

# 长江经济带旅游交通碳排放时空演变及驱动因素

胡 程<sup>1,2</sup>, 丁正山<sup>1,2</sup>, 穆学青<sup>1,2</sup>, 郭向阳<sup>1,2</sup>, 杜钟婧<sup>1,2</sup>

(1. 南京师范大学地理科学学院, 江苏 南京 210023)

(2. 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心, 江苏 南京 210023)

**[摘要]** 基于长江经济带 1998—2018 年各省(市)的面板数据,运用“自下而上”法测度其旅游交通碳排放量,探究其时序演变特征与空间格局,并建立旅游交通碳排放的 Kaya 恒等式,运用 LMDI 分解法揭示不同驱动因素对旅游交通碳排放变化的贡献程度。研究表明:(1)关于时序变化趋势,长江经济带旅游交通碳排放整体呈上升态势,大体可以划分为 3 个阶段:1998—2003 年,碳排放量以 10% 左右的速率小幅增长;2004—2009 年,碳排放增长率整体较高,峰值出现在 2004 年(32.12%);2010 年以后,碳排放增长率回落至 10% 左右。(2)关于空间分布特征,长江经济带旅游交通碳排放总体呈现“东西高中间低”的空间格局,长江上游的四川省与长江下游的上海市在空间上形成了两个明显的高值区。(3)关于驱动因素,旅游交通碳排放的促增因素为旅游者规模、旅游消费水平和能源强度,促降因素主要为旅游产业贡献度、旅游交通运输强度和能源结构,其中旅游者规模是首要的促增因素,旅游产业贡献度是主要的促降因素。

**[关键词]** 旅游交通,碳排放,时空演变,LMDI 分解模型,驱动因素,长江经济带

**[中图分类号]** F592; X24 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1001-4616(2022)01-0040-09

## The Spatio-Temporal Evolution and Driving Factors of Carbon Dioxide Emissions From Tourism Transportation in the Yangtze River Economic Belt

Hu Cheng<sup>1,2</sup>, Ding Zhengshan<sup>1,2</sup>, Mu Xueqing<sup>1,2</sup>, Guo Xiangyang<sup>1,2</sup>, Du Zhongjing<sup>1,2</sup>

(1. School of Geography, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

(2. Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application, Nanjing 210023, China)

**Abstract:** Based on the panel data of the Yangtze River Economic Belt from 1998 to 2018, the “bottom-up” method was used to measure carbon dioxide emissions from tourism transportation. The temporal evolution characteristics and spatial pattern were explored. Meanwhile, the Kaya identity of carbon dioxide emissions from tourism transportation was established. The LMDI decomposition method was chose to reveal the degree of contribution of different driving factors to the changes in carbon dioxide emissions from tourism transportation. Research shows that: (1) Regarding the time-series trend, the overall carbon dioxide emissions from tourism transportation in the Yangtze River Economic Belt is on the rise, which can be roughly divided into three stages: 1998–2003, carbon emissions increased slightly at a rate of about 10%; 2004–2009, the overall growth rate of carbon dioxide emissions was relatively high, with a peak in 2004 (32.12%); After 2010, the growth rate of carbon dioxide emissions dropped to about 10%. (2) Regarding the characteristics of spatial distribution, the overall carbon dioxide emissions from tourism transportation in the Yangtze River Economic Belt presents a spatial pattern of “high in the east and west, low in the middle”. Sichuan on the upper reaches of the Yangtze River and Shanghai on the lower reaches of the Yangtze River have formed two distinct high-value areas spatially. (3) Regarding the driving factors, the factors that promote the increase of carbon dioxide emissions from tourism transportation are the scale of tourists, the level of tourism consumption, energy intensity. The factors that promote the decline are mainly the contribution of the tourism industry, the intensity of tourism transportation, the energy structure, of which the scale of tourists is the most important promoting factor, the contribution of the tourism industry is the main factor promoting decline.

**Key words:** tourism transportation, carbon dioxide emissions, spatio-temporal evolution, LMDI decomposition method, driving factor, the Yangtze River Economic Belt

收稿日期: 2021-09-08.

基金项目: 国家自然科学基金项目(41961021, 41671147)、江苏省科研创新计划项目(KYCX21\_1295).

通讯作者: 丁正山, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向: 区域发展与旅游地理. E-mail: dingzhengshan@263.net

旅游交通碳排放是旅游者在旅游目的地与旅游客源地之间往返及在旅游目的地游玩的过程中由交通工具所产生的二氧化碳排放量<sup>[1]</sup>,旅游交通环节的能源消耗占整个旅游产业的 70% 左右<sup>[2-3]</sup>,是旅游业最主要的碳排放来源。旅游交通主要有公路、铁路、水运、民航 4 种交通方式,不同的交通方式造成的碳排放量差异较大。民航的碳排放系数最高<sup>[2-3]</sup>,国际旅游中民航导致的碳排放占新西兰能源总消耗的 6%<sup>[4]</sup>。公路是客运量最大的交通运输方式,高速公路是旅游者在短距离旅行中选择的主要出行方式之一<sup>[5]</sup>,也是旅游交通碳排放的主要来源之一<sup>[6]</sup>。铁路的碳排放系数最低<sup>[7-8]</sup>,高铁的出现对旅游者的出行选择产生较大影响<sup>[9]</sup>,其本身也是低碳环保的出行方式<sup>[6]</sup>。水运的客运量最低,覆盖范围最窄。旅游交通碳排放的测算方法主要有基于生产视角的“自上而下”法<sup>[10-11]</sup>与基于消费视角的“自下而上”法<sup>[6,12-14]</sup>两种,驱动因素主要有能源结构、能源强度、经济、人口规模等<sup>[15-17]</sup>。研究通常结合 Kaya 模型或 IPAT 模型搭建扩展恒等式,并运用各类分解法<sup>[18-19]</sup>进行分析。关于研究尺度,既有从宏观尺度研究新西兰<sup>[20]</sup>、澳大利亚<sup>[21]</sup>、中国<sup>[22]</sup>等旅游交通碳排放规律,也有从微观尺度对台湾澎湖岛<sup>[7]</sup>、南岳景区<sup>[23]</sup>、福州国家森林公园、太姥山山岳景区、武夷山风景名胜區<sup>[24]</sup>等进行分析。

目前大部分对旅游交通碳排放的研究偏重于测算及影响因素分析<sup>[3,19,21-22,25-26]</sup>,且已有研究集中在对测算结果进行时间序列分析<sup>[17,26]</sup>,研究对象以单一省(市)居多<sup>[3,16-17,22,26]</sup>,而从空间视角进一步挖掘的较少。长江经济带作为国家重大战略发展区域,能源消耗和碳排放体量大,旅游业发展程度高,旅游业绿色低碳发展势在必行。本研究测算长江经济带 11 省(市)的旅游交通碳排放并分析其空间分布特征,通过构建分解旅游交通碳排放的 Kaya 等式,结合 LMDI 因素分解法分析旅游交通碳排放的驱动因素及其对碳排放总量的贡献程度。本研究从环境-经济地理学的视角揭示区域旅游交通碳排放的变化规律,丰富了旅游交通碳排放的驱动因素体系,进一步完善了旅游交通碳排放研究的理论框架,为制定长江经济带旅游交通碳达峰、碳中和政策提供决策参考,有助于提升长江经济带绿色发展水平,加快美丽中国建设。

## 1 研究方法 with 数据来源

### 1.1 研究区域概况

长江经济带涵盖了四川、云南、重庆、贵州、湖北、湖南、安徽、江西、江苏、浙江和上海 11 个省(市),总面积约 205.23 万 km<sup>2</sup>,经济发达、旅游资源丰富、基础设施健全。旅游业是长江经济带的优势产业,长江经济带旅游总收入由 1998 年的 2 172.56 亿元增长至 2018 年的 90 596.59 亿元,增长了 41 倍,旅游发展态势趋好。交通运输是长江经济带的重要职能之一<sup>[10]</sup>,长江经济带客运周转量由 1998 年的 4 248.92 亿人次·km 增长至 2018 年的 12 655.12 亿人次·km,增长约 2.98 倍,在充分发挥职能的同时尽可能地降低对环境的污染是其面临的重要课题。本研究将旅游交通作为切入点,研究长江经济带旅游交通碳排放的演变过程及区域差异,探析其驱动因素及作用机理。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 旅游交通碳排放测度模型

本研究运用“自下而上”法测算旅游交通碳排放。由于在交通领域缺乏旅游数据的统计资料,因此本研究首先采用世界旅游组织<sup>[27]</sup>计算客运交通碳排放量的方法测算长江经济带客运交通碳排放,将公路、民航、水运、铁路旅客周转量乘以对应的碳排放系数,由此得出 4 种客运交通碳排放的估算结果,然后将客运交通碳排放与旅游者在各种交通方式客运量中所占的比例相乘,得出旅游交通碳排放的估计值。具体测度模型如下:

$$C = \sum_{i=1} \alpha_i \cdot P_i \cdot Q_i, \quad (1)$$

式中, $C$  为旅游交通碳排放总量(gCO<sub>2</sub>); $\alpha_i$  为旅游者在交通方式  $i$  (包括公路、民航、水运、铁路)的客运量中所占的比例,鉴于目前国内旅游卫星账户系统构建不完善,欠缺精确的  $\alpha$  值,本研究借鉴大部分研究者所采用的比例<sup>[22]</sup>,将公路、民航、水运、铁路的  $\alpha$  值分别设为 13.8%、64.7%、10.6%、31.6%; $P_i$ 、 $Q_i$  分别为交通方式  $i$  的碳排放系数(gCO<sub>2</sub>/pkm)、旅客周转量(pkm),本研究根据 Kuo 等<sup>[7]</sup>、吴文化<sup>[8]</sup>、魏艳旭等<sup>[22]</sup>的研究,选取公路、民航、水运、铁路 4 种交通方式的碳排放系数(gCO<sub>2</sub>/pkm)分别为 133、137、106、27。

#### 1.2.2 Kaya 恒等式与 LMDI 分解法

目前在分析碳排放驱动因素方面,Kaya 恒等式应用较为广泛,该恒等式在二氧化碳(或温室气体)排

放量与能源、经济、人口等驱动因素之间建立对应联系,用于宏观层面碳排放演变的驱动因素分析<sup>[28]</sup>,结合前人的研究成果<sup>[16-17,29]</sup>,本研究选取适用于旅游交通碳排放的分解因子将 Kaya 恒等式进一步扩展,公式如下:

$$C = \sum_j P \times \frac{R}{P} \times \frac{\text{GDP}}{R} \times \frac{T}{\text{GDP}} \times \frac{E}{T} \times \frac{E_j}{E} \times \frac{C_j}{E_j}, \quad (2)$$

令

$$k = P, a = \frac{R}{P}, r = \frac{\text{GDP}}{R}, g = \frac{T}{\text{GDP}}, q = \frac{E}{T}, s_j = \frac{E_j}{E}, f_j = \frac{C_j}{E_j}, \quad (3)$$

式(2)中, $C$ 为碳排放总量; $P$ 为旅游者人数; $R$ 为旅游总收入; $\text{GDP}$ 为区域生产总值; $T$ 为客运周转量; $E$ 为交通能源消耗量; $E_j$ 为第 $j$ 种能源消耗量. 式(3)中, $k$ 为旅游者规模,即旅游者人数; $a$ 为旅游消费水平,即每位旅游者出游花费的平均金额; $r$ 为旅游产业贡献度,即单位旅游收入对 $\text{GDP}$ 的贡献; $g$ 为旅游交通运输强度,即单位 $\text{GDP}$ 客运周转量; $q$ 表示能源强度,即单位客运周转量消耗的能源总量; $s_j$ 表示能源结构,即每种能源占能源总量的比重; $f_j$ 表示第 $j$ 种能源的碳排放系数,为常数值.

LMDI 分解法是进行碳排放因素分解时被广泛采用的方法. Ang<sup>[30]</sup>指出 LMDI 分解法可以对等式中包含的所有驱动因素进行完全分解,并且分解结果不含有残差项. LMDI 分解法有“乘法模式”和“加法模式”两种分解方法,两种模式分解后得到的结果能互相转换. 本研究采用加法分解模式,即总效应为各因素效应相加之和:

$$\Delta C_{\text{tot}} = C_t - C_0 = \sum_{jt} k_t a_t r_t g_t q_t s_{jt} f_{jt} - \sum_{j0} k_0 a_0 r_0 g_0 q_0 s_{j0} f_{j0} = \Delta Ck + \Delta Ca + \Delta Cr + \Delta Cg + \Delta Cq + \Delta Cs_j + \Delta Cf_j, \quad (4)$$

式中, $C_0$ 、 $C_t$ 分别表示初始年份碳排放总量、第 $t$ 年碳排放总量; $\Delta C_{\text{tot}}$ 表示 $t$ 年间碳排放总量差值;各驱动因素的分解公式如下:

$$\Delta Ck = \sum_j \frac{C_j^t - C_j^0}{\ln C_j^t - \ln C_j^0} \cdot \ln \left( \frac{k^t}{k^0} \right), \quad (5)$$

$$\Delta Ca = \sum_j \frac{C_j^t - C_j^0}{\ln C_j^t - \ln C_j^0} \cdot \ln \left( \frac{a^t}{a^0} \right), \quad (6)$$

$$\Delta Cr = \sum_j \frac{C_j^t - C_j^0}{\ln C_j^t - \ln C_j^0} \cdot \ln \left( \frac{r^t}{r^0} \right), \quad (7)$$

$$\Delta Cg = \sum_j \frac{C_j^t - C_j^0}{\ln C_j^t - \ln C_j^0} \cdot \ln \left( \frac{g^t}{g^0} \right), \quad (8)$$

$$\Delta Cq = \sum_j \frac{C_j^t - C_j^0}{\ln C_j^t - \ln C_j^0} \cdot \ln \left( \frac{q^t}{q^0} \right), \quad (9)$$

$$\Delta Cs_j = \sum_j \frac{C_j^t - C_j^0}{\ln C_j^t - \ln C_j^0} \cdot \ln \left( \frac{s_j^t}{s_j^0} \right), \quad (10)$$

$$\Delta Cf_j = \sum_j \frac{C_j^t - C_j^0}{\ln C_j^t - \ln C_j^0} \cdot \ln \left( \frac{f_j^t}{f_j^0} \right), \quad (11)$$

式中, $\Delta Ck$ 为旅游者规模效应, $\Delta Ca$ 为旅游消费水平效应, $\Delta Cr$ 为旅游产业贡献度效应, $\Delta Cg$ 为旅游交通运输强度效应, $\Delta Cq$ 为能源强度效应, $\Delta Cs_j$ 为能源结构效应, $\Delta Cf_j$ 为碳排放系数效应,鉴于能源碳排放系数为常数值, $\Delta Cf_j$ 始终为 0,剔除 $\Delta Cf_j$ 后公式(4)可以简化为:

$$\Delta C_{\text{tot}} = C_t - C_0 = \Delta Ck + \Delta Ca + \Delta Cr + \Delta Cg + \Delta Cq + \Delta Cs_j. \quad (12)$$

### 1.3 数据来源

基于数据获取性将研究时段定为 1998—2018 年,本研究涉及旅游相关数据主要来自长江经济带 11 个省(市)《统计年鉴》(1999—2019)及《国民经济与社会发展统计公报》(1998—2018),旅客周转量的数据主要来自《中国交通年鉴》(1999—2019),个别省份民航数据缺失,通过客运量与平均运距相乘进行补充. 本研究的交通能源消费为交通运输、仓储及邮政的终端消费量,数据来自《中国能源统计年鉴》(1999—2018).

2 结果与讨论

2.1 时序变化趋势

根据公式(1)测算得到 1998—2018 年公路、民航、水运、铁路 4 种交通方式的旅游交通碳排放量(表 1)。1998—2018 年长江经济带 4 种交通方式碳排放具体演变趋势如下:(1)1998—2012 年公路碳排放的年均增长率为 9.02%,此阶段公路居于长江经济带交通体系的核心地位,而随着人民生活条件的改善、消费观念的转变及高铁建设的完善,游客出游有更多选择,因此 2013—2018 年公路碳排放有所下降。(2)1998—2018 年,民航碳排放增长最快,年均增长率为 14.51%。民航碳排放系数较大,在相同载客率下是碳排放最高的一种交通出行方式,长江经济带经济实力雄厚,民航系统完善,选择民航出行的游客比例较高,因此民航碳排放量在旅游交通碳排放总量中占据份额逐年攀升。(3)1998—2018 年水运碳排放总体呈下降态势,年均下降幅度为 4.21%。(4)1998—2018 年,铁路碳排放呈上升态势,但上升速度逐渐放缓,年均增长幅度为 7.81%。2017 年铁路旅客周转量首次超过公路旅客周转量,而其碳排放量却远小于公路,说明铁路单位旅客周转量的碳排放量较低,是低碳出行的首要选择。(5)1998—2018 年旅游者人均碳排放量持续减少,20 年间下降了 62.77%,表明长江经济带旅游业规模化发展进程加快,旅游交通基础设施等旅游支撑体系越来越完善,旅游交通运输效率得到提高,旅游者人均碳排放整体呈现明显下降态势。

表 1 1998—2018 年长江经济带旅游交通碳排放情况

年份	旅游交通碳排放量/10 <sup>4</sup> t					旅游者人均碳排放量/(kg/人)
	公路	民航	水运	铁路	合计	
1998	457.94	338.11	9.80	114.57	920.42	22.24
1999	494.76	366.29	8.63	131.46	1 001.15	21.57
2000	555.50	399.92	7.90	148.98	1 112.30	21.55
2001	605.88	445.46	6.41	158.62	1 216.37	20.78
2002	648.53	516.78	5.98	169.51	1 340.82	20.11
2003	651.94	523.60	4.05	167.72	1 347.31	20.25
2004	739.45	841.39	4.04	195.16	1 780.04	21.67
2005	796.58	964.56	4.16	213.92	1 979.22	20.95
2006	852.14	1 112.90	4.13	229.90	2 199.07	19.37
2007	953.94	1 362.73	4.54	251.58	2 572.79	19.40
2008	1 105.46	1 363.01	4.08	275.01	2 747.56	18.46
2009	1 098.25	2 090.54	4.30	271.90	3 464.98	19.42
2010	1 225.18	1 928.71	3.93	310.08	3 467.91	15.34
2011	1 367.18	2 158.13	4.00	341.02	3 870.33	13.65
2012	1 517.60	2 193.21	4.13	351.86	4 066.80	11.88
2013	982.13	2 612.33	3.76	386.14	3 984.36	10.21
2014	1 032.81	2 938.82	3.84	418.67	4 394.13	9.95
2015	995.24	3 381.78	3.77	432.12	4 812.91	9.73
2016	898.41	3 867.68	3.58	444.38	5 214.05	9.07
2017	839.04	4 451.75	4.06	487.40	5 782.24	8.55
2018	782.20	5 084.72	4.15	515.68	6 386.76	8.28

根据时序演化图(图 1),旅游交通碳排放变化大体可以划分为 3 个阶段:(1)阶段一(1998—2003 年)长江经济带工业化和城市化进程加快,交通运输业发展较快,出游人数逐年增多,因此碳排放量逐年小幅增长,增长率稳定在 10%左右。2003 年增长率骤然下降至 0.48%,主要原因是旅游业受到 2003 年非典肆虐的冲击。(2)阶段二(2004—2009 年)碳排放增长率较高,较为完备的旅游产业格局初步形成,对旅游交通碳排放造成显著正向影响。2008 年增长率下降至 6.79%,是由于当年“汶川大地震”对长江经济带西部旅游资源较好省区,尤其是对四川省的旅游业造成了一定的打击,加之 2008 年金融危机对长江经济带旅游产业链造成了破坏性影响,使得旅游交通碳排放增长趋势放缓。增长率在 2004 年和 2009 年出现 2 个波峰,原因是长江经济带的旅游业受重大事件“非典”“汶川大地震”及“金融危机”影响,政府相关部门实施了一系列旅游恢复振兴计划,旅游业全面恢复和振兴。(3)阶段三(2010 年以后)长江经济带旅游交通碳



排放增长率回落至 10%左右. 期间国家颁布多项节能管理政策,倡导优化能源结构,促进交通运输节能减排. 2013 年增长率出现负值,当年多项应对气候变化的政策及首部《旅游法》的颁布使得旅游业发展趋于规范化、平稳化,旅游交通碳排放随之降低. 但随着人们消费水平的提高,私家车出游、房车旅游、定制化旅游受到广大旅游者的青睐,旅游者更倾向于私人交通出行,对推动旅游交通减排工作造成不利影响.

2.2 空间演变特征

为探析长江经济带旅游交通碳排放的空间格局特征,运用 ArcGIS10.2 中的自然断点法将各省(市)划分为 4 个等级:高碳排放区、较高碳排放区、中碳排放区和低碳排放区(图 2). 长江经济带旅游交通碳排放整体上表现出“东西高中间低”的分布特点. 具体来看:(1) 1998 年旅游交通碳排放强度呈现明显的“东西高中间低”格局,区域差异显著,长江上游的四川省、长江下游的苏浙沪地区在空间上形成了两个明显的高值区,而长江中游大部分地区(除湖南省)为低碳排放区. 四川省、江苏省、浙江省、

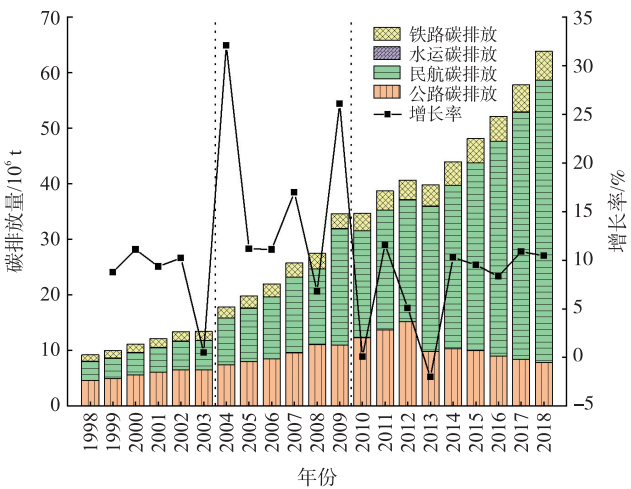


图 1 1998—2018 年长江经济带旅游交通碳排放及年增速图

Fig. 1 Carbon dioxide emissions from tourism transportation in the Yangtze River Economic Belt and annual growth rate from 1998 to 2018

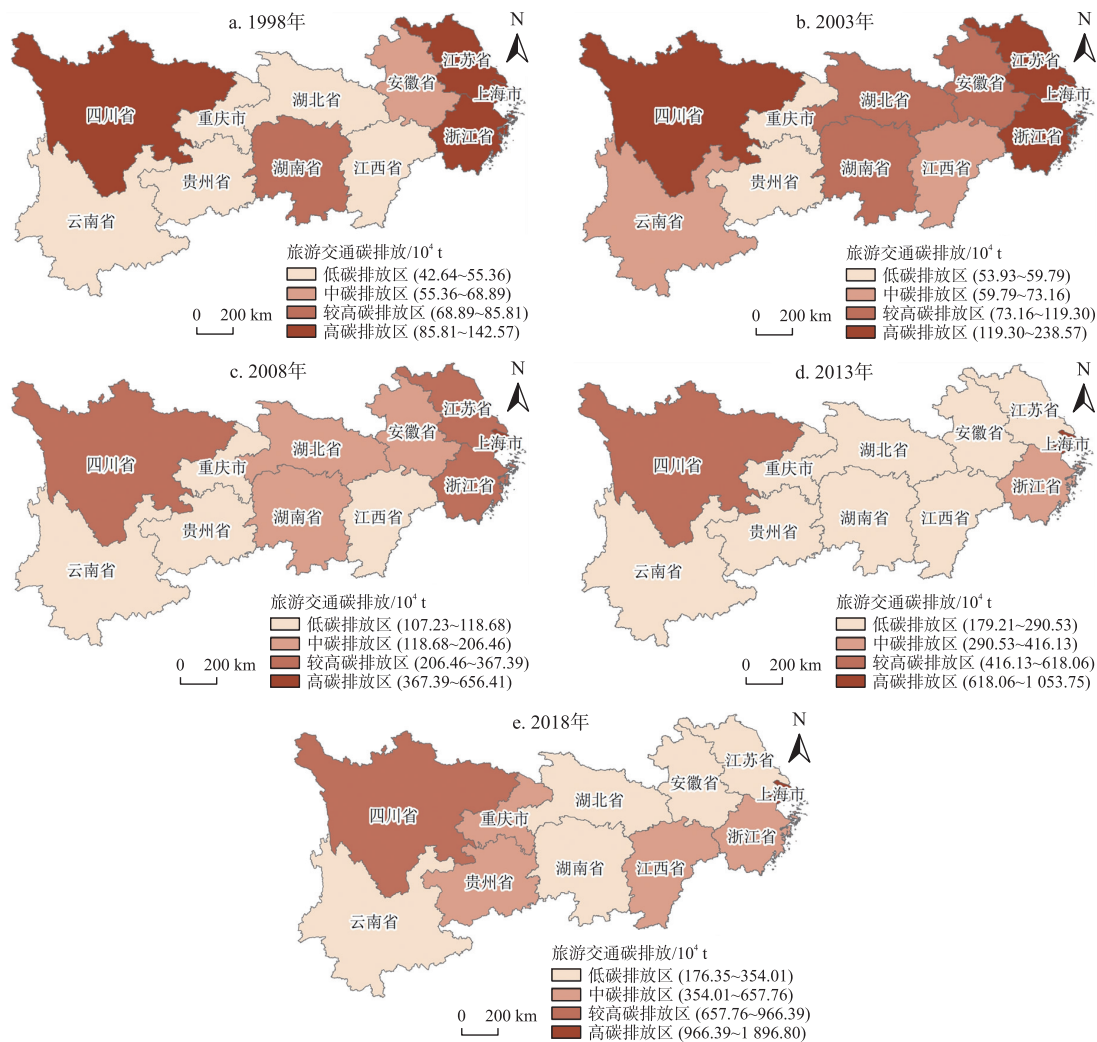


图 2 1998—2018 年长江经济带旅游交通碳排放量等级划分

Fig.2 Gradation of carbon dioxide emissions from tourism transportation in the Yangtze River Economic Belt from 1998 to 2018

上海市为高碳排放区,湖南省为较高碳排放区,安徽省为中碳排放区,云南省、重庆市、贵州省、湖北省、江西省为低碳排放区。(2)2003 年旅游交通碳排放仍呈“东西高中间低”空间格局,高碳排放区格局与 1998 年相同,而部分与高碳排放区相邻的省份由较低等级向较高等级转变。云南省、江西省由低碳排放区转变为中碳排放区,安徽省由中碳排放区转变为较高碳排放区,湖北省则由低碳排放区跃级转变为较高碳排放区。(3)2008 年高碳排放区集中至上海一市,长江上游四川省及长江下游江苏省、浙江省为较高碳排放区,长江中游的湖北省、湖南省及长江中下游的安徽省为中碳排放区,其余地区均为低碳排放区,整体上呈现出下游>中游>上游的阶梯状特征。上海市、重庆市及贵州省的碳排放强度未发生转移,其余 8 个省份的碳排放强度等级都向下一等级转移,长江经济带整体受到突发事件(汶川大地震、金融危机)的影响,旅游发展速度放缓。(4)2013 年高碳排放区仍仅有上海市,四川省为较高碳排放区,浙江省为中碳排放区,其余地区均为低碳排放区。2013 年国家先后颁布多项政策法规应对气候变暖,加之旅游业发展处于转型阶段的摸索期,旅游交通碳排放增速较慢。(5)2018 年上海市为高碳排放区,四川省为较高碳排放区,与四川省相邻的重庆市、贵州省由低碳排放区转变为中碳排放区。此外,江西省、浙江省也为中碳排放区,其余地区均为低碳排放区。

总体来看,1998—2018 年长江经济带旅游交通碳排放呈现“东西高中间低”的空间格局。上游省市旅游资源品质高,民族风情类旅游资源富集,旅游资源吸引力较高、开发潜力巨大,加之国家大力推行的长江经济带、西部大开发等国家战略,为上游地区的旅游发展铺平道路,导致旅游交通碳排放逐年增高。下游地区经济发达、人口密集、旅游基础设施完备,且江苏省、浙江省、安徽省的旅游资源富集,尤其是上海市作为国家经济中心,商务旅游方兴未艾,因此下游地区的旅游业发展氛围好、起点高,尽管各级政府积极实施节能减排工作,但由于其接待旅游者人数增长速度快,使得该地区旅游交通碳排放强度居于前列。中游地区的旅游交通碳排放一直居于较低层级,中游地区经济发达程度比下游地区低,旅游资源禀赋比上游地区低,因此旅游业发展程度较低,旅游交通碳排放也较低。为推动长江经济带旅游绿色高质量发展,长江下游地区的上海市应将旅游资源要素部分分散至周边地区,带动周边地区旅游业发展的同时减缓自身的碳排放压力。

2.3 驱动因素分析

由于缺少旅游业的能源消费数据,无法直接测算旅游交通能源消耗造成的碳排放量,而旅游交通是交通行业的一部分,交通领域碳排放的成因机制同样能够用于解释说明旅游交通碳排放<sup>[16-17]</sup>,故本研究采用整体表征局部的方式,立足于能源消费层面的交通碳排放分解成因来分析旅游交通碳排放的驱动机制。借鉴以往研究<sup>[15,30]</sup>,选取原煤、汽油、煤油、柴油、燃料油、天然气、电力的碳排放来测算长江经济带旅游交通碳排放,其系数分别为 0.732 9、0.557 4、0.557 4、0.557 4、0.557 4、0.422 6、2.213 2。由于长江经济带 2018 年能源相关数据缺失较多,因此下文运用 LMDI 因素分解法对长江经济带 1998—2017 年旅游交通碳排放量驱动因素及其作用机制进行分解分析,结果如表 2 所示。

表 2 1998—2017 年长江经济带旅游交通碳排放驱动因素分解结果  
Table 2 The decomposition results of factors influencing carbon dioxide emissions from tourism transportation in the Yangtze River Economic Belt from 1998 to 2017

年份	$\Delta Ck$	$\Delta Ca$	$\Delta Cr$	$\Delta Cg$	$\Delta Cq$	$\Delta Cs_j$	$\Delta CO_2$
1998	0	0	0	0	0	0	0
1999	186.03	214.46	-300.17	48.17	5.51	-7.31	146.70
2000	377.55	281.64	-395.30	57.45	36.60	-7.49	350.45
2001	642.06	339.34	-517.81	64.09	166.47	-27.42	666.72
2002	968.89	486.48	-731.00	-0.40	401.25	-44.83	1 080.39
2003	1 060.39	672.49	-613.51	-328.13	851.38	-65.89	1 576.72
2004	1 603.89	759.88	-753.06	-385.71	718.98	-70.37	1 873.60
2005	2 124.51	962.29	-906.81	-609.48	1 029.70	-95.53	2 504.68
2006	2 750.63	1 016.81	-1 044.76	-856.26	1 189.40	-113.36	2 942.46
2007	3 408.35	1 207.90	-1 153.13	-1 108.71	1 279.95	-105.20	3 529.17
2008	3 887.12	1 232.01	-1 008.91	-1 345.02	1 200.27	-117.53	3 847.94
2009	4 600.23	1 348.15	-1 366.45	-1 663.04	1 370.38	-101.22	4 188.06
2010	5 678.40	1 478.37	-1 671.31	-1 960.16	1 321.58	-77.30	4 769.57

续表 2 Table 2 continued

年份	$\Delta C_k$	$\Delta C_a$	$\Delta C_r$	$\Delta C_g$	$\Delta C_q$	$\Delta C_{s_j}$	$\Delta CO_2$
2011	6 739.47	1 952.89	-2 307.51	-2 421.36	1 332.24	-50.28	5 245.46
2012	7 723.93	2 127.09	-2 805.51	-2 676.46	1 457.96	-32.81	5 794.19
2013	8 260.28	2 175.44	-2 963.16	-3 205.54	1 640.35	-10.50	5 896.88
2014	9 089.61	2 400.38	-3 368.78	-3 795.37	2 115.06	-5.96	6 434.94
2015	9 023.28	2 450.12	-3 524.94	-3 739.17	1 515.95	94.77	5 820.01
2016	11 027.76	2 997.41	-4 477.55	-4 736.00	2 788.70	42.62	7 642.94
2017	12 119.83	3 345.77	-5 131.14	-5 686.16	3 413.36	63.34	8 124.99

各驱动因素对旅游交通碳排放增长的贡献率如图 3 所示. 分解后的各因素中, 旅游者规模、旅游消费水平和能源强度对旅游交通碳排放始终表现为促增效应; 旅游产业贡献度始终表现为促降效应; 2003—2017 年旅游交通运输强度为促降因素且促降效应逐年增强; 1999—2014 年能源结构为促降因素, 但 2015—2017 年转变为促增因素. 从图 3 各因素对长江经济带旅游交通碳排放的贡献率来看, 旅游者规模对长江经济带旅游交通碳排放的贡献率最大, 2015 年达到最高值 155.04%. 1998—2017 年长江经济带旅游交通碳排放各驱动因素平均贡献率绝对值由大至小依次为: 旅游者规模 114.20%, 旅游产业贡献度 -58.81%, 旅游消费水平 46.25%, 能源强度 31.26%, 旅游交通运输强度 -30.79%, 能源结构 -2.1%. 具体分析如下:

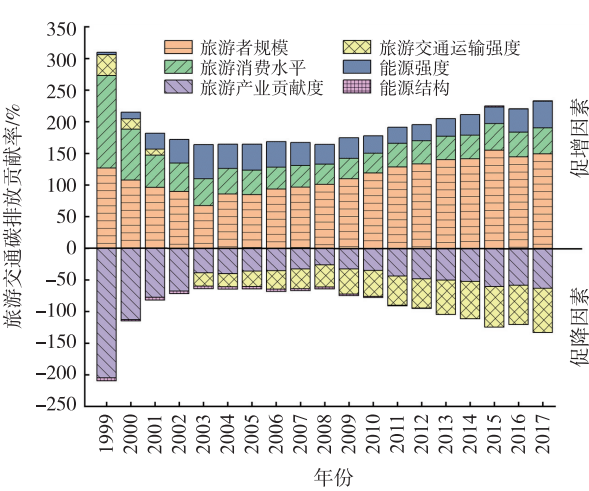


图 3 各驱动因素对旅游交通碳排放量贡献率变化  
Fig. 3 Trends in the contribution of various factors to carbon dioxide emissions from tourism transportation

(1) 旅游者规模是导致长江经济带旅游交通碳排放快速上升的主要原因, 旅游交通碳排放与旅游者的空间流动及其规模大小有紧密联系. 1998—2017 年长江经济带旅游者人数从 4.14 亿人次上升到 67.63 亿人次, 增幅 1 533.57%, 旅游者规模的贡献率从 126.81% 增至 149.17%, 旅游者规模的贡献率远高于其他驱动因素, 对旅游交通碳排放的影响力稳步上升. 随着人们出游需求的高速增长、城市化率的持续提高, 大规模旅游活动对交通提出更高要求, 旅游交通碳排放显著上升导致的生态环境污染问题也是摆在旅游业绿色高质量发展面前的“卡脖子”难题. 通过减少旅游者人数实现碳减排并不是理想的解决办法, 应当全面增强对旅游者绿色出游的宣传教育, 从游客决策层面减少旅游交通碳排放.

(2) 旅游消费水平和能源强度对长江经济带旅游交通碳排放增长始终呈现促增效应. 旅游消费水平对碳排放总量的影响从 1999 年的 214.46 万 t 上升到 2017 年的 3 345.77 万 t. “十三五”期间, 消费成为经济增长主引擎, 经济结构持续优化, 旅游消费水平的稳步提高意味着旅游者对出游质量的要求更高, 旅游者在出游方式的选择上更加多元化. 基于此, 满足旅游者对出游质量的要求, 引导旅游者选择低碳出游方式, 有助于控制旅游交通碳排放, 实现旅游业绿色优质发展. 1999—2017 年能源强度对区域旅游交通碳排放的贡献率小幅增长, 1999 年低至 3.76%, 2003 年达到峰值 54%, 2017 年小幅度下降至 42.01%. 由此可知, 出游人数增多所带来的能源消耗无可避免, 而越来越多的旅游者选择舒适便捷(能耗较高)而非节能环保的方式出行. 综上, 正确引导旅游者的出行理念, 倡导节能环保出行方式, 对降低旅游交通碳排放有显著效果.

(3) 能源结构在 1999—2014 年对长江经济带旅游交通碳排放增长表现为微弱促降效应, 2015—2017 年表现出微弱促增效应. 虽然能源结构对碳排放的促降效应较小, 但合理调整能源结构对控制碳排放具有举足轻重的作用. 长江经济带旅游交通主要能源消费类型为柴油、汽油等石油类能源, 近年来能源结构效应对旅游交通碳排放的作用由促降效应转向促增效应, 应当引起足够重视. 国家先后出台的《中华人民共和国清洁生产促进法》《能源中长期发展规划纲要》都着重要求改进能源产业格局, 从根源上防治污染, 实现节能减排目标. 因此在旅游交通能源配置中应进一步加大对电力、天然气、风能及太阳能等清洁能源的使用力度, 完成减缓旅游交通碳排放增速的阶段目标.



(4) 旅游产业贡献度和旅游交通运输强度对长江经济带旅游交通碳排放的增长表现为显著促降效应。旅游产业贡献度对抑制旅游交通碳排放有重要作用。在旅游业高速发展背景下,应当执守“绿色底线”,不触“生态红线”,始终坚持生态优先,降低对环境的生态压力,推进区域旅游低碳发展。旅游交通运输强度对旅游交通碳排放的促降作用逐年增加,表明长江经济带旅游交通运输效率不断进步。长江经济带的交通系统完善程度在全国处于领先水平,完善的交通系统是交通运输高效率和旅游业繁荣发展的必要条件。此外,在其他条件相同的情况下推行载客量大、能耗相对较低的交通出行方式对节能减排有出色效果。“长江经济带综合立体交通走廊规划”的实施有力地推动该区域交通体系的完善,高效的铁路网络与便捷的公路网络极大地提升了旅游交通运输效率。

### 3 结论

本研究采用“自下而上”法对长江经济带 1998—2018 年旅游交通碳排放进行测度,并在此基础上分析长江经济带旅游交通碳排放的时空演变特征,结合 Kaya 扩展式与 LMDI 因素分解法进行驱动因素分析,主要结论如下:(1) 从时序变化趋势来看,1998—2018 年长江经济带旅游交通碳排放显著增长,总量增长了 6 倍。大体可以划分为 3 个阶段:交通运输快速发展阶段(1998—2003 年),出游人数逐年增加,碳排放小幅增长;旅游产业体系趋于完善阶段(2004—2009 年),游客出游需求旺盛,碳排放增长率整体较高;政策管控强化落实阶段(2010 年以后),国家颁布针对气候变暖的政策法规,旅游业发展趋于规范化,碳排放增长率回落至 10% 左右。(2) 从空间分析结果来看,长江经济带旅游交通碳排放区域差异明显,呈现出“东西高中间低”的空间格局,上游的四川省与下游的上海市是两个明显的高值区。(3) 从驱动因素分析结果来看,旅游者规模、旅游消费水平、能源强度对碳排放的增加表现为促增效应,旅游产业贡献度、旅游交通运输强度和能源结构则以促降效应为主,各驱动因素对碳排放的影响程度有所不同,而旅游者规模是造成碳排放增长的首要原因。

基于上述研究,为降低长江经济带旅游交通碳排放,提升长江经济带绿色发展水平,提出以下针对性对策建议:(1) 技术创新驱动行业减排,推动电气化转型和数字化升级。推动旅游交通工具电气化转型,加强新能源汽车、景区电瓶车等绿色环保交通工具的使用。完善新能源配套设施建设,实施旅游绿色出行“续航工程”,让游客的绿色出行没有后顾之忧。推动旅游产业数字化升级,充分利用 AI、大数据、云计算等技术,打造智慧低碳旅游城市、景区,优化旅游线路,提高旅游交通运输效率,减少能源消耗及碳排放。(2) 出台行业排放管理办法,规范旅游业绿色低碳发展。将旅游交通减排纳入立法和行业标准制定中,加强旅游温室气体统计核算体系建设,把“双碳”目标作为约束性指标纳入旅游规划顶层设计。(3) 扩大低碳旅游宣传力度,培养游客低碳旅游意识。鼓励游客选择短途旅行,通过公共交通出行。地方政府应挖掘本地新的旅游资源,开发体验型旅游产品,增加游客在同一目的地的停留时间,让游客的旅游行为“慢下来”,拉动当地旅游经济发展的同时减少因游客多地辗转而产生的碳排放。(4) 优化旅游交通能源结构,加大对清洁能源的使用。能源结构的优化能从根源层面实现减排,应当对旅游交通能源消费总量和碳排放强度进行双向管控,促进化石能源清洁化应用,推动水电等清洁类能源在旅游交通领域的应用。(5) 合理布局旅游产业,加快推进区域旅游一体化。加强对上、中、下游旅游产业发展的科学布局、合理规划和统筹发展。长江上游地区应吸纳先进的科学技术经验,完备旅游生态基础设施;长江中游地区应大力加强区域内旅游资源整合,学习先进低碳旅游发展经验;长江下游地区应积极向绿色低碳旅游产业转型,不断优化自身产业结构以达到生态效率最优化,同时可适当将资源要素分散至周边地区,带动周边地区旅游发展的同时减少自身的碳减排压力。

### [参考文献]

- [1] 刘畅,韩梅,王洪桥,等. 长白山景区旅游交通碳足迹时空结构研究[J]. 生态经济,2018,34(4):70-74.
- [2] BECKEN S, SIMMONS D G, FRAMPTON C. Energy use associated with different travel choices[J]. Tourism management, 2003,24(3):267-277.
- [3] 石培华,吴普. 中国旅游业能源消耗与 CO<sub>2</sub> 排放量的初步估算[J]. 地理学报,2011,66(2):235-243.
- [4] BECKEN S, SIMMONS D G. Understanding energy consumption patterns of tourist attractions and activities in New Zealand[J].



- Tourism management, 2002, 23(4): 343-354.
- [5] 黄震方, 陈娱, 黄睿, 等. 江苏省高速公路的客流空间格局与网络组团结构——基于联网收费大数据分析[J]. 地理科学, 2021, 41(6): 998-1008.
- [6] 杜鹏, 杨蕾. 中国旅游交通碳足迹特征分析与低碳出行策略研究[J]. 生态经济, 2015, 31(2): 59-63.
- [7] 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[J]. Journal of cleaner production, 2009, 17(15): 1324-1330.
- [8] 吴文化. 我国交通运输行业能源消费和排放与典型国家的比较[J]. 中国能源, 2007, 29(10): 19-22.
- [9] 贾文通, 黄震方, 刘俊, 等. 高铁对区域旅游“时空压缩”效应的测度与分析——以长江经济带为例[J]. 地理研究, 2021, 40(6): 1785-1802.
- [10] 蒋自然, 金环环, 王成金, 等. 长江经济带交通碳排放测度及其效率格局(1985—2016年)[J]. 环境科学, 2020, 41(6): 2972-2980.
- [11] 孙晋坤. 区域旅游交通碳排放测度模型及实证研究[D]. 南京: 南京大学, 2015.
- [12] HUANG Z, CAO F, JIN C, et al. Carbon emission flow from self-driving tours and its spatial relationship with scenic spots: a traffic-related big data method[J]. Journal of cleaner production, 2017, 142(2): 946-955.
- [13] 陶玉国, 黄震方, 史春云. 基于替代式自下而上法的区域旅游交通碳排放测度[J]. 生态学报, 2015, 35(12): 4224-4233.
- [14] 吴普. 离岸岛屿目的地旅游交通能耗与 CO<sub>2</sub> 排放测算——以海口市为例[J]. 旅游学刊, 2014, 29(8): 110-116.
- [15] 李伯华, 刘云鹏, 窦银娣. 旅游风景区旅游交通系统碳足迹评估及影响因素分析——以南岳衡山为例[J]. 资源科学, 2012, 34(5): 956-963.
- [16] 王佳, 薛景洁. 旅游交通碳排放测算及影响因素分析[J]. 统计与决策, 2016, 32(13): 61-64.
- [17] 马慧强, 刘嘉乐, 弓志刚. 山西省旅游交通碳排放测度及其演变机理[J]. 经济地理, 2019, 39(4): 223-231.
- [18] 郭朝先. 中国二氧化碳排放增长因素分析——基于 SDA 分解技术[J]. 中国工业经济, 2010, 38(12): 47-56.
- [19] 王凯, 邵海琴, 周婷婷, 等. 基于 STIRPAT 模型的中国旅游业碳排放影响因素分析[J]. 环境科学学报, 2017, 37(3): 1185-1192.
- [20] BECKEN S, PATTERSON M. Measuring national carbon dioxide emissions from tourism as a key step towards achieving sustainable tourism[J]. Journal of sustainable tourism, 2006, 14(4): 323-338.
- [21] DWYER L, FORSYTH P, SPURR R, et al. Estimating the carbon footprint of Australian tourism[J]. Journal of sustainable tourism, 2010, 18(3): 355-376.
- [22] 魏艳旭, 孙根年, 马丽君, 等. 中国旅游交通碳排放及地区差异的初步估算[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 2012, 40(2): 76-84.
- [23] 窦银娣, 刘云鹏, 李伯华, 等. 旅游风景区旅游交通系统碳足迹评估——以南岳衡山为例[J]. 生态学报, 2012, 32(17): 5532-5541.
- [24] 包战雄, 袁书琪, 陈光水. 不同游客吸引半径景区国内旅游交通碳排放特征比较[J]. 地理科学, 2012, 32(10): 1168-1175.
- [25] TANG C, ZHONG L, NG P. Factors that influence the tourism industry's carbon emissions: a tourism area life cycle model perspective[J]. Energy policy, 2017, 109: 704-718.
- [26] 陶玉国, 黄震方, 吴丽敏, 等. 江苏省区域旅游业碳排放测度及其因素分解[J]. 地理学报, 2014, 69(10): 1438-1448.
- [27] UNWTO, UNEP, WMO. Climate change and tourism: responding to global challenges[R]. Madrid: UNWTO, 2008.
- [28] 林伯强, 刘希颖. 中国城市化阶段的碳排放: 影响因素和减排策略[J]. 经济研究, 2010, 45(8): 66-78.
- [29] 张国兴, 苏钊贤. 黄河流域交通运输碳排放的影响因素分解与情景预测[J]. 管理评论, 2020, 32(12): 283-294.
- [30] ANG B W. Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method? [J]. Energy policy, 2004, 32: 1131-1139.

[责任编辑: 丁 蓉]