

1961~2020年青岛极端高温事件的特征分析

蔺思远¹, 邹旭涛^{2*}, 钟一洋², 黄昊^{3*}

¹山东省青岛第二中学, 山东 青岛

²山东省青岛第三十九中学(中国海洋大学附属中学), 山东 青岛

³中国海洋大学深海多圈层与地球系统前沿科学中心, 山东 青岛

收稿日期: 2022年8月21日; 录用日期: 2022年9月21日; 发布日期: 2022年9月27日

摘要

基于1961~2020年青岛气象台日平均气温、日最高气温和日最低气温的观测资料, 本文采用气温的概率谱密度95%的阈值百分位法定义极端高温事件, 系统地分析了青岛极端高温事件发生的气候特征。结果表明: 青岛日平均气温和日最高气温的极端高温阈值分别为26℃和29.5℃, 各月极端高温阈值和极端高温事件的日平均气温、日最高气温、日最低气温均表现出一致的单峰型分布特征, 1月气温最低, 8月最高。但相对于气候平均态的季节变化, 青岛极端高温事件日平均气温的季节变化, 在春季3~5月主要受日最高气温的异常升温影响, 而在冬季的11~1月则与日最高气温和日最低气温共同升温的影响有关。青岛极端高温事件日较差的季节变化呈现出单峰型的季节变化, 春季日较差增大, 而秋冬季日较差减小。不同季节青岛极端高温事件的发生频率在1961~2020年这60年里年际变化较大, 各月累积极端高温频率呈现出在1994年之后显著增加的年代际变化特征。全球变暖的线性趋势在春季对青岛极端高温频发的贡献最大, 夏(冬)季青岛极端高温事件的频发主要与日最高(低)气温的年际变化有关; 秋季青岛极端高温事件的频发主要与9月较强的升温趋势和日最高气温和日最低气温年际振荡的共同作用有关。

关键词

极端高温事件, 青岛, 季节变化, 年际变化, 年代际变化

Characteristics of Extremely High Air Temperature Events in Qingdao during 1961~2020

Siyuan Lin¹, Xutao Zou^{2*}, Yiyang Zhong², Hao Huang^{3*}

¹Qingdao Second Middle School, Qingdao Shandong

²Qingdao No. 39 Middle School (Affiliated Middle School of Ocean University of China), Qingdao Shandong

³Frontier Science Center for Deep Ocean Multispheres and Earth System (FDOMES), Ocean University of China, Qingdao Shandong

*通讯作者。

Abstract

Based on the observed data of daily averaged air temperature (DAAT), daily maximum air temperature (DMaAT) and daily minimum air temperature (DMiAT) of Qingdao Meteorological Observatory from 1961 to 2020, we define extremely high temperature events (EHTE) by threshold percentile method of 95% probability spectral density of air temperature. The climatic characteristics of EHTE in Qingdao are systematically analyzed. Results show that the thresholds of Qingdao DAAT and DMaAT are 26°C and 29.5°C, respectively. Seasonal cycles of the threshold, DAAT, DMaAT, DMiAT for EHTE are shown consistent single peak cosine-like distribution, with the lowest temperature in January, and the highest in August. However, compared with the seasonal variation of climatological mean state, the seasonal cycle of DAAT for EHTE in Qingdao is mainly affected by the abnormal warming of DMaAT from March to May in spring, while it is related to the joint warming of DMaAT and DMiAT from November to January in winter. The seasonal cycle of the diurnal range of EHTE in Qingdao showed a single peak curve, with the diurnal range increasing in spring and decreasing in autumn and winter. The frequency of EHTE in Qingdao in different seasons has a great inter-annual variability in the 60 years from 1961 to 2020, and the monthly cumulative frequency of EHTE shows a significant inter-decadal increasing after 1994. The linear trend of global warming contributed the most to the frequency of EHTE in Qingdao in spring, and the frequency of EHTE in summer (winter) season was mainly related to the inter-annual variation of DMaAT (DMiAT). The frequency of EHTE in autumn is mainly related to the strong warming trend in September and the interannual oscillation of DMaAT and DMiAT.

Keywords

Extremely High Temperature Event, Qingdao, Seasonal Cycle, Interannual Variability, Decadal Variability

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

今年这个夏天，全球许多地区都爆发了破纪录的极端高温灾害天气，引起了全世界广泛的关注[1]。中国 1057 个气象站出现了极端高温天气，成为自 1961 年以来最热的夏天。被誉为国内“最舒适”的宜居城市之一的青岛[2]，也经历了个极端高温桑拿天的夏季。这可能与近百年来全球和中国的气候正经历着以变暖为主特征的全球变暖有关[3] [4] [5] [6]，这些变化是由自然因素和人类活动共同造成的，但最近 50 年主要是由人类活动造成的[7]。

极端高温的危害极大，它不仅引起人员和动植物不适应而产生疾病甚至死亡，而且对城市许多基础设施造成破坏，影响社会经济生活的各个方面。另外，持续的极端高温天气往往引发严重干旱，对农业生产、生活饮用水等方面造成危害。因此研究极端高温事件的发生规律进而进行预测，对我们防灾减灾，减少气象灾害损失有重要意义。

尽管许多研究者对全国许多地区的极端高温事件进行了研究，包括对山东省夏季极端高温的变化特

征和规律的分析[8][9],但针对青岛地区极端高温事件的发生规律和变化特征却一直缺乏系统性的研究和分析。众所周知,青岛由于其海洋性气候的影响,它与山东省其他地区的气温变化特征并不完全一致,也与内陆地区其他城市的极端高温发生规律有所不同。虽然有研究工作对青岛气温的变化进行了分析[10][11],但研究数据并未包含近十年全球极端增暖的情况,且缺乏对极端事件的系统研究,特别是青岛的气温受海洋性气候的影响,全球变暖以来升温显著的季节主要发生在春秋过渡季节,与通常内陆台站的冬季显著升温有不同的季节变化特征[12]。另外,青岛日最高气温和日最低气温的升温速率是否一致,其在平均气温的升温中贡献如何并未见到相关的系统研究成果。因此本文拟采用青岛气象局 1961~2020 年这 60 年的日平均气温、日最高气温和日最低气温资料,系统地分析青岛极端高温事件的发生规律,为应对极端气候变化和防灾减灾提供科学依据。

2. 青岛极端高温事件的定义及其气候特征

2.1. 青岛极端高温事件的定义

本文利用概率统计分析中的百分位法来定义极端阈值,分析超过极端阈值的出现天数、强度等指标的变化特征,来研究极端气候事件的变化特征。具体地说,本文对 1961~2020 年共 21,900 天(为了便于数据统计,扣除了 2 月 29 日)的青岛日平均气温(日最高气温),采用累积概率达 95%百分位的日平均气温(日最高气温)值定义为极端阈值,当某日青岛日平均气温(日最高气温)超过该极端阈值时,即定义该日出现一次极端高温事件。

2.2. 青岛极端高温事件发生频数的季节变化

对于青岛日平均气温而言,极端高温的阈值为 26℃,60 年里一共出现 1141 天。青岛日平均气温极端高温最主要出现在 8 月份,达 745 天(图 1(a)),占全年总数的 65.29%(图 1(b));其次是 7 月,这 60 年里极端高温发生了 344 天,占比 30.15%。另外依次是 9 月、6 月和 5 月,极端高温出现频次不超过总数的 5%(图 1(a),图 1(b))。将这 1141 个青岛日极端高温事件的日平均气温分别和相应的日最高气温与日最低气温进行相关分析,结果表明,青岛日平均气温的极端高温事件主要受日最高气温的影响,二者之间的相关系数为 0.67,日最低气温的升温也有较大贡献,与日平均气温之间的相关系数为 0.62。

由于青岛日均气温的极端高温事件受日最高气温升温的影响最大,因此对青岛日最高气温的极端高温事件进行分析,结果表明,极端高温的阈值为 29.5℃,60 年里一共出现 1106 天。与青岛日平均气温相同,日最高气温的极端高温事件也是最主要出现在 8 月份,达 580 天(图 1(c)),占全年总数的 52.44%(图 1(d));其次是 7 月,这 60 年里极端高温发生了 330 天,占比 29.84%。相比于日平均气温的极端高温事件更集中于盛夏的 7~8 月(发生频率超过 95%),日最高气温的极端高温事件在 7~8 月份发生频率不超过 83%,出现的月份更广,从 5 月到 10 月均有出现,且过渡季节的春季 5~6 月和秋季 9~10 月份日最高气温发生极端高温事件的频率都明显增加(图 1),这可能从一个侧面解释了青岛近百年来气温的升温主要发生在春、秋过渡季节[12],有可能与最高气温的极端高温事件在春、秋季节增多有关。

2.3. 青岛极端高温事件频数的年际变化

青岛日平均气温和日最高气温的极端高温事件发生频率的年际变化都表现为显著的增加趋势和较强的年际变化特征(图 2),二者的年际变化特征非常一致,其相关系数高达 0.85,远远超过了 99%的置信度水平,这表明青岛的日平均气温的极端高温事件的频发主要与日最高气温的极端高温事件频发有关。其中,日最高气温的极端高温事件发生频率的线性增长趋势略快一些,二者的变化仍以较强的年际振荡为主,极端高温最频发均出现在 2016 年,这一年也是近五十年来全球最暖的一年[6][7]。

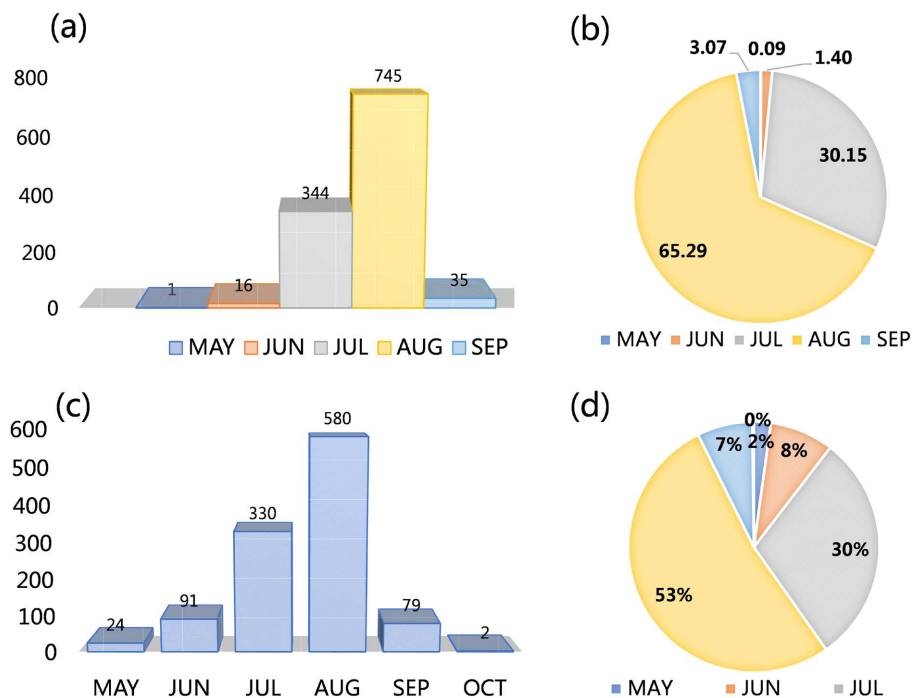


Figure 1. Seasonal cycle of the extremely high temperature event frequency (a) and its percentage (b) for Qingdao daily air temperature during 1961~2020. Figures (c) and (d) are the same as in (a) and (b) respectively, but for Qingdao daily maximum air temperature

图 1. 1961~2020 年青岛日平均气温出现极端高温事件的频次(a)及其占比(b)季节变化; 图(c)和(d)类似于图(a)和(b), 但为青岛日最高气温出现极端高温事件的频次

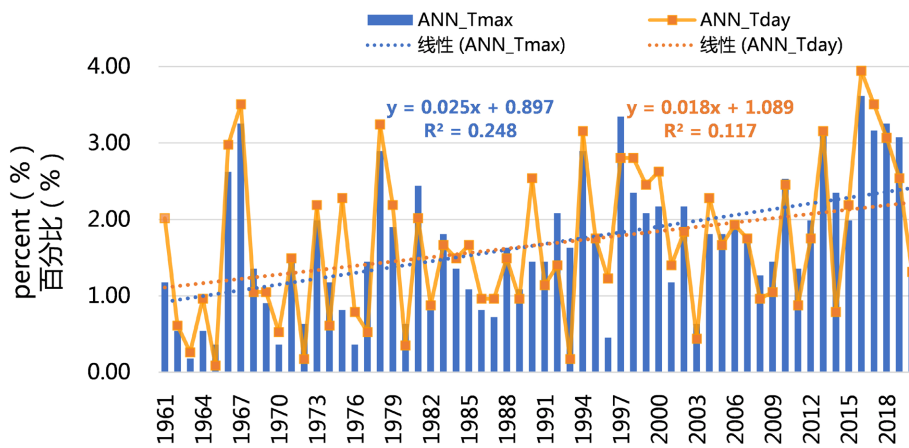


Figure 2. Interannual variability of the extremely high temperature event frequency for Qingdao daily air temperature (orange line ANN_Tday) and maximum air temperature (blue bar ANN_Tmax) during 1961~2020

图 2. 1961~2020 年青岛日平均气温(橙色线 ANN_Tday)和日最高气温(蓝色柱 ANN_Tmax)极端高温事件频率的际年变化

3. 不同季节青岛极端高温事件的气候变化特征

3.1. 青岛极端高温阈值的季节变化

青岛地处中纬度副热带季风区, 气温有显著的单峰型年周期变化(图 3(a)), 8 月份日平均气温最高,

为 25.4℃, 1 月份日平均气温最低, 平均为-0.3℃。因此, 从全年日平均气温的极端高温事件季节变化分布中也不难理解 8 月份出现极端高温事件的频率最高(图 1)。依据本文极端高温事件的定义, 极端高温事件其实是发生概率小于 5% 的小概率事件, 因此针对每个月都可以按同样的方法计算每个月日平均气温的极端高温阈值, 如图 3(a) 中的绿色柱状图。可以发现, 青岛日平均气温的极端高温阈值也同样呈现出单峰型的季节变化特征, 8 月份阈值最大, 约为 28.1℃, 1 月份气温阈值最小, 为 5.1℃。从图 3(a) 中极端高温阈值与日平均气温气候态的差值序列(蓝色折线 T_{th-cli})可以看出, 8 月气候平均态的均值与 95% 累积概率谱密度的极端高温阈值之间差异最小, 二者之间差异最大则出现在 11 月, 12 月次之。

3.2. 青岛极端高温事件日平均气温、日最高和最低气温的季节变化

基于青岛日平均气温极端高温阈值确定的每个月的极端高温事件, 对每个月的极端高温事件日平均气温、日最高气温和日最低气温进行合成, 得到青岛极端高温事件气温的季节变化特征(图 3(b))。从图 3(a) 红色柱($P95_T_{day}$)和图 3(b) 橙色柱($P95_T_{day}$)中可以发现, 不同月份青岛极端高温事件的日平均气温也与青岛日平均气温的气候态特征相似, 均呈现出单峰型的季节变化特征, 8 月份日平均气温最高, 平均为 28.7℃, 1 月份气温最低, 为 6.0℃, 且每个月均比极端高温阈值略高; 青岛极端高温日平均气温的季节变化相对于气候平均态的差值(图 3(a) 中红色折线 $T_{mp95-cli}$)同样呈现出夏季 8 月份最小、冬季 12 月份最大的单峰型季节变化特征。

相应地, 青岛极端高温事件的日最高气温(图 3(b) 中橙色线 $P95_T_{max}$)和日最低气温(图 3(b) 中绿色线 $P95_T_{min}$)与气候平均态的日最高气温(图 3(b) 中紫色线 $T_{max-cli}$)、日最低气温(图 3(b) 中灰色线 $T_{min-cli}$)的季节变化类似, 也均为单峰型的季节变化特征。值得注意的是, 青岛极端高温事件的日最高气温的最大值不再出现在 8 月份, 而是出现在 7 月, 平均的日最高气温达 32.2℃, 比 8 月份的 32.0℃ 略高。

虽然青岛极端高温事件的日平均气温相较于气候平均态呈现出单峰型的季节变化特征(图 3(a), 图 3(c)), 但极端高温事件的日最高气温(图 3(c) 橙色柱 $T_{max_P95-cli}$)和日最低气温(图 3(c) 灰色柱 $T_{min_P95-cli}$)距平却表现出完全不同的非单峰型的季节变化特征。极端高温事件的日最高气温距平在 5 月份数值最大, 8 月份最小, 11 月还存在一个次大值; 极端高温事件的日最低气温距平则表现出 11 月距平值最大, 3 月最小值, 8 月还存在一个次低值。这种相对于气候平均态的日最高和最低气温的季节变化不同步特征表明, 青岛极端高温事件的日平均气温的季节变化, 在春季 3~5 月主要受日最高气温的异常升温影响, 而在冬季的 11~1 月则与日最高气温和日最低气温共同升温的影响有关, 这种极端高温随季节变化的复杂性与通常内陆地区极端高温变化规律不同, 可能体现了青岛气温在不同季节受海洋性和内陆性气团的影响不同。

3.3. 青岛气温日较差的季节变化

多年气候平均的青岛气温日较差(日最高气温减去日最低气温)在春季有较大起伏, 3 月气温日较差为最小值 3.95℃, 而 4 月则为最大值 7.5℃, 全年日较差平均值为 5.87℃, 全年季节变化振幅较小(图 3(c) 蓝线 dr_cli)。而对于青岛极端高温事件而言, 气温的日较差的季节变化(图 3(c) 红线 dr_P95)则与气候平均态有所不同, 大体上呈单峰型的季节变化, 最大值出现在 5 月, 日较差达 10.24℃, 最小值则出现在 11 月, 日较差只有 4.91℃, 全年日较差平均值为 6.9℃, 全年日较差的季节变化振幅更大。对比青岛发生极端高温事件和气候平均态的气温日较差的季节变化, 可以发现, 在上半年的 2~8 月春夏季节里, 极端高温发生时青岛气温的日较差较大, 最大差异出现在 3 月, 5 月和 6 月次之, 这主要与日最高气温在春季的异常升温有关; 9 月到次年 1 月极端高温发生时青岛气温的日较差相对较小, 这主要与秋冬季节日最低气温的快速升温而日最高气温的升温速率较慢有关。

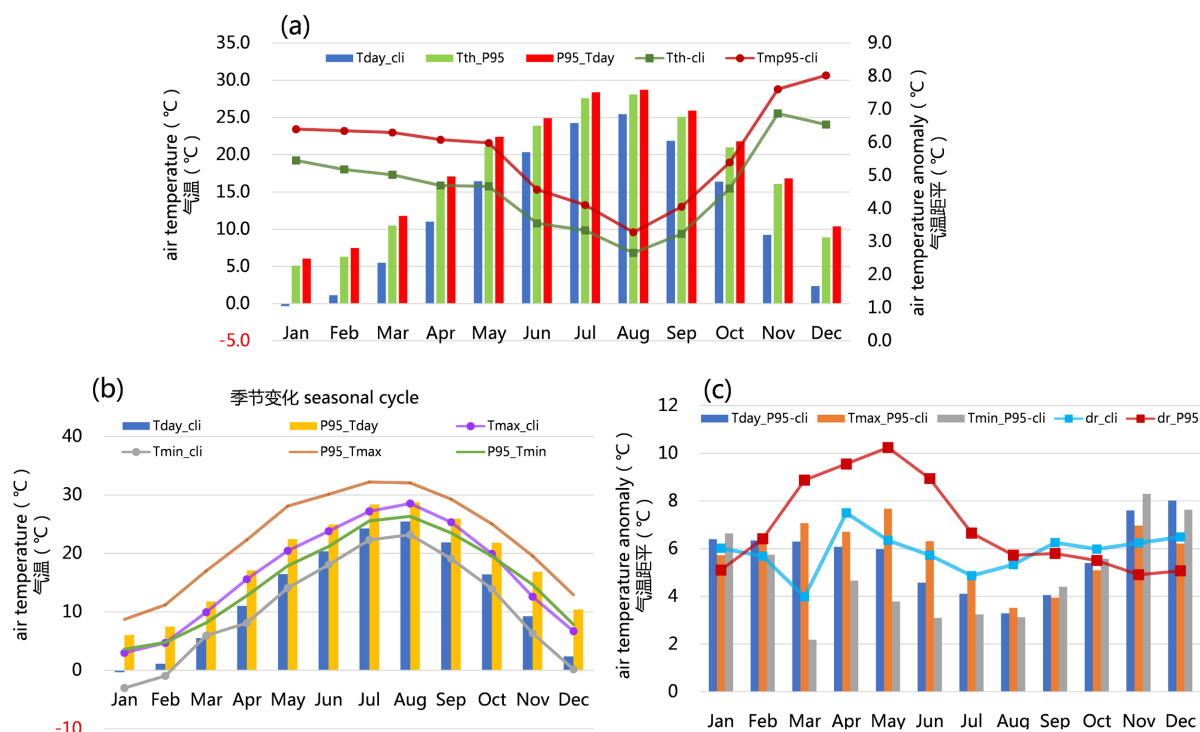


Figure 3. (a) Seasonal cycles of Qingdao climatological daily mean air temperature (T_{day_cli}), threshold of extremely high temperature (T_{th_P95}), daily air temperature for extremely high temperature event ($P95_T_{day}$), and difference between T_{day_cli} and T_{th_P95} (T_{th_cli}) and $P95_T_{day}$ minus T_{day_cli} (T_{mp95_cli}). (b) Seasonal cycles of T_{day_cli} , $P95_T_{day}$ and climatological maximum daily air temperature (T_{max_cli}), minimum daily air temperature (T_{min_cli}) and maximum daily air temperature ($P95_T_{max}$), minimum daily air temperature ($P95_T_{min}$) for extremely high temperature events. (c) Seasonal cycles of difference between climatological mean and extremely high temperature events mean for daily air temperature ($T_{day_P95_cli}$), maximum daily air temperature ($T_{max_P95_cli}$), minimum daily air temperature ($T_{min_P95_cli}$), and diurnal difference of climatology (dr_cli) and extremely high temperature events (dr_P95)

图 3. (a)青岛日平均气温的气候平均态(T_{day_cli})、极端高温阈值(T_{th_P95})、极端高温事件的日平均气温($P95_T_{day}$)以及后二者与气候态差值的季节变化; (b)青岛日平均气温(T_{day_cli})、日最高气温(T_{max_cli})和日最低气温(T_{min_cli})的气候平均态, 以及极端高温事件的日平均气温($P95_T_{day}$)、日最高气温($P95_T_{max}$)和日最低气温($P95_T_{min}$)的季节变化; (c)青岛极端高温事件日平均气温($T_{day_P95_cli}$)、日最高气温($T_{max_P95_cli}$)、日最低气温($T_{min_P95_cli}$)与气候平均态差值的季节变化, 以及气候态(dr_cli)和极端高温(dr_P95)日较差的季节变化

4. 不同季节青岛极端高温事件的年际变化特征

4.1. 不同季节青岛极端高温事件频数的年际变化

根据图 3(a)中每个月青岛极端高温事件的阈值, 计算 60 年里每个月青岛日平均气温极端高温事件的发生频率, 得到 12 个月青岛极端高温发生频率的年际变化曲线(图 4)。可以发现, 不同月份即不同季节, 青岛极端高温事件的发生频率均不相同, 有极强的年际变化特征, 但大部分月份均存在 1990s 中期之后极端高温频率增加的特征, 且不同年份不同季节青岛极端高温事件发生的频率相差较大, 2018 年 8 月是出现极端高温最频繁的一个月。

将每年 12 个月发生极端高温事件的频率进行累加, 得到青岛极端高温事件累积发生频率的年际变化分布(图 5), 可以很清楚地看到, 青岛全年各月发生极端高温事件的累积频率还呈现出非常显著的年代际变化特征, 从 1994 年以来青岛极端高温事件的发生频率显著增加, 特别是全球气温达到当时破纪录的最暖年份的 2016 年, 青岛极端高温事件发生的累积频率也达到最大值, 显然与全球变暖有显著相关关系。该极端高温事件累积发生频率的年际年代际变化与青岛日最高气温的极端高温事件发生频率(图 2)的变

化相关性较高，二者之间的相关系数达 0.75。因为全年气温的极端高温事件主在出现在盛夏季节的 7~8 月，因此图 2 中日最高气温的极端高温事件与各月极端高温事件频率的相关关系主要体现在 7~8 月，其中最大的相关系数出现在 7 月，达 0.75，其次是 8 月相关系数为 0.67。

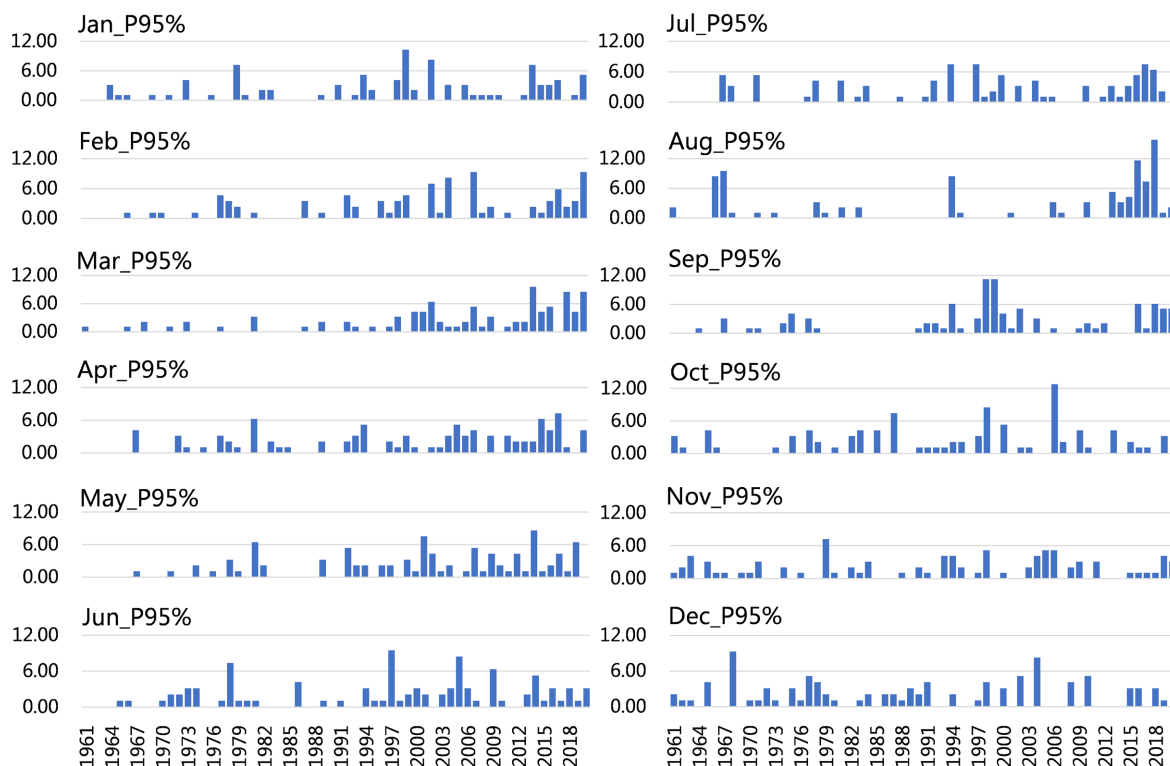


Figure 4. Interannual variability of the extremely high temperature event frequency for Qingdao daily air temperature in different months

图 4. 不同月份青岛极端高温事件频率的年际变化

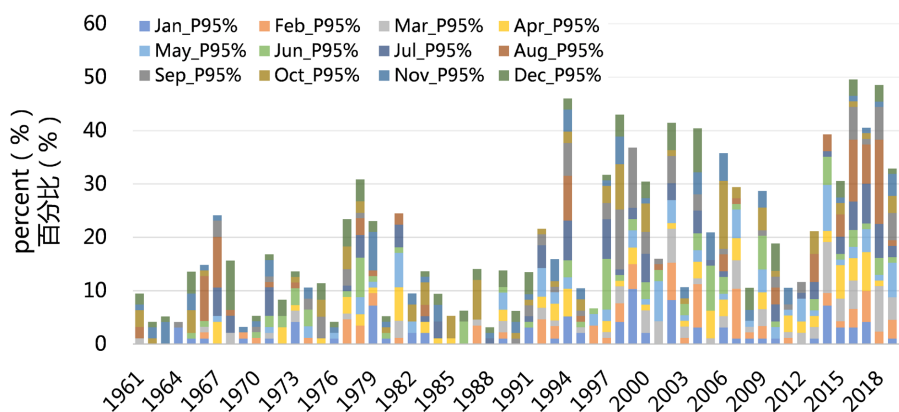


Figure 5. Interannual variability of the extremely high temperature event accumulated frequency for Qingdao daily air temperature from January to December

图 5. 1~12 月青岛极端高温事件累积发生频率的年际变化

4.2. 不同季节青岛日平均气温的年际变化及升温趋势

前文的分析表明，青岛极端高温事件在近二十多年里呈显著增加的趋势，这可能与全球变暖有关。

因此这里分别计算青岛日平均气温在春(MAM)、夏(JJA)、秋(SON)、冬(DJF)四个季节的气温距平的时间序列,以及它们的线性趋势表达式和决定系数 R^2 (图 6)。结果表明,近 60 年来青岛的气温主要在冬、春季节(图 6(a), 图 6(d))呈现显著的线性增温趋势,特别是春季增温最强,平均增温 $4.4^\circ\text{C}/100\text{a}$,线性趋势的方差贡献也最大;尤其是 2014~2020 年以来,全球进入了一个世纪以来的最暖的时期,青岛日平均气温在春季也达到了近 60 年里的最暖时期,与全球变暖的趋势相一致,也进一步证实了前人研究中[12]发现的青岛气温的增暖主要发生在春季的事实。而夏秋季节的气温变化(图 6(b), 图 6(c))则振幅小于冬春季节,线性增暖的趋势较弱,以年际振荡为主,特别是秋季,线性增温趋势最小,只有 $1.76^\circ\text{C}/100\text{a}$,但秋季的气温年际变化增温最大主要发生在 20 世纪末到 21 世纪初,也证实了前人研究中[12]指出的青岛气温在 21 世纪初相比于 20 世纪初增温主要表现为过渡季节春、秋季的增暖。

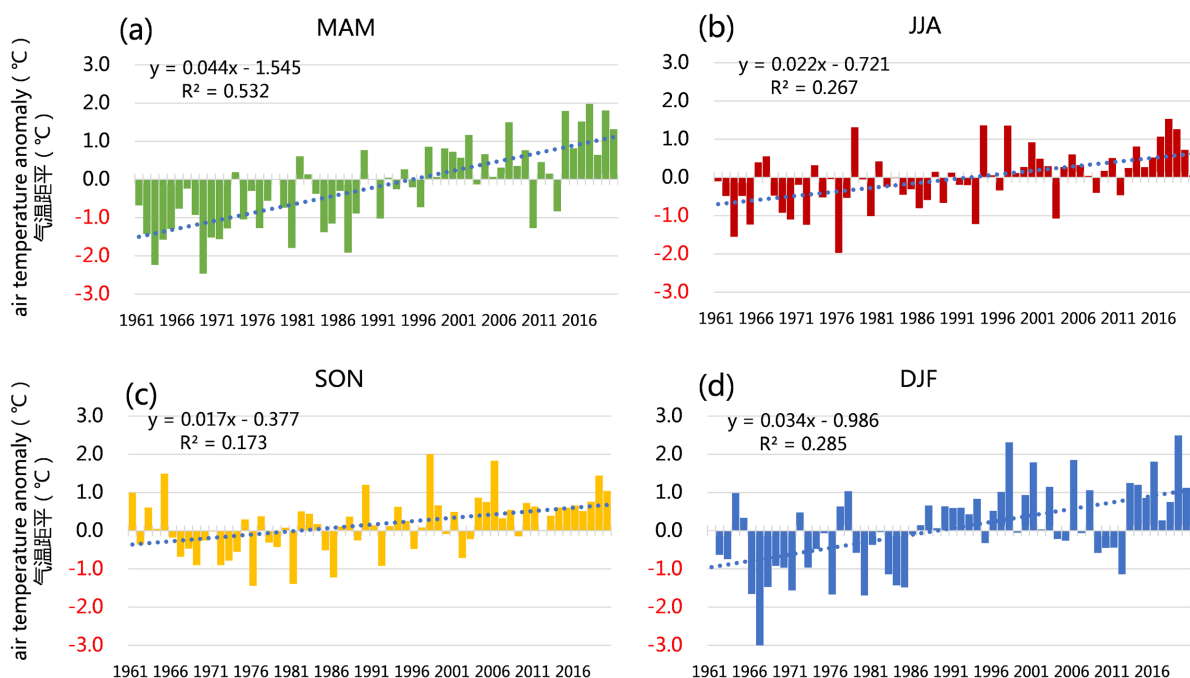


Figure 6. Interannual variability and their linear trend of the Qingdao daily air temperature anomaly in different seasons
图 6. 不同季节青岛日平均气温的年际变化及其线性趋势

4.3. 不同季节青岛极端高温年际变化的贡献因子

前文的分析表明,不同季节青岛极端高温事件的发生频率在 1961~2020 年这 60 年里年际变化较大,全球变暖的线性趋势的贡献在不同月份的贡献差异也非常大。对各月青岛日平均气温线性趋势的拟合系数和决定系数的统计结果(图 7(a))表明,青岛日平均气温升温速率最大的出现在 2 月,其次是 3 月,5 月和 4 月,也就是春季,升温速率最慢的是 8 月,下半年的 7~12 月气温的升温速率都较小,因此图 6 中的冬春季节升温显著,全球变暖的线性趋势对青岛极端高温在近二十年来的频发的贡献更大。线性趋势的方差贡献占比也明显反映出上半年大于下半年(图 7(a)橙色折线),且最大值出现在 5 月,2 月、3 月和 6 月次之,依然反映出春季(3~5 月)青岛气温的线性增温趋势是最大的。下半年除了 9 月份出现极大值外,其余月份线性趋势对升温的方差贡献都较小。因此,青岛近年来极端高温事件的频发,主要是与在上半年的冬春季节全球变暖导致的气温线性增温的趋势变化贡献为主有关,在下半年的夏秋季节,青岛的极端高温事件频发则主要是气温较强的年际变化贡献为主。

青岛日平均气温的极端高温事件的年际变化, 在不同季节与日最高气温和日最低气温的贡献不同。图 7(b)给出了不同月份的青岛极端高温事件中日平均气温分别与日最高气温和日最低气温变化的相关关系, 可以发现在 5~10 月青岛日最高气温与日平均气温的相关性都比日最低气温与日平均气温之间的相关系数大, 最大相关出现在 9 月, 相关系数达 0.76; 而冬春季的 12~4 月, 青岛日平均气温与日最高气温的相关性则较高, 最大相关出现在 12 月, 相关系数达 0.81。结合相关系数相对于年平均值的的大小, 可以看出, 春季(3~5 月)不仅气温的线性升温趋势贡献最大, 日最高气温和日最低气温的年际变化都同时具有较大的贡献, 因此近年来青岛极端高温事件在春季频率显著增加(图 4); 夏季(6~8 月)日最低气温的贡献最小, 且线性升温的趋势也不大, 因此夏季青岛极端高温事件的频率以日最高气温的年际振荡为主; 秋季(9~11 月)青岛极端高温事件的频发主要与 9 月较强的升温趋势和日最高气温和日最低气温年际振荡的共同作用有关; 冬季(12~2 月)青岛极端高温事件的频发则主要与 12 月和 1 月份日最低气温的年际变化有关。

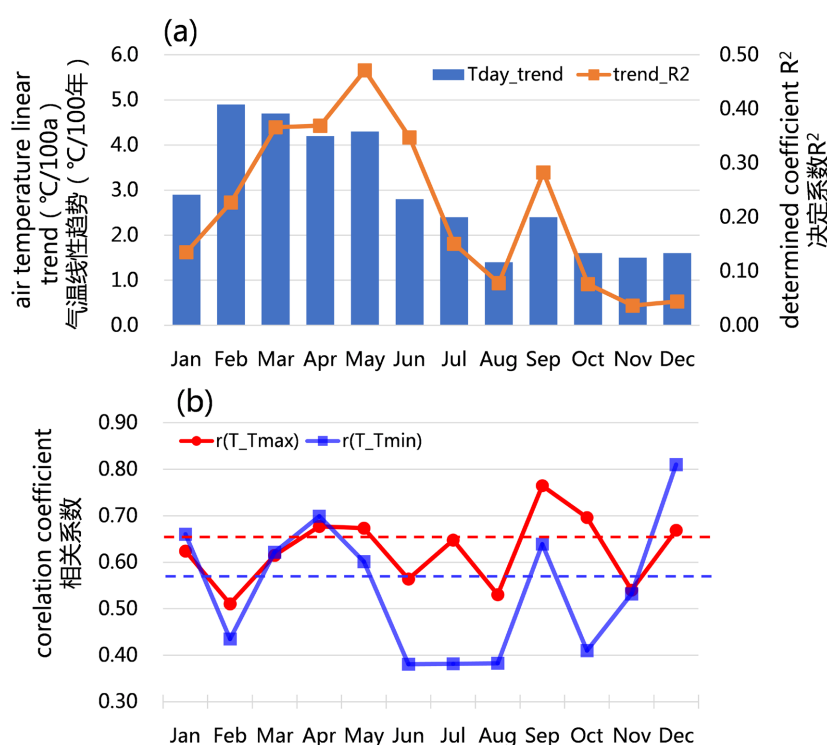


Figure 7. (a) Seasonal cycle of the Qingdao daily air temperature linear trend (blue bars: Tday_trend) and its determined coefficient (orange line: trend_R2). (b) Seasonal cycle of correlation coefficients between the daily air temperature and corresponding maximum daily air temperature (red line r(T_Tmax)), minimum daily air temperature (blue line r(T_Tmin)), respectively, for Qingdao extremely high temperature events

图 7. (a)不同月份青岛日平均气温的线性趋势(蓝色柱 Tday_trend)及决定系数(橙色线 trend_R2)的季节变化。(b)青岛极端高温事件日平均气温分别与日最高气温(红色线 r(T_Tmax))和日最低气温(蓝色线 r(T_Tmin))之间相关关系的季节变化

5. 结论与讨论

5.1. 总结

本文采用气温的概率谱密度 95%的阈值百分位法定义极端高温事件, 系统地分析了 1961~2020 年青岛气温的极端高温事件发生的气候特征, 得到以下主要结论:

青岛日平均气温和日最高气温的极端高温阈值分别为 26℃和 29.5℃, 各月极端高温阈值不同, 极端高温阈值和极端高温事件的日平均气温、日最高气温、日最低气温均表现出一致的单峰型分布特征, 1 月气温最低, 8 月最高。但相对于气候平均态的季节变化, 青岛极端高温事件的阈值和日平均气温距平在夏季 8 月份升温最小, 冬季 11~12 月升温最大; 日最高气温距平在 5 月份最大, 8 月份最小, 11 月还存在一个次大值; 日最低气温距平则表现出 11 月距平值最大, 3 月最小值, 8 月还存在一个次低值。这些季节变化的不同步特征表明, 青岛极端高温事件的日平均气温的季节变化, 在春季 3~5 月主要受日最高气温的异常升温影响, 而在冬季的 11~1 月则与日最高气温和日最低气温共同升温的影响有关。由于冬季极端高温事件的日最高和最低气温均明显升温, 导致青岛极端高温事件日较差的季节变化呈现出单峰型的季节变化, 春季日较差增大, 而秋冬季日较差减小。

不同季节青岛极端高温事件的发生频率在 1961~2020 年这 60 年里年际变化较大, 各月累积极端高温频率呈现出在 1994 年之后显著增加的年代际变化特征, 表明近二十年来青岛极端高温事件频发。全球变暖的线性趋势在春季对青岛极端高温频发的贡献最大, 夏(冬)季青岛极端高温事件的频发主要与日最高(低)气温的年际变化有关; 秋季青岛极端高温事件的频发主要与 9 月较强的升温趋势和日最高气温和日最低气温年际振荡的共同作用有关。

5.2. 讨论

我们以往的研究发现青岛的气温变化有一定的特殊性, 20 世纪和 21 世纪初青岛气温的百年增温并不像全国大部分陆地台站那样在冬季升温最显著, 青岛的百年升温最显著是发生在春季和秋季这样的过渡季节[12]。本文的结果从一个侧面似乎可以部分解释这个特征, 由于春季(3~5 月)和秋季(9 月)青岛气温增暖的线性趋势较强, 同时叠加了较强的年际变化的增暖, 导致春秋过渡季节气温的增温显著。但是, 本文只是系统分析了青岛极端高温事件的相关气温的季节、年际年代际变化特征, 对于为什么极端高温越来越频发? 什么样的海洋大气大尺度环流场易于引起青岛极端高温的发生? 这种极端高温小概率事件是否有前期预报信号? 这些一系列的问题都值得我们继续探索和研究。

通常极端高温天气往往伴随着极端干旱的发生, 但我们前期的研究结果表明[12], 青岛百年来的气候变化显示出在春季变得更暖更湿的特征, 从极端降水的季节变化这一角度去分析青岛的极端高温是否伴随着极端降水的减少, 也是一个非常有兴趣和有意义的科学问题, 值得我们未来将继续研究和证实。

致 谢

感谢中国气象局气候中心的王国复研究员所提供的气象台站的观测数据, 感谢中国海洋大学黄菲教授对本文的指导。

基金项目

本文受山东省自然科学基金重大基础研究项目(ZR2019ZD12)的资助。

参考文献

- [1] 大千世界. 阿拉伯高温 73℃、美国 50℃致死 600 人, 北极最后冰区融化: 地球怎么了? [Z]. <https://mp.weixin.qq.com/s/S1nIfpwDLFjdtcDjPdOkNA>
- [2] 周庆满. 气候宜人的青岛[J]. 气象, 1980, 6(9): 30.
- [3] 王绍武. 近百年我国及全球气温变化趋势[J]. 气象, 1990, 16(2): 11-15.
- [4] 洪光, 刘春光. 青岛市气候变暖的特征[J]. 气象, 1997, 23(8): 55-58.
- [5] 常美桂, 胡基福, 鄢利农. 95 年来青岛气候变化的分析[J]. 青岛海洋大学学报, 1995, 25(3): 295-300.

-
- [6] 中国气象局气候变化中心编著. 中国气候变化蓝皮书(2021) [M]. 北京: 科学出版社, 2021.
- [7] IPCC 第六次评估报告中文版[Z]. <https://www.ipcc.ch/languages-2/chinese/>
- [8] 董光旭, 周强, 刘焕斌, 等. 山东夏季极端热事件变化特征分析[J]. 海洋气象学报, 2020, 40(3): 60-76.
- [9] 邹瑾, 冯晓芸, 胡桂芳, 等. 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.
- [10] 庞华基, 高靖, 李春, 盛立芳. 青岛百年气温变化及其影响因素分析[J]. 南京气象学院学报, 2007, 30(4): 524-529.
- [11] 董海鹰, 李德萍, 凌艺. 青岛地区气温时空分布特征[J]. 山东气象, 2013, 33(3): 5-8.
- [12] 钟一洋, 蔺思远, 黄昊. 20 和 21 世纪初青岛地区气温和降水的变化特征对比[J]. 气候变化研究快报, 2021, 10(5): 510-518.