

# 中国旅游交通碳排放强度的空间溢出效应

殷雅荣<sup>1</sup>, 李 援<sup>2</sup>

(1. 琼台师范学院生态经济研究中心, 海口 570228; 2. 琼台师范学院自贸港智能财务教育研究中心, 海口 570228)

**摘要:** 降低旅游交通碳排放是实现“双碳”目标的重要途径。在空间自相关理论和空间杜宾模型基础上, 对全国旅游交通碳排放的时空演变和空间溢出效应进行研究。结果表明: 2012—2020年, 国内旅游产业GDP表现出较好的全局空间自相关性, 其中, 产业结构、绿色出行率、城镇化率是影响旅游交通碳排放强度的重要因素; 在空间溢出效应中, 地区经济发展水平、绿色出行率与碳排放呈强负相关性, 而城镇化率溢出效应与直接效应相反, 表现正向作用, 说明随着城镇化水平提升带来的碳减排存在边际效应; 地区经济水平、环境技术进步等因素也是降低旅游碳排放强度的重要手段。

**关键词:** 旅游交通; 碳排放强度; 莫兰指数; 空间杜宾模型; 空间溢出效应

**中图分类号:** F062.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2025)05-0342-08

政府间气候变化专门委员会(IPCC)在第六次《气候变化2022: 减缓气候变化》评估报告中指出: 要实现温度升高控制在 $2^{\circ}\text{C}$ 左右的目标, 温室气体排放达峰时间必须控制在2025年前, 并在2030年前减少 $1/4$ <sup>[1]</sup>。全球气候变化已成为当今世界面临的重大挑战问题之一<sup>[2]</sup>。旅游业作为全球第一大产业<sup>[3]</sup>, 其碳排放占全球碳排放总量的 $14\%$ <sup>[4]</sup>, 对气候变化产生了重要的影响<sup>[5]</sup>。而旅游交通的能源消耗则占整个旅游产业的 $70\%$ , 是旅游业最主要的碳排放来源<sup>[6-7]</sup>。因此, 分析国内省区旅游交通碳排放强度(以下称碳强度)的空间自相关性和时空演变特征, 找到影响碳强度的关键因素, 对旅游产业碳减排、生态与经济协同发展具有重要的理论价值和实践意义。

## 1 文献综述

国内外对于旅游交通碳排放的研究主要集中在测算方法、影响因素、减排措施和碳排放时空演变规律4个方面, 通过国内外学者共同努力, 相关研究获得了长足的进展。

在旅游交通碳排放测算上, 学者们对省域、经济区和景区做出了大量研究。根据不同的研究尺度和数据类型的选取, 旅游交通碳排放测算方法主要有“自上而下”<sup>[8-10]</sup>和“自下而上”<sup>[11-12]</sup>法。部分学

者对不同的旅游交通方式进行了测算。魏艳旭等<sup>[10]</sup>测算了中国旅游交通4种主要方式——铁路、汽运、水运和民航的碳排放, 在时间维度和地域维度对其进行了对比, 认为公路和民航碳排放量最大。Byrnes和Warnken<sup>[13]</sup>研究发现船只碳排放对海岸旅游的碳减排压力较大。雷婷等<sup>[14]</sup>构建了中国省际旅游交通碳排放空间关联网络, 并使用社会网络分析法(quadratic assignment procedure, QAP)模型分析了交通能源强度和运输结构、空间距离、居民消费水平和旅游效益等因素对进行关联网络的正、负向影响。厉建梅等<sup>[15]</sup>将“自下而上”的方法结合地理探测器的分异及因子探测模型和交互作用探测模型对大运河文化带沿线省份的旅游交通碳排放量进行测算并对其分域特征和影响因素进行了分析。胡欢等<sup>[16]</sup>则从旅游交通、旅游住宿、旅游活动3个方面对江苏省旅游碳排放与旅游经济增长之间的脱钩状态进行分析。马慧强等<sup>[12]</sup>测算了山西省旅游碳排放量, 指出公路、铁路是山西省旅游交通碳排放量的重要来源, 游客规模是旅游交通碳排放量快速增长的主要因素。由此可见, 旅游交通碳排放的测算方法多样, 不同时期、区域的旅游交通碳排放的来源有显著差异。

国内外学者对旅游交通碳排放影响因素进行

**收稿日期:** 2024-08-12

**基金项目:** 2024年琼台师范学院校级课题(qtky202416); 2023年海南省自然科学基金(高层次人才项目)(623RC520)

**作者简介:** 殷雅荣(1980—), 女, 安徽蚌埠人, 硕士, 讲师, 研究方向为循环经济; 通信作者李援(1979—), 男, 山东菏泽人, 博士, 高级工程师, 研究方向为计算机应用、算法及大数据应用。

了充分研究。Lin<sup>[17]</sup> 研究显示,旅行距离和交通方式是碳排放量贡献最大的因素。王凯等<sup>[18]</sup> 利用对旅游产业结构变迁对旅游业碳排放效率的影响进行了分析,提出旅游产业结构优化对碳排放效率的直接效应分别表现为负向抑制和正向促进,而间接效应和总效应的充分释放还有赖于旅游产业结构的持续优化升级。常先林和陈蕾羽<sup>[19]</sup> 对长江经济带交通碳排放的空间溢出效应进行了分析,证明相对于私家车和载货汽车对区域碳排放产生的正效应,公共交通对区域碳排放产生负效应。Liu 等<sup>[20]</sup>、De Siano 和 Canale<sup>[21]</sup>、Huang<sup>[22]</sup> 分别对旅游产业聚集对环境承载能力进行了正反两方面影响的研究。王佳和薛景洁<sup>[11]</sup> 研究了河南省旅游交通碳排放的影响因素,结果显示游客规模、单位交通周转量的能耗、人均旅游消费水平依次提高旅游交通碳排放,旅游产业占生产总值的贡献度、单位 GDP 交通周转量和能源结构对旅游交通碳排放呈负效应。以上研究表明,产业结构、产业聚集程度、能源结构、交通方式选择、旅行距离等因素是旅游交通碳排放的影响因素。在对旅游交通碳排放研究中,很多学者也提出了相应的政策建议。Sgouridis 等<sup>[23]</sup>、Filimonau 等<sup>[24]</sup> 先后研究发现,减少飞机出行可以促进旅游碳排放的降低。Wu 和 Tian<sup>[25]</sup> 以海口为例,对离岸岛屿旅游能耗和碳排放进行了测算,并讨论通过制定节能减排策略,设置航空、旅游相关税种和监理生态补偿基金等策略实现旅游能耗的强化管理。另外,Rutty 等<sup>[26]</sup> 在研究安大略省滑雪胜地旅游碳排放时提出采用交通工具监控技术和生态驾驶员训练两种手段可减少 8% 的碳排放。孙晋坤等<sup>[27]</sup> 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<sup>[27]</sup>。现有研究表明技术革新、改善交通配置和提高管理水平有利于降低旅游交通碳排放。

当前对于旅游交通碳排放的时空演变及差异性的研究较为薄弱。胡程等<sup>[28]</sup> 通过研究发现,沿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。郭向阳等<sup>[8]</sup> 研究发现,全国省域旅游交通碳排放呈现由东至西递减态势,总体上东-西方向空间联动效应差异趋向最大,其他方向空间分异程度较小。

虽然国内外学者围绕旅游交通碳排放开展了大量针对性研究,但现有研究仍存在以下不足:首先,大多数研究集中在单个省、市、景区或城市群,以全国视角开展的研究相对缺乏。其次,尽管现有研究对旅游

交通碳排放的时空格局及演进进行了分析,但研究对象主要集中在碳排放总量上,缺乏对不同区域因经济发展、城市化水平、科技水平、地理区位、管理和政策等因素的差异化研究。鉴于此,本文将旅游交通碳强度和经济因素结合进行分析,在已有研究成果基础上,采用“自上而下”的研究方法对 2012—2020 年中国 31 个省份(因数据缺失,未包含港澳台地区)旅游交通碳强度进行测算,并采用空间相关性模型探究全国区域内碳强度的时空变化规律,发现关键聚集发展区域并对其进行针对性分析,以确定影响旅游交通碳排放效率的关键因素,为降低国内旅游交通碳强度提供有针对性的建议。

## 2 研究方法 with 数据

### 2.1 数据来源

研究时间段为 2012—2020 年。研究区域为国内长江经济带,包含四川、云南、重庆、贵州、湖北、湖南、江西、安徽、江苏、上海和浙江 11 个省份。2012—2020 年,该经济带旅游产业 GDP 在全国旅游 GDP 中占比从 46.1% 提高到 53.5%,而旅游交通碳排放占比基本稳定在 38%、39% 左右,说明经济带内旅游产业发展具有良好的低碳特征,因此,对该区域的旅游交通碳排放的时空演化规律研究具有良好的指征意义。

旅游人数、收入等数据均来自 2012—2020 年各省《统计年鉴》《国民经济和社会发展统计公报》《中国旅游统计年鉴》和《中国文化和旅游统计年鉴》。4 种交通方式的旅客周转量数据主要来自《中国交通年鉴》和各个省份的《统计年鉴》,个别省区民航客运周转量数据缺失,通过客运量与平均运距乘积进行补充。由于研究时间跨度大,在计算过程中使用各年的 CPI(居民消费价格指数)平减指数对旅游收入进行平减,利用相应年份、地区的 GDP 平减指数对 GDP 进行平减。

### 2.2 旅游交通碳排放和碳排放强度核算

在前人研究<sup>[8,10,26]</sup> 基础上,采用自上而下的碳排放核算方法。利用 4 种交通方式(航空、铁路、公路、水路)的旅客周转量与旅游旅客占比、不同交通方式碳排放因子的乘积汇总估算旅游交通碳排放量,模型为

$$C_{Tr} = \sum_{i=1}^n Q_i f_i \partial_i \quad (1)$$

式中: $C_{Tr}$  为  $t$  年某省份旅游交通碳排放总量; $Q_i$  为第  $t$  年第  $i$  种交通方式的客运周转量; $f_i$  为第  $i$  种交通方式的旅游旅客占比,根据已有研究<sup>[8,10,26]</sup>,航

空、铁路、公路和水路运输方式客流中旅游旅客的比例取值  $f_i$  分别取 13.8%、31.6%、64.7% 和 10.6%； $d_i$  为各种运输方式的 CO<sub>2</sub> 排放因子，g/km，4 种交通方式单位 CO<sub>2</sub> 排放量分别为航空 137 g/km、铁路 27 g/km、公路 133 g/km 和水路 106 g/km。

将旅游交通碳排放相对旅游收入的碳排放强度作为旅游交通碳强度，参照旅游交通碳强度<sup>[27]</sup>将其定义为一段时期内旅游交通 CO<sub>2</sub> 排放量与相应旅游收入的比值，其计算公式为

$$CP_t = \frac{C_t}{Y_t} \quad (2)$$

式中：CP<sub>t</sub> 为某省份第  $t$  年的旅游交通碳排放强度，t/万元；C<sub>t</sub> 为某省份  $t$  年的旅游交通碳排放量；Y<sub>t</sub> 为某省份  $t$  年经过 CPI 平减（以 2012 年为基年）后的实际旅游收入。

### 2.3 空间自相关分析

莫兰指数 (Moran's  $I$ ) 是用来度量某要素与其邻近区域要素空间相关性的一个重要指标，表现为变量在地理空间中的聚集和离散特征。莫兰指数分为全局和局部莫兰指数，前者表明空间相关性的出现与否和强度大小，后者揭示要素在局部地区的聚集和离散情况。全局莫兰指数<sup>[28]</sup>的计算公式为

$$I = \frac{n}{S_0} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} z_i z_j}{\sum_{i=1}^n z_i^2} \quad (3)$$

式中： $z_i$ 、 $z_j$  分别为  $i$  和  $j$  两个省份的旅游交通碳排放强度； $S_0$  为省份旅游交通碳排放强度的均值； $W_{ij}$  为空间权重矩阵，代表  $i$  地区与  $j$  地区的空间关系； $n$  为样本数。Moran's  $I$  指数取值介于  $-1 \sim 1$ ，当  $I > 0$  时，说明旅游交通碳排放强度具有空间正相关性， $I$  值越大，空间正相关性越明显；当  $I < 0$  时，旅游交通碳排放强度在空间上呈负相关， $I$  值越小，空间差异越大；当  $I = 0$  时，表明空间分布相互独立。

局部莫兰指数用于分析某临近区域内指标变量与周边地区指标变量的地理关联程度，从而说明该要素是否存在局部的空间聚集或离散效应，其计算公式<sup>[29]</sup>为

$$I_i = \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{S_0 \sum_{i=1}^n z_i / n} \quad (4)$$

## 3 旅游交通碳排放强度的空间自相关分析

### 3.1 空间权重矩阵选择

空间自相关性分析首先要确定空间权重矩阵，

常用的权重矩阵模型包括 Queen、Rook 邻接，基于距离、 $K$ -最近邻 ( $K$ -nearest neighbors, KNN) 聚类，考虑到空间溢出作用应当是相对于辐射中心距离的反函数，因此，本文中使用反距离权重作用研究区空间权重矩阵。

### 3.2 全局空间相关性分析

为评估经济带内旅游交通碳排放强度的空间聚集效应，使用莫兰指数对旅游产业收入、旅游交通碳排放和旅游交通碳排放强度进行全局空间自相关分析，得到全局莫兰指数见表 1。

表 1 2012—2020 年旅游收入和旅游交通碳排放强度全局莫兰指数

年份	旅游产业收入	旅游交通碳排放强度
2012	0.147	0.023
2013	0.149	0.027
2014	0.131	0.029
2015	0.130	0.033
2016	0.126	0.046
2017	0.129	0.050
2018	0.131	0.054
2019	0.132	0.063
2020	0.178	0.122

由表 1 可知，旅游 GDP 莫兰指数均值为 0.139，随机序列  $P$  可信度检验值均在 0.05 以下，说明旅游 GDP 具有在 95% 置信度水平上的空间聚集效应。从指数的变化趋势看大致可以划分为两个阶段：2012—2016 年，该阶段中全局莫兰指数呈逐步下降趋势，说明旅游收入的空间聚集效应降低，高增长区域零星出现，如四川、广东的旅游收入快速提高，而周边区域的旅游收入则增长较慢。2017 年后，莫兰指数出现递增的态势，说明区域聚集作用逐步加强。

从各省份旅游交通碳排放强度的全局莫兰指数看，其  $P$  值小于 0.25，置信度水平较低；2012—2020 年，全局莫兰指数表现递增的趋势，说明交通碳排放强度聚集性逐渐增强。总的来说，高-高聚集区主要集中在山东、河南、浙江等东部地区，而西部的新疆、西藏、青海地区则属于“低-低”聚集。

### 3.3 局部空间相关性分析

利用局部莫兰指数对旅游收入的区域聚集效应进行分析，2012—2020 年国内旅游产业收入表现出明显的空间聚集、传导特征。总体可划分为：2012—2017 年的蓄势发展阶段、2018—2019 年的快速发展阶段和 2020 年疫情影响阶段。通过对旅游 GDP 的局部莫兰指数 (表 2) 时空演化分析可以看出，长江流域是国内旅游产业区域性聚集发展区域，其发展模式具有明显的聚集、传导性质。

表 2 2012—2020 年全国旅游收入局部莫兰指数变化情况

时间	“高-高”聚集	“低-高”“低-低”聚集
2013—2017 年	华东地区上海、山东、河南、江苏、安徽形成一个“高-高”聚集区，并向南扩展到江西，其中，2012 年山东和 2015 年安徽省均为高显著性	西北新疆形成低-低聚集区域，其中，青海、西藏在 2013 年加入，2015 年退出该“低-低”聚集区
2018—2019 年	东部聚集区向西南地区发展。2018 年，湖南省成为该“高-高”聚集区成员；2019 年，贵州也进入其中，而湖南是高显著性区域	重庆地区旅游 GDP 因周边省区的影响形成“低-高”聚集，显著性为 0.05
2020 年	云南加入“高-高”聚集带。其中，湖南、贵州、云南均表现出高显著性	西北部新疆、青海形成一个“低-低”聚集区域

研究期内，旅游交通碳强度的局部莫兰指数（表 3）也表现出一定的空间聚集特征，特别是在长江流域旅游 GDP“高-高”集聚区中。2012—2017 年，受到山东、河南、上海的高碳强度聚集区的影响，江苏、安徽、江西在其中形成一个“低-高”聚集区域，并经历了 6 年的较长发展阶段。之后，该区域快速向西南地区发展；2018—2019 年，湖南和贵州先后加入周边的“低-高”和“高-高”聚集区，至 2020 年，与贵州毗邻的云南省也进入此“低-高”聚集区中。此“低-高”聚集区中，包括东部的江苏、安徽，中部的江西、湖南和 2020 年西南的云南，其单位 GDP 的旅游交通碳排放强度低于周边区域，对于带动华南地区旅游产业的低碳高效发展起到了重要影响作用。

#### 4 旅游交通碳强度的空间溢出效应分析

旅游交通碳强度受到时、空多重因素的共同影响，具有空间效应。空间滞后模型、空间误差模型和空间杜宾模型是对空间回归建模的主要方法。其中，空间滞后模型（spatial lag model, SLM）指被解释变量受解释变量和其他空间的被解释变量自身共同作用。其表达形式为  $Y = \rho WY + \beta X + \epsilon$ ,  $\epsilon \sim N[0, \sigma^2 I]$ ，其中  $Y$  为被解释变量， $X$  为解释变量， $\rho$  为空间效应系数， $\beta$  为参数项， $W$  为空间权重矩阵。空间误差模型（spatial error model, SEM）则表示空间扰动项与空间总体相关，而空间扰动又会通过空间效应影响到其他空间。其表示形式为  $Y = \beta X + \epsilon$ ,  $\epsilon = \lambda W\epsilon + \mu$ ,  $\mu \sim N[0, \sigma^2 I]$ ，其中， $\lambda$  为空间误差

相关系数；空间杜宾模型综合了 SLM 和 SEM，是考虑空间滞后变量影响的空间自回归模型，其表达形式为  $Y = \rho WY + \beta X + WX\gamma + \epsilon$ ,  $\epsilon \sim N[0, \sigma^2 I]$ 。其中  $X$  为解释变量， $\gamma$  为参数向量，用于度量相邻区域的解释变量对被解释变量的边际影响。

为了确定产业聚集度程度、经济发展水平、产业结构、城镇化水平和技术水平等因素对区域旅游碳强度的影响<sup>[30]</sup>，建立如式（5）所示的模型，使用空间回归模型对各要素作用效果进行评价。

$$CEI_i = \rho WCEI_i + \beta_i X_i + \gamma WX_i + b + \epsilon_i \quad (5)$$

式中：目标参数  $CEI_i$  为  $t$  年省份  $i$  的旅游交通碳强度； $\rho$  和  $\gamma$  为旅游碳强度和解释变量的空间滞后系数； $b$  为常数项； $\epsilon_i$  为随机残差； $X_i$  为主要解释变量，其中包括  $TA_i$ （ $t$  年  $i$  省份的产业聚集度）、 $ED_i$ （ $t$  年  $i$  省区的经济发展水平）、 $IS_i$ （ $t$  年  $i$  省份的产业结构）、 $Urb_i$ （ $t$  年  $i$  省份的城镇化水平）、 $TL_i$ （ $t$  年  $i$  省区的技术水平）。

（1）产业聚集水平（TA）。参考王凯等<sup>[31]</sup>的研究成果使用区位熵来测算。其计算公式为

$$TA_i = (\text{TrGdp}_i / \text{Gdp}_i) / (\text{TrGdp}_t / \text{Gdp}_t) \quad (6)$$

式中： $\text{TrGdp}_i$  为  $t$  年  $i$  省区的旅游 GDP； $\text{Gdp}_i$  为该地区  $t$  年  $i$  省份的 GDP 收入； $\text{TrGdp}_t$  和  $\text{Gdp}_t$  分别为全国  $t$  年的旅游 GDP 收入和全国 GDP。一般认为产业聚集程度高对于产业发展、相关标准的确立和技术进步具有良好的促进作用，而产业聚集程度低则会导致碳强度升高。

表 3 2012—2020 年全国旅游交通碳排放强度的局部莫兰指数变化情况

时间	低-高与高-高聚集	低-低聚集
2012 年	上海、山东、江苏和河南是旅游交通碳排放强度较高的“高-高”聚集区；而安徽、江西和北部的河北、山西、内蒙古构成“低-高”聚集区域	西北新疆、青海、西藏是旅游交通碳排放强度的“低-低”聚集区
2013—2017 年	在上海、山东和河南形成“高-高”聚集区周边江苏、安徽和江西在其南部组成“低-高”聚集区	受周边区域影响，2015—2017 年，青海、西藏退出或加入该聚集区
2018—2019 年	2018 年，湖南作加入华南的旅游交通碳排放强度“低-高”聚集区；2019 年，重庆进该聚集区；2019 年，贵州成为旅游交通碳排放强度的“高-高”聚集，并且具有高显著性	青海和新疆组成“低-低”聚集区，2019 年，青海退出该聚集区
2020 年	云南进入华南旅游交通碳排放强度的“低-高”聚集区，其中湖南、贵州、云南均具有高显著性	西北部新疆、青海形成一个“低-低”聚集区域

(2)考虑经济发展水平高的地区可能会在碳减排中投入更大,同时技术升级和投资生产效率更高,因此,地区经济发展水平(ED)使用地区人均GDP并经平减计算后的值进行衡量。

(3)由于不同产业的碳排放水平并不相同,产业结构(IS)的升级也会汰换粗放经营的产业,因此使用第三产业产值占比衡量各地的产业结构。

(4)城镇化水平(Urb)。城镇化水平提升会在一定程度上提高旅游行业的基础设施,并在一定程度上影响从业人员的环保认识,因此使用城镇化人口占比代表城镇化水平。

(5)开放程度(OP)表示地区的开放程度,以进出口总额与地区当年GDP占比计量。

(6)环境保护技术水平(TL)可以用资源利用效率表征,利用效率高的地区创造单位产值消耗的 resource 量更低,因此该参数用万元GDP的能耗进行测算。

(7)为了衡量地区的绿色旅行比率(GT),以低碳排放交通方式的转运量与总转运量的占比表示。为避免数据之间共线性影响回归结果,对模型输入的数值进行VIF(方差膨胀因子)检验,方差膨胀因子最大值为5.978(表4),表明模型输入解释变量之间不存在严重共线性。

加载数据后,将数据按地区、时间组织为面板数据,通过LM(Lagrange Multiplier)检验说明随机效应显著超过固定效应,应采用随机效应进行回归(表5)。Hausman检验为0.7266,也表明应接受原假设,选择随机效应进行预测。进一步使用似然比(likelihood ratio, LR)检验分析空间杜宾模型应用中是否会退化为空间滞后模型和空间误差模型,得到P值均为0.0000,表明SDM(空间杜宾模型)具有强显著性,不会出现退化为SAR(空间滞后模型)和SEM模型的情况。

表 4 解释变量的共线性检验结果

解释变量	t	共线性统计	
		容差	VIF
TA	3.323	0.684	1.463
ED	1.569	0.269	3.721
IS	4.355	0.450	2.220
Urb	-4.241	0.167	5.978
OP	10.036	0.193	5.178
TL	-1.470	0.727	1.376
GT	10.706	0.719	1.391

表 5 模型回归结果

项目	解释变量	线性随机模型		空间杜宾模型	
		系数	z	系数	z
解释变量的显著性	TA	0.071 2***	4.27	0.100 1***	6.25
	ED	0.173 4***	2.36	0.012 1	0.13
	IS	0.914 1***	9.16	0.550 1***	3.16
	Urb	-0.652 8***	-6.39	-0.609 2***	-3.93
	OP	0.022 3***	4.04	0.004 3	0.64
	TL	0.000 9	0.86	0.001 6	1.22
	GT	0.468 3***	7/09	0.366 8***	4.21
解释变量的空间溢出效应	WTA			-0.178 9*	-1.94
	WED			-0.669 3	-1.36
	WIS			-0.133 9	-0.2
	WUrb			2.031 8**	2.11
	WOP			0.226 7***	3.78
	WTL			-0.010 7**	-2.32
	WGT			-0.421 6*	-1.84
目标变量的空间溢出	$\rho$			-0.282 6	-1.11
		$R^2=0.7284$		$R^2=0.4485$	
		Wald $\chi^2(7)=251.15$		对数似然:320.8355	

注:\*\*\*、\*\*、\* 分别表示在 1%、5%、10% 的水平上显著。

从模型拟合结果可见,城镇化是影响地区碳强度的最重要因素,由于其系数为负,说明在2012—2020年城镇化是制约碳排放增长的重要因素,这也与姚丹等<sup>[30]</sup>对长三角地区和王凯等<sup>[31]</sup>对产业聚集对旅游碳排放空间溢出效应的研究结果相一致,但从城镇化空间溢出看,其溢出效应显著,同时城镇化发展反而导致了周边地区的旅游交通碳强度的增长。而其他的解释变量则对旅游交通碳强度增长起到了促进作用,其影响的大小排序分别是产业结构、绿色出行量占比和旅游产业聚集程度,说明国内第三产业发展与旅游产业聚集都对旅游交通碳强度提高起到了促进作用。其中,出行方式的选择在模型拟合结果中表现为强正相关,但考虑到旅行包括了对本地和目的地的双重作用,其对旅游交通碳排放的影响也应考虑直接和间接作用的双重结果,在绿色出行的空间溢出效应为负,且值为-0.4216,超过直接影响的值0.3668。

空间杜宾模型解释变量对目标变量的影响既包含了解释变量的直接作用和向周边地区的溢出效应,而这些溢出效应又会反向作用于当前地区,表现为直接效应和间接效应(表6)。直接效应和间接效应的和则是总效应,反映了各个解释变量对整体旅游业碳排放效率的平均影响。直接效应中城镇化水平是降低旅游交通碳强度的最有效因素,但其间接效应却表现为对交通碳排放的促进作用,使得其总效应偏向正值。与之相反,产业聚集度、地区

表6 空间杜宾模型的直接、间接和总效应

解释变量	直接效应		间接效应		总效应	
	系数	z	系数	z	系数	z
TA	0.103 8***	6.11	-0.161 4**	-2.06	-0.057 5	-0.74
ED	0.015 4	0.17	-0.532 4	-1.22	-0.516 9	-1.21
IS	0.568 2***	3.37	-0.230 6	-0.42	0.337 6	0.62
Urb	-0.639 3***	-4.23	1.748 7**	2.24	1.109 4	1.41
OP	0.001 8	0.26	0.181 0***	3.11	0.182 8***	3.06
TL	0.001 8	1.35	-0.008 9**	-1.98	-0.007 2*	-1.69
GT	0.372 6***	4.12	-0.432 8**	-2.05	-0.060 3	-0.32

注:\*\*\*、\*\*、\* 分别表示在1%、5%、10%的水平上显著。

经济发展水平、技术水平和绿色出行率均在直接效应中为正,而在总体的效应上表现为降低效果,其中技术发展水平总体效应具有较好的显著性,说明了技术进步对降低旅游交通碳强度的重要意义。产业结构直接效应和间接效应的作用方向相反,但是总体结果仍然表现为对碳强度的提升效果。而以进出口为衡量指标的开放程度则表现出对本地和周边地区旅游交通碳强度的显著双向促进作用。

## 5 结论与建议

### 5.1 结论

以2012—2020年中国省级面板数据为研究单元,测算了各省份旅游交通碳强度,进而使用莫兰指数对其进行空间自相关和时空特征分析,并基于空间杜宾模型对影响旅游交通碳强度的主要因素和其空间溢出效应进行了综合分析,得到以下结论。

(1)通过莫兰指数对旅游收入和旅游交通碳强度进行空间相关性研究发现,2012—2019年,国内旅游产业GDP具有较好的全局空间自相关性,而旅游交通碳强度的全局空间相关性逐步增加,但其显著性较弱。从局部空间自相关分析可以看出,国内旅游产业区域聚集和发展规律表现出3个阶段发展模式。在旅游交通碳强度上,2012—2017年,表现出从东部省份开始,形成“高-高”“低-高”镶嵌发展的格局,并逐步影响华南,2018年和2019年,东部的江苏、安徽,中部的江西、湖南和2020年西南的云南是“低-高”聚集区,对带动旅游产业低碳高效发展起到了重要的辐射作用。

(2)为衡量产业聚集、地区经济发展水平、旅游产业结构、城镇化水平、地区开放程度、环境保护水平和绿色出行等因素对旅游交通碳强度的空间溢出效应,通过比较选择使用随机效应的空间杜宾模型进行回归分析。结果表明,产业聚集度、地区经济水平、技术发展水平和绿色出行率都是应当注意的影响因素。同时,对低城镇化水平的影响模式进

行分析,探讨如何有效降低城镇化水平的间接效应,发挥其在减碳中的作用。

### 5.2 讨论与建议

虽然很多国内外学者基于空间相关性对旅游碳排放的时空变化和影响因素进行了针对性研究,但聚焦在旅游交通领域的成果仍然尚少。在本研究中,旅游交通碳排放与郭向阳等<sup>[8]</sup>发现空间分异特征显著,呈现由东至西递减态势一致。与前人工作相比,本文使用空间杜宾模型对旅游交通碳强度进行了研究,相关的影响因素选取和前人也存在不同。例如,对绿色出行占比的考虑,在考虑本地区影响时其直接影响为正,而在考虑溢出效应后,其总和效应表现为降低。同时,通过直接和间接效应的分析,发现一些对降低碳强度有效的直接影响因素在综合考虑溢出效应后,其降低效果值得商榷。例如,城镇化水平,在王兆峰和汪倩<sup>[29]</sup>的研究中也提出,当地区的城镇化水平介于0.319与0.568之间时,城镇化水平的提升对旅游业碳排放具有较强的抑制作用,而在城镇化水平超过0.568后,旅游业碳排放随城镇化水平提高却不断增加。当城镇化水平不断提高,其辐射作用增强可能会降低其在碳减排中的效果,最终表现对碳强度的提升。

从研究结果可以看出,随着城镇化降碳红利下降,国内旅游业产业减碳应从以下角度考虑:①提高环保科技投入。技术进步是降低旅游交通碳强度的有效措施,也是转换发展模式,促成高质量发展的关键。②随着近年来极端环境事件发生概率增加,居民收入水平的提升也能使其更加重视环境问题,解决从日常生活环保产品采购到环境治理的民间投入的问题。③提高产业聚集度。一方面实现大量交通、餐宿基础设施的复用,有效降低碳排放,同时聚集度的提升对于技术创新具有促进作用,并进而通过科技进步降低碳强度。④应持续加强居民环保意识的培养,提高绿色出行意识,提供更高效率的能源技术和低碳旅行选择。

## 参考文献

- [1] IPCC. Climate Change 2021: Mitigation of Climate Change[R]. Geneva: IPCC Secretariat, 2022.
- [2] KONAN D E, CHAN H L. Greenhouse gas emissions in Hawai'i: household and visitor expenditure analysis[J]. Energy Economics, 2010, 32(1): 210-219.
- [3] World Trade Organization. International trade statistics 2006[R]. Switzerland, Geneva: World Trade Organization, 2007.
- [4] UNWTO. Towards a low carbon travel and tourism sector[R]. Davos, Switzerland: World Economic Forum, 2009: 3-36.
- [5] BECKEN S, SIMMONS D G, FRAMPTON C. Energy use associated with different travel choices[J]. Tourism Management, 2003, 24(3): 267-277.
- [6] 刘军, 问鼎, 童昀. 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.
- [7] 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.
- [8] 郭向阳, 穆学青, 明庆忠, 等. 中国旅游交通碳排放格局及影响因素解析[J]. 地理与地理信息科学, 2022, 38(2): 129-136.
- [9] 宋燕梅, 徐茜. 旅游交通碳排放, 控制成效如何? 成都旅游交通碳排放测算及变化趋势分析[J]. 中国生态文明, 2021(5): 90-92.
- [10] 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(2): 76-78.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] BYRNES T A, WARNKEN J. Greenhouse gas emissions from marine tours: a case study of Australian tour boat operators [J]. Journal of Sustainable Tourism, 2006, 14(3): 255-270.
- [14] 雷婷, 王奕淇, 王超. 中国省际旅游交通碳排放空间关联网络及影响因素[J/OL]. 环境科学. <https://doi.org/10.13227/j.hjlx.202402137>.
- [15] 厉建梅, 李曼, 元敏丽, 等. 大运河文化带沿线省份旅游交通碳排放的时空演变及影响因素研究[J]. 生态经济, 2024 40(7): 145-152.
- [16] 胡欢, 章锦河, 杨嫚, 等. 区域旅游业碳排放测算及其动态变化研究: 以江苏省为例[J]. 生态经济, 2016, 32(6): 57-62.
- [17] LIN T P. Carbon dioxide emissions from transport in Taiwan national parks[J], Tourism Management, 2010, 27(13): 285-290.
- [18] 王凯, 何静, 甘畅, 等. 中国旅游产业结构变迁对旅游业碳排放效率的空间溢出效应研究[J]. 中国软科学, 2022(12): 50-60.
- [19] 常先林, 陈蕾羽. 长江经济带交通碳排放空间溢出效应研究: 基于空间杜宾模型分析[J]. 上海节能, 2022(5): 577-583.
- [20] LIU J, LI J, AN K K. The effects of tourism industry agglomeration on tourism environmental carrying capacity: evidence from a panel threshold model[J]. Journal of Resources and Ecology, 2022, 13(6): 1037-1047.
- [21] DE SIANO R D, CANALE R R. Controversial effects of tourism on economic growth: a spatial analysis on Italian provincial data [J]. Land Use Policy, 2022, 117: 106081.
- [22] HUANG C, WANG J W, WANG C M, et al. Does tourism industry agglomeration reduce carbon emissions? [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2021, 28(23): 30278-30293.
- [23] 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 [J]. 2011, 45(10): 1077-1091.
- [24] FILIMONAU V, DICKINSON J, ROBBINS D. The carbon impact of short-haul tourism: a case study of UK travel to Southern France using life cycle analysis[J]. Journal of Cleaner Production, 2014, 64(1): 628-638.
- [25] W U P, TIAN M. On estimating transportation energy consumption and carbon dioxide emissions from off-shore island tourism: a case study of Haikou City, China[J]. Journal of Resources and Ecology, 2016, 7(6): 472-479.
- [26] RUTTY M, MATTHEWS L, SCOTT D. Using vehicle monitoring technology and eco driver training to reduce fuel use and emissions in tourism: a ski resort case study [J]. Journal of Sustainable Tourism, 2014, 22(5): 787-800.
- [27] 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
- [28] 胡程, 丁正山, 穆学青, 等. 长江经济带旅游交通碳排放时空演变及驱动因素[J]. 南京师大学报(自然科学版), 2022, 45(1): 40-48.
- [29] 王兆峰, 汪倩. 长江经济带新型城镇化对旅游业碳排放的门槛效应研究[J]. 长江流域资源与环境, 2022, 31(1): 13-24.
- [30] 姚丹, 任丽燕, 马仁锋, 等. 长三角旅游业碳排放强度空间格局及影响因素分析[J]. 生态科学, 2021, 40(2): 89-98.
- [31] 王凯, 刘依飞, 甘畅. 旅游产业集聚对旅游业碳排放效率的空间溢出效应[J]. 生态学报, 2022, 42(10): 1-10.

## Spatial Spillover Effect of China's Tourism Transportation Carbon Emission Intensity

YIN Yarong<sup>1</sup>, LI Yuan<sup>2</sup>

(1. Ecological Economy Research Center, Qiongtai Normal University, Haikou 570228, China;

2. Institute of Educational Big Data and Artificial Intelligence, Qiongtai Normal University, Haikou 570228, China)

**Abstract:** Lowering carbon emissions from tourism transportation is an important way to achieve the “dual carbon” goals. Based on spatial autocorrelation theory and the spatial Durbin model, a study was conducted on the spatiotemporal evolution and spatial spillover effects of carbon emissions from tourism transportation nationwide. The results indicate that from 2012 to 2020, the GDP of the tourism industry showed a good overall spatial autocorrelation, with industrial structure, green travel rate, and urbanization rate being the most influential factors on carbon intensity in tourism transportation. In terms of spatial spillover effects, there is a strong negative correlation between regional economic development levels and green travel rates with carbon emissions, while the spillover effects of urbanization rate show a contrary direct effect, demonstrating a positive effect, which indicates that the carbon reduction achieved with the increase in urbanization level has a marginal effect. Factors such as regional economic levels and advancements in environmental technology are also important means of reducing carbon intensity in tourism.

**Keywords:** tourism transportation; carbon emission intensity; Moran index; spatial Durbin model; spatial spillover