

1971—2017年湖南省热浪和寒潮的时空变化特征

邓楚雄, 彭艳启*, 刘唱唱 (湖南师范大学资源与环境科学学院, 湖南长沙 410006)

摘要 基于1971—2017年湖南省29个气象站点的逐日温度数据, 结合线性趋势分析方法和空间插值法, 研究湖南省热浪和寒潮的时空分布和变化趋势。结果表明, 1971—2017年湖南省一共经历了248个热浪和114个寒潮。热浪频次和天数呈现上升趋势, 寒潮频次和天数呈现下降趋势。受气候变暖的影响, 在1986年以后热浪天数以94.76 d/10 a的速度显著增加。由于大气环流和地形地势的影响, 热浪的影响程度呈现以湘东湘南为高值中心向湘西和湘北逐渐扩散减弱的空间格局, 寒潮的影响程度呈现从西北向东南逐渐增强的空间格局。热浪和寒潮的变化趋势具有明显的空间差异。热浪在全省绝大部分地区呈现增加趋势, 尤以省会长沙市附近台站最为突出和显著; 寒潮的频次和天数在包括湘北、湘西和湘中的大部分地区呈现减小趋势, 在湘南地区呈现增加趋势, 但是所有站点的寒潮频次和天数变化趋势都不显著。

关键词 热浪; 寒潮; 时空特征; 气候变暖; 湖南省

中图分类号 P 429 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2021)09-0200-06

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.09.055



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Temporal-spatial Variation Characteristics of Heat Wave and Cold Wave in Hunan Province from 1971 to 2017

DENG Chu-xiong, PENG Yan-qi, LIU Chang-chang (College of Resources and Environmental Science, Hunan Normal University, Changsha, Hunan 410006)

Abstract Based on the daily temperature data of 29 meteorological stations in Hunan Province from 1971 to 2017, combined with the linear trend analysis method and spatial interpolation method, the temporal and spatial distribution and change trend of heat waves and cold waves in Hunan Province were studied. The results showed that Hunan Province experienced a total of 248 heat waves and 114 cold waves from 1971 to 2017. The frequency and days of heat wave showed an upward trend, and the frequency and days of cold wave showed a downward trend. Affected by climate warming, the heat wave days after 1986 had increased significantly at a rate of 94.76 d/10 a. Due to the influence of atmospheric circulation and topography, the degree of influence of the heat wave presented a spatial pattern of gradually spreading and weakening from the high center of eastern Hunan to southern Hunan, and the influence of the cold wave presented a spatial pattern of gradually increasing from northwest to southeast. There were obvious spatial differences in the changing trends of heat waves and cold waves. Heat waves had shown an increasing trend in most areas of the province, especially the stations near the provincial capital Changsha City were the most prominent and significant. The frequency and number of cold waves showed a decreasing trend in most areas including northern Hunan, western Hunan and central Hunan, and an increasing trend in southern Hunan. However, the frequency and number of days of cold waves at all stations had not changed significantly.

Key words Heat wave; Cold wave; Temporal and spatial characteristics; Climate warming; Hunan Province

在自然灾害的分类中, 热浪和寒潮作为极端温度事件被统计到气候自然灾害中^[1]。热浪一般指连续多日的极端高温, 寒潮则是指在寒冷季节里一次冷空气暴发导致的剧烈降温过程。近年来, 热浪和寒潮的频繁发生已经成为影响社会经济、生态、环境和人体健康的重要问题^[2-4]。热浪和寒潮期间的极端温度会导致区域的死亡率明显上升, 这引起了广泛的公共卫生问题^[5-7], 同时室内供暖和制冷需求的增加会极大地增大电力系统的压力和能源消耗, 并引起二氧化碳排放量的增加^[8-9]。IPCC(2014)指出1880—2012年全球平均温度已升高0.85℃, 气候变暖的一个严重可能后果就是导致极端降水、干旱、热浪和寒潮等极端事件更频繁发生^[10-11]。因此掌握和明确热浪和寒潮的时空特点和规律, 从而制定相应的防灾减灾政策对于社会经济发展和人民生命安全具有重要意义。

在世界各地, 针对极端温度事件已进行了很多研究。在西班牙^[12]、土耳其^[13]和美国^[14]观察到热浪频次和天数的增加以及寒潮频次和天数的下降趋势, 这符合气候变暖的一般

认知, 即气候变暖导致平均气温升高, 热浪事件因而增多增强, 寒潮事件减少减弱。然而对喀尔巴阡山地区^[15]的调查发现在热浪增多的同时, 喀尔巴阡山东北部寒潮的影响程度和强度也在增加。在南美洲^[16]和波罗的海南岸地区^[17], 寒潮事件则没有明显的变化趋势。对于中国极端温度事件的研究发现, 1961—2007年在大部分地区的热浪频次显著增加的情况下, 黄河流域的一些站点的热浪次数出现了明显的下降^[18]。寒潮的频次和持续时间在中国北方^[19]和位于亚热带地区的广东省^[20]呈现减少趋势。但是在山东省^[21], 高等级的特强寒潮几乎没有变少的趋势。总体而言, 由于地理位置的不同以及大气环流等其他因素的影响, 极端温度事件的空间分布和变化趋势呈现具有明显空间差异性的特点。为了增强关于气候变化的全球和区域影响的理解, 需要在不同的区域进行极端温度事件变化的调查。

湖南省位于中国南方的亚热带地区, 炎热而漫长的夏季是亚热带季风气候带来的主要特点, 因此湖南常常经历严重的热浪事件, 严重影响工农业生产和人体健康^[22]。在中国31个省级行政区中, 湖南省是发生寒潮灾害最多的省份^[23]。以往对湖南省极端温度事件的研究多关注于一次热浪或寒潮事件的过程机制, 较少涉及热浪或寒潮的长期趋势分析^[24-25]。在最近的50年里湖南省发生了明显的气候变暖趋

基金项目 国家自然科学基金项目(U19A2047); 湖南省教育厅重点项目(18A044)。

作者简介 邓楚雄(1974—), 男, 湖南衡阳人, 教授, 博士, 从事土地生态、资源经济等方面的研究。*通信作者, 硕士研究生, 研究方向: 极端温度事件与灾害评估。

收稿日期 2020-12-27

势^[26]。该研究以湖南省为研究区域,分析热浪和寒潮的空间格局和长期变化趋势,并探讨气候变暖对极端温度事件的可能影响,该研究结果对于理解气候变暖背景下亚热带地区热浪和寒潮的变化趋势具有重要意义,同时有助于湖南省针对极端温度事件制定科学的防灾减灾政策。

1 资料与方法

1.1 研究区概况 湖南省位于中国中部、长江中游(24°38'~30°08'N,108°47'~114°15'E),属于亚热带季风气候,面积达 $2.12 \times 10^5 \text{ km}^2$,全省常住人口 6 918.38 万人(2019 年),地区生产总值(GDP)39 752.12 亿元。湖南省地处云贵高原向江南丘陵和南岭山脉向江汉平原过渡的地带,东面为幕阜、武功等山脉,西面为雪峰山、武陵山等山脉,南面为南岭山脉,整体上呈现为东、西、南三面环山且朝北开口的地形地貌。

1.2 数据来源 逐日气温数据来自中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>)提供的 1971—2017 年中国地面气候资料日值数据集(V3.0)。气象站的位置和信息见图 1,个别站点如有缺失数据,采用邻近站点插值方法进行插补,并进行一致性检验。

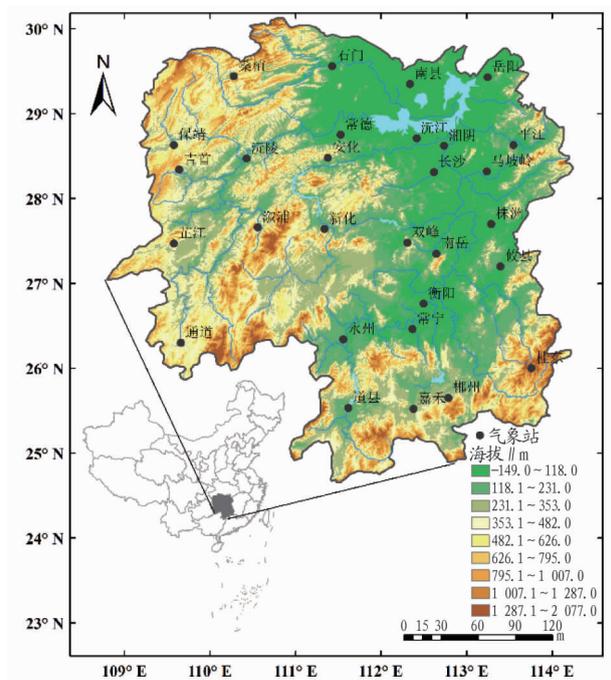


图 1 湖南省及 29 个气象站的位置

Fig. 1 The location of Hunan Province and 29 meteorological stations

1.3 热浪和寒潮的定义 根据中央气象局的标准,当日最高温度高于 $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时为高温天气,当连续 3 d 以上最高气温达到 $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 及以上时为一次高温热浪事件;当冷空气使某地在 24 h 内气温下降 $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上或 48 h 内气温下降 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上,并且日最低气温在 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 及以下时则被认定为寒潮。在该研究中,热浪和寒潮的定义参考中央气象局的标准。另外,由于寒潮指一次冷空气的侵袭过程,因此为了排除个别站点微气候的影响,只有当 3 个或大于 3 个气象站同时经历以上降温过程时才被认为发生了一次寒潮。

1.4 分析方法 该研究选取了频次和天数 2 个指标来表征热浪和寒潮的空间格局和变化趋势。根据热浪和寒潮标准分别统计了 29 个站点在 1971—2017 年经历的热浪次数、热浪天数、寒潮频次和寒潮天数,如此获得 29 个站点热浪和寒潮的频次和天数的逐年时间序列。相邻时间内所有站点经历的热浪和寒潮视为一次热浪和寒潮,如此获得全省层面上的热浪和寒潮的逐年时间序列。普通最小二乘(ordinary least squares, OLS)回归用于检验热浪和寒潮的线性趋势,并结合 t 检验检查趋势的统计显著性。基于反距离权重法,根据各个站点的热浪和寒潮的频次和天数以及频次和天数的趋势系数进行空间插值,获得湖南省热浪和寒潮的空间分布和变化趋势的空间分布。

2 结果与分析

2.1 热浪和寒潮的时间特征 根据热浪和寒潮的定义,1971—2017 年湖南省一共经历了 248 个热浪事件和 114 个寒潮事件,热浪和寒潮的年均频次分别为 5.28 和 2.43 次/a。如图 2a、2c 所示,热浪频次和寒潮频次具有明显的年际差异。2005 年是热浪活动最频繁的年份,一共发生了 10 次热浪,在 1979 年则仅经历 2 次热浪;1972、1979、2010 和 2011 年是寒潮活动最频繁的年份,这些年份都经历了 5 次寒潮,在 1975、1984、1995 和 1997 年则没有发生过寒潮事件。

如图 2b、2d 所示,1971—2017 年湖南省 29 个气象站一共经历的热浪和寒潮天数分别为 22 452 和 1 793 d,年均天数分别为 477.70 和 38.15 d/a。可见寒潮天数远远少于热浪天数,这可能是由于湖南省位于亚热带地区,热浪事件的影响程度相对于寒潮事件更强。与频次类似,热浪和寒潮的天数同样具有较大的年际差异,在 47 年间,2013 年经历的热浪天数最多,29 个地点一共经历 1 065 d,经历热浪天数最少的是 1993 年,29 个地点一共仅经历了 93 d;1988 年是经历寒潮天数最多的年份,一共有 98 d,除没有发生寒潮的年份外,2015 年是寒潮日数发生最少的一年,仅经历 3 d。除此之外,如图 2d 所示,寒潮天数的年际差异最为明显,寒潮天数在 40 d/a 以上的年份平均每年会经历 70.55 d 寒潮,寒潮天数在 40 d/a 以下的年份平均每年仅经历 16.61 d 寒潮。这可能是由于湖南省位于低纬度地区,影响湖南省的寒潮一般由北极地区的冷空气南下而来,因此在寒潮活动弱的年份,较弱的冷空气经过长距离的移动慢慢减弱,可能不会到达湖南或仅仅在几个地点引起降温;在寒潮活动较强的年份,强烈的冷空气则可能会引起大部分地点甚至全省发生低温天气。因此由于冷空气强弱的不规律性,在中低纬度地区可能更缺乏规律性的准备和应对经验,当较强烈的寒潮发生时,往往产生更为严重的灾害事件。

分别统计了 1971—2017 年各个年代的热浪频次、热浪天数、寒潮频次和寒潮天数的年平均均值,结果发现(表 1),热浪事件的次数和天数总体呈现在波动中上升的趋势,寒潮事件的次数和天数总体呈现在波动中下降的趋势。其中在 2001—2010 年,平均每年经历热浪 6.00 次和 603.40 d,寒潮则仅经历 2.10 次和 30.80 d,这一时期是热浪活动最为强烈

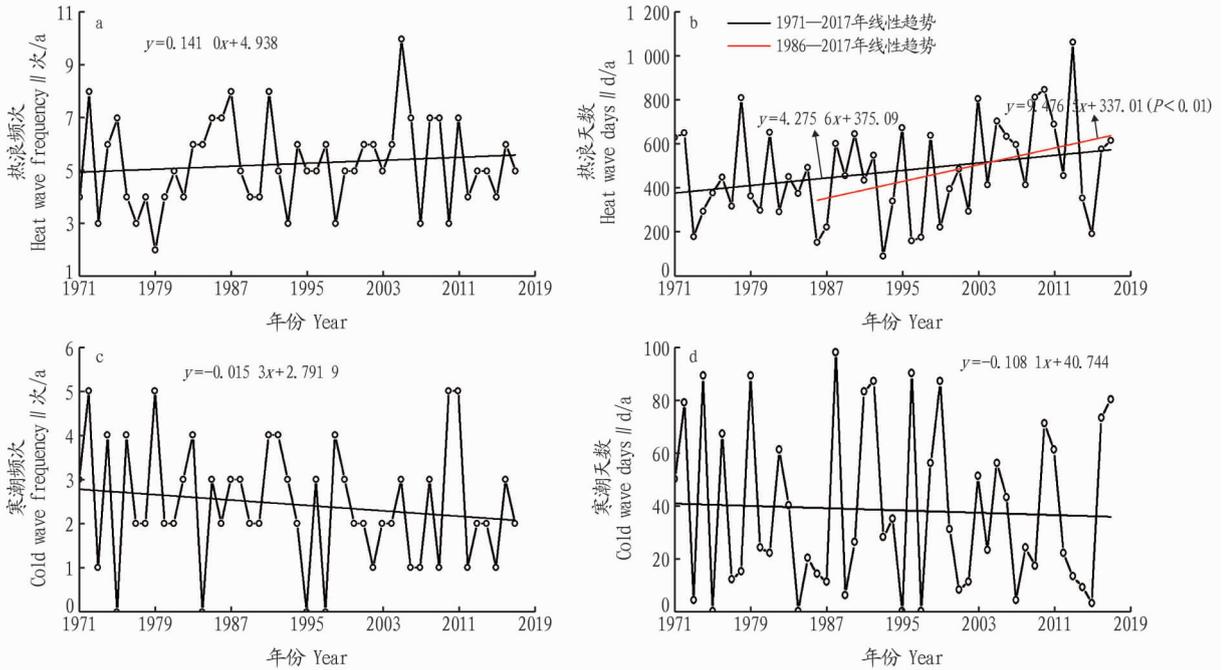


图2 1971—2017年湖南省热浪频次(a)、热浪天数(b)、寒潮频次(c)和寒潮天数(d)的时间变化

Fig. 2 Time changes of heat wave frequency (a), heat wave days (b), cold wave frequency (c) and cold wave days (d) in Hunan Province from 1971 to 2017

而寒潮活动最为平静的一个时期。

表1 1971—2017年各个年代的热浪和寒潮事件

Table 1 Heat wave and cold wave events in various years from 1971 to 2017

时段 Period	热浪频次 Heat wave frequency 次/a	热浪天数 Heat wave days d/a	寒潮频次 Cold wave frequency 次/a	寒潮天数 Cold wave days d/a
1971—1980	4.50	438.80	2.80	42.90
1981—1990	5.60	436.70	2.40	29.80
1991—2000	5.10	370.00	2.50	49.70
2001—2010	6.00	603.40	2.10	30.80
2011—2017	5.14	566.14	2.29	37.29

从图2可以看出,1971—2017年热浪频次和热浪天数呈现上升趋势,寒潮频次和寒潮天数呈现下降趋势,随时间变化的趋势分别为1.41次/10a、42.76d/10a和-0.15次/10a、-1.08d/10a,且变化趋势都没有通过显著性检验($P>0.05$)。叶殿秀等^[27-29]研究发现自20世纪80年代中期开始,中国大部分地区发生了明显的气候增暖,并且导致热浪和寒潮事件的频次和日数发生变化。因此,该研究分别计算了1986年前后2个时段湖南省平均气温的变化趋势,结果表明(图3),湖南省年平均气温在1986年以后以0.33℃/10a的速度上升,并且在 $\alpha=0.01$ 显著性水平上具有统计学意义,这说明湖南省在1986年以后经历了明显的气候变暖。同时对热浪频次、天数和寒潮频次、天数进行了分段线性检验,结果表明在1986—2017年热浪天数以94.77d/10a的速度增加并且在 $\alpha=0.05$ 显著性水平上具有统计学意义(图2b),热浪频次、寒潮频次和天数的变化趋势则不显著($P>0.05$)。同时相关分析表明,热浪天数和平均

气温具有显著的正相关,两者的皮尔逊相关系数为0.324($P<0.05$),热浪频次、寒潮频次和天数与平均气温没有显著的相关关系。这表明气候变暖可能会导致热浪天数增多,同时热浪事件没有显著的增多,因此每次热浪持续的时间可能会变得更长。根据Anderson等^[30]的研究,热浪持续时间每增加1d,热浪死亡风险增加0.38%,因此湖南省热浪天数的增加趋势可能会显著提高热浪事件的危险性。

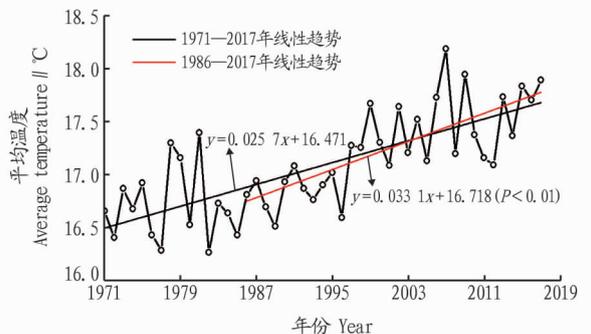


图3 1971—2017年湖南省平均温度的时间变化

Fig. 3 Time changes of average temperature in Hunan Province from 1971 to 2017

2.2 热浪与寒潮的空间特征

2.2.1 热浪和寒潮的空间分布特征。图4为基于反距离权重插值法得出的湖南省热浪和寒潮事件的空间分布图,如图4a、b所示,南岳站和桂东站是湖南省热浪事件的低值中心,南岳站在47年内没有经历过热浪事件,桂东站仅在1987年7月经历一次热浪,持续3d。同时在图4c、d中,可以发现南岳站和桂东站则是湖南省寒潮事件的高值中心,在29个站点中,南岳站和桂东站经历的寒潮次数和天数是最多的。

1971—2017 年南岳站一共经历了 105 个寒潮,一共 186 d,桂东站经历了 70 个寒潮,一共 103 d。南岳站海拔为 1 265.9 m,桂东站海拔 865.9 m,在所有气象站点中,南岳站和桂东站是海拔较高的 2 个站,由于气温垂直递减率的存在,气温会随海拔升高而降低,平均气温较低,因而寒潮事件频发而不易发生热浪事件。因此南岳站附近和桂东站附近成为寒潮事件的高值中心和热浪事件的低值中心可能是受气象站海拔的影响,同时也说明海拔越高的区域受寒潮的影响程度越大,受热浪的影响程度越小。

如图 4a 所示,湖南省所有地点的热浪频次均在 5 次/a 以下,除去南岳站和桂东站的影响以外,热浪频次的高值中心在湖南的东部和南部地区,包括衡阳市、株洲市和郴州市的主要地区,即衡阳站、常宁站、株洲站、攸县站和郴州站附近,这些地区平均每年经历热浪 4 次以上;攸县站附近是湖南省热浪频次最高的地区,47 年内一共经历热浪 219 次,平均每年经历热浪 4.66 次;次高值区域包括湖南中东部的大部分地区,包括长沙市、岳阳市南部、益阳市南部、常德市南部、娄底市、怀化市东部、邵阳市东部、永州市、郴州市等地区,即长沙站、马坡岭站、平江站、常德站、沅陵站、溆浦站、新化站、双峰站和嘉禾站附近,这些地区平均每年经历热浪 3~

4 次;湖南省北部和西部地区则为热浪事件的低值区域,包括岳阳市北部、益阳市北部、常德市北部、张家界市、湘西自治州、怀化市西部和邵阳市西南部等地区,即岳阳站、湘阴站、沅江站、南县站、石门站、桑植站、保靖站、吉首站、芷江站、通道站、永州站和道县站附近,这些地区平均每年经历的热浪次数在 3 次以下。热浪天数的空间分布(图 4b)与热浪频次大致类似,高值中心在湘东和湘南,这些地区平均每年经历的高温热浪天气超过 20 d,其中攸县站附近平均每年经历 31.21 d,是湖南省受热浪影响最严重的区域;次高值区域包括湘中的大部分地区,平均每年经历高温热浪天气在 15~20 d;湘北、湘西等低值区域每年经历的高温热浪天气在 15 d 以下。总体而言,湖南省热浪频次和热浪天数均呈现出以湖南东南部为高值中心向湘西和湘北逐渐扩散减弱的空间格局。这与张曦等^[31]研究的湖南省 5 d 以上的高温热浪天气的空间分布大致类似,这可能与西太平洋副热带高压这一影响湖南省夏季高温天气的重要系统有关,受西太平洋副热带高压影响的区域盛行下沉气流,容易导致高温天气发生,湘东和湘南相对湘西和湘北更靠近西太平洋副热带高压,受其影响更大,因此导致高温热浪事件多发。

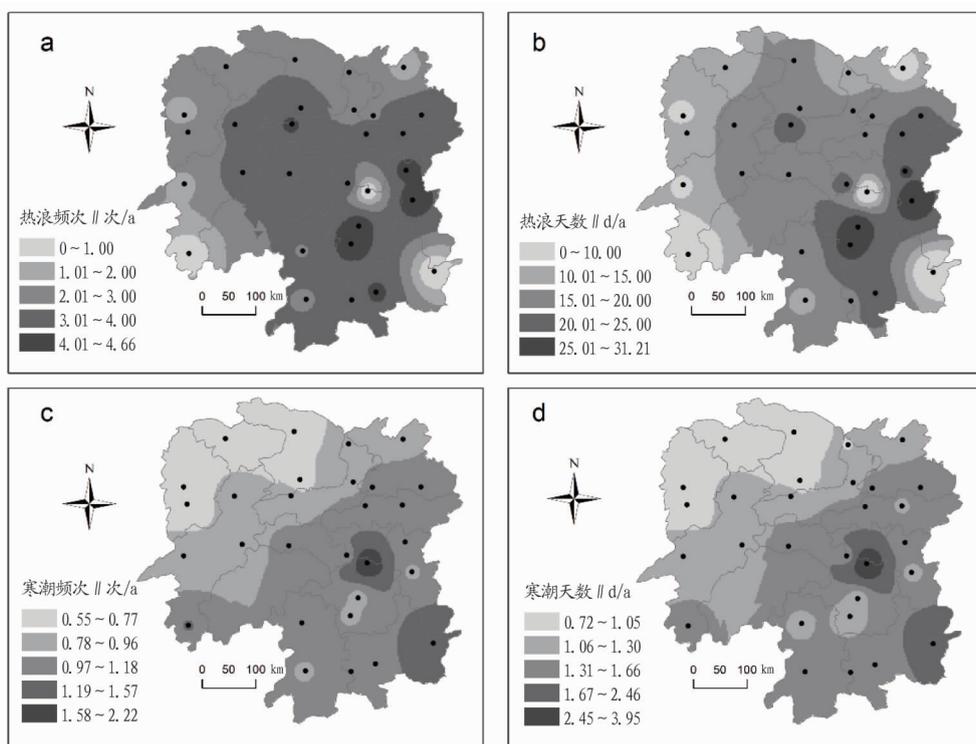


图 4 1971—2017 年湖南省热浪频次(a)、热浪天数(b)、寒潮频次(c)和寒潮天数(d)的空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of heat wave frequency (a), heat wave days (b), cold wave frequency (c) and cold wave days (d) in Hunan Province from 1971 to 2017

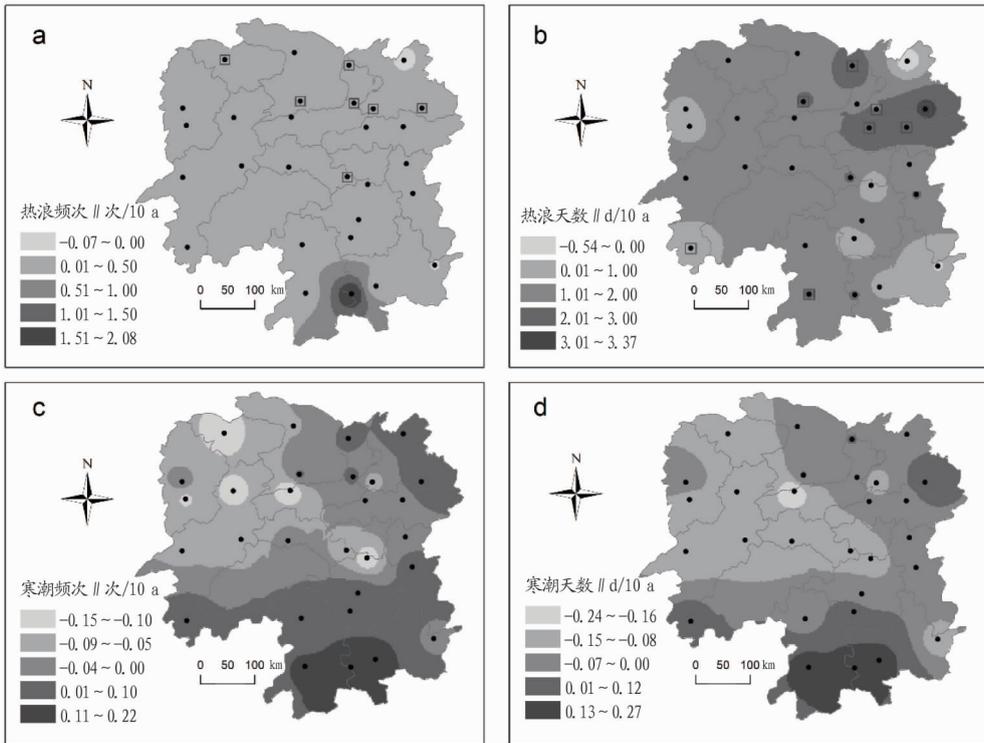
湖南省寒潮频次和寒潮天数则呈现明显地从西北向东南递增的空间格局(图 4c、d),与我国寒潮事件呈现自北向南逐渐减少的格局有很大差异^[32-33]。这可能与湖南省特殊的地形因素有关,首先影响湖南省的寒潮一般从北方而来,由于山地和高原对于冷空气有阻挡作用,位于湘西北的石门

站、常德站、桑植站、保靖站和吉首站附近受武陵山脉的影响,冷空气难以进入,很少经历寒潮事件,是湖南省寒潮事件的低值区域,这些地区寒潮频次在 0.55~0.77 次/a,寒潮天数在 0.72~1.05 d/a。同时湘北的洞庭湖平原由于地势低平,有利于冷空气快速通过,一部分冷空气通过武陵山和雪

峰山之间的沅江河谷进入湖南西部,因此南县站、岳阳站、沅江站、安化站、沅陵站、溆浦站和芷江站附近的寒潮频次在0.78~0.96次/a,除南县站外寒潮天数都在1.06~1.30 d/a,这些地区是湖南省寒潮事件的次高值区域。另外从洞庭湖平原快速通过的冷空气由于西侧雪峰山和东侧罗霄山、武功山等的阻挡向南前进,到达湖南最南部时由于南岭山脉阻挡,在湖南中东部停滞积聚,因此湘东湘南成为寒潮事件的高值区域,除攸县站、衡阳站、常宁站和道县站附近,大部分地区寒潮频次在0.97~1.18次/a,除马坡岭站、衡阳站、常宁站、攸县站和永州站附近,大部分地区寒潮天数在1.31~1.60 d/a。

2.2.2 热浪和寒潮的空间变化特征。基于反距离权重插值法获得湖南省热浪和寒潮事件的空间变化格局(图5)。如图5a所示,湖南省绝大部分区域热浪频次呈增加趋势,除南岳站没有发生过热浪,其余28个站点中仅岳阳站(-0.07次/10a)和桂东站(-0.01次/10a)呈减少趋势且趋势不显著,其余26个站点的热浪频次均呈增加趋势,其中桑

植站、常德站、南县站、岳阳站、平江站、湘阴站和双峰站的热浪频次呈显著增加趋势($P<0.05$);嘉禾站附近热浪频次增加趋势最大(2.07次/10a),其余站点的热浪频次增加速度在0.01~0.50次/10a。热浪天数的空间变化趋势(图5b)与热浪频次类似,除岳阳站(-0.55 d/10a)和桂东站(-0.03 d/10a)呈现减少趋势外,其余26个站点呈现增加趋势(除南岳站),其中常德站、南县站、湘阴站、平江站、长沙站、马坡岭站和道县站呈显著增加趋势($P<0.05$);全省大部分地区热浪天数的增加速度在1.01~2.00 d/10a,平江站的热浪天数增加速度最大,为3.36 d/10a。相较于其他地区,长沙市附近是热浪天数增加趋势最突出的地区,包括长沙站、马坡岭站以及邻近的湘阴站和平江站周围地区,这些区域的热浪天数增加速度在2.01~3.01 d/10a,增加速度高于全省大部分区域。城市化引起的下垫面改变、人为热增加会引起热岛效应,从而加剧城市极端高温发生的范围和强度^[34],作为省会城市,近几十年的快速城市化进程可能是这一地区热浪天数增加速度较高的原因。



注:用方框包围的站点表示变化趋势显著($P<0.05$)

Note: The box-enclosed stations show the significant change trend ($P < 0.05$)

图5 1971—2017年湖南省热浪频次(a)、热浪天数(b)、寒潮频次(c)和寒潮天数(d)变化趋势的空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of the change trends of heat wave frequency (a), heat wave days (b), cold wave frequency (c) and cold wave days (d) in Hunan Province from 1971 to 2017

湖南省寒潮活动的空间变化呈现明显的南北差异,如图5c所示,寒潮频次呈现减少趋势的区域主要包括湖南省中部和北部的大部分地区,包括石门站、桑植站、保靖站、吉首站、沅陵站、安化站、芷江站、溆浦站、新化站、双峰站、南岳站、株洲站、长沙站、马坡岭站和湘阴站附近;除此之外,东南部的桂东站寒潮频次也呈现减少趋势;29个站点中,一共16个站点寒潮频次呈现减少趋势。寒潮频次呈现增加趋势的区域

主要为湖南省南部地区,包括通道站、永州站、常宁站、衡阳站、道县站、嘉禾站、攸县站和郴州站附近,除此之外,东北部的岳阳站、平江站、南县站、沅江站和常德站附近寒潮频次也呈增加趋势;29个站点中,一共13个站点寒潮频次呈现增加趋势。寒潮天数的变化趋势格局(图5d)与频次类似,但是寒潮天数呈现减少趋势的站点增加至21个,仅8个站点的寒潮天数呈现增加趋势,主要包括南部的通道站、嘉禾站、道

县站、郴州站、常宁站和东北部的常德站、南县站、平江站。总体而言,湖南省大部分地区的寒潮频次和天数呈现减少趋势,寒潮频次和天数呈现增加趋势的区域主要位于湖南南部地区。湖南南部是重要的交通通道,连接了中国的珠三角经济区与长江中游经济区,多条铁路、公路从这里经过,寒潮往往会在这一地区放大影响。在 2008 年春季寒潮期间,湖南南部郴州市的道路结冰,交通瘫痪,物资不能运输,导致灾害程度和灾害影响迅速加重^[35]。湖南南部寒潮频次和天数的增加趋势对该地区预防和处理寒潮灾害提出更高的要求。

3 结论与讨论

基于湖南省 29 个气象站点的逐日温度数据,结合数理统计方法和反距离权重法,研究了 1971—2017 年湖南省热浪和寒潮的时空格局和变化趋势,主要结论如下:

(1) 受纬度因素的影响,湖南省受热浪事件的影响程度远远大于寒潮事件。近 47 年湖南省一共经历了 248 个热浪事件和 114 个寒潮事件,热浪天数和寒潮天数分别为 22 452 和 1 793 d。热浪事件年均频次和天数分别为 5.28 次/a 和 477.70 d/a,寒潮事件年均频次和天数则分别仅为 2.43 次/a 和 38.15 d/a,远小于热浪的频次和天数。1971—2017 年热浪频次和热浪天数呈现上升趋势,寒潮频次和寒潮天数呈现下降趋势,随时间变化的趋势分别为 1.41 次/10 a、42.76 d/10 a 和 -0.15 次/10 a、-1.08 d/10 a,但是变化趋势都没有通过信度为 0.05 的显著性检验。1986 年以后,受气候变暖的影响,热浪天数呈现显著增加趋势。

(2) 受大气环流和地形地势的影响,热浪事件和寒潮事件的影响程度具有明显的空间差异。热浪事件高值区域的年均频次和天数分别在 4.00~4.66 次/a 和 20.00~31.21 d/a,次高值区域在 2~4 次/a 和 15~20 d/a,低值区域则仅在 0~2 次/a 和 0~15 d/a;寒潮事件高值区域的年均频次和天数分别在 0.97~2.22 次/a 和 1.31~3.95 d/a,次高值区域在 0.78~0.96 次/a 和 1.06~1.30 d/a,低值区域仅在 0.55~0.77 次/a 和 0.72~1.05 d/a。总体而言,热浪事件影响程度呈现以湘东湘南为高值中心向湘西和湘北逐渐扩散减弱的空间格局,寒潮事件影响程度呈现从西北向东南逐渐增强的空间格局。

(3) 热浪事件和寒潮事件的变化趋势在省域尺度上具有较为明显的空间差异。在气候变暖的背景下,湖南省绝大部分地区的热浪频次和天数呈现增加趋势,29 个站点中有 26 个站点热浪频次和 27 个站点热浪天数呈现增加趋势,其中 8 个站点的变化趋势显著。在省会长沙市附近的台站,热浪天数的增加速度最快、趋势最为显著;寒潮频次和天数在包括湘北、湘西和湘中的大部分地区呈现减小趋势,在湘南地区呈现增加趋势,但是所有站点的寒潮频次和天数变化趋势都不显著。

总体而言,该研究表明气候变暖提高了湖南省热浪事件的危险性,但是寒潮的趋势并不显著。这与 Piticar 等^[36-37]的研究结果大致相同,即气候变暖可能更多地反映在热浪而不是寒潮中,Ma 等^[38]研究表明,由于气候变暖引起的北极变

暖导致乌拉尔阻塞高压(UBH)等大气环流异常使中纬度发生寒潮事件的可能性更大,因此在气候变暖的背景下仍要注意寒潮的威胁。另外,省域尺度上的热浪和寒潮的变化趋势具有空间差异性,针对不同的区域可以采取差异性的政策来减少热浪或寒潮引起灾害的可能性。湖南省热浪事件的增加趋势在长沙市周围最为显著,这可能与省会城市的快速城市化引起的土地覆盖变化有关,同时城市中积聚了大量的人口,随土地城市化和人口城市化的进一步进行,热浪造成的影响可能会进一步增强,因此有必要在城市建设中采取措施如使用绿色屋顶、增加城市通风走廊等来减少城市热岛的影响。虽然寒潮在所有站点的趋势都不具有显著性,但是空间差异性更加明显。在湘南地区,寒潮频次和天数都呈现增加趋势,由于该区域在交通方面的重要性,当地的应急部门应该吸取 2008 年寒潮期间的宝贵经验,建立快速完善的灾害预防和灾害应急的措施,以降低寒潮再次发生时可能导致的损失。

参考文献

- [1] GUHA-SAPIR D, VOS F, BELOW R, et al. Annual disaster statistical review 2011: The numbers and trends[M]. Brussels: CRED, 2012.
- [2] ALLEN M J, SHERIDAN S C. Mortality risks during extreme temperature events (ETEs) using a distributed lag non-linear model[J]. International journal of biometeorology, 2018, 62(1): 57-67.
- [3] ANAGNOSTOPOULOU C, TOLIKA K, LAZOGLOU G, et al. The exceptionally cold January of 2017 over the Balkan Peninsula: A climatological and synoptic analysis[J]. Atmosphere, 2017, 8(12): 1-14.
- [4] LINARES C, DIAZ J, TOBIAS A, et al. Impact of heat and cold waves on circulatory-cause and respiratory-cause mortality in Spain: 1975-2008[J]. Stochastic environmental research and risk assessment, 2015, 29(8): 2037-2046.
- [5] DESCHÊNES O, MORETTI E. Extreme weather events, mortality, and migration[J]. Review of economics and statistics, 2009, 91(4): 659-681.
- [6] HUANG W, KAN H D, KOVATS S. The impact of the 2003 heat wave on mortality in Shanghai, China[J]. The science of the total environment, 2010, 408(11): 2418-2420.
- [7] XIE H Y, YAO Z B, ZHANG Y H, et al. Short-term effects of the 2008 cold spell on mortality in three subtropical cities in Guangdong Province, China[J]. Environmental health perspectives, 2013, 121(2): 210-216.
- [8] JIANG D C, XIAO W H, WANG J H, et al. Evaluation of the effects of one cold wave on heating energy consumption in different regions of northern China[J]. Energy, 2018, 142: 331-338.
- [9] SAVIĆ S, SELAKOV A, MILOŠEVIĆ D. Cold and warm air temperature spells during the winter and summer seasons and their impact on energy consumption in urban areas[J]. Natural hazards, 2014, 73(2): 373-387.
- [10] IPCC. Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of working group II to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change[R]. 2014.
- [11] EASTERLING D R, MEEHL G A, PARMESAN C, et al. Climate extremes: Observations, modeling, and impacts[J]. Science, 2000, 289(5487): 2068-2074.
- [12] LABAJO Á L, EGIDO M, MARTÍN Q, et al. Definition and temporal evolution of the heat and cold waves over the Spanish Central Plateau from 1961 to 2010[J]. Atmósfera, 2014, 27(3): 273-286.
- [13] BARBAROS G, ZAHIDE A D. Extreme maximum and minimum air temperature in mediterranean coasts in turkey[J]. Geography, environment, sustainability, 2016, 9(1): 59-70.
- [14] ALLEN M J, SHERIDAN S C. Spatio-temporal changes in heat waves and cold spells: An analysis of 55 US cities[J]. Physical geography, 2016, 37(3/4): 189-209.
- [15] SPINONI J, LAKATOS M, SZENTIMREY T, et al. Heat and cold waves trends in the Carpathian Region from 1961 to 2010[J]. International journal of climatology, 2015, 35(14): 4197-4209.

年际降雨量未来变化趋势与环境改变无关。荆州站、潜江站年内降雨基尼系数序列变异分析结果为中变异,其年内降雨基尼系数序列之间存在较强的正相关性,未来会受到现在环境变化影响,且有缓慢上升的趋势;洪湖站年内降雨基尼系

数序列变异分析结果为弱变异,存在较弱的正相关性;监利站表现为无变异。四湖流域年内降雨分配不均匀主要体现在4—8月的降雨量较大,12月和1月降雨量较少。

表4 年内降雨基尼系数序列的变异分析

Table 4 The variation analysis for annual rainfall Gini coefficient series

观测站 Observation station	Hurst 系数(H)	相关函数 $C(t)$	r_α	r_β	h_α	h_β	变异程度 Variation degree
荆州 Jingzhou	0.742 4	0.399 4	0.259 3	0.305 6	0.666 3	0.692 4	中变异
潜江 Qianjiang	0.785 7	0.486 0	0.362 0	0.423 6	0.722 9	0.754 8	中变异
洪湖 Honghu	0.733 3	0.381 8	0.344 4	0.403 6	0.713 5	0.744 6	弱变异
监利 Jianli	0.689 7	0.300 8	0.344 4	0.403 6	0.713 5	0.744 6	无变异

钟玉华^[13]在对三峡大坝建成前后的下游水文气象序列进行变异分析时发现,选取的7个站点中,有5个站的降雨序列均表现为无变异。该研究的研究区域四湖流域亦处于长江中下游,所选4个站点的年际降雨序列也均未发现变异,表明在近几十年的环境改变、人为因素等的影响下,该区域年际降雨序列未受到太大影响。四湖流域年内降雨基尼系数序列之间存在较强的正相关性,未来会受到现在环境改变的影响,且有缓慢上升的趋势,因此未来的降雨年内分布不均匀问题会更加突出,农业生产可持续发展规划须予以考虑。

参考文献

[1] IPCC. Climate change: Work group I contribution to the IPCC fifth assessment report (AR5) [R]. Switzerland: IPCC, 2013.
 [2] 董闯, 栗晓玲. 基于信息熵的羊河流域降雨时空变异性研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2011, 39(1): 222-228.
 [3] 夏军, 穆宏强, 邱训平, 等. 水文序列的时间变异性分析[J]. 长江职工大学学报, 2001, 18(3): 1-4, 26.

[4] 陈鹏, 何军, 徐小峰, 等. 气候变化背景下降雨序列的变异分析[J]. 水电能源科学, 2015, 33(12): 6-8, 5.
 [5] 钱峰, 董林垚, 黄介生, 等. 基于Hurst指数与相关系数的降雨侵蚀力变异识别与分级方法[J]. 农业工程学报, 2018, 34(14): 140-148.
 [6] 谢平, 唐亚松, 陈广才, 等. 西北江三角洲水文泥沙序列变异分析: 以马口站和三水站为例[J]. 泥沙研究, 2010(5): 26-31.
 [7] 周丽萍, 杨海波, 黄诗峰, 等. 基于Hurst系数的安徽省气候时空变化分析[J]. 水利水电技术, 2014, 45(4): 7-10.
 [8] 肖飞, 杜耘, 凌峰, 等. 长江中游四湖流域湖泊变迁与湖区土壤空间格局的关联分析[J]. 湿地科学, 2012, 10(1): 8-14.
 [9] 谢平, 陈广才, 雷红富. 基于Hurst系数的水文变异分析方法[J]. 应用基础与工程科学学报, 2009, 17(1): 32-39.
 [10] 李彬彬, 谢平, 李析男, 等. 基于Hurst系数与Bartels检验的水文变异联合分析方法[J]. 应用基础与工程科学学报, 2014, 22(3): 481-491.
 [11] 胡彩霞, 谢平, 许斌, 等. 基于基尼系数的水文年内分配均匀度变异分析方法: 以东江流域龙川站径流序列为例[J]. 水力发电学报, 2012, 31(6): 7-13.
 [12] 朱宗林. 对四湖流域防洪排涝的思考[J]. 水利管理技术, 1997, 17(6): 1-4.
 [13] 钟玉华. 三峡大坝建成前后下游水文气象序列的变异分析[J]. 水利科技与经济, 2016, 22(8): 75-77.

(上接第205页)

[16] CECCHERINI G, RUSSO S, AMEZTOY I, et al. Magnitude and frequency of heat and cold waves in recent decades: The case of South America[J]. Natural hazards and earth system sciences, 2016, 3(12): 821-831.
 [17] TOMCZYK A M, BEDNORZ E. Heat and cold waves on the southern coast of the Baltic Sea[J]. Baltica, 2014, 27(1): 45-54.
 [18] DING T, QIAN W H, YAN Z W. Changes in hot days and heat waves in China during 1961-2007[J]. International journal of climatology, 2010, 30(10): 1452-1462.
 [19] GAO W L, DUAN K Q, LI S S. Spatial-temporal variations in cold surge events in northern China during the period 1960-2016[J]. Journal of geographical sciences, 2019, 29(6): 971-983.
 [20] LIU W, HUANG S Y, LI D, et al. Spatiotemporal computing of cold wave characteristic in recent 52 years: A case study in Guangdong Province, South China[J]. Natural hazards, 2015, 79(2): 1257-1274.
 [21] DONG S, HUANG W N, LI X, et al. Study on temporal and spatial characteristics of cold waves in Shandong Province of China[J]. Natural hazards, 2017, 88(1): 191-219.
 [22] 罗伯良, 李易芝. 2013年夏季湖南严重高温干旱及其大气环流异常[J]. 干旱气象, 2014, 32(4): 593-598.
 [23] 赵珊珊, 高歌, 黄大鹏, 等. 2004—2013年中国气象灾害损失特征分析[J]. 气象与环境学报, 2017, 33(1): 101-107.
 [24] 周慧, 黄小玉, 黎祖贤, 等. 湖南2008年极端冰冻特大灾害气候特点及影响评估[J]. 中国农业气象, 2009, 30(S1): 148-153.
 [25] 罗伯良, 李易芝. 2013年夏季湖南严重高温干旱及其大气环流异常[J]. 干旱气象, 2014, 32(4): 593-598.
 [26] 廖玉芳, 彭嘉栋, 郭庆. 湖南气候对全球气候变化的响应[J]. 大气科学学报, 2014, 37(1): 75-81.
 [27] 叶殿秀, 尹继福, 陈正洪, 等. 1961—2010年我国夏季高温热浪的时空

变化特征[J]. 气候变化研究进展, 2013, 9(1): 15-20.
 [28] 肖嗣荣, 张可慧, 刘芳圆, 等. 石家庄市高温热浪与“三大火炉”城市的对比研究[J]. 地理与地理信息科学, 2010, 26(5): 87-92.
 [29] 李双双, 杨赛霓, 张东海, 等. 近54年京津冀地区热浪时空变化特征及影响因素[J]. 应用气象学报, 2015, 26(5): 545-554.
 [30] ANDERSON G B, BELL M L. Heat waves in the United States: Mortality risk during heat waves and effect modification by heat wave characteristics in 43 U. S. communities[J]. Environmental health perspectives, 2011, 119(2): 210-218.
 [31] 张曦, 黎鑫. 湖南省夏季高温热浪时空分布特征及其成因[J]. 气候与环境研究, 2017, 22(6): 747-756.
 [32] 钱维宏, 张玮玮. 我国近46年来的寒潮时空变化与冬季增暖[J]. 大气科学, 2007, 31(6): 1266-1278.
 [33] 王遵娅, 丁一汇. 近53年中国寒潮的变化特征及其可能原因[J]. 大气科学, 2006, 30(6): 1068-1076.
 [34] 杨续超, 陈葆德, 胡可嘉. 城市化对极端高温事件影响研究进展[J]. 地理科学进展, 2015, 34(10): 1219-1228.
 [35] 王琪, 廖玉芳. 2008年湖南低温雨雪冰冻灾害成因分析[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(16): 9905-9907, 9987.
 [36] PITICAR A, CROITORU A E, CIUPERTEA F A, et al. Recent changes in heat waves and cold waves detected based on excess heat factor and excess cold factor in Romania[J]. International journal of climatology, 2018, 38(4): 1777-1793.
 [37] ZHANG R, CHEN Z Y, OU C Q, et al. Trends of heat waves and cold spells over 1951-2015 in Guangzhou, China[J]. Atmosphere, 2017, 8(2): 1-12.
 [38] MA S M, ZHU C W. Extreme cold wave over East Asia in January 2016: A possible response to the larger internal atmospheric variability induced by Arctic warming[J]. Journal of climate, 2019, 32(4): 1203-1216.