

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 11 期 Vol.32 No.11 **2012**

中国生态学学会
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 32 卷 第 11 期

2012 年 6 月 (半月刊)

目 次

黑龙江省大兴安岭林区火烧迹地森林更新及其影响因子·····	蔡文华, 杨健, 刘志华, 等 (3303)
基于 B-IBI 指数的温榆河生态健康评价·····	杨柳, 李泳慧, 王俊才, 等 (3313)
川西亚高山暗针叶林不同恢复阶段红桦、岷江冷杉土壤种子损耗特征·····	马姜明, 刘世荣, 史作民, 等 (3323)
老龄阔叶红松林下层木空间分布的生境关联分析·····	丁胜建, 张春雨, 夏富才, 等 (3334)
内蒙古高原荒漠区四种锦鸡儿属植物灌丛沙包形态和固沙能力比较·····	张媛媛, 马成仓, 韩磊, 等 (3343)
角果藜的生长动态及其生殖配置·····	全杜娟, 魏岩, 周晓青, 等 (3352)
基于 MODIS/NDVI 时间序列的森林灾害快速评估方法——以贵州省为例·····	侍昊, 王笑, 薛建辉, 等 (3359)
祁连山西水林区土壤阳离子交换量及盐基离子的剖面分布·····	姜林, 耿增超, 李珊珊, 等 (3368)
水分和温度对春玉米出苗速度和出苗率的影响·····	马树庆, 王琪, 吕厚荃, 等 (3378)
施氮对水稻土 N ₂ O 释放及反硝化功能基因 (<i>narG/nosZ</i>) 丰度的影响·····	郑燕, 侯海军, 秦红灵, 等 (3386)
中国西北潜在蒸散时空演变特征及其定量化成因·····	曹雯, 申双和, 段春峰 (3394)
基于植被降水利用效率和 NDVI 的黄河上游地区生态退化研究·····	杜加强, 舒俭民, 张林波 (3404)
异速生长法计算秋茄红树林生物量·····	金川, 王金旺, 郑坚, 等 (3414)
乌兰布和沙漠沙蒿与油蒿群落的物种组成与数量特征·····	马全林, 郑庆中, 贾举杰, 等 (3423)
不同光强下单叶蔓荆的光合蒸腾与离子累积的关系·····	张萍, 刘林德, 柏新富, 等 (3432)
浑善达克沙地沙地榆种子雨的扩散规律·····	谷伟, 岳永杰, 李钢铁, 等 (3440)
咸水灌溉对沙土土壤盐分和胡杨生理生长的影响·····	何新林, 陈书飞, 王振华, 等 (3449)
外源 NO 对 NaHCO ₃ 胁迫下黑麦草幼苗光合生理响应的调节·····	刘建新, 王金成, 王鑫, 等 (3460)
呼伦贝尔草地植物群落与土壤化学计量学特征沿经度梯度变化·····	丁小慧, 罗淑政, 刘金巍, 等 (3467)
海南稻田土壤硒与重金属的含量、分布及其安全性·····	耿建梅, 王文斌, 温翠萍, 等 (3477)
江苏省典型区农田土壤及小麦中重金属含量与评价·····	陈京都, 戴其根, 许学宏, 等 (3487)
应用稳定同位素研究广西东方洞食物网结构和营养级关系·····	黎道洪, 苏晓梅 (3497)
利用细胞计数手段和 DGGE 技术分析松花江干流部分地区的细菌种群多样性·····	屠腾, 李蕾, 毛冠男, 等 (3505)
中国主要入海河流域河口集水区划分与分类·····	黄金良, 李青生, 黄玲, 等 (3516)
基于 VGPM 模型和 MODIS 数据估算梅梁湾浮游植物初级生产力·····	殷燕, 张运林, 时志强, 等 (3528)
低温胁迫下虎纹蛙的生存力及免疫和抗氧化能力·····	王娜, 邵晨, 颜志刚, 等 (3538)
转 Bt 水稻土壤跳虫群落组成及其数量变化·····	祝向钰, 李志毅, 常亮, 等 (3546)
尼日利亚非洲蜂和安徽意大利蜜蜂及其杂交二代形态特征与微卫星 DNA 遗传多样性·····	余林生, 解文飞, 巫厚长, 等 (3555)
北京城市公园湿地休憩功能的利用及其社会人口学因素·····	李芬, 孙然好, 陈利顶 (3565)
基于协整理论的经济增长与生态环境变化关系分析——以重庆市渝东南地区为例·····	肖强, 胡聃, 肖洋, 等 (3577)
感潮河网区环境合作博弈模型及实证·····	刘红刚, 陈新庚, 彭晓春 (3586)
专论与综述	
国内外生态效率核算方法及其应用研究述评·····	尹科, 王如松, 周传斌, 等 (3595)
全球变化背景下的现代生态学——第六届现代生态学讲座纪要·····	温腾, 徐德琳, 徐驰, 等 (3606)
问题讨论	
流域环境要素空间尺度特征及其与水生态分区尺度的关系——以辽河流域为例·····	刘星才, 徐宗学, 张淑荣, 等 (3613)
研究简报	
不同光照强度对兴安落叶松几种主要防御蛋白活力的影响·····	鲁艺芳, 石蕾, 严善春 (3621)
木荷种源间光合作用参数分析·····	熊彩云, 曾伟, 肖复明, 等 (3628)
基于能值分析的深圳市三个小型农业生态系统研究·····	杨卓翔, 高阳, 赵志强, 等 (3635)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 342 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 37 * 2012-06



封面图说: 爬升樟木沟的暖湿气流——樟木沟是中国境内横切喜马拉雅山脉南坡的几条著名大沟之一,它位于我国西藏聂拉木县境内的希夏邦马峰东南侧,延绵 5400km 的 318 国道在此沟中到达其最西头。从聂拉木县城到樟木口岸短短的 30km 中,海拔从 4000m 急降至 2000m。在大气环流作用下,来自印度洋的暖湿气流沿樟木沟不断费力地往上爬升,给该沟谷留下了大量的降水。尤其是在雨季到来时,山间到处是流水及悬垂崖头的瀑布,翠峰直插云霄,森林茂密苍郁,溪流碧澄清澈,奇花异葩繁多,风景美如画卷,气势壮丽非凡。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201104280564

尹科, 王如松, 周传斌, 梁菁. 国内外生态效率核算方法及其应用研究述评. 生态学报, 2012, 32(11): 3595-3605.

Yin K, Wang R S, Zhou C B, Liang J. Review of eco-efficiency accounting method and its applications. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(11): 3595-3605.

国内外生态效率核算方法及其应用研究述评

尹 科¹, 王如松^{1,*}, 周传斌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:生态效率由于具有突出的量化分析优势, 在可持续发展的评价与量化分析中起着重要作用, 且在全世界范围内得到广泛推广和应用。参阅近十年国内外相关文献的基础上, 系统总结了生态效率的核算方法及其在不同尺度的应用, 侧重于国内外对比分析, 研究表明: (1) 国外已从简单评价转向生态效率驱动机制的探究。(2) 对于生态效率测算, 国外开始借助会计、金融以及管理学中的理论和模型对现有的经济/环境比值法以及模型法进行改良和修正; 我国则侧重于生态效率评价指标体系构建以及生产率模型的应用。(3) 在应用层次上, 国外侧重于企业及其产品系统的生态效率分析, 并且开始将生态效率同产品的生态设计、关键问题辨识、系统开发等融合起来, 而区域等大尺度的研究则处于尝试阶段; 我国在企业尺度的研究甚少, 主要集中在行业、生态园区、城市及区域等大尺度的生态效率评价。(4) 国外开始将生态效率同全球生态问题(全球变暖、生物多样性、食物安全)等结合起来; 而我国生态效率研究侧重于污染物分析。(5) 由于社会维度定量分析难度较大, 目前绝大部分研究都很少涉及。最后, 文章提出: 我国应加大生态效率的宣传与推广, 推动生态效率在微观(企业)以及宏观(全球生态问题)上的研究和应用; 借助经济、管理、会计等学科的理论和方法完善生态效率核算方法体系; 综合利用全排列多边形图示法, 反映社会-经济-自然复合生态系统的各个方面。

关键词:生态效率; 经济/环境比值法; 生产率模型; 驱动机制

Review of eco-efficiency accounting method and its applications

YIN Ke¹, WANG Rusong^{1,*}, ZHOU Chuanbin¹, LIANG Jing²

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

2 Hunan Environmental Monitoring Center, Changsha, 410014, China

Abstract: Industrial ecology, eco-efficiency, eco-design, X multiple of revolution are theoretical basis for sustainable development. Among these, eco-efficiency is the most popular method for quantitative analysis. The concept of eco-efficiency was firstly put forward in the academic by Schaltegger and Sturn in the year 1990. Being promoted greatly by the World Business Council for Sustainable, eco-efficiency has obtained great attention in sustainable development research. Claude Fussler firstly introduced the concept of eco-efficiency to China in 1995. There are many achievements in the researches of eco-efficiency in china in recent ten years. Different accounting methods of eco-efficiency in different researching fields were developed, especially in the researches on circular economy in different scales of urban, regional and national level. In this paper, eco-efficiency counting methods and applications in different scales have been sum up based on the review of relevant literature in recent ten years. The accounting methods of eco-efficiency were divided into three categories: (1) Economic/environmental single ratio method. Sometimes, the total production of the product or service, total sales and the total net sales were used to stand for the economic dimension. Resources consumptions, carbon dioxide emissions or other environmental impacts were used to present the environmental dimension. (2) Indicator system method was consisted by indicators which independent from each other but stand for each sections of the research subject.

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:2011-04-28; **修订日期:**2011-09-14

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

The indicator system method is suit for analyzing the complex systems which contains social, economic and natural subsystems. (3) Modeling method. Data envelopment analysis method is the main method, and other productivity models have been used for eco-efficiency analysis. Then, eco-efficiency could be applied on different scales, such as plant, industry, regional and etc. According to the summarize of current researches, we found that: (1) Researches on eco-efficiency have shifted from simple evaluation to driving mechanism exploring shown in international literatures, but domestic researches still remain in the simple evaluation level. (2) Modeling and methods of eco-efficiency exist in the area of accounting, finance and productivity have been brought to modify and correct the economic/ecological ratio model, while domestic researches focus on building a multi-index system of eco-efficiency, and apply the productivity models for assessment. (3) In the area of eco-efficiency application, international researches showed interests on industrial system and its production system, and applied eco-efficiency method to eco-design and product development. Comparatively, domestic researches mainly focus on the assessment of ecological parks, urban and regional areas, but very few researches in the scale of industrial scale. (4) International researches of eco-efficiency were associated with global ecological issues, such as global warming, biodiversity, food security, while domestic researches focused on analyzing pollutants and wastes. (5) Current studies didn't explain the roots of ecological and environmental crisis, and the social dimensions were usually not taking into consideration. Finally, the article point out, domestic government should spread the notion of eco-efficiency, propel the researches and applications both in micro and large scale; Improve the eco-efficiency accounting methodology with theories and methods of economy, management, accounting and other disciplines; Use the full array polygon graphical methods to reflect the different aspects of the social-economic-natural complex ecological system.

Key Words: eco-efficiency; economy/environmental ratio method; productivity model; driving mechanism

从 20 世纪 70 年代开始,可持续发展的思想逐渐形成。产业生态、生态效率、生态设计、X 倍数革命等,都是可持续发展的理论基础,生态效率是其中最能进行定量分析的方法之一^[1]。1990 年, Schaltegger 和 Sturm 两位学者首次在学术界提出生态效率的概念^[2]。随着世界可持续工商理事会的推广,生态效率在可持续发展研究中获得高度关注^[3]。现在,生态效率已经成为研究者以及企业管理者最热衷的词汇之一^[4]。

Claude Fussler^[5]将生态效率的概念引入我国,经过十多年的发展,我国的生态效率研究已经取得了一定的成果。学者分别提出合适的测度方法用于分析不同的研究对象,尤其对城市、区域以及国家循环经济建设等大尺度的评价研究较多。但是,很少辨析生态效率核算方法的不同特点,对国内外应用研究的主要区别以及背后驱动因素的分析也涉及不多。本文旨在系统总结生态效率的核算方法及其在不同尺度的应用,侧重国内外的对比分析,并对我国生态效率的研究提出展望。

1 核算方法

WBCSD 对生态效率的定义为:通过创造有价格竞争优势的产品和服务来满足人类的需求并提高生活质量,同时将其环境影响和资源利用强度控制在地球的承载力水平之内。经济与合作组织则定义为:生态资源用于满足人类需求的效率。欧盟环境署的定义为:从更少的资源中获得更多的福利。尽管各组织机构对于生态效率的定义不同,从广义上来看,都可看成是“产出/投入”比^[6]。如果投入与产出不在同一维度,就会导致跨维度的比较,形成“X-效率”的概念。而生态效率 (eco-efficiency) 的词根 ‘eco’ 表征的就是 ‘经济 (economic)’ 和 ‘生态 (ecological)’ 两个维度^[7]。其核算方法概括起来主要有以下 3 种:单一比值法、指标体系法、模型法。

1.1 经济/环境单一比值法

经济维度的表征根据研究对象、研究目的不同而不同。有的选用适当的经济指标,如世界可持续工商理事会 (WBCSD)^[8]把产品或服务的生产总量、销售总量或者净销售额作为一般性经济指标,附加值作为备选指标;有的由于考虑因素太多,选择生命周期成本分析法或者成本收益分析法。随着会计、金融领域的人员介入

生态效率的研究,基于机会成本的经济核算方法近年来受到重视^[4,9],也有人提出基于生态成本的比率模型^[10]。

环境维度的表征指标主要有资源消耗、二氧化碳排放或者其他环境影响等。主要的评价方法为生命周期评价法,这是目前被广泛接受,最能从系统尺度分析产品以及工艺环境影响的工具^[11]。

总的来说,单一比值法能够给出一个简单的比值,容易理解,但也存在很多缺点:(1)单一比值法暗含一种假设:生态效率最优方案已经考虑其中;(2)不能区分不同的环境影响,最终所有的环境影响都要转化成为一个特定的环境影响值,用物质、能量、货币等表示,这种转换在某种程度上来说是对现实的歪曲,特别是对于社会维度来说,定量分析不太现实;(3)不能给予决策者选择上的弹性,不能给出最优的比率集合^[12]。因此,单一比值法适于分析独立的非连续的研究对象,特别是单个项目和技术。

1.2 指标体系法

相互独立但又整体联系的各个指标构成生态效率指标集。指标体系可以综合反映社会、经济、自然各子系统的发展水平和协调程度,适用于分析较为复杂的对象。指标构成主要有以下几大类:物耗、能耗、水耗、土地、劳动力以及环境影响等。

(1) 国外

在企业及行业尺度上,Dahlstrom^[13]认为传统的经济输出和污染输出的比值,以及产出和投入的比值都可以作为衡量生态效率的指标;Michelsen^[14]在分析挪威家具产品的生态效率时,选取了9个环境指标:能源消耗、物质消耗、臭氧层破坏气体排放、水耗、温室气体排放、大气中酸性气体排放、总的废物产生、光化学烟雾气体产生量、重金属排放量;Van Caneghem^[15]在研究钢铁产业的生态效率时,从环境维度提出了以下几个指标:挥发酸、光氧化剂的形成、人类毒性、新鲜水的水生态毒性、富营养化以及水的使用所产生的总的环境影响。

在区域生态效率分析中,经常用到物质流分析方法中的各种指标。芬兰的Hoffen^[16]提出了五种描述国家经济创造福利的生态效率指标,分别是:国内生产总值/直接物质流;环境调整的国内生产总值/直接物质流;可持续发展经济福利指数/直接物质流;人类发展指数/直接物质流;可持续发展净收益测度/直接物质流。

(2) 国内

国内对行业、产业园区、区域及城市这种大尺度的研究上基本上都采用指标体系法。

行业尺度 毛建素^[17]选择了工业产值和能源消费及其与废水、固体废物、二氧化硫、工业烟尘、粉尘等污染物的排放量之间比率,表征我国工业行业的生态效率;戴铁军^[18]给出了钢铁行业生态效率的3个指标:资源效率,能源效率和环境效率;王飞儿^[19]将生态效率区分为资源效率(R)和环境效率(P),生态效率为 $E = \sqrt{R^2 + P^2}$ 。

工业园尺度 吴小庆,刘宁等^[20-21]建立了工业园区的循环经济指标体系,从经济发展、物质资源利用、生态环境效率、物质循环利用四个方面,对工业园区的生态效率进行了对比分析。

城市及区域尺度:物质代谢方法是常用的分析方法之一,其中有物质流账户方法,货币算法,以及能量算法^[22]。陈傲^[23]在分析我国省际生态效率差异时,环境维度选取五项指标:废水排放总量、废气排放总量、固体废物排放总量、地区生产总能耗以及地区生产总电耗。

然而指标体系法也存在自身的某些缺陷。在某些情况下,必须根据权重来表达环境和经济之间的关系。因此就存在一个假设悖论^[12]:加权过程当中包含了环境和经济两个维度的最佳方案;并且加权过程当中,难以剔除人为主观因素。

1.3 模型法

当研究多投入和多产出对象时,需给定权重才能将不同的指标综合成一个单一的数值,而权重的给定往往非常主观,运用模型法能够弥补某些方面的不足^[24]。

1.3.1 数据包络分析模型

数据包络分析(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决策单元,进行相对有效性或效益评级的一种系统性分析方法。对于生态效率的应用来说,一个主要的问题就是缺乏废物或者排放物的市场价格,因而无法进行核算^[25]。利用 DEA 分析方法,可以克服某些问题,其优点^[26]如下: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。

近年来,DEA 分析方法被广泛应用于生态效率的研究。Dychkhoff^[27]在传统 DEA 模型基础上,加入了优选结构;Sarkis^[28]尝试使用六种 DEA 模型对电厂的生态效率进行计算和比较;Korhonen^[25]运用扩展的两种数据包络分析方法,对欧洲 24 家发电厂的生态效率进行了评价。

1.3.2 其他

Quariguasi^[12]等基于帕累托最优开发出了生态拓扑方法用于评价生态效率,该方法允许决策者通过自身的喜好评价他们做出的优选方案,并能够可视化表达。Lauwers^[24]探讨将物质平衡原则融入现有的生产率方法,使用物质流系数来建构生产技术同环境影响之间的关系。

我国对于数据包络模型的应用较多^[29-30],但是基本都是照搬模型对现有数据进行分析。张炳^[31]将污染物排放作为一种非期望输入引入到数据包络模型分析中,运用该模型对杭州精细化工园区企业生态效率进行评价。

2 应用研究

2.1 企业

2.1.1 国外

世界可持续工商理事会是由全世界几百家大型企业组成的联合组织。因此,当生态效率于 1992 年被该组织提出后,各大型企业就开始了应用研究^[32];如巴斯夫集团、日本富士以及索尼公司,都制定了企业自身的生态效率实施规划。生态效率的目的就在于引导企业走向可持续发展,可以说,企业及其产品系统生态效率的应用是国外学术领域中最热门、最全面的。

(1) 已经形成了从产品设计、工艺、过程到企业整体的纵向梯度,力求将生态效率同企业的重大决策以及具体生产过程联系起来,从生态效率评价走向生态效率管理。使生态效率成为开发者、企业决策者以及消费者共同的语言^[33]。

产品设计层面:Park^[34]提出了基于生产者的生态效率($PBEE = \frac{\text{产品质量} / \text{成本}}{\text{基于端点模型的生命周期结果}}$)以及基于消费者的生态效率($CBEE = \frac{\text{消费者满意度} / \text{价格}}{\text{基于端点模型的生命周期结果}}$),用于识别生态设计中的关键问题;Aoe^[33]分析了生态效率在电子电气产品中的生态设计应用问题。

在产品层面:Huppes^[35]使用生命周期成本分析法,对荷兰石油和天然气产品进行了生态效率评价;Syrrakou^[36]将一种智能窗户原型产品应用于建筑节能的生态效率分析,结果表明,在其生命周期中所节省的能源是其制造所需能源的 33 倍多;English^[37]采用生命周期成本分析法分析了冷压成形产品供应链的生态效率,确保企业在整个生命周期过程中无论是生产者还是分销商,都对环境负责;Middelaar^[38]从全球变暖、土地利用以及能源消耗等视角,对荷兰半硬质奶酪生命周期不同阶段的生态效率进行了研究。

(2) 已经从简单的评价走向企业整体的生态效率战略。

对于生态效率如何或者在何种程度融入到企业的决策中去,广大学者也进行了广泛的探讨。大企业拥有雄厚的资金和技术,往往能够独立运行生态效率的策略,而广大中小企业却具有一定困难。Côté^[39]指出,现有的方法和工具不适用于当地中小企业,必须建立合适的中小企业分析清单,以及恰当的工具,才能被广大中小企业应用和采纳;对芬兰^[40]及委内瑞拉^[41]的中小企业分析表明,生态效率目前仅仅是某种口号,并没有能够成为指导企业可持续发展的工具;Bartolomeo^[42]对产品导向和服务导向的生态效率进行对比分析,结果表明,从产品到服务导向的转变并不总是生态有效的,并且存在大量的反弹效应。

(3) 生态效率在各种废物回收系统中的应用成为研究的热点^[43]。

快速增长的电子电气废弃物的物质流动及其环境影响已经成为全球问题。Gomes-Salema^[44]以葡萄牙电脑辅助化学工程为例,探讨了其电子电气废弃物回收网络的生态效率。Kerr^[45]的研究表明,在整个的生命周期过程中,富士施乐通过再制造可以减少资源消耗以及废物的产生,效率提高3倍。

(4) 开始将生态效率同宏观生态问题如全球变暖,食物安全等热点问题建立联系。

为了使生态效率成为企业决策工具,Hahn^[4]将基于边际成本的生态效率评价方法用于分析德国大型企业的二氧化碳生态效率,指出企业生态效率的改善应该从经济的成功、更好的环境表现以及所选参照物的比较优势来考量;Kyhounghoon^[46]等提出了全球变暖生态效率定义($GBEE = \frac{\text{价值增加值}}{\text{全球变暖的影响}}$),使用京都议定书碳排放机制下的二氧化碳交易价格,将全球变暖环境影响转化为货币,从而避免了生态效率在不同维度上的比较。

总的来说,在产品设计的早期阶段就采用生态效率的分析方法是非常有益的。对于企业来说,产品的生态效率分析可被用作战略选择以及过程决策上,从而减少成本并且获得更好的环境表现;其次,基于生态效率的市场以及技术开发,能够提供更加环境友好的产品,从而获得更好的市场收益;最后,生态效率可以作为消费者与企业沟通的一种工具^[34]。

2.1.2 国内

与国外不同,我国在企业层面开展的研究较少,主要源于企业及其产品尺度的数据较难获取。仅吕斌^[47]采用生命周期成本法以及生命周期评价法,以废弃台式电脑为例,对我国电子废物回收体系的生态效率进行了分析;岳媛媛^[48]根据国外的实践,提出我国企业实施生态效率的步骤模型;李兵^[49]则以企业为研究对象,采用生态足迹法定义了企业生态效率:企业年产值/企业生态足迹。

2.2 行业

开展行业生态效率的研究,不在于指导具体企业的生产和管理,而是对整个行业整体技术水平把握的基础上,探讨行业生态效率的背后驱动因素,从而在政策上、管理上、技术上对整个行业提出可行的生态效率策略方案。我国虽然在企业层面的应用研究不是很多,行业、城市与区域、国家等大尺度的研究,则成为我国研究的重点。

(1) 第一产业

Willison^[1]探究了海洋渔业生物多样性同生态效率的关系,指出现有的价格没有准确的衡量海洋渔业的真实价值,由于各种捕捞所造成的生物多样性破坏和价值损失,也应该在经济核算中予以考量,这很有可能导致负生态效率的出现;Ingaramo^[50]选取了3个独立的指标(新鲜水使用效率、水及废水中的化学需氧量)分析了蔗糖产业中水及废水生态效率。

我国的吴小庆^[51]给出了农业生态效率的定义:

$$\text{农业生态效率} = \frac{\text{农产品经济效益}}{\text{农产品资源消耗} + \text{对环境的负面影响} - \text{对环境的正面影响}}$$

周震峰^[52]分析了我国开展农业生态效率研究的必要性和意义,并针对性地提出了若干对策建议。

2.2.2 第二产业

第二产业是国民经济的重要组成部分,也是技术改革和生态效率实践的重要阵地。Kharel^[53]对尼泊尔的铁棒产业生态效率分析表明,通过安装热回收单元和新设备的使用,总体生态效率都有所提高;van Berkel^[54]把五个污染预防的策略(工艺过程设计、替代物输入、工厂改进、好的管理以及再利用、再循环和再恢复)同五个能源效率主题相联系(资源效率、能源使用以及温室气体排放、水的使用和影响、微量元素以及有毒物质的控制、副产品的产生),建立了清洁生产与能源效率的耦合分析框架,并将其应用于澳大利亚矿产品部门;Charmondusit^[55]在WBCSD框架指导下,对泰国马塔府产业园中31家石油及石化组织的生态效率进行了评价。

我国工业是资源消费和污染物排放的源头。何伯述^[56]提出了我国燃煤电站的能源生态效率评价方式,认为二氧化碳去除率以及气体污染物的脱除率都影响着电站生态效率的提高;杜艳春^[57]定量分析了焦作市工业分行业的生态效率及特定环境负荷对总环境负荷的贡献率。

2.2.3 第三产业

旅游业所造成的环境风险和能源消耗是目前关注的焦点。Gössling^[58]定义旅游业的生态效率为二氧化碳排放当量同旅游收益之间的比率;Kelly^[59]研究了不同旅游线路的生态效率,通过问卷调查发现,游客通常愿意选择生态效率较高的旅游线路,且愿意为自己旅游额外造成的环境影响进行经济补偿。

我国的李鹏^[60]选用旅游者支出和旅游者活动二氧化碳排放量作为生态效率的指标,构建了旅游线路产品生态效率的计算模型。

2.3 城市及区域

目前,区域以及更大尺度的生态效率评价及管理体的研究逐渐升温。Salmi^[61]对比分析了产业共生系统与非共生系统的生态效率,结果表明,产业共生并不能提高生态效率,传统的上游环境污染预防以及末端控制技术更具前景;Mickwitz^[62]提出了社会、经济、自然三个维度的区域生态效率指标体系;Nigel^[3]建立一个总的生态效率指标作为政策制定者的参考依据;Wursthorn^[63]尝试建立欧洲各国统一的生态效率核算统计框架;Caneghem^[64]从环境影响与经济脱耦的视角,对比利时弗兰德地区的产业系统生态效率趋势进行了研究。

我国将生态效率作为建立资源型社会和发展循环经济的有效途径^[65],在工业园区、城市和区域尺度都有一定程度的应用。

工业园区作为我国循环经济体系建设中的重要内容,其生态效率评价是生态效率研究领域有待深入探索的课题。武春友^[66]基于生态承载力方法中的状态空间模型,计算生态工业园区的生态效率;彭涛^[67]将九发产业园的生态效率与全国进行对比,提出农工复合型生态产业园的改善建议;

城市以及区域尺度的生态效率评价在我国引起了广泛的兴趣。北京^[68]、深圳^[22]、吉林^[69]、宁夏^[70]、江苏^[71]、江西^[72]、广东^[73]、厦门^[74]、铜陵^[75]等省市的生态效率评价方法已经建立;王震^[76]借鉴生命周期分析的相关研究结果,构建了区域生态效率的指标体系、计算步骤和方法。

2.4 其他

由于各个机构对生态效率的定义的不同,也就决定了生态效率将突破产业界,具有更为广泛的使用。

Sorvari^[77]将生态效率的策略应用于芬兰污染土地的管理中,认为开发原位修复技术和对污染土壤开展循环使用策略,才是提升污染场地生态效率的主要途径;Abukhader^[78]提出在新兴的电子商务领域,传统的生态效率方法并没有使得环境影响减少;D'Agosto^[79]研究了生态效率管理规划在道路车队管理中的应用问题;Bribián^[80]从能耗及环境影响角度,对现有建筑材料和生态材料进行了对比分析,对建筑材料生态效率改善潜力进行了评价。

在我国,循环经济同生态效率的耦合关系,是研究的重点。周国梅^[81]、诸大建^[82]、刘华波^[83]等结合我国正在开展的循环经济建设,分别提出了对应的生态效率指标。

3 结论和讨论

(1) 在核算方法上,国外已经开始从简单的评价向背后驱动力机制研究转变,并且开始对生态效率的数据质量^[84]进行探究。

(2) 单一比值法、指标体系法以及模型法,各有优缺点,必须根据具体的研究对象以及研究目的选择合适的测度方法。国外在单一比值法和模型法方面,理论和应用都有较大突破,生命周期方法是进行单一比值生态效率分析的成熟工具,而生产率模型也被用于分析生态效率;我国则采用指标体系法的研究较多。

(3) 在应用层面,国外重点在于研究企业及其产品系统的生态效率,开始将生态效率同产品的生态设计、关键问题辨识、系统开发等融合起来,指导企业走向可持续发展;而我国在企业尺度上应用极少,大多停留在区域及城市层次。主要原因在于,单一比值法需要大量数据支撑,如果没有企业资金和人力支持,很难完成一

个比较完整的分析。

(4) 国外对于生态效率的宣传、推广和普及比较重视,力求将生态效率变为政府、企业、消费者的共同语言。如何将生产者的利益和消费者的利益结合^[34]、微观和宏观的结合^[85]、认知和制度的结合^[86]等都成为分析考虑的前沿;生态效率目前在我国,仅仅局限于研究领域,企业和大众对生态效率的认知不够,推广难度大。

(5) 现有的生态效率研究大多基于两个基本假设^[87]:环境问题与所在生态系统提供的服务相分离;环境管理同社会经济、文化背景分离。绝大部分研究并没有说明环境危机的根源,很少探究社会和伦理问题^[85],没有从更广泛的系统中来考量问题。

综上所述,政府应加大生态效率的宣传与推广,通过建立企业、科研单位和政府的共同研发机制,推动生态效率在企业及其产品系统上的应用,使其成为指导企业可持续发展的工具;在核算方法上,应借助经济、管理、会计等学科的理论和方法,利用交叉学科的特点来完善生态效率核算方法体系;社会维度是生态效率定量分析的难点,有研究表明,全排列多边形图示法^[88]既有单项指标又有综合指标,既能反映系统利导因子又能反映系统限制因子,能够综合反映系统生态效率的时空关系,从而避免损失过多的信息,后续研究应考虑该方法用于特定研究对象生态效率评估的可行性。

References:

- [1] Martin Willison J H, Côté R P. Counting biodiversity waste in industrial eco-efficiency: fisheries case study. *Journal of Cleaner Production*, 2009, 17(3): 348-353.
- [2] Willard B. The Sustainability Advantage: Seven Business Case Benefits of A Triple Bottom Line. Gabriola Island: New Society Publishers, 2002.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] Fussler C. The development of industrial eco-efficiency. *Industry and Environment*(Chinese version), 1995, 17(4): 71-74.
- [6] Organization for Economic Cooperation and Development. Eco-Efficiency. Paris: OECD, 1998.
- [7] Burritt R L, Saka C. Environmental management accounting applications and eco-efficiency: case studies from Japan. *Journal of Cleaner Production*, 2006, 14(14): 1262-1275.
- [8] Nieminen E, Linke M, Tobler M, Beke B V. 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.
- [9] Figge F, Hahn T. Sustainable Value Added-measuring corporate contributions to sustainability beyond eco-efficiency. *Ecological Economics*, 2004, 48(2): 173-187.
- [10] Vogtlander J G, Bijma A, Brezet H C. Communicating the eco-efficiency of products and services by means of the eco-costs/value model. *Journal of Cleaner Production*, 2002, 10(1): 57-67.
- [11] Park P J, Tahara K, Inaba A. Product quality-based eco-efficiency applied to digital cameras. *Journal of Environmental Management*, 2007, 83(2): 158-170.
- [12] Quariguasi Frota Neto J, Walther G, Bloemhof J, van Nunen J A E E, Spengler T. A methodology for assessing eco-efficiency in logistics networks. *European Journal of Operational Research*, 2009, 193(3): 670-682.
- [13] Kristina D, Paul E. Eco-efficiency trends in the UK steel and aluminum industries: differences between resource efficiency and resource productivity. *Journal of Industrial Ecology*, 2005, 9(4): 171-188.
- [14] Michelsen O, Fet A M, Dahlsrud A. Eco-efficiency in extended supply chains: a case study of furniture production. *Journal of Environmental Management*, 2006, 79(3): 290-297.
- [15] Van Caneghem J, Block C, Cramm P, Mortier R, Vandecasteele C. Improving eco-efficiency in the steel industry: the ArcelorMittal Gent case. *Journal of Cleaner Production*, 2010, 18(8): 807-817.
- [16] Hoffren J. Measuring the Eco-Efficiency of Welfare Generation in a National Economy [D]. Tampere: Tampere University, 2001.
- [17] Mao J S, Zeng R, Du Y C, Jiang P. Eco-efficiency of industry sectors for China. *Chinese Journal of Environment Science*, 2010, 31(11): 2788-2794.
- [18] Dai T J, Lu Z W. Analysis of eco-efficiency of Steel Industry. *Journal of Northeastern University: Natural Science*, 2005, 26(12): 1168-1173.

- [19] Wang F E, Shi T C. Assessment for eco-efficiency of China's Textile Industry based on material metabolism. *China Population Resources and Environment*, 2008, 18(6): 116-120.
- [20] Wu X Q, Wang Y, Liu N, Gao Q, Lu G F. Evaluation of circular economy development in industrial park based on eco-efficiency theory and TOPSIS approach. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(12): 2203-2208.
- [21] Liu N, Wu X Q, Wang Z F, Wang Y, Lu G F, Wen J F. Using main-component to analyze the eco-efficiency of eco-industry symbiosis system. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2008, 17(6): 831-838.
- [22] Zhang Y, Yang Z F. Eco-efficiency of urban material metabolism: a case study of Shenzhen. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(8): 3124-3131.
- [23] Chen A. Empirical analysis of the evaluation of regional ecology efficiency and influential factors in China-evidences from provincial data during 2000—2006. *Chinese Journal of Management Science*, 2008, 16(S1): 566-570.
- [24] Lauwers L. Justifying the incorporation of the materials balance principle into frontier-based eco-efficiency models. *Ecological Economics*, 2009, 68(6): 1605-1614.
- [25] 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.
- [26] Wu D S. A number of theories and approaches research on data envelopment analysis[D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2006.
- [27] Dyckhoff H, Allen K. Measuring ecological efficiency with data envelopment analysis (DEA). *European Journal of Operational Research*, 2001, 132(2): 312-325.
- [28] Sakis J. Ecoefficiency: how data envelopment analysis can be used by managers and researchers. *Proceedings of SPIE*. 2001: 194-203.
- [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] 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.
- [32] Madden K, Young R, Brady K, Hall J. Developing the eco-efficiency: learning module. *WBCSD*, 2005: 205-211.
- [33] Aoe T. Eco-efficiency and ecodesign in electrical and electronic products. *Journal of Cleaner Production*, 2007, 15(15): 1406-1414.
- [34] 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.
- [35] Huppes G, Davidson M D, Kuyper J, van Oers L, Udo de Haes H A, Warringa G. Eco-efficient environmental policy in oil and gas production in The Netherlands. *Ecological Economics*, 2007, 61(1): 43-51.
- [36] Syrrakou E, Papaefthimiou S, Yianoulis P. Eco-efficiency evaluation of a smart window prototype. *Science of The Total Environment*, 2006, 359(1/3): 267-282.
- [37] English M, Castellucci M, Mynors D J. Eco-efficiency of the cold roll formed product supply chain. *Journal of Materials Processing Technology*, 2006, 177(1/3): 626-629.
- [38] Van Middelaar C E, Berentsen P B M, Dolman M A, de Boer I J M. Eco-efficiency in the production chain of Dutch semi-hard cheese. *Livestock Science*, 2011, 139(1/2): 91-99.
- [39] Côté R, Booth A, Louis B. Eco-efficiency and SMEs in Nova Scotia, Canada. *Journal of Cleaner Production*, 2006, 14(6/7): 542-550.
- [40] Erkkö S, Melanen M, Mickwitz P. Eco-efficiency in the Finnish EMAS reports-a buzz word?. *Journal of Cleaner Production*, 2005, 13(8): 799-813.
- [41] Fernández-Viñe M B, Gómez-Navarro T, Capuz-Rizo S F. Eco-efficiency in the SMEs of Venezuela. Current status and future perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 2010, 18(8): 736-746.
- [42] Bartolomeo M, dal Maso D, de Jong P, Groenewegen P, Hopkinson P, James P, Nijhuis L, Örnänge M, Scholl G, Slob A, Zaring O. Eco-efficient producer services-what are they, how do they benefit customers and the environment and how likely are they to develop and be extensively utilised? *Journal of Cleaner Production*, 2003, 11(8): 829-837.
- [43] Lü B, Yang J X. Review of methodology of application of eco-efficiency. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(11): 3898-3906.
- [44] Gomes-Salema M I, Barbosa-Povoa A, Novais A Q. An eco-Efficiency study for a WEEE recovery network: the portuguese case. *Computer Aided Chemical Engineering*, 2009, 27: 2073-2078.
- [45] Kerr W, Ryan C. Eco-efficiency gains from remanufacturing: a case study of photocopier remanufacturing at Fuji Xerox Australia. *Journal of Cleaner Production*, 2001, 9(1): 75-81.
- [46] Cha K, Lim S, Hur T. Eco-efficiency approach for global warming in the context of Kyoto Mechanism. *Ecological Economics*, 2008, 67(2):

- 274-280.
- [47] Lü B, Yang J X. Eco-efficiency analysis of recycling strategies of WEEE in China. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2010, 4(1): 183-188.
- [48] Yue Y Y, Su J Q. Eco-efficiency: foreign practice and our measure. *Studies in Science of Science*, 2004, 22(2): 170-173.
- [49] Li B, Zhang J Q, Quan J M. The research on enterprise's ecological footprint and ecological efficiency. *Environmental Engineering*, 2007, 25(6): 85-90.
- [50] 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.
- [51] Wu X Q, Xu Y C, Lu G F. The evaluation of agricultural eco-efficiency: a case of rice pot-experiment. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(5): 2481-2488.
- [52] Zhou Z F. Considerations on carrying out researches of agricultural eco-efficiency. *Management of Agriculture Science and Technology*, 2007, 26(6): 9-11.
- [53] Kharel G P, Charmondusit K. Eco-efficiency evaluation of iron rod industry in Nepal. *Journal of Cleaner Production*, 2008, 16(13): 1379-1387.
- [54] Van Berkel R. Eco-efficiency in the Australian minerals processing sector. *Journal of Cleaner Production*, 2007, 15(8/9): 772-781.
- [55] Charmondusit K, Keartpakprae K. Eco-efficiency evaluation of the petroleum and petrochemical group in the map Ta Phut Industrial Estate, Thailand. *Journal of Cleaner Production*, 2011, 19(2/3): 241-252.
- [56] He B S, Zheng X Y, Hou Q Z, Zhang B, Chen C H. The energy ecological efficiency of coal-fired plant in China. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2001, 21(4): 435-438.
- [57] Du Y C, Jiang P, Mao J S, Xu L Y. Eco-efficiency of Jiaozuo industry sectors. *Environmental Science*, 2011, 32(5): 1529-1536.
- [58] 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.
- [59] Kelly J, Haider W, Williams P W, Englund K. Stated preferences of tourists for eco-efficient destination planning options. *Tourism Management*, 2007, 28(2): 377-390.
- [60] Li P, Yang G H, Zheng B, Zhang Y Q. GHG emission-based eco-efficiency study on tourism itinerary products in Shangri-La, Yunnan Province, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(5): 2207-2219.
- [61] Salmi O. Eco-efficiency and industrial symbiosis-a counterfactual analysis of a mining community. *Journal of Cleaner Production*, 2007, 15(17): 1696-1705.
- [62] Mickwitz P, Melanen M, Rosenström U, Seppälä J. Regional eco-efficiency indicators - a participatory approach. *Journal of Cleaner Production*, 2006, 14(18): 1603-1611.
- [63] Wursthorn S, Pogonietz W R, Schebek L. Economic-environmental monitoring indicators for European countries: a disaggregated sector-based approach for monitoring eco-efficiency. *Ecological Economics*, 2011, 70(3): 487-496.
- [64] van Caneghem J, Block C, van Hooste H, Vandecasteele C. Eco-efficiency trends of the Flemish industry: decoupling of environmental impact from economic growth. *Journal of Cleaner Production*, 2010, 18(14): 1349-1357.
- [65] Wang Y, Lu Q, Zhu J M. Review and perspective on eco-efficiency research. *World Forestry Research*, 2009, 22(5): 27-33.
- [66] Wu C Y, Sun Y Y. Eco-efficiency appraisal based on carrying capacity for industrial parks. *Chinese Journal of Management*, 2009, 6(6): 751-755.
- [67] Peng T, Li L J, Lu H F. The eco-efficiency of industrial park: example of Jiufa eco-industrial Park. *Ecology and Environment*, 2010, 19(7): 1611-1616.
- [68] Zhang Y, Yang Z F. Emergy analysis of urban material metabolism and evaluation of eco-efficiency in Beijing. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2007, 27(11): 1892-1899.
- [69] Li M S, Tong L J. Eco-efficiency of Jilin Province based on emergy and material flow. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(11): 6239-6247.
- [70] Guo X J, Chen X P, Zhang Z L, Lu C P. Emergy-based assessment for material metabolism and eco-efficiency of human-environmental system in Ningxia Hui Autonomous Region. *Ecology and Environment*, 2009, 18(3): 967-973.
- [71] Zhang B, Huang H P, Bi J. Material flow analysis and data envelopment analysis based regional eco-efficiency analysis: case study of Jiangsu Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(5): 2473-2480.
- [72] Huang H P, Wu S A, Zhi Y B, Yao G R, Jiang M J, Zhou Z H. Dynamic evaluations of resources and environmental performance based on eco-efficiency — a case study of Jiangxi Province. *Resources Science*, 2010, 32(5): 924-931.
- [73] Qin Z, Wang J W, Zhang J E, Luo S M, Xu H Q, Ye Y Q. Eco-efficiency of circular economy development of Guangdong Province. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2010, 18(2): 428-433.

- [74] Wang W, Lin J Y, Cui S H, Cao B, Shi L Y. Urban sustainability assessment based on eco-efficiency and its application. *Environmental Science*, 2010, 31(4): 1108-1113.
- [75] Wang Y C, Wang Y, Zhu X D, Wu X Q, Wang K, Ren K X, Lu G F. Eco-efficiency change and its driving factors in Tongling city of Anhui Province. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(2): 460-466.
- [76] Wang Z, Shi L, Liu J R, Sun N. Methodology and application of eco-efficiency analysis on regional industry. *China Population Resources and Environment*, 2008, 18(6): 121-126.
- [77] Sorvari J, Antikainen R, Kosola K 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.
- [78] 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.
- [79] 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.
- [80] Bribián I Z, Capilla A V, Usón A A. Life cycle assessment of building materials: comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. *Building and Environment*, 2011, 46(5): 1133-1140.
- [81] Zhou G M, Peng H, Cao F Z. Circular economy and industrial eco-efficiency indicator system. *Urban Environment and Urban Ecology*, 2003, 16(6): 201-203.
- [82] Zhu D J, Qiu S F. Eco-efficiency as the appropriate measurement of circular economy. *China Population, Resources and Environment*, 2006, 16(5): 1-6.
- [83] Liu H B, Yang H Z, Gu G W. Thoughts on the establishment of evaluation indicator system of circular economy in China based on eco-efficiency. *Sichuan Environment*, 2006, 25(2): 78-82.
- [84] Ciroth A. Cost data quality considerations for eco-efficiency measures. *Ecological Economics*, 2009, 68(6): 1583-1590.
- [85] Huppes G, Ishikawa M. Eco-efficiency guiding micro-level actions towards sustainability: ten basic steps for analysis. *Ecological Economics*, 2009, 68(6): 1687-1700.
- [86] Bleischwitz R. Cognitive and institutional perspectives of eco-efficiency. *Ecological Economics*, 2003, 46(3): 453-467.
- [87] Hukkinen J. Eco-efficiency as abandonment of nature. *Ecological Economics*, 2001, 38(3): 311-315.
- [88] 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.

参考文献:

- [5] Fussler C. 工业生态效率的发展. 产业与环境(中文版), 1995, 17(4): 71-74.
- [17] 毛建素, 曾润, 杜艳春, 姜畔. 中国工业行业的生态效率. 环境科学, 2010, 31(11): 2788-2794.
- [18] 戴铁军, 陆钟武. 钢铁企业生态效率分析. 东北大学学报: 自然科学版, 2005, 26(12): 1168-1173.
- [19] 王飞儿, 史铁锤. 基于物质代谢的中国纺织业生态效率评价. 中国人口·资源与环境, 2008, 18(6): 116-120.
- [20] 吴小庆, 王远, 刘宁, 高倩, 陆根法. 基于生态效率理论和 TOPSIS 法的工业园区循环经济发展评价. 生态学杂志, 2008, 27(12): 2203-2208.
- [21] 刘宁, 吴小庆, 王志凤, 王远, 陆根法, 温剑峰. 基于主成分分析法的产业共生系统生态效率评价研究. 长江流域资源与环境, 2008, 17(6): 831-838.
- [22] 张妍, 杨志峰. 城市物质代谢的生态效率——以深圳市为例. 生态学报, 2007, 27(8): 3124-3131.
- [23] 陈傲. 中国区域生态效率评价及影响因素实证分析——以 2000—2006 年省际数据为例. 中国管理科学, 2008, 16(增刊): 566-570.
- [26] 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.
- [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] 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.
- [43] 吕斌, 杨建新. 生态效率方法研究进展与应用. 生态学报, 2006, 26(11): 3898-3906.
- [47] 吕斌, 杨建新. 中国电子废物回收处理体系的生态效率分析. 环境工程学报, 2010, 4(1): 183-188.
- [48] 岳媛媛, 苏敬勤. 生态效率: 国外的实践与我国的对策. 科学学研究, 2004, 22(2): 170-173.
- [49] 李兵, 张建强, 权进民. 企业生态足迹和生态效率研究. 环境工程, 2007, 25(6): 85-90.
- [51] 吴小庆, 徐阳春, 陆根法. 农业生态效率评价——以盆栽水稻实验为例. 生态学报, 2009, 29(5): 2481-2488.
- [52] 周震峰. 关于开展农业生态效率研究的思考. 农业科技管理, 2007, 26(6): 9-11.

- [56] 何伯述, 郑显玉, 候清濯, 张彬, 陈昌和. 我国燃煤电站的生态效率. 环境科学学报, 2001, 21(4): 435-438.
- [57] 杜艳春, 姜畔, 毛建素, 徐琳瑜. 焦作市工业行业的生态效率. 环境科学, 2011, 32(5): 1529-1536.
- [60] 李鹏, 杨桂花, 郑彪, 张一群. 基于温室气体排放的云南香格里拉旅游线路产品生态效率. 生态学报, 2008, 28(5): 2207-2219.
- [65] 王妍, 卢琦, 褚建民. 生态效率研究进展与展望. 世界林业研究, 2009, 22(5): 27-33.
- [66] 武春友, 孙源远. 基于生态承载力的工业园区生态效率评价研究. 管理学报, 2009, 6(6): 751-755.
- [67] 彭涛, 李林军, 陆宏芳. 产业园生态效率评价——以九发生态产业园为例. 生态环境学报, 2010, 19(7): 1611-1616.
- [68] 张妍, 杨志峰. 北京城市物质代谢的能值分析与生态效率评估. 环境科学学报, 2007, 27(11): 1892-1899.
- [69] 李名升, 佟连军. 基于能值和物质流的吉林省生态效率研究. 生态学报, 2009, 29(11): 6239-6247.
- [70] 郭晓佳, 陈兴鹏, 张子龙, 逯承鹏. 宁夏人地系统的物质代谢和生态效率研究——基于能值分析理论. 生态环境学报, 2009, 18(3): 967-973.
- [71] 张炳, 黄和平, 毕军. 基于物质流分析和数据包络分析的区域生态效率评价——以江苏省为例. 生态学报, 2009, 29(5): 2473-2480.
- [72] 黄和平, 伍世安, 智颖飙, 姚冠荣, 江民锦, 周早弘. 基于生态效率的资源环境绩效动态评估——以江西省为例. 资源科学, 2010, 32(5): 924-931.
- [73] 秦钟, 王建武, 章家恩, 骆世明, 徐华勤, 叶延琼. 广东省循环经济发展的生态效率研究. 中国生态农业学报, 2010, 18(2): 428-433.
- [74] 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.
- [75] 王义琛, 王远, 朱晓东, 吴小庆, 王珂, 任克秀, 陆根法. 安徽省铜陵市生态效率变化及其驱动因素. 应用生态学报, 2011, 22(2): 460-466.
- [76] 王震, 石磊, 刘晶茹, 孙念. 区域工业生态效率的测算方法及应用. 中国人口·资源与环境, 2008, 18(6): 121-126.
- [81] 周国梅, 彭昊, 曹凤中. 循环经济和工业生态效率指标体系. 城市环境与城市生态, 2003, 16(6): 201-203.
- [82] 诸大建, 邱寿丰. 生态效率是循环经济的合适测度. 中国人口·资源与环境, 2006, 16(5): 1-6.
- [83] 刘华波, 杨海真, 顾国维. 基于生态效率建立我国循环经济评价指标体系的思考. 四川环境, 2006, 25(2): 78-82.
- [88] 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.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 11 June, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Controls of post-fire tree recruitment in Great Xing'an Mountains in Heilongjiang Province	CAI Wenhua, YANG Jian, LIU Zhihua, et al (3303)
The assessment of river health using Benthic-Index of biotic integrity for Wenyu River	YANG Liu, LI Yonghui, WANG Juncai, et al (3313)
Consume of soil seeds of <i>Betula albo-sinensis</i> and <i>Abies faxoniana</i> in different natural successional stages of subalpine dark coniferous forest in western Sichuan, China	MA Jiangming, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al (3323)
Habitat associations of understorey species spatial distribution in old growth broad-leaved Korean pine (<i>Pinus koraiensis</i>) forest	DING Shengjian, ZHANG Chunyu, XIA Fucui, et al (3334)
Nabkha morphology and sand-fixing capability of four dominant <i>Caragana</i> species in the desert region of the Inner Mongolia Plateau	ZHANG Yuanyuan, MA Chengchang, HAN Lei, et al (3343)
Growth dynamics, biomass allocation and ecological adaptation in <i>Ceratocarpus arenarius</i> L.	QUAN Dujuan, WEI Yan, ZHOU Xiaoqing, et al (3352)
A rapid assessment method for forest disaster based on MODIS/NDVI time series; a case study from Guizhou Province	SHI Hao, WANG Xiao, XUE Jianhui, et al (3359)
Soil cation exchange capacity and exchangeable base cation content in the profiles of four typical soils in the Xi-Shui Forest Zone of the Qilian Mountains	JIANG Lin, GENG Zengchao, LI Shanshan, et al (3368)
Impact of water and temperature on spring maize emergence speed and emergence rate	MA Shuqing, WANG Qi, LÜ Houquan, et al (3378)
Effect of N application on the abundance of denitrifying genes (<i>narG/nosZ</i>) and N ₂ O emission in paddy soil	ZHENG Yan, HOU Haijun, QIN Hongling, et al (3386)
Temporal-spatial variations of potential evapotranspiration and quantification of the causes in Northwest China	CAO Wen, SHEN Shuanghe, DUAN Chunfeng (3394)
Analysis of ecosystem degradation and recovery using precipitation use efficiency and NDVI in the headwater catchment of the Yellow River basin	DU Jiaqiang, SHU Jianmin, ZHANG Linbo (3404)
An assessment method of <i>Kandelia obovata</i> population biomass	JIN Chuan, WANG Jinwang, ZHENG Jian, et al (3414)
Quantitative characteristics and species composition of <i>Artemisia sphaerocephala</i> and <i>A. ordosica</i> communities in the Ulanbuh Desert ...	MA Quanlin, ZHENG Qingzhong, JIA Jujie, et al (3423)
Photosynthesis and transpiration in relation to ion accumulation in <i>Vitex trifolia</i> under varied light intensity	ZHANG Ping, LIU Linde, BAI Xinfu, et al (3432)
Diffusion of elm seed rain in Otindag Sand Land	GU Wei, YUE Yongjie, LI Gangtie, et al (3440)
Effect of saline water irrigation on sand soil salt and the physiology and growth of <i>Populus euphratica</i> Oliv.	HE Xinlin, CHEN Shufei, WANG Zhenhua, et al (3449)
Regulation of exogenous nitric oxide on photosynthetic physiological response of <i>Lolium perenne</i> seedlings under NaHCO ₃ Stress	LIU Jianxin, WANG Jincheng, WANG Xin, et al (3460)
Longitude gradient changes on plant community and soil stoichiometry characteristics of grassland in Hulunbeir	DING Xiaohui, LUO Shuzheng, LIU Jinwei, et al (3467)
Concentrations and distributions of selenium and heavy metals in Hainan paddy soil and assessment of ecological security	GENG Jianmei, WANG Wenbin, WEN Cuiping, et al (3477)
Heavy metal contents and evaluation of farmland soil and wheat in typical area of Jiangsu Province	CHEN Jingdu, DAI Qigen, XU Xuehong, et al (3487)
The studies on the food web structures and trophic relationships in Guangxi Dongfang Cave by means of stable carbon and nitro- gen isotopes	LI Daohong, SU Xiaomei (3497)
Analysis of bacterial diversity in the Songhua River based on nested PCR and DGGE	TU Teng, LI Lei, MAO Guannan, et al (3505)

Preliminary delineation and classification of estuarine drainage areas for major coastal rivers in China	HUANG Jinliang, LI Qingsheng, HUANG Ling, et al (3516)
Estimation of spatial and seasonal changes in phytoplankton primary production in Meiliang Bay, Lake Taihu, based on the Vertically Generalized Production Model and MODIS data	YIN Yan, ZHANG Yunlin, SHI Zhiqiang, et al (3528)
Viability and changes of physiological functions in the tiger frog (<i>Hoplobatrachus rugulosus</i>) exposed to cold stress	WANG Na, SHAO Chen, XIE Zhigang, et al (3538)
Community structure and abundance dynamics of soil collembolans in transgenic Bt rice paddyfields	ZHU Xiangyu, LI Zhiyi, CHANG Liang, et al (3546)
Morphological characteristics and microsatellite DNA genetic diversity of Nigeria African honey bee, Anhui <i>Apis mellifera</i> and theirs hybrid generation II	YU Linsheng, XIE Wenfei, WU Houchang, et al (3555)
Effects of social-demographic factors on the recreational service of park wetlands in Beijing	LI Fen, SUN Ranhao, CHEN Liding (3565)
Co-integration theory-based analysis on relationships between economic growth and eco-environmental changes: taking the south-east district in Chongqing city as an example	XIAO Qiang, HU Dan, XIAO Yang, et al (3577)
The cooperative environmental game model in the Tidal River Network Regions and its empirical research	LIU Honggang, CHEN Xingeng, PENG Xiaochun (3586)

Review and Monograph

Review of eco-efficiency accounting method and its applications	YIN Ke, WANG Rusong, ZHOU Chuanbin, et al (3595)
Overview on the 6th international symposium on modern ecology series of 2011	WEN Teng, XU Delin, XU Chi, et al (3606)

Discussion

Scale analysis of environmental factors and their relationship with the size of hierarchical aquatic ecoregion: a case study in the Liao River basin	LIU Xingcai, XU Zongxue, ZHANG Shurong, et al (3613)
--	--

Scientific Note

Effects of different light intensities on activities of the primary defense proteins in needles of <i>Larix gmelinii</i>	LU Yifang, SHI Lei, YAN Shanchun (3621)
An analysis of photosynthetic parameters among <i>Schima superba</i> provenances	XIONG Caiyun, ZENG Wei, XIAO Fuming, et al (3628)
Research on three small-scale agricultural ecological-economic systems in Shenzhen City based on emergy analysis	YANG Zhuoxiang, GAO Yang, ZHAO Zhiqiang, et al (3635)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

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 32 卷 第 11 期 (2012 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 11 (June, 2012)

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:100071	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@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.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