

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

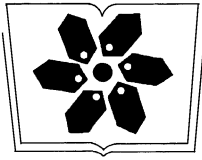
Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 23 期 Vol.32 No.23 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 23 期

2012 年 12 月 (半月刊)

目 次

中国石龙子母体孕期调温诱导幼体表型:母体操纵假说的实验检测	李 宏,周宗师,吴延庆,等 (7255)
同种或异种干扰对花鼠分散贮藏点选择的影响	申 圳,董 钟,曹令立,等 (7264)
曝气充氧条件下污染河道氨挥发特性模拟	刘 波,王文林,凌 芬,等 (7270)
贵州草海越冬斑头雁日间行为模式及环境因素对行为的影响	杨延峰,张国钢,陆 军,等 (7280)
青藏高原多年冻土区积雪对沼泽、草甸浅层土壤水热过程的影响	常 娟,王根绪,高永恒,等 (7289)
长沙城市斑块湿地资源的时空演变	恭映璧,靖 磊,彭 磊,等 (7302)
基于模型数据融合的干烟洲亚热带人工林碳水通量模拟	任小丽,何洪林,刘 敏,等 (7313)
农田氮素非点源污染控制的生态补偿标准——以江苏省宜兴市为例	张 印,周羽辰,孙 华 (7327)
用 PFU 微型生物群落监测技术评价化工废水的静态毒性	李朝霞,张玉国,梁慧星 (7336)
京郊农业生物循环系统生态经济能值评估——以密云尖岩村为例	周连第,胡艳霞,王亚芝,等 (7346)
基于遥感的夏季西安城市公园“冷效应”研究	冯晓刚,石 辉 (7355)
海南岛主要森林类型时空动态及关键驱动因子	王树东,欧阳志云,张翠萍,等 (7364)
不同播种时间对吉林省西部玉米绿水足迹的影响	秦丽杰,靳英华,段佩利 (7375)
黄土塬区不同品种玉米间作群体生长特征的动态变化	王小林,张岁岐,王淑庆,等 (7383)
密植条件下种植方式对夏玉米群体根冠特性及产量的影响	李宗新,陈源泉,王庆成,等 (7391)
沙地不同发育阶段的人工生物结皮对重金属的富集作用	徐 杰,敖艳青,张璟霞,等 (7402)
增强 UV-B 辐射和氮对谷子叶光合色素及非酶促保护物质的影响	方 兴,钟章成 (7411)
不同产地披针叶茴香光合特性对水分胁迫和复水的响应	曹永慧,周本智,陈双林,等 (7421)
芦芽山林线华北落叶松径向变化季节特征	董满宇,江 源,王明昌,等 (7430)
地形对植被生物量遥感反演的影响——以广州市为例	宋巍巍,管东生,王 刚 (7440)
指数施肥对楸树无性系生物量分配和根系形态的影响	王力朋,晏紫伊,李吉跃,等 (7452)
火烧伤害对兴安落叶松树干径向生长的影响	王晓春,鲁永现 (7463)
山地梨枣树耗水特征及模型	辛小桂,吴普特,汪有科,等 (7473)
两种常绿阔叶植物越冬光系统功能转变的特异性	钟传飞,张运涛,武晓颖,等 (7483)
干旱胁迫对银杏叶片光合系统 II 荧光特性的影响	魏晓东,陈国祥,施大伟,等 (7492)
神农架川金丝猴栖息地森林群落的数量分类与排序	李广良,丛 静,卢 慧,等 (7501)
碱性土壤盐化过程中阴离子对土壤中镉有效态和植物吸收镉的影响	王祖伟,弋良朋,高文燕,等 (7512)
两种绣线菊耐弱光能力的光合适应性	刘慧民,马艳丽,王柏臣,等 (7519)
闽楠人工林细根寿命及其影响因素	郑金兴,黄锦学,王珍珍,等 (7532)
旅游交通碳排放的空间结构与情景分析	肖 潇,张 捷,卢俊宇,等 (7540)
北京市妫水河流域人类活动的水文响应	刘玉明,张 静,武鹏飞,等 (7549)
膜下滴灌技术生态-经济与可持续性分析——以新疆玛纳斯河流域棉花为例	范文波,吴普特,马枫梅 (7559)
高温胁迫及其持续时间对棉蚜死亡和繁殖的影响	高桂珍,吕昭智,夏德萍,等 (7568)
桉树枝瘿姬小蜂虫瘿解剖特征与寄主叶片生理指标的变化	吴耀军,常明山,盛 双,等 (7576)
西南桦纯林与西南桦×红椎混交林碳贮量比较	何友均,覃 林,李智勇,等 (7586)
长沙城市森林土壤 7 种重金属含量特征及其潜在生态风险	方 晰,唐志娟,田大伦,等 (7595)
专论与综述	
城乡结合部人-环境系统关系研究综述	黄宝荣,张慧智 (7607)
陆地生态系统碳水通量贡献区评价综述	张 慧,申双和,温学发,等 (7622)



封面图说: 麋鹿群在过河——麋鹿属于鹿科,是中国的特有动物。历史上麋鹿曾经广布于东亚地区,到 19 世纪时,只剩下在北京南海子皇家猎苑内一群。1900 年,八国联军攻陷北京,麋鹿被抢劫一空。1901 年,英国的贝福特公爵用重金从法、德、荷、比四国收买了世界上仅有的 18 头麋鹿,以半野生的方式集中放养在乌邦寺庄园内,麋鹿这才免于绝灭。在世界动物保护组织的协调下,1985 年起麋鹿从英国分批回归家乡,放养到北京大兴南海子、江苏省大丰等地。这是在江苏省大丰麋鹿国家级自然保护区放养的麋鹿群正在过河。

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

DOI: 10.5846/stxb201111301830

肖潇, 张捷, 卢俊宇, 钟士恩, 尹立杰. 旅游交通碳排放的空间结构与情景分析. 生态学报, 2012, 32(23): 7540-7548.

Xiao X, Zhang J, Lu J Y, Zhong S E, Yin L J. Analysis on spatial structure and scenarios of carbon dioxide emissions from tourism transportation. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(23): 7540-7548.

旅游交通碳排放的空间结构与情景分析

肖 潇, 张 捷*, 卢俊宇, 钟士恩, 尹立杰

(南京大学国土资源与旅游学系, 南京 210093)

摘要: 旅游业作为全球第一大产业, 是影响气候变化的重要因素之一, 旅游碳排放的相关研究近年来已经引起学者们的关注。选择了九寨沟风景区、西安碑林博物馆、南京珍珠泉风景区 3 个旅游交通模式差异明显的案例地为, 根据实地问卷调查数据估算了九寨沟风景区、西安碑林博物馆、珍珠泉旅游风景区 2010 年的旅游交通碳排放总量分别为 654.18, 108.44 和 15.92 Gg。通过比较九寨沟、西安碑林和珍珠泉的碳排放累积曲线, 得出不同旅游平均距离的景区的碳排放结构均衡度有所不同, 旅游平均距离偏低景区的碳排放结构最不平衡。同时, 旅游景区的交通碳排在距离上具有分段性, 不同旅游平均距离的景区交通碳排放的空间结构具有明显的差异性。通过 4 种不同的交通情景分析发现, 旅游平均距离高和距离中等的景区对飞机的碳减排敏感度较高, 旅游平均距离偏低的景区自驾车的碳减排效果最为明显。研究结果为旅游管理部门根据碳排放结构有针对性的制定差异化的旅游交通减排政策提供了参考和借鉴。

关键词: 旅游交通碳排放; 碳排放累积曲线; 空间结构; 情景分析; 减排途径

Analysis on spatial structure and scenarios of carbon dioxide emissions from tourism transportation

XIAO Xiao, ZHANG Jie*, LU Junyu, ZHONG Shi'en, YIN Lijie

Department of Land Resource and Tourism Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China

Abstract: Tourism is a rapidly increasing industry and has recently attracted attention as an important contributor to climate change through greenhouse gas emissions. Recently, researchers have focused on the impact of carbon emissions from tourism. Among the greenhouse gases, CO₂ is the main contributor to global warming. Previous energy consumption studies have indicated that CO₂ emissions from tourism can be categorized into three sections, namely transportation, accommodation and activities. Among these sections, tourism transportation accounts for the most significant proportion of the energy consumption and CO₂ emissions. This paper focuses on three scenic spots, the Jiuzhaigou Scenic Area, Xi'an Beilin Museum and Nanjing Pearl Spring Resort, and applies a bottom-up approach to determine the CO₂ emissions related to tourism transportation in these areas in 2010. We investigated the visitors to these three scenic spots by questionnaires using stratified sample method, collected 1404 available samples, and estimated the total amount of carbon emissions in each scenic spot. The results indicated that CO₂ emissions from aviation are higher than those of all other transportation methods. The total CO₂ emissions at the Jiuzhaigou Scenic Area, Xi'an Beilin Museum and Pearl Spring Resort were 386.27, 215.71 and 10.45 Gg, respectively. The higher carbon emissions at Jiuzhaigou were attributed to the spot's long average travel distances. To analyze the mechanism of CO₂ emissions from tourism transportation more thoroughly, we used the carbon cumulative curve to describe the spatial structure of the three scenic spots. The carbon cumulative curve analysis

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40871072, 41171121)

收稿日期: 2011-11-30; 修订日期: 2012-11-10

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

suggested that the average travel distance was the most important factor controlling CO₂ emissions, influencing not only the balance structure, but also the spatial structure of CO₂ emissions from tourism transportation. The tourist attractions with low travel distances had the most unbalanced structure of carbon emissions. Also, the spatial structure of carbon emissions in different subsections of travel distance had significant discrepancies. Finally, we completed a scenario analysis to explore policies to reduce CO₂ emissions from tourism transportation. When we compared four different traffic scenarios, we found that the tourist attractions with high and moderate average travel distances were sensitive to a reduction policy that decreased the proportion of emissions from aviation. Therefore, low-carbon travel modes such as the high speed railway could be promoted as an alternative to aviation, and economic compensation such as discounted tickets could be provided for low-carbon tourists to reduce CO₂ emissions. In contrast, tourist attractions with low average travel distances are sensitive to the policy of switching from private cars to public vehicles. Consequently, we can implement reduction policies like encouraging tourists to travel by bus or bicycle and using carpools to decrease the average load factor. These results have important implications for tourism management departments to understand the structure of CO₂ emissions and establish targeted policies to reduce CO₂ emission from tourist transportation.

Key Words: CO₂ emissions from tourism transportation; carbon cumulative curve; spatial structure; scenario analysis; reduction policy

全球气候变化是当今世界面临的最具有挑战性的问题之一^[1]。IPCC 第四次评估报告^[2]指出,近 100a 来,全球地表平均温度约上升 0.74 ℃。全球气候变暖主要是由人类活动大量排放的二氧化碳、甲烷、氧化亚氮等温室气体所引起的,其中,二氧化碳的增温效应最为明显^[3]。改革开放以来,我国经济社会正处于快速发展期,能源消费持续增长,温室气体排放也明显增加。目前我中国能源消耗量和温室气体排放量已上升至世界第二位^[4],碳减排形势日益严峻。

旅游业作为全球第一大产业^[5],其大规模的能源消耗和温室气体排放,是影响气候变化的重要因素之一^[6-7]。有研究指出,国际旅游城市夏威夷的旅游业能源消耗占其总消耗量的 60% 以上^[8]。世界旅游组织(WTO)曾预言,旅游人数的增长会导致碳排放量明显增加^[9]。近年来,国内外学者对旅游业引起的碳排放及其造成的环境影响有了一定程度的关注。旅游碳排放主要包括 3 个方面,即交通、住宿和旅游活动^[10-12]。而其中,旅游交通是碳排放中最为重要的组成部分。Gössling^[13-14]认为在所有旅游活动中,旅游交通的碳排放贡献率最高,并且,航空业对发展中国家的碳排放影响尤为显著。Becken^[15]计算出国际游客飞行能源消耗占到了新西兰能源总消耗的 6%。Dubois 等^[16]预测 2050 年法国旅游交通碳排放量将会上升到法国旅游业碳排放总量的 90%,因此,航空税政策有可能被推行^[17]。相反,自行车旅游以其极低的单位能耗,将会成为低碳旅游未来所推崇的旅游交通方式^[18]。

目前,国内外交通碳排放的研究,主要是国家或区域的宏观尺度的分析^[19-22],而对于微观尺度如旅游景区碳排放的研究相对比较缺乏。由于不同旅游景区资源禀赋和综合竞争力的差距客观存在,探索其交通碳排放的空间结构特征并针对其自身资源条件制定有效的碳减排政策,是旅游景区可持续发展的重要任务。因此,本文选择了九寨沟风景区、西安碑林博物馆、南京珍珠泉风景区 3 个不同交通模式的案例地为例,通过实地问卷调查和数据收集,分别计算了 3 个景区的旅游交通碳排放量,构建了碳排放累积曲线,分析和比较了 3 个景区交通碳排放的结构差异。通过情景模拟分析,计算了不同交通情景下 3 个景区的碳排放的变化量,为旅游景区环境的改善以及旅游管理部门制定区域差别化的碳减排政策提供了参考和借鉴。

1 研究设计

由于旅游气候影响的数据资料获取困难^[23],目前尚未形成旅游业碳排放量系统的估算方法^[24-25]。学者们通常采用两种方法估算旅游业碳排放量,即“自上而下”法和“自下而上”法。“自上而下”法研究尺度针对的是特定区域,计算旅游业的碳排放量对区域累计碳排放总量的贡献比例;“自下而上”法研究尺度针对的是

旅游目的地,通过旅游目的地的游客调查数据分析估算游客旅行过程中的碳排放量。由于中国尚未建立温室气体统计监测体系^[12],且选择的研究案例为旅游景区,故本文选择“自下而上”法,估算游客旅行过程中的旅游交通碳排放量。

游客旅行过程涉及从旅游客源地到旅游目的地再返回的整个旅行过程^[26],旅行节点主要包括家、出游门户、入游门户、旅游目的地等^[27]。旅游交通则相应的串联起上述的旅行节点。本文研究的旅游交通碳排放主要估算出游门户和入游门户之间的往返交通及入游门户与旅游目的地之间的往返交通,这是因为入游门户和出游门户之间的旅游交通既贡献了绝大多数比例的碳排放量,又呈现出巨大的旅游交通方式的差异。另一方面,由于部分入游门户与旅游目的地的交通距离较长,其贡献的碳排放量亦不容忽视。与此同时,已有学者的研究指出,旅游交通包括游客的往返交通过程,由于绝大多数游客出游、返程基本采用相同的旅游交通模式,因此可以估计旅游交通总碳排放量约为单程碳排放量的 2 倍^[3]。

1.1 旅游交通碳排放计算方法

不同的交通工具对化石燃料和用电量的要求不同,其能源利用效率也有所不同。一般情况下,随着旅游距离的增加,能源的消耗量也有所增加。由于大多数旅游调查数据或者面板数据都是针对旅游者的,因此,传统的根据交通容量测算碳排放量的方法并不适用。本文采用“自下而上”法计算旅游者交通碳排放量,计算公式如下:

$$CE = 2 \sum_{i=1}^n (D_{egi} \times V_{egi} + D_{gdi} \times V_{gdi}) \quad (1)$$

式中, n 为景区的游客人数; D_{egi} 为第 i 个游客出游门户与入游门户的距离 (km); V_{egi} 为第 i 个游客到达入游门户选择的交通模式的单位二氧化碳排放系数 (kg/pkm); D_{gdi} 为第 i 个游客入游门户与旅游景区的距离 (km); V_{gdi} 为第 i 个游客从入游门户到达旅游景区选择的交通模式的单位二氧化碳排放系数 (kg/pkm)。

不同交通模式的单位二氧化碳排放系数 V_m 可由下式计算:

$$V_m = \frac{F_m}{E_m \times L_m} \quad (2)$$

式中, V_m 为第 m 类交通模式的单位距离人均二氧化碳排放系数 (kg/pkm); F_m 为第 m 类交通模式每使用单位化石燃料所产生的二氧化碳排放量 (kg/L); E_m 为 i 类交通模式燃油效率 (km/L); L_m 为第 m 类交通模式载荷因子,即单位 m 类交通模式的平均乘客数量。

为了估算旅游景区的碳排放量,首先依据 IPCC2006 指南中的能源消费缺省二氧化碳排放因子确定不同交通工具的单位二氧化碳排放系数。根据公式(2)可知,交通二氧化碳排放量与交通工具载荷因子有关。由于交通工具的载荷因子难以估算,虽然已有学者初步估算了中国旅游业的碳排放总量^[12],但其交通工具分类比较粗略,不能作为单个旅游景区交通碳排放量的估算依据。因此,本文根据国外已有研究,主要参考 Becken^[28] 及 Lin^[3] 等的旅游景区交通碳排放研究,确定了不同交通工具的载荷因子,在此基础上计算不同交通工具的单位公里人均二氧化碳排放系数(表 1)。各类旅游交通模式中,飞机的单位二氧化碳排放量最高,

表 1 不同交通模式单位 CO₂ 排放系数及交通载荷表

Table 1 Load factor and CO₂ emissions intensity for each transport mode

交通方式 Transport mode	单位公里人均 CO ₂ 排放系数 CO ₂ emissions intensity/(kg/pkm)	交通载荷 Average load factor
火车	0.0630	NA
飞机	0.1803	NA
汽车	0.0709	22.8
自驾车	0.0985	2.6
公交车	0.0405	40
自行车	0	NA

大约为公交车的 5 倍。除此之外,自驾车也是单位二氧化碳排放量较高的交通模式,这是由于其交通载荷因子较低,从而导致其人均二氧化碳排放量偏高。

1.2 案例地选择与数据采集

案例地选择九寨沟风景区、西安碑林博物馆和南京珍珠泉风景区等 3 个案例地,选择理由主要包括:(1)结合研究团队的国家自然科学基金项目及实地考察问卷统计,遵循案例研究方法的实用性原则^[29];(2)三个案例地的游客旅行过程体现出差异明显的旅游交通方式,便于比较不同类型案例地的旅游交通碳排放结构和情景分析,遵循案例研究方法的的目的性原则。多年游客跟踪调查显示九寨沟游客的旅游交通工具主要为飞机和火车,西安碑林游客的旅游交通工具则主要为火车,而珍珠泉游客的旅游交通工具则主要为公交车。3 个案例地的旅游地理背景分别如下:

九寨沟位于四川省阿坝藏族羌族自治州九寨沟县境内,是全国重点风景名胜区。九寨沟海拔在 2000 m 以上,属高原湿润气候,沟内分布 108 个湖泊,是集翠海、叠瀑、彩林、雪峰、藏族风情为一体的“童话世界”。1982 年成为国家首批重点风景名胜区,且又被列为国家自然保护区;1992 年被联合国教科文组织纳入《世界自然遗产名录》,1997 年被纳入“人与生物圈”保护网络,2007 年被国家旅游局正式批准为国家 5A 级旅游景区。

西安碑林博物馆位于西安市三学街,是我国古代碑石时间最早、名碑最多的艺术宝库。1961 年被国务院列为全国第一批重点文物保护单位。被誉为“东方文化的宝库”、“世界最古的石刻书库”,是国家 4A 级旅游景区,全国 18 个特殊旅游景观之一。

珍珠泉风景区位于南京市城郊浦口区定山南麓,距南京市中心 11 km。景区依山傍水,属北亚热带湿润季风气候下四季自然景观秀丽的景区。景区以山秀、石美、水丽、泉奇之雅誉著称。目前珍珠泉风景区是南京地区唯一省级旅游度假区。

本研究的调查问卷主要包括旅游者的交通利用方式、旅行距离等内容。研究团队分别于 2011 年 5 月 4—13 日、2010 年 8 月 10—20 日、2010 年 4 月 3—10 日在九寨沟风景区、西安碑林博物馆、南京珍珠泉风景区对旅游者展开分层抽样问卷调查及访谈,以家庭为单位,在选中的游客家庭里随机选择 1 人进行问卷调查,分别回收整理问卷 487 份、505 份、412 份,在 95% 置信水平下,抽样误差分别为 4.3%、4.8%、4.1% (抽样误差均小于 10%)^[30],样本较好的代表了 3 个景区游客的交通状况,因此可以进行下一步的数据统计分析。

2 旅游交通碳排放总量和均衡度结构分析

2.1 旅游交通碳排放总量估算

根据问卷调查中乘坐各类交通工具的游客人数和旅游距离的数据,可以计算 3 个景区的旅游交通碳排放总量。从表 2 计算的结果可知,九寨沟交通碳排放总量最高(CE=654.18 Gg),其次为西安碑林(CE=108.44 Gg),珍珠泉的交通碳排放总量最低(CE=15.92 Gg)。比较 3 个景区的人均交通碳排放量可以发现,九寨沟游客的人均碳排放量高达 391.73 kg,大约为珍珠泉游客的 37 倍。西安碑林游客的人均碳排放量也相对较高,大约为珍珠泉的 20 倍。

表 2 2010 年各景区旅游交通碳排放量表

Table 2 Total CO₂ emissions and average CO₂ emissions for each person of each scenic spot in 2010

景区名称 Scenic spot	2010 年游客入游人次 Tourist number	平均距离 Average distance/km	人均 CO ₂ 排放量 Average CO ₂ emissions/(kg/p)	CO ₂ 总排放量 Total CO ₂ emissions/Gg
九寨沟	1670000	1517	391.73	654.18
西安碑林	500000	1038	216.88	108.44
珍珠泉	150000	76	10.61	15.92

产生上述差异现象的原因是,九寨沟游客数量规模大,世界遗产地和国家 5A 级旅游景区的垄断性吸引力和品牌号召力,使其吸引了来自全国的游客,旅游客源腹地广阔,2010 年的游客入游人次高达 167 万人次。

加上九寨沟景区地处偏僻地区,远离主要客源腹地,旅游交通的平均距离高达 1517 km,旅游可达性偏弱使得接近一半的游客采用单位 CO₂ 排放系数最高的飞机作为主要交通工具(图 1),从而形成了较高的碳排放量。西安碑林因其平均交通距离和游客数量皆小于九寨沟,且各类交通工具的比例相对均衡,故其碳排放量位居第二。而珍珠泉景区市场辐射范围最小,基本集中在南京及周边地区,游客多数选择单位能耗较小的公交车为交通工具,加上游客数量规模较小,因此其碳排放量也相应最低。

2.2 旅游交通碳排放均衡度结构

目前国内旅游交通碳排放研究基本限于碳排放总量的计算,无法反映旅游交通碳排放的空间结构。由于距离累计曲线可以用来描述客源的分段距离结构或客源局部旅游地理结构^[31],因此,采用碳排放人口累计曲线、碳排放距离累计曲线、客源地人口距离累计曲线对旅游交通碳排放空间结构进行综合分析。

碳排放人口累计曲线是以游客个体为不同单元的旅游交通碳排放曲线,是旅游交通碳排放的实际分配曲线,而连接 45° 的对角线是碳排放绝对均衡曲线,如图 2 所示。设碳排放人口累计曲线与绝对公平碳排放分配曲线之间的面积为 A,碳排放人口累计曲线与 OX 轴之间的面积为 B,那么碳排放基尼系数 = $A/(A+B)$ 。碳排放基尼系数可以体现旅游景区交通碳排放结构的均衡度。根据国际惯例,基尼系数在 0.2 以下表示碳排放分配“高度均衡或绝对均衡”;0.2—0.3 之间表示“相对均衡”;0.3—0.4 之间为“一般”;0.4—0.5 为“差距偏大”;0.5 以上为“高度不均衡”。

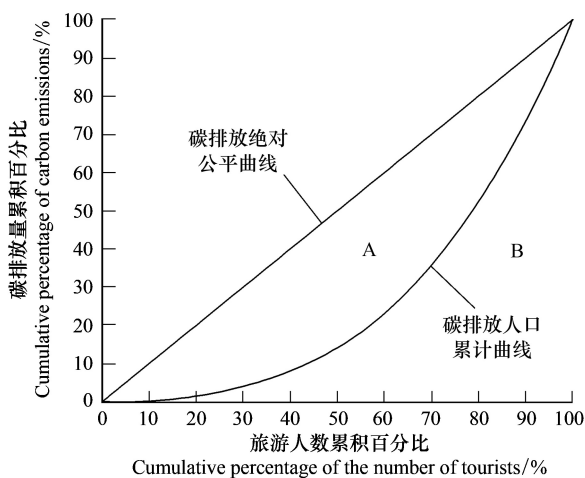


图2 碳排放基尼系数图

Fig. 2 Carbon emissions Gini coefficient

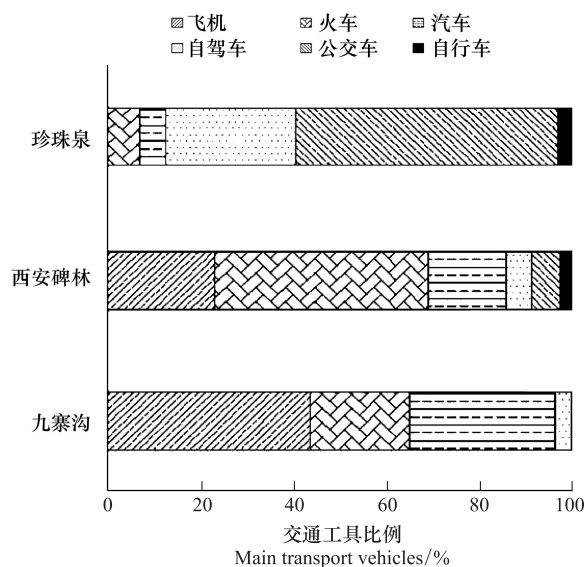


图1 旅游景区游客主要交通工具比例图

Fig. 1 The percentage of main transport vehicles of each scenic spot

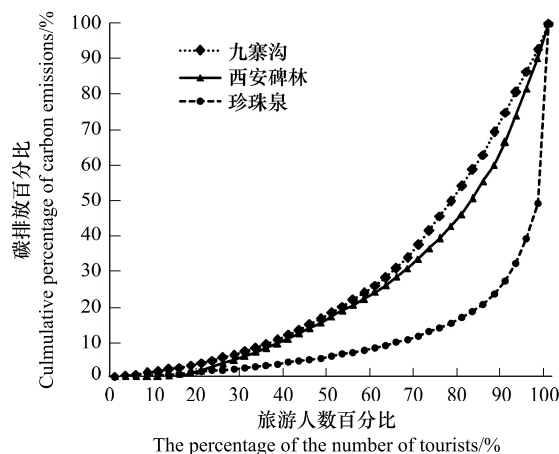


图3 旅游交通碳排放人口累积曲线

Fig. 3 Transportation carbon emissions cumulative curve of tourists

通过计算得到,如图 3 所示,九寨沟、西安碑林、珍珠泉的碳排放基尼系数分别 0.43、0.49 和 0.78,表明 3 个旅游景区交通碳排放结构均衡度都偏低。其中,以珍珠泉游客碳排放量个体间差异最为明显。80% 的游客仅贡献了 17% 的碳排放量,剩余 20% 的游客的贡献率则高达 83%。相比而言,九寨沟、西安碑林前 80% 的游客碳排放比例分别为 55% 和 45%,碳排放结构均衡度远高于珍珠泉,游客个体间的碳排放差异相对较小。

3 旅游交通碳排放空间结构分析

碳排放距离累计曲线体现了旅游距离和旅游交通碳排放的空间结构现状。由图 4 可知,九寨沟、西安碑林、珍珠泉的碳排放距离累计曲线均具有分段性。九寨沟 700—2500 km 范围内的游客贡献了超过 80% 的碳排放量。结合图 5 人口距离累积曲线,可以发现,700—2500 km 范围内的游客比较集中,加上九寨沟景区有接近一半($P=43.74\%$)的游客选择了 CO_2 排放系数最高的飞机作为交通工具,从而导致了这段距离内游客的碳排放贡献率偏高。这个现象说明,飞机这一快速的旅游交通模式,虽然在一定程度上节约了游客的时间成本,但大规模的往返飞行会给整个旅行过程涉及到的环境带来巨大的碳排放压力。这个现象与 Gössling^[11]认为航空业对发展中国家的碳排放影响显著的结论相吻合。

西安碑林碳排放距离累计曲线总体趋势与九寨沟比较相似。交通距离 400—2000 km 范围内的游客的碳排放比例接近 80%,在 2000 km 范围以外,碳排放距离累计曲线趋于平缓。值得注意的是,700—1200 km 曲线出现陡增趋势,这是因为,北京、上海、南京等经济较发达的客源地处于这一范围,游客乘坐飞机的比例较高,因此,其对碳排放总量的贡献率也明显增加。

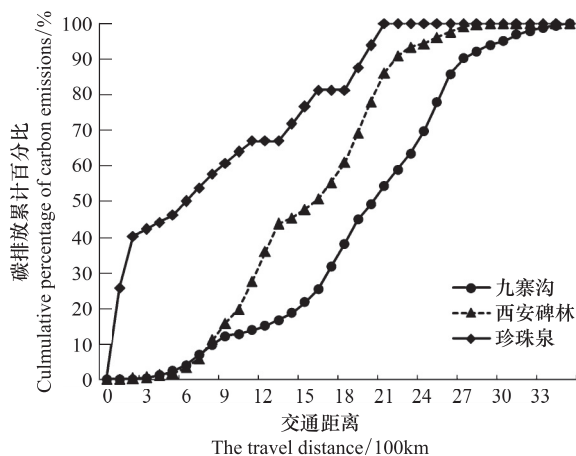


图 4 旅游交通碳排放距离累积曲线

Fig. 4 Transportation carbon emissions cumulative curve of distance

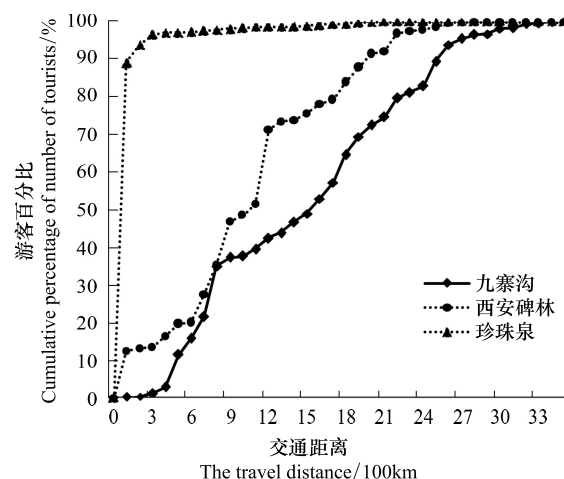


图 5 旅游交通距离人口累积曲线

Fig. 5 Population cumulative curve of distance

与九寨沟和西安碑林相比,珍珠泉的碳排放距离累计曲线则体现了不同碳排放模式。在 0—200 km 范围内,曲线呈现陡增趋势,碳排放量大约为 40%,碳排放贡献率远远超过九寨沟和西安碑林。这是因为这一范围内珍珠泉游客非常集中,比例超过 80% (图 5)。在 200 km 范围以外,随着距离的增长,碳排放比例有稳步增长,但增长趋势明显小于九寨沟和西安碑林。

4 旅游交通碳减排情景分析

一般来说,在分析交通碳排放的影响因素时,学者们通常运用情景分析法。情景分析可以预测一系列减排政策可能取得的节能减排效果,如 El-Fadel^[32]等曾通过情景分析法较为全面的计算了各个因素对黎巴嫩国家交通碳排放的影响。为了探索合理的旅游交通碳减排途径,根据 3 个景区交通工具的使用比例(图 5),假设了 4 个不同的交通情景,分别计算了 3 个景区碳排放的变化量。表 3 中情景 1 是 3 个景区的原始交通碳排放量。情景分析法的前提是各景区的旅游总人数保持不变。

情景 2 估算了 20% 的飞行游客将其交通工具转换为火车时,3 个景区的碳排放减少比例。结果表明,九寨沟由于飞机游客的比例最高($P=43.74\%$),其碳减排效果也最为显著,超过了 10%。西安碑林的碳排放量也有较大幅度的减少,减少比例为 8.34%。而珍珠泉由于飞机游客非常稀少,其碳排放量变化幅度非常小,不超过 2%。

由于自驾车也是 CO_2 排放系数较高的交通工具,因此,情景 3 估算了 20% 的自驾游客将其交通工具转换

为公交车时,3 个景区的碳排放的减少比例。其中,九寨沟和西安碑林碳排放量的下降趋势都非常微弱,均不超过 1%。而珍珠泉由于自驾车比例较高,碳排放的下降趋势比较明显,接近于 5%。

表 3 旅游交通碳排放情景分析表

Table 3 Scenario analysis of CO₂ emissions for the three scenic spots

情景名称 Scenario	情景内容 Description	CO ₂ 排放量与原始情景相比减少比例/% CO ₂ emissions reduction percentage compared with original status (scenario 1)		
		九寨沟 Jiuzhaigou	西安碑林 Xi'an Beilin	珍珠泉 Pearl Spring
情景 1	原始情景	0.00%	0.00%	0.00%
情景 2	20% 飞机游客转为火车	10.49%	8.34%	1.98%
情景 3	20% 自驾车游客转为公交车	0.20%	0.76%	4.50%
情景 4	20% 公交车游客转为自行车	0.00%	0.02%	2.38%
情景 5	交通工具载荷提高 20% (不含火车、飞机)	2.56%	2.72%	13.01%

自行车是未来低碳旅游倡导的交通方式,但由于目前自行车旅游在我国尚未普及,且不宜于长途旅行,因此,情景 4 将 20% 的公交车游客的交通工具转换为自行车,对其减排效用进行了分析。结果显示,仅珍珠泉景区对这一情景有一定的敏感度,碳排放量下降率为 2.38%。

情景 5 估算了交通工具载荷因子提高 20% 时,3 个景区的碳排放减少比例,由此可以分析载荷因子对旅游交通碳排放的效用。由于火车和飞机的乘客数量众多且容量相对固定,载荷因子难以提高,因此在这里只考虑载荷因子对自驾车、汽车、公交车的影响。结果表明,九寨沟和西安碑林的碳排放量有一定减少,减幅大约为 3%。珍珠泉碳排放量则有显著减少,减幅高达 13% 左右。

根据 3 个景区旅游交通碳排放量的计算和情景分析可以发现,不同类型景区的旅游交通碳排放量存在巨大差异,在不同的交通情景下的碳减排效用也有所不同。其根本原因在于不同景区的碳排放空间结构存在差异,各类交通工具所占比例也不尽相同,如图 5 所示。

依据本文的 3 个不同类型的旅游地案例以及其不同的主导旅游交通利用方式,大致将我国旅游景区分为旅游交通平均距离高、旅游交通平均距离中等、旅游交通平均距离偏小 3 个类型,3 个类型的旅游地则相应存在不同的碳减排路径。

(1) 旅游交通平均距离高的旅游景区,由于旅行距离长,游客受时间成本限制,高能耗交通工具使用比例高,目前面临较大的碳减排压力。主要的碳减排途径是降低飞机出行游客比例。通过交通补给及门票优惠,提倡游客低碳出行。同时,可以通过加快我国的高速铁路网建设,缩短大都市之间的时间距离^[33],从而有效冲击航空市场,大幅降低因游客平均旅行距离高而导致的高旅游交通碳排放量。

(2) 旅游交通平均距离中等的旅游景区,各类交通工具比例较为均衡,可以通过适度减少飞机出行游客比例,提高旅游汽车的入座率等途径优化景区交通结构。同时可借鉴国外案例如美国的“灰狗巴士”和日本的“鸽子巴士”中途和长途旅游集散体系建设,促进旅游交通平均距离中等的旅游景区形成绿色低碳的发展模式。

(3) 旅游交通平均距离偏小的旅游景区,虽然目前交通碳排放量小于中等交通距离旅游景区,但由于短途自驾游的盛行,其碳减排的形势也日益严峻。其有效的减排路径是鼓励市民选择公共交通工具和环保交通工具(如自行车)出行,或通过汽车联营等方式提高自驾车的平均载客量,从而减小自驾游对环境带来的碳排放影响。

5 结论与讨论

5.1 结论

当前我国经济社会正处于快速发展期,能源消费持续增长,碳减排的任务刻不容缓。本文探索性的从碳排放空间结构和情景分析的视角,对旅游业中的旅游交通碳排放进行估算和分析。采用自下而上的研究方

法,将研究尺度界定为旅游目的地,案例地选择了游客平均旅行距离和主要旅游交通方式存在显著差异的九寨沟、西安碑林、珍珠泉,研究内容包括碳排放均衡度和空间结构分析、情景分析,主要研究结果包括:(1)九寨沟风景区、西安碑林博物馆、珍珠泉旅游风景区 2010 年旅游交通碳排放总量分别为 654.18,108.44 和 15.92 Gg;(2)不同平均旅游距离的旅游景区的碳排放结构均衡度有所不同,旅游平均距离偏小的旅游景区的碳排放结构最不平衡。同时,旅游景区的交通碳排放在距离上具有分段性。不同平均旅游距离的旅游景区交通碳排放的空间结构具有明显的差异性;(3)通过交通情景分析结果发现,旅游平均距离高和中等的旅游景区对飞机的碳减排敏感度较高,旅游平均距离偏低的旅游景区自驾车的碳减排效果最为明显。

5.2 讨论

由于中国尚未建立温室气体的监控体系,旅游交通工具的载荷因子难以估算,因此,本文主要在参考国外文献的基础上确定旅游交通工具的载荷因子指标。今后我国需要对温室气体动态监控,系统、全面的获取符合我国国情的旅游碳排放相关数据,为中国旅游交通业的碳排放研究提供更为准确的估算和数据支撑。

本文旅游交通碳排放的估算是基于单目的地的旅行过程,今后的研究可扩展到多目的地的旅行过程。多目的地旅游交通过程的碳排放研究所涉及的区域旅游合作减排、旅游碳排放权的合理分配是今后研究的重要课题,这将在以后的研究工作中进一步完善。

References:

- [1] Konan D E, Chan H L. Greenhouse gas emissions in Hawai'i: household and visitor expenditure analysis. *Energy Economics*, 2010, 32(1): 210-219.
- [2] IPCC. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Summary for Policymakers*. Paris: IPCC Secretariat, 2007.
- [3] Lin T P. Carbon dioxide emissions from transport in Taiwan's national parks. *Tourism Management*, 2010, 31(2): 285-290.
- [4] Liu Y H, Ge Q S, He F N, Cheng B B. Countermeasures against international pressure of reducing CO₂ emissions and analysis on China's potential of CO₂ emission reduction. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(7): 675-682.
- [5] World Trade Organization. *International Trade Statistics 2006*. Switzerland, Geneva: World Trade Organization, 2007.
- [6] Carlsson-Kanyama A, Lindén A L. Travel patterns and environmental effects now and in the future: implications of differences in energy consumption among socio-economic groups. *Ecological Economics*, 1999, 30(3): 405-417.
- [7] Becken S, Simmons D G, Frampton C. Energy use associated with different travel choices. *Tourism Management*, 2003, 24(3): 267-277.
- [8] Tabatchnaia-Tamirisa N, Loke M K, Leung P S, Tucker K A. Energy and tourism in Hawaii. *Annals of Tourism Research*, 1997, 24(2): 390-401.
- [9] WTO. *Tourism 2020 Vision: Set of 6 Regional Reports and "Global Forecast and Profiles of Market Segments"*. Madrid: WTO, 2001.
- [10] Becken S, Simmons D G, Frampton C. Energy use associated with different travel choices. *Tourism Management*, 2003, 24(3): 267-277.
- [11] Gössling S, Peeters P, Ceron J P, Dubois G, Patterson T, Richardson R B. The eco-efficiency of tourism. *Ecological Economics*, 2005, 54(4): 417-434.
- [12] Shi P H, Wu P. A rough estimation of energy consumption and CO₂ emission in tourism sector of China. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(2): 235-243.
- [13] Gössling S. Sustainable tourism development in developing countries: some aspects of energy use. *Journal of Sustainable Tourism*, 2000, 8(5): 410-425.
- [14] Gössling S. Global environmental consequences of tourism. *Global Environmental Change*, 2002, 12(4): 283-302.
- [15] Becken S. *Tourism and Transport in New Zealand Implications for Energy Use*. TRREC report no. 54. Lincoln: Lincoln University, 2002.
- [16] Dubois G, Ceron J P. Tourism/leisure greenhouse gas emissions forecasts for 2050: factors for change in France. *Journal of Sustainable Tourism*, 2006, 14(2): 172-191.
- [17] Peeters P, Szimba E, Duijnisveld M. Major environmental impacts of European tourist transport. *Journal of Transport Geography*, 2007, 15(2): 83-93.
- [18] Lumsdon L M. Transport and tourism: cycle tourism-a model for sustainable development? *Journal of Sustainable Tourism*, 2000, 8(5): 361-377.
- [19] Lenzen M. Total requirements of energy and greenhouse gases for Australian transport. *Transportation Research Part D-Transport and Environment*, 1999, 4(4): 265-290.
- [20] Kwon T H. Decomposition of factors determining the trend of CO₂ emissions from car travel in Great Britain (1970—2000). *Ecological Economics*,

2005, 53(2): 261-275.

- [21] Yedla S, Shrestha R M, Anandarajah G. Environmentally sustainable urban transportation-comparative analysis of local emission mitigation strategies vis-à-vis GHG mitigation strategies. *Transport Policy*, 2005, 12(3): 245-254.
- [22] Xi F M, Geng Y, Chen X D, Zhang Y S, Wang X B, Xue B, Dong H J, Liu Z, Ren W X, Fujita T, Zhu Q H. Contributing to local policy making on GHG emission reduction through inventorying and attribution: a case study of Shenyang, China. *Energy Policy*, 2011, 39(10): 5999-6010.
- [23] Peeters P M. *Tourism and Climate Change Mitigation, Methods, Greenhouse Gas Reductions and Policies*. Breda: NHTV, 2007.
- [24] Becken S, Hay J E. *Tourism and Climate Change: Risks and Opportunities*. Clevedon: Channel View, 2007.
- [25] Peeters P. Climate change, leisure-related tourism and global transport // Hall C M, Higham J, eds. *Tourism, Recreation and Climate Change*. Clevedon: Channel View Publications, 2005: 247-259.
- [26] Bao J G, Chu Y F. *Geography of Tourism*. Beijing: Higher Education Press, 2000.
- [27] Lew A A, Mckercher B. Trip destinations, gateways and itineraries: the example of Hong Kong. *Tourism Management*, 2002, 23(6): 609-621.
- [28] Becken S, Simmons D G, Frampton C. Energy use associated with different travel choices. *Tourism Management*, 2003, 24(3): 267-277.
- [29] Veal A J. *Research Methods for Leisure and Tourism: A Practical Guide*. London: Pearson Professional, 1997.
- [30] Zhen J, Lu H P. Sample survey methods for tourism transportation. *Central South Highway Engineering*, 2007, 32(2): 180-185.
- [31] Zhang J, Du J K, Zhou Y K, Zhang S Y, Pan B. Spatial structure of tourist source areas for the naturally scenic sightseeing places: A case study of Jiuzhaigou. *Acta Geographica Sinica*, 1999, 54(4): 357-364.
- [32] El-Fadel M, Bou-Zeid E. Transportation GHG emissions in developing countries: the case of Lebanon. *Transportation Research Part D-Transport and Environment*, 1999, 4(4): 251-264.
- [33] Zhong S E, Zhang J, Li X. A reformulated directional bias of tourist flow. *Tourism Geographies*, 2011, 13(1): 129-147.

参考文献:

- [4] 刘燕华, 葛全胜, 何凡能, 程邦波. 应对国际 CO₂ 减排压力的途径及我国减排潜力分析. *地理学报*, 2008, 63(7): 675-682.
- [12] 石培华, 吴普. 中国旅游业能源消耗与 CO₂ 排放量的初步估算. *地理学报*, 2011, 66(2): 235-243.
- [26] 保继刚, 楚义芳. *旅游地理学*. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [30] 郑捷, 陆化普. 旅游交通抽样调查研究. *中南公路工程*, 2007, 32(2): 180-185.
- [31] 张捷, 都金康, 周寅康, 张思彦, 潘冰. 自然观光旅游地客源市场的空间结构研究——以九寨沟及比较风景区为例. *地理学报*, 1999, 54(4): 357-364.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 23 December, 2012 (Semimonthly)
CONTENTS

Maternal thermoregulation during gestation affects the phenotype of hatchling Chinese skinks (<i>Eumeces chinensis</i>): testing the maternal manipulation hypothesis	LI Hong, ZHOU Zongshi, WU Yanqing, et al (7255)
Effects of conspecific and interspecific interference competitions on cache site selection of Siberian chipmunks (<i>Tamias sibiricus</i>)	SHEN Zhen, DONG Zhong, CAO Lingli, et al (7264)
Characterization of ammonia volatilization from polluted river under aeration conditions: a simulation study	LIU Bo, WANG Wenlin, LING Fen, et al (7270)
Diurnal activity patterns and environmental factors on behaviors of Bar-headed Geese <i>Anser indicus</i> wintering at Caohai Lake of Guizhou, China	YANG Yanfeng, ZHANG Guogang, LU Jun, et al (7280)
Impacts of snow cover change on soil water-heat processes of swamp and meadow in Permafrost Region, Qinghai-Tibetan Plateau	CHANG Juan, WANG Gengxu, GAO Yongheng, et al (7289)
Spatial-temporal changes of urban patch wetlands in Changsha, China	GONG Yingbi, JING Lei, PENG Lei, et al (7302)
Modeling of carbon and water fluxes of Qianyanzhou subtropical coniferous plantation using model-data fusion approach	REN Xiaoli, HE Honglin, LIU Min, et al (7313)
Ecological compensation standard for controlling nitrogen non-point pollution from farmland: a case study of Yixing City in Jiang Su Province	ZHANG Yin, ZHOU Yuchen, SUN Hua (7327)
Static toxicity evaluation of chemical wastewater by PFU microbial communities method	LI Zhaoxia, ZHANG Yuguo, LIANG Huixing (7336)
Emergy evaluation of an agro-circulation system in Beijing suburb: take Jianyan village as a case study	ZHOU Liandi, HU Yanxia, WANG Yazhi, et al (7346)
Research on the cooling effect of Xi'an parks in summer based on remote sensing	FENG Xiaogang, SHI Hui (7355)
The dynamics of spatial and temporal changes to forested land and key factors driving change on Hainan Island	WANG Shudong, OUYANG Zhiyun, ZHANG Cuiping, et al (7364)
Impact of different sowing dates on green water footprint of maize in western Jilin Province	QIN Lijie, JIN Yinghua, DUAN Peili (7375)
The dynamic variation of maize (<i>Setaria mays</i> L.) population growth characteristics under cultivars-intercropped on the Loess Plateau	WANG Xiaolin, ZHANG Suiqi, WANG Shuqing, et al (7383)
Effect of different planting methods on root-shoot characteristics and grain yield of summer maize under high densities	LI Zongxin, CHEN Yuanquan, WANG Qingcheng, et al (7391)
Heavy metal contaminant in development process of artificial biological Soil Crusts in sand-land	XU Jie, AO Yanqing, ZHANG Jingxia, et al (7402)
Effects of enhanced UV-B radiation and nitrogen on photosynthetic pigments and non-enzymatic protection system in leaves of foxtail millet (<i>Setaria italica</i> (L.) Beauv.)	FANG Xing, ZHONG Zhangcheng (7411)
Photosynthetic response of different ecotype of <i>Illicium lanceolatum</i> seedlings to drought stress and rewating	CAO Yonghui, ZHOU Benzhi, CHEN Shuanglin, et al (7421)
Seasonal variations in the stems of <i>Larix principis-rupprechtii</i> at the treeline of the Luya Mountains	DONG Manyu, JIANG Yuan, WANG Mingchang, et al (7430)
Influence of terrain on plant biomass estimates by remote sensing: a case study of Guangzhou City, China	SONG Weiwei, GUAN Dongsheng, WANG Gang (7440)
Effects of exponential fertilization on biomass allocation and root morphology of <i>Catalpa bungei</i> clones	WANG Lipeng, YAN Ziyi, LI Jiyue, et al (7452)
Effects of fire damages on <i>Larix gmelinii</i> radial growth at Tahe in Daxing'an Mountains, China	WANG Xiaochun, LU Yongxian (7463)
A model for water consumption by mountain jujube pear-like	XIN Xiaogui, WU Pute, WANG Youke, et al (7473)
Specificity of photosystems function change of two kinds of overwintering broadleaf evergreen plants	ZHONG Chuanfei, ZHANG Yuntao, WU Xiaoying, et al (7483)

- Effects of drought on fluorescence characteristics of photosystem II in leaves of *Ginkgo biloba* WEI Xiaodong, CHEN Guoxiang, SHI Dawei, et al (7492)
- Numerical classification and ordination of forest communities in habitat of Sichuan Snub-nosed Monkey in Hubei Shennongjia National Nature Reserve LI Guangliang, CONG Jing, LU Hui, et al (7501)
- Impact of inorganic anions on the cadmium effective fraction in soil and its phytoavailability during salinization in alkaline soils WANG Zuwei, YI Liangpeng, GAO Wenyan, et al (7512)
- Photosynthetic adaptability of the resistance ability to weak light of 2 species *Spiraea* L. LIU Huimin, MA Yanli, WANG Baichen, et al (7519)
- Fine root longevity and controlling factors in a *Phoebe Bournei* plantation ZHENG Jinxing, HUANG Jinxue, WANG Zhenzhen, et al (7532)
- Analysis on spatial structure and scenarios of carbon dioxide emissions from tourism transportation XIAO Xiao, ZHANG Jie, LU Junyu, et al (7540)
- The hydrological response to human activities in Guishui River Basin, Beijing LIU Yuming, ZHANG Jing, WU Pengfei, et al (7549)
- Socio-economic impacts of under-film drip irrigation technology and sustainable assessment: a case in the Manas River Basin, Xinjiang, China FAN Wenbo, WU Pute, MA Fengmei (7559)
- Effects of pattern and timing of high temperature exposure on the mortality and fecundity of *Aphis gossypii* Glover on cotton GAO Guizhen, LÜ Zhaozhi, XIA Deping, et al (7568)
- Physiological responses of *Eucalyptus* trees to infestation of *Leptocybe invasa* Fisher & La Salle WU Yaojun, CHANG Mingshan, SHENG Shuang, et al (7576)
- Carbon storage capacity of a *Betula alnoides* stand and a mixed *Betula alnoides* × *Castanopsis hystrix* stand in Southern Subtropical China: a comparison study HE Youjun, QIN Lin, LI Zhiyong, et al (7586)
- Distribution and ecological risk assessment of 7 heavy metals in urban forest soils in Changsha City FANG Xi, TANG Zhijuan, TIAN Dalun, et al (7595)
- Review and Monograph**
- The relationship between humans and the environment at the urban-rural interface: research progress and prospects HUANG Baorong, ZHANG Huizhi (7607)
- Flux footprint of carbon dioxide and vapor exchange over the terrestrial ecosystem: a review ZHANG Hui, SHEN Shuanghe, WEN Xuefa, et al (7622)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,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,300 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 32 卷 第 23 期 (2012 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 23 (December, 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