

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

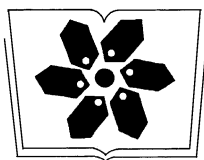
中国生态学会2011年学术年会专辑



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

张海涛, 王如松, 胡聃, 张云. 煤矿固废资源化利用的生态效率与碳减排——以淮北市为例. 生态学报, 2011, 31 (19): 5638-5645.

Zhang H T, Wang R S, Hu D, Zhang Y. The research on eco-efficiency and carbon reduction of recycling coal mining solid wastes: a case study of Huaibei City, China. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31 (19): 5638-5645.

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, 张云

(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/环境评价部, 北京 100085)

摘要: 工业固废的大量堆积产生多种环境危害, 工业固废的资源化利用能够节约资源和缓解环境压力。建筑行业是能源消耗和碳排放的主要部门之一, 其中建筑材料生产阶段的能耗和碳排放占有重要的地位。粉煤灰、煤矸石是常见的工业固体废物, 尤其是在以煤炭为主要能源的地区。粉煤灰、煤矸石资源化利用的途径之一是用于制造新型墙体砖。本文以煤炭资源型城市淮北市的新型墙体砖(粉煤灰砌块、煤矸石砖)和传统墙体砖(粘土砖、粘土多孔砖)为案例, 对墙体砖生产过程的生态效率和碳排放进行分析和比较。在淮北市墙体材料行业碳排放不增加的前提下, 以最优生态效率为目标, 建立线性规划模型, 对淮北市 4 种主要墙体材料的产量进行规划。分析结果表明: 新型墙体材料的生态效率高于传统墙体材料; 煤矸石砖生产过程的碳排放系数高于传统墙体砖; 粉煤灰砌块生产过程的碳排放系数介于粘土砖和粘土多孔砖之间。在淮北市墙体材料行业碳排放不增加的前提下, 与现有的产量相比, 淮北市应禁止粘土砖的生产, 适当减少粘土多孔砖的产量, 适当增加粉煤灰砌块和煤矸石砖的产量, 以达到最优生态效率。在最优生态效率的情况下, 淮北市新型墙体材料煤矸石砖对煤矸石工业固废的利用率将由目前的 15.8% 增加到 25.2%。

关键词: 工业固体废物; 煤矸石; 粉煤灰; 生态效率; 碳排放

The research on eco-efficiency and carbon reduction of recycling coal mining solid wastes: a case study of Huaibei City, China

ZHANG Haitao, WANG Rusong*, HU Dan, ZHANG Yun

State Key Laboratory of Urban & Regional Ecology, Environmental Impact Assessment Department, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

Abstract: Resources conservation and mitigation of the pressure on the environment could be achieved by recycling of industrial solid waste. As a very important economic sector, construction industry is one of the main sources of energy consumption and carbon emissions in China. The production of building materials play an important part in energy consumption and carbon emissions in construction industry. In addition, building materials production is an alternative way of reusing the solid wastes from coal-driving electric-generating plants which can significantly reduce the energy consumption or carbon emissions of building material industry. Coal fly ash and coal gangue are common industrial solid wastes from coal mining or coal combustion processes. The quantity of coal fly ash and coal gangue is very large especially in coal-resources-based region, for example Huaibei City in China. Novel wall materials can be produced from recycling coal fly ash and coal gangue which is an effective way of energy saving, resources conservation and mitigation of environmental hazards. In this study, we take the novel wall materials (fly ash block, coal gangue brick) made from industrial solid wastes and conventional wall materials (clay brick, perforated clay bricks) made from clay in Huaibei City as examples to analyze the

基金项目: 国家自然科学基金项目 (70873121); 城市与区域生态国家重点实验室课题 (SKLURE2008-1-01); 国家科技攻关课题: “十一五” 国家科技支撑计划课题 (2007BAC28B04); 国家自然科学基金重点项目 (71033005)

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.

eco-efficiency and carbon emissions of them. Then we established a linear programming model to regulate the production of four kinds of wall materials in order to achieve the highest eco-efficiency and reduce carbon emissions for wall material industry in HuaiBei. The results show that the eco-efficiency of novel wall materials are higher than that of conventional ones. The carbon emissions of coal gangue brick is higher than that of conventional wall materials while the carbon emissions of fly ash block is between the clay brick and the perforated clay brick. In order to achieve the highest eco-efficiency and carbon reduction of wall material industry in HuaiBei, the use of clay brick for building materials production should be forbidden and the production of perforated clay brick should be decreased while the production of coal gangue brick and the fly ash block should be increased. As a result, the ratio of recycling coal gangue solid wastes increased from 15.8% to 25.2%. These results can be useful in the identification of available techniques for building materials made from recycling industrial solid wastes.

Key Words: industrial solid wastes; coal gangue; fly ash; eco-efficiency; carbon emissions

建筑是能源消耗的主要部门和碳排放的主要贡献者之一。建筑能耗占中国能源消耗总量的 25% 左右, 占全世界能源消费总量的 40% 左右; 建筑环节对欧盟碳排放的贡献率接近 50%; 建筑占印度最终需求所产生碳排放的比例最高, 达到 17%^[1-3]。

建筑环节的能耗、污染物排放主要来自于建筑材料的生产、建筑施工、建筑运行使用、建筑拆除及建筑垃圾处理等阶段^[4-7]。墙体材料是主要的建筑材料之一, 墙体材料生产能耗占建材工业能耗的 35% 左右, 全国烧砖所消耗的标准煤约 7280 万 t, 占全国煤炭产量的 3.4% 左右(2005 年)。中国的传统墙体材料中以粘土砖占主导地位, 粘土砖生产过程中消耗大量的煤炭资源和粘土资源, 其能源效率和资源效率较低^[8-9]。为节约粘土资源, 政府禁止使用粘土砖; 并鼓励利用固体废物生产新型墙体材料, 以逐渐替代粘土砖。煤矸石、粉煤灰是国内用于制造新型墙体材料的常见工业固废; 煤矸石主要来自于煤炭开采过程; 粉煤灰来自于煤炭燃烧过程^[10-11]。煤矸石、粉煤灰的资源化利用已达到一定的规模, 2007 年国内煤矸石砖年产量已达 200 亿块^[12-13]。建筑材料生产过程的碳排放不容忽视, 建筑材料生产阶段的碳排放占建筑生命周期碳排放的 16% 左右^[14]。碳排放也是评价建筑材料环境表现的重要指标。已有的关于新型墙体材料的研究较多, 但较少关注将工业固体废物资源化用于墙体材料生产的能源效率、资源效率和碳排放。

生态效率是评价能源效率、资源效率和可持续发展的有效工具。世界可持续发展工商理事会(World Business Council for Sustainable Development)的定义为: 生态效率是在以具有价格竞争力的产品和服务满足人类需求和提高生活质量的同时, 逐步降低生命周期的环境影响和资源消耗强度, 以与地球的承载力相适应^[15-16]。生态效率应用于不同层次: 1) 产品层次上, 生态效率用于评价产品对资源、能源的使用效率和污染物减排的边际成本, 如, 对家具生产的生态效率分析^[17], 对瓷砖制造过程中废气过滤装置的生态效率分析^[18]; 2) 行业层次上, 生态效率用于分析某一行业在不同发展阶段的物质投入效率、单位产品的污染物产生量, 如, 不同国家水泥行业的生态效率分析^[19], 不同时期钢铁行业生态效率改进的对比分析与评价^[20]; 3) 区域层次上, 生态效率用于评价区域发展的环境影响, 如, 对不同城市住宅建筑发展的生态效率评价^[21], 对区域复合生态效率的评价^[22]。

本文以煤炭资源型城市淮北市为案例, 研究煤矸石、粉煤灰工业固体废物用于新型墙体材料生产的生态效率和对墙体材料行业碳排放的影响。针对当地 2 种传统墙体材料粘土砖、粘土多孔砖和 2 种新型墙体材料粉煤灰砌块、煤矸石砖, 对其生产过程的生态效率和碳排放进行分析和比较, 评价其生态效率 and 环境影响。以最优生态效率和碳排放总量控制为目标, 采用线性规划法确定 4 种墙体材料的生产规模, 为淮北市墙体材料行业的可持续发展提供数据支持; 为煤矿资源型城市的煤炭工业固废资源化利用途径提出建议。

1 数据来源和研究方法

1.1 数据来源

本研究的案例位于中国安徽省淮北市, 总面积 2741 km², 人口 213.7 万人(2007 年)。淮北市是一座煤矿

城市。随着原煤产量的逐年增加,煤矸石的产生量成呈上升趋势,2009 年淮北市煤炭产量为 4172 万 t,煤矸石产生量为 786 万 t。煤矸石累计堆积近 1100 万 t,占地近 200 万 m²。煤矸石的大量堆积对环境造成严重影响,如,占用土地、地质灾害、有害物质渗漏、自燃、污染地下水等。

本研究所涉及的新型建筑材料的能耗、物耗、占地等数据(表 1,表 2)来自于淮北市 2 个制砖工厂,制砖厂分别以粉煤灰砌块和煤矸石砖为主要产品,生产规模较大,年产量分别为 5000 万块/a、9000 万块/a。粘土砖、粘土多孔砖的相关数据来自于工厂提供的技术资料。

表 1 淮北市墙体材料生产能耗
Table 1 Energy consumption of wall materials in Huaibei City

类别 Categories		粘土砖 Clay brick		粘土多孔砖 Perforated clay brick		粉煤灰砌块 Fly ash brick		煤矸石砖 Coal gangue brick	
		能耗值 Value	来源 Sources	能耗值 Value	来源 Sources	能耗值 Value	来源 Sources	能耗值 Value	来源 Sources
煤耗 Coal consumption	直接煤耗 (kg 标准煤/10 ⁴ 块) Direct coal input	1274.1	燃料煤	1083.0	燃料煤	890.4	燃料煤		
	间接煤耗 (kg 标准煤/10 ⁴ 块) Indirect coal input					1232.9	水泥	1.0	柴油
电耗 Electricity consumption	直接用电 (kg 标准煤/10 ⁴ 块) Direct electricity input	62.8	生产设备	53.4	生产设备	72.5	生产设备	38.1	生产设备
	间接用电 (kg 标准煤/10 ⁴ 块) Indirect electricity input					151.6	水泥		
能耗合计(kg 标准煤/10 ⁴ 块) Total energy consumption		1336.9		1136.3		2347.4		39.1	

表 2 淮北市墙体材料的碳排放及相关的物耗、土地占用和能耗
Table 2 Carbon emissions of wall materials and related material, energy input and land occupation in Huaibei City

类别 Categories	物料名称 Materials name	粘土砖 Clay brick	粘土多孔砖 Perforated clay brick	粉煤灰砌块 Fly ash brick	煤矸石砖 Coal gangue brick
生产过程燃料消耗(kg/10 ⁴ 块) Energy consumption	煤 Coal	1274.1	1083.0	890.4	
	柴油 Diesel fuel				0.7
生产过程电耗(kwh/10 ⁴ 块) Electricity consumption	电 Electricity	510.4	433.8	1232.9	310.0
原料消耗(kg/10 ⁴ 块) Raw materials consumption	水泥 Cement			8219.2	
	煤矸石 Coal gangue				23600.0
占地 Land occupation(hm ² /10 ⁴ 块)		0.00067	0.00067	-0.00313	-0.00072

“-”表示新型墙体材料生产节约出的土地,与粘土砖、粘土多孔砖生产的土地占用相反

1.2 研究方法
1.2.1 生态效率

生态效率是投入与产出的比值,其中产出是指企业、行业或经济体提供的产品和服务,投入是指企业、行业或经济体的资源、能源利用及所造成的环境压力^[23]。墙体材料的生态效率可以表示为:

$$EE = \frac{P}{E_{total}}$$

(1)

其中,EE 表示墙体材料的生态效率;P 表示单位数量的墙体材料产品,以 m³表示;E_{total}表示单位数量墙体材料生产过程的总能耗,数据见表 1。

单位墙体材料生产过程的总能耗用以下公式计算:

$$E_{\text{total}} = \sum_{i=1}^n D_i$$

(2)

式中, D_i 表示墙体材料生产过程所消耗的第*i*种物料的能耗当量,以“kg 标准煤”表示,标准煤与热值的转换系数为—29.27MJ/kg 标准煤。各种墙体材料生产过程的物耗、能耗数据见表 1。

1.2.2 碳排放

建筑材料的碳排放一般来源于以下几个部分:生产过程的化学反应、直接燃料消耗、直接电力消耗、间接燃料消耗、间接电力消耗及产生碳排放的间接过程^[24]。本研究将产品生产过程的碳排放计算方法做了适当调整,墙体材料生产过程的碳排放除了包括原料、燃料消耗产生的碳排放以外,还将其生产过程中由于土地占用而损失的碳库视为碳排放。土壤碳库主要有两部分:地上的植物所贮存的碳、土壤中贮存的碳^[25-26]。

墙体材料的碳排放用以下公式计算:

$$CE = \sum_{i=1}^n P_i p_i + L_{\text{occ}} f_{\text{soi}}$$

(3)

式中, CE 表示墙体材料生产过程的碳排放量; P_i 表示墙体材料生产过程中对第*i*种材料的消耗量,数据见表 2; p_i 表示墙体材料生产过程使用的第*i*种原料或能源的碳排放系数,数据见表 3, L_{occ} 表示墙体材料生产过程中占用土地或节约土地的面积,数据见表 2; f_{soi} 表示单位面积土地的碳容量,数据见表 4。本研究中采用温带地区森林和草地灌丛两种类型土地的碳容量平均值来代表土地的碳汇能力。

表 3 各种物料和能源的碳排放系数
Table 3 coefficient of carbon emissions of materials and energies

物料或能源类型 Types of materials or energy	碳排放系数 Coefficient of carbon emissions	单位 Unit	数据来源 Data sources
水泥 Cement	0.925	kgCO ₂ /kg	[27]
煤电 Coal electricity	1.124	kgCO ₂ /kWh	[27]
煤 Coal	3.16	kgCO ₂ /kg	[28]
柴油 Diesel fuel	3.31	kgCO ₂ /kg	[28]
煤矸石 Coal gangue	0.22	kgCO ₂ /kg	本研究

表 4 不同植被类型土地的碳库容量/(10³kg/hm²)
Table 4 Carbon density of lands with different vegetations

植被类型 Vegetation types	植物 Plants	土壤 Soil	合计 Total	数据来源 Data sources
温带森林 Temperate forests	134	147	281	[26]
温带草地、灌丛 Temperate grassland or shrublands	13	99	112	[26]
平均值 Mean			197	

1.2.3 线性规划

线性规划是运筹学的一个重要分支,定义如下:对于求取一组变量 $X_j(j=1,2,\cdots,n)$,使之既满足线性约束条件,又使具有线性特征的目标函数取得极值的一类最优化问题称为线性规划问题。线性规划模型建立需具备以下条件:一是最优目标,问题所要达到的目标能用线性函数来描述,且能够使用极值(最大或最小)来表示;二是约束条件,达到目标的条件是有限制条件的,这些限制可以用决策变量的线性等式或线性不等式来表示;三是选择条件,有多种方案可以供选择,以便从中找出最优方案^[29-30]。线性规划的一般数学模型如下:

$$\max(\text{或 min}) Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

(4)

$$\text{s. t.} \quad \begin{cases} \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i; & i = 1, 2, \cdots, m \\ x_j \geq 0; & j = 1, 2, \cdots, n \end{cases}$$

(5)

式中, x_j 为决策变量; c_j 为目标函数系数; b_j 为约束右端系数; a_{ij} 为约束系数。

其中式(4)为目标函数;式(5)为约束条件。

本研究针对淮北市4种不同墙体材料的生态效率、碳排放系数,确定淮北市墙体材料行业在恰当的生产规模和碳排放不增加的前提下,达到最优生态效率。

截至2009年,淮北市煤矸石砖的产量占当年墙体材料总产量的19%,粉煤灰空心砌块的产量占11%,粘土类砖的产量占60%,淮北市墙体材料仍以传统墙体材料为主,各种墙体材料的产量和所占比例如表5所示。淮北市煤矸石砖生产对煤矸石固体废物的利用率为15.8%。

表5 淮北市各种墙体材料的产量及所占比例(2009年)

Table 5 The ratio and the production of wall materials in Huaibei City (in 2009)

墙体材料类型 Types of wall materials	产量 Production /10 ⁸ 块	体积 Volume /m ³	体积分数 /%
粘土砖 Clay brick	4.04	590679	11
粘土多孔砖 Perforated clay brick	7.87	1955926	36
粉煤灰砌块 Fly ash brick	3.03	2077248	39
煤矸石砖 Coal gangue brick	5.25	767882	14
合计 Total	20.19	5391735	100

根据《安徽省发展新型墙体材料条例》,淮北市政府规定自2008年1月1日起,在城市规划区以内禁止使用粘土实心砖、逐步停止使用以粘土为原料的墙体材料,粘土类砖的产量所占比例将控制在50%以内;但短期内由于新型墙体材料生产规模和生产技术的限制,粘土类砖产量所占比例仍将在20%以上。根据以上条件设定淮北市墙体材料行业最优生态效率的目标函数和约束条件:

$$\max Z = c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + c_4x_4 \quad (6)$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + a_{14}x_4 = b_1 \text{ (年总产量约束)} \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + a_{24}x_4 \leq b_2 \text{ (年碳排放总量约束)} \\ a_{31}x_1 + a_{32}x_2 \geq b_3 \text{ (粘土类砖的年产量占总产量的比例下限约束)} \\ a_{41}x_1 + a_{42}x_2 \leq b_4 \text{ (粘土类砖的年产量占总产量的上限比例约束)} \\ x_1, x_2, x_3, x_4 \geq 0 \text{ (非负约束)} \end{cases} \quad (7)$$

式中, Z 表示淮北市墙体材料行业总的生态效率; c_1 、 c_2 、 c_3 、 c_4 分别为粘土砖、粘土多孔砖、粉煤灰砌块、煤矸石砖单位产品的生态效率; x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 分别表示粘土砖、粘土多孔砖、粉煤灰砌块、煤矸石砖的生产规模(以 m³ 表示); a_{1n} 、 a_{2n} 、 a_{3n} 、 a_{4n} 均为约束系数; b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4 分别为4种墙体材料的年总产量、4种墙体材料生产的年碳排放量、淮北市墙体材料年总产量的50%、淮北市墙体材料年总产量的20%。将各项系数带公式(6)、(7),并将上述函数转化为矩阵,用 Matlab7.0 软件进行计算。

2 结果与讨论

2.1 墙体材料生产的生态效率、碳排放强度

按照公式(1)(2)计算得出4种墙体材料的生态效率如表6所示。生态效率的从高到低依次为:煤矸石砖>粉煤灰砌块>粘土多孔砖>粘土砖。新型墙体材料的生态效率高于传统墙体材料,说明煤矸石、粉煤灰资源化利用能够有效提高墙体材料行业的生态效率;同时为提高墙体材料行业的生态效率,应逐步减少和限制粘土砖、粘土多孔砖的生产和使用。

按照公式(3)计算得出4种墙体材料生产过程的碳排放系数如表6所示。碳排放系数从高到低依次为:煤矸石砖>粘土砖>粉煤灰砌块>粘土多孔砖。新型墙体材料煤矸石砖没有显著的碳减排效果,其碳排放系数高于传统墙体材料;与粘土砖比较,粉煤灰砌块具有一定的碳减排潜力,但其碳排放系数略高于粘土多孔砖。在选择“低环境影响”的建筑材料时,已有的研究往往只考虑材料的能耗指标;而忽略建筑材料的其他环境影

响^[5, 31]。本研究的结果表明煤矸石砖具有较高的生态效率和较低的生产能耗,但单位产品的碳排放却较高,说明低能耗材料不一定是低碳排放材料。因此煤矸石砖的推广应该既考虑单位产品的生产能耗和生态效率,也要重视产品的其他环境影响。

新型墙体材料由于生产过程物质投入、能量投入较少,因而具有较高的生态效率,但其生产过程的碳排放不容忽视,在推广使用的过程中应进行合理的分析和规划,在控制墙体材料行业碳排放总量的前提下,提高墙体材料行业生态效率。

新型墙体材料对煤矸石等的利用除了提高墙体材料行业的生态效率以外,还间接减少了煤矸石等工业固废堆积产生的其他环境危害。煤矸石堆积产生的其他环境危害有:1)煤矸石堆积造成地质灾害,如,滑坡、泥石流灾害;2)有害物质渗漏,煤矸石中含有的各种痕量重金属元素经过长期风化淋溶有可能对地表水、地下水、土壤等造成污染。3)煤矸石自燃对周围大气环境和人体健康产生危害,煤矸石自燃产生的有害气体包括了 CO_2 、 CO 、 CH_4 、 NO_x 、 H_2S 、 SO_2 、 HF 、挥发性有机污染物等^[32-33]。

表 6 淮北市墙体材料的生态效率和碳排放系数

Table 6 Eco-efficiency and coefficient of carbon emissions of wall materials in Huaibei City

指标 Indicators	粘土砖 Clay brick	粘土多孔砖 Perforated clay brick	粉煤灰砌块 Fly ash brick	煤矸石砖 Coal gangue brick
总能耗 Total energy consumption/(MJ/10 ⁴ 块)	39130.5	33260.9	68707.9	1145.9
总能耗 Total energy consumption/(MJ/m ³ 砖)	2675.0	1339.0	1001.7	78.3
生态效率 Eco-efficiency/(m ³ 砖/MJ)	0.00037	0.00075	0.00100	0.01277
碳排放 Coefficient of carbon emissions/(kgCO ₂ /m ³ 砖)	323.4	162.7	163.1	369.2

2.2 基于最高生态效率的墙体材料生产规模

根据公式(6)(7)和表5、表6数据,基于生态效率最大的淮北市墙体材料产量的线性规划模型表述如下:

$$\begin{aligned} \max Z &= 0.00037x_1 + 0.00075x_2 + 0.00100x_3 + 0.01277x_4 \\ \text{s. t. } &\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 5391735 \\ 323.4x_1 + 162.7x_2 + 163.1x_3 + 369.2x_4 \leq 1131555997 \\ x_1 + x_2 \geq 1078347 \\ x_1 + x_2 \leq 2695868 \\ x_1, x_2, x_3, x_4 \geq 0 \end{cases} \end{aligned}$$

线性规划的分析结果如表7所示。淮北市墙体材料行业生态效率最优和碳排放不增加条件下的决策分析结果表明,为达到墙体材料行业的最高生态效率,与墙体材料生产现状相比(表5),淮北市应禁止粘土砖的生产,增加煤矸石砖、粉煤灰砌块的产量,适当减少粘土多孔砖的产量。这一结论与淮北市现有的墙体材料发展政策基本一致。按照该结论,淮北市煤矸石的年产量将达到8.39亿块,年利用煤矸石的数量为198万t,占煤矸石年产量的25.2%(2009年煤矸石产量)。

表 7 基于最优生态效率的淮北市墙体材料行业规划指标

Table 7 The indicators for planning of wall materials production in Huaibei City on the premise of highest eco-efficiency

指标 Indicators	粘土砖 Clay brick	粘土多孔砖 Perforated clay brick	粉煤灰砌块 Fly ash brick	煤矸石砖 Coal gangue brick
年产量 Production/(m ³ /a)	0	1945500	2219000	1227200
年产量 Production/(万块/a)	0	78321	32352	83894
体积分数/%	0	36	41	23
总生态效率 Total eco-efficiency/(m ³ /MJ)			19349	
总碳排放 Total amount of carbon emissions/(tCO ₂ /a)			1131534	

值得关注的是在未来几年淮北市的墙体材料构成中,粘土多孔砖仍将占有一定的份额;原因在于粘土多孔砖虽然也是以粘土为原料的墙体材料,但由于其性能得到很大的改善,相对于粘土砖具有很多优势:1)生产能耗和环境影响较低;2)具有较好的热阻性能,有利于建筑墙体的保温;3)能在一定程度上节约粘土资源。但是,根据淮北市墙体材料发展的相关政策,截止到2011年,所有建制镇级别以上的规划区内的建筑工程禁止使用空心砖等粘土类墙体材料。因此淮北市应进一步扩大煤矸石砖的生产,逐步增加粉煤灰砌块的产量,以替代空心粘土砖等粘土类墙体材料。

3 结论

本文重点分析和比较了淮北市4种主要墙体材料的生态效率及生产过程的碳排放,采用线性规划模型对淮北市不同墙体材料的产量进行合理规划,在不增加墙体材料行业碳排放的条件下,达到最优生态效率,得出以下结论:

1)4种墙体材料的生态效率从高到低依次为:煤矸石砖>粉煤灰砌块>粘土多孔砖>粘土砖。与传统墙体材料相比,以工业固废资源化利用制造的新型墙体材料具有较高的生态效率;

2)4种墙体材料生产过程的碳排放系数从高到低依次为:煤矸石砖>粘土砖>粉煤灰砌块>粘土多孔砖。新型墙体材料煤矸石砖的碳排放系数高于传统墙体材料;粉煤灰砌块的碳排放系数介于传统墙体材料粘土砖、粘土多孔砖之间。

3)在淮北市墙体材料行业的碳排放总量不增加的前提下,要达到墙体材料行业的最优生态效率,必须禁止粘土砖的生产和使用;与现有的生产规模相比,淮北市应适当增加煤矸石砖、粉煤灰砌块的产量,减少粘土多孔砖的产量;煤矸石砖新型墙体材料对煤矸石固废的利用率将由目前的15.8%增加到25.2%。

References:

- [1] Jiang M P, Tovey K. Overcoming barriers to implementation of carbon reduction strategies in large commercial buildings in China. *Building and Environment*, 2010, 45(4): 856-864.
- [2] Dimoudi A, Tompa C. Energy and environmental indicators related to construction of office buildings. *Resources, Conservation and Recycling*, 2008, 53(2): 86-95.
- [3] Tiwari P, Parikh J. Cost of CO₂ reduction in building construction. *Energy*, 1995, 20(6): 531-547.
- [4] Shukla A, Tiwari G N, Sodha M S. Embodied energy analysis of adobe house. *Renewable Energy*, 2009, 34(3): 755-761.
- [5] Venkatarama Reddy B V, Jagadish K S. Embodied energy of common and alternative building materials and technologies. *Energy and Buildings*, 2003, 35(2): 129-137.
- [6] Cole R J. Energy and greenhouse gas emissions associated with the construction of alternative structural systems. *Building and Environment*, 1998, 34(3): 335-348.
- [7] You F, Hu D, Zhang H T, Guo Z, Zhao Y H, Wang B N, Yuan Y. Carbon emissions in the life cycle of urban building system in China — a case study of residential buildings. *Ecological Complexity*, 2011, 8(2): 201-212.
- [8] Zhang C H, Qian J S, Wang Z, Wang Q F. Analysis on energy-saving efficiency of architecture products with fly ash. *Fly Ash Comprehensive Utilization*, 2007, (2): 53-55.
- [9] Shen Z, Xiao L G, Zhao Z. Development of new wall materials. *Journal of Jilin Institute of Architectural and Civil Engineering*, 2010, 27(3): 37-40.
- [10] Pan Z, Luo J J, Xue S S, Luo J Y. Retrospect and outlook on utilization of fly ash. *Environmental Sanitation Engineering*, 2008, 16(1): 19-22.
- [11] Zuo P F. Comprehensive utilization of coal gangue. *Coal Technology*, 2009, 28(1): 186-189.
- [12] Yang X Y, Ji C S. Comprehensive utilization of the coal gangue. *Coal Technolog*, 2007, 26(10): 108-110.
- [13] Chen Y L, Zhang Y M, Chen T J, Zhao Y L, Bao S X. Preparation of eco-friendly construction bricks from hematite tailings. *Construction and Building Materials*, 2011, 25(4): 2107-2111.
- [14] Erlandsson M, Borg M. Generic LCA-methodology applicable for buildings, constructions and operation services-today practice and development needs. *Building and Environment*, 2003, 38(7): 919-938.
- [15] 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.
- [16] Lu B, Yang J X. Review of methodology and application of eco-efficiency. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(11): 3898-3906.
- [17] 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.

- [18] 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.
- [19] Oggioni G, Riccardi R, Toninelli R. Eco-efficiency of the world cement industry: a data envelopment analysis. *Energy Policy*, 2011, 39(5): 2842-2854.
- [20] 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): 807-814.
- [21] Li D Z, Hui E C M, Leung B Y P, Li Q M, Xu X. A methodology for eco-efficiency evaluation of residential development at city level. *Building and Environment*, 2010, 45(3): 566-573.
- [22] 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.
- [23] Dai T J, Lu Z W. Analysis of eco-efficiency of steel industry. *Journal of Northeastern University: Natural Science*, 2005, 26(12): 1168-1173.
- [24] Fairbairn E M R, Americano B B, Cordeiro G C, Paula T P, Toledo Filho R D, Silvos M M. Cement replacement by sugar cane bagasse ash: CO₂ emissions reduction and potential for carbon credits. *Journal of Environmental Management*, 2010, 91(9): 1864-1871.
- [25] Lal R. Forest soils and carbon sequestration. *Forest Ecology and Management*, 2005, 220(1/3): 242-258.
- [26] Prentice I C, Farquhar G D, Fasham M J R, Goulden M L, Heimann M, Jaramillo V J, Khesghi H S, Le Quéré C, Scholes R J, Wallace D W R. The carbon cycle and atmospheric carbon dioxide. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001: 183-237.
- [27] Ma Z H. Comparison of Greenhouse Gas Emissions from Several Main Energy Sources in China. Beijing: China Institute of Atomic Energy, 2002.
- [28] Zhao P, Tong J F, Ma J R. The research on the system of the building material environment load index and evaluate. *China Building Materials Science and Technology*, 2004, 13(6): 1-7.
- [29] Sun T F. The brief analysis of linear programming application in the enterprise productive plan. *Business Economy*, 2006, (3): 18-20.
- [30] Zeng M, Tian D. The review to the algorithm of Linear Programming problems. *Science Technology and Engineering*, 2010, 10(1): 152-159.
- [31] González M J, Navarro J G. Assessment of the decrease of CO₂ emissions in the construction field through the selection of materials: practical case study of three houses of low environmental impact. *Building and Environment*, 2006, 41(7): 902-909.
- [32] Liu H B, Liu Z L. Recycling utilization patterns of coal mining waste in China. *Resources, Conservation and Recycling*, 2010, 54(12): 1331-1340.
- [33] Querol X, Zhuang X, Font O, Izquierdo M, Alastuey A, Castro I, van Drooge B L, Moreno T, Grimalt J O, Elvira J, Cabañas M, Bartroli R, Hower J C, Ayora C, Plana F, López-Soler A. Influence of soil cover on reducing the environmental impact of spontaneous coal combustion in coal waste gobs: a review and new experimental data. *International Journal of Coal Geology*, 2011, 85(1): 2-22.

参考文献:

- [8] 张朝辉, 钱觉时, 王智, 王沁芳. 粉煤灰建材制品的节能效果分析. *粉煤灰综合利用*, 2007, (2): 53-55.
- [9] 沈铮, 肖力光, 赵壮. 新型墙体材料发展现状. *吉林建筑工程学院学报*, 2010, 27(3): 37-40.
- [10] 潘钟, 罗津晶, 薛姗姗, 罗锦英. 粉煤灰利用的回顾与展望. *环境卫生工程*, 2008, 16(1): 19-22.
- [11] 左鹏飞. 煤矸石的综合利用方法. *煤炭技术*, 2009, 28(1): 186-189.
- [12] 杨晓艳, 姬长生. 煤矸石的综合利用. *煤炭技术*, 2007, 26(10): 108-110.
- [16] 吕彬, 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.
- [23] 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.
- [27] 马忠海. 中国几种主要能源温室气体排放系数的比较评价研究. 北京: 中国原子能科学研究院, 2002.
- [28] 赵平, 同继锋, 马眷荣. 建筑材料环境负荷指标及评价体系的研究. *中国建材科技*, 2004, 13(6): 1-7.
- [29] 孙庭锋. 浅析线性规划在企业生产计划中的应用. *商业经济*, 2006, (3): 18-20.
- [30] 曾梅清, 田大钢. 线性规划问题的算法综述. *科学技术与工程*, 2010, 10(1): 152-159.

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 Yankun, 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 Yongshan 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