

山东酷热天气统计特征分析^①

杨成芳¹ 龚佃利² 张苏平³

(1. 山东省气象中心, 济南 250031; 2. 山东省气象科学研究所; 3. 中国海洋大学)

提 要

利用统计方法对山东 1951~2002 年的酷热天气进行了分析, 发现山东的酷热天气主要出现在鲁西、鲁北和鲁南; 酷热天气在 5~8 月均可出现, 主要集中在 6~7 月; 有明显的年际变化, 20 世纪 50~70 年代前期酷热天气频繁发生, 且强度较强。小波分析表明主要存在 4 年和 10 年左右的周期。西风带暖脊是造成山东酷热天气的主要天气形势, 其次是副热带高压; 酷热日与前期炎热日关系密切; 850hPa 温度场上郑州附近的 24℃ 暖中心有很好的指示意义。

关键词: 酷热日 统计特征 小波分析 天气形势

引 言

气象上一般将日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 称为炎热日, $\geq 40^{\circ}\text{C}$ 称为酷热日。酷热天气是一种灾害性天气, 它不仅会直接损害人体健康, 而且与人们的日常生活和生产活动有密切关系。2002 年 7 月 9 日山东开始出现高温, 14~16 日, 山东省中西部地区连续三天的酷热天气, 造成了各地心脑血管疾病、急性肠胃炎等疾病患者成倍增加, 酷热天气因此越来越受到人们的重视。过去对高温的研究不多, 酷热天气的发生规律、天气形势等更是很少涉及过。曹钢锋等^[1]利用 1951~1980 年共 30 年的资料对山东的高温天气进行了研究, 指出山东各地高温的分布特点, 将山东的高温天气划分为干热型和湿热型两类, 文中还通过个例分析给出了出现高温的天气形势, 并确定了高温天气的一般预报方法。陈秀杰等^[2]研制了济南市 6 月份 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 高温的统计预报方法。总的来看, 以上对高温的研究所用历史资料年限都比较短, 包含的高温过程少, 且都是笼统地研究 35°C 以上的高温, 没有单独地把酷热日作为研究对象, 找出其特征。本文利用年代更长的气温资料, 研究山

东酷热日的时空分布特征, 揭示其演变规律, 并分析其天气形势特征, 对于今后酷热天气的预报具有重要的指导意义。

在近年来国内的大气科学研究中, 小波分析被广泛应用于天气分析、气候变化等各种研究中^[3,4]。本文采用文献[5]所介绍的小波分析方法及检验方法对山东酷热日数时间序列进行分析研究, 揭示其周期特征。

1 资料和方法

本文利用的资料是 1951~2002 年历年 5~8 月的逐日最高气温资料和同期欧亚 500hPa、850hPa 高空天气图。其中, 1951~1960 年的逐日资料为济南、德州、惠民、泰安、潍坊、菏泽和临沂共 7 个站, 1961~2002 年为全省 124 个站。

小波分析来源于傅立叶分析, 是近几年国际上十分热门的一个前沿领域, 被认为是傅立叶分析方法的突破性进展^[6]。经典的傅立叶分析不能获取信号在任一时刻的频率特征, 而小波分析是一种窗口大小及形状均固定的时频局部分析, 它能够提供整体上和任一局部时间内信号变化的强弱程度。它不仅给出气候序列变化的尺度, 还可以显示

^① 资助项目: 山东省气象中心创新基金项目(2002 年)

出变化的时间位置,可揭示出复杂的气象序列曲线中不易被觉察到的急剧变化的局部特征。

小波分析有多种子波函数形式。Morlet小波函数具有较高的周期分辨率,但时间分辨率较低;即分析的周期集中,但时间跨度较长,因而可以用来确定主要变化周期;而墨西哥帽小波函数正好相反,分析的周期跨度较长,但时间集中,可以用来分析整个时间序列周期变化的阶段性。本文选用文献[5]给出的Morlet和墨西哥帽两种小波函数的计算程序,对山东52年夏季酷热日的周期变化特征进行分析,并在红噪声背景的假设条件下,对分辨周期的显著性进行检验。

根据文献[5]对子波变换的介绍,对于连续时间序列 x_n ,小波母函数可写成如下形式:

$$\Psi_0(t) = \pi^{-1/4} e^{i\omega_0 t} e^{-t^2/2} \quad (1)$$

其中, ω_0 为无量纲数,对Morlet函数, ω_0 取6。

其子波变换为:

$$W_n(s) = \sum_{n'=1}^{N-1} \hat{x}_{n'} \Psi^* \left[\frac{(n' - n)\delta t}{s} \right] \quad (2)$$

利用Fourier变换的基本性质和回旋法则,得到小波变换在频率域 s 上的表达式为:

$$W_n(s) = \sum_{k=1}^{N-1} \hat{x}_k \hat{\Psi}^*(s\omega_k) e^{i\omega_k n\delta t} \quad (3)$$

$$\text{其中, } \omega_k = \begin{cases} \frac{2\pi k}{N\delta t} & k \leq \frac{N}{2} \\ -\frac{2\pi k}{N\delta t} & k > \frac{N}{2} \end{cases}$$

$$\hat{x}_k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-2\pi i k n / N} \quad (4)$$

式中, $n = 0, 1, \dots, N-1$ 是样本长度, δt 为取样间隔, s 为子波尺度(伸缩因子);在Morlet小波中, $s = 2\delta t$,墨西哥帽小波中, $s = \delta t$, $\hat{\Psi}^*$ 表示 $\Psi_0(t)$ 的Fourier变换^[6]。

定义 $|W_n(s)|^2$ 为小波功率谱。为了便于比较不同周期的小波功率谱,对 $|W(s)|^2$ 进行标准化得到标准功率谱,即

$|W(s)|^2/\sigma^2$,其中 σ^2 为时间序列的方差。小波功率谱的大小可以反映出波动振幅强度。

2 酷热日气候统计特征

2.1 酷热日的定义

考虑到酷热日出现的几率较小,本文定义山东全省只要有一个站以上(包括1个站)日最高气温 $\geq 40^\circ\text{C}$ 就算一个酷热日。

2.2 酷热天气的时域特征

统计全省1951~2002年5~8月的逐日最高气温资料,得到每年每月的酷热日数。统计表明,52年间,山东省共出现了66个酷热日,年平均1.3天。多数年份仅出现一天(占70%),少数年份可连续两天或三天(分别占11%和13%),持续时间最长的是5天,发生在1955年7月22~26日。21世纪的第一个酷热日出现在2002年7月14日,持续了3天,其中,15日,多数站点的最高气温创造了历史纪录,例如,临沂(42.5°C),日照(41.4°C)等都是观测资料以来的最高值。

将每旬所有年份的酷热日数累加,并计算各旬酷热日与全部酷热日数的比值,得出各旬酷热日的出现概率,结果见表1。可见,山东省酷热日在5~8月都可以出现,但主要集中在6月份,酷热日数占历年总日数的57.6%。其次是7月份,占33.3%。酷热日在5月下旬和8月上旬只是偶尔出现。除此以外,其他月份从未出现过酷热日。

表1 山东省5~8月酷热日数及各旬出现概率(1951~2002年)

时间	5月		6月		7月		8月	
	下旬	中旬	下旬	中旬	下旬	中旬	下旬	中旬
日数	2	12	12	14	6	8	8	4
频率/%	3.0	18.2	18.2	21.2	9.1	12.1	12.1	6.1

2.3 酷热天气的地域特征

20世纪50年代山东省只有7个测站的资料,而1961年以后全省资料则比较齐全。因此在分析全省酷热日地理分布特点时,为了避免以偏概全,只取了1961年以后的资料作统计。图1给出了山东各地历年出现的酷

热日总数分布情况。从图1可以看出,1961~2002年,位于山东西部的聊城、德州、菏泽等地区出现的酷热日数最多,多数站点都超过了12天,其中冠县和夏津都是17天。济南、滨州、东营和济宁多为4~8天。鲁中山区、鲁东南和半岛大部分地区较少出现酷热日。而位于半岛北部的蓬莱却是例外,42年间共出现过5个酷热日,远远超过了本地区的其他站。

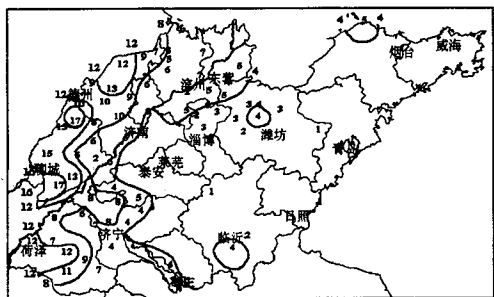


图1 山东省1961~2002年酷热日数分布

2.4 酷热天气的年际变化

图2给出了山东省1951~2002年历年酷热日数的时间演变。从图2可以看出,山东省夏季出现酷热日的年际变化有明显的阶段性和群发性。20世纪50年代后期和60年代酷热日频繁出现,且每年日数较多,1955年和1968年都出现了7个酷热日,是1952年以来出现40℃以上酷热日数最多的两个年份。70年代以后酷热日数减少了,70年代后期基本每年都出现1个酷热日。80年代和90年代只有7年出现过酷热日,且酷热日出现的频率和强度明显低于50年代和60年代。进入21世纪,在继1997年时隔5年之后,于2002年又出现了3个酷热日。最近52年中,山东省酷热日集中出现在1958~1961、1963~1969、1975~1982、1991~1992年这四个阶段,其它出现年份都比较零散。这是否意味着山东酷热天气可能存在着一定的周期呢?为了进一步揭示山东省酷热日的变化规律,下面我们采用小波分析来确定其隐含的周期特征。

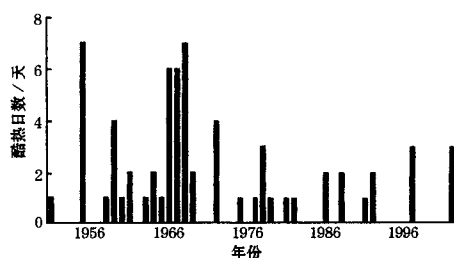


图2 山东历年酷热日数演变图(1951~2002年)

2.5 酷热天气的周期特征

为了构造满足小波变换的连续时间序列,首先要对酷热日数进行预处理,将没有出现过酷热日的年份设为0,这样就可以获得资料长度 $n=52$ 的连续酷热日数时间序列。

图3给出了山东52年间酷热日数的Morlet(a)和墨西哥帽(b)小波变换图。为了验证计算结果是否显著,对标准功率谱进行 χ^2 检验。图3a清楚地反映出山东酷热天气变化具有明显的多时间尺度特征,主要存在4年和10年左右的周期振荡。其中多数年份表现出4年左右的振荡周期。不同周期存在的阶段不同:52年间始终表现出4年左右的周期;10年左右的周期则在20世纪50~80年代比较明显。

图3b中实线表示酷热日数不为0,虚线表示酷热日数为0,等值线的疏密程度反映了酷热天气的振荡强度。酷热日数越多,则实线等值线越密集。从图中可以看出山东酷热天气呈明显的阶段性。1955、1959、1967、1972、1978、1992和1997年都对对应着较大的正值中心,说明酷热天气在这些年份比较集中。由此所反映出来的酷热天气阶段和时间序列年际变化表现出来的四个阶段是一致的,这也进一步证明了小波分析对信号的强分析能力。从20世纪50年代至70年代前期,等值线都比较密集,说明这期间酷热日数出现较多,气候变化频繁。而70年代后期和80年代振幅很小,90年代以后变化又开始大起来,但振荡程度比60年代明显降低,这说明90年代以后酷热日数比70~80年代增多

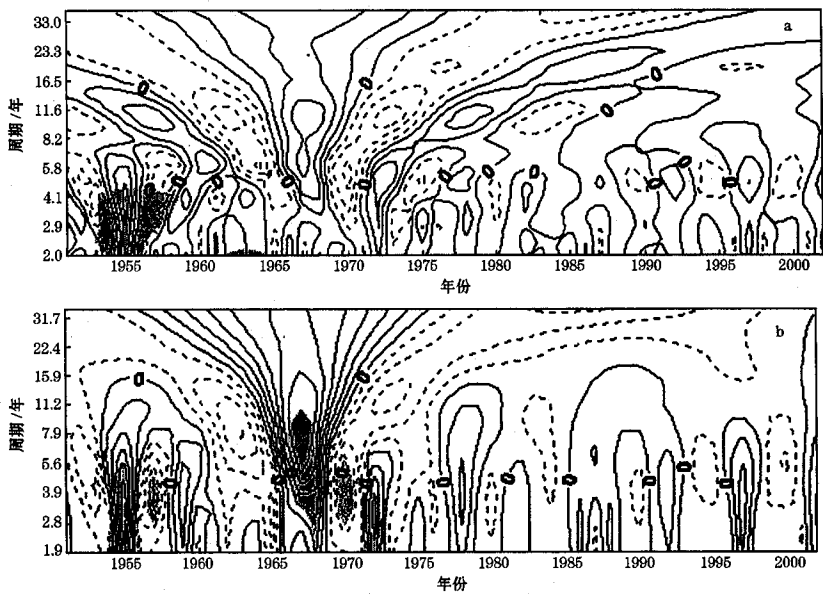


图 3 山东 1951~2002 年酷热日数小波变换图

a. Morlet 小波变换, b. 墨西哥帽小波变换

实线为正值,虚线为负值,等值线间隔为 1;阴影区为相对后延系数 0.72 自回归红噪声过程,通过 90% 信度水平检验区。

了,但是强度还没有达到 50 年代和 60 年代的水平。在 1955 年和 1967 年前后小波功率谱都出现了强烈振荡,尤其以 1967 年最为显著,实际数据正是这样,山东在 1955 年出现了 7 个酷热日、1966 年至 1968 年每年都出现了 6 个以上的酷热日,这在 52 年中是绝无仅有的。

3 山东酷热天气特征

3.1 酷热日与炎热日的时间关系

高温天气是否具有积累效应? 考察单站第一个酷热日的前期气温特征(表 2),发现各站在酷热日出现前,一般已经出现了 3 个炎热日。酷热日前一天的日最高气温,全省平均达到 37.4℃。各站有历史资料以来,全省只有 6 个站共 7 个酷热日前一天的日最高气温未达到炎热日标准,但是也都大于 33℃,全省平均未达标的最高气温是 33.9℃。可见,酷热日的出现与前期的气温关系密切。前期气温只有达到一定的标准,未来才可能产生大于 40℃ 的酷热天气。这也充分说明了太阳辐射增温的积累效应。

表 2 全省代表站酷热日与炎热日的关系

站名	A	B	前期炎热日数/天
德州	36.9	33.5	3.7
东营	35.7	33.0	1.5
冠县	37.6	—	4.0
菏泽	37.3	33.1	3.5
惠民	37.1	—	3.0
济南	38.5	34.7	4.1
聊城	37.6	—	2.7
蓬莱	37.9	—	4.5
泰安	36.2	33.2	3.5
潍坊	38.2	—	5.0
夏津	38.3	34.8	3.7
		34.0	
全省	37.4	33.9	3.0

注:A 为所有酷热日前一天达到炎热日标准的最高气温的平均值(℃),B 为酷热日前一天未达到炎热日标准的最高气温值。

3.2 酷热日的天气形势

分析酷热日当天 08 时 500hPa、850hPa 天气图,发现西风带暖脊和副热带高压是造成酷热天气的两种天气形势。

统计表明,66 个酷热日集中发生在 42 个高温天气过程中。其中,有 4 次是由于西北太平洋副热带高压(以下简称副高)控制下产生的,占总数的 9.5%,而其余 90.5% 的酷

热日都是在西风带暖脊影响山东时产生的,可见西风带暖脊是造成山东酷热天气的主要天气系统。从时间上来看,副高主要在7月到8月上旬影响山东。西风带暖脊在5~8月都可出现,5~6月的酷热日都是在此天气形势下产生的。另外,副高影响山东时出现酷热的站点较少,且都分布在鲁西、鲁南以及半岛北部的蓬莱,而西风带暖脊造成的酷热天气可影响全省,但主要集中在鲁北和鲁西地区。

3.2.1 西风带暖脊控制下的酷热天气形势

从历次西风带暖脊造成的酷热天气过程来看,500hPa图上亚洲一般为两槽一脊或一脊一槽,暖脊有时候是东北西南向,有时候是西北东南向,东亚槽位于 130°E 附近,山东处于槽后脊前的西北气流里;850hPa图上,在河套西部有暖中心。这样,在暖平流输送下,暖脊不断东移。酷热日出现前,这种形势一般至少维持3天以上,最多的可维持7天(出现在1955年7月),因此山东往往先出现3个或3个以上的炎热日。

酷热日当天08时的850hPa天气图上,黄河中上游流域都有一个或几个中心强度不小于 24°C 的暖中心,其中必然有一个暖中心在郑州附近, 24°C 等温线接近济南西部或延伸到济南东部。济南至少是 21°C ,其中有92%的酷热日济南850hPa温度在 22°C 以上,最高可达 26°C 。64%的酷热日850hPa 20°C 等温线穿过山东半岛,其余的可到达黄海甚至朝鲜半岛。以上统计事实表明,850hPa图上济南西部的 24°C 暖中心和济南的温度与酷热日有很好的对应关系,可以把它作为一个可靠的预报指标。

3.2.2 副高控制下的酷热天气形势

副高控制使山东出现酷热天气的一个显著特征是,副高势力很强,山东从低空到高空都受到副高控制。酷热日当天08时500hPa图上,副高的中心值可达5960gpm,中心在我国东部沿海或控制山东半岛,588线到达渤海甚至还要偏北。850hPa温度场的特征与西风带暖脊的类似,只是暖中心的位置有差别。这种形势下的 24°C 暖中心一般处在济南南部至江苏一带, 20°C 等温线从南往北延

伸到辽东半岛。

能够产生大范围、持续两天以上酷热天气的副高系统,都是由于在副高南部的菲律宾以东洋面上有一到两个台风向西北方向移动,这样,副高可以长时间地维持在我国东部沿海,使山东产生持续性的酷热天气。

4 小 结

(1)山东酷热天气在5~8月都可以出现,主要集中在6~7月;在地域分布上,酷热天气主要出现在鲁北、鲁西和鲁南,其它地区少见。

(2)山东夏季出现酷热天气的年际变化有明显的阶段性和群发性。酷热天气在20世纪50年代至70年代前期频繁出现,且酷热日数较多,之后酷热日数明显减少,90年代又开始增多,但日数少于50年代和60年代。小波分析发现,主要存在4年、10年左右的周期。

(3)酷热日与炎热日关系密切,一般酷热天气前期已经出现3个炎热日;前一天的日最高气温在 37°C 以上。

(4)西风带暖脊和副热带高压是造成酷热天气的两种天气形势,其中西风带暖脊占绝大多数。酷热日当天08时850hPa温度场上,郑州附近有 24°C 的暖中心,济南的温度一般在 22°C 以上, 20°C 等温线穿过山东半岛或到达黄海。强副高控制山东时,西北太平洋上北上的台风有利于副高稳定少动,产生大范围、持久的酷热天气。

参考文献

- 曹钢锋,张善君,朱官忠等.山东天气分析与预报.北京:气象出版社,1988:266~275.
- 陈秀杰,车培珍,耿勒.济南市6月份高温预报方法.山东气象,1998,71(1):33~34.
- 纪忠萍,何溪澄,谷德军.1994年6月广东省特大洪涝期间气象要素的小波分析.热带气象学报,1998,14(2):148~155.
- 卞维林,林振山,邓自旺.上海气温资料的小波分析.高原气象,1995,14:359~364.
- Christopher Torrence, Gilbert P. Compo. A Practical Guide to Wavelet Analysis. Bulletin of the American Meteorological Society, 1998, 79(1): 61~78.
- 魏凤英.现代气候统计诊断预测技术.北京:气象出版社,1999:106~113.

Analysis of Statistical Features of Extremely Hot Days in Shandong Province

Yang Chengfang

(Shandong Province Meteorological Center, Jinan 250031)

Gong Dianli Zhang Suping

(Shandong Province Meteorological Institute)

Abstract

The extremely hot days during last 52 years(1951—2002) are investigated by means of statistical and wavelet analysis. The results show that extremely hot days mainly occur in the western, northern and southern Shandong province from May to August, mainly in June and July. They emerged frequently between 1950's and the early 1970's. In addition, the result of wavelet analysis indicates that the main period is about 4- and 10-years. The warm ridge in westerlies should be basically blamed for the most extremely hot days, and the subtropical high might play the second important role. Extremely hot day generally follows the previous hot days. And the warm center of 24℃ around Zhengzhou over 850hPa is a remarkable index for prediction of extremely hot days.

Key Words: extremely hot day statistical feature wavelet analysis synoptic situation