

文章编号: 1007-7588(2008)06-0850-07

基于生态足迹的城市地域可持续发展能力评价 ——以深圳为例

吴健生, 李 萍, 张玉清

(北京大学深圳研究生院, 城市人居环境科学与技术重点实验室, 深圳 518055)

摘要: 可持续发展能力的定量评估是可持续发展研究的关键领域, 基于生态足迹计算的发展能力指标是较有效的评价指标之一。本研究应用生态足迹模型, 按不同土地类型与不同消费类型计算了 2005 年深圳的生态足迹, 分析了生态赤字构成并给出生态足迹矩阵, 以使政策建议更有针对性; 修正了 Ulanowicz 的发展能力模型, 将万元 GDP 生态赤字(盈余)因子引入计算公式中, 对深圳生态经济系统的可持续发展能力进行了评价。研究结果表明: 2005 年深圳人均生态赤字为 $3.16 \text{ hm}^2/\text{人}$, 生态足迹是其可利用生态承载力的 57 倍; 1986 年~2005 年深圳生态赤字扩大 10 倍, 20 年间系统稳定性逐渐下降, 近年有向良性化方向好转的趋势, 2003 年资源利用效率最高; 生态经济系统可持续发展能力持续上升, 2005 年最大, 为 6.49, 是 20 年前的 4 倍多。

关键词: 生态足迹分析; 发展能力; 万元 GDP 生态赤字; 深圳

1 引言

城市地域是涵盖生态、经济和社会等多因素的复杂巨系统, 其可持续发展能力的定量评价一直是热点问题, 单因素指标评价具有局限性, 结合多因素指标综合评价城市的发展能力是研究焦点之一。Darwin, Tilman^[1] 以及 Ulanowicz^[2] 等人的研究均表明, 系统的多样性与生产力、资源的利用效率存在相关性, 并反映系统的演替过程。Ulanowicz 认为, 多样性与发展能力相关, 采用系统产出的大小(用能量产出表征)和组织(与多样性、系统结构之间信息的交流等相关)来定义系统的发展。系统的发展首先是指发展能力, 它定义了系统发展的上限。最初, 多样性与发展能力应用于区域经济系统研究中, 在生态系统中的应用由 Temple^[3] 首先引入。1990 年代由 Rees 和 Wackernagel 等人^[4,5] 提出的生态足迹指标是一种测算人类对自然利用程度的指标, 自提出以来, 得到了广泛应用和不断完善, 该方法通过将区域的资源和能源消费转化为提供这种物质流所必需的各种生物生产土地的面积(生态足迹), 并同区域能提供的生物生产土地面积(生态承载力)进行比较, 能定量判断一个区域的发展是否处于生态承载力的范

围内^[6]。我国学者徐中民等^[6] 首次将生态足迹计算中采用的不同土地类型面积作为测算生态经济系统多样性的指标, 并采用 Ulanowicz 的发展能力公式分析了中国 1999 年的发展能力, 完善了前人研究中没有考虑人类活动对生态系统的影响的缺陷。随后这一方法在省、县(市)层面上得到推广应用^[7-9]。

深圳位于广东省沿海, 与香港接壤, 全市总面积 1952.84 km^2 , 2005 年末全市常住人口 827.75×10^4 人。作为我国改革开放的前沿阵地, 深圳近年来经济迅猛发展, 是我国率先实现全市域范围内土地管理二元制向一元制转变的城市, 其可持续发展状况值得关注。蒋依依等^[10] 曾按土地类型计算了深圳 2000 年的生态足迹并分析其与消费水平之间的关系。本文则侧重于将修正后的生态足迹的计算方法所得结果作为数据源进行深圳历年发展能力的分析评价。

本文将万元 GDP 生态赤字因子引入发展能力公式, 该因子反映了区域对资源的利用效率, 且作为生态经济评价的参考指标^[9] 综合考虑了区域生态经济系统中人类活动对自然资源的生态需求和生态系统对自然资源的生态供给能力, 是修正区域发展能

收稿日期: 2007-08-04; 修订日期: 2008-01-16

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(编号: 40635028, 40471002, 40571051)。

作者简介: 吴健生, 男, 湖南新化人, 副教授, 研究方向为城市景观生态和 GIS。

E-mail: wujis@szjku.edu.cn

力较理想的因子; 在生态足迹计算中, 按照土地类型计算^[10-13] 所得结论, 便于从大尺度上衡量国家或地区的账户; 按照消费类型计算^[14,15], 便于从个人尺度上分析消费行为对资源的消耗。结合运用两种分类方式对城市进行统计计算的研究并不多见, 本文采用这种方法给出了 2005 年深圳的生态足迹矩阵。

2 研究方法

通过比较深圳 2005 年生态足迹与生态承载力的计算结果, 对该年生态盈亏状况作出基本判断; 以同样方法计算深圳长时间序列(1986 年~2005 年)生态赤字发展动态; 利用生态足迹结果计算生态足迹多样性指数, 并将其嵌入经万元 GDP 生态赤字因子优化后的发展能力公式中, 得到深圳市多年生态经济系统发展能力变化趋势。

2.1 生态足迹分析

生态盈亏通过比较某一国家或地区的生态足迹需求(EF)与生态承载力(EC)来获得。若 $EF > EC$, 则出现生态赤字, 表明该地区的人类负荷超过了其生态容量, 说明该地区发展模式处于相对不可持续状态; 若 $EF < EC$, 则出现生态盈余, 表明该地区生态容量足以支持其人类负荷, 该地区的发展模式具相对可持续性。

生态足迹是指能够持续地满足一定规模人口需求的、具有生物生产力的地域空间, 根据居民的消费项目, 将其转化为相应的生物生产性土地, 计算公式可表示为^[4]:

$$EF = N \times ef = N \sum_{i=1}^6 (r_i c_i / p_i) \quad (1)$$

式中: i 为消费商品和投入的类型; EF 为总的生态占用; N 为人口数; ef 为人均生态占用; r_i 为均衡因子; c_i 为 i 种商品的人均消费量; p_i 为 i 种消费商品的全球平均产量。

生物生产性土地类型共分 6 类: 耕地、牧草地、水域、林地、化石能源用地及建成地; 消费类型包括如下 4 个账户: 食品账户、住宅账户、工业账户和商品账户。2005 年深圳生态足迹的计算中, 根据《深圳统计信息年鉴 2006》等资料, 食品账户中包括粮食、食油、鲜菜、猪肉、牛羊肉、家禽、鲜蛋、鱼、食糖、茶叶、酒类、鲜果、糕点及鲜奶等 14 项; 住宅账户主要衡量家居和住户对物质和能量的消费, 包括住房、绿化用地、秸秆、电力、道路及木材等 6 项; 工业账户包括原煤、原油、汽油、煤油、柴油、天然气、燃料油及液化石油气等 8 项; 商品账户包括成品油、钢材、肥

料、卷烟、化学纤维、棉布、塑料制品及铝材等 8 项。在工业账户和商品账户的消费中应该考虑贸易调整, 即消费量 = 生产量 + 进口量 - 出口量, 以计算净消费量。

鉴于食品账户、工业账户和商品账户的计算方法都较为成熟且计算表格过大, 这里省略。在我国研究城市尺度生态足迹中, 住宅账户核算方法尚不完善, 本研究着重进行了改进: 在计算住房项目时, 将住房转换为化石能源土地的能源值, 应用了 Sheltair^[16] 对于加拿大房屋在其生命周期内的研究数据, 他计算出一个 350m^2 的砖房在其 70 年的生命周期中需要消耗 $1\ 310\text{GJ}$ 的能量, 故住房能源足迹的计算公式如下: 住房的能源人均足迹 = (人均住房使用面积 \times 单位面积能源消耗量) / (化石燃料土地产出率 \times 年数)。

生态承载力是区域内部所能提供的各种类型生物生产性土地的数量, 计算公式为^[1]:

$$EC = N \times ec = N \sum_{j=1}^6 (a_j r_j y_j) \quad (2)$$

式中: EC 为区域总人口的生态承载力; N 为人口数; ec 为人均生态承载力; a_j 为人均生物生产面积; r_j 为均衡因子; y_j 为产出因子。

2.2 生态经济系统可持续发展能力计算

研究生态经济复合系统的结构和现象关系, 按 Ulanowicz 的方法及数据获得的局限性, 需要假设一个多部门的模型, 每个部门都只有单一类型土地需求, 且产出间没有相互联系。基于以上假设, 以往的发展能力用生态足迹与多样性指数的乘积进行核算^[6]。但由于该假设前提忽略了各系统组分之间的相互影响, 从而导致发展能力与多样性之间的关系不那么直接^[9]。为了弥补假设缺欠所引起的偏差, 将万元 GDP 生态赤字(盈余)因子引入该公式, 万元 GDP 生态赤字(盈余)为区域生态赤字除以区域国内生产总值, 同时考虑了区域的生态需求和生态供给, 不仅可以反映区域系统对资源的利用效率, 更反映了其社会经济活动的生态经济整体效应^[9]。万元 GDP 生态赤字值越小(即盈余值越大), 说明区域系统资源利用率越高, 经修正后的发展能力模型为:

$$C = ef \times H / A \quad (3)$$

式中: C 为发展能力; ef 为国家或地区的人均生态足迹; H 为生态足迹多样性指数; A 为万元 GDP 生态赤字(盈余)。

生态足迹多样性指数 H 的计算, 以不同类型土

地的面积作为测算生态经济系统多样性的指标,采用Shannon-Weaver的生态系统多样性公式^[7]:

$$H = - \sum_{i=1}^6 P_i \ln P_i \quad (4)$$

式中: H 是生态足迹多样性指数; P_i 是第*i*种土地类型的生态足迹占总生态足迹的比例。该函数不是一个单调函数,其意味着生态经济系统中生态足迹的分配越接近平等,系统组分的生态经济系统的多样性就越高,系统就越稳定^[7]。

需要指出的是,公式(3)的3个因子 ef 、 H 和 A 分别表征系统的能量消耗、系统稳定性及系统对资源的利用效率。 ef 值越大说明能耗越高,进而推论区域消费能力越大,即经济越活跃,该因子与区域可持续发展能力 C 成正比; H 值越大说明人类活动所消耗的土地类型越平等、多样,因此区域越稳定,该因子与 C 成正比; A 值越小说明区域资源利用效率越高,该因子与 C 成反比。

3 结果与分析

3.1 深圳2005年生态供需平衡分析

经由公式(1)、(2)计算后的生态足迹、生态承载力数据汇总至表1。核算中所应用的均衡因子均采用“发展重定义组织”于2000年对中国1996年国家生态足迹的核算数据。产出因子则根据2005年的统计数据作出相应修正:耕地产出因子则在原数据基础上依据深圳粮食产量与全国的比值(1.23)进行修正,为2.24;对牧草地产出因子的修正依据深圳

与中国在家禽、牛羊肉、禽蛋及牛奶等项目的综合产出比值(31.9)进行修正;林地产出因子的修正依据深圳与中国在水果、木材等项目上的综合产出比值(0.31)进行修正;水域产出因子的修正依据深圳与中国在水产品项目的产出比值(3.8)进行修正。认为深圳吸收二氧化碳用地与建成地的产出因子与中国相同,因此仍然采用与均衡因子相同的统计来源并不作调整。

由表1可见,2005年深圳生态足迹约为 $3.16\text{hm}^2/\text{人}$,而可利用生态承载力仅不足 $0.055\text{hm}^2/\text{人}$,生态赤字高达 $3.11\text{hm}^2/\text{人}$,其生态足迹是可利用生态承载力的57倍。可以判断,深圳市依赖城市边界之外的生态系统来提供资源供给和生态系统服务功能,将本身的生态压力转移到其他地区,占用其它地区的资源以满足自身发展。

根据生态赤字构成分析图(图1),可知吸收 CO_2 用地欠缺最多,占总赤字70.0%;其次为耕地、林地,分别达13.6%和9.7%。尽管深圳近年来非常重视生态公益林建设,2005年其面积达到 $47\,969.3\text{hm}^2$,占林业用地面积的60.1%,但面对日益增长的需求,仍然有巨大缺口;赤字最小的为建成地,供给基本可以满足需求。

生态足迹矩阵表(表2)明确显示了4个账户占6类土地类型的比例。其中工业账户所占比例较大,超过总生态足迹的54%,进一步分析发现,工业账户消费占化石能源用地消耗总量极大比例,这意

表1 2005年深圳生态足迹与生态承载力对比

Table 1 Ecological footprint compared with ecological capacity of Shenzhen in 2005

土地类型	生态足迹(需求)			土地类型	生态承载力(供给)		
	汇总面积 ($\text{hm}^2/\text{人}$)	均衡 因子	均衡面积 ($\text{hm}^2/\text{人}$)		汇总承载力 ($\text{hm}^2/\text{人}$)	产出 因子	均衡承载力 ($\text{hm}^2/\text{人}$)
耕地	0.146 954 48	2.9	0.426 167 979	耕地	0.000 493 93 ^①	2.24	0.003 208 60
牧草地	0.139 167 71	0.6	0.083 500 625	牧草地	0.000 016 84 ^①	30.00	0.000 303 11
水域	0.554 482 76	0.2	0.110 896 552	水域	0.001 616 91 ^①	3.80	0.001 228 85
林地	0.273 696 78	1.1	0.301 066 462	林地	0.004 428 19 ^①	0.19	0.000 925 49
化石能源用地	1.977 154 83	1.1	2.174 870 315	吸收 CO_2 用地	0.005 795 14 ^②	0.61	0.003 888 54
建成地	0.023 020 35	2.9	0.066 759 019	建成地	0.010 052 53 ^①	1.82	0.053 057 24
				总承载力	0.062 611 83		
总足迹			3.163 260 952	可利用承载力			0.055 098 41 ^③
生态赤字				3.108 162 54 $\text{hm}^2/\text{人}$			

注:①数据来自深圳2006年的土地利用现状变更调查统计结果;②该数据为深圳2005年生态公益林的人均拥有面积;③根据世界环境与发展委员会的报告《我们共同的未来》所建议,需要留出12%的生物生产性土地面积以保护生物多样性。该可利用承载力扣除了深圳生物多样性保护面积($0.007\,513\,42\text{hm}^2/\text{人}$)。

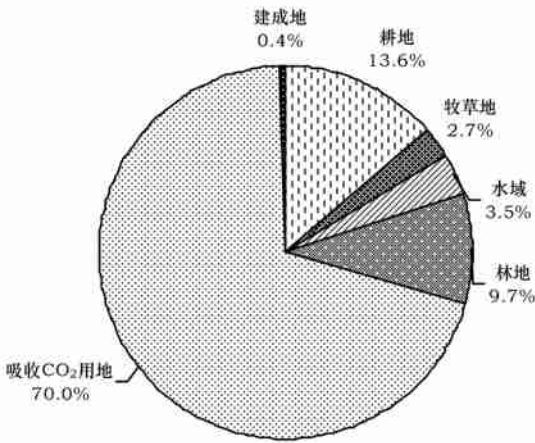


图 1 2005 年深圳生态赤字构成

Fig 1 Constitute ecological deficit of Shenzhen in 2005

表 2 2005 年深圳生态足迹矩阵

Table 2 Ecological footprint matrix of Shenzhen in 2005

	化石能源	耕地	牧草地	林地	建成地	水域	合计
食品	—	0.335	0.084	0.003	—	0.111	0.532
住宅	0.015	0.027	—	0.298	0.067	—	0.407
工业	1.705	—	—	—	—	—	1.705
商品	0.455	0.064	—	—	—	—	0.519
合计	2.175	0.426	0.084	0.301	0.067	0.111	3.163

注: 表内数据已经过均衡因子处理, 为可比较的全球均衡面积。

意味着工业上的消费对深圳化石能源生态赤字贡献最多; 食品账户和商品账户所占比例基本持平, 前者对耕地生态足迹贡献较大, 后者除了消耗少量耕地外, 还消耗了部分化石能源用地; 住宅账户所占份额最小, 不到 13%, 但它同时消耗了 4 种类型的土地 (包括化石能源用地、耕地、林地及建成地), 是 4 个账户中占用土地利用类型最多的账户之一。

3.2 1986 年~2005 年深圳生态赤字动态分析

为了弥补生态足迹模型的静态缺陷, 计算了深圳 1986 年~2005 年的生态赤字 (表 3)。按照该表显示的发展趋势, 近 20 年期间, 深圳整体上生态赤字不断扩大, 由 1986 年的 0.31 $\text{hm}^2/\text{人}$ 恶化到 2005 年的 3.10 $\text{hm}^2/\text{人}$, 扩大了 10 倍。但恶化速度并不均匀, 大致可分为 3 个阶段: ①1986 年~1995 年, 生态赤字快速增长阶段; ②1995 年~2003 年, 生态赤字增速趋缓阶段; ③2003 年后, 生态赤字飞速增加阶段。

6 类不同的土地类型赤字的发展动态如下: 吸收 CO_2 用地赤字增长最为明显, 其增长趋势基本上与总生态赤字的发展相同, 这说明能源消耗情况主导着整个生态赤字的发展, 与化石能源用地占生态

足迹比例最大的结论相吻合; 耕地赤字的变化较为复杂, 1986 年处于盈余状态, 即该年深圳耕地量可以满足其人口的自身消费需求, 而从 1990 年开始出现赤字, 1995 年~2000 年短期情况略微好转, 但随着时间的推移, 经济发展、人口增加, 耕地总体上仍然赤字加重; 林地赤字的发展一直缓慢扩大; 水域和牧草地的赤字在研究时间点处有细微变化, 但始终总体上不能满足其相应需求; 建成地 1986 年、1995 年两个研究时间点处于生态盈余状态, 但随着深圳市人口的增长, 对建成地面积的需求不断增加, 后期进入赤字状态, 2005 年的情况又有所好转, 这说明深圳作为快速城市化地区, 其市政府为保证建成地的供给, 对土地利用类型作了有效调整。

3.3 深圳可持续发展能力分析

据公式 (3)、(4) 计算并汇总了 1986 年~2005 年期间深圳生态经济系统发展状态 (表 4)。90 年代之前深圳市生态经济系统发展能力有微小下降, 而后一直持续快速上升。1990 年的发展能力为 1.46, 是研究期内最小值, 2005 年的发展能力最大, 是 20 年前的 4 倍多。由于发展能力由生态足迹、生态足迹

表 3 1986 年~2005 年深圳生态赤字变化

Table 3 The changes of ecological deficit of

Shenzhen during 1986~2005

($\text{hm}^2/\text{人}$)

	1986	1990	1995	2000	2003	2005
耕地	-0.1045	0.2012	0.2710	0.1484	0.1508	0.4230
牧草地	0.0497	0.0639	0.0384	0.0452	0.0215	0.0832
水域	0.0417	0.0446	0.0197	0.0540	0.0579	0.1097
林地	0.0341	0.0493	0.0635	0.0954	0.0953	0.3001
化石能源用地	0.3057	0.4824	0.8385	1.0057	1.3528	2.1710
建成地	-0.0143	0.0076	-0.0128	0.0044	0.0226	0.0137
合计	0.3125	0.8490	1.2184	1.3531	1.7010	3.1006

表 4 1986 年~2005 年深圳生态经济系统

可持续发展能力状况

Table 4 Ecological and economic sustainability of the system

development capability of Shenzhen during 1986~2005

	生态足迹 ($\text{hm}^2/\text{人}$)	生态足迹多样性	GDP 赤字 ($\text{hm}^2 \times 10^4 \text{元}$)	发展能力	人均 GDP ($\times 10^4 \text{元}$)
1986	0.7814	1.40	0.6816	1.60	0.46
1990	1.0188	1.40	0.9732	1.46	0.87
1995	1.2862	1.09	0.6232	2.24	1.96
2000	1.3974	1.03	0.4125	3.49	3.28
2003	1.7513	0.88	0.3617	4.27	4.70
2005	3.1633	1.05	0.5100	6.49	6.08

多样性及万元GDP生态赤字3个因子所决定,而这3个因子分别表征了区域系统的能量产出、稳定性及资源利用效率,因此有必要进一步分析各因子的变化情况。其中生态足迹的情况已在上文做过详细剖析,逐渐增加的生态足迹值表明深圳的能耗在增加,产生能耗的原因可归结为区域消费能力的提高,这与20年来深圳市经济越来越活跃的现实状况是相吻合的。下面分析其余2个因子。

20年间深圳生态足迹多样性指数呈现先下降再上升的趋势,最大值为1986年的1.40,最小值则在2003年达到0.88。如前所述,该指数越大说明生态经济系统越稳定,因此可判定深圳从1985年~2003年生态经济系统稳定性逐渐下降,而2005年状况较2003年的稳定,在向良性化方向发展,但仍然不及20年前。

万元GDP生态赤字反映了系统对资源的利用效率。由表4可见,1986年~2005年间,1990年达到最大值,说明该年深圳的资源利用效率最低;2003年为最小值,说明深圳该年资源利用效率最高。

4 结论与讨论

(1)单独用生态足迹模型来判断某个城市地域是否可持续是不准确的,以它为数据源进行进一步核算、分析并判断是可行的。已有学者批评指出,生态足迹分析具有相对的生态偏向性^[18~20],因为它仅强调人类发展对自然生态系统的影响及其可持续性,缺乏对发展程度与公平性的度量,也没有考虑人类对现有消费模式的满意程度,因此没有涉及到社会、经济、技术等方面的可持续性,因而往往得出“经济越发达,发展越不可持续”的结论。以深圳为例,如果以20年的生态赤字变化作为判断依据,深圳的发展早已不可持续,但事实是该城市经济活力十足,发展迅速。经修正后的可持续发展能力模型涉及了生态、经济及社会等各方面因素,能较为准确判断城市地域的可持续发展能力。

另外这里有一个尺度问题,以生态赤字的出现来判断其处于不可持续状态时,往往是从更大的区域视角(如全球)出发,某城市地域出现生态赤字毫无疑问是在消耗全球生态总量,但单从该城市地域范围本身出发进行判断,由于不同地区之间资源等方面的不平衡性和交换是遍在现象且相互关系复杂,因此不能直接得出该地区发展不可持续;当用本研究的可持续发展能力模型进行分析判断时,角度为地区本身。

(2)通过列生态足迹矩阵、计算长时间序列生态赤字,弥补生态足迹模型部分缺陷。列出生态足迹矩阵的关键在于按不同土地类型与不同消费类型同时统计。该方法的好处一是改进了生态足迹计算中假定生物生产性土地具有空间相斥性的缺陷,这一改进使计算更为详尽,比如计算住宅账户中的住房项目时,不仅统计了它对建成地的贡献,同时也考虑其对化石能源用地的占用,考虑了土地的兼业性,更符合实际情况;二是使计算结果更明确,在政策建议时更有针对性。长时间序列生态赤字则弥补了模型的静态性^[21]。

(3)“全球生物生产性土地”是Wackemagel生态足迹方法的核心概念,由于不同生产力参数值下城市生态足迹的规模和结构是有差别的,不加分析地直接引用,导致了计算方法存在粗放性。目前,国内外相关研究大都直接采用Wackemagel等提出的计算参数,这样做的好处是保持了生态足迹分析方法具有广泛可比性这一最大魅力,但在区域及其以下尺度的横向比较研究中,这一缺陷将影响评估结果的真实性与精确性。由于本研究是对深圳市长时间序列的纵向比较,因此直接采用该数值并不影响结论的趋势性判断。但认为,建立不同“全球生物生产性土地”生产力基准值条件下不同的均衡因子参数集是改进生态足迹方法极其必要的研究方向。

(4)根据修正的可持续发展能力模型可知,提高深圳可持续发展能力的途径有3个:①提高生态足迹,即刺激经济消费、鼓励消耗;②提高土地利用多样性,以使系统更加稳定安全;③提高资源利用效率。但根据深圳20年的生态赤字变化可知,该城市本身的生态承载力远不足以满足其生态足迹,是依靠占用其他城市生态资源来获得发展的,因此作为负责任的经济大市,途径一不能成立。根据2005年的高发展能力值来看,其多样性指数值并非最大值,万元GDP生态赤字也并不是最小值,该峰值的获得主要由高的生态足迹值所贡献,因此采取相应政策手段控制城市消耗迫在眉睫。

综上所述,对深圳市可持续发展提出建议:①鼓励构建节约型社会,提倡循环经济,控制城市过量消耗,根据深圳工业账户的消费已超过其总生态足迹一半以上,应该加强对工业账户的消费控制;②增加土地利用类型,提高生态足迹多样性;③在减少生态赤字的前提下,通过产业结构调整、控制人口等方法增加人均GDP,以提高资源利用效率。尽管有学者

认为生态足迹多样性指数与万元 GDP 生态赤字高度相关,但目前为止,现实中两者间的机理关系并不清楚,这也是修正该可持续发展能力模型的主要根据之一。经过修正的可持续发展能力公式综合反映了研究区域的社会、经济和生态等各方面状况。

致谢:感谢北京大学环境学院博士后彭建先生的指导及北京大学深圳研究生院城市人居环境科学与技术重点实验室常青、谢苗苗、杨磊、刘珍环及吕晓芳五位博士生的帮助。

参考文献 (References):

- [1] Tilman D, Wedin D, Knops J. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems [J]. *Nature*, 1996, 379: 718 ~ 720.
- [2] Ulanowicz RE. Growth and Development [M]. In: *Ecosystem Phenomenology*. New York: Springer-Verlag, 1986.
- [3] Templet PH. Energy, diversity and development in economic systems: An empirical analysis [J]. *Ecol Econ*, 1999, 30: 223 ~ 233.
- [4] Rees W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out [J]. *Environment and Urbanization*, 1992, 4(2): 121 ~ 13.
- [5] Wackemagel M, Rees W. E. Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the earth [M]. Gabriola Island: New Society Publishers 1996.
- [6] 徐中民, 张志强, 程国栋, 等. 中国 1999 年生态足迹计算与发展能力分析 [J]. 应用生态学报, 2003, 14(2): 280 ~ 285. [XU Zhong-min, ZHANG Zhi-guo, CHENG Guo-dong, et al. Ecological footprint calculation and development analysis of China in 1999 [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(2): 280 ~ 285.]
- [7] 王书华, 张义丰, 毛汉英. 城郊县域生态经济协调状态与发展能力分析 [J]. 地理科学进展, 2004, 23(1): 96 ~ 104. [WANG Shu-hua, ZHANG Yi-feng, MAO Han-ying. Analysis of the coordination of ecological economy in urban-suburb district based on ecological footprint model [J]. *Process in Geography*, 2004, 23(1): 96 ~ 104.]
- [8] 智瑞芝, 董雪旺. 大庆市生态经济可持续性与发展能力动态分析 [J]. 经济地理, 2006, 26(4): 669 ~ 676. [ZHI Rui-zhi, DONG Xue-wang. Dynamic analysis of sustainability and development capacity of ecosystem and economy in Daqing City [J]. *Economy Geography*, 2006, 26(4): 669 ~ 676.]
- [9] 王书玉, 卞新民. 江苏省阜宁县生态经济系统综合评价 [J]. 生态学杂志, 2007, 26(2): 239 ~ 244. [WANG Shu-yu, BIAN Xin-min. Comprehensive evaluation of ecological economic system in Funing County of Jiangsu Province [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(2): 239 ~ 244.]
- [10] 蒋依依, 王仰麟, 李卫锋, 等. 城市生态可持续发展量度方法探讨 [J]. 北京大学学报(自然科学版), 2005, 41(4): 612 ~ 621. [JIANG Yi-yi, WANG Yang-lin, LI Wei-feng, et al. Measuring
- urban ecological sustainability [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2005, 41(4): 612 ~ 621.]
- [11] 白艳莹, 王效科, 欧阳志云, 等. 苏锡常地区生态足迹分析 [J]. 资源科学, 2003, 25(6): 31 ~ 37. [BAI Yan-ying, WANG Xiao-ke, OUYANG Zhi-yu, et al. Ecological footprint of south jiangsu province: The case of Suzhou-Wuxi-Changzhou Region [J]. *Resources Science*, 2003, 25(6): 31 ~ 37.]
- [12] 赖力, 黄贤金, 刘伟良. 区域人均生态足迹的社会经济驱动模型 [J]. 资源科学, 2006, 28(1): 14 ~ 18. [LAI Li, HUANG Xian-jin, LIU Wei-liang. Socio-economic driving model of regional ecological footprint [J]. *Resources Science*, 2006, 28(1): 14 ~ 18.]
- [13] 符国基. 海南省外来旅游者生态足迹测评 [J]. 资源科学, 2006, 28(5): 145 ~ 151. [FU Guo-ji. Evaluating ecological footprint of external tourists in Hainan Province [J]. *Resources Science*, 2006, 28(5): 145 ~ 151.]
- [14] 顾晓薇, 李广军, 王青, 等. 高等教育的生态效率 [J]. 冰川冻土, 2005, 27(3): 418 ~ 425. [GU Xiao-wei, LI Guang-jun, WANG Qing, et al. Ecological efficiency of high education [J]. *Journal of Glaciology and Geography*, 2005, 27(3): 418 ~ 425.]
- [15] 闵庆文, 余卫东, 成升魁. 商丘市居民生活消费生态足迹的时间序列分析 [J]. 资源科学, 2004, 26(5): 125 ~ 131. [MIN Qing-wen, YU Wei-dong, CHENG Sheng-kui. Time serial analysis of residents' living consumption with ecological footprint in Shangqiu of Henan Province [J]. *Resources Science*, 2004, 26(5): 125 ~ 131.]
- [16] Shellair. Canadian Mortgage and Housing Corporation [M]. OPTIMIZE, 1991.
- [17] Shannon CE, Weaver W. The Mathematical Theory of Communication [M]. Urbana IL: University of Illinois Press, 1949.
- [18] 杨振, 牛叔文, 常慧丽, 等. 基于生态足迹模型的区域生态经济发展持续性评估 [J]. 经济地理, 2005, 25(4): 542 ~ 54. [YANG Zhing, NIU Shu-wen, CHANG Hui-li, et al. Evaluation of sustainability of the regional ecological economics development based on the ecological footprint model [J]. *Economic Geography*, 2005, 25(4): 542 ~ 546.]
- [19] 蔺海明, 颀鹏. 甘肃省河西绿洲农业区生态足迹动态研究 [J]. 应用生态学报, 2004, 15(5): 827 ~ 832. [LIN Hai-min, XIE Peng. Dynamics of ecological footprint of agricultural region in Hexi oasis of Gansu Province [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(5): 827 ~ 832.]
- [20] 彭建, 吴健生, 蒋依依, 等. 生态足迹分析应用于区域可持续发展生态评估的缺陷 [J]. 生态学报, 2006, 26(8): 2 716 ~ 2 722. [PENG Jian, WU Jian-sheng, JIANG Yi-yi, et al. Shortcomings of applying ecological footprints to the ecological assessment of regional sustainable development [J]. *Resources Science*, 2006, 26(8): 2 716 ~ 2 722.]
- [21] 蒋依依, 王仰麟, 卜心国, 等. 国内外生态足迹模型应用的回顾与展望 [J]. 地理科学进展, 2005, 24(2): 13 ~ 23. [JIANG Yi-yi, WANG Yang-lin, BU Xin-guo, et al. Review and prospect of the application of ecological footprint model [J]. *Process in Geography*, 2005, 24(2): 13 ~ 23.]

Sustainable Development Capacity Evaluation based on Urban Ecological Footprint: A Case Study of Shenzhen

WU Jian-sheng, LI Ping, ZHANG Yu-qing

(The Key Laboratory for Environmental and Urban Sciences, Shenzhen Graduate School, Peking University, Shenzhen 518055, China)

Abstract: Quantitative evaluation of urban sustainable development capacity has been heavily researched. Development capacity indicators based on the calculation of an ecological footprint are an effective means of evaluation. The ecological footprint of Shenzhen in 2005 was calculated using different land use types and consumption categories. The composition of ecological deficit and ecological footprint matrix were also analyzed for policy applications. Ulanowicz's development capacity model was adjusted by introducing a factor of ecological deficit/surplus per 10 000 RMB of GDP, and then used to evaluate the sustainable development capacity of the ecological and economic systems of Shenzhen. The ecological deficit of Shenzhen in 2005 was 3.16 hm² per capita, and the ecological footprint is about 57 times greater than capacity. During 1986 ~ 2005, the ecological deficit increased by more than ten times. Sustainable development capacity continued to rise, and was highest in 2005 at 6.49, nearly four times that of 20 years ago. The stability of the system has also gradually declined. Resource utilization efficiency reached its highest point in 2003. Results of this study show that it is not accurate to determine whether an urban area is sustainable based only on a single ecological footprint model. Based only on the change in ecological deficit over the past 20 years, it could be concluded that Shenzhen's current development is not sustainable. However, the city is still developing rapidly. The altered model of sustainable development capacity includes ecological, economic, social and other factors, which can be used to evaluate the sustainable development capacity of an urban area more comprehensively and accurately. We make the following recommendations on sustainable development in Shenzhen: First, the city should encourage the construction of a conservation-oriented society, promote recycling of resources and control excessive urban consumption. The consumption of industrial accounts has exceeded more than half of its total ecological footprint, so the city should strengthen its control over this component. Second, the city should diversify land use. Third, in order to reduce the ecological deficit, Shenzhen should increase per-capita GDP and thus improve the efficiency of resource use through adjustment of the industrial structure and population control.

Key words: Ecological footprint analysis; Development capacity; Ecological deficit; Shenzhen