DOI: 10.20103/j.stxb.202302010169

王立国,朱海,叶炎婷,贺焱,宋薇.中国省域旅游业碳中和时空分异与模拟.生态学报,2024,44(2):625-636.

Wang L G, Zhu H, Ye Y T, He Y, Song W.Spatio-temporal differentiation and simulation of provincial tourism carbon neutrality in China.Acta Ecologica Sinica,2024,44(2):625-636.

中国省域旅游业碳中和时空分异与模拟

王立国[1,2],朱 海[1,2,*],叶炎婷[1,2],贺 焱[1,2],宋 薇[1,2]

1 江西农业大学 国土资源与环境学院/乡村旅游发展研究中心,南昌 330045

2 南昌市乡村旅游发展研究中心, 南昌 330045

摘要:旅游业碳中和的实现对于旅游业的绿色高质量发展和可持续发展至关重要。基于全国尺度以 30 个省份为分析单元,在承接团队前期关于旅游业碳达峰研究成果的基础上,借助土地利用数据、碳吸收系数和灰色预测模型分别测算与模拟了近 20 年和未来 40 年各省旅游业碳汇,通过旅游业碳中和指数反映旅游业碳排放和旅游业碳汇之间的动态变化,并利用空间自相关探索旅游业碳中和指数的时空差异。结果表明:(1)未来 40 年,我国省域旅游业碳汇总体呈现出"南北高,中间低"的空间分布特征,大多数省份的旅游业碳汇不断增长。东北部地区和长江流域以南各地区的旅游业碳汇较为富余,华东地区的山东、江苏和上海等省份的旅游业碳汇则相对匮乏。(2)不同情景中,低碳情景下的旅游业碳中和实现情况最好,有云南、四川和青海等7 个省份在 2060 年之前实现了旅游业碳中和,而中等情景和基准情景下均仅有黑龙江和云南 2 个省份能够如期或提前实现。其中,西部和北部沿边省份的旅游业碳中和实现情况都要优于其它地区。(3)各省旅游业碳中和指数在未来 40 年的等级分区大致呈现出从Ⅰ级区逐步向Ⅴ级区转变的趋势,我国总体旅游业碳赤字率由 2030 年的 96.67%逐渐降至 2060 年的76.67%。(4)未来 40 年,我国省域旅游业碳中和指数在空间上总体处于集聚态势,热点和冷点的空间分布特征较为明显,且演化趋势较为稳定。其中,热点区和次热点区主要分布在西北、西南、华南和东北地区,冷点区和次冷点区集中分布在华北、华中和华东地区。研究有效探讨了旅游业碳中和研究的理论与范式,并为中国旅游业碳中和的实现提供了一定的现实参考。

关键词:旅游业;碳中和;多情景模拟;时空演变

Spatio-temporal differentiation and simulation of provincial tourism carbon neutrality in China

WANG Liguo[1,2], ZHU Hai[1,2,*], YE Yanting[1,2], HE Yan[1,2], SONG Wei[1,2]

1 *School of Land Resources and Environment, Jiangxi Agricultural University/Rural Tourism Development Research Center, Nanchang* 330045, *China*

2 *Nanchang Rural Tourism Development Research Center, Nanchang* 330045, *China*

Abstract: Achievement of tourism carbon neutrality is crucial to the green and high-quality development and sustainability of tourism. This paper takes 30 provinces as the unit of analysis at the national scale. We measure and simulate the tourism carbon sinks of each province in the last 20 years and the next 40 years with the land use data, carbon absorption coefficients and gray prediction models. The dynamic changes between tourism carbon emissions and tourism carbon sinks are analyzed through the tourism carbon neutrality index, and the spatial and temporal differences of the tourism carbon neutrality index are explored by using spatial autocorrelation. The results show that: (1) in the next 40 years, the Chinese provincial tourism carbon sinks show a spatial distribution characteristic of high in the north and low in the middle, and most provincial tourism carbon sinks will be growing. The tourism carbon sinks in the northeastern region and the south

基金项目:国家自然科学基金项目(42261038);教育部人文社科规划项目(21YJAZH085)

收稿日期:2023-02-01; **网络出版日期**:2023-10-20

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: 935427446@qq.com

#限于数据的可获取性,本研究尚未统计到中国港澳台地区数据。

regions of the Yangtze River Basin are relatively abundant, while those in Shandong, Jiangsu and Shanghai in eastern China are relatively scarce. (2) Among different scenarios, the low-carbon scenario has the best achievement of tourism carbon neutrality, with seven provinces, including Yunnan, Sichuan and Qinghai, before 2060. Only two provinces, Heilongjiang and Yunnan, achieve tourism carbon neutrality on time or ahead of schedule in both the medium and baseline scenarios. In all scenarios, the western and northern border provinces achieve tourism carbon neutrality better than other regions. (3) The tourism carbon neutrality index of each province in the next 40 years roughly shows a gradual shift from Class I to Class V zones, and the overall tourism carbon deficit rate of China will gradually decrease from 96.67% in 2030 to 76.67% in 2060. (4) In the next 40 years, the provincial tourism carbon neutrality index is generally in a spatial clustering situation, and the spatial distribution characteristics of hot spots and cold spots are more obvious, and the evolution trend is more stable. Among them, hot spots and sub-hot spots are mainly distributed in Northwest, Southwest, South, and Northeast China, while cold spots and sub-cold spots are concentrated in North China, Central China and East China. This paper effectively explores the theory and paradigm of tourism carbon neutrality research, and provides some realistic references for achieving China's tourism carbon neutrality.

Key Words: tourism; carbon neutrality; multi-scenario simulation; temporal and spatial evolution

2030 年、2060 年是我国明确提出的碳达峰、碳中和目标年,目标的提出与实现不仅能够顺应世界低碳发展的时代潮流,更能推动我国经济社会的高质量和可持续发展。由此,各行各业都在致力于完成这一重大目标。旅游业作为我国重要的战略性支柱产业,在 2019 年对我国国内生产总值(GDP)的综合贡献达到 10.94 万亿元,占其总量的 11.05%[1],对“双碳”目标的实现具有不可或缺的作用[2]。同时,旅游业作为一个产业集群,实现高质量和可持续发展是旅游业在新阶段发展的现实需要[3],而“双碳”目标正是旅游业实现高质量和可持续发展的助推器[4]。另外,政府部门关于旅游业“双碳”目标的顶层设计会对行业绿色低碳化的发展方向和步骤起到关键的引导作用[5]。因此,在“双碳”目标下,模拟旅游业碳排放与旅游业碳汇的动态变化和探索旅游业实现碳达峰、碳中和的时空差异将对全国及各地区制定旅游业“双碳”目标的行动方案或相关政策提供决策依据与参考。

回顾以往的研究发现,近年来,学者们开始反思旅游发展对生态环境所造成的负面影响,逐渐以“低碳旅游”为视角展开关于旅游业碳相关的研究。首先是对低碳旅游进行概念的界定,多数学者认为低碳旅游是由低碳经济[6]、循环经济[7]等衍生而来,具体表现为以低碳发展理念为指导[8],通过对旅游资源的高效利用和循环利用,实现旅游业的可持续发展。同时,学者们开始以低碳旅游为衡量标准对景区[9]、地区[10]、国家[11]等不同尺度的旅游发展水平进行测度,并提出低碳旅游的实现路径[6,11]。其中,测度的内容主要就包括旅游业碳排放和旅游业碳汇。在碳排放测度方面,多数研究主要采用“自上而下”[12]和“自下而上”[10]两类方式对旅游业碳排放进行测算;在碳汇测度方面,现有研究则主要是以旅游业对经济的贡献率作为系数,从生态系统碳吸收[10]和森林碳汇[13]等碳汇主体中剥离得到旅游业碳汇。另外,旅游业碳排放与旅游业碳汇的影响因素也逐渐成为研究热点。多数学者通过对数平均迪式分解法(LMDI)[14—15]、可拓展的随机性的环境影响评估模型(STIRPAT)[16]、面板数据模型[17]等方法来探究旅游业碳排放的影响因素,普遍认为旅游人数[18—19]、旅游收入[15,20]、旅游业碳排放强度[16,21]等是其主要影响因素,而少量学者则从碳补偿[22]、碳均衡[10]的角度对旅游业碳汇的影响因素展开探讨。

随着“双碳”目标的提出,学者们逐渐展开关于旅游业碳达峰与碳中和的探索研究,主要集中在两方面,一是对旅游业与“双碳”目标间关系的探讨,如郭强等[23]分析了“双碳”目标与旅游价值间的共创关系;吴承照等[24]界定了“双碳”目标下旅游业环境责任的范畴与主体,并提出相应的机制建设和落实途径。二是对旅游业“双碳”目标实现路径的构建,如任洁[4]在明确“双碳”目标下旅游业高质量发展价值重塑的基础上,构建旅游业高质量发展实施路径;田里等[5]明晰了碳中和下中国旅游业发展的战略转向,提出三条旅游业碳中和

的路径选择。此外,相比于全行业[25]或其他行业[26—27]来说,针对旅游业“双碳”目标的预测研究较少,已有研究更多聚焦于国家整体尺度[28—29]和省域尺度[30—31]下对旅游业碳达峰的预测。虽有部分学者以单个省份[32]为研究单元对旅游业碳中和进行探索,但难以体现旅游业碳中和在地区间的时空分异特征。

鉴于此,本文以 30 个省份为分析单元,在承接团队前期关于旅游业碳达峰研究成果的基础上,借助土地利用与碳吸收系数测算近 20 年各省旅游业碳汇,采用灰色预测模型模拟未来 40 年各省旅游业碳汇的变化情况,通过旅游业碳中和指数反映旅游业碳排放和旅游业碳汇之间的动态变化,利用空间自相关探索旅游业碳中和指数的时空差异,以期为衡量地区旅游业绿色低碳化发展提供测度工具,并为各省制定旅游业“双碳”目标行动方案提供借鉴与参考。

1　研究方法与数据来源

1.1　研究方法

1.1.1　旅游业碳排放测算与模拟

碳达峰与碳中和是相互关联的两个阶段[28],前者是后者的前提条件,后者是前者的最终目的。因此,旅游业碳达峰的达成时间与峰值高度是探讨旅游业碳中和实现情况的基础。旅游业碳达峰的探索主要包括对历史时期旅游业碳排放的测算和未来时期旅游业碳排放的模拟。

本文对于旅游业碳排放的测算与模拟参考本团队前期的研究成果[30]。测算方面,采用“自上而下”法[17],先借助剥离系数(旅游收入占第三产业产值的比重)从旅游相关产业能源终端消费量中剥离得到旅游业能源终端消费量,再通过能源的标准煤转换系数计算、加总得到旅游业碳排放。模拟方面,以旅游人数、旅游收入、旅游业碳排放强度和旅游业投资额作为模拟指标,充分参考国家与省域的“十四五”规划等相关内容,基于 STIRPAT 模型对 2020—2060 年旅游业碳排放的变化情况进行情景模拟。其中,情景类型包括基准情景、中度情景和低碳情景,所对应的旅游业碳排放强度年均变动率分别为-2.50%、-3.50%和-4.50%。具体模型和其余指标设定详见文献[30]。

1.1.2　旅游业碳汇测算与模拟

(1)旅游业碳汇的测算

土地是陆地生态系统碳源与碳汇的自然空间载体,其利用情况的变化会引起碳排放与碳吸收的变化[33]。同时,土地利用变化与旅游业发展密切相关,两者之间存在双向作用关系[34],一方面,土地作为旅游业发展的基础资源和重要载体,其利用结构和空间布局的变化将会对旅游业发展的环境条件、转型规划以及业态类型等产生显著的影响[35];另一方面,旅游业作为一种综合性产业,具有明显的外部性特征,其发展会对土地利用变化与利用效率产生直接或间接的影响[36]。

由于现阶段尚未形成关于旅游业碳汇的直接统计数据,故本文选择以土地利用数据为基础,对旅游业碳汇展开测算,具体借鉴王峥等[12]的研究方式,首先将各种土地利用类型的面积与其对应的碳吸收系数相结合,测算得到各省总体碳汇,而后通过剥离系数法,从各省总体碳汇中将旅游业碳汇剥离出来。

在土地利用数据中,建设用地一般作为碳源[33];耕地的碳汇主要来自于农作物,但存在时间较短,碳汇功能不明显[37]。因此,本文主要测算林地、草地、水体和未利用地四种地类的碳汇,具体计算公式如下:

$$CS = \sum S_{lut} \times \varphi_{lut} \tag{1}$$

式中,CS 为总体碳汇;lut 为土地利用类型,lut=1,2,3 和 4,分别对应林地、草地、水体和未利用地;S_{lut} 为第 lut 种土地利用类型的面积;φ_{lut} 为第 lut 种土地利用类型的碳吸收系数,具体碳吸收系数值见表 1。总体碳汇量取公式(1)计算结果的绝对值。

如前述所言,旅游业作为综合性产业,其碳汇主体具有不确定性[41],科学界定旅游业碳汇的范围是对其展开测算的基础。同时,在缺乏相关直接统计数据的前提下,剥离系数的选取就成为精确测算旅游业碳汇的关键。在以往的研究中,蔡萌和汪宇明[42]认为旅游地的自然碳汇机制能够吸收与储存旅游活动所产生的碳

排放,实现旅游地的碳中和,并形成区域性的碳汇源地;马勇和江函哲[2]认为林地、草地、湖泊等旅游资源不仅是旅游吸引物,同样也是碳汇生产地。据此,本文将旅游业碳汇的测算范围界定为总体碳汇中与旅游相关的碳汇,即旅游地生态系统的碳汇,具体表现为旅游地植被所产生的碳汇。同时,由于森林公园、自然保护区和国家级风景名胜区是我国重要的旅游地,拥有丰富且优质的旅游资源,对旅游业的发展和旅游业碳汇的积攒具有显著影响[32],故本文将剥离系数明确为森林公园、自然保护区和国家级风景名胜区这三类为主体的旅游地面积占国土面积的比例。具体计算公式如下:

$$TCS = CS \times \omega \tag{2}$$

式中,TCS 为旅游业碳汇; ω 为旅游地面积占国土面积的比例。

表 1 土地利用类型的碳吸收系数

Table 1 Carbon absorption coefficient of land use types

土地利用类型 Land use types	碳吸收系数 Carbon absorption coefficient/(t/hm^2)	参考依据 Reference
林地 Woodland	-5.502	魏燕茹和陈松林[38]
草地 Grassland	-0.021	冯杰和王涛[39]
水体 Waters	-0.253	魏燕茹和陈松林[38]
未利用地 Unused land	-0.005	苑韶峰和唐奕钰[40]

(2)旅游业碳汇的模拟

对未来旅游业碳汇的模拟主要基于土地利用情况和旅游地面积变化两因素,而这两因素的长期变化会受到社会经济发展、地区人口增减、自然环境演变等诸多复杂的外界因素影响,导致对其的长期模拟具有较强的不确定性[26,43]。因此,本文选择采用 GM(1,1)灰色预测模型对各省旅游业碳汇进行模拟,以期得到较为精确的预测结果。具体是对各省总体碳汇和旅游地面积占国土面积的比例分别采用 GM(1,1)灰色预测模型进行模拟后,进一步计算得到各省未来旅游业碳汇。

1.1.3 旅游业碳中和指数

旅游业碳中和指数(TCN)是旅游业碳汇与旅游业碳排放的比值,用于表征旅游业实现碳中和的程度,是一种旅游业碳中和的测度工具,可以有效反映两者间的动态变化情况,并度量地区旅游业绿色低碳化发展水平[44]。具体计算公式如下:

$$TCN = \frac{TCS}{TCE} \tag{3}$$

式中,TCN 为旅游业碳中和指数;TCS 为旅游业碳汇;TCE 为旅游业碳排放。当 TCN 小于 1 时,旅游业呈现出碳赤字的状态,旅游业绿色低碳化发展水平较低;当 TCN 等于 1 时,旅游业呈现出碳中和的状态,旅游业绿色低碳化发展水平适中;当 TCN 大于 1 时,旅游业呈现出碳盈余的状态,旅游业绿色低碳化发展水平较高。

1.1.4 空间自相关

本文基于全局和局部的角度,运用探索性空间数据分析方法中的 Moran′s *I* 指数和热点分析(Getis-Ord Gi *)分别对旅游业碳中和指数的空间关联性特征和空间异质性特征进行探索。

Moran′s *I* 指数能够表征要素整体的空间关联性特征[45],在本文当中用于衡量旅游业碳中和指数在空间上的集聚或离散的程度。当 Moran′s *I* 指数值为正值时,表示存在空间正自相关性,旅游业碳中和指数高值或低值的省份在空间上趋于集聚,正值越大则相关性越大,集聚效应越明显;当 Moran′s *I* 指数值为负值时,表示存在空间负自相关性,相邻省份之间的旅游业碳中和指数存在显著差异,负值越小则相关性越大,离散效应越明显;当 Moran′s *I* 指数值为 0 时,则表示旅游业碳中和指数在空间上随机分布,无集聚或离散特征。另外,本文进一步通过计算 *Z* 得分和 *P* 值对 Moran′s *I* 指数的显著性进行评估。

热点分析可以反映要素局部的空间异质性特征,在本文当中用于测量旅游业碳中和指数的高值(热点)和低值(冷点)在空间上的密集程度。根据该方法的分析结果,能够得到热点区域和冷点区域在空间上发生集聚的位置[46],并识别具有显著统计学意义的热点和冷点。以上两种方法的具体计算方式与万华伟等[47]的方式基本一致,在此不再赘述。

1.2　数据来源

由于数据可获得性限制,本文未对中国港、澳、台及西藏地区的数据进行统计,以其余 30 个省份作为研究对象。土地利用变化会影响碳排放与碳吸收,并与旅游业发展相互影响,本文所涉及的土地利用基础数据来源于 PIE-Engine 遥感云服务平台,基础数据精度为 30m,共包含农田、森林、灌木、草地、水体、冰雪、荒地、不透水、湿地九大土地利用类型。为便于省域尺度的计算,本文运用 ArcGIS 软件对基础数据进行分类合并处理,最终确定耕地、林地、草地、水体、建设用地和未利用地六大土地利用类型。在计算剥离系数时,本文主要使用了自然保护区、森林公园、国家级风景名胜区以及各省域的面积。其中,自然保护区和森林公园面积的统计数据来源于《中国林业和草原统计年鉴》,由于 2000 年自然保护区面积的统计数据缺失,故本文未对 2000 年各省旅游业碳汇进行测算;国家级风景名胜区面积的统计数据来源于《中国城市建设统计年鉴》;各省国土面积的统计数据来源于各省政府网站所公开发布的数据。

2　结果分析

2.1　旅游业碳排放和旅游业碳汇的测算与模拟结果分析

从本团队前期的研究成果[30]发现,三种情景下的旅游业碳排放都整体呈现出由上升到下降的变化趋势,但不同情景下的上升周期和峰值高度有所不同。其中,低碳情景下的上升周期最短,峰值高度最低;中等情景下的上升周期和峰值高度均为适中;基准情景下的上升周期最长,峰值高度最高。总体而言,低碳情景下有江苏等 18 个省份在 2030 年或之前实现了旅游业碳达峰;中等情景下有河北等 4 个省份实现;基准情景下无省份实现。

本文基于土地利用数据,借助地区旅游地面积占国土面积的比例对各省近 20 年的旅游业碳汇进行测算,并通过灰色预测模型对各省未来 40 年的旅游业碳汇进行模拟。为更好地在横向上比较各省旅游业碳汇的空间格局和在纵向上比较旅游业碳汇的时空变化,本文利用自然间断点分类法将 2019 年各省旅游业碳汇的测算结果分为 5 类,即碳汇Ⅰ—Ⅴ级区,由低到高表征旅游业碳汇量,并以此为标准对其余年份的结果进行分类(图 1)。

由图 1 可知,未来 40 年,我国省域旅游业碳汇总体呈现出“南北高,中间低”的空间分布特征,大多数省份的旅游业碳汇等级从Ⅰ级不断向Ⅴ级区过渡。旅游业碳汇Ⅳ级和Ⅴ级区较多分布在东北部地区和长江流域以南的各地区,而旅游业碳汇Ⅰ级和Ⅱ级区则主要分布在华东地区的偏北部地带,尤其是山东、江苏和上海三个省份长期处于旅游业碳汇Ⅰ级区,这些省份作为我国重要的经济大省,土地利用程度和城镇化水平较高,加之相对较小的省域面积,所产生的旅游业碳汇十分微弱,这将对未来旅游业碳中和的实现造成一定的劣势。

2.2　旅游业碳中和的实现情况分析

本文综合未来 40 年旅游业碳排放和旅游业碳汇的模拟结果,得到不同情景下各省旅游业碳中和的实现情况。同时,为全面比较不同情景下各省旅游业碳中和实现情况的差异,本文对 2060 年不同情景下各省旅游业碳盈亏量进行了统计(表 2)。由结果可知,在基准情景下,有黑龙江和云南 2 个省份在研究期内实现了旅游业碳中和,具体实现时间分别为 2020 年和 2058 年,其余省份均未能在 2060 年之前实现旅游业碳中和。

在中等情景下,同样也只有黑龙江和云南 2 个省份在研究期内达成了旅游业碳中和目标,具体实现时间分别为 2020 年和 2046 年。但有所不同的是,与基准情景相比,黑龙江在 2060 年的旅游业碳盈亏量提高了 53.90%;云南旅游业碳中和的实现时间提前了 12 年。

在低碳情景下,有黑龙江、云南、四川、青海、内蒙古、海南和湖南等多达 7 个省份在研究期内实现了旅游

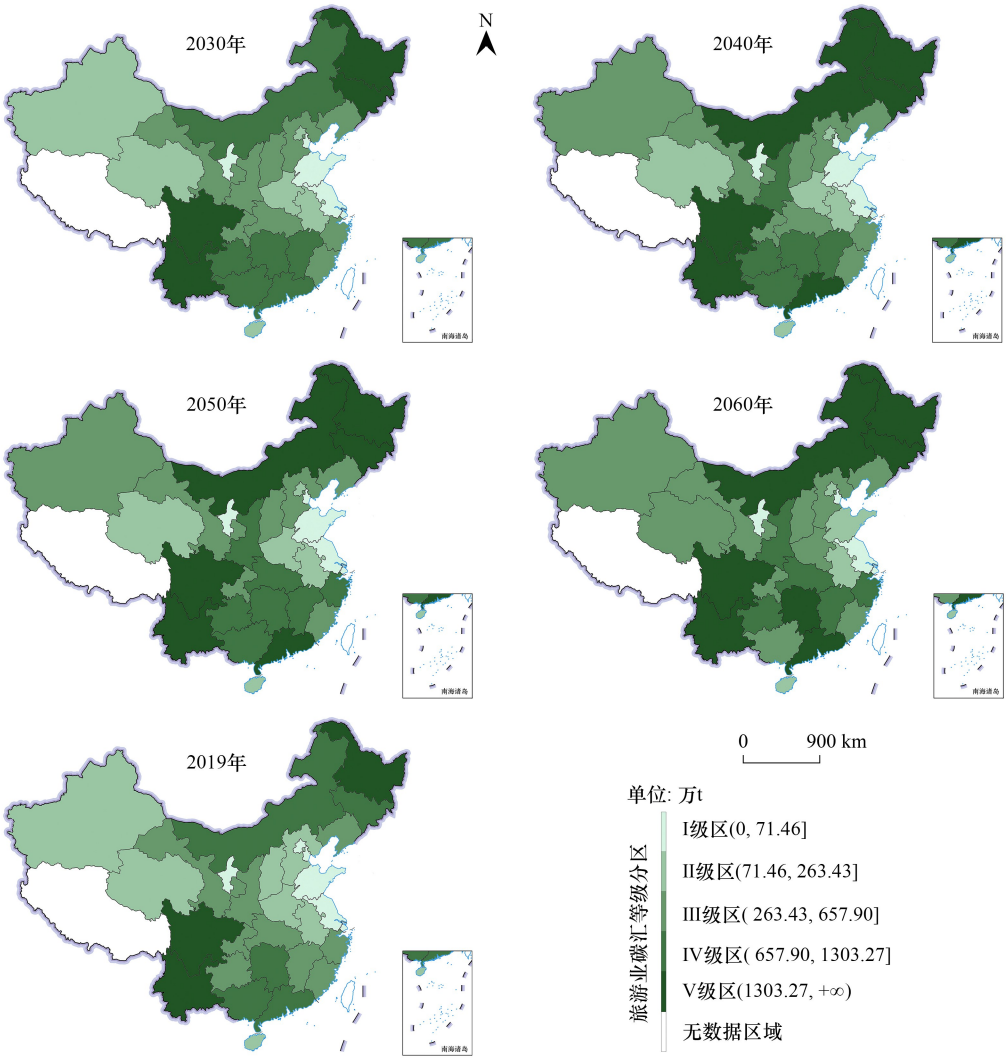


图 1 基期年及未来 40 年各省旅游业碳汇变化趋势图

Fig.1 Trend chart of tourism carbon sequestration of provinces in base year and future 40 years

业碳中和,具体实现时间分别为 2020 年、2039 年、2051 年、2052 年、2052 年、2056 年和 2058 年。其中,相比于中等情景,黑龙江在 2060 年的旅游业碳盈亏量进一步提高了 24.95%;云南旅游业碳中和的实现时间再次提前了 7 年。

值得注意的是,在低碳情景下仍有 23 个省份未能在研究期内实现旅游业碳中和。为此,本文基于自身减排的角度,采用“倒逼”的方式,以在 2060 年实现旅游业碳中和为目标,倒推这些省份具体所需达到的旅游业碳排放强度约束程度(表 2)。由表 2 可知,各省所需采取的旅游业碳排放强度年均变动率差异明显。相较而言,在 2060 年实现旅游业碳中和的目标下,东部各省可能面临着更为严苛的减排形势。其中,北京、江苏和山东等 5 个省份的年均变动率达到-10%以上,天津和上海更是高达-25%以上。

2.3 旅游业碳中和指数的时空演变分析

综合不同情景下各省旅游业碳中和的实现结果,结合我国“双碳”目标背景,本文选取低碳情景下各省旅游业碳排放与旅游业碳汇的模拟结果,进一步计算得到未来 40 年各省旅游业碳中和指数。为更好的反映各省旅游业碳排放与旅游业碳汇之间的动态变化,根据旅游业碳中和指数的定义,结合近 20 年各省旅游业碳中和指数具体值,本文将旅游业碳中和指数从低到高分为 5 个值域范围,具体为(0,0.5)、[0.5,1)、[1]、(1,1.48]、

(1.48,+∞),其中 1.48 为 2001—2019 年逐年各省旅游业碳中和指数的均值的平均值。由此,对应设定 5 级旅游业碳中和指数区,即旅游业碳中和指数Ⅰ—Ⅴ级区,由低到高表征旅游业绿色低碳化发展水平(图 2)。

表 2　2060 年不同情景下各省旅游业碳盈亏量及“倒逼”方式下的约束程度

Table 2　The tourism carbon surplus and deficit by province in 2060 under different scenarios and the degree of constraint under the “push-back” approach

省份 Provinces	基准情景下碳盈亏量 Carbon profit and loss in baseline scenario/万 t	中等情景下碳盈亏量 Carbon profit and loss in medium scenario/万 t	低碳情景下碳盈亏量 Carbon profit and loss in low carbon scenario/万 t	“倒逼”方式下旅游业碳排放强度年均变动率 Annual average rate of change in tourism carbon intensity under the “reverse push” approach/%
安徽	-1880.82	-1228.65	-782.46	-9.20
北京	-1681.13	-1240.78	-902.91	-11.20
重庆	-1195.83	-706.97	-359.04	-6.20
福建	-1150.71	-674.19	-323.48	-5.90
广东	-3544.84	-2384.12	-1451.31	-6.80
甘肃	-775.34	-534.76	-334.74	-6.80
广西	-3101.54	-2453.10	-1912.37	-11.50
贵州	-8742.98	-6191.51	-4291.96	-9.80
海南	-176.16	-55.62	32.47	/
河北	-1631.26	-930.51	-445.97	-6.00
河南	-2542.00	-1612.26	-982.07	-8.20
黑龙江	1961.59	3018.92	3772.09	/
湖北	-2759.77	-1767.15	-1047.04	-7.10
湖南	-1408.74	-510.10	110.75	/
吉林	-2351.62	-1652.60	-1070.44	-7.10
江苏	-2642.63	-1827.18	-1257.06	-15.70
江西	-1437.23	-661.57	-105.98	-4.80
辽宁	-2296.16	-1416.38	-797.35	-6.80
内蒙古	-1275.40	-321.34	332.51	/
宁夏	-168.53	-124.88	-91.48	-11.90
青海	-219.26	-55.69	53.37	/
四川	-2017.60	-646.43	421.41	/
山东	-3316.16	-2230.58	-1486.60	-12.10
上海	-4178.83	-3134.71	-2344.38	-28.10
山西	-3335.58	-2061.44	-1207.67	-7.70
陕西	-1549.16	-748.57	-201.29	-5.00
天津	-755.61	-595.51	-468.10	-25.50
新疆	-1149.94	-629.28	-270.48	-5.70
云南	139.91	1248.30	2002.14	/
浙江	-1753.57	-1084.57	-589.87	-6.40

基准情景、中等情景和低碳情景中的负值代表碳亏损量,正值代表碳盈余量

由图 2 可知,2030 年作为国家既定的碳达峰目标年,绝大多数省份在当年属于旅游业碳中和指数Ⅰ级区或Ⅱ级区,形成了稳定的空间分布格局。其中,Ⅰ级区集中分布在东、中部地区,Ⅱ级区主要分布在西部地区。在这一时期,我国总体旅游业碳中和指数小于 1,表明我国总体处于旅游业碳赤字的状态,碳赤字率高达 96.67%,旅游业碳排放仍然处于高速增长,旅游业绿色低碳化发展水平较低,对生态环境造成了极大压力。

随着时间序列的推移,各省大致呈现出从旅游业碳中和指数Ⅰ级区逐步向Ⅴ级区转变的趋势,我国总体旅游业碳赤字率逐渐降低,在 2060 年降至 76.67%。同时,伴随着Ⅳ级区和Ⅴ级区的出现与数量增长,稳定的

旅游业碳中和指数空间分布格局被逐渐打破。其中,在初期主要分布在西部地区的Ⅱ级区开始被Ⅳ级区所取代,而集中分布在东、中部地区的Ⅰ级区则逐渐被Ⅱ级区所代替。具体省份而言,云南在2050年成为Ⅴ级区,黑龙江则长期处于Ⅴ级区,表明这2个省份的旅游业低碳化发展水平较高,率先实现了旅游业碳中和,并且持续保持着旅游业碳盈余的状态。

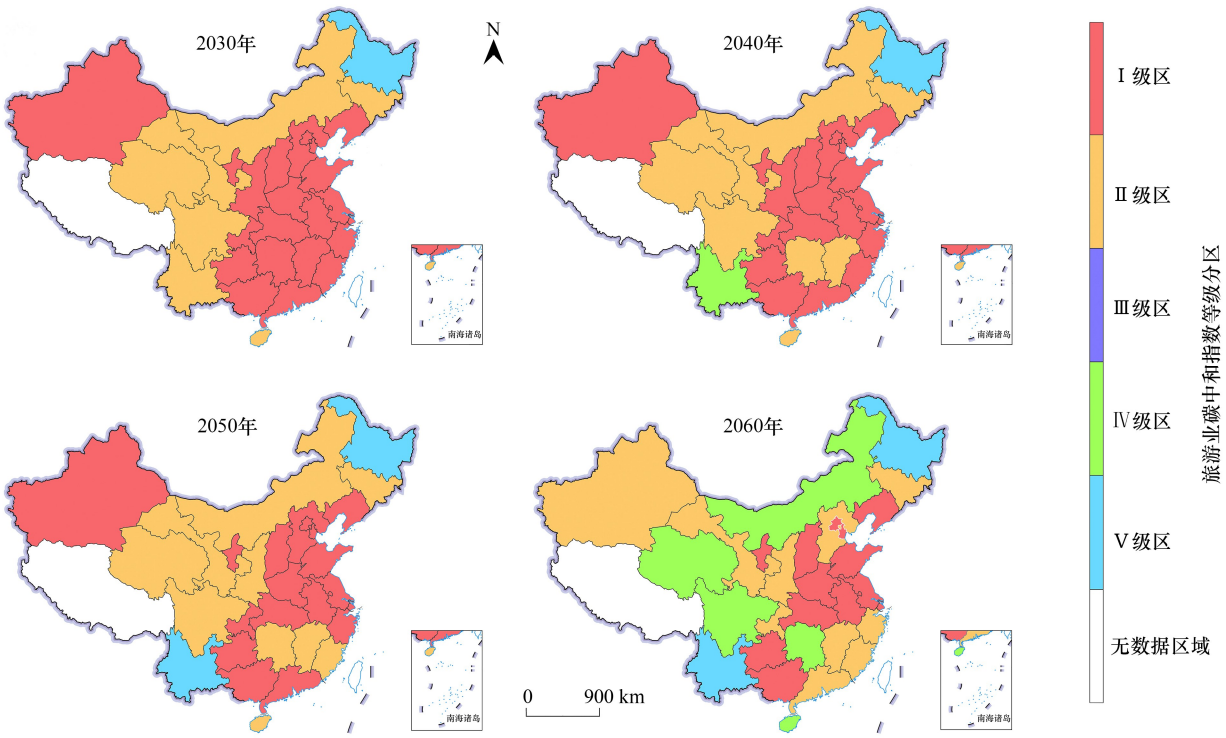


图2 未来40年各省旅游业碳中和指数分级图

Fig.2 Classification map of provincial tourism carbon neutrality index in the next 40 years

2.4 旅游业碳中和指数的空间自相关分析

本文利用ArcGIS 10.8软件对低碳情景下各省旅游业碳中和指数进行空间自相关分析,得出各年份的Moran′s *I*指数及显著性水平检测值(*Z*得分和*P*值)。从分析结果可知(表3),研究期内,我国省域旅游业碳中和指数存在着空间正自相关性,各年份的Moran′s *I*指数值均为正值,且均通过*P*值小于0.05与*Z*得分大于1.96的显著性水平检验。这表明省际间旅游业碳中和指数存在着较为显著的空间正自相关性,整体呈现出“高高集聚”或“低低集聚”。随着时间序列的推进,Moran′s *I*指数在未来40年呈现出下降的趋势,表明我国省域旅游业碳中和指数的空间正自相关性有所减弱,高值区域与低值区域在空间上逐渐出现“渗透”现象,但在总体上依然处于集聚态势。

表3 旅游业碳中和指数的Moran′s *I*指数

Table 3 Moran′s *I* index of tourism carbon neutrality index

参数 Parameters	2030年	2040年	2050年	2060年
Moran′s *I*指数 Moran′s *I* index	0.197351	0.179025	0.157498	0.133161
*Z*得分 *Z* score	3.470877	3.174900	2.800833	2.388539
*P*值 *P* value	0.000519	0.001499	0.005097	0.016916

为进一步探索在空间上产生集聚效应的具体位置,以及识别我国省域旅游业碳中和指数空间分布的热点区域和冷点区域,本文利用ArcGIS 10.8软件对低碳情景下的旅游业碳中和指数进行热点分析,并按照自然间

断点分级法将分析结果从高到低依次划分为热点区、次热点区、次冷点区以及冷点区 4 个等级区,得到我国省域旅游业碳中和指数热点演化图(图 3)。

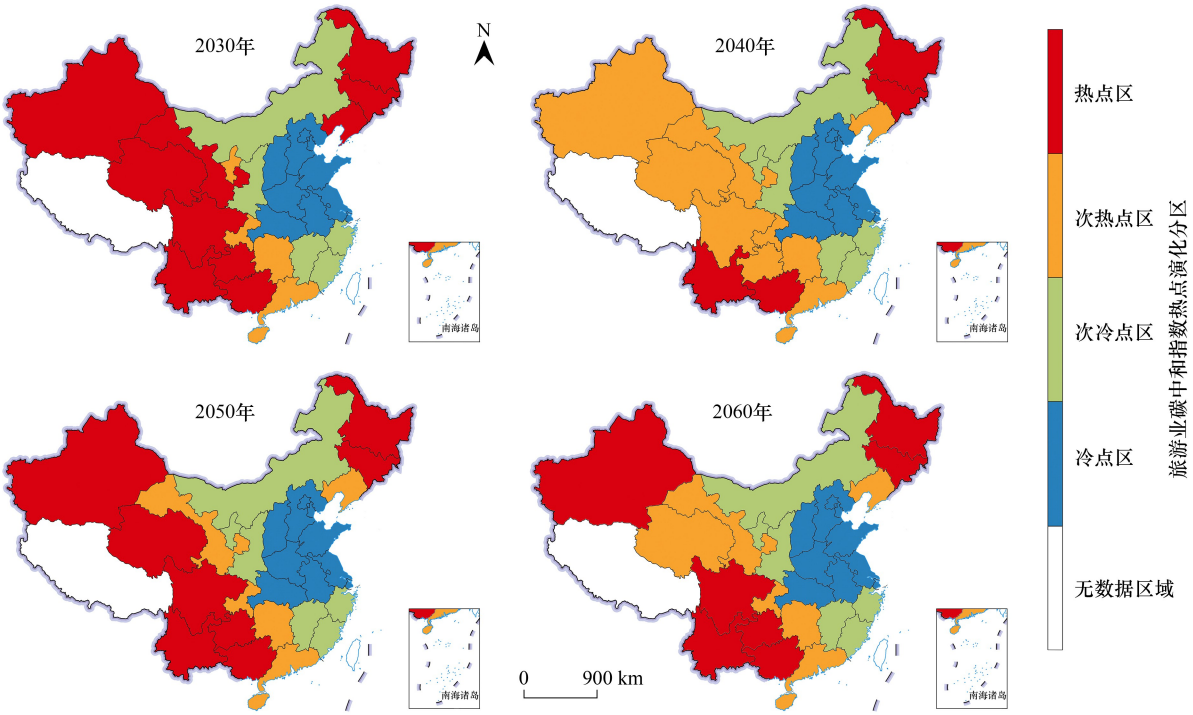


图 3　旅游业碳中和指数热点演化图

Fig.3　Hotspot evolution of the tourism carbon neutrality index

从空间结构来看,未来 40 年,我国省域旅游业碳中和指数热点演化形成了稳定的总体空间格局,热点和冷点的空间分布特征较为明显。具体而言,热点区和次热点区主要分布在西北、西南、华南和东北地区,冷点区和次冷点区集中分布在华北、华中和华东地区。其中,云南、广西、黑龙江和吉林为相对稳定的热点区;北京、天津、河北、山西、山东、河南、湖北、安徽、江苏和上海为相对稳定的冷点区。

从等级变化来看,未来 40 年,热点区和次热点区的比重形成了“此消彼长”的变化态势,次冷点区的比重出现了小幅变化,而冷点区的比重长期保持稳定。具体而言,热点区的比重由 2030 年的 33.33%迅速下降到 2040 的 13.33%,再快速增长至 2050 年的 26.67%,随后又小幅降至 2060 年的 23.33%;次热点区的比重变化趋势与热点区相反,由 2030 年的 16.17%快速增长至 2040 年的 33.33%,再迅速下降到 2050 年的 20.00%,随后又小幅增至 2060 年的 23.33%;次冷点区的比重在 2030 年为 16.67%,随后一直保持在 20.00%;冷点区的比重则长期稳定在 33.33%。研究期内,有 23 个省份未发生等级区的变化,占总数的 76.67%,表明未来 40 年我国省域旅游业碳中和指数的热点演化趋势较为稳定,高值区域与低值区域的分布范围相对固定。

3　讨论

(1)旅游业碳中和的实现需要其他服务行业的支持。本文在综合不同情景下各省旅游业碳中和的实现情况后发现,即使是在低碳情景下,也仅有黑龙江、四川和湖南等 7 个省份能够在 2060 年之前实现旅游业碳中和。与其他行业,如农业[27]相比,我国整体旅游业实现碳中和的难度可能更大。究其原因,相较于农业等其他行业来说,旅游业作为一个以消费为主的综合性产业,涉及到饮食、出行和购物等众多领域,对能源的需求与消耗更大,随之产生的碳排放也更多。因此,政府在制定旅游业碳中和的相关政策时,要注重加强与餐饮行业、交通行业以及住宿行业等其他服务行业的联系,必要时可以协同拟定整体服务业的碳中和行动方案,以

促进旅游业与其他服务行业共同实现碳中和目标。

(2)旅游业碳中和与碳达峰的优先实现地区存在明显不一致。研究发现,西部和东北部地区省份实现旅游业碳中和的时间要早于其他地区,这与中、东部地区省份率先实现旅游业碳达峰的这一前期研究结果有所不同[30]。可能的原因是,西部和东北部地区省份的省域面积广阔,城镇化水平要落后于东、中部省份,人地矛盾较小,更为原生态的自然环境为当地提供了丰富而优质的碳汇资源。其次,与旅游业发达的东、中部地区相比,西部地区的旅游业发展起步晚,旅游开发相对滞后,同时与京津冀、长三角和珠三角等我国重要客源市场的距离较远,旅游活动相对稀少,随之产生的碳排放也相对较小,进而更易实现旅游业碳中和。此外,值得一提的是,通过参考尹旭等[48]的研究,本文发现旅游业碳汇相对较低的地区与人口密度相对较高的地区基本吻合,大致分布在华北平原和长江中下游平原,主要包括山东、河南、江苏、安徽、上海等省份。究其原因,是因为人口密度较高的地区对人类生存和发展的空间需求往往更大,进而挤压植被的生存空间,破坏当地的自然碳汇机制,导致碳汇资源的匮乏。因此,对于东、中部地区的省份而言,应当在满足旅游者旅游需求和旅游业发展需求的基础上,全面提高旅游地的土地集约化利用水平,合理扩大旅游地的林草面积,增加旅游地的绿地空间,以提升旅游地的碳汇能力,推动旅游业碳中和的实现。

(3)强化自身减排能力以实现旅游业碳中和要做到因地制宜。文中研究发现,在低碳情景下,仍有 23 个省份未能按期实现旅游业碳中和。为此,本文采用“倒逼”的方式,验证了这些省份在 2060 年实现旅游业碳中和所需达到的旅游业碳排放强度约束程度。就验证结果而言,各省之间的约束程度差别很大,如江西、福建和新疆等省份仅需要小幅提高约束程度,即可顺利实现旅游业碳中和;而对于江苏、天津和上海等省份则需要极大提高约束程度,才能确保按期实现旅游业碳中和。通过自身采取更为严苛的节能减排政策固然能够有效抑制旅游业碳排放的增长[25,30],但对于北京、天津和上海等,这种集旅游目的地、旅游客源地和旅游集散地于一体省份来说,可能会极大限制其旅游业的发展。因此,对于省域面积较大或林草资源丰富的省份,应鼓励通过提高自身减排能力和增加自然生态系统碳汇等内部方式来实现旅游业碳中和;对于省域面积较小或林草资源贫乏的省份,尤其是位于华北平原和长江中下游平原的东、中部省份来说,应主动构建旅游业碳汇交易体系,利用碳交易市场拓展碳汇交易渠道,增强区域联动,借助外部方式以实现旅游业碳中和。

本文在承接前期关于旅游业碳达峰研究成果的基础上,对我国省域旅游业碳汇展开了测算与模拟,探索了不同情景下各省旅游业碳中和的实现情况及其时空分异规律,并据此提出相关对策,既对旅游业碳中和研究的理论和范式进行了有效的探讨,也为中国旅游业碳中和的实现提供了一定的现实参考。但作为一种尝试性的研究,本文仍存在一定的不足,如研究更多的侧重于省域尺度。因此,后续可以进行多尺度、多样化的预测研究,如可以市域、县域以及旅游景区等中、小尺度进一步探讨旅游业碳达峰与碳中和的实现特征,以丰富关于旅游业碳达峰与碳中和的预测研究。

4 结论

本文主要得出以下结论:

(1)未来 40 年,我国省域旅游业碳汇总体呈现出“南北高,中间低”的空间分布特征,大多数省份的旅游业碳汇不断增长。东北部地区和长江流域以南各地区的旅游业碳汇较为富余,华东地区的山东、江苏和上海等省份的旅游业碳汇则相对匮乏。

(2)不同情景中,低碳情景下的旅游业碳中和实现情况最好,有云南、四川和青海等 7 个省份在 2060 年之前实现了旅游业碳中和目标,而中等情景和基准情景下均仅有黑龙江和云南 2 个省份能够如期或提前实现。其中,西部和北部沿边省份的旅游业碳中和实现情况都要优于其它地区。

(3)未来 40 年,各省旅游业碳中和指数的等级分区大致呈现出从Ⅰ级区逐步向Ⅴ级区转变的趋势,我国总体旅游业碳赤字率由 2030 年的 96.67%逐渐降至 2060 年的 76.67%。

(4)未来 40 年,我国省域旅游业碳中和指数在空间上总体处于集聚态势,热点和冷点的空间分布特征较

为明显,且演化趋势较为稳定。其中,热点区和次热点区主要分布在西北、西南、华南和东北地区,冷点区和次冷点区集中分布在华北、华中和华东地区。

参考文献(References):

[1] 中国旅游研究院. 2019 年旅游市场基本情况. 北京: 中国旅游研究院, 2020.

[2] 马勇, 江函哲.碳中和下低碳旅游发展模式与提升策略. 旅游学刊, 2022, 37(5): 1-3.

[3] 田红, 赵庆朋.高质量发展下区域旅游生态效率评价及影响因素研究——以山东省为例. 干旱区资源与环境, 2022, 36(12): 201-208.

[4] 任洁."双碳"目标下的旅游业高质量发展. 旅游学刊, 2022, 37(5): 12-13.

[5] 田里, 刘亮.旅游业碳中和战略选择. 旅游学刊, 2022, 37(5): 6-8.

[6] 王谋.低碳旅游概念辨识及其实现途径. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(8): 166-171.

[7] 王立国, Guangyu Wang, 陈美球.基于循环经济的低碳旅游模式构想——以江西省为例. 企业经济, 2017, 36(10): 15-20.

[8] 唐承财, 钟林生, 成升魁.我国低碳旅游的内涵及可持续发展策略研究. 经济地理, 2011, 31(5): 862-867.

[9] Tang C C, Zhong L S, Jiang Q O.Energy efficiency and carbon efficiency of tourism industry in destination. Energy Efficiency, 2018, 11(3): 539-558.

[10] 程占红, 王峥, 马子行.低碳视角下太原市旅游业碳均衡分析. 生态学杂志, 2020, 39(6): 2051-2060.

[11] 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.

[12] 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. 生态学报, 2021, 41(20): 8063-8075.

[13] 涂玮, 刘钦普.基于森林碳汇阈值的江苏省旅游碳排放环境风险评价. 林业资源管理, 2022(1): 86-94.

[14] 陶玉国, 黄震方, 吴丽敏, 余凤龙, 王坤.江苏省区域旅游业碳排放测度及其因素分解. 地理学报, 2014, 69(10): 1438-1448.

[15] Ma H Q, Liu J L, Xi J C.Decoupling and decomposition analysis of carbon emissions in Beijing's tourism traffic. Environment, Development and Sustainability, 2022, 24(4): 5258-5274.

[16] 王凯, 邵海琴, 周婷婷, 刘浩龙.基于 STIRPAT 模型的中国旅游业碳排放影响因素分析. 环境科学学报, 2017, 37(3): 1185-1192.

[17] 黄和平, 乔学忠, 张瑾, 李亚丽, 曾永明.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. 经济地理, 2019, 39(11): 214-224.

[18] Xiong G B, Deng J H, Ding B G. Characteristics, decoupling effect, and driving factors of regional tourism's carbon emissions in China. Environmental Science and Pollution Research International, 2022, 29(31): 47082-47093.

[19] Yuan H, Nie K X, Xu X Y.Relationship between tourism number and air quality by carbon footprint measurement: a case study of Jiuzhaigou Scenic Area. Environmental Science and Pollution Research, 2021, 28(16): 20894-20902.

[20] 章杰宽.旅游与碳排放:全球视角与区域比较. 地理研究, 2022, 41(11): 3088-3104.

[21] 王立国, 廖为明, 黄敏, 邓荣根.基于终端消费的旅游碳足迹测算——以江西省为例. 生态经济, 2011, 27(5): 121-124, 168.

[22] 王立国, 丁晨希, 彭剑峰, 李文明.森林公园旅游经营者碳补偿意愿的影响因素比较. 经济地理, 2020, 40(5): 230-238.

[23] 郭强, 王秋娜."双碳"目标与旅游价值共创. 旅游学刊, 2022, 37(5): 3-5.

[24] 吴承照, 欧阳燕菁."双碳"目标下的旅游业环境责任. 旅游学刊, 2022, 37(5): 8-10.

[25] 刘泽淼, 黄贤金, 卢学鹤, 李升峰, 漆信贤.共享社会经济路径下中国碳中和路径预测. 地理学报, 2022, 77(9): 2189-2201.

[26] 高峰, 律可心, 乔智, 马丰魁, 姜群鸥.青藏高原东缘生态过渡带碳中和评估与预测. 生态学报, 2022, 42(23): 9442-9455.

[27] 赵敏娟, 石锐, 姚柳杨.中国农业碳中和目标分析与实现路径. 农业经济问题, 2022, 43(9): 24-34.

[28] 唐承财, 查建平, 章杰宽, 陶玉国, 王立国, 王露, 韩莹.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. 中国生态旅游, 2021, 11(4): 471-497.

[29] Ma X J, Han M M, Luo J, Song Y Q, Chen R M, Sun X Y.The empirical decomposition and peak path of China's tourism carbon emissions. Environmental Science and Pollution Research, 2021, 28(46): 66448-66463.

[30] 朱海, 王立国, 贺焱, 宋薇, 叶炎婷.多情景下中国省域旅游业碳达峰的时空特征研究. 干旱区资源与环境, 2023, 37(1): 169-176.

[31] Wang L G, Zhu H. Multi-scenario Evolution of Tourism Carbon Emissions in Jiangxi Province under the "Carbon Peak and Neutrality" Target. Journal of Resources and Ecology, 2023, 14(2): 265-275.

[32] 朱海, 王立国.江西省旅游业碳达峰与碳中和研究. 中国生态旅游, 2022, 12(4): 617-631.

[33] 周萍, 陈松林, 李晶, 李晨欣.福建省土地利用变化碳排放时空差异与碳补偿. 水土保持通报, 2022, 42(3): 356-365, 372.

[34] 马晓龙, 金远亮.城市土地利用变化与旅游发展的作用机制研究. 旅游学刊, 2014, 29(4): 87-96.

[35] 罗文斌, 楚雪莲.旅游产业发展与土地利用结构耦合协调演化研究——以国际旅游城市张家界为例. 陕西师范大学学报: 自然科学版, 2023, 51(2): 36-46.

[36] 王兆峰, 汪倩.旅游发展对城市土地利用效率的影响及其空间分异——以长江中游城市群为例. 南京师大学报: 自然科学版, 2022, 45(4): 43-51.
[37] 方精云, 郭兆迪, 朴世龙, 陈安平.1981—2000 年中国陆地植被碳汇的估算. 中国科学: D 辑: 地球科学, 2007, 37(6): 804-812.
[38] 魏燕茹, 陈松林.福建省土地利用碳排放空间关联性与碳平衡分区. 生态学报, 2021, 41(14): 5814-5824.
[39] 冯杰, 王涛.中国土地利用碳排放演变与影响因素分析. 软科学, 2016, 30(5): 87-90.
[40] 苑韶峰, 唐奕钰.低碳视角下长江经济带土地利用碳排放的空间分异. 经济地理, 2019, 39(2): 190-198.
[41] 宋一兵.旅游业碳汇潜力研究初探. 地域研究与开发, 2012, 31(2): 135-140.
[42] 蔡萌, 汪宇明.低碳旅游: 一种新的旅游发展方式. 旅游学刊, 2010, 25(1): 13-17.
[43] 张颖, 李晓格, 温亚利.碳达峰碳中和背景下中国森林碳汇潜力分析研究. 北京林业大学学报, 2022, 44(1): 38-47.
[44] Zhu H, Wang L G.Spatial association and identification of carbon neutrality in Chinese tourism, based on social network analysis. All Earth, 2023, 35(1): 65-81.
[45] 邵壮, 陈然, 赵晶, 夏楚瑜, 何颖婷, 唐丰芸.基于 FLUS 与 InVEST 模型的北京市生态系统碳储量时空演变与预测. 生态学报, 2022, 42(23): 9456-9469.
[46] Feng Y J, Chen X J, Gao F, Liu Y.Impacts of changing scale on Getis-Ord Gi * hotspots of CPUE: a case study of the neon flying squid (Ommastrephes bartramii) in the northwest Pacific Ocean. Acta Oceanologica Sinica, 2018, 37(5): 67-76.
[47] 万华伟, 李灏欣, 高吉喜, 孙晨曦, 李广宇, 高彦华, 厉青.我国植被生态系统固碳能力提升潜力空间格局研究. 生态学报, 2022, 42(21): 8568-8580.
[48] 尹旭, 魏慧, 李裕瑞, 陈悦.中国不同类型地区人口时空分异特征——基于“五普”至“七普”分县人口数据的分析. 地理科学进展, 2023, 42(3): 452-463.