孔锋. 透视中国不同强度桑拿天日数的时空分异特征(1961 – 2017 年)[J]. 灾害学, 2019, 34(3): 85 – 92. [KONG Feng. Spatial – temporal differentiation of sauna days with different intensities in China from 1961 to 2017[J]. Journal of Catastrophology, 2019, 34(3): 85 – 92. doi: 10.3969/j.issn.1000 – 811X.2019.03.017.]

透视中国不同强度桑拿天日数的时空分异特征(1961 – 2017 年)*

孔 锋[1,2,3]

(1. 清华大学 公共管理学院, 北京 100084; 2. 清华大学 应急管理研究基地, 北京 100084;
3. 清华大学 中国社会风险评估研究中心, 北京 100084)

摘 要: 高温高湿超长待机的桑拿天气已成为当前城市居民生产生活面临的主要气象灾害风险之一。基于1961 – 2017 年中国 545 个气象观测站点的日值最高气温和相对湿度数据, 采用中国气象局中央气象台对桑拿天的定义, 从气候态、变化趋势和波动特征三方面研究了中国不同强度桑拿天日数时空演变特征。结果表明: ①1961 – 2017 年中国气候态不同强度桑拿天日数呈东南高 – 西北低的空间分异格局, 且不同年代同一强度的桑拿天日数空间分异格局相差较小, 与整个研究时段对应强度的桑拿天日数空间分异格局具有良好的一致性。随着强度增加, 中国桑拿天日数逐步减少。②1961 – 2017 年中国不同强度桑拿天日数以胡焕庸线为界, 呈东南增减镶嵌并以减少趋势为主, 西北变化不大的空间分异格局。1991 – 2017 年中国不同强度桑拿天日数变化趋势相比1961 – 1990 年明显增加。③1961 – 2017 年中国不同强度桑拿天日数以胡焕庸线为界, 呈东南波动大 – 西北波动小的空间分异格局。且桑拿天和强桑拿天日数波动特征呈现出明显的三块式分布特征。1961 – 1990 年和1991 – 2017 年中国不同强度桑拿天日数波动特征与整个研究时段具有良好的一致性。1990 年前后的波动差异特征主要集中在胡焕庸线附近及其东南地区, 且波动差异以增大为主, 表明 1991 – 2017 年中国东南不同强度桑拿天日数变异增加。

关键词: 桑拿天气; 高温热浪; 空间格局; 年代际变化; 气候变化; 区域分异

中图分类号: X43; X915.5; P426 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000 – 811X(2019)03 – 0085 – 08

doi: 10.3969/j.issn.1000 – 811X.2019.03.017

随着全球气候变暖以及世界各国, 特别是发展中国家快速化城市化所引起的热岛效应的加剧, 全球范围内的酷热天气发生频率日益增加[1-3]。高温热浪事件频繁发生, 已逐渐成为一种严重气象灾害[4-6]。这种灾害不仅会影响工农业生产, 造成供水、供电紧张, 还会直接危害人们的身体健康, 严重影响人们的生存条件和生活质量[7-11]。

联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)在对全球气温的第五次评估报告指出, 与 1850 – 1900 年相比, 2003 – 2012 年的全球平均温度升高了 0.78℃[1]。《管理极端事件和灾害风险推进气候变化适应特别报告》(SREX)中的评估结果表明, 至 2081 – 2100 年, 大部分低纬度地区, 如撒哈拉以南的非洲地区、南美洲的北部及中部地区, 每年日最高温 30℃以上的天数将超过 110 d[2]。据数值模拟结果表明, 影响全球变暖的主要因子是太阳活动、火山活动、人类活动以及海气相互作用。人类活动主要通过排放二氧化碳、甲烷和氧化亚氮等温室气体影响全球气候变化[1-2]。在全球变暖背景下, 极端天气和气候事件已经并将继续发生和变化[12-14]。1950 年以来的观测数据表明, 极端高温事件和热浪事件数量增加的区域可能多于减少的区域[1]; 虽然许多极端天气气候事件依然是自然气候变化的结果, 但全球最高温度的不断攀升则可能是由于人类活动影响[2]; 对未来的预估研究表明, 在全球尺度上, 极热事件将增加, 极冷事件将减少, 大多数陆地区域的热浪持续时间、发生频率和强度很可能增加[2]。通过对全球 217 个城市地区的观测站数据分析发现, 城市热浪灾害近年来发生的频率显著增加, 而寒潮发生的频率则是显著下降的[1]; 多地最高温破纪录, 印度甚至达到 51℃; 多数城市地区的极端高温天气的天数也是显著上升的[15]。

相对于其他极端气候事件, 高温热浪事件受

* 收稿日期: 2019 – 01 – 18 修回日期: 2019 – 04 – 19
基金项目: 国家自然科学基金(41801064); 中国气象局气象软科学自主项目(2019ZZXM07); 中国博士后科学基金资助项目(2019T120114; 2019M650756); 中亚大气科学研究基金(CAAS201804)
作者简介: 孔锋(1986 –), 男, 山西临汾人, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为气候变化与自然灾害. E-mail: kongfeng0824@foxmail.com

到的关注整体偏少[16]。极端高温天气强度和频率增加导致世界粮食产量的稳定性和分布状况将会发生很大的变化，极端高温天气会导致农作物减产甚至绝产，家禽牲畜中暑死亡；极端高温天气对人类健康的影响将会更加普遍、严重，一些目前主要发生在热带地区的疾病可能随着气候变暖向中纬度地区传播[17-20]。每年死于极端高温热浪的人数以千计，在 1980 - 2008 年，平均每年有 3 100 人死于极端高温天气，超过 159 000 人受影响。其中 1995 年美国芝加哥遭受严重热浪，造成至少 700 人死亡；2009 年 1 - 2 月之间，澳大利亚墨尔本有 374 人死于热浪；2003 年欧洲高温热浪导致死亡人口超过 70 000 人；2010 年，地处高纬度的俄罗斯发生的大规模的热浪也造成了超过 55 730 人的死亡[21-22]。

受副热带高压影响，我国长江中下游地区也极易遭遇高温热浪侵袭[15]。近 30 年来，我国多地多年遭遇酷夏，如北京、上海、广州、南京、武汉、重庆等城市，都曾多次遭遇严重热浪，数以千计的人死于热浪[18-19]。2003 年夏季，我国江南、华南一带也出现了罕见的高温天气，甚至多地 35℃以上的高温日持续了 40 d 左右。2013 年的热浪事件也非常严重，浙江省共有 18 个市的日最高温超过 40℃，最严重的地区甚至达到 44.1℃[18]。虽然随着生活条件的改善，人们普遍使用空调、电风扇等降温工具，但是不可避免的户外活动还是会引起大量的热相关疾病与死亡。同时空调等设备的使用对高温天气下的供电系统提出了更高的要求，另外高温也使得城市中的各类生产生活用水量显著增大，给城市供水部门带来巨大压力[17]。

当前诊断高温热浪并没有统一的定义和标准，且多从日最高气温出发，且较少考虑空气湿度。人的体感温度不仅与日最高气温相关，而且与相对湿度和风速也有密切关系[9]。同一地区相对湿度较高情况下的高温天气明显比响度湿度较低的情况对人影响大。综上，本文采用日最高气温和相对湿度数据，根据中国气象局中央气象台定义的桑拿天预报标准，诊断分析 1961 - 2017 年中国不同强度桑拿天日数空间演变特征。研究对于深入理解高温热浪天气具有重要意义，同时有助于认识气候变化背景下的极端天气气候风险。

1 数据和方法

1.1 数据来源

本文采用的 1961 - 2017 年的日值最高气温和日平均相对湿度数据来自中国气象局国家气象信息中心提供的《中国国家级地面气象站基本气象要素日值数据集(V3.0)》。该数据集经过质量控制，质量良好，数据的实有率普遍在 99% 以上，数据的正确率均接近 100%。在该数据的基础上，根据已有研究成果[12]，本文进一步对数据进行了质量控制：①每年缺测或错误数据量低于年总数据量的 0.5%；②总缺测或错误数据量低于总数据量的 0.5%。剔除不满足上述条件的站点，满足条件的站点中，其如有缺测，则用临近站点值或其前后年份的均值补缺。最终得到 545 个站点。本文的气象站点部包括港澳台地区。

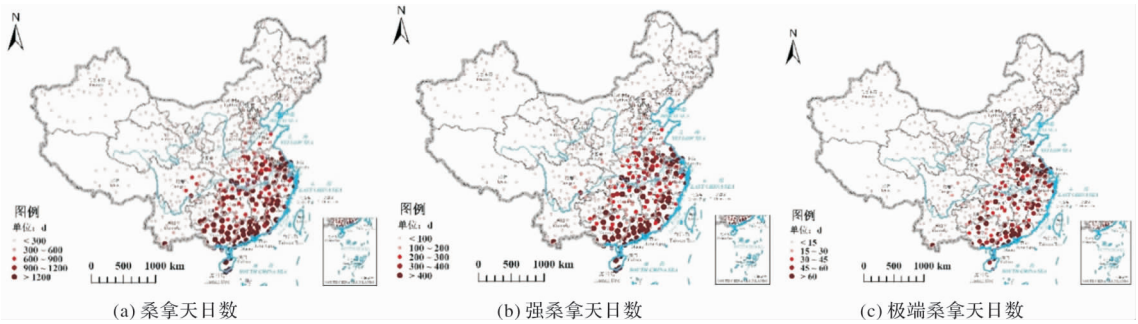
1.2 计算方法

本文根据中央气象台对“桑拿天”的预报标准，将日最高气温≥32℃，且日平均相对湿度≥80% 时，就称为“桑拿天”。将日最高气温≥32℃，且日平均相对湿度≥85% 时，就称为“强桑拿天”。将日最高气温≥32℃，且日平均相对湿度≥90% 时，就称为“极端桑拿天”。根据上述定义，首先，本文分析了 1961 - 2017 年中国不同强度桑拿天日数总和的空间分异特征，即气候态分布特征；并分析不同强度桑拿天日数在不同年代的空间分异特征。本文分别将 1961 - 1970、1971 - 1980、1981 - 1990、1991 - 2000、2001 - 2010 和 2011 - 2017 年称之为 1960、1970、1980、1990、2000 和 2010 年代。其次，针对 1961 - 2017 年、1961 - 1990 年和 1991 - 2017 年三个研究时段，本文采用一元线性趋势方法计算中国不同强度桑拿天日数的变化趋势。最后，本文采用变异系数表征不同时段不同强度桑拿天日数的波动特征，详细计算方法见文献[12]。

2 结果与分析

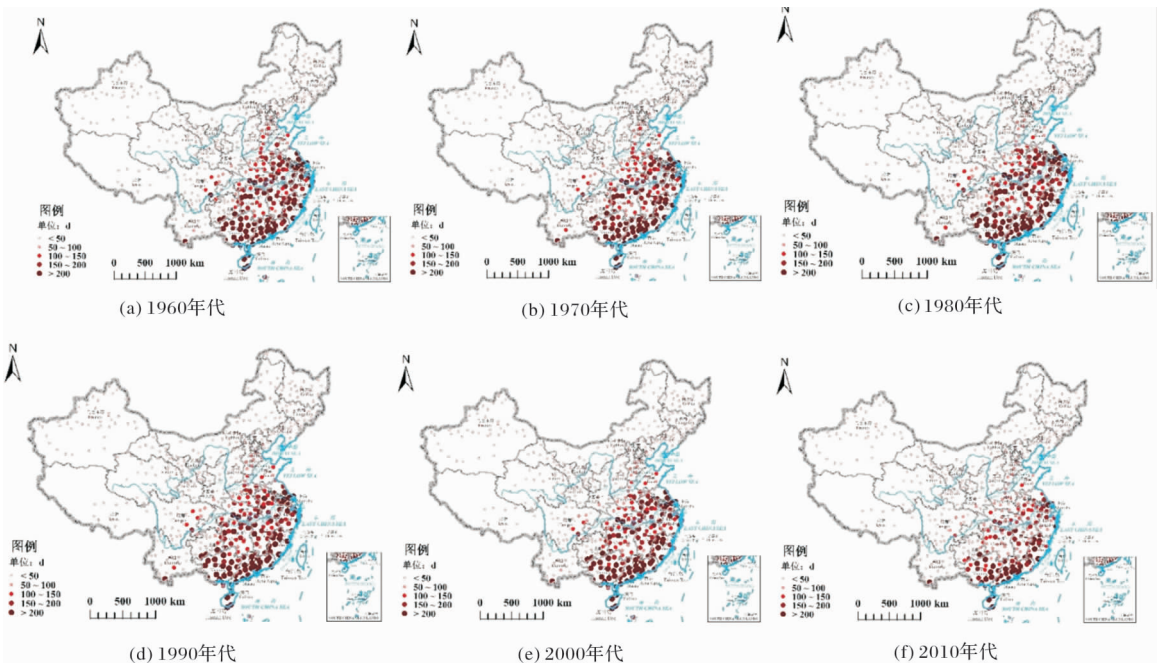
2.1 不同强度桑拿天日数气候态空间分异特征

从气候态特征来看，1961 - 2017 年中国不同强度桑拿天日数大致以山东中部至云南中部一线为界，即 800 mm 等降水量线，整体呈现出东南高 - 西北低的空间分异格局(图 1)。其中 1961 - 2017 年该线西北地区的桑拿天日数、强桑拿天日数和极端桑拿天日数大都分别低于 300 d(图 1a)、100 d(图 1b)和 15 d(图 1c)；而该线东南地区的桑拿天日数、强桑拿天日数和极端桑拿天日数大都分别高于 1200 d、400 d 和 60 d。随着桑拿天强度的增加，中国气候态桑拿天日数不断减少。从不同年代来看，中国不同强度桑拿天日数年代空间高低分异特征与整个研究时段对应强度的桑拿天日数相差不大(图 2；图 3；图 4)。中国夏季日最高气温超过 32℃的地区分布较多，但相对湿度在东西和南北不同地区相差较大[19]。综上可知，中国不同强度桑拿天日数的气候态分异格局主要由相对湿度决定。



(a) 桑拿天日数　　(b) 强桑拿天日数　　(c) 极端桑拿天日数

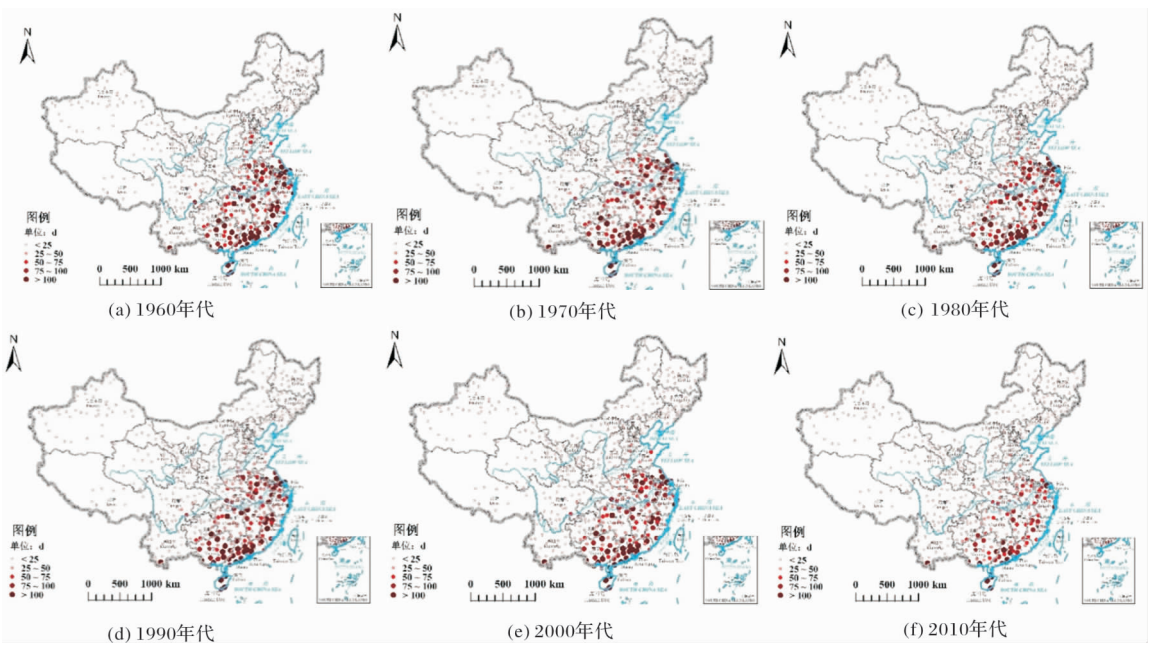
图 1　中国不同强度桑拿天日数气候态空间格局



(a) 1960年代　　(b) 1970年代　　(c) 1980年代

(d) 1990年代　　(e) 2000年代　　(f) 2010年代

图 2　中国桑拿天日数不同年代空间格局



(a) 1960年代　　(b) 1970年代　　(c) 1980年代

(d) 1990年代　　(e) 2000年代　　(f) 2010年代

图 3　中国强桑拿天日数不同年代空间格局

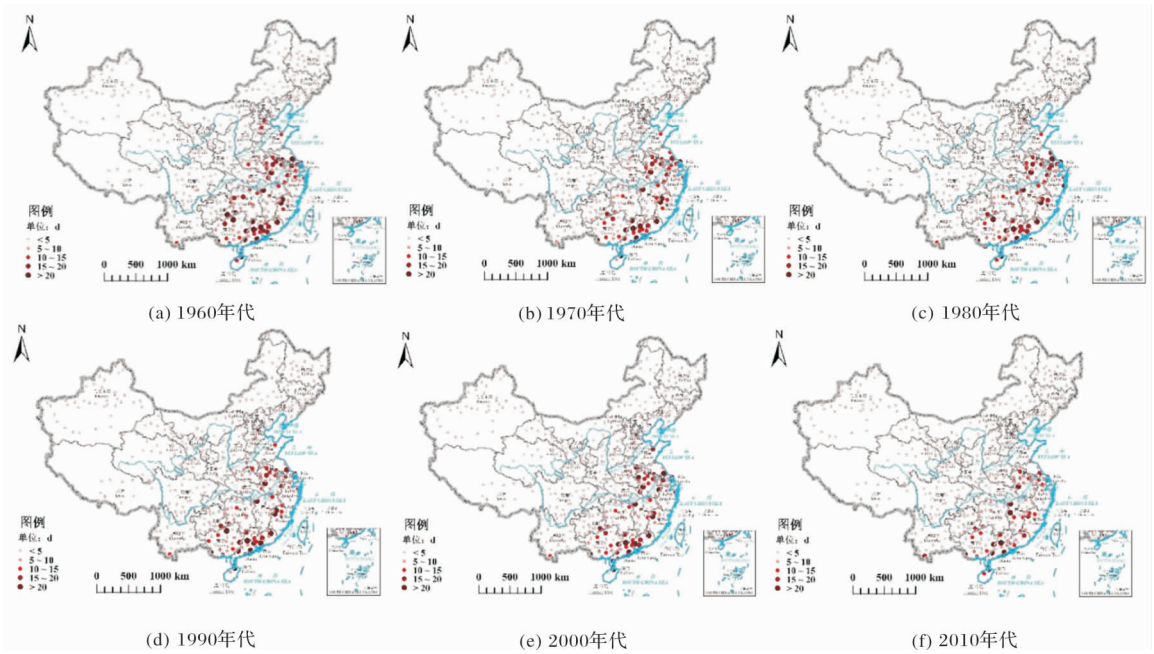


图 4 中国极端桑拿天日数不同年代空间格局

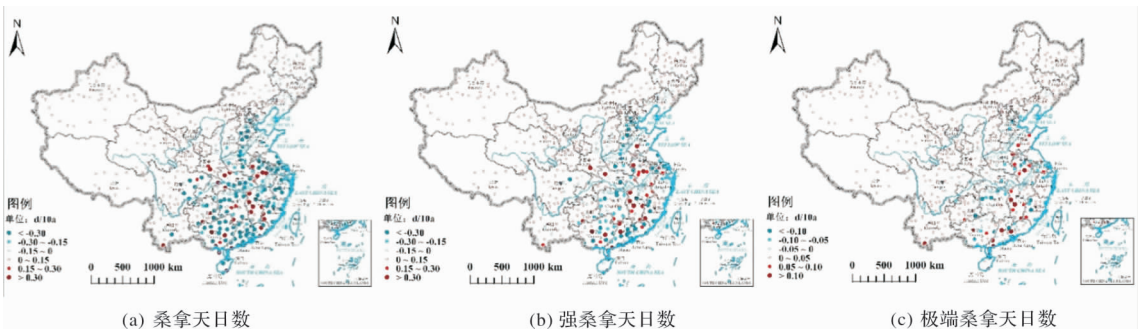


图 5 中国不同强度桑拿天日数变化趋势空间格局

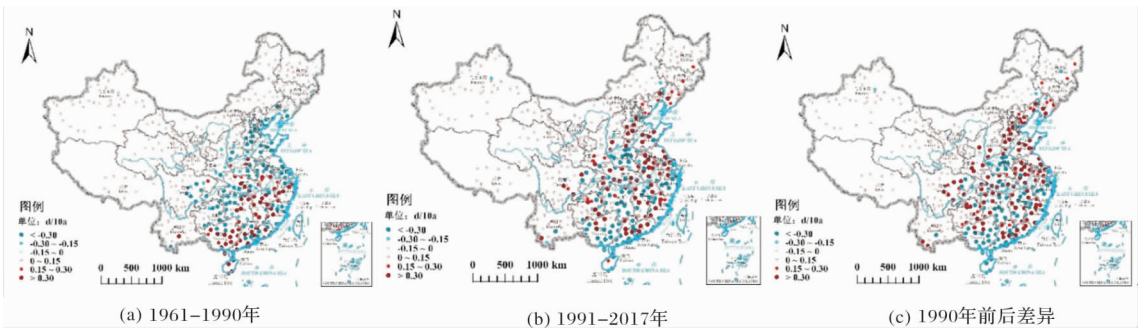


图 6 1990 年前后中国桑拿天日数变化趋势空间差异特征

2.2 不同强度桑拿天日数变化趋势空间分异特征

从变化趋势来看，1961 – 2017 年中国不同强度桑拿天日数变化趋势大致以黑龙江黑河至云南腾冲一线为界，即胡焕庸线，该线以西地区增减趋势变化不大，除东北地区除外的该线以东地区则呈增减镶嵌格局且以减少趋势为主。其中不同强度桑拿天日数呈增加趋势的地区零散分布在沿江、沿河和丘陵等地形起伏较大的地区(图 5)。

1990 年后中国进入了快速城市化阶段，为了诊断 1990 年前后中国不同强度桑拿天日数变化趋势差异特征，我们诊断了两个时段不同强度桑拿天日数的变化趋势，并进一步采用 1991 – 2017 年中国不同强度桑拿天日数变化趋势减去 1961 – 1990 年中国对应强度桑拿天日数变化趋势(图 6)。从桑拿天日数变化趋势来看，1961 – 1990 年中国桑拿天日数变化趋势在胡焕庸线以西地区增减趋势不明显；而该线以东地区则大致以长江入海口至广西西部一线为界，呈现出明显的南增北减的

趋势分异特征(图 6a)。1991 – 2017 年中国胡焕庸线以东的桑拿天日数则呈现出增减镶嵌的格局，且相比 1961 – 1990 年而言，桑拿天日数呈增加趋势的站点有所增加，且呈分散化分布格局(图 6b)。两个时段趋势差异特征表明，整体上相比 1961 – 1990 年而言，1991 – 2017 年桑拿天日数呈增加趋势的站点在胡焕庸线以东地区明显增多。其中京津冀地区桑拿天日数变化趋势在 1991 – 2017 年明显高于 1961 – 1990 年。京津冀以南地区桑拿天日数则呈增减镶嵌趋势格局(图 6c)。

从强桑拿天日数变化趋势来看，1961 – 1990 年中国胡焕庸线以东地区的强桑拿天日数整体上以增加趋势为主。其中京津冀地区呈明显的减少趋势，而长江中下游地区具有明显的增加趋势(图 7a)。长江以南地区呈明显的东部增加 – 西部增减镶嵌的空间分异格局，且西部地区中伴随着南部以增加趋势为主，北部以减少趋势为主的空间分异格局。1991 – 2017 年胡焕庸线以东地区的强桑拿天日数呈增加趋势的站点开始向北扩张，其中京津冀、长三角和珠三角地区呈增加趋势的站点明显集聚(图 7b)。两个时段强桑拿天日数趋势差异特征表明，相比 1961 – 1990 年而言，整体上 1991 – 2017 年中国胡焕庸线以东地区强桑拿天日数呈增加趋势的站点明显增多。尤其是包括京津冀在内的环渤海地区强桑拿天日数变化趋势增加明显(图 7c)；胡焕庸线以东的其它地区则呈增减镶嵌格局，且趋势具有明显增加和减少集聚分布的次区域分异特征。

从极端桑拿天日数变化趋势来看，1961 – 1990 年中国胡焕庸线以东地区的极端桑拿天日数呈增减镶嵌的分布格局，且以减少趋势为主，尤其是京津冀地区减少趋势明显(图 8a)。1991 – 2017 年中国胡焕庸线以东地区的极端桑拿天日数呈增加趋势的站点明显增加，尤其是黄淮流域以南地区明显增多(图 8b)。两个时段的极端桑拿天日数趋势差异特征表明，相比 1961 – 1990 年而言，1997 – 2017 年中国胡焕庸线以东地区极端桑拿天日数增加趋势明显，尤其是京津冀、江淮流域和华南北部地区趋势增加明显(图 8c)。综上可知，不同时段中国不同强度桑拿天日数变化趋势均以胡焕庸线为界，其中该线以西地区增减趋势较小，且不同时段差异较小；该线以东则在 1991 – 2017 年随着快速城市化进程发展，热岛效应加剧。不同强度桑拿天日数呈增加趋势的站点数明显增加，尤其是在城市群分布的地区趋势增加明显。

2.3　不同强度桑拿天日数波动特征空间分异特征

从波动特征来看，1961 – 2017 年中国不同强度桑拿天日数波动特征具有不同的分异格局。其中桑拿天日数在东北地区和气候脆弱的农牧交错带波动最大，东南地区次之，西北地区最小(图 9a)。强桑拿天日数波动特征空间分异格局与桑拿天日数具有较大一致性，值得注意的是东北地区强桑拿天日数波动较大的站点急剧减少(图 9b)。相比桑拿天日数波动特征而言，东南地区强桑拿天日数的波动特征普遍增大。极端桑拿天日数则以胡焕庸线为界，呈现出东南波动大，西北波动小的空间分异格局(图 9c)。这主要是因为东南地区极端桑拿天日数年际差异大，而西北地区由于相对湿度较低，未能达到极端桑拿天日数定义。综上可知，随着桑拿天强度的增大，中国东南地区的桑拿天日数的波动逐步增加，也表明东南地区高温热浪变化风险增大。



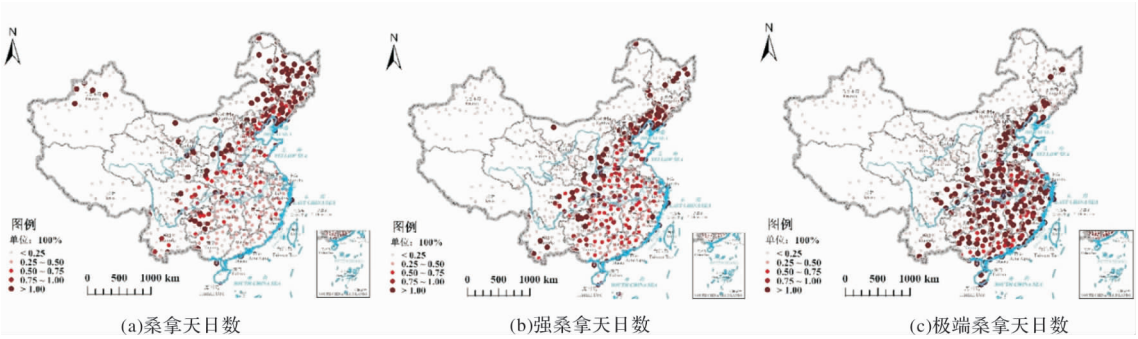
(a) 1961–1990年　　(b) 1991–2017年　　(c) 1990年前后差异

图 7　1990 年前后中国强桑拿天日数变化趋势空间差异特征



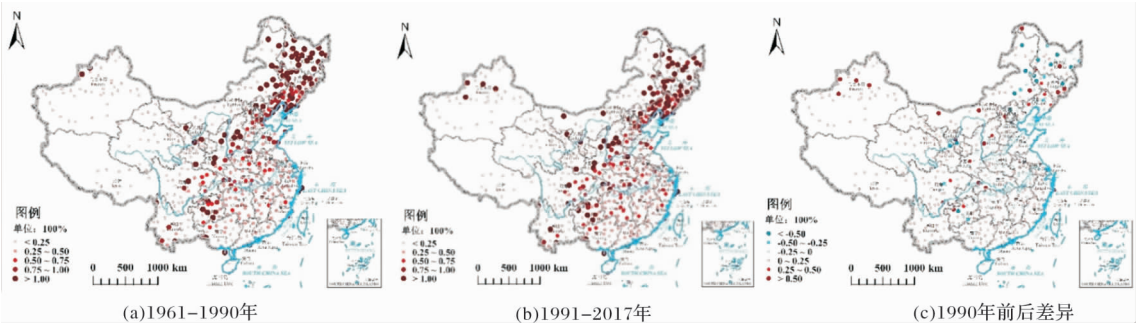
(a)1961–1990年　　(b)1991–2017年　　(c)1990年前后差异

图 8　1990 年前后中国极端桑拿天日数变化趋势空间差异特征



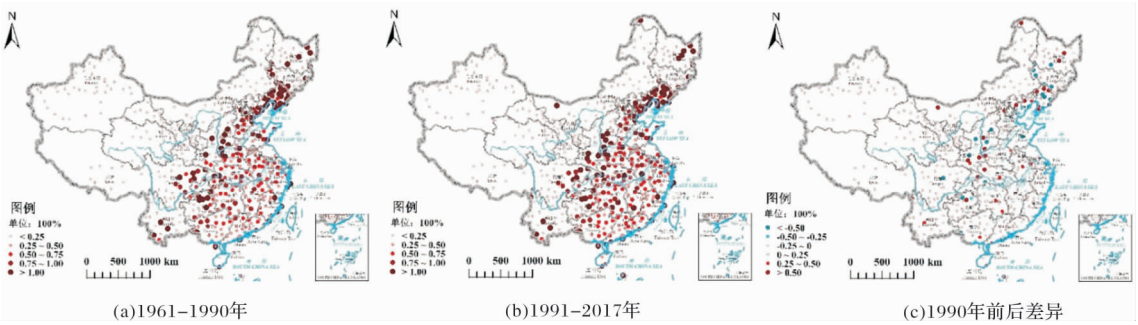
(a)桑拿天日数 (b)强桑拿天日数 (c)极端桑拿天日数

图 9 中国不同强度桑拿天日数波动特征空间格局(1961 – 2017 年)



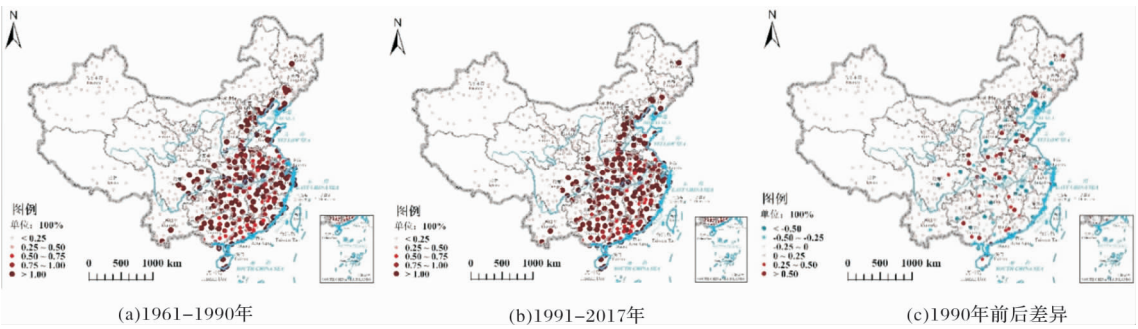
(a)1961–1990年 (b)1991–2017年 (c)1990年前后差异

图 10 1990 年前后中国桑拿天日数波动特征空间差异特征



(a)1961–1990年 (b)1991–2017年 (c)1990年前后差异

图 11 1990 年前后中国强桑拿天日数波动特征空间差异特征



(a)1961–1990年 (b)1991–2017年 (c)1990年前后差异

图 12 1990 年前后中国极端强桑拿天日数波动特征空间差异特征

进一步地，我们对比了 1990 年前后中国不同强度桑拿天日数波动特征及其空间差异性，即采用 1991 – 2017 年中国不同强度桑拿天日数波动特征减去 1961 – 1990 年中国对应强度桑拿天日数波动特征，结果如图 10 – 图 12 所示。从桑拿天日数的不同时段波动差异来看，1961 – 1990 年和 1991 – 2017 年两个时段的中国桑拿天日数波动特征空间高低分异格局相似(图 10a；图 10b)，且与整个研究时段的桑拿天日数波动特征具有较好的一致性(图 9a)。两个时段桑拿天日数的波动差异特征进一步表明全国整体上波动相差不大(图 10c)，仅东北地区的波动差异呈增减镶嵌格局。

从强桑拿天日数的不同时段波动差异来看，1961 – 1990 年和 1991 – 2017 年的中国强桑拿天日

数波动特征空间高低分异格局相似(图 11a；图 11b)，且与整个研究时段的强桑拿天日数波动特征分异格局具有较好的一致性(图 9b)。两个时段的强桑拿天日数波动差异特征表明农牧交错带及其附近地带在 1990 年前后波动差异较大(图 11c)，且主要以正差异为主，说明 1991 – 2017 年该地区波动特征主要以增加为主，暗示着气候变化和城市化进程使得本身气候脆弱的该地区的强桑拿天日数变异增加。

从极端桑拿天日数的不同时段波动差异来看，1961 – 1990 年和 1991 – 2017 年中国极端桑拿天日数波动特征空间高低分异格局相似(图 12a；图 12b)，且与整个研究时段的极端桑拿天日数波动特征具有较好的一致性(图 9c)。两个时段极端桑拿天日数的波动差异特征表明，胡焕庸线以东地区波动差异较大，呈增减镶嵌格局，且以正差异为主，表明 1991 – 2017 年胡焕庸线以东多数地区的极端桑拿天日数波动增大。

3　结论与讨论

3.1　结论

(1)在气候态特征上，1961 – 2017 年中国不同强度桑拿天日数呈东南高 – 西北低的空间分异格局。随着强度增加，中国东南地区的桑拿天日数逐渐减少。在不同年代上，中国不同强度桑拿天日数的空间高低分异特征与 1961 – 2017 年对应强度的桑拿天日数的空间分异格局具有良好的一致性，表明不同强度桑拿天日数年代差异较小。

(2)在变化趋势上，1961 – 2017 年中国不同强度桑拿天日数以胡焕庸线为界，界线以西地区增减趋势较小，以东地区则呈增减镶嵌格局，且以减少趋势为主。1990 年前后的对比表明中国不同强度桑拿天日数在城市化进程快速发展的 1991 – 2017 年明显增加。但 1961 – 1990 年和 1991 – 2017 年中国不同强度桑拿天日数变化趋势又具有各自的次区域性特征，主要表现为增加和减少趋势集聚的地区在不同时段发生不同程度的变化。

(3)在波动特征上，1961 – 2017 年中国不同强度桑拿天日数以胡焕庸线为界，呈现出东南波动大，西北波动动小的空间分异格局。其中桑拿天和强桑拿天日数波动特征呈三块式分布格局，即农牧交错带及其附近地区波动最大，东南次之，西北最小。而极端桑拿天日数波动特征没有这种现象，而呈现出东南 – 西北两块式分异特征。1990 年前后中国不同强度桑拿天日数波动差异特征表明，1961 – 1990 年和 1991 – 2017 年中国不同强度桑拿天日数波动特征整体上与 1961 – 2017 年相似，且差异较大的地区主要分布在分界线及其以东地区。

3.2　讨论与展望

(1)桑拿天日数定义的讨论。桑拿天一词是在近年高温热浪天气频现的形势下出现的。本文基于中国气象局中央气象台对桑拿天日数的定义，分析了我国不同强度桑拿天日数空间演变特征。但值得注意的是由于我国南北方纬度跨越较大，导致南北方在相对湿度上具有较大的差异。因此，亟需采用桑拿天日数的相对标准诊断区域桑拿天时空变化特征。通过多种阈值定义的桑拿天对比分析，制定适合区域的桑拿天预报标准。

(2)定量厘定气候变化和城市化对桑拿天日数的影响。随着快速城市化和气候变化发展，其对城市地区的桑拿天日数产生了不可忽视的影响。那么城市化和气候变化在桑拿天日数增大过程中起到了何种作用？哪一个起主导作用？这是目前亟需关注的问题之一。定量厘定自然气候变化和以城市化为表征的人类活动对桑拿天日数变化的影响，不仅对有助于理解气候变化背景下的极端天气气候事件变化，更有助于认识人类活动在气候变化过程中影响的深度和广度。

(3)极端高温热浪对健康风险的影响研究。以桑拿天日数为表征的高温热浪，因其直接对人体健康产生影响，尤其是对从事户外工作的公众影响更大。当前在我国城市人口不断增加，人口老龄化程度加剧的形势下，桑拿天日数增加势必对城市安全运营和可持续发展带来不可忽视的影响。因此，亟需基于区域灾害系统理论，从孕灾环境稳定性、致灾因子危险性和承灾体脆弱性出发，定量评估极端高温热浪对不同人群的可能影响，不仅对有助于做好预防不同人群中暑、热射病等风险的工作，也有助于深入理解气候变化背景下极端天气气候事件对社会经济的影响方式、过程和机理。

参考文献：

[1] IPCC AR5. Intergovernmental Panel on Climate Change 2013 Fifth Assessment Report (AR5) [R]. London: Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2013.

[2] IPCC SREX. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation[R]. London: Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2012.

[3] IPCC SR1.5. Global Warming of 1.5℃: an IPCC special report on the impacts of global warming of 1. 5℃ above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [R]. London: Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2018.

[4] DONG B, SUTTON R, SHAFFREY L, et al. The 2015 European heat wave[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2016, 97(12): 57 – 62.

[5] YOU Q, JIANG Z, KONG L, et al. A comparison of heat wave climatologies and trends in China based on multiple definitions [J]. Climate Dynamics, 2017, 48(11): 3975 – 3989.

[6] CAPUTI N, KANGAS M, DENHAM A, et al. Management adaptation of invertebrate fisheries to an extreme marine heat wave event at a global warming hot spot[J]. Ecology & Evolution, 2016, 6 (11): 3583 – 3593.

[7] WU Z, ZHANG P, CHEN H, et al. Can the Tibetan Plateau snow

cover influence the interannual variations of Eurasian heat wave frequency? [J]. Climate Dynamics, 2016, 46(11): 1 - 13.
[8] KIM D W, DEO R C, CHUNG J H, et al. Projection of heat wave mortality related to climate change in Korea[J]. Natural Hazards, 2016, 80(1): 623 - 637.
[9] WEI H, KAN H D, KOVATS S. The impact of the 2003 heat wave on mortality in Shanghai, China[J]. Science of the Total Environment, 2010, 408(11): 2418 - 2420.
[10] PENG J B. An investigation of the formation of the heat wave in southern China in summer 2013 and the relevant abnormal subtropical high activities[J]. Atmospheric & Oceanic Science Letters, 2014, 7(4): 286 - 290.
[11] CHEN K, HUANG L, ZHOU L, et al. Spatial analysis of the effect of the 2010 heat wave on stroke mortality in Nanjing, China [J]. Scientific Reports, 2015, 5: 10816.
[12] 孔锋, 吕丽莉, 方建, 等. 中国不同时段气候变暖速率的时空分异研究(1961 - 2014)[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2017, 53(04): 426 - 435.
[13] 孔锋. 全球气候变暖停滞争论下的中国气候变暖诊断分析[C]// 中国气象学会. 第35届中国气象学会年会 S7 东亚气候、极端气候事件变异机理及气候预测. 中国气象学会: 中国气象学会, 2018: 11.
[14] 傅帅, 蒋勇, 张小泉, 等. 近64年长沙市高温热浪事件统计分析[J]. 气象科技, 2016, 44(6): 991 - 997.
[15] 王喜元, 闫业超, 岳书平, 等. 1961 - 2010年长江流域高温热浪时空变化特征[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2016, 38(4): 602 - 609.
[16] 祁新华, 程煜, 李达谋, 等. 西方高温热浪研究述评[J]. 生态学报, 2016, 36(9): 2773 - 2778.
[17] 罗晓玲, 杜尧东, 郑璟. 广东高温热浪致人体健康风险区划[J]. 气候变化研究进展, 2016, 12(2): 139 - 146.
[18] 祁新华, 程煜, 郑雪梅, 等. 国内高温热浪研究进展及其人文转向[J]. 亚热带资源与环境学报, 2017, 12(1): 26 - 31.
[19] 贾佳, 胡泽勇. 中国不同等级高温热浪的时空分布特征及趋势[J]. 地球科学进展, 2017, 32(5): 546 - 559.
[20] 何苗, 徐永明, 李宁, 等. 基于遥感的北京城市高温热浪风险评估[J]. 生态环境学报, 2017, 26(4): 635 - 642.
[21] 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.
[22] 郑雪梅, 王怡, 吴小影, 等. 近20年福建省沿海与内陆城市高温热浪脆弱性比较[J]. 地理科学进展, 2016, 35(10): 1197 - 1205.

Spatial-temporal Differentiation of Sauna Days with Different Intensities in China from 1961 to 2017

KONG Feng[1,2,3]

(1. *School of Public Policy and Management*, *Tsinghua University*, *Beijing* 100084, *China*; 2. *Center for Crisis Management Research*, *Tsinghua University*, *Beijing* 100084, *China*; 3. *Center for Social Risk Assessment in China*, *Tsinghua University*, *Beijing* 100084, *China*)

Abstract: Sauna weather with high temperature, high humidity and long standby time has become one of the main meteorological hazards faced by urban residents. Based on the daily maximum temperature and relative humidity datasets of 545 meteorological observation stations in China from 1961 to 2017, the spatial-temporal evolution characteristics of sauna days with different intensities in China were studied from three aspects: climatic state, trend and fluctuation characteristics, using the standard of sauna days defined by the Central Meteorological Observatory of China Meteorological Administration. The results showed that: Firstly, the spatial pattern of sauna days with different intensities in China was high in southeast China and low in northwest China from 1961 to 2017, and the spatial pattern of sauna days with the same intensity in different research period had little difference, which was in good agreement with the spatial pattern of sauna days with corresponding intensities in the whole research period. With the increase of intensity, the sauna days in China decreases gradually. Secondly, the trend of sauna days with different intensities in China was bounded by Hu Huanyong Line from 1961 to 2017, showing a pattern of increasing or decreasing mosaic in the southeast China and mainly decreasing trend, while the spatial differentiation pattern in the northwest China changed little. The sauna days trend with different intensities in China increased significantly 1991 - 2017 compared with 1961 - 1990. Thirdly, the fluctuation of sauna days with different intensities in China was bounded by Hu Huanyong Line, showing a spatial pattern of large fluctuation in the southeast China and small fluctuation in the northwest China. And the fluctuation of sauna days and heavy sauna days showed obvious three-block distribution characteristics. The fluctuation characteristics of sauna days with different intensities in China from 1961 to 1990 and 1991 to 2017 were in good agreement with the whole research period. The fluctuation difference before and after 1990 mainly concentrated in the vicinity of Hu Huanyong Line and its southeast area, and the fluctuation differences increased mainly, indicating that the variation of sauna days with different intensities in the southeast China increased from 1991 to 2017.

Key words: sauna weather; high temperature and heat wave; spatial pattern; interdecadal variation; climate change; regional differentiation