

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

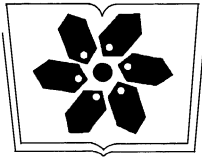
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第7期 Vol.32 No.7 **2012**

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 32 卷 第 7 期

2012 年 4 月 (半月刊)

目 次

城市生态景观研究的基础理论框架与技术构架	孙然好, 许忠良, 陈利顶, 等 (1979)
拟南芥芥子酸酯对 UV-B 辐射的响应	李 敏, 王 垠, 牟晓飞, 等 (1987)
蛋白核小球藻对 Pb(II) 和 Cd(II) 的生物吸附及其影响因素	姜 晶, 李 亮, 李海鹏, 等 (1995)
梨枣在果实生长期对土壤水势的响应	韩立新, 汪有科, 张琳琳 (2004)
产业生态系统资源代谢分析方法	施晓清, 杨建新, 王如松, 等 (2012)
基于物质流和生态足迹的可持续发展指标体系构建——以安徽省铜陵市为例 赵卉卉, 王 远, 谷学明, 等 (2025)
河北省县域农田生态系统供给功能的健康评价	白琳红, 王 卫, 张 玉 (2033)
温郁金内生真菌 <i>Chaetomium globosum</i> L18 对植物病原菌的抑菌谱及拮抗机理 王艳红, 吴晓民, 朱艳萍, 等 (2040)
基于稳定碳同位素技术的华北低丘山区核桃-小麦复合系统种间水分利用研究 何春霞, 孟 平, 张劲松, 等 (2047)
云贵高原喀斯特坡耕地土壤微生物量 C、N、P 空间分布	张利青, 彭晚霞, 宋同清, 等 (2056)
水稻根系通气组织与根系泌氧及根际硝化作用的关系	李奕林 (2066)
苹果绵蚜对不同苹果品种春梢生长期生理指标的影响	王西存, 于 毅, 周洪旭, 等 (2075)
磷高效转基因大豆对根际微生物群落的影响	金凌波, 周 峰, 姚 涓, 等 (2082)
基于 MODIS-EVI 数据和 Symlet11 小波识别东北地区水稻主要物候期 徐岩岩, 张佳华, YANG Limin (2091)
基于降水利用比较分析的四川省种植制度优化	王明田, 曲辉辉, 杨晓光, 等 (2099)
气候变暖对东北玉米低温冷害分布规律的影响	高晓容, 王春乙, 张继权 (2110)
施肥对巢湖流域稻季氨挥发损失的影响	朱小红, 马中文, 马友华, 等 (2119)
丛枝菌根真菌对枳根净离子流及锌污染下枳苗矿质营养的影响	肖家欣, 杨 慧, 张绍铃 (2127)
不同 R:FR 值对菊花叶片气孔特征和气孔导度的影响	杨再强, 张 静, 江晓东, 等 (2135)
神农架海拔梯度上 4 种典型森林凋落物现存量及其养分循环动态	刘 蕾, 申国珍, 陈芳清, 等 (2142)
黄土高原刺槐人工林地表凋落物对土壤呼吸的贡献	周小刚, 郭胜利, 车升国, 等 (2150)
贵州雷公山秃杉种群生活史特征与空间分布格局	陈志阳, 杨 宁, 姚先铭, 等 (2158)
LAS 测算森林冠层上方温度结构参数的可行性	郑 宁, 张劲松, 孟 平, 等 (2166)
基于 RS/GIS 的重庆缙云山自然保护区植被及碳储量密度空间分布研究 徐少君, 曾 波, 苏晓磊, 等 (2174)

模拟氮沉降增加对寒温带针叶林土壤 CO₂ 排放的初期影响 温都如娜,方华军,于贵瑞,等 (2185)

桂江流域附生硅藻群落特征及影响因素..... 邓培雁,雷远达,刘 威,等 (2196)

小浪底水库排沙对黄河鲤鱼的急性胁迫..... 孙麓垠,白音包力皋,牛翠娟,等 (2204)

上海池塘养殖环境成本——基于双边界二分式 CVM 法的实证研究 唐克勇,杨正勇,杨怀宇,等 (2212)

稻纵卷叶螟绒茧蜂对寄主的搜索行为 周 慧,张 扬,吴伟坚 (2223)

农林复合系统中灌木篱墙对异色瓢虫种群分布的影响..... 严 飞,周在豹,王 朔,等 (2230)

苹果脱乙酰几丁质发酵液诱导苹果叶片对斑点落叶病的早期抗性反应.....
..... 王荣娟,姚允聪,戚亚平,等 (2239)

专论与综述

气候变化影响下海岸带脆弱性评估研究进展..... 王 宁,张利权,袁 琳,等 (2248)

外来红树植物无瓣海桑引种及其生态影响 彭友贵,徐正春,刘敏超 (2259)

问题讨论

城市污泥生物好氧发酵对有机污染物的降解及其影响因素..... 余 杰,郑国砥,高 定,等 (2271)

4 种绿化树种盆栽土壤微生物对柴油污染响应及对 PAHs 的修复 闫文德,梁小翠,郑 威,等 (2279)

研究简报

云南会泽铅锌矿废弃矿渣堆常见植物内生真菌多样性..... 李东伟,徐红梅,梅 涛,等 (2288)

南方根结线虫对不同砧木嫁接番茄苗活性氧清除系统的影响 梁 朋,陈振德,罗庆熙 (2294)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 322 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2012-04



封面图说: 站立的仓鼠——仓鼠为小型啮齿类动物,栖息于荒漠、荒漠草原等地带的洞穴之中。白天他们往往会躲在洞穴中睡觉和休息,以避开天敌的攻击,偶尔也会出来走动,站立起来警惕地四处张望。喜欢把食物藏在腮的两边,然后再走到安全的地方吐出来,由此得仓鼠之名。它们的门齿会不停的生长,所以它们的上下门齿必须不断啃食硬东西来磨牙,一方面避免门齿长得太长,妨碍咀嚼,一方面保持门牙的锐利。仓鼠以杂草种子、昆虫等为食。

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

DOI: 10.5846/stxb201110301619

赵卉卉, 王远, 谷学明, 王义琛, 周婧, 孙友胜. 基于物质流和生态足迹的可持续发展指标体系构建——以安徽省铜陵市为例. 生态学报, 2012, 32(7): 2025-2032.

Zhao H H, Wang Y, Gu X M, Wang Y C, Zhou J, Sun Y S. Establishment of environmental sustainability assessment indicators based on material flow and ecological footprint model in Tongling City of Anhui Province. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(7): 2025-2032.

基于物质流和生态足迹的可持续发展指标体系构建 ——以安徽省铜陵市为例

赵卉卉¹, 王 远^{1,*}, 谷学明¹, 王义琛¹, 周 婧¹, 孙友胜²

(1. 南京大学环境学院, 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 南京 210046;

2. 铜陵市规划勘测设计研究院, 铜陵 244000)

摘要:将物质流分析方法和生态足迹模型相结合, 构建可持续发展指标体系, 利用因子分析法对安徽省铜陵市 2000—2010 年间的可持续发展状况进行了评价。结果表明: (1) 铜陵市直接物质输入 (DMI) 总体呈增长趋势, 2010 年相比 2000 年增长 2.65 倍, 进口比重有所下降, 区域资源开采活动有所增强, 但直接物质输入仍主要依赖于进口, 区内加工排放 (DPO) 总体呈上升趋势, 区域内隐藏流 (DHF) 成为环境压力的主要来源; (2) 铜陵市物质生产力数据显示其在物质利用效益方面有了改善, 但与同期国内平均水平相比, 仍存在一定差距; (3) 铜陵市人均生态足迹持续上升, 2010 年达到 7 hm²/人, 生态足迹与生态承载力之间的矛盾逐渐加大; (4) 可持续发展指标体系评价表明, 铜陵市可持续发展状况呈现下降趋势。铜陵市应从调整三次产业关系、转变经济运行方式等角度出发, 实现真正意义上的可持续发展。

关键词:物质流分析; 生态足迹; 因子分析; 可持续发展

Establishment of environmental sustainability assessment indicators based on material flow and ecological footprint model in Tongling City of Anhui Province

ZHAO Huihui¹, WANG Yuan^{1,*}, GU Xueming¹, WANG Yichen¹, ZHOU Jing¹, SUN Yousheng²

1 State Key Laboratory of Pollution Control and Resources Reuse, School of the Environment, Nanjing University, Nanjing 210046, China

2 Tongling Planning & Designing Institute, Tongling 244000, China

Abstract: The study combines the Material Flow Analysis method and the Ecological Footprint Model to establish an indicator system of sustainable development. On the base of the indicator system, the state of ecological sustainable development during 2000—2010 in Tongling City was appraised. The results show that: (1) The direct material input (DMI) keeps increasing averagely, with a value in 2010 2.65 times higher than in 2000. The proportion of imports goes downward, while the DMI still depends heavily on import activities. Domestic hidden flow takes a large percentage in DPO; (2) The resource productivity of Tongling City has lagged behind the average of the whole country, though a progress has been made in the past decade; (3) Ecological footprint shows an increasing trend, with 7 hm² per capita in 2010. The gap between the ecological footprint and the ecological carrying capacity has been widening; (4) The indicator system shows that the level of sustainable development of the city is gradually decreasing. To achieve a real sustainable development, it is necessary to adjust the proportions among the primary, secondary and tertiary industries, and transform the mode of economic development by building circulation economy.

基金项目:国家自然科学基金项目 (40701063); 安徽省科技重点项目 (07020304097)

收稿日期:2011-10-30; **修订日期:**2012-02-13

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ywang@nju.edu.cn

Key Words: material flow analysis; ecological footprint; factor analysis; sustainable development

目前有关可持续发展的指标及其定量评价方法研究是当前可持续发展研究的前沿和热点,国际上现有的可持续发展的指标及其计算方法主要可分为三类:第一类是以系统理论和方法为指导构建的指标体系,如联合国可持续发展委员会建立的“驱动力-状态-响应”指标体系^[1]及中国科学院可持续发展研究组提出的“中国可持续发展指标体系”^[2]等;第二类是基于环境货币化估值的指标体系,如 Cobb 等提出的“真实发展指标”^[3],Daly 等提出的“可持续经济福利指数”等^[4];第三类是具体的生物物理量衡量指标,如 Wackernagel 的生态足迹,Odum 的能值分析和 Ayres 的物质流分析等^[5]。

综合可持续发展评价的指标体系的研究,第一类指标体系结构过于复杂,操作性不强,第二类并不能真正反映发展的持续性,而第三类指标体系具有理解和可操作性的优点,易于尝试^[6],此类指标综合性强,容易进行国家之间、地区之间的比较,但反映的内容少^[7]。由于指标体系的研究没有规范或固定框架可循,使得指标体系的开发在低水平上无休止重复^[8],可持续发展指标体系仍需要继续加以完善。

此外关于物质流分析和生态足迹分析的结合,国内研究主要体现在环境压强指标的构建上,如王青^[9-10],顾晓薇^[11],王凤波^[12]等基于生态足迹方法结合物质流指标,构建反映区域承受的环境压力总量指标,都沁军^[13]利用物质流和生态足迹理论构建矿产资源开发环境压力评价指标;国外研究主要体现在物质流理论对生态足迹分析方法的拓展,如 Barrett^[14]等采用物质流分析技术收集数据,核算苏格兰人口的原材料、能源等方面的生态足迹,Simmons^[15]与 Gossling^[16]等将物质流与生态足迹相结合应用于生态旅游评价中,现阶段关于利用物质流和生态足迹二者结合进行可持续发展评估的研究并不多见。

铜陵于 2009 年被国务院确立为第二批资源枯竭城市之一,加快推进资源型城市转型,实现可持续发展是重要战略举措,本文基于各类评价指标体系的优缺点,结合物质流分析和生态足迹模型探索能解析可持续发展本质特征的综合指标,建立针对典型资源型城市铜陵的可持续发展评价指标体系,利用因子分析评估其在 2000—2010 年间可持续发展指标的变化趋势,并根据评价结果提出生态转型建议,也为其他资源型城市的可持续发展提供借鉴和参考。

1 研究模型与方法

1.1 物质流分析

物质流分析从实物的质量出发,研究物质在区域内的流动特征和转化效率,并将其作为可持续性指标,为区域可持续发展目标的制定提供依据^[17]。目前应用最广泛的物质流分析框架由欧盟统计局于 2001 年建立^[18]。根据本文构建可持续发展指标体系的需要,选取以下物质流分析指标作为研究依据(表 1)。

1.2 生态足迹模型

生态足迹指生产一定人口所消费的资源 and 吸纳这些人口产生的废弃物所需要的生态生产性土地面积,生态承载力指一个地区所能提供给人类的生态生产性土地面积,将两者相比,评价系统为“生态赤字”或是“生态盈余”,以此反映区域可持续发展现状^[19-20]。本研究在计算生态足迹时,生物资源和能源消费项目的世界平均生产能力和各种土地类型对应的均衡因子引自 Wackernagel 的文献^[21-22],在计算生态承载力时,产量因子采用张红霞等人对安徽的研究数据^[23]。

1.3 因子分析

本文应用因子分析研究所构建的指标体系的内在结构关系,从反映可持续发展综合特征的众多指标中提取几个主要的公因子,进而分析出影响城市可持续发展水平的不可观测的主要影响因素,并利用得到的综合指标评估可持续发展状况。设有 N 个样本, P 个指标, $X = (x_1, x_2, \dots, x_p)^T$ 为可观测的随机向量,要寻找的公因子为 $F = (F_1, F_2, \dots, F_m)^T$, 则模型:

$$X_1 = a_{11}F_1 + a_{12}F_2 + \dots + a_{1m}F_m + \varepsilon_1$$

$$X_2 = a_{21}F_1 + a_{22}F_2 + \dots + a_{2m}F_m + \varepsilon_2$$

.....

$$X_p = a_{p1}F_1 + a_{p2}F_2 + \cdots + a_{pm}F_m + \varepsilon_p$$

称为因子模型,也可用矩阵形式表示为 $X=AF+\varepsilon$ 。矩阵 $A=(a_{ij})$ 称为因子载荷矩阵, ε 为特殊因子,表示原有变量不能被因子解释的部分。在因子分析过程中,可将每个公因子表示为变量的线性组合,进而用变量的观察值来估计各个因子的值(即因子得分),其数学模型为: $Fi=b_{i1}X_1+b_{i2}X_2+\cdots+b_{ip}X_p(i=1,\cdots,m)$, 式中 Fi 为第 i 个因子得分。最后将每个公因子 Fi 的方差贡献率作为权数,构建综合评价函数: $F=w_1F_1+w_2F_2+\cdots+w_mF_m$ 。本文的整个计算求解过程采用 SPSS 统计分析软件来进行。

表 1 区域物质流分析基本指标分类及计算

Table 1 Index system of material flow analysis and calculated relationships

	指标 Index	简写 Shortening	计算公式 Accountancy principle
物质输入指标 Material input indices	直接物质输入 Direct material input	DMI	区域内物质开采 + 进口 Domestic material extraction + Import
	物质总投入 Total domestic material input	TMI	直接物质输入 + 区域内隐藏流 DMI + Domestic hidden flow
	物质需求总量 Total material requirement	TMR	物质总投入 + 进口隐藏流 TMI + Import hidden flow
物质输出指标 Material output indices	区域加工排放 Domestic processing output	DPO	生产废物排放 + 物质耗散损失 Emission to the environment + Waste and loss of products
	区域内总排放 Total domestic output	TDO	区域内加工排放 + 区域内隐藏流 DPO + DHF
	物质总输出 Total material output	TMO	区域内总排放 + 出口 TDO + Export
平衡指标 Balance indice	物资库存净增量 Net addition to stock	NAS	总物质需求-物质总输出 TMR-TMO
效率指标 Efficiency indice	物质生产力 Material productivity	MP	地区生产总值/直接物质输入 GDP /DMI

2 基于物质流和生态足迹的可持续发展指标体系构建

物质流分析着眼于进入经济系统的物质数量以及从经济系统排入环境的废弃物数量,以此评估人类活动所产生的环境影响,而土地作为经济生产活动所需的重要自然资源未被考量,生态足迹模型则为土地利用分析提供了工具^[17]。生态足迹分析能准确度量区域资源消耗强度及供给能力,在一定程度上弥补了物质流对土地资源无法考量的缺陷,但其分析的范围有限,提供的信息量较少,而物质流则通过详细的物质账户对其进行了补充。两者的结合实际上是从重量和面积两个角度同时入手研究区域可持续发展问题,既可完善生态足迹携带信息不足的缺陷,也能对区域可持续发展状态提供精确的评估,为决策部门提供更明确的辅助信息。本研究将物质流分析和生态足迹模型相结合,进行可持续发展指标体系构建(表 2),侧重于生态方面的可持续发展定义,即“不破坏自然资源基础,不超过环境承载能力的发展”,研究铜陵区域的资源可持续性 & 环境可持续性。在构建指标体系的过程中,遵循以下原则:

(1) 全面性和代表性原则 本研究建立物质流分析子系统和生态足迹分析子系统,选取物质流分析中四类重要指标:物质输入指标、物质输出指标、平衡指标和效率指标及生态足迹分析中三类常用指标,涵盖了生态经济系统物质进口、出口、区域内隐藏流、进口隐藏流、废物排放、土地利用情况、物质利用效益等方面。

(2) 可测性和可比性原则 本研究的数据来源为 2000—2010 年度的《铜陵统计年鉴》及《铜陵市环境统计年报》和铜陵市矿产资源报告,数据的处理方法有科学依据,指标可操作性强,容易进行国家与地区之间的对比,并能对区域可持续发展水平和能力作出真实客观的衡量和评价。

3 研究结果分析

3.1 铜陵市物质输入、物质输出及资源利用分析

从输入方面看,2000—2010 年铜陵市直接物质输入从 $859.74 \times 10^4 \text{ t}$ 增至 $2274.30 \times 10^4 \text{ t}$,增幅高达 165%,

物质需求总量从 $5172.76 \times 10^4 \text{ t}$ 增至 $19862.15 \times 10^4 \text{ t}$ (表 3)。区域内资源开采量和进口量占直接物质输入的比重分别从 2000 年的 40.6% 和 59.4% 变化为 2010 年的 42.4% 和 57.6%。进口物质比重有所下降,本地资源开采活动有所增强,但进口物质比重仍大于区内开采比重,表明铜陵直接物质输入仍较为依赖于进口。直接物质输入和物质需求总量的上升趋势表明铜陵生态经济系统对自然资源和物质的动用在增加,经济系统运行的可持续性在减弱。

表 2 铜陵市可持续发展支持系统评价指标
Table 2 Sustainable development evaluation index system

系统层 Category	变量层 Variable	说明 Explanation for index
物质流分析子系统 Indicator system of material flow	直接物质输入 (DMI)	均用来量度一个国家或地区资源利用与自然生态的可持续性,其值越小,可持续性越强 ^[17,24] ,区别在于直接物质输入未计入隐藏流
	物质需求总量 (TMR)	
	区域加工排放 (DPO)	量度一个国家或地区的环境友好程度或人与环境的和谐程度,也可指示当地环境保护与建设的可持续性,其值越小,环境的可持续性越弱 ^[24]
	物资库存增量 (NAS)	反映一个国家或地区的物质财富的增长水平 ^[24]
生态足迹分析子系统 Indicator system of ecological footprints	物质生产力 (MP)	代表一个国家或地区的资源利用效率的高低,其数值越大,经济系统越趋近可持续发展的目标 ^[24]
	人均生态足迹	评估人类活动对自然生态系统的影响 ^[25]
	人均生态承载力	表征某特定地区的生态容量 ^[19]
	万元 GDP 生态足迹	反映资源的利用效益,其值越大,表明资源利用效益越低 ^[26]

从输出方面看,2000—2010 年铜陵区域加工排放从 $194.02 \times 10^4 \text{ t}$ 增至 $253.05 \times 10^4 \text{ t}$,总体呈上升趋势,但在 2003—2007 年间出现下降,这与铜陵市加强环境治理特别是加强对工业“三废”的治理力度有关,然而由于工业生产规模的不断扩大,区内物质资源的开采量依然保持增长,从而导致区内隐藏流也随之不断上升,2010 年区内隐藏流高达 3273.57 万 t,占区内总排放比重 92.8%,成为环境压力的主要来源,暗示着巨大的生态包袱和矿山复垦的压力。

从物质平衡方面看,物资库存净增量呈上升趋势,表明铜陵区域的物质财富的增长水平在提高。从效率来看,2000—2010 年铜陵物质生产力 (GDP/DMI) 总体上呈上升趋势,2010 年达到 1313.86 元/t,相比 2000 年增幅为 49%。但将其与徐州^[27] 和安徽^[28] 同期数据对比,铜陵还存在一定差距,在其绝对数量上,铜陵市物质生产力仍处于较低水平。铜陵市产业结构以自然资源初级开发加工的行业为主,经济增长模式仍属于“高投入、高消耗”型,通过提高整体技术水平和实现企业结构转型可以进一步提高物质生产力,实现生态环境系统的可持续发展。

表 3 2000—2010 年铜陵物质流指标汇总
Table 3 Material flow in Tongling during 2000—2010

	年份 Year										
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
DMI/($\times 10^4 \text{ t}$)	859.74	934.32	994.67	1225.36	1507.68	1694.97	1791.16	1746.54	1971.36	2121.36	2274.30
TMR/($\times 10^4 \text{ t}$)	5172.76	6335.31	6563.90	8529.67	11152.13	12675.3	13665.01	14612.24	16735.05	18369.51	19862.15
DPO/($\times 10^4 \text{ t}$)	194.02	198.00	210.52	211.12	188.22	180.87	156.01	89.75	154.16	196.49	253.05
DHF/($\times 10^4 \text{ t}$)	1274.64	1542.10	1689.68	2167.12	2676.52	2464.41	2662.52	2880.46	3546.59	3914.24	3273.57
NAS/($\times 10^4 \text{ t}$)	3402.75	4250.01	4260.67	5637.50	7688.32	9362.20	10059.97	10806.7	11959.98	13046.19	14933.57
MP(元/t)	880.60	888.09	925.15	866.62	835.35	875.31	961.66	1135.15	1138.45	1202.89	1313.857

3.2 铜陵市生态足迹供给与需求分析

铜陵市 2000—2010 年生态足迹的供给及需求的结果见表 4。2000—2010 年间,铜陵人均生态足迹由

2.9627 $\text{hm}^2/\text{人}$ 上升为 7.0016 $\text{hm}^2/\text{人}$,说明铜陵市对其自然资源的利用程度逐年增加,从生态足迹的构成来看,2000 年作物用地占整个足迹的 56%,能源用地占 41%,2010 年,则分别达到 27%、71%,作物用地比例有所下降,而能源用地出现上升,能源用地的增长占生态足迹总增长的 92%,是导致生态足迹上升的主要因素,反映铜陵市的发展对能源的高度消耗。人均生态承载力由 0.2784 $\text{hm}^2/\text{人}$ 下降为 0.2779 $\text{hm}^2/\text{人}$,主要原因是由于耕地面积的下降。人均生态赤字由 2.6843 $\text{hm}^2/\text{人}$ 发展为 6.7238 $\text{hm}^2/\text{人}$,表明本地生态足迹与生态承载力之间的矛盾呈扩大趋势,意味着生态系统的不稳定性不断增强。

万元 GDP 生态足迹由 2000 年的 2.7002 $\text{hm}^2/\text{万元}$ 下降到 2010 年的 1.7339 $\text{hm}^2/\text{万元}$,反映了资源利用效益的提高,但与国内资源型城市大庆^[29]相比,大庆 2006 年万元 GDP 生态足迹为 1.0498 hm^2 ,此外美国^[30]2001 年万元 GDP 生态足迹仅为 0.36 hm^2 ,铜陵市还有待改善。铜陵市具有鲜明的资源型城市的特征,经济增长对生态资源的依赖程度较大,需要转变其经济增长方式才能保证铜陵市的可持续发展。

表 4 2000—2010 年铜陵人均生态足迹、生态承载力及万元 GDP 生态足迹汇总

Table 4 Comparison between per capita ecological footprint, per capita ecological carrying capacity and ecological footprints per 10000 yuan GDP in Tongling during 2000—2010

	年份 Year										
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
人均生态足迹/($\text{hm}^2/\text{人}$) per capita ecological footprint	2.9627	3.2618	3.2732	3.5518	4.3613	4.7290	5.0558	5.0110	5.4319	6.4111	7.0016
人均生态承载力/($\text{hm}^2/\text{人}$) per capita ecological carrying capacity	0.2784	0.2741	0.2727	0.2677	0.2743	0.2777	0.2638	0.2513	0.2638	0.2689	0.2779
人均生态赤字/($\text{hm}^2/\text{人}$) per capita ecological deficit	2.6843	2.9877	3.0005	3.2841	4.0871	4.4513	4.7920	4.7596	5.1681	6.1422	6.7238
万元 GDP 生态足迹 /($\text{hm}^2/10^4 \text{ yuan GDP}$) ecological footprints per 10000 yuan GDP	2.7002	2.7399	2.5013	2.3717	2.4805	2.3020	2.1459	1.8615	1.7883	1.8589	1.7339

3.3 可持续发展状况评价

在物质流分析和生态足迹分析的基础上,本研究利用因子分析提取综合指标,对系统可持续发展状况进行全面评估。在对数据进行正向化和标准化后,进行 Bartlett's 球度检验,检验结果显示统计量的观测值为 184.224(自由度为 28),相应的概率 P 接近 0,小于显著性水平 0.01,因此拒绝原假设表示变量之间存在相关关系,原有变量适合做因子分析^[30]。

在提取因子时,采用主成分法并选取特征根值大于 1 的特征根,共提取出两个公因子 F_1, F_2 ,第一因子的贡献率达到 72%,第二因子的贡献率为 22%,两者的累积贡献率为 94%,总体上原有变量的信息丢失较少,因子分析结果较为理想。经过方差最大法旋转后,输出因子载荷图,结果见表 5。由表可知,经过旋转后,第一因子的平方和为 5.611,占 74% 的权重,第一因子对解释原有变量的贡献最大,第二因子次之,平方和为 1.923,占 26% 的权重。变量共同度均在 80% 以上,表明提取结果较为理想。第一因子中,高载荷的变量有 DMI、TMR、NAS、MP、人均生态足迹、万元 GDP 生态足迹,反映了区域内资源投入、资源需求、资源生产率等,可将其命名为资源因子,第二因子中,高载荷的变量有 DPO、人均生态承载力,反映了环境状况,故第二因子命名为环境因子,可持续发展因子 F 即为两者的综合,由两个因子的得分分别乘以其权重得到,将得分经过百分化处理,2000—2010 年间铜陵市可持续发展演变趋势如图 1 所示。

环境因子呈不稳定变化,2000—2005 年间变化较小,2005—2007 年快速上升,之后又出现下降,在三项因子中,环境因子的变化幅度最大。2005 年,铜陵市被国家列为循环经济试点城市,通过循环经济的推进,铜陵市实现减排主要量化指标明显好转,工业固体废物综合利用率进一步提高,环境压力有所缓解。然而由于循环经济在开展的初期主要偏重于基础性工作,如实现工业固体废弃物的资源利用,此种末端处理方法在短时

间内能缓解环境压力,但无法得到长期效果,铜陵作为资源型城市最根本的矛盾——结构性矛盾并未得到解决,高投入、高排放的趋势并未改变,2007年后迅速的下降便说明此问题。

资源因子在2000—2010年间一直呈下降趋势,由于其权重高于环境因子,使其成为可持续发展最主要的限制因素。铜陵以铜立市,是建国后伴随铜矿开采和冶炼而逐步发展起来的典型资源型城市,具有鲜明的资源型城市特征。三次产业比例失衡,以铜产业为主体的工业在国民经济中的地位突出,2000年二次产业比例占55.7%,2010年比例达到72.8%,11a间二产比例一直居高不下,经济发展过于依赖对资源的开发和利用,产业结构中工业比重过大。有色、化工、建材、电子和纺织构成铜陵经济的5大支柱产业,而资源依赖型的有色、化工、建材分别占到73%,13%,7%的比重,此外全市高能耗企业综合能源消耗量占规模以上工业能耗总量的90%以上,经济增长仍属于高投入、高消耗的粗放型发展模式,经济质量运行较低。

可持续发展因子作为两者的综合,由于资源因子较环境因子占权重较大,因而可持续发展因子的变动趋势总体上与资源因子保持一致,呈下降趋势,2005—2007年间由于环境因子的改善,可持续发展因子呈上升趋势,但之后快速下降,表明铜陵以高能耗为代价已使得本区域的经济处于不可持续状态,不加以改变,铜陵市将会继续朝远离可持续的方向发展。

表5 旋转前后的因子载荷

Table 5 The factor loading table around rotations

	提取前 Before rotation matrix		旋转后 After rotation matrix		变量共同度 Communality
	第一因子 F_1	第二因子 F_2	第一因子 F_1	第二因子 F_2	
DMI	0.973	0.098	0.176	0.021	0.957
TMR	0.989	0.094	0.178	0.019	0.986
DPO	-0.169	0.946	0.077	0.531	0.918
NAS	-0.989	-0.103	-0.179	-0.024	0.989
MP	-0.896	-0.113	-0.164	-0.032	0.800
人均生态足迹 Per capita eco-footprint	0.968	0.215	0.188	0.087	0.984
人均生态承载力 Per capita bio-capacity	0.393	-0.879	-0.031	-0.502	0.931
万元GDP生态足迹 Ecological footprints per 10^4 yuan GDP	-0.979	0.096	-0.155	0.086	0.968
平方和 Square sum of factor loading	5.782	1.752	5.611	1.923	

4 结论

2000—2010年间,基于物质流和生态足迹建立的可持续发展指标体系显示,铜陵市可持续发展状况有所下降,虽然铜陵市经过污染物减排和工业固体废物综合利用,使得本区环境状况有所改善,但由于经济增长对资源的依赖性过大,铜陵生态经济系统已经在朝着不可持续的方向发展。作为典型资源型城市,铜陵市当前面临着三次产业比例失衡、资源枯竭,依赖进口、矿山生态修复压力、土地资源紧张等发展的瓶颈问题,而其中最主要的矛盾即是经济增长与区域资源和环境容量之间的矛盾。为改变铜陵市目前的弱可持续性状态,铜陵市需要从调整关系和转变方式两方面入手:

(1) 调整关系 通过规范土地利用、引导城镇建设和优化产业布局实现铜陵空间结构生态化,解决土地资源紧张的问题,提高服务业比重及其行业水平,使其有效拉动国民经济增长,从而实现三次产业关系的调整,统筹矿产资源管理,科学控制资源开采强度,加强对矿产资源的保护。

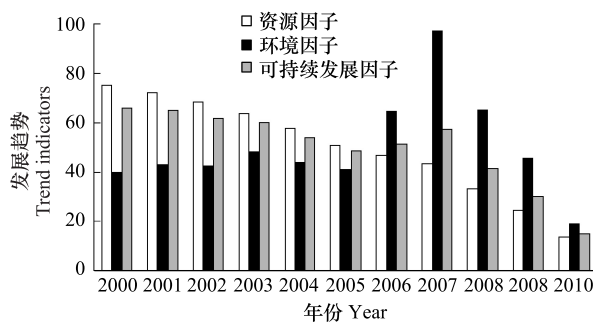


图1 铜陵生态可持续发展趋势图

Fig. 1 The synthetic trend indicators of ecological sustainable development in Tongling

(2) 转变方式 深入推进循环经济建设,转变经济运行方式。提高资源利用效率,降低产业经济对资源的依赖性,实现产业链向高附加值的下游延伸,在优化经济结构的同时,实现经济运行质量的提高,在此基础上,积极引进新技术,完成经济增长由资源推动向技术推动的转变,从而实现铜陵生态经济系统的可持续发展。

我国资源型城市众多,集成物质流分析、生态足迹分析与因子分析的方法,能够实现较为综合的可持续发展评估,虽然区域层面的物质流分析受到当地统计情况的限制,但是物质流在体现区域宏观发展趋势方面的优势为开展可持续发展评估提供了客观有效的研究基础,同时生态足迹在度量人类对自然的影响程度上的有效性更丰富了指标体系的内涵,这一综合的评估方法能够更有成效的帮助资源型城市制定相应的可持续发展战略。

References:

- [1] Yeh S C, Liou M L, Yu Y H. Revisiting the environmental sustainability index: Taiwan's scores as an example. *City and Planning*, 2006, 23 (2):111-141.
- [2] Institute of China Sustainable Development, Chinese Academy of Sciences. *China sustainable development strategy report 1999*. Beijing: Science Press,1999.
- [3] Hardi P, Barg S, Hodge T, Pinter L. *Measuring sustainable development: Review of current practice*. International Institute for Sustainable Development, 1997.
- [4] Cataned B E. An index of sustainable economic welfare (ISEW) for Chile. *Ecological Economics*, 1999,28(2):231-244.
- [5] Neumayer E. Indicators of sustainability//T. Tietenberg, H. Folmer, eds. *The International yearbook of environmental and resource economics*. Cheltenham: Eldward Elgar, 2004: 139-188.
- [6] Xu Z M, Cheng G D. Review indicators of measuring sustainable development. *China Population, Resources and Environment*, 2000,10(2): 60-64.
- [7] Liu G, Xu M, Yu J. Reviews of researches on index system of sustainable development. *Journal of Chengdu University of Technology (Social Sciences)*, 2007,15(3):29-33.
- [8] Fang J D, Yang Y, Xiong L. Comparison of international and domestic indicator systems for urban sustainable development evaluation. *Environment Science and Management*, 2010,35(8):132-136.
- [9] Wang Q, Liu J Z, Gu X W, Ding Y, Liu J X. Environmental loading and environmental stress indicators and their application. *China Population, Resources and Environment*, 2006,16(1):52-57.
- [10] Wang Q, Wang F B, Gu X W, Xu X C. Resource-environmental pressure and efficiency of regional economy. *Journal of Northeastern University (Natural Science)*, 2011,32(10):1488-1491.
- [11] Gu X W, Wang Q, Liu J Z, Ding Y, Liu J X. Environmental pressure indexes and their application. *China Environmental Science*, 2005,25(3): 315-319.
- [12] Wang F B, Gu X W, Wang Q, Xu X C. Environmental pressure of Shenyang's economic development. *Journal of Northeastern University (Natural Science)*, 2011,32(9):1352-1355.
- [13] Du Q J, Dong T Y, Feng L G. Construction of comprehensive evaluation indicator system of environment pressure of mineral resources development. *Statistics and Decision*, 2010,13(10):56-58.
- [14] Barrett J. Component ecological footprint: Developing sustainable scenarios. *Impact Assess Project Appraisal*, 2001,19(2): 107-118.
- [15] Simmons C, Lewis K, Barrett J. Two feet-two approaches: A component-based model of ecological footprinting. *Ecological Economics*,2000,32 (3):375-380.
- [16] Gossling S, Hansson C B, Horstmeier O, Saggel S. Ecological footprint analysis as a tool to assess tourism sustainability. *Ecological Economics*, 2002,43(2/3): 199-211.
- [17] Xia C Y. Review on studies of economy-wide material flow analysis. *Journal of Natural Resources*, 2005,20(3):415-421.
- [18] EUROSTA. *Economy-wide material flow accounts and derived indicators: Methodological guide*. Luxembourg: EUROSTAT, 2001
- [19] Yin X, Ni J R, Mao X L. Review of ecological footprint theory. *China Population, Resources and Environment*, 2004,14(5):45-52.
- [20] Jin D, Bian Z F. Emergy-based ecological footprint model and its application to a natural resource-dependent economy in Xuzhou City. *Acta Ecologica Sinica*, 2010,30(7):1725-1733.
- [21] Wackernagel M, Onisto L, Bello P, Linares A C, Lopez Falfan I S, Garcia J M, Suarez Guerrero A I, Guerrero C S. National natural capital

- accounting with the ecological footprint concept. *Ecological Economics*, 1999, 29(3): 375-390.
- [22] Wackernagel M, Onisto L, Linares A C, Lopez Falfan I S, Garcia J M, Suarez Guerrero A I, Guerrero C S. Ecological Footprints of Nations. Commissioned by the Earth Council for the Rio+5 Forum. International Council for Local Environmental Initiatives, 1997.
- [23] Zhang H X, Su Q, Zhang J H, Wang Q. Dynamic calculation and analysis of ecological footprint of Anhui Province from 1990 to 1999. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(1): 39-44.
- [24] Huang H P, Bi J, Zhang B, Li X M, Yang J, Shi L. A critical review of material flow analysis (MFA). *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(1): 368-379.
- [25] Peng J, Wu J S, Jiang Y Y, Ye M T. Shortcomings of applying ecological footprints to the ecological assessment of regional sustainable development. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(8): 2716-2722.
- [26] Yang Y K, Wang D Y. Dynamic calculation and analysis of ecological footprint of Chongqing after establishing municipality status. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(6): 2382-2390.
- [27] Qiu F D, Shen Z P, Zhang J, Tong L J. Dynamics of coal city sustainable development based on decoupling analysis method: A case study in Xuzhou City. *Areal Research and Development*, 2011, 30(3): 67-72.
- [28] Liu X W, Wu K Y, Wan L L. Material flow analysis of regional eco-economic system in An-hui province. *Journal of Hefei University of Technology*, 2011, 34(7): 1066-1071.
- [29] Li J F. Study of sustainable development of resources city based on ecological footprint model — A case study of Daqing City. *Resource Development and Market*, 2009, 25(2): 128-130.
- [30] Li J P, Wang Z S. The analysis of ecological footprints of Macao in 2001. *Journal of Natural Resources*, 2011, 21(8): 66-71.
- [31] Xue W. Analysis method statistical of software SPSS and its applications. Beijing: Electronics Industry Press, 2009.

参考文献:

- [2] 中国科学院可持续发展研究组. 1999 中国可持续发展战略报告. 北京: 科学出版社, 1999.
- [6] 徐中民, 程国栋. 可持续发展定量研究的几种新方法评介. *中国人口·资源与环境*, 2000, 10(2): 60-64.
- [7] 刘国, 许模, 于静. 可持续发展评价指标体系研究评述. *成都理工大学学报(社会科学版)*, 2007, 15(3): 29-33.
- [8] 方建德, 杨扬, 熊丽. 国内外城市可持续发展指标体系比较. *环境科学与管理*, 2010, 35(8): 132-136.
- [9] 王青, 刘敬智, 顾晓薇, 丁一, 刘建兴. 环境载荷与环境压强: 环境压力指标及应用. *中国人口·资源与环境*, 2006, 16(1): 52-57.
- [10] 王青, 王凤波, 顾晓薇, 胥孝川. 区域经济的资源环境载荷与效率. *东北大学学报(自然科学版)*, 2011, 32(10): 1488-1491.
- [11] 顾晓薇, 王青, 刘敬智, 丁一, 刘建兴. 环境压力指标及应用. *中国环境科学*, 2005, 25(3): 315-319.
- [12] 王凤波, 顾晓薇, 王青, 胥孝川. 沈阳市经济发展的环境压力. *东北大学学报(自然科学版)*, 2011, 32(9): 1352-1355.
- [13] 都沁军, 董腾云, 冯兰刚. 矿产资源开发环境压力的评价指标体系构建. *统计与决策*, 2010, 13(10): 56-58.
- [17] 夏传勇. 经济系统物质流分析研究述评. *自然资源学报*, 2005, 20(3): 415-421.
- [19] 尹璇, 倪晋仁, 毛小琴. 生态足迹研究述评. *中国人口·资源与环境*, 2004, 14(5): 45-52.
- [20] 金丹, 卞正富. 基于能值的生态足迹模型及其在资源型城市的应用. *生态学报*, 2010, 30(7): 1725-1733.
- [23] 张红霞, 苏勤, 章锦河, 王群. 1990—1999 年安徽省生态足迹的动态测度与分析. *生态学杂志*, 2006, 25(1): 39-44.
- [24] 黄和平, 毕军, 张炳, 李祥妹, 杨洁, 石磊. 物质流分析研究述评. *生态学报*, 2007, 27(1): 0368-0379.
- [25] 彭建, 吴健生, 蒋依依, 叶敏婷. 生态足迹分析应用于区域可持续发展生态评估的缺陷. *生态学报*, 2006, 26(8): 2716-2722.
- [26] 杨永奎, 王定勇. 重庆直辖以来生态足迹的动态测度与分析. *生态学报*, 2007, 27(6): 2382-2390.
- [27] 仇方道, 沈正平, 张敬, 佟连军. 基于脱钩模型的煤炭城市可持续发展动态分析——以徐州市为例. *地域研究与开发*, 2011, 30(3): 67-72.
- [28] 刘晓薇, 吴开亚, 万伦来. 安徽省生态经济系统的物质流分析. *安徽工业大学学报(自然科学版)*, 2011, 34(7): 1066-1071.
- [29] 李俊峰. 资源型城市生态足迹测算与评价——以大庆市为例. *资源开发与市场*, 2009, 25(2): 128-130.
- [30] 李金平, 王志石. 澳门 2001 年生态足迹分析. *自然资源学报*, 2003, 18(2): 197-203.
- [31] 薛薇. SPSS 统计分析方法及其应用. 北京: 电子工业出版社, 2009.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 7 April, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Theoretical framework and key techniques of urban ecological landscape research	SUN Ranhao, XU Zhongliang, CHEN Liding, et al (1979)
Response of sinapate esters in <i>Arabidopsis thaliana</i> to UV-B radiation	LI Min, WANG Yin, MU Xiaofei, et al (1987)
Biosorption of lead (II) and cadmium (II) from aqueous solution by <i>Chlorella pyrenoidsa</i> and its influential factors	JIANG Jing, LI Liang, LI Haipeng, et al (1995)
Response of pear jujube trees on fruit development period to different soil water potential levels	HAN Lixin, WANG Youke, ZHANG Linlin (2004)
An approach for analyzing resources metabolism of industrial ecosystems	SHI Xiaoqing, YANG Jianxin, WANG Rusong, et al (2012)
Establishment of environmental sustainability assessment indicators based on material flow and ecological footprint model in Tongling City of Anhui Province	ZHAO Huihui, WANG Yuan, GU Xueming, et al (2025)
Health status evaluation of the farmland supply function at county level in Hebei Province	BAI Linhong, WANG Wei, ZHANG Yu (2033)
Inhibition effects and mechanisms of the endophytic fungus <i>Chaetomium globosum</i> L18 from <i>Curcuma wenyujin</i>	WANG Yanhong, WU Xiaomin, ZHU Yanping, et al (2040)
Water use of walnut-wheat intercropping system based on stable carbon isotope technique in the low hilly area of North China	HE Chunxia, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (2047)
Spatial heterogeneity of soil microbial biomass carbon, nitrogen, and phosphorus in sloping farmland in a karst region on the Yunnan-Guizhou Plateau	ZHANG Liqing, PENG Wanxia, SONG Tongqing, et al (2056)
Relationship among rice root aerenchyma, root radial oxygen loss and rhizosphere nitrification	LI Yilin (2066)
Effects of <i>Eriosoma lanigerum</i> (Hausmann) on physiological indices of different apple cultivars	WANG Xicun, YU Yi, ZHOU Hongxu, et al (2075)
Effects of P-efficient transgenic soybean on rhizosphere microbial community	JIN Lingbo, ZHOU Feng, YAO Juan, et al (2082)
Detecting major phenological stages of rice using MODIS-EVI data and Symlet11 wavelet in Northeast China	XU Yanyan, ZHANG Jiahua, YANG Limin (2091)
Cropping system optimization based on the comparative analysis of precipitation utilization in Sichuan Province	WANG Mingtian, QU Huihui, YANG Xiaoguang, et al (2099)
The impacts of global climatic change on chilling damage distributions of maize in Northeast China	GAO Xiaorong, WANG Chunyi, ZHANG Jiquan (2110)
Effect of fertilization on ammonia volatilization from paddy fields in Chao Lake Basin	ZHU Xiaohong, MA Zhongwen, MA Youhua, et al (2119)
Effects of arbuscular mycorrhizal fungus on net ion fluxes in the roots of trifoliate orange (<i>Poncirus trifoliata</i>) and mineral nutrition in seedlings under zinc contamination	XIAO Jiaxin, YANG Hui, ZHANG Shaoling (2127)
The effect of red:far red ratio on the stomata characters and stomata conductance of <i>Chrysanthemum</i> leaves	YANG Zaiqiang, ZHANG Jing, JIANG Xiaodong, et al (2135)
Dynamic characteristics of litterfall and nutrient return of four typical forests along the altitudinal gradients in Mt. Shennongjia, China	LIU Lei, SHEN Guozhen, CHEN Fangqing, et al (2142)
Aboveground litter contribution to soil respiration in a black locust plantation in the Loess Plateau	ZHOU Xiaogang, GUO Shenli, CHE Shengguo, et al (2150)
Life history and spatial distribution of a <i>Taiwania flousiana</i> population in Leigong Mountain, Guizhou Province, China	CHEN Zhiyang, YANG Ning, YAO Xianming, et al (2158)
The feasibility of using LAS measurements of the turbulence structure parameters of temperature above a forest canopy	ZHENG Ning, ZHANG Jinsong, MENG Ping, et al (2166)
Spatial distribution of vegetation and carbon density in Jinyun Mountain Nature Reserve based on RS/GIS	XU Shaojun, ZENG Bo, SU Xiaolei, et al (2174)
Early nitrogen deposition effects on CO ₂ efflux from a cold-temperate coniferous forest soil	WENDU Runa, FANG Huajun, YU Guirui, et al (2185)
Epilithic diatom assemblages distribution in Gui River basin, in relation to chemical and physiographical factors	DENG Peiyan, LEI Yuanda, LIU Wei, et al (2196)
Acute stress caused by sand discharging on Yellow River Carp (<i>Cyprinus carpio</i>) in Xiaolangdi Reservoir	SUN Luyin, Baiyinbaoligao, NIU Cuijuan, et al (2204)
Environmental cost of pond aquaculture in Shanghai: an empirical analysis based on double-bounded dichotomous CVM method	TANG Keyong, YANG Zhengyong, YANG Huaiyu, et al (2212)
Host searching behaviour of <i>Apanteles cypris</i> Nixon (Hymenoptera: Braconidae) ...	ZHOU Hui, ZHANG Yang, WU Weijian (2223)
The effect of hedgerows on the distribution of <i>Harmonia axyridis</i> Pallas in agroforestry systems	YAN Fei, ZHOU Zaibao, WANG Shuo, et al (2230)
Induction of early resistance response to <i>Alternaria alternata</i> f. sp. <i>mali</i> in apple leaves with apple and chitosan fermentation broth ...	WANG Rongjuan, YAO Yuncong, QI Yaping, et al (2239)
Review and Monograph	
Research into vulnerability assessment for coastal zones in the context of climate change	WANG Ning, ZHANG Liquan, YUAN Lin, et al (2248)
Introduction and ecological effects of an exotic mangrove species <i>Sonneratia apetala</i>	PENG Yougui, XU Zhengchun, LIU Minchao (2259)
Discussion	
Degradation of organic contaminants with biological aerobic fermentation in sewage sludge dewatering and its influencing factors	YU Jie, ZHENG Guodi, GAO Ding, et al (2271)
Remediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) using four greening tree species	YAN Wende, LIANG Xiaocui, ZHENG Wei, et al (2279)
Scientific Note	
Diversity of endophytic fungi from six dominant plant species in a Pb-Zn mine wasteland in China	LI Dongwei, XU Hongmei, MEI Tao, et al (2288)
Effects of <i>Meloidogyne incognita</i> on scavenging system of reactive oxygen species in tomato seedlings grafted with different rootstocks ...	LIANG Peng, CHEN Zhende, LUO Qingxi (2294)

《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 7 期 (2012 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 7 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:1000717	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