

基于舒适度的广东省茂名市避寒气候资源分析

吴英 于涵 范晓青 柳晓庆 王秀荣
(中国气象局公共气象服务中心, 北京 100081)

摘要: 基于1991—2020年中国地面气候平均值资料, 利用气候舒适度计算方法, 分析了广东省茂名市避寒气候资源和我国的主要避寒需求。结果表明: 茂名地区冬季气温、相对湿度和日照时数适宜, 气候舒适期长, 避寒气候资源优势明显。建议充分利用气候资源特色, 打造茂名避寒旅游地。在全球变暖的背景下, 茂名近30年冬季(12月—翌年2月)气温下降, 气候舒适天数略减少, 避寒气候资源呈现减少趋势, 冬季强降温和寒潮在增多, 但气候变化对茂名开展避寒旅游影响不大。

关键词: 避寒, 气候舒适度, 茂名

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2023.03.006

An Analysis of Winter Comfortable Climate Resources in Maoming City of Guangdong Based on Climatic Comfortability

Wu Ying, Yu Han, Fan Xiaoqing, Liu Xiaoqing, Wang Xiurong
(CMA Public Meteorological Service Center, Beijing 100081)

Abstract: With the climatic comfortability method, the climatological normals of 1991–2020 were used to analyze the climate resources of Maoming City, a winter resort in Guangdong Province. The results show that Maoming is featured with winter comfortable resources, including the proper winter temperature, relative humidity and sunshine duration. Meanwhile, it also has a long period of comfortable winter. It is suggested to make full use of the advantage of climate resources to make Maoming a winter resort. Under the background of global warming, the winter temperature of Maoming (December to February) has decreased in the past 30 years, accompanied with slight decrease of the number of climate comfort days. In addition, winter comfortable resources in Maoming have also shown a declining trend, with increased weather events of strong temperature drop and cold wave. Even so, the development of winter tourism in Maoming will not be greatly affected by the global climate change.

Keywords: winter comfortable, climatic comfortability, Maoming

0 引言

我国幅员辽阔, 气候复杂多样, 气候资源丰富, 气候作为环境的重要因子之一, 时刻在影响着人类的生活与健康。冬季, 低温寒冷威胁着人类的健康, 并且会导致一些疾病发生, 如呼吸道疾病、心血管系统疾病、皮肤冻伤, 以及天寒地冻导致的交通事故增多和摔倒而诱致的伤亡等。Marchant等^[1]研究发现, 心肌梗死发病有明显季节性, 冬季严寒天气发病率最高。Gerber等^[2]对美国明尼苏达州姆斯特郡的心肌梗死和心脏猝死案例分析表明, 冬季剧烈降温过程会引起大规模心肌梗死和心脏猝死。杨备战等^[3]的研究也

显示急性心肌梗死的高发期主要集中在冬季时段。柳蒙图^[4]研究表明, 低温环境下人体必须加大代谢产热来补充失热, 如果失热量进一步增大超过代谢调节能力, 人体便进入不可抗拒冷区, 可诱发多种疾病, 明显使死亡率增高。冬季另一个不容忽视的问题是北方部分地区燃煤采暖会对环境造成污染, 空气污染物通过呼吸系统进入人体内也会危害健康。秦耀辰等^[5]研究表明, 大气中的PM_{2.5}、SO₂等有害物质诱发人体产生呼吸系统疾病等, 甚至会引发死亡风险。

随着这些问题越来越多的引起人们的关注, 特别是居住在中高纬度、气候季节变化明显地区的人们, 出现了避寒旅游这一新的旅游现象。冬季, 很多游客选择到气候温暖舒适地区度假、旅游、康养, 避寒旅游需求越来越大, 避寒气候资源价值凸显。李正泉等^[6]从趋利避害角度强调了气候康养应注意的问题。气候舒适程度一方面影响旅游者的心理感受, 另一方

收稿日期: 2023年4月9日; 修回日期: 2023年5月26日
第一作者: 吴英(1980—), Email: 114845734@qq.com
通信作者: 王秀荣(1969—), Email: wangxr@cma.gov.cn
资助信息: 中国气象局公共气象服务中心创新基金项目(M2022002)

面也对人体的健康产生一定作用，也是旅游资源评价的主要内容之一。研究表明，气候舒适度与旅客流量呈正相关关系，气候舒适性是影响客流量季节变化以及旅游淡旺季分布和时间长度的关键因素之一^[7-12]。

体感舒适程度是气温、湿度、风速等气象要素共同作用的结果。20世纪以来，国外学者基于气温、湿度、风速等气象因子的组合所建立的模型较多，如有效温度指数^[13]、风效指数^[14]等。国内对气候舒适度评价方法的研究主要集中在指标和模型的应用方面，马丽君等^[15-16]针对各类旅游地进行气候舒适度空间分布及时序变化分析，杨俊等^[17]结合气象、交通和地形等构建了避暑基地评价指标体系。相对而言，国内对于避寒气候资源的研究较少。林锦屏等^[18]对中国南方11座旅游名城的避寒气候作了分析，得出中国最佳避寒疗养地的区域格局。邓粒子等^[19]研究表明，国内避寒型气候是稀缺资源具有垄断性特征。

1 资料与方法

1.1 数据来源

本文选取国家气象信息中心提供的1991—2020年共30年的中国地面气候平均值中各站月、旬、日平均的气温、日照时数、风速、相对湿度数据进行分析。

1.2 气候舒适度计算方法

本文所研究的“寒”是指对人体舒适度有影响的低温环境。依据气象团体标准《避寒气候宜居地评价》(T/CMSA 0018-2020)中气候舒适度的技术方法：当日平均气温 $>16\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，使用温湿指数 I 来评价气候舒适度；当 $10\text{ }^{\circ}\text{C}\leq$ 日平均气温 $\leq 16\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，使用风效指数 K 来评价气候舒适度；当日平均气温 $<10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 且日平均相对湿度 $\geq 85\%$ 时，使用温湿指数 I 来评价气候舒适度；当日平均气温 $<10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 且日平均相对湿度 $<85\%$ 时，使用风效指数 K 来评价气候舒适度。

风效指数 K 计算公式为：

$$K = -\left(10\sqrt{V} + 10.45 - V\right)(33 - T) + 8.55S, \quad (1)$$

式中， K 为风效指数，取整数； T 为平均气温，单位为 $^{\circ}\text{C}$ ； V 为平均风速，单位为 m/s ； S 为平均日照时数，单位为 h/d 。

温湿指数 I 计算公式为：

$$I = 1.8T + 32 - 0.55 \times (1 - RH) \times (1.8T - 26), \quad (2)$$

式中， I 为温湿指数，保留1位小数； T 为平均气温，单位为 $^{\circ}\text{C}$ ； RH 为平均空气相对湿度，单位为 $\%$ 。

评价规则见表1。

1.3 茂名的地理位置和气候特征

茂名市位于广东省西南部，地处北回归线以南，

表1 气候舒适度评价规则

Table 1 Criteria of climatic comfortability evaluation

风效指数 K	评价等级	温湿指数 I	评价等级
$K \leq -1000$	暴冷或酷冷 (很不舒适)	$I < 40$	暴冷或酷冷 (很不舒适)
$-1000 < K \leq -800$	寒冷(不舒适)	$40 \leq I < 45$	寒冷(不舒适)
$-800 < K \leq -600$	偏冷或凉偏冷 (较不舒适)	$45 \leq I < 55$	偏冷或凉偏冷 (较不舒适)
$-600 < K \leq -300$	凉(较舒适)	$55 \leq I < 60$	凉(较舒适)
$-300 < K \leq -200$	舒适	$60 \leq I < 65$	舒适
$-200 < K \leq -50$	暖(较舒适)	$65 \leq I < 70$	暖(较舒适)
$-50 < K \leq 80$	偏热或暖偏热 (较不舒适)	$70 \leq I < 75$	偏热或暖偏热 (较不舒适)
$80 < K \leq 160$	热(不舒适)	$75 \leq I < 80$	闷热(不舒适)
$K > 160$	暴热或酷热 (很不舒适)	$I \geq 80$	极闷热(很不舒适)

背山面海，地势由东北向西南倾斜，海拔最高点为1704 m，最低点为1.6 m，形成山地、丘陵、台地、平原层次分明的地形地貌。茂名是广东省重要沿海市之一，海岸线长182.1 km，海岸线众多，形成了多种多样的生态地质地貌，如海积平原、海滩、红树林海岸等。

茂名市属亚热带季风气候区，冬季盛行偏北风，夏季盛行东南风，年平均气温为 $23.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，1月下旬最冷旬平均气温为 $15.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，7月上旬最热旬平均气温为 $28.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。年平均风速为 2.4 m/s ，平均相对湿度在 $70\% \sim 85\%$ 。雨量充沛，年降水量为 1751.9 mm ，年降水日数为137 d，年平均暴雨日数为8.2 d。主要气候特征是夏长冬短，热量丰富，雨量充沛，干湿季明显。

2 我国的避寒需求和资源分析

2.1 我国的避寒需求分析

我国冬季避寒需求较大的地区主要有三类。一是中高纬地区。冬季，太阳直射点移向南半球，北半球各地昼短夜长，纬度越高，白昼越短，日照时间少。冬季太阳辐射总量因太阳高度角不同而形成的与南方地区之间的差异进一步增大。太阳高度角小，白昼又短，这就决定了北方地区冬季气候严寒的特点。二是高原地区。气温随着海拔高度的升高而逐渐下降，一般每升高100 m，气温下降约 $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，同时高海拔地区风速大，造成高原地区体感温度低，严寒干燥，空气含氧量低，避寒需求旺盛。三是南方的部分地区。

利用全国2379个气象站的气温、相对湿度、风速、日照等观测资料计算气候舒适度，从旬平均舒适度分布情况来看，我国最北端的黑龙江省北部自10月上旬开始转冷较不舒适，之后随着冬季的来临，冷较不舒适的区域一直向南推进。每年12月—翌年2月全国大部地区都进入冬季，统计该时间段的旬气候舒适

度,结果显示:暴冷很不舒适有1822站次,寒冷不舒适有2935站次,偏冷较不舒适有7569站次,占总数的57.6%。1月中下旬一般是全年最冷的时段,1月下旬气候舒适度分布(图1)达到暴冷很不舒适的有254站次,寒冷不舒适有352站次,偏冷较不舒适有918站次,占总数的64.1%。持续到4月下旬全国依然有76个站冷较不舒适,最长的避寒需求时间长达7个月,可见我国的避寒需求极其旺盛。

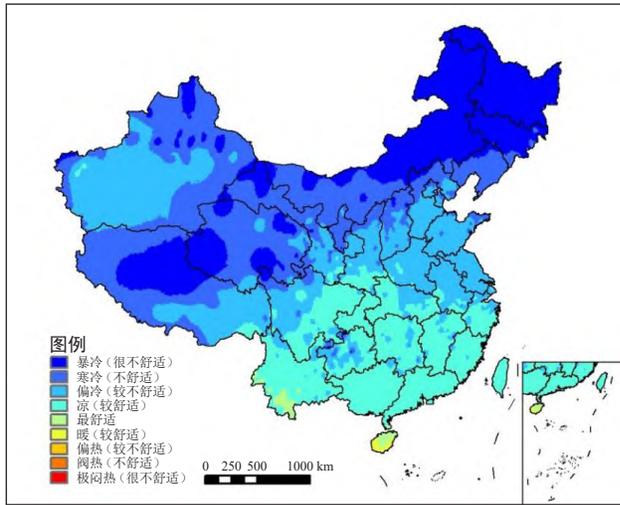


图1 1月上旬全国气候舒适度分布

Fig. 1 Spatial distribution of the climate comfort index in late January

2.2 我国避寒气候资源分布

我国避寒气候资源主要集中在低纬地区,包括云南、广西、广东、海南等省(自治区)。统计全国2379个气象站资料,计算12月上旬一翌年2月下旬避寒需求最旺盛时期的气候舒适度。12月上旬和2月下旬各有107和114个站点气候舒适度为最舒适,分别占全国总站数的4.5%和4.8%,而1月中下旬最舒适的站点最少,仅有24个,占全国总站数的1%,可见全国避寒气候资源的稀缺性(图2)。

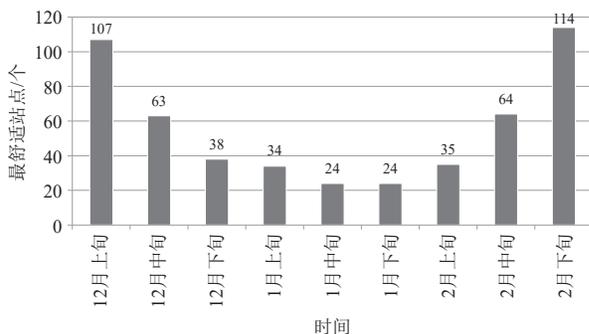


图2 12月上旬一翌年2月下旬全国最舒适的站点数

Fig. 2 Numbers of the most comfortable stations in China from early December to late February

3 茂名市避寒气候资源优势

3.1 温度适宜 无冬日长

统计1991—2020年茂名的观测资料,仅有1993年1月17—23日,2008年1月26日—2月2日,2010年2月15—19日,2014年2月10—14日平均气温连续5 d $< 10^{\circ}\text{C}$,30年中仅有25 d符合气象学意义上冬季的标准。茂名最低气温极值出现在2016年1月25日,为 2.6°C 。12月一翌年2月日平均气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 称为无冬日,近30年茂名日平均气温 $< 10^{\circ}\text{C}$ 的年平均日数仅有2.9 d,年平均无冬日达到了87 d。

从茂名12月一翌年2月的日平均最高气温、最低气温和平均气温分布来看,最高气温在 $19.0\sim 25.7^{\circ}\text{C}$,最低气温在 $11.8\sim 16.4^{\circ}\text{C}$,平均气温在 $14.8\sim 20.2^{\circ}\text{C}$,相比北方地区动辄零下的气温,很适宜避寒旅游。

3.2 日照充足

冬季日光对避寒旅游者而言具有特殊意义,尤其对于有疗养需求的避寒旅游者来说,冬季日光可促进人体的血液循环,增强人体新陈代谢和免疫功能。日光作为旅游活动中不能缺少的因素,日照时数长意味着晴天多雨天少,冬季,较长时间的日照会给人带来温暖的舒适感,也会给人体的神经系统带来兴奋的感觉,从而使身心感到愉悦,冬季日照时间长的地区常常会吸引更多的游客。从日照时数分布情况看,茂名地区12月上旬一翌年1月上旬平均每天日照时数 $> 4\text{ h}$ 。对比江南和华南纬度相近的地区,茂名地区平均日照时数较长,光照充足,适合滨海避寒旅游。

3.3 气候舒适期长

通过计算10月上旬一翌年4月下旬避寒需求时段旬气候舒适度(表2),茂名气候舒适期从11月中旬持续至翌年3月中旬,有8旬舒适,5旬较舒适。尤其是在12月一翌年2月全国大部分地区主要避寒需求时间段,茂名有8旬为舒适,1旬为较舒适。

3.4 茂名与主要避寒旅游城市气候资源的对比

全国旅游数据表明,海南省三亚市是大多数游客避寒旅游首选地。对比10月上旬一翌年4月下旬茂名和三亚的相对湿度,21旬中,只有6旬茂名的湿度大于三亚,其余时段茂名的相对湿度都小于三亚。在主要避寒旅游城市中,茂名的相对湿度总体较低,适合避寒旅游。

选取三亚、海口、北海、南宁4个主要避寒目的地气候资源与茂名对比(表2),每个城市气候资源各具特色:三亚温度偏高,日照时数最长,气候舒适度为暖较舒适;海口湿度偏大,1月中下旬达到最舒适;北海和南宁温度偏低,日照时数短,舒适期开始

表2 茂名与主要避寒旅游城市旬气候舒适度对比
Table 2 Comparison of ten-day climatic comfortability between Maoming and other winter tourist destinations

月旬	茂名	三亚	海口	北海	南宁
10月上旬	热	热	热	热	偏热
10月中旬	热	热	热	热	偏热
10月下旬	偏热	热	热	偏热	偏热
11月上旬	偏热	偏热	偏热	偏热	暖
11月中旬	暖	偏热	偏热	暖	暖
11月下旬	暖	偏热	偏热	暖	舒适
12月上旬	舒适	偏热	暖	舒适	凉
12月中旬	舒适	暖	暖	舒适	凉
12月下旬	舒适	暖	暖	凉	凉
1月上旬	舒适	暖	暖	凉	凉
1月中旬	舒适	暖	舒适	凉	凉
1月下旬	凉	暖	舒适	凉	凉
2月上旬	舒适	暖	暖	凉	凉
2月中旬	舒适	偏热	暖	舒适	凉
2月下旬	舒适	偏热	暖	舒适	舒适
3月上旬	暖	偏热	暖	舒适	舒适
3月中旬	暖	偏热	偏热	暖	舒适
3月下旬	偏热	偏热	偏热	暖	暖
4月上旬	偏热	热	热	偏热	暖
4月中旬	偏热	热	热	偏热	偏热
4月下旬	热	热	热	热	偏热

注：表中阴影表示所在旬的气候舒适度最佳地区。

早，主要的避寒需求时段舒适度偏凉；茂名温湿度适中，气候舒适期最长。

3.5 茂名主要客源地避寒需求分析

根据旅游数据分析茂名主要冬季旅游客源地，选取郑州、沈阳、上海、北京、长沙、杭州、哈尔滨、贵阳、西安、乌鲁木齐十个主要城市为代表分析茂名避寒适宜时段。从旬气候舒适度分布来看(表3)，对于东北地区的代表城市哈尔滨和沈阳来讲，茂名的避寒适宜期分别有17旬和15旬；对于西北地区的乌鲁木齐和西安，茂名可提供的避寒适宜期有14旬和9旬；华北地区以北京为代表，茂名可提供的避寒适宜期有11旬；华中地区的郑州和长沙，茂名可提供的避寒适宜期有8~9旬；华东地区的代表城市上海和杭州以及西南地区的贵阳，可利用的避寒时间有8~9旬。上述代表城市覆盖了我国的主要地理分区，所以茂名的避寒气候资源对全国避寒需求地区具有一定的普适性。

4 气候变化对茂名避寒气候资源的影响

4.1 茂名冬季温度变化趋势

在全球变暖背景下，我国平均气温整体呈增暖趋势。研究时段内，茂名年平均气温1998年达到最高值，为24.5℃，2008年最低，为22.5℃，年平均气温总体呈现升高的趋势。分析茂名12月一翌年2月平

表3 茂名与主要客源地城市旬气候舒适度对比
Table 3 Comparison of ten-day climatic comfortability between Maoming and other main tourist destinations

月旬	茂名	郑州	沈阳	上海	北京	长沙	杭州	哈尔滨	贵阳	西安	乌鲁木齐
10月上旬	热	舒适	凉	暖	舒适	暖	暖	凉	舒适	凉	凉
10月中旬	热	舒适	凉	暖	凉	暖	暖	凉	凉	凉	凉
10月下旬	偏热	凉	凉	舒适	凉	舒适	舒适	偏冷	凉	凉	凉
11月上旬	偏热	凉	偏冷	舒适	凉	凉	凉	偏冷	凉	凉	偏冷
11月中旬	暖	凉	偏冷	凉	凉	凉	凉	寒冷	凉	凉	偏冷
11月下旬	暖	凉	寒冷	凉	偏冷	凉	凉	寒冷	凉	凉	寒冷
12月上旬	舒适	偏冷	寒冷	凉	偏冷	凉	凉	暴冷	凉	凉	寒冷
12月中旬	舒适	偏冷	寒冷	凉	偏冷	凉	凉	暴冷	偏冷	偏冷	寒冷
12月下旬	舒适	偏冷	寒冷	凉	偏冷	凉	凉	暴冷	偏冷	偏冷	寒冷
1月上旬	舒适	偏冷	寒冷	凉	偏冷	偏冷	凉	暴冷	偏冷	偏冷	寒冷
1月中旬	舒适	偏冷	寒冷	凉	偏冷	偏冷	偏冷	暴冷	偏冷	偏冷	寒冷
1月下旬	凉	偏冷	寒冷	凉	偏冷	偏冷	偏冷	暴冷	偏冷	偏冷	寒冷
2月上旬	舒适	偏冷	寒冷	凉	偏冷	凉	凉	暴冷	偏冷	凉	寒冷
2月中旬	舒适	偏冷	寒冷	凉	偏冷	凉	凉	暴冷	偏冷	凉	寒冷
2月下旬	舒适	凉	寒冷	凉	偏冷	凉	凉	寒冷	凉	凉	寒冷
3月上旬	暖	凉	偏冷	凉	偏冷	凉	凉	寒冷	凉	凉	偏冷
3月中旬	暖	凉	偏冷	凉	凉	凉	凉	寒冷	凉	凉	偏冷
3月下旬	偏热	凉	偏冷	凉	凉	凉	凉	偏冷	凉	凉	凉
4月上旬	偏热	凉	凉	凉	凉	舒适	凉	偏冷	凉	凉	凉
4月中旬	偏热	舒适	凉	舒适	凉	舒适	舒适	凉	舒适	凉	凉
4月下旬	热	舒适	凉	舒适	舒适	暖	暖	凉	舒适	舒适	凉

注：表中阴影是茂名可满足其避寒需求的时段。

均气温却发现，近30年茂名市冬季气温总体呈下降的趋势，2008年最低，为14.6℃，1994年最高，为18.6℃。

4.2 茂名冬季气候舒适时长变化

计算12月一翌年2月茂名气候适宜日数(图3)发现，30年间，冬季避寒适宜日数总体呈现略减少趋势，1992年气候适宜日数最多，达到了89 d，最少的2010年只有64 d。

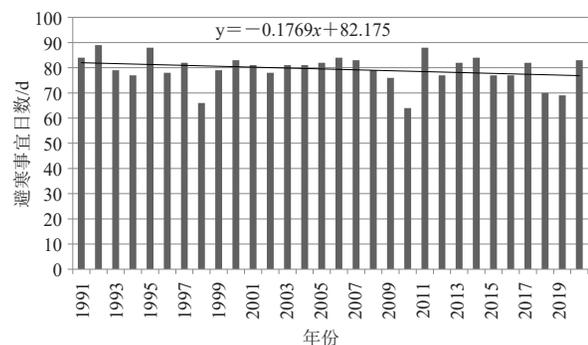


图3 茂名1991—2020年12月一翌年2月避寒适宜日数
Fig. 3 Winter comfortable days in Maoming from December to February of 1991-2020

茂名冬季气温的下降和舒适时长的减少与全球变暖的气候背景并不矛盾。近年来我国冬季寒潮、强降温时有发生，对于北回归线以南地区的影响也越来越

明显。虽然年际尺度的冷暖波动不会从根本上改变全球气候变暖的总体趋势,但大范围寒潮极端降温给生活、生产带来了严重影响,更需重视并加强防范和应对。分析其他主要避寒城市也存在类似的现象,也说明避寒资源的稀缺性。

5 结论

1) 茂名地区冬季气温、相对湿度和日照时数适宜,气候舒适期长,气候资源适宜避寒。建议充分利用气候资源优势,打造茂名避寒旅游地。

2) 在全球变暖的背景下,茂名近30年的12月—翌年2月气温呈下降趋势,气候舒适天数略减少,避寒气候资源呈减少趋势,冬季寒潮等极端天气也在增多,但是人们追求舒适气候条件的需求不会减少,因此气候变化对茂名开展避寒旅游影响不大。

3) 本文利用气象站观测数据进行气候舒适度等计算,对于全国具有普适性,但对于不同目标人群,结论可能会存在一定的不适用性,建议可以加强相关方面的方法研究,更好的针对不同人群开展避寒气象服务。

参考文献

[1] Marchant B, Ranjadayalan K, Stevenson R, et al. Circadian and seasonal factors in the pathogenesis of acute myocardial infarction: The influence of environmental temperature. *Heart*, 1993, 69(5): 385-387.
[2] Gerber Y, Jacobsen S J, Killian J M, et al. Seasonality and daily

weather conditions in relation to myocardial infarction and sudden cardiac death in Olmsted county, Minnesota, 1979 to 2002. *Journal of the American College of Cardiology*, 2006, 48(2): 287-292.
[3] 杨备战,赵科林,刘立刚,等.气象因素对石家庄地区居民急性心肌梗死发病的影响. *河北医药*, 2009, 31(7): 867-868.
[4] 柳蒙图.人与物理环境.北京:中国建筑出版社,1996.
[5] 秦耀辰,谢志祥,李阳.大气污染对居民健康影响研究进展. *环境科学*, 2019, 40(3): 1512-1520.
[6] 李正泉,贺忠华,胡中民.气候与健康及气候康养研究进展. *海洋气象学报*, 2020, 40(1): 107-116.
[7] 范业正,郭来喜.中国海滨旅游地气候适宜性评价. *自然资源学报*, 1998, 13(4): 304-311.
[8] 廖善刚.福建省旅游气候资源分析. *福建师范大学学报(自然科学版)*, 1998, 14(1): 93-97.
[9] 陈英.吉林省旅游气候舒适性评价.长春:东北师范大学,2009.
[10] 马丽君.中国典型城市旅游气候舒适度及其与客流量相关性分析.西安:陕西师范大学,2012.
[11] 吴普.气候变化对海南旅游业的影响.北京:中国科学院地理科学与资源研究所,2008.
[12] 吴普,葛全胜,齐晓波,等.气候因素对滨海旅游目的地旅游需求的影响:以海南岛为例. *资源科学*, 2010, 32(1): 157-162.
[13] Houghten F C, Yaglou C P. Determining lines of equal comfort. *Transactions of the American Society of Heating and Ventilating Engineers*, 1923, 29: 165-176.
[14] Terjung W H. Physiologic climates of the conterminous United States. A bioclimatic classification based on man. *Annals of the Association of American Geographers*, 1966, 56(1): 141-179.
[15] 马丽君,孙根年.中国西部热点城市旅游气候舒适度. *干旱区地理*, 2009, 32(5): 791-797.
[16] 马丽君,孙根年,谢越法,等.50年来东部典型城市旅游气候舒适度变化分析. *资源科学*, 2010, 32(10): 1963-1970.
[17] 杨俊,张永恒,席建超.中国避暑旅游基地适宜性综合评价研究. *资源科学*, 2016, 38(12): 2210-2220.
[18] 林锦屏,郭来喜.中国南方十一座旅游名城避寒疗养气候旅游资源评估. *人文地理*, 2003, 18(6): 26-30.
[19] 邓粒子,保继刚.中国避暑型与避寒型宜人气候的分布特征及差异. *地理研究*, 2020, 39(1): 41-52.

(上接35页)

[6] 陈峪,黄朝迎.气候变化对能源需求的影响. *地理学报*, 2000, (A1): 11-19.
[7] 张璟.气候变暖对我国典型城市居民超额死亡影响研究.上海:复旦大学,2014.
[8] 夏建阳,鲁芮伶,朱辰,等.陆地生态系统过程对气候变暖的响应与适应. *植物生态学报*, 2020, 44(5): 494-514.
[9] Rahmstorf S, Coumou D. Increase of extreme events in a warming world. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2011, 108(44): 17905-17909.
[10] Min S K, Kim Y H, Kim M K, et al. Assessing human contribution to the summer 2013 Korean heat wave. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2014, 95(9): S48-S51.
[11] 董晓晓,武炳义.江淮地区夏季高温事件与北极冷异常的动力联系. *应用气象学报*, 2019, 30(4): 431-442.
[12] Zeng H L, Xiao C, Chen X Y, et al. State of China's climate in 2019. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 2020, 13(4): 356-362.
[13] 彭京备,刘炯,孙淑清.2013年我国南方持续性高温天气及副热带高压异常维持的成因分析. *大气科学*, 2016, 40(5): 897-906.
[14] 杨涵涌,封国林.2013年盛夏中国持续性高温事件诊断分析. *高原气象*, 2016, 35(2): 484-494.
[15] 李琼.浙江地区夏季高温气候特征及其影响因子研究.兰州:兰州大学,2018.
[16] 袁媛,丁婷,高辉,等.我国南方盛夏气温主模态特征及其与海温异常的联系. *大气科学*, 2018, 42(6): 1245-1262.
[17] 贾子康,郑志海,封国林.中国南方地区盛夏高温类型及其对应的大尺度环流和海温异常. *气象学报*, 2020, 78(6): 928-944.
[18] Wang W W, Zhou W, Li X Z, et al. Synoptic-scale characteristics and atmospheric controls of summer heat waves in China. *Climate Dynamics*, 2016, 46: 2923-2941.

[19] 何亮,曹云,王纯枝.2017年夏季气候对农业生产的影响. *中国农业气象*, 2017, 38(11): 749-751.
[20] 周放,孙照渤.1961—2010年江苏省夏季气温变化及其异常时环流场特征. *气象科学*, 2014, 34(1): 96-103.
[21] 洪国平,王苗,方思达.近55年湖北省凉爽气候事件及其大气环流特征. *气象科技*, 2018, 46(2): 352-360.
[22] 崔童,王东阡,李多,等.2014年夏季我国气候异常及成因简析. *气象*, 2015, 41(1): 121-125.
[23] 司东,柳艳菊,邵颀,等.2015年海洋和大气环流异常及对中国气候的影响. *气象*, 2016, 42(4): 481-488.
[24] 钱卓蕾,娄小芬,马洁华,等.2014年夏季浙江低温多雨的大尺度环流特征及与海温异常关系. *气候与环境研究*, 2018, 23(2): 199-209.
[25] 陈隆勋,周秀骥,李维亮,等.中国近80年来气候变化特征及其形成机制. *气象学报*, 2004, (5): 634-646.
[26] 朱景,袁慧珍.ERA再分析陆面温度资料在浙江省的适用性. *气象科技*, 2019, 47(2): 289-298.
[27] 吕润清,李响.ERA-Interim和ERA5再分析数据在江苏区域的适用性对比研究. *海洋预报*, 2021, 38(4): 27-37.
[28] 李琪,苏欢,史雨涵,等.1961—2010年江浙沪地区夏季高温热浪时空变化特征. *长江流域资源与环境*, 2016, 25(3): 506-513.
[29] 符滨斌,王强.气候突变的定义和检测方法. *大气科学*, 1992, (4): 482-493.
[30] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术.北京:气象出版社,1999: 43-72.
[31] 黄嘉佑.气候统计分析预报方法(第三版).北京:气象出版社,2004: 130-139.
[32] North G R, Bell T L, Cahalanand R F, et al. Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal functions. *Monthly Weather Review*, 1982, 110(7): 699-706.