

春季大气环流异常对山东省夏季高温的影响

邹瑾^{1,2*}, 孙忠^{3#}

¹山东省气象防灾减灾重点实验室, 山东 济南

²山东省气候中心, 山东 济南

³山东省气象服务中心, 山东 济南

收稿日期: 2022年8月13日; 录用日期: 2022年9月10日; 发布日期: 2022年9月16日

摘要

基于500 hPa月平均高度场NCEP/NCAR资料及山东省夏季高温资料, 采用SVD、合成分析等统计方法, 分析了春季大气环流异常对山东省夏季高温的影响。结果表明: 春季500 hPa高度异常场上有三个关键区影响山东省夏季高温; 春季乌拉尔阻高发展不利于山东夏季高温, 欧亚高空槽春季异常对山东夏季高温影响不容忽视, 欧亚地区纬向环流和亚洲地区经向环流的年代际变化与山东省夏季高温异常年代际变化有很好的对应关系。

关键词

大气环流, 异常, SVD, 夏季高温

Influence of Spring Atmospheric Circulation Anomaly on Summer High Temperature in Shandong Province

Jin Zou^{1,2*}, Zhong Sun^{3#}

¹Key Laboratory of Meteorological Disaster Prevention and Mitigation of Shandong Province, Ji'nan Shandong

²Shandong Province Climate Center, Ji'nan Shandong

³Shandong Meteorological Service Center, Ji'nan Shandong

Received: Aug. 13th, 2022; accepted: Sep. 10th, 2022; published: Sep. 16th, 2022

Abstract

Based on the 500 hPa monthly mean height field NCEP/NCAR data and the summer high tempera-

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 邹瑾, 孙忠. 春季大气环流异常对山东省夏季高温的影响[J]. 自然科学, 2022, 10(5): 828-836.

DOI: 10.12677/ojns.2022.105095

ture data in Shandong Province, using SVD, synthetic analysis methods and other statistical methods, the influence of the abnormal atmospheric circulation in spring on the summer high temperature in Shandong Province was analyzed. The results show that there are three “key regions” in Spring 500 hPa geopotential height field which have an important influence on summer high temperature in Shandong; the Spring developing blocking high over Ural mountains goes against summer high temperature in Shandong. The effects of Spring high-altitude trough over Eurasia on high temperature should not be disregarded. There is a very nice corresponding relationship of inter-decadal variation between summer high temperature anomaly in Shandong Province and Eurasian Zonal Circulation and Meridional Circulation in Asia in Spring.

Keywords

Atmospheric Circulation, Anomaly, SVD, Summer High Temperature

Copyright © 2022 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

夏季高温天气对各行各业及人们的日常生活都有影响,当高温持续且达到一定强度(如日最高气温在 40°C 以上的酷热)时,就成为一种气象灾害,轻则影响人们正常的工作效率,重则造成人畜中暑甚至死亡。随着生活水平的提高及城市化发展,电风扇、空调等降温防暑设施增加,虽然增强了高温灾害的防御能力,但是随之而带来的水、电需求压力也相应增加。同时,一方面高温会大大刺激冷饮行业的发展,另一方面却严重威胁着人体健康,不仅影响人们的正常生产生活,中暑和患“空调病”、肠胃炎、心脑血管病的人数也会增多,此外,城市供电、供水也会不堪重负。可见夏季高温造成的经济影响已不容忽视,也受到各界的普遍关注,为此,有必要研究夏季高温的影响因素。

山东省地处华北南部,位于南北气候的过渡带,观测事实表明,山东省夏季高温有独特的气候变化规律。曹钢锋等[1]对山东省高温天气的时空分布和高温极值的地理分布进行了统计分析,将山东省高温天气分为干热型和湿热型两类。杨成芳等[2]发现山东省酷热天气有明显的年际变化,指出西风带暖脊和副热带高压是高温的主要影响天气系统。前人对夏季高温的研究大多是通过分析高温天气过程,从天气学意义上加以研究[3][4][5],少有从气候学上分析讨论前期大气环流的变化对夏季高温的影响。为此,本文从气候学的角度来分析前期大气环流系统异常对山东省夏季高温的影响,主要讨论春季(3~5月)大气环流异常场与山东省夏季高温异常场之间的联系,寻找影响关键区,以期为山东省夏季高温的气候预测和灾害防御提供一定的科学参考价值。

2. 资料和方法

选取1961~2000年山东省均匀分布的80个气象站夏季极端最高气温资料和500 hPa月平均高度场NCEP/NCAR格点资料及国家气候中心提供的大气环流指数资料。利用文献[6][7]研究结果,选取德州、兖州、临沂、莱阳4个代表站,将4个代表站的6~8月高温日数(日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 为一个高温日)的平均值距平标准化值作为山东省夏季高温指数。采用合成方法分析山东省夏季高温异常前期春季大气环流特征,利用奇异值分解(SVD)方法寻找春季大气环流异常场对山东省夏季高温影响的关键区,运用相关指数进一步讨论春季大气环流主要影响系统与山东省夏季高温异常的联系。

常用的提取两个场主要耦合信息的方法有很多[8], SVD (singular value decomposition, 奇异值分解) 方法用于研究两个气象场时空变化对应关系时优势较多, 效果也显著[9] [10], 因此, 本文采用 SVD 方法来讨论大气环流异常场与山东省夏季高温异常分布的联系, 寻找关键区。具体公式如下:

SVD 常用来识别两个场之间相互联系的空间型, 对任意两个场的资料做 SVD 处理后, 能得到成对的空间型和时间系数, 衡量两个场整体上联系的紧密程度的协方差平方和为:

$$\|C\|^2 = \sum_{i=1}^{N_Z} \sum_{j=1}^{N_T} C_{ij}^2$$

式中, C_{ij} 为 Z 场(左场)第 i 格点和 T 场(右场)第 j 格点资料序列间的协方差。对资料做标准化处理后, C_{ij} 即为相关系数。 N_Z 和 N_T 是 Z 场和 T 场的格点数。 $\|C\|^2$ 是两个场间协方差矩阵的模方, $\|C\|^2$ 越大, 两个场关联愈密切。 $\|C\|^2$ 与 C 矩阵奇异值的关系为:

$$\|C\|^2 = \sum_{k=1}^R \sigma_k^2$$

σ_k 为奇异值, R 为不等于零的 σ_k 的个数。第 k 对 SVD 空间型解释协方差平方和的百分率为:

$$\frac{\sigma_k^2}{\|C\|^2} \times 100\%$$

3. 山东夏季高温异常与前期大气环流异常的联系

3.1. 夏季高温异常年前期春季大气环流特征分析

利用文献[6]确定的山东省 4 个高温异常区代表站的平均极端最高气温和平均高温日数资料, 得到山东省夏季高温异常多年为 1955、1958、1959、1966、1997 年和高温异常少年为 1954、1982、1984、1991、1995 年(高温异常多指高温日数偏多且极端最高气温偏高, 异常少则相反。下同), 分别将其春季 500 hPa 高度场进行合成分析, 讨论两者大气环流特征差异。

从山东夏季高温异常年前期春季 500 hPa 高度距平合成场图(图略)上可看到, 异常多高温年, 欧亚地区上空, 从西到东高度场基本呈“+”分布, 波罗的海到巴尔喀什湖为大片负距平, 地中海至里海附近也为负距平, 贝加尔湖往南到华北地区及朝鲜半岛为正距平。异常少高温年正好相反, 高度场呈“-”分布, 乌拉尔地区高度明显偏高, 中心位置偏高 50 gpm 以上, 而贝加尔湖 - 日本海高度明显偏低。在高温异常多于异常少的平均差值场上, 异常多高温年较异常少高温年, 在乌拉尔地区高度显著偏小, 中心最小值达 70 gpm, 而且从新地岛往南一直到阿拉伯海高度场均偏小, 中南半岛至我国南海一带也偏小; 贝加尔湖 - 日本海略偏大。通过 t 检验, 这些差异是显著的, 特别是在乌拉尔地区, 通过了 99% 的置信水平。这说明春季大气环流异常对山东省夏季高温异常是有影响的, 即当春季乌拉尔阻高较强, 东亚大槽较深, 欧亚地区环流盛行经向环流时, 对应山东省夏季的高温日数偏少且极端高温偏低, 反之则相反。

3.2. 异常场之间的奇异值分解(SVD)结果

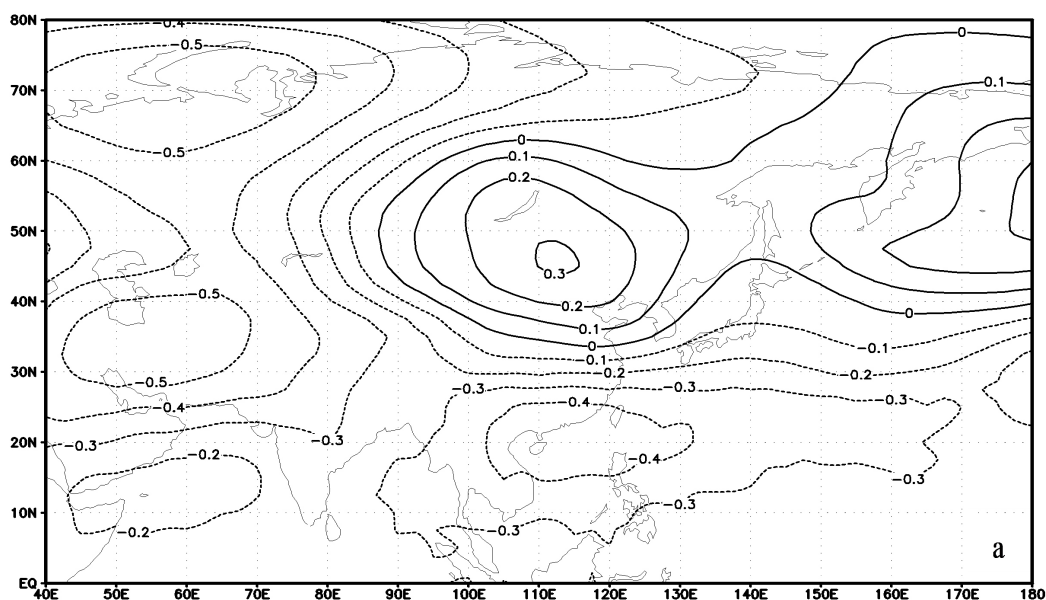
由于山东省夏季高温日数与极端最高气温相关显著[7], 故用极端最高气温异常场代表高温异常场, 分别与同期(夏季)和前期(春季、冬季、秋季) 500 hPa 大气环流异常场作 SVD 分解, 右场为大气环流场, 左场山东省 80 个气象站的夏季极端高温场, 结果见表 1。表中给出了前 2 个模态的平方协方差贡献百分率、解释方差贡献和相应模态的时间相关系数, 可以看到, 春季第一模态的方差贡献最大, 达到了 80% 以上, 且模态对应的时间系数相关性也最高, 达到了 99.9% 的置信水平($R_{0.001} = 0.51$), 说明春季 500 hPa 高度异常场与山东省夏季高温异常场关联紧密。

Table 1. SVD results of extreme high temperature in Shandong summer and 500 hPa altitude field in previous and concurrent seasons**表 1.** 山东夏季极端高温与前期和同期各季 500 hPa 高度场的 SVD 结果

模态	秋季		冬季		春季		夏季	
	1	2	1	2	1	2	1	2
两场平方协方差贡献(%)	63.4	13.9	45.9	23.2	83.4	6.5	75.2	8.7
解释山东春季降水方差(%)	52.3	5.6	44.6	9.0	56.0	10.2	54.7	11.8
解释 500 hPa 高度场方差(%)	13.2	27.6	11.0	28.3	22.2	11.3	18.2	8.7
时间相关系数	-0.48	-0.47	-0.43	-0.42	-0.65	-0.59	-0.55	-0.58

3.3. 影响关键区

在山东省夏季极端高温异常场的第一模态时间系数与前期春季 500 hPa 高度场的异性相关分布图(如图 1(a))上, 存在 3 个显著的负相关区即关键区, 中心区域分别位于中纬度欧亚地区的里海 - 波斯湾、新地岛 - 乌拉尔山、西太平洋副热带地区 20°N, 130°E 至我国南海上空。关键区域的相关系数都在-0.4 以下, 可信度达到了 98%, 其中, 在里海 - 波斯湾和新地岛 - 乌拉尔山两个中心区域的最大负相关区的相关系数均为-0.5 以下, 可信度达 99.9%。在高度场的第一模态时间系数与山东夏季高温场的异性相关分布图(如图 1(b))上, 山东省全省大部分地区的相关系数为负值, 除半岛及鲁东南沿海外, 其他大部分地区在-0.4 以下, 可信度达到了 98%, 其中北部和西部地区在-0.5 以下, 部分区域达-0.6, 可信度超过了 99.9%。这表明, 山东省夏季高温异常变化主要受三个关键区域的 500 hPa 高度异常变化影响, 且西、北部最为显著。即前期春季 500 hPa 高度场关键区高度异常偏高, 则山东省夏季将趋于凉爽, 高温强度偏弱, 尤以西、北部地区高温偏弱显著; 反之, 关键区高度异常偏低, 则山东省夏季将趋于炎热, 高温偏强, 特别是西、北部地区高温偏强显著。显然, 这三个关键区域分别对应着中纬度欧亚槽、乌拉尔阻高和西太平洋副热带高压系统频繁活动区, 是否可以说明春季这三个大气环流系统活动异常就会引起山东省夏季高温异常呢? 能否作为前兆因子? 下面具体讨论。



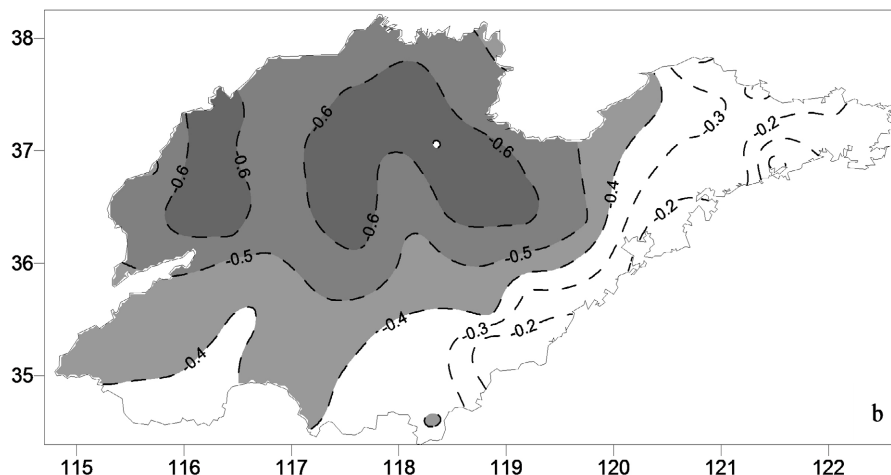


Figure 1. The first mode anisotropy correlation field between the summer maximum air temperature in Shandong and the 500 hpa height anomaly field in the northern hemisphere in spring

图 1. 山东夏季最高气温与前期春季北半球 500 hpa 高度距平场的第一模态异性相关场

4. 大气环流影响系统

4.1. 乌拉尔阻高

据研究表明, 乌拉尔山地区是北半球大气环流最易发生持续性异常的地区之一[11], 其环流异常必然会对处于下游的山东气候产生影响。

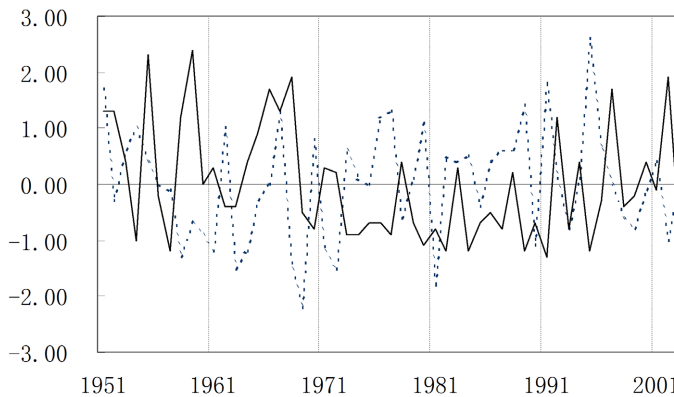


Figure 2. Wushan resistance high index in spring (dotted line) and Shandong high temperature index in summer (solid line)

图 2. 春季乌山阻高指数(虚线)与山东夏季高温指数(实线)

在定义乌山阻高时, 不同的人所取关键区的范围不同, 方法也不一样[12] [13] [14] [15] [16], 本文选取 500 hPa 高度场上 50°N~70°N, 50°E~80°E 区域的历年平均高度标准化距平值作为阻高指数。对比分析 1951~2003 年山东夏季高温指数与春季阻高指数的变化关系, 从曲线(图 2)可以看出, 二者有较好的反相关关系, 两条曲线的变化趋势基本上是反相的。普查得到, 山东省夏季高温指数异常(异常是指标准化距平的绝对值大于等于 1.0。下同)偏强年, 11 年(1951, 1952, 1955, 1958, 1959, 1966, 1967, 1968, 1992, 1997、2002 年)中有 7 年(1952, 1958, 1959, 1966, 1968, 1997, 2002 年)前期春季阻高指数是偏低的, 其中有 3 年异常偏低; 高温指数异常偏弱年中, 8 年(1954, 1957, 1980, 1982, 1984, 1989, 1991, 1995

年)中有 7 年(1954, 1980, 1982, 1984, 1989, 1991, 1995 年)阻高指数是偏高的, 其中有 5 年异常偏高。同时还普查到, 春季阻高指数异常偏高年, 10 年中有 8 年山东高温指数是偏弱的, 其中有 5 年异常偏弱; 阻高指数异常偏低年, 11 年中有 8 年高温指数偏强, 其中有 3 年异常偏强。由此可见, 春季乌山阻高对山东省夏季高温异常是有影响的, 阻高频繁发生不利于山东夏季高温, 相反却有利于夏季异常少高温。

为了进一步研究乌拉尔地区环流异常对山东夏季高温的影响, 根据 500 hPa 月平均资料, 计算了山东夏季异常多高温年和异常少高温年该区域前期各月平均高度距平值, 见表 2。

Table 2. Comparison of Ural resistance high index from January to July in the year with abnormally high temperature in summer and the year with abnormally low high temperature

表 2. 夏季异常多高温年与异常少高温年前期 1~7 月的乌拉尔阻高指数对比

异常年	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	春季	6 月	7 月
多	20	-44	-39	19	-3	-8	12	-28
少	21	6	20	57	52	43	24	13
差	-2	-50	-59	-38	-55	-51	-12	-41

由表 2 看到, 山东夏季异常多高温年与异常少高温年前期各月乌拉尔阻高指数有明显的差别: 异常多高温年的阻高指数均较异常少高温年的阻高指数偏低, 2~5 月及春季明显偏低; 异常少高温年前期各月的阻高指数连续偏高, 4~5 月份和春季偏高显著。说明春季乌拉尔阻高对山东省夏季高温异常的影响是明显的, 春季阻高活动频繁, 山东夏季高温日数会偏少, 极端高温也会偏低, 这可能是因为乌拉尔阻高的形成、发展和维持下, 中纬度(华北、黄淮一带)高度场偏低, 经向环流发展, 冷空气活动频繁, 因而影响山东省夏季高温天气减少所致。

4.2. 中纬度欧亚高空槽

中纬度大气环流系统, 欧亚地区高空槽的异常对山东省夏季高温异常是否有影响? 前面 SVD 分解分析得到, 在 500 hPa 高度场上, 里海 - 波斯湾附近区域为影响关键区, 我们取 30°N~40°N, 40°E~70°E 区域春季 500 hPa 平均位势高度, 与山东省夏季高温指数作对比分析, 如图 3, 1951~2003 年, 两条曲线的年际变化和年代际变化基本上是反位相的, 20 世纪 60 年代, 山东夏季高温指数偏强, 该区域位势高度显著偏低, 80~90 年代也正好相反, 多数年份山东夏季高温偏弱, 而该地区位势高度多数年份是偏高的。普查得到, 该区春季平均位势高度, 9 年异常偏高年中有 7 年山东夏季高温是偏少的, 其中 4 年显著偏少; 9 年异常偏低年中有 7 年山东夏季高温是偏多的, 其中 3 年异常偏多。山东夏季异常强高温指数年, 11 年中有 6 年该区高度是偏低的, 其中 4 年异常偏低; 8 年异常弱高温指数年中有 7 年是偏高的。由此可知, 春季欧亚高空槽的异常变化对山东夏季高温的影响是存在的。

为了更进一步说明, 本文对该区春季高度出现异常年份对应的夏季 500 hPa 高度距平场进行了合成分析, 同时将山东夏季高温异常年对应的夏季 500 hPa 高度场也进行了合成分析, 结果如图 4。从图 4(a)中可以看到该区春季高度异常偏低时, 夏季 500 hPa 高度平均距平场上, 欧亚大陆上空, 从西到东呈“+—”分布, 波罗的海以北附近为正距平区, 乌拉尔山往东至鄂霍次克海及地中海往东至华北地区为大片负距平区, 山东半岛 - 朝鲜半岛 - 日本海为正距平区。这种分布形势与山东夏季异常多高温年 500 hPa 高度平均距平场分布(图 4(c))非常相似。同样也可以看到, 该区春季高度异常偏高时, 夏季 500 hPa 高度平均距平场(图 4(b))与山东夏季异常少高温年 500 hPa 高度平均距平场(图 4(d)), 欧亚地区分布形势也非常相似。

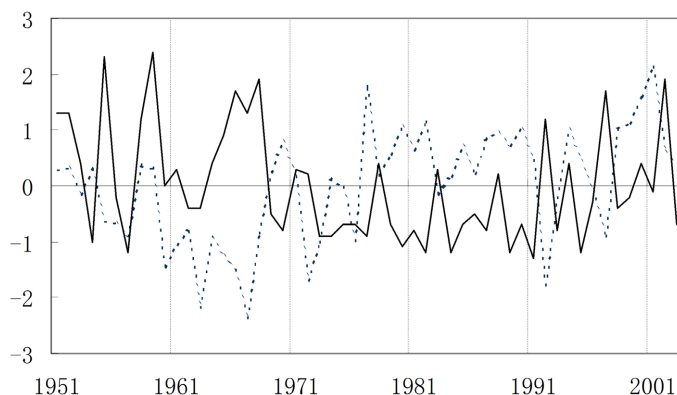


Figure 3. Comparison of the change of the average height-normalized sequence (dashed line) and the Shandong high-temperature index (solid line) in the middle-latitude region of 500 hPa
图 3. 500 hPa 中纬度区域平均高度标准化序列(虚线)和山东高温指数(实线)的变化对比

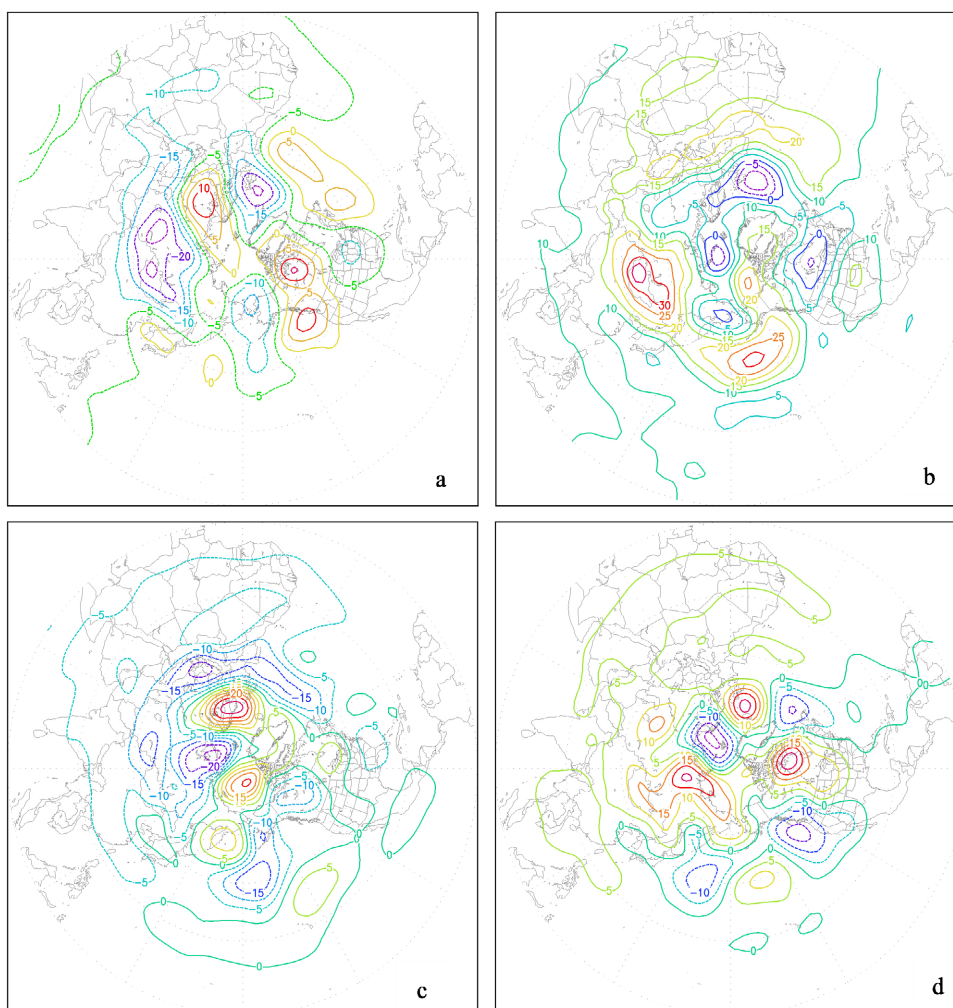


Figure 4. The composite field of the 500 hPa geopotential height anomaly in summer. (a) (b) is the composite field of summer height anomalies in the years with low (high) height anomalies in the mid-latitude region in spring; (c) (d) is the composite field of geopotential height anomalies in the years with more (less) high temperature anomalies in Shandong in summer
图 4. 夏季 500 hPa 位势高度距平的合成场。(a) (b) 为春季中纬度区域高度异常偏低(高)年的夏季高度距平合成场; (c) (d) 为山东夏季高温异常多(少)年的高度距平合成场

由此可以得出, 春季 500 hPa 位势高度场上, 里海附近区域的高度异常是影响山东省夏季高温异常的关键因子之一, 由于该区域是欧亚槽的活动频繁区, 故可以推断春季欧亚地区高空槽异常对山东夏季高温异常的影响是不可置否的, 可以将其作为山东省夏季高温异常的预报因子加以考虑。

4.3. 欧亚大气环流指数

前面 2.1 节和 3.1 节都提到欧亚经向环流不利于山东省夏季高温, 为了进一步讨论春季大气环流异常对山东省夏季高温的影响, 本节从环流指数方面来进行研究。为了更清楚直观地分析大气环流指数与山东夏季高温的关系, 将春季欧亚地区(45°N~60°N, 0°E~150°E)纬向环流指数和亚洲地区(45°N~60°N, 60°E~150°E)经向环流指数进行 9 点多项式平滑[8] [17], 与山东夏季高温指数(同样进行平滑)对比分析(如图 5)。可以看到, 欧亚地区春季纬向环流指数与山东夏季高温指数有着非常一致的年代际变化趋势, 除 20 世纪 50 年代变化不一致外, 从 60 年代到 21 世纪初, 保持一致的同高同低的变化趋势; 而亚洲春季经向环流指数与山东夏季高温指数却存在着反相的年代际变化, 60 年代、80 年代、90 年代和 21 世纪初都存在很好的反相位变化趋势。由此可知, 春季欧亚大气环流特征的年代际变化对山东夏季高温的年代际变化是也有影响的。可以利用这种年代际变化关系, 将春季欧亚环流指数作为山东夏季高温异常的前兆因子加以考虑, 即春季欧亚地区盛行纬向环流有利于山东夏季高温, 反之不利于高温。

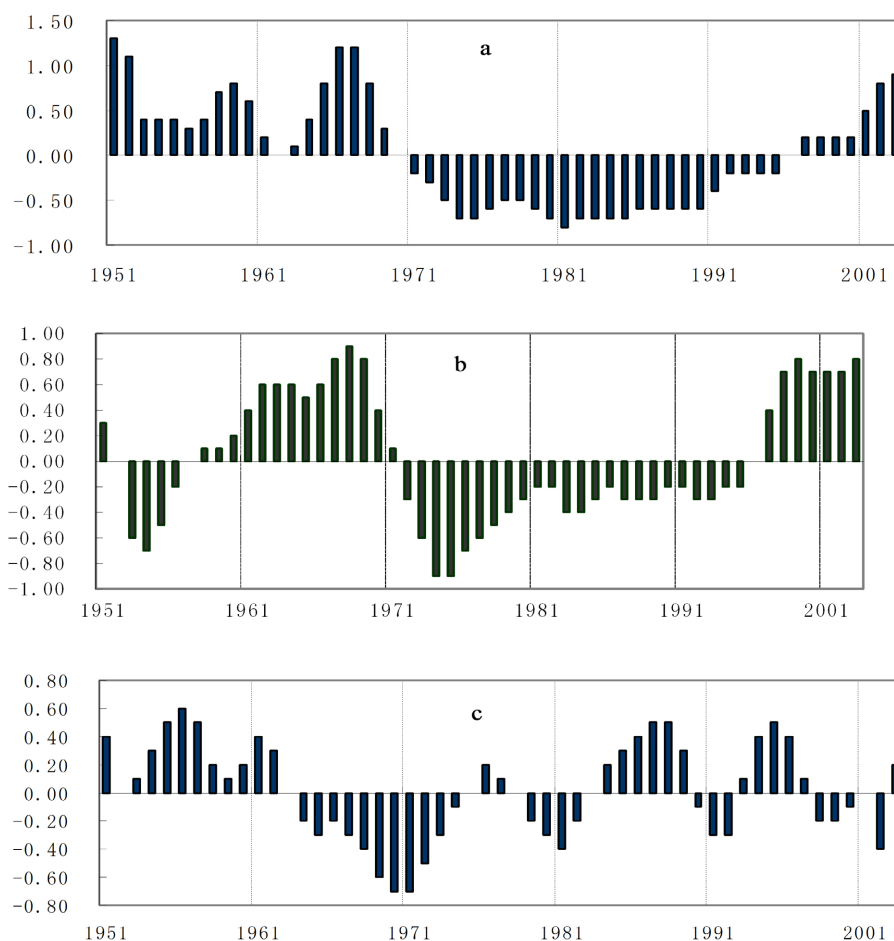


Figure 5. Nine-point polynomial smoothing sequence of each index. (a) High temperature index; (b) Eurasian zonal circulation index in spring; (c) Asian meridional circulation index in spring

图 5. 各指数的九点多项式平滑序列。(a) 高温指数; (b) 春季欧亚纬向环流指数; (c) 春季亚洲经向环流指数

从前面的 SVD 分析中得到, 春季西太平洋副热带高压系统也可能是影响山东夏季高温异常的一个重要系统, 关于这个问题的研究将另文讨论。

5. 结论与讨论

1) 山东省夏季异常多高温年与异常少高温年的前期春季大气环流特征存在明显的差异, 乌拉尔地区 500 hPa 高度场差异显著。

2) 春季的 500 hPa 高度场上, 乌拉尔山地区、里海 - 波斯湾地区、西太平洋副热带地区是影响山东省夏季高温异常的关键区, 这三个区域的高度场异常偏低(高), 山东省内陆地区, 特别是西、北部地区高温则偏强(弱), 夏季炎热(凉爽)。

3) 春季乌拉尔阻高偏强, 欧亚高空槽偏浅, 东亚大槽偏强, 亚洲地区盛行经向环流时, 有利于山东省夏季凉爽, 高温偏弱, 反之, 欧亚地区盛行纬向环流时, 有利于山东省夏季炎热, 高温偏强。

本文从气候统计学意义上讨论了春季大气环流对山东夏季高温的主要影响因子及可能影响的原因, 但对于其物理机制还有待于从动力学上深入研究。

参考文献

- [1] 曹纲锋, 张善君, 朱官忠, 等. 山东天气分析与预报[M]. 北京, 气象出版社, 1998: 266-275.
- [2] 杨成芳, 龚佃利, 张苏平. 山东酷热天气统计特征分析[J]. 气象, 2003, 29(9): 28-33.
- [3] 连志鸾, 王丽荣. 石家庄高温的天气气候特征及其预报流程[J]. 气象, 2003, 29(10): 17-21.
- [4] 缪国华, 施丹平, 唐毅. 夏季多高温年和少高温年的前期环流特征[J]. 气象, 1999, 24(12): 28-33.
- [5] 邹燕, 周信禹, 林毅, 朱艳萍, 高珊. 福建省夏季高温成因分析[J]. 气象, 2001, 27(9): 26-30.
- [6] 邹瑾, 冯晓云, 胡桂芳, 王启. 山东省夏季极端高温异常气候变化特征分析[J]. 气象科技, 2004, 32(3): 182-186.
- [7] 邹瑾. 山东夏季高温异常特征及其成因分析[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 中国海洋大学海洋环境学院, 200.
- [8] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999.
- [9] 丁欲国, 江志红. SVD 方法在气象诊断场分析中的普适性[J]. 气象学报, 1996, 54(3): 365-372.
- [10] 王盘兴, 周伟灿, 王欣, 薛志华, 黄丽萍. 气象向量场奇异值分解方法及其应用[J]. 南京气象学院学报, 1997(2): 11-16.
- [11] 李金龙, 纪立人. 夏季北半球 500hPa 位势高度场持续性异常的地理分布及区域特征[J]. 大气科学, 1994, 18(2): 163-172.
- [12] 张培忠, 杨素兰. 阻塞高压活动的气候变化及其对中国某些地区旱涝的影响[J]. 气象学报, 1996, 54(5): 633-640.
- [13] 黄菲, 姜治娜. 欧亚大陆阻塞高压的统计特征及其与中国东部夏季降水的关系[J]. 青岛海洋大学学报, 2002, 32(2): 186-192.
- [14] 廖荃荃, 赵振国. 东亚阻塞形势与西太平洋副热带高压的关系及其对我国降水的影响[M]//长期天气预报论文集. 北京, 气象出版社, 1990: 125-135.
- [15] 朱乾根, 临锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理和方法[M]. 北京: 气象出版社, 1981.
- [16] 中国气象局国家气候中心, 编著. 98 年中国大洪水与气候异常[M]. 北京, 气象出版社, 1998: 74-81.
- [17] 李春, 孙照渤, 陈海山. 华北夏季降水的年际变化及其与东亚地区大气环流的关系[J]. 南京气象学院学报, 2002, 25(4): 455-462.