系, 促进城市的

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(49831070)

\* 通讯作者 A author for correspondence, E-mail: fenghu@mail.njau.edu.cn

收稿日期: 2000-12-01; 修订日期: 2002-02-10

作者简介: 曹 慧(1966~), 男, 安徽省宣城市人, 博士, 助理研究员。主要从事城市生态、土壤资源等方面的研究。

可持续发展<sup>[1,3]</sup>。而以城市生态系统理论和可持续发展思想为指导,建立评价的指标体系和计算模型,并按照模型进行定量评价,进而提出相应的调控对策,是实现上述目标的有效手段<sup>[4]</sup>。

南京是著名古都,江苏省省会,长江流域4大中心城市之一,素有“花园城市”之称。近年来,该市经济增长较快,城市建设力度较大,同时也出现了一些新的问题。但是,南京市城市生态系统可持续发展的总体状况及发展质量如何,问题的症结何在,尚缺乏明确的认识和针对性措施。为此,本文对南京市城市生态系统进行了综合评价,旨在为优化南京市城市生态系统结构,完善系统功能提供依据。

## 1 城市生态系统评价的指标体系

### 1.1 城市生态系统可持续发展评价的指标体系

采用自上而下、逐层分解的方法,把城市生态系统分为3个层次,每一个层次又分别选择反映其主要特征的要素作为评价指标,以避免重要指标的遗漏或重复。

第一层次是目标层(A),以城市综合发展能力为目标,用来衡量城市生态系统可持续发展的总体特征。第二层次是准则层(B),即“发展水平”、“发展力度”、“发展协调度”3个准则。“发展水平”用以表征城市生态系统发展的现状;“发展力度”反映城市生态系统演替动力的大小,从某一个侧面可以衡量城市生态系统发展的速度;而“发展的协调度”是按照结构决定功能的有关理论,用以测度城市生态系统演替方向和稳定性。这种用现状、速度、方向和稳定性来描述可持续发展的方法是对压力-状态-响应概念模型的修正,借鉴了国内最新的研究成果<sup>[5-7]</sup>,与物理系统中用初速度、力的大小和方向来刻画质点的运动轨迹的方法在思路上是一致的。第三层次是指标层(C),选择了30项具体的评价指标。第二层次与第三层次之间附设一领域层,但不作单独分析。城市生态系统可持续发展的指标体系如图1所示。

### 1.2 指标的物理意义

在30项评价指标中,有4项是综合指标( $C_7$ 、 $C_8$ 、 $C_9$ 和 $C_{11}$ ),由不同的分指标来度量;其余26项为单项指标。

这些指标中物理意义需要说明的有,经济效益指数(指标 $C_2$ )由工业产值利润率表示,计算公式:产值利润率=利润总额/工业增加值(或工业净产值);经济开放度( $C_3$ )=出口商品交货总额/工农业总产值;

产业结构多样性指数( $C_4$ )= $- \sum P_i \ln P_i$ ,其中数 $P_i$ 为第 $i$ 产业( $i=1,2,3$ )在国内生产总值中所占的比例;经济结构协调系数( $C_{22}$ )=第三产业产值/第二产业产值;大气、水和固废协调系数( $C_{25}$ 、 $C_{26}$ 和 $C_{27}$ )=废弃物排放量年增长率/国内生产总值年增长率;农产品自给率( $C_{28}$ )= $(Y_i/Q_i)/4$ ,其中 $Y_i$ 为第 $i$ 种农产品人均产量,以粮食、蔬菜、肉、鱼四项农产品作为指标。 $Q_i$ 第 $i$ 种农产品人均年消费量,分别为0.45,0.365,0.047,0.04(t);城乡经济平衡系数( $C_{29}$ )=农村居民人均收入/城市居民人均收入;城镇体系有序度( $C_{30}$ ):求解该值参照了有关城镇体系的区位——规模理论<sup>[8]</sup>,该理论公式为 $PR = P_0/R_C$ ,式中 $P_0$ 表示首位城市的人口规模, $PR$ 表示位序 $R$ 的人口规模。

## 2 评价指标的计算模型

考虑到城市生态系统高阶性、非线性特点,采用层次分析方法确定指标的权重<sup>[9]</sup>,采用模糊综合评价的方法计算各项指标的分值。

综合评价是在指标评分和指标权重确定的基础上进行的,其评判值用 $Y$ 表示,并按加权求和的公式计算,即: $Y = \sum W_i Y_i$ ,其中 $W_i$ 表示第 $i$ 项指标的权重值, $Y_i$ 为第 $i$ 项指标的分值。

## 3 南京市城市生态系统可持续发展评价

### 3.1 指标权重的确定

在综合国内外最新资料和专家咨询的基础上,建立了目标层与准则层、准则层与指标层之间构成的4个比较判断矩阵。通过单排序和总排序,得出指标层对于目标层的组合权重(表1)。单排序和总排序要接受一致性检验,计算结果一致比均小于0.1,满足矩阵排序一致性检验。

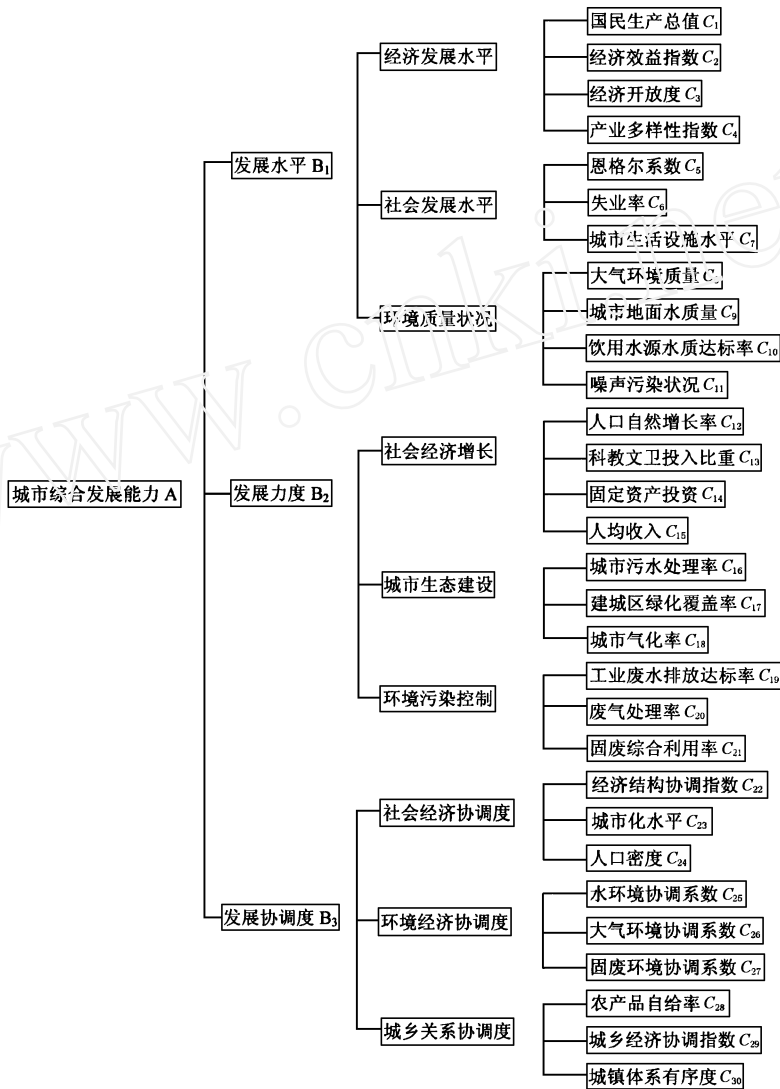


图 1 城市生态系统可持续发展评价的指标体系

Fig. 1 The index system of sustainable development for evaluating urban ecosystem

A: Capacity of urban integrate development; B1: Level of sustainable development; B2: Force of sustainable development; B3: Coordination degree of sustainable development; C1: Total value of domestic production; C2: Index of economic benefit; C3: Degree of economic opening; C4: Industry diversity; C5: Engel coefficient; C6: Unemployment rate; C7: Standard of establishment for city live; C8: Status of atmospheric quality; C9: Ground water quality in city; C10: Ratio of reaching standard for drink water in source area; C11: Status of noise pollution; C12: Ratio of natural population growth; C13: Proportion of science, education, culture and health investment to finance income; C14: Investment of capital asserts; C15: Income of per capita; C16: Percentage of dealing water; C17: Ratio of vegetation cover in established area; C18: Percentage of using gas in established area; C19: Ratio of reaching standard for industrial water; C20: Percentage of dealing exhaust gas; C21: percentage of integrative using for solid rubbish; C22: Hamony coefficient of economic structure; C23: Level of urbanization; C24: Population density; C25: Hamony coefficient between water quality and economic; C26: Hamony coefficient of atmosphere quality and economic; C27: Hamony coefficient between solid rubbish and economic; C28: Self-supporting ratio of agricultural products; C29: Hamony coefficient of economic between urban and rural; C30: Sequence degree of city and its surrounding towns

表1 指标层C对于目标层A的组合权重

Table 1 The integrated weight of index level (C) related to general goal level (A)

指标 Index	权重 Weight	指标 Index	权重 Weight	指标 Index	权重 Weight	指标 Index	权重 Weight	指标 Index	权重 Weight
C <sub>1</sub>	0.03377	C <sub>7</sub>	0.07273	C <sub>13</sub>	0.06090	C <sub>19</sub>	0.01901	C <sub>25</sub>	0.03158
C <sub>2</sub>	0.01792	C <sub>8</sub>	0.02074	C <sub>14</sub>	0.03471	C <sub>20</sub>	0.02238	C <sub>26</sub>	0.04985
C <sub>3</sub>	0.00866	C <sub>9</sub>	0.01202	C <sub>15</sub>	0.11775	C <sub>21</sub>	0.01276	C <sub>27</sub>	0.02383
C <sub>4</sub>	0.00349	C <sub>10</sub>	0.05138	C <sub>16</sub>	0.00864	C <sub>22</sub>	0.01583	C <sub>28</sub>	0.06582
C <sub>5</sub>	0.02951	C <sub>11</sub>	0.00631	C <sub>17</sub>	0.08140	C <sub>23</sub>	0.10483	C <sub>29</sub>	0.00780
C <sub>6</sub>	0.00596	C <sub>12</sub>	0.04169	C <sub>18</sub>	0.01037	C <sub>24</sub>	0.01000	C <sub>30</sub>	0.01841

### 3.2 指标的评价标准

4项综合指标分别为大气环境质量、城市地面水质量、噪声污染状况和城市生活设施水平。其中,前3项环境类指标的分级标准是在参照国家有关大气、地面水及噪声环境质量标准的基础上,进行的5级划分;对于城市设施水平,按南京市城市总体规划中、远期目标值并结合南京市城市发展现状建立其质量分级标准。

单项指标的评价标准,是与南京市全面实现小康、基本实现现代化和形成具有国际影响的都市(以前的提法为国际化大都市)基本框架的要求是一致的。具体而言,饮用水源水质达标率、建城区绿化覆盖率、城市气化率、工业废水排放达标率、工业废气处理率以及工业固废综合利用率6项指标的评价标准以《南京市环境保护“九五”计划和到2000年长远规划》(南京市环境保护局,1994年11月)中相应指标的2010年目标值为基准;参照1993年南京市通过的新的国民经济和社会发展规划纲要有关社会经济发展指标,确定经济开放度、产业多样性指数、城市化水平、人均固定资产投资以及经济结构指数5项指标的评价标准;依据中等发达国家同类城市社会经济发展水平,建立国内生产总值、恩格尔系数、人均职工收入和人口密度的评价标准;选择沈阳、大连、哈尔滨、青岛、杭州、武汉、广州和成都八个城市作参考,确定失业率、科教文卫投入比重、人口自然增长率、城市污水处理率及农产品自给率5项指标的评价标准;城乡经济协调指数和城镇体系有序度2项指标评价标准的设置是以南京市城市总体规划(1991~2010)为依据的。协调系数的评价标准由前面有关计算公式给出。

### 3.3 南京市城市生态可持续发展评价

**3.3.1 原始数据的来源及处理** 为了获取南京市城市生态系统评价指标的原始数据,查阅了大量的资料,这些资料包括《南京年鉴》《江苏年鉴》《中国统计年鉴》等<sup>[10~12]</sup>,一些原始数据可直接用来进行评价,而更多的原始数据需要经过处理。处理过程是一个量化过程,它们是按照前述指标的物理意义进行的。

**3.3.2 南京市城市生态系统的评价结果** 综合指标经模糊评价后,根据最大隶属原则进行分级,再按上限进行计分;将单项指标的原始数据代入上述给定公式,得出单项评价指标分值。城市生态系统的综合评价结果就是将单项指标和综合指标分值分别赋予不同的权重并求和,见表2。

### 3.4 结果讨论

**3.4.1 南京市城市生态系统可持续发展波动型演进及宏观政策驱动** 从表2可以看出,南京市城市生态系统总体上向着高效、和谐的方向发展,表现在城市综合发展能力由1991年的0.529上升到1999年的0.769,增加了45.37%。但这种发展并非是直线上升,而是一种波动型的演进。据此,可以把南京市城市生态系统的发展分为3个阶段,第2阶段为1991年至1992年,城市综合发展能力表现为跳跃性增长,这种情况的出现与当时全国性的经济迅速增长的现象是一致的,集中体现了经济子系统对城市生态系统的驱动作用;第2阶段从1993年到1996年,这4年间城市综合发展能力呈波动型下降的特点,这是因为这一时期,国家运用宏观政策对经济进行了调整,遏制了诸如房地产等过热发展的势头;其后的第3阶段从1997年开始,南京市城市生态系统可持续发展的综合能力呈稳定增长阶段,显示出金融、流通、房地产以及社会保障等领域的调整政策初现成效。

3.4.2 经济、社会与环境子系统发展的非均衡性 城市生态系统是一个复杂的巨系统,城市生态系统的演替是各子系统以及各组成要素共同作用的结果。对南京市城市生态系统各子系统的分析表明,经济、社会和环境子系统的发展是不均衡的,3个子系统之间的评价结果缺少明显的相关性。经济子系统中,制约南京市城市经济发展的最根本原因在于经济效益的不断降低,由此造成南京市经济发展水平的徘徊。南京市城市经济增长表现为高投入、低产出的特点,这是因为南京市固定资产投资从1991年的43.49亿元增加到1999年的373.01亿元,而同期国内生产总值由185.48亿元上升到895.3亿元,投资的增长幅度远远高于国内生产总值的增长幅度。此外,经济子系统的开放度很低,经济效益有不断下降的趋势。应通过调整产业结构,增加产品的科技含量,扩大出口等方式进一步发展南京市经济。

表2 南京市城市生态系统可持续发展评价结果

Table 2 The evaluating results of sustainable development of Nanjing urban ecosystem

层次 Layer		年份 Year								
		1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
领域层 Realm layer	经济发展水平	0.022	0.027	0.025	0.024	0.024	0.022	0.023	0.025	0.027
	社会发展水平	0.066	0.052	0.054	0.068	0.068	0.068	0.070	0.085	0.088
	环境质量状况	0.074	0.073	0.077	0.077	0.077	0.076	0.072	0.072	0.080
	社会经济的增长	0.084	0.104	0.099	0.119	0.114	0.094	0.141	0.147	0.183
	城市生态建设	0.072	0.076	0.077	0.078	0.080	0.081	0.081	0.081	0.082
	环境污染控制	0.031	0.045	0.045	0.046	0.044	0.045	0.046	0.047	0.044
	社会经济协调度	0.084	0.085	0.087	0.088	0.091	0.093	0.094	0.096	0.099
	环境经济协调度	0.038	0.101	0.099	0.040	0.054	0.045	0.045	0.116	0.079
	城乡关系协调度	0.059	0.062	0.063	0.065	0.067	0.073	0.065	0.069	0.088
准则层 Criteria layer	发展水平 <sup>10</sup>	0.162	0.152	0.154	0.169	0.169	0.166	0.165	0.183	0.194
	发展力度 <sup>11</sup>	0.187	0.225	0.221	0.242	0.238	0.220	0.268	0.275	0.308
	发展协调度 <sup>12</sup>	0.181	0.248	0.249	0.193	0.212	0.210	0.204	0.281	0.266
目标层 Target layer	城市综合发展能力 <sup>13</sup>	0.529	0.624	0.626	0.605	0.619	0.596	0.637	0.739	0.769

\* 所有的货币单位均按可比价格进行计算 Currency unit calculated according to comparable price. Economic development status, Social development status, Environmental quality, Social-economic growth, Ecological construction, Pollution control, Social-economic coordination degree, Environmental-economic coordination degree, Urban-rural coordination degree, <sup>10</sup>Development level, <sup>11</sup>Development force, <sup>12</sup>Development coordination degree, <sup>13</sup>Capacity of urban integrate development

城市生态系统是以人类为中心的系统<sup>[3,13]</sup>,城市的可持续发展最重要的是社会的发展。迈向21世纪的南京,社会子系统持续发展是其最为显著的特征。社会发展水平、社会经济的增长以及社会经济协调度在评价的时段内都呈现稳定的增长,分别从1991年的0.066,0.084,0.084上升到1999年的0.088,0.183,0.099。但同时也应注意到,社会子系统发展过程中也存在着如科技投入下降、失业率上升以及下岗职工增加等问题。据统计,1999年初,南京市职工下岗率为4.1%,总人数达5.1万。按照经济学的有关理论,一个有效的经济会使生产率低的人失业,但当失业率很高时,社会资源被浪费掉,收入的不断减少,引起社会不公平,进而会影响整个系统的稳定。

清洁、优美、安静的城市生态环境取决于城市生态建设以及环境污染控制两个方面,体现在大气、水、噪声等环境要素的质量状况上。南京市委、市政府十分注重城市生态环境的建设,依托较高的绿化覆盖率,大力加强废弃物的治理,不断提高城市集中供气、供热能力,生态建设成绩突出。毋庸置疑,南京市步入全国12个园林城市之列与城市生态建设也是密切相关的。但是随着经济规模的持续扩大,伴随着经济效益的降低,大量物质和能量滞留在城市生态系统中,城市环境质量并没有得到根本改善,尤其是衡量城市地面水质量的COD浓度、BOD浓度以及非离子氨浓度有逐年迅速上升的趋势,因此加强城市环境管理的任务依然十分严峻。

3.4.3 较大的可持续发展力度与不稳定城市生态系统的结构 生态系统理论认为,生态系统的结构决定

生态系统的功能,城市生态系统也同样遵循这一规律<sup>[14]</sup>。从准则层的评价结果可以看出,南京市城市生态系统可持续发展力度较大,但发展水平较低,发展协调度的年际变化较大。城市可持续发展力度的增加主要原因是社会经济持续增长和城市生态建设不断加强,得益于人口自然增长率的降低、人均收入的提高、恩格尔系数的减少以及城市生活设施的改善。而在整个评价的20世纪90年代,环境经济协调度有较大的波动,从1992年开始,甚至出现较大幅度的下降,其主要原因是城市大气环境协调系数较小,固体废弃物协调系数不断降低所致。因此,在经济增长、社会发展的同时,必须注重对环境进行治理,尤其是在环境治理的政策方面保持连续性、科学性,不断增加对环境的资金和技术投入,培养公民形成良好的环境保护意识,使南京市城市生态系统各子系统及其组成要素能够得到协调发展。

#### 4 结论

本研究以南京市为例,选择30项评价指标,建立了发展水平、发展力度和发展协调度为准则的城市生态系统评价体系。以专家咨询为基础,以层次分析方法为手段,计算得出不同指标的权重。

研究结果表明,南京市城市生态系统综合发展能力总体上呈螺旋式上升的特点,这与国家宏观经济、政策调控是一致的。城市生态系统具有较大的可持续发展力度,但经济、社会以及环境3大子系统的发展存在明显的非均衡性,社会子系统发展可持续发展水平明显提高,经济子系统在波动中稍有增长,但环境子系统的可持续发展水平基本停滞不前。衡量南京市城市生态系统各组成要素之间关系的协调度较差,显示出南京市城市生态系统目前不稳定的结构特征。应以经济为杠杆,以政策为导向,发挥人的主导作用,使南京市城市生态系统可持续发展综合能力逐步得到提高。

#### 参考文献

- [1] Wang R S (王如松). *High-efficiency, harmoniousness: the principle and method of regulation for urban ecosystem* (in Chinese). Changsha: Hunan Educational Press, 1987.
- [2] World Commission on Environment and Development. *Our common future*. Oxford University Press, 1987.
- [3] Ma S J (马世骏), Wang R S (王如松). Social-economic-natural complex ecosystem. *Acta Ecologica Sinica* (in Chinese) (生态学报), 1984, 4(1): 1~9.
- [4] Odum H T. Ecological engineering and self organization. In: Mitsch W J, et al eds *Ecological engineering: an introduction to ecotechnology*. Wiley, New York, 1989. 79~101.
- [5] Ye W H (叶文虎), Tong C (仝川). Review on sustainable development indexes system in Union Nation. *China Population, Resources and Environment* (in Chinese) (中国人口·资源与环境), 1997, 7(3): 83~87.
- [6] World Bank. *World development report* Washington D. C. USA. 1988.
- [7] Zhang L Q (张林泉), Liu Z S (刘照胜). On the assessment theory and method of the comprehensive experimental community for sustainable development. *China Population, Resources and Environment* (in Chinese) (中国人口·资源与环境), 1997, 7(2): 51~56.
- [8] Gu C L (顾朝林). *Urban system in China—history, status and prospect* (in Chinese). Beijing: Business Press, 1992.
- [9] Gu K P (顾凯平), Gao M N (高孟宁), Li Y Z (李彦周). *The research methodology of complex gigantic system* (in Chinese). Chongqing: Chongqing Press, 1992.
- [10] Jiangsu Yearbook Magazine Society (江苏年鉴杂志社). *Jiangsu yearbook* (1991~1996) (in Chinese). Nanjing: Nanjing University Press, 1992~1997.
- [11] Nanjing Chorography Editorial Commission (南京市地方志编纂委员会). *Nanjing yearbook* (1991~1996) (in Chinese). Nanjing: Jiangsu Ancient Books Press, 1992~1997.
- [12] National Statistics Bureau of P. R. China (国家统计局). *Statistics annuals in China* (1991~1996) (in Chinese). Beijing: China Statistics Press, 1992~1997.
- [13] Boyden S. *The ecology of a city and its people—the case of Hongkong*. Canberra: Australian National University Press, 1982.
- [14] Steiner F, Young F K and Zube E H. Ecological planning: retrospect and prospect. *Landscape Journal*, 1987, 6(2): 31~39.