

1980~2019年中国度假气候舒适性及影响因子演变特征

赵珊珊 王荣 李莹 叶殿秀 艾婉秀

国家气候中心, 北京 100081

摘要 利用气象站点观测的逐日降水量、最高气温、平均相对湿度、总云量和平均风速等资料, 研究了 1980~2019 年中国度假气候舒适性及气象影响因素的长期变化趋势。结果表明: 全国平均年度假气候舒适日数 131.1d, 逐月舒适日数呈双峰型分布, 春秋季节多、冬夏季少。在气候变暖背景下, 受有效温度和日平均风速的影响, 中国度假气候舒适日数呈显著增加趋势; 同时在有效温度、总云量和降水量的共同影响下, 度假气候舒适日数年内的双峰型分布更加明显。华北、黄淮、江淮以及新疆、云南是度假气候舒适日数较多的地区, 而青藏高原地区舒适日数较少。中国大部分地区度假气候舒适日数呈增加趋势, 仅在华北、华南中部等地呈减少趋势。冬、春、秋三季中国大部分地区度假气候舒适日数呈增加趋势, 而在夏季呈减少趋势。中国度假气候舒适性的长期变化趋势主要受有效温度影响。研究气候变化对中国度假气候舒适性的影响, 有利于合理开发和利用气候资源, 为中国旅游业的可持续发展提供保障。

关键词 度假气候舒适性 度假气候指数 气象影响因子 长期变化趋势

doi: 10.3878/j.issn.1006-9585.2023.23036

收稿日期 2023-04-18; 收修定稿日期 2023-12-18

作者简介 赵珊珊, 女, 1979 年出生, 正研高工, 主要从事气候与气候变化研究。E-mail: zhaoss@cma.gov.cn

通讯作者 叶殿秀, E-mail: ydx@cma.gov.cn

资助项目 国家自然科学基金项目 41875120

Funded by National Natural Science Foundation of China (Grant 41875120)

Long-term Trends of Holiday Climate Comfort and Related Meteorological Factors over China during 1980–2019

ZHAO Shanshan, Wang Rong, Li Ying, Ye Dianxiu, and Ai Wanxiu

National Climate Centre, Beijing 100081

Abstract The observational data of meteorological stations during 1980~2019 in China was used in this study, including daily precipitation, daily maximum temperature, humidity, cloud cover and wind speed. Then holiday climate index (HCI) is constructed by these meteorological elements to show holiday climatic suitability over China. The annual mean holiday comfort day (HCD) is 131.1 days over China, with a bimodal distribution throughout the year, which is big in spring and autumn while small in winter and summer. Affected by the effective temperature and wind speed, the annual mean HCD show a significant increasing trend. The bimodal distribution of HCD is more prominent caused by effective temperature, cloud cover and precipitation. The spatial distribution of annual mean HCD is not even in China, which is greater in North China, Huanghuai, Jianghuai, Xinjiang and Yunnan province than those in other regions. HCD in Tibetan is the least in China. HCD in most areas over China has an increasing trend, except for central South China and North China. Spatial distributions of HCD in winter, spring and autumn show increasing trends in most part of China, while decreasing trends in summer. Closely attention on the influence of climate change on holiday comfort over China is conducive to the rational development and utilization of climate resources, providing protection for the sustainable development of tourism industry.

Keywords Holiday climate suitability, Holiday climate index, Long-term trend, Meteorological factor

1 引言

中国旅游资源丰富, 2019 年国内旅游收入 57250.9 亿元, 国际旅游收入 1312.5 亿美元, 合计占当年国内生产总值的 6.7%。旅游业是高度依赖自然资源、生态环境和气候条件的产业。气候是旅游业发展的一项最重要的自然资源 (Becken, 2012), 对旅游需求和满意度产生重要的影响 (Freitas et al., 2008)。气候舒适度表征了人体在外界气象环境综合作用下感觉舒适或不舒适的程度, 对旅游者的旅游动机、目的地选择和旅游业的发展有重要影响 (孙美淑和李山, 2015)。德国公众选择旅游目的地时将天气作为风景和价格之后的第三重要因素 (Lohmann and Kaim, 1999)。英国潮湿阴冷的天气会导致后一年出境游增加, 而暖干的天气导致境内游增加 (Agnew and Palutikof, 2006)。因此, 定量评估气候舒适性对旅游业具有重要意义。

已有研究表明,中国旅游气候舒适期总体呈“北长南短”的空间格局,其中云南和新疆舒适期较长,云南舒适月数为全国最多,有10个月(Fang and Yin, 2015; 李山等, 2016; Cao and Gao, 2022; Wang et al., 2022)。中国大部分地区春季和秋季旅游气候条件舒适,尤其集中在5月中下旬和9月下旬至10月上旬(Fang and Yin, 2015; 蔚丹丹等, 2021)。夏季中国旅游气候条件非常好的区域占全国面积的22%,并且主要集中在35°N以北的中高纬地区(Yang et al., 2018; Huang et al., 2019)。可见,中国旅游气候舒适性具有明显的空间差异和季节变化特征。

全球气候变暖趋势对旅游业产生现实和潜在的影响(Hein et al., 2009),体现在旅游目的地自然环境、旅游流、旅游者心理和行为、旅游产业系统等方面(席建超等, 2010)。气候变暖影响下,理想旅游气候条件在春夏秋冬向高纬度扩展,而热带和副热带地区旅游气候条件变差(Scott et al., 2004; Amelung et al., 2007),导致旅游者向高纬度迁移,并且在较冷的国家表现更为明显(Rossello-Nadal, 2014)。中国气温持续有增暖趋势,在1980年以后增暖加速,冬、春季增暖更为突出;年降水量呈微弱增加趋势;大部地区风速呈减少趋势(巢清尘等, 2020)。同时,中国区域极端高温日数增多,热浪频率增大,强降水增加(You et al., 2017; Zhang et al., 2021)。气象要素的长期变化趋势不可避免的对度假气候舒适性产生影响。

通常使用气候指数方法评估旅游目的地的气候属性(Mieczkowski, 1985; Scott et al., 2004)。气候指数方法将不同气象要素以复杂方式组合起来,衡量旅游目的地的气候资源并反映气候季节的影响,确定旅游活动的最优气候条件(Scott et al., 2016; Yu et al., 2021)。Mieczkowski(1985)将旅游相关的7个气象要素组合起来构建旅游气候指数。该指数可以定量反映气候舒适性,已经得到了广泛应用和发展(Morgan et al., 2000; Amelung et al., 2007; Freitas et al., 2008)。Scott et al.(2012; 2016)针对旅游气候指数的主观确定气候要素权重、物理气候要素重要性考虑不足、气候资料的低时间精度等缺点,从热舒适、美学和物理层面出发,基于旅游者气候条件偏好的统计结果,将旅游气候指数改进为度假气候指数(Holiday Climate Index, HCI)。综合考虑不同旅游目的地类型的气候舒适性需求, HCI可分为城市度假气候指数和海滨度假气候指数,两者的差别在于子项指标的权重系数取值不同。海滨度假气候指数更侧重美学层面感受,而对人体冷热感觉考虑较少。HCI具有较好的适用性,已经被用于欧洲、北美、亚洲多个地区的气候舒适性研究(胡桂萍等, 2015; Ruttly et al., 2020; Williams, 2021; Yu et al., 2021; Carrillo et al., 2022)。

气候变化背景下,中国度假气候舒适性相关的气象要素如何变化并且对度假气候舒适性的影响程度如何值得研究。本文拟采用城市度假气候指数,研究1980~2019年中国度假气候指数的时空变化特征,并进一步分析不同气象因素对度假气候指数影响的变化特征。研究结果将有助于系统地理解中国度假气候舒适性时空变化特征及其气候驱动因素的可能机制,并为中国政府相关部门和旅游企业制定旅游业的气候变化适应以及可持续发展的政策和规划提供科学支撑。

2 资料和方法

2.1 资料

本研究中使用的数据是 1980~2019 年中国区域国家级气象站观测的逐日降水量、最高气温、平均相对湿度、总云量、平均风速。由于观测资料中不可避免存在缺测，通过剔除缺测较多的站点，挑选了 538 个气象观测站点（图 1）。可见，气象站点的分布呈“东多西少”的特点，其中新疆南部、西藏中西部、青海西部、内蒙古西部、台湾等地由于气象站点观测数据缺测较多，本研究中没有使用这些地区的气象数据。

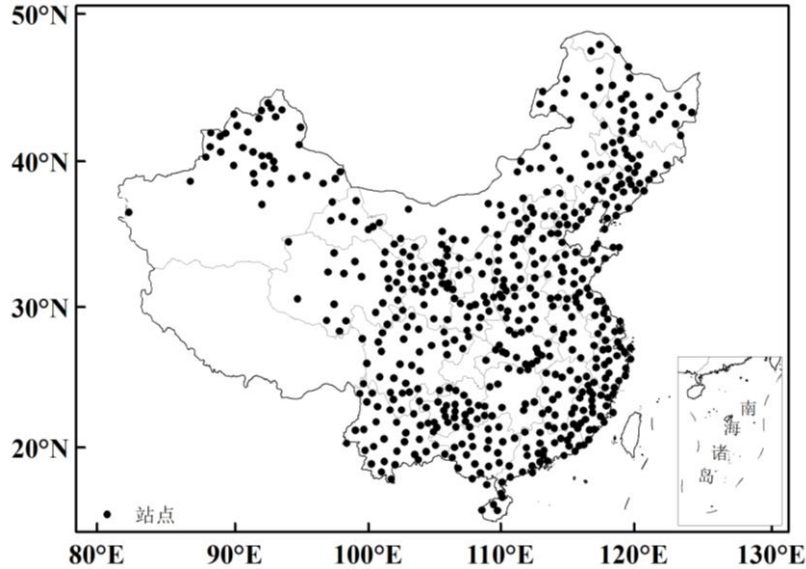


图 1 中国气象观测站点空间分布

Fig.1 Spatial distribution of meteorological stations in China

2.2 方法

本研究采用 Scott et al. (2016) 研制的城市度假气候指数计算方法。该方法适用于观光旅游度假，已应用于多地度假气候舒适性研究 (Demiroglu et al., 2020; Carrillo et al., 2022)。度假气候指数的计算如下：

$$HCI = 4 \times TC + 2 \times A + (3 \times P + W) \quad (1)$$

$$TC = T_{max} - 0.55 \times \left(1 - \frac{H}{100}\right) \times (T_{max} - 1.44) \quad (2)$$

其中 TC 为有效温度分值，占 40% 权重，受日最高气温 (T_{max}) 和日平均相对湿度 (H) 影响。A 为云覆盖率分值，占 20% 权重。云覆盖率由总云量成数换算为百分数。P 为日降水量分值，W 为风速分值，分别受日降水量和日平均风速影响，占 30% 和 10% 权重。气候度假指数各气象因子的赋分值见表 1。为了便于比较各气象因子对度假气候舒适性的贡献，本文计算各气象因子的分值时考虑了其权重系数。Scott et al. (2016) 定义度假气候指数的分值在 90 (含) 以上为理想状态，80~89 为极好。本文将度假气候指数分值达 80 及以上时定义为舒适 (Carrillo et al., 2022)，并进一步计算度假气候舒适的天数 (简称舒适日数)。

本文采用最小二乘法拟合时间序列的长期变化趋势，并采用 t 检验方法对长期变化趋势进行显著性检验，显著性水平取 0.05 (魏凤英, 2007)。此外，采用 Mann-Kendall 检验法 (简称 M-K 检验法) 检测时间序列的变化趋势和突变点。

表 1 度假气候指数各气象因子赋分表

Table 1 Score for meteorological factors of Holiday Climate Index

分值	有效温度 (°C)	云覆盖率 (%)	日降水量 (mm)	风速 (km/h)
10	23~25	11~20	0	1~9
9	20~22、26	1~10、21~30	<3	10~19
8	27~28	0、31~40	3~5	0、20~29
7	18~19、29~30	41~50	—	—
6	15~17、31~32	51~60	—	30~39
5	11~14、33~34	61~70	6~8	—
4	7~10、35~36	71~80	—	—
3	0~6	81~90	—	40~49
2	-5~-1、37~39	>90	9~12	—
1	<-5	—	—	—
0	>39	—	13~24	50~70
-1	—	—	>25	—
-10	—	—	—	>70

2 中国度假气候舒适性的演变特征

2.1 全国平均年舒适日数显著增加

1980~2019年,全国平均年度度假气候舒适日数 131.1d, 约占全年总天数的 36%。全国平均舒适日数总体呈显著增加趋势, 增加幅度为 1.6d/10a, 同时也表现出明显的年际和年代际变化特征(图 2a)。全国平均年舒适日数年际变化幅度大, 最多的 2004 年(146.9d) 比最少的 1981 年(118.8d) 偏多约 28d。全国平均舒适日数在 1986 年发生突变, 1980~1985 年总体偏少, 年舒适日数不超过 130 天, 1986~2009 年逐年增加, 2009 年以后呈减少趋势(图 2b)。

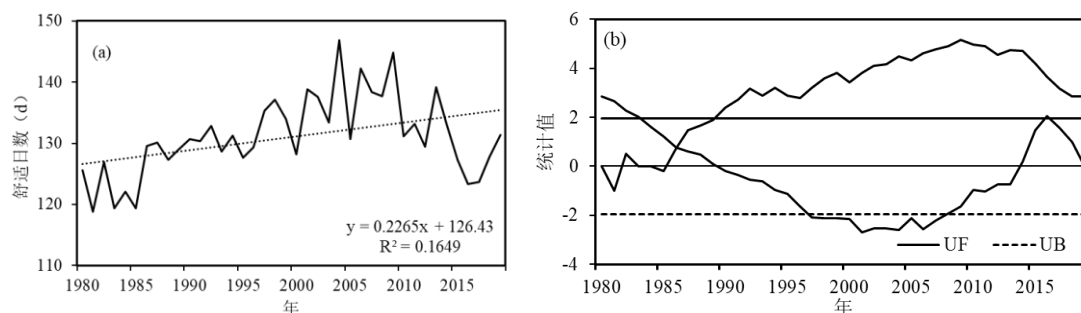


图 2 1980~2019 年全国平均度假气候舒适日数(a)历年变化和(b)M-K 检验结果

Fig.2 national-average holiday climate comfort days from 1980 to 2019 (a) annual variation, and (b) results of M-K test

逐月全国平均舒适日数呈双峰型分布, 春秋季多, 冬夏季少, 主峰出现在 9 月, 为 17.5d, 次峰出现在 5 月, 为 16.6d (图 3a)。冬季舒适日数为各季中最少, 冬季各月舒适日数不足 5d, 其中 1 月为全年最少, 仅有 3.5d。从长期变化趋势来看, 春秋季各月以及 1 月、2 月的舒适日数均呈增加趋势, 其中 2~4 月的增加趋势显著, 3 月增加幅度最大为 1.0d/10a。夏季

各月和 12 月的舒适日数呈减少趋势，其中 6 月和 8 月的减少趋势显著，8 月减少幅度最大为 0.3d/10a（图 3b）。可见，夏季全国平均舒适日数呈减少趋势，而其余三季呈增加趋势，其中春季增加幅度最大，致使度假气候舒适性的季节差异进一步加剧。全国平均年舒适日数增加主要受春季舒适日数增加影响。

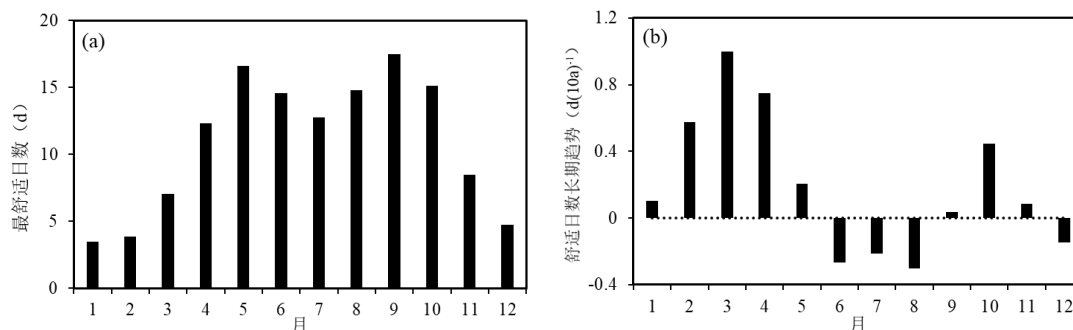


图 3 1980~2019 年全国平均度假气候舒适日数(a)逐月变化及(b)逐月变化趋势

Fig.3 (a) monthly variation and (b) trends of monthly variation of national-average holiday climate comfort days from 1980 to 2019

2.2 中国大部分地区春秋季节舒适日数增加

中国地处东亚季风区，受多个气候系统影响，加之地形地貌复杂，导致各地区气候特征存在较大差异，进而导致度假气候舒适性空间分布不均匀。1980~2019 年，华北、黄淮、江淮、江汉、华南以及新疆北部、甘肃大部、宁夏、陕西、辽宁等地年平均舒适日数一般有 120~160d，新疆中部、福建南部舒适日数在 160~200d 之间，云南大部地区达 200d 以上（图 4a）；青藏高原大部年平均舒适日数不足 80d，为中国舒适日数最少的地区。

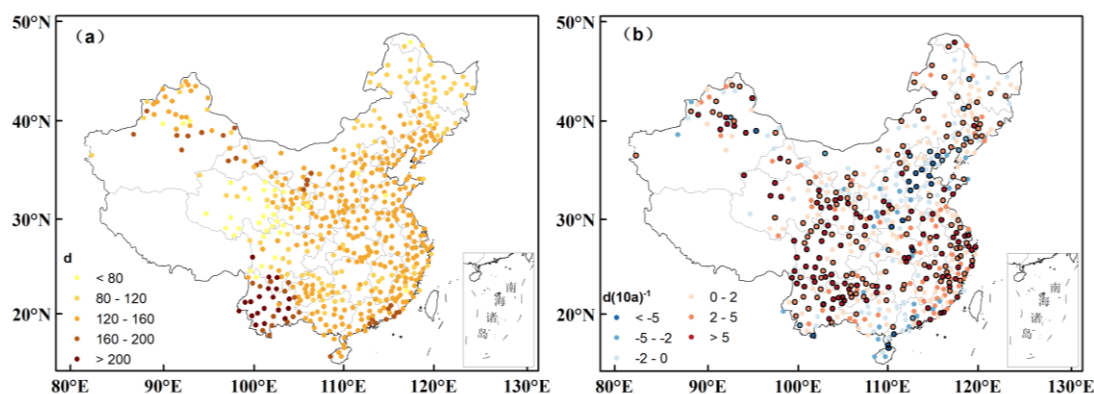


图 4 1980~2019 年全国年度度假气候舒适日数(a)多年平均值和(b)变化趋势的空间分布（○代表通过 0.05 显著性水平检验）

Fig.4 Spatial distribution of (a) multiyear-average comfort days and (b) trends of holiday climate comfort days from 1980 to 2019 (○ denotes significant at the significance level of 0.05)

1980~2019 年，中国大部分地区年度度假气候舒适日数呈增加趋势，其中江南东部、西南地区大部、西北东部、东北南部、华北东部以及新疆北部等地增加趋势显著（图 4b）。华北大部、黄淮北部、华南中部等地舒适日数呈减少趋势，其中河北大部、广东南部等地减少

趋势显著。西南地区南部、黄淮、江淮、江南东部、新疆北部等年舒适日数较多，加之舒适日数呈增加趋势，使得这些地区度假气候舒适性优势更为明显。

春季，中国大部分地区度假气候舒适日数呈增加趋势，其中东北南部、华北大部、黄淮、江淮、江汉、江南大部以及四川大部、贵州大部、甘肃、陕西、宁夏、新疆北部等地增加趋势显著，超过 3d/10a；仅云南西南部、广东西南部、黑龙江北部等地呈减少趋势（图 5a）。夏季，中国大部分地区舒适日数呈减少趋势，其中华北大部、西北地区东部、黄淮、江南东部以及辽宁等地减少趋势显著；而青藏高原大部、云南大部、贵州大部、北疆东部等地呈增加趋势，其中四川西部、青海中部、云南东部等地增加趋势显著（图 5b）。秋季，华北大部、华南大部以及浙江大部、陕西中北部等地舒适日数呈减少趋势，全国其余大部分地区舒适日数呈增加趋势，其中东北大部以及云南大部、四川南部、贵州西部、青海北部、北疆南部、内蒙古东部等地增加趋势显著（图 5c）。冬季，中国舒适日数变化趋势呈北减南增的特征，东北、内蒙古大部、新疆北部等地舒适日数呈减少趋势，全国其余大部分地区舒适日数呈增加趋势，其中西北地区中东部、江南中东部以及云南北部、四川大部等地增加趋势显著（图 5d）。总体来看，中国大部分地区冬春季舒适日数增加，而夏季舒适日数减少。

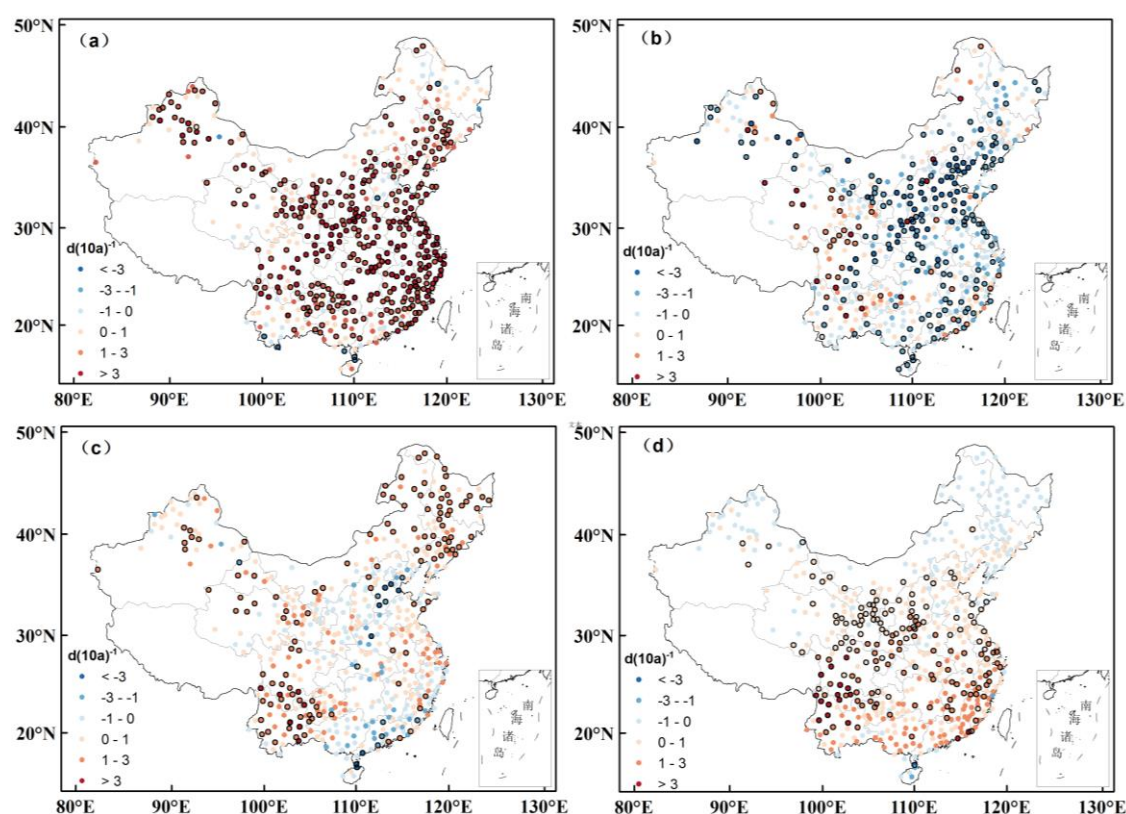


图 5 1980~2019 年四季中国度假气候舒适日数变化趋势的空间分布(a)春季, (b)夏季, (c)秋季, (d)冬季 (○代表通过 0.05 显著性水平检验)

Fig.5 Spatial distribution of trends of seasonal holiday climate comfort days in (a) Spring, (b) Summer, (c) Autumn, (d) Winter during 1980~2019 (○ denotes significant at the significance level of 0.05)

3 气象因子演变特征

3.1 有效温度对气候度假舒适性的变化影响大

1980~2019年, 全国平均降水量分值占 HCI 的 36.6%, 对度假气候指数的影响最大; 其次是有有效温度分值, 占 HCI 的 35.6%; 总云量分值和平均风速分值占 HCI 的比例接近, 分别为 14.7%和 13.2%。可见, 降水和有效温度对度假气候舒适性的贡献相当并且较大, 平均风速和总云量的贡献相对较小。这表明, 中国度假气候舒适性很大程度上受热舒适层面和物理层面的降水影响, 而物理层面的风和美学层面的总云量的影响相对较小。

1980~2019年, 全国平均有效温度和总云量均呈显著的增加趋势, 平均风速呈显著减少趋势, 而降水量没有明显变化趋势(图 6)。从各气象因子分值的长期变化来看, 有效温度和平均风速分值均呈显著增加趋势, 其中有效温度分值变化趋势为 0.26/10a, 平均风速分值的变化趋势为 0.068/10a。总云量分值呈显著减少趋势, 变化趋势为-0.13/10a。降水量分值变化趋势不明显。可见, 有效温度对中国度假气候舒适性影响最大, 其次是总云量。近 40年, 中国有效温度及其分值呈一致性变化特征, 而平均风速、总云量、降水量与其分值呈反位相变化特征。中国有效温度的增加及平均风速的减小趋势均有利于度假气候舒适性增加, 而总云量增加不利于度假气候舒适性增加。尽管中国降水量对度假气候舒适性影响很大, 但其变化趋势不明显, 导致气候舒适性的长期变化趋势受降水量影响较小。

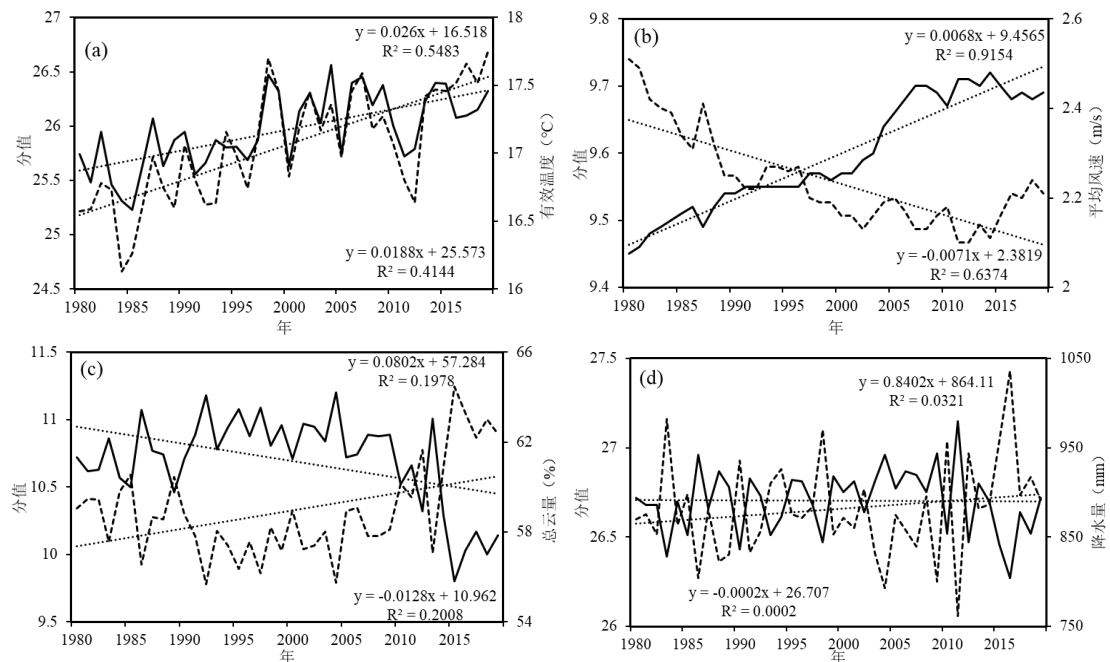


图 6 1980~2019 年全国平均气象因子及其分值的历年变化(a)有效温度, (b)平均风速, (c)总云量, (d)降水量(实线代表气象因子分值, 虚线代表气象因子)

Fig. 6 Annual variation of the national-average meteorological factor and the related rate during 1980~2019 (a) thermal comfort, (b) wind speed, (c) cloud cover, (d) precipitation (solid line denotes the score, and dotted line denotes meteorological factor)

1980~2019年, 全国平均有效温度分值的年内分布呈双峰型, 峰值分别出现在 5 月和 9 月, 最小值出现在 1 月(图 7a)。降水量、平均风速和总云量分值的年内分布均为单峰型,

峰值出现在 12 月，最小值出现在 1 月。有效温度分值的年内变化幅度大，是造成全国平均度假气候舒适日数年内变化双峰型分布的主要原因。从长期变化来看，有效温度分值除了在夏季各月呈减少趋势外，其余各月均呈增加趋势，其中 2~5 月和 10 月增加趋势显著，3 月增加趋势幅度最大，而 7 月和 8 月的减少趋势显著，7 月减少趋势幅度最大（图 7b）。各月平均风速分值均呈显著增加趋势，并且增加幅度接近。除了 3~4 月外其余各月总云量分值均呈减少趋势，其中 1 月、5~6 月、11~12 月的减少趋势显著，而 3 月增加趋势显著。降水量分值在 2~4 月、7 月、9~10 月呈增加趋势，其余各月为减少趋势，其中 3 月增加趋势显著，12 月减少趋势显著。可见，除了平均风速分值各月呈一致性变化趋势外，有效温度、总云量和降水量分值的各月变化趋势存在差异。春秋季全国平均舒适日数增加主要受有效温度影响，夏季和 12 月全国平均舒适日数减少受有效温度、总云量和降水量的共同影响。

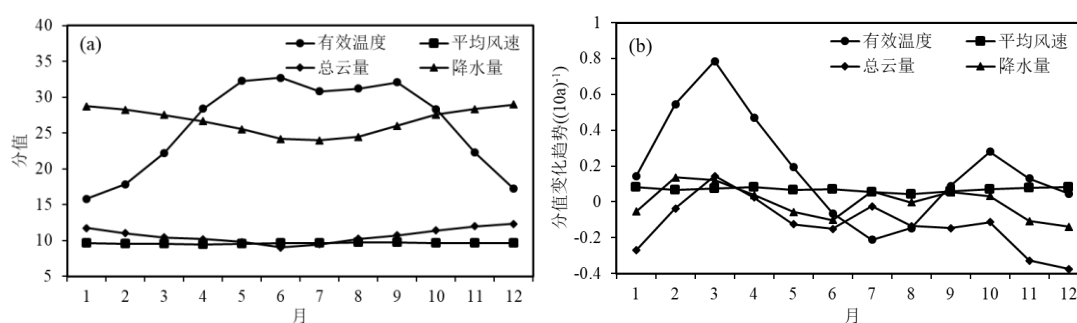


图 7 1980~2019 年全国平均气象因子分值的(a)逐月分布以及(b)月分值的长期变化趋势

Fig. 7 Monthly variation of the national-averaged score (a) and trends of the score for meteorological factors during 1980~2019

3.2 不同气象因子的影响空间差异明显

中国气象要素的长期变化趋势存在空间差异，导致气象因子对度假气候指数变化的影响也存在区域差异。1980~2019 年，中国大部分地区有效温度增加趋势显著，其中西北地区东部、内蒙古中部、长江中下游地区以及四川中西部等地的增加幅度较大（图 8a）。有效温度分值的变化趋势空间分布与有效温度基本一致。除华南中南部及云南中部外，中国大部分地区有效温度分值呈增加趋势，其中西北地区大部、华北西部、东北西部、黄淮大部、江淮大部、江南中东部以及内蒙古中东部、四川大部、云南大部等地增加趋势显著（图 8b）。这表明除了华南中南部及云南中部外，中国大部分地区有效温度的变化有利于提高度假气候舒适性。

中国平均风速的变化趋势空间分布不均匀，东北大部、华东北部、华中大部以及四川中西部、青海大部、新疆北部等地平均风速呈减少趋势，这些地区也是多年平均风速较大的区域；全国其余地区平均风速呈增加趋势（图 8c）。中国大部分地区平均风速分值呈显著增加趋势，东北大部、山东东部、新疆北部、云南东部等地增加幅度较大（图 8d）。这表明中国大部分地区平均风速的变化有利于度假气候舒适性增加。

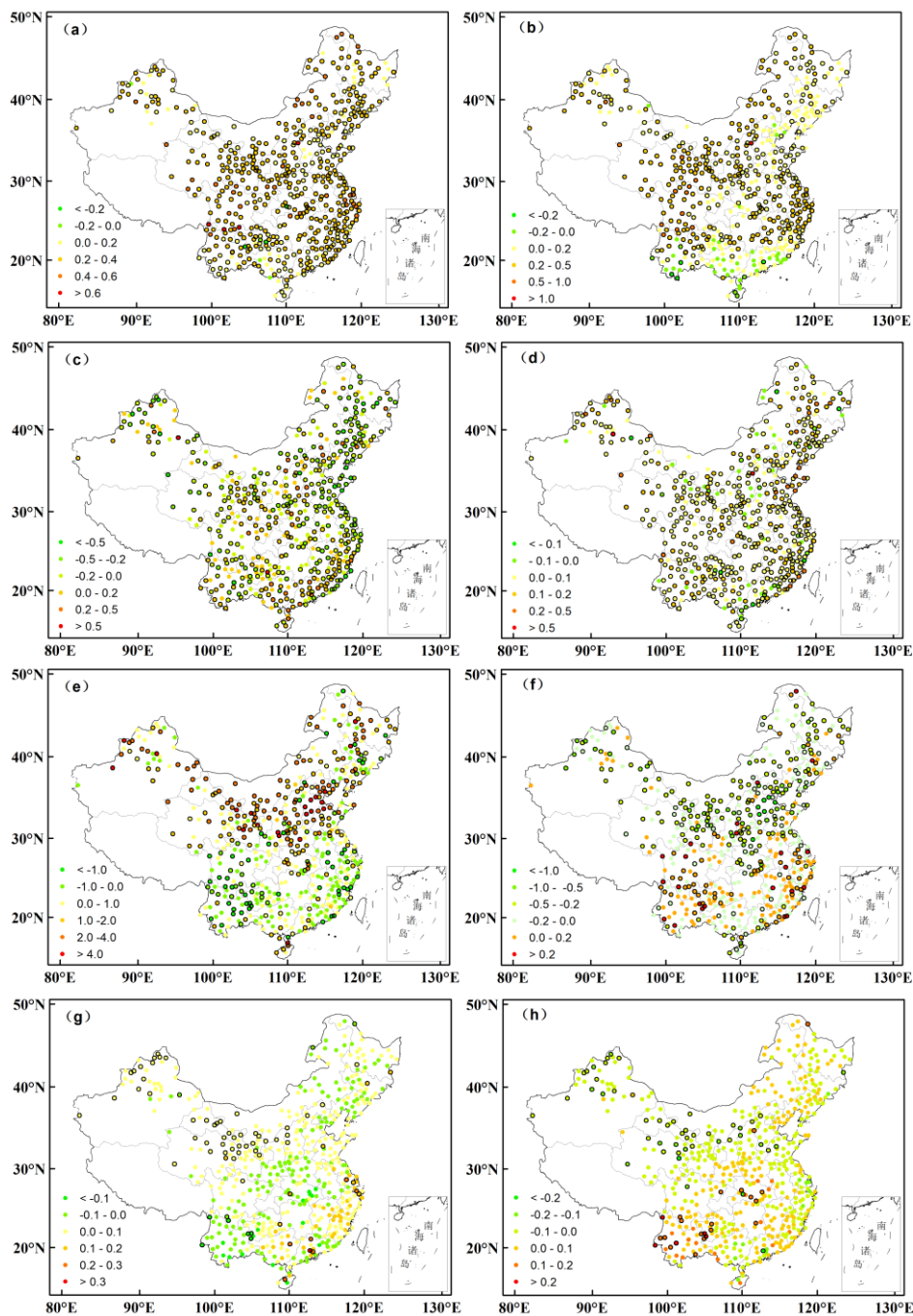


图 8 1980~2019 年中国气象因子(a, c, e, g)及其分值(b, d, f, h)变化趋势空间分布(a, b)有效温度, (c, d)平均风速, (e, f)总云量, (g, h)降水量 (○代表通过 0.05 显著性水平检验)

Fig. 8 Trends of meteorological factors (a, c, e, g) and related score (b, d, f, h) in China during 1980~2019 (a)(b) thermal comfort, (c)(d) wind speed, (e)(f) cloud cover, (g)(h) precipitation (○ denotes significant at the significance level of 0.05)

中国总云量变化趋势总体呈北增南减的分布特征, 北方大部分地区总云量增加趋势显著, 而江南东部、云南、贵州、四川西部等地呈显著减少趋势 (图 8e)。总云量分值与总云量的变化趋势相反, 呈北减南增的分布特征。北方大部分地区总云量分值呈显著减少趋势, 而江南东部及云南西部、四川西部、贵州等地增加趋势显著 (图 8f)。这表明总云量的变化在南

方地区尤其是江南东部和西南地区有利于提高度假气候舒适性,而在北方大部分地区不利于度假气候舒适性。

中国年降水量的变化趋势从东南向西北呈增-减-增的空间分布格局,东北大部、华北大部、黄淮东部、江南、华南中西部、青藏高原以及新疆北部等地年降水量呈增加趋势,其中新疆北部、甘肃中西部等地增加趋势显著,而华中中部、西北地区东部以及云南等地年降水量呈减少趋势(图 8g)。降水量分值在西北地区大部、东北、华北大部、华中大部、华南中部等地呈减少趋势,其中华北西部、新疆北部、甘肃北部等地减少趋势显著,而云南西部、贵州西部、湖北西部等地增加趋势显著(图 8h)。降水量的变化趋势在中国大部地区不显著,对度假气候舒适性的变化影响较小。

总的来看,中国大部分地区度假气候舒适性增加主要受有效温度变化的影响;平均风速的变化总体有利于提高度假气候舒适性;总云量变化的影响具有明显的南北差异性;降水变化的影响在大部分地区不显著。

中国大部分地区度假气候舒适日数在春、秋、冬三季表现为一致性增加趋势,而在夏季表现为减少趋势(图 5),因此进一步分析各气象因子对夏季中国度假气候舒适性变化的影响。夏季,有效温度在中国大部分地区呈增加趋势,其中西北大部、东北大部、黄淮东部、江淮、华南东部以及云南、四川等地增加趋势显著,而江南南部、华南西部和东部等地呈减少趋势(图 9a)。除青藏高原大部、江南南部及内蒙古东部、新疆北部等地外,中国大部分地区夏季有效温度分值呈显著减少趋势,其中东北南部、华北北部和西部、西北地区东部、黄淮、江淮、华南东部以及云南、贵州等地减少趋势显著(图 9b)。可见,夏季青藏高原及新疆北部、内蒙古中东部等地有效温度增加有利于提高度假气候舒适性,而中国其余地区有效温度的变化不利于度假气候舒适性。

夏季中国平均风速变化趋势的空间分布与全年基本一致,在东北、西北地区中西部、华东北部、西南地区西部等地呈减少趋势,华南大部、西北地区东部、华北等地呈增加趋势(图 9c)。中国大部分地区平均风速分值呈一致性显著增加趋势,其中东北西部、山东东部、北疆西部等地增加幅度较大(图 9d)。这表明夏季中国大部分地区平均风速的变化有利于提高度假气候舒适性。

夏季总云量变化趋势的空间分布也与全年一致,呈北增南减的分布特征。北方大部分地区总云量呈显著增加趋势,江南东部、云南、贵州等地呈显著减少趋势(图 9e)。夏季总云量分值变化趋势呈南增北减的分布特征,在北方大部分地区呈显著减少趋势,而在贵州大部、湖北南部、浙江北部、广东东部等地呈显著增加趋势(图 9f)。这表明夏季总云量的变化不利于北方地区度假气候舒适性,而有利于提高南方地区度假气候舒适性。

夏季中国降水量在江南、华南大部、西北地区中西部以及山东、贵州等地呈增加趋势,其中江南东南部、青海北部等地增加趋势显著,而华中中部、四川东部、云南等地呈减少趋势(图 9g)。降水量分值从东南向西北方向呈减-增-减的变化趋势,其中江南东南部、华南东部以及青海北部等地减少趋势显著,而湖北南部、河南西部、陕西中东部、山西西南部、

河北东北部等地增加趋势显著（图 9h）。可见，夏季降水量变化在中国西北地区、江南、华南等地不利于度假气候舒适性，而在华中地区有利于提高度假气候舒适性。

总的来看，夏季中国度假气候舒适性的变化主要受有效温度的影响，除了平均风速外其他气象因子的影响均具有明显的空间差异性。

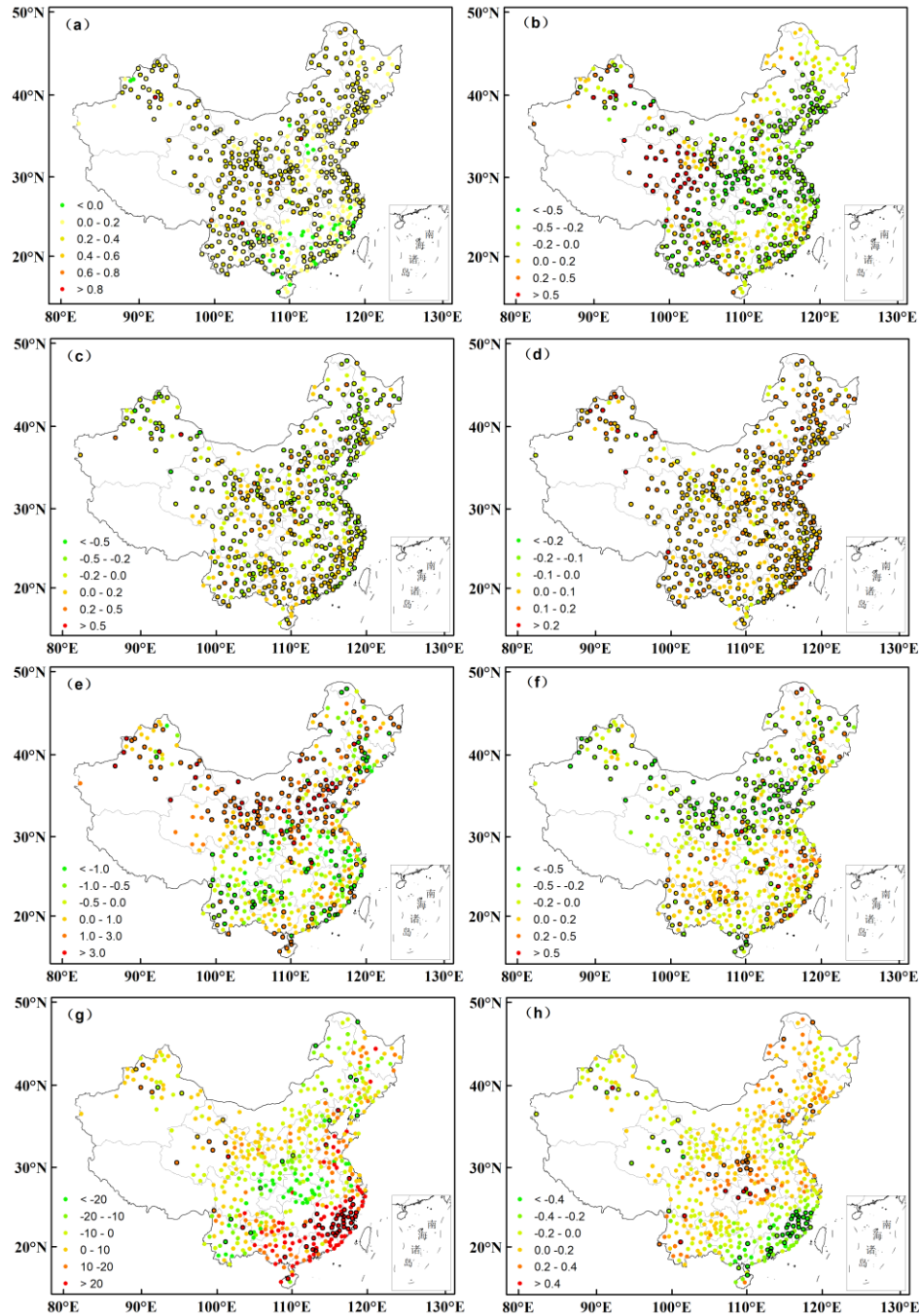


图 9 1980~2019 年夏季中国气象因子 (a, c, e, g) 及其分值 (b, d, f, h) 变化趋势空间分布(a, b)有效温度, (c,d)平均风速, (e,f)总云量, (g,h)降水量 (○代表通过 0.05 显著性水平检验)
 Fig. 9 Trends of meteorological factors (a, c, e, g) and related score (b, d, f, h) in China in summer during 1980 ~ 2019 (a)(b) thermal comfort, (c)(d) wind speed, (e)(f) cloud cover, (g)(h) precipitation (○ denotes significant at the significance level of 0.05)

4 结论与讨论

本文利用 1980~2019 年中国 538 个国家级气象站观测的逐日降水量、最高气温、平均相对湿度、总云量和平均风速资料,采用城市度假气候指数计算方法,研究了中国度假气候舒适性的长期变化特征及主要气象影响因子。结果表明,全国多年平均度假气候舒适日数 131.1d,占全年总天数的 36%;全国平均年气候度假舒适日数具有明显的年际和年代际变化特征,在 1986 年发生突变,总体上呈显著增加趋势,增加幅度为 1.6d/10a。

全国平均舒适日数年内呈双峰型分布,春秋季多、冬夏季少,其中 9 月最多,5 月次多,而 1 月最少。全国平均舒适日数在夏季呈减少趋势,在冬春季呈增加趋势,其中春、秋季增加趋势显著,春季舒适日数增加趋势对全年舒适日数的变化趋势影响最大。各月中,2~4 月舒适日数显著增加,而 6 月和 8 月显著减少。各月舒适日数不同的变化趋势导致全国平均度假气候舒适性的季节差异进一步加剧,年内双峰型分布更加明显。

中国气候度假舒适日数空间分布不均匀,云南是舒适日数最多的地区,年舒适日数达 200d 以上,而青藏高原地区舒适日数较少,大部分地区不足 80d。中国大部分地区年舒适日数呈增加趋势,仅华北、黄淮北部、华南中部等地呈减少趋势。中国大部分地区舒适日数在夏季减少,而在冬春季呈增加趋势。夏季,青藏高原大部、贵州大部、北疆东部等地舒适日数增加,中国其余大部分地区舒适日数呈减少趋势,其中华北东北部和中部、陕西南部等地减少趋势显著。

从多年平均值来看,中国度假气候舒适性主要受有效温度和降水的影响,而平均风速和总云量的影响相对较小。有效温度的季节变化是造成舒适日数年内双峰型分布的主要原因。从长期变化趋势来看,全国平均有效温度的增加趋势和平均风速的减小趋势有利于提高度假气候舒适性,而总云量的增加趋势有不利影响,降水量变化趋势的影响不明显。其中,有效温度的变化对度假气候舒适性影响最大,其次是总云量的变化。全国平均舒适日数在春秋季节增加主要受有效温度影响,夏季及 12 月舒适日数减少受有效温度、总云量和降水量的共同影响。有效温度是造成夏季度假舒适日数变化趋势与其他三季不同的主要原因。

从全年来看,中国大部分地区有效温度和平均风速的变化有利于提高度假气候舒适性。总云量的变化在南方地区尤其是西南地区东部和江南东部有利于提高度假气候舒适性,在北方大部分地区不利于度假气候舒适性。降水量的变化对中国大部分地区度假气候舒适性影响较小。夏季,除青藏高原、新疆北部、内蒙古中东部外中国大部分地区有效温度的增加不利于度假气候舒适性,平均风速的变化有利于提高中国大部分地区度假气候舒适性,总云量有利于提高南方地区的度假气候舒适性,而在北方有不利影响,降水量在中国大部分地区的影响较小。

本文采用的度假气候指数已在多个国家和地区得到应用,但该指数是基于欧美国家人群问卷调查结果的经验模型,受地域、季节、人种等因素影响。中国疆域辽阔,气候多样,复杂的地理环境下不同地区的人群冷热感知、偏好、旅游目的等级差异显著。因此,未来需要针对中国不同地域开展调查,确定气象影响因子和舒适区间,从而为不同需求的人群提供决

策信息。

在全球气候变暖背景下，中国旅游度假资源对气候变化和极端气候事件也越来越敏感。中国国家级风景名胜区、森林公园、自然保护区、地质公园等重要自然旅游资源主要分布在中国三大阶梯的过渡区、山地区，与中国生态脆弱地带在地域上重叠（邱云志和陈嘉新，2004）。因此，在发展旅游业的同时，需要密切关注气候变暖背景下这些地区度假气候舒适性的变化，合理开发和利用气候资源，保护生态环境，为旅游业可持续发展提供更加有利的资源保障。下一步，我们将基于 CMIP6 未来不同排放情景下气候系统模式的结果和度假气候指数，研究未来中国度假气候舒适性的时空变化特征，为中国旅游业适应和应对气候变化提供科学支撑。

致谢 感谢两位匿名审稿人提出的宝贵建议。

参考文献（References）

- Agnew M D, Palutikof J P. 2006. Impacts of short-term climate variability in the UK on demand for domestic and international tourism[J]. *Clim. Res.*, 31: 109-120. doi: 10.3354/cr031109
- Amelung B, Nicholls S, Viner D. 2007. Implications of global climate change for tourism flows and seasonality[J]. *J. Travel Res.*, 45(2): 285-296. doi: 10.1177/0047287506295937.
- Becken S. 2012. Measuring the effect of weather on tourism[J]. *J. Travel Res.*, 52: 156-167. doi: 10.1177/0047287512461569
- Cao K J, Gao J. 2022. Assessment of climatic conditions for tourism in Xinjiang, China[J]. *Int. J. Biometeorol.*, 14: 382-292. doi: 10.1007/s00484-017-1462-6
- 巢清尘, 严中伟, 孙颖, 等. 2020. 中国气候变化的科学新认知[J]. *中国人口. 资源与环境*, 30(3): 1-9. Chao Qingchen, Yan Zhongwei, Sun Ying, et al. 2020. A recent scientific understanding of climate change in China[J]. *China population, resources and environment (in Chinese)*, 30(3): 1-9. doi:10.12062/cpre.20200303
- Carrillo J, Gonzalez A, Perez J C. et al. 2022. Projected impacts of climate change on tourism in the Canary Islands[J]. *Reg. Environ. Change*. 22: 61. doi: 10.1007/s10113-022-01880-9
- Demiroglu O C, Saygili-Araci F S, Pacal A, et al. 2020. Future holiday climate index (HCI) performance of urban and beach destinations in the Mediterranean[J]. *Atmosphere*, 11: 911. doi: 10.3390/atmos11090911
- Fang Y, Yin J. 2015. National assessment of climate resources for tourism seasonality in China using the tourism climate index[J]. *Atmosphere*, 6: 183-194. doi: 10.3390/atmos6020183
- Freitas C R, Scott D, McBoyle G. 2008. A second generation climate index for tourism (CIT): specification and verification [J]. *Int. J. Biometeorol*, 52: 399-407. doi: 10.1007/s00484-007-0134-3

- Hein L, Metzger M J, Moreno A. 2009. Potential impacts of climate change on tourism: a case study for Spain[J]. *Curr. Opin. Env. Sust.*, 1: 170-178. doi: 10.1016/j.cosust.2009.10.011
- 胡桂萍, 李正泉, 邓霞君. 2015. 丽水市旅游气候舒适度适度分析[J]. *气象科技*, 43(4):769-774.
- Hu Guiping, Li Zhengquan, Deng Xiajun. 2015. Analysis of climatic comfortability for travel in Lishui[J]. *Meteorological Science and Technology (in Chinese)*, 43(4): 769-774. doi: 10.19517/j.1671-6345.2015.04.035.
- Huang J L, Li L H, Tan C P, et al. 2019. Mapping summer tourism climate resources in China[J]. *Theor. Appl. Climatol.*, 137: 2289-2302. doi: 10.1007/s00704-018-2740-x
- 李山, 孙美淑, 张伟佳, 等. 2016. 中国大陆 1961-2020 年间气候舒适期的空间格局及其演变 [J]. *地理研究*, 35(11): 2053-2070. Li Shan, Sun Meishu, Zhang Weijia, et al. 2016. Spatial patterns and evolving characteristics of climate comfortable period in the mainland of China: 1961-2010[J]. *Geographical Research (in Chinese)*, 35(11): 2053-2070. doi: 10.11821/dlyj201611005
- Lohmann M, Kaim E. 1999. Weather and holiday destination preferences: image attitude and experience[J]. *Tour. Rev.*, 54(2): 54-64. doi: 10.1108/eb058303
- Morgan R, Gatell E, Junyent R, et al. 2000. An improved user-based beach climate index[J]. *J. Coast. Conserv.*, 6(1): 41-50. doi: 10.1007/BF02730466
- 邱云志, 陈嘉新. 2004. 中国旅游资源的分布规律及其可持续发展意义[J]. *乐山师范学院学报*, 19(2): 16-20. Qiu Y, Chen J. 2004. The law of distribution of resource of Chinese tourism and sustainable development meaning [J]. *Journal of Leshan Teachers College (in Chinese)*, 19(2): 16-20. doi: 10.3969/j.issn.1009-8666.2004.02.005
- Rutty M, Scott E, Matthews L, et al. 2020. An inter-comparison of the Holiday Climate Index (HCI: Beach) and Tourism Climate Index (TCI) to explain Canadian Tourism arrivals to the Caribbean[J]. *Atmosphere*, 11: 412. doi:10.3390/atmos11040412
- Rossello-Nadal J. 2014. How to evaluate the effects of climate change on tourism[J]. *Tourism Manage.*, 42: 334-340. doi:10.1016/j.tourman.2013.11.006
- Scott D, Gosssling S, Hall C M. 2012. International tourism and climate change[J]. *Wires. Clim. Change*, 3(3): 213-232. doi: 10.1002/wcc.165
- Scott D, McBoyle G, Schwartzentruber M. 2004. Climate change and the distribution of climatic resources for tourism in North America[J]. *Clim. Res.*, 27: 105-117. doi: 10.3354/cr027105.
- Scott D, Rutty M, Amelung B, et al. 2016. An inter-comparison of the holiday climate index (HCI) and the tourism climate index (TCI) in Europe[J]. *Atmosphere-Basel*, 7(6): 80. doi: 10.3390/atmos7060080
- 孙美淑, 李山. 2015. 气候舒适度评价的经验模型: 回顾与展望[J]. *旅游学刊*, 30(12): 19-34.
- Sun Meishu, Li Shan. 2015. Empirical indices evaluating climate comfortableness: review and

- prospect[J]. *Tourism Tribune* (in Chinese), 30(12): 19-34. doi:10.3969/j.issn.1002-5006.2015.12.007
- Wang H G, You Q L, Liu G H, et al. 2022. Climatology and trend of tourism climate index over China during 1979-2020[J]. *Atmos. Res.*, 106321. doi: 10.1016/j.atmosres.2022.106321
- 魏凤英. 2007. 现代气候统计诊断与预测技术 [M]. 北京: 气象出版社, 18-19. Wei Fengying. 2007. The modern climate statistical diagnosis and prediction technology [M] (in Chinese). Beijing: Meteorology Press, 18-19.
- Williams D. 2021. An examination of the tourism holiday index (HCI:Urban) in Tokyo 1964-2019 [J]. *Josai International University Bulletin*, 29(6):1-31.
- 席建超, 赵美风, 吴普, 等. 2010. 国际旅游科学研究新热点: 全球气候变化对旅游业影响研究[J]. *旅游学刊*, 5(25): 86-92. Xi Jianchao, Zhao Meifeng, Wu Pu, et al. 2010. A new hot topic for the research of international tourism science: the impact of global climate change on tourism industry[J]. *Tourism Tribune* (in Chinese), 5(25): 86-92. doi: 10.3969/j.issn.1002-5006.2010.05.019
- Yang J, Zhang Z C, Li X M, et al. 2018. Spatial differentiation of China's summer tourist destinations based on climatic suitability using the universal thermal climate index[J]. *Theor. Appl. Climatol.*, 134: 859-874. doi: 10.1007/s00704-017-2312-5
- You QL, Jiang Z, Kong L, et al. 2017. A comparison of heat wave climatologies and trends in China based on multiple definitions[J]. *Clim. Dyn.*, 48, 3975–3989. doi:10.1007/s00382-016-3315-0
- 蔚丹丹, 李山, 张粮锋, 等. 2021. 旅游气候舒适性评价: 模型优化与中国案例[J]. *旅游学刊*, 36(5): 14-28. Yu Dandan, Li Shan, Zhang Liangfeng, et al. 2021. Evaluate tourism climate using modified holiday climate index in China[J]. *Tourism Tribune* (in Chinese), 36(5): 14-28. doi: 10.19765/j.cnki.1002-5006.2021.05.007
- Yu D D, Matthew L, Scott D, et al. 2021. Climate suitability for tourism in China in an era of climate change: a multiscale analysis using holiday climate index[J]. *Curr. Issues Tour.*, 1-16. doi: 10.1080/13683500.2021.1956442.
- Zhang W X, Furtado K, Wu P L, et al. 2021. Increasing precipitation variability on daily-to-multiyear timescales in a warmer world[J]. *Sci. Adv.*, 7, eabf8021. doi: 10.1126/sciadv.abf8021.