DOI: 10.5846/stxb202108102207
徐琼,程慧,钟美瑞.中国旅游业碳排放效率趋同演变及其趋势预测.生态学报,2023,43(9):3417-3429.
Xu Q, Cheng H, Zhong M R.Convergent evolution and trend prediction of carbon emission efficiency in China's tourism industry.Acta Ecologica Sinica, 2023,43(9):3417-3429.

中国旅游业碳排放效率趋同演变及其趋势预测

徐 琼[1],程 慧[2,*],钟美瑞[1]
1 中南大学 商学院,长沙 410083
2 湖南师范大学 旅游学院,长沙 410081

摘要:低碳旅游是实现旅游业可持续发展的必然之路,准确把握中国旅游业碳排放效率趋同演变及其发展趋势,对中国"双碳"目标的实现具有重要的意义。基于超效率—SBM 模型对 2009—2019 年中国旅游业碳排放效率科学测度,再采用空间自相关分析与时空 Markov 链,检验其趋同效应并深入探析其时空趋同特征,最后结合 Markov 链的无限分布矩阵,科学预测中国旅游业碳排放效率的发展趋势。结果表明:(1)时间特征上,2009—2019 年中国旅游业碳排放效率呈"过山车式"波动上升态势,东部效率均值大于西部大于中部。研究期内效率均呈显著的俱乐部趋同分布,从 2009—2014 年偏向于较低效率"单峰"趋同向 2015—2019 年偏向于低效率和高效率的"双峰"趋同演变,且相邻效率等级俱乐部更容易发生转移,其中后期比前期的俱乐部趋同效应更强。(2)空间特征上,不同空间滞后条件下,中国旅游业碳排放效率均呈显著的俱乐部趋同分布,但趋同程度随滞后水平的提升有所减弱。空间滞后水平越高,效率向上转移可能性越大。(3)省域效率转移上,大多中西部省份效率保持平稳,但部分沿海发达省份和西部省份实现向上转移,仅少数中东部省份向下转移。(4)省域及邻域效率转移上,大多数省域与其邻域保持相同的转移方向,其中中西部省份处于"近墨者黑"的困境,少数东部沿海和西南省市摆脱邻域效率"下滑"陷阱,实现向上转移.(5)发展趋势上,未来中国旅游业碳排放效率将整体有所提升,空间分布由"双峰"向"单峰"趋同演变,但仍聚类于较低效率趋同。随着空间滞后水平的提升,俱乐部趋同程度有所减弱,但趋同质量显著提升。最后本文提出针对性地建议,以期促进中国旅游业的可持续发展,助推"双碳"目标的实现。

关键词:旅游业碳排放效率;俱乐部趋同;时空特征;趋势预测;Markov 链

Convergent evolution and trend prediction of carbon emission efficiency in China's tourism industry

XU Qiong[1], CHENG Hui[2,*], ZHONG Meirui[1]
1 *School of Business, Central South University, Changsha* 410083, *China*
2 *College of Tourism, Hunan Normal University, Changsha* 410081, *China*

Abstract: Low-carbon tourism is an inevitable way to realize the sustainable development of tourism. Accurately grasping the convergence characteristic and development trend of China's tourism carbon emission efficiency are of great significance to realization of China's "dual carbon" goal. This paper is based on the Super-SBM model to scientifically measure the carbon emission efficiency of China's tourism industry from 2009 to 2019. Then, the spatial autocorrelation analysis and spatio-temporal Markov chain were used to test its convergence effect and in-depth analysis of its temporal and spatial convergence characteristics. Finally, combined with the infinite distribution matrix of the Markov chain, we scientifically predicted the development trend of China's tourism carbon emission efficiency. The result shows that: (1) In terms of time

基金项目:国家社会科学基金青年基金项目(19CGL030)
收稿日期:2021-08-10; **采用日期**:2022-12-13
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: chenghui326@qq.com
#本研究不含中国港澳台统计数据。

characteristics, the carbon emission efficiency of China's tourism industry has fluctuated and increased in a "roller coaster style" from 2009 to 2019. The eastern region has the highest average efficiency, followed by the western and finally the central region. During the study period, the efficiency showed a significant club convergence distribution, from a "single peak" distribution biased towards lower efficiency in 2009—2014 to a "double peak" distribution biased towards low efficiency and high efficiency in 2015—2019, and clubs with adjacent efficiency levels are more likely to transfer, and the later period is stronger than the earlier period of club convergence effect. (2) In terms of spatial characteristics, under different spatial lag conditions, the carbon emission efficiency of China's tourism industry has a significant club convergence distribution, but the degree of convergence has weakened as the lag level increases. The higher the level of spatial lag, the greater the possibility of an upward shift in efficiency. (3) In terms of provincial efficiency transfer, the efficiency of most central and western provinces remained stable, but some developed coastal provinces and western provinces achieved upward transfer, and only a few central and eastern provinces transferred downward. (4) In terms of the efficiency transfer of provinces and neighbors, most provinces and their neighbors maintain the same transfer direction. Among them, the central and western provinces are in the "with the bad, it also goes bad" situation, and a few eastern coastal and southwestern provinces get rid of the trap of decline in their neighborhoods and realized upward shifts. (5) In terms of the development trend, in the future, the overall carbon emission efficiency of China's tourism industry will be improved, and the spatial distribution will evolve from a "double peak" to a "single peak", but it will still be clustered towards lower efficiency. With the increase in the level of spatial lag, the degree of club convergence has weakened, but the quality of convergence has improved significantly. Finally, this article puts forward specific suggestions in order to promote the sustainable development of China's tourism industry and promote the realization of the "dual carbon" goal.

Key Words: tourism carbon emission efficiency; club convergence; temporal and spatial characteristics; trend prediction; Markov chain

旅游惯常作为"无烟产业"被熟知[1]。但是最新一项研究表明,全球旅游业碳排放量比 2008 年世界贸易组织(WTO)预估值高出四倍多,占据全球碳排放总量的 8%,并且预估到 2025 年,全球旅游业碳排放量将持续增长,同比扩大 40%以上,总量将突破 65 亿吨,那么"诗与远方"还能去吗? 成为我们当前刻不容缓、亟需解决的现实问题[2]。旅游业作为当前最大的产业之一,具有极强的产业综合性和产业关联性,因此旅游业碳排放的规模效应不容忽视[3]。此外,旅游业碳排放效率作为既考量旅游业经济增长又考虑环境压力的直接依据,其时空跃迁活跃,具有显著的空间溢出效应[4]。特别是近年来受区域经济、技术创新、政府规制等因素错综影响,我国旅游业碳排放效率空间结构趋于复杂化、多元化[5],因此精准刻画我国旅游业碳排放效率的趋同特征及其演变趋势对于推动区域碳减排协作,助力于"双碳"目标的实现意义重大。首先有助于我们摸清各区域旅游业碳排放管制成效,把握旅游业碳排放效率的时空演变规律及其空间趋同特征;其次有助于我们利用空间趋同关系,增进区域旅游业节能减排协作,提升旅游业碳排放效率整体水平;最后有助于政府明晰旅游业碳减排工作的重难点,使地区摆脱"低效率"陷阱,实现区域均衡发展。

在旅游业高质量发展的时代背景下,旅游生态安全问题广受关注,其中旅游业碳排放效率已成为研究焦点。目前国内外旅游业碳排放效率研究内容主要集中在效率测评[6—8]、时空特征[9—11]、影响因素[12—14]、提升策略[15—16]等方面。研究尺度已广泛涉及到国家[11—12]、省域[4—5]、城市[17—18]、景区[19—20]等宏微观层面。在研究方法上,随机前沿法(SFA)和数据包络分析(DEA)在效率测评上应用最为普遍[9—10]。近来学者们采用计量模型对效率的影响因素进行探索[12—13]。综上文献总结,现有旅游业碳排放效率研究已颇为丰富,为本研究边际贡献的拓展确立了牢固的理论支撑,但仍存在诸多不足,具体来说:首先在研究内容上,旅游业碳排放效率大多停留在单一效率的测度及评价上,学界尚未构建起权威统一的评价指标体系。另外,旅游业碳排放效率时空特征研究大多基于"属性"数据进行,即对效率的时空演变进行详细描述,而缺少基于"关系"数据的时

空特征的关联分析。事实上,区域旅游业碳排放效率与邻域效率水平是紧密关联的,其时空变化也难免受邻域效率变化的影响[21],因此忽视空间关联关系的旅游业碳排放效率研究,很难揭示效率演变的真实"面目",难以为我国制定有针对性的旅游业碳减排路径,不利于整体效率的提升以及区域碳减排的协作。其次在研究方法上,学界多沿用传统的模型对不同尺度旅游业碳排放效率进行测度,而很少采用多种模型方法去探索其时空特征,因此多学科交叉方法应用上还缺失创新性。最后在研究尺度上,现有研究主要聚焦于某一特定尺度下效率的静态测度,而很少关注不同尺度下效率的动态测度。

本文可能的创新点有:(1)本文基于旅游业碳排放效率的"关系"数据,动态评价了效率的俱乐部趋同效应,摸清其时空趋同特征以及演变规律,拓展了旅游业碳排放效率的研究内容,为各省实施旅游碳减排举措提供了有价值的参考。(2)本文不再拘泥于单一的传统的模型,采用地理学、经济学多学科交叉方法科学探索现实问题,为现有研究提供了更多丰富有趣的文章结论。(3)本文不再拘泥于旅游业碳排放效率的传统视角,即效率的测度与评价,而是立足于空间关联视角,探索效率的动态趋同特征,并立足"双碳"目标背景,科学预测效率的时空演变趋势,丰富了现有旅游业碳减排的研究视角。鉴于此,本研究基于超效率—SBM 模型、Markov 链以及可变 Markov 链,在对中国 2009—2019 年旅游业碳排放效率的有效测度基础上,进一步对其俱乐部趋同的时空特征进行分析;并借助 ArcGIS10.2 软件,对其俱乐部趋同的动态时空特征进行直观化处理。最后再结合 Markov 链的无限分布矩阵,科学预测中国旅游业碳排放效率的未来发展趋势,以期为我国旅游业的低碳发展提供科学且有针对性的建议。

1　方法与数据

1.1　研究方法

1.1.1　"自下而上"法

目前国内尚未建立起单独核算旅游业碳排放量以及能源消耗量的卫星账户,旅游业碳排放量以及能源消耗量的测算关乎到与旅游业相关部门的直接和间接环节,因此,本文参考已有研究[22—24],采用"自下而上"法对中国旅游业碳排放量和能源消耗量的核算,即从旅游交通、旅游住宿、旅游活动分解测算碳排放量与能源消耗量,再进行汇总得到该地区旅游业的碳排放量与能源消耗量,其核算公式为:

$$\begin{aligned} C_j &= C_j^t + C_j^h + C_j^a \\ E_j &= E_j^t + E_j^h + E_j^a \end{aligned} \tag{1}$$

式中,C_j 表示 j 地区旅游业碳排放量,其中 C_j^t、C_j^h、C_j^a 分别表示 j 地区旅游交通、旅游住宿、旅游活动的碳排放量。E_j 表示 j 地区旅游业能源消耗量,其中 E_j^t、E_j^h、E_j^a 分别表示 j 地区旅游交通、旅游住宿、旅游活动的能源消耗量。各部门的旅游业碳排放量和能源消耗量的测算公式分别为:

$$\begin{aligned} C_j^t &= \sum_{i=1}^{4} k_{ij} \times f_{ij} \times \alpha_{ij} \\ E_j^t &= \sum_{i=1}^{4} k_{ij} \times f_{ij} \times \beta_{ij} \end{aligned} \tag{2}$$

式中,i 表示旅游交通的类型,本研究从铁路、公路、民航和水运四大类进行统计,k_{ij} 表示 j 地区第 i 类交通的客运周转量,f_{ij} 表示 j 地区第 i 类交通的游客比重,根据魏艳旭等[25]研究,铁路、公路、民航和水运的游客比重分别取值为 31.6%、13.8%、64.7%和 10.6%。α_{ij} 表示 j 地区第 i 类交通的碳排放系数,铁路、公路、民航和水运的碳排放系数分别为 27g 人$^{-1}$ km^{-1}、133g 人$^{-1}$ km^{-1}、137g 人$^{-1}$ km^{-1}以及 106g 人$^{-1}$ km^{-1}。β_{ij} 表示 j 地区第 i 类交通的能源消耗系数,铁路、公路、民航和水运的能源消耗系数分别为 1.0MJ 人$^{-1}$ km^{-1}、1.8MJ 人$^{-1}$ km^{-1}、2.0MJ 人$^{-1}$ km^{-1}以及 0.9MJ 人$^{-1}$ km^{-1}[26—27]。

$$\begin{aligned} C_j^h &= P_j \times N_j \times \gamma \\ E_j^h &= P_j \times N_j \times \lambda \end{aligned} \tag{3}$$

式中，P_j、N_j 分别表示 j 地区旅游饭店的床位数、客房出租率，γ、λ 分别表示每张床每晚的碳排放系数和及能源消耗系数，据已有研究[28]，γ =2.458g 床$^{-1}$晚$^{-1}$，λ =155MJ 床$^{-1}$晚$^{-1}$。

$$C_j^a = \sum_{n=1}^{5} Q_{nj} \times \mu_n$$
$$E_j^a = \sum_{n=1}^{5} Q_{nj} \times \sigma_n \tag{4}$$

式中，n 表示旅游活动的类型，本研究从观光游览、休闲度假、商务出差、探亲访友以及其他五大活动类型进行汇总，Q_{nj} 表示 j 地区参与第 n 种活动的游客人数，μ_n、σ_n 分别表示 j 地区第 n 种活动的碳排放系数和能源消耗系数，根据石培华等[29]研究，将观光游览、休闲度假、商务出差、探亲访友以及其他五大活动类型的碳排放系数分别取值为 417g/人、1670g/人、786g/人、591g/人以及 172g/人，能源消耗系数分别取值为 8.5MJ/人、26.5MJ/人、16MJ/人、12MJ/人以及 3.5MJ/人。

1.1.2 超效率-SBM 模型

数据包络分析法(Data Envelopment Analysis，DEA)是效率评价的经典方法，但传统 DEA 模型仍存在若干弊端。首先，它未将非期望产出指标考量在内，无法考虑投入产出的松弛变量，导致测算结果误差较大。其次，它可能存在多个有效单元，无法对各有效单元进一步比较，导致效率值出现偏差[30]。鉴于此，本研究采用考虑非期望产出的超效率-SBM 模型对旅游业碳排放效率进行测算，其效率值可能出现大于 1 的情况，既考虑了投入产出的松弛性，又可实现对有效决策单元的进一步比较。其计算公式如下[9,31]：

$$\delta^* = \frac{1 - \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{\infty}(s_i^t / x_{i0})}{\min \frac{1 - \frac{1}{m}}{1 + \frac{1}{s_1 + s_2}\left[\sum_{r=1}^{\delta_1}(s_r^q / y_{r0}^q) + \sum_{r=1}^{\delta_2}\left(\frac{s_r^f}{y_{r0}^f}\right)\right]}}$$
$$s.t.\begin{cases} x_0 = X\lambda + s^t \\ y_0^q = Y^q\lambda - s^q \\ y_0^f = Y^f\lambda + s^f \\ s^t, s^q, s^f, \lambda \geqslant 0 \end{cases} \tag{5}$$

式中，δ^* 表示效率值，m、s_1、s_2 分别表示投入、期望产出、非期望产出指标的数量。x_0、y_0^q、y_0^f 分别表示决策单元的投入、期望产出和非期望产出指标。X、Y^q、Y^f 分别表示投入产出矩阵。s^t，s^q，s^f 分别表示投入、期望产出和非期望产出的松弛变量。λ 为权重向量。

1.1.3 空间自相关分析

区域经济学认为地域邻接关系会影响区域的经济现象与特性，中国旅游业碳排放效率同样也会受到地域邻接关系的影响[5,30]，因此为了表明中国旅游业碳排放效率的空间相关性，本研究借助空间自相关 Moran′s I 指数，来验证省域之间旅游业碳排放效率的相关性大小，即邻域空间位置关系对省市自身及周围省市旅游业碳排放效率的影响程度，Moran′s I 指数计算公式为：

$$\text{Moran′s } I = \frac{n\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\omega_{ij}(x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\left(\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\omega_{ij}\right)\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} \tag{6}$$

式中，n 表示省份个数 31 个，x_i、x_j 表示第 i、j 省市的旅游业碳排放效率，$\bar{x}$ 为 31 省市的旅游业碳排放效率的均值，ω_{ij} 为省市之间的空间位置关系，若两省毗邻，则取 1，否则取 0。

1.1.4 马尔科夫(Markov)模型

(1)时间 Markov 链

Markov 链是基于无后效性的马氏过程,是对时间和状态均离散的情况下经济现象空间分布趋势的测度[32]。俱乐部趋同是指初始条件和结构特征等相似区域之间的相互趋同,它们经济现象收敛于相同的稳态[33]。因此本文采用 Markov 链考察旅游业碳排放效率在不同效率等级下转移概率的空间分布特征,从而总结其俱乐部趋同效应。其中效率的转移概率是根据在 t 年 i 等级转移到 $t+1$ 年 j 等级的省域数量与考察期内效率属于 i 等级的省域总数的比值所得。若初始年份效率与下一年保持同一等级,则表明效率保持平稳,未发生转移。若相对等级提升,则表明效率向上转移;反之,向下转移。俱乐部趋同指数是根据不同效率类型下稳定在不同等级俱乐部的概率均值所得。本文参考周迪等[34]研究,将我国旅游业碳排放效率划分为高效率(超过效率平均值的 150%)、较高效率(介于效率平均值 100%—150%之间)、较低效率(介于效率平均值的 50%—100%之间)以及低效率(低于效率平均值的 50%)四个等级。

(2)空间 Markov 链

传统 Markov 链虽能反映出中国旅游业碳排放效率转移的时序演变,但未考虑空间滞后因素,忽视了邻域效率水平对本区域效率转移的影响,无法刻画不同空间滞后水平下效率的动态转移概况[35]。因此,本文采用纳入空间滞后概念的空间 Markov 链,探究不同空间滞后水平下,中国旅游业碳排放效率的动态俱乐部趋同效应。其中空间滞后条件的测算参照方叶林等方法[36],首先将空间权重和效率值做累积,然后与上述效率等级划分一致,将空间滞后水平划分成四个等级。这与经典的空间滞后模型不同的是,这里的空间滞后条件既考虑了区域的地理邻接关系,又考虑了区域的经济效率内涵,综合比较了空间滞后水平。具体来说,空间 Markov 链将传统的 Markov 链拆分成不同空间滞后条件下转移概率矩阵,直观反映了邻域效率水平与空间转移的关系[37]。通过比较传统 Markov 链与空间 Markov 链的转移概率,可判断在不同空间滞后条件下,邻域对其周边省市旅游业碳排放效率的影响及其转移方向。

1.2　指标体系与数据来源

旅游业碳排放效率评价涉及经济、环境等多系统。参照已有研究[4—5,9,12],考虑到经济学三大基本生产指标(土地、劳动力、资本),旅游业碳排放效率的投入主要选取旅游固定资产投资额、星级饭店数量、旅行社数量、旅游景区数量、旅游业从业人员数、旅游业能源消耗量 6 项指标,期望产出指标用旅游总收入和旅游总人数表征,非期望产出指标用旅游业碳排放衡量,构建中国旅游业碳排放效率指标体系。

本研究相关数据主要来于《中国旅游统计年鉴 2010—2020》(及副本)、《中国统计年鉴(2010—2020)》、《中国交通年鉴(2010—2020)》、《新中国六十年统计资料汇编》、《中国旅游抽样调查资料》、各省市统计公报以及统计年鉴等,部分地区缺失时期数据由平均值或拟合值以及预测值替代的面板数据样本。

2　实证分析

2.1　旅游业碳排放效率趋同的时间特征

基于超效率-SBM 模型,测算出 2009—2019 年中国 31 省市旅游业碳排放效率,并借鉴国家发改委东中西部省市划分,分别测算出我国东、中、西部以及全国的旅游业碳排放效率均值(图 1)。由图 1 所示,(1)东部地区效率均值围绕 0.61 上下浮动,整体起伏不大,呈“W”状缓慢下降,但整体水平高于中西部地区。其中在 2019 年效率最低,仅为 0.48,而在 2011 年效率最高,达到 0.69。这也与实际相符,东部地区素来是旅游热点地区,旅游业发展较成熟,环境规制体系完善,而近年来旅游竞争激烈,东部旅游经济效益增幅稍缓,碳排放防控难度加大,因此旅游业碳排放效率有所下降。(2)中部

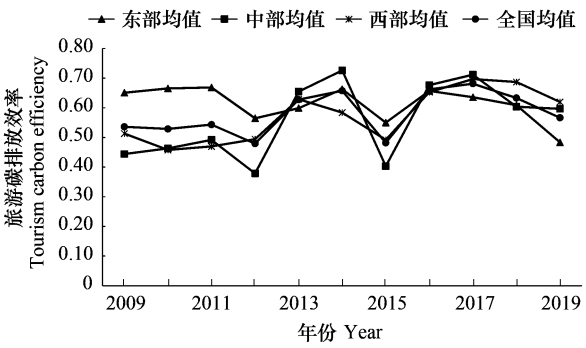

图 1　2009—2019 年中国旅游业碳排放效率

Fig.1　China's tourism carbon emission efficiency from 2009 to 2019

地区效率均值呈现出与全国相近的发展趋势,均值为0.55,低于中部和东部均值,上下起伏较大,在 2012 年跌入谷底,2014 年达到峰值,表明中部地区旅游业碳排放效率总体水平最低,且呈不稳定的发展态势。(3)西部地区效率均值为 0.58,在 2010 年效率最低,2017 年效率最高,整体呈波动上升态势,主要由于西部地区近几年凭借着原始的自然风光吸引着大量的游客,旅游经济效益快速增长,其次西部地区地广人稀,碳排放管制工作严格落实,因此旅游业碳排放效率相对较高。(4)全国效率均值达到 0.58,在 2012 年和 2015 年出现两次“低谷”,2014 和 2017 年达到两个“高峰”,呈现出低谷和高峰交替轮回的“过山车”式波动,这与近年来中国旅游业与环境政策不断调整,旅游业深化供给侧改革,处于旅游业从量到质的不稳定换档期有关,因此碳排放效率波动较大,但呈波动上升态势。

为了进一步考察中国旅游业碳排放效率俱乐部趋同的中长期时间特征,本文将研究期间划分为 2009—2014 年和 2015—2019 年两个研究时段,基于时间 Markov 链,分别计算各时段中国旅游业碳排放效率的转移概率矩阵(表 1)。

如表 1 所示,2009—2014 年中国旅游业碳排放效率 Markov 链转移概率矩阵中主对角线的数值明显高于两侧的数值,这意味着 2009—2014 年旅游业碳排放效率呈显著的俱乐部趋同分布,俱乐部趋同指数为 0.648。其中主对角线数值表明效率保持在同等级俱乐部趋同的概率,非对角线数值表明效率在不同等级俱乐部之间转移的概率。首先,在同等级俱乐部趋同概率中,趋同于较低效率俱乐部的可能性最大,为 81.0%,接着是高效率俱乐部(67.7%)、低效率俱乐部(64.0%)和较高效率俱乐部(46.7%)。其次,在不同等级俱乐部转移概率中,较高效率向较低效率转移的概率最大,达到 33.3%,而较高效率向低效率转移的可能性最小,仅为0.0%,可见相邻效率等级俱乐部转移的可能性较大,而跨等级俱乐部效率转移的概率较小。

在 2015—2019 年中国旅游业碳排放效率转移概率矩阵中,同样主对角线上的概率值明显高于非对角线上的,俱乐部趋同指数为 0.662,表明 2015—2019 年趋同效应比 2009—2014 年有所增强。首先,在同等级俱乐部趋同概率中,其中稳定在低效率俱乐部的概率最大,达到 80%,接着是高效率俱乐部(79.4%)、较低效率俱乐部(72.2%)和较高效率俱乐部(33.3%),可见稳定在两极效率等级俱乐部的可能性最大,至少为 79.4%,而稳定在中层等级俱乐部的可能性较小,至少为 33.3%。其次,在不同等级俱乐部转移概率中,较高效率向较低效率转移的可能性最大,达到 37.5%,而低效率向较高效率俱乐部转移的可能性最小,为 0.0%,这意味着效率向下转移的可能性要大于向上转移,且相邻等级俱乐部发生转移更容易。

表 1 2009—2019 年旅游业碳排放效率的 Markov 链转移概率矩阵

Table 1 Markov chain transition probability matrix of China′s tourism carbon emission efficiency from 2009 to 2019

	2009—2014				2015—2019			
	低效率	较低效率	较高效率	高效率	低效率	较低效率	较高效率	高效率
低效率 Low efficiency	0.640	0.280	0.040	0.040	0.800	0.160	0.000	0.040
较低效率 Medium-low efficiency	0.060	0.810	0.060	0.071	0.083	0.722	0.167	0.028
较高效率 Medium-high efficiency	0.000	0.333	0.467	0.200	0.042	0.375	0.333	0.250
高效率 High efficiency	0.032	0.194	0.097	0.677	0.029	0.118	0.059	0.794

2.2 旅游业碳排放效率趋同的空间特征

2.2.1 空间自相关分析

上述从时间维度纵向把握了中国旅游业碳排放效率的趋同演变,现从空间维度对效率的趋同特征进行深入分析。首先对效率的空间相关性进行解释,表 2 表明,2009—2019 年中国旅游业碳排放效率 Moran′s I 均通过显著性检验且都为正值,意味着中国旅游业碳排放效率呈显著的正相关关系,即本省效率水平会受到周围省市的影响,同时也会对其周围省市产生影响。可见,邻域空间关系是影响旅游业碳排放效率的显著因素,可

能使效率在空间格局上呈现“近朱者赤,近墨者黑”的趋同分布,其中 2013 年 Moran′s *I* 最高,而 2017 年 Moran′s *I* 最低,表明 2013 年中国旅游业碳排放效率的空间集聚度最高,而 2017 年空间集聚度最低。Moran′s *I*总体呈减小的趋势,表明近几年受各省市旅游结构的调整,旅游形式的多样化,地方政策的扶持等影响,旅游业碳排放效率的空间集聚度有所降低,空间异质性明显增强。

表 2　2009—2019 年中国旅游业碳排放效率空间自相关系数

Table 2　Spatial autocorrelation coefficient of China′s tourism carbon emission efficiency from 2009 to 2019

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Moran′s *I*	0.209	0.215	0.208	0.204	0.221	0.202	0.216	0.190	0.183	0.187	0.195
P	0.003	0.012	0.007	0.009	0.049	0.066	0.003	0.033	0.071	0.002	0.058

2.2.2　空间 Markov 链分析

根据上文空间自相关检验,我们可知中国旅游业碳排放效率呈现显著的空间关联性,但空间关联性对效率的俱乐部趋同有何影响,这需要借助空间 Markov 链来检验。不同空间滞后水平下旅游业碳排放效率的空间 Markov 链结果由表 3 可知:(1)在不同空间滞后水平下各俱乐部的转移概率均存在差异,但主对角线概率值均高于非对角线的概率值,意味着不论空间滞后水平如何,中国旅游业碳排放效率均呈俱乐部趋同分布,但趋同特征各异。(2)在低水平空间滞后下,稳定在低效率的概率最大(78.9%),其次为较低效率(72.5%)、高效率(60.0%)、较高效率(42.9%)。不同等级俱乐部效率主要向下转移,其中向低效率和较低效率转移的最为频繁。可见,在低水平邻居下,效率受邻域影响向下转移的可能性较大,低效率俱乐部趋同固化效应较强。(3)在较低水平空间滞后下,稳定在较低效率的可能性最大(83.8%),大于传统 Markov 的 76.9%,而保持在低效率和高效率的概率均小于传统 Markov 下的概率,表明在较低水平空间滞后下,两极等级俱乐部的趋同固化效应有所减弱,而中间等级俱乐部的趋同效应有所增强。在不同效率等级转移中,相邻等级俱乐部更容易发生转移。(4)在较高水平空间滞后下,保持在较低效率俱乐部的概率最大(74.2%),其次为高效率俱乐部(62.5%),其中仅较高效率俱乐部趋同概率大于传统的 Markov 结果,表明在较高水平空间滞后下俱乐部趋同的固化效应呈现减弱态势,但“较高-较高”聚类的趋同效应有所增强。在不同效率等级转移中,效率主要向

表 3　中国旅游业碳排放效率的空间 Markov 链转移概率矩阵

Table 3　Spatial Markov Chain Transfer Probability Matrix for China′s Tourism Carbon Emission Efficiency

空间滞后条件 Spatial lag conditions	类型 Type	低效率 Low efficiency	较低效率 Medium-low efficiency	较高效率 Medium-high efficiency	高效率 High efficiency
低水平空间滞后	低效率	0.789	0.158	0.026	0.026
Low level spatial lag	较低效率	0.175	0.725	0.075	0.025
	较高效率	0.000	0.429	0.429	0.143
	高效率	0.200	0.200	0.000	0.600
较低水平空间滞后	低效率	0.545	0.364	0.000	0.091
Medium-low level	较低效率	0.041	0.838	0.095	0.027
spatial lag	较高效率	0.067	0.333	0.400	0.200
	高效率	0.100	0.200	0.100	0.600
较高水平空间滞后	低效率	0.000	1.000	0.000	0.000
Medium-high level spatial lag	较低效率	0.032	0.742	0.161	0.065
	较高效率	0.000	0.500	0.400	0.100
	高效率	0.000	0.375	0.000	0.625
高水平空间滞后	低效率	0.000	0.000	0.000	0.000
High level spatial lag	较低效率	0.000	0.636	0.182	0.182
	较高效率	0.000	0.143	0.286	0.571
	高效率	0.000	0.095	0.095	0.810

上转移。可见,在较高水平空间滞后下,旅游碳排放效率呈俱乐部趋同分布,但邻域效率水平会带动周围省市效率的提升。(5)在高水平空间滞后下,稳定在高效率俱乐部的概率最高,达到 81.0%,也首次高于传统 Markov 链下的转移概率,其余等级俱乐部趋同概率均小于传统 Markov 链。与其它空间滞后条件转移概率相比,低效率俱乐部趋同效应有所减弱,但高效率俱乐部趋同效应明显增强,表明在高水平空间滞后下,高效率俱乐部成员不断增加,且容易形成"高-高"聚类的良好空间布局。在不同效率等级转移中,效率向上转移的可能性较大,主要向高效率和较高效率俱乐部转移。综上可见,当空间滞后水平越低时,效率越容易向下转移,当空间滞后水平越高时,效率越容易向上转移。

为了直观反映不同研究阶段旅游业碳排放效率转移方向结果,本文通过对比不同空间滞后条件下 Markov 链与传统 Markov 链的转移概率,来确定各省市效率向上转移、向下转移或平稳发展的状况(图 2)。

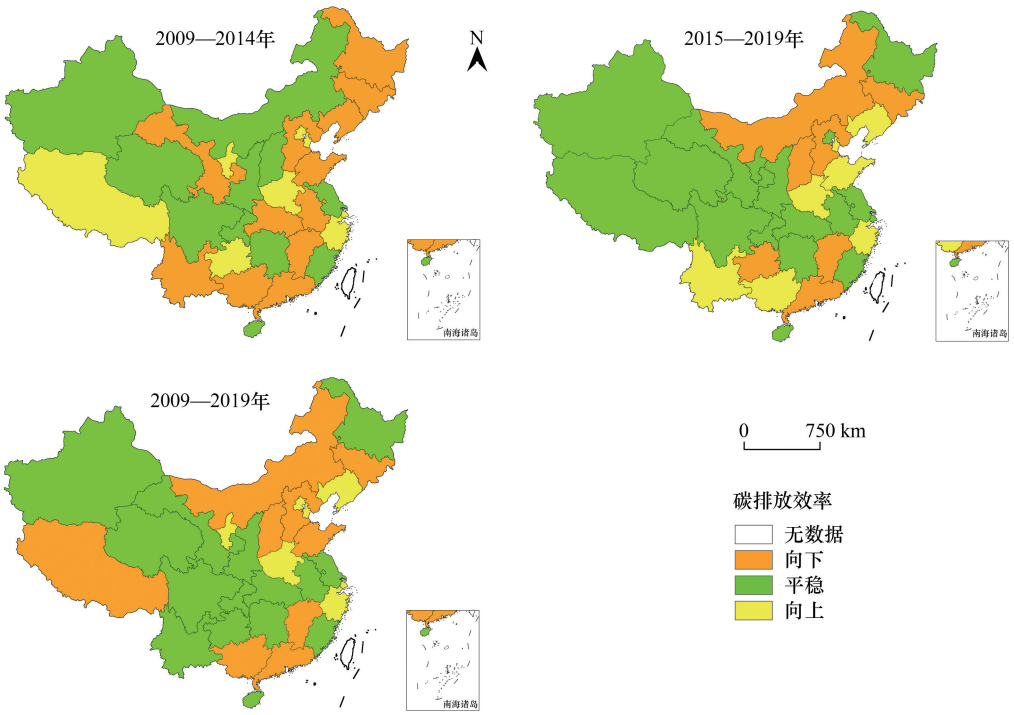

图 2 2009—2019 年中国省域旅游业碳排放效率转移

Fig.2 Transfer of provincial tourism carbon emission efficiency in China from 2009 to 2019

2009—2014 年省域旅游业碳排放效率空间转移由图 2 所示:(1)黑龙江、吉林、安徽等 12 省市效率向下转移,占总数的 38.7%。它们以东北省份和中东部省市为主,在追求旅游业高速发展时,生态环境压力剧增,导致旅游业碳排放脱钩不显著,效率向下转移。(2)山西、内蒙古、新疆等 11 省市效率保持平稳,他们大多为西部省市,旅游业碳排放效率呈现出显著的俱乐部趋同分布。(3)宁夏、青海、上海等 8 省市效率向上转移,他们以西北和东部发达省市为主。其中西北省市可能由于旅游业正处于新兴阶段,经济效益显著,且本身生态系统特性决定旅游业碳排放得到严格管控,双管齐下实现效率向上转移。东部发达省市由于旅游经济高度发达,且环境规制深化改革,使得效率也呈现向上转移的理想状态。

2015—2019 年省域旅游业碳排放效率空间转移由图 2 所示:(1)山西、河北、湖南等 7 省市效率向下转移,该些省市大多靠近长江和黄河流域,素来是旅游胜地,但近年来旅游热度有所下降,旅游生态环境脆弱,因此旅游碳减排压力大,碳排放效率有所下滑。但与 2009—2014 年相比,向下转移的省份数量大幅度减少,大多数东北和中部省市退出。(2)新疆、湖南、江苏等 17 省市效率保持平稳,占据半壁江山之多,表明在 2015—2019 年大多数省份旅游业碳排放效率变动不大,俱乐部趋同效应显著。(3)辽宁、山东、云南等 7 省市效率向

上转移,其中以东部沿海和西南省市为主,它们旅游资源丰富,碳管制严格,生态旅游规模效应良好,因此旅游业碳排放效率呈现提升的态势。

2009—2019 年省域旅游业碳排放效率空间转移由图 2 所示:(1)山东、山西、西藏等 9 省市效率向下转移,基本与 2015—2019 年省市相似,而辽宁省跳出下滑逆境,跨越式实现向上转移。(2)新疆、青海、湖南等 15 省市效率保持平稳,占比高达 48.39%,表明研究期内,中国省域旅游业碳排放效率呈现显著的俱乐部趋同分布。(3)宁夏、北京、天津等 7 省效率向上转移,可见近年来该些省市旅游业取得了良好的生态效益。综合来看,2009—2019 年中国省域旅游业碳排放效率以平稳发展为主,其中少数沿海发达省市和西南省市向上转移,主要中西部省市保持平稳,但少数中东部省市向下转移。

传统 Markov 链结果仅能反映区域本身效率转移情况,却没将空间滞后因素考虑在内。因此图 3 直观反映了不同空间滞后水平下省域及邻域效率转移概况。

2009—2014 年省域及邻域旅游业碳排放效率空间转移如图 3 所示:(1)在邻域旅游碳排放效率向下转移的条件下,黑龙江、安徽、广东等 12 省市效率向下转移,空间分布较集聚,大多为中部省市,它们旅游实力较弱,很难摆脱邻域效率下滑的困境,因此呈现出“近墨者黑”的俱乐部趋同效应。效率保持平稳的省市有新疆、山西、湖南等 6 个省市,它们分布较为分散,其中东中西部省市均有涉及;效率向上转移的省市仅北京和上海二市,它们作为中国经济最发达的城市,旅游业基础雄厚,实力强劲,旅游业在区域起着中心的地位。因此,在周围省市旅游碳排放效率向下转移时,他们有足够的实力独善其身,以防跌入下滑陷阱。(2)在邻域效率保持平稳的条件下,没有省市的效率向下转移。内蒙古、陕西、四川三省市的效率保持平稳,呈现趋同分布。而西藏、浙江、宁夏、天津四省市的效率向上转移,可见他们要么是旅游业发达的东部地区要么是碳减排压力小的西部地区,旅游业碳减排效应好。(3)在邻域效率向上转移的条件下,没有省市的效率向下转移,青海、江苏二省的效率保持平稳,而河南、贵州二省效率向上转移,形成“近朱者赤”的良好局面。

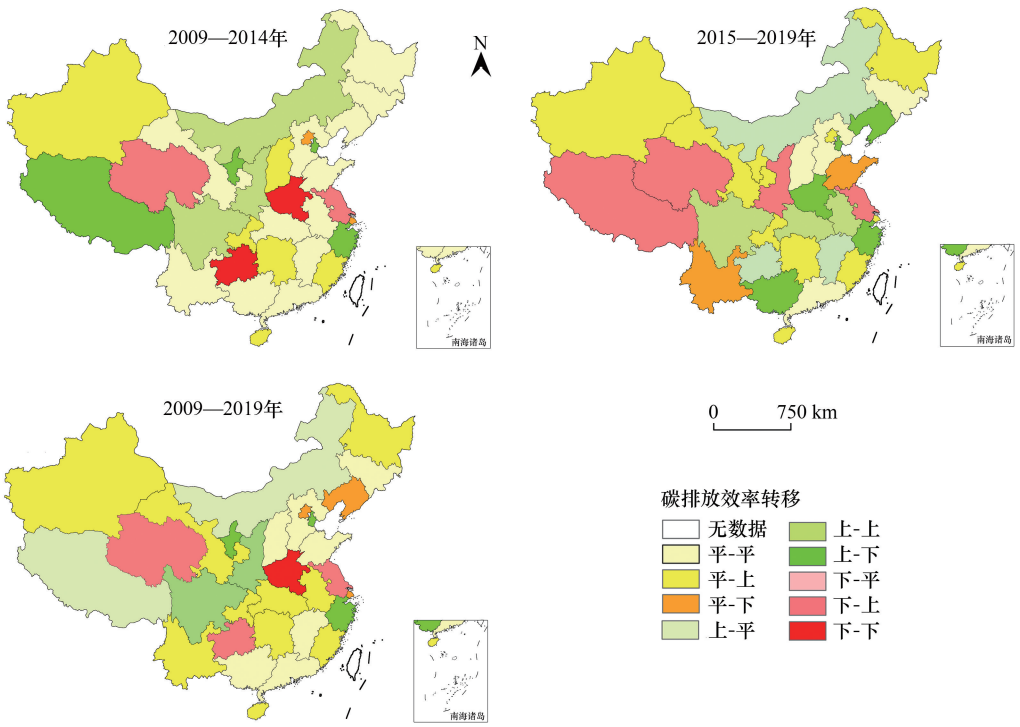

图 3　2009—2019 年中国省域及邻域旅游业碳排放效率转移

Fig.3　Transfer of tourism carbon emission efficiency at provincial and neighboring regions in China from 2009 to 2019

2015—2019 年省域及邻域旅游业碳排放效率空间转移如图 3 所示:(1)在邻域旅游业碳排放效率向下转

移条件下,吉林、山西、河北、广东四省市效率向下转移,表明该些省市呈现俱乐部趋同,与邻域转移方向一致,很难摆脱邻域效率下滑的拖累作用。但相对于 2009—2014 年,省份数量大幅度减少。新疆、上海、湖南等 10 省市的效率保持平稳,占比 32.35%,且空间分布集聚;云南、山东二省效率向上转移,由于云南、山东旅游资源禀赋,一直是旅游热点地区,旅游经济产出效益乐观,且良好的自然环境使得旅游业碳减排压力小,因此效率实现向上转移。(2)在邻域效率保持平稳条件下,内蒙古、江西、贵州三省效率向下转移,四川、湖北、安徽同样保持平稳。辽宁、河南、浙江、广西、天津五省向上转移。可见与 2009—2014 年相比,向下转移的省份明显减少,而向上转移的省份显著增加。(3)在邻域效率向上转移的条件下,没有省市效率向下转移和向上转移。仅青海、西藏、陕西、江苏四省效率保持平稳。这可能因为中国整体旅游业碳排放效率不高,高效率空间溢出作用不强,“高-高”聚类很不稳定,因此大多数省份保持平稳发展。

2009—2019 年省际及邻域旅游业碳排放效率空间转移如图 3 所示:(1)在邻域旅游业碳排放效率向下转移的条件下,山东、江西、河北等 7 省市效率向下转移,呈现出显著的俱乐部趋同效应。湖南、湖北、安徽等 10 省市效率保持平稳,占比 32.26%,其中以中部省市为主。可见研究期内大多数中部省市在激发旅游业发展潜能的同时,严格实施碳管制,使得碳效率受邻域拖累小。辽宁、北京、上海三省市效率向上转移,它们旅游业发达,在邻域效率下滑时,可以独善其身。(2)在邻域效率保持平稳的条件下,仅内蒙古、西藏二省效率向下转移,可能与二省自然环境脆弱,幅员辽阔,旅游碳减排压力大有关。四川和陕西二省效率保持平稳,他们均为旅游大省,旅游资源禀赋,与邻域省市显示良好的趋同效应。宁夏、浙江、天津三省市效率向上发展,它们旅游业独树一帜,呈现良好的经济效应,同时近年来生态旅游的盛行,呈现向上转移的良好态势。(3)在邻域效率向上转移的条件下,没有省市向下转移,青海、贵州、江苏三省效率保持平稳,仅河南省效率向上转移,呈现出相得益彰的空间关联效应。

3 中国旅游业碳排放效率的趋势预测

上述从时间和空间维度证明了 2009—2019 年中国旅游业碳排放效率呈现俱乐部趋同效应,但长期以往下去,中国旅游业碳排放效率将会呈现怎样的发展趋势? 还会呈俱乐部趋同分布吗? 趋同特征又如何同样值得我们深入探讨。鉴于此,本文构建了中国旅游业碳排放效率 Markov 链的极限分布矩阵,它是在 n 趋向于无穷时,旅游业碳排放效率等级类型的 n 步概率转移,即各等级效率转移达到均衡状态时的概率矩阵[38—39]。空间 Markov 极限分布矩阵是指在不同空间滞后条件下,每个空间 Markov 链概率转移的极限分布矩阵。通过将其与初始条件的概率转移矩阵进行对比,得到未来中国旅游业碳排放效率的发展趋势。中国旅游业碳排放效率的 Markov 链极限分布矩阵如表 4 所示。

表 4 中国旅游业碳排放效率转移的极限分布矩阵

Table 4 Limit distribution matrix of China's tourism carbon emission efficiency transfer

空间滞后 Spatial lag		低效率 Low efficiency	较低效率 Medium-low efficiency	较高效率 Medium-high efficiency	高效率 High efficiency
初始状态 Initial state		0.226	0.484	0.129	0.194
不考虑空间滞后的极限分布 The limit distribution without considering the spatial lag		0.167	0.499	0.123	0.211
考虑空间滞后的极限分布 Consider the limit distribution of spatial lag	低水平空间滞后	0.444	0.424	0.071	0.061
	较低水平空间滞后	0.099	0.678	0.124	0.099
	较高水平空间滞后	0.018	0.618	0.200	0.164
	高水平空间滞后	0.000	0.197	0.106	0.697

从 Markov 链的极限分布矩阵来看,中国旅游业碳排放效率稳定在低效率、较低效率、较高效率和高效率的概率分别为 16.7%,49.9%,12.3%,21.1%,表明未来一段时间内,中国省域旅游业碳排放效率集中在较低效率水平的省份最多,将近半壁江山,其余各效率类型概率非常接近,分布均匀。可见,未来中国旅游业碳排放

效率继续维持现状,偏向于“单峰”分布。通过与初始条件下转移概率矩阵进行对比,发现处于低效率和较高效率的省市数量在减少,而处于较低效率和高效率的省市数量在增加,表明未来中国省域旅游业碳排放效率整体呈上升态势,效率向高效率递进,但俱乐部趋同效应相对来说有所减弱。这意味着随着经济向高质量发展阶段的迈进,环境管控愈发严格,产业结构扭曲得到及时调整,未来中国旅游业碳排放效率会不断提升,呈现向高效率水平进军的良好局势,但空间异质性有所增强,俱乐部趋同效应有所削弱,但仍呈偏向于较低效率的“单峰”分布。

从空间 Markov 链的极限分布矩阵来看,在不同空间滞后条件,旅游业碳排放效率转移存在显著的差异,将其与初始条件转移概率矩阵进行对比发现,在低水平空间滞后条件下,位于低效率与较低效率的可能性较大,而位于高效率与较高效率的可能性较小,因此在低水平空间滞后下,未来中国旅游业碳排放效率呈现“双峰”分布。在较低水平空间滞后条件下,集聚在较低效率的概率最大,而其他效率类型分布较少,可见在较低水平空间滞后下,未来中国旅游业碳排放效率实现由“双峰”向“单峰”分布的演变。在较高空间滞后条件下,虽然位于较低效率的可能性仍然最大,但是概率有所减少,较高效率和高效率的概率有所上升,表明在较高水平空间滞后下,未来中国旅游业碳排放效率虽仍保持“单峰”分布,但低效率省份不断提升自身,向高效率俱乐部转移。在高水平空间滞后条件下,集聚在高效率的可能性最大,呈现出“近朱者赤”的理想俱乐部趋同效应。可见在高水平空间滞后条件下,未来中国旅游业碳排放效率实现了由较低效率“单峰”分布向高效率“单峰”分布的质的转变,在邻域高效率的带动下,大幅度提升自身的效率水平,扩大了效率“高-高”聚类的规模效应。

4　结论与建议

本文采用超效率-SBM 模型实现对 2009—2019 年中国旅游业碳排放效率的测算,再结合传统 Markov 链与可变 Markov 链模型,探索中国旅游业碳排放效率的时空俱乐部趋同特征,并科学预测其未来发展趋势,主要得到以下结论:

(1)从时间特征看,中国旅游业碳排放效率在 2012 和 2015 年跌入“低谷”,在 2014 和 2017 年达到“高峰”,呈“过山车式”剧烈波动变化,但总体呈缓慢上升态势,其中东部效率均值>西部效率均值>中部效率均值。研究期内中国旅游业碳排放效率均呈显著的俱乐部趋同分布,其中在 2009—2014 年,较低效率俱乐部固化效应最强,相邻效率等级俱乐部转移的可能性较大。在 2015—2019 年,两极等级俱乐部固化效应较强,中层等级效率主要向下转移。相较而言,2015—2019 年俱乐部趋同固化效应更强,且效率向下转移的可能性更大。

因此,首先我们在促进区域旅游业发展的同时,旅游业的碳减排工作不可松懈,弱化较低效率俱乐部的固化效应,增强省域从“低效率”陷阱跳脱的动力,同时我们也要注重旅游业碳排放效率的时序投入与产出,保持效率的时序稳定发展。其次我们要特别注重低效率俱乐部地区的趋同,积极实施旅游鼓励政策,严格管控旅游碳排放、优化旅游产业结构,打破低效率僵局,推动成员向高效率等级俱乐部迈进,实现效率向上转移。

(2)从空间特征看,根据空间自相关验证,中国旅游业碳排放效率呈现显著的正相关关系,但相关性呈现减弱态势。基于空间 Markov 链可得,在不同滞后条件下,中国旅游业碳排放效率均呈显著的俱乐部趋同效应,随着空间滞后条件的提升,俱乐部趋同的固化效应呈现减弱的态势,且保持在较高效率的概率始终最低。从省域旅游业碳排放效率转移看,2009—2019 年中国省域旅游业碳排放效率以平稳发展为主,其中少数沿海发达省市和西南省市向上转移,主要中西部省市保持平稳,但少数中东部省市向下转移。其中,2009—2014 年中部省份主要向下转移和大多西部省份保持平稳的可能性较大,少数省市实现向上转移。2015—2019 年继续保持平稳的省市基本不变,但向下转移的省份显著减少,向上转移的省份有所增加。从省域及邻域旅游业碳排放效率转移看,2009—2019 年中国省域旅游业碳排放效率转移大多与其邻域转移方向保持一致,即存在“近朱者赤,近墨者黑”的俱乐部趋同分布。具体来说,2009—2014 年大多数中部省份处于“近墨者黑”的

尴尬处境,难以摆脱“低效率”陷阱,少许经济落后但资源禀赋的西北省市和部分经济发达的东部沿海省市省市较少受邻域的影响。2015—2019 年大多数中西部省份与邻域转移方向保持一致,少数东部沿海和西南省市摆脱邻域效率下滑或平稳发展的影响,实现向上转移。

因此,空间关联关系对中国旅游业碳排放效率具有显著影响。首先,应该加强省市之间的空间关联关系,促进东中西部优势旅游要素的空间溢出,深化旅游协作,扩大旅游规模效应,全面提升空间滞后水平。其次,要充分利用空间关联关系,对于部分经济发达的沿海省市和西南省市而言,在保持效率向上转移的冲劲同时,也要加强对周围省市的优势空间溢出,形成优势互补的“高-高”聚类分布。对于大多数效率平稳的中西部省市,应充分挖掘自身的旅游潜力,加强旅游环境管制,制定适宜自身发展的旅游发展规划,实现效率的稳步提升。对于少数效率下移的中东部省市,要凭借自身地理之便,充分吸收邻域的优势旅游要素,实现区域联动发展,摆脱“低效率”陷阱。

(3)从发展趋势看,未来中国旅游业碳排放效率水平整体呈上升态势,但主要集中于较低效率水平,偏向于“单峰”分布,俱乐部趋同效应有所削弱。随着空间滞后水平的提升,未来旅游业碳排放效率实现了从“双峰”向“单峰”分布的演变,位于较高效率和高效率的省份不断增加,虽趋同效应有所减弱,但趋同质量有所提高。

因此,首先要科学研判旅游业碳排放效率的发展规律,在“双碳”目标下,积极推动旅游业高质量发展,不能一味扩大旅游业规模,也要注重旅游业节能减排工作,打破旅游业碳排放较低效率聚类的僵化格局,促使旅游业向高质量俱乐部趋同分布迈进。其次,未来也要利用好空间关联关系,发挥效率高的地区的带头作用,有序拉动更多的省份脱离“低效率”陷阱,破解低效率趋同的根源。同时效率低的地区在利用邻域优势资源的时候,也要寻求符合自身特色的旅游可持续发展之路,双管齐下促使未来旅游业碳排放效率摆脱“近墨者黑”的魔咒,实现“近朱者赤”的理想状态。

参考文献(References):

[1] 金准. 碳达峰、碳中和与旅游业高质量转型. 旅游学刊, 2021, 36(9): 3-5.

[2] Zhang J K, Zhang Y. Carbon tax, tourism CO_2 emissions and economic welfare. Annals of Tourism Research, 2018, 69: 18-30.

[3] 王佳莹, 张辉. 旅游发展、空间溢出与区域经济不平衡. 旅游科学, 2021, 35(2): 73-94.

[4] 王凯, 张淑文, 甘畅, 杨亚萍, 刘浩龙. 中国旅游业碳排放效率的空间网络结构及其效应研究. 地理科学, 2020, 40(3): 344-353.

[5] 程慧, 徐琼, 赵梦亚. 中国旅游生态效率的空间关联网络结构及其影响因素研究. 生态科学, 2020, 39(5): 169-178.

[6] Zha J P, He L M, Liu Y, Shao Y H. Evaluation on development efficiency of low-carbon tourism economy: a case study of Hubei Province, China. Socio-Economic Planning Sciences, 2019, 66: 47-57.

[7] 刘军, 问鼎, 童昀, 马勇. 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. 生态学报, 2019, 39(6): 1979-1992.

[8] Rico A, Martínez-Blanco J, Montlleó M, Rodríguez G, Tavares N, Arias A, Oliver-Solà J. Carbon footprint of tourism in Barcelona. Tourism Management, 2019, 70: 491-504.

[9] 王兆峰, 杜瑶瑶. 基于 SBM-DEA 模型湖南省碳排放效率时空差异及影响因素分析. 地理科学, 2019, 39(5): 797-806.

[10] 王凯, 周婷婷, 邵海琴, 邓楚雄. 中国旅游业碳生产率区域差异及其格局演变: 1995-2014. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(6): 27-35.

[11] Wang W X, Wang W J, Xie P C, Zhao D Q. Spatial and temporal disparities of carbon emissions and interregional carbon compensation in major function-oriented zones: a case study of Guangdong province. Journal of Cleaner Production, 2020, 245: 118873.

[12] 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. 生态学报, 2015, 35(21): 7150-7160.

[13] 查建平, 谭庭, 钱醒豹, 赵倩倩, 杨晓杰. 中国旅游业碳排放及其驱动因素分解. 系统工程, 2018, 36(5): 23-36.

[14] 赵先超, 滕洁. 基于 LMDI 的湖南省旅游业碳排放影响因素分解. 环境科学与技术, 2018, 41(9): 192-199.

[15] 查建平. 中国低碳旅游发展效率、减排潜力及减排路径. 旅游学刊, 2016, 31(9): 101-112.

[16] 曾瑜晢, 钟林生, 虞虎. 碳排放影响下中国省域旅游效率损失度研究. 生态学报, 2017, 37(22): 7463-7473.

[17] 王梓瑛, 王兆峰. 碳排放约束下长江经济带旅游产业效率的时空演化及影响因素研究. 长江流域资源与环境, 2021, 30(2): 280-289.

[18] Ma X B, Sun B, Hou G L. Evaluation and spatial effects of tourism ecological security in the Yangtze River Delta. Ecological Indicators, 2021, 131: 108190.

[19] 程占红, 徐娇. 五台山景区酒店碳排放效率的典范对应分析. 地理研究, 2018, 37(3): 577-592.

[20] Yang Y, Yao C X, Xu D L. Ecological compensation standards of national scenic spots in western China: a case study of Taibai Mountain. Tourism Management, 2020, 76: 103950.
[21] 程慧,徐琼,郭尧琦.中国旅游效率的空间关联网络结构及其解释.地理与地理信息科学,2020,36(06):104-112.
[22] Becken S, Simmons D G, Frampton C. Energy use associated with different travel choices. Tourism Management, 2003, 24(3): 267-277.
[23] Patterson M, McDonald G. How Clean and Green is New Zealand Tourism. Lincoln: Manaki Whenua, 2004: 56-59.
[24] 钟永德, 石晟屹, 李世宏, 罗芬, 罗伟亮. 中国旅游业碳排放计量框架构建与实证研究. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(1): 78-86.
[25] 魏艳旭, 孙根年, 马丽君, 李静. 中国旅游交通碳排放及地区差异的初步估算. 陕西师范大学学报(自然科学版), 2012, 40(2): 76-84.
[26] 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. 经济地理, 2019, 39(4): 223-231.
[27] 孙晋坤, 章锦河, 汤国荣, 胡欢, 陈敏. 旅游交通碳排放研究进展与启示. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(5): 73-82.
[28] Pace L A. How do tourism firms innovate for sustainable energy consumption? A capabilities perspective on the adoption of energy efficiency in tourism accommodation establishments. Journal of Cleaner Production, 2016, 111: 409-420.
[29] 石培华, 吴普. 中国旅游业能源消耗与 CO_2 排放量的初步估算. 地理学报, 2011, 66(2): 235-243.
[30] 杨良健, 曹开军. 新疆 85 县市旅游生态安全时空格局演变及驱动机制研究. 生态学报, 2021, 41(23): 1-14,
[31] Nurmatov R, Lopez X L F, Millan P P C. Tourism, hospitality, and DEA: where do we come from and where do we go?. International Journal of Hospitality Management, 2021, 95: 102883.
[32] 盛骤, 谢式千, 潘承毅. 概率论与数理统计(第四版). 北京: 高等教育出版社, 2008.
[33] Barro R J, Sala-I-Martin X, Blanchard O J, Hall R E. Convergence across states and regions. Brookings Papers on Economic Activity, 1991, 1997(1): 107-182.
[34] 周迪, 周丰年. 中国水资源利用效率俱乐部趋同的检验、测度及解释: 2003—2015 年. 自然资源学报, 2018, 33(7): 1103-1115.
[35] 胡森林, 焦世泰, 张晓奇. 中国城市旅游发展的时空演化及影响因素——基于动态空间马尔科夫链模型的分析. 自然资源学报, 2021, 36(4): 854-865.
[36] 方叶林, 黄震方, 王芳, 李经龙. 中国大陆省际旅游效率时空演化及其俱乐部趋同研究. 地理科学进展, 2018, 37(10): 1392-1404.
[37] Song Y, Liu D Y, Wang Q R. Identifying characteristic changes in club convergence of China's urban pollution emission: a spatial-temporal feature analysis. Energy Economics, 2021, 98: 105243.
[38] 覃成林, 张伟丽. 中国区域经济增长俱乐部趋同检验及因素分析——基于 CART 的区域分组和待检影响因素信息. 管理世界, 2009, (3): 21-35.
[39] 张伟丽. 中国区域经济增长俱乐部趋同及其演变分析——基于时空加权马尔科夫链的预测. 经济问题, 2015, (3): 108-114.