

中国旅游交通碳排放格局及影响因素解析

郭向阳^{1,2}, 穆学青³, 明庆忠^{4*}, 丁正山³

(1. 贵州财经大学工商管理学院/旅游经济与管理研究院, 贵州 贵阳 550025; 2. 贵州省大数据统计重点实验室, 贵州 贵阳 550025; 3. 南京师范大学地理科学学院, 江苏 南京 210023; 4. 云南财经大学旅游文化产业研究院, 云南 昆明 650221)

摘要: 旅游交通碳排放是引致全球气候变化的重要因素之一, 研究其空间差异和影响因素具有重要意义。以中国30个省域为研究单元, 在构建旅游交通碳排放模型基础上, 采用空间变差函数、趋势面分析和空间计量模型等定量方法探讨旅游交通碳排放的时空格局及影响因素, 研究结果表明: 1) 2005—2018年中国旅游交通碳排放呈递增态势, 绝对差异逐渐增大, 相对差异呈现阶段性波动变化特征; 2) 旅游交通碳排放总体空间分异特征显著, 呈现由东至西递减态势, 这与中国“东强西弱”的旅游交通网络格局及“沿主要交通干线及航空枢纽”布局的旅游客流量、流向空间特征一致; 3) 省域旅游交通碳排放存在空间相互作用及联动效应, 总体上东—西方向空间差异趋向最大, 其他方向空间分异程度较小; 4) 经济发展水平、对外旅游开放度和游客接待规模是引致旅游交通碳排放的主因, 较大程度塑造了中国旅游交通碳排放的区域差异格局, 而服务业发展水平、旅游资源禀赋、能源强度和能源结构对旅游交通碳排放具有不同程度的引致或抑制效应。

关键词: 旅游交通碳排放; 格局演变; 影响因素; 中国

中图分类号: F592; F512; X73 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-0504(2022)02-0129-08

0 引言

碳排放被认为是引起气候变化的重要因素之一, 已成为阻碍城市绿色发展的主要问题^[1]。世界旅游组织统计数据表明, 旅游活动产生的温室气体占全球温室气体排放量的4%~6%, 若不采取必要的应对措施, 旅游活动温室气体的排放总量将增加1.5倍。当前中国旅游业正处在由粗放型增长向集约型转变的重要机遇期, 在“创新、协调、绿色、开放、共享”新发展理念的指导下, 绿色交通、低碳旅游是未来旅游业发展的主要趋势, 也是当前优质旅游发展面临的重要现实问题。旅游交通指为旅游者往返于客源地和目的地以及在旅游目的地活动而提供的交通设施与服务, 是旅游者直接体验旅游活动的载体^[2], 也是旅游业碳排放的主要来源^[3-5]。根据已有研究^[6-9], 旅游交通碳排放在旅游业碳排放总量中整体高于旅游住宿碳排放量和游憩活动碳排放量, 因此, 测度旅游交通碳排放量对客观反映区域旅游业碳排放总量具有较高的代表性, 同时能够为旅游交通运输部门低碳发展以及改善居民健康水平和建设人与自然命运共同体提供参考。

国内外关于旅游交通碳排放的研究成果主要集

中在以下四方面: 1) 旅游交通碳排放的认知研究。2007年达沃斯第二届气候变化与旅游国际会议指出旅游交通碳排放量占旅游业碳排放量的75%^[10]; Becken等认为旅游交通是旅游业主要的能源消耗项, 占比高达65%~73%^[11]; 石培华等^[4]在对中国旅游业能源消耗与CO₂排放量的初步估算中, 认为旅游交通碳排放占中国旅游业碳排放的50%以上。随着研究深入, 孙晋坤等^[12]以南京市和黄山市为例, 对旅游交通碳排放结构进行了估算对比, 得出民航碳排放比重最大, 公路和铁路次之; 此外, 旅游交通碳排放对人类生命健康的影响也受到关注, 如廖红璐^[13]研究了中部六省旅游交通碳排放对居民健康的影响机制。2) 旅游交通碳排放的测算方法研究。依据不同数据的可选取性和研究尺度, 旅游交通碳排放测算方法大致分为“自上而下”法和“自下而上”法。Sgouridis等运用“自上而下”法测算了碳排放非期望产出条件下航空运输的碳足迹特征^[14]; Lin^[15]运用“自下而上”法研究台湾地区5个国家公园1999—2006年旅游交通碳排放的特点, 指出旅游交通碳排放与交通方式选择和出游距离相关联; 魏艳旭等^[16]根据旅游者在客运量中的占比初步估算中国旅游交通碳排放。随着研究深入, Huang等^[17]基于数

收稿日期: 2020-08-21; 修回日期: 2021-03-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(41961021, 42161035); 贵州财经大学引进人才科研启动项目(2021YJ041); 贵州财经大学校级项目(2021KYWL01); 贵州省大数据统计重点实验室(黔科合平台人才[2019]5103号)

作者简介: 郭向阳(1990—), 男, 博士, 讲师, 研究方向为旅游地理与旅游规划。* 通讯作者 E-mail: mingqingzhong01@163.com

万方数据

据挖掘技术和旅游交通碳排放流量分析方法测算江苏省自驾游碳排放流量数据;Lv 等^[18]基于 COPERT IV 模型估算 2003—2015 年云南省各类车辆的 CO₂ 排放量。3) 旅游交通碳排放的影响因素研究。Yorucu^[19]利用自回归分布滞后方法,发现土耳其的 CO₂ 排放与游客规模存在显著的动态关系;王佳等^[20]利用 kaya 恒等式的扩展建立 LMDI 分解模型,研究河南省游客人数、人均旅游消费水平、旅游产业对生产总值的贡献、单位 GDP 交通周转量、单位交通周转量能耗、能源结构六大影响因素对碳排放量的影响;孙燕燕^[6]运用因素分解技术考量旅游全员劳动生产率、碳强度、能源强度、能源结构等对碳排放的影响。4) 旅游交通碳减排措施研究。Jones^[21]运用情景分析法探索旅游业的碳排放问题,发现技术进步能够持续减少旅游业碳排放量;孙晋坤等^[12]提出改善区域交通配置状况、提高区域旅游各要素的服务质量等旅游交通碳减排措施。

综上,已有研究存在如下不足:首先,大多数研究围绕城市群^[22]、单个省份^[17,18,23]、单个城市^[12,24]或单个景区(点)^[25]展开,缺乏基于全国视角的旅游交通碳排放差异性与空间异质性研究,忽略了省域间旅游交通碳排放空间效应的相互依赖性,且基于地理学时空视角探查旅游交通碳排放的演变有待深入;其次,旅游交通碳排放影响因素探究是制定碳减排措施的基础,目前旅游交通碳排放影响因素选取缺乏全面性与科学性,亟须完善相关研究。基于此,本文借鉴已有研究成果,采用“自上而下”思路构建旅游交通碳排放测度模型,基于 ArcGIS 自然断点法、空间变差函数与趋势面分析等空间分析方法系统剖析旅游交通碳排放演变格局,同时克服以往影响变量的单一性,采用空间计量模型深入探讨旅游交通碳排放格局演变的影响因素,既丰富了旅游交通碳排放相关研究方法与研究内容,又明确了地理学视角下旅游交通碳排放空间格局演变过程及影响因素,可为制定旅游交通碳减排措施提供参考。

1 数据与方法

1.1 研究区域与数据来源

鉴于数据的可获得性和完整性,本研究单元涉及除港、澳、台和西藏之外的中国其余 30 个省域,研究时间为 2005—2018 年,研究数据来源于 2005—2018 年国家相关部门的统计数据和统计公报^[26]、《中国统计年鉴(2006—2019)》^[27]、《中国旅游统计年鉴(2006—2019)》^[28]、《中国交通年鉴》^[29]、《新

万方数据

中国六十年统计资料汇编》^[30]和中国经济与社会发展统计数据库^[31]等。

1.2 旅游交通碳排放测度模型

本文借鉴已有研究^[8,16,32],采用 4 种交通方式(公路、铁路、航空、其他)的旅客周转量与相应旅游碳排放因子的乘积汇总估算旅游交通碳排放量,模型为:

$$C_T = \sum_{i=1}^n Q_i \times f_i \times \alpha_i \quad (1)$$

式中: C_T 为某省域旅游交通碳排放总量; Q_i 为第 t 年 i 种交通方式的客运周转量; f_i 为 i 种交通方式客流量中旅游者的占比,综合参考魏艳旭等^[16]的研究、全国旅游者的实际情况和有关专家意见,本文对公路、铁路、航空和其他交通方式客流量中旅游者的占比取值分别为 13.8%、31.6%、64.7% 和 10.6%; α_i 为 i 种交通方式的 CO₂ 排放因子(g/km),依据已有研究^[16,30,32],4 种交通方式单位碳排放分别为公路 133 g/km、铁路 27 g/km、航空 137 g/km 及其他 66 g/km。

1.3 空间变差函数

采用空间变差函数揭示中国旅游交通碳排放格局演变过程,其计算公式为^[33,34]:

$$\gamma(h) = \frac{\sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2}{2N(h)} \quad (2)$$

式中: $\gamma(h)$ 为变异函数值; $Z(x_i)$ 和 $Z(x_i + h)$ 分别为空间单元 x_i 和 $x_i + h$ 的旅游交通碳排放量, $i=1,2,3,\dots,N(h)$, $N(h)$ 为分割距离 h 的样本量。

分维数 D 是运用定量方法揭示研究对象的“非规则”程度,由 $\gamma(h)$ 和 h 确定^[35](式(3))。 D 值越大,表明旅游交通碳排放空间异质性更多是由空间自相关引起,其值越接近 2,说明空间异质性越小^[36]。

$$2\gamma(h) = h^{4-2D} \quad (3)$$

1.4 空间计量模型

空间滞后模型主要考虑样本自身观测值对周围地区的溢出效应,空间误差模型主要用于衡量邻近地区因变量的误差冲击对本地区观测值的影响程度,强调空间扩散效应是由外生冲击引起^[37-39]。由于中国旅游交通碳排放空间分布具有集聚趋势,旅游交通碳排放可能存在空间相互作用,本文运用空间滞后模型(SLM)(式(4))和空间误差模型(SEM)(式(5))揭示中国旅游交通碳排放的影响因素,并与普通最小二乘(OLS)回归进行对比。

$$Y = \rho WY + x\beta + \varepsilon \quad (4)$$

$$\begin{cases} Y = x\beta + \varepsilon \\ \varepsilon = \lambda W\varepsilon + \gamma \end{cases} \quad (5)$$

式中: Y 为旅游交通碳排放因变量向量; ρ 为空间滞后系数; W 为权重向量; x 为 K 维自变量行向量; β 为各自变量对 Y 的影响系数所构成的向量; ε 和 γ 为随机误差向量; λ 为空间误差系数。

旅游交通碳排放空间分异是由经济与非经济因素综合作用的结果。鉴于理论上经济规模、游客规模、对外旅游开放度、能源强度、能源结构等内外围因素与旅游交通碳排放具有因果关系,在借鉴已有研究成果^[6,9,20,40]基础上,遵循科学性、代表性和客观性原则,并结合中国旅游交通碳排放发展实际问题,选取人均国内生产总值($AGDP$)^[41]、旅游接待总人

次($TRTN$)、对外旅游开放度($FTOD$)^[42]、旅游资源禀赋(TRE)^[9]、服务业发展水平($SIDL$)^[43]、能源强度(EI)和能源结构(ES)^[20]共 7 项因子作为自变量(表 1),将各年份的名义 GDP、第三产业增加值换算成以 2005 年为基期的实际值,以剔除价格波动等带来的影响。需说明的是,本文自变量选取顾及内外围因素对旅游交通碳排放的引致或抑制作用,尤其是纳入了交通能源强度和交通能源结构等内源性变量,同时选取对外旅游开放度和旅游资源禀赋两项指标,分别测度地区对外旅游开放水平和旅游资源吸引力对交通碳排放的驱动效应。

表 1 旅游交通碳排放格局变化的影响因素原始变量
Table 1 Original variables of influencing factors of carbon emission pattern change of tourism transportation

指标	指标计算(单位)	指标释义
人均国内生产总值($AGDP$)	GDP 总量/区域年末总人口(元/人)	经济因素对旅游交通碳排放的影响
旅游接待总人次($TRTN$)	国内与入境接待人次之和(万人次)	游客规模引致旅游交通碳排放可能性
对外旅游开放度($FTOD$)	国际游客接待规模(万人次)	旅游开放度引致旅游交通碳排放可能性
旅游资源禀赋(TRE)	3A 级及以上景区与国家级风景名胜区数量(家)	旅游吸引物引致旅游交通碳排放可能性
服务业发展水平($SIDL$)	第三产业增加值(亿元)	服务业对旅游交通碳排放的影响效应
能源强度(EI)	单位客运周转量能耗(t/亿人 km)	能源消耗强度对旅游交通碳排放的影响
能源结构(ES)	第 i 种燃料占交通总能耗的比值(%)	能源结构对旅游交通碳排放的影响

不同省域之间旅游交通碳排放存在空间联动作用(即空间溢出效应),因此,以各省域旅游交通碳排放为因变量,以选取的因子作为自变量,通过拟合、回归和检验分析,揭示各变量对中国旅游交通碳排放格局演变的影响效应。构建的空间计量模型如下:

$$\ln A = c + \beta_1 \ln AGDP + \beta_2 \ln TRTN + \beta_3 \ln FTOD + \beta_4 \ln TRE + \beta_5 \ln SIDL + \beta_6 \ln EI + \beta_7 \ln ES + \varepsilon \quad (6)$$

式中: A 为第 i 个单元旅游交通碳排放; c 为各自变量截距项; $\beta_1 - \beta_7$ 为各自变量对应的影响系数。

2 旅游交通碳排放的时空分异格局

2.1 旅游交通碳排放的时空特征

2.1.1 旅游交通碳排放的时序演化特征 采用标准差和变异系数分别揭示 2005—2018 年旅游交通碳排放绝对差异和相对差异的时序变化特征(图 1)。

1)旅游交通碳排放均值呈逐年递增态势,表明游客规模对旅游交通碳排放的引致效应逐渐凸显,且交通能源强度提升也在一定程度上加剧了环境恶化。

2)旅游交通碳排放标准差总体呈连续增长趋势,由 2005 年的 162.551 万 t 升至 2018 年的 445.622 万 t,表明中国旅游交通碳排放绝对差异逐渐增大。

3)旅游交通碳排放变异系数整体呈现波动变化态势,其相对差异呈阶段性变化特征,大致可分为:波动增长长期(2005—2007 年),旅游交通碳排放相对差异总体增长,主要归因于旅游交通碳减排技术落后和交通

万方数据

能源消费模式粗放;波动起伏期(2007—2013 年),一方面,此阶段面临全球性金融危机和碳减排技术壁垒的双重冲击,旅游交通碳排放相对差异起伏性较大,另一方面,此阶段政府积极采取能源结构优化策略,加大资本和节能减排技术研发投入力度,积极引导交通能源结构向低排放、绿色化的清洁能源转型,致使此阶段后期旅游交通碳排放相对差异趋向减小;波动降低期(2013—2018 年),此阶段面临国际绿色壁垒、能源约束趋紧等多重因素冲击,在“环境倒逼机制”和“五位一体”发展理念的影响下,绿色发展逐渐成为主导增长模式,旅游交通碳排放总量相对差异放缓。

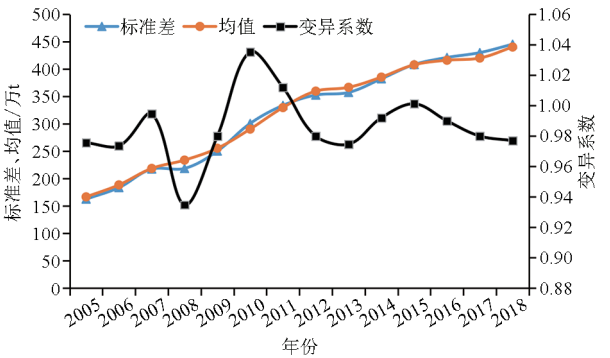
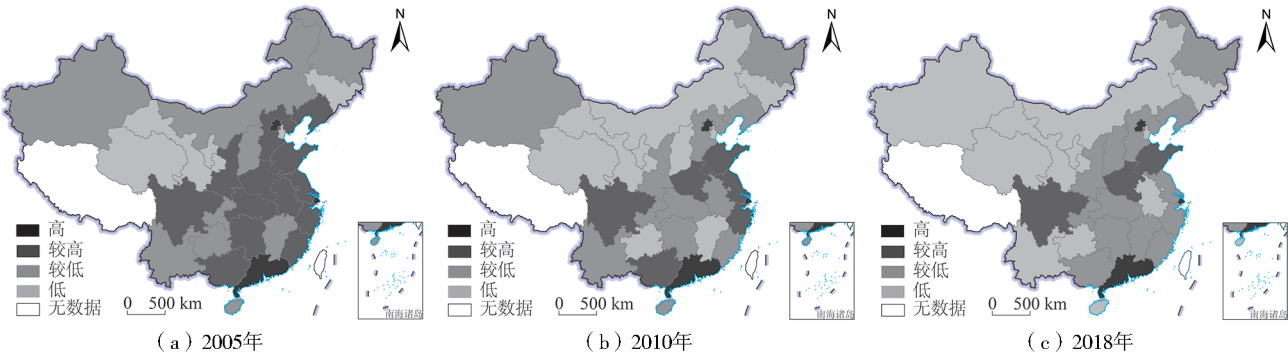


图 1 2005—2018 年中国旅游交通碳排放变化特征
Fig.1 Temporal variation characteristics of carbon emission of tourism transportation in China in 2005—2018

2.1.2 旅游交通碳排放的空间分异特征 从旅游交通碳排放空间分布看(图 2),30 个省域旅游交通碳排放总量等级空间分异特征显著,总体上呈现由

东至西递减态势,与中国“东强西弱”的旅游交通网络格局及“沿主要交通干线和航空枢纽”布局的旅游客流量、流向空间特征基本一致。旅游交通碳排放高值区集中在以长三角城市群、环渤海经济区和珠江三角洲城市群为代表的旅游经济发达区域,缘于该区域旅游交通设施完善,居民可支配收入较高,出游意愿强、频次高,加之北京、上海和广州均建有特

大型机场,且大多是区域性的综合交通枢纽和国际、国内航线中心,能够接待相当规模的中远程游客,航空旅游交通碳排放量比重较大;西北地区交通设施建设落后,航线网络相对稀疏,航空及其他旅游交通碳排放量相对较小,且交通设施供给对旅游需求存在滞后性,加之游客规模和经济规模相对较小,为旅游交通碳排放的低值区。



注:审图号为 GS(2019)1825 号。

图 2 2005—2018 年中国旅游交通碳排放空间分布
Fig. 2 Spatial distribution of carbon emission of tourism transportation in China in 2005—2018

2.2 旅游交通碳排放的空间异质性态势

由中国旅游交通碳排放格局变差函数拟合参数变化(表 2)可知,2005 年、2010 年和 2018 年的块金系数($C/(C_0+C)$)呈现先变小后增大趋势,决定系数(R^2)虽较小,但逐渐增大,表明能解释中国旅游交通碳排放的空间异质性态势,空间相关性呈现先增强后减弱的特征,同时也说明中国各省域旅

游交通碳排放存在空间相互作用及联动效应。2005—2018 年旅游交通碳排放变程逐渐减小,说明中国旅游交通碳排放影响范围减小。根据最小二乘法选择的空

表 2 中国旅游交通碳排放格局变差函数拟合参数
Table 2 Fitting parameters of variogram of carbon emission pattern of tourism transportation in China

年份	变程 a	块金值 C_0	基台值 C_0+C	块金系数 $C/(C_0+C)$	拟合模型	决定系数 R^2
2005	63.029	0.017	0.165	0.897	指数	0.333
2010	59.628	0.019	1.173	0.552	高斯	0.436
2018	55.867	0.025	1.213	0.642	高斯	0.586

游交通碳排放变差分维数(表 3)可知,在全方位上,2005—2018 年分维数距 2 越来越远,且呈现持续减小态势,表明中国旅游交通碳排放空间分布的异质性态势逐渐凸显。从各方向分维数看,2005—2018 年东—西方向上维数值一直处于减小态势,说明研究期间中国旅游交通碳排放在该方向上空间差异呈增大趋势,2005 年东南—西北方向上的维数值最小,表明该时期中国旅游交通碳排放在东南—西北方向上的空间差异最明显,而其他方向的

维数值相对较大,表明其他方向的旅游交通碳排放空间差异较弱。从旅游交通碳排放趋势面分析(图 3)可知,2005—2018 年旅游交通碳排放峰值主要分布在综合交通优势度明显、旅游发展水平高的东部沿海地带,西部空间分异程度较平缓,南北方向呈现“南多北少”格局。

3 旅游交通碳排放空间分异影响因素

运用 MATLAB 软件进行空间面板数据模型回

表 3 中国旅游交通碳排放格局变差分维数
Table 3 Variation fractal dimension of carbon emission pattern of tourism transportation in China

年份	全方位		南—北(0°)		东北—西南(45°)		东—西(90°)		东南—西北(135°)	
	D	R^2	D	R^2	D	R^2	D	R^2	D	R^2
2005	1.896	0.103	1.920	0.018	1.708	0.260	1.688	0.202	1.266	0.118
2010	1.891	0.114	1.903	0.020	1.702	0.259	1.539	0.231	1.458	0.018
2018	1.821	0.099	1.726	0.052	1.602	0.329	1.516	0.271	1.526	0.015

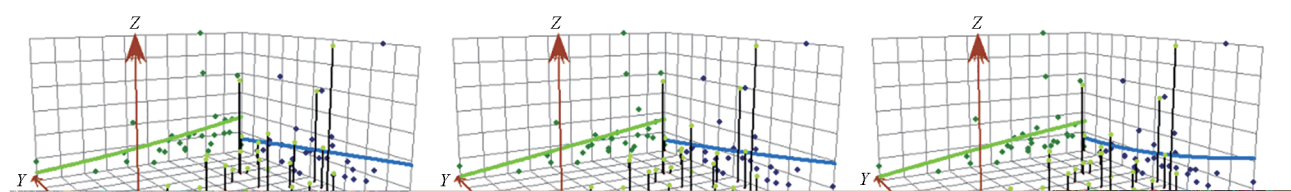


图 3 中国旅游交通碳排放趋势面
Fig. 3 Trend surface of carbon emission of tourism transportation in China

归与拟合分析。由空间依赖性检验结果(表 4)可知,旅游交通碳排放空间依赖性检验结果的莫兰指数(Moran's I)为 0.1432,且通过 1%显著性水平的检验,表明中国旅游交通碳排放一定程度上存在空间自相关性。采用拉格朗日乘数检验确定所选择的空
间计量模型形式。LM-lag 和 LM-error、Robust LM-lag 和 Robust LM-error 均通过 1%显著性水平

的检验,因此,需进一步通过拟合优度(R^2)和自然对数似然函数值($LogL$)判定最优模型。

由空间计量模型估计结果(表 5)可知,空间误差模型的拟合优度(R^2)较高,且其自然对数似然函数值($LogL$)大于空间滞后模型,故选取空间误差模型作为本文揭示旅游交通碳排放格局演变的最优模型。进一步依据表 5 可知,空间滞后项 ρ (0.632)和空间误差项 λ (0.926)均通过 1%显著性水平的检验,说明各研究单元旅游交通碳排放在空间上存在显著的正相关性,本地区旅游交通碳排放增加可能会对邻近省份的旅游交通碳排放带来引致效应,纳入空间要素测算的各变量对于旅游交通碳排放的影响具有合理性。

表 4 空间依赖性检验结果
Table 4 Results of spatial dependence test

检验指标	指数	统计量	P 值
Moran's I (error)	0.1432	17.322	0.000
LM test no spatial lag	—	26.502	0.000
Robust LM test no spatial lag	—	23.678	0.000
LM test no spatial error	—	160.213	0.000
Robust LM test no spatial error	—	141.235	0.000

表 5 旅游交通碳排放空间格局的空间计量模型估计结果
Table 5 Estimation results of spatial measurement model for spatial differentiation of carbon emission of tourism transportation

解释变量	普通最小二乘法(OLS)			空间滞后模型(SLM)			空间误差模型(SEM)		
	系数	T 检验值	P 值	系数	T 检验值	P 值	系数	T 检验值	P 值
常数项 c	0.208	3.312	0.000	0.316	4.562	0.000	0.316	5.879	0.000
$\ln AGDP$	0.286	4.247	0.006	0.352	4.414	0.000	0.326	6.112	0.000
$\ln TRTN$	0.272	3.296	0.007	0.322	4.627	0.000	0.446	9.062	0.000
$\ln FTOD$	0.274	2.886	0.002	0.351	4.185	0.000	0.371	8.872	0.000
$\ln TRE$	0.118	1.325	1.016	0.138	1.119	1.016	0.056	1.567	1.076
$\ln SIDL$	0.148	2.395	0.032	0.121	3.723	0.004	0.158	2.756	0.006
$\ln EI$	0.112	2.954	0.000	0.119	3.086	0.000	0.128	2.168	0.014
$\ln ES$	-0.116	4.166	0.000	0.129	2.816	0.000	-0.119	2.056	0.000
ρ				0.632	7.625	0.000			
λ							0.926	26.852	0.000
$LogL$					441.306			512.603	
R^2		0.552			0.761			0.868	

空间计量模型估计结果(表 5)显示:1)从经济发展程度看,人均 GDP($\ln AGDP$)通过 1%显著性水平的检验,估计参数为正值(0.326),说明区域经济发展水平越高,旅游交通碳排放越高,经济增长驱动旅游交通碳排放的原假设得到验证。经济发展水平与旅游交通相辅相成,不同社会经济发达程度地区的旅游交通建设规模存在差异,经济发展影响着交通基础设施建设规模,进而可能对旅游交通碳排放产生影响。2)从游客规模层面看,旅游接待总人次($\ln TRTN$)通过 1%显著性水平的检验,影响系数为正(0.446),表明游客规模对旅游交通碳排放具有正
万方数据

向驱动效应。游客规模增加必然促使旅游地交通运输网络系统完善,迫使旅游交通运输规模与强度提升,造成碳排放增加。此外,区域间旅游客流规模集聚效应增大了交通运输的强度和频率,理论上也增加了旅游交通碳排放的可能性。3)从旅游地对外开放度看,对外旅游开放度($\ln FTOD$)通过 1%显著性水平的检验,对旅游交通碳排放的估计参数为正(0.371),表明对外旅游开放度越高,旅游交通碳排放愈高。旅游目的地与外界存在持续的物质能量流、信息流、资金流和旅游客流等交换,该传递交流过程势必伴随“溢出效应”,往往对旅游交通结构、等

级和规模产生倒逼效应,进而影响旅游交通碳排放。此外,区域旅游开放度提升大大增加了要素流流入的机会,而在外资引入尚未“松绑”的现实情况下,投资主要趋向于“高排放、高能耗”的酒店、娱乐、商场等服务行业^[9],而这些行业间规模性的旅游客流、物质要素流动与传导机制,无疑增加了旅游交通碳排放强度。4)从旅游资源吸引力视角看,旅游资源禀赋($\ln TRE$)对旅游交通碳排放具有正向影响(0.056),但未能通过1%显著性水平的检验。究其原因,高等级旅游资源是目的地旅游业可持续发展的重要依托和载体,优质旅游吸引物能够形成旅游地客流集聚的规模效应以及旅游资源对旅游客流的吸引效应,从而在一定程度上间接地引致旅游交通碳排放。5)从区域服务业发展水平看,服务业发展水平($\ln SIDL$)通过1%显著性水平的检验,其估计参数为正(0.158),表明现阶段中国服务业发展水平较低且发展模式仍较为粗放,旅游相关服务产业亟须向集约化、规模化经营发展,不断提高旅游产业的核心竞争力,推动旅游服务产业改革以带动经济绿色健康发展。6)从交通能源强度看,能源强度($\ln EI$)通过5%显著性水平的检验,其影响系数为正(0.128),表明能源强度对旅游交通碳排放具有正向驱动效应,单位交通客运周转量能耗越多,旅游交通碳排放提升越明显。本文研究阶段旅游交通的能源消耗以燃料油、柴油、汽油、煤炭等传统能源类型为主,能源强度对旅游交通碳排放的引致效应较明显。7)从交通能源结构看,能源结构($\ln ES$)通过1%显著性水平的检验,其估计参数为负值(-0.119),表明受益于经济全球化技术扩散影响,先进环保技术的空间溢出效应逐渐凸显,节能减排技术水平提升一定程度上促使电能、天然气、风能等清洁能源在旅游交通领域的应用范围扩大,旅游交通能源消费结构得到调整与优化,能源结构对旅游交通碳排放起到显著抑制作用。但国际绿色壁垒和节能减排技术约束等问题仍存在,诸多国家(尤其是发展中国家)和地区交通能源消费结构仍存在不合理现象,传统的旅游交通能源消费结构亟须向新能源消费结构转型。

上述结果表明,经济发展水平、对外旅游开放度和游客接待规模是引致旅游交通碳排放的主要因素,较大幅度上主导与塑造了中国旅游交通碳排放的空间格局,而服务业发展水平、旅游资源禀赋、能源强度和能源结构对旅游交通碳排放起到不同程度的引致或抑制效应。需说明的是,本研究游客接待

万方数据

规模对旅游交通碳排放的影响系数最大,与文献[44]结果一致;但旅游相关服务业发展对旅游交通碳排放具有显著的引致效应,与文献[44]结果相反,究其原因:本研究尺度为全国,受制于中国各经济带旅游服务业发展水平参差不齐影响,旅游业服务效率相对较低,故服务业整体发展水平对旅游交通碳排放具有引致效应;文献[44]中仅选取山西省为案例地,研究尺度较单一,山西省近些年推进旅游产业政策调整,加之旅游服务效率显著提升,致使服务业发展对旅游碳减排初见成效。这表明基于不同的研究尺度探查各变量对旅游交通碳排放的影响可能具有异质性。

4 结论与讨论

本研究基于宏观地理学时空视角探讨了中国旅游交通碳排放的格局演变及影响因素,构建的旅游交通碳排放影响变量能较好地揭示中国旅游交通碳排放格局演变及主控因素,丰富了旅游交通碳排放的相关研究方法与内容,弥补了以往研究的局限性,主要结论如下:1)2005—2018年中国旅游交通碳排放呈递增态势,旅游交通碳排放的绝对差异逐渐增大,相对差异大致可划分为波动增长期(2005—2007年)、波动起伏期(2007—2013年)和波动降低期(2013—2018年)3个阶段。2)中国旅游交通碳排放的空间分异特征显著,总体上呈现由东至西递减态势,旅游交通碳排放高值区主要集中在以长三角城市群、环渤海经济区和珠江三角洲城市群为代表的沿海地带,与中国“东强西弱”的旅游交通网络格局及“沿主要交通干线和航空枢纽”布局的旅游客流量、流向空间特征基本一致;各省域旅游交通碳排放存在空间相互作用及联动效应,总体上在东—西方向上空间差异趋向增大,其他方向空间分异程度较小,与中国旅游交通碳排放总体空间分异特征基本契合。3)经济发展水平、对外旅游开放度和游客接待规模是引致旅游交通碳排放的主要因素,而服务业发展水平、旅游资源禀赋、能源强度和能源结构对旅游交通碳排放起到不同程度的引致或抑制效应;但基于不同的研究尺度探查各变量对旅游交通碳排放的影响可能具有异质性。

在生态文明建设和绿色发展理念的大背景下,如何保障区域旅游交通发展向“低排放、绿色发展”模式转变,探索绿色旅游交通发展的新路径和新模式,仍是提升区域旅游交通绿色发展的关键问题。1)技术溢出能显著降低碳排放强度^[45]。在相对整体

交通结构难以有效迅速调整状况下,应积极实施“技术性”减碳,通过现代科学技术致力于降低交通能源消耗强度;同时,加快完善产业政策、技术标准和市场应用保障体系,积极发展人均能耗较小的公共旅游交通(如高铁旅游专列),倡导低碳出行和绿色消费理念。此外,鉴于航空运输碳排放占比较大,应通过资金/技术投入、优化整合航线、提高空管效率等措施最大限度地降低航空运输碳排放,充分利用“结构性”减碳进一步抑制旅游交通碳排放强度提升。2)优化交通能源消费结构,推广节能新技术。实施化石燃料在旅游交通能源消费强度和规模上的“双减双控”措施,鼓励使用生物燃料,同时建立长期有效的补贴机制,优先发展电动车、太阳能汽车等清洁能源汽车,打造智能绿色交通^[46]。3)积极实施“管理性”减碳。通过制定和实施行业环境规制^[47]有效提升交通能源利用效率,降低旅游交通能耗强度,比如可以借鉴国际上对交通运输业征收碳税的措施,对燃油、天然气等按照含碳量的比例征收碳税,通过经济激励推动清洁型燃料的推广与普及,实施必要的交通管制,抑制旅游交通碳排放的增长速率。

旅游交通碳排放是复杂的系统问题,其空间异质性态势是多尺度、多因素共同作用的结果,且省域间的差异显著,未来仍需基于多时域、多尺度与多源数据融合等,从深层次揭示省域、市级和景区等多元尺度单元旅游交通碳排放格局变化及其空间分异的影响因素,这将更有利于制定具有针对性的旅游交通碳减排举措。

参考文献:

- [1] 侯国林,黄震方,台运红,等. 旅游与气候变化研究进展[J]. 生态学报,2015,35(9):2837—2847.
- [2] 王兴中. 中国旅游地理[M]. 北京:科学出版社,2013.
- [3] 明庆忠,陈英,李庆雷. 低碳旅游:旅游产业生态化的战略选择[J]. 人文地理,2010,25(5):22—26.
- [4] 石培华,吴普. 中国旅游业能源消耗与 CO₂ 排放量的初步估算[J]. 地理学报,2011,66(2):235—243.
- [5] 何吉成,李耀增. 1975—2005 年中国铁路机车的 CO₂ 排放量[J]. 气候变化研究,2010,6(1):35—39.
- [6] 孙燕燕. 上海市旅游碳排放估算及其效应分解[J]. 地域研究与开发,2020,39(1):122—126.
- [7] 胡双兰. 中国旅游业生态效率测度及时空演变研究[D]. 广州:华南理工大学,2018.
- [8] 刘军,问鼎,童昀,等. 基于碳排放核算的中国区域旅游业生态效率测度及比较研究[J]. 生态学报,2019,39(6):1—14.
- [9] 查建平,舒皓羽,李园园,等. 中国旅游业碳排放及其影响因素研究——来自 2005—2015 年省级面板数据的证据[J]. 旅游科学,2017,31(5):1—16.

- [10] UWTO-UNEP-WMO. Climate Change and Tourism-Responding to Global challenges [R]. Madrid:UNW TO,UNEP,2008.
- [11] BECKEN S,SIMMONS D G,FRAMPTON C. Energy use associated with different travel choices [J]. Tourism Management,2003,24(3):267—277.
- [12] 孙晋坤,章锦河,刘泽华,等. 区域旅游交通碳排放测度模型及实证分析[J]. 生态学报,2015,35(21):7161—7171.
- [13] 廖红璐. 中部六省旅游交通碳排放对居民健康的影响机制研究[D]. 长沙:湖南师范大学,2019.
- [14] SGOURIDIS S,BONNEFOY P A,HANSMAN J R. Air transportation in a carbon constrained world:Long-term dynamics of policies and strategies for mitigating the carbon footprint of commercial aviation[J]. Transportation Research Part A:Policy and Practice,2011,45(10):1077—1091.
- [15] LIN Y P. Carbon dioxide emissions from transport in Taiwan's national parks[J]. Tourism Management,2010,31(2):285—290.
- [16] 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.
- [17] HUANG Z F,CAO F D,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(1):946—955.
- [18] LV W D,HU Y L,LI E P,et al. Evaluation of vehicle emission in Yunnan province from 2003 to 2015[J]. Journal of Cleaner Production,2019,207(1):814—825.
- [19] YORUCU V. Growth impact of CO₂ emissions caused by tourist arrivals in Turkey: An econometric approach[J]. International Journal of Climate Change Strategies & Management,2016,8(1):19—37.
- [20] 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(13):61—64.
- [21] JONES C. Scenarios for greenhouse gas emissions reduction from tourism: An extended tourism satellite account approach in a regional setting[J]. Journal of Sustainable Tourism,2013,21(3):458—472.
- [22] 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.
- [23] 左大杰,戴文涛. 基于通径分析的四川省交通碳排放驱动机理研究[J]. 交通运输系统工程与信息,2018,18(2):230—235.
- [24] WANG Z J,CHEN F,UJIYAMA T. Carbon emission from urban passenger transportation in Beijing[J]. Transportation Research Part D,2015,41(12):217—227.
- [25] 杨曦,李云云,林楚. 武隆世界自然遗产地旅游交通碳排放研究[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版),2017,34(1):131—137.
- [26] 中华人民共和国国家统计局. 年度统计公报[EB/OL]. <http://www.stats.gov.cn/tjsj/tjgb/ndtjgb/>, 2017—12—18/2018—12—26.
- [27] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2006—2016.
- [28] 中华人民共和国国家旅游局. 中国旅游统计年鉴[M]. 北京:

- 中国旅游出版社,2006—2016.
- [29] 国家发展和改革委员会. 中国交通年鉴[M]. 北京: 中国交通建设集团有限公司,2006—2016.
- [30] 国家统计局国民经济综合统计司. 新中国六十年统计资料汇编[M]. 北京: 中国统计出版社,2006—2016.
- [31] 中国经济与社会发展统计数据库. 中国区域发展统计数据库[EB/OL]. <http://tongji.cnki.net/kns55/index.aspx>, 2017—12—18/2018—12—19.
- [32] 王凯, 李娟, 席建超. 中国旅游经济增长与碳排放的耦合关系研究[J]. 旅游学刊, 2014, 29(6): 24—33.
- [33] GETIS A, ORD J K. The analysis of spatial association by the use of distance statistics[J]. *Geographical Analysis*, 1992, 24(3): 189—206.
- [34] 王坤, 黄震方, 曹芳东, 等. 泛长江三角洲城市旅游绩效空间格局演变及其影响因素[J]. 自然资源学报, 2016, 31(7): 1149—1163.
- [35] 靳诚, 陆玉麒. 基于县域单元的江苏省经济空间格局演化[J]. 地理学报, 2009, 64(6): 713—724.
- [36] 周扬, 李宁, 吴文祥, 等. 1982—2010 年中国县域经济发展时空格局演变[J]. 地理科学进展, 2014, 33(1): 102—113.
- [37] ALSELIN L. *Spatial Econometrics: Methods and Model*[M]. The Netherlands: Kluwer Academic, 1988.
- [38] 沈能, 王群伟. 考虑异质性技术的环境效率评价及空间效应[J]. 管理工程学报, 2015, 29(1): 162—168.
- [39] LESAGE J P, PACE R K. *Introduction to Spatial Econometrics*[M]. USA: CRC Press, 2009. 513—514.
- [40] 谢守红, 蔡海亚, 夏刚祥. 中国交通运输业碳排放的测算及影响因素[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(5): 13—18.
- [41] 张诗青, 王建伟, 郑文龙. 中国交通运输碳排放及影响因素时空差异分析[J]. 环境科学学报, 2017, 37(12): 4787—4797.
- [42] 张永年, 潘竞虎. 中国地级及以上城市对外开放度时空分异格局[J]. 干旱区地理, 2018, 41(5): 1123—1131.
- [43] 苏建军, 徐璋勇, 赵多平. 国际货物贸易与入境旅游的关系及其溢出效应[J]. 旅游学刊, 2013, 28(5): 43—52.
- [44] 马慧红, 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.
- [45] 焦建玲, 卫欢, 白羽. 进口贸易技术溢出对区域碳排放强度的影响[J]. 地理与地理信息科学, 2017, 33(3): 72—77.
- [46] 刘明达, 尤南山, 刘碧寒. 基于城市样本的中国城市化与碳排放相关性实证研究[J]. 地理与地理信息科学, 2018, 34(2): 73—78.
- [47] 王淑英, 卫朝蓉. 环境规制与工业碳生产率的空间溢出效应——基于中国省级面板数据的实证研究[J]. 地理与地理信息科学, 2020, 36(3): 83—89.

Carbon Emission Pattern of China's Tourism Transportation and Its Influencing Factors

GUO Xiang—yang^{1,2}, MU Xue—qing³, MING Qing—zhong⁴, DING Zheng—shan³

(1. School of Business Administration/Institute of Tourism Economics and Management, Guizhou University of Finance and Economics, Guiyang 550025; 2. Key Laboratory of Big Data Statistics and Analysis of Guizhou Province, Guiyang 550025; 3. School of Geography, Nanjing Normal University, Nanjing 210023; 4. Institute of Tourism and Culture Industry, Yunnan University of Finance and Economics, Kunming 650221, China)

Abstract: Carbon emission of tourism transportation is one of the important factors leading to global climate change. It is of great social and economic significance to study the spatial differences and influencing factors of tourism transportation carbon emission. This paper takes 30 provincial administrative regions in China as the basic research units, then, based on the construction of measurement model for carbon emission of tourism transportation, and uses the spatial variogram, trend surface analysis and spatial measurement models, to explore the spatial and temporal pattern evolution and influencing factors of tourism transportation carbon emission. It is found as follows. 1) In the period of 2005 to 2018, the carbon emission of China's tourism transportation shows a continuous increase trend, in which the absolute difference of tourism transportation carbon emission increases gradually, and the relative difference shows the characteristics of periodic fluctuation. 2) The overall spatial differentiation of tourism transportation carbon emission is significant, showing a trend of decreasing from east to west. This is basically consistent with China's "strong east and weak west" tourism network pattern, the spatial characteristics of tourist passenger flow and direction which are along the main traffic trunks and aviation hubs. 3) There are spatial interactions and linkage effects in the carbon emissions of provincial tourism transportation in China. In general, the spatial difference tends to increase in the east-west direction, while the spatial differentiation in other directions is small. 4) The regional economic development level, the openness to foreign tourism and scale of tourists are the main factors leading to tourism transportation carbon emission. To a great extent, this has shaped the regional differentiation pattern of the carbon emission of China's tourism transportation, and the development level of service industry, tourism resource, energy intensity and energy structure have various degrees of inducing or inhibiting effects.

Key words: carbon emission of tourism transportation; pattern evolution; influencing factors; China