

基于空间面板计量模型的雾霾对中国城市 旅游流影响的空间效应

徐 冬^{1,2}, 黄震方^{1,2}, 黄 睿^{1,3}

(1. 南京师范大学地理科学学院, 南京 210023; 2. 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心, 南京 210023; 3. 南京旅游职业学院旅游管理学院, 南京 211100)

摘要: 以中国342个市域单元为研究对象, 借助双变量LISA模型、空间面板杜宾模型等方法, 探究了1998-2016年雾霾与中国城市旅游流的空间关联特征, 分析了雾霾对旅游流的影响及其空间溢出效应。结果表明, 在中国雾霾PM_{2.5}与城市旅游流有东高西低的分布特点, 在胡焕庸线两侧的空间分布呈现出与地形和城市发展等因素的空间耦合性; 雾霾与城市旅游流(含国内和入境旅游流)均表现出显著的空间集聚和空间依赖特征, 雾霾污染对旅游流产生明显的影响并形成相应的空间效应; 雾霾对旅游流的抑制区域在不断扩大, H-L型城市数量的增加、L-H型集聚区的片状扩张和华北、华中地区的L-H型集聚的“空心化”现象均表明旅游流具有低雾霾指向性; 雾霾污染与旅游流的倒“U”型曲线关系表明经典的EKC假说对中国城市旅游流同样适用, 且雾霾污染的显著负向影响主要存在于入境旅游方面; 雾霾和旅游流均具有明显的正向空间溢出效应, 将雾霾治理同经济发展、对外联系、旅游开发、生态保护和交通建设等因素结合起来进行综合治理, 才能为旅游发展创造美好的环境, 实现国际、国内旅游健康、协调、可持续发展。

关键词: 雾霾; PM_{2.5}; 旅游流; 空间关联; 空间效应; 中国

DOI: 10.11821/dlxb201904014

1 引言

雾霾不是某一个国家或地区的“专利”, 它是一个全球性问题。近几年, 中国受大面积雾霾天气的影响, 以PM_{2.5}(直径 $\leq 2.5 \mu\text{m}$ 的可入肺颗粒物)为首要污染物的雾霾来势之迅猛、波及范围之广前所未有。其中雾霾污染最为严重的京津冀地区日均PM_{2.5}浓度曾高达500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 被网友调侃的PM_{2.5}监测“机器爆表”现象屡见不鲜^[1-2]。雾霾天气降低能见度, 影响居民交通出行, 严重威胁着居民的生活和健康, 并使居民对周围的环境感到恐慌^[3-5]。已有研究从环境流行病学和健康地理学的视角, 认为空气污染的时空分布与居民移动的活动行为密切相关, 不同经济群体及通勤者由于出行模式和职住距离的差异, 其空气污染暴露程度也不相同^[6-8]。相较于污染地居民, 旅游者对目的地空气污染等旅游风险的感知水平更高, 更易受到健康风险的影响^[9]。已有研究发现, 中国雾霾污染的加剧, 加之国内外媒体的大肆报道, 中国的旅游形象及雾霾高污染地区的旅游吸引力已经遭受到了严重损害^[10]。

收稿日期: 2017-10-16; 修订日期: 2019-03-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(41671137, 41771154) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41671137, No.41771154]

作者简介: 徐冬(1992-), 男, 河南开封人, 博士生, 主要从事旅游地理与旅游规划研究。E-mail: xudong_njnu@163.com

通讯作者: 黄震方(1963-), 男, 江苏扬中人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事旅游地理与旅游规划研究。

E-mail: zhfh@263.net

旅游流研究始于20世纪60年代,作为旅游学与地理学的交叉领域,一直以来都是旅游地理学研究的核心内容。旅游流概念有广义和狭义之分,本文主要关注狭义旅游流,即旅游客流^[1]。早期旅游流研究以定性分析为主,随着研究内容和对象的不断深化,定量方法逐渐成为主流,其中计量统计方法作为量化分析旅游流相关内容和特质的基本手段得到广泛应用,如利用位序—规模法研究旅游流的齐夫结构及空间差异^[12];利用时间序列模型对旅游流进行预测和模拟^[13-14]。自地理学者将空间要素引入到旅游现象的研究中,旅游流流动所产生的空间效应就成为旅游流研究的重要组成部分^[15-16],相关学者运用探索性空间数据分析(Exploratory Spatial Data Analysis, ESDA)、验证性空间数据分析(Confirmatory Spatial Data Analysis, CSDA)和地理加权回归模型等对旅游流是否存在空间溢出效应、存在怎样的空间溢出效应以及空间溢出的影响因素进行了分析,研究结果均表明相邻地区旅游流的空间溢出效应显著且有日益增强的趋势^[16-18]。由于旅游业的综合性和脆弱性,旅游流易受到社会 and 自然因素的干扰而产生较大波动^[17, 19-22]。当前,学者们从旅游安全和气候变化角度出发,较多关注了金融危机、自然灾害和极端气候事件(如雪灾)等对游客旅游目的地选择和旅游目的地形象的影响^[10, 22-23]。但关于雾霾污染,这一严重影响旅游安全的危机事件^[24-25],学界并没有给予足够的重视,已有研究也还只是停留在旅游主体的雾霾风险感知及旅游决策层面,并一致认为雾霾对游客的健康具有潜在风险,已且成为影响旅游者决策过程的关键负面因素^[23-27]。

雾霾的主要构成是二氧化硫、氮氧化物和可吸入颗粒物(粉尘),其中可吸入颗粒物是加重雾霾天气污染的元凶^[28]。 $PM_{2.5}$ 由于颗粒直径较小,且易吸附有毒有害物质而对人体健康的危害最大,容易诱发肺癌、心血管疾病及其他呼吸道疾病^[29-31],受到人们更为广泛的关注。此外,雾霾污染并非单纯的局部环境问题,在很大程度上会通过大气环流等自然因素扩散或转移到邻近地区,其中 $PM_{2.5}$ 更易远距离传输并长期停留在大气中,对本地及邻近地区造成影响^[32]。空间上任何地理要素都具有空间相关性和空间异质性^[5],雾霾和旅游流也不例外,两者在空间上都会发生转移、扩散,并对本地及异地产生影响,即产生空间效应^[17-18, 33]。综上所述,虽然学者们从不同角度关注了空气污染($PM_{2.5}$ 、CO等)对居民和旅游者的影响,也用不同方法研究了旅游流的空间效应及其影响因素,但仍有以下不足:①空气污染对居民出行影响的研究多属于微观环境尺度,大尺度研究缺乏,尤其针对旅游者这类比污染地居民健康风险感知能力更高的特殊群体研究更少;②囿于雾霾($PM_{2.5}$)等相关数据的可获得性及精度问题,雾霾与旅游流空间关系的量化研究相对不足,两者的空间关联及空间交互作用有待深化;③学界当前尚未重视市域尺度下雾霾对旅游流影响的空间溢出效应,亦缺乏旅游流与雾霾等影响因素自身可能存在溢出效应或作用强度差异的探讨。因此,本文以中国342个市域单元为对象,借助双变量LISA(Local Indications of Spatial Association)模型、空间面板杜宾模型(Spatial Panel Dubin Model, SPDM),从空间关联角度实证研究雾霾污染的罪魁祸首—— $PM_{2.5}$ 对旅游流(国内和入境旅游流)的直接效应和空间溢出效应,以期在一定程度上弥补雾霾对旅游流影响的研究不足,并为旅游业如何应对雾霾天气,有效开展旅游流的空间导控和促进区域旅游协同与合作发展提供理论指导。

2 研究方法 with 数据来源

2.1 双变量LISA模型

空间上任何地理要素都具有相关性,且距离越近,空间相关性越大^[5]。空间自相关又

可以分为全局空间自相关和局部空间自相关。通常,空间自相关所描述的地理要素只有一个变量,而基于双变量的空间自相关在描述两个地理要素的空间关联和依赖特征上具有较高适用性和有效性^[34]。本文在利用单变量全局空间自相关判断PM_{2.5}和旅游流各自的空间分布特性的基础上,利用双变量全局空间自相关(Bivariate Moran's I)探索两者的空间关联特征,其表达式^[34]为:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(y_j - \bar{y}) / s^2}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (1)$$

式中: x_i 、 y_j 为区域*i*、*j*的不同地理属性观测值; n 为样本数量; s^2 为样本方差; w_{ij} 为基于邻近标准构建的空间权重矩阵; I 为双变量全局空间自相关系数,表示区域*i*的自变量和区域*j*的因变量的总体空间分布相关性。

双变量局部空间自相关(Bivariate Local Moran's I)的表达式^[25]为:

$$I_i = z_i \sum_{j=1}^n w_{ij} z_j \quad (2)$$

式中: z_i 和 z_j 是区域*i*、*j*观测值的方差标准化值; I_i 为区域*i*的自变量与区域*j*的因变量之间的局部关联性,可以分为H-H(High-High)、L-L(Low-Low)、H-L(High-Low)和L-H(Low-High)4种集聚类型。H-H型集聚表示区域*i*的自变量值与区域*j*的因变量值都较高,L-L型集聚表示区域*i*的自变量值与区域*j*的因变量值都较低,H-L型集聚表示区域*i*的自变量值较高,而其邻近区域*j*的因变量值较低,L-H型集聚表示区域*i*的自变量值较低,而其邻近区域*j*的因变量值较高。H-H和L-L型集聚说明区域*i*的自变量值和区域*j*的因变量呈正相关关系,而H-L和L-H型集聚说明区域*i*的自变量值和区域*j*的因变量呈负相关关系,其显著性则表示这种正向或负向的空间关联关系是否明显。

2.2 空间面板杜宾模型

SPDM是考察地理事物空间关联性的主要模型,它同时包含自变量和因变量的空间依赖效应,是相较于空间面板误差模型(Spatial Panel Lag Model, SPLM)和空间面板滞后模型(Spatial Panel Error Model, SPEM)更为一般的形式^[35]。本文用其来揭示雾霾等自变量和因变量旅游流的空间依赖效应,并在此基础上分析自变量对因变量的直接效应和空间溢出效应。SPDM的基本形式^[35-36]为:

$$Y_{it} = \beta X_{it} + \rho \sum_{j=1}^N W_{ij} Y_{jt} + \varphi \sum_{j=1}^N W_{ij} X_{jt} + \mu_i + v_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

式中: Y_{it} 、 X_{it} 为第*t*年区域*i*、*j*的因变量和自变量的观测值; W_{ij} 为空间权重矩阵; β 为自变量的待估参数向量; ρ 为因变量的空间滞后系数; φ 为自变量的空间回归系数; μ_i 、 v_t 分别代表空间效应和时间效应; ε_{it} 为服从独立同分布的随机误差项。当 $\varphi = 0$ 、 $\rho \neq 0$ 时,公式(3)为SPLM模型;当 $\varphi + \rho\beta = 0$ 时,公式(3)为SPEM模型。

模型的回归系数并不是真实的偏回归系数,需要利用偏微分形式对模型中的直接效应和间接效应进行分解,具体分解公式及相关变量解释详见LeSage等^[36]、王坤等^[37]的研究。需要指出的是,分解得到的直接效应表示本地区自变量对因变量的影响,间接效应表示邻近地区自变量对本地区因变量的影响,即空间溢出效应,直接效应和间接效应之和为总效应^[37]。

2.3 变量选取与数据来源

根据前述理论分析,旅游流不仅受雾霾等因素影响,还受资源禀赋、基础设施等多种因素的影响^[19-21],由于本文主要探讨雾霾对旅游流影响的空间效应,所以,本文将旅游流作为因变量,将雾霾PM_{2.5}浓度作为核心自变量,同时考虑影响城市旅游流的诸如城市经济、交通、资源和制度等因素,将其作为控制变量引入模型。各变量具体如下:

因变量:旅游流(TF)。本文研究的是旅游者从始发地至目的地所产生的总的旅游客流,由国内旅游流(DTF)和入境旅游流(ITF)加总得到,两者分别用国内和入境旅游人次表征。为进一步探索雾霾对旅游流影响的内部差异,本文进行了国内和入境旅游流的对比研究。

核心自变量:雾霾 $PM_{2.5}$ 浓度(Pm)。本文所采用的1998-2012年 $PM_{2.5}$ 源数据来自哥伦比亚大学社会经济数据和应用中心公布的全球 $PM_{2.5}$ 栅格数据^[38],利用ArcGIS将其解析为中国市域年均 $PM_{2.5}$ 浓度具体值。由于该机构公布的 $PM_{2.5}$ 数据为3年滑动平均值,所以,本文将其他变量也做了3年滑动平均处理。已有研究表明,利用该 $PM_{2.5}$ 数据源反映中国地区雾霾污染及其变化具有准确性和适用性^[33]。2013-2016年 $PM_{2.5}$ 源数据为中国城市空气质量实时发布平台发布的实时小时数据,监测点年均数据根据获取的小时数据求平均值得到,其中污染物数值为0(异常)的数据不参与求平均。由于中国环境监测点分布尚不均匀,因此利用监测点数据,采用插值法得到的区域内 $PM_{2.5}$ 年均浓度值未免会在西部监测点较少的地区产生误差。根据已有研究,运用克里金插值法(Ordinary Kriging Method, OKM)对中国城市监测点的 $PM_{2.5}$ 数据进行插值具有相对更高的精度^[39],且能够更加科学地反映中国 $PM_{2.5}$ 的空间分布格局^[1, 40]。因此,本文基于2013-2016年各监测点年均 $PM_{2.5}$ 浓度数据,采用OKM插值法将其处理为栅格数据,并结合交叉验证法对插值效果进行验证,OKM精度均在85%以上,这与潘竞虎等^[41]的研究一致,之后运用ArcGIS将插值得到的栅格数据矢量化。在做数据的3年滑动平均处理时,根据哥伦比亚大学社会经济数据和应用中心公布的全球 $PM_{2.5}$ 源数据中2009年和2010年的数据计算得到2011年和2012年数据,之后再结合2013-2016年 $PM_{2.5}$ 源数据计算2011-2013年、2012-2014年等时段的3年滑动平均 $PM_{2.5}$ 浓度值。由于前后两类数据统计口径不同,因此对2010-2012年、2011-2013年和2012-2014年3个时段的市域 $PM_{2.5}$ 数据分别进行双变量相关性检验,并对1998-2016年 $PM_{2.5}$ 数据进行ADF单位根检验。检验结果显示:3个时段数据均符合正态分布,两两Person相关系数高于0.908,在0.01水平上显著,时间序列 $PM_{2.5}$ 数据经一阶差分后通过0.01的显著性水平检验,属一阶单整序列,说明前后两类数据之间具有时间和空间上的连续性、平稳性和显著相关性,预测和解释能力较好,可以结合起来使用。

控制变量:①经济发展水平($Pgdp$)。经济发展水平决定旅游规模的大小,从旅游投入和旅游需求两个方面影响旅游流,选取城市人均GDP来表征,由1998年为基年经过测算GDP平减指数调整后得到^[20, 42];②旅游资源禀赋(Res)。地区旅游资源是旅游者目的地选择的重要参考因素,选取各市3A级以上旅游景区(点)数量,依据相关标准中对应分值加总求和得到该要素值^[21];③旅游基础设施(Inf)。旅游基础设施良好的区域能更好地满足游客的需求,增强旅游者体验质量,其中住宿设施是衡量旅游基础设施水平的重要指标,选取城市星级饭店数量,依据相关标准中的对应分值加总求和得到其要素值^[19, 21, 43];④对外联系度(FDI)。对外联系度越高,知名度越高。FDI是反映地区经济对外开放水平的重要指标,所以选取实际利用外商直接投资额来表征对外联系度^[21, 42, 44];⑤交通发展水平(Tra)。交通发展水平影响地区对旅游者的吸引力及可进入性,虽然铁路、公路和内河航道等现状交通都是衡量交通发展水平的重要指标,但公路具有一定的普适性和积极意义,所以本文用公路网络密度来表征交通发展水平^[18, 43, 45];⑥市场规模(Den)。该指标用人口密度进行表征,以说明本地市场效应对旅游流的影响^[19, 45]。此外,由于旅游业是一个相对敏感的产业,容易受到特殊事件(如自然灾害、经济危机和事故灾难等)等外部因素的影响,导致旅游流显著下滑^[10, 25],但由于该部分统计数据缺失严重,故本文未将其纳入研究范围。

为降低异方差及减少变量波动,在进行模型分析前,对文中所涉变量统一进行对数化处理。本文所用数据主要来源于1998-2016年的《中国城市统计年鉴》《中国区域经济统计年鉴》、各省与地级市统计年鉴及旅游局官方网站等。研究范围为中国大陆342个市域行政单元,考虑到数据的连续性及与当前宏观政策的衔接性,按2016年最新市域单元划分情况对部分市域数据进行归并处理。中国港澳台地区和三沙市由于统计口径与数据可获得性等原因未包含在本文研究范围内;将海南省除三亚以外的县市及其相应数据归并到海口市;巢湖市由于2011年行政区划调整,将其并入合肥、马鞍山和芜湖3市,本文将其2011年以前的数据加总到合肥市上;北京、天津、上海和重庆4个直辖市统一按一个城市计算。部分地级市出现不同年份数据缺失的情况,采用插值的方式进行补充完善,以达到研究处理要求。

3 雾霾与旅游流的空间相关性检验

3.1 雾霾与旅游流的空间分布特征

基于1998-2016年的中国城市雾霾 $PM_{2.5}$ 浓度与对数化后的旅游人次(包括国内和入境旅游人次)表征的旅游流数据,选取1998-2000年、2006-2008年和2014-2016年3个时段进行空间可视化得到图1和图2。根据世界卫生组织规定, $PM_{2.5}$ 年均浓度超过 $10\mu g/m^3$ 就会对人体造成危害,上述3个时段中国分别有304个、326个和341个城市超过此数值,2014-2016年只有大兴安岭地区年均 $PM_{2.5}$ 浓度低于该值,为 $4.54\mu g/m^3$ 。按照中国《环境空气质量标准》的二类区年均限值 $35\mu g/m^3$ 来看,3个时段分别有137个、200个和279个城市高于该值。

雾霾 $PM_{2.5}$ 在中国的分布具有东高西低的特点,其变化与地形、区域城市发展等具有明显的空间耦合性。具体来看,1998-2016年雾霾的分布特征与中国人口分布密度特征曲

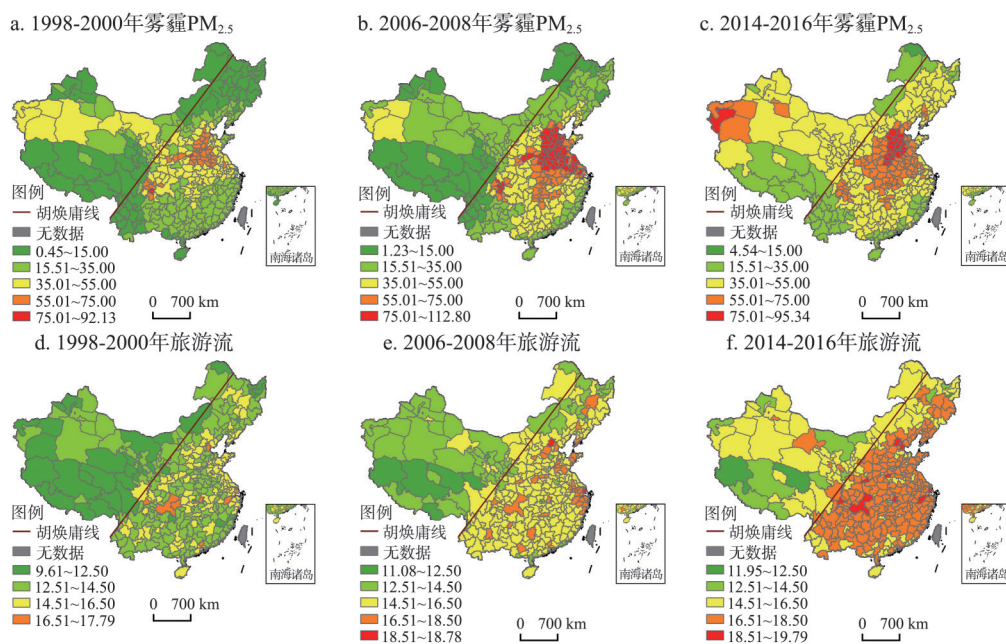


图1 中国雾霾 $PM_{2.5}$ 污染和旅游流的空间聚类

Fig. 1 Spatial clustering of haze pollution ($PM_{2.5}$) and tourism flows

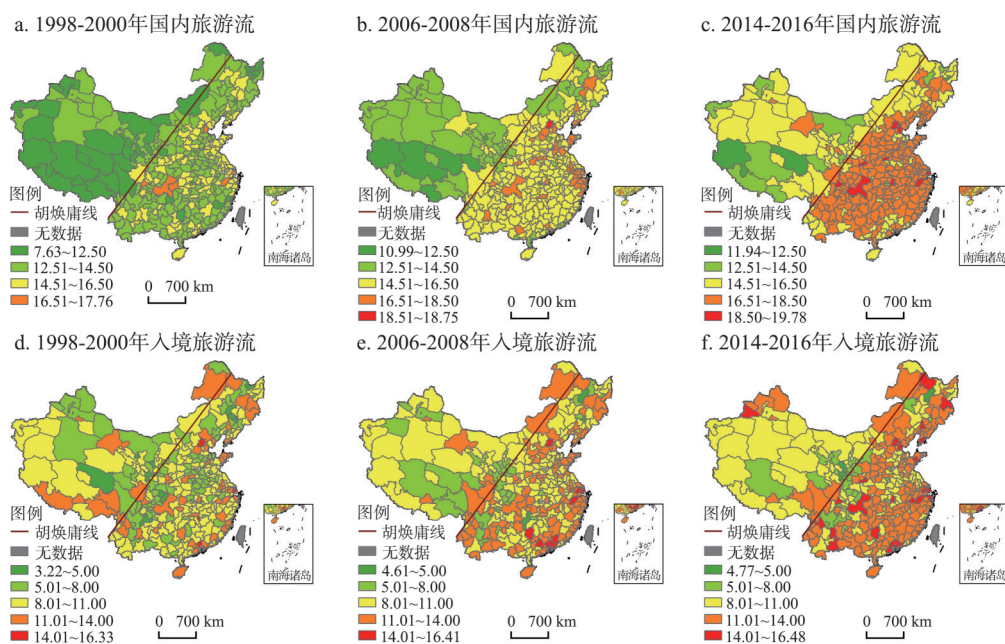


图2 雾霾 $PM_{2.5}$ 污染与国内和入境旅游流的空间聚类

Fig. 2 Spatial clustering of haze pollution ($PM_{2.5}$) and domestic tourism flows and inbound tourism flows

线（胡焕庸线）所划分出的中国人口分布特点类似（这与杨昆等^[5]的研究一致），雾霾在胡焕庸线以东区域集聚严重，分别在华北的北京、天津、河北，华中的河南、湖南，华东的山东等省市形成了 $PM_{2.5}$ 的高浓度集聚区，并以这些区域为中心向四周大范围扩散；雾霾分布还与中国的地形特征具有高度相关性，分别在塔里木盆地、四川盆地、渭河（关中）平原至汾河平原、华北平原及长江中下游平原形成了雾霾的高度聚集区，这与盆地和平原地区地势低洼，容易形成雾霾沉积有关^[1, 28, 46-48]，雾霾污染以华北平原为中心，向北已经进入了东北平原，向西也越过了太行山脉，并有翻越秦岭与四川盆地交汇的趋势；部分省会城市（如北京、天津、郑州、石家庄、西安、济南、成都等）雾霾污染严重，且具有时间稳定性，形成了以这些城市为中心向周边等级扩张的态势，这与这些省会城市的人均汽车保有量及第二产业发展等^[4]高度相关，受资源环境承载力的限制，这些地区的环境污染问题日益突出。

中国城市旅游流的空间分布也具有东高西低的特点，“群状”集聚现象显著，国内旅游流与入境旅游流的空间分布存在较大差异，但都具有一定的规律性。具体来说，研究期内中国城市旅游流在胡焕庸线东西两侧等级分布明显，且具有相对稳定性，胡焕庸线以东的旅游流增长迅速，表现出显著的区域带动效应，胡焕庸线以西一直是中国旅游业发展相对滞后的区域，但旅游流有从东南向西北扩张的趋势，相信随着西部大开发战略的推进及“一带一路”倡议的践行，中西部的旅游业将迎来前所未有的发展。旅游流空间分布呈现出以城市群（如京津冀城市群、关中城市群、成渝城市群和长三角城市群等）中心城市为核心，向周边城市等级扩张的“核心—边缘”扩散的演化特征，空间上呈“群状”集聚并有网络状填充式发展态势。国内旅游流与入境旅游流的空间分布差异明显，其中国内旅游流的空间分布及演化与城市总体旅游流类似，这与中国人口基数大，国内旅游人次占比较高有关。入境旅游流空间分布的中心城市效应明显，入境口岸

城市及知名国际旅游目的地城市（如大连、厦门、丽江、桂林、洛阳和黄山等）的入境旅游人次相对较高，入境旅游流空间集聚效应比较明显。

3.2 雾霾与旅游流的全局空间关联

通过计算 1998-2016 年中国 342 个市域单元的雾霾 PM_{2.5} 和旅游流（包括国内和入境旅游流）的单变量 Moran's *I* 值及其显著性，探索雾霾和旅游流空间分布的集聚特征。之后借助探索性空间数据分析软件 OpenGeoda 中的多变量 LISA 模块来计算雾霾与旅游流的双变量 Moran's *I* 值及其显著性，探索它们之间的空间关联特征。具体结果如表 1 所示。

表 1 雾霾 PM_{2.5} 污染和旅游流的单变量和双变量 Moran's *I* 统计值
Tab. 1 Univariate and bivariate Moran's *I* values of haze pollution (PM_{2.5}) and tourism flows

年份	单变量 Moran's <i>I</i>				双变量 Moran's <i>I</i>		
	<i>Pm</i>	<i>TF</i>	<i>DTF</i>	<i>ITF</i>	<i>Pm</i> 与 <i>TF</i>	<i>Pm</i> 与 <i>DTF</i>	<i>Pm</i> 与 <i>ITF</i>
1998-2000	0.7411***	0.1539***	0.1570***	0.1708***	0.2100***	0.2266***	-0.1103***
1999-2001	0.8192***	0.1507***	0.1541***	0.2623***	0.2096***	0.2285***	-0.1536***
2000-2002	0.8408***	0.1474***	0.1512***	0.2654***	0.2299***	0.2468***	-0.1482***
2001-2003	0.8373***	0.1533***	0.1551***	0.2771***	0.2673***	0.2805***	-0.1242***
2002-2004	0.8149***	0.1592***	0.1614***	0.2118***	0.3002***	0.3096**	-0.0661**
2003-2005	0.8082***	0.1641***	0.1702***	0.2200***	0.3241***	0.3354***	-0.0264
2004-2006	0.7910***	0.1715***	0.1828***	0.2163***	0.3216***	0.3392***	-0.0045
2005-2007	0.8211***	0.1746***	0.1820***	0.2120***	0.3236***	0.3353***	0.0248
2006-2008	0.8267***	0.1769***	0.1838***	0.2220***	0.3273***	0.3372***	0.0603***
2007-2009	0.8333***	0.1740***	0.1790***	0.2324***	0.3425***	0.3369***	0.1106***
2008-2010	0.8106***	0.1775***	0.1826***	0.2699***	0.3356***	0.3316***	0.2591***
2009-2011	0.8036***	0.1805***	0.1871***	0.2800***	0.3333***	0.3281***	0.1035***
2010-2012	0.8001***	0.1852***	0.1921***	0.2777***	0.3254***	0.3269***	0.1031***
2011-2013	0.8242***	0.1856***	0.1931***	0.2737***	0.3108***	0.3123***	0.0807***
2012-2014	0.8284***	0.1837***	0.1895***	0.2660***	0.2655***	0.2684***	0.0637**
2013-2015	0.8656***	0.1789***	0.1856***	0.2487***	0.2334***	0.2384***	0.0038
2014-2016	0.8427***	0.1769***	0.1840***	0.2400***	0.1845***	0.1909***	-0.0254

注：***和**分别表示统计值在 0.01 和 0.05 水平上显著。

雾霾和中国城市旅游流总体上呈较强的空间集聚特征，且空间依赖程度逐年增强。近 20 年来，雾霾的单变量 Moran's *I* 值在 0.74~0.87 之间波动上升，且都通过了 0.01 的显著性检验，说明中国 PM_{2.5} 年均浓度较高的市域在空间上趋于邻近，低浓度市域空间上亦相邻，雾霾的空间依赖性在加强；研究期内，城市旅游流的 Moran's *I* 值也均为正，呈波浪形上升态势，且都在 0.01 的水平上显著，说明城市旅游流存在显著的空间自相关，且空间依赖和集聚强度在不断增强；国内旅游流的空间集聚特征与总体类似，Moran's *I* 值在 0.15~0.20 间波动上升，集聚程度不断增强，入境旅游流的 Moran's *I* 值也均为正，高于国内旅游流，分别在 2001-2003 年和 2009-2011 年达到峰值，之后逐年下滑，这与入境旅游市场的脆弱性有关，2003 年 SARS 危机和 2012 年后中国多地区频发的雾霾天气对入境旅游影响较大^[10]。

雾霾与旅游流、国内和入境旅游流的分布存在一定的空间关联性，但不同年份关联程度存在显著差异，均呈倒“U”型变化特征。1998-2016 年雾霾与中国城市旅游流、国内旅游流空间分布的双变量 Moran's *I* 值均为正，分别在 0.18~0.35 和 0.19~0.34 间波动，

呈倒“U”型变化特征, 各在2007-2009年和2004-2006年达到峰值, 且均在0.05的水平上显著, 表明雾霾与旅游流、国内旅游流的空间关联特征明显, 历年关联程度不同; 雾霾与入境旅游流的双变量Moran's I 值在-0.16~0.26之间, 2007年以前雾霾与入境旅游流呈空间负相关, 相关程度不断减弱, 2007-2015年呈空间正相关, 空间相关性先增强后减弱, 2014-2016年又呈空间负相关。从显著性来看, 2003-2007年和2013-2016年的Moran's I 值未通过显著性检验, 说明雾霾与入境旅游流在这两个时间段内存在相关性, 但不显著。究其原因, 部分地区入境游客损失量不仅与雾霾污染程度有关, 还和其本底值大小有关^[10], 特别是近些年, 入境旅游者需求的多样化推动了中国各地旅游资源比较优势的发挥, 入境客流呈现出向中西部和边境城市转移趋势^[18], 而雾霾多集聚于中国中东部, 从而导致两者整体空间关联程度的下降。

3.3 雾霾与旅游流的局部空间关联

双变量全局空间自相关只能解释地理变量间的总体关联特征及其变化, 并不能揭示局部地理变量间的关联性演变, 为进一步探索雾霾PM_{2.5}与旅游流的局部空间关联特征, 运用OpenGeoda对其进行双变量局部空间自相关检验, 选取1998-2000年、2006-2008年、2014-2016年3个时段对检验结果的LISA聚类图进行空间可视化(图3)。

研究期内, 雾霾对旅游流带来的负向影响在不断扩大, 雾霾与旅游流、国内旅游流集聚的H-L型城市数量的增加、L-H型集聚区的片状扩张和华北、华中地区的L-H型集

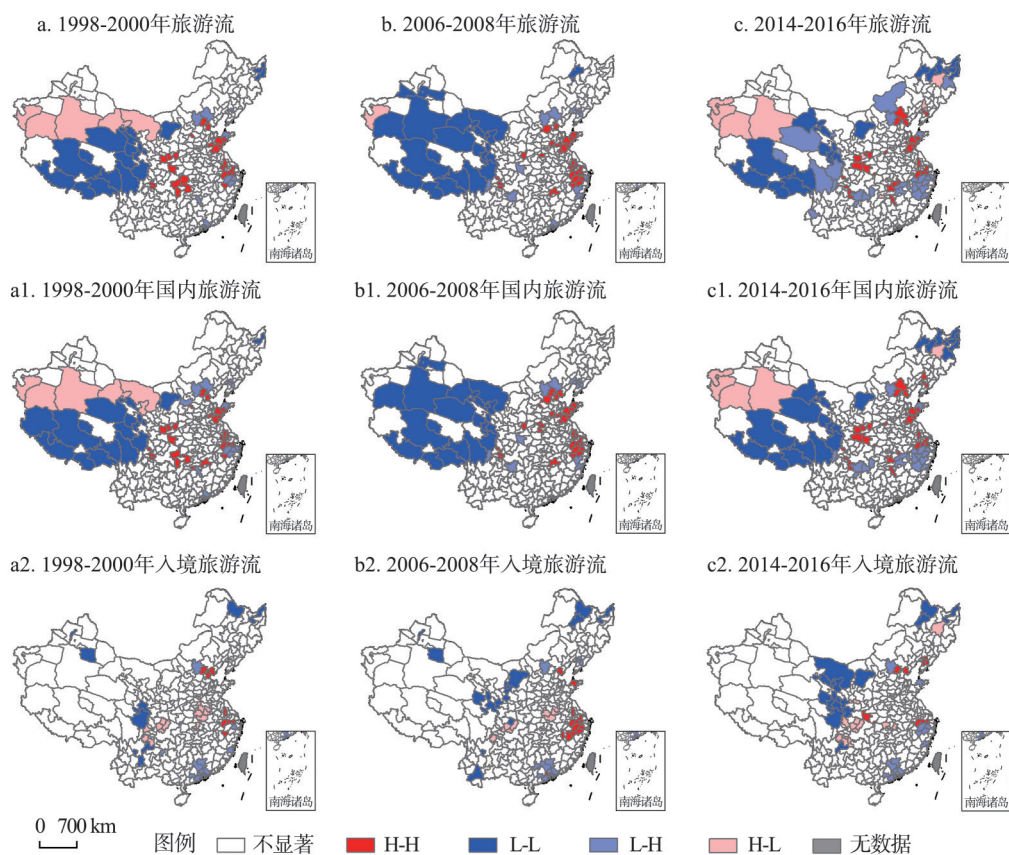


图3 雾霾PM_{2.5}污染与旅游流的双变量LISA聚类

Fig. 3 Bivariate LISA clustering of haze pollution (PM_{2.5}) and tourism flows

聚的“空心化”现象以及雾霾与入境旅游流的L-H型、H-L型集聚的主导地位均表明旅游流的低雾霾污染指向性。具体来看,除不显著区域外,研究期内雾霾与旅游流、国内旅游流之间虽然都是呈正相关的城市占主导,但呈负相关的城市数量在不断增加,分别从初期的17个和19个增加到末期的42个和23个(表2)。其中H-H型集聚区(高污染—高旅游流)主要分布于山东大部、北京、南京、嘉兴、湖州和资阳等地,雾霾对这类城市的影响并不足以撼动其在旅游市场中的地位,这些地区核心吸引物的引力作用大于雾霾的阻力作用^[25],同时也说明雾霾污染和旅游流均具有较为明显的空间溢出;L-L型集聚区在中国西部地区(西藏、青海等地)具有相对稳定性;L-H型集聚区表现出片状扩张趋势,华北和华中地区出现了L-H型集聚的“空心化”现象,2014-2016年低污染—高旅游流(包括国内旅游流)集聚区数量相较于前期有明显增加,围绕华中、华北和关中地区形成了近似环状的L-H集聚区,分别在川西、贵北、赣北、闽北及浙江分布最为集中,说明旅游者趋于流向雾霾污染较少的城市;H-L型集聚的城市数量有所增加,其分布最为明显的区域是中国西北内陆(库尔勒、和田、喀什等地),但由于这些区域可进入性较差,旅游市场的低迷不一定只和雾霾污染较重有关。

表2 雾霾PM_{2.5}污染与旅游流的双变量LISA聚类结果数量统计
Tab. 2 Statistics of bivariate LISA clustering of haze pollution (PM_{2.5}) and tourism flows

类型	年份	H-H型集聚	L-L型集聚	L-H型集聚	H-L型集聚
<i>Pm</i> 与 <i>TF</i>	1998-2000	28	19	12	5
	2006-2008	30	23	15	2
	2014-2016	30	18	30	12
<i>Pm</i> 与 <i>DTF</i>	1998-2000	31	19	14	5
	2006-2008	36	23	13	0
	2014-2016	22	24	16	7
<i>Pm</i> 与 <i>ITF</i>	1998-2000	9	9	17	17
	2006-2008	15	16	17	11
	2014-2016	10	18	15	15

雾霾与中国城市入境旅游流集聚主要以L-H和H-L型为主,雾霾对入境旅游的负面影响波及范围最广。研究期内,1998-2000年、2006-2008年和2014-2016年雾霾与入境旅游流的L-H型和H-L型城市总量分别为34个、28个和30个,占显著区的一半以上。其中L-H型集聚区主要分布于珠三角地区,浙北原来多为H-H型城市,后逐渐转化为L-H型集聚,说明这一地区雾霾得到了有效治理,入境旅游市场受到的影响较小;H-L型集聚区主要位于成渝都市圈南部,豫东、徽北逐渐从H-L型集聚变为不显著,H-L型集聚区有向西南方向迁移的趋势,说明这些地区的入境旅游市场受到雾霾污染的影响较为严重,入境旅游人次显著下滑。

4 雾霾对旅游流影响的空间计量检验

4.1 估计模型识别

模型识别之前,对旅游流(包括国内和入境旅游流)与雾霾等变量数据时间序列上的因果关系进行检验,发现各变量与旅游流之间至少存在单向因果关系,各变量对旅游流的Granger原因都至少通过了0.10的显著性检验(限于篇幅,检验结果未予报告)。由

于雾霾与旅游流（包括国内和入境旅游流）的空间相关性检验表明它们之间具有明显的空间关联，因此在研究雾霾对旅游流的影响时不可忽视地理空间要素。空间面板计量模型的运用恰好能解决这一问题，但在进行模型估计之前，首先需要结合拉格朗日乘数（LM）与稳健拉格朗日乘数（Robust LM）进行检验（表3），判断空间关联性的存在形式（以误差项还是以滞后项存在），即SPEM还是SPLM更为合适，其次，需要通过瓦尔德（Walds）和似然比（LR）来判断SPDM是否可以简化为SPEM和SPLM^[35-37]。

表3 空间面板计量模型的检验结果

Tab. 3 The results of spatial panel econometrics model

检验方法	统计值	概率	检验方法	统计量	概率
LM-spatial lag	241.6970	0.0000	Wald-spatial lag	266.6742	0.0000
Robust LM-spatial lag	16.9235	0.0000	LR-spatial lag	278.9365	0.0000
LM-spatial error	298.9592	0.0000	Wald-spatial error	421.0918	0.0000
Robust LM-spatial error	74.1858	0.1220	LR-spatial error	410.1196	0.0000

从表3可以看出，在地理距离空间权重矩阵设定下，SPLM的LM、Robust LM和SPEM的LM统计量均在0.01水平上显著，但SPEM的Robust LM未通过显著性检验，说明雾霾对旅游流的影响模型SPLM优于SPEM，同时也说明雾霾对旅游流的影响存在空间依赖性。通过建立SPDM，进一步结合Walds和LR检验进行模型的最优比选，SPDM简化为SPLM或SPEM的Walds和LR统计量均通过了0.01的显著性检验，即拒绝原可以简化的假设，表明雾霾对旅游流影响的SPDM不可简化为SPLM或SPEM。最后，由Hausman统计值为96.783（ $P = 0.000$ ），且本文所研究的空间截面为全样本范围，可以确定面板模型选择固定效应最为合适^[4, 33]。由于旅游流和雾霾的空间分布均具有时间上的连续性，本文选择空间面板计量模型的无固定效应和空间固定效应进行分析，忽略对于时间非观测效应的控制。

4.2 估计结果分析

根据模型识别结果，选择无固定效应和空间固定效应的SPDM进行参数估计，并结合非空间面板模型（OLS）的个体固定效应进行对比研究（表4）。从SPDM的无固定效应和空间固定效应检验结果来看，空间固定效应的对数似然值（Log L）和调整的拟合优度系数（Adj. R^2 ）均大于无固定效应，说明空间固定效应的SPDM是本研究的最优模型。为了进一步分析雾霾对旅游流影响的内部差异，从国内旅游流和入境旅游流两个方面出发，运用相同的方法进行估计模型的识别与检验，结果表明空间固定效应的SPDM仍为解释雾霾对国内和入境旅游流影响的最优模型（受篇幅所限，估计结果未予报告），相关估计系数如表5所示。

中国多数地市的雾霾污染短期内难以根治，经典的环境库兹涅茨曲线（Environmental Kuznets Curve, EKC）假说对中国旅游业表现出适用性。对于中国这样一个发展中国家，旅游流作为经济现象的一个重要表征，忽视环境库兹涅茨曲线（EKC）的环境污染与经济增长的倒“U”型关系是不现实的。从非空间面板模型的个体固定效应和考虑空间因素的SPDM空间固定效应的估计系数分别为0.1882和0.1823可知，中国各地市旅游流在雾霾污染的影响下仍将继续增长，经典的EKC假说所指出的污染与增长的“脱钩”阶段何时到来尚不明朗；个体固定效应模型由于忽视了因变量和自变量的空间溢出效应而高估了雾霾对旅游流的影响。 $\rho = 0.3766$ ，且在1%水平上显著，也证实区域旅游流的增长存在显著的空间溢出效应。

表 4 旅游流的非空间面板个体固定效应和空间面板杜宾模型估计结果

Tab. 4 Regression results of TF based on panel model and SPDM with fixed effects

变量	个体固定效应	空间面板杜宾模型		变量	空间面板杜宾模型	
		无固定效应	空间固定效应		无固定效应	空间固定效应
$\ln Pm$	0.1882*** (7.8634)	0.1656*** (7.46)	0.1823*** (7.80)	$W \times \ln Pm$	0.0134* (0.20)	-0.0313* (-0.45)
$\ln Pgdp$	0.9976*** (56.0175)	0.8694*** (44.11)	0.9300*** (45.93)	$W \times \ln Pgdp$	-0.1968*** (-4.53)	-0.2665*** (-5.28)
$\ln Den$	0.0398 (0.7848)	0.1169*** (3.73)	-0.0345 (-0.70)	$W \times \ln Den$	0.2435*** (4.89)	0.6403*** (3.70)
$\ln FDI$	0.0264*** (3.4618)	0.0262*** (3.44)	0.0144* (1.86)	$W \times \ln FDI$	0.0061 (0.34)	0.0312* (1.66)
$\ln Res$	0.0426*** (10.5688)	0.0482*** (11.87)	0.0436*** (10.63)	$W \times \ln Res$	-0.0227 (-2.36)	-0.0205** (-1.99)
$\ln Tra$	0.0931*** (4.8390)	0.1213*** (6.10)	0.1065*** (5.25)	$W \times \ln Tra$	-0.2432*** (-5.55)	-0.2347*** (-5.21)
$\ln Inf$	0.0107*** (0.8622)	0.0173 (1.30)	-0.0175 (-1.31)	$W \times \ln Inf$	0.0760*** (2.75)	0.1113*** (3.94)
$Adj. R^2$	0.9332	0.6192	0.9507	ρ	0.3810*** (16.27)	0.3766*** (14.56)
$Log L$	-2563.2010	-3317.8073	-2406.0722			

注：***、**和*分别表示在 0.01、0.05 和 0.10 水平下显著；括号内数字是系数估计的 t 统计量。

表 5 国内与入境旅游流的非空间面板个体固定效应和空间面板杜宾模型估计结果

Tab.5 Regression results of DTF and ITF based on panel model and SPDM with fixed effects

变量	个体固定效应		SPDM 空间固定效应		变量	SPDM 空间固定效应	
	DTF	ITF	DTF	ITF		DTF	ITF
$\ln Pm$	0.1937*** (8.0014)	-0.0747* (-1.4314)	0.1825*** (7.75)	-0.0734* (8.0014)	$W \times \ln Pm$	-0.0557* (-0.79)	0.1057* (0.71)
$\ln Pgdp$	1.0083*** (55.9759)	0.6369*** (16.3964)	0.9640*** (47.22)	0.5704*** (13.29)	$W \times \ln Pgdp$	-0.3558*** (-7.07)	-0.3417*** (-3.74)
$\ln Den$	0.1277** (2.4907)	-0.3867*** (-3.4963)	0.0445 (0.89)	-0.4047** (-3.88)	$W \times \ln Den$	0.6350** (3.63)	0.2612 (0.71)
$\ln FDI$	0.0282*** (3.6613)	0.1742*** (10.4835)	0.0199** (2.54)	0.1319*** (8.01)	$W \times \ln FDI$	0.0169 (0.89)	0.0651 (1.63)
$\ln Res$	0.0440*** (10.8009)	0.0078 (0.8910)	0.0424*** (10.24)	0.0164* (1.89)	$W \times \ln Res$	-0.0119 (-1.15)	-0.0240 (-1.11)
$\ln Tra$	0.0661*** (3.3934)	0.1470*** (3.5012)	0.0765*** (3.74)	0.1096** (2.55)	$W \times \ln Tra$	-0.2160*** (-4.76)	-0.1040 (-1.09)
$\ln Inf$	0.0336*** (2.6761)	0.0098*** (0.7175)	-0.0070 (-0.52)	0.0104 (0.37)	$W \times \ln Inf$	0.1361*** (4.78)	0.0089 (0.15)
$Adj. R^2$	0.9328	0.8697	0.9649	0.8890	ρ	0.4109*** (16.13)	0.5387*** (24.29)
$Log L$	-2629.9890	-7097.2490	-2460.2492	-6563.8788			

注：***、**和*分别表示在 0.01、0.05 和 0.10 水平下显著；括号内数字是系数估计的 t 统计量。

国内旅游流表现出上升的态势，符合 EKC 假说，入境旅游流下降明显，两者均具有显著的空间溢出。从雾霾对国内和入境旅游流的影响系数分别为 0.1825 和 -0.0734 可知，雾霾对国内旅游流的影响与整体类似，再次验证 EKC 假说；雾霾对城市旅游流的负向影响主要存在于入境旅游方面，当前影响通过了 10% 的显著性检验，这与阎友兵^[10]、唐承财^[27]等学者的研究一致；国际旅游者由于长期居住在优质的环境下，对雾霾更为敏感，加之他们多是长距离出游，距离成本并不是影响其目的地选择的核心要素，他们可以优

先考虑旅游资源禀赋较高且雾霾较少的地方, 导致中国部分城市入境旅游客流下降; 国内旅游者由于长期居住在雾霾高污染环境下, 对雾霾的敏感度相对较低, 加之他们的出游时间更为自由, 可以有效规避雾霾重污染期, 所以国内旅游流整体上仍表现出上升态势; 从 $\rho = 0.4109$ 和 $\rho = 0.5387$, 且均在1%水平上显著可知, 国内和入境旅游流同样存在明显的空间溢出效应, 且在雾霾频发的大环境下, 邻近地区旅游产业的发展存在明显的带动效应和示范效应。

4.3 空间效应分解

为进一步考察雾霾污染对中国城市旅游流(包括国内和入境旅游流)影响的边际效应, 将空间效应进行分解, 通过直接效应(包含空间反馈效应)和间接效应来揭示核心自变量和各控制变量对本地及邻近地区旅游市场的影响(表6)。

表6 各因素对旅游流影响的SPDM空间固定效应分解结果

Tab. 6 Decomposed spatial effects of SPDM with spatial fixed effects

效应		lnPm	lnPgdp	lnDen	lnFDI	lnRes	lnTra	lnInf
直接效应	TF	0.1840*** (7.80)	0.9338*** (47.22)	-0.0060 (-0.12)	0.0161** (2.10)	0.0434*** (10.68)	0.0977*** (4.88)	-0.0128 (-0.97)
	DTF	0.1834*** (7.68)	0.9660*** (48.49)	0.0774 (1.53)	0.0212** (2.73)	0.0427*** (10.38)	0.0672*** (3.33)	-0.0003 (-0.02)
	ITF	-0.0687* (-1.34)	0.5679*** (13.55)	-0.4016*** (-3.69)	0.1418*** (8.63)	0.0153* (1.76)	0.1063** (2.49)	0.0114 (0.41)
溢出效应	TF	0.0309 (0.54)	0.0694** (2.13)	0.5197*** (3.65)	0.0303** (2.03)	-0.0033 (-0.41)	-0.1612*** (-4.50)	0.0867*** (3.92)
	DTF	0.0166 (0.28)	0.0348 (1.02)	0.5641*** (3.77)	0.0217 (1.38)	0.0047 (0.55)	-0.1594*** (-4.25)	0.1151*** (4.95)
	ITF	0.0684* (0.45)	-0.0356 (-0.42)	0.0447 (0.12)	0.1409*** (3.58)	-0.0156 (-0.73)	-0.0465 (-0.50)	0.0150 (0.26)
总效应	TF	0.2149*** (3.30)	1.0032** (29.47)	0.5137*** (3.26)	0.0464*** (2.84)	0.0401*** (4.43)	-0.0635 (-1.60)	0.0739*** (3.10)
	DTF	0.2001*** (2.92)	1.0009*** (27.94)	0.6415*** (3.86)	0.0428** (2.49)	0.0474*** (4.98)	-0.0922** (-2.21)	0.1148*** (4.57)
	ITF	-0.0002* (-0.00)	0.5323*** (5.89)	-0.3569 (-0.85)	0.2826*** (6.48)	-0.0003 (-0.01)	0.0598 (0.57)	0.0264 (0.42)

注: **、*和'分别表示在0.01、0.05和0.10水平下显著; 括号内数字是系数估计的 t 统计量。

雾霾污染对旅游流和国内旅游流存在正的空间直接效应, 对入境旅游流存在负的空间直接效应和正的空间溢出效应。由表6可知, 雾霾污染对中国城市旅游流和国内旅游流的直接效应分别为0.1840和0.1834, 均通过了1%的显著性水平检验, 表明本地区雾霾污染每加重1%, 在现有经济增速和旺盛的国内旅游需求拉动下, 本地旅游人次和国内旅游人次仍会继续增长0.1840%和0.1834%, 符合EKC假说, 间接效应分别为0.1236和0.1388, 均未通过显著性检验; 雾霾污染对中国城市入境旅游流的直接效应和间接效应分别为-0.0687和0.0684, 通过10%的显著性水平检验, 说明本地区雾霾污染每加重1%, 会造成本地入境旅游市场0.0687%的下滑和邻近入境市场0.0684%的增长, 入境旅游流存在空间“泄露”现象。由于雾霾污染容易出现空间集聚且具有明显的溢出效应, 本地区的雾霾污染与本地及邻近旅游市场(特别是入境旅游市场)有着密切联系, 所以雾霾污染的治理必须采取区域联防联控的策略, 否则将使“单边”的治霾努力徒劳无功。

在雾霾对旅游流影响的空间计量模型中, 各控制变量对城市旅游流都表现出或多或少的影。其中, 经济发展水平仍然是促进本地旅游市场(包括国内和入境旅游市场)

发展的首要因素,其空间溢出效应显著为正,说明本地经济增长既会带来本地旅游市场的发展,又会给邻接地区带来旅游人次的增加。市场规模对本地入境旅游市场的影响显著为负,对邻近地区旅游市场和国内旅游市场的影响显著为正,说明人口在本地区集聚(甚至过度拥挤)会损害城市的国际旅游形象,进而导致入境旅游人次的显著下滑,但由于国内近距离周边游市场需要旺盛,本地人口集聚对邻近地区旅游市场(主要是国内市场)具有明显的促进作用。对外联系度对本地旅游市场的影响显著为正,对邻近地区入境旅游市场也呈显著正向影响,说明地区经济对外开放水平越高,本地旅游市场及周边旅游市场发展越好。旅游资源禀赋对城市旅游市场具有显著的正向促进作用,且对国内旅游市场促进作用(0.0427)强于入境旅游市场(0.0153),说明地区旅游资源的开发最能激发国内旅游市场需求,本地旅游资源开发对邻近地区的作用不显著。交通发展水平对本地旅游市场也具有显著的促进作用,但对邻近地区的旅游发展(特别是国内旅游)却存在明显的抑制作用,说明地区交通的改善是吸引旅游流的重要手段,但本地交通可达性的提升会对邻近市场产生屏蔽效应。旅游基础设施的改善对本地旅游市场的影响不显著,对邻近地区旅游市场(特别是国内市场)具有明显的促进作用,空间带动效应明显。

5 结论与讨论

5.1 结论

中国空气质量问题的凸显和旅游者对雾霾与健康认知的加深^[23-25],对旅游者出游行为及空间流动规律产生了显著影响。本文以中国342个市域为研究对象,综合运用双变量LISA模型、空间面板杜宾模型等方法,探索了雾霾($PM_{2.5}$)与中国城市旅游流的空间关联,并在此基础上分析了雾霾对城市旅游流(含国内和入境旅游流)的空间效应,主要结论如下:

(1) 雾霾污染与城市旅游流在中国的分布均具有东高西低的特点,并与胡焕庸线的空间格局相吻合^[1, 5],在胡焕庸线两侧雾霾与城市旅游流的空间分布规律与中国的地形及区域城市发展密切相关^[5, 46]。在研究期内,雾霾污染向南和向西扩散明显,城市旅游流空间分布的“群状”集聚现象显著,表现出以区域中心城市为核心的“核心—边缘”扩散模式。从旅游流的内部差异来看,国内旅游流的空间演化特征与城市总体旅游流类似,入境旅游流空间分布的中心城市效应明显。

(2) 1998-2016年间雾霾污染与中国城市旅游流之间呈现出显著的空间自相关,且空间依赖程度上呈上升态势。研究期内,全局空间自相关检验表明,雾霾污染与中国城市旅游流、国内和入境旅游流之间存在明显的空间关联性,且空间关联程度均呈倒“U”型变化特征,各双变量之间的空间依赖性存在显著差异,雾霾污染对旅游流产生明显的影响并形成相应的空间效应。局部空间自相关检验结果表明,雾霾对旅游流带来的负向影响不断扩大,并已经成为入境旅游的主要障碍^[10, 25, 27],这一现象连同雾霾与旅游流、国内旅游流集聚的H-L型城市数量的增加、L-H型集聚区的片状扩张和华北、华中地区的L-H型集聚的“空心化”现象,均说明了旅游流的低雾霾指向性。

(3) 随着中国经济社会的发展和人民旅游需求的持续旺盛,尽管在未来一段时间内雾霾污染难以明显缓解,但旅游流仍将继续增长,这在一定程度上验证了经典的EKC假说在中国城市旅游发展中的适用性。由于旅游者的雾霾感知及出游能力存在差异,雾霾污染的显著负向影响主要存在于入境旅游方面。雾霾污染存在明显的空间溢出效应,本地区雾霾污染的加剧会推动邻近地区旅游流“量”的增长,其中入境旅游增长最为明

显。雾霾已成为影响旅游发展的重要因素,但并不是单一因素,应把经济发展、对外联系、旅游开发、生态保护和交通建设等因素同雾霾治理结合起来进行综合治理,才能为旅游发展创造美好的环境,实现国际、国内旅游健康、协调、可持续的高质量发展。

5.2 讨论

在中国环境问题日益凸显,旅游产业地位不断提升的大背景下,研究雾霾与城市旅游流(国内和入境旅游流)的空间关联,探索其对旅游流影响的空间分布,并在此基础上开展雾霾对旅游流影响的空间效应分析,对揭示雾霾分布的空间特征,采取积极的雾霾防治与旅游发展应对措施,有效开展旅游流的空间导控和促进区域旅游协同与合作发展,具有十分重要的理论意义和应用价值。由于城市旅游流受到诸多因素的综合影响,当前控制变量的选取也还没有统一的标准可以遵循,加之基于研究数据的可获取性有限等现实困境的存在,本研究还存在较多不足,如未考虑特殊事件的影响,也没有基于更为精细化的时间序列数据进行精度更高的分析,更没有结合与旅游者自身因素有关的大数据或问卷调查与访谈数据^[49]进行雾霾污染对城市旅游流影响的更深层次的探讨。后续研究中,将进一步弥补这几个方面的不足,构建更加全面的控制指标体系,获取单一年份、月、周、日等更为精细化的数据,借助微博签到、网络文本挖掘和问卷访谈等技术和方法,选择雾霾污染更具代表性的区域或城市(如京津冀、北京或西安等),从不同时间和空间尺度(景区),更加深入、全面的探索雾霾污染对游客量及旅游产业的影响机制。

参考文献(References)

- [1] Wang Zhenbo, Fang Chuanglin, Xu Guang, et al. Spatial-temporal characteristics of the PM_{2.5} in China in 2014. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(11): 1720-1734. [王振波, 方创琳, 许光, 等. 2014年中国城市PM_{2.5}浓度的时空变化规律. *地理学报*, 2015, 70(11): 1720-1734.]
- [2] Wang Y S, Yao L, Wang L L, et al. Mechanism for the formation of the January 2013 heavy haze pollution episode over central and eastern China. *Science China Earth Sciences*, 2014, 57(1): 14-25.
- [3] Luan T, Guo X L, Guo L J, et al. Quantifying the relationship between PM_{2.5} concentration, visibility and planetary boundary layer height for long-lasting haze and fog-haze mixed events in Beijing. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2018, 18(1): 203-225.
- [4] Ma Limei, Zhang Xiao. The spatial of China's haze pollution and impact from economic change and energy structure. *China Industrial Economics*, 2014, (4): 19-31. [马丽梅, 张晓. 中国雾霾污染的空间效应及经济、能源结构影响. *中国工业经济*, 2014, (4): 19-31.]
- [5] Yang Kun, Yang Yulian, Zhu Yanhui, et al. Social and economic drivers of PM_{2.5} and their spatial relationship in China. *Geographical Research*, 2016, 35(6): 1051-1060. [杨昆, 杨玉莲, 朱彦辉, 等. 中国PM_{2.5}污染与社会经济的空间关系及成因. *地理研究*, 2016, 35(6): 1051-1060.]
- [6] Huang J, Deng F R, Wu S W, et al. Comparisons of personal exposure to PM_{2.5} and CO by different commuting modes in Beijing, China. *Science of the Total Environment*, 2012, 425(3): 52-59.
- [7] Nazelle A D, Fruin S, Westerdahl D, et al. A travel mode comparison of commuters' exposures to air pollutants in Barcelona. *Atmospheric Environment*, 2012, 59: 151-159.
- [8] Guo Wenbo, Zhang Yan, Chai Yanwei. Measurement of residents' daily travel air pollution exposure and its mechanism: A case study of suburban communities in Beijing. *Geographical Research*, 2015, 34(7): 1310-1318. [郭文伯, 张艳, 柴彦威. 城市居民出行的空气污染暴露测度及其影响机制: 北京市郊区社区的案例分析. *地理研究*, 2015, 34(7): 1310-1318.]
- [9] Sönmez S F, Graefe A R. Determining future travel behavior from past travel experience and perceptions of risk and safety. *Journal of Travel Research*, 1998, 37(2): 171-177.
- [10] Yan Youbing, Zhang Jing. Impact of smog weather on the amount of inbound tourists of China based on the natural trend curve. *Economic Geography*, 2016, 36(12): 183-188. [阎友兵, 张静. 基于本底趋势线的雾霾天气对我国入境游客量的影响分析. *经济地理*, 2016, 36(12): 183-188.]

- [11] Zhang Youyin, Gu Jing, Ma Yaofeng. Tourist flow: research progress, evaluation and outlook. *Tourism Tribune*, 2013, 28(6): 38-46. [张佑印, 顾静, 马耀峰. 旅游流研究的进展、评价与展望. *旅游学刊*, 2013, 28(6): 38-46.]
- [12] Yang Guoliang, Zhang Jie, Ai Nanshan, et al. Zipf structure and difference degree of tourist flow size system: A case study of Sichuan Province. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(12): 1281-1289. [杨国良, 张捷, 艾南山, 等. 旅游流齐夫结构及空间差异化特征: 以四川省为例. *地理学报*, 2006, 61(12): 1281-1289.]
- [13] Kulendran N, Kingb M L. Forecasting international quarterly tourist flows using error-correction and time-series models. *International Journal of Forecasting*, 1997, 13(3): 319-327.
- [14] Divino J A, McAleer M. Modelling and forecasting daily international mass tourism to Peru. *Tourism Management*, 2010, 31(6): 846-854.
- [15] Zhang Jinhe, Zhang Jie, Li Na, et al. An analysis on spatial field effect of domestic tourist flows in China. *Geographical Research*, 2005, 24(2): 293-302. [章锦河, 张捷, 李娜, 等. 中国国内旅游流空间场效应分析. *地理研究*, 2005, 24(2): 293-302.]
- [16] Zhang Y, Xu J H, Zhuang P J. The spatial relationship of tourist distribution in Chinese cities. *Tourism Geographies*, 2011, 13(1): 75-90.
- [17] Yang Y, Wong K K F. A spatial econometric approach to model spillover effects in tourism flows. *Journal of Travel Research*, 2012, 51(6): 768-778.
- [18] Ji Xiaomei, Chen Jinhua, Fu Yeqin. A study of the convergence and spatial spillover effects of Chinese inbound tourism flow. *Tourism Science*, 2015, 29(4): 47-60. [纪小美, 陈金华, 付业勤. 中国入境旅游流的收敛与空间溢出效应分析. *旅游科学*, 2015, 29(4): 47-60.]
- [19] Yang Xingzhu, Gu Chaolin, Wang Qun. Study on the driving force of tourist flows. *Geographical Research*, 2011, 30(1): 23-36. [杨兴柱, 顾朝林, 王群. 旅游流驱动力系统分析. *地理研究*, 2011, 30(1): 23-36.]
- [20] Huang Tai. Evolution characteristics and factors affecting tourist flow potential in the Yangtze River Delta Urban Agglomerations. *Resources Science*, 2016, 38(2): 364-376. [黄泰. 长三角城市群旅游流潜力格局演变及其影响因素. *资源科学*, 2016, 38(2): 364-376.]
- [21] Zhang Zi'ang, Huang Zhenfang, Cao Fangdong, et al. The space-time transition characteristics and its driving mechanism of county-scale inbound tourism in Zhejiang province. *Geographical Research*, 2016, 35(6): 1177-1192. [张子昂, 黄震方, 曹芳东, 等. 浙江省县域入境旅游时空跃迁特征及驱动机制. *地理研究*, 2016, 35(6): 1177-1192.]
- [22] Sun Gennian, Zhou Ruina, Ma Lijun, et al. Impact of five important events on China provincial inbound tourism in 2008: An analysis in high-resolution based on the TBL model. *Scientia Geographica Sinica*, 2011, 31(12): 1437-1446. [孙跟年, 周瑞娜, 马丽君, 等. 2008年五大事件对中国入境旅游的影响: 基于本底趋势线模型高分辨率的分析. *地理科学*, 2011, 31(12): 1437-1446.]
- [23] Cheng Li, Zhang Tonghao, Fu Yang. Urban residents' cognition of haze-fog weather and its impact on their urban tourism destination choice. *Tourism Tribune*, 2015, 30(10): 37-47. [程励, 张同颢, 付阳. 城市居民雾霾天气认知及其对城市旅游目的地选择倾向的影响. *旅游学刊*, 2015, 30(10): 37-47.]
- [24] Li Jing, Philip L P, Wu Bihu, et al. The impact of smog on risk perception and satisfaction of international and domestic tourists in Beijing. *Tourism Tribune*, 2015, 30(10): 48-59. [李静, Philip L P, 吴必虎, 等. 雾霾对来京旅游者风险感知及旅游体验的影响: 基于结构方程模型的中外旅游者对比研究. *旅游学刊*, 2015, 30(10): 48-59.]
- [25] Zhang Chen, Gao Jun, Ding Peiyi. Impacts of haze on the intention to visit China of overseas tourists: Based on destination image and risk perception theories. *Tourism Tribune*, 2017, 32(12): 58-67. [张晨, 高俊, 丁培毅. 雾霾天气对潜在海外游客来华意愿的影响: 基于目的地形象和 risk 感知理论. *旅游学刊*, 2017, 32(12): 58-67.]
- [26] Peng Jian, Guo Siyuan, Pei Yanan, et al. Mainland Chinese residents' perception of tourism impacted by haze in Beijing and their attitudes. *China Population, Resources and Environment*, 2016, 26(10): 168-176. [彭建, 郭思远, 裴亚楠, 等. 大陆居民对北京雾霾的旅游影响感知和态度研究. *中国人口资源与环境*, 2016, 26(10): 168-176.]
- [27] Tang Chengcai, Liu Xiaoquan, Song Changyao. Impact of haze on regional tourism industry and its countermeasures. *Geography and Geo-Information Science*, 2016, 32(5): 121-126. [唐承财, 刘霄泉, 宋昌耀. 雾霾对区域旅游业的影响及应对策略探讨. *地理与地理信息科学*, 2016, 32(5): 121-126.]
- [28] Han Ye, Zhou Zhongxue. Evaluation on ecosystem services in haze absorption by urban green land and its spatial pattern analysis in Xi'an. *Geographical Research*, 2015, 34(7): 1247-1258. [韩晔, 周忠学. 西安市绿地景观吸收雾霾生态系统服务测算及空间格局. *地理研究*, 2015, 34(7): 1247-1258.]
- [29] Lippmann M. Toxicological and epidemiological studies of cardiovascular effects of ambient air fine particulate matter (PM_{2.5}) and its chemical components: Coherence and public health implications. *Critical Reviews in Toxicology*, 2014,

- 44(4): 299-347.
- [30] Pope C A, Brook R D, Burnett R T, et al. How is cardiovascular disease mortality risk affected by duration and intensity of fine particulate matter exposure? An integration of the epidemiologic evidence. *Air Quality, Atmosphere and Health*, 2011, 4(1): 5-14.
- [31] Eitan O, Yuval, Barchana M, et al. Spatial Analysis of air pollution and cancer incidence rates in Haifa Bay, Israel. *Science of the Total Environment*, 2010, 408(20): 4429-4439.
- [32] Huang K, Zhuang G, Lin Y, et al. Typical types and formation mechanisms of haze in an Eastern Asia megacity, Shanghai. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2012, 12(1): 105-124.
- [33] Shao Shuai, Li Xin, Cao Jianhua, et al. China's economic policy choices for governing smog pollution based on spatial spillover effects. *Economic Research Journal*, 2016, 51(9): 73-88. [邵帅, 李欣, 曹建华, 等. 中国雾霾污染治理的经济政策选择: 基于空间溢出效应的视角. *经济研究*, 2016, 51(9): 73-88.]
- [34] Anselin L, Syabri I, Smirnov O. Visualizing multivariate spatial correlation with dynamically linked windows//Anselin L, REY S. *New Tools for Spatial Data Analysis: Proceedings Of The Specialist Meeting*. Center for Spatially Integrated Social Science, University of California, Santa Barbara, CD-ROM, 2002.
- [35] Elhorst J P. Specification and estimation of spatial panel data models. *International Regional Science Review*, 2003, 26(3): 244-268.
- [36] Lesage J, Pace R K. *Introduction to Spatial Econometrics*. New York, CRC Press, 2009.
- [37] Wang kun, Huang Zhenfang, Yu Fenglong, et al. Spatial effects of China's urbanization on tourism economic development: Empirical research based on the spatial panel econometric model. *Tourism Tribune*, 2016, 31(5): 15-25. [王坤, 黄震方, 余凤龙, 等. 中国城镇化对旅游经济影响的空间效应: 基于空间面板计量模型的研究. *旅游学刊*, 2016, 31(5): 15-25.]
- [38] Van D A, Martin R V, Brauer M, et al. Use of satellite observations for long-term exposure assessment of global concentrations of fine particulate matter. *Environmental Health Perspectives*, 2015, 123(2): 135-143.
- [39] Dai Zhaoxin, Zhang Yunzhi, Hu Yunfeng, et al. Spatial-temporal characteristics of PM_{2.5} in Yangtze River Delta (YRD) region based on the ground monitoring data from 2013-2015. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2016, 25(5): 813-821. [戴昭鑫, 张云芝, 胡云锋, 等. 基于地面监测数据的2013-2015年长三角地区PM_{2.5}时空特征. *长江流域资源与环境*, 2016, 25(5): 813-821.]
- [40] Lee S J, Serre M L, Van D A, et al. Comparison of geostatistical interpolation and remote sensing techniques for estimating long-term exposure to ambient PM_{2.5} concentrations across the continental United States. *Environmental Health Perspectives*, 2012, 120(12): 1727-1732.]
- [41] Pan Jinghu, Zhang Wen, Li Junfeng, et al. Spatial distributional characteristics of air pollutants in major cities in China during the period of wide range haze pollution. *Chinese Journal of Ecology*, 2014, 33(12): 3423-3431. [潘竞虎, 张文, 李俊峰, 等. 中国大范围雾霾期间主要城市空气污染物分布特征. *生态学杂志*, 2014, 33(12): 3423-3431.]
- [42] Liu Junsheng, Ma Yaofeng. The evolution and driving mechanism of the supply and demand coupling about tourism flow and destination system based on the genesis and system theory: Taking Xi'an as an example. *Geographical Research*, 2017, 36(8): 1583-1600. [刘军胜, 马耀峰. 基于发生学与系统论的旅游流与目的地供需耦合成长演化与驱动机制研究: 以西安市为例. *地理研究*, 2017, 36(8): 1583-1600.]
- [43] Wang Degen, Chen Tian, Lu Lin, et al. Mechanism and HSR effect of spatial structure of regional tourist flow: Case study of Beijing-Shanghai HSR in China. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(2): 214-233. [汪德根, 陈田, 陆林, 等. 区域旅游流空间结构的高铁效应及机理: 以中国京沪高铁为例. *地理学报*, 2015, 70(2): 214-233.]
- [44] Liu Y P, Li Y C, Parkpian P. Inbound tourism in Thailand: Market form and scale differentiation in ASEAN source countries. *Tourism Management*, 2018, 64(1): 22-36.
- [45] Wang Kun, Huang Zhenfang, Cao Fangdong, et al. Spatial pattern evolution of urban tourism performance and its influence factors in Pan-Yangtze River Delta. *Journal of Natural Resources*, 2016, 31(7): 1149-1163. [王坤, 黄震方, 曹芳东, 等. 泛长三角洲城市旅游绩效空间格局演变及其影响因素. *自然资源学报*, 2016, 31(7): 1149-1163.]
- [46] Zhou Liang, Zhou Chenghu, Yang Fan, et al. Spatio-temporal evolution and the influencing factors of PM_{2.5} in China between 2000 and 2011. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(11): 2709-2092. [周亮, 周成虎, 杨帆, 等. 2000-2011年中国PM_{2.5}时空演化特征及驱动因素解析. *地理学报*, 2017, 72(11): 2079-2092.]
- [47] Merbitz H, Buttstädt M, Michael S, et al. GIS-based identification of spatial variables enhancing heat and poor air quality in urban areas. *Applied Geography*, 2012, 33(1): 94-106.
- [48] Liu Haimeng, Fang Chuanglin, Huang Xiejun, et al. The spatial-temporal characteristics and influencing factors of air

- pollution in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(1): 177-191. [刘海猛, 方创琳, 黄解军, 等. 京津冀城市群大气污染的时空特征与影响因素解析. *地理学报*, 2018, 73(1): 177-191.]
- [49] Huang Zhenfang, Huang Rui. The theoretical perspective and academic innovation of tourism geography based on human-environment interactions. *Geographical Research*, 2015, 34(1): 15-26. [黄震方, 黄睿. 基于人地关系的旅游地理学理论透视与学术创新. *地理研究*, 2015, 34(1): 15-26.]

The spatial effects of haze on tourism flows of Chinese cities: Empirical research based on the spatial panel econometric model

XU Dong^{1,2}, HUANG Zhenfang^{1,2}, HUANG Rui^{1,3}

(1. School of Geographical Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China;

2. Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application, Nanjing 210023, China; 3. Nanjing Institute of Tourism & Hospitality, Nanjing 211100, China)

Abstract: Taking 342 cities in China as an example, this paper explores the spatial correlation between haze ($PM_{2.5}$) and tourism flows, as well as analyzes the impact of haze on tourism flows and the spatial spillover effects from 1998 to 2016 by using bivariate LISA (Local Indications of Spatial Association) Model and Spatial Panel Dubin Model. The results show that the spatial distribution patterns of haze ($PM_{2.5}$) pollution and tourism growth in China are both high in the eastern region and low in the western region, showing some regularity related to the factors, such as terrain and urban development on both sides of Hu Huanyong population line. Haze and tourism flows (including domestic tourism flows and inbound tourism flows) show both significant spatial agglomeration and spatial dependence during the study period, indicating that haze pollution has great spatial effect on tourism flows. The area where haze curbs tourism flows is expanding. The increase in the number of HL (High-Low) -type cities, the expansion of LH (Low-High) -type agglomeration area and the hollow phenomenon of LH-type agglomeration that appear in north and central China all show that tourists tend to travel to the cities with low haze pollution. The inverted U-shape curve relationship between haze pollution and tourism flows illustrates that the classical Environmental Kuznets Curve (EKC) hypothesis is suitable for tourism growth in the cities of China. The negative impact of haze on inbound tourism flows is significant. Both haze pollution and tourism flows have positive spatial spillover effects. Combining haze management with other measures, such as economic development, tourism development, ecological protection, traffic construction, we can create a beautiful environment for tourism development and achieve a healthy, coordinated and sustainable high-quality development of international and domestic tourism.

Keywords: haze; $PM_{2.5}$; tourism flow; spatial association; spatial effect; China