沙 漠 与 绿 洲 气 象
Desert and Oasis Meteorology
第13卷 第6期
2019年12月

环海军,张继波,刘岩,等.鲁中地区极端高温变化特征分析[J].沙漠与绿洲气象,2019,13(6):88-95.
doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2019.06.011
开放科学(资源服务)标识码(OSID):

鲁中地区极端高温变化特征分析

环海军[1],张继波[2],刘 岩[1],张 琴[1],夏福华[1]
(1.淄博市气象局,山东 淄博 255048;2.山东省气候中心,山东 济南 250031)

摘 要:基于1966—2015年鲁中地区8个气象站日最高气温、日最低气温和相对湿度气象观测资料,利用年最高气温、高温日数、极端高温日数、暖夜日数、炎热日数和高温热浪日数等指数,研究其极端高温天气变化特征。结果表明:鲁中地区近50 a年最高气温随时间变化呈增加趋势,1990年后增加趋势明显,有6 a左右的主要变化周期,主要空间变化规律一致;极端高温天气呈增强趋势,尤其在1990年以后,年炎热日数和轻度高温热浪日数最多出现在1994年,年高温日数最多出现在1997年,年极端高温、暖夜日数和重度高温热浪日数均出现在2005年;中部地区发生极端高温天气频率高,南部山区发生频率低。

关键词:鲁中地区;高温区;极端高温;时空变化规律
中图分类号:P468.0 **文献标识码**:A **文章编号**:1002-0799(2019)06-0088-08

气候变化是导致人类遭受灾害影响的因素之一[1-4],人类活动对全球气候变化的影响是目前研究的主要内容,很多研究关注气温的长期变化,近百年来,全球气温显著上升,1880—2012年全球平均地表气温上升了0.85 ℃,中国陆地区域平均增温0.9~1.5 ℃。IPCC (Intergovemmental Panel on Climate Change,政府间气候变化专门委员会)第五次评估报告指出,未来气候变暖将持续,将给经济社会发展带来越来越显著的影响,并成为人类经济社会发展的风险,在全球变暖、极端天气气候事件频发的背景下,极端气温事件变化明显[5]。

目前国内外关于极端气温研究主要包括极端气温指数、极端气温变化趋势、极端气温成因及极端气温对人体健康的影响等方面。在极端气温指数方面,姜荣等[6-10]对上海市、湖南省、河北省等区域的极端气温指数进行了研究,结果表明,极端高温指数均呈上升趋势,多数地区极端低温指数呈下降趋势。在极端气温变化趋势方面,任福民等[11-14]对中国及各区域极端气温进行了研究,结果表明,各区域极端高温和低温呈非显著性增高趋势,高温升高趋势显著,尤其近10年以来,空间差异较大,未出现明显突变年份。在极端气温成因及极端气温对人体健康的影响方面,Lu and Chen[15]研究了中国高温频率的长期趋势和年代际变化,同时讨论了环流、海温等因子对高温天气的影响;王玉等[16]对中国东部地区气温变化与Hadley环流强度的关系分析表明,中国东部大部分地区气温的年代际变化能用Hadley环流强度变化较好地解释,二者呈正相关;Medina- Ramon and Schwartz[17]对50个美国城市的研究表明,极端高温事件增加了5.74%的死亡率。

研究表明,山东省年最高气温呈升高趋势,气候倾向率为0.4 ℃·(10 a)$^{-1}$($P<0.05$),年最高气温的高值区主要分布在鲁中地区、鲁西南和鲁西北。本文研究的鲁中地区地处山东中部,南部为沂蒙山区,北部为临黄河平原,是山东主要的工业和农业生产地,属暖温带大陆性季风气候区,是山东主要高温区之一,受季风影响,气候变化具有明显的季节性:冬季盛行偏北风,雨雪稀少,寒冷干燥;春季气温回升快,少雨多风,干旱发生频繁;夏季高温高湿,降水集中;秋季

收稿日期:2019-03-29;**修回日期**:2019-05-31
基金项目:山东省气象局气象科学技术研究项目"鲁中地区极端降水事件时空变化特征及暴雨强度公式分区研究"(2016sdqxm13)
作者简介:环海军(1987—),男,高级工程师,主要从事应用气象服务及研究。E-mail:zbqxj@163.com

降水锐减,秋高气爽。已有研究表明该地区年季平均气温均呈上升趋势,其中冬季增暖最明显[18],目前针对该地区极端高温变化特征的研究较少,故本文采用多个极端高温指标从多个角度研究极端高温的时空变化规律,为极端高温的预报预测提供参考依据,从而减少由极端高温造成的损失。

1 资料与方法

1.1 资料来源

资料来源于1966—2015年山东122个国家级气象观测站日最高气温和鲁中地区8个气象站日最高气温、日最低气温和相对湿度气象观测资料,数据经过严格质量控制,对数据异常值作缺测处理,数据缺失2 d内的运用前后资料进行插补。研究区域和站点分布见图1,图1a中阴影部分为研究区域,地形包括平原和山区,图1b阴影部分为山区。

1.2 研究方法

基于气象数据采用气候倾向率、M-K突变检验和小波分析等方法分析极端高温天气的时间变化趋势,利用经验正交分解法(EOF)分析空间变化特征。基于公式和阈值法统计高温日数、极端高温日数、暖夜日数、炎热日数、高温热浪日数。

1.2.1 高温日数

参考中国气象局对极端高温的定义,≥35 ℃为高温天气,高温日数即日最高气温≥35 ℃的日数。

1.2.2 极端高温阈值及日数

采用百分位法确定极端高温阈值,即取气候标准期(1981—2010年)内任一高温指标每年的极值和次极值,构建一个包含60个样本的序列,对序列从小到大排列,取第95百分位数作为偏大的极端阈值,计算方法见《极端高温监测指标》[19]。极端高温日数即日最高气温大于极端高温阈值的日数。

1.2.3 暖夜日数

研究表明,安静时人体在28 ℃气温时产热量明显增加,此后产热量随着气温升高而增加,进而影响人体代谢[20],参考气候变化对暖夜的定义,本文定义夜间气温(即日最低气温)≥28 ℃为一个暖夜日。

1.2.4 炎热日数

为了直观表征气象环境对人体舒适度的影响,运用Bosen修正的炎热指数公式[20-22],参照姜荣等[7]关于炎热指数的定义,计算最高气温>33 ℃的炎热指数,并对其进行排序,选50百分位数作为当地的炎热临界值。

$$E_T=1.8T_a-0.55\times(1.8T_a-26)\times(1-0.6)+32\ , \quad (1)$$

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

式中,E_T为炎热指数(单位:℃),T_a为日最高气温(单位:℃),RH为空气相对湿度(单位:%)。

1.2.5 高温热浪指数

高温热浪指通常情况下气温高、湿度大且持续时间较长,使人体感觉不舒适,并可能威胁公共健康和生命安全、增加能源消耗、影响社会生产活动的天气过程,其计算指数见式(3),热浪分级指标见表1[21]。

$$HI=1.2\ (E_T-E'_T)+0.35\sum_{i=1}^{n-1}\frac{1}{d_i}\times(E_{Ti}-E'_T)+0.15\sum_{i=1}^{n-1}\frac{1}{d_i}+1\ 。 \quad (3)$$

式中,E'_T为炎热临界值,E_{Ti}为当日之前第i日的炎热指数,d_i为当日之前第i日距当日的日数,N为炎热天气过程的持续时间(单位:d)。

2 结果分析

2.1 极端高温时空变化规律

鲁中地区1966—2015年最高气温随时间变化规律如图2。由图可知,近50 a来,年最高气温随时

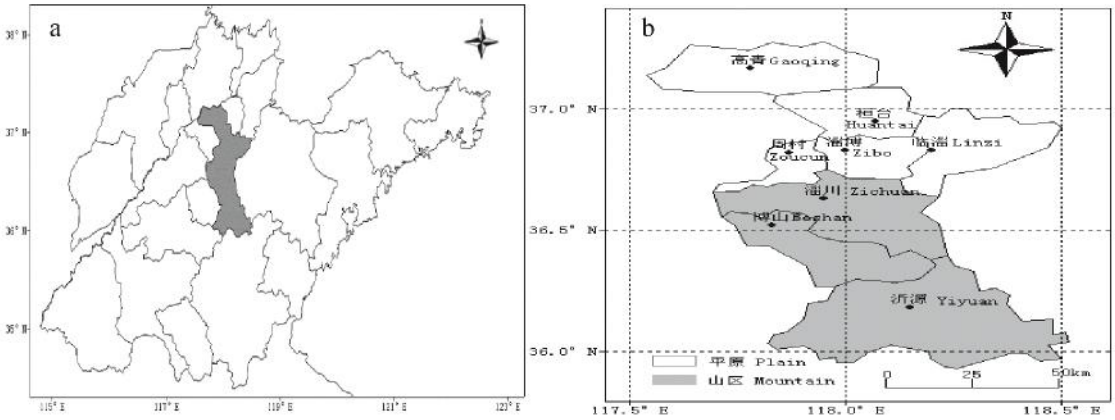

图1 研究区域(a)及站点(b)分布

表 1 高温热浪等级划分及说明用语

等级	指标	说明
轻度热浪(Ⅲ级)	2.8≤HI<6.5	轻度(闷)热天气过程,对公众健康和社会生产造成一定影响
中度热浪(Ⅱ级)	6.5≤HI<10.5	中度(闷)热天气过程,对公众健康和社会生产造成较为严重影响
重度热浪(Ⅰ级)	HI≥10.5	极度(闷)热天气过程,对公众健康和社会生产造成严重不利影响

间变化呈增加趋势，气候倾向率为 0.1 ℃·(10 a)$^{-1}$(显著性检验 P>0.05)，平均年最高气温为 37.6 ℃，最高值为 40.7 ℃,最低值为 35.4 ℃。通过突变检验分析可知，年最高气温变化无明显突变时间点,从 10 a 滑动平均值来看,近 20 a 年最高气温增加趋势明显,尤其在 20 世纪 90 年代以后。年最高气温小波分析功率谱图见图 3。由图可知,年最高气温有 6 a 左右的主要变化周期。

对年最高气温进行 EOF 分解[23],其第一、二特征向量及其主成分分析见图 4。由图可知,鲁中地区年最高气温随时间变化的主要空间特征一致，第一特征向量贡献率为 85%,随时间呈升高趋势。第二特征向量贡献率为 5%,图 4c 表明南部山区和中北部平原在空间变化上存在相反的变化规律，其主成分随时间变化呈弱降低趋势。

2.2 高温日数时空变化规律

年高温日数时空变化规律如图 5。由图 5a 可知,年高温日数随时间呈增加趋势,从 10 a 滑动平均年高温日数可知,20 世纪 90 年代以后年高温日数显著增加,1997 年高温日数最多,平均为 25 d。由图 5b 可知，年高温日数由中部向南北两侧递减,南部山区年高温日数较中北部平原偏少,其中,最南部沂源年高温日数最少为 3.6 d,中部淄博最多为 14.9 d。

2.3 极端高温日数

极端高温阈值、历史超过阈值日期及幅度如下表 2。由表可知,南部山区极端高温阈值较中北部平原偏低。历史共有 5 次超过极端高温阈值,其中 3 次出现在 2000 年以后,2005 年出现 6 站次,平均偏高幅度为 1.1 ℃。平原地区共出现 16 站次,平均偏高幅度为 0.8 ℃,山区共出现 6 站次,平均偏高幅度为 0.7 ℃。极端高温易出现在 6 月下旬至 7 月上中旬。

2.4 暖夜日数时空变化规律

暖夜日数的时空变化规律见图 6。由图 6a 可知,暖夜日数在 1990 年之前(除 1966 年外)较少,但 1990 年以后明显增多,其中,2005 年暖夜日数最多,

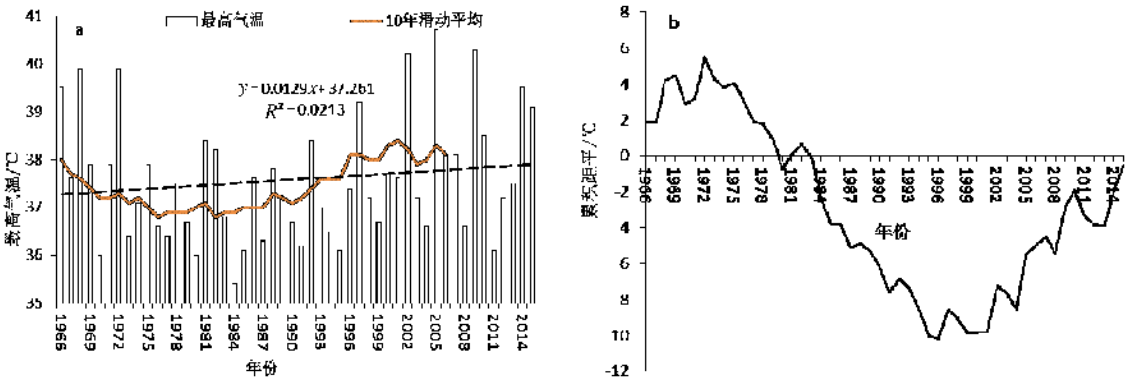

图 2 年最高气温时间变化规律(a)和累积距平(b)

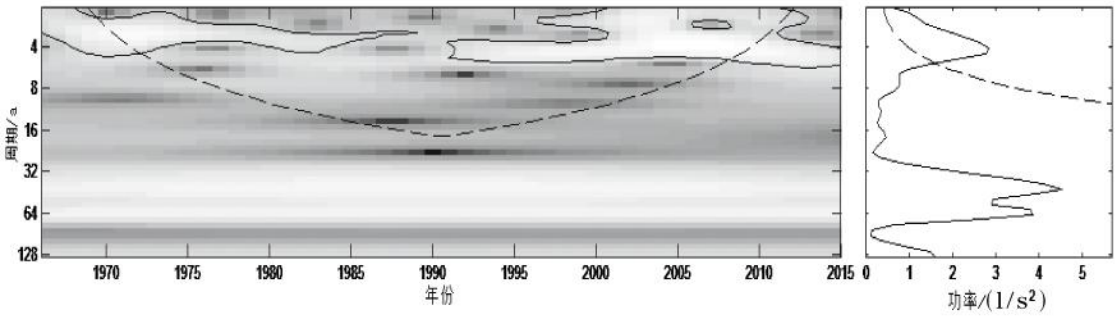

图 3 年最高气温小波分析

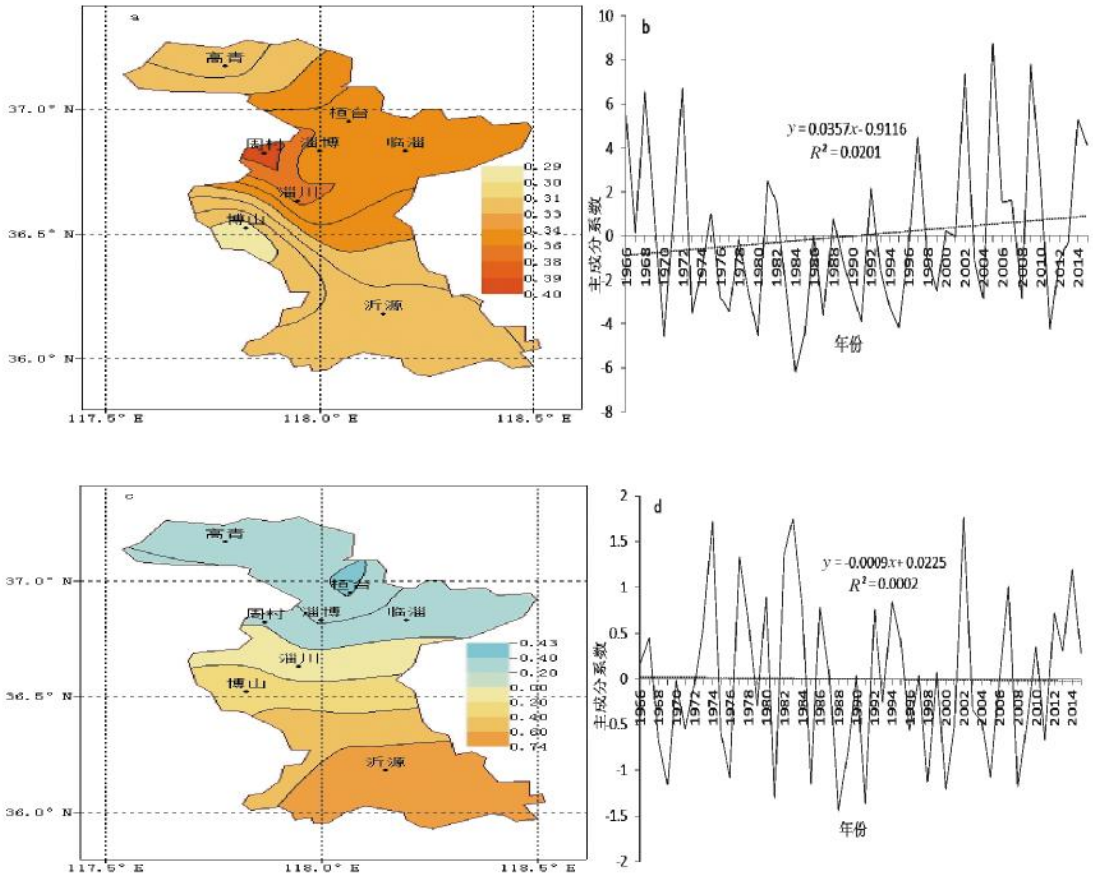

图 4　年最高气温 EOF 分解第一特征(a)、第二特征向量(c)及其主成分变化趋势(b,d)分析

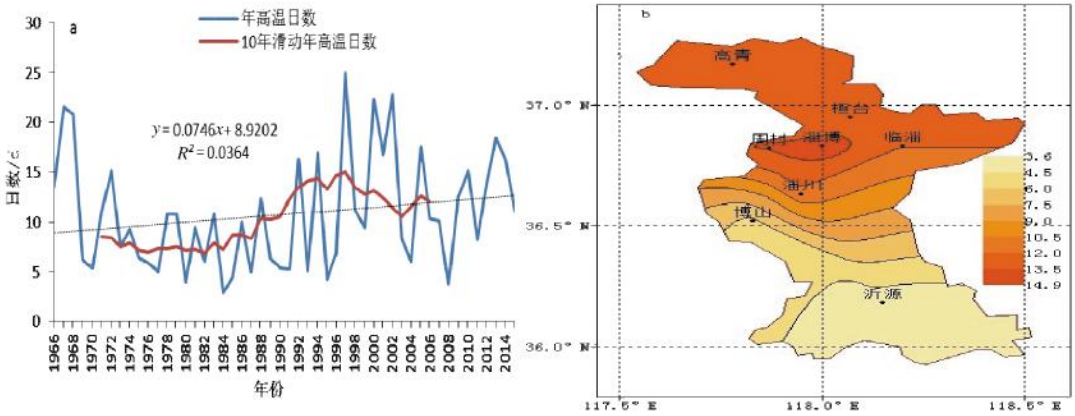

图 5　高温日数时间(a)和空间(b)变化规律

平均为 2.9 d。由图 6b 可知,年暖夜日数由中部向两侧递减,南部山区最少,平均年暖夜日数为 0.1 d,中部淄博最多,平均年暖夜日数为 1 d。近年来,暖夜日数的增多,对人体健康产生不利影响。

2.5　炎热日数时空变化规律

炎热指数表征了气象环境对人体舒适度的影响,炎热日数的时空变化规律见图 7。由图 7a 可知,炎热日数随时间呈上升趋势,在 1994 年达最多,平均为 31.3 d。由图 7b 可知,年炎热日数最多出现在中部地区,淄博最多为 18.8 d,南部山区最少,沂源最少为 7.3 d。

2.6　高温热浪日数时空变化规律

高温热浪指数综合了炎热及其累积效应,能反应高温强度及其累积对社会的影响,不同级别高温热浪日数时空变化规律见图 8。由图 8a、8c 可知,年轻度和中度高温热浪日数随时间呈增加趋势,在

表 2 极端高温阈值和超过阈值幅度及日期分布

站名	极端高温阈值	超过阈值幅度/℃及日期分布				
		1968/6/11	1972/7/5	2002/7/15	2005/6/23	2009/6/25
淄博	40.4	0.3	0.3		1.2	0.4
周村	40.9				0.9	
桓台	40.5	0.2	0.4		1	0.8
临淄	40.1	0.9	1.1		0.9	1.6
高青	40.3	0.6			1.5	0.7
博山	38.5			0.5		0.3
淄川	40.2			0.6	0.8	
沂源	38.3		0.3	1.7		

1990 年之后上升趋势明显。由图 8b、8d 可知，年轻度高温热浪日数最多出现在中部平原，中度高温热浪日数出现在中北部平原，南部山区最少。

年重度高温热浪在 1973—1996 年期间未出现(图 8e)，但在 1997 年之后频繁出现，2005 年除南部山区博山和沂源未出现重度高温热浪天气外，其他地区均出现 2 d 重度高温热浪天气。由图 8f 可知，年重度高温热浪日数最多出现在中部地区，南部山区无重度高温热浪天气发生。

3 结论

(1)山东省年最高气温呈显著升高趋势，高值区主要分布在鲁中地区、鲁西南和鲁西北。鲁中地区年最高气温随时间变化呈增加趋势，近 20 a 增加趋势明显，无明显突变年份，有 6 a 左右的主要变化周期。年最高气温的主要空间变化规律一致，但南部山区和中北部平原在部分年份的变化上存在差异。

(2)近 50 a 来，淄博市极端高温天气呈增强趋势，尤其在 1990 年以后，年炎热日数和轻度高温热浪日数最多出现在 1994 年，年高温日数最多出现在 1997 年，年极端高温、暖夜日数和重度高温热浪日数均出现在 2005 年。极端高温天气出现在 6 月下旬至 7 月上旬的概率较大。

(3)淄博市极端高温天气主要发生在中北部地区，中部地区发生概率最高，南部山区较少。近 50 a 来南部山区无重度高温热浪天气发生。

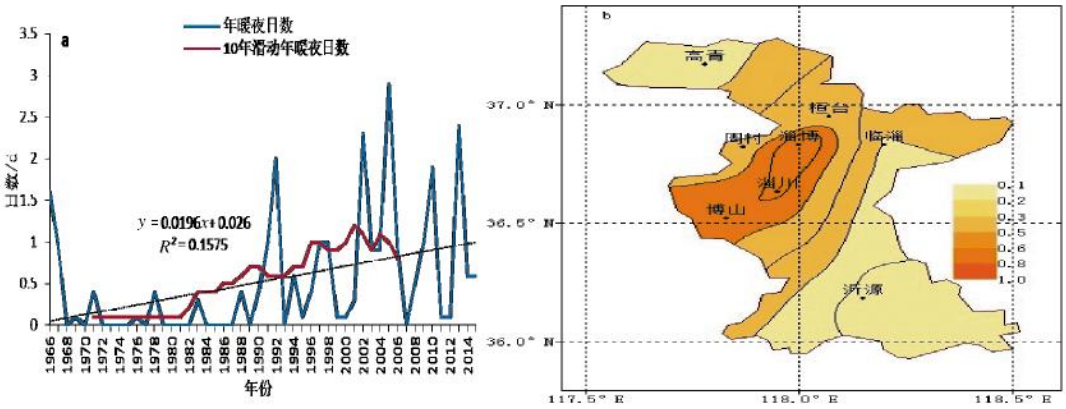

图 6 暖夜日数时间(a)和空间(b)变化规律

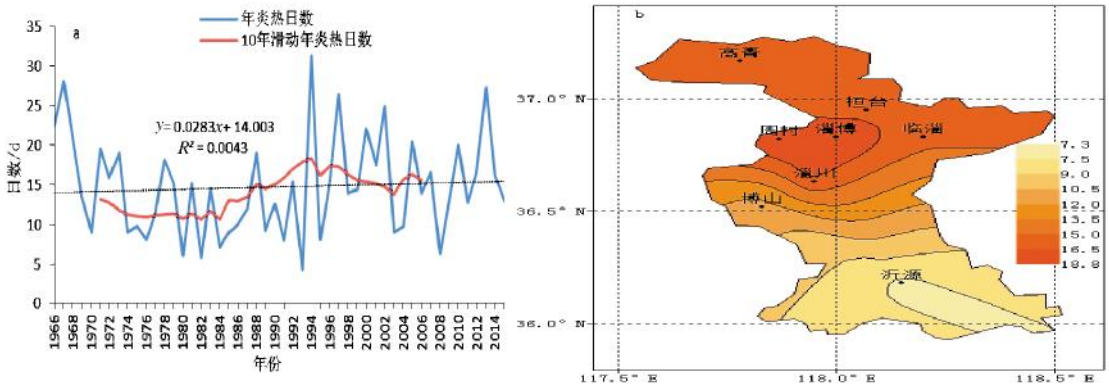

图 7 炎热日数时间(a)和空间(b)变化规律

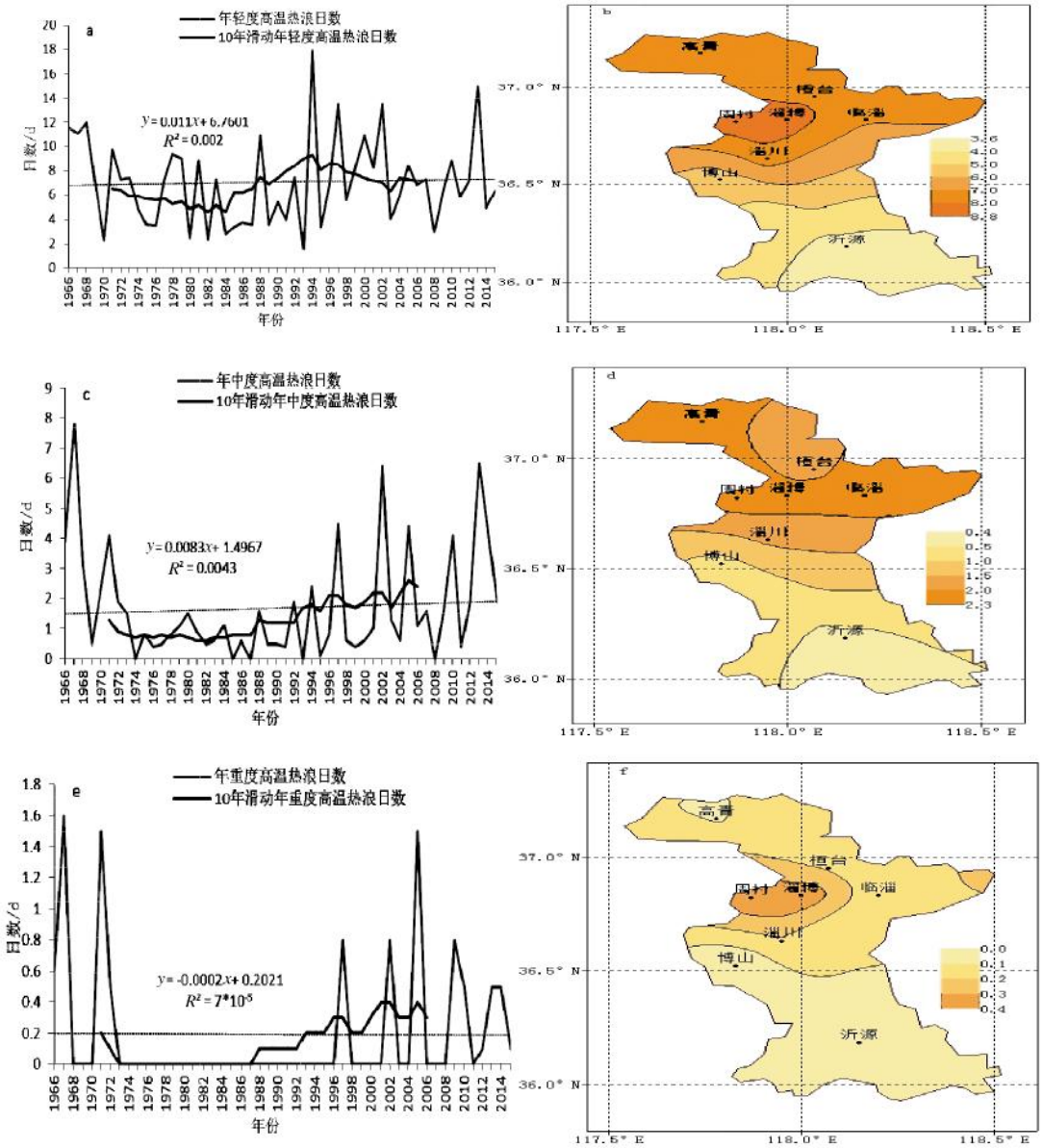

图 8　轻度(a、b)、中度(c、d)和重度(e、f)高温热浪日数时空变化规律

4　讨论

本文研究了山东主要高温区鲁中地区极端高温的变化特征,结果显示,山东地区年最高气温的增加幅度较黄淮海平原和黄河流域偏大[9,12],鲁中地区增加趋势更显著，极端高温指数在 20 世纪 90 年代后显著增多,山区较平原增加幅度缓慢,各极端高温指数最多出现年份不一致，这与上海地区相关研究结果不同,其中,最多年暖夜日数较上海地区偏少幅度较大,最多年高温日数较上海地区略偏少,但最多年炎热日数和高温热浪日数较上海地区略偏多[6],说明不同极端气温指数在不同地区表现不一致，鲁中地区综合极端高温指数的显著增加对当地居民生活环境有不利影响。同时,研究表明,鲁中地区极端高温易出现在 6 月下旬—7 月上旬，该地区应在相关时段因地制宜地采取有效的热环境改善措施。目前,全球气温显著上升,极端高温事件频发[1-5],但存在区域化差异，故结合不同区域气象要素研究精细化的极端高温变化规律，合理规划城市和各类产业布局，为有效避免极端高温带来的不利影响提供基础。

参考文献:

[1]　王伟光，郑国光. 气候变化绿皮书：应对气候变化报告(2013)[S].北京:社会科学文献出版社,2013.

[2]　丁一汇,任国玉,石广玉,等.气候变化国家评估报告(I):中国气候变化的历史和未来趋势[J].气候变化研究进展,2006,2(1):3-8.

[3] 郑祚芳,丁海燕,范水勇.北京 1960-2008 年气候变暖及极端气温指数变化特征 [J]. 气候变化研究进展,2011,7(3):189-196.

[4] 林而达,许吟隆,蒋金荷.气候变化国家评估报告(Ⅱ):气候变化影响与适应 [J]. 气候变化研究进展,2006,2(2):51-56.

[5] IPCC.Climate change 2013 - the physical science basis: Working Group I contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panelon climate change [M]. Cambridge: Cambridge University Press,2014:1535.

[6] 姜荣,陈亮,象伟宁.上海市极端高温天气变化特征[J].气象与环境学报,2016,32(1):66-74.

[7] 朱歆炜,叶成志,彭晶晶,等.湖南省 55a 极端气温事件变化特征[J].沙漠与绿洲气象,2016,10(2):82-88.

[8] 秦秀丽,李丽平,魏丽云.1961—2010 年山西极端气温年均发生频率的时空特征分析[J].沙漠与绿洲气象,2014,8(2):59-64.

[9] 张照玺,胡彩虹,李世豪,等.黄河流域 1961—2010 年极端气温指数的时空变化特征 [J]. 气象与环境科学,2015,38(2):48-53.

[10] 姜国艳,祁莉,陆桂荣,等.河北省 7 个主要极端温度指数时空变化特征及原因分析[J].云南大学学报(自然科学版),2016,38(3):430~438.

[11] 任福民,翟盘茂.1951—1990 年中国极端气温变化分析[J].大气科学,1998,22(2):217-227.

[12] 杨建莹,陈志峰,严昌荣,等.近 50 年黄淮海平原气温变化趋势和突变特征[J].中国农业气象,2013,34(1):1-7.

[13] 苗运玲,卓世新,李如琦,等.新疆哈密高温气候特征及其环流形势分型[J].沙漠与绿洲气象,2015,9(2):38-43.

[14] 李焕,白松竹,王干成.阿勒泰地区 1961—2007 年夏季平均最高气温及高温日数变化特征 [J]. 沙漠与绿洲气象,2014,8(3):56-60.

[15] Lu R Y,Chen R D.Areview of recent studies on extreme heat in China [J]. Atmospheric and Oceanic Science Letters,2016,9(2):114-121.

[16] 王玉,黄丽芬,谢建兴,等.Hadley 环流强度与中国东部气温的相关分析[J].气象与环境学报,2013,29(6):49-55.

[17] Medina-Ramon M, Schwartz J.Temperature, temperature extremes, and mortality: a study of acclimatization and effect modification in 50 US cities [J]. Occupational&Environmental Medicine, 2007,64(12):827-833.

[18] 刘岩,环海军.淄博 60a 气温和降水量变化趋势分析[J].山东气象,2014,34(4):28-31.

[19] 高荣,邹旭恺,王遵娅,等.极端高温监测指标:QX/T280-2015[S].北京:气象出版社,2015:1-4.

[20] 谈建国,陆晨,陈正洪,等.高温热浪与人体健康[M].北京:气象出版社,2009:2-6.

[21] 董卓,赵琳娜,陈辉,等.高温热浪等级:GB/T29457-2012[S].北京:中国标准出版社,2013:2-6.

[22] Huynen M M, Martens P, Schram D, et al. The impact of heat waves and cold spell sonmortality rates in the Dutch population [J]. Environmental Health Perspectives, 2001,109(5):463-470.

[23] 王盘兴,徐建军,许应龙.关于 EOF 分析方法的一个试验[J].大气科学学报,1991(增刊 1):455-460.

Characteristics of Extreme High Temperature Variations in the High Temperature Area in the Middle Region of Shandong Province

HUAN Haijun[1],ZHANG Jibo[2], LIU Yan[1], ZHANG Qin[1], XIA Fuhua[1]
(1.Zibo Meteorological Bureau, Zibo 255048,China;
2.Shandong Climate Center,Jinan 250002,China)

Abstract Based on the daily maximum temperature, minimum temperature and relative humidity data in eight weather stations of the Shandong province from 1966 to 2015, the characteristics of extreme high temperature in Zibo city were studied by using the extreme climate indices (annual maximum air temperature, high temperature days, extreme high temperature days, warm night days, hot days and heat wave days). The results showed that the annual maximum temperature had an increasing trend in recent 50 years, and it was obvious since 1990, it had a six years' main periodic change and the same main spatial variation. The extreme high temperature had a gradual trend, especially since 1990, and the maximum number of the annual hot days and light heat wave days appeared in 1994. The maximum number of the annual high temperature days appeared in 1997, and the maximum number of extreme high temperature days, warm night days and severe heat wave days appeared in 2005. The frequency of extreme high temperature in Zibo was high in the central region, but it was low in the southern mountain area.

Key words middle area of Shandong province; high temperature area; extreme high temperature; spatial and temporal variation