

支蓉,高辉,孙冷,2024.2023 年夏季我国气候异常特征及成因分析[J].气象,50(1):115-125. Zhi R,Gao H,Sun L,2024. Characteristics and possible causes of climate anomalies over China in summer 2023[J]. Meteor Mon,50(1):115-125(in Chinese).

2023 年夏季我国气候异常特征及成因分析^{*}

支 蓉 高 辉 孙 冷

国家气候中心,中国气象局气候研究开放实验室,北京 100081

提 要: 2023 年夏季,我国气候特征整体表现为“温高雨少”,区域性、阶段性高温、旱涝等气象灾害明显。降水的空间分布差异显著,主要多雨区位于我国北方,松花江、海河流域出现严重汛情。生成和登陆台风频数均较常年同期偏少,但北上台风却对京津冀等地造成极其严重的雨涝灾害。2023 年夏季我国气温为 1961 年以来历史次高,北方地区暖异常明显,华北、西北等地区阶段性高温热浪尤为突出。华北、东北地区降水偏多是由不同环流系统造成的。其中,华北南部降水异常偏多主要由 7 月底至 8 月初一次极为罕见的天气尺度持续性极端降水过程所致,台风杜苏芮和卡努外围环流与异常偏西、偏北的西太平洋副热带高压相配合,再加上太行山东麓的地形效应是其主要原因。盛夏东北东部异常偏南风引导的水汽输送在整个对流层都异常偏强,造成东北北部和东部降水明显偏多,这一异常环流与初夏巴伦支海海冰密集度减小及盛夏西北太平洋海温异常偏暖均有一定关联。

关键词: 夏季降水,高温热浪,巴伦支海海冰密集度,台风杜苏芮,台风卡努

中图分类号: P461

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2023.102701

Characteristics and Possible Causes of Climate Anomalies over China in Summer 2023

ZHI Rong GAO Hui SUN Leng

Key Laboratory for Climate Prediction Studies, National Climate Centre, CMA, Beijing 100081

Abstract: In the summer of 2023, the overall climate of China was characterized by high temperature with less rainfall, and the regional and periodic high temperature, droughts, floods and other meteorological disasters occurred frequently. The precipitation displayed remarkable spatial differences across China, with the major rain belt mainly located in northern China. Both the Songhua River Basin and the Haihe River Basin experienced severe flash flooding in middle summer. Both the generated typhoons and the landfall typhoons were less than in the same period in years, but the northward typhoons incurred extremely serious flood disasters in the Beijing-Tianjin-Hebei Region. The national summer temperature ranked the second highest since 1961, especially in northern China. Both North China and Northwest China experienced the most intense heat waves. The anomalous excessive precipitation in North China and Northeast China was caused by different circulation systems. For the former, it was mainly caused by a rarely-seen extreme precipitation process from the end of July to early August, during which the strong moisture transport by Typhoon Doksuri and Typhoon Khanun was blocked by a much more westward and northward western Pacific subtropical high combined with the topographic effect of the Taihang Mountains; for the latter, the exceptional southerly water vapor transport in the whole troposphere along the east of Northeast China can be

^{*} 国家自然科学基金重点项目(42130610)、国家重点研发计划(2017YFC1502300)和国家自然科学基金面上项目(41975088)共同资助

2023 年 10 月 18 日收稿; 2023 年 11 月 3 日收修定稿

第一作者:支蓉,主要从事短期气候预测研究. E-mail:zhirong@cma.gov.cn

通讯作者:高辉,主要从事短期气候预测研究. E-mail:gaohui@cma.gov.cn

regarded as the direct cause. This abnormal circulation was possibly associated with the decrease in the sea ice concentration in the Barents Sea in early summer and the abnormal warmer sea surface temperature in the Northwest Pacific in middle summer.

Key words: summer precipitation, heat wave, sea ice concentration in Barents Sea, Typhoon Doksuri, Typhoon Khanun

引 言

我国是全球旱涝、高温、台风等气象灾害最频发的国家之一。统计表明,气象灾害经济损失占我国所有自然灾害损失比例可高达七成以上(郑国光, 2019),其中干旱和洪涝分别列为前两位。夏季是我国大部地区一年中降水最强、气温最高的时段,夏季气候异常易导致严重的旱涝、高温等组合及衍生灾害(李维京, 1999; 张庆云等, 2003b; 黄荣辉等, 2006; 李永华等, 2009; 丁一汇, 2013; 刘芸芸等, 2021; 赵俊虎等, 2022; 章大全等, 2023)。全球变暖背景下,极端天气气候事件发生更为频繁(Donat et al, 2016),我国的气象灾害也呈明显上升趋势(IPCC, 2021),这对人民生命财产安全和社会经济发展都造成了严重影响。夏季旱涝灾害的程度直接决定着当年的社会经济发展和防灾减灾决策部署。因此,深入认识我国夏季气候异常成因,对进一步提高短期气候预测准确率及国家防灾减灾等均具有重要意义。

我国地处东亚季风区,是全球季风气候特征最显著的区域之一,我国的夏季气候特征与东亚夏季风系统中的各环流成员直接相关(张庆云等, 2003a; Enomoto et al, 2003; 孙林海等, 2005; 丁一汇等, 2007)。Zhang et al (1999)、张顺利和陶诗言(2001)、Shi et al (2002)、Ashok et al (2007)、陈丽娟等(2013)、He et al (2018)和 Han et al (2021)研究表明,东亚夏季风系统受到三大洋海温异常、欧亚和高原积雪以及北极海冰等诸多外强迫因子的显著影响,因此这些外强迫信号的异常及其气候影响机制往往成为短期气候预测中最重要的预测信号来源。但由于外强迫信号对东亚夏季风系统的影响存在显著的年代际变化等,再加上东亚夏季风系统各环流因子之间存在复杂的、非线性的相互作用,导致我国夏季气候异常成为多尺度、多因子协同作用下的最终表现,给预测带来了巨大挑战。

2023 年夏季,我国气候总体“温高雨少”,全国

平均降水量较常年略偏少且旱涝分布不均,主要多雨区位于东北和华北等地,这些地区暴雨过程频繁,尤其是盛夏强降水引发严重洪涝灾害,出现明显旱涝急转,海河和松花江流域出现重大汛情。夏季台风生成和登陆个数少,但破坏力强,“杜苏芮”和“卡努”导致严重洪涝灾害。全国大部地区气温偏高,其中北方地区的暖异常相对更为明显,华北、西北等地区阶段性高温现象尤为突出,而长江流域的高温日数与 2022 年夏季相比则明显偏少。此外,短时强降雨、雷暴、风雹、龙卷等灾害多点散发,致灾性强。本文首先回顾了 2023 年夏季我国气候异常基本特征,并分析导致我国华北和东北降水偏多的不同环流因子及可能的的外强迫信号源,以期为今后汛期预测业务工作提供参考。

1 资料和方法

本文使用的资料主要有:(1)中国气象局国家气象信息中心整编的“中国地面基本气象要素日值数据集(V3.0)”中的逐日气温和降水观测资料。该数据集包含了中国 2474 个基本、基准和一般气象站 1951 年 1 月以来气温、降水的日值数据(任芝花等, 2012);(2)美国国家环境预报中心(NCEP)和美国国家大气研究中心(NCAR)发布的大气环流再分析资料(Kalnay et al, 1996; Kistler et al, 2001),其水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$;(3)美国国家海洋与大气局(NOAA)发布的全球逐月海温资料和高分辨率海冰密集度资料(Reynolds et al, 2007),其水平分辨率分别为 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 、 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 。

本文东亚夏季风指数采用张庆云等(2003a)定义的指标,即东亚热带季风槽区($10^{\circ} \sim 20^{\circ} \text{N}$ 、 $100^{\circ} \sim 150^{\circ} \text{E}$)与东亚副热带地区($25^{\circ} \sim 35^{\circ} \text{N}$ 、 $100^{\circ} \sim 150^{\circ} \text{E}$)6—8 月平均 850 hPa 纬向风的距平差。西太平洋副热带高压(以下简称西太副高)指数采用刘芸芸等(2012)定义的指标。部分图形和海温指数来源于国家气候中心开发并在气候业务中长期应用的“气象灾害影响评估系统”和“气候与气候变化监测预测系

统”。本文冬季为前一年12月至当年2月,春季为3—5月,夏季为6—8月,气候态为1991—2020年平均。

2 2023年夏季我国气候异常特征

2.1 降水情况

2023年夏季,全国平均降水量为319.9 mm,较常年同期(331.5 mm)偏少3.5%,但较2022年同期明显增多(图1a)。从空间分布特征(图1b)来看,我国中东部降水整体呈“北多南少”的分布格局,降水明显偏多的区域主要集中在东北、华北等地区,其中松花江流域降水量为433.6 mm,较常年同期(344.8 mm)偏多25.8%,为1961年以来历史同期第五多;海河流域降水量为422.4 mm,较常年同期(334.6 mm)偏多26.2%。我国中东部其余地区降水则接近常年同期或略偏少。我国西部地区的降水

异常空间分布特征则与中东部地区近似相反,整体呈相对“北少南多”的形势,西藏东部及西南等地降水接近常年同期或略偏多,新疆及西北地区大部降水则较常年同期明显偏少。其中新疆降水量为42.5 mm,较常年同期(73.0 mm)偏少41.8%,为1961年以来历史同期最少;宁夏降水量为98.3 mm,较常年同期(166.6 mm)偏少41.0%,为同时段历史第五少。

2023年夏季,我国降水的极端性特征较为明显(图1c)。全国有220个国家级气象站日降水量达到极端事件监测标准,主要分布在东北、华北东部、华东北部、西北地区东部、西南地区东部等地。其中有43个国家级气象站日降水量达到或突破历史极值,主要集中在华北地区中部、西北地区东部、西南地区东北部等地。

2023年夏季,我国降水表现出“前少后多”阶段性特征(图2a)。6月全国平均降水量为87.0 mm,较常年同期(102.7 mm)偏少15.3%。此后降水量由偏

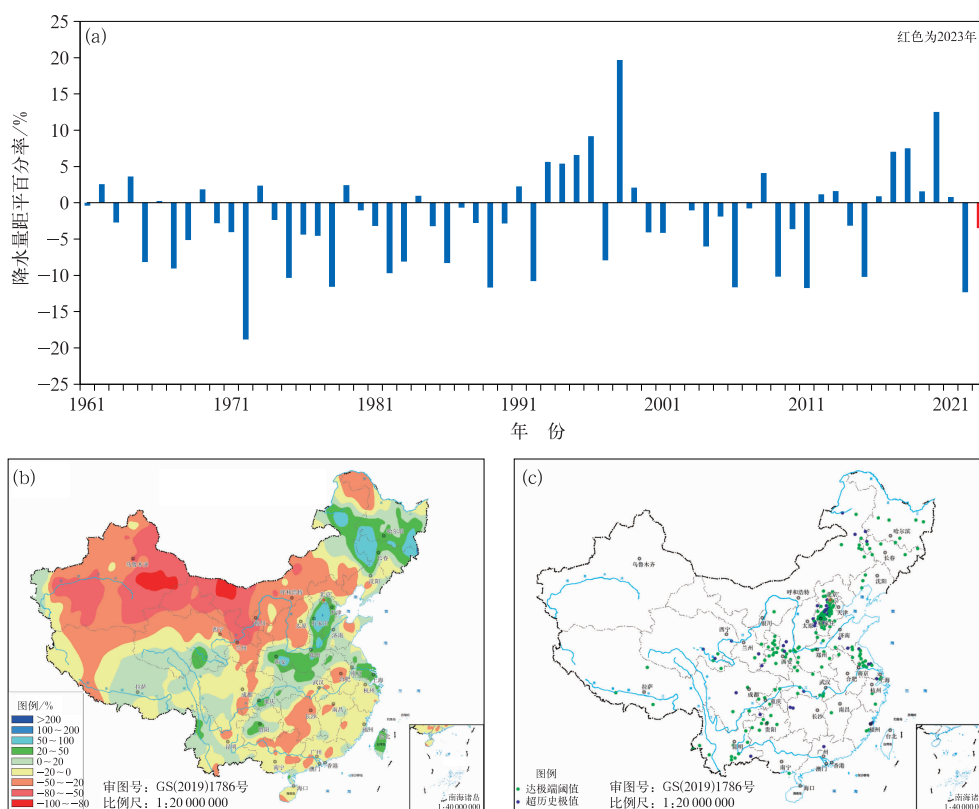


图1 (a)1961—2023年夏季全国平均降水量距平百分率历年变化;2023年夏季全国(b)降水量距平百分率及(c)极端日降水量事件站点分布

Fig. 1 (a) Time series of precipitation anomaly percentage averaged in China in summer from 1961 to 2023; spatial distribution of (b) precipitation anomaly percentage and (c) extreme daily precipitation stations in China in summer 2023

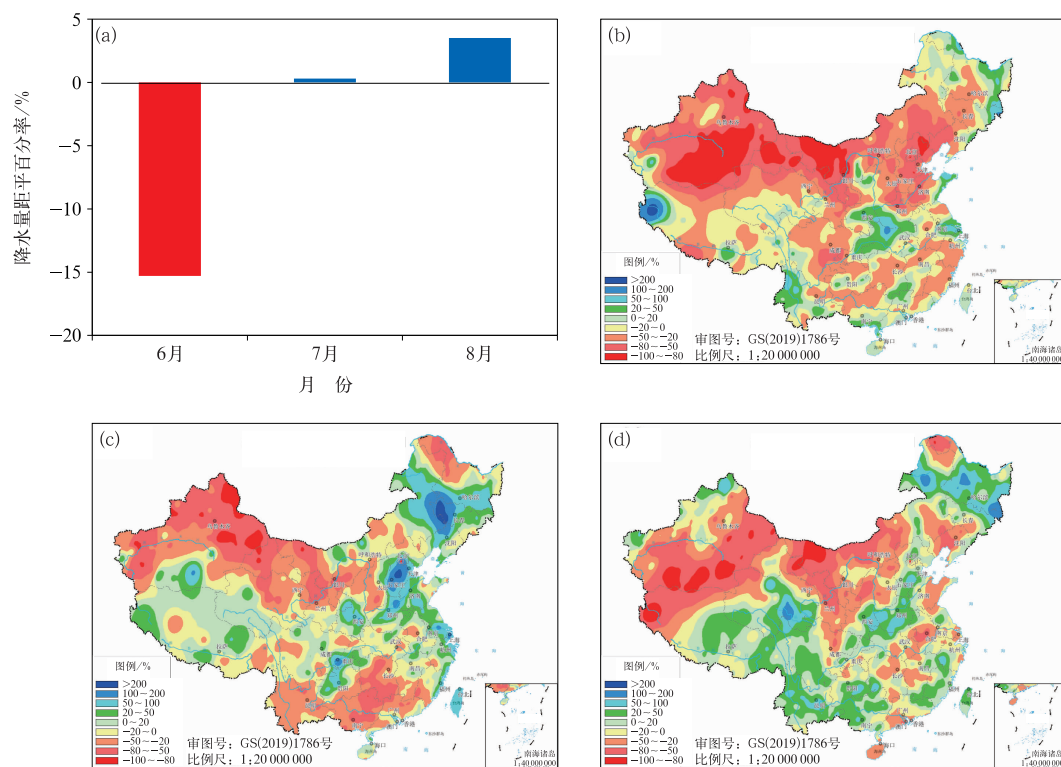


图 2 2023 年(a)夏季逐月全国面积加权平均的降水量距平百分率,
(b)6 月、(c)7 月、(d)8 月全国降水量距平百分率分布

Fig. 2 (a) Monthly weighted mean precipitation anomaly percentage averaged
in China in summer 2023; spatial distribution of precipitation anomaly
percentage in China in (b) June, (c) July and (d) August 2023

少逐步转为偏多,7 月全国平均降水量为 122.0 mm,接近常年同期(121.7 mm)。8 月全国平均降水量为 110.9 mm,较常年同期(107.1 mm)偏多 3.5%。从空间分布特征来看,6 月(图 2b)我国降水整体呈“北少南多”的异常分布,降水偏多的区域主要集中在黄河以南,区域特征较为分散,强度整体较弱。7 月(图 2c)开始,我国中东部地区主要雨带发生明显北抬,降水偏多的区域主要集中在长江以北,整体呈“北多南少”的异常分布,东北地区中部和南部、华北东部、长江下游梅雨区东部等地区降水较常年同期偏多 5 成以上,局部偏多超过 1 倍。8 月(图 2d)降水偏多的范围较前期有所扩大,我国中东部的雨带分布整体维持与 7 月相近的特征,主要多雨区依旧位于东北、华北等地区,中心强度略有减弱。但在长江以南,尤其是西南地区,降水明显增强,西南地区大部、华南西部等地区降水偏多 2 成以上。此外,西藏东部、青海东部等地区降水也较常年同期明显偏多。

2.2 我国东部季风区雨季进程特征

2023 年,南海夏季风于 5 月第 3 候爆发,较常年同期(5 月第 4 候)略偏早。我国东部雨季进程表现出明显的转折性变化特征,从前期季节进程偏早、强度偏弱转为后期进程偏晚、强度偏强。表 1 给出了 2023 年汛期我国东部季风区雨季进程的主要监测结果。华南前汛期开始时间较常年同期偏早 14 d,结束时间偏早 6 d,雨期偏长 8 d,但累计降水量偏少 14.3%。3 个梅雨监测区雨季进程均略偏晚。其中江南梅雨开始时间较常年同期偏晚 7 d,结束时间偏早 8 d,雨期仅 16 d,约为常年同期一半,累计降水量明显偏少达 50.2%。长江中下游梅雨开始时间较常年同期偏晚 2 d,结束时间偏晚 8 d,雨期偏长 6 d,累计降水量偏多 14.6%。江淮梅雨开始时间较常年同期偏晚 2 d,结束时间偏晚 11 d,雨期偏长 9 d,累计降水量偏多 13.0%。华北雨季开始时间较常年同期偏晚 4 d,结束偏早 2 d,雨期偏短 6 d,累计降水量偏多 14.3%。

表 1 2023 年汛期我国东部雨季进程

Table 1 Course of rainy season in eastern China in 2023

雨季名称	开始时间	结束时间	雨期/d	降水量/mm
华南前汛期	3 月 26 日(4 月 9 日)	6 月 28 日(7 月 4 日)	94(86)	615.8(718.7)
江南梅雨	6 月 16 日(6 月 9 日)	7 月 2 日(7 月 10 日)	16(31)	196.8(395.0)
长江中下游梅雨	6 月 16 日(6 月 14 日)	7 月 24 日(7 月 16 日)	38(32)	364.6(318.2)
江淮梅雨	6 月 25 日(6 月 23 日)	7 月 25 日(7 月 14 日)	30(21)	290.6(257.2)
华北雨季	7 月 22 日(7 月 18 日)	8 月 15 日(8 月 17 日)	24(30)	156.2(136.6)

注:括号内为气候态。

2.3 我国气温异常特征

2023 年夏季,全国平均气温为 22.0℃,较常年同期(21.2℃)偏高 0.8℃,位列 1961 年以来历史第二位,仅次于 2022 年同期(图 3a)。从空间分布特征(图 3b)来看,全国大部地区气温接近常年同期或偏高,整体呈相对“北高南低”的形势,华北东部、华东北部、内蒙古西部、西北地区北部、新疆大部等地区偏高 1~2℃,局部偏高达 2~4℃。此外,夏季我国高温日数也表现出明显的区域性特征(图 3c)。华北东部及周边地区高温日数异常偏多。以津京冀

鲁为例,2023 年夏季高温日数为 22.6 d,较常年同期(9.5 d)偏多 137.9%,位列 1961 年以来历史第一位;此外,内蒙古西部及新疆等地区高温日数也异常偏多。以新疆为例,2023 年夏季高温日数为 26.7 d,较常年同期(15.5 d)偏多 72.3%,同样位列 1961 年以来历史第一位;上述两个区域高温日数的极端性和其夏季平均气温的明显偏高特征一致。此外,华南中西部、华中东南部、西南地区东部等地区高温日数也较常年同期偏多。但与 2022 年夏季相比,长江流域的高温日数则明显偏少(章大全等,2023)。

此外,2023 年夏季西北太平洋和南海海域共有

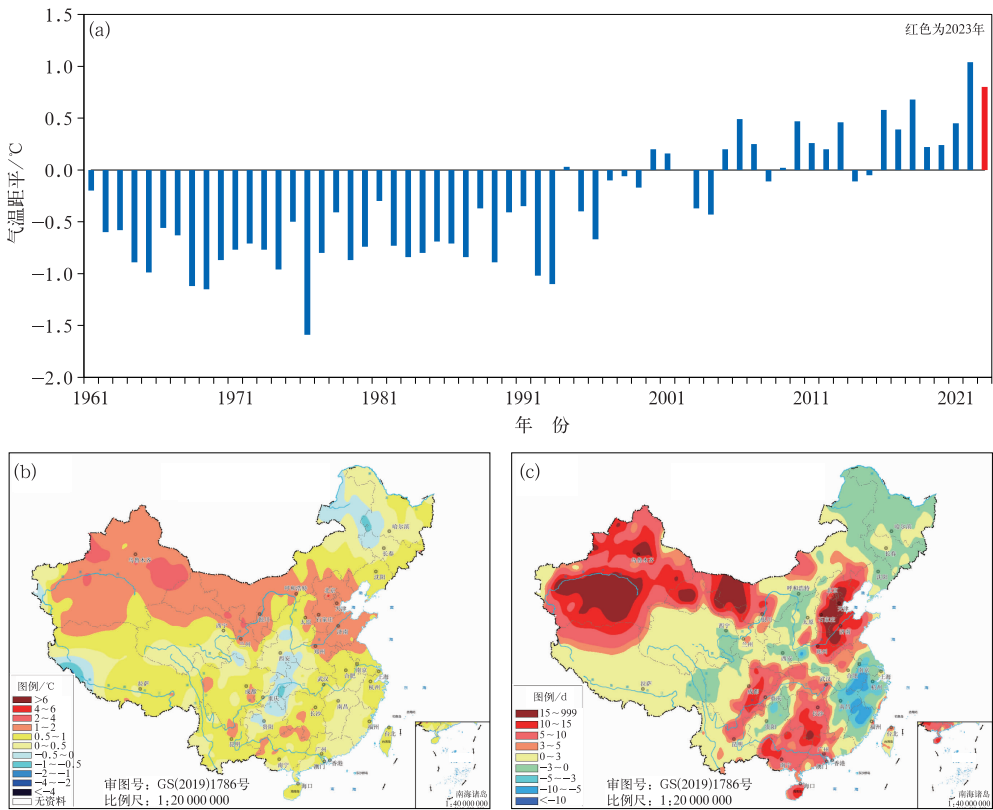


图 3 (a)1961—2023 年夏季全国平均气温距平历年变化;2023 年夏季全国(b)平均气温距平及(c)高温(日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$)日数距平分布

Fig. 3 (a) Time series of summer temperature anomaly averaged in China in summer from 1961 to 2023; spatial distribution of (b) averaged temperature anomaly and (c) high temperature ($T_{\text{max}} \geq 35^{\circ}\text{C}$) day number anomaly in China in summer 2023

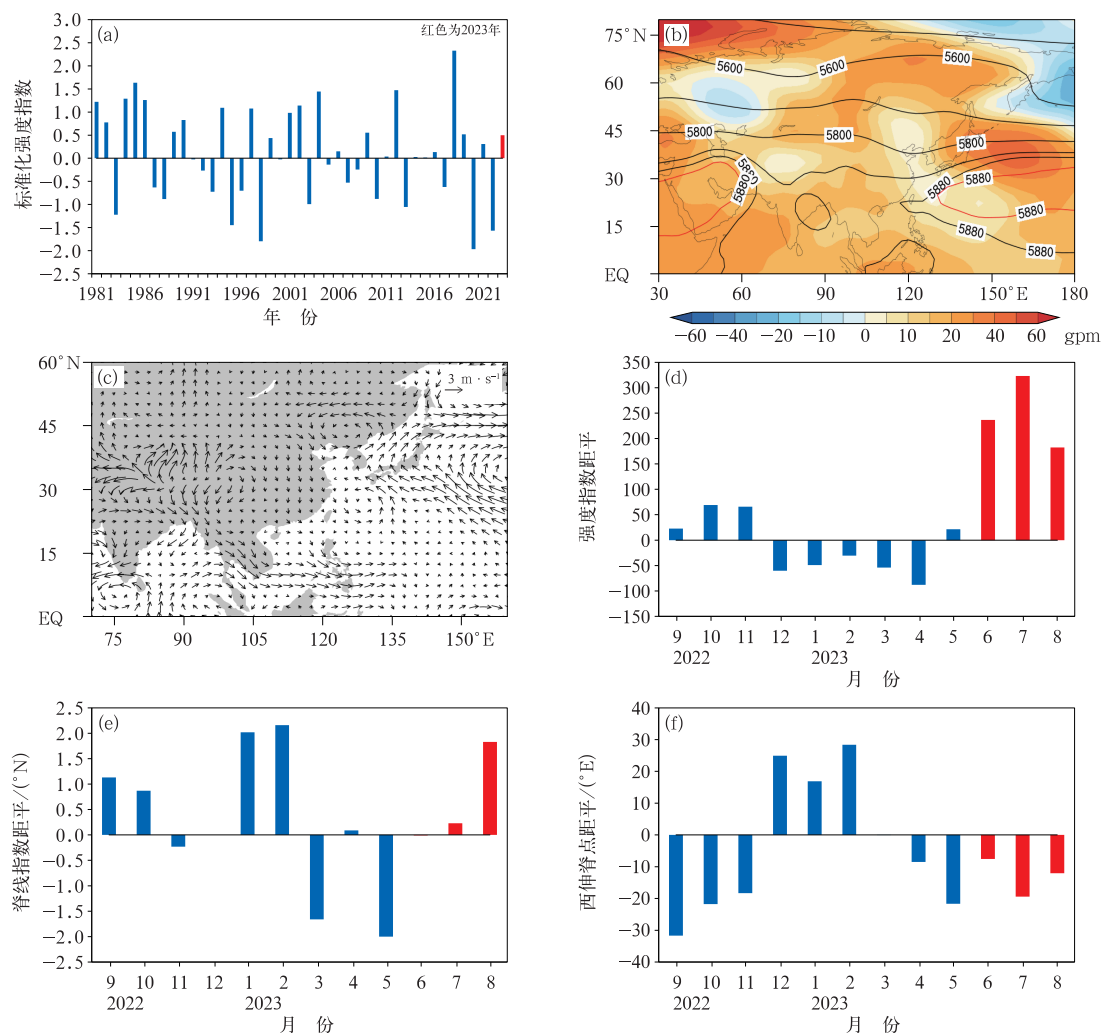
10 个热带气旋生成,较常年同期(11 个)略偏少,其中有 2 个登陆我国(分别为 2304 号台风泰利和 2305 号台风杜苏芮),较常年同期(4.8 个)明显偏少。

3 2023 年夏季东北华北降水偏多成因分析

3.1 季节平均的大尺度环流背景

2023 年夏季,东亚副热带夏季风强度指数较常

年偏强,标准化指数值为 0.5(图 4a)。通常情况下,强夏季风有利于我国东部主雨带整体偏北(张庆云等,2003a),与图 1b 的降水空间分布特征相吻合。从夏季平均 500 hPa 位势高度及距平场(图 4b)上可看出,欧亚中高纬整体呈“两槽一脊”的高度场异常分布,环流经向度较小,有利于我国大部气温偏高,尤其是北方地区,在高压脊的控制之下,气温偏高相对更为明显(图 3b)。对流层中层西太副高主体所在区域高度场为正距平,从指数监测上来看(图 4d~4f),季节平均的西太副高也确实表现出较



注:图 b 中红色等值线表示气候平均 5880 gpm。

图 4 (a)1981—2023 年东亚夏季风标准化强度指数历年变化;2023 年夏季(b)平均 500 hPa 位势高度场(等值线,单位:gpm)和距平场(填色),(c)850 hPa 风场距平;西太副高特征参数:

(d)强度指数距平,(e)脊线指数距平和(f)西伸脊点指数距平

Fig. 4 (a) Time series of standardized East Asia summer monsoon index from 1981 to 2023; (b) 500 hPa geopotential height (contour, unit: gpm) and anomaly (colored), (c) 850 hPa wind anomaly in summer 2023; monthly anomaly of western Pacific subtropical high indices: (d) intensity index, (e) ridge line index, and (f) west boundary index from 2022 to 2023

常年偏强、略偏北、偏西的特征,其中西太副高强度在3个月均明显偏强,可能与6月开始的赤道东太平洋暖海温快速发展密切相关,国家气候中心的监测表明,6、7、8月 Niño 3.4 指数值分别为 0.93、1.11 和 1.33℃。但对流层低层 850 hPa 距平风场上(图 4c),菲律宾以东—东海—黄海区域整体表现为异常气旋式距平环流,与对流层中层的位势高度异常特征并不完全匹配,我国东部地区受气旋式环流西侧异常偏北风的影响,水汽输送及辐合条件较差,不利于夏季降水整体偏多,尤其是长江中下游以南地区。

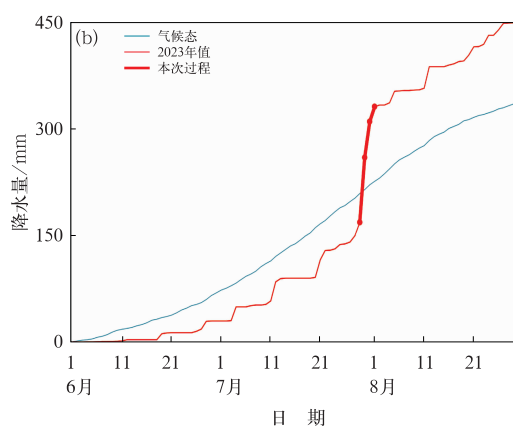
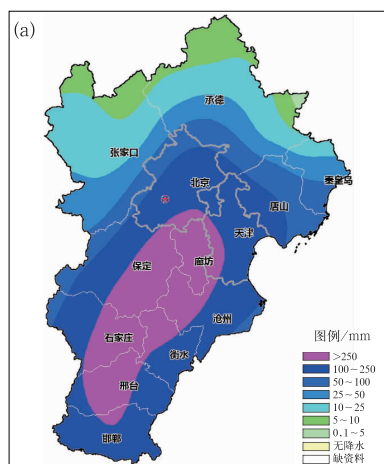


图5 京津冀地区2023年(a)7月29日至8月1日累计降水量空间分布,
(b)6月1日至8月31日累计降水曲线及气候态

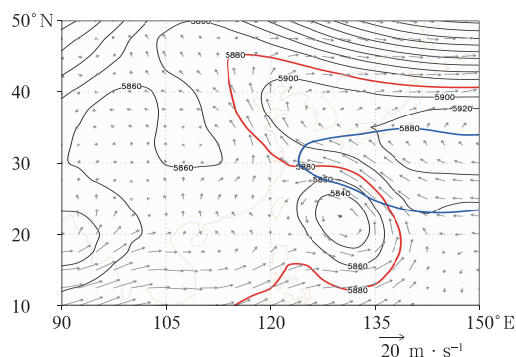
Fig. 5 (a) Spatial distribution of precipitation from 29 July to 1 August, (b) accumulated precipitation curve and climate state in the Beijing-Tianjin-Hebei Region from 1 June to 31 August 2023

季降水常年值(338.7 mm)的一半。图 5b 给出了京津冀地区 6 月 1 日至 8 月 31 日累计降水曲线及气候态。可以看出,6 月 1 日至 7 月 28 日,京津冀累计降水量为 149.6 mm,较常年同期偏少 26%,但随着台风影响下极端降水过程的展开,截至 7 月 30 日累计降水已超过对应气候态的 21%,至 7 月 31 日超过 40%。若使用逐日降水量气候态代替本次极端降水过程,则截至 8 月 31 日京津冀累计降水量都位于气候态之下(图略)。

本次极端暴雨过程具有典型的天气学成因。图 6 给出了 7 月 29 日至 8 月 1 日平均 500 hPa 位势高度场和 850 hPa 风场。可以看出,西太副高明显西伸北抬,形成一个控制在华北北部上空的高压坝。当台风杜苏芮残涡北上时,受该高压坝阻挡停滞,同时伴有台风卡努水汽的协同作用,使得低层强

3.2 京津冀盛夏降水异常偏多的成因

2023 年夏季,我国中东部主要多雨区位于东北、华北等地区,但二者的异常成因并不相同。对华北南部地区而言,7 月底至 8 月初的台风外围环流和西太副高的配置起到了最为直接的贡献。7 月 28 日,5 号台风杜苏芮以强台风强度登陆福建,此后一路北上,受其残余环流的影响,7 月 29 日至 8 月 1 日,京津冀地区发生了一次罕见的极端暴雨过程(图 5a),4 d 过程累计降水量为 178.1 mm,较常年同期(23.7 mm)偏多 651.5%,超过京津冀地区夏



注:红、蓝等值线分别为本次过程
及气候态 5880 gpm 线。

图6 2023年7月29日至8月1日500 hPa位势高度
(等值线,单位:gpm)及850 hPa风场(箭头)

Fig. 6 500 hPa geopotential height (contour, unit: gpm) and 850 hPa horizontal winds (vector) from 29 July to 1 August 2023

盛的东南风急流源源不断向华北地区输送水汽,暴雨区南边界和东边界均为水汽净流入(张芳华等,2023)。同时,地形作用也是本次极端暴雨过程的主要原因之一(杨晓亮等,2023)。水汽输送在太行山东麓强迫抬升,形成强水汽辐合和垂直输送中心,并稳定维持。

由于2023年夏季华北南部降水异常偏多主要是本次天气过程所致,天气学角度的成因诊断本文在此不作详细分析。

3.3 黑龙江吉林盛夏降水异常偏多的成因

从图1可以看出,2023年夏季东北大部降水明显偏多,黑龙江和吉林尤为显著。统计表明,夏季两个省平均降水量为449 mm,较常年同期偏多23%,其中盛夏降水偏多32%,均位列1961年以来历史第四位。因此本文主要分析盛夏时段黑龙江和吉林两个省降水异常偏多的成因。

前文分析指出,2023年夏季西太副高整体略偏北。传统的统计模型表明,当西太副高偏北时,华北和东北南部易多雨(赵振国,1999)。但对比图1b可知,2023年夏季华北北部和辽宁降水并非偏多。事实上,副高仅8月偏北明显,6—7月均接近正常(图4e)。盛夏东北北部和东部降水明显偏多的直接原因是经向水汽输送异常强大,这一特征从图4c可以看出。在东北上空有一个异常明显的气旋式距平环流中心,对应于冷涡较强,冷涡东侧为很强的南风水汽输送。对东北地区而言,强的南风水汽输送是

其多雨最直接的原因(Gao and Gao,2018;Xu et al,2023)。图7a给出了1981—2023年盛夏($35^{\circ}\sim 45^{\circ}\text{N}$ 、 $125^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$)区域平均的850 hPa经向风距平。可以看出,2023年经向风速为1981年以来最强。事实上,2023年盛夏东北东侧异常偏强的水汽输送并非仅仅出现在对流层低层。图7b给出了1000~100 hPa沿 $125^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$ 平均经向风和距平垂直-纬度剖面图,可以看到强南风及南风距平中心位于对流层中高层。从距平看,850~200 hPa均为正距平中心。这表明,2023年盛夏东北东侧的强南风水汽输送位于整个对流层,也即整层水汽输送强盛,造成了黑龙江和吉林显著多雨。

经向水汽输送的异常强大与位于朝鲜半岛及以东、西太副高主体北侧的异常强的高度场正距平中心,即小笠原高压(Enomoto et al,2003)有密切关联。统计表明,2023年盛夏($35^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$ 、 $140^{\circ}\sim 170^{\circ}\text{E}$)区域的位势高度场亦极为强盛,为1981年以来历史第二强,仅次于2016年。研究表明,小笠原高压具有相当的正压结构,贯穿整个对流层(Enomoto et al,2003),与对流层中层的高压中心相对应,在对流层低层日本海及以东地区出现了明显的反气旋式环流异常。在其引导下,源自西北太平洋的丰沛水汽源源不断输送至我国东北地区,给该地区降水异常偏多创造了有利条件。

已有研究发现,初夏巴伦支海海冰密集度减小造成的近地表异常热力条件往往会激发巴伦支海地区的异常上升运动,从而引发经向翻转环流,以波列

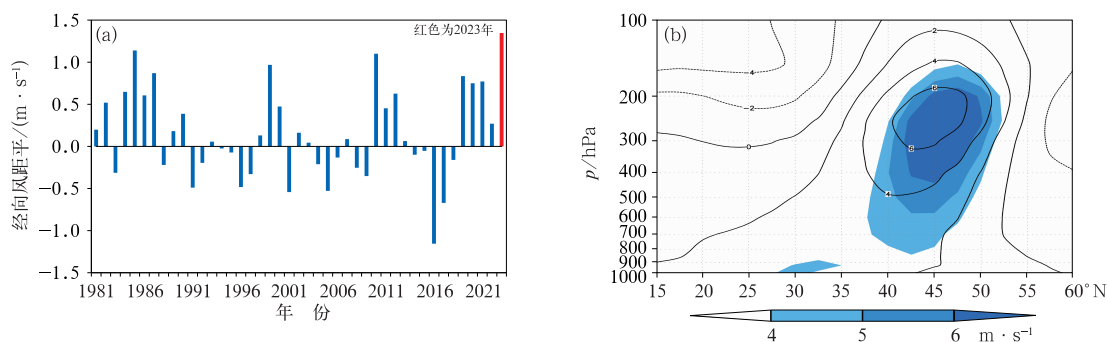


图7 (a)1981—2023年逐年盛夏($35^{\circ}\sim 45^{\circ}\text{N}$ 、 $125^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$)区域平均850 hPa经向风距平, (b)2023年盛夏 $125^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$ 平均经向风(等值线,单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)及距平(填色)垂直剖面
Fig. 7 (a) The 850 hPa meridional wind anomaly in ($35^{\circ}\sim 45^{\circ}\text{N}$, $125^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$) in mid-summer from 1981 to 2023, (b) vertical profile of meridional wind (contour, unit: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) and anomaly (colored) averaged along $125^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$ in mid-summer 2023

的形式延伸到中纬度地区;该波列向南传播,并在里海上空形成异常下沉运动,进一步诱发纬向翻转环流,表现出东西向的波列,即丝绸之路遥相关型。丝绸之路遥相关型沿副热带急流向东传播至东亚,并在朝鲜半岛至日本上空附近引起反气旋式环流异常,即小笠原高压(Enomoto et al, 2003; He et al, 2018; Han et al, 2021)。由图 8 可见,2023 年 6 月,巴伦支海海冰密集度较常年同期明显偏低,70°~90°N、0°~60°E 区域平均标准化海冰密集度指数为-1.14。2023 年夏季,欧亚中纬度地区 200 hPa 经向风距平场呈现清晰的南风 and 北风交错分布的结构,里海北部、巴尔喀什湖、贝加尔湖以南、朝鲜半岛以北分别为“-+-+”的经向风异常,这与丝绸之路遥相关型负位相的典型模态基本相符。因此,2023 年初夏巴伦支海海冰密集度明显偏低,通过热力作用激发丝绸之路遥相关型负位相,进而造成其下游小笠原高压的显著增强,是导致盛夏我国东北降水异常偏多的主要原因。

另一方面,局地下垫面海温热力作用也是日本海东部位势高度异常偏强的原因之一。盛夏全球海温监测结果表明,2023 年 7—8 月在北太平洋地区均为海温正距平,其中在北太平洋西侧也即黑潮及其延伸体地区为超过 1℃的正距平中心。在上述位势高度正距平区,即 35°~50°N、140°~170°E 区域下方,区域平均盛夏海温距平为 1.8℃,是 1981 年以来最高值。暖海温的热力效应使得对流层热力膨胀,加强了位势高度场的同时,也增强了正位势高度中心西侧的南风分量。这可能是 2023 年盛夏东北东部经向水汽输送异常偏强进而导致黑龙江和吉林显著多雨的另一个原因。

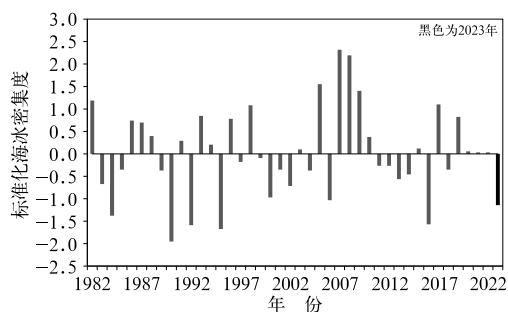


图 8 1982—2023 年 6 月巴伦支海海冰密集度标准化序列

Fig. 8 Standardized sea ice concentration in the Barents Sea in June from 1982 to 2023

4 结论与讨论

2023 年夏季,全国平均降水量较常年同期略偏少,但较 2022 年同期明显增多。空间上我国中东部降水整体呈“北多南少”的分布格局,降水明显偏多的区域主要集中在东北和华北等地区,其中松花江、海河流域汛情严重;西北地区大部降水明显偏少,其中新疆降水量为 1961 年以来历史最少。季节进程上,降水表现出“前少后多”的阶段特征,本文详细提供了我国东部季风区雨季进程起讫时间和强度的精细化特征。2023 年夏季,全国平均气温位列 1961 年以来历史第二位,仅次于 2022 年同期,北方高温日数异常偏多,京津冀鲁较常年偏多 1 倍以上,内蒙古西部及新疆等地高温日数也超过常年值的 7 成,上述地区均打破各自高温历史纪录。

2023 年夏季,东亚副热带夏季风强度较常年略偏强,500 hPa 位势高度距平场上欧亚中高纬整体呈“两槽一脊”的分布型,环流经向度较小,有利于我国大部气温偏高,尤其是北方地区。夏季西太副高偏强、偏西,南北位置在 6—7 月接近常年,8 月偏北显著。但对流层低层从菲律宾以东—东海—黄海区域整体表现为异常气旋式距平环流,与对流层中层的位势高度异常特征并不完全匹配,我国东部地区受气旋式环流西侧异常偏北风的影响,整体的水汽输送及辐合条件较差,不利于夏季降水偏多,尤其是长江中下游以南地区。

2023 年夏季华北南部降水异常偏多的原因主要是 7 月底至 8 月初的双台风外围环流和副高异常形态相配合所致。这一时期副高明显西伸北抬,形成一个控制在华北北部上空的高压坝。当台风杜苏芮残涡北上时,受该高压坝阻挡停滞,同时伴有台风卡努水汽的协同作用,使得低层强盛的东南风急流源源不断向华北地区输送水汽,同时太行山东麓地形也造成强迫抬升,形成强水汽辐合和垂直输送中心,并稳定维持。

东北北部和东部盛夏降水明显偏多的直接原因则是东北东侧经向水汽输送在整个对流层都异常强大。盛夏 35°~45°N、125°~140°E 区域平均的 850 hPa 经向风距平为 1981 年以来最强,这和盛夏位于朝鲜半岛及以东、西太副高主体北侧异常强的小笠原高压密切相关,小笠原高压具有相当的正压结构,贯穿整个对流层。其异常偏强一方面可能与

初夏巴伦支海海冰密集度减小有关,该地区海冰的减少可以通过丝绸之路遥相关波列沿副热带急流向东传播至东亚,并在朝鲜半岛至日本上空附近引起反气旋式环流异常;另一方面,黑潮区附近局地的下垫面海温热力作用也为 1981 年以来最高值,通过热力膨胀加强上空位势高度场的同时增强了正位势距平高度中心西侧的南风分量。

2023 年夏季,我国中东部地区雨型分布并不具有传统的雨型特征,与前人研究中提出的三类或四类雨型(赵振国,1999;孙林海等,2005)均存在着较大差异。一般情况下,华北地区降水偏多,则往往长江中下游降水偏少,华南降水偏多,自北向南形成“十一”的三极子型降水模态。但 2023 年夏季,华南北部降水偏多明显,长江中下游部分地区也同样偏多达 2~5 成,而华南地区降水偏少,这与传统雨带分布特征和规律认知不符。实际上,在今年的汛期降水预测中,多个传统预测信号对汛期降水的指示意义均与实况出现了较大偏差,例如无论是冬季的三峰拉尼娜事件还是夏季的暖海温快速发展、北大西洋三极子负位相等,其影响均和历史资料统计不符,这对传统的物理统计预测模型提出了很大的挑战,也表明需要进一步加强对全球变暖背景下传统汛期降水影响因子及影响途径新变化开展深入分析。

参考文献

- 陈丽娟,袁媛,杨明珠,等,2013. 海温异常对东亚夏季风影响机理的研究进展[J]. 应用气象学报,24(5):521-532. Chen L J, Yuan Y, Yang M Z, et al, 2013. A review of physical mechanisms of the global SSTA impact on EASM[J]. J Appl Meteor Sci, 24(5):521-532(in Chinese).
- 丁一汇,2013. 中国气候[M]. 北京:科学出版社:576. Ding Y H, 2013. Chinese Climate[M]. Beijing: Science Press: 576(in Chinese).
- 丁一汇,柳俊杰,孙颖,等,2007. 东亚梅雨系统的天气-气候学研究[J]. 大气科学,31(6):1082-1101. Ding Y H, Liu J J, Sun Y, et al, 2007. A study of the synoptic-climatology of the Meiyu system in East Asia[J]. Chin J Atmos Sci, 31(6):1082-1101(in Chinese).
- 黄荣辉,蔡榕硕,陈际龙,等,2006. 我国旱涝气候灾害的年代际变化及其与东亚气候系统变化的关系[J]. 大气科学,30(5):730-743. Huang R H, Cai R S, Chen J L, et al, 2006. Interdecadal variations of drought and flooding disasters in China and their association with the East Asian climate system[J]. Chin J Atmos Sci, 30(5):730-743(in Chinese).
- 李维京,1999. 1998 年大气环流异常及其对中国气候异常的影响[J]. 气象,25(4):20-25. Li W J, 1999. General atmospheric circulation anomaly in 1998 and their impact on climate anomaly in China[J]. Meteor Mon, 25(4):20-25(in Chinese).
- 李永华,徐海明,刘德,2009. 2006 年夏季西南地区东部特大干旱及其大气环流异常[J]. 气象学报,67(1):122-132. Li Y H, Xu H M, Liu D, 2009. Features of the extremely severe drought in the east of Southwest China and anomalies of atmospheric circulation in summer 2006[J]. Acta Meteor Sin, 67(1):122-132(in Chinese).
- 刘芸芸,李维京,艾锐秀,等,2012. 月尺度西太平洋副热带高压指数的重建与应用[J]. 应用气象学报,23(4):414-423. Liu Y Y, Li W J, Ai W X, et al, 2012. Reconstruction and application of the monthly western Pacific subtropical high indices[J]. J Appl Meteor Sci, 23(4):414-423(in Chinese).
- 刘芸芸,王永光,柯宗建,2021. 2020 年夏季我国气候异常特征及成因分析[J]. 气象,47(1):117-126. Liu Y Y, Wang Y G, Ke Z J, 2021. Characteristics and possible causes for the climate anomalies over China in summer 2020[J]. Meteor Mon, 47(1):117-126(in Chinese).
- 任芝花,余予,邹凤玲,等,2012. 部分地面要素历史基础气象资料质量检测[J]. 应用气象学报,23(6):739-747. Ren Z H, Yu Y, Zou F L, et al, 2012. Quality detection of surface historical basic meteorological data[J]. J Appl Meteor Sci, 23(6):739-747(in Chinese).
- 孙林海,赵振国,许力,等,2005. 中国东部季风区夏季雨型的划分及其环流成因分析[J]. 应用气象学报,16(S1):56-62. Sun L H, Zhao Z G, Xu L, et al, 2005. Study of summer rain pattern in monsoon region of East China and its circulation cause[J]. J Appl Meteor Sci, 16(S1):56-62(in Chinese).
- 杨晓亮,金晓青,孙云,等,2023. “23·7”河北太行山东麓罕见特大暴雨特征及成因[J]. 气象,49(12):1451-1467. Yang X L, Jin X Q, Sun Y, et al, 2023. Evolution characteristics and formation of the July 2023 severe torrential rain on the eastern foothills of Taihang Mountains in Hebei Province[J]. Meteor Mon, 49(12):1451-1467(in Chinese).
- 章大全,袁媛,韩荣青,2023. 2022 年夏季我国气候异常特征及成因分析[J]. 气象,49(1):110-121. Zhang D Q, Yuan Y, Han R Q, 2023. Characteristics and possible causes of the climate anomalies over China in summer 2022[J]. Meteor Mon, 49(1):110-121(in Chinese).
- 张芳华,杨舒楠,胡艺,等,2023. “23·7”华北特大暴雨过程的水汽特征[J]. 气象,49(12):1421-1434. Zhang F H, Yang S N, Hu Y, et al, 2023. Water vapor characteristics of the July 2023 severe torrential rain in North China[J]. Meteor Mon, 49(12):1421-1434(in Chinese).
- 张庆云,陶诗言,陈烈庭,2003a. 东亚夏季风指数的年际变化与东亚大气环流[J]. 气象学报,61(4):559-568. Zhang Q Y, Tao S Y, Chen L T, 2003a. The inter-annual variability of East Asian summer monsoon indices and its association with the pattern of general circulation over East Asia[J]. Acta Meteor Sin, 61(4):559-568(in Chinese).

- 张庆云,陶诗言,张顺利,2003b. 夏季长江流域暴雨洪涝灾害的天气气候条件[J]. 大气科学,27(6):1018-1030. Zhang Q Y, Tao S Y, Zhang S L, 2003b. The persistent heavy rainfall over the Yangtze River Valley and its associations with the circulations over East Asian during summer[J]. Chin J Atmos Sci, 27(6): 1018-1030(in Chinese).
- 张顺利,陶诗言,2001. 青藏高原积雪对亚洲夏季风影响的诊断及数值研究[J]. 大气科学,25(3):372-390. Zhang S L, Tao S Y, 2001. The influences of snow cover over the Tibetan Plateau on Asian summer monsoon[J]. Chin J Atmos Sci, 25(3):372-390 (in Chinese).
- 赵俊虎,陈丽娟,章大全,2022. 2021年夏季我国气候异常特征及成因分析[J]. 气象,48(1):107-121. Zhao J H, Chen L J, Zhang D Q, 2022. Characteristics and causes for the climate anomalies over China in summer 2021[J]. Meteor Mon, 48(1):107-121(in Chinese).
- 赵振国,1999. 中国夏季旱涝及环境场[M]. 北京:气象出版社:68-72. Zhao Z G, 1999. Summer Drought and Flood and Their Associated Circulation Anomalies over China[M]. Beijing: China Meteorological Press:68-72(in Chinese).
- 郑国光,2019. 中国气候[M]. 北京:气象出版社. Zheng G G, 2019. Climate in China[M]. Beijing: China Meteorological Press (in Chinese).
- Ashok K, Behera S K, Rao S A, et al, 2007. El Niño Modoki and its possible teleconnection[J]. J Geophys Res Oceans, 112(C11): C11007.
- Donat M G, Lowry A L, Alexander L V, et al, 2016. More extreme precipitation in the world's dry and wet regions[J]. Nat Climate Change, 6(5):508-513.
- Enomoto T, Hoskins B J, Matsuda Y, 2003. The formation mechanism of the Bonin high in August[J]. Quart J Roy Meteor Soc, 129(587):157-178.
- Gao J, Gao H, 2018. Influence of the Northeast Cold Vortex on flooding in Northeast China in summer 2013[J]. J Meteor Res, 32(2):172-180.
- Han T T, Zhang M H, Zhu J W, et al, 2021. Impact of early spring sea ice in Barents Sea on midsummer rainfall distribution at Northeast China[J]. Climate Dyn, 57(3):1023-1037.
- He S P, Gao Y Q, Furevik T, et al, 2018. Teleconnection between sea ice in the Barents Sea in June and the Silk Road, Pacific-Japan and East Asian rainfall patterns in August[J]. Adv Atmos Sci, 35(1):52-64.
- IPCC, 2021. Summary for policymakers[M] // Masson-Delmotte V, Zhai P, Pirani A, et al. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press:3949.
- Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al, 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project[J]. Bull Amer Meteor Soc, 77(3): 437-471.
- Kistler R, Kalnay E, Collins W, et al, 2001. The NCEP-NCAR 50-year reanalysis: monthly means CD-ROM and documentation [J]. Bull Amer Meteor Soc, 82(2):247-268.
- Reynolds R W, Smith T M, Liu C Y, et al, 2007. Daily high-resolution-blended analyses for sea surface temperature[J]. J Climate, 20(22):5473-5496.
- Shi N, Chen L W, Xia D D, 2002. A preliminary study on the global land annual precipitation associated with ENSO during 1948—2000[J]. Adv Atmos Sci, 19(6):993-1003.
- Xu S Q, Gao H, Fang Y H, et al, 2023. Dominant role of cold vortices on the precipitation in Northeast China still exists in midsummer [J]. Int J Climatol, 43(15):7119-7131.
- Zhang R H, Sumi A, Kimoto M, 1999. A diagnostic study of the impact of El Niño on the precipitation in China[J]. Adv Atmos Sci, 16(2):229-241.

(本文责编:张芳 侯翠梅)