

广州城市公园绿地投入与环境效益产出的分析 ——基于数据包络(DEA)方法的评价

陈忠暖, 刘燕婷, 王滔滔, 吕逸宏

(华南师范大学地理科学学院, 广州 510631)

摘要: 遵循国外对绿地价值的评价方向, 借鉴国内外研究中的数据包络分析方法, 对尚少涉足的城市绿地效率评价进行研究。构建城市公园绿地投入与环境效益产出的指标体系, 评价2001~2008年广州城市公园绿地的生态效率。其中, 公园绿地的环境效益产出主要用了绿地的固碳释氧、净化空气、调节气候和城市滞尘四大功能的生态价值估测方法, 以此量化城市公园绿地环境效益的产出。结果显示: (1) 广州城市公园绿地的环境效益产出主要受土地和劳动影响, 资本起辅助作用; (2) 由于资本的投入冗余较高, 广州城市公园绿地的生态效率现状偏低; (3) 广州城市公园绿地生态效率经历了由2001~2004年的平稳优效期向2005~2008年的波动非优期的过渡; (4) 规模效率对环境效益产出的贡献大于纯技术效率, 园林绿化固定资产投资是影响纯技术效率的主要原因, 公园绿地面积和职工人数是影响规模效率的主要原因。

关键词: 城市公园绿地; 环境效益; 生态效率; 数据包络分析; 广州市区

文章编号: 1000-0585(2011)05-0893-09

1 引言

公园绿地是城市绿地系统的组成部分, 国内外以研究整个城市绿地系统或开放空间为主, 涉及城市规划、土地利用、生态环境等方面的学科。

国外对绿地的研究多为实证研究, 且由技术层面的研究逐渐转向非技术层面的研究, 包括机制探讨、关系研究、评价方法应用等等。如: Pham Duc Uy 等通过 GIS 手段, 研究了越南首都河内 1996~2003 年城市绿地系统的时间空间变化, 并探讨了其背后的动力机制^[1]; Davies 等以英格兰切斯特菲尔德为例, 研究城市范围内, 绿地系统与城市土地利用、地形地貌学之间的关系^[2]; Salman 等提出了城市绿地社会—生态功能的评价方法, 并应用于巴基斯坦卡拉奇^[3]。另外, 日本学者 Ishii 等研究了附属于城市殿宇寺庙的森林绿地所发挥的生态和文化价值^[4], 这说明国外已经更加深入地研究具体绿地类型的价值。

国内城市绿地系统的研究从 1940 年代程世抚先生所做的开放空间规划开始^[5], 随后我国对绿地的研究主要为城市规划服务。1980 年代开始出现对绿地的评价指标研究, 但此时期的评价指标体系较为单一。1990 年代后, 俞孔坚等引入可达性作为衡量城市绿地系统的评价指标^[6,7]。另外, Li Weifeng 等开始引入行为主义理论, 以北京 24 个公园为

收稿日期: 2010-09-19; 修订日期: 2011-12-14

基金项目: 广东省自然科学基金项目 (10151063101000018)、广东省软科学研究项目 (2010B070300072)

作者简介: 陈忠暖 (1957-), 男, 重庆人, 教授, 主要从事城市地理、区域经济等方面的研究。

E-mail: chenzhn@scau.edu.cn

例, 通过测算了园内植物物种的价值指数, 探讨人类的行为对公园绿化的影响^[8]。

目前, 数据包络分析方法 (DEA) 已较多地运用到城市资源配置、景区使用效率和环境效益测度等方面, 如: 赵祥等对高等教育资源配置的评价^[9], 马晓龙等对国家级风景名胜区使用效率的评价^[10], 杨斌对中国区域生态效率的实证分析^[11]等。

国外对绿地的研究已经深入到评价具体绿地类型价值的实证研究, 而国内对具体绿地类型的效率评价研究成果较少。本文运用较为成熟的 DEA 效率评价方法, 以广州为例, 对城市公园绿地效率进行评价, 理论上可以弥补我国对绿地系统定量评价的不足, 为具体绿地类型的研究提供参考, 实践上可以为广州城市绿地规划者提供决策依据。

2 测度方法、指标及数据

根据《广州统计年鉴》, 只对广州市辖区的园林情况进行统计, 选取花都、白云、越秀、荔湾、天河、海珠、黄埔、番禺、罗岗、南沙等十市区作为本文的研究范围。对生态效率的概念界定有很多, 本文研究的公园绿地生态效率主要指在公园绿地上的人为投入和它产生的环境效益产出之比。即:

$$V = P/N$$

V 表示公园绿地生态效率, P 表示对公园绿地的投入, N 表示公园绿地产生的环境效益。

其中, 对公园绿地的投入 (P) 一般都有比较明确的计量方式, 本文主要从资本、土地、劳动三大生产要素来计量对公园绿地的投入。但就公园绿地产生的效益来讲却比较复杂, 不太容易直接计量。

首先, 公园绿地产出的效益包括环境效益、经济效益, 以及社会效益等。本文仅研究公园绿地的环境效益 (N)。其次, 绿地对环境产生的影响不像对绿地投入那样容易计量。本文运用生态价值的估测方法来量化公园绿地产出的环境效益, 从公园绿地固碳释氧、净化空气、调节气候、滞尘等对环境要素影响的四大功能出发分别对其进行量化, 最后以经济价值加总。

在做到了对公园绿地的投入与产出都能量化的基础之上, 再运用数据包络分析 (DEA) 方法测算公园绿地投入与其环境效益产出的效率, 最后通过相关性分析探讨广州公园绿地生态效率的影响因素。

2.1 测度方法

数据包络分析方法 (Data Envelopment Analysis, 简称 DEA) 是一种多输入多输出的分析方法^[12], 即要素投入与产出之间的相对效率评价的系统分析方法, 其优点在于摒弃了传统主观的赋权方法^[11]。C²R 是 DEA 的第一个模型, 假设对 n 个统计年份的效率进行评价, 每个统计年份 (DMU) 都有 M 种投入变量和 R 种产出变量, X_{jm} 表示第 j 个年份的第 m 种投入的总量, Y_{jr} 表示第 j 个年份的第 r 种产出的总量, 那么基于规模报酬不变的 C²R 模型为:

$$\begin{cases} \min\{\theta\} \\ s. t. \sum_{j=1}^n \lambda_j X_{jm} + s^- = \theta X_m \quad m = 1, 2, \dots, M \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_{jr} - s^+ = Y_r \quad r = 1, 2, \dots, R \\ \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n, s^- \geq 0, s^+ \geq 0, \theta \text{ 自由} \end{cases}$$

式中, θ ($0 < \theta \leq 1$) 为综合效率指数, λ_j ($\lambda_j \geq 0$) 为权重变量; s^- ($s^- \geq 0$) 为松弛变量; s^+ ($s^+ \geq 0$) 为剩余变量。当 $\theta=1$, $s^- = s^+ = 0$ 时, 则表示第 n 年的公园绿地综合效率有效; 当 $\theta=1$, $s^- \neq 0$, $s^+ \neq 0$, 则称第 n 年公园绿地效率无效, 此时, 若 θ 的值越接近于 1, 则表示第 n 年公园绿地效率越高, 反之越低。对上式引进约束条件 $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$, 将其转变为规模报酬可变 (VRS) 的 DEA 模型, 在此约束条件下, 城市公园绿地综合效率可分解为纯技术效率和规模效率, 综合效率则是纯技术效率与规模效率的乘积, 纯技术效率为要素实际投入到产出的转换能力, 规模效率为投入要素在规模上满足生产需求的能力^[10]。

2.2 指标体系

依据前述, 从资本、土地、劳动三方面出发, 选取了园林绿化固定资产投资额、公园维护费、公园绿地面积、公园职工数作为对绿地的投入指标, 其中公园维护费由公园节日粉饰费和园林博览费构成。从公园绿地固碳释氧、净化空气、调节气候和滞尘的四大环境功能出发, 将四项环境效益指标量化为经济价值, 并将其总和作为城市公园绿地的环境效益产出 (表 1)。

表 1 广州城市公园绿地投入与环境效益产出的评价指标

		一级指标	二级指标
投入指标		资本	园林绿化固定资产投资 (万元)
			公园维护费 (万元)
		土地	公园绿地面积 (hm ²)
		劳动	城市公园职工数 (人)
产出指标	环境效益产出		固碳释氧的经济价值 (万元)
			吸收 SO ₂ 经济价值 (万元)
			调节气候经济价值 (万元)
			城市滞尘经济价值 (万元)

资料来源: 依据生产要素的投入和绿地的环境功能分析所得。

2.3 数据来源与处理

本文数据来源于《广州统计年鉴》(2002~2009)、《广州市市政园林建设统计年鉴》(2005~2007) 以及华南师范大学五山校区气象站历年观测资料。由于 DEA 模型计算不能有缺失值, 因此本文利用统计软件 SPSS13.0, 以邻近点有效数值的均数替换缺失数据。

3 城市公园绿地环境效益的量化估算

甘巧林等已经强调用经济计量手段核定环境价值的重要性^[13]。城市公园绿地具有明显减轻城市热岛效应的环境效益, 通过植物光合作用保持城市碳氧平衡, 吸收工业和汽车排放的 SO₂ 净化城市空气, 吸收工业和生活产生的各种热量调节城市气候, 以及城市滞尘效应等。为了便于进行公园绿地生态效率的分析, 本文首先将公园绿地的四大环境功能量化为经济价值。

3.1 公园绿地固碳释氧经济价值

据陈自新等测定的每公顷公共绿地^①日吸收 CO₂ 和释放 O₂ 量分别为 2.018 t/d 和 1.409 t/d^[14], 将 2001~2008 年广州的日照时数转化为日照天数, 可计算出每年广州城市公园绿地进行光合作用时吸收 CO₂ 和释放 O₂ 的总量。

在固碳经济价值方面, 通过瑞典的碳税率 (40.94 美元 · t⁻¹), 计算 CO₂ 量所需缴纳

^①据《全国城市绿地分类标准 CJJ/T 85—2002》, “公园绿地”与“公共绿地”在概念上有所不同, 但在功能和用途上是相同的。

的税金, 作为对广州公园绿地固碳价值的衡量, 其中美元对人民币的汇率以各年份平均汇率为标准进行计算。

在释氧经济价值方面, 以工业制氧法获取单位 O_2 成本 ($0.4 \text{ 元} \cdot \text{kg}^{-1}$) 计算出各年份广州公园绿地释氧的总价值。

将以上两项的产出经济价值相加便得到广州城市公园绿地固碳释氧的经济价值 (表 2)。

3.2 公园绿地净化空气效益

公园绿地吸收 SO_2 可净化城市空气。据吴耀兴等城区园林净化 SO_2 量为 $296.084 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[15], 乘以各年公园绿地面积, 可得广州公园绿地各年吸收 SO_2 量, 将消除同等量 SO_2 所需的成本费用作为公园绿地吸收 SO_2 的经济价值。利用实际生产活动中除去 SO_2 所需的工程费用 ($1090 \text{ 元} \cdot \text{t}^{-1}$) 来计算, 可得广州城市公园绿地每年吸收 SO_2 的经济价值 (表 2)。

3.3 公园绿地调节城市气候效益

城市公园绿地的降温效益主要是通过植物的蒸腾作用吸收热量实现。受各年气候、人为条件影响, 每年广州公园绿地降温效益存在差异。据陈自新等测算平均每公顷公共绿地日蒸腾吸热量为 526 kJ/d 。借鉴冷平生等利用空调降温换算园林绿地的吸热降温的方法计算公园绿地的降温价值^[16]。根据统计年鉴, 可知每年广州气温超过 22°C 的天数, 即为空调运转的实际天数。如果按照空调每天工作 12 h , 电费 $0.6 \text{ 元/kw} \cdot \text{h}$ 计算, 可获广州公园绿地每年降温的经济价值 (表 2)。

表 2 广州城市公园绿地环境效益经济价值 (万元)

Tab. 2 The economic value of environmental benefit of park green land in Guangzhou

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
固碳释氧	39381	40550	54753	61798	54009	54155	67388	59045
净化空气	150	162	179	200	226	243	259	271
调节气候	4690	5167	5607	6102	6595	7200	7432	7689
城市滞尘	186	200	222	248	280	300	321	336
总计	44407	46079	60761	68348	61110	61898	75400	67341

资料来源: 依据《广州市统计年鉴》(2002~2009)、华南师范大学五山校区气象站历年观测资料, 及参考文献 [13~15], 按生态价值的估测方法计算所得。

3.4 公园绿地城市滞尘效益

广州城市公园绿地每年吸收大量粉尘, 利用工业除尘的成本 ($170 \text{ 元} \cdot \text{t}^{-1}$) 可换算公园绿地滞尘效益的经济价值 (表 2)。

3.5 公园绿地环境效益总价值

通过以上公园绿地四大环境功能的经济价值估测计算, 可知 2001~2008 年各年广州市区城市公园绿地环境效益的经济价值总量 (表 2) 及其变化趋势。广州公园绿地环境效益的经济价值总量基本上呈上升趋势, 但增速有所减缓, 持续增长后劲不足。

4 城市公园绿地投入的生态效率分析

根据 DEA 模型原理, 综合效率、纯技术效率和规模效率值均介于 $0 \sim 1$ 之间, 当效

率值等于 1 时，效率最优；效率值越接近于 1，效率越高。通过 DEAP2.1 软件计算可得 2001~2008 年广州市区城市公园绿地的综合效率、纯技术效率和规模效率（表 3）。

4.1 2008 年广州城市公园绿地生态效率

由表 3，2008 年广州城市公园绿地的综合效率、纯技术效率和规模效率分别为 0.731、0.893 和 0.819，均低于 8 年来各效率的平均值 0.885、0.939 和 0.940，说明 2008 年广州城市公园绿地效率相对偏低。为了分析 2008 年广州城市公园绿地效率偏低的原因，可以计算公园绿地的投入冗余率和产出不足率，通过计算结果可知哪些要素投入过多，从而控制要素投入以节约投入成本，使绿地投入与环境效益产出达到最优。由表 4，2008 年广州城市公园绿地的土地和劳动投入冗余率均为 4.4%，资本投入冗余率高达 33%，而环境效益的产出不足率相对较高，为 12%。以上说明相对公园绿地面积和职工人数，固定资产投资和公园维护费过高的投入并没有获得应有的环境效益产出，使得绿地的生态效率不高。

4.2 城市公园绿地生态效率变化趋势

由表 3，2001 年、2003 年和 2004 年，广州市区城市公园绿地的综合效率、纯技术效率和规模效率均达到 1，处于效率最优状态。2002 年和 2007 年公园绿地的综合效率、纯技术效率和规模效率基本介于 0.895~1 之间，处于效率次优状态。2005 年、2006 年和 2008 年，尽管纯技术效率和规模效率均在 0.8 以上，但其综合效率均在 0.8 以下，处于效率非优状态。

2001~2008 年广州公园绿地生态效率大致分为两个阶段：（1）2001~2004 年为效率平稳优效期，此期间，除 2002 年综合效率和纯技术效率下降至 0.9 之外，其余年份的三大效率均处于 1 或接近 1；（2）2005~2008 年为效率波动非优期，此期间规模效率呈明显下降趋势，综合效率和纯技术效率除 2007 年有较明显的上升外亦表现为下降，由于综合效率是纯技术效率和规模效率的乘积，因此在纯技术效率和规模效率均不为 1 的情况下，综合效率始终低于纯技术效率和规模效率。广州公园绿地效率由平稳优效向波动非优的显著变化，说明 2005 年后，公园绿地要素的实际投入在满足环境效益产出需求的能力，以

表 3 2001~2008 各年广州城市公园绿地生态效率

Tab. 3 The eco-efficiency of park green land in Guangzhou (2001—2008)

年份	综合效率	纯技术效率	规模效率
2001	1.000	1.000	1.000
2002	0.915	0.919	0.995
2003	1.000	1.000	1.000
2004	1.000	1.000	1.000
2005	0.794	0.856	0.927
2006	0.747	0.843	0.886
2007	0.895	1.000	0.895
2008	0.731	0.893	0.819
平均值	0.885	0.939	0.940

资料来源：依据《广州市统计年鉴》（2002~2009）、《广州市市政园林建设统计年鉴》（2005~2007）资料数据及表 2，按数据包络分析方法计算所得。

表 4 2008 年广州城市公园绿地投入冗余率和产出不足率（%）

Tab. 4 The ratio of radial movement and slack movement of park green land in Guangzhou (2008) (%)

	投入冗余率	产出不足率
公园绿地面积	4.4	
公园职工人数	4.4	
园林绿化固定资产投资、公园维护费	33	
公园绿地环境效益		12

资料来源：依据表 3，按数据包络分析方法计算所得。

及要素从实际投入到产出的转化能力在下降。

5 影响因素分析

5.1 环境效益产出的相关分析

从图 1 四项投入与环境效益产出曲线可知，公园绿地面积和公园职工数两条曲线基本重叠，持续上升，环境效益围绕这两条曲线上下浮动，基本上呈上升趋势；园林绿化固定资产投资和公园维护费曲线则波动幅度较大，与环境效益的曲线略显出此消彼长。通过环境效益与四项投入要素之间的相关性分析可进一步解释以上曲线走向的原因。由表 5 可知，广州城市公园绿地的环境效益与公园绿地面积、公园职工人数的相关系数均达 0.819，显著相关，即土地与劳动的投入对广州城市公园绿地环境效益产出的贡献是最大的。另外，环境效益与园林绿化固定资产投资呈弱正相关，与公园维护费呈弱负相关，即资本对广州城市公园绿地环境效益产出的影响较小。以上说明广州城市公园绿地的环境效益的提高主要取决于对土地和劳动的投入，资本起到辅助作用。

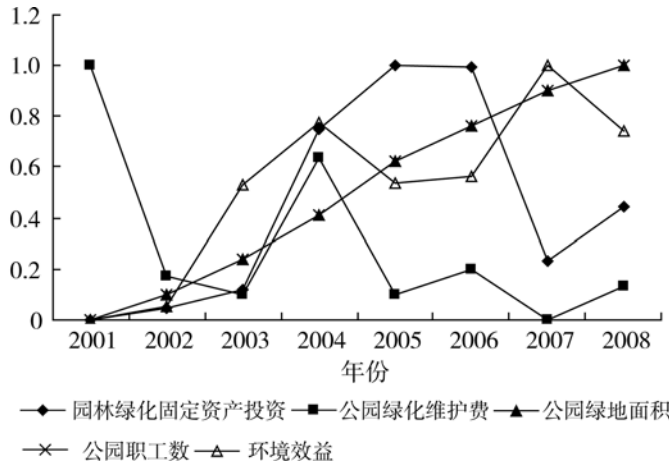


图 1 2001~2008 年广州城市公园绿地投入与环境效益产出变化

Fig. 1 The changes of every input and the output of park green land in Guangzhou (2001—2008)

注：原始数据经标准化处理。

表 5 环境效益价值的相关分析

Tab. 5 The correlation analysis of environmental benefit

		园林绿化固定资产投资	公园维护费	公园绿地面积	职工人数
相关系数	Pearson Correlation	0.423	-0.490	0.819*	0.819*
显著性	Sig. (2-tailed)	0.296	0.217	0.013	0.013
样本量	N	8	8	8	8

注：* 表示相关系数在 0.05 置信水平上显著。

资料来源：依据《广州市统计年鉴》(2002~2008)、《广州市市政园林建设统计年鉴》(2005~2007) 资料数据及表 2，按皮尔森相关分析法计算。

5.2 公园绿地效率的相关分析

为了了解广州城市公园绿地生态效率的影响因素，本文对公园绿地的综合效率、纯技术效率和规模效率与四项投入及环境效益产出进行相关性分析。首先，由于公园绿地的综合效率是纯技术效率和规模效率的乘积，因此，综合效率必定是纯技术效率和规模效率共

同作用的结果。其次，由表 6 可知，规模效率与纯技术效率的相关系数为 0.565，虽然相关性不强，但可以表明城市公园绿地的规模效率与纯技术效率之间并不是相互分割独立的，而是存在一定的联系，这就要求广州的城市公园绿地效率既需要注重要素的实际投入在规模上要满足环境效益产出需求的能力，也要注重要素的实际投入到产出的转换能力。具体而言，纯技术效率与园林绿化固定资产投资的相关性（0.657）高于它与公园绿地面积（0.428）、职工人数（0.428）和绿化维护费（0.415）的相关性，说明园林绿化固定资产投资在提高纯技术效率方面的重要性相对较高，要提高要素实际投入到产出的转换能力应该注重园林绿化的固定资产投资。再次，规模效率与公园绿地面积和职工人数的相关性非常强（均为 0.921），远高于它与公园绿化维护费（0.506）和园林绿化固定资产投资（0.384）的相关性，且在与环境效益的相关性中，规模效率（0.551）也大于纯技术效率（0.041）。说明公园绿地面积和职工人数在提高规模效率方面的重要性大于公园绿化维护费和园林绿化固定资产投资，要提高要素的实际投入在规模上满足环境效益产出需求的能力应该注重公园绿地面积和职工的投入。最后，所有的投入与产出都会影响公园绿地的综合效率，土地和劳动对综合效率的影响相对大于资本。

表 6 公园绿地生态效率相关分析

Tab. 6 The correlation analysis of eco-efficiency of park green land

		园林绿化固 定资产投资	公园绿化 维护费	公园绿 地面积	职工 人数	环境 效益	纯技术 效率	规模 效率	综合 效率
纯技术效率	皮尔森相关系数	0.657	0.415	0.428	0.428	0.041	1	0.565	0.883**
	显著性	0.077	0.307	0.291	0.291	0.924		0.144	0.004
	样本数	8	8	8	8	8	8	8	8
规模效率	皮尔森相关系数	0.384	0.506	0.921**	0.921**	0.551	0.565	1	0.886**
	显著性	0.347	0.200	0.001	0.001	0.157	0.144		0.003
	样本数	8	8	8	8	8	8	8	8
综合效率	皮尔森相关系数	0.583	0.532	0.766*	0.766*	0.292	0.883**	0.886**	1
	显著性	0.129	0.175	0.027	0.027	0.482	0.004	0.003	
	样本数	8	8	8	8	8	8	8	8

注：**表示相关系数在 0.01 水平上显著，*表示相关系数在 0.05 水平上显著。

资料来源：依据投入指标的标准化数据和表 3，按皮尔森相关分析法计算。

6 结论与建议

通过对 2001~2008 年广州城市公园绿地的投入与其效率的定量分析，可以发现：

(1) 广州城市公园绿地的环境效益产出主要受土地和劳动影响，资本起辅助作用。

(2) 由于资本的投入冗余较高，2008 年广州城市公园绿地生态效率偏低。

(3) 2001 年、2003 年和 2004 年，广州城市公园绿地生态效率最优，2002 年和 2007 年效率次优，2005 年、2006 年和 2008 年效率非优。广州公园绿地生态效率大致经历了由 2001~2004 年的平稳优效期向 2005~2008 年的变动非优期的过渡。

(4) 广州城市公园绿地的园林绿化固定资产投资是影响纯技术效率的主要原因，公园绿地面积和职工人数是影响规模效率的主要原因；另外，规模效率对环境效益产出的贡献大于纯技术效率。

鉴于以上结论及广州城市公园生态效率的现状问题，应该采取以下措施来提高当地公

园绿地的生态效率:

第一, 增加土地和劳动投入, 从规模上满足环境效益产出的需要。结合广州总体规划和土地规划, 调整城市园林绿化的规划建设战略, 在资金投入保障的前提下, 增加土地和劳动要素的投入。除了在城市人口和建筑密集的旧城区“见缝插绿”外, 还要增加新城区和边缘区的公园绿地面积, 以此缓解旧城区公园绿地的环境压力。公园绿地的数量和面积增加了, 对劳动的需求也随之增加, 市政府应该放宽相关园林培训单位或机构的创办条件, 培养更多园林专业人才, 鼓励与协助公园引进中高级技工, 间接提高绿地的环境效益产出。

第二, 稳定有序地控制公园绿地的各项投入。广州公园绿地生态效率由平稳优效期向波动非优期过渡是一种不合理的发展, 根本上在于投入上的不稳定, 尤其是资本的投入。综合效率是规模效率和纯技术效率的乘积, 所谓牵一发而动全身, 任何一种效率的下降都会直接影响综合效率。因此, 有关部门应该建立公园绿地投入~产出账户, 每年对公园绿地的各项投入与环境效益产出进行核算与分析, 以此来稳定有序地控制公园绿地的各项投入, 抑制资本投入的不稳定性, 从而提高公园绿地资本、土地和劳动的投入有效转化为环境效益产出的能力, 促使生态效率持续提高, 最终实现平稳优效的发展。

第三, 完善财政预算和资本管理的监督机制。2008年广州公园绿地效率的投入冗余率和产出不足率表明了对园林绿化固定资产和公园维护费的投入相对过多, 没有实现效率的最大化, 侧面地反映出在公园绿地上的预算过高, 没有将预算中的资金充分地投入到公园固定资产的建设、维护和管理。这要求应该尽快完善公园绿地的财政预算和资本管理的监督机制, 严格管理好资本的投入与使用, 使资金投入真正落实到公园绿地上。

参考文献:

- [1] Pham Duc Uy, Nobukazu Nakagoshi. Analyzing urban green space pattern and eco-network in Hanoi, Vietnam. *Landscape and Ecological Engineering*, 2007, (3): 143~157.
- [2] Davies R G, Olga Barbosa, Fuller R A, *et al.* City-wide relationships between green spaces, urban land use and topography. *Urban Ecosystems*, 2008, 11(3): 269~287.
- [3] Salman Qureshi, Breuste J H, Lindley S J, *et al.* Green space functionality along an urban gradient in Karachi, Pakistan: A socio-ecological study. *Human Ecology*, 2010, 38(2): 283~294.
- [4] Ishii H T, Tohru Manabe, Keitaro Itos, *et al.* Integrating ecological and cultural values toward conservation and utilization of shrine/temple forests as urban green space in Japanese cities. *Landscape and Ecological Engineering*, 2010, 6(2): 307~315.
- [5] 刘滨谊, 张国忠. 近十年中国城市绿地系统研究进展. *中国园林*, 2005, 21(6): 25~28.
- [6] 俞孔坚, 等. 景观可达性作为衡量城市绿地系统功能指标的评价方法与案例. *城市规划*, 1999, 23(8): 8~11.
- [7] 尹海伟. 城市绿地可达性与公平性评价. *生态学报*, 2008, 28(7): 3375~3383.
- [8] Li Weifeng, Ouyang Zhiyun, Meng Xuesong, *et al.* Plant species composition in relation to green cover configuration and function of urban parks in Beijing, China. *Ecological Research*, 2006, 21: 221~237.
- [9] 赵祥, 胡支军. DEA模型在高等教育资源配置评价中的应用——以贵州省为例. *教育理论与实践*, 2009, 29(10): 5~17.
- [10] 马晓龙, 保继刚. 基于DEA的中国国家级风景名胜区使用效率评价. *地理研究*, 2009, 28(3): 839~848.
- [11] 杨斌. 2000~2006年中国区域生态效率研究——基于DEA方法的实证分析. *经济地理*, 2009, 29(7): 1197~1202.
- [12] 莫剑芳. 区域宏观经济DEA评价系统. 广州: 暨南大学硕士学位论文, 2002.
- [13] 甘巧林, 陈忠暖. 可持续发展与地球环境的经济化. *经济地理*, 1997, 17(4): 26~29.
- [14] 陈自新, 等. 北京城市园林绿化环境效益的研究. *中国园林*, 1998, 14(3): 53~56.
- [15] 吴耀兴, 等. 广州市城市森林对大气污染物吸收净化的功能价值. *林业科学*, 2009, 45(5): 42~47.

[16] 冷平生, 等. 北京城市园林绿地环境效益经济评价初探. 北京农学院学报, 2004, 19(4): 25~28.

Analysis of inputs and environment benefit outputs of urban park green land in Guangzhou based on DEA

CHEN Zhong-nuan, LIU Yan-ting, WANG Tao-tao, LV Yi-hong
(School of Geography, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

Abstract: Following the evaluation to green land abroad and drawing lessons from domestic study on data envelopment analysis (DEA), we did some evaluations to urban park green land which have not been studied much yet. Park green land is one part of urban green land system. Based on functions of fixing carbon and releasing oxygen, purifying environment, conditioning climate and detaining dust, we calculated the environmental benefit of park green land of ten districts in Guangzhou from 2001 to 2008. Then the input-output index system was built to evaluate the eco-efficiency of park green land in 2001—2008 by DEA. The land, labor and capital were taken as the input while the environment benefit was the output of park green land. The results showed that: firstly, influenced by the input of land and labor, generally, the environmental benefit of urban park green land presented an increasing trend but sustainable increasing ability was relatively weak; secondly, the input redundancy rate and insufficient rate of output in 2008 showed that the more input of fixed assets and financing of park maintenance caused low eco-efficiency in 2008; thirdly, the comprehensive efficiency, the technique efficiency and the scale efficiency were 1 in 2001, 2003 and 2004, which indicated the optimum efficiency. In 2002 and 2007, the comprehensive efficiency, the technique efficiency and the scale efficiency were between 0.895—1 which indicated the suboptimum efficiency. It showed non-efficiency in 2005, 2006 and 2008 in spite of over 0.8 in technique efficiency and scale efficiency because the comprehensive efficiency was below 0.8. Then it could be marked into two phases: stationary highly efficient phase in 2001—2004 and fluctuation non-efficient phase in 2005—2008, which meant the efficiency of urban park green land was low and unstable; fourthly, scale efficiency had a greater impact on environment benefit than technique efficiency influenced by fixed assets mainly, while scale efficiency was influenced by labor and land. Finally, we proposed some suggestions on enhancing the eco-efficiency of urban park green land in Guangzhou according to the findings. The government should increase input in urban park green land and labors to satisfy the need of environmental benefit outputs, and then control the proportion of input and output stably, especially the inputs. What's more, the supervision mechanisms of budget and the running of funds should be perfected.

Key words: urban park green land; environmental benefit; eco-efficiency; data envelopment analysis; Guangzhou