

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 34 卷 第 11 期 Vol.34 No.11 **2014**

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 34 卷 第 11 期

2014 年 6 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

土壤大孔隙流研究现状与发展趋势..... 高朝侠,徐学选,赵娇娜,等 (2801)

能源基地生态修复

我国大型煤炭基地建设的生态恢复技术研究综述..... 吴 钢,魏 东,周政达,等 (2812)

国家大型煤电基地生态环境监测技术体系研究——以内蒙古锡林郭勒盟煤电基地为例.....

..... 魏 东,全 元,王辰星,等 (2821)

基于 DPSIR 模型的国家大型煤电基地生态效应评估指标体系 周政达,王辰星,付 晓,等 (2830)

西部干旱区煤炭开采环境影响研究..... 雷少刚,卞正富 (2837)

露天煤矿区生态风险受体分析——以内蒙古平庄西露天煤矿为例..... 高 雅,陆兆华,魏振宽,等 (2844)

草原区矿产开发对景观格局和初级生产力的影响——以黑岱沟露天煤矿为例.....

..... 康萨如拉,牛建明,张 庆,等 (2855)

三七对土壤中镉、铬、铜、铅的累积特征及健康风险评价 林龙勇,阎秀兰,廖晓勇,等 (2868)

某焦化场地土壤中多环芳烃分布的三维空间插值研究..... 刘 庚,毕如田,权 腾,等 (2876)

个体与基础生态

杉木人工混交林对土壤铝毒害的缓解作用 雷 波,刘 彬,罗承德,等 (2884)

基于 $\delta^{15}\text{N}$ 稳定同位素分析的人工防护林大型土壤动物营养级研究 张淑花,张雪萍 (2892)

铅镉抗性菌株 JB11 强化植物对污染土壤中铅镉的吸收 金忠民,沙 伟,刘丽杰,等 (2900)

陕北地区石油污染土壤中不动杆菌属的筛选、鉴定及降解性能 王 虎,吴玲玲,周立辉,等 (2907)

祁连山高山植物根际土放线菌生物多样性..... 马爱爱,徐世健,敏玉霞,等 (2916)

新疆沙冬青 AM 和 DSE 真菌的空间分布 姜 桥,贺学礼,陈伟燕,等 (2929)

聚糠茶水剂对不同积温带玉米花后叶片氮同化的影响..... 高 娇,董志强,徐田军,等 (2938)

内蒙古河套灌区玉米与向日葵霜冻的关键温度..... 王海梅,侯 琼,云文丽,等 (2948)

四种类型栓皮栎栲胶含量..... 尹艺凝,张文辉,何景峰,等 (2954)

食物胁迫对翅二型丽斗蟋飞行肌和繁殖发育的影响..... 吴红军,赵吕权,曾 杨,等 (2963)

颜色对梨小食心虫产卵选择性的影响..... 杨小凡,马春森,范 凡,等 (2971)

缓释单萜类挥发物对落叶松毛虫行为及落叶松主要防御蛋白的影响..... 林 健,刘文波,孟昭军,等 (2978)

种群、群落和生态系统

黄土丘陵沟壑区不同植被恢复格局下土壤微生物群落结构 胡婵娟,郭 雷,刘国华 (2986)

刺参池塘底质微生物群落功能多样性的季节变化..... 闫法军,田相利,董双林,等 (2996)

基于 DGGE 技术的茯砖茶发花过程细菌群变化分析 刘石泉,胡治远,赵运林 (3007)

景观、区域和全球生态

中国区域间隐含碳排放转移..... 刘红光,范晓梅 (3016)

西南地区退耕还林工程主要林分 50 年碳汇潜力 姚 平,陈先刚,周永锋,等 (3025)

青海湖流域草地植被动态变化趋势下的物候时空特征..... 李广泳,李小雁,赵国琴,等 (3038)

黑龙江省温带森林火灾碳排放的计量估算..... 魏书精,罗碧珍,孙 龙,等 (3048)

三峡库区森林植被气候生产力模拟..... 潘 磊,肖文发,唐万鹏,等 (3064)

三峡水库支流拟多甲藻水华的形成机制..... 朱爱民,李嗣新,胡 俊,等 (3071)

流域库坝工程开发的生物多样性敏感度分区..... 李亦秋,鲁春霞,邓 欧,等 (3081)

城乡与社会生态

基于集对分析的京津冀区域可持续发展协调能力评价..... 檀菲菲,张 萌,李浩然,等 (3090)

江西省自然保护区发展布局空缺分析 黄志强,陆 林,戴年华,等 (3099)

鄱阳湖生态经济区生态经济指数评价 黄和平,彭小琳 ,孔凡斌,等 (3107)

基于有害干扰的中国省域森林生态安全评价..... 刘心竹,米 锋,张 爽,等 (3115)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 328 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 35 * 2014-06



封面图说: 三峡库区森林植被——三峡地区属亚热带区域,山高坡陡、地形复杂、物种丰富,森林是其最重要的自然资源之一,其面积占到库区总面积的 37%左右,库区内现有森林可初步分为 2 个植被型组,8 个植被型,18 个群系组,44 个群系,102 个群丛,主要树种有马尾松、杉树、柏树等,低海拔处多为落叶阔叶林、常绿阔叶林,较高海拔分布有针阔混交林、针叶混交林、灌木林等,人工林主要有经济林、竹林等。对三峡库区森林气候生产力进行模拟,分析库区森林植被的生产力并进行预测,可以为三峡库区的生态建设决策提供科学依据。

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

DOI: 10.5846/stxb201211191627

刘红光, 范晓梅. 中国区域间隐含碳排放转移. 生态学报, 2014, 34(11): 3016-3024.

Liu H G, Fan X M. CO₂ emissions transfer embedded in inter-regional trade in China. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(11): 3016-3024.

中国区域间隐含碳排放转移

刘红光^{1,*}, 范晓梅²

(1. 南京农业大学公共管理学院, 南京 210095; 2. 南京信息工程大学遥感学院, 南京 210044)

摘要: 利用投入产出模型, 对消费视角下碳排放的核算方法及国际贸易中隐含碳排放转移的研究是当前国际学术界碳排放研究的焦点问题之一。在梳理国内外相关研究进展的基础上, 利用区域间投入产出模型构建了区域间隐含碳排放转移的核算方法, 并计算了 1997 年和 2007 年中国 8 个主要区域间隐含的碳排放转移及其变化。结果显示, 不管是在规模还是空间上, 中国区域间隐含碳排放转移都发生了很大变化, 总体上呈现向西部地区延伸的趋势, 尤其是西北地区成为最大的碳排放承接区域。而京津和东南沿海地区始终是主要的碳转出地区, 尤其是东南沿海地区因出口而导致的碳排放向中西部地区转移的增加最为明显。因此, 调整东部地区的出口结构, 优化投资和消费结构, 避免落后淘汰产能通过区域转移进一步发展, 提高节能技术的应用是我国节能减排工作的重要内容。

关键词: 碳排放; 投入产出; 碳转移

CO₂ emissions transfer embedded in inter-regional trade in China

LIU Hongguang^{1,*}, FAN Xiaomei²

1 College of Public Administration, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

2 Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China

Abstract: As the global climate change problem becomes increasingly serious, the global climate negotiation process becomes more complex and pressure increases on China to reduce its carbon emissions. The challenge of reducing carbon emissions has become a focus of the international community. The policies in developed countries aimed at reducing nationally produced CO₂ emissions may result in the relocation of emission-intensive industries to poor countries with less stringent policies. This often leads to a simple relocation of emissions and to an absolute increase of emissions, owing to less advanced technology in developing countries, and a failure to meet global greenhouse gas emission reduction targets. For a country like China with a very large territory, carbon emission relocation between sub-national regions may also lead to failure of the entire national carbon reduction effort. To overcome this difficulty, input-output technology-based research on consumption-based carbon emission accounting and carbon emissions embedded in trade are important aspects in the field of carbon emission study.

This study is a contribution to that literature. Following the latest related research, this paper constructs a model to calculate the carbon transfer embedded in trade between sub-national regions by use of input-output tables. It then takes China as an example, to examine the change of carbon transfer embedded in trade by 17 sectors in eight main regions of the country, in 1997 and 2007. First, we find that the region with the highest economic development level always has high per capita product-based emissions and high per capita consumption-based emissions. This is in contrast to that of the global scale, in which developed countries generally have low product-based emissions with high consumption-based emissions.

基金项目: 国家自然科学基金青年项目(41101118)

收稿日期: 2012-11-19; **网络出版日期:** 2014-02-24

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liuhg@njau.edu.cn

Second, influenced by national development and natural resource use strategies, the middle and eastern regions are the largest net exporters of carbon emissions. In the northwest region in particular, there are about 67 million tons net carbon, which account for 33.64% of its direct emissions in 2007, transferred from other regions such as the southeast coastal and Beijing-Tianjin areas. Compared with 1997, emissions in 2007 showed a big change of carbon emission transfer in China, in terms of both magnitude and region. The change has an overall trend of increasing carbon emission transfer from the southeast coast to western China. Specifically, the northwest region has become the biggest carbon net transfer-in region, and the Beijing-Tianjin and southeast coastal areas are always the main net transfer-out regions. The increase of embedded carbon transfer from southeast China to the middle and western regions caused by southeastern exports is the most obvious. To continue the globalization process and implementation of the western China development strategy, the role of the middle and western regions as suppliers of raw and processed materials becomes increasingly important, as trade expands on the southern and eastern coasts. As a result, there must be more carbon emissions “transferred” in the future, from the western and central regions to the southern and eastern coastal areas. Therefore, adjusting the export and investment structure of eastern China and establishing an improved regional carbon reduction policy should be thoroughly considered by administrators in China.

Key Words: carbon emissions; input-output model; carbon transfer

目前核算一个国家温室气体排放量的方法是采用生产责任法,即因生产出口产品而排放的 CO_2 是包含在一个国家的排放账户里的,但是进口引起的排放却被排除在外。在这种情况下,许多发达国家(大多是京都议定书中的附件 1 国家)凭借其技术和资本优势,将一些高碳排放产业转移到发展中国家,自身消费则通过增加进口并没有减少。而发展中国家为了发展经济,往往乐于接受这种转移,但由于其生产技术水平落后,再加上对植被的破坏,往往会排放更多的二氧化碳,由此导致全球碳排放的整体增加,这种现象也被称为“碳泄露”。大量学者对国际贸易中“碳泄漏”问题进行研究^[1-10]。在这些研究中,可以分为两类,一种是对特定国家对外贸易中的隐含碳排放进行单个研究^[1,6-7],另一种是对全球主要国家或地区之间贸易中隐含的碳排放进行全面研究^[2-5,8-10]。研究表明,首先全球贸易中隐含的碳排放迅速增加,其次,中国是全球最大的碳排放输出国家。如 Peters 和 Minx 等研究发现,全球贸易中隐含的碳排放从 1990 年的 4.3GtCO_2 (约占全球排放量 20%) 增加到 2008 年的 7.8GtCO_2 (约占全球排放量 26%),发达国家通过贸易向发展中国家净转移的碳排放已经超过了京都议定书要求附件 1 国家的减排量,而这期间,中国出口中隐含的碳排放占全球碳排放增量的 18%^[9]。因此,许多学者开始对中国的碳排放问题进行研究^[6-7],并有学者测算了中国对外贸

易过程中隐含的碳排放^[11-13],结果显示除了中国自身消费水平提高和固定资产投资加快以外,对外贸易的扩大是中国碳排放迅速增加的主要原因之一。另外还有学者对中国与特定国家之间贸易中隐含的碳排放^[14-16]以及居民消费隐含的碳排放^[17]进行了研究。

改革开放以来,随着中国经济的快速发展,能源消费和碳排放水平也随之大幅增加。中国能源消费总量从 1978 年的 5.7 亿 t 标准煤上升到 2007 年的 26.56 亿 t 标准煤^①。同时,根据美国橡树岭国家实验室测算,中国每年因化石能源燃烧导致的碳排放量也从 1978 年的 4.04 亿 t 增加到 2007 年的 18.02 亿 t,且超过美国成为世界第一大碳排放国。随着中国碳排放问题的逐渐凸显和减排压力的加大,中国也开始采取积极措施实施节能减排,并将减排目标分配到各省级行政区。中国幅员辽阔,区域之间在资源禀赋、经济水平、产业结构上存在较大差距,碳排放水平也存在很大差距^[18],由于区域之间的贸易壁垒相对于国家之间大为减少,因此区域减排目标的制定也必然更容易导致区域间“碳泄露”问题的产生。针对这一问题也有学者试图进行研究,如 Meng 和 Guo 等^[19]研究了中国区域间电力供应与消费引起的碳排放转移,姚亮和刘晶茹^[20]研究了 1997 年中

① 根据发电耗煤计算

国主要区域间碳排放的转移, Guo 和 Zhang 等^[13] 研究了 2002 年中国主要区域间碳排放转移。以上研究主要是通过区域间投入产出表计算区域生产排放和消费排放, 进而计算区域净输入或净输出排放, 但对于具体的转移空间并没有给出很好的解释。本文借鉴相关研究, 在区域间投入产出表的基础上, 针对一个国家内的多个区域, 建立了区域间碳排放转移模型, 并以中国为例, 考察了中国 1997 年和 2007 年两个时间点区域间碳排放转移的空间变化特征。

1 研究方法

假设一个国家存在 n 个区域, 根据区域间价值投入产出表(MRIO)有:

$$x = (I - A^d)^{-1} (\sum y^i + \sum e^i) \quad (1)$$

式中, x 为总产出, A^d 为国内区域间直接消耗系数^①, y^i 为 i 区域最终使用, e^i 为 i 区域出口。为方便计算, 将列昂惕夫逆矩阵记为 b , 即:

$$x = b \times (\sum y^i + \sum e^i) \quad (2)$$

根据各区域分行业能源消费量和总产出, 可得 r 区域 i 部门单位总产出(价值)碳排放, 令其为 f_i^r , 则 n 个区域的总碳排放为:

$$c = f \times x = f \times b \times (\sum y^i + \sum e^i) \quad (3)$$

即

$$f \times x = (f^1 \cdots f^n) \times \begin{pmatrix} b^{11} & b^{12} & \cdots & b^{1n} \\ b^{21} & b^{22} & \cdots & b^{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b^{n1} & b^{n2} & \cdots & b^{nn} \end{pmatrix} \times (\sum y^i + \sum e^i) \quad (4)$$

式中, b^{rs} 表示列昂惕夫逆矩阵中的块矩阵, 则 r 区域的碳排放量可表示为:

$$c^r = f^r \times \sum_j \sum_i b^{ri} y^{ij} + f^r \times \sum_k b^{rk} e^k \quad (5)$$

上式右边第一项表示最终使用引起的 r 区域碳排放, 第二项表示出口引起的 r 区域碳排放。其中 s 区域引起的 r 区域碳排放为:

$$c^{rs} = f^r \times \sum_i b^{ri} y^{is} + f^r \times b^{rs} e^s \quad (6)$$

根据对称性原理, 可得 r 区域引起的 s 区域碳排放为:

$$c^{sr} = f^s \times \sum_i b^{si} y^{ir} + f^s \times b^{sr} e^r \quad (7)$$

因此, 针对国内区域(不考虑进口), r 区域的直

接排放总量可表示为:

$$c_{pro}^r = \sum_s c^{rs} \quad (8)$$

完全排放量可表示为:

$$c_{com}^r = \sum_s c^{sr} \quad (9)$$

s 区域引起 r 区域的净碳排放量(即 s 区域向 r 区域的净转移碳排放)可表示为:

$$c_{net}^{rs} = c^{rs} - c^{sr} \quad (10)$$

2 实证分析

根据上述计算方法, 本文拟在 1997 和 2007 两个年份区域间投入产出表的基础上, 结合这两个年份分行业分区域能源消费水平, 核算 1997 年和 2007 年的碳排放区位转移量, 并比较其变化趋势和特点。

2.1 区域和产业划分

根据中国区域间投入产出表中的区域划分, 以省、自治区、直辖市级行政界限为基础, 将中国划分为八大区域: 东北区域(黑、吉、辽), 京津区域(京、津), 北部沿海区域(冀、鲁), 东部沿海区域(沪、苏、浙), 南部沿海区域(闽、粤、琼), 中部区域(晋、豫、皖、鄂、湘、赣), 西北区域(蒙、陕、宁、甘、青、疆)和西南区域(川、渝、桂、云、贵、藏)。其中字母表示代码。受资料限制, 不包括中国香港、澳门及台湾地区。

根据中国区域间投入产出表、《中国统计年鉴》以及《中国能源统计年鉴》的部门分类, 本研究将中国产业行业划分为 17 个部门(表 1), 并对某些部门作适当调整, 例如将木材及竹材采运业归并为农业等。产业部门划分不包括居民消费排放部分。

2.2 数据来源与说明

(1) 数据来源

①分区域分行业能源消费数据来源于 1997 年和 2007 年各省市自治区能源平衡表以及各省市自治区统计年鉴中 1997 年和 2007 年分行业分区域能源消费量数据, 并参考 2004 年和 2008 年中国第一次、第二次全国经济普查中的分行业能源消费数据; ②区域间投入产出表采用 2005 年国家信息中心编制的 1997 年中国区域间投入产出表^[21] 和中国科学

① 即扣除进口后的直接消耗系数, 在编制 MRIO 表时一般采用线性模型将中间投入部分的国内部分和进口部分进行分离, 由此会增加 MRIO 的不确定性

院区域可持续发展分析与模拟重点实验室在 2011 年编制的 2007 年中国区域间投入产出表;③分品种能源热值、潜在碳排放系数及氧化率依照中国能源统计年鉴附录 4 中的平均低位发热量、IPCC2006 指南^[22]中分品种能源潜在碳排放系数以及相关研究^[23]进行确定。

表 1 中国产业部门划分表
Table 1 Sectors classification

序号 No.	部门 Sectors	序号 No.	部门 Sectors
1	农业	10	机械工业
2	采选业	11	交通运输设备制造业
3	食品制造及烟草加工业	12	电气机械及电子通信设备制造业
4	纺织服装业	13	其他制造业
5	木材加工及家具制造业	14	电力蒸汽热水、煤气自来水生产供应业
6	造纸印刷及文教用品制造业	15	建筑业
7	石化工业	16	商业、运输业
8	非金属矿物制品业	17	其他服务业
9	金属冶炼及制品业		

(2)数据处理说明

①考虑消费电力热力不直接排放 CO₂,且区域间投入产出表中已包含电力热力行业对其他行业的投入,因此这里分行业能源消费量不包括电力热力。同时电力热力能源消费量采用含碳能源投入总量,即不扣除输出的二次能源;其他行业则采用终端能源消费量且扣除电力热力能源;石油加工与炼焦等能源加工转换行业考虑了加工过程中的能源损失;②由于统计口径原因,个别省市自治区统计年鉴中能源消费数据和中国能源统计年鉴中能源平衡表有所出入,均以中国能源平衡表为准,电力热力的能源消费总量采用能源平衡表中火电和热力生产的能源投入总量;③由于个别省份(河北、黑龙江、西藏、新疆等)统计年鉴中没有分行业能源消费量,则采用经济普查中的能源数据计算分行业含碳能源消费比重结合当年含碳能源消费总量进行折算;④对于区域间投入产出表,为了避免进口对计算结果的影响,笔者对 1997 年和 2007 年中国区域间投入产出表进行了处理,按比例扣除了中间投入和最终使用中的进口部分;⑤考虑到区域间投入产出表中其他项的存在会对计算结果的解释产生影响,为了避免其他项的干扰,将其他项从总产出中扣除,以扣除后的数据计算各行业碳排放系数。

2.3 结果分析

(1)碳排放系数

根据分区域碳排放总量和各区域总产出可计算出 1997 年和 2007 年各区域碳排放系数,即单位总产出的碳排放量(表 2),可以发现:

第一,区域碳排放系数与区域经济发展水平基本呈反比(表 2),即经济发展水平高的地区单位总产出的碳排放水平较低,如京津地区和东南沿海地区,而经济发展水平低的地区单位总产出的碳排放水平较高,如东北地区 and 中西部地区。这说明经济发展水平越高的地区,其能耗水平越低,这与区域的产业结构、能耗技术、能源结构等因素有关,京津和东南沿海地区经济发展水平高,产业以服务业和高端制造业为主,产业节能工艺先进,电力消耗以外部输送为主,碳排放系数自然较低。而东北和中西部地区,产业以低端制造业为主,能源及原材料产业占比较大,能耗技术相对落后,碳排放系数高。

表 2 中国区域碳排放系数和人均 GDP
Table 2 Regional carbon emissions factors in China

	碳排放系数 Carbon emissions factors/(t/万元)		GDP/ (万元/人)	
	1997	2007	1997	2007
东北地区 North East	0.69	0.31	0.73	2.15
京津地区 Jing Jin	0.41	0.12	1.39	5.24
北部沿海地区 North Coast	0.41	0.23	0.69	2.43
东部沿海地区 East Coast	0.25	0.13	1.13	3.90
南部沿海地区 South Coast	0.24	0.11	0.97	3.00
中部地区 Middle Region	0.53	0.27	0.47	1.47
西北地区 North West	0.73	0.44	0.42	1.62
西南地区 South West	0.47	0.25	0.38	1.17
变异系数 Coefficient of variation	0.384	0.483		

第二,碳排放系数区域差异增加较快。1997 年区域碳排放系数的变异系数为 0.384,而 2007 年则达到了 0.483,十年间碳排放水平的区域差异增加了 25.7%。这反应了原先碳排放水平较低的区域(经济发达地区),凭借其产业、技术优势,通过不断淘汰落后产能,进一步降低了碳排放水平,而原先碳排放水平较高的区域(经济相对落后地区)为了发展经济,不得不发展高耗能产业,导致碳排放水平的进一步提高。碳排放系数区域差异的扩大在一定程度上也反应了碳排放的区域转移。

(2) 完全排放量

中国碳排放总量从 1997 年的 8.40 亿 t/a 增加到 2007 年的 16.27 亿 t/a,其中消费、投资、出口三大活动引起完全排放比重分别从 44.85%、36.19%、18.96%变动为 35.58%、37.04%、27.38%,出口引起的完全排放大幅增加。人均完全排放量(含出口)从 1997 年的 0.69t/人增加到 2007 年的 1.25t/人,增幅达 82.4%。分区域来看,有以下特征:

第一,出口和投资的增长是区域人均完全排放增加的主要原因。1997—2007 年间,各区域人均完全排放水平均有所增加,其主要原因是出口和投资的大幅增加(图 1)。如 1997—2007 年间,北部沿海、东部沿海和中部地区出口引起的完全排放量分别增加了 333%、211%和 241%,投资引起的完全排放也均增加 1 倍以上,而消费引起的完全排放增加幅度明显较低。中西部地区完全排放量的增加则主要由于本地消费和投资增长引起。

第二,区域人均完全排放水平与区域经济发展水平呈正相关关系。不管是 1997 年还是 2007 年,人均 GDP 较高的地区,如京津、东部沿海、南部沿海等地区,其人均完全排放量也相对较高,而人均 GDP 相对较低的地区,其人均完全排放量也较低。这说明虽然经济发达地区单位产出的直接碳排放较低,但由于其居民消费水平较高,人均完全排放量却很高。

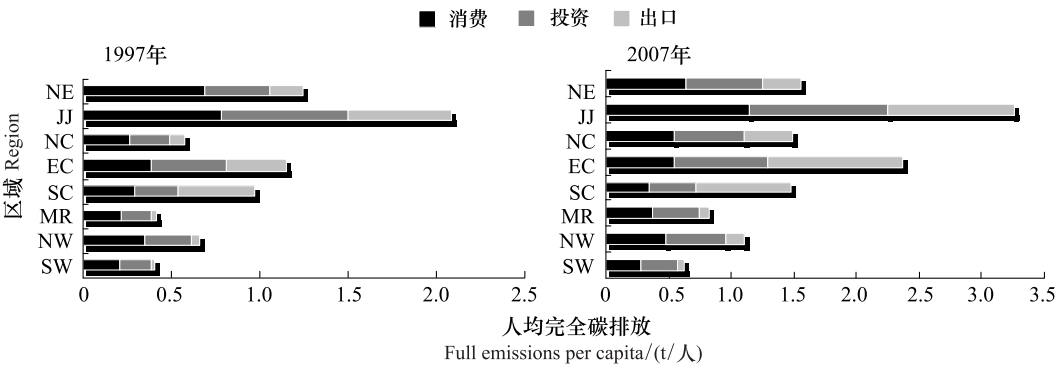


图 1 区域人均完全碳排放水平及其结构图

Fig.1 Regional full emissions per capita and its components

NE:东北地区 North East;JJ:京津地区 Jing Jin;NC:北部沿海地区 North Coast;EC:东部沿海地区 East Coast;SC:南部沿海地区 South Coast;MR:中部地区 Middle Region;NW:西北地区 North West;SW:西南地区 South West

(3) 区域间碳排放转移

从 1997 年到 2007 年,中国区域间碳排放转移量从 2.56 亿 t 增加到 2007 年的 6.10 亿 t,占当年排

放总量的比重从 30.51%增加到 37.53%(表 3),转移规模大幅增加。分区域来看,具有以下特征:

表 3 1997 年和 2007 年碳排放转移规模对比

Table 3 Compare between carbon emissions transfer in 1997 and 2007

	1997		2007	
	碳排放转移总量/亿 t Gross carbon transfer	占当年排放比重/% Rate to gross emissons	碳排放转移总量/亿 t Gross carbon transfer	占当年排放比重/% Rate to gross emissons
转移总量 Gross transfer	2.56	30.51	6.10	37.53
消费引起 Caused by consumption	1.05	12.48	2.00	12.19
投资引起 Caused by consumption	1.01	12.07	2.45	15.05
出口引起 Caused by consumption	0.50	5.97	1.65	10.30

第一,中国区域间碳转移规模增加的主要原因是投资的增加和出口的扩张。从转移规模上看(表3),1997年8个区域之间的碳排放转移总量为2.56亿t,其中区域间碳转移最大的驱动因素为消费,其次是投资引起的碳转移,而出口引起的碳转移只有0.50亿t。而到了2007年,8个区域之间的碳排放转移总量增长到了6.10亿t,投资成为碳转移排放的最大驱动因素,其引起的碳转移量为2.45亿t,其次是消费,但与1997年相比,消费引起碳转移的比重有所下降,而出口对区域间碳转移的作用增加很快,出口引起碳转移占当年全部排放的比重从1997年的5.97%增加到2007年的10.30%,可见出口对碳排放转移增加的贡献程度很大。

第二,从8个区域间碳排放的净转移来看,净转移规模和主要转移区域也发生了很大变化(图2)。1997年碳排放净转移主要发生在东部沿海、南部沿

海与北部沿海、中部区域之间,如东部沿海向北部沿海、中部地区分别净转移了1166万t和1897万t,二者之和相当于东部沿海自身直接排放总量的27.0%。南部沿海向中部地区净转移碳1359万t,相当于其自身排放总量的19%。到了2007年,虽然东南沿海、北部沿海、中部地区之间仍然存在大量的碳排放净转移,但同时西部地区、东北地区以及京津地区之间也都存在着大量的碳排放转移。如西北地区承接了其他地区的净转移碳排放6718万t,占其当年排放总量的33.64%,主要来自于东部沿海、南部沿海、东北以及京津地区的转移。同时西南地区也成为了南部沿海最大的净转入地。因此,可以说我国碳排放的转移从1997年的东部向中部地区转移演变为2007年的东部地区向中部地区和西部地区同时转移的空间转移特征。

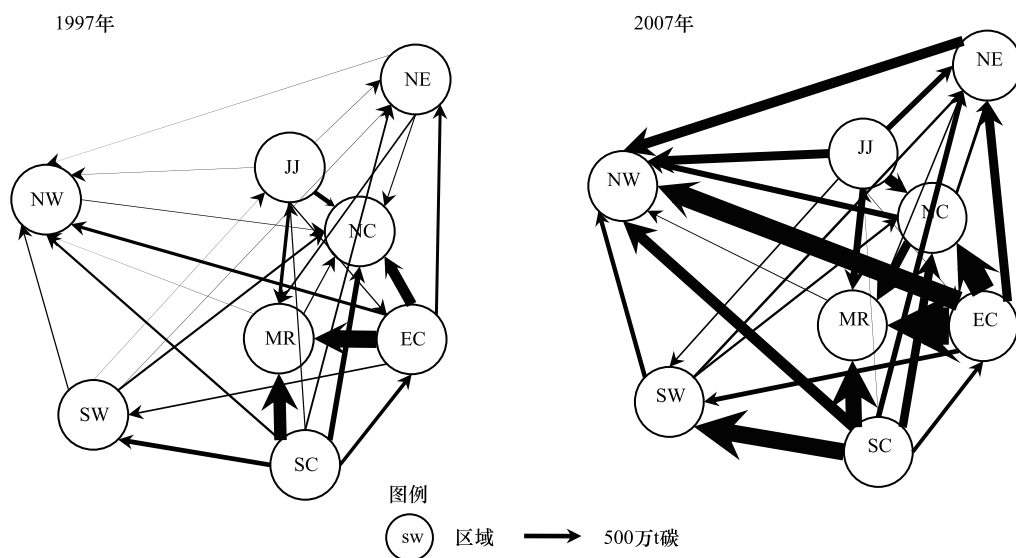


图2 中国区域间碳排放净转移总量示意图

Fig.2 Regional net transfer emissions embodied in trade

第三,出口引起的碳排放转移变化最明显。从结构来看,虽然消费和投资引起的区域间碳排放转移也发生了一些变化,但出口引起的碳排放转移在空间上的转移变化程度最大(图3)。出口驱动下,碳排放净转移量从1997年的3256.94万t增加到2007年的10949.07万t,增加了2.36倍。1997—2007年间,出口引起的碳排放转移空间结构并没有发生很大变化,依然主要是从东南沿海地区和经济地区向中西部地区及北部沿海地区转移。但转移规模大幅增加,特别是中西部地区因东南沿海地区出口而净转

入的碳排放增加最快,如东部沿海地区向中部地区的净转移量从1997年的643.39万t增加到2007年的2278.36万t,东部沿海地区向西北地区的碳排放净转移量分别从1997年的142.22万t增加到了2007年的1187.10万t,南部沿海地区向中部地区和西南地区的碳排放净转出量从1997年的640.95万t和314.88万t增加到2007年的1288.72万t和1204.85万t,增加幅度都很大。因此,东南沿海地区的出口导致了中西部地区碳排放水平的大量增加。

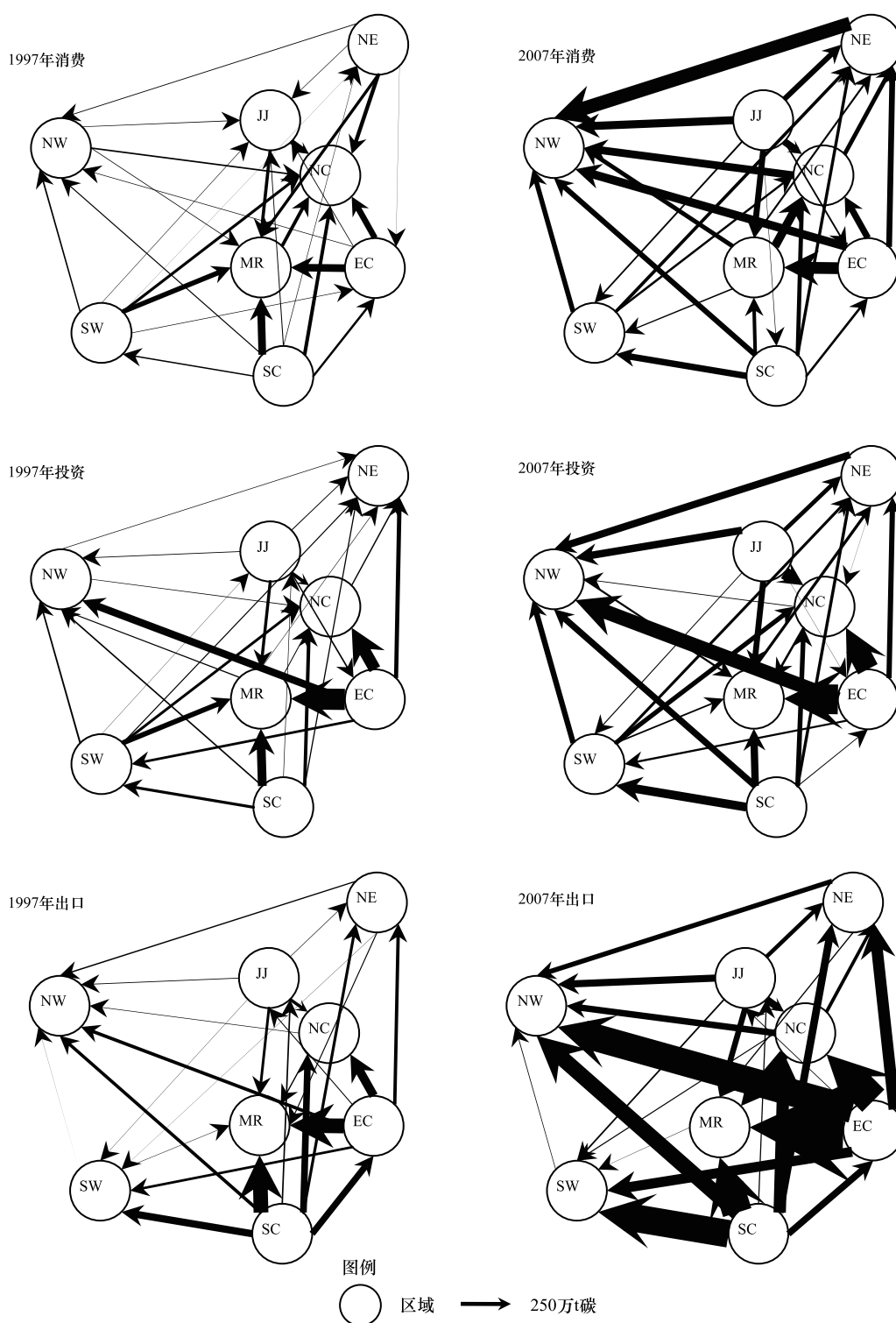


图3 消费、投资、出口驱动下区域间碳排放净转移示意图

Fig.3 Regional net transfer emissions embodied in trade driven by consumption, investment and export respectively

3 讨论

通过上述分析可以发现,首先,经济发达地区单位产出的直接碳排放较低,但由于其居民消费水平

较高,人均完全排放量却很高。其次,1997—2007年间,不管是在规模上还是在空间范围上,我国区域间隐含碳排放的转移都发生了很大变化。受经济活动空间组织变化的影响,碳排放区位转移从以东南沿

海区域向中部地区和北部沿海地区转移为主演变为以东南沿海和京津地区向中西部地区转移为主,总体上碳转移空间范围开始向西部地区延伸,特别是西北地区成为我国最大的碳排放承接区域。分结构来看,消费引起的碳排放转移增加较慢,京津地区成为最大的消费碳转出地区,投资和出口引起的碳排放转移增加较快,主要体现在京津及东南沿海地区投资和出口对中西部地区碳排放诱发作用,特别是中西部地区因东南沿海地区出口而净转入的碳排放增加最快。因此,调整东部地区的出口结构,优化投资和消费结构,避免落后淘汰产能通过区域转移进一步发展,提高节能技术的应用是我国节能减排工作的重要内容。

从消费的角度研究一个国家或地区的碳排放水平可以有效避免碳泄漏问题的产生,从而可以从根本上削减全球的碳排放水平,具有很好的实际意义,也引起了全球社会的关注。但与生产责任法相比较,消费责任法存在很大的不确定性,因此到目前为止仍没有成为政府决策的直接依据,其不确定性主要来自投入产出模型本身的不确定性。首先,进口或调入的产品是被用于中间投入还是最终使用,以及如何在各行业之间进行分配,都很难区分清楚,一般在编制过程中都采用线性模型进行模拟,这样会产生较大的不确定性。其次,各个国家或地区编制的投入产出表质量差异很大,比如北京、上海等发达地区的编制水平肯定要高于其他省份,这会进一步增加消费排放方法的不确定性,而且这种不确定性很难进行计算。Kainuma 等利用投入产出模型和一般均衡模型分别对几个主要国家的消费碳排放进行了核算,结果发现利用投入产出模型得到的结果比一般均衡模型的结果偏大许多^[24-26]。因此认为仅仅依靠投入产出模型的计算结果作为国际政策制定的依据是不充分的,在生产消费环节比较复杂的情况下利用投入产出模型应特别注意。

References:

- [1] Munksgaard J, Pedersen K A. CO₂ accounts for open economies: producer or consumer responsibility?. *Energy Policy*, 2001, 29 (4): 327-334.
- [2] Ahmad N, Wyckoff A. Carbon Dioxide Emissions Embodied in International Trade of Goods. *OECD Science, Technology and Industry Working Papers*, 2003, 15, OECD Publishing.
- [3] Lenzen M, Pade L L, Munksgaard J. CO₂ multipliers in multi-region input-output models. *Economic Systems Research*, 2004, 16(4): 391-412.
- [4] Munksgaard J, Pade L L, Minx J, Lenzen M. Influence of trade on national CO₂ emissions. *International Journal of Global Energy Issues*, 2005, 23(4): 324-336.
- [5] Wilting H, Vringer K. Environmental accounting from a producer or a consumer principle: an empirical examination covering the world // *Proceedings of the 16th International Input-Output Conference*. Istanbul, Turkey, 2007.
- [6] Peters G P, Weber C L, Guan D B, Hubacek K. China's growing CO₂ emissions-a race between increasing consumption and efficiency gains. *Environmental Science & Technology*, 2007, 41 (17): 5939-5944.
- [7] Shu Y Q. Spatiotemporal characteristics of carbon emissions from energy consumption in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32 (16): 4950-4960.
- [8] Davis S J, Caldeira K. Consumption-based accounting of CO₂ emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2010, 107(12): 5687-5692.
- [9] Peters G P, Minx J C, Weber C L, Edenhofer O. Growth in emission transfers via international trade from 1990 to 2008. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2011, 108(21): 8903-8908.
- [10] Chen Z M, Chen G Q. An overview of energy consumption of the globalized world economy. *Energy Policy*, 2011, 39 (10): 5920-5928.
- [11] Pan J H, Phillips J, Chen Y. China's balance of emissions embodied in trade: approaches to measurement and allocating international responsibility. *Oxford Review of Economic Policy*, 2008, 24(2): 354-376.
- [12] Lin B Q, Sun C W. Evaluating carbon dioxide emissions in international trade of China. *Energy Policy*, 2010, 38 (1): 613-621.
- [13] Guo J E, Zhang Z K, Meng L. China's provincial CO₂ emissions embodied in international and interprovincial trade. *Energy Policy*, 2012, 42: 486-497.
- [14] Li Y, Hewitt C N. The effect of trade between China and the UK on national and global carbon dioxide emissions. *Energy Policy*, 2008, 36(6): 1907-1914.
- [15] Yu H C, Wang L M. Carbon emission transfer by international trade: taking the case of sino-U. S. merchandise Trade as an example. *Journal of Resources and Ecology*, 2010, 1 (2): 155-163.
- [16] Xu M, Allenby B, Chen W Q. Energy and air emissions embodied in China-U. S. Trade: eastbound assessment using adjusted bilateral trade data. *Environmental Science and Technology*, 2009, 43(9): 3378-3384.
- [17] Yao L, Liu J R, Wang R S. The carbon emissions embodied in

- Chinese household consumption by the driving factors. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(19): 5632-5637.
- [18] Feng K S, Hubacek K, Guan D B. Lifestyles, technology and CO₂ emissions in China: a regional comparative analysis. *Ecological Economics*, 2009, 69(1): 145-154.
- [19] Meng L, Guo J E, Chai J, Zhang Z K. China's regional CO₂ emissions: Characteristics, inter-regional transfer and emission reduction policies. *Energy Policy*, 2011, 39(10): 6136-6144.
- [20] Yao L, Liu J R. Transfer of carbon emissions between China's eight major regions. *China Population Resources and Environment*, 2010, 20(12): 16-19.
- [21] State Information Center. *Multi-Regional Input-Output Model for China*. Beijing: Social Sciences Academic Press, 2005.
- [22] IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories // Eggleston H S, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K, eds. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Washington: IGES, 2006.
- [23] Fan Y, Liang Q M, Wei Y M, Okada N. A model for China's energy requirements and CO₂ emissions analysis. *Environmental Modelling & Software*, 2007, 22(3): 378-393.
- [24] Jalil A, Mahmud S F. Environment Kuznets curve for CO₂ emissions: A cointegration analysis for China. *Energy Policy*, 2009, 37(12): 5167-5172.
- [25] Jaunky V C. The CO₂ emissions-income nexus: Evidence from rich countries. *Energy Policy*, 2011, 39(3): 1228-1240.
- [26] Kainuma M, Matsuoka Y, Morita T. Estimation of embodied CO₂ emissions by general equilibrium model. *European Journal of Operational Research*, 2000, 122(2): 392-404.

参考文献:

- [7] 舒娱琴. 中国能源消费碳排放的时空特征. *生态学报*, 2012, 32(16): 4950-4960.
- [17] 姚亮, 刘晶茹, 王如松. 中国居民消费隐含的碳排放量变化的驱动因素. *生态学报*, 2011, 31(19): 5632-5637.
- [20] 姚亮, 刘晶茹. 中国八大区域间碳排放转移研究. *中国人口·资源与环境*, 2010, 20(12): 16-19.
- [21] 国家信息中心. 中国区域间投入产出表. 北京: 社会科学文献出版社, 2005.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.11 June, 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

Review on macropore flow in soil GAO Zhaoxia, XU Xuexuan, ZHAO Jiaona, et al (2801)

Ecological Restoration

A summary of study on ecological restoration technology of large coal bases construction in China
..... WU Gang, WEI Dong, ZHOU Zhengda, et al (2812)

The ecology and environment monitoring technical systems in national large-scale coal-fired power base: a case study in Xilingol
League, Inner Mongolia WEI Dong, QUAN Yuan, WANG Chenxing, et al (2821)

Evaluation index system on ecological effect of national large-scale coal-fired power base based on the dpsir conceptual model
..... ZHOU Zhengda, WANG Chenxing, FU Xiao, et al (2830)

Research progress on the environment impacts from underground coal mining in arid western area of China
..... LEI Shaogang, BIAN Zhengfu (2837)

Ecological risk receptors analysis of pingzhuang western open-cut coal mining area in inner mongolia
..... GAO Ya, LU Zhaohua, WEI Zhenkuan, et al (2844)

Impacts of mining on landscape pattern and primary productivity in the grassland of Inner Mongolia: a case study of Heidaigou
open pit coal mining KANG Sarula, NIU Jianming, ZHANG Qing, et al (2855)

Accumulation of soil Cd, Cr, Cu, Pb by *Panax notoginseng* and its associated health risk
..... LIN Longyong, YAN Xiulan, LIAO Xiaoyong, et al (2868)

3D interpolation of soil PAHs distribution in a coking contaminated site of China ... LIU Geng, BI Rutian, QUAN Teng, et al (2876)

Autecology & Fundamentals

Catabatic effect from artificial mixed plantation of *Cunninghamia lanceolata* on soil aluminum toxicity
..... LEI Bo, LIU Bin, LUO Chengde, et al (2884)

Study on the trophic levels of soil macrofauna in artificial protection forests by means of stable nitrogen isotopes
..... ZHANG Shuhua, ZHANG Xueping (2892)

Lead- and cadmium-resistant bacterial strain JB11 enhances lead and cadmium uptake in the phytoremediation of soils
..... JIN Zhongmin, SHA Wei, LIU Lijie, et al (2900)

Identification and oil-degrading performance of *Acinetobacter* sp. isolated from North Shaanxi oil-contaminated soil
..... WANG Hu, WU Lingling, ZHOU Lihui, et al (2907)

Phylogenetic and physiological diversity of actinomycetes isolated from plant rhizosphere soils in the Qilian Mountains
..... MA Aiai, XU Shijian, MIN Yuxia, et al (2916)

Spatial distribution of AM and DSE fungi in the rhizosphere of *Ammopiptanthus nanus*
..... JIANG Qiao, HE Xueli, CHEN Weiyan, et al (2929)

Effects of PASP-KT-NAA on maize leaf nitrogen assimilation after florescence over different temperature gradients
..... GAO Jiao, DONG Zhiqiang, XU Tianjun, et al (2938)

Key temperatures of corn and sunflower during cooling process in Hetao irrigation district, Inner Mongolia
..... WANG Haimei, HOU Qiong, YUN Wenli, et al (2948)

The content of tannin extract in four types of *Quercus variabilis* YIN Yining, ZHANG Wenhui, HE Jingfeng, et al (2954)

Effect of food stress on flight muscle and reproduction development in a wing dimorphic cricket, *Velarifictorus ornatus*
..... WU Hongjun, ZHAO Lüquan, ZENG Yang, et al (2963)

- Effect of colours on oviposition preference of the oriental fruit moth, *Grapholita molesta* Busck YANG Xiaofan, MA Chunsen, FAN Fan, et al (2971)
- Monoterpene volatiles affecting host selection behavior of *Dendrolimus superans* and the activities of defense protein in larch needles LIN Jian, LIU Wenbo, MENG Zhaojun, et al (2978)
- Population, Community and Ecosystem**
- Soil microbial community structure under different vegetation restoration patterns in the loess hilly area HU Chanjuan, GUO Lei, LIU Guohua (2986)
- Seasonal variation of functional diversity of microbial communities in sediment and shelter of sea cucumber (*Apostichopus japonicus*) cultural ponds YAN Fajun, TIAN Xiangli, DONG Shuanglin, et al (2996)
- Analysis of bacterial flora during the fahua-fermentation process of fuzhuan brick tea production based on DGGE technology LIU Shiquan, HU Zhiyuan, ZHAO Yunlin (3007)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- CO₂ emissions transfer embedded in inter-regional trade in China LIU Hongguang, FAN Xiaomei (3016)
- Carbon sequestration potential of the major stands under the Grain for Green Program in Southwest China in the next 50 years YAO Ping, CHEN Xiangang, ZHOU Yongfeng, et al (3025)
- Characteristics of spatial and temporal phenology under the dynamic variation of grassland in the Qinghai Lake watershed LI Guangyong, LI Xiaoyan, ZHAO Guoqin, et al (3038)
- Estimates of carbon emissions caused by forest fires in the temperate climate of Heilongjiang Province, China, from 1953 to 2012 ... WEI Shujing, LUO Bizhen, SUN Long, et al (3048)
- Simulation of the climatic productivity of forest vegetation in Three Gorges Reservoir area PAN Lei, XIAO Wenfa, TANG Wanpeng, et al (3064)
- The mechanism for occurrence of *Peridiniopsis* blooms in the tributaries of Three Gorges Reservoir ZHU Aimin, LI Sixin, HU Jun, et al (3071)
- Biodiversity sensitivity zoning of river dam and reservoir engineering development ... LI Yiqiu, LU Chunxia, DENG Ou, et al (3081)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- Assessment on coordinative ability of sustainable development of Beijing-Tianjin-Hebei Region based on set pair analysis TAN Feifei, ZHANG Meng, LI Haoran, et al (3090)
- Vacancy analysis on the development of nature reserves in Jiangxi Province HUANG Zhiqiang, LU Lin, DAI Nianhua, et al (3099)
- Evaluation of ecological economy index in the poyang lake ecological economic zone HUANG Heping, PENG Xiaolin, KONG Fanbin, et al (3107)
- Research on China's provincial forest ecological security appraisal based on the detrimental interferences LIU Xinzhu, MI Feng, ZHANG Shuang, et al (3115)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的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;新书评价和学术、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 90 元/册,全年定价 2160 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 34 卷 第 11 期 (2014 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 34 No. 11 (June, 2014)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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: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@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

国内外公开发行人

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元