

DOI: 10.5846/stxb201412252575

郭慧文, 严力蛟. 城市发展指数和生态足迹在直辖市可持续发展评估中的应用. 生态学报, 2016, 36(14): - .
Guo H W, Yan L J. The Application of City Development Index and Ecological Footprint in the Assessment of Sustainable Development of China's Municipalities. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(14): - .

城市发展指数和生态足迹在直辖市可持续发展评估中的应用

郭慧文, 严力蛟*

浙江大学生命科学院生态研究所, 杭州 310058

摘要: 本文综合应用城市发展指数(CDI)和生态足迹(EF)指标, 分析各直辖市 1978—2012 年的可持续发展情况, 衡量发展方式由资源消耗型向环境友好型转变的程度。研究表明: 各直辖市的 CDI 不断增长, 至 2012 年均达到 80 左右, 基本处于同一层次水平, 城市经济社会发展状况总体良好。EF 的动态变化呈现阶段性发展的特点, 各直辖市间也存在显著差异, 除上海市, 其他三个直辖市的 EF 呈现增长态势, 至 2012 年, 北京 EF 最高($2.60 \text{ hm}^2 * \text{cap}^{-1}$), 重庆最低($1.79 \text{ hm}^2 * \text{cap}^{-1}$), 是唯一一个低于全国平均 EF 的直辖市。综合分析 CDI 和 EF, 在相似的社会经济发展水平下, 重庆市的资源消耗较低, 可持续发展潜力较大; 天津市一直处于资源消耗型发展中, 亟待转型; 近十年来, 上海和北京的城市建设模式出现了一定转变, 由以消耗环境资源为代价的发展模式转变为环境友好型的发展模式。

关键词: 可持续发展; 城市发展指数; 生态足迹; 直辖市

The Application of City Development Index and Ecological Footprint in the Assessment of Sustainable Development of China's Municipalities

GUO Huiwen, YAN Lijiao*

Institute of Ecology, College of Life Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China

Abstract: Indexes emphasize the correct direction of evolution and play the role of adjusting deviation, analyzing the patterns of evolution, and understanding influence. This paper, for the first time, used integrated application of City Development Index (CDI) and Ecological Footprint (EF) to analyze the status of sustainable development of China's municipalities during the 1978—2012 period. They were also used for the measurement of the transformation degrees of these municipalities' development from resource-consumption mode to environment-friendly mode. The results demonstrated that the CDI of each municipality has been increasing continuously. The CDI value of Beijing, Tianjin, Shanghai, and Chongqing were 86.25, 83.75, 70.60, and 79.83 respectively in 2012. Each municipality reached almost the same level 80 in 2012. Overall, city economic and social development conditions were both favorable. Although four municipalities' CDI value began at different levels and suffered from different growth rates, through more than 30 years of city construction, they reached almost the same destination. Compared with other cities' CDIs from around the world, the CDI value of China's municipalities ranked in the upper medium. Different from the variations in CDI values, variations in EF values showed the characteristics of stage development. There are significant differences among municipalities. In contrast to the EF value of Shanghai, the EF values of the other three municipalities presented a rising tendency. Since 2005, the EF value of Shanghai began to decline. Among the other three municipalities, the EF value of Beijing grew slowest, with a growth rate of about

基金项目: 浙江省科技厅科技攻关项目(2005C30013); 国家科技支撑计划课题资助项目(2014BAL07B02)

收稿日期: 2014-12-25; 网络出版日期: 2015-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yanlj@zju.edu.cn

14%, while the EF value of Tianjin grew fastest, with a growth rate of about 47%. The EF value of Beijing was highest ($2.60 \text{ hm}^2 \cdot \text{cap}^{-1}$), while that of Chongqing was lowest ($1.79 \text{ hm}^2 \cdot \text{cap}^{-1}$). Chongqing was the only municipality whose value stayed below the national average. After a comprehensive analysis of CDI and EF values to evaluate the status of sustainable development of China's municipalities, the four cities were divided into two groups. Shanghai and Chongqing were in the group that carried out effective control of EF values and kept CDI in a good development trend. Beijing and Tianjin were in the other group, because these two cities consumed more environmental resources to achieve the same share of city development. Tianjin's development mode in particular needs to be re-examined. The consumption of EF per CDI in Beijing was high, due to a large base and a large total amount. However, since 2000, the consumption of EF per CDI in Beijing has been effectively controlled and reduced in the last ten years, indicating that Beijing has realized that the city was facing the challenges of sustainable development. Thus, Beijing changed the mode of city construction from resource consumption to environment friendly. To sum up, Chongqing has maintained a rapid growth and stays in the city construction mode of environment friendly. Tianjin has been in the development mode of resource consumption, which needs to be changed as soon as possible. In the past decade, Shanghai and Beijing's ecological civilization construction patterns went through certain changes, from the model of development at the expense of resource consumption into environment friendly.

Key Words: sustainable development; city development index; ecological footprint; China's municipalities

自 1978 年改革开放开始,中国城市进入到真正意义上的快速发展阶段^[1]。在高速的城市化进程中,中国享受经济发展带来的成果,同时也面临很多问题,尤其是在环境方面,诸如城市化过程中土地利用变化引起的景观破碎化,生物多样性丧失,生态系统退化等^[2-4]。如何衡量城市的可持续发展水平,一直是学者们重点关注的问题。

在若干评估城市发展的方法中,指标评价具有指示性、灵活性和政策相关性,在环境与生态学领域已经应用半个多世纪^[5]。美国宾夕法尼亚大学 Estes 教授 1974 年构建了涉及教育、健康、妇女地位、国防、经济、人口、地理、政治参与、文化、福利成就等 10 个领域共 36 个指标的社会进步指数(ISP)^[6],美国海外开发委员会 1975 年提出了为测度物质福利水平的综合指标,物质生活质量指数(physical Quality of Life Index, PQLI),由婴儿死亡率、预期寿命和识字率三个指标组成。联合国开发计划署(UNDP)1990 年选用收入水平、预期寿命和教育指数三项指标构建了人类发展指数(Human Development Index, HDI),衡量国家经济社会发展水平^[7]。由于侧重点的不同,每种评价指标和方法可以在一定程度上反映国家和地区自然环境与经济社会协调发展的状况。

城市发展指数(City Development Index, CDI)在 1996 年联合国人类住区规划署(United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat))第二次人居大会上第一次被提出^[8],是为评价城市可持续发展所创建的指标体系,在一定条件下可以进行全球范围内的城市比较^[9]。它包括健康、教育、基础设施、废物处理和城市产值五个维度,能够反应出城市的社会经济建设情况和管理的有效程度,相较 GDP 等单一维度的指标,是能够较为全面的衡量城市建设发展的指标。目前,国内还未有研究使用该指标对城市社会经济发展进行评价^[8]。到目前为止,CDI 仍是唯一一个实际衡量世界城市发展水平的单一聚合性指数。

生态足迹(Ecological Footprint, EF)是 20 世纪 90 年代由 Willian E.Rees 提出的一种从生态环境角度来衡量可持续发展程度的方法^[10]。在城市尺度,生态足迹能够定量的测度城市人类活动对生态系统产生的压力和影响程度,衡量一个城市对自然资源的供需,为城市生态建设提供新的思路和方向^[11]。

中国直辖市为副省级城市,直接享有中央的政策扶持和税收优惠,人口密度大,城镇化水平高,社会经济发展程度高,且由于中央直属管理,城市建设管理更加高效,社会经济发展程度与其他城市存在阶梯化差异。

因此,本文的研究目的在于,通过对直辖市城市发展指数和生态足迹的测算,找出直辖市城市发展的特点,评估其城市社会经济发展对环境资源的损耗情况,对其可持续发展提出建议。

1 研究方法

1.1 城市发展指数

城市发展指数(CDI)包括基础设施、废物处理、健康、教育及城市产值五个维度,取值区间为0—100,每个维度占CDI的20%,具体指标体系如表1所示。每个指标的权重主要由主成分分析法确定。CDI能够反映城市社会经济发展状况与管理水平。其中,城市生产总值(City Product)直接代表城市产值,作为直接体现城市经济发展水平的指标,在CDI指标权重设置中,占有最大比重(20%)。健康、教育、基础设施这三个维度可以很好的衡量贫富及其城市的产出。基础设施、废物处理和城市产值能够直接反应城市管理的有效程度。

表1 城市发展指数指标体系

Table 1 City Development Index(CDI) indicators

指数 Index	维度 Dimension	指标 Indicator
城市发展指数 City Development Index CDI	基础设施	自来水普及率
		污水下水道用户接管率
		户通电率
		住宅电话普及率
	废物处理	污水处理率
		生活垃圾无害化处理率
		健康
	教育	人口平均预期寿命
		五岁以下儿童死亡率
	城市产值	成人识字率
		综合入学率
		城市生产总值

CDI的算法如式(1)~(6):

$$CDI = (\text{基础设施维度} + \text{废物处理维度} + \text{健康维度} + \text{教育维度} + \text{城市产值维度}) / 5 \quad (1)$$

$$\text{基础设施维度} = \text{自来水普及率} \times 25\% + \text{污水下水道用户接管率} \times 25\% + \text{户通电率} \times 25\% + \text{住宅电话普及率} \times 25\% \quad (2)$$

$$\text{废物处理维度} = \text{污水处理率} \times 50\% + \text{生活垃圾无害化处理率} \times 50\% \quad (3)$$

$$\text{健康维度} = (\text{人口平均预期寿命} - 25) \times 50/60 + (32 - \text{五岁以下儿童死亡率}) \times 50/31.92 \quad (4)$$

$$\text{教育维度} = \text{成人识字率} \times 25\% + \text{综合入学率} \times 25\% \quad (5)$$

$$\text{城市产值维度} = (\text{城市生产总值} - 4.61) \times 100/5.99 \quad (6)$$

1.2 生态足迹

生态足迹衡量在一定的人口单位条件下,需要具备生物生产力的土地(biological productive land)和水域,来生产所需资源和吸纳所衍生的废物的量。生态足迹通过测定现今人类为了维持自身生存而利用自然资源的量来评估人类对生态系统的影响。将生态足迹同某地区范围内所能提供的生物生产面积(即生物承载力, Biocapacity, BC)相比较,就能判断某地区的生产消费活动是否处于当地的生态系统承载力范围之内。

本文主要参考全球足迹网络机构(Global Footprint Network, GFN)的计算框架^[12]。

根据生态系统服务(主要指生产力大小)不同,生态足迹和生物承载力将地球表面的生物生产性土地分为以下六种,1)耕地:用来种植人类消费的食物和纤维,以及生产牲畜饲料、油料、橡胶等农产品所需的农田面积;2)草地:用来支持肉、奶、毛、皮畜牧产品生产所需的草地面积;3)水域:根据水产品数据推算的支持捕捞淡水与海水产品生产所需水域面积;4)林地:用来支持木材、纸浆、薪柴等林木产品生产所需的林地面积;5)二氧化碳吸收用地:表示扣除海洋碳吸收后,吸收化石燃料燃烧排放二氧化碳所需的森林与草地面积;6)建筑用地:表示住房和基础设施所占用的土地面积^[12]。

生态足迹为生物资源消费生态足迹和能源消费生态足迹之和,前者包括食物和木材;后者目前仅指 CO₂ 生态足迹。生态足迹的计算公式为:

生态足迹的算法如式(7):

$$EP_p = \sum_i \frac{P_i}{Y_{N,i}} \times YF_{N,i} \times EQF_i = \sum_i \frac{P_i}{YF_{w,i}} \times EQF \quad (7)$$

式中, P_i :消费项目*i*的消费量或 CO₂排放量; $Y_{N,i}$:全球生物资源产品*i*的平均生产力或全球林地和草地的平均 CO₂吸收能力; $YF_{N,i}$:提供消费项目*i*或吸收 CO₂的生物生产性土地的产量因子(产量因子描述的是“给定区域某一类土地面积的生产能力与对应的整体平均水平的差异”); $YF_{w,i}$:是消费项目*i*的全球平均产量; EQF_i :提供消费项目*i*或吸收 CO₂的生物生产性土地的均衡因子(均衡因子是均衡不同土地生产能力的因子)。

2 数据来源与整理

指标中数据来源于各《城市统计年鉴》、《中国电力年鉴》、《中国能源统计年鉴》、《中国统计年鉴》、《国民经济与社会发展统计公报》、《中国环境统计年鉴》等,研究年份为 1978 年到 2012 年。

CDI 中,基础设施方面,“污水下水道用户接管普及率”这一概念在台湾地区已使用,而大陆与之最相近的是“污水管道普及率”,“污水管网覆盖率”,城市统计年鉴及相关资料中未找到,统一记为 0;“住宅电话普及率”在部分城市中,未有数据来源,以“移动电话普及率”代替。健康方面,“五岁以下儿童死亡率”若无,用“婴儿死亡率”代替。教育方面,“成人识字率”在统计年鉴中对应为“文盲率”指标,“综合入学率”在收集时,以 1/3(小学毛入学率+中学毛入学率+大学毛入学率)组成。表征城市生产力的“城市生产总值”以“人均 GDP”记录。

EF 中,生物资源消费收集“粮食、食用植物油、鲜菜、猪肉、牛羊肉、鲜蛋、肉禽类、水产品、茶叶、鲜瓜果、鲜奶、木材”共 12 个类目,能源消费收集“原煤、洗精煤、其他洗煤、型煤、焦炭、焦炉煤气、其他煤气、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、液化石油气、炼厂干气、天然气、其他石油制品、其他焦化产品、热力、电力”共 19 个类目。土地利用类型数据尽量采用通过遥感解译得到的、发表在外文期刊上的土地利用类型数据。参数中,全球平均产量参照《城市生态可持续发展规划》。

3 结果与分析

3.1 各直辖市 CDI 年际变化

参照公式(1),得出各直辖市 1978—2012 年城市发展指数,如表 2 所示。1978 年,上海的 CDI 最高,为 60.43,北京与天津相近,约为上海 CDI 的 75%,重庆 26.04 最低,低于上海 CDI 的一半;到 2012 年,北京 CDI 最高,为 86.25,天津次之,均已超过上海。重庆 79.83,仍为最低,但各直辖市的 CDI 已基本达到了 80,处于同一水平线。

表 2 各直辖市 1978—2012 年城市发展指数

Table 2 CDI of municipalities in 1978—2012

年份 Year	北京	天津	上海	重庆	年份 Year	北京	天津	上海	重庆
1978	45.17	46.51	60.43	26.04	1979	45.94	47.28	60.94	27.02
1980	46.41	48.05	61.42	27.88	1981	46.56	48.58	61.77	33.98
1982	46.80	49.25	61.09	33.50	1983	47.34	50.19	60.99	33.15
1984	48.05	51.15	61.42	32.74	1985	48.64	51.11	61.63	31.81
1986	48.86	51.59	61.97	32.27	1987	48.98	52.72	61.77	31.93
1988	50.44	54.79	62.41	31.65	1989	51.56	55.48	62.91	31.22
1990	52.32	53.11	63.42	30.37	1991	53.25	55.54	64.10	31.70
1992	53.86	58.30	64.54	33.31	1993	54.86	60.34	65.44	35.27
1994	55.94	62.11	65.38	36.86	1995	57.52	63.11	67.83	39.13

续表

年份 Year	北京	天津	上海	重庆	年份 Year	北京	天津	上海	重庆
1996	58.93	64.13	66.04	41.41	1997	58.90	64.74	68.06	44.03
1998	60.71	64.72	69.08	46.06	1999	62.44	65.35	70.64	47.55
2000	65.66	67.61	71.20	49.62	2001	69.64	67.94	69.99	48.85
2002	71.99	66.86	68.59	51.82	2003	74.22	68.72	66.84	54.00
2004	76.38	71.11	71.91	57.48	2005	78.22	74.19	75.95	60.20
2006	79.15	76.74	79.77	64.60	2007	80.36	78.85	81.61	68.32
2008	81.02	80.30	81.60	71.62	2009	81.83	81.25	81.07	74.31
2010	82.73	83.32	82.18	75.97	2011	84.33	83.98	82.36	78.60
2012	86.25	83.75	80.60	79.83					

3.2 各直辖市 EF 年际变化

参照公式(7),得出各直辖市 1978—2012 年人均生态足迹,如表 3 所示。1978 年上海与北京的 EF 值相同,为 $0.98 \text{ hm}^2 * \text{cap}^{-1}$,天津较低,为 $0.66 \text{ hm}^2 * \text{cap}^{-1}$,重庆数据缺失。到 2012 年,北京 EF 最高,为 $2.60 \text{ hm}^2 * \text{cap}^{-1}$,上海次之,重庆最低,为 $1.79 \text{ hm}^2 * \text{cap}^{-1}$,是各直辖市中,唯一小于 EF 全国平均水平 $2 \text{ hm}^2 * \text{cap}^{-1}$ 的城市^[13]。天津 2012 年数据急剧下降是因为缺少能源消费占用的生态足迹数据,故不能直接用于比较。但从 2011 年数据看,天津 EF 较高,数值与北京相近。

表 3 各直辖市 1978—2012 年人均生态足迹/($\text{hm}^2 * \text{cap}^{-1}$)

Table 3 EF of municipalities in 1978—2012/($\text{hm}^2 * \text{cap}^{-1}$)

年份 Year	北京	天津	上海	重庆	年份 Year	北京	天津	上海	重庆
1978	0.98	0.66	0.98	-	1979	1.05	0.68	0.99	-
1980	1.09	0.62	0.86	-	1981	1.24	0.68	0.89	-
1982	1.27	0.77	0.92	-	1983	1.31	0.86	0.95	-
1984	1.39	0.94	1.01	-	1985	1.39	1.29	1.12	-
1986	1.54	1.35	1.31	-	1987	1.58	1.49	1.36	-
1988	1.60	1.45	1.39	1.27	1989	1.59	1.44	1.57	1.28
1990	1.70	1.49	1.69	1.41	1991	1.81	1.50	1.72	1.44
1992	1.80	1.46	1.80	1.34	1993	1.93	1.45	1.66	1.29
1994	1.93	1.50	1.67	1.29	1995	2.12	1.55	1.98	1.41
1996	2.21	1.59	2.08	1.22	1997	2.12	1.59	1.99	1.22
1998	2.20	1.57	1.99	1.31	1999	2.29	1.66	2.09	1.40
2000	2.16	1.68	2.07	1.38	2001	2.28	1.72	2.12	1.30
2002	2.29	1.74	2.21	1.47	2003	2.35	1.82	2.24	1.46
2004	2.41	2.00	2.21	1.54	2005	2.49	2.11	2.29	1.59
2006	2.51	2.19	2.36	1.55	2007	2.55	2.26	2.28	1.56
2008	2.52	2.32	2.29	1.72	2009	2.55	2.41	2.26	1.80
2010	2.56	2.47	2.20	1.87	2011	2.59	2.58	2.22	1.90
2012	2.60	2.25	2.27	1.79					

3.3 各直辖市 CDI 增长率分析

根据表 2 所得 1978—2012 年各直辖市 CDI 值,做散点图,进行回归分析得到结果如图 1 所示。

比较四条渐近线的斜率得出,CDI 增速重庆>北京>天津>上海。总的来说,四大直辖市的 CDI 值都经历了较大的增长。上海市的相关指数 R^2 最小,增速亦最小,说明上海市的 CDI 处于缓慢平稳增长的状态。2005 年前后,北京、天津的 CDI 纷纷超过上海,1978 年上海 CDI 的完全领先优势已消失并被赶超。重庆市的 CDI 由于起点低,1978—1988 的波动, R^2 较小。从重庆市的 CDI 增长率看,CDI 值将在近年超过上海。

分别计算 1978—2012 年来四大直辖市 CDI 的方差,北京、天津、上海、重庆分别为 185.10、136.62、54.50、

270.74, 由此得出, 重庆市数据波动最大, 上海最小。

3.4 各直辖市 EF 增长率分析

根据表 3 所得 1978—2012 年各直辖市 EF 值, 做散点图, 进行回归分析得到结果如图 2 所示。

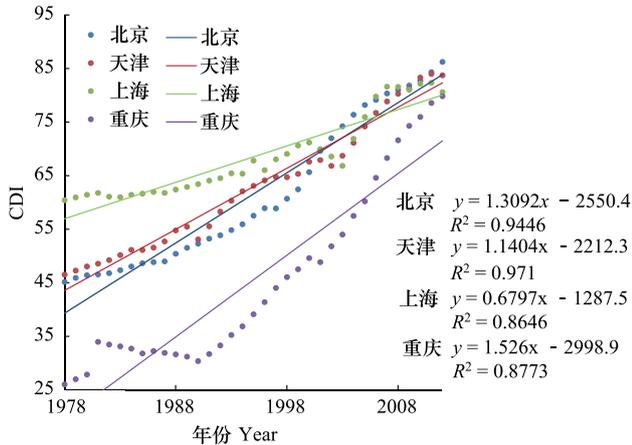


图 1 1978—2012 年各直辖市城市发展指数 (CDI) 增长率

Fig. 1 The growth rate of city development index (CDI) in municipalities during 1978—2012

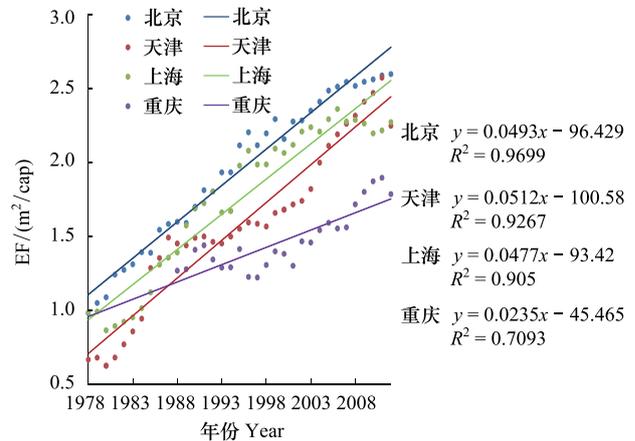


图 2 1978—2012 年各直辖市生态足迹 (EF) 增长率

Fig. 2 The growth rate of ecological footprint (EF) in municipalities during 1978—2012

比较四条渐近线的斜率得出, EF 增速天津 > 北京 > 上海 > 重庆。总的来说, 北京、天津、上海的 EF 增速较大, 重庆较小, 有显著差别。北京与上海的 EF 渐近线近乎平行, 二者增速相近。从近 5 年数据看, 天津 EF 已超过上海, 若仍以此增速发展, 几年内天津的 EF 值将超过北京。由于重庆市 EF 起点值小, 增长率低, EF 始终处于四大直辖市中最小值水平。

分别计算 1978—2012 年来四大直辖市 EF 的方差, 北京、天津、上海、重庆分别为 0.26、0.29、0.26、0.04, 由此得出, 天津市数据波动最大, 重庆最小。

4 讨论

4.1 对各直辖市 CDI 的讨论分析

由于联合国人居署最近一次发布全球城市 CDI 指数在 2002 年的 Global Urban Indicators Database (version 2), 其中统计数据使用的是世界各国 1998 年的统计数据资料, 所以本文参照 1998 年世界各地城市发展指数 (表 5)^[8], 将各直辖市 1998 年数据 (表 4) 与之进行对比。各直辖市距离全球前十位城市的 CDI 差距仍然较大, “废物处理” 指标差距最为显著。“健康” “教育” 水平较为接近, 体现出我国社会管理及社会功能建设的进步。通过与世界上 160 个主要城市及区域平均 CDI 比较 (表 6)^[8] 得出, 中国各直辖市的 CDI 处于世界中等水平。由于 CDI 的取值区间是 0—100, 最大值为 100, 经过 10 余年的发展, 至 2012 年各直辖市 CDI 值约为 80 水平线, 预测各直辖市的 CDI 可处于世界中上等水平。

表 4 各直辖市 1998 年 CDI 情况
Table 4 CDI of municipalities in 1998

城市 City	国家 Country	CDI	城市产值 City product	基础设施 Infrastructure	废物处理 Waste	健康 Health	教育 Education
北京	中国	60.71	57.27	52.10	34.15	77.28	82.77
天津	中国	64.72	55.04	57.18	54.88	74.68	81.82
上海	中国	69.08	59.19	67.18	44.30	84.04	90.71
重庆	中国	46.06	48.35	39.71	19.25	50.70	72.29

表 5 全世界前十位城市 1998 年 CDI 情况

Table 5 CDI of world's top 10 cities in 1998

城市 City	国家 Country	CDI	城市产值 City product	基础设施 Infrastructure	废物处理 Waste	健康 Health	教育 Education
赫尔 Hull	加拿大	98.0	97.2	98.8	100.0	82.9	99.5
斯德哥尔摩 Stockholm	瑞典	97.3	93.5	99.5	100.0	75.6	99.8
首尔 Seoul	韩国	95.8	94.7	98.4	99.3	81.8	97.7
于默奥 Umea	瑞典	95.8	85.9	98.8	100.0	56.5	99.8
墨尔本 Melbourne	澳大利亚	95.5	90.0	99.8	100.0	50.5	94.1
巴塞尔 Basilea	瑞士	95.2	91.5	99.7	100.0	86.8	89.8
奥莫尔 Amal	瑞典	94.7	81.2	98.8	100.0	93.7	99.8
新加坡 Singapore	新加坡	94.5	91.6	99.5	100.0	64.8	88.6
马德里 Madrid	西班牙	94.4	87.9	98.8	100.0	80.2	91.3
香港 Hongkong	中国	92.0	89.4	99.3	99.0	61.5	81.3

表 6 1998 年区域平均 CDI 情况

Table 6 CDI of region's average in 1998

区域 Region	CDI	城市产值 City product	基础设施 Infrastructure	废物处理 Waste	健康 Health	教育 Education
非洲 Africa	42.85	49.69	36.17	26.04	50.39	51.96
阿拉伯国家 Arab countries	64.55	66.52	69.79	45.87	77.18	63.39
亚太国家 Asia Pacific countries	65.35	62.90	67.75	44.40	78.27	73.43
高度工业化国家 Highly-industrialized countries	96.23	90.60	99.21	100.00	94.26	97.10
拉丁美洲和加勒比地区 Latin America and the Caribbean	66.25	62.93	70.42	39.50	82.71	75.68
转型国家 Transitional countries	78.59	71.62	90.64	55.93	85.80	88.94

4.2 对各直辖市 EF 的讨论分析

本文讨论的 EF 均为人均 EF,若考虑四大直辖市人口因素,则地区总 EF 呈现如图 3 所示规律。

对比表 3 得到的结果,地区总 EF 值与其差异较大。地区总 EF 重庆最高,天津最低。重庆是四大直辖市中,行政辖区最大、人口规模最大的城市,至 2012 年,人口接近 3000 万,因此,重庆市地区总 EF 与人均 EF 处于直辖市中完全相反的位置。北京与上海的人口规模相似,至 2012 年,均为 2000 万以上,两市的地区总 EF 基本保持一致的增长曲线。天津的地区总 EF 增长较为平缓,低于人均 EF 增长速率。但从 2002 年起,天津的地区总 EF 增长速率明显加快,人口增长速度增加不显著,因此,这与人均 EF 的快速增长密切相关,应引起重视。

1996 年,重庆市的总 EF 发生了巨大的增长,人均 EF 处于正常的增长水平,查询人口数据发现,1996 年的人口总数几乎翻了 1995 年的一倍。具体分析是由于农村人口比 1995 年多出近 2000 万人。这是由于在 1997 年重庆市成为直辖市前期,进行了区划调整。

4.3 CDI 与 EF 综合分析下的各直辖市城市发展特点

CDI 表征城市社会经济综合发展情况,CDI 越大,说明城市的社会经济发展水平越高。EF 表征城市对自然资源的消耗程度。在中国处于生态赤字的背景下,较低的 EF 代表较少的消耗环境资源。因此,在同样的 CDI 水平下,EF 降低,或增长速度减缓,都是城市建设的资源环境发展目标^[14]。较为理想的城市可持续发展方式应该是在 CDI 提高的同时,EF 呈现负增长,或者低于全国平均水平的增长^[15]。

从资源消耗角度看,单位 CDI 消耗的 EF 可以反映城市在发展相同的城市社会经济方面的同时,消耗的环境资源量的差别,进而体现出城市社会经济增长模式的区别。图 4 是各直辖市 1978—2012 年单位 CDI 消耗的 EF 情况。重庆的单位 CDI 消耗的 EF 呈现显著下降趋势,从 2007 年左右开始,单位 CDI 增长保持相对稳定的 EF 值消耗,且处于各直辖市最低水平,为最高的北京市的 70%左右。北京市与上海市在经历了 20 余

年的消耗型增长后,分别于1999年、2003年开始,转变经济增长方式,单位CDI消耗的EF大幅降低。而天津市的单位CDI增长持续消耗更多的EF,已于2011年与北京持平。按相同的增长速度推算,近两年将超过北京,成为各直辖市单位CDI增长消耗EF最多的城市,即单位社会经济增长消耗自然资源最多的城市。城市建设及经济发展方式亟待转型。

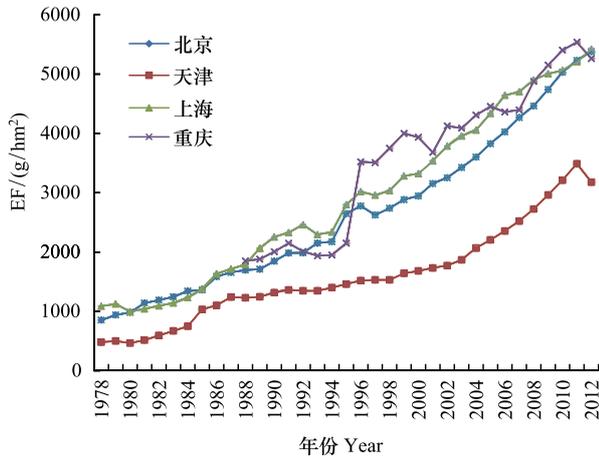


图3 各直辖市总EF年际变化/(g/hm²)

Fig.3 EF of municipalities in 1978—2012/(g/hm²)

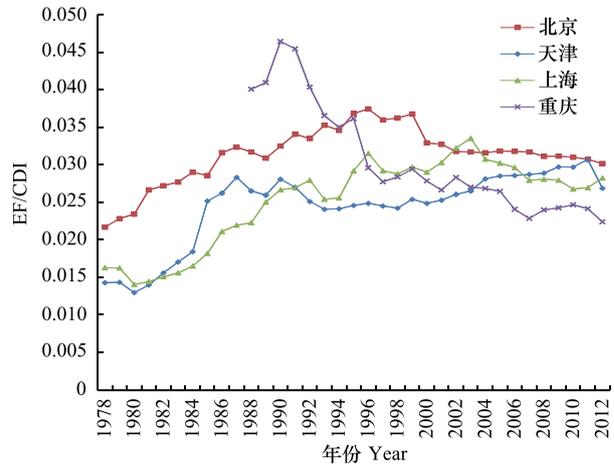


图4 各直辖市1978—2012年单位CDI消耗的EF情况

Fig.4 Consumption of EF per CDI of municipalities in 1978—2012

EF/CDI曲线的年际变化趋势可判断地区发展由资源消耗型向资源友好型转变的情况。以四条曲线的渐近线斜率为参考,以1978年—2012年为评价范围,判断各直辖市资源利用转化程度,得出:重庆>北京>天津>上海,且北京、天津、上海均处于负增长。而以近十年(2002年—2012年)的数据判断,得出重庆>上海>北京>天津,且天津处于负增长。通过总数据趋势和近十年的数据趋势对比得出,近十年来上海、北京两大直辖市的城市建设模式出现了一定转变,由以消耗环境资源为代价的发展模式转变为环境友好型的发展模式。综合分析CDI与EF,对每个直辖市的城市建设发展特点总结如下:

北京:作为首都和最早设立的直辖市,在1978年改革开放初期,社会经济发展水平处于内陆一线城市水平,但同沿海开放城市,如上海的社会经济发展水平,仍存在一定差距^[16]。但经过30余年的发展及其首都经济的行程,基础设施、医疗、教育等维度的建设,尤其是废物处理,相较1978年有了极大的发展,因此CDI在2012已处于四大直辖市领先水平^[16-20]。

天津:毗邻北京,属于京津冀一体化圈,同北京错位发展。由于天津EF消耗最高,且今年较快增长,具体分析天津市的EF组成得出,EF中的能源消费为四大直辖市最高,而重庆恰恰在能源消耗上极低,因此EF较低。天津市仍处于高环境资源消费阶段,需要转变经济增长方式,减少对资源环境的消耗,提高利用率^[21-23]。

上海:由3.3中计算的方差可以推断,上海市城市发展速率稳定,说明经济政策合理且具有前瞻性,发展有连贯性。但从另一方面来说,上海市CDI起点远高于其他城市,现有的CDI增长率较低,发展空间小,动力略显不足。CDI中,基础设施及废物处理两个维度仍有一定的发展空间。

重庆:作为西部地区唯一的直辖市,是中西部地区发展循环经济的示范区。重庆市行政辖区面积广,人口基数大,从CDI和EF综合来看,发展方式尚属可持续。在CDI指数中,重庆市的城市产值略低于其他几个城市,城市的经济建设仍有待加强。但其他城市发展的维度,如基础设施、教育、健康等维度都发展迅速,尤其废物处理维度,远高于其他三个直辖市水平,是典型的可持续发展的标识^[24-25]。

4.4 数据分析局限性

在计算人均生态足迹时,本文所选取的参数已在2中进行说明。不同参数的选取可能导致EF值存在一定差异,所以在比较时,尽量在同种算法内纵向比较。因此,本文仅与全国平均EF进行了比较,将其作为参

考平均水平线,定位各直辖市的 EF 水平,未与其他大型城市进行对比分析。为更准确的测算直辖市的实际人均生态足迹,可以对全球产量因子等参数进行地域化取值。

由于本研究中大部分数据来源均来自相关统计资料,根据数据的实际可获得性,CDI 指标在“基础设施”部分,国内的“污水下水道用户接管普及率”数据空缺,使得计算得出的“基础设施”值小于真实值。2002 年联合国人居署发布的全球城市 CDI 值中^[8],包括包含香港和呼和浩特两个中国城市。从 1998 年的人均 GDP 来看,呼和浩特市为 7067 元/人,北京市为 19128 元/人,天津市为 14243 元/人,上海市为 25206 元/人,重庆市为 5579 元/人。若算法相同,则呼和浩特的城市产值应小于上海、北京、天津市,大于重庆市。但呼和浩特市的城市产值却均大于各直辖市。说明算法执行与数据收集使用上存在一定区别。本文采用的方法在“城市产值”的计算中,结果小于真实值。因此,得到的 CDI 值也均较真实值偏小。所以在同世界其他城市的 CDI 比较中,较保守的估计出,中国各直辖市的城市发展指数处于中上等水平。

5 结论

本文首次综合应用城市发展指数和生态足迹指标,通过 1978 年改革开放到 2012 年的三十余年数据,综合评估直辖市的可持续发展情况,可以有效地衡量由浪费资源的发展方式向环境友好型转变的程度。

(1)通过对各直辖市 1978—2012 年城市发展指数的分析发现,总体来说,各直辖市的 CDI 不断增长,社会经济发展状况良好,虽起步不同,增长速度不同,但通过 30 余年的城市建设,现基本处于同一水平层次,在全世界城市发展中,处于中上等水平。

(2)通过对各直辖市 1978—2012 年人均生态足迹的分析发现,EF 的动态变化呈现阶段性发展的特点,各直辖市间也存在显著差异。除上海市,其他三个直辖市的 EF 呈现增长态势,上海市自 2005 年开始,开始回落。其他三个直辖市中,北京市近十年 EF 增长速度最为缓慢,增长率仅为 14%左右,而天津最高,为 47%,亟需改变资源城市资源消耗方式。重庆是各直辖市中 EF 唯一低于全国平均水平的城市^[13]。

(3)综合分析 CDI 和 EF,评估各直辖市的城市建设可持续发展水平,可将各直辖市分为两大集团。第一集团为上海市和重庆市,二者对于 EF 的消耗都进行了有效的控制,并且在 CDI 上仍然保持较好的发展态势。第二集团为北京市和天津市,在同样的城市发展份额下,二者消耗的环境资源较多。尤其是天津市的发展模式需要重新审视。北京市由于 EF 基数大、总量大,对于环境的消耗一直处于四大直辖市中的前列,但是从 2000 年开始,得到了有效的控制,并在近十年内大趋势上一直减少,说明北京市意识到该市在城市可持续发展中面临的挑战,正在以资源节约型、环境友好型的方式践行城市建设。

致谢:感谢博士研究生黄璐、硕士研究生李婧等同学同我在研究思路与方法上的探讨,给予我很大启发,特此致谢。

参考文献 (References):

- [1] Wu J G , Xiang W N , Zhao J Z. Urban ecology in China: Historical developments and future directions. *Landscape and Urban Planning*, 2014, 125: 222-233.
- [2] Wu J G. Making the case for landscape ecology: an effective approach to urban sustainability. *Landscape Journal*, 2008, 27: 41-50.
- [3] Wu J G. Urban sustainability: an inevitable goal of landscape research. *Landscape Ecology*, 2010, 25(1):1-4.
- [4] Nancy B Grimm, Stanley H Faeth, Nancy E Golubiewski, Charles L Redman, Wu J G, Bai X M, John M Briggs. Global change and the ecology of cities. *Science*, 2008, 391(5864): 756-760.
- [5] Gerald J Niemi, Michael E McDonald. Application of ecological indicators. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 2004, 35: 89-111.
- [6] Berezowski Linda. *Otters: Resource Links*, 2003: 26-26
- [7] Mark McGillivray. The human development index: Yet another redundant composite development indicator?. *World Development*, 1991, 19(10): 1461-1468.

- [8] Global Urban Observatory. Global Urban Indicators Database Version 2. Nairobi, Kenya: United Nations Human Settlements Programme, 2002: 74-74.
- [9] Koichiro Mori, Aris Christodoulou. Review of sustainability indices and indicators: Towards a new City Sustainability Index (CSI). *Environmental Impact Assessment Review*, 2012, 32(1): 94-106.
- [10] Mathis Wackernagel, William E Rees. *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. British Columbia, Canada: New Society Publishers, 1998: 160-160.
- [11] 郭秀锐, 杨居荣, 毛显强. 城市生态足迹计算与分析——以广州为例. *地理研究*, 2003, 22(5): 654-662.
- [12] Michael Borucke, David Moore, Gemma Cranston, Kyle Gracey, Katsunori Iha, Joy Larson, Elias Lazarus, Juan Carlos Morales, Mathis Wackernagel, Alessandro Galli. Accounting for demand and supply of the biosphere's regenerative capacity: The National Footprint Accounts' underlying methodology and framework. *Ecological Indicators*, 2013, 24: 518-533.
- [13] 成升魁, 谢高地, 曹淑艳. 中国生态足迹报告. 中国环境与发展国际合作委员会, 世界自然基金会, 2008.
- [14] 陈成忠, 林振山. 中国人均生态足迹与生物承载力变化的 EMD 分析及情景预测. *生态学报*, 2007, 27(12): 5291-5299.
- [15] 杨开忠. 哪个省的生态更文明? ——中国各省区市生态文明水平大排名. *中国经济周刊*, 2011, (12): 34-39.
- [16] 杨多贵, 牛文元, 陈劲锋. 北京市与上海市可持续发展能力对比研究. *上海经济研究*, 2000, (11): 28-33.
- [17] 齐明珠, 李月. 北京市人口生态足迹变动定量分析. *城市问题*, 2012, (10): 34-39.
- [18] 黄茉莉, 徐中民. 从演化的角度评价北京市经济系统可持续发展趋势. *生态学报*, 2010, 30(24): 7038-7044.
- [19] 李连友, 张慧芳. 北京市可持续发展能力的综合评价及对策. *数据*, 2009, (12): 52-54.
- [20] 高君, 程会强. 基于生态足迹方法的北京市可持续发展分析. *资源与产业*, 2010, 12(1): 101-108.
- [21] 刘芳. 基于生态足迹模型的天津市可持续发展综合评价研究[D]. 天津: 天津师范大学, 2008: 80-80.
- [22] 崔东军. 基于生态要素的天津市可持续发展评价[D]. 天津: 天津理工大学, 2013: 91-91.
- [23] 孟伟庆, 郝翠, 李洪远, 鞠美庭. 天津市生态经济系统能值分析及其可持续性评价. *经济地理*, 2009, 29(9): 1541-1545.
- [24] 陈鹏. 重庆可持续发展综合评价与对策研究[D]. 重庆: 重庆工商大学, 2012: 69-69.
- [25] 王小丽. 基于生态足迹模型的重庆市可持续发展动态研究[D]. 重庆: 重庆师范大学, 2012: 77-77.