

DOI:10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2022.04.002

中国大陆旅游业碳足迹与碳承载能力动态研究

王志秀¹, 王志宝¹, 庞玉建²

(1. 山东师范大学 地理与环境学院, 山东 济南 250358;

2. 山东省济宁生态环境监测中心 监控与预报室, 山东 济宁 272000)

摘要: 为科学分析旅游业碳足迹与碳承载能力的时空演变及驱动因素, 本文基于碳足迹、碳承载能力等指标, 利用 2000—2019 年面板数据, 分析中国大陆各省份旅游业发展的时空演变特征, 并利用 STIRPAT 模型分析旅游业碳足迹的影响因素, 以实现旅游产业的可持续发展、高质量发展。结果表明: ① 中国旅游业碳足迹总量增加, 且地带性差异显著, 即东、西部地区高于中部地区; ② 中国旅游业碳承载能力总量增大, 但人均量下降, 空间格局上呈现“东南—西北”分异, 且碳赤字由东南向西北方向扩展, 环境生态压力逐渐增大; ③ 旅游接待人数、经济发展水平和城镇化程度对旅游业碳足迹起到促进作用, 而技术水平起抑制作用; ④ 鉴于中国旅游业碳循环地域分布不平衡且形成机制存在差异, 基于供需视角从消费、科技、碳汇等方面提出相关建议, 以期实现旅游业碳循环的动态平衡发展。

关键词: 旅游业; 碳足迹; 碳承载能力; 中国大陆

中图分类号: Q988; F592

文献标志码: A

文章编号: 1006-4710(2022)04-0462-14

Dynamic research on tourism carbon footprint with tourism carbon capacity in mainland China

WANG Zhixiu¹, WANG Zhibao¹, PANG Yujian²

(1. College of Geography and Environment, Shandong Normal University, Jinan 250358, China;

2. Monitoring and Prediction Room, Jining Ecological Environment Monitoring Station of Shandong Province, Jining 272000, China)

Abstract: In order to scientifically analyze the spatial and temporal evolution and driving factors of the carbon footprint and carbon carrying capacity of tourism industry, based on the carbon footprint and carbon carrying capacity indicators, this paper analyzes the spatial and temporal evolution characteristics of tourism development in each province of mainland China using panel data from 2000 to 2019, and analyzes the influencing factors of the carbon footprint of tourism industry using the STIRPAT model to achieve sustainable and high-quality development of tourism industry. The results show that: ① The total carbon footprint of China's tourism industry has increased, with significant regional differences, i. e. the eastern and western regions are higher than the central region. ② The total carbon capacity increases, but the per capita amount decreases, while the spatial pattern shows a “southeast-northwest” divergence, and the carbon deficit expands from the southeast to the northwest, indicating that the environmental and ecological pressure gradually increases. ③ The number of tourist arrivals, the level of economic development and the degree of urbanization contribute to the carbon footprint of tourism, while the level of technology acts as a disincentive. ④ Due to the uneven geographical distribution and different formation mechanisms of the carbon cycle in mainland China, this paper proposes relevant sug-

收稿日期: 2022-03-24; 网络出版日期: 2022-09-14

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1294.N.20220913.1537.006.html>

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41871121); 济南市哲学社会科学规划项目(JNSK21B17)

第一作者: 王志秀, 女, 硕士生, 研究方向为经济地理、城市与区域规划等。E-mail: 3206979963@qq.com

通信作者: 王志宝, 男, 博士, 副教授, 硕导, 研究方向为资源环境经济学、人口地理等。E-mail: xiaobao1840@163.com

gestions based on the supply and demand perspective in terms of consumption, technology, and carbon sink to achieve a dynamic and balanced development of the carbon cycle in the tourism.

Key words: tourism; carbon footprint; carbon capacity; mainland China

“碳达峰”和“碳中和”发展目标是实现可持续发展的必然选择,也是社会高质量发展的关键。因对很多产业具有较强的关联带动作用,旅游活动是引起全球气候变化的关键因子^[1]之一。基于区域旅游活动过程中碳足迹的相关研究,政府制定了低碳政策,以实现旅游业的绿色发展。因此,加快旅游产业低碳转型,对中国实现“双碳”战略目标具有积极意义。

旅游碳足迹研究于1995年进入起步阶段^[2]。旅游业能源消耗成为研究的热点,包括:旅游与能耗的关系^[3-4]、能源旅游发展定位^[5]、游客数量^[6]、旅行交通方式^[7]、食品消费^[8]等旅游产业各组份产生的能源消耗问题以及游客为可再生能源买单的意愿^[9]等。2003年、2007年两届旅游业与全球气候变化国际会议的召开,标志着旅游业碳足迹研究进入快速发展阶段^[2]。研究内容涉及旅游业碳足迹测度^[10]、旅游碳足迹影响因素^[11]、旅游业经济增长与碳足迹之间的关系^[12]以及低碳旅游的实现路径^[13]等。低碳旅游要将旅游业的碳足迹控制在合理水平,一方面使得旅游资源效益最大化;另一方面,将旅游业碳足迹控制在环境承载能力范围之内^[14]。为评价低碳旅游的可持续性,碳承载能力研究开始受到关注。现有案例分析表明:江苏旅游业碳足迹在总量和人均水平上均高于碳承载能力,且增速远高于碳承载能力,碳足迹与碳固定处于失衡状态^[15];2012年前后,四川由碳盈余向碳赤字状态转变,碳生态压力指数逐渐增大,碳减排措施的关键在于降低旅游业碳足迹^[16];以草地碳汇为典型代表的青海旅游碳足迹始终低于碳承载能力,旅游业并未对其生态产生更大的压力,但碳排放效率降低,生态压力日益增加^[17];“旅游景区承载力”是辽宁沿海经济带旅游景区开发的底线,也是低碳旅游发展的原则^[18];华东各省份碳排放与碳承载能力基本失衡,生态旅游压力巨大,需要加强对旅游碳排放的管理,同时增加植物碳汇,以提高旅游业的碳承载力^[19]。

国内外对不同区域的旅游业碳足迹研究较多,研究领域涉及国家尺度^[20]、省级尺度^[21,22]、地市尺度^[23]等,也有基于某一特定旅游环节的相关研究,如旅游交通^[24]、旅游餐饮^[25]等。中国旅游业发展地域分异明显^[26],缺少针对省级尺度的旅游业碳足迹和碳承载能力的对比分析以及对区域差异的讨

论。综上所述,已有研究主要关注区域旅游业的碳均衡发展状况,但对全国范围的旅游业碳均衡进行分析的研究较少。因此,本文拟从中国大陆31个省份(直辖市)出发,分析旅游业碳足迹与碳固定的平衡状况及时空演变特征,厘清各省份旅游业碳足迹与碳承载能力的变动状况,并探究旅游业碳足迹的影响机制,为各省份从“节能减排”角度制定针对性的低碳措施提供理论依据,对实现旅游业高质量发展具有重要的现实意义。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源及预处理

国内外旅游接待人数、旅游收入等旅游业相关数据以及GDP来自中国经济社会大数据研究平台(<https://data.cnki.net/>)、2001—2020年中国及各省份统计年鉴、国民经济和社会发展统计公报以及旅游年鉴。森林面积、草地面积、农作物的经济产量、人口城镇化率及货币汇率(年平均价)等来自《中国统计年鉴(2001—2020)》。本文仅考虑森林、草地、农田生态系统的碳承载能力,并通过汇总求和得到区域生态系统的碳承载能力^[27]。本文认为旅游业碳承载能力是在区域生态系统碳承载能力的基础上,通过旅游业碳承载能力系数剥离得到的^[15]。能源消费总量来自《中国能源统计年鉴(2001—2020)》。部分缺失数据通过邻近年份数据平滑得到。

1.2 主要研究方法

1.2.1 旅游业碳足迹

碳足迹是指人类生产生活过程中产生的CO₂或者其他温室气体转化为CO₂等价物的排放量,用来评估CO₂等温室气体对生态系统的影响^[28]。旅游业碳足迹则是旅游活动各个环节中产生的CO₂等温室气体的排放量。旅游业碳足迹的测算方法主要包括基于投入产出理论的“自上而下”法和基于生命周期理论的“自下而上法”^[29]。“自上而下”法要求该国家或地区具有完备的旅游数据统计基础或具有旅游卫星账户。“自下而上”法将旅游活动划分为餐饮、购物、交通、住宿、游览、娱乐和废弃物处理7个部分,适合尚未有数据统计基础或未建立旅游卫星账户的国家或地区进行旅游业碳足迹的测算。中国尚未建立旅游卫星账户,同时《中国能源统计年鉴

(2001—2020)》中也没有旅游业相关的能源消费统计。因此,本文无法采用“自上而下”法测算中国旅游业碳足迹。而采用“自下而上”法测度旅游业碳足迹仅能涵盖部分旅游环节的碳排放,如交通、住宿、旅游活动等,且以国家^[30,31]或某一区域^[32]为主。由于省域数据获取困难,本文也无法采用“自下而上”法。

基于终端消费的旅游业碳足迹测算模型可划分为综合模型和行业模型两种^[33]。考虑到数据的可获得性,同时测算区域时间和空间跨度的旅游业碳足迹,本文采用的旅游业碳足迹综合模型为:

$$\overline{TCF}_i = \frac{X \times G_i}{M_i} = \frac{TCF_i}{M_i} \quad (1)$$

式中: \overline{TCF}_i 为*i*地区的旅游业人均碳足迹(kg/人);*X*为世界平均旅游碳排放强度, $X=623.13$ kg/千美元^[15]; G_i 为*i*地区的旅游业总收入(千美元); M_i 为旅游总人数(人); TCF_i 为*i*地区的旅游业碳足迹, $i=1,2,\dots,31$ 。

1.2.2 旅游业碳承载能力

生态系统的碳承载能力是指不同土地结构的植物光合作用和化石燃料的沉积作用^[34]。旅游业碳承载能力为一定的时间和空间条件下,区域生态系统净吸收旅游业 CO₂ 排放的最大能力^[27]。依据旅游业总收入占 GDP 的比重(γ),将旅游业碳承载能力从区域碳承载能力中剥离^[15],其公式如下:

$$C_{ij} = A_{ij} \times \alpha_{ij} \quad (2)$$

$$C_{i3} = \beta \times z \times \sum_{k=1}^7 \frac{P_k \times (1 - \omega_k)}{E_k} \times \frac{44}{12} \quad (3)$$

$$\overline{TCC}_i = \frac{(C_{ij} + C_{i3}) \times \gamma}{M_i} = \frac{TCC_i}{M_i} \quad (4)$$

式中: TCC_i 为旅游业碳承载能力; \overline{TCC}_i 为人均旅游业碳承载能力; C_{ij} 为植被碳汇,包括森林和草地两种类型, $j=1,2$; C_{i3} 为农作物的碳汇; A_{ij} 为植被*j*的

面积; α_{ij} 为一公顷植被*i*在一年内的碳汇(固碳系数); β 为校正系数, $\beta=0.05$; γ 为旅游业碳承载能力系数; z 为碳量和生物量之间的转换系数, $z=0.50$; P_k 为第*k*种作物的经济产量,包括小麦、玉米、油料作物、棉花、豆类、高粱、谷类七种主要农作物; ω_k 为第*k*种农作物经济产量的含水率; E_k 为经济系数,是经济产量和生物产量之比(表 1)。

表 1 农作物含水率与经济系数

Tab.1 Moisture content and economic coefficient of crops

指标	小麦	玉米	油料作物	棉花	豆类	高粱	谷类
含水率	0.13	0.14	0.09	0.08	0.13	0.15	0.14
经济系数	0.37	0.49	0.39	0.35	0.25	0.39	0.40

注:表中数据来源于文献^[35],数值取区间平均值。

1.2.3 旅游业碳赤字

旅游业碳赤字用碳足迹和碳承载能力的差值来表示,可反映某区域碳容量的变化情况,清晰直观地表达区域旅游业碳循环的动态变化^[15]。其公式如下:

$$\overline{TCD}_i = \frac{TCD_i}{M_i} = \frac{TCF_i - TCC_i}{M_i} \quad (5)$$

式中: TCD_i 为旅游业碳赤字; \overline{TCD}_i 为旅游业人均碳赤字。 $TCD_i > 0$,表明旅游业的发展给当地带来的环境压力较大; $TCD_i < 0$,表明碳足迹并未对生态环境造成影响,旅游业碳容量状况良好; $TCD_i = 0$,表明区域碳循环处于平衡状态。

1.2.4 区域等级划分类型

基于现有的划分标准^[36],以相关年份中国旅游业碳足迹总量(TCF)均值的 0.50、1.00、1.50 倍为标准,将中国大陆 31 个省份的旅游业碳足迹分别归入低碳足迹区、中碳足迹区、较高碳足迹区和高碳足迹区四种类型(表 2)。

表 2 中国大陆旅游业碳足迹划分类型

Tab.2 Gradation of carbon footprint of tourism in mainland China 单位:10⁶t

类型	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	2019 年
低碳足迹区	[0, 0.97)	[0, 2.09)	[0, 6.40)	[0, 17.41)	[0, 32.32)
中碳足迹区	[0.97, 1.93)	[2.09, 4.17)	[6.40, 12.79)	[17.41, 34.81)	[32.32, 64.63)
较高碳足迹区	[1.93, 2.90)	[4.17, 6.26)	[12.79, 19.19)	[34.81, 52.22)	[64.63, 96.95)
高碳足迹区	[2.90, +∞)	[6.26, +∞)	[19.19, +∞)	[52.22, +∞)	[96.95, +∞)

1.2.5 STIRPAT 模型构建

可拓展的随机性环境影响评估(STIRPAT)模型为 IPAT 模型的拓展模型,可用于分析环境压力

的影响因素^[37]。本文旅游业碳足迹的影响因素从人口因素、经济发展水平、技术水平三个方面进行选取。人口因素包括人口规模与人口结构两部分。旅

游接待人数(P)为国内游客人数与入境游客人数之和,用以表征人口规模;人口城镇化率(U)表征人口

结构。旅游业碳排放影响因素的相关文献梳理如表3所示。

表3 旅游业碳排放影响因素梳理
Tab.3 Sorting out the influencing factors of tourism carbon emissions

作者	被解释变量	面板数据模型	解释变量
汤姿等 ^[37]	CO ₂ 排放量	$I = \alpha \times P^{\beta_1} \times A^{\beta_2} \times S^{\beta_3} \times U^{\beta_4} \times T^{\beta_5} \times \epsilon$	旅游接待人数、旅游业总收入、第三产业产值占GDP比重、城市化水平、旅游业二氧化碳排放强度
潘植强等 ^[38]	碳排放增加量	$C = \sum_{ij} TP^i \times TEO^j \times TIS^i \times TEE^j \times TSE^i_{ij} \times O_j$	旅游接待人次、经济产出、行业结构、能源效率、能源结构
查建平 ^[39]	碳排放强度	$y_{it} = \alpha + X_{it}\beta + \mu_i + \epsilon_{it}$ $y_{it} = \alpha + \chi y_{it-1} + \mu_i + \epsilon_{it}$	社会经济发展水平、服务业发展水平、对外开放水平、旅游资源禀赋、区位条件、城市化水平
赵先超等 ^[40]	碳排放总量	$C_{total} = \sum_i C_i = \sum_i (\frac{C_i}{E_i} \times \frac{E_i}{Y_i} \times \frac{Y_i}{Y} \times \frac{Y}{S} \times \frac{S}{P} \times P)$	碳排放系数、旅游能源强度、旅游的收入结构、旅游消费水平、旅游人数规模、区域人口规模
黄和平等 ^[41]	碳排放量	$\ln Y_{it} = \sum_{i=1}^N \beta_{ij} \ln X_{ijt} + \mu_{it}$	地区经济发展水平、地区环境治理水平、旅游业经济规模、旅游业产业结构、旅游接待人数、旅游业能耗强度、旅游业能源消耗结构
王凯等 ^[42]	CO ₂ 排放总量	$I_{it} = \alpha \times P_{it}^{\beta_1} \times A_{it}^{\beta_2} \times T_{it}^{\beta_3} \times S_{it}^{\beta_4} \times \epsilon_{it}$ $I_{it} = \alpha \times P_{it}^{\beta_1} \times A_{it}^{\beta_2} \times (A_{it}^2)^{\beta_2} \times T_{it}^{\beta_3} \times S_{it}^{\beta_4} \times \epsilon_{it}$	旅游接待人次、旅游经济发展水平、旅游业CO ₂ 排放强度、旅游业部门碳排放结构(交通部门)

旅游业碳足迹的变化受多种因素影响。旅游接待人数的增长对当地能源消耗提出了更高需求,势必导致旅游业碳足迹的持续增长。经济发展水平的差异决定了旅游业的发展程度,同时也决定了居民的消费水平,进而对旅游业碳足迹^[22]产生影响。社会经济发展水平对旅游业碳排放强度具有正向影响^[38]。城镇化通过基础设施建设、旅游资源开发促进旅游业发展,而旅游业发展又会促进产业结构的优化升级、增加就业机会,从而使城镇化水平得到提高,二者相辅相成,共同对碳排放产生促进作用^[43]。单位GDP能耗可在一定程度上反映能源的利用效率,可用来表征区域技术水平^[44]。综合现有研究,本文选取旅游业碳足迹为被解释变量(因变量),选取旅游接待人数、人均GDP、人口城镇化率、单位GDP能耗作为解释变量(自变量)。

本文借助碳足迹、人口规模、经济水平、技术水平和城镇化率五个指标构建新的模型:

$$I = aP^{\beta_1} A^{\beta_2} T^{\beta_3} U^{\beta_4} \epsilon \tag{6}$$

式中: I 为旅游业碳足迹(万t); P 为国内旅游人数(P_1)与国外旅游人数(P_2)之和(万人); A 为人均GDP(以2000年为基准年,万元/人); T 为单位GDP能耗(万t标准煤/亿元); U 为人口城镇化率(%); β 为随机误差弹性; a 为模型系数; ϵ 为随机误差项。

对式(6)两边取常数对数,得:

$$\ln I = \ln a + \beta_1 \ln(P_1 + P_2) + \beta_2 \ln A + \beta_3 \ln T + \beta_4 \ln U + \ln \epsilon \tag{7}$$

2 结果分析

鉴于区域间经济发展水平及资源禀赋的差异,

本节将从东、中、西三大地带^①分析旅游业碳足迹的空间分异。

2.1 碳足迹时空特征:总量增多但地带性差异显著,东西部地区高于中部地区

对比分析三大地带旅游业碳足迹的时序演变特征发现,各经济地带旅游业碳足迹总量的变化趋势略有差异,但总体上是不断上升的(图1)。2000年左右,东部地区为碳足迹的集中地区,占总量的68.28%,西部地区仅为14.68%;2000—2005年,在碳足迹总量方面, $TCF_{\text{东部地区}} > TCF_{\text{中部地区}} > TCF_{\text{西部地区}}$,但在年平均增长率方面, $V_{\text{西部地区}} > V_{\text{中部地区}} > V_{\text{东部地区}}$,均超过15.00%/年;2005—2010年,东部地区碳足迹总量仍位居第一,但中部地区年平均增长率最大,为30.54%/年;2010—2015年,中西部地区碳足迹的绝对份额逐渐上升,到2015年,二者绝对份额之和超过50.00%,年平均增长率均超过25.00%/年;2015—2019年,东部地区碳足迹绝对份额低于50.00%,年平均增长率仅为9.04%/年,西部地区的碳足迹高于中部地区,其年平均增长率最大,为19.15%/年。由此可知,东部、西部地区对旅游业碳足迹的贡献要高于中部地区^[45]。

就具体省份而言,江苏旅游业碳足迹均值最高,

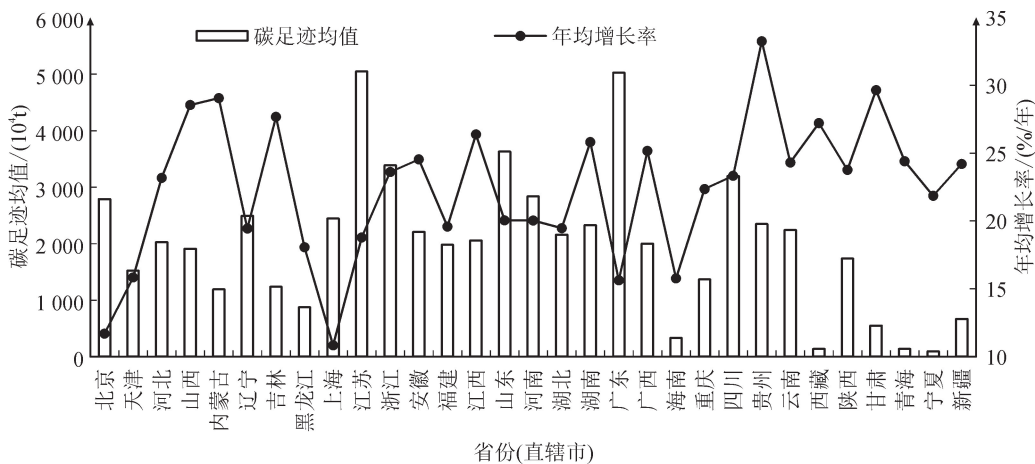


图2 2000—2019年中国各省旅游业碳足迹

Fig. 2 Provincial tourism carbon footprint in China from 2000 to 2019

为直观分析中国旅游业碳足迹在空间上的分布状况,选取2000年、2005年、2010年、2015年、2019年作为碳足迹总量的截面数据,将31个省份的旅游业碳足迹总量划分为四个等级(表2),并绘制中国旅游业碳足迹的等级分类表(表4)。

2000年,低碳足迹区有10个省份,占绝对份额的32.26%;中碳足迹区有11个省份,占绝对份额的35.48%,为主要分布类型,其中,辽宁最多,为 1.92×10^6 t,江西最少,为 1.02×10^6 t;较高碳足迹

为 5.05×10^7 t,其次是广东,两者均超过 5.00×10^7 t;宁夏最低,仅为 95.27×10^4 t,江苏是它的53.01倍(图2)。与2000年相比,2019年各省份碳足迹都增加了5倍之多,山西、吉林、甘肃等少数几个省份甚至达到100倍之多,北京和上海均不足10倍。各省份之间的变化态势虽存在差异性,但31个省份的年平均增长率均超过10.00%/年,山西、内蒙古、贵州、甘肃等7个省份的年均增长率超过25.00%/年,而江苏、广东、浙江、山东等旅游业碳足迹较高的省份年均增长率低于25.00%/年,表明各省份碳足迹差异在逐渐缩小,旅游业低碳发展效果显著。

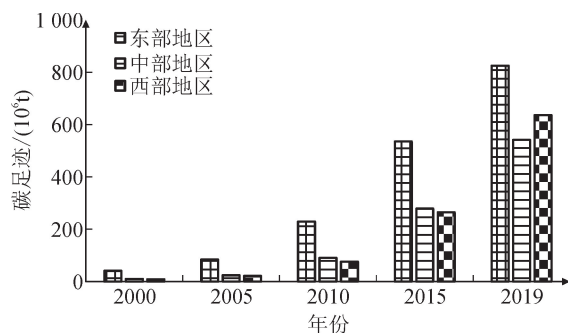


图1 2000—2019年中国不同地区旅游业碳足迹
Fig. 1 Carbon footprint of tourism in China's different regions from 2000 to 2019

区有四川、湖北、福建、天津、河南5个省份(或直辖市);高碳足迹区有山东、江苏、北京、上海、广东5个省份(或直辖市),其中,广东最高,为 8.66×10^6 t。

^①东部地区包括北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、海南11个省份或直辖市;中部地区包括山西、吉林、黑龙江、安徽、江西、河南、湖北、湖南8个省份;西部地区包括重庆、四川、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆、内蒙古、广西12个省份或直辖市。

2005年,低碳足迹区有9个省份,其中,山西转变为低碳足迹区;中碳足迹区占绝对份额的38.71%;较高碳足迹区仍为5个,其中,湖北由较高碳足迹区转变为中碳足迹区,辽宁由中碳足迹区转变为较高碳足迹区;高碳足迹区仍为山东、江苏、北京、上海、广东5个省份(或直辖市),广东最高,为 14.28×10^6 t。

2010年,低碳足迹区为6个省份;中碳足迹区为14个省份,占绝对份额的45.16%;较高碳足迹区为4个省份;高碳足迹区为7个省份,在原有的基础上增加了河南和辽宁。

2015年,低碳足迹区为7个省份,其中宁夏最低,仅为 1.61×10^6 t;中碳足迹区为11个省份,占绝对份额的35.48%;较高碳足迹区有8个省份;高碳足迹区有四川、山东、浙江、江苏、广东5个省份,其中,广东最高,为 90.93×10^6 t。

2019年,低碳足迹区有6个省份,较2015年减

少了1个,新疆由低碳足迹区转变为中碳足迹区;中碳足迹区为9个省份,占绝对份额的29.03%;较高碳足迹区为9个省份;高碳足迹区为7个省份,其中,广东仍为最高,为 136.69×10^6 t。

总之,2000—2019年,中国大陆各省份从以低碳、中碳足迹区为主逐渐转变为以中碳足迹区和较高碳足迹区为主。就区域碳足迹类型来看,东部地区以高碳、较高碳足迹区为主,其中,山东、江苏、广东始终保持在高碳足迹区,在旅游业碳排放方面也远高于其他省份^[39];中部地区以中碳、较高碳足迹区为主;西部地区则以低碳足迹区为主,西藏、宁夏、青海、甘肃始终保持在低碳足迹区。北京、上海、广东等地区碳足迹较高,但年平均增长率低于15.00%/年;甘肃、贵州、西藏的碳足迹较低,但年均增长率超过25.00%/年,表明各省份之间的旅游业碳足迹具有收敛趋势^[39]。

表4 2000—2019年中国旅游业碳足迹空间分布

Tab. 4 Spatial distribution of tourism carbon footprint in China from 2000 to 2019

年份	低碳足迹区	中碳足迹区	较高碳足迹区	高碳足迹区
2000	西藏、宁夏、青海、甘肃、吉林、贵州、新疆、海南、山西、内蒙古	江西、重庆、湖南、陕西、安徽、广西、云南、河北、浙江、辽宁、黑龙江	四川、湖北、福建、天津、河南	山东、江苏、上海、北京、广东
2005	宁夏、西藏、青海、甘肃、海南、新疆、吉林、贵州、内蒙古	山西、重庆、安徽、广西、江西、陕西、河北、云南、湖南、湖北、浙江、黑龙江	天津、福建、四川、辽宁、河南	山东、北京、上海、江苏、广东
2010	宁夏、青海、西藏、甘肃、海南、新疆	吉林、江西、河北、重庆、广西、陕西、云南、贵州、山西、安徽、浙江、天津、黑龙江、内蒙古	福建、湖南、湖北、四川	河南、辽宁、北京、上海、山东、广东、江苏
2015	宁夏、青海、西藏、海南、甘肃、新疆、黑龙江	重庆、吉林、天津、陕西、福建、广西、云南、上海、河北、山西、内蒙古	贵州、江西、湖南、辽宁、安徽、湖北、北京、河南	四川、山东、浙江、江苏、广东
2019	宁夏、西藏、青海、海南、甘肃、黑龙江	新疆、天津、吉林、上海、重庆、辽宁、北京、湖北、内蒙古	陕西、福建、山西、安徽、河北、河南、江西、湖南、广西	浙江、云南、山东、四川、贵州、江苏、广东

2.2 碳承载能力时空特征:总量增加,人均减少,呈“东南—西北”分异

作为单一指标,碳足迹并不能直接反映区域旅游业发展的可持续性,而生态环境对碳足迹的吸收作用有一定的阈值。

因此,可通过对阈值范围的界定,判定旅游业碳足迹增长的弹性区间,以进一步指导旅游业朝着绿

色低碳的方向发展。

就旅游业年均碳承载能力而言,西藏最高,达到 $7\,981.33 \times 10^4$ t,其次是云南和内蒙古,均超过 $5\,000.00 \times 10^4$ t,天津和宁夏较低,均不足 100.00×10^4 t,上海最少,仅为 14.90×10^4 t(图3)。有8个东部省份年均碳承载能力低于 $1\,000.00 \times 10^4$ t;有10个西部省份年均碳承载能力高于 $1\,000.00 \times 10^4$ t,

地带性差异显著。就旅游业碳承载能力而言, $TCC_{西部地区} > TCC_{中部地区} > TCC_{东部地区}$ ^[45]。就年均增长率而言, 31 个省份(直辖市)均不超过 20.00%/年, 其中甘肃最高, 为 16.63%/年, 其次为吉林和贵州, 均

超过 15.00%/年, 北京最低, 不足 0.50%/年。除河北外, 东部省份年平均增长率均不超过 10.00%/年, 西部地区中, 宁夏年平均增长率最低, 为 6.94%/年, 其余 11 个省份均高于 8.00%/年。

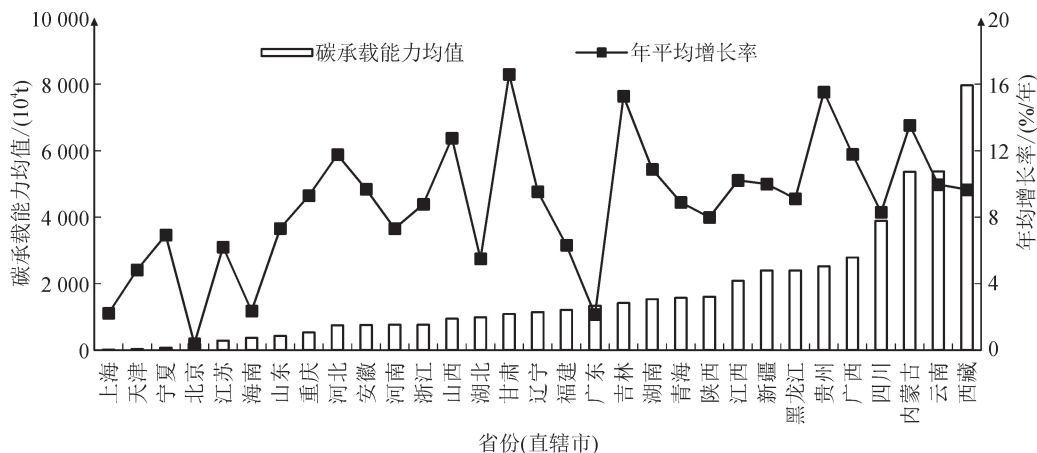


图 3 2000—2019 年中国各省旅游业碳承载能力
Fig. 3 Provincial tourism carbon capacity in China from 2000 to 2019

2000—2019 年, 碳承载能力的组成成分之间无明显变动, 就植被碳汇构成而言, 森林远大于草地和农作物(图 4)。就具体省份而言, 森林对福建的贡献率最大, 达到 98.21%, 对新疆、西藏、宁夏的贡献率较小, 均不足 50.00%, 青海最小, 仅为 24.85%; 草地对青海碳承载能力的贡献率最大, 高达 74.99%, 其次是西藏和新疆, 均超过 50.00%; 农作

物对西藏和青海的贡献率最小, 均不足 1.00%, 对江苏的贡献率最大, 达到 37.48%。在东部和中部地区中, 森林对各省的贡献率均超过 50.00%; 在西部地区的部分省份中, 草地的贡献率超过 50.00%, 如西藏、青海、新疆。农作物的贡献率在各省中均不超过 50.00%, 但在年平均碳汇总量上, $C_{中部地区} > C_{东部地区} > C_{西部地区}$ 。

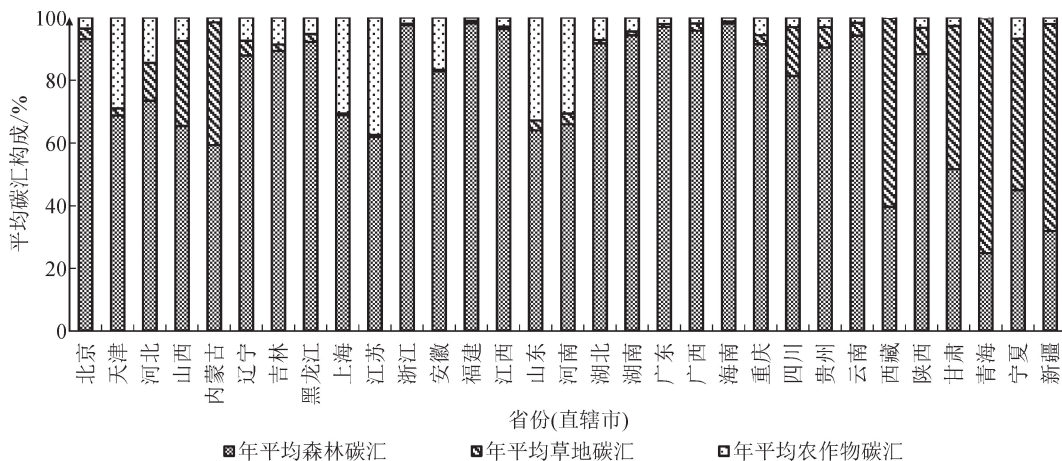


图 4 2000—2019 年中国各省平均碳汇比重
Fig. 4 Average share of provincial carbon sinks in China from 2000 to 2019

就人均碳承载能力(表 5)而言, 2000—2019 年, 西藏、青海、内蒙古始终保持在前三位, 但下降趋势显著, 年平均下降率分别为 12.02%/年、3.69%/年和 4.19%/年。2000 年西藏最大, 其次是内蒙古和青海, 均超过 1 800.00 kg/人, 上海最小, 低于 10.00 kg/人。

2005—2019 年, 上海、天津、江苏始终保持最低, 且 $\overline{TCD}_{江苏} > \overline{TCD}_{天津} > \overline{TCD}_{上海}$ 。人均碳承载能力小于 250.00 kg/人的省份由 2000 年的 18 个增加到 2010 年的 27 个, 再到 2019 年的 26 个; 人均碳承载能力高于 1 000.00 kg/人的省份由 2000 年的 4 个

减少到 2010 年的 1 个,再增加到 2019 年的 2 个。从地域差异来看,东部地区普遍低于西部地区,有向中西部地区扩大的趋势。此外,地域差异进一步缩小,人均碳承载能力均衡度得到加强。

表 5 2000—2019 年中国旅游业人均碳承载能力分布
Tab. 5 Distribution of per capita carbon capacity of China's tourism from 2000 to 2019

年份	0.00~250.00 kg·人 ⁻¹	250.01~500.00 kg·人 ⁻¹	500.01~750.00 kg·人 ⁻¹	750.01~1 000.00 kg·人 ⁻¹	>1 000.00 kg·人 ⁻¹
2000	上海、天津、北京、江苏、山东、浙江、河北、河南、重庆、安徽、辽宁、广东、山西、湖北、湖南、宁夏、吉林、福建	贵州、甘肃、陕西、广西、四川、海南、江西、黑龙江	云南	—	新疆、内蒙古、青海、西藏
2005	上海、天津、江苏、北京、山东、浙江、重庆、河南、山西、河北、广东、安徽、辽宁、湖北、宁夏、湖南、陕西、广西、四川、福建、江西、海南、吉林	甘肃、贵州、黑龙江、云南	—	新疆	内蒙古、青海、西藏
2010	上海、天津、江苏、北京、浙江、山东、河南、河北、重庆、安徽、湖北、辽宁、山西、湖南、宁夏、广东、陕西、福建、江西、四川、海南、广西、吉林、贵州、黑龙江、甘肃、云南	新疆	—	内蒙古、青海	西藏
2015	上海、天津、江苏、北京、山东、重庆、河南、浙江、安徽、辽宁、湖北、河北、湖南、广东、山西、宁夏、福建、陕西、海南、江西、贵州、四川、广西、甘肃、吉林、黑龙江	云南	新疆	内蒙古、青海	西藏
2019	上海、天津、江苏、北京、山东、河南、安徽、重庆、浙江、湖北、河北、辽宁、广东、山西、福建、宁夏、湖南、陕西、海南、江西、贵州、四川、甘肃、广西、云南、吉林	黑龙江、新疆	—	内蒙古	青海、西藏

2.3 碳赤字时空特征:由东南沿海向中西部地区推移,均衡程度有所加强

就人均碳赤字而言,2000 年,西藏最小,其次是青海,均小于 -2 000.00 kg/人,上海最大,达到 83.48 kg/人;2005 年,位序相对稳定,除吉林省外,30 个省份均呈增加趋势,西藏最为明显,年均增长量为 5 090.37 kg/(人·年),其次是青海,天津最小,仅为 2.30 kg/(人·年);2010 年,天津碳赤字最大,达到 178.62 kg/人,其次是广东,均超过 130.00 kg/人,西藏、青海、内蒙古位居末位;2015 年,西藏仍为最低,广东、北京、天津均高于 160.00 kg/人;2019

年,西藏、青海、内蒙古均低于 -1 000.00 kg/人,广东最高,高达 221.27 kg/人(表 6)。

$TCD_i < 0$ 的省份由 2000 年的 26 个减少到 2010 年的 15 个,再减少到 2019 年的 9 个。碳赤字有由东南沿海省份向中西部省份扩展的趋势,影响范围逐渐变大。基于旅游业碳赤字的区域差异性,对各省份进行类型划分,发现高碳赤字区主要集中于北京、上海、广东等地;而内蒙古、黑龙江、云南等地的旅游业碳赤字较小^[45]。截至 2019 年,东部地区碳赤字均为正值,表明其生态压力远高于中西部地区。

表 6 2000—2019 年中国旅游业人均碳赤字分布
Tab. 6 Distribution of per capita carbon deficit of China's tourism from 2000 to 2019

年份	$<-50.00 \text{ kg} \cdot \text{人}^{-1}$	$-50.00 \sim 0.00 \text{ kg} \cdot \text{人}^{-1}$	$0.01 \sim 50.00 \text{ kg} \cdot \text{人}^{-1}$	$>50.00 \text{ kg} \cdot \text{人}^{-1}$
2000	西藏、青海、新疆、云南、江西、海南、四川、广西、甘肃、陕西、贵州、吉林、福建、宁夏、湖南、山西、湖北、安徽、黑龙江、内蒙古	辽宁、重庆、广东、河北、河南、浙江	山东、江苏、北京	天津、上海
2005	西藏、青海、新疆、云南、甘肃、贵州、吉林、江西、海南、四川、广西、陕西、福建、湖南、宁夏、内蒙古、黑龙江	湖北、安徽、山西、辽宁、河北、重庆	浙江、河南、广东、山东	江苏、北京、天津、上海
2010	西藏、青海、新疆、云南、甘肃、贵州、广西、四川、黑龙江、内蒙古	吉林、江西、海南、陕西、宁夏	湖南、福建、重庆、浙江、湖北、河北、安徽、山西、辽宁	河南、山东、江苏、上海、北京、广东、天津
2015	西藏、青海、新疆、云南、甘肃、黑龙江、内蒙古、	广西	四川、贵州、江西、陕西、吉林、海南、宁夏、重庆、湖南	山西、湖北、河北、安徽、辽宁、福建、河南、山东、浙江、上海、江苏、北京、天津、广东
2019	西藏、青海、新疆、云南、内蒙古、黑龙江	甘肃、吉林、广西、	贵州、宁夏、四川、江西、陕西、海南	山西、辽宁、重庆、湖南、安徽、湖北、河北、河南、福建、山东、浙江、上海、江苏、天津、北京、广东

3 旅游业碳足迹影响因素分析

3.1 影响因素

鉴于旅游业碳承载能力的计算方法,本文仅讨论影响旅游业碳足迹增减的因素。立足于中国经济发展水平的区域差异,为深入探讨旅游业碳足迹的影响机制,分别对三大地区进行回归分析。在梳理已有研究的旅游业碳足迹影响因素的基础上,进一步通过相关性检验来确定与旅游业碳足迹显著相关的指标,作为最终解释变量(表 7)。

表 7 相关性检验
Tab. 7 Correlation test

变量	lnI	lnP	lnA	lnT	lnU
lnI	1.000				
lnP	0.952***	1.000			
lnA	0.815***	0.682***	1.000		
lnT	-0.673***	0.647***	-0.548***	1.000	
lnU	0.606***	0.467***	0.864***	-0.535***	1.000

注:***表示在 1%的显著性水平下显著。

结果表明:旅游接待人数(P)、人均 GDP(A)、单位 GDP 能耗(T)、人口城镇化率(U)四个备选指

标均与 I 显著相关(表 6),故将其作为最终的解释变量进行实证研究。

3.2 回归分析

在回归分析之前,对面板数据进行单位根检验,本文采用 LLC 检验以确保数据的平稳性(表 8)。

表 8 单位根检验

Tab. 8 Unit root test

变量	中国大陆	东部地区	中部地区	西部地区
lnI	-5.742 4*** (0.000 0)	-1.927 4** (0.027 0)	-8.242 3*** (0.000 0)	-2.860 8** (0.002 1)
lnP	-2.253 3** (0.012 1)	-1.490 1* (0.068 1)	-4.135 9*** (0.000 0)	-1.763 6** (0.038 9)
lnA	-4.019 5*** (0.000 0)	-1.913 7** (0.027 8)	-2.053 9** (0.020 0)	-1.933 8** (0.026 6)
lnT	-3.901 7*** (0.000 0)	-4.103 1*** (0.000 0)	-4.101 5*** (0.000 0)	-1.481 5* (0.069 2)
lnU	-20.414 7*** (0.000 0)	-5.211 0*** (0.000 0)	-7.039 5*** (0.000 0)	-3.833 4*** (0.000 1)

注:括号中数据为相应 P 值;***、**、* 分别表示在 1%、5%、10%的显著性水平下显著;由于能源消耗数据的可获得性差,影响因素分析不涉及西藏自治区。

只要有一种情形拒绝原假设,则表明变量平稳。结果显示:中国大陆及分地区的变量均拒绝原假设,则数据序列平稳,可建立平稳数据面板模型。

采用 F 检验和豪斯曼检验确定最终的平稳面板数据模型。结果显示:中国大陆及中部和西部地区拒绝原假设,选用固定效应模型;东部地区未拒绝原假设,选用随机效应模型(表 9)。

表 9 豪斯曼检验结果
Tab.9 Hausman test results

地带	卡方检验统计量	P 值	选用模型
中国大陆	42.54	0.000 0	固定效应模型
东部地区	0.65	0.957 9	随机效应模型
中部地区	51.68	0.000 0	固定效应模型
西部地区	27.19	0.000 0	固定效应模型

旅游接待人数、经济水平与人口城镇化率对中国大陆及分地区的旅游业碳足迹呈现正向影响;技术水平对区域旅游业碳足迹起减量作用(表 10)。

表 10 面板数据模型估计结果
Tab.10 Panel data model estimation results

变量	中国大陆	东部地区	中部地区	西部地区
$\ln P$	0.582 4*** (16.43)	0.912 7*** (14.92)	0.283 3*** (4.80)	0.752 6*** (15.46)
$\ln A$	0.830 7*** (19.29)	0.464 5*** (6.05)	1.167 6*** (12.75)	0.774 9*** (13.28)
$\ln T$	-0.209 7*** (-3.54)	-0.197 7*** (-2.08)	-0.408 6*** (-3.15)	-0.048 8 (-0.64)
$\ln U$	0.558 8*** (3.96)	0.315 4* (1.65)	0.473 0 (1.56)	0.158 7 (0.64)
$cons$	-1.594 0** (-3.20)	-3.450 5*** (-4.24)	1.549 6 (1.36)	-1.603 2* (-1.99)
R^2	0.974 8	0.941 1	0.972 8	0.988 2

注:括号中数据为相应统计量;***、**、* 分别表示在 1%、5%、10% 的显著性水平下拒绝原假设。

不同区域的影响因素对旅游业碳足迹的影响存在差异。在中国大陆的 STIRPAT 模型中,人均 GDP 是旅游业碳足迹最重要的影响因素,即人均 GDP 每增加 1%,旅游业碳足迹将增加 0.83%。这是由游客的收入水平决定的。旅游接待人数是影响旅游业碳足迹的又一重要增量因素,其每增加 1%,旅游业碳足迹将增加 0.58%。旅游接待人数的增加对能源需求提出了更高的要求。人口城镇化率是

影响旅游业碳足迹的第三个增量因素。旅游接待人数和人均 GDP 是从需求角度考虑旅游业碳足迹的影响因素,而人口城镇化率则是从供给方面对旅游业碳足迹产生影响。技术水平对旅游业碳足迹具有较大的负向作用,单位 GDP 能耗每减少 1%,旅游业碳足迹将减少 0.21%。

东部地区旅游接待人数对旅游业碳足迹的影响最大,即接待人数每增加 1%,旅游业碳足迹将增加 0.91%。这是由游客对能源消费的需求所决定的,因此,提高旅游业的低碳意识尤为重要。人均 GDP 对旅游业碳足迹的影响较大。这是由游客的心理需求和收入水平所决定的。人口城镇化率每提高 1%,旅游业碳足迹将增加 0.32%,这是由区域的发展水平决定的。东部地区单位 GDP 能耗对碳足迹的负向影响作用低于整体水平,单位 GDP 能耗每下降 1%,旅游业碳足迹将减少 0.20%。

中部地区经济水平(人均 GDP 为 1.17)对旅游业碳足迹的影响作用最为显著,其次是人口城镇化率(0.47),而技术水平(单位 GDP 能耗 0.41)对碳足迹的抑制作用均高于东、西部地区。这表明中部地区的低碳技术水平有所提升。相较于东、西部地区,中部地区旅游接待人数对(0.28)旅游业碳足迹的正向促进作用较弱。

西部地区人均 GDP 对碳足迹的贡献率最高,即人均 GDP 每提高 1%,旅游业碳足迹将增加 0.77%。旅游接待人数为旅游业碳足迹的另一重要促进因素。由于西部地区独特的自然和人文景观以及国家的政策倾斜,使得西部地区的旅游业得到快速发展,经济效益和社会效益显著。相较于东、中部地区,西部地区的技术水平对旅游业碳足迹的抑制作用最不显著;人口城镇化率对碳足迹的正向影响也低于东、中部地区,即人口城镇化率每提高 1%,旅游业碳足迹将增加 0.16%。

4 问题与建议

4.1 主要问题

中国旅游业碳足迹与碳承载能力具有明显的地带性差异。旅游接待人数和经济水平是影响旅游业碳足迹的主要因素。2000—2019 年,旅游业碳循环的主要问题有:①碳足迹总量均呈现正增长,均衡程度有所提升,但东部地区仍为其主要集中地区,这与旅游接待人数和经济水平密切相关;②中国大陆旅游业碳承载能力年均增长率为 10.04%/年,北京仅为 0.39%/年,甘肃为 16.63%/年,地域差异显著,就人均碳承载能力增率而言,除吉林(0.52%/年)

外,其余30个省份均呈现负增长,这与植被量有一定的关系,其碳汇机制还有待进一步研究;③各省份碳赤字差异显著,碳生态盈余集中在西部地区,就年平均碳赤字而言,上海是湖北的11.30倍,碳赤字在东南沿海地区呈集中连片分布,影响范围和程度均有加深。技术水平和碳汇能力对降低碳赤字具有重要意义。

4.2 对策建议

结合中国大陆的经济发展水平、碳循环发展状态,旅游业“双碳”目标的实现要遵循以下原则:统筹协调原则,即实现经济增长与碳足迹下降的高质量发展;因地制宜原则,即各省份碳赤字的形成机制存在差异,需要制定差异化的旅游低碳发展路径;科技创新原则,即将新技术、新能源应用到旅游活动中^[46]。综合中国大陆旅游业发展形势和社会状况,提出以下对策建议。

1) 培育低碳消费新模式,促进消费提质升级。加强“双碳”的宣传教育,提高游客低碳旅游的意识及认知;在认知的基础上,通过旅游产品的现实信息和个性化服务,提供低碳旅游消费的便利,激发游客低碳消费的意愿^[47];最后,增强游客消费体验,增强低碳旅游产品的吸引力。

2) 完善碳汇机制研究,多角度提升碳承载能力。加强植被资源管控,建立数据库,为低碳旅游发展提供最有力的数据支撑;利用优势碳汇资源将生态资源与经济发展相结合^[48],达到“绿水青山就是金山银山”的协同发展局面;发挥森林、草地、海洋、湿地等的碳汇作用,提升整体碳汇能力。

3) 加快低碳技术研发,促进能源结构转型升级。将低碳、节能技术运用到景区、交通、住宿等方面,营造“低碳化”的旅游吸引物及设施^[49];重视清洁能源的开发和利用,促进能源结构多元化发展;发展分布式能源,提高能源利用效率。

5 结论

基于总量与人均两个维度,分析2000—2019年中国及各省份旅游业碳足迹、碳承载能力等指标的空间差异特征及变化趋势,并利用STIRPAT模型分析了旅游业碳足迹的影响因素,以为旅游业的绿色转型提供一点思路 and 对策。

1) 2000—2019年,中国大陆旅游业碳足迹从 $5\,986.20 \times 10^4 \text{ t}$ 增加到 $200\,342.35 \times 10^4 \text{ t}$,年平均增长率为20.29%/年。就碳足迹总量而言,东部地区高于中、西部地区。2015年以来,在碳足迹增长率方面, $V_{\text{西部地区}} > V_{\text{中部地区}} > V_{\text{东部地区}}$ 。就区域划分类

型而言,目前中国以中碳和较高碳足迹区为主,且主要分布在东部和中部地区。自实施“西部大开发”以来,在西部地区旅游资源被发掘的同时,旅游业碳足迹的绝对份额由2000年的14.68%增加至2019年的31.76%。低碳背景下旅游业的发展初具成效,但仍有待加强。

2) 2000—2019年,旅游业碳承载能力总量由 $21\,949.43 \times 10^4 \text{ t}$ 增加至 $135\,161.71 \times 10^4 \text{ t}$,年平均增长率为10.04%/年。就碳承载能力总量和年平均增长率而言,东部地区均低于中、西部地区。2000—2019年,碳赤字为负值的省份增加了17个,且有持续增长的趋势,区域均衡程度进一步加强。碳盈余的省份均位于中、西部地区,东部地区不存在碳盈余的省份,表明东部地区的碳生态压力远高于其他地区。

3) STIRPAT模型分析表明,不管是在全国范围还是在三大地区内,旅游接待人数和人均GDP是导致碳足迹持续增加的驱动因素,但其在各区域范围内的作用强度略有差异;技术水平对旅游业碳足迹起到减量作用,且作用强度依次为 $T_{\text{中部地区}} > T_{\text{东部地区}} > T_{\text{西部地区}}$;城镇化水平对区域旅游业碳足迹的促进作用也存在差异性,仍保持 $U_{\text{中部地区}} > U_{\text{东部地区}} > U_{\text{西部地区}}$ 。

但本文仍存在一些不足:使用一个固定排放系数测度省域尺度下的旅游业碳足迹,其精确度仍有待提升;在碳足迹测算方面,未来可通过收集旅游业能耗数据(吃住行游购娱等细分部门的数据)来提升碳足迹测量精度;同时,降低碳足迹的相关措施也有待进一步深化;植被面积数据在统计年鉴中多用历年清查数据表示,其精确性仍有待进一步提高。本文从宏观上对中国旅游业碳循环做了整体概述,就某一省份而言,内部碳指标的空间分异及演化研究对指导旅游业的低碳发展意义重大。最后,碳足迹的相关研究应注重空间的关联效应。

参考文献:

- [1] 侯国林,黄震方,台运红,等. 旅游与气候变化研究进展[J]. 生态学报,2015,35(9):2837-2847.
HOU Guolin, HUANG Zhenfang, TAI Yunhong, et al. Progress and implications in tourism and climate change research[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(9): 2837-2847.
- [2] 卢宏. 旅游碳足迹的测算研究进展与展望[J]. 旅游研究, 2018, 10(2): 75-83.
LU Hong. Research progress and prospect of tourism carbon footprint measurement[J]. Tourism Research, 2018, 10(2): 75-83.

- [3] ADEDOYIN F F, BEKUN F V. Modelling the interaction between tourism, energy consumption, pollutant emissions and urbanization: renewed evidence from panel VAR[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, 27(31): 38881-38900.
- [4] SELVANATHAN E A, JAYASINGHE M, SELVANATHAN S. Dynamic modelling of inter-relationship between tourism, energy consumption, CO₂ emissions and economic growth in South Asia[J]. *International Journal of Tourism Research*, 2021, 23(4): 597-610.
- [5] FRANTAL B, URBANKOVA R. Energy tourism: an emerging field of study[J]. *Current Issues in Tourism*, 2017, 20(13): 1395-1412.
- [6] NEPAL R, IRSYAD M A, NEPAL S K. Tourist arrivals, energy consumption and pollutant emissions in a developing economy-implications for sustainable tourism[J]. *Tourism Management*, 2019, 72:145-154.
- [7] WU Pu. Energy consumption and CO₂ emissions from tourism transport in offshore island destinations: taking Haikou municipality as a case[J]. *Tourism Tribune*, 2014, 29(8): 110-116.
- [8] FENNEL D A, BOWYER E. Tourism and sustainable transformation: a discussion and application to tourism food consumption[J]. *Tourism Recreation Research*, 2020, 45(1): 119-131.
- [9] TSAGARAKIS K P, BOUNIALETOU F, GILLAS K, et al. Tourists' attitudes for selecting accommodation with investments in renewable energy and energy saving systems[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2011, 15(2): 1335-1342.
- [10] 计军平,马晓明. 碳足迹的概念和核算方法研究进展[J]. *生态经济*, 2011(4): 76-80.
JI Junping, MA Xiaoming. Review of carbon footprint: definitions and accounting methods[J]. *Ecological Economy*, 2011(4): 76-80.
- [11] 李伯华,刘云鹏,窦银娣. 旅游风景区旅游交通系统碳足迹评估及影响因素分析——以南岳衡山为例[J]. *资源科学*, 2012, 34(5): 956-963.
LI Bohua, LIU Yunpeng, DOU Yindi. Carbon footprint evaluation of tourism transportation system in tourist attractions and analysis of the influencing factors: a case study in Hengshan[J]. *Resources Science*, 2012, 34(5): 956-963.
- [12] 王凯,邵海琴,周婷婷,等. 基于 EKC 框架的旅游发展对区域碳排放的影响分析——基于 1995-2015 年中国省际面板数据[J]. *地理研究*, 2018, 37(4): 742-750.
WANG Kai, SHAO Haiqin, ZHOU Tingting, et al. EKC framework analysis of the effects of tourism development on regional carbon emissions: based on China's 1995-2015 panel data[J]. *Geographical Research*, 2018, 37(4): 742-750.
- [13] SHI Changbo, PENG Jingjing. Construction of low-carbon tourist attractions based on low-carbon economy[J]. *Energy Procedia*, 2011, 5: 759-762.
- [14] 蔡萌,汪宇明. 低碳旅游:一种新的旅游发展方式[J]. *旅游学刊*, 2010, 25(1): 13-17.
CAI Meng, WANG Yuming. Low-carbon tourism: a new mode of tourism development[J]. *Tourism Tribune*, 2010, 25(1): 13-17.
- [15] 董红艳,刘钦普,周丽,等. 江苏省旅游业碳足迹与碳承载力动态对比分析[J]. *生态经济*, 2018, 34(11): 183-187.
DONG Hongyan, LIU Qinpu, ZHOU Li, et al. Dynamics comparison of tourism carbon footprint with tourism carbon capacity in Jiangsu province[J]. *Ecological Economy*, 2018, 34(11): 183-187.
- [16] REN Yu, ZHAO Chunrong, FU Juanlin. Dynamic study on tourism carbon footprint and carbon carrying capacity in Sichuan province[J]. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 2019, 7(7): 14-24.
- [17] 孔琳. 青海省旅游业碳足迹与碳承载力的动态研究[J]. *中国林业经济*, 2022(1): 113-117.
KONG Lin. Dynamic research on the carbon footprint and carbon carrying capacity of tourism industry in Qinghai province[J]. *China Forestry Economics*, 2022(1): 113-117.
- [18] 张振家. 新常态下辽宁沿海经济带旅游碳足迹测算与低碳旅游开发[J]. *生态经济*, 2016, 32(8): 144-147, 157.
ZHANG Zhenjia. Tourism carbon footprint calculation and low carbon tourism development in Liaoning coastal economic belt under the New Norm[J]. *Ecological Economy*, 2016, 32(8): 144-147, 157.
- [19] 涂玮,刘钦普. 华东地区旅游碳排放与碳承载力关系研究[J]. *生态经济*, 2021, 37(11): 144-149, 155.
TU Wei, LIU Qinpu. Study on the relationship between tourism carbon emission and carbon carrying capacity in East China[J]. *Ecological Economy*, 2021, 37(11): 144-149, 155.
- [20] MENG Weiqing, XU Lingying, HU Beibei, et al. Reprint of: quantifying direct and indirect carbon dioxide emissions of the Chinese tourism industry[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 163(S1): 401-409.
- [21] 姚治国,陈田. 基于碳足迹模型旅游碳排放实证研究——以海南省为案例[J]. *经济管理*, 2016, 38(2): 151-159.
YAO Zhiguo, CHEN Tian. The empirical research on tourism carbon emission based on the carbon footprint model: a case of Hainan province[J]. *Business and Management Journal*, 2016, 38(2): 151-159.
- [22] 陶玉国,黄震方,吴丽敏,等. 江苏省区域旅游业碳排

- 放测度及其因素分解[J]. 地理学报, 2014, 69(10): 1438-1448.
- TAO Yuguo, HUANG Zhenfang, WU Limin, et al. Measuring carbon dioxide emissions for regional tourism and its factor decomposition: a case study of Jiangsu province[J]. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(10): 1438-1448.
- [23] 胡梦姝, 叶长盛, 董倩, 等. 长江中游省会城市碳足迹深度时空演变及其影响因素[J]. 环境科学研究, 2022(10): 2282-2292.
- HU Mengshan, YE Changsheng, DONG Qian, et al. Spatio-temporal evolution and influencing factors of carbon footprint depth of capital cities in the middle Yangtze River [J]. Research of Environmental Sciences, 2022(10): 2282-2292.
- [24] 罗芬, 王怀探, 钟永德. 旅游者交通碳足迹空间分布研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(2): 38-46.
- LUO Fen, WANG Huaicai, ZHONG Yongde. Tourists' transportation carbon footprint spatial distribution [J]. China Population, Resources and Environment, 2014, 24(2): 38-46.
- [25] 李鹏, 黄继华, 莫延芬, 等. 昆明市四星级酒店住宿产品碳足迹计算与分析[J]. 旅游学刊, 2010, 25(3): 27-34.
- LI Peng, HUANG Jihua, MO Yanfen, et al. Carbon footprint calculation and analysis of accommodation services in four-star hotels of Kunming [J]. Tourism Tribune, 2010, 25(3): 27-34.
- [26] 钟章奇, 吴静, 许爱文, 等. 中国各省区旅游业碳排放量初步估算及区域差异[J]. 世界地理研究, 2016, 25(1): 83-94.
- ZHONG Zhangqi, WU Jing, XU Aiweng, et al. Preliminary estimation of CO₂ emission of tourism industry and its regional difference in China [J]. World Regional Studies, 2016, 25(1): 83-94.
- [27] 赵先贵, 马彩虹, 肖玲, 等. 北京市碳足迹与碳承载力的动态研究[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(10): 8-12.
- ZHAO Xiangui, MA Caihong, XIAO Ling, et al. Dynamic of carbon footprint and vegetation carbon fixation quantity in Beijing [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2013, 27(10): 8-12.
- [28] 黄和平, 王智鹏, 宋伊瑶. 乡村振兴背景下乡村旅游目的地碳足迹与生态效率研究——以江西婺源篁岭景区为例[J]. 农业现代化研究, 2019, 40(4): 683-691.
- HUANG Heping, WANG Zhipeng, SONG Yiyao. Carbon footprint and eco-efficiency of rural tourism destination under the background of rural revitalization: a case study of Huangling scenic spot in Wuyuan of Jiangxi province [J]. Research of Agricultural Modernization, 2019, 40(4): 683-691.
- [29] 王淑新, 何红, 李双, 等. 中国旅游足迹家族研究进展[J]. 自然资源学报, 2019, 34(2): 424-436.
- WANG Shuxin, HE Hong, LI Shuang, et al. Research progress of tourism footprint family in China [J]. Journal of Natural Resources, 2019, 34(2): 424-436.
- [30] WU Pu, SHI Peihua. An estimation of energy consumption and CO₂ emissions in tourism sector of China [J]. Journal of Geographical Sciences, 2011, 21(4): 733-745.
- [31] TANG Zi, SHANG Jie, SHI Changbo, et al. Decoupling indicators of CO₂ emissions from the tourism industry in China: 1990 - 2012 [J]. Ecological indicators, 2014, 46: 390-397.
- [32] 肖建红, 于爱芬, 王敏. 旅游过程碳足迹评估——以舟山群岛为例[J]. 旅游科学, 2011, 25(4): 58-66.
- XIAO Jianhong, YU Aifen, WANG Min. Carbon footprint evaluation in tourism: a case study of Zhoushan islands [J]. Tourism Science, 2011, 25(4): 58-66.
- [33] 王立国, 廖为明, 黄敏, 等. 基于终端消费的旅游碳足迹测算——以江西省为例[J]. 生态经济, 2011(5): 121-124, 168.
- WANG Liguang, LIAO Weiming, HUANG Min, et al. Calculation of tourism carbon footprint on final consumption: a case of Jiangxi province [J]. Ecological Economy, 2011(5): 121-124, 168.
- [34] 梁中, 徐蓓. 中国省域碳压力空间分布及其重心迁移[J]. 经济地理, 2017, 37(2): 179-186.
- LIANG Zhong, XU Bei. The spatial distribution of the migration of carbon pressure gravity center of provinces in China [J]. Economic Geography, 2017, 37(2): 179-186.
- [35] 魏媛, 蔡绍洪, 王名绍. 贵州喀斯特山地碳足迹和植被碳承载力动态研究[J]. 生态经济, 2016, 32(2): 172-176.
- WEI Yuan, CAI Shaohong, WANG Mingshao. Dynamics of carbon footprint and vegetation carbon carrying capacity in Guizhou karst mountain [J]. Ecological Economy, 2016, 32(2): 172-176.
- [36] 王强, 伍世代, 李婷婷. 中国工业经济转型过程中能源消费与碳排放时空特征研究[J]. 地理科学, 2011, 31(1): 36-41.
- WANG Qiang, WU Shidai, LI Tingting. Spatio-temporal characteristics of energy consumption and carbon emissions in industry sector during the period of economic transition in China [J]. Scientia Geographica Sinica, 2011, 31(1): 36-41.
- [37] 汤姿, 李晓红. 基于STIRPAT模型的黑龙省旅游业二氧化碳排放影响因素分析[J]. 生态经济, 2019, 35(8): 141-145.
- TANG Zi, LI Xiaohong. Analysis of the influencing factors of tourism-related CO₂ emissions based on

- STIRPAT model in Heilongjiang province[J]. *Ecological Economy*, 2019, 35(8): 141-145.
- [38] 潘植强,梁保尔. 旅游业碳排放强度分布及其驱动因子的时空异质研究——基于30个省(市、区)2005—2014年的面板数据分析[J]. *人文地理*, 2016, 31(6): 152-158.
- PAN Zhiqiang, LIANG Baoer. Research on space-time heterogeneity of tourism industry carbon emission intensity distribution and influencing factors: analysis of panel data from 30 provinces (cities and districts) from 2005-2014[J]. *Human Geography*, 2016, 31(6): 152-158.
- [39] 查建平,舒皓羽,李园园,等. 中国旅游业碳排放及其影响因素研究——来自2005-2015年省级面板数据的证据[J]. *旅游科学*, 2017, 31(5): 1-16.
- ZHA Jianping, SHU Haoyu, LI Yuanyuan, et al. A research on tourism industrial carbon emissions and its influential factors in China: evidences from Chinese provincial panel data (2005-2015) [J]. *Tourism Science*, 2017, 31(5): 1-16.
- [40] 赵先超,滕洁. 基于LMDI的湖南省旅游业碳排放影响因素分解[J]. *环境科学与技术*, 2018, 41(9): 192-199.
- ZHAO Xianchao, TENG Jie. Factor decomposition of impact factors of tourism carbon emissions in Hunan province based on LMDI model [J]. *Environmental Science & Technology*, 2018, 41(9): 192-199.
- [41] 黄和平,乔学忠,张瑾,等. 绿色发展背景下区域旅游业碳排放时空分异与影响因素研究——以长江经济带为例[J]. *经济地理*, 2019, 39(11): 214-224.
- HUANG Heping, QIAO Xuezhong, ZHANG Jin, et al. Spatio-temporal differentiation and influencing factors of regional tourism carbon emissions under the background of green development: a case study of the Yangtze river economic belt[J]. *Economic Geography*, 2019, 39(11): 214-224.
- [42] 王凯,邵海琴,周婷婷,等. 基于STIRPAT模型的中国旅游业碳排放影响因素分析[J]. *环境科学学报*, 2017, 37(3): 1185-1192.
- WANG Kai, SHAO Haiqin, ZHOU Tingting, et al. Analysis of impact factors of CO₂ emissions from tourism in China based on STIRPAT model[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2017, 37(3): 1185-1192.
- [43] 冉婷,苏维词,张进. 重庆旅游业与城镇化耦合协调发展时空格局研究[J/OL]. *西华师范大学学报(自然科学版)*, [2021-08-02]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1699.N.20210802.1459.002.html>.
- RAN Ting, SU Weici, ZHANG Jin. Spatial-temporal pattern of coupling and coordinated development of tourism and urbanization in Chongqing[J/OL]. *Journal of China West Normal University (Natural Sciences)*, [2021-08-02]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1699.N.20210802.1459.002.html>.
- [44] 刘军,岳梦婷. 区域旅游业碳排放及其影响因素——基于旅游流动性视角[J]. *中国人口·资源与环境*, 2021, 31(7): 37-48.
- LIU Jun, YUE Mengting. Carbon emissions of regional tourism industry and their influencing factors[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2021, 31(7): 37-48.
- [45] 王峥,程锦红,程占红. 中国旅游业碳均衡区域差异及其影响因素[J]. *生态学报*, 2021, 41(20): 8063-8075.
- WANG Zheng, CHENG Jinhong, CHENG Zhanhong. Regional differences and influencing factors of tourism carbon equilibrium in China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, 41(20): 8063-8075.
- [46] 唐承财,查建平,章杰宽,等. 高质量发展下中国旅游业“双碳”目标:评估预测、主要挑战与实现路径[J]. *中国生态旅游*, 2021, 11(4): 471-497.
- TANG Chengcai, ZHA Jianping, ZHANG Jiekuan, et al. Dual-carbon goal of China's tourism industry under high-quality development: evaluation & prediction, major challenges and realization path[J]. *Journal of Chinese Ecotourism*, 2021, 11(4): 471-497.
- [47] 汪清蓉,谢飞龙. 城市旅游业CO₂排放态势及旅游业低碳化发展模式[J]. *旅游学刊*, 2014, 29(8): 98-109.
- WANG Qingrong, XIE Feilong. Urban tourism situation analysis on CO₂ emissions and future low carbon scenarios based on decoupling theory and kaya identities[J]. *Tourism Tribune*, 2014, 29(8): 98-109.
- [48] 杜之利,苏彤,葛佳敏,等. 碳中和背景下的森林碳汇及其空间溢出效应[J]. *经济研究*, 2021, 56(12): 187-202.
- DU Zhili, SU Tong, GE Jiamin, et al. Towards the carbon neutrality: the role of carbon sink and its spatial spillover effects[J]. *Economic Research Journal*, 2021, 56(12): 187-202.
- [49] 黄美忠,黄晓坤. 长三角城市群旅游业碳排放脱钩效应测度与空间分异[J]. *中南林业科技大学学报*, 2022, 42(5): 170-180.
- HUANG Meizhong, HUANG Xiaokun. Measurement and spatial differentiation of decoupling effect of tourism carbon emissions in Yangtze River Delta urban agglomeration[J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2022, 42(5): 170-180.

(责任编辑 周 蓓)