

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

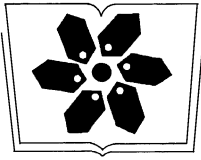
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第17期 Vol.32 No.17 **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 17 期 2012 年 9 月 (半月刊)

目 次

基于生物生态因子分析的长序榆保护策略.....	高建国,章 艺,吴玉环,等	(5287)
闽江口芦苇沼泽湿地土壤产甲烷菌群落结构的垂直分布.....	余晨兴,仝 川	(5299)
涡度相关观测的能量闭合状况及其对农田蒸散测定的影响.....	刘 渡,李 俊,于 强,等	(5309)
地下滴灌下土壤水势对毛白杨纸浆林生长及生理特性的影响.....	席本野,王 焯,邸 楠,等	(5318)
绿盲蝽危害对枣树叶片生化指标的影响.....	高 勇,门兴元,于 毅,等	(5330)
湿地资源保护经济学分析——以北京野鸭湖湿地为例.....	王昌海,崔丽娟,马牧源,等	(5337)
湿地保护区周边农户生态补偿意愿比较.....	王昌海,崔丽娟,毛旭锋,等	(5345)
湿地翅碱蓬生物量遥感估算模型.....	傅 新,刘高焕,黄 翀,等	(5355)
增氮对青藏高原东缘典型高寒草甸土壤有机碳组成的影响.....	郑娇娇,方华军,程淑兰,等	(5363)
大兴安岭 2001—2010 年森林火灾碳排放的计量估算.....	胡海清,魏书精,孙 龙	(5373)
基于水分控制的切花百合生长预测模型.....	董永义,李 刚,安东升,等	(5387)
极端干旱区增雨加速泡泡刺群落土壤碳排放.....	刘殿君,吴 波,李永华,等	(5396)
黄土丘陵区土壤有机碳固存对退耕还林草的时空响应.....	许明祥,王 征,张 金,等	(5405)
小兴安岭 5 种林型土壤呼吸时空变异.....	史宝库,金光泽,汪兆洋	(5416)
疏勒河上游土壤磷和钾的分布及其影响因素.....	刘文杰,陈生云,胡凤祖,等	(5429)
COII 参与茉莉酸调控拟南芥吲哚族芥子油苷生物合成过程.....	石 璐,李梦莎,王丽华,等	(5438)
Gash 模型在黄土区人工刺槐林冠降雨截留研究中的应用.....	王艳萍,王 力,卫三平	(5445)
三峡水库消落区不同海拔高度的植物群落多样性差异.....	刘维擘,王 杰,王 勇,等	(5454)
基于 SPEI 的北京低频干旱与气候指数关系.....	苏宏新,李广起	(5467)
山地枣树茎直径对不同生态因子的响应.....	赵 英,汪有科,韩立新,等	(5476)
幼龄柠条细根的空间分布和季节动态.....	张 帆,陈建文,王孟本	(5484)
山西五鹿山白皮松群落乔灌层的种间分离.....	王丽丽,毕润成,闫 明,等	(5494)
长期施肥对玉米生育期土壤微生物量碳氮及酶活性的影响.....	马晓霞,王莲莲,黎青慧,等	(5502)
基于归一化法的小麦干物质积累动态预测模型.....	刘 娟,熊淑萍,杨 阳,等	(5512)
上海环城林带景观美学评价及优化策略.....	张凯旋,凌焕然,达良俊	(5521)
旅游风景区旅游交通系统碳足迹评估——以南岳衡山为例.....	窦银娣,刘云鹏,李伯华,等	(5532)
一种城市生态系统现状评价方法及其应用.....	石惠春,刘 伟,何 剑,等	(5542)
黄海中南部细纹狮子鱼的生物学特征及资源分布的季节变化.....	周志鹏,金显仕,单秀娟,等	(5550)
蓝藻堆积和螺类牧食对苦草生长的影响.....	何 虎,何宇虹,姬娅婵,等	(5562)
黑龙江省黄鼬冬季毛被分层结构及保温功能.....	柳 宇,张 伟	(5568)
虎纹蛙选择体温和热耐受性在个体发育过程中的变化.....	樊晓丽,雷焕宗,林植华	(5574)
水丝蚓对太湖沉积物有机磷组成及垂向分布的影响.....	白秀玲,周云凯,张 雷	(5581)
专论与综述		
城市绿地生态评价研究进展.....	毛齐正,罗上华,马克明,等	(5589)
全球变化背景下生态学热点问题研究——第二届“国际青年生态学者论坛”.....	万 云,许丽丽,耿其芳,等	(5601)
研究简报		
雅鲁藏布江高寒河谷流动沙地适生植物种筛选和恢复效果.....	沈渭寿,李海东,林乃峰,等	(5609)
学术信息与动态		
生态系统服务时代的来临——第五届生态系统服务伙伴年会述评.....	吕一河,卫 伟,孙然好	(5619)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 334 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 36 * 2012-09



封面图说: 带雏鸟的白枕鹤一家——白枕鹤是一种体型略小于丹顶鹤的优美的鹤。体羽蓝灰色,腹部较深,背部较浅,脸颊两侧红色,头和颈的后部及上背为白色,雌雄相似。其虹膜暗褐色,嘴黄绿色,脚红色。白枕鹤常常栖息于开阔平原芦苇沼泽和水草沼泽地带,有时亦出现于农田和海湾地区,尤其是迁徙季节。主要以植物种子、草根、嫩叶和鱼、蛙、软体动物、昆虫等为食。繁殖区在我国北方和西伯利亚东南部。我国白枕鹤多在黑龙江、吉林、内蒙古繁殖,与丹顶鹤的繁殖区几乎重叠,为国家一级保护动物。

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

DOI: 10.5846/stxb201110011445

窦银娣, 刘云鹏, 李伯华, 刘沛林. 旅游风景区旅游交通系统碳足迹评估——以南岳衡山为例. 生态学报, 2012, 32(17): 5532-5541.

Dou Y D, Liu Y P, Li B H, Liu P L. Carbon footprint evaluation research on the tourism transportation system at tourist attractions: a case study in Hengshan. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(17): 5532-5541.

旅游风景区旅游交通系统碳足迹评估 ——以南岳衡山为例

窦银娣¹, 刘云鹏², 李伯华^{1,*}, 刘沛林¹

(1. 衡阳师范学院 资源环境与旅游管理系, 衡阳 421008; 2. 贵州师范大学 地理与环境科学学院, 贵阳 550001)

摘要:随着全国各地旅游业的蓬勃发展, 旅游风景区内碳排放总量不断攀升, 严重影响了旅游业的可持续发展。选择南岳衡山旅游风景区为典型案例区, 运用生命周期评价理论, 构建了南岳风景区旅游交通系统碳足迹计算模型。结果表明: ①从总量来看, 不同类型交通方式的碳足迹情况相差甚远。公路旅游交通对旅游景区的环境威胁最大, 碳足迹总量是索道旅游交通的 2.6 倍, 人行道旅游交通的 46.1 倍; ②从阶段构成来看, 公路和索道旅游交通系统运营使用阶段碳足迹占整个生命周期的大部分, 所占比率分别为 79% 和 96%。而人行道旅游交通系统中建造施工和运营后期阶段能源消耗比较大; ③从来源构成来看, 在使用期内公路旅游交通的碳足迹比重最大, 约占碳足迹总量的 71%, 其次是索道旅游交通占 27%, 人行道旅游交通仅占 2%。研究结果有利于实现旅游风景区低碳旅游发展目标, 为旅游风景区节能减排提供理论支撑。

关键词:旅游交通系统; 生命周期; 碳足迹; 旅游风景区; 衡山

Carbon footprint evaluation research on the tourism transportation system at tourist attractions: a case study in Hengshan

DOU Yindi¹, LIU Yunpeng², LI Bohua^{1,*}, LIU Peilin¹

1 Department of Geography & Tourism Management, Hengyang Normal University, Hengyang 421008, China

2 School of Geographic and Environmental Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China

Abstract: In recent years, there has been large-scale development in tourism in China. It is difficult to achieve sustainable development of the tourism industry because of increasing carbon emissions associated with tourist attractions. In this article, we focused on Hengshan as the case study and applied a life cycle evaluation theory to construct a carbon footprint calculation model of the tourism transportation system at a scenic spot in Hengshan. The following results were obtained: first, in terms of total volume, different types of transportation have different carbon footprints. The most energy-expensive method of reaching tourist attractions is tourist highways, which have a carbon footprint that is 2.6 times that of tourist cableways and 46.1 times that of tourist walkways. Second, in terms of the stages in which the carbon footprint is distributed, the majority of the carbon footprint of tourist highways (79%) and tourist cableways (96%) is in the operation and use stage of the life cycle. For tourist walkways, most of the energy consumption is at the construction and the later operation stages. Third, in terms of source constitution, the carbon footprint of tourist highways occupies the largest proportion (about 71%) during its useful life, followed by tourist cableways (27%) and tourist walkways (2%). The model described in this article will not only help to achieve the goals of low-carbon tourism development, but will also provide the theoretical support for saving energy and reducing emissions at tourist attractions. The following suggestions are

基金项目:国家自然科学基金项目(41101163); 教育部人文社科青年基金项目(12YJC630039); 湖南省社会科学规划项目(2010YBB029); 衡阳市社会科学基金项目(2011C030); 衡阳师范学院青年项目(10A39)

收稿日期: 2011-10-01; 修订日期: 2012-06-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: libeny_2058@yahoo.com.cn

proposed; first, it is important to increase awareness of low-carbon tourism, taking into account the transportation preferences of travelers and advocating a comprehensive means of tourist transport. Second, combined with the characteristics of the tourism infrastructure, some caution is needed when selecting low-carbon vehicles. Different types of transportation use different types of energy and have different energy consumption coefficients. Therefore, the vehicles that are most appropriate for local conditions should be selected. For the scenic spot in Hengshan, we suggest that the most appropriate vehicle is the Golden Dragon Type KLQ6702, which has a smaller carbon footprint per day than the Toyota COASTER (a ratio of approximately 1:7.2). Third, it would be advantageous to improve the energy efficiency of the other operation mechanisms at tourist attractions, and accelerate the pace of adopting low-carbon tourist transport. Optimal operation mechanisms for tourist transport can greatly reduce greenhouse gas emissions. Therefore, we need to explore new, more flexible combinations of transport systems and operations to achieve sustainable development of tourism in China.

Key Words: tourism transportation system; life cycle; carbon footprint; tourist attractions; Hengshan

自 20 世纪 70 年代以来,区域气候变暖已经成为全世界各领域关注的焦点,大多数学者认为温室效应加剧是造成全球变暖的重要原因,人类活动则是加剧温室效应的重要驱动因子。显然,旅游活动也不例外,据世界旅游组织统计,旅游活动所涉及的交通运输、住宿及其他相关服务活动所产生的温室气体占全球温室气体排放总量的 4%—6%,若不采取环保节约措施,在未来的 30a 内,其温室气体排放总量将增加 1.5 倍^[1]。因此,如何应对全球变暖已成为旅游业面临的重要课题,国内外旅游研究者也开始从多视角探索旅游活动过程中碳排放量的测算和低碳旅游的实现模式,“碳足迹”概念的提出为旅游活动中碳排放量的测算提供了新方法。

碳足迹起源于生态足迹,是指人类活动过程直接或间接所排放的 CO₂ 或者其他造成温室效应的气体。自其概念提出以来就广泛应用于各领域,其中工业、交通、建筑等领域是人们关注的焦点,尤其是作为碳排放大户——交通领域引起了学者们的强烈关注。据气候和环境研究中心研究报告指出,过去 10a 全球 CO₂ 排放总量增加了 13%,而源自交通工具的碳排放增长率却达到 25%。国内外学者对交通领域的碳足迹进行了系列分析,如 Larsen^[2] 等研究了挪威松恩菲尤拉讷郡公共服务的碳足迹,发现大部分的碳排放是因交通服务而产生的;Sgouridis^[3] 等从技术和政策层面分析了减轻航空运输碳排放的政策和战略;Piecyk^[4] 等预测了英国 2020 年物流货运的碳足迹,并分析其影响因素;Huang^[5] 等研究了英国道路的原料在生命周期内的 CO₂ 排放量;美国国际实验室研究了不同类型汽车生命周期内温室气体的排放;张亮^[6] 等研究了不同汽车燃料的碳排放量;胡莹菲^[7] 等研究了厦门城市交通的碳足迹,发现快速交通所产生的碳足迹明显低于其他普通公交出行系统。然而,上述研究偏向交通活动的某一方面,对整个交通系统(如不同类型交通系统生命周期碳排放情况)的宏观层面研究较少。

长期以来,人们一直认为旅游业是无污染行业,在旅游风景区中大肆修建机动车道路,开发缆车索道交通线路等。然而,随着世界各地旅游业的蓬勃发展,旅游风景区中机动车能源消耗越来越大,碳排放总量也不断攀升,成为全球温室效应气体排放的重要因子。面对挑战,国内外旅游界同仁积极应对,探讨了低碳旅游可持续发展模式和实现途径。Filimonau^[8] 从生命周期模型角度分析了酒店住宿业的碳足迹,并提出了如何进一步提高酒店能源效率,降低碳足迹;Kuo^[9] 利用生命周期模型定量分析了海岛旅游的能源消耗及环境效应;Xu^[10] 对世界自然与文化遗产区域低碳旅游路径进行了模拟分析;汪宇明认为必须站在战略高度倡导低碳旅游,全面推进旅游发展方式转型,在旅游交通、旅游酒店、旅游餐饮、旅游景区等旅游者最集中的层面或空间,率先提出节能减排规划指标^[11]。石培华、吴普等系统的汇总了国内外旅游业节能减排与低碳发展的政策技术体系和运作模式,并初步测算了我国旅游业能源消耗和碳排放量^[12-14]。李鹏^[15]、王立国^[16] 等人分别测算了云南酒店住宿产品和江西省旅游业的碳足迹。此外,明庆忠、李庆雷、罗芬等人对低碳旅游和节能减排进行了开拓性研究^[17-18]。尽管如此,关于旅游行业节能减排潜力和碳排放问题依然没有引起足够的重视,国内外

相关研究成果不多,特别是旅游风景区交通系统碳足迹研究尚未见报道。本文通过建立旅游风景区旅游交通系统碳排放的生命周期模型,对南岳风景区旅游交通系统的碳足迹进行定量研究。研究结果不仅有利于实现旅游风景区低碳旅游发展目标,也为政府制定旅游开发和生态补偿政策以及旅游风景区节能减排提供理论支撑。

1 研究方法

关于碳足迹定义,不少学者倾向于从生命周期的角度出发,强调分析产品从摇篮到坟墓全过程中间接或直接相关的碳排放活动。其研究方法主要分为两类,即“自下而上”的产品生命周期模型和“自上而下”的投入产出模型^[19-20]。两种分析模型均有自身优缺点,产品生命周期模型通过范围确定、清单分析、影响评价和结果解释等几个步骤,可以得出该产品从加工前、中、后总共产生的碳足迹。该方法计算过程清晰,方法简单,因而得到广泛应用。缺点在于产品周期的边界难以确定,原始数据难以获取;投入产出模型是借鉴经济学分析方法,建立经济投入产出——生命周期评价模型,该模型计算分为3个阶段,即直接碳排放量计算阶段、间接碳排放量计算阶段和其他间接碳排放量计算阶段。缺点在于该模型仅仅是采用行业数据,对内部产品碳排放量只是基本的估算,且对数据要求很高,实际使用率不高。因此,本文将以景区内不同类型交通系统为研究对象,采用产品生命周期模型,构建整个旅游交通系统碳足迹的分析框架。

1.1 范围确定

国外学者根据多年研究成果,将服务依据其运作方式划分为 α 、 β 、 γ 三种类型,被学术界广泛应用^[21]。旅游交通服务作为以顾客前往固定服务设施为特征的服务,应被归纳为 α 型服务,其生命周期可分为材料生产期、建造施工期、运营使用期、运营后期4个阶段,其碳足迹也产生于这4个阶段。材料生产期碳足迹主要考虑与旅游交通基础设施(包括车站、停车场、道路等设施)建设相关的原材料生产及交通工具建造等过程中所产生的温室气体。建造施工期主要考虑旅游交通基础设施建设过程中,原材料的运输、施工以及施工废弃物处理的温室气体排放。运营使用期主要考虑风景区内各种基础设施的正常使用以及交通工具运营期间所产生的温室气体。运营后期则主要考虑基础设施以及交通工具破坏拆除和废弃物处理的过程中所产生的温室气体。

旅游交通服务是一个特殊而又复杂的产品,本研究将限定在以下范围:(1)主要测度旅游风景区内部旅游交通系统服务过程中产生的碳足迹,不考虑景区外为游客提供的其他旅游交通服务;(2)只考虑旅游交通服务中能源及物质消耗所产生的碳足迹,不考虑交通提供的其他服务(如办公)所产生的碳足迹,对其资源消耗(如土地资源、水资源等)不做详细考虑;(3)温室气体主要包括 CO_2 、 CH_4 、 CO 、 N_2O 、 CFC_s 等,由于 CO_2 的绝对含量远远大于其他温室气体的含量,因而本研究针对温室气体的排放量主要考虑 CO_2 的排放量;(4)旅游交通系统的使用年限受其各类型交通方式子系统的使用年限限制,因此,本研究将采用各子系统中使用年限最长的类型确定为旅游交通整体系统的使用年限。

为便于本研究的有序进行,在研究过程中做出以下假设:(1)由于所需数据的有限性,本研究只考虑旅游交通系统提供服务的直接消耗,不考虑其整个生命周期内劳动力的消耗以及日常维修中产生的碳足迹;(2)关于物质消耗,由于所用材料在种类及其规格上都较为复杂,用量不等,本文假定不同种类的材料其规格均视为该种类普通类型材料,并以其总量进行计算;(3)对于物质的重新利用所产生的碳足迹,应划入下一轮生命周期,本文视具体情况考虑;(4)因旅游交通系统各交通工具开始运行的年份不一,本文假定其于同一年投入使用;(5)功能单位的确定在生命周期评价过程中较为重要,为了使评价工作更好的开展,本研究功能单位统一确定为吨。

1.2 清单分析

从旅游交通服务4个阶段的划分来看,旅游交通是一个输入输出系统,在其各个阶段中能产生一定的温室气体,从而形成碳足迹(表1)。据相关资料显示,温室气体主要产生于能源、物质、资源等消耗以及废弃物处理过程中^[15],但就旅游交通服务而言,则主要来源于物质能源消耗、废弃物排放。

表 1 旅游交通生命周期碳足迹清单分析

Table 1 Inventory analysis of carbon footprint during the tourism transportation life cycle

阶段 Stage	清单分析 Inventory analysis	数据获取 Data acquisition
材料生产 Production period	交通工具生产(汽车、缆车等)所需材料 基础设施建设(道路、人行道、索道等)所需材料,如水泥、钢材、石头、沙等	难以测量 计算
建筑施工 Construction period	交通工具组装耗能 各施工方式耗能情况(材料运输、场地平整、基础开挖、临时供电等)	难以测量 估算
运营使用 Using period	交通工具、基础设施日常维修所耗材料及能耗 交通工具正常运营所耗能耗(汽油、柴油、电力等)	难以测量 计算
运营后期 Latter operation period	交通工具破坏拆除所耗能耗 基础设施破坏拆除所耗能耗	难以测量 估算

1.3 碳足迹计算模型

根据旅游交通服务碳足迹产生的 4 个阶段,即材料生产期、建筑施工期、运营使用期、运营后期,可将旅游交通系统生命周期内总碳足迹计算模型设计为:

$$M = \sum_{i=1}^n M_i + M'_i \quad (1)$$

$$M_i = M_{i1} + M_{i2} + M_{i3} + M_{i4} \quad (2)$$

式中, M 指旅游交通系统生命周期内总碳足迹(kg), M_i 指旅游交通系统内 i 型交通方式子系统生命周期碳足迹(kg); M'_i 指 i 型交通方式子系统在整个旅游交通系统中重新投入使用中产生的碳足迹(kg); n 为旅游交通系统内交通方式的种类数; $M_{i1}, M_{i2}, M_{i3}, M_{i4}$, 分别指 i 型交通方式子系统材料生产期、建造施工期、运营使用期和运营后期产生的碳足迹(kg);

(1) 材料生产期 材料生产期内温室气体的排放主要是指旅游交通系统建设中各类材料在其生产过程中所产生的温室气体。为了方便研究,先将其转化为能量消耗。因各材料在其生产过程中的能量来源难以确定,将能量消耗统一转换为煤耗量,再依据每千克煤在平均燃烧率为 80% 前提下燃烧过程中释放的 CO_2 进行计算^[22]。

$$M_{i1} = \sum_{j=1}^n M_j \times P \quad (3)$$

式中, M_{i1} 为材料生产期产生的碳足迹(kg); M_j 为 j 类材料的使用总量(包括材料在建设过程的废弃量); n 为材料种类数; P 为单位材料 i 生产 CO_2 排放量(kg)。

(2) 建造施工期 建造施工期的碳足迹主要来源于该阶段能源消耗及废弃物处理。为使计算更为精确,本文将从能源消耗及废弃物处理两方面进行考虑。

$$M_{i2} = M_R + M_P \quad (4)$$

式中, M_{i2} 为建造施工期产生的碳足迹(kg); M_R 为建造施工期能源消耗产生的碳足迹(kg); M_P 为建造施工期废弃物处理产生的碳足迹(kg)。

能源消耗方面,从不同施工方法出发,根据单位施工面积能源消耗所产生的二氧化碳排放量进行计算,单位施工能耗以参考文献^[23]中的数据为标准值。

$$M_R = \sum_{r=1}^n A_r \times C_r \quad (5)$$

式中, M_R 为能源消耗产生的碳足迹(kg); n 为施工方法种类数; A_r 为 r 类施工方法总施工面积; C_r 为 r 类施工方法单位施工面积所产生的 CO_2 排放量。

废弃物处理方面,则先根据废弃物处理方式所使用的能源消耗量,结合其能源碳排放系数进行碳排放量的计算,再利用国际公认的计算公式($M_{\text{CO}_2} = M_C \times 44/12$)进行碳足迹转换。

(3) 运营使用期 运营使用期的碳足迹主要来源于交通工具的运营及期间产生的生活垃圾。

$$M_{i3} = M_C + M_B \quad (6)$$

式中, M_{i3} 为运营使用期产生的碳足迹(kg); M_C 为运营使用期生活垃圾产生的碳足迹(kg); M_B 为运营使用期交通工具运营产生的碳足迹(kg)。

生活垃圾产生的碳足迹根据碳足迹计算器获取; 交通工具运营产生的碳足迹, 则先根据下式计算出交通工具运营时碳排放量^[7], 再根据国际公认的转换公式($M_{CO_2} = M_C \times 44/12$)得出碳足迹。

$$M_C = D \times L \times a \times w \quad (7)$$

式中, M_C 为交通工具出行的碳排量(kg); D 为交通工具运营距离(km); L 为交通工具的实际油耗(L/km); a 为燃油密度(kg/L); w 为燃油中碳的比重(%)。

(4) 运营后期 运营后期的碳足迹主要考虑系统破坏拆除、废材料处理过程中能耗情况。

$$M_{i4} = M_D + M_T \quad (8)$$

式中, M_{i4} 为运营后期产生的碳足迹(kg); M_D 为运营后期破坏拆除产生的碳足迹(kg); M_T 为运营后期废材料处理产生的碳足迹(kg)。

破坏拆除能耗由拆除施工方法决定, 而根据各部分结构的不同, 拆除施工方法也存在一定差异。一般土木结构采用人力或机械拆除, 钢筋混凝土结构采用爆破或机械拆除, 钢结构采用人工解体等。由于各拆除施工方法的能耗难以估算, 国内有学者提出拆除能耗按建造能耗的 90% 计算^[23], 本文将采用这一标准计算。而废材料处理则主要考虑其运输过程中产生的碳足迹。

2 实证分析

2.1 研究区域概况

南岳衡山为我国五岳名山之一, 素以五岳独秀、宗教圣地、文明奥区、中华寿岳著称于世。现为国家级重点风景名胜区、全国文明风景旅游区示范点和国家 AAAAA 级旅游区。自 2006 年来, 为运作“泰山扩展四岳申遗”, 准备申请世界文化与自然遗产, 进行了环境综合治理。2010 年 8 月提出了“保护千古名山, 发展低碳旅游”思路, 并首先从推行环保香开始, 标志着南岳旅游风景区发展思路的重大转变。南岳风景区旅游交通系统由索道、公路、人行道三大子系统组成, 其使用年限、道路里程等相关情况如表 2 所示。

表 2 南岳风景区旅游交通各子系统情况

Table 2 Subsystem of tourism transportation in Hengshan scenic spot

名称 Name	交通工具 Vehicles	道路里程/km Road mileage	使用年限 ^② /a Service life
公路 Highways	公交车、私家车 ^①	25.5	10
索道 Cableways	缆车	1.7108	23
人行道 Walkways	—	31	6

①私家车主要是指景区内居民家用车, 由于其为游客提供一定的旅游服务, 本文将将其纳入研究范围; ②使用年限根据景区内实际情况进行确定, 是指大规模维修周期

2.2 数据来源

据南岳区旅游局统计资料分析, 该景区 11 月份至翌年 4 月份为旅游淡季, 5 月份至 10 月份为旅游旺季。因此, 为了全面的、客观的反映南岳旅游风景区 1a 内旅游交通系统的碳足迹, 本项目合作成员于 2010 年 4 月至 2010 年 6 月间对该景区进行淡旺季实地跟踪调查, 并获取景区内不同交通方式运营情况。其中, 材料生产期的材料使用清单和消耗量由南岳区公路局、建设局、索道公司提供; 建造施工期建设项目和施工面积均由南岳风景区管理处提供, 废弃物则通过实地调查获取; 运营使用期中 3 种旅游交通运行数据由南岳区传奇旅游运输公司、索道公司、南岳中心风景区管理处提供, 运营所产生的垃圾由实地调查取平均值获得; 运营后期拆除过程中的能耗量按照建造施工能耗的 90% 计算。此外, 材料单位能耗、各种类施工单位耗能和能源能耗系数等通过论文、报告和碳足迹计算器等途径获取。

2.3 碳足迹计算

在实例的研究过程中, 由于车辆的材料生产、装配、破坏拆除等活动甚为复杂, 且目前国内外尚未有具体

的相关研究成果公布。因此,在以下计算过程中,本文一概不予以考虑。

(1) 材料生产期碳足迹计算

南岳风景区公路旅游交通系统主要包括道路、车辆及其他交通服务设施(如停车场、车站等)。其道路规格属于县级公路,宽 6 m,总里程为 25.5 km。道路修建用料主要为水泥,其中 21.2 km 里程的路面已铺设 4.5 cm 的沥青层。车辆主要为 90 辆中型巴士及 55 辆私家车(不包括办公用途的小轿车)。其他交通服务设施主要考虑 3 个停车场:一个面积为 1000m² 半山亭停车场、两个总面积为 750m² 的祖师殿停车场,主要修建材料为水泥。

索道旅游交通系统由索道、缆车、索道站组成。其中,索道为往复式、双承载、双牵引、封闭式类型容量索道,运行距 1710.8 m,最大跨距 1348 m,上下高差 472 m,离地最大垂直高 147 m,由 4 根规格为 42 cm 的承重绳和 4 根规格为 16 cm 的牵引绳组成运行载体,主要修建材料为钢材。缆车主要有 2 辆,类型为往返车厢 50+1 式。索道站则包括半山亭索道站、南天门索道站,两者建筑规模相差甚小,本文将不加以区分。

人行道旅游交通系统的构成相对较为单一,主要考虑由规格为长 1 m、宽 0.3 m、高 0.13 m 的阶梯修建而成的人行道路部分,总里程为 31 km,主要修建材料为水泥、石头。

根据景区内各旅游交通子系统的相关情况,结合南岳区公路局、建设局、索道公司等部门机构提供的材料,可得出各子系统的建材使用清单,再依据公式(3),即可计算出南岳风景区各旅游交通子系统在材料生产期所产生的碳足迹(表 3)。

表 3 各旅游交通子系统的材料生产阶段碳足迹情况/t

Table 3 Carbon footprint situation of tourism transportation subsystems in materials production stage

材料名称 Materials' Name	公路旅游交通 Tourist highway transportation	索道旅游交通 Tourist cableway transportation	人行道旅游交通 Tourist walkways transportation
沙 Sand	10.126	0.084	0.009
石头 Rocks	147.217	0.532	2.065
钢材 Steels	370.281	250.513	—
水泥 Cements	2592.416	41.011	3.664
粘土砖 Clay Bricks	—	263.332	—
沥青 Asphalt	508.8	—	—
合计 Totals	3628.840	555.472	5.738

(2) 建造施工期碳足迹计算

由上述碳足迹计算模型可知,建造施工期的碳足迹主要来源于该阶段的能源消耗及废弃物处理。能源消耗方面主要涉及材料的运输耗能及施工耗能,据实地调查,南岳风景区内旅游交通系统的建材均属短途运输,运输方式为公路汽车运输,而施工耗能主要涉及电力、柴油的消耗。为便于研究工作的进行,本文将从其施工方法出发,结合总施工面积,再依据公式(5)计算得出该阶段碳足迹情况(表 4)。

表 4 旅游交通系统建造施工阶段能源消耗碳足迹情况

Table 4 Carbon footprint situation of energy consumption in construction stage of tourism transportation subsystems

旅游交通子系统 Tourism transportation subsystems	项目名称 Project name	材料运输 Material transport	场地整平 Ground leveling	基础开挖 Foundation excavation	临时供电 Temporary power supply	合计 Totals
公路旅游交通 Tourist highway transportation	—	222900 km	154750m ²	154750m ²	154750m ²	—
索道旅游交通 Tourist cableway transportation	—	2310 km	416.4m ²	416.4m ²	2082m ²	—
人行道旅游交通 Tourist walkways transportation	—	35332 km	20000m ²	20000m ²	15000m ²	—
	碳足迹(t)	53.34	233.5269	373.8077	310.5922	971.2668
	碳足迹(t)	0.5528	0.6284	1.0058	4.1787	6.3657
	碳足迹(t)	8.4549	30.1812	48.3112	30.1059	117.0532

废弃物处理方面则考虑主要材料使用的废弃情况。据调查得知,南岳风景区旅游交通系统主要材料使用产生的废弃物多数被当地居民或其他设施建设重新利用,因此本文不对其进行深入研究。

(3) 运营使用期碳足迹计算

对于南岳风景区旅游交通系统这一阶段碳足迹的计算,应从各类型交通工具的正常运营及其产生的生活垃圾两方面进行阐述。

生活垃圾方面,主要考虑由游客产生的生活垃圾。据实地调查,南岳风景区内人行道上平均每天产生的垃圾量为 20 kg;两个索道站的垃圾主要为游客在排队等候缆车过程中产生的固体废弃物,日产生量达 12 kg;3 个停车场的垃圾主要指游客在乘车过程中遗留的废弃物,平均每天产生量为 6.5 kg。生活垃圾以塑料袋和纸制品为主。因此,根据由北京凯来美气候技术咨询有限公司开发的碳足迹计算器可计算出人行道、公路、索道 3 个旅游交通子系统的碳足迹分别为:21.4、5.8、14.34 kg。

计算各交通工具正常运营中产生的碳足迹情况,应从其油耗数据及运营情况出发,在获取各种交通工具典型车型情况和运营数据后(表 5),结合公式(6)和(7),可算出此阶段的碳足迹情况(表 6)。

表 5 各种交通工具运营情况数据统计

Table 5 Operation data statistics of transport facilities

交通类型 Vehicle types	线路长度/km Line length	典型车型 Typical cars	数量/辆 Number	日运营里程/km Operating distance per day	日客运量/人 Passenger carrying capacity per day	实际耗能/100km ^① Actual energy consumption
普通公交 Bus	25.5	丰田客车 金龙客车	76 14	5031.2 1041.6	2661 490	30.9L 24.9L
私家车 Private cars	10	五菱之光 丰田	30 1000	1200 300	340 13.9L	8.2L
缆车 Cable	1.7108	往返车厢 50+1 式	2	90.675	2365	818kw·h

数据来源:由南岳区传奇旅游运输公司、索道公司、南岳中心风景区管理处提供。①参照各车型官网公布的耗能参数,汽油的燃油密度为 0.732 kg/L;柴油的燃油密度为 0.875 kg/L,电力碳排放系数为 0.723 kg·kW⁻¹·h⁻¹

表 6 不同类型交通工具正常运营期间碳足迹情况/a

Table 6 Carbon footprint situation of different types of vehicles in operation stage

交通类型 Vehicle types	碳足迹/t Carbon footprint	碳排放量/t Carbon emissions	运营里程/km Operating distance	实际能耗量/km Actual energy consumption	燃油密度/(kg/L) Fuel density	燃油中碳 的比重/% Carbon proportion in fuel
普通公交 Bus	1565.6723	427.0015	1836388	0.309 L	0.875	0.86
私家车 Private cars	218.5114	59.5940	380184	0.249 L	0.732	0.86
缆车 Cable	82.9027	22.6098	438000	0.082 L	0.732	0.86
合计 Totals	117.1086	31.9387	365000	0.139 L	0.732	0.86
	717.7008	195.7366 ^①	33096.375	8.18 kw·h	0.723 ^②	-
	2701.8958	736.8807	-	-	-	-

①缆车的碳排放量=正常运营耗电量×电力碳排放系数;②电力碳排放系数为 0.723 kg·kW⁻¹·h⁻¹

(4) 运营后期碳足迹计算

运营后期拆除工作所产生的温室气体的排放量,需先计算拆除过程中的能耗量(为建造施工能耗的 90%),再将能耗转化为耗煤量,依据煤的温室气体排放情况进行估算。而废建材的处理方面,多数建材可以进行回收再利用。根据前文旅游交通系统生命周期评价确定的范围,对于废建材处理产生的温室气体只考虑从材料自拆除地点运往处置地点所产生的二氧化碳。为方便研究,本文将废弃建材量按原建设所需量进行计算(表 7)。

2.4 结果分析

由于景区旅游交通系统的使用年限受各类型交通方式子系统的使用年限限制,本研究将采用各子系统中

使用年限最长时间为景区旅游交通系统的使用年限。因此,在总量分析中,将南岳风景区旅游交通系统的使用年限确定为 23a。再根据公式(1)、(2)和上述数据,可计算出南岳风景区旅游交通系统各子系统生命周期不同阶段的碳足迹情况,结果如表 8 所示。

表 7 运营后期碳足迹情况

Table 7 Carbon footprint situation in latter operation stage

项目 Project	公路旅游交通 Tourist highway transportation	索道旅游交通 Tourist cableway transportation	人行道旅游交通 Tourist walkways transportation
破坏拆除能耗/MJ Damaged removed energy consumption	9864715.5	64652.99	1188851.76
耗煤量 Coal consumption/t	336.592	2.206	40.565
CO ₂ 排放量 CO ₂ emission/t	874.130	5.729	105.346

单位煤释放能量为 29.3076 MJ/kg,单位标准煤 CO₂ 排放量为 2.597 kg/kg;建造施工阶段的能耗计算已包括材料的运输能耗,因而在运营后期废建材处理的碳足迹计算中不重复考虑

表 8 南岳风景区旅游交通生命周期碳足迹各阶段分布情况/t

Table 8 Carbon footprint distribution of tourism transportation in different life cycle stages in Hengshan

阶段名称 Stages	公路旅游交通 Tourist highway transportation	索道旅游交通 Tourist cableway transportation	人行道旅游交通 Tourist walkways transportation	合计 ^③ Total
材料生产期 Production period	3628.84	555.472	5.738	7956.533
建造施工期 Construction period	971.2668	6.3657	117.0532	2419.7904
运营使用期 ^① Using period	19863.1175	16627.50638	46.866	57956.75349
运营后期 Latter operation period	874.13	5.729	105.346	2176.615
小计 Subtotal	25337.3543	17195.07308	275.0032	-
总计 ^② Total	50674.7086	19555.368	1100.0128	70509.69189

①该阶段的碳足迹=各系统交通工具日碳足迹×365d×各子系统的使用年限;②③总计与合计一栏的数据应按南岳风景区旅游交通系统 23a 的使用年限计算,但为方便本文研究,公路、索道、人行道旅游交通子系统在景区整个交通系统中分别进行 2,1,3 次的新一轮投入使用,其使用年限则分别取值为 20,23,24a,则 $M_i' = i$ 型旅游交通子系统生命周期内产生的碳足迹×在整个旅游交通系统中重新投入使用的次数

从总量来看,不同类型交通方式的碳足迹情况相差甚远。就单个子系统而言,公路旅游交通的碳足迹为索道旅游交通的 1.5 倍,是人行道旅游交通的 92.1 倍。但就景区旅游交通系统而言,受使用年限限制,公路旅游交通的碳足迹为索道旅游交通的 2.6 倍,是人行道旅游交通的 46.1 倍。由此可见,公路旅游交通对旅游景区的环境威胁最大,不利于旅游景区低碳旅游目标的实现。索道和人行道旅游系统碳足迹相对较小,尤其是人行道旅游交通方式环保效果最佳,这将为南岳旅游景区确定下一步申遗工作重点提供了决策依据。

从阶段构成来看,旅游交通各子系统生命周期内各阶段碳足迹比例差异较大。对于公路旅游交通系统,各阶段碳足迹在其生命周期中所占比例情况依次为:材料生产期占 14%、建造施工期占 4%、运营使用期占 79%、运营后期占 3%,运营使用阶段所占比例较大。索道旅游交通系统各阶段的变化趋势与公路旅游交通系统类似,运营使用阶段的碳足迹占整个生命周期碳足迹的 96%,材料生产期、建造施工期和运营后期所占比例较少,依次为:3%、0.6%、0.4%。而人行道旅游交通系统各阶段的碳足迹变化幅度相对于其他两个子系统而言较小,材料生产期占 2%、建造施工期占 43%、运营使用期占 17%、运营后期占 38%,主要是建造施工和运营后期阶段能源消耗较大。由此可见,公路旅游交通和索道旅游交通系统在运营期的节能减排是实现南岳景区低碳旅游目标的关键所在。

从来源构成来看,在景区旅游交通系统使用年限内,公路旅游交通的碳足迹以 50674.7086 t 位居首位,索道旅游交通以 19555.368 t 排量位居第二位,而人行道旅游交通以 1100.0128 t 的排量排列第三,三者的所占比例依次为 71%、27%、2%。相对而言,索道旅游交通与人行道旅游交通属于环保型。从微观来看,能源消

耗所占比例较大。能源消耗分为直接能源消耗和间接能源消耗,直接能源消耗主要是用来保证旅游景区交通正常运行的能耗(如油耗、电耗等)。以南岳景区普通公交为例,南岳景区主要有两种车型,即丰田 COASTER 型和金龙 KLQ6702 型,耗能类型分别为汽油和柴油。根据各车型官网公布的耗能参数,两种车型每天碳足迹总量达 4888.174 kg,占全天不同类型交通工具碳足迹总量的 64.56%。除用于设备正常运营的直接能源消耗外,生产、运输相关物质的间接能源消耗遍布于生命周期每个时期。

从旅游风景区来看,在旅游景区内部,由旅游交通直接产生的二氧化碳集中在交通系统的建造施工、运营使用、运营后期 3 个阶段。在这 3 个阶段中,无论从横向或纵向进行比较,3 个交通子系统相互之间都存在差异性。

3 结论与启示

本文以生命周期评价理论为基础,构建了旅游风景区旅游交通系统碳足迹计算模型,对 4 个阶段(材料生产期、建造施工期、运营使用期、运营后期)的碳足迹采取了不同的计算方法,并实证于南岳旅游风景区,得到了景区旅游交通系统生命周期过程中的碳排放量及构成,从而对景区旅游交通系统各个环节的碳排放进行分析和研究,寻求减排方向。从总量来看,公路旅游交通对旅游景区的环境威胁最大。从阶段构成来看,公路和索道旅游交通系统运营使用阶段碳足迹占整个生命周期的大部分。相对而言,索道旅游交通与人行道旅游交通属于环保型。因此,景区节能减排的工作重点应是改造公路旅游交通系统,完善其运营机制。

从以上计算的结果分析中,可以得到几点启示:

(1) 旅游交通系统作为旅游景区重要的旅游基础设施,在方便游客的同时,也排放了大量的二氧化碳,对景区生态环境造成了较大影响。要实现低碳旅游和节能减排的目的,从旅游交通系统入手是一个重要的、可行的切入点。

(2) 在计算中,旅游交通系统运营阶段是碳排放量最大的阶段,其中公路旅游交通系统碳足迹最大,而索道和人行道旅游交通系统相对环保。此时游客选择交通工具的倾向对旅游交通系统碳排放量产生了重要影响。因此,应加强对游客“低碳旅游”的宣传力度,积极介入游客对交通工具的选取意向,提倡综合旅游交通方式。进一步提高人行道建设质量,完善人行道周边基础设施,对人行道进行人性化 and 艺术化设计,提高人行道的吸引力和使用频率。

(3) 结合景区设施特征,选择合适的“低碳”交通工具。由于不同交通工具的能源类型和能耗系数存在差别,因此,应因地制宜的选择合适的旅游交通工具。对于南岳景区,其道路多为山路,路程较远,除了现在的索道交通外,可适当加大金龙 KLQ6702 型车的投入使用量。实践证明金龙 KLQ6702 型车每天碳足迹要比丰田 COASTER 型车少得多。

(4) 合理规划旅游交通线路,实现游客和景区双赢局面。可以考虑对南岳风景区旅游交通系统作如下调整:第一,从南岳镇到半山亭(索道运营中心)主要以步行和公交车为主。这段路是进入核心景区的必经路,路途较远、沿途风景一般,以公交系统为主的路线设计可提高旅游者的效率和效用;第二,从半山亭到南天门主要以索道和步行为主,严格控制私车或公交车。该段路程是南岳风景区精华,既可以漫步赏阅美妙风景,也可坐上缆车空中鸟瞰南岳全景,更重要的是大大降低了碳排放;第三,从南天门到祝融峰以步行为主。祝融峰是南岳最高峰,地势险峻,适宜步行,该段路程应禁止机动车运营,以实现低碳旅游目标。

(5) 提高运营机制的合理性,加快实现低碳旅游交通的步伐。在旅游交通中,良好的运营机制可以大大减少其温室气体的排放量。若将运营机制分为机动发车制、定时发车制两种类型。在年游客量一致的前提下,景区交通按定时发车制所产生的碳足迹较小,按机动发车制所产生的碳足迹较大。但这两种运营机制在实际过程中必将产生游客投诉量增加、游客候车时间过长、游客对景区印象较差等一系列负面影响。因此,需要根据旅游淡旺季,探索一种具有较强灵活性的组合运营模式,为景区旅游的可持续发展作出了重大贡献。

致谢:感谢衡阳师范学院资源环境与旅游管理系徐亮,曾娜,张立果,蔺桃江等同学在实地调研、数据整理和写作等方面的帮助。

References:

- [1] The World Tourism Organization (UNWTO/OMT). From Davos to Copenhagen and Beyond: advancing tourism's response to climate change. [2012-01-18]. <http://sdt.unwto.org/en/content/publications-1>.
- [2] Larsen H N, Hertwich E G. Analyzing the carbon footprint from public services provided by counties. *Journal of Cleaner Production*, 2011, 19 (17/18): 1975-1981.
- [3] Sgouridis S, Bonnefoy P A, R Hansman J. Air transportation in a carbon constrained world: long-term dynamics of policies and strategies for mitigating the carbon footprint of commercial aviation. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2011, 45 (10): 1077-1091.
- [4] Piecyk M I, McKinnon A C. Forecasting the carbon footprint of road freight transport in 2020. *International Journal of Production Economics*, 2010, 128 (1): 31-42.
- [5] Huang Y, Bird R, Bell M. A comparative study of the emissions by road maintenance works and the disrupted traffic using life cycle assessment and micro-simulation. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2009, 14 (3): 197-204.
- [6] Zhang L, Huang Z. Life cycle study of coal-based dimethyl ether as vehicle fuel for urban bus in China. *Energy*, 2007, 32 (10): 1896-1904.
- [7] Hu Y F, Wang R, Yu Y J. A study on the evaluation of carbon footprint in Xiamen urban public transport system. *Shanghai Environmental Sciences*, 2010, 29 (3): 98-101, 116-116.
- [8] Filimonau V, Dickinson J, Robbins D, Huijbregts M A J. Reviewing the carbon footprint analysis of hotels: life cycle energy analysis (LCEA) as a holistic method for carbon impact appraisal of tourist accommodation. *Journal of Cleaner Production*, 2011, 19 (17/18): 1917-1930.
- [9] Kuo N W, Chen P H. Quantifying energy use, carbon dioxide emission, and other environmental loads from island tourism based on a life cycle assessment approach. *Journal of Cleaner Production*, 2009, 17 (15): 1324-1330.
- [10] Xu J P, Yao L M, Mo L W. Simulation of low-carbon tourism in world natural and cultural heritage areas: An application to Shizhong District of Leshan City in China. *Energy Policy*, 2011, 39 (7): 4298-4307.
- [11] Wang Y M. Calling for low-carbon tourism, boosting transition of development ways. *Tourism Tribune*, 2010, 25 (2): 11-12.
- [12] Shi P H, Feng L, Wu P. Energy Saving and Emission Reduction in Tourism and the Development of Low Carbon Tourism: Policy System and the Guide of Practical Work. Beijing: China Tourism Press, 2010: 37-41.
- [13] Shi P H, Wu P. A rough estimation of energy consumption and CO₂ emission in tourism sector of China. *Acta Geographical Sinica*, 2011, 66 (2): 235-243.
- [14] Wu P, Shi P H. An estimation of energy consumption and CO₂ emissions in tourism sector of China. *Journal of Geographical Sciences*, 2011, 21 (4): 733-745.
- [15] Li P, Huang J H, Mo Y F, Yang G H. Carbon footprint calculation and analysis of accommodation services in four-star hotels of Kunming. *Tourism Tribune*, 2010, 25 (3): 27-34.
- [16] Wang L G, Liao W M, Huang M, Deng R G. Calculation of tourism carbon footprint on final consumption: a case of Jiangxi Province. *Ecological Economy*, 2011, (5): 121-124, 168-168.
- [17] Ming Q Z, Chen Y, Li Q L. Low-carbon tourism: the strategic choice of the tourism industrial ecology. *Human Geography*, 2010, 25 (5): 22-26, 127-127.
- [18] Luo F, Zhong Y D, Wang H C. Carbon footprint and low carbon tourism research. *World Regional Studies*, 2010, 19 (3): 105-113.
- [19] Wang W, Lin J Y, Cui S H, Lin T. An overview of carbon footprint analysis. *Environmental Science and Technology*, 2010, 33 (7): 71-78.
- [20] Deng N S. Life Cycle Analysis. Beijing: Chemical Industry Press, 2003.
- [21] Graedel B T E, Allenby R. Industrial Ecology, 2nd ed. Beijing: Tsinghua University Press, 2004.
- [22] Qiao Y F. Studies on Energy Consumption of Traditional Dwelling Houses Based on Life Cycle Assessment [D]. Xi'an: Master's Dissertation of Xi'an University of Architecture and Technology, 2006.
- [23] Yang J. Life-cycle analysis of energy use in anaerobic acidification-activated sludge process. *Environmental Protection Science*, 2003, 29 (1): 20-23.

参考文献:

- [7] 胡莹菲, 王润, 余运俊. 厦门城市交通系统碳足迹评估研究. *上海环境科学*, 2010, 29 (3): 98-101, 116-116.
- [11] 汪宇明. 倡导低碳旅游, 推进发展方式转型. *旅游学刊*, 2010, 25 (2): 11-12.
- [12] 石培华, 冯凌, 吴普. 旅游业节能减排与低碳发展: 政策技术体系与实践工作指南. 北京: 中国旅游出版社, 2010.
- [13] 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.
- [15] 李鹏, 黄继华, 莫延芬, 杨桂华. 昆明市四星级酒店住宿产品碳足迹计算与分析. *旅游学刊*, 2010, 25 (3): 27-34.
- [16] 王立国, 廖为明, 黄敏, 邓荣根. 基于终端消费的旅游碳足迹测算——以江西省为例. *生态经济*, 2011, (5): 121-124, 168-168.
- [17] 明庆忠, 陈英, 李庆雷. 低碳旅游: 旅游产业生态化的战略选择. *人文地理*, 2010, 25 (5): 22-26, 127-127.
- [18] 罗芬, 钟永德, 王怀琛. 碳足迹研究进展及其对低碳旅游研究的启示. *世界地理研究*, 2010, 19 (3): 105-113.
- [19] 王微, 林剑艺, 崔胜辉, 吝涛. 碳足迹分析方法研究综述. *环境科学与技术*, 2010, 33 (7): 71-78.
- [20] 邓南圣, 王小兵. 生命周期评价. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [21] Graedel T E, Allenby B R. 产业生态学//施涵, 译. (第二版). 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [22] 乔永锋. 基于生命周期评价法 (LCA) 的传统民居的能耗分析与评价 [D]. 西安: 西安建筑科技大学硕士学位论文, 2006.
- [23] 杨健. 厌氧水解—活性污泥法的生命周期能耗分析. *环境保护科学*, 2003, 29 (1): 20-23.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 17 September, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Conservation strategies for <i>Ulmus elongata</i> based on the analysis of biological and ecological factors	GAO Jianguo, ZHANG Yi, WU Yuhuan, et al (5287)
Vertical distribution of methanogen community structures in <i>Phragmites australis</i> marsh soil in the Min River estuary	SHE Chenxing, TONG Chuan (5299)
Energy balance closure and its effects on evapotranspiration measurements with the eddy covariance technique in a cropland	LIU Du, LI Jun, YU Qiang, TONG Xiaojuan, et al (5309)
Effects of soil water potential on the growth and physiological characteristics of <i>Populus tomentosa</i> pulpwood plantation under subsurface drip irrigation	XI Benye, WANG Ye, DI Nan, et al (5318)
Physiological indices of leaves of jujube (<i>Zizyphus jujuba</i>) damaged by <i>Apolygus lucorum</i>	GAO Yong, MEN Xingyuan, YU Yi, et al (5330)
Economic analysis of wetland resource protection: a case study of Beijing Wild Duck Lake	WANG Changhai, CUI Lijuan, MA Muyuan, et al (5337)
Comparative studies on the farmers' willingness to accept eco-compensation in wetlands nature reserve	WANG Changhai, CUI Lijuan, MAO Xufeng, et al (5345)
Remote sensing estimation models of <i>Suaeda salsa</i> biomass in the coastal wetland	FU Xin, LIU Gaohuan, HUANG Chong, LIU Qingsheng (5355)
Effects of N addition on soil organic carbon components in an alpine meadow on the eastern Qinghai-Tibetan Plateau	ZHENG Jiaojiao, FANG Huajun, CHENG Shulan, et al (5363)
Estimating carbon emissions from forest fires during 2001 to 2010 in Daxing'anling Mountain	HU Haiqing, WEI Shujing, SUN Long (5373)
Predicting the effects of soil water potential on the growth of cut lily	DONG Yongyi, LI Gang, AN Dongsheng, et al (5387)
Rain enrichment-accelerated carbon emissions from soil in a <i>Nitraria sphaerocarpa</i> community in hyperarid region	LIU Dianjun, WU Bo, LI Yonghua, et al (5396)
Response of soil organic carbon sequestration to the "Grain for Green Project" in the hilly Loess Plateau region	XU Mingxiang, WANG Zheng, ZHANG Jin, et al (5405)
Temporal and spatial variability in soil respiration in five temperate forests in Xiaoxing'an Mountains, China	SHI Baoku, JIN Guangze, WANG Zhaoyang (5416)
Distributions pattern of phosphorus, potassium and influencing factors in the upstream of Shule river basin	LIU Wenjie, CHEN Shengyun, HU Fengzu, et al (5429)
COII is involved in jasmonate-induced indolic glucosinolate biosynthesis in <i>Arabidopsis thaliana</i>	SHI Lu, LI Mengsha, WANG Lihua, et al (5438)
Modeling canopy rainfall interception of a replanted <i>Robinia pseudoacacia</i> forest in the Loess Plateau	WANG Yanping, WANG Li, WEI Sanping (5445)
The differences of plant community diversity among the different altitudes in the Water-Level-Fluctuating Zone of the Three Gorges Reservoir	LIU Weiwei, WANG Jie, WANG Yong, et al (5454)
Low-frequency drought variability based on SPEI in association with climate indices in Beijing	SU Hongxin, LI Guangqi (5467)
Response of upland jujube tree trunk diameter to different ecological factors	ZHAO Ying, WANG Youke, HAN Lixin, et al (5476)
The spatial distribution and seasonal dynamics of fine roots in a young <i>Caragana korshinskii</i> plantation	ZHANG Fan, CHEN Jianwen, WANG Mengben (5484)
Interspecific segregation of species in tree and shrub layers of the <i>Pinus bungeana</i> Zucc. ex Endl. community in the Wulu Mountains, Shanxi Province, China	WANG Lili, BI Runcheng, YAN Ming, et al (5494)
Effects of long-term fertilization on soil microbial biomass carbon and nitrogen and enzyme activities during maize growing season	MA Xiaoxia, WANG Lianlian, LI Qinghui, et al (5502)
A model to predict dry matter accumulation dynamics in wheat based on the normalized method	LIU Juan, XIONG Shuping, YANG Yang, et al (5512)
Optimization strategies and an aesthetic evaluation of typical plant communities in the Shanghai Green Belt	ZHANG Kaixuan, LING Huanran, DA Liangjun (5521)
Carbon footprint evaluation research on the tourism transportation system at tourist attractions; a case study in Hengshan	DOU Yindi, LIU Yunpeng, LI Bohua, et al (5532)
An urban ecosystem assessment method and its application	SHI Huichun, LIU Wei, HE Jian, et al (5542)
Seasonal variations in distribution and biological characteristics of snailfish <i>Liparis tanakae</i> in the central and southern Yellow Sea	ZHOU Zhipeng, JIN Xianshi, SHAN Xiujian, et al (5550)
Effects of cyanobacterial accumulation and snail grazing on the growth of <i>vallisneria natans</i>	HE Hu, HE Yuhong, JI Yachan, et al (5562)
The structure and thermal insulation capability of <i>Mustela sibirica manchurica</i> winter pelage in Heilongjiang Province	LIU Yu, ZHANG Wei (5568)
Ontogenetic shifts in selected body temperature and thermal tolerance of the tiger frog, <i>Hoplobatrachus chinensis</i>	FAN Xiaoli, LEI Huanzong, LIN Zhihua (5574)
The influence of tubificid worms bioturbation on organic phosphorus components and their vertical distribution in sediment of Lake Taihu	BAI Xiuling, ZHOU Yunkai, ZHANG Lei (5581)
Review and Monograph	
Research advances in ecological assessment of urban greenspace	MAO Qizheng, LUO Shanghua, MA Keming, et al (5589)
Ecological hot topics in global change on the 2 nd International Young Ecologist Forum	WAN Yun, XU Lili, GENG Qifang, et al (5601)
Scientific Note	
Screening trial for the suitable plant species growing on sand dunes in the alpine valley and its recovery status in the Yarlung Zangbo River basin of Tibet, China	SHEN Weishou, LI Haidong, LIN Naifeng, et al (5609)

《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 17 期 (2012 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 17 (September, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100071	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100071 电话:(010)64034563 E-mail: journal@espg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@espg.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