

High-Temperature Heat Wave Characteristic Analysis Based on Low-Frequency Characteristic Signal

Juetao Zeng, Tiangui Xiao, Yu Du, Yue Zhang, Linfeng Li

Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan
Email: 921936804@qq.com

Received: Jun. 2nd, 2020; accepted: Jun. 17th, 2020; published: Jun. 24th, 2020

Abstract

In order to further study the impact of low-frequency signals on the high-temperature weather process in the southwest region, based on the daily maximum temperature data of China's ground stations from 1979 to 2015 provided by the National Meteorological Information Center, through weather diagnostic analysis methods and spectral analysis methods, research and analysis of the relationship between high temperature weather process and low frequency signal. The results show that: 1) The daily maximum temperature from June to August in the southwest region has significant low-frequency oscillation characteristics with periods of 10 - 30 d and 30 - 80 d. Extracting the low frequency components of 10-30d and 30 - 80 d, it can be seen that the low temperature oscillations of the maximum temperature of 10 - 30 d and 30 - 80 d, especially the change of the peak-valley phase and the actual temperature change have a high degree of similarity, it can well reflect the alternating evolution of the continuous strong and weak temperature changes. 2) The high-temperature heat wave process in the southwest is related to the low-frequency signals of 10 - 30 d and 30 - 80 d, and the signal contribution of 10 - 30 days is the most significant. 3) Observing the situation of the low-frequency circulation field when high-temperature heat waves occur, it can be found that the circulations of 10 - 30 d and 30 - 80 d both contribute, and the low-frequency signals of the two circulations of 10 - 30 d and 30 - 80 d are related to the mid-high latitude and low latitude oscillation signals. The latitude oscillation signal is related to the prediction of high temperature processes in the southwest region.

Keywords

Low Frequency Signal, Southwest Region, High Temperature Heat Wave

基于低频特征信号的高温热浪特征分析

曾珏桃, 肖天贵, 杜宇, 张月, 李林峰

成都信息工程大学, 四川 成都

摘要

为了进一步研究低频信号对西南地区高温天气过程的影响,基于国家气象信息中心提供的1979年~2015年间我国地面站点逐日最高气温数据,通过天气学诊断分析方法以及谱分析法,对西南区域发生的高温天气过程与低频信号的联系进行研究分析。结果表明:1) 西南地区6~8月逐日最高气温具有显著的周期为10~30 d、30~80 d的低频振荡特征。提取10~30 d、30~80 d的低频分量,可以看出最高气温10~30 d以及30~80 d的低频振荡,尤其是峰谷值相位的变化与实际气温的变化有很高的相似度,能够很好地反映持续性强、弱气温变化的交替演变过程。2) 西南地区高温热浪过程与10~30 d、30~80 d的低频信号有关,且10~30天的信号贡献最为显著。3) 观察发生高温热浪时,低频环流场的形势,可以发现,10~30 d与30~80 d的环流皆有贡献,10~30 d与30~80 d两种环流的低频信号跟中高纬以及低纬的振荡信号有关,对于预报西南地区的高温过程具有重要作用。

关键词

低频信号, 西南区域, 高温热浪

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

1.1. 研究背景

现如今,人们可以很明显的感受到夏季越来越热,入夏的时间也在提前,有些人认为导致全球气温升高的原因是汽车尾气的排放、工业化进程中的废气、化石燃料的燃烧等让空气中二氧化碳、甲烷等温室气体的浓度逐渐增加,造成全球气温升高。然而也有学者认为,人类的活动也会对全球气候变暖有一定的影响,比如人口急剧增加、人类开疆拓土砍伐森林,加速全球变暖的进程[1]。

在“温室效应”加剧和全球变暖的大趋势之下,发生了越来越多的极端天气事件,这些极端天气事件往往会造成各种气象灾害,给百姓生活的带来不好的影响,高温热浪就是世界范围内频繁发生的极端天气事件之一。高温热浪给我国多地带来的持续性高温炎热天气,会引起人体出现多种不适症状,导致中暑、呼吸道感染、抑郁等疾病甚至可能导致心脏病发作造成死亡[2],对居民特别是老年人和小孩子的身体健康以及户外作业的高温工作人员的生命安全造成威胁,高温热浪也会给人们的出行、工作和日常生活带来不便,影响我国国民经济的发展[3],在一定程度上阻碍了全球的发展进步,研究高温热浪的变化规律,进而对未来发生的高温热浪事件进行预估,对减少高温热浪带来的气象灾害具有较为重要的意义。

1.2. 研究现状

由于高温热浪所带来危害的严重性,已引起了许多国家的有关部门和科学界的普遍关注。不同国家和地区所处环境不同、气候条件不同,因此,每个国家和地区对高温天气的定义也不太一样,结合我国地形气候等多种因素,我国将高温天气定义为当日最高气温达到或者是超过 35 摄氏度,把连续数天(通

常指三天以上)达到高温的天气过程称为高温热浪,或者是叫做高温酷暑天气。不同的国家和地区根据不同的研究方法,对高温天气过程展开研究[4]。

我国的高温次数从上个世纪 60 年代到现在,在不断地波动中有逐渐增多的趋势。西南地区尤其是四川和重庆地区是高温热浪的大值区,高温热浪对当地的经济的发展带来了巨大的冲击[5]。西南地区气温从二十世纪八十年代中期以来都是呈增长的趋势,在二十世纪末达到 50 年以来的最高值[6],马振锋等的研究指出在四川盆地年平均气温和贵州省东部的丘陵地区一样存在着一个以 7~8 年为周期的约二十年的年代际振荡[7];周长春等通过研究 100 hPa 平均高度场上南亚高压的位置变化和 700 hPa 相对湿度场以及 850 hPa 温度场等,分析了持续性高温天气出现时不同高度场的要素变化,研究表明,南亚高压中心位置东移以及西太平洋副热带高压的西伸北抬与高温热浪的发生有一定相关性[8],由此,我们可以知道通过分析不同高度场的要素变化,对研究高温热浪发生有一定意义。研究表明,高温天气过程发生时,高空一般会出现高压环流系统,大多处于暖脊位置,受暖中心控制[9][10],而西南地区地处青藏高原的东部,受西太平洋副热带高和南亚高压等大气环流系统共同影响[11][12]。西南地区长期受到高压的控制;当南亚高压和西太副高位置接近重叠时,一直维持着这种异常的环流形势,会造成我国西南地区气温较高[13],致使西南地区成为我国夏季高温热浪发生频率最高的区域之一[4][14][15][16]。杨秋明的研究指出长江下游夏季气温具有低频振荡周期,且 30~80 d 振荡强度的年际变化与夏季高温天气发生的日数呈正相关[17]。至今,国内已有许多关于高温热浪的研究,但是对于西南区域基于低频特征信号的高温热浪特征分析还很少,因此本文将重点研究西南地区低频信号与高温热浪之间的关系。

1.3. 研究意义

西南地区地处我国的西南部,是连接西部与东部的枢纽,人口数量大,西南地区的经济发展对我国西部的经济发展有极大地促进作用,而高温热浪带来的酷暑天气,极大的影响西南地区的人们正常生活,对经济发展有所阻碍。所以,研究西南地区夏季高温天气过程的低频振荡周期,找到其低频变化特征,并通过 10 到 30 天的延伸期天气预报对西南地区的高温热浪天气过程进行预测,给有关部门提前做好应对热浪的准备争取了时间,能够有效减少高温热浪天气带来的灾害性事件,将对我国西南地区的防灾减灾工作、社会和经济的发展有很大的意义[18][19][20]。

2. 研究方法

2.1. 研究区概况

本文选取了四川省、重庆市,云南省以及广西省西北部地区作为研究区域(98°E~109°E, 22°N~33°N)。西南地区大部分地区地处亚热带,拥有亚热带季风气候和高原高山气候和热带季风气候,其中四川盆地西部属于高原高山气候,云南省南部属于热带季风气候。地处西风带的下方,受中高纬度环流、低层流场以及西太平洋副热带高压、副热带西风带环流和大陆副热带高压的影响,除四川省西北部为半湿润区外,其余地区全部都为湿润区,水汽条件充足,年降水量丰富。但由于受西太平洋副热带高和南亚高压等大气环流系统共同影响,西太平洋副热带高压的强度变强时,南亚高压和西太平洋副热带高压位置接近重叠,会造成我国西南地区气温较高,多为晴朗天气,水汽条件较差,降雨量很少,持续干旱,致使西南地区夏季高温热浪的发生[13]。

2.2. 资料概况

对于西南地区高温热浪的分析,我们主要选取了西南地区从 1979 年~2015 年总计 37 年的气温变化特征进行分析,数据是基于中国气象局国家气象信息中心提供的格点化观测数据集 CN05.1 [21][22],经纬度

分辨率为 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ ，其中选取西南区域包括四川、重庆、云南、贵州以及广西西部地区 6 月~8 月的逐日最高气温的格点数据，所研究区域的经度范围为： $98^\circ\text{E}\sim 109^\circ\text{E}$ ，纬度范围为： $22^\circ\text{N}\sim 33^\circ\text{N}$ ，通过对原始的数据集的处理，进行了质量的控制和检验，剔除掉了一些缺测、漏测或者是异常的数据，以此来确保所使用的数据的完整性和可靠性。

2.3. 方法

由于我们选取的西南地区气候态偏低，使用高温天气($\geq 35^\circ\text{C}$)的定义会存在一定的误差。所以，首先我们需要定义一个高温及高温热浪的相对阈值。考虑到年循环，我们可以知道阈值并不是固定不变的，考虑到局地气候特性，要得到相对阈值，我们所采取的具体做法是，针对 6~8 月里的每一天，进行-5~5 天窗口滑动，比如对于 7 月 1 日，这一天的阈值为我们所选取的年份中，7 月 1 日本身及其前 5 天与后 5 天(即：6 月 26 日至 7 月 6 日)，我们统计的数据有 37 年，样本数即为 $37 \times 11 = 407$ 天，用这 407 天的气温从高到低排序后，取 90 百分位，作为 7 月 1 日的高温阈值，相当于 6~8 月共 92 天里，有 92 个阈值；在此基础，就得到了每一天的阈值，然后我们对高温天气过程的进行定义，当满足持续至少 3 天达到 90 分位阈值才定义为一次高温热浪过程。在数据处理上，我们采取谱分析方法和 lanczos 滤波器对低频信号进行提取[23]，并利用公式(1)对谱资料进行平滑处理：

$$\begin{cases} S_0 = 0.54S_0 + 0.46S_1 \\ S_l = 0.23S_{l-1} + 0.54S_l + 0.23S_{l+1} \\ S_m = 0.16S_{m-1} + 0.54S_m \end{cases} \quad (1 \leq l \leq m-1) \quad (1)$$

3. 研究结果

3.1. 西南区域夏季最高气温的低频振荡周期

我们从图 1 可以看出，西南区域日最高气温的变化，跟 10~30 d 和 30~80 d 的季节内振荡有密切的联系。如图 1 所示，我们先通过逐日最高气温的格点数据，求得西南地区的区域平均，再通过谱分析，得到 37 年间西南区域夏季(6~8 月)日最高气温的谱分析图。红色的线为 95%显著性水平的红噪声谱，当黑线(输入谱)高于红线，表示对应周期信号显著，从图中可以看出，西南地区 6~8 月逐日最高气温变化通过了显著性检验的周期为 10~30 d、30~80 d。两个周期相比较而言，10~30 d 的低频振荡在整个 37 年中较为显著。因此，我们可以认为，1979~2015 年间，6~8 月西南地区逐日最高气温具有显著的周期为 10~30 d 以及 30~80 d 的低频振荡特征。

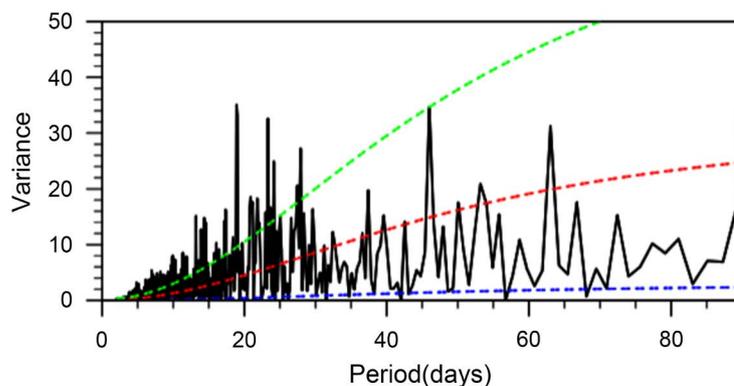


Figure 1. Power spectrum analysis chart of the daily maximum temperature series from June to August in the southwest region from 1979 to 2015

图 1. 1979 年~2015 年间西南区域 6~8 月的逐日最高气温序列的功率谱分析图

通过 6~8 月的逐日最高气温功率谱分析图, 我们找到低频振荡周期, 接下来我们可以进一步利用 lanczos 滤波器, 来提取 1979~2015 年西南区域 6~8 月逐日最高气温的 10~30 d 和 30~80 d 的低频分量, 如图 2 所示, 红色实线是逐日最高气温的 10~30 d 的低频分量变化, 蓝色虚线为逐日最高气温的 30~80 d 的低频分量变化, 黑色实线为多年平均实际日最高气温的变化。从图上可以看出, 实际的平均日最高气温四月初有过 0.5℃ 左右小幅度上升, 但很快回落, 随后一直呈波动上升趋势, 在七月下旬到达第一个峰值, 七月末到八月初气温有所下降, 从八月初到八月上旬呈上升趋势并到达第二个峰值, 随后气温逐渐呈波动向下趋势。结合低频分量曲线图来看, 10~30 d 及 30~80 d 的低频分量与实际气温变化的趋势有很大的相关性。10~30 d 的低频分量对于气温的峰值有较好的反映, 比如, 七月下旬气温的峰值区和八月上旬到中旬的第二个峰值, 相对应的, 10~30 d 低频分量的曲线也存在这两个峰值, 并且位置与实际气温曲线重合度较高; 而 30~80 d 的低频分量曲线的波动程度没有其他两种曲线那么大, 总体来看是较为平稳的在七月中旬开始上升, 七月末到八月初存在一个峰值, 随后逐渐下降, 对实际气温变化大体趋势的概括较好, 但对时间尺度较小的短时间气温变化趋势没有很好地体现。所以, 从贡献上来讲, 10~30 d 这种相对高频的贡献会对气温影响更大, 从气候平均的角度, 更低频的信号一般就会表现得影响更大。综上所述, 我们可以得到一个结论, 在气候平均状况之下, 10~30 d 的低频变化以及 30~80 d 的低频变化, 能够很好地反映气温的变化过程。

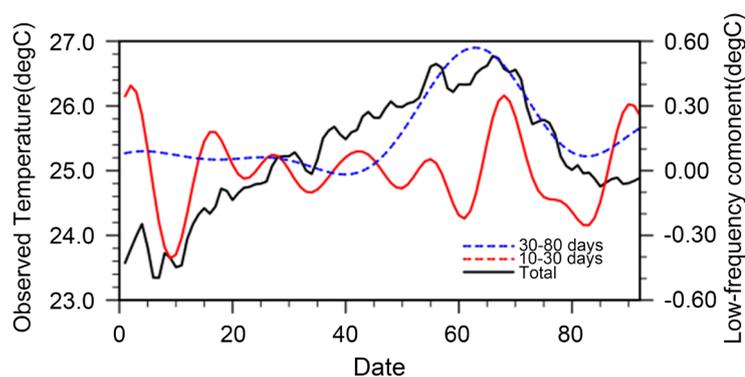


Figure 2. The multi-year average actual daily maximum temperature and low frequency components of 10 - 30 d and 30 - 80 d from June to August in the southwestern region from 1979 to 2015

图 2. 1979 年~2015 年间西南区域 6~8 月的多年平均实际日最高气温和 10~30 d、30~80 d 的低频分量

接下来我们从 37 年间选取高温热浪发生次数较多的一年的进行验证。如图 3 所示, 以 2006 年为例, 提取 2006 年 6~8 月逐日最高气温的 10~30 d 和 30~80 d 的低频分量, 与 2006 年实际逐日最高气温的变化曲线进行对比, 发现低频分量的变化和实际气温的变化趋势大体相同, 其中 10~30 d 的低频分量比 30~80 d 的低频分量更能反映实际气温曲线, 所以, 我们将重点对 10~30 d 的低频分量进行分析。根据实际气温变化曲线来看, 气温从七月上旬开始升高, 到七月中旬达到最高值, 七月中旬期间共有两次气温峰值, 之后气温开始有短时间的回落, 到七月下旬与八月上旬出现了一次小高峰, 持续时间为十天左右, 八月上旬到八月中旬的气温升高带来第三次气温持续偏高的天气过程, 处于气温较高的持续时间段天数也是为十天左右; 通过个例年气温与低频信号的比较, 可以看出, 10~30 d 的低频分量曲线的上升和下降趋势以及波峰、波谷仍然能较好的符合实际气温曲线, 对于持续性气温较高的时间段, 10~30 d 的低频信号显示的时间段也大体接近。无论是多年平均气温还是个例年的区域平均气温, 10~30 d 的低频分量曲线的变化都能很好的与实际气温曲线的变化相符合, 由此我们可以推测, 10~30 d 的低频分量的变化不仅能够反映出气温的变化情况, 对持续性气温偏高的时间段也能有较好地把握。综上所述, 我们能够看出, 西南地区夏季 10~30 d 低频信号的预报, 对于实际持续性高温过程的预报具有一定的指示意义。

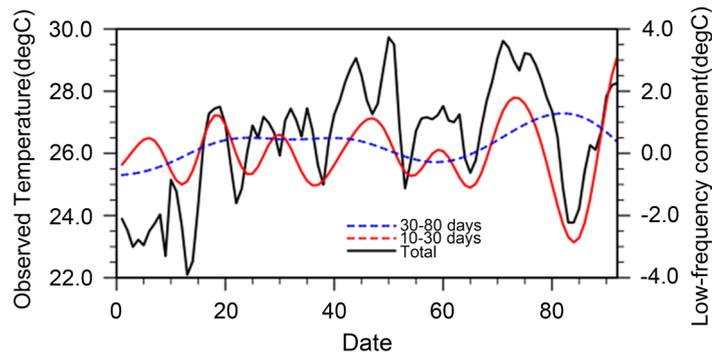
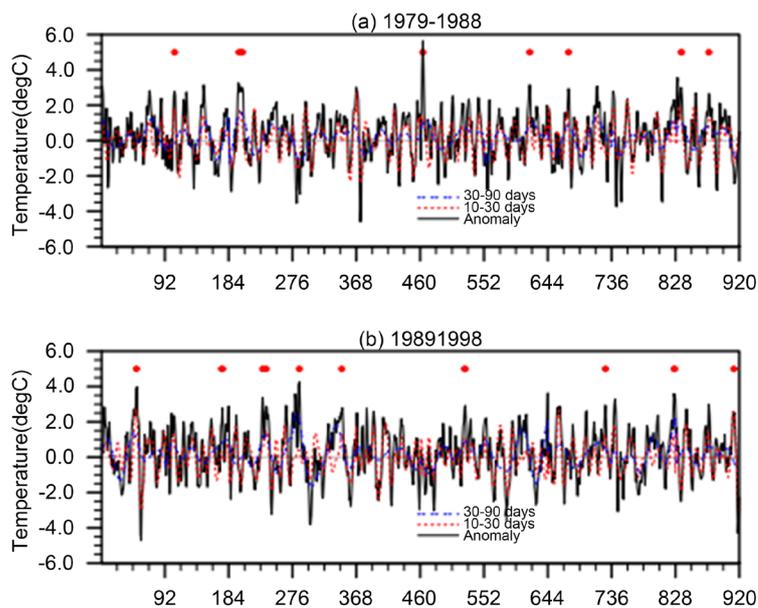


Figure 3. Evolution of the daily maximum temperature and low frequency components of 10 - 30 d and 30 - 80 d from June to August in 2006

图 3. 2006 年 6~8 月的逐日最高气温和 10~30 d、30~80 d 低频分量的演变

3.2. 西南区域夏季高温热浪过程与低频信号的联系

在确定了 10~30 d 以及 30~80 d 的低频分量对于实际的持续性高温过程发生时间段有较大的相关性之后，我们进一步研究 10~30 d 和 30~80 d 低频信号与高温热浪过程的联系。经过数据处理，我们得到 1979 年~2015 年总共 37 年间基于阈值识别的不同年份时段的高温热浪过程。根据我们所定义的阈值，我们将选出的发生了高温热浪过程的对应时段用红色进行标记，我们可以发现高温热浪发生的次数在这 37 年间是呈现逐年上升的趋势，在 1997~1988 年间共发生了 8 次高温天气过程，1989~1998 年共发生了 10 次高温天气过程，1999~2008 年共发生了 20 次高温天气过程，2009~2015 年共发生了 25 次高温天气过程；并且，10~30 d 以及 30~80 d 的低频分量的变化趋势依然也能很好的与高温热浪天气过程发生的时间段、次数相对应。具体每一张图而言，我们可以发现气温异常(黑线)是正贡献，异常，就是相对于气候态的距平，称为 A' ， A' 被认为是季节内分量，即 90 天以下分量， $A' = A' (<10 d) + A' (10\sim30 d) + A' (30\sim90 d)$ ，表示 A' 由天气尺度分量、准双周分量以及季节内分量构成，一般把后面两者称为季节内振荡分量。因此，气温呈正异常说明相对于气候态那些时段气温呈现正距平，而这所谓的正异常里，10~30 d 与 30~80 d 的贡献比较显著，具体而言，10~30 d 的信号最为显著。



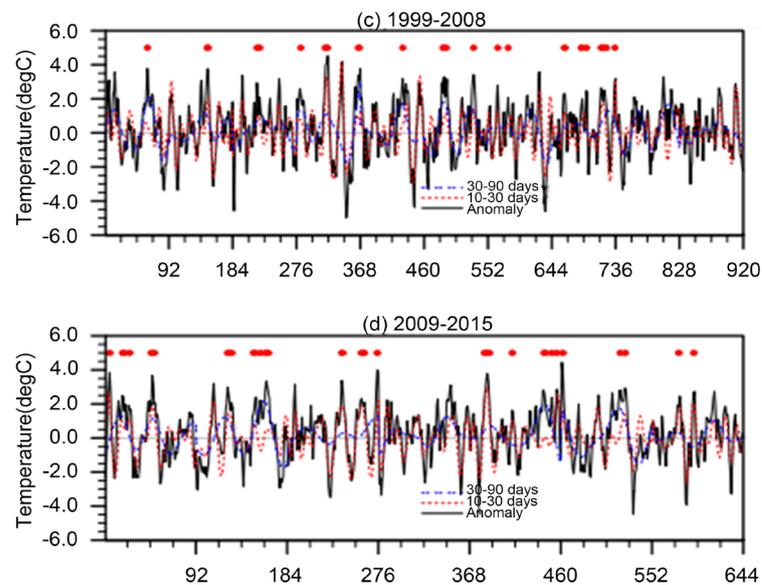


Figure 4. The process of high temperature heat wave in different years based on threshold recognition from 1979 to 2015
图 4. 1979~2015 年基于阈值识别的不同年份时段高温热浪过程

3.2. 大气环流的低频振荡与高温热浪过程的联系

500 hPa 高度场可以表示的东西很多,一般我们说环流,多是看这个要素,只不过环流指数是定量的,但是通过观察 500 hPa 高度场异常,也能看出定性的东西,因此,接下来我们主要研究 500 hPa 高度场。500 hPa (对流层中层)高度场可近似代表整层大气的特性,气温具有低频振荡的特征,我们紧接着去探究气温的低频振荡与大气环流的低频振荡是否有联系。首先,我们将 1979 年~2015 年这 37 年间,基于我们所定义的阈值识别的不同年份时段高温热浪过程 10~30 d 和 30~80 d 的 500 hPa 位势高度场进行合成。如图 5 所示,基于图 4 所识别出的这些高温热浪过程,我们对低频环流场的形势进行观察和研究,从统计角度上看,可以知道在高温热浪发生时,10~30 d 与 30~80 d 环流皆有贡献,高空为高压距平,增强的下沉运动有利于加强绝热加热作用,同时高压引起的晴空条件有利于地表净辐射增加,加强非绝热加热作用,导致升温,证明了高温热浪的发生与低频信号显著相关。

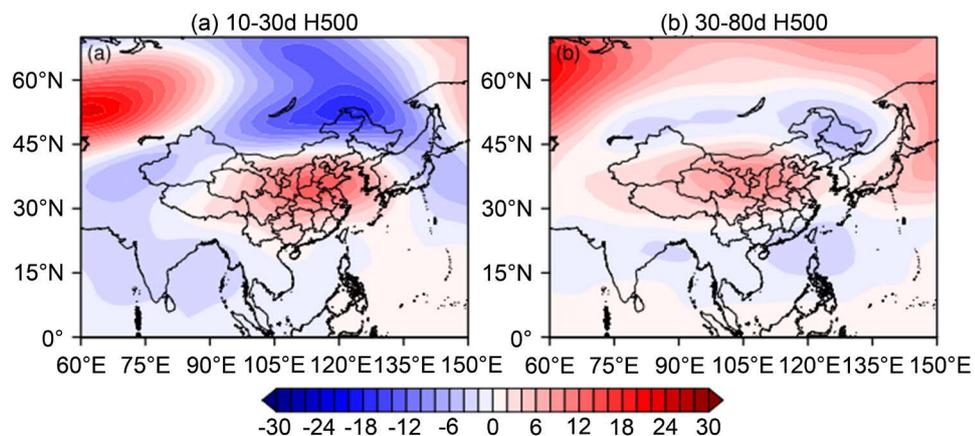


Figure 5. High temperature events and synthetic diagram of low frequency signals of 10 - 30 d and 30 - 80 d of 500 hPa geopotential height field

图 5. 高温事件与同期 500 hPa 位势高度场的 10~30 d 与 30~80 d 低频信号的合成图

4. 结论

本文利用西南地区的多年逐日最高气温的格点资料,求得多年平均气温的低频振荡周期,再求取气温的低频分量,得到气温与低频信号之间的联系,最后通过定义高温热浪的相对阈值,找到高温热浪与低频信号之间的联系,得到如下结论:

1) 通过功率谱分析,我们可以得到西南地区 6~8 月逐日最高气温具有显著的周期为 10~30 d 以及 30~80 d 的低频振荡特征,利用 lanczos 滤波器,提取西南区域 6~8 月逐日最高气温的 10~30 d、30~80 d 的低频分量,与实际日气温变化进行比较,可以看出最高气温 10~30 d 以及 30~80 d 的低频振荡,尤其是峰谷值相位的变化与实际气温的变化有很高的相似度,且能够很好地反映持续性强、弱气温变化过程的交替演变。

2) 我们需要定义一个高温及高温热浪的相对阈值,取 90 百分位的日最高气温,当满足持续至少 3 天达到 90 分位阈值才定义为一次高温热浪过程。识别出的这些高温热浪过程,我们可以发现气温异常是正贡献,说明相对于气候态那段时段气温呈现正距平,在这些正异常里,10~30 天与 30~80 天的贡献比较显著,且 10~30 天的信号最为显著。因此,我们认为两种低频信号对于发生高温过程,有正贡献。

3) 通过将高温热浪发生时 500 hPa 位势高度场 10~30 d 和 30~80 d 低频信号进行合成,可以知道低频环流形势与高温热浪的联系,发生高温热浪时,10~30 d 与 30~80 d 环流皆有贡献,证明了高温热浪的发生与低频信号显著相关。简而言之,两种环流的低频信号跟中高纬以及低纬的振荡信号有关,如果能抓住这两种信号,一般就能较好预报出低频环流的模态与振幅了,当能在延伸期的提前天数下准确预报出 10~30 d 与 30~80 d 的环流,对于预报西南地区的高温过程具有重要作用。

致 谢

这篇论文的题目是在我和老师反复交流后确定的,从最开始的论文思路、研究方向,到前期的资料收集,到学习编程、画图、分析,指导老师都给了我特别大的帮助,在我迷茫的时候帮我仔细分析,找出问题,有了老师的指导,我才能够顺利的完成论文。

基金项目

国家科技支撑计划(2015BAC03B05)、国家气象中心项目(YBGJXM(2019)04-01)和成都信息工程大学大学生创新训练计划(201810621168)支持。

参考文献

- [1] 周玉昆. 温室效应及全球变暖趋势[J]. 环境导报, 1990(5): 8-10.
- [2] 孙立勇, 任军, 徐锁兆. 热浪对炎热地区居民死亡率的影响[J]. 气象, 1994, 20(9): 54-57.
- [3] 李威, 蔡锦辉, 郭艳君. 2009 年全球重大天气气候事件概述[J]. 气象, 2010, 36(4): 106-110.
- [4] 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.
- [5] Hu, L., Huang, G. and Qu, X. (2017) Spatial and Temporal Features of Summer Extreme Temperature over China during 1960-2013. *Theoretical and Applied Climatology*, **128**, 821-833. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1741-x>
- [6] 丁一汇, 戴晓苏. 中国近百年来的温度变化[J]. 气象, 1994, 20(12): 19-26.
- [7] 马振锋, 彭骏. 近 40 年西南地区的气候变化事实[J]. 高原气象, 2006, 25(4): 633-637.
- [8] 周长春, 汪丽, 郭善云, 等. 四川盆地高温热浪时空特征及预报模型研究[J]. 高原山地气象研究, 2014, 34(3): 51-57.
- [9] 唐秋艳, 佟铃, 寇思聪, 等. 本溪市高温天气特征分析预报[J]. 农业灾害研究, 2019, 9(2): 63-64.

- [10] 郭瑞玲, 潘巧英, 梁建辉, 等. 2018年5月佛山市持续性高温天气成因初探[J]. 广东气象, 2019, 41(2): 1-4.
- [11] 孙国武, 冯建英, 陈伯民, 等. 大气低频振荡在延伸期预报中的应用[J]. 气象科技进展, 2012, 2(1): 12-18.
- [12] Huynen, M., Martens, P., Schram, D., *et al.* (2001) The Impact of Heat Waves and Cold Spells on Mortality Rates in the Dutch Population. *Environmental Health Perspectives*, **109**, 463-470. <https://doi.org/10.1289/ehp.01109463>
- [13] 徐栋夫, 李栋梁, 王慧. 我国西南地区秋季干湿分类及主要类型异常年环流特征分析[J]. 大气科学, 2014, 38(2): 373-385
- [14] 周长艳, 张顺谦, 齐冬梅, 等. 近50年四川高温变化特征及其影响[J]. 高原气象, 2013, 32(6): 1720-1728.
- [15] 江玉华, 程炳岩, 邓承之, 等. 重庆市严重伏旱气候特征分析[J]. 高原山地气象研究, 2009, 29(1): 31-38.
- [16] 苏永玲, 张旭煜, 袁媛, 等. 2006年西南地区异常高温及其成因分析[J]. 成都信息工程学院学报, 2007, 22(Z1): 16-22.
- [17] 杨秋明. 长江下游夏季低频温度和高温天气的延伸期预报研究[J]. 地球科学进展, 2018, 33(4): 385-395.
- [18] 黄卓, 陈辉, 田华. 高温热浪指标研究[J]. 气象, 2011, 37(3): 345-351.
- [19] 覃卫坚, 黄大慰, 廖雪萍. 南宁市云量变化特征及其与气温、降水的关系分析[J]. 气象研究与应用, 2007, 28(4): 14-19.
- [20] 覃志年, 何慧, 况雪源. 广西季气温、降水量异常频次的时空分布特征[J]. 气象研究与应用, 2007, 28(2): 27-30.
- [21] Xu, Y., Gao, X.J., Shen, Y., Xu, C.H., Shi, Y. and Giorgi, F. (2009) A Daily Temperature Dataset over China and Its Application in Validating a RCM Simulation. *Advances in Atmospheric Sciences*, **26**, 763-772. <https://doi.org/10.1007/s00376-009-9029-z>
- [22] 吴佳, 高学杰. 一套格点化的中国区域逐日观测资料及与其他资料的对比[J]. 地球物理学报, 2013, 56(4): 1102-1111.
- [23] 杞明辉, 李贵福. 用功率谱分析昆明地区6~9月气象要素场的振荡周期[J]. 云南大学学报, 1990, 12(3): 272-275.