

# 科技创新与旅游业碳排放效率耦合协调发展 及动态演化研究

何 静<sup>1</sup>, 王 凯<sup>2</sup>, 李志远<sup>1</sup>, 邹 楠<sup>2</sup>

(1. 华东师范大学工商管理学院, 上海 200062)

(2. 湖南师范大学旅游学院, 湖南 长沙 410081)

**[摘要]** 科技创新与旅游业碳排放效率的协同共进是驱动旅游业高质量发展的重要路径。以中国 30 个省份为研究对象, 从系统思维出发构建耦合协调模型, 研究 2001—2019 年科技创新与旅游业碳排放效率耦合协调发展的时空演化特征, 并借助空间自相关、空间马尔科夫链等方法对其动态演进趋势进行深层探析。结果表明: (1) 科技创新与旅游业碳排放效率的耦合协调度从“基本失调”转向“基本协调”, 呈东部>中部>东北部>西部的空间格局; 其核密度曲线右拖尾延展收敛现象明显并呈双峰演化格局, 离散发展和低水平状态逐渐改善, 区域间绝对差异缩小。(2) 科技创新与旅游业碳排放效率的耦合协调度具有显著的正向空间自相关特征, 局部空间关联类型以高-高集聚型、低-低集聚型为主。(3) 耦合协调度的类型状态呈稳态分布且存在“俱乐部趋同”现象, 不易实现跨越式提升; 类型转移过程受地理背景影响, 严重失调类型省份面临低水平固化风险, 而高级协调类型省份带动效应不足, 基本失调、基本协调类型省份易受严重失调、基本失调类型省份的近邻效应影响而出现发展回落现象。

**[关键词]** 科技创新, 旅游业碳排放效率, 时空耦合, 空间马尔科夫链

**[中图分类号]** F592.7 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1001-4616(2023)03-0050-10

## Research on the Coupling Coordinated Development and Dynamic Evolution of Scientific and Technological Innovation and Carbon Emission Efficiency of Tourism Industry

He Jing<sup>1</sup>, Wang Kai<sup>2</sup>, Li Zhiyuan<sup>1</sup>, Zou Nan<sup>2</sup>

(1. School of Business Administration, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

(2. College of Tourism, Hunan Normal University, Changsha 410081, China)

**Abstract:** The synergy between scientific and technological innovation and carbon emission efficiency of tourism industry is an important path to drive the high-quality development of tourism industry. Taking 30 provinces in China as the research objects, this paper constructs a coupling coordination model from system thinking to study the spatio-temporal evolution characteristics of the coupling coordinated development of scientific and technological innovation and carbon emission efficiency of tourism industry from 2001 to 2019, and then deeply analyzes the dynamic evolution trend with the help of spatial autocorrelation and spatial Markov chain. The results show that: (1) The coupling coordination degree between scientific and technological innovation and carbon emission efficiency of tourism industry has gradually changed from “basic imbalance” to “basic coordination”, showing a spatial distribution pattern of Eastern Area>Central Area>Northeastern Area>Western Area. The right tailing extension and convergence phenomenon of the kernel density curve is obvious and presents a bimodal evolution pattern. The discrete development and low-level state are gradually improved, and the absolute difference between regions is reduced. (2) The coupling coordination degree between scientific and technological innovation and carbon emission efficiency of tourism industry has significant positive spatial autocorrelation characteristics, and H-H type and L-L type are the main local spatial correlation types. (3) The type state is in a steady-state distribution and there is a phenomenon of “club convergence”, which is difficult to achieve leapfrog improvement. In addition, the type transfer process is affected by the geographical background. The severely maladjusted provinces face low-level solidification risk,

收稿日期: 2022-10-08.

基金项目: 湖南省自然科学基金项目(2022JJ30392).

通讯作者: 王凯, 博士后, 教授, 博士生导师, 研究方向: 低碳经济、区域旅游发展规划. E-mail: kingviry@163.com

while the high-level coordinated provinces lack the driving effect, and the basic maladjusted provinces and the basic coordinated provinces are easily affected by the nearest neighbor effect of the severely maladjusted provinces and the basic maladjusted provinces and their development falls back.

**Key words:** scientific and technological innovation, carbon emission efficiency of tourism industry, spatio-temporal coupling, spatial Markov chain

碳达峰和碳中和是中国基于可持续发展的内在要求而做出的重大战略决策,需要作为国民经济战略性新兴产业支柱产业的旅游业予以积极响应。据统计,旅游业对全球温室气体排放的贡献率约为8%,其碳排在2035年前将以2.5%的年均速度增长<sup>[1-2]</sup>。因此,以生态文明建设为契机,提高旅游业碳排放效率,推进旅游业低碳发展刻不容缓。在第四次科技革命的浪潮下,科技创新以技术溢出和经济增长改善旅游业碳排放效率,旅游业碳排放效率改善则以投资反哺和压力传导反向促进科技创新稳定健康发展。《“十四五”文化和旅游发展规划》亦在国家层面对加强旅游业的科技创新支撑和二者的跨界融合提出了更高要求,为旅游业高质量发展指明了方向。基于政策导向和现实需要,厘清科技创新与旅游业碳排放效率之间的时空耦合关系及共同演进机制,推进行业内高水平协同发展,对于强化旅游科技创新供给和优化旅游业碳减排行动方案具有深刻的实践价值和理论意义。

碳减排驱动因素的准确识别始终是学术界广泛讨论的热点话题,现阶段基本达成的共识性结论是:科技创新、效率优化、能源结构调整均为影响碳减排目标实现的主要因素<sup>[3]</sup>,而科技创新占据其中的关键地位。具体的科技创新研究已涉及宏观产业<sup>[4-5]</sup>及工业<sup>[6]</sup>、制造业<sup>[7]</sup>、建筑业<sup>[8]</sup>等细分领域,成果丰硕。尽管相关研究对科技创新与产业碳减排之间的关系观点不一,但大多数学者对科技创新的碳减排作用予以肯定<sup>[9]</sup>,认为能够通过清洁能源替代、能源效率改善、CCUS(碳捕集、利用与封存)等技术途径有效抑制碳排放<sup>[6]</sup>。亦有少数学者对科技减排持消极态度<sup>[10]</sup>,认为科技创新在驱动经济发展的同时,亦扩大了能源消费和要素投入,是能源消耗和碳排放增加的助推器<sup>[11]</sup>。此外,还有一些学者指出,由于能源回弹效应<sup>[12]</sup>和时空异质性<sup>[3]</sup>的存在,二者关系具有不稳定性。具体到旅游产业,相关研究已逐步认识到科技创新在推动旅游业低碳发展上的重要影响。如:王坤等<sup>[13]</sup>借助GWR模型分析了技术效应、技术创新对旅游业碳排放效率提升的显著推动作用;Sun<sup>[14]</sup>基于分解模型发现,技术进步对旅游业碳排放具有补偿效应,但目前与实现以技术改进来提高旅游业碳排放效率的目标尚有一段距离;Zha等<sup>[15]</sup>在构建TFP指数的基础上得出技术进步驱动了湖北省整体旅游业碳排放效率提升的结论,并建议处于生产技术前沿的城市通过技术提高低碳旅游经济的发展效率;王凯等<sup>[16]</sup>引入空间杜宾模型以识别影响旅游业碳排放效率空间溢出效应的因素,发现技术进步对旅游业碳排放效率存在显著正向直接效应;Erdoğan等<sup>[17]</sup>利用面板分位数回归模型论证了交通运输部门的环保技术创新对国际旅游业碳排放的抑制作用;另外还有部分学者运用Malmquist-Luenberger指数分别对全国和区域层面的旅游业碳排放效率进行分解,实证了技术进步对提升旅游业碳排放效率的贡献明显高于技术效率的贡献<sup>[18-19]</sup>。

综上,有关科技创新与碳排放关系的研究日臻完善,但针对旅游业的相关探讨缺乏,仅少数研究关注到技术进步或创新对旅游业碳排放效率改善的贡献,且主要分析前者对后者的单向影响。本文在厘清科技创新与旅游业碳排放效率耦合协调作用机理基础上,以中国30个省份为研究对象,测度2001—2019年科技创新与旅游业碳排放效率耦合协调度,并借助核密度和空间自相关方法刻画两系统耦合协调发展的时空格局,最后构建传统和空间马尔科夫链实证其空间溢出效应。本文旨在通过分析和预测科技创新与旅游业碳排放效率耦合协调发展的动态演化趋势,为旅游业制定高质量的碳达峰、碳中和方案提供一定学术参考。

## 1 科技创新与旅游业碳排放效率的耦合协调作用机理

科技创新驱动的旅游业高质量发展与旅游业碳排放效率改善所要求的科技可持续发展之间具有双向契合关系,二者彼此影响以实现其耦合发展与协调互动(见图1)。

### 1.1 科技创新与旅游业碳排放效率的耦合发展关系

面对日益趋紧的资源环境约束,旅游业亟需从要素驱动的高碳增长模式转向创新驱动下的低碳循环发展模式。一方面,科技创新作为发展的第一动力源和核心力量,依靠人才、资金、信息等创新要素投入进行

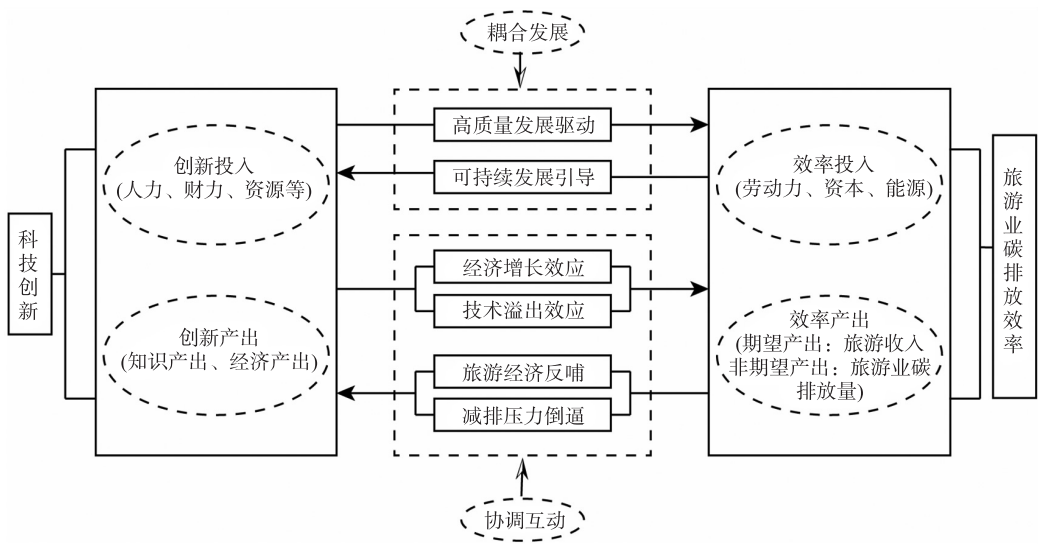


图 1 科技创新与旅游业碳排放效率耦合协调关系机理分析

Fig. 1 Mechanism analysis of coupling coordination between scientific and technological innovation and carbon emission efficiency of tourism industry

创新产出,有效促进交通、住宿、餐饮等旅游业综合关联部门的协同减排,跨地域、跨领域推动旅游经济发展与环境污染解耦脱钩,是实现旅游业高质量发展的重要驱动力<sup>[20]</sup>;另一方面,鉴于旅游业碳排放效率的改善旨在解决一系列粗放旅游规模扩张所诱发的生态“赤字”问题,藉以实现旅游业低碳发展,因此将更加重视科技创新的生态化、绿色化和低碳化,强化了科技创新的可持续发展理念导向<sup>[21]</sup>。

1.2 科技创新与旅游业碳排放效率的协调互动关系

科技创新正向推动旅游业碳排放效率的改善:(1)科技创新的经济增长效应有效促进旅游消费便利化和消费结构高级化,同时通过提高产品科技含量、丰富业态、延伸产业链等路径推动以科技创新为动源的旅游产业结构低碳化转型升级<sup>[22]</sup>;(2)科技创新通过技术溢出促进旅游资源、能源的提质增效,是实现旅游业节能减排与环境保护的主要依靠手段<sup>[20-21]</sup>。旅游业碳排放效率改善反向促进科技创新:(1)旅游业碳排放效率改善是投入和产出共同作用的结果,旅游经济效益随旅游业碳排放效率的改善而增加,旅游经济增长为反哺科技创新提供资金支撑;(2)旅游业具有建设美丽产业的良好优势和基础,在“双碳”目标下肩负着重大减排责任和任务,由此带来的旅游业碳减排压力进一步扩大了旅游业碳排放效率的改善需求,最终形成长效的科技创新发展倒逼机制与广阔的科技成果应用转化平台<sup>[20]</sup>。

2 数据来源与研究方法

2.1 指标体系构建与数据来源

本文选取 2001—2019 年中国 30 个省份(因数据缺失,不含西藏、港澳台地区)的面板数据为研究样本,在参考既有文献研究<sup>[23-24]</sup>的基础上,从科技创新投入和科技创新产出两方面来综合评价科技创新水平。其中,科技创新投入主要包括体现人力投入的 R&D 人员全时当量和高等院校学生在校人数,以及体现财力投入的 R&D 内部经费支出、R&D 科技活动课题数量、R&D 经费投入强度和财政科技占比;科技创新产出包括体现知识产出和经济产出两方面的技术市场合同成交额等 5 个指标(见表 1)。相关指标数据来源于 2002—2020 年《中国科技统计年鉴》和《中国第三产业统计年鉴》。

本文借鉴王坤等<sup>[13]</sup>、王凯等<sup>[25]</sup>的研究,选取旅游业从业人员、旅游业固定资产投资额、旅游业能源消耗量分别作为旅游业碳排放效率的劳动力投入、资本投入、能源投入;以旅游收入和旅游业 CO<sub>2</sub> 排放量分别作为期望产出和非期望产出。本文采用“自下而上”的研究思路,从旅游目的地游客数据入手,将旅游业划分为旅游交通、旅游住宿及旅游活动三大部门,分别核算其旅游业能源消耗量与 CO<sub>2</sub> 排放量后再进行加总。其中,铁路、公路、民航、水运等旅游交通方式的能耗因子分别为 1、1.8、2、0.9 MJ/km,CO<sub>2</sub> 排放因子分别为 27、133、137、106 g/km;每张床每晚的能源消耗、CO<sub>2</sub> 排放量分别为 155 MJ、2.45 g;观光旅游、休闲

度假、商务出差、探亲访友和其他旅游活动的能耗因子分别为 8.5、26.5、16、12 和 3.5 MJ/visitor, CO<sub>2</sub> 排放因子分别为 417、1 670、786、591 和 172 g/visitor. 相关指标数据来源于 2002—2020 年《中国环境统计年鉴》《中国交通统计年鉴》、2002—2018 年《中国旅游统计年鉴》及其副本、2019 年《中国文化和旅游统计年鉴》、2020 年《中国文化文物和旅游统计年鉴》,以及各省统计年鉴和统计公报.

表 1 科技创新评价指标体系

Table 1 The evaluation index system regarding the scientific and technological innovation

目标层	准则层	指标层	权重
科技创新	科技创新投入	R&D 内部经费支出	0.037
		R&D 人员全时当量	0.082
		R&D 经费投入强度	0.115
		财政科技占比	0.043
		高等院校学生在校人数	0.039
		R&D 科技活动课题数量	0.072
	科技创新产出	技术市场合同成交额	0.190
		国内三种专利申请受理数	0.142
		国内三种专利申请授权数	0.148
		国外主要检索工具收录的科技论文数	0.105
		新产品销售收入占比	0.028

## 2.2 研究方法

### 2.2.1 科技创新与旅游业碳排放效率评价模型

首先,通过极差标准化对数据进行无量纲处理,结合熵值法对科技创新系统的各指标进行客观赋权;其次,采取加权求和法测算综合得分,详细公式参见文献[26];再次,运用超效率 SBM 模型(Super-SBM)测算旅游业碳排放效率,计算公式参见文献[19];最后,引入耦合协调模型测度二者的耦合协调发展水平,根据四分位原则<sup>[27]</sup>,将耦合协调度类型由低到高划分为 4 种:严重失调, $D \in (0, 0.25]$ ;基本失调, $D \in (0.25, 0.5]$ ;基本协调, $D \in (0.5, 0.75]$ ;高级协调, $D \in (0.75, 1]$ ,依次定义为 I、II、III、IV 4 种类型. 本文认为科技创新与旅游业碳排放效率的发展同等重要,因此设置  $\alpha = \beta = 0.5$ ,具体公式参见文献[26].

### 2.2.2 核密度分析

核密度估计是一种采用平滑核函数作为权重、对样本数据的概率密度曲线进行拟合的非参数估计方法<sup>[26]</sup>. 通过构建核密度函数,拟合科技创新与旅游业碳排放效率耦合协调度的核密度曲线,以观察二者耦合协调发展的时序动态演进特征. 具体公式参见文献[26].

### 2.2.3 空间自相关分析

全局空间自相关(global Moran's  $I$ )反映要素的空间关联性, $I > 0$  表示正向相关, $I < 0$  表示负向相关, $I = 0$  则表示随机空间分布;局部空间自相关(local Moran's  $I$ )进一步将要素的局部空间聚类特征分为“高-高集聚”“低-低集聚”“高-低集聚”“低-高集聚”4 种类型<sup>[24]</sup>.

### 2.2.4 马尔科夫链分析

传统的马尔科夫链反映的是一种时间和状态均离散的随机过程,先将连续样本数据离散化为  $k$  种类型,然后计算出各状态类型当前概率分布情况及其随时间推移而发生状态转移的概率,近似逼近事物演化的整个过程<sup>[28]</sup>. 若随机变量  $X_t = j$ ,则  $t$  时期系统状态类型为  $j$ ,该系统满足

$$P_{ij} = \{X_t = j | X_{t-1} = i, X_{t-2} = i_{t-2}, \dots, X_0 = i_0\} = P\{X_t = j | X_{t-1} = i\}.$$

将科技创新与旅游业碳排放效率的耦合协调度划分为  $k$  种类型,构造  $k \times k$  阶的 Markov 转移概率矩阵以判识其动态转移趋势. 假设  $P_{ij}$  为各省份耦合协调度从  $t$  年  $i$  类型转移到  $t+1$  年  $j$  类型的概率, $n_i$  为考察期内  $i$  类型耦合协调度出现的总频次, $n_{ij}$  为耦合协调度从  $i$  类型转为  $j$  类型的次数,则:

$$P_{ij} = n_{ij} / n_i.$$

科技创新与旅游业碳排放效率的耦合协调状态变化并非孤立的空间演化过程,而是处于一个具有状态特征的领域环境中,受到邻域耦合协调状态的影响,具有空间溢出效应. 为此需在传统 Markov 分析过程中引入“空间滞后”概念,考察邻省份耦合协调度对本省份耦合协调状态动态演进的影响. 先设置空间权重矩阵,将  $k \times k$  的矩阵分解为  $k \times k \times k$  的矩阵,则  $P_{ij}$  为某省份在  $t$  年空间滞后类型为  $N_i$  的情况下,从  $t$  年的  $i$  类型转移到  $t+1$  年的  $j$  类型的概率,进而揭示空间因素在耦合协调状态转移过程中的动态作用.



3 实证结果与分析

3.1 科技创新与旅游业碳排放效率耦合协调度分析

3.1.1 科技创新与旅游业碳排放效率耦合协调度测算

时间维度上,2001—2019 年科技创新与旅游业碳排放效率耦合协调度平均值由 0.319 升至 0.563,逐步由 II 类型发展为 III 类型(见表 2)。具体而言,2001 年各省份耦合协调度为 0.187~0.564,最低值和最高值分别为新疆和北京,I 类型省份约占 1/3,II 类型省份占比在 1/2 以上,而 III 类型省份低至 4 个,各省份科技创新与旅游业碳排放效率的耦合协调发展普遍处于基本失调状态。2019 年各省份耦合协调度为 0.264~0.955,严重失调情况得到明显改善,II 类型省份占比降至 1/4 左右,III 类型省份增至 19 个,IV 类型省份为 3 个。这显示科技创新推动了资源的高效利用配置、低碳技术的开发应用与生产消费的更新扩容,促进旅游业降耗增效,从而提高旅游业碳排放效率;旅游业碳排放效率的经济效益期望产出增加亦反向支持了科技创新的发展,因此二者的耦合协调水平整体有所优化。

表 2 科技创新与旅游业碳排放效率耦合协调度测算结果

Table 2 Calculation results of the coupling coordination degree between scientific and technological innovation and carbon emission efficiency of tourism industry

地区	2001 年		2006 年		2011 年		2016 年		2019 年	
	<i>D</i>	类型	<i>D</i>	类型	<i>D</i>	类型	<i>D</i>	类型	<i>D</i>	类型
北京	0.564	III	0.596	III	0.534	III	0.837	IV	0.921	IV
天津	0.537	III	0.587	III	0.581	III	0.650	III	0.653	III
河北	0.296	II	0.255	II	0.340	II	0.449	II	0.637	III
山西	0.229	I	0.300	II	0.447	II	0.485	II	0.517	III
内蒙古	0.234	I	0.280	II	0.347	II	0.437	II	0.509	III
辽宁	0.289	II	0.385	II	0.567	III	0.443	II	0.519	III
吉林	0.259	II	0.362	II	0.414	II	0.513	III	0.562	III
黑龙江	0.296	II	0.306	II	0.398	II	0.396	II	0.431	II
上海	0.506	III	0.484	II	0.505	III	0.441	II	0.599	III
江苏	0.446	II	0.597	III	0.774	IV	0.847	IV	0.892	IV
浙江	0.395	II	0.564	III	0.682	III	0.777	IV	0.695	III
安徽	0.252	II	0.305	II	0.450	II	0.538	III	0.525	III
福建	0.300	II	0.382	II	0.390	II	0.435	II	0.529	III
江西	0.249	I	0.263	II	0.360	II	0.532	III	0.563	III
山东	0.367	II	0.456	II	0.574	III	0.721	III	0.667	III
河南	0.406	II	0.459	II	0.534	III	0.502	III	0.499	II
湖北	0.321	II	0.328	I	0.463	II	0.506	III	0.580	III
湖南	0.279	II	0.265	II	0.393	II	0.425	II	0.554	III
广东	0.501	III	0.446	II	0.532	III	0.829	IV	0.955	IV
广西	0.244	I	0.269	II	0.345	II	0.443	II	0.457	II
海南	0.192	I	0.246	I	0.237	I	0.225	I	0.264	II
重庆	0.337	II	0.402	II	0.388	II	0.427	II	0.518	III
四川	0.294	II	0.347	II	0.431	II	0.541	III	0.616	III
贵州	0.253	II	0.289	II	0.404	II	0.464	II	0.522	III
云南	0.247	I	0.248	I	0.306	II	0.367	II	0.527	III
陕西	0.325	II	0.335	II	0.405	II	0.490	II	0.556	III
甘肃	0.222	I	0.245	I	0.309	II	0.363	II	0.494	II
青海	0.310	II	0.315	II	0.327	II	0.350	II	0.349	II
宁夏	0.238	I	0.352	II	0.307	II	0.400	II	0.438	II
新疆	0.187	I	0.193	I	0.253	II	0.300	II	0.345	II
东部地区	0.410	II	0.461	II	0.515	III	0.621	III	0.681	III
中部地区	0.289	II	0.320	II	0.441	II	0.498	II	0.540	III
西部地区	0.263	II	0.298	II	0.348	II	0.416	II	0.485	II
东北地区	0.281	II	0.351	II	0.459	II	0.451	II	0.504	III
平均值	0.319	II	0.362	II	0.433	II	0.504	III	0.563	III

注:根据国家统计局对经济区域划分标准,本文研究中东部地区包括北京、天津、河北、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、海南;中部地区包括山西、湖北、湖南、河南、江西、安徽;西部地区包括内蒙古、广西、重庆、四川、贵州、云南、陕西、青海、甘肃、宁夏、新疆;东北地区包括辽宁、吉林、黑龙江。

空间维度上,科技创新与旅游业碳排放效率的耦合协调度呈现东部(0.681)>中部(0.540)>东北部(0.504)>西部(0.485)的分布格局。东部地区经济发达,对外开放水平高,能够在创新旅游低碳发展模式的同时以先进的科技手段抑制碳排放,与旅游业碳排放效率实现协同发展,北京、江苏、广东等省份已达高级协调状态;中部地区承启东西、贯连南北的区位优势使其承接东部技术溢出和转移的重要优势,其科技创新水平的提高让旅游业以更少的资源、能源投入获得发展,使旅游业碳排放效率改善成为可能,旅游产品和服务价值增值能力在紧扣地区人文底蕴的旅游发展中得以强化,旅游经济与环境效益实现同步改善,除河南下滑为基本失调外,其余5省份均实现基本协调;东北地区是中国工业发展的“摇篮”,重化工产业发展的路径依赖和以煤炭、钢铁为主的能源供应结构造成旅游业以创新为动能的低碳转型发展缓慢而困难,其耦合协调度处于基本协调的边缘位置,黑龙江长期保持基本失调状态;西部地区旅游业起步晚,虽生态空间充足,但科技创新水平低,尚未与旅游业碳排放效率形成适配发展。

### 3.1.2 科技创新与旅游业碳排放效率耦合协调度的核密度分析

核密度分析能够展示科技创新与旅游业碳排放效率耦合协调度的分布位置、形态、延展性及极化趋势(见图2)。从分布位置来看,核密度曲线随时间推移而逐渐右移,表明前期科技创新与旅游业碳排放效率的耦合协调发展优化空间较大,科技创新成果尚未有效转化为提升旅游业碳排放效率的内生动力;后期随着科技创新水平的整体提高及旅游业节能减排工作的深入推进,二者的耦合协调发展形势整体向好。从分布延展性来看,部分年份核密度曲线存在小幅右拖尾现象,存在一定数量的耦合协调度较高省份,且近年来拖尾延展收敛趋势逐渐明显,耦合协调度较高省份与其他省份的空间差异有所缩小。从极化趋势来看,核密度曲线表现出“双峰—单峰”交替演变的极化现象,基本保持微弱的“双峰”分布模式,且主峰与侧峰存在较为稳定的高度差,折射出一定程度的空间极化现象与梯度效应,表明存在少部分高耦合协调度省份。从分布形态来看,核密度曲线主峰总体呈现出“峰值下降、波宽缩窄”的特征,表明二者耦合协调的离散发展状态得到改善。

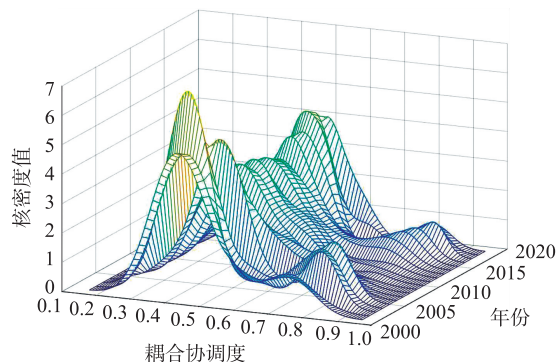


图2 科技创新与旅游业碳排放效率耦合协调度的动态演进

Fig. 2 Dynamic evolution of the coupling coordination degree between scientific and technological innovation and carbon emission efficiency of tourism industry

## 3.2 科技创新与旅游业碳排放效率耦合协调度的空间动态演化特征

### 3.2.1 耦合协调度空间关联分析

2001—2019年科技创新与旅游业碳排放效率耦合协调度的全局 Moran's  $I$  测算结果如表3所示,所有年份的全局 Moran's  $I$  均为正,除2014年、2015年、2017年和2019年外,其余年份的全局 Moran's  $I$  均在10%的水平上显著,表现出明显的空间正相关性,即科技创新与旅游业碳排放效率耦合协调度高值省份之间相互毗邻,低值省份亦呈现空间集聚分布。2001—2013年,全局 Moran's  $I$  在0.148~0.236之间波动上升;2014—2019年,全局 Moran's  $I$  在0.072~0.127之间波动下降;整体经历了“先增后降”的发展过程。由此可见,科技创新与旅游业碳排放效率的耦合协调发展受地理空间背景要素影响,可能对邻近省份存在空间溢出作用,空间集聚态势在前期得到增强,在后期逐渐变弱。

如表4所示,高-高集聚型和低-低集聚型的省份在研究区内始终占据数量优势,而低-高集聚型、高-低集聚型的省份较少,空间相关性强于空间异质性。高-高集聚型省份主要在东部沿海地区,低-低集聚型省份集中于西部地区,而低-高集聚型和高-低集聚型省份则分布在华中、华南等地区。具体而言,高-高集聚型和低-低集聚型省份的空间“俱乐部趋同”效应明显且空间演化格局相对稳定,北京、天津、山东、江苏和浙江等经济发达省份稳定在高-高集聚区;新疆、甘肃、青海、内蒙古、宁夏、云南、贵州等经济欠发达省份基本保持低-低集聚状态,数量最多。低-高集聚区和高-低集聚区的空间异质性强且空间格局变动显著,从无序分布转向重点分布于中南部地区;湖北、广东、重庆等省份出现在高-低集聚区的频次较高,而江西、福建、广西、安徽、河南等省份出现在低-高集聚区的频次较高,陕西受到邻近低值耦合协调省份的负向影响,集聚类型从2001年的高-低集聚转为2019年的低-低集聚。

表 3 2001—2019 年科技创新与旅游业碳排放效率耦合协调度的全局 Moran's *I*

Table 3 Global Moran's *I* of the coupling coordination degree between scientific and technological innovation and carbon emission efficiency of tourism industry from 2001 to 2019

年份	<i>Z</i>	全局 Moran's <i>I</i>	<i>P</i>	年份	<i>Z</i>	全局 Moran's <i>I</i>	<i>P</i>
2001	1.782	0.162	0.037	2011	2.472	0.236	0.007
2002	2.033	0.189	0.021	2012	2.305	0.216	0.011
2003	2.162	0.203	0.015	2013	1.912	0.176	0.028
2004	1.700	0.154	0.045	2014	1.178	0.096	0.119
2005	2.178	0.208	0.015	2015	1.279	0.107	0.100
2006	2.043	0.193	0.021	2016	1.468	0.127	0.071
2007	1.630	0.148	0.052	2017	0.873	0.061	0.191
2008	2.046	0.190	0.020	2018	1.456	0.125	0.073
2009	2.258	0.214	0.012	2019	0.984	0.072	0.163
2010	2.069	0.192	0.019	—	—	—	—

表 4 科技创新与旅游业碳排放效率耦合协调度的局部 Moran's *I* 散点聚类

Table 4 Local Moran's *I* scattered clustering of the coupling coordination degree between scientific and technological innovation and carbon emission efficiency of tourism industry

年份	高-高集聚型	低-低集聚型	低-高集聚型	高-低集聚型
2001	北京、天津、山东、江苏、上海、浙江	黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古、山西、宁夏、甘肃、青海、新疆、云南、贵州、四川、湖南	河北、安徽、江西、福建、广西、海南	陕西、河南、湖北、重庆、广东
2006	北京、天津、山东、江苏、上海、浙江、福建	黑龙江、吉林、内蒙古、山西、陕西、宁夏、甘肃、青海、新疆、云南、贵州、四川、广西、湖南、湖北	河北、安徽、江西、海南	辽宁、河南、重庆、广东
2011	北京、天津、山东、江苏、上海、浙江、安徽、河南	黑龙江、内蒙古、陕西、宁夏、甘肃、青海、新疆、云南、贵州、四川、重庆、广西、湖南	吉林、河北、江西、福建、海南	辽宁、山西、湖北、广东
2016	北京、天津、山东、江苏、浙江、安徽、江西	黑龙江、辽宁、内蒙古、山西、陕西、宁夏、甘肃、青海、新疆、云南、贵州、重庆	河北、河南、上海、福建、湖南、广西、海南	吉林、湖北、四川、广东
2019	北京、天津、河北、山东、江苏、上海、浙江	黑龙江、吉林、内蒙古、山西、陕西、宁夏、甘肃、青海、新疆、云南、贵州	辽宁、河南、安徽、江西、湖南、福建、广西、海南、重庆	湖北、广东、四川

3.2.2 耦合协调度的 Markov 链转移概率分析

3.2.2.1 传统 Markov 链转移概率分析

从科技创新与旅游业碳排放效率耦合协调度的 Markov 转移概率矩阵(见表 5)可以看出:①主对角线数值在 0.651~0.875 之间,而非对角线数值在 0~0.214 之间,耦合协调度类型稳定在自身水平的最小概率(65.1%)远大于类型转移的最大概率(21.4%),这表明科技创新与旅游业碳排放效率耦合协调度较为稳定,不发生类型转移的概率相对较大. ②主对角线右侧的非对角线数值整体大于左侧数值,即耦合协调类型向上转移的概率大于向下转移的概率,科技创新与旅游业碳排放效率耦合协调度呈向好增长趋势. ③I 类型省份保持类型不变的概率为 86.8%,向上转移的概率仅为 11.8%，“路径依赖”和“锁定效应”的存在使其发展性较差,要警惕陷入“低水平陷阱”;II 类型省份稳定在原有类型的概率为 65.1%,向上攀升的可能性(21.4%)高于向下转移的可能性(12.7%);III 类型省份保持类型不变的概率为 65.9%,向下调整的概率(19.0%)超过了向上转移的概率(13.5%);IV 类型省份稳定在当前状态的概率处于 87.5%的较高水平,向下转移的概率为 9.7%,具有明显的“俱乐部趋同”特征. 因此未来要进一步强化 III、IV 类型省份的带动效应,促进 I、II 类型省份向好转变.

表 5 2001—2019 年科技创新与旅游业碳排放效率耦合协调度的传统 Markov 转移概率矩阵

Table 5 Traditional Markov transfer probability matrix of the coupling coordination degree between scientific and technological innovation and carbon emission efficiency of tourism industry from 2001 to 2019

耦合协调度类型	总频次 <i>n</i> /个	I 类型	II 类型	III 类型	IV 类型
I 类型	144	0.868	0.118	0.014	0.000
II 类型	126	0.127	0.651	0.214	0.008
III 类型	126	0.016	0.190	0.659	0.135
IV 类型	144	0.007	0.021	0.097	0.875



### 3.2.2.2 空间 Markov 链转移概率分析

在传统 Markov 链的基础上进一步考虑区域之间科技创新与旅游业碳排放效率耦合协调发展的空间关联性,构建纳入空间滞后项的 Markov 转移概率矩阵(见表 6)。可以看出:

①即使在考虑了邻近省份科技创新与旅游业碳排放效率耦合协调度的前提下,空间转移概率矩阵主对角线上的数值均高于非对角线上的数值,各省份自身的耦合协调度仍然倾向于稳定维持当前状态,其流动性随着空间滞后类型的升高而减弱;与此同时,由于 I 类型省份对科技作用于旅游业低碳发展的贡献潜力未有充分认识,区域学习效应不足,耦合协调度迟迟没有改善;而 II 类型、III 类型省份困于科技供给持续滞后、科技攻关难度提升、技术落地风险增大等发展瓶颈,旅游业要获得更可观的减排降碳成效亦是困难重重,耦合协调度短期内提升不易,故二者空间分布固化趋势也愈加明显;IV 类型省份耦合协调发展较好,但提升空间和潜力较为有限。

②科技创新与旅游业碳排放效率耦合协调状态发生转变主要是在相邻类型之间,仅有 IV 类型省份在邻域状态为 I 类型时,其“跳跃式”向下转移为 II 类型的概率大于向下转移为 III 类型的概率。此外虽存在发生“跃迁”转移(向上转移或向下调整超过 1 级)的可能,但概率非常微小。这也印证了目前科技创新与旅游业低碳转型结合不够紧密、旅游业碳排放效率有待改善、科技创新供给滞后的发展现状,二者耦合协调发展所产生的空间溢出作用并不足以支撑邻省实现“跨越式”发展。

③在不同类型邻域背景下,各省份的耦合协调类型转移概率存在差异。随着空间滞后类型升高,I 类型省份向上转移为 II 类型的概率先增后减;II 类型省份向上转移为 III 类型和向下调整为 I 类型的概率均渐趋下降,III 类型省份的发展情况类似,但 II 类型省份向上转移的概率大于向下调整的概率,而 III 类型省份向上转移的概率小于向下调整的概率;IV 类型省份向下调整为 III 类型的概率则略微增大。原因在于:尽管科技创新在旅游业碳排放效率提升方面成效卓然,但邻域减排技术的引进往往意味着高成本负荷,低碳技术的转移和引入目前主要在发达省份之间进行,发达省份与欠发达省份之间、欠发达省份与欠发达省份之间的低碳技术转移仍较少发生,尤其是欠发达省份既没有较强的动力也没有实力或财力去承担降碳、负碳、零碳技术创新、攻关及引进,旅游发展背负的环境代价缺乏技术可行、经济可承受的科技治理手段,耦合协调度普遍不高,导致原本就不具备数量优势的 IV 类型省份所能发挥的带动效应愈加有限,II、III 类型省份更易受 I、II 类型“邻居”的影响而诱发发展回落风险,陷入“俱乐部贫困”陷阱。

表 6 2001—2019 年科技创新与旅游业碳排放效率耦合协调度的空间 Markov 转移概率矩阵

Table 6 Spatial Markov transfer probability matrix of the coupling coordination degree between scientific and technological innovation and carbon emission efficiency of tourism industry from 2001 to 2019

空间滞后类型	本地状态	总频次 $n/\text{个}$	I 类型	II 类型	III 类型	IV 类型
I 类型	I 类型	65	0.877	0.108	0.015	0.000
	II 类型	24	0.167	0.583	0.250	0.000
	III 类型	29	0.000	0.207	0.690	0.103
	IV 类型	22	0.000	0.045	0.000	0.955
II 类型	I 类型	25	0.760	0.200	0.040	0.000
	II 类型	52	0.058	0.692	0.250	0.000
	III 类型	45	0.022	0.267	0.667	0.044
	IV 类型	10	0.000	0.100	0.300	0.600
III 类型	I 类型	21	0.810	0.190	0.000	0.000
	II 类型	37	0.108	0.784	0.108	0.000
	III 类型	31	0.000	0.097	0.806	0.097
	IV 类型	42	0.000	0.000	0.071	0.929
IV 类型	I 类型	27	0.926	0.074	0.000	0.000
	II 类型	21	0.095	0.714	0.190	0.000
	III 类型	27	0.000	0.111	0.859	0.037
	IV 类型	62	0.000	0.000	0.032	0.968

## 4 结论

本文从系统耦合协调视角切入,刻画科技创新与旅游业碳排放效率耦合协调发展的时空格局,并基于 Markov 链分析法揭示其耦合协调发展的动态演化趋势。主要结论有:(1)科技创新与旅游业碳排放效率耦



合协调度整体上逐步从“基本失调”转向“基本协调”,表现出东部>中部>东北部>西部的空间分布特征;其核密度曲线右移且伴有明显右拖尾延展收敛趋势,呈微弱双峰演化格局,主峰峰值下降、波宽缩窄。(2)科技创新与旅游业碳排放效率的耦合协调度存在显著的正向空间相关性,局部空间关联类型以高-高集聚型、低-低集聚型为主。(3)科技创新与旅游业碳排放效率的耦合协调度基本服从稳态分布,跨越提升的概率微小且存在“俱乐部趋同”现象,其发展演化受邻域状态类型影响,具有空间溢出效应;I类型省份面临低水平固化窘境,IV类型省份带动效应不足,II、III类型省份更易受到I、II类型“邻居”的影响而引致发展回落和区域差异扩大风险。

本文丰富了行业间协同演化与耦合发展的研究内容,并弥补了既有研究仅将科技创新作为众多因素之一纳入模型框架进行笼统分析、而对其作为旅游业低碳增长第一驱动力的作用探讨不足的缺憾。然而,由于缺乏对旅游科研机构、从业人员、经费等相关数据的统计,本文所测度的宏观层面的科技创新与旅游业碳排放效率的耦合协调水平只能在一定程度上反映二者的融合协同关系,后续可尝试采用旅游高等院校及其学生数等能够反映旅游科技投入水平的指标,细化旅游科技创新与碳排放效率关系的相关研究。

### [参考文献]

- [1] LENZEN M, SUN Y Y, FATURAY F, et al. The carbon footprint of global tourism[J]. *Nature climate change*, 2018, 8(6): 522-528.
- [2] SIMPSON M C, GÖSSLING S, SCOTT D, et al. Climate change adaptation and mitigation in the tourism sector: frameworks, tools and practices[R]. Oxford: University of Oxford, 2008.
- [3] 杨莉莎, 朱俊鹏, 贾智杰. 中国碳减排实现的影响因素和当前挑战: 基于技术进步的视角[J]. *经济研究*, 2019, 54(11): 118-132.
- [4] 卢娜, 王为东, 王森, 等. 突破性低碳技术创新与碳排放: 直接影响与空间溢出[J]. *中国人口·资源与环境*, 2019, 29(5): 30-39.
- [5] KHAN S A R, PONCE P, YU Z. Technological innovation and environmental taxes toward a carbon-free economy: an empirical study in the context of COP-21[J]. *Journal of environmental management*, 2021, 298: 113418.
- [6] D'AMORE F, ROMANO M C, BEZZO F. Carbon capture and storage from energy and industrial emission sources: a Europe-wide supply chain optimization[J]. *Journal of cleaner production*, 2021, 290: 125202.
- [7] 黄凌云, 谢会强, 刘冬冬. 技术进步路径选择与中国制造业出口隐含碳排放强度[J]. *中国人口·资源与环境*, 2017, 27(10): 94-102.
- [8] ERDOĞAN S. Dynamic nexus between technological innovation and building sector carbon emissions in the BRICS countries[J]. *Journal of environmental management*, 2021, 293: 112780.
- [9] KHAN A, YANG C G, HUSSAIN J, et al. Impact of technological innovation, financial development and foreign direct investment on renewable energy, non-renewable energy and the environment in belt & road initiative countries[J]. *Renewable energy*, 2021, 171: 479-491.
- [10] JIAO Z L, SHARMA R, KAUTISH P, et al. Unveiling the asymmetric impact of exports, oil prices, technological innovations, and income inequality on carbon emissions in India[J]. *Resources policy*, 2021, 74: 102408.
- [11] KHATTAK S I, AHMAD M, KHAN Z U, et al. Exploring the impact of innovation, renewable energy consumption, and income on CO<sub>2</sub> emissions: new evidence from the BRICS economies[J]. *Environmental science and pollution research*, 2020, 27(12): 13866-13881.
- [12] BRÄNNLUND R, GHALWASH T, NORDSTRÖM J. Increased energy efficiency and the rebound effect: effects on consumption and emissions[J]. *Energy economics*, 2007, 29(1): 1-17.
- [13] 王坤, 黄震方, 曹芳东. 中国旅游业碳排放效率的空间格局及其影响因素[J]. *生态学报*, 2015, 35(21): 7150-7160.
- [14] SUN Y Y. Decomposition of tourism greenhouse gas emissions: revealing the dynamics between tourism economic growth, technological efficiency, and carbon emissions[J]. *Tourism management*, 2016, 55: 326-336.
- [15] ZHA J P, HE L M, LIU Y, et al. Evaluation on development efficiency of low-carbon tourism economy: a case study of Hubei Province, China[J]. *Socio-economic planning sciences*, 2019, 66: 47-57.
- [16] 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): 3909-3918.
- [17] ERDOĞAN S, CEDIKLI A, CEVIK E I, et al. Eco-friendly technologies, international tourism and carbon emissions: evidence

- from the most visited countries[J]. Technological forecasting and social change,2022,180:121705.
- [18] 王凯,夏莉惠,陈勤昌,等. 基于空间聚类分析的中国旅游业碳排放效率[J]. 环境科学研究,2018,31(3):419-427.
- [19] 邵海琴,王兆峰. 长江经济带旅游业碳排放效率的综合测度与时空分异[J]. 长江流域资源与环境,2020,29(8):1685-1693.
- [20] 金准. 碳达峰、碳中和与旅游业高质量转型[J]. 旅游学刊,2021,36(9):3-5.
- [21] 刘俊,王胜宏,余云云. 科技创新:生态旅游发展关键问题的思考[J]. 旅游学刊,2021,36(9):5-7.
- [22] 宋子千. 科技引领“十四五”旅游业高质量发展[J]. 旅游学刊,2020,35(6):10-12.
- [23] 韩永楠,葛鹏飞,周伯乐. 中国市域技术创新与绿色发展耦合协调演变分异[J]. 经济地理,2021,41(6):12-19.
- [24] 马玉林,马运鹏. 中国科技资源配置效率的区域差异及收敛性研究[J]. 数量经济技术经济研究,2021,38(8):83-103.
- [25] 王凯,肖燕,李志苗,等. 中国旅游业 CO<sub>2</sub> 排放因素分解:基于 LMDI 分解技术[J]. 旅游科学,2016,30(3):13-27.
- [26] 翁钢民,唐亦博,潘越,等. 京津冀旅游—生态—城镇化耦合协调的时空演进与空间差异[J]. 经济地理,2021,41(12):196-204.
- [27] 聂长飞,简新华. 中国高质量发展的测度及省际现状的分析比较[J]. 数量经济技术经济研究,2020,37(2):26-47.
- [28] 高鹏,何丹,宁越敏,等. 长三角地区城市投资联系水平的时空动态及影响因素[J]. 地理研究,2021,40(10):2760-2779.

[责任编辑:丁 蓉]