

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

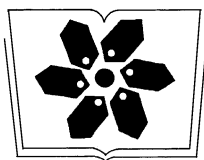
中国生态学会2011年学术年会专辑



第31卷 第19期 Vol.31 No.19 **2011**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 19 期 2011 年 10 月 (半月刊)

目 次

卷首语	本刊编辑部 (I)
我国生态学研究及其对社会发展的贡献	李文华 (5421)
生态学的现任务——要在混乱和创新中前进	蒋有绪 (5429)
发展的生态观:弹性思维	彭少麟 (5433)
中国森林土壤碳储量与土壤碳过程研究进展	刘世荣,王 晖,栾军伟 (5437)
区域尺度陆地生态系统碳收支及其循环过程研究进展	于贵瑞,方华军,伏玉玲,等 (5449)
流域尺度上的景观格局与河流水质关系研究进展	刘丽娟,李小玉,何兴元 (5460)
中国珍稀濒危孑遗植物珙桐种群的保护	陈 艳,苏智先 (5466)
水资源投入产出方法研究进展	肖 强,胡 聃,郭 振,等 (5475)
我国害鼠不育控制研究进展	刘汉武,王荣欣,张凤琴,等 (5484)
基于 NDVI 的三江源地区植被生长对气候变化和人类活动的响应研究	李辉霞,刘国华,傅伯杰 (5495)
毛乌素沙地克隆植物对风蚀坑的修复	叶学华,董 鸣 (5505)
近 50 年黄土高原地区降水时空变化特征	王麒麟,范晓辉,王孟本 (5512)
森林资源可持续状况评价方法	崔国发,邢韶华,姬文元,等 (5524)
黄土丘陵区景观格局对水土流失过程的影响——景观水平与多尺度比较	王计平,杨 磊,卫 伟,等 (5531)
未来 10 年黄土高原气候变化对农业和生态环境的影响	俄有浩,施 茜,马玉平,等 (5542)
山东近海生态资本价值评估——近海生物资源现存量价值	杜国英,陈 尚,夏 涛,等 (5553)
山东近海生态资本价值评估——供给服务价值	王 敏,陈 尚,夏 涛,等 (5561)
特大冰冻灾害后大明山常绿阔叶林结构及物种多样性动态	朱宏光,李燕群,温远光,等 (5571)
低磷和干旱胁迫对大豆植株干物质积累及磷效率的影响	乔振江,蔡昆争,骆世明 (5578)
中国环保模范城市生态效率评价	尹 科,王如松,姚 亮,等 (5588)
污染足迹及其在区域水污染压力评估中的应用——以太湖流域上游湖州市为例	焦雯珺,闵庆文,成升魁,等 (5599)
近二十年来上海不同城市空间尺度绿地的生态效益	凌焕然,王 伟,樊正球,等 (5607)
城市社区尺度的生态交通评价指标	戴 欣,周传斌,王如松,等 (5616)
城市生态用地的空间结构及其生态系统服务动态演变——以常州市为例	李 锋,叶亚平,宋博文,等 (5623)
中国居民消费隐含的碳排放量变化的驱动因素	姚 亮,刘晶茹,王如松 (5632)
煤矿固废资源化利用的生态效率与碳减排——以淮北市为例	张海涛,王如松,胡 聃,等 (5638)
城市遮阴环境变化对大叶黄杨光合过程的影响	于盈盈,胡 聃,郭二辉,等 (5646)
广东永汉传统农村的聚落生态观	姜雪婷,严力蛟,后德仟 (5654)
长江三峡库区昆虫丰富度的海拔梯度格局——气候、土地覆盖及采样效应的影响	刘 晔,沈泽昊 (5663)
东南太平洋智利竹筴鱼资源和渔场的时空变化	化成君,张 衡,樊 伟 (5676)
豚草入侵对中小型土壤动物群落结构特征的影响	谢俊芳,全国明,章家恩,等 (5682)

我国烟粉虱早春发生与秋季消退·····	陈春丽, 鄧军锐, 戈 峰, 等 (5691)
变叶海棠及其伴生植物峨眉小檗的水分利用策略 ·····	徐 庆, 王海英, 刘世荣 (5702)
杉木人工林不同深度土壤 CO ₂ 通量·····	王 超, 黄群斌, 杨智杰, 等 (5711)
不同浓度下四种除草剂对福寿螺和坑螺的生态毒理效应·····	赵 兰, 骆世明, 黎华寿, 等 (5720)
短期寒潮天气对福州市绿地土壤呼吸及组分的影响·····	李熙波, 曾文静, 李金全, 等 (5728)
黄土丘陵沟壑区景观格局对流域侵蚀产沙过程的影响——斑块类型水平·····	王计平, 杨 磊, 卫 伟, 等 (5739)
气候变化对物种分布影响模拟中的不确定性组分分割与制图——以油松为例·····	张 雷, 刘世荣, 孙鹏森, 等 (5749)
北亚热带马尾松年轮宽度与 NDVI 的关系 ·····	王瑞丽, 程瑞梅, 肖文发, 等 (5762)
物种组成对高寒草甸植被冠层降雨截留容量的影响·····	余开亮, 陈 宁, 余四胜, 等 (5771)
若尔盖湿地退化过程中土壤水源涵养功能 ·····	熊远清, 吴鹏飞, 张洪芝, 等 (5780)
桂西北喀斯特峰丛洼地不同植被演替阶段的土壤脲酶活性·····	刘淑娟, 张 伟, 王克林, 等 (5789)
利用混合模型分析地域对国内马尾松生物量的影响 ·····	符利勇, 曾伟生, 唐守正 (5797)
火烧对黔中喀斯特山地马尾松林土壤理化性质的影响·····	张 喜, 朱 军, 崔迎春, 等 (5809)
不同培育时间侧柏种基盘苗根系生长和分布·····	杨喜田, 董娜琳, 闫东锋, 等 (5818)
Cd ²⁺ 与 CTAB 复合污染对枫香幼苗生长与生理生化特征的影响 ·····	章 芹, 薛建辉, 刘成刚 (5824)
3 种入侵植物叶片挥发物对早稻幼苗根的影响 ·····	张凤娟, 徐兴友, 郭艾英, 等 (5832)
米槠-木荷林优势种群的年龄结构及其更新策略 ·····	宋 坤, 孙 文, 达良俊 (5839)
褐菖鲉肝 CYP 1A 作为生物标志物监测厦门海域石油污染状况 ·····	张玉生, 郑榕辉, 陈清福 (5851)
基于输入-输出流分析的生态网络 φ 模式能流 ρ 模式能流测度方法 ·····	李中才, 席旭东, 高 勤, 等 (5860)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 444 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 50 * 2011-10	



封面图说: 胡杨是我国西北干旱沙漠地区原生的极其难得的高大乔木, 树高 15—30 米, 能忍受荒漠中的干旱环境, 对盐碱有极强的忍耐力。为适应干旱气候一树多态叶, 因此胡杨又称“异叶杨”。它对于稳定荒漠河流地带的生态平衡, 防风固沙, 调节绿洲气候和形成肥沃的森林土壤具有十分重要的作用。秋天的胡杨林一片金光灿烂。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

尹科,王如松,姚亮,梁菁. 中国环保模范城市生态效率评价. 生态学报, 2011, 31 (19): 5588-5598.

Yin K, Wang R S, Yao L, Liang J. The eco-efficiency evaluation of the model city for environmental protection in China. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31 (19): 5588-5598.

中国环保模范城市生态效率评价

尹 科¹, 王如松^{1,*}, 姚 亮¹, 梁 菁²

(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. 湖南省环境监测中心站, 长沙 410014)

摘要: 环保模范城市是实施城市可持续发展战略的具体表现。以 1997—2010 年的 43 个环保模范城市为评价集, 利用 2009 年的截面数据, 基于将环境污染排放作为非期望产出的考量, 采用 3 种 DEA 模型评价其生态效率, 结果表明: 43 个环保模范城市当中, 有 20 个城市相对有效, 占评价总数的 46.5%; 处在环渤海经济圈、珠三角经济圈、福建沿海经济带的环保模范城市整体评价表现较为突出, 明显优于长三角经济圈; 海口为生态效率最优城市, 而重庆排名最末。最后提出, 应以社会-经济-自然复合生态系统为视角, 统筹协调, 推动城市可持续发展。

关键词: 环保模范城市; 生态效率; DEA

The eco-efficiency evaluation of the model city for environmental protection in China

YIN Ke¹, WANG Rusong^{1,*}, YAO Liang¹, LIANG Jing²

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

2 Hunan Environmental Monitoring Center, Changsha 410014, China

Abstract: Up to 2010, there were 71 cities and 5 municipalities awarded the title of National Model City for Environmental Protection, other 124 cities are actively engaged in pursuing this title. "Model City" obeys principles of sustainable development strategy, and the evaluating methods for urban sustainable development had been the focus of the worldwide researches. Ecological footprint method, economic welfare index of sustainable development, human development index and other methods were applied to assess the level of cities' sustainability. In recent years, eco-efficiency was introduced in assessing the level of cities' sustainability. City is a social-economic-natural complex ecological system with multiple input and output of material, energy and information. In this study, data envelopment analysis method was applied, appropriate input and output indicators were selected, the differences of eco-efficiency between the existing model cities were analyzed, and the input and output redundancy was indentified, which provided theoretical basis for ratings and promoting of Model Cities for Environmental Protection. 12 indicators were selected out, including 5 input indicators, 6 undesired output indicators, 1 desired output. Main results are: (1) Compared three different analyzing models, undesired output were characterized with negative weights (Model-I); take the undesired output as input (Model-II); use desired output minus the input, then divided by the undesired output (Model-III). Scores and numbers of the DEA efficient units were not changed, and the scores of the non-DEA efficient unit followed an upward trend. (2) Twenty cities were DEA efficient (which scores are 1 according to data envelopment analysis) according to the three models, accounting for 46.5% of the overall evaluation set. Comparing the model cities around the Bohai economic circle, the Pearl River Delta economic circle

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(71033005); 国家科技支撑计划课题(2007BAC28B04)

收稿日期: 2011-06-20; **修订日期:** 2011-07-11

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

and the coastal economic zone of Fujian to the cities around the Yangtze River Delta economic circle, the eco-efficiency of the former were better. (3) For all non-DEA efficient cities (which scores below 1 according to data envelopment analysis), we could reduce 1876 million tons of wastewater emissions, 4.178 million tons of chemical oxygen demand, 0.558 million tons of industrial sulfur dioxide emissions, 0.258 million tons of industrial soot, 0.5976 million tons of industrial dust, 67.604 million tons of industrial solid waste, the overall energy consumption can reduce 1007.676 million tons of stand coal, the total water supply reduce 2904.913 million cubic meters, the construction land could reduce 3604.19 square kilometers, total fixed asset investment would reduce 829.538 billion yuan, but the GDP could increase 1844.719 billion yuan. (4) The city which has better economic performance, the eco-efficiency may not be high, such as Shanghai, Tianjin, Guangzhou and Nanjing. Shenzhen, Ningbo, Qingdao become the typical city in which social, economic and natural are coordinated development. In this study, we only considered the time-section data of 2009, could not analysis the dynamic process of the city, so the trends can't be pointed out. Moreover, the full array polygon evaluation method could better reflect the sustainable development level of the city, from the view of time, space, volume, structure and sequence. In addition, the future research will focus on the driving mechanism of the eco-efficiency.

Key Words: model city for environmental protection; eco-efficiency; data envelopment analysis

《国家环境保护“九五”计划和 2010 年远景目标》提出,在已具备全国卫生城市荣誉称号、城市环境综合整治定量考核和环保投资达到一定标准的基础上,创建国家环境保护模范城市。从 1997 年创模工作开展以来,至 2010 年止,已经有 71 个城市和 5 个直辖市城区被授予国家环保模范城市(城区)的称号,124 个城市正在积极开展“创模”活动^[1]。

“创模”是实施城市可持续发展战略的具体体现,而城市的可持续发展评价一直是各国学者关注的焦点^[2-3]。国内外学者从不同角度开展了广泛而深入的探索,采用生态足迹模型、可持续发展经济福利指数、人类发展指数以及其他各种指标体系来评价城市的可持续性^[4]。近年来,生态效率也常常被用于城市^[5-6]的可持续性评价。

生态效率一词最早于 1990 年,由 Schaltegger 和 Storn 两位学者首次在学术界提出^[7]。随着世界可持续发展工商理事会(WBCSD)的推广,生态效率在可持续发展中获得了高度的关注^[8],并且在应用中得到了推广,目前在产品^[9-10]、企业^[11-12]、行业^[13-14]、区域及城市^[5-6]以及其他^[15-17]各种领域中都得到了大量的应用。

生态效率的评估方法目前主要有经济—环境单一比值法^[18]、指标体系评价法^[19-20]以及模型评估法^[21-22]。单一比值法能够给予一个简单的比值,较为容易理解,比较适合于分析单个项目以及技术。指标体系法与单一比值法相比,可以综合反映社会、经济、自然各子系统的发展水平和发展程度,但也存在指标庞杂且不均衡、指标权重确定具有较大主观性、指标难以量化等缺陷^[4]。但是研究多投入、多产出对象时,由于各指标单位不同,且没有合适的转化方式让各种不同维度的指标变成同一维度,上述两种方法都表现出一定的局限性。数据包络模型(Data Envelopment Analysis,简称 DEA)是以相对效率概念为基础,根据多指标投入和多指标产出对于相同类型的决策单位,进行相对有效性或效益评级的一种系统性分析方法。其优点如下^[23]:所需指标少;有较高的灵敏度和可靠性;可以对无法价格化以及难以确定权重的指标进行分析;不需要统一测量指标单位,简化了测量过程,保证了原始信息的完整,也避免了人为确定权重的主观影响;对具有共同特点的评价单元进行综合评价时不需要对变量做函数假设。目前许多学者已经使用数据包络分析方法对企业^[24-27]开展了广泛的研究,我国学者也在企业^[28]、行业^[29]、城市及区域尺度^[30]做了一定的工作。

城市也是一类社会-经济-自然复合生态系统^[31]。对于这样一类有着多投入、多产出的复合生态系统而言,采用 DEA 方法分析其生态效率具有可行性。虽然目前已经有多个城市获得“环保模范城市”的称号,但是哪个城市的综合表现最优?每个城市以及整体的提升空间还有多大?应通过哪些指标来进行宏观调控和管理?这些问题都尚未得到有效解决。因此,本文通过借鉴国内外方法,选取合适的投入产出指标,分析现有

环保模范城市之间的生态效率差异,找出投入产出冗余,为环保模范城市的评级与进一步提升提供理论依据。

1 评价模型

1.1 原 CCR 模型

第一个数据包络模型,是由著名的运筹学家 A. Charnes 和 W. W. Cooper 提出的投入导向 CCR 模型^[32]。设有 n 个决策单元(DMU),每个决策单元有 m 种输入和 s 种输出,假设 x_{ij} 表示第 j 个 DMU 的第 i 种投入, y_{rj} 表示第 j 个 DMU 的第 r 种产出量。如果用向量 X_j 和 Y_j 分别表示各投入 DMU 的投入与产出,则: $X_j = (X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{mj})^T$, $Y_j = (Y_{1j}, Y_{2j}, \dots, Y_{sj})^T$; 用 v, u 分别表示投入、产出权重,则 $v = (v_1, v_2, \dots, v_m)^T$, $u = (u_1, u_2, \dots, u_s)^T$, 其中 $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n; r = 1, 2, \dots, s$ 。定义第 j 个 DMU 的效率评价模型为:

$$h_j = \frac{u^T y_j}{v^T x_j} = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}}$$

对于第 j_0 个评价单元,其评价的分式模型为:

$$\begin{aligned} \max h_{j_0} &= \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj_0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij_0}} \\ \text{s. t.} \\ \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} &\leq 1, u \geq 0, v \geq 0, j = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

通过 Charnes-Cooper 变换,令 $t = \frac{2}{V^T x_0}$, $w = tv$, $\mu = tu$, 可以将上述分式模型转换为等价的线性规划模型:

$$\begin{aligned} \max h_{j_0} &= \mu^T y_0 \\ \text{s. t.} \\ w^T x_j - \mu^T y_j &\geq 0, w^T x_0 = 1, w \geq 0, \mu \geq 0, j = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

线性规划一个重要的有效理论是对偶理论,具有明确的经济意义。上述线性规划的对偶形式为:

$$\begin{aligned} \min \theta &= V_D \\ \text{s. t.} \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j x_j &\leq \theta x_0, \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j \geq y_0, \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n, \theta \text{ 无约束。} \end{aligned}$$

式中, $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ 为权重, θ 为待定参变量。

通过引入松弛变量(s^-)和剩余变量(s^+)以及非阿基米德无穷小量 ε , 将上述不等式约束为具有非阿基米德无穷小量的 DEA 模型如下:

$$\begin{aligned} \min [\theta - \varepsilon (\sum_{j=1}^m s_j^- + \sum_{j=1}^r s_j^+)] &= V_D(\varepsilon) \\ \text{s. t.} \\ \sum_{j=1}^n x_j \lambda_j + s^- &= \theta x_0, \sum_{j=1}^n y_j \lambda_j - s^+ = y_0, \lambda_j \geq 0, s^+ \geq 0, s^- \geq 0 \end{aligned}$$

求解该模型,当 $\theta^* = 1$, 且 $s^{*-} = 0, s^{*+} = 0$, 则决策单元 j_0 为 DEA 有效,决策单元的经济活动同时为技术有效和规模有效; $\theta^* = 1$, 但至少某个输入或者输出大于 0, 则决策单元 j_0 为弱 DEA 有效,决策单元的经济活动不是同时为技术效率最佳和规模效率最佳; $\theta^* < 1$, 决策单元 j_0 为非 DEA 有效,经济活动既不是技术效率最佳,也

不是规模最佳。

还可以用 CCR 模型中的 λ_j 判断 DMU 的规模收益情况: 如果存在 $\lambda_j^* (j=1, 2, \dots, n)$ 使得 $\sum \lambda_j^* = 1$, 则 DMU 为规模收益不变; 如果不存在 $\lambda_j^* (j=1, 2, \dots, n)$ 使得 $\sum \lambda_j^* = 1$, 若 $\sum \lambda_j^* < 1$, 则 DMU 为规模收益递增, 若 $\sum \lambda_j^* > 1$, 则 DMU 为规模收益递减。

1.2 拓展的分析模型

城市的产出中, 向自然环境中排放的污染物并不是整个城市的期望产出, 本文拟采用扩展的数据包络分析方法^[25, 33], 对环保模范城市进行评价。

本文将输出分为期望产出 $(1, 2, \dots, k)$, 而 $(k+1, k+2, \dots, p)$ 为非期望产出。因此产出 Y 可以表示为 $Y = \begin{bmatrix} Y^g \\ Y^b \end{bmatrix}$, 其中 Y^g 表示为期望产出, 是一个 $k \times n$ 矩阵, Y^b 表示为非期望产出, 是一个 $(p-k) \times n$ 矩阵。本文分别将污染物作为非期望输出和输入两个角度来考虑, 模型如下:

模型 I, 对于非期望产出用负的权系数予以表征, 其分式模型、线性模型及对偶模型如下:

$$\begin{aligned} \max h_{j_0} &= \frac{\sum_{r=1}^k u_r y_{rj_0} - \sum_{s=k+1}^p u_s y_{sj_0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij_0}} & \min g_{j_0} &= \theta - \varepsilon 1^T (s^b + s^g + s^-) \\ s. t. & & s. t. & \\ Y^g \lambda - s^g &= y_{j_0}^g & Y^b \lambda + s^b &= y_{j_0}^b \\ \frac{\sum_{r=1}^k u_r y_{rj} - \sum_{s=k+1}^p u_s y_{sj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} &\leq 1 & X \lambda - \theta x_{j_0} + s^- &= 0 \\ & & \lambda, s^b, s^g, s^- &\geq 0, \varepsilon > 0 \end{aligned}$$

$$j = 1, 2, \dots, n, i = 1, 2, \dots, m$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon, r = 1, 2, \dots, p, \varepsilon > 0$$

修正后的线性规划对偶模型依然是传统的投入导向的 CCR 模型, 但是区别在于, 把评价单元的非期望产出变成了其他评价单元非期望产出的上限。

模型 II, 将非期望产出看成是投入, 其分式模型、线性规划模型以及对偶模型如下:

$$\begin{aligned} \max h_{j_0} &= \frac{\sum_{r=1}^k u_r y_{rj_0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij_0} + \sum_{s=k+1}^p u_s y_{sj_0}} & \min g_{j_0} &= \theta - \varepsilon 1^T (s^b + s^g + s^-) \\ s. t. & & s. t. & \\ Y^g \lambda - s^g &= y_{j_0}^g & Y^b \lambda - \theta y_{j_0}^b + s^b &= 0 \\ \frac{\sum_{r=1}^k u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + \sum_{s=k+1}^p u_s y_{sj}} &\leq 1 & X \lambda - \theta x_{j_0} + s^- &= 0 \\ & & \lambda, s^b, s^g, s^- &\geq 0, \varepsilon > 0 \end{aligned}$$

$$j = 1, 2, \dots, n, i = 1, 2, \dots, m$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon, r = 1, 2, \dots, p, \varepsilon > 0$$

在这个产出导向的 CCR 模型中, 决策单元通过减少投入以及非期望产出, 从而提高生态效率。因此, 从模型 II 中计算出来的分值将不会小于从模型 I 中所计算出来的分值。

模型 III, 将期望产出的加权和减去投入的加权和, 除以非期望产出的加权和。其分式模型、线性规划模型以及对偶模型如下:

$$\begin{aligned}
\max h_{j_0} &= \frac{\sum_{r=1}^k u_r y_{rj_0} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij_0}}{\sum_{s=k+1}^p u_s y_{sj_0}} & \min g_{j_0} &= \theta - \varepsilon 1^T (s^b + s^g + s^-) \\
s. t. & & s. t. & \\
\sum_{r=1}^k u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} &\leq 1 & Y^g \lambda - s^g &= y_{j_0}^g \\
\sum_{s=k+1}^p u_s y_{sj} & & \Rightarrow Y^b \lambda - \theta y_{j_0}^b + s^b &= 0 \\
j &= 1, 2, \dots, n, i = 1, 2, \dots, m & X \lambda + s^- &= x_{j_0} \\
u_r, v_i &\geq \varepsilon, r = 1, 2, \dots, p, \varepsilon > 0 & \lambda, s^b, s^g, s^- &\geq 0, \varepsilon > 0
\end{aligned}$$

$$j = 1, 2, \dots, n, i = 1, 2, \dots, m$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon, r = 1, 2, \dots, p, \varepsilon > 0$$

模型Ⅲ与模型Ⅰ很相似,但是投入与非期望输出进行了互换,为了提升生态效率,决策单元只能够减少非期望输出。因此,模型Ⅲ计算出来的结果将会略高于模型Ⅱ。

在上述模型中,当 $\theta^* = 1$, 且 $s^{*g} = 0, s^{*b} = 0, s^{*-} = 0$ 时,决策单元 j_0 为 DEA 有效; $\theta^* < 1$, 且 $s^{*g} \neq 0, s^{*b} \neq 0, s^{*-} \neq 0$ 时,决策单元 j_0 为非 DEA 有效;若当 $\theta^* = 1$, 且 $s^{*g} \neq 0$ 或 $s^{*b} \neq 0$ 或 $s^{*-} \neq 0$ 时,决策单元 j_0 为弱 DEA 有效;对于非 DEA 有效或者弱有效的 DMU, 可以通过松弛变量的调整,得到改进后的目标值以及优化值。

2 数据收集与处理

2.1 评价集的处理

截止到 2010 年底,我国被授予环保模范城市称号的城市有 76 个。对于地级市及隶属县级市都是环保模范城市的情况:例如苏州,隶属于苏州的张家港、昆山、常熟、太仓、吴江同样是环保模范城市,为了减少数据搜集的难度,也为了避免这种内部比较,评价时只把苏州作为决策单元,而省略其他城市;其他地级市或者直辖市也做类似处理;上海、重庆、天津以整个直辖市参与比较;四川绵阳,新疆克拉玛依、库尔勒,陕西宝鸡,广西桂林由于数据搜集不全面,予以省略。经过处理后的评价单元如表 1:

表 1 环保模范城市评价集

Table 1		Evaluation set of the model city for Environmental Protection							
省 Province	城市 City	省	城市	省	城市	省	城市	省	城市
江苏	南京	山东	青岛	广东	广州	浙江	杭州	海南	海口
	无锡		东营		深圳		宁波	天津	天津
	常州		烟台		珠海		绍兴	黑龙江	大庆
	苏州		潍坊		汕头		湖州	吉林	长春
	南通		威海		佛山	辽宁	沈阳	安徽	马鞍山
	淮安		日照		惠州		大连	河北	廊坊
	扬州	福建	福州	上海	中山	上海	湖北	宜昌	
	镇江		厦门		江门	四川	成都		
	泰州		泉州		肇庆	重庆	重庆		

2.2 指标的选取

根据原有的环保模范城市的指标,参考李峰^[34]、吴琼^[35]关于生态城市的指标体系、德国的经济账户体系^[36]以及杨斌^[30]等人关于区域生态效率的指标体系,同时考虑在数据收集中所面临的具体问题,生成本文的投入产出评价指标体系(表 2)。

2.3 原始数据的来源与处理

本文采用 2009 年的截面数据用于评价。其中城市建设用地面积、固定资产投资、GDP 都来自《中国城市统计年鉴 2010》,上海的城市建设用地面积是在《中国城市统计年鉴 2007》的基础上推算而来,广州的来自文

献^[37];能耗为各城市万元 GDP 能耗与 GDP 的乘积所得;就业人口数据来自各城市的‘2009 国民经济和社会发展统计公报’、2010 统计年鉴以及所在省 2010 统计年鉴;环境类数据工业二氧化硫、工业粉尘来自《中国城市统计年鉴 2010》,其他环境类数据来自各市‘2009 环境质量公报’以及 2010 统计年鉴,部分数据为推算所得。

表 2 评价指标体系
Table 2 Evaluation index system

一级指标 First grade	二级指标 Second grade	三级指标 Third grade indicator	四级指标 Fourth grade indicator	序号 Number
投入 Input	资源	能源消耗	能源消费总量(万吨标煤)	1
		水资源消耗	用水总量(万吨)	2
		土地消耗	建设用地面积(平方公里)	3
	社会经济	经济	固定资产投资(亿元)	4
		就业水平	就业人口(万人)	5
非期望产出 Non-desire output	环境	废水排放	废水排放量(万吨)	6
		废气排放	化学需氧量排放量(万吨)	7
			工业二氧化硫排放量(万吨)	8
			工业烟尘排放量(万吨)	9
			工业粉尘排放量(万吨)	10
			工业固废排放总量(万吨)	11
期望产出 Desire output	经济	经济发展总量	地区 GDP(亿元)	12

3 结果分析与解释

利用上述的原始数据,根据模型考量,采用投入导向模型Ⅰ、产出导向模型Ⅱ、产出导向的模型Ⅲ,对 43 个环保模范城市进行相对生态效率评价,各模型评价结果见表 3。

表 3 各模型评价结果
Table 3 The evaluation results of each model

省(直辖市) Province	城市 City	模型Ⅰ得分 I Score	模型Ⅱ得分 II Score	模型Ⅲ得分 III Score	省(直辖市) Province	城市 City	模型Ⅰ得分 I Score	模型Ⅱ得分 II Score	模型Ⅲ得分 III Score
江苏	南京	0.4948	0.6063	0.7703	浙江	江门	0.7023	0.7023	0.8512
	无锡	0.9893	0.9935	0.9959		肇庆	0.5810	0.6280	0.7905
	常州	0.7889	0.8359	0.9067		杭州	0.8156	0.9383	0.9528
	苏州	1.0000	1.0000	1.0000		宁波	1.0000	1.0000	1.0000
	南通	0.8364	0.9351	0.9488		绍兴	1.0000	1.0000	1.0000
	淮安	0.4903	0.6160	0.7546	福建	湖州	0.6680	0.7490	0.8563
	扬州	0.9507	0.9650	0.9795		福州	1.0000	1.0000	1.0000
	镇江	0.9998	0.9998	0.9999		厦门	1.0000	1.0000	1.0000
	泰州	1.0000	1.0000	1.0000		泉州	1.0000	1.0000	1.0000
山东	青岛	1.0000	1.0000	1.0000	辽宁	沈阳	0.8544	0.8917	0.9368
	东营	1.0000	1.0000	1.0000		大连	0.9110	0.9442	0.9650
	烟台	1.0000	1.0000	1.0000	上海	上海	0.9667	0.9739	0.9854
	潍坊	1.0000	1.0000	1.0000		成都	0.5091	0.7424	0.8194
	威海	1.0000	1.0000	1.0000	重庆市	重庆	0.3884	0.4958	0.6954
	日照	0.5734	0.6346	0.7868		海口	1.0000	1.0000	1.0000
广东	广州	1.0000	1.0000	1.0000	天津	天津	0.8352	0.9153	0.9440
	深圳	1.0000	1.0000	1.0000		大庆	1.0000	1.0000	1.0000
	珠海	0.7656	0.7656	0.8828	黑龙江	长春	1.0000	1.0000	1.0000
	汕头	0.7396	0.7396	0.8698		马鞍山	0.4579	0.5450	0.7365
	佛山	1.0000	1.0000	1.0000	安徽	廊坊	0.9077	0.9384	0.9593
	惠州	1.0000	1.0000	1.0000		宜昌	0.6094	0.7050	0.8298
	中山	1.0000	1.0000	1.0000	湖北				
					有效 DEA 单元		20	20	20

从表3可以看出,3种模型的结果非常类似,都未改变DEA有效单元的得分及个数,非DEA有效单元得分呈现依次上升的趋势。因此,基于期望输出以及非期望输出考量的模型,在有效性的评价上没有差异,但是投入冗余系数的改变,将会影响评价单元的最终目标值。

3个模型均显示有20个城市为DEA有效,占总体评价集的46.5%。其中,山东(环渤海经济圈)、广东(珠三角经济圈)、福建(沿海经济带)的整体评价表现较为突出,占DEA有效单元的绝大部分;而上海、江苏、浙江(长三角经济圈)仅苏州、泰州、宁波、绍兴四个城市为DEA有效,仅占上述三省(市)的28.6%;这说明,长三角经济圈的环境污染物排放仍然有很大的减量空间,或者说在现有的排放基础上,可能创造的经济价值应该更高。之所以出现这种情况,一方面由于长三角区域的现有产业结构中依然存在一定量的高污染、高排放的重化工产业,另一方面,江浙地区的经济特征是‘藏富于民’,可能现有的统计数据未能真正反映当地的社会经济状况。成都、重庆这两座西南重要城市均为非DEA有效单元,且得分较低,说明在经济欠发达区域,节能减排、循环经济、清洁生产等调控措施应加大力度,实现环境和经济的双赢。

采用模型II的结果,调整投入指标值,使各评价城市达到最优。表4表明,所有环保城市不论从投入和产出的角度来看,都有一定的调整空间。对于非DEA有效的所有城市,可以减少废水排放量187639.58万t,化学需氧量41.78万t,工业二氧化硫减排55.83万t,工业烟尘减少25.81万t,工业粉尘减少59.76万t,工业固废减少6760.36万t,综合能耗能够减少100767.63万t标准煤,供水总量减少290491.27万m³,建设用地可以减少3604.19km²,全社会固定资产投资减少8295.38亿元,全部GDP增加18447.19亿元。

鉴于表4中多数评价单元得分为1,无法对比城市的生态效率优劣。进一步运用EMS1.3,对现有评价集进行超效率分析,表5说明:分析结果与模型I、II、III的具有一致性,原得分为1的DEA有效单元,经超效率分析后得分依然高于非DEA有效单元,而且实现了评价集的内部排序;在参评的43个城市中,海口、深圳、中山分列前3位,重庆排名最末,经济发展较好的城市,生态效率未必就高,例如上海、天津、广州、南京;而深圳、宁波、青岛成为社会、经济、自然协调发展的典型代表城市。在大力提倡生态文明建设的今天,其他城市应该全面协调、统筹发展,兼顾经济效益和生态环境效益。

4 结论与讨论

上述研究表明,基于将环境污染物作为非期望输出考量的DEA模型,对于城市这种多投入、多产出复杂系统的生态效率评价,有很好的应用前景,分析结果能够反映客观现实。

分析表明,处在山东(环渤海经济圈)、广东(珠三角经济圈)、福建(沿海经济带)的整体评价表现较为突出,占DEA有效城市的65%,明显优于长三角经济圈模范城市。通过调查发现,山东早在2003年就开始推动建设山东半岛蓝色经济区和黄河三角洲高效生态区,推动区域内城市产业升级、结构转型;广东的环保事业一直处于全国领先地位,通过严把产业关、力推清洁生产和循环经济,使得污染减排处于全国领先水平,更是提高环保考核在地方政绩中的权重,以环境成本倒逼政府、企业推进技术革新、体制创新,增强环保优化发展的主动性和有效性。而珠三角城市群本来经济底子厚,通过“腾笼换鸟”实现产业转型升级,原有的低端制造业以及三高产业被转移至粤东、粤西、粤北,取而代之的是高端制造业;福建的3个模范城市福州、厦门、泉州位于海峡西岸经济区,并且着力把三地打造为现代物流中心,开展了生态工业园区试点,探索循环经济产业链和共生产业群模式。而长三角经济圈模范城市虽然经济总量较大,但是其相对应的土地、人力、资金以及环境污染排也不小,且很多重化工、高能耗企业影响了其评价价值。

海口综合排名第一,海南省最早完成了生态省的建设规划,海口市一直坚定不移的走生态立市之路,其支柱产业一直是低碳环保的旅游业;重庆近年来的大规模城市扩张,以及原有的重工业体系,使得其排名最末;从投入产出冗余来看,目前的环保模范城市仍然有很大的提升空间,应全面开展循环经济,推行清洁生产,实现整个城市的生态转型,从社会-经济-自然复合生态系统的视角来综合考虑城市的发展。

由于本研究只是考虑时间截面的数据,没有对城市的动态变化过程进行分析,只对环保模范城市进行了评价,而没有进行对照分析,因而不能说明环保模范城市是否优于或者在哪方面优于非环保模范城市。

表 4 环保模范城市生态效率优化结果

Table 4 The eco-efficiency optimizing results of the model city for Environmental Protection

省份 Province	城市 City	废水排放量 Total discharge of sewage	化学需氧量 排放量 COD	工业 二氧化硫 Sulfur dioxide	工业烟尘 Industrial fumes	工业粉尘 Industrial dust	工业固废 Solid waste	综合能耗 Comprehensive energy consumption	供水总量 Total water supply	城市建设 用地 Construction land area	固定资产投资 Fixed investments	从业人员 Total yearend staff	GDP
		/万 t s^{-*}	/万 t s^{-}	/万 t s^{-}	/万 t s^{-}	/万 t s^{-}	/万 t s^{-}	/万 t 标煤 s^{-}	/万 t s^{-}	/km ² s^{-}	/亿元 s^{-}	/万人 s^{-}	/亿元 S^{+**}
江苏	南京	0.00	0.62	0.00	0.19	2.86	730.28	5442.38	50983.45	266.21	185.67	0.00	2747.08
	无锡	0.00	0.00	0.00	1.71	3.38	27.57	2513.74	0.00	33.60	449.38	0.00	32.89
	常州	5526.78	0.00	1.96	1.32	0.00	164.83	11.98	0.00	500.60	684.30	0.00	494.73
	苏州	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	南通	0.00	5.58	0.00	2.86	0.56	0.00	178.90	0.00	76.21	167.56	207.68	199.32
山东	淮安	0.00	0.97	0.22	0.38	0.21	54.00	0.00	0.00	0.00	252.28	129.10	699.41
	扬州	6312.82	1.15	3.26	0.00	0.00	93.60	0.00	2802.52	0.00	0.00	89.15	67.27
	镇江	4362.31	1.59	1.36	0.11	0.36	98.78	0.00	3468.74	0.00	262.55	0.00	0.26
	泰州	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	青岛	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
广东	东营	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	烟台	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	潍坊	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	威海	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	日照	0.00	0.00	2.10	0.27	0.39	369.82	0.00	0.00	33.38	0.00	70.23	497.76
	广州	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	深圳	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	珠海	4184.47	1.12	1.61	0.52	0.07	176.81	0.00	13561.32	239.75	0.00	0.00	317.98
	汕头	5482.57	3.59	1.31	0.36	0.02	49.16	0.30	2995.05	67.88	0.00	125.63	364.81
	佛山	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	惠州	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	中山	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	江门	6505.13	2.16	2.98	1.42	0.60	49.35	34.74	0.00	17.55	0.00	106.54	568.27

续表

省份 Province	城市 City	废水排放量 Total discharge of sewage	化学需氧量 COD	工业 二氧化硫 Sulfur dioxide	工业烟尘 Industrial fumes	工业粉尘 Industrial dust	工业固废 Solid waste	综合能耗 Comprehensive energy consumption	供水总量 Total water supply	城市建设 用地 Construction land area	固定资产投资 Fixed investments	从业人员 Total yearend staff	GDP /亿元 S ⁺
		/万 t s ⁻	/万 t s ⁻	/万 t s ⁻	/万 t s ⁻	/万 t s ⁻	/万 t s ⁻	/万 t 标煤 s ⁻	/万 t s ⁻	/km ² s ⁻	/亿元 s ⁻	/万人 s ⁻	
浙江	肇庆	0.00	0.96	0.11	1.48	0.42	24.09	0.00	0.00	19.00	0.00	149.48	510.52
	杭州	72454.24	1.75	0.00	0.00	1.04	0.00	726.97	34827.04	0.00	318.89	89.73	334.54
	宁波	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	绍兴	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
福建	湖州	1511.48	0.00	2.69	0.35	3.04	0.00	445.36	0.00	10.34	0.00	91.15	369.28
	福州	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	厦门	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	泉州	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
辽宁	沈阳	0.00	1.03	0.00	4.16	0.02	331.48	147.26	1951.09	72.36	1903.06	0.00	518.61
	大连	10184.69	0.27	0.00	0.88	0.00	0.00	34.59	0.00	117.86	1028.30	0.00	257.02
上海	上海	64483.91	5.60	0.00	0.00	34.47	1261.64	80590.72	156179.33	1360.50	322.97	0.00	403.75
四川	成都	0.00	6.92	0.00	2.05	0.02	0.00	65.26	0.00	78.10	1426.37	225.42	1562.24
重庆市	重庆	0.00	0.00	36.60	3.24	7.71	292.71	4590.09	0.00	316.27	0.00	707.94	6641.88
海南	海口	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
天津	天津	0.00	6.48	0.00	3.62	0.17	793.38	1067.46	6471.58	246.71	785.19	0.00	695.97
黑龙江	大庆	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
吉林	长春	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
安徽	马鞍山	0.00	0.00	1.63	0.34	2.35	1728.28	4716.40	17251.15	47.13	0.00	0.00	556.03
河北	廊坊	4622.87	1.99	0.00	0.49	1.77	0.00	201.47	0.00	23.90	508.83	127.12	75.31
湖北	宜昌	2008.30	0.00	0.00	0.06	0.30	514.55	0.00	0.00	76.84	0.00	124.61	532.28
总计	187639.58	41.78	55.83	25.81	59.76	6760.36	100767.63	290491.27	3604.19	8295.38	2243.78	18447.19	

* : s⁻ : 剩余变量; * * : S⁺ 松弛变量

表 5 环保模范城市的超效率分析

Table 5 The supper efficiency analysis of the model city for Environmental Protection

城市 City	得分 Score	城市	得分	城市	得分	城市	得分
海口	9.5837	青岛	1.2813	上海	0.9739	成都	0.7424
深圳	3.3367	佛山	1.2188	扬州	0.9650	汕头	0.7396
中山	3.1099	惠州	1.1835	大连	0.9442	宜昌	0.7050
福州	2.9979	苏州	1.1644	廊坊	0.9384	江门	0.7023
威海	1.6106	长春	1.1398	杭州	0.9383	日照	0.6346
泉州	1.4862	厦门	1.1126	南通	0.9351	肇庆	0.6280
绍兴	1.4772	大庆	1.1037	天津	0.9153	淮安	0.6160
东营	1.4751	潍坊	1.0856	沈阳	0.8917	南京	0.6063
宁波	1.3821	广州	1.0029	常州	0.8359	马鞍山	0.5450
泰州	1.3428	镇江	0.9998	珠海	0.7656	重庆	0.4958
烟台	1.3169	无锡	0.9935	湖州	0.7490		

因此,下一步研究重点将是利用 DEA 做时间序列的动态研究以及城市间的对比分析研究。

另外,评价指标的选取综合考虑了数据可得性以及全面性的原则,但是对于城市这类复合生态系统来说,仍然难以完全表征其全部信息,信息损失较大。有研究表明,全排列多边形评价方法^[35-36],能够综合反映城市可持续发展的各个方面,下一步将考虑该方法与 DEA 进行耦合研究的可行性。

References:

- [1] http://wfs.mep.gov.cn/mfcs/cjmfcs/cmdt/200911/t20091105_181217.htm. June 13th, 2011.
- [2] Norry M. Measuring sustainable development: some empirical evidence for France from eight alternative indicators. *Ecological Economics*, 2008, 67(3): 441-456.
- [3] Singh R K, Murty H R, Gupta S K, Dikshit A K. An overview of sustainability assessment methodologies. *Ecological Indicators*, 2009, 9(2): 189-212.
- [4] Wang W, Lin J Y, Cui S H, Cao B, Shi L Y. Urban sustainability assessment based on eco-efficiency and its application. *Environment Science*, 2010, 31(4): 1108-1113.
- [5] Zhang Y, Yang Z F. Eco-efficiency of urban material metabolism: a case study in Shenzhen, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(8): 3124-3131.
- [6] Mickwitz P, Melanen M, Rosenström U, Seppälä J. Regional eco-efficiency indicators — a participatory approach. *Journal of Cleaner Production*, 2006, 14(18): 1603-1611.
- [7] Willard B. The Sustainability Advantages: Seven Business Case Benefits of a Triple Bottom Line. Gabriola Island: New Society Publishers, 2002.
- [8] Jollands N, Lermitt J, Patterson M. Aggregate eco-efficiency indices for New Zealand — a principal components analysis. *Journal of Environmental Management*, 2004, 73(4): 293-305.
- [9] Park P J, Tahara K. Quantifying producer and consumer-based eco-efficiencies for the identification of key ecodesign issues. *Journal of Cleaner Production*, 2008, 16(1): 95-104.
- [10] Breedveld L, Timellini G, Casoni G, Fregni A, Busani G. Eco-efficiency of fabric filters in the Italian ceramic tile industry. *Journal of Cleaner Production*, 2007, 15(1): 86-93.
- [11] Hahn T, Figge F, Liesen A, Barkemeyer R. Opportunity cost based analysis of corporate eco-efficiency: a methodology and its application to the CO₂-efficiency of German companies. *Journal of Environmental Management*, 2010, 91(10): 1997-2007.
- [12] Côté R, Booth A, Louis B. Eco-efficiency and SMEs in Nova Scotia, Canada. *Journal of Cleaner Production*, 2006, 14(6/7): 542-550.
- [13] Willson J H M, Côté R P. Counting biodiversity waste in industrial eco-efficiency: fisheries case study. *Journal of Cleaner Production*, 2009, 17(3): 348-353.
- [14] Gössling S, Peeters P, Ceron J P, Dubois G, Patterson T, Richardson R B. The eco-efficiency of tourism. *Ecological Economics*, 2005, 54(4): 417-434.
- [15] Sorvari J, Antikainen R, Kosola M L, Hokkanen P, Haavisto T. Eco-efficiency in contaminated land management in Finland-barriers and development needs. *Journal of Environmental Management*, 2009, 90(5): 1715-1727.
- [16] Abukhader S M. Eco-efficiency in the era of electronic commerce-should 'Eco-Effectiveness' approach be adopted. *Journal of Cleaner Production*,

2008, 16(7): 801-808.

- [17] D'Agosto M, Ribeiro S K. Eco-efficiency management program (EEMP)—a model for road fleet operation. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2004, 9(6): 497-511.
- [18] Nieminen E, Linke M, Tobler M, van der Beke B. EU COST Action 628: life cycle assessment (LCA) of textile products, eco-efficiency and definition of best available technology (BAT) of textile processing. *Journal of Cleaner Production*, 2007, 15(13/14): 1259-1270.
- [19] Dahlstrom K, Ekin P. Eco-efficiency trends in the UK steel and aluminum industries: difference between resource and efficiency and resource productivity. *Journal of Industrial Ecology*, 2005, 9(4): 171-188.
- [20] Ingaramo A, Heluane H, Colombo M, Cesca M. Water and wastewater eco-efficiency indicators for the sugar cane industry. *Journal of Cleaner Production*, 2009, 17(4): 487-495.
- [21] Dyckhoff H, Allen K. Measuring ecological efficiency with data envelopment analysis (DEA). *European Journal of Operational Research*, 2001, 132(2): 312-325.
- [22] Sakis J. Ecoefficiency: how data envelopment analysis can be used by managers and researchers. *Proceedings of SPIE*, 2001, 4193: 194-203.
- [23] Wu D S. Some Theory and Methodology Research on Data Envelopment Analysis. Hefei: University of Science and Technology of China, 2006.
- [24] Vassilis Dedoussis, Constandinos Konstantas, Aggelos Kassimis, Stella Sofianopoulou. Efficiency evaluation of hydroelectric power plants using data envelopment analysis. *Journal of Applied Operational Research*, 2010, 2(2): 94-99.
- [25] Zhang B, Bi J, Fan Z Y, Yuan Z W, Ge J J. Eco-efficiency analysis of industrial system in China: a data envelopment analysis approach. *Ecological Economics*, 2008, 68(1/2): 306-316.
- [26] Hua Z S, Bian Y W, Liang L. Eco-efficiency analysis of paper mills along the Huai River: an extended DEA approach. *Omega*, 2007, 35(5): 578-587.
- [27] Korhonen P J, Luptacik M. Eco-efficiency analysis of power plants: an extension of data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 2004, 154(2): 437-446.
- [28] Zhang B, Bi J, Huang H P, Liu B B, Yuan J. DEA-based corporate eco-efficiency analysis: case study of chemical firms in Hangzhou gulf fine chemical industrial park. *Systems Engineering-Theory and Practice*, 2008, 28(4): 159-165.
- [29] Jiang K Q, Ma Y H, Li Y, Gao C M. Research on eco-efficiency of petrochemical industry. *Modern Chemical Industry*, 2009, 29(3): 80-84.
- [30] Yang B. Research on regional eco-efficiency of China from 2000 to 2006—an empirical analysis based on DEA. *Economic Geography*, 2009, 29(7): 1197-2202.
- [31] Wang R S, Hu D, Wang X R, Tng L J. *Urban Eco-Service*. Beijing: China Meteorological, 2004.
- [32] Charnes A, Cooper W W, Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 1978, 2(6): 429-444.
- [33] Korhonen P J, Luptacik M. Eco-efficiency analysis of power plants: an extension of data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 2004, 154(2): 437-446.
- [34] Li F, Liu X S, Hu D, Wang R S. Evaluation method and index system of eco-city development: A case study in Dafeng City of Jiangsu Province, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(9): 2006-2012.
- [35] Wu Q, Wang R S, Li H Q, Xu X B. The indices and the evaluation method of eco-city. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(8): 2090-2095.
- [36] Höh H, Scoer K, Seibel S. *Eco-efficiency Indicators in German an Environmental-Economic Accounting*. Berlin: Federal Statistical Office, 2001.
- [37] Zhou Q Y. Research on Construction Land Expansion Based on GIS and RS in Guangzhou for Nearly 20 Years. Guangzhou: Guangzhou University, 2010.

参考文献:

- [4] 王微, 林剑艺, 崔胜辉, 曹斌, 石龙宇. 基于生态效率的城市可持续性评价及其应用研究. *环境科学*, 2010, 31(4): 1108-1113.
- [23] 吴德胜. 数据包络分析若干理论和方法研究. 合肥: 中国科学技术大学, 2006.
- [28] 张炳, 毕军, 黄和平, 刘蓓蓓, 袁婕. 基于 DEA 的企业生态效率评价: 以杭州湾精细化工园区企业为例. *系统工程理论与实践*, 2008, 28(4): 159-165.
- [29] 姜孔桥, 马永红, 李滢, 高重密. 石化行业生态效率研究. *现代化工*, 2009, 29(3): 80-84.
- [30] 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): 1197-2202.
- [31] 王如松, 胡聃, 王祥容, 唐礼俊. *城市生态服务*. 北京: 气象出版社, 2004.
- [34] 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.
- [35] 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.
- [37] 周倩仪. 基于 GIS 与 RS 的近 20 年广州市城市建设用地扩展研究. 广州: 广州大学, 2010.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 19 October, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Ecology research and its effects on social development in China	LI Wenhua (5421)
The current mission of ecology-advancing under the situation of chaos and innovation	JIANG Youxu (5429)
Resilience thinking: development of ecological concept	PENG Shaolin (5433)
A review of research progress and future prospective of forest soil carbon stock and soil carbon process in China	LIU Shirong, WANG Hui, LUAN Junwei (5437)
Research on carbon budget and carbon cycle of terrestrial ecosystems in regional scale: a review	YU Guirui, FANG Huajun, FU Yuling, et al (5449)
Advances in the studying of the relationship between landscape pattern and river water quality at the watershed scale	LIU Lijuan, LI Xiaoyu, HE Xingyuan (5460)
Research on the protection of <i>Davidia involucrata</i> populations, a rare and endangered plant endemic to China	CHEN Yan, SU Zhixian (5466)
Progress on water resources input-output analysis	XIAO Qiang, HU Dan, GUO Zhen, et al (5475)
Research advances of contraception control of rodent pest in China ...	LIU Hanwu, WANG Rongxin, ZHANG Fengqin, et al (5484)
Response of vegetation to climate change and human activity based on NDVI in the Three-River Headwaters region	LI Huixia, LIU Guohua, FU Bojie (5495)
Remediation of blowout pits by clonal plants in Mu Us Sandland	YE Xuehua, DONG Ming (5505)
Precipitation trends during 1961—2010 in the Loess Plateau region of China	WANG Qixiang, FAN Xiaohui, WANG Mengben (5512)
An evaluation method for forest resources sustainability	CUI Guofa, XING Shaohua, JI Wenyuan, et al (5524)
Effects of landscape patterns on soil and water loss in the hilly area of loess plateau in China: landscape-level and comparison at multiscale	WANG Jiping, YANG Lei, WEI Wei, et al (5531)
The impacts of future climatic change on agricultures and eco-environment of Loess Plateau in next decade	E Youhao, SHI Qian, MA Yuping, et al (5542)
Valuation of ecological capital in Shandong coastal waters: standing stock value of biological resources	DU Guoying, CHEN Shang, XIA Tao, et al (5553)
Valuation of ecological capital in Shandong coastal waters: provisioning service value	WANG Min, CHEN Shang, XIA Tao, et al (5561)
The dynamics of the structure and plant species diversity of evergreen broadleaved forests in Damingshan National Nature Reserve after a severe ice storm damage in 2008, China	ZHU Hongguang, LI Yanqun, WEN Yuanguang, et al (5571)
Interactive effects of low phosphorus and drought stress on dry matter accumulation and phosphorus efficiency of soybean plants	QIAO Zhenjiang, CAI Kunzheng, LUO Shiming (5578)
The eco-efficiency evaluation of the model city for environmental protection in China	YIN Ke, WANG Rusong, YAO Liang, et al (5588)
Pollution footprint and its application in regional water pollution pressure assessment: a case study of Huzhou City in the upstream of Taihu Lake Watershed	JIAO Wenjun, MIN Qingwen, CHENG Shengkui, et al (5599)
Ecological effect of green space of Shanghai in different spatial scales in past 20 years	LING Huanran, WANG Wei, FAN Zhengqiu, et al (5607)
Assessing indicators of eco-mobility in the scale of urban communities ...	DAI Xin, ZHOU Chuanbin, WANG Rusong, et al (5616)
Spatial structure of urban ecological land and its dynamic development of ecosystem services: a case study in Changzhou City, China	LI Feng, YE Yaping, SONG Bowen, et al (5623)
The carbon emissions embodied in Chinese household consumption by the driving factors	YAO Liang, LIU Jingru, WANG Rusong (5632)
The research on eco-efficiency and carbon reduction of recycling coal mining solid wastes: a case study of Huabei City, China	ZHANG Haitao, WANG Rusong, HU Dan, et al (5638)
Effects of urban shading on photosynthesis of <i>Euonymus japonicas</i>	YU Yingying, HU Dan, GUO Erhui, et al (5646)

Ecological view of traditional rural settlements: a case study in Yongnan of Guangdong Province	JIANG Xueting, YAN Lijiao, HOU Deqian (5654)
The altitudinal pattern of insect species richness in the Three Gorge Reservoir Region of the Yangtze River: effects of land cover, climate and sampling effort	LIU Ye, SHEN Zehao (5663)
Spatial-temporal patterns of fishing grounds and resource of Chilean jack mackerel (<i>Trachurus murphyi</i>) in the Southeast Pacific Ocean	HUA Chengjun, ZHANG Heng, FAN Wei (5676)
Impacts of <i>Ambrosia artemisiifolia</i> invasion on community structure of soil meso- and micro- fauna	XIE Junfang, QUAN Guoming, ZHANG Jiaen, et al (5682)
Appearance in spring and disappearance in autumn of <i>Bemisia tabaci</i> in China	CHEN Chunli, ZHI Junrui, GE Feng, et al (5691)
Water use strategies of <i>Malus toringoides</i> and its accompanying plant species <i>Berberis aemulans</i>	XU Qing, WANG Haiying, LIU Shirong (5702)
Analysis of vertical profiles of soil CO ₂ efflux in Chinese fir plantation	WANG Chao, HUANG Qunbin, YANG Zhijie, et al (5711)
Eco-toxicological effects of four herbicides on typical aquatic snail <i>Pomacea canaliculata</i> and <i>Crown conchs</i>	ZHAO Lan, LUO Shiming, LI Huashou, et al (5720)
Effects of short-term cold-air outbreak on soil respiration and its components of subtropical urban green spaces	LI Xibo, ZENG Wenjing, LI Jinqian, et al (5728)
Effects of landscape pattern on watershed soil erosion and sediment delivery in hilly and gully region of the Loess Plateau of China: patch class-level	WANG Jiping, YANG Lei, WEI Wei, et al (5739)
Partitioning and mapping the sources of variations in the ensemble forecasting of species distribution under climate change: a case study of <i>Pinus tabulaeformis</i>	ZHANG Lei, LIU Shirong, SUN Pengsen, et al (5749)
Relationship between masson pine tree-ring width and NDVI in North Subtropical Region	WANG Ruili, CHENG Ruimei, XIAO Wenfa, et al (5762)
Effects of species composition on canopy rainfall storage capacity in an alpine meadow, China	YU Kailiang, CHEN Ning, YU Sisheng, et al (5771)
Dynamics of soil water conservation during the degradation process of the Zoigê Alpine Wetland	XIONG Yuanqing, WU Pengfei, ZHANG Hongzhi, et al (5780)
Soil urease activity during different vegetation successions in karst peak-cluster depression area of northwest Guangxi, China	LIU Shujuan, ZHANG Wei, WANG Kelin, et al (5789)
Analysis the effect of region impacting on the biomass of domestic Masson pine using mixed model	FU Liyong, ZENG Weisheng, TANG Shouzheng (5797)
Influence of fire on a <i>Pinus massoniana</i> soil in a karst mountain area at the center of Guizhou Province, China	ZHANG Xi, ZHU Jun, CUI Yingchun, et al (5809)
The growth and distribution of <i>Platykladus orientalis</i> Seed-base seedling root in different culture periods	YANG Xitian, DONG Nalin, YAN Dongfeng, et al (5818)
Effects of complex pollution of CTAB and Cd ²⁺ on the growth of Chinese sweetgum seedlings	ZHANG Qin, XUE Jianhui, LIU Chenggang (5824)
The influence of volatiles of three invasive plants on the roots of upland rice seedlings	ZHANG Fengjuan, XU Xingyou, GUO Aiying, et al (5832)
Age structure and regeneration strategy of the dominant species in a <i>Castanopsis carlesii</i> - <i>Schima superba</i> forest	SONG Kun, SUN Wen, DA Liangjun (5839)
A study on application of hepatic microsomal CYP1A biomarkers from <i>Sebastiscus marmoratus</i> to monitoring oil pollution in Xiamen waters	ZHANG Yusheng, ZHENG Ronghui, CHEN Qingfu (5851)
The method of measuring energy flow ϕ and p in ecological networks by input-output flow analysis	LI Zhongcai, XI Xudong, GAO Qin, et al (5860)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 19 期 (2011 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 19 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元