

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).

2022 年夏季我国气候异常特征及成因分析^{*}

章大全^{1,2} 袁媛¹ 韩荣青¹

1 国家气候中心,中国气象局气候研究开放实验室,北京 100081

2 南京信息工程大学气象灾害预报预警与评估协同创新中心,南京 210044

提 要: 2022 年夏季我国气候异常特征突出,区域性、阶段性旱涝灾害明显,降水空间差异显著。利用观测资料和再分析数据,基于合成和相关分析等方法,总结和探讨东亚夏季风和我国气候异常特征及可能成因。结果表明:2022 年东亚夏季风季节进程总体提前,南海夏季风爆发偏早,华南前汛期、西南雨季、江南和长江中下游梅雨、华北和东北雨季开始均较常年偏早。2022 年夏季我国气候总体温高雨少,全国平均气温为 1961 年以来历史同期最高,全国平均降水量为历史同期第二少,盛夏长江流域发生破纪录的高温伏旱。夏季降水异常的阶段性特征显著,6 月上中旬主雨带位于华南,6 月下旬至 8 月,随西太平洋副热带高压明显北跳,多雨区北移至华北、黄淮、东北、西北地区东部等地,我国东部地区降水呈“北多南少”分布。2022 年夏季气候异常与海温等外强迫因子密切相关。La Niña 事件在春季再次发展,赤道中太平洋冷海温加强和海洋性大陆上空对流活跃,热带印度洋偶极子负位相异常偏强,黑潮及延伸区海温偏暖,导致西太平洋副热带高压加强西伸和北抬,对夏季主雨带位置偏北和长江流域持续性异常高温天气起到重要作用。

关键词: 夏季降水,东亚夏季风,西太平洋副热带高压,拉尼娜,菲律宾异常反气旋

中图分类号: P461

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2022.112501

Characteristics and Possible Causes of the Climate Anomalies over China in Summer 2022

ZHANG Daquan^{1,2} YUAN Yuan¹ HAN Rongqing¹

1 Laboratory for Climate Studies, National Climate Centre, CMA, Beijing 100081

2 Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters,
Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

Abstract: The climate over China in summer 2022 was extremely abnormal, with significant regional floods and droughts and spatial difference in rainfall distribution. Based on observational and reanalysis dataset, the characteristics and possible causes of East Asia summer monsoon (EASM) and climate anomalies over China was summarized and investigated through correlation and composite analysis. It has been found that the seasonal march of EASM was ahead of climatological mean in general. The onset date of South China Sea monsoon, and the start dates of pre-Meiyu rainy season in South China, rainy season in Southwest China, Meiyu in Jiangnan and the middle and lower reaches of Yangtze River, rainy season in North China and Northeast China were all earlier than in normal years. The average surface temperature over China in summer 2022 ranked the highest since 1961, while the average precipitation across the whole China was the

^{*} 国家自然科学基金委员会-云南省人民政府联合基金项目(U1902209)、国家自然科学基金项目(41730964、41975091、42175047、41605078)和中国长江三峡集团有限公司项目(0704181)共同资助

2022 年 10 月 8 日收稿; 2022 年 11 月 25 日收修定稿

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

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

second lowest compared with the rainfall in the same period in history. The Yangtze River Basin experienced record-breaking high temperatures and drought in midsummer. The distribution of precipitation also showed significant intraseasonal variability. In early and middle June, the main rain belt was in South China. From late June through August, the western Pacific subtropical high (WPSH) shifted northward bringing the main rain belt to shift to North China, Northeast China, Huanghuai Region and eastern Northwest China, and the precipitation in the eastern part of China was “more in the north and less in the south”. The heat wave and drought persisted in the Yangtze River Valley throughout the summer. The abnormal climate in summer 2022 was closely related to the oceanic external forcing. The reinforcement of La Niña in spring and intensified negative SST anomalies in central Pacific, active convection over maritime continent, developing negative phase of Indian Ocean dipole mode, the Kuroshio and its warm extension area all contributed to the intensification and northwestward extension of WPSH, the northward location of the summer main rain belt and the record-breaking heat wave in the Yangtze River Valley.

Key words: summer rainfall, East Asian summer monsoon, western Pacific subtropical high, La Niña, Philippine abnormal anticyclone

引 言

中国地处东亚季风区,气候复杂多变,是世界上自然灾害最严重的国家之一。统计显示,在中国所有自然灾害导致的经济损失中,气象灾害占七成以上(丁一汇,2013)。随着全球变暖的加剧,中国的气象灾害呈明显上升趋势(Allan et al,2021)。另一方面,伴随着中国社会经济的快速发展,气象灾害造成的损失也越来越大。因此,认识和理解气候异常成因,提升短期气候预测准确率,对于防灾减灾具有重要意义。

每年夏季(6—8月)是中国的主汛期,也是各流域防汛抗旱的关键时段。中国夏季天气气候受到多因子的影响和控制,既有太平洋、印度洋和大西洋海温异常,青藏高原和欧亚积雪分布,南北极海冰以及土壤湿度等外强迫信号,也包括西太平洋副热带高压(以下简称西太副高)、南亚高压、西风急流、欧亚中高纬度槽脊活动等大气环流因子。每年夏季气候异常往往是多因子协同作用的结果,并且不同影响因素之间存在着复杂的相互作用和联系。另一方面,外强迫信号自身及其对我国天气气候的影响存在显著的年代际变化。例如,作为季节到年际尺度热带海气系统的最强信号,20世纪以来,ENSO的海温分布形态、触发机制、演变规律和气候影响均发生了明显变化(Ashok et al,2007;Yuan and Yang,2012;Yuan et al,2012;Hu et al,2020;Ding et al,2022),这给我们认识其发生发展规律和气候影响提出了新

的挑战。因此,加强对夏季重大气候异常事件的成因诊断分析,明确外强迫因子和大气内部动力过程对气候异常的影响(郑志海和王永光,2018;顾薇和陈丽娟,2019;丁婷和高辉,2020;刘芸芸等,2021;赵俊虎等,2022),对于提升短期气候预测准确率有重要作用。

2022年夏季中国气候总体“温高雨少”,旱涝分布空间差异明显,主要多雨区在中国北方,辽河和海河流域降水量明显偏多,而太湖和长江流域明显偏少。本文回顾了2022年夏季降水异常分布、东部雨季季节进程、台风活动和极端高温事件特征,从东亚夏季风主要环流系统的季节和次季节尺度演变特征,以及海温等外强迫因子的角度进行成因分析,以期加深对2022年夏季气候异常机理的理解,为汛期气候预测提供参考依据。

1 资料和方法

本文使用的资料包括中国气象局国家气象信息中心整编发布的“中国地面气象要素日值数据集(V3.0)”,包括中国2474个基本、基准气象站、一般气象站1951年1月以来的逐日气温和降水量观测资料(任芝花等,2012)。美国气候预测中心(CPC)发布的全球器测降水逐日分析数据(V1.0)(Xie et al,2007;Chen et al,2008)。美国国家环境预报中心(NCEP)和国家大气研究中心(NCAR)发布的大气再分析资料(Kalnay et al,1996),水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。美国国家海洋与大气局(NOAA)发

布的全球最优插值逐月海温资料(Reynolds et al, 2007),水平分辨率为 $2^{\circ}\times 2^{\circ}$ 。其中大气再分析资料长度为1948年1月至2022年8月,海温资料长度为1981年12月至2022年8月。

本文中西太副高指数采用刘芸芸等(2012)定义的指标,南亚高压指数采用张琼等(2000)定义的指标。文中部分图形和环流指数由国家气候中心开发的“气象灾害影响评估系统”和“气候与气候变化监测预测系统”生成。本文中冬季指上一年12月至当年2月,春季为3—5月,夏季为6—8月。气候常年值为1991—2020年的平均值。

2 2022年夏季中国气候异常特征

2.1 降水异常和流域汛情

2022年夏季全国平均降水量为290.6 mm,较常年同期(331.5 mm)偏少12.3%,为1961年以来历史同期第二少,仅多于1972年的269.1 mm(图1a)。我国中东部降水总体呈“北多南少”分布(图1b),除东北中南部、华北中部、华东北部、西北地区东部、华南东部、新疆西部、西藏西部等地降水偏多2成至1倍外,全国其余大部地区降水量较常年同期偏少或接近常年,其中新疆东部、甘肃西部、内蒙古西部、西藏中部、四川东南部和重庆西部等地偏少5~8成,新疆东部局部偏少8成以上。吉林降水量为历史最多,四川和西藏为历史最少,重庆为第二少。全国共有219个国家气象站(占全国总站数9.0%)日降水量达到极端事件标准,其中河北任县(298.7 mm)、甘肃榆中(130.6 mm)等45个站日降水量突破历史极值。

从各大流域来看,辽河流域(519.1 mm)降水量较常年同期偏多37.6%,为1961年以来历史同期第四多;海河流域(436.6 mm)降水量较常年同期偏多30.5%;黄河流域(306.2 mm)、松花江流域(389.8 mm)和淮河流域(492.2 mm)分别偏多19.9%、13.1%和7.3%;长江流域(358.9 mm)降水量较常年同期偏少32.5%,为1961年以来历史同期最少;太湖流域(296.8 mm)降水量较常年同期偏少47.3%,为历史同期第四少;珠江流域降水量(742.2 mm)接近常年同期(崔童等,2022)。

2.2 东亚夏季风和我国东部雨季进程

2022年,东亚夏季风的建立和我国东部雨季的

季节进程总体偏早。南海夏季风于5月第3候爆发,较常年(5月第4候)略偏早。如表1所示,华南前汛期于3月24日开始,较常年(4月9日)偏早16 d;6月22日结束,较常年(7月4日)偏早12 d;雨量为856 mm,较常年偏多19.1%。江南地区于5月29日入梅,较常年偏早11 d;于7月8日出梅,较常年偏早3 d;梅雨量为426.1 mm,较常年偏多7.9%。长江中下游地区于5月29日入梅,较常年偏早16 d;于7月8日出梅,较常年偏早8 d;梅雨量为258.3 mm,较常年偏少18.8%。江淮地区于7月4日入梅,较常年偏晚12 d;于7月31日出梅,较常年偏晚17 d;梅雨量为179.6 mm,较常年偏少30.2%。华北雨季于7月13日开始,较常年偏早5 d;于9月4日结束,较常年偏晚18 d,雨季长达53 d,为1961年以来的第三长(仅次于1973年和2021年的59 d)。华北雨季降水量为214.7 mm,较常年偏多57.2%。

从中国东部($110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$)平均降水量逐日演变(图2)也可以看出雨季进程总体偏早的特征。2022年华南前汛期开始较常年偏早,但开汛后华南地区降水经历了一个明显的间歇期(图略),前汛期主要降水过程在5月下旬至6月上中旬。其中6月1—21日,华南地区平均累计雨量为348.1 mm,较常年同期偏多61%,为1961年以来历史同期第二多(图3a)。梅雨期开始总体偏早,但降水持续性差,强度偏弱。6月下旬随着西太副高北跳,我国东部主雨区由江南南部到华南北移至华北、黄淮、东北、西北地区东部等地(图3b)。北方雨季开始偏早、强度偏强、持续时间长。除7月2日台风暹芭在广东电白沿海登陆后北上,自南向北影响16个省(自治区、直辖市)带来的一条经向雨带外,中国东部地区降水“北多南少”的分布格局从6月下旬持续至8月底。

2.3 台风活动

2022年夏季,西北太平洋及南海共有9个台风生成,其中3个台风登陆我国,生成个数较常年同期(11.1个)偏少,登陆个数较常年同期(4.8个)偏少。3号台风暹芭于7月2日在广东电白沿海登陆,是今年首个登陆我国的台风,登陆时中心附近最大风力达到12级($35\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$),为1991年以来初台登陆强度第四强。

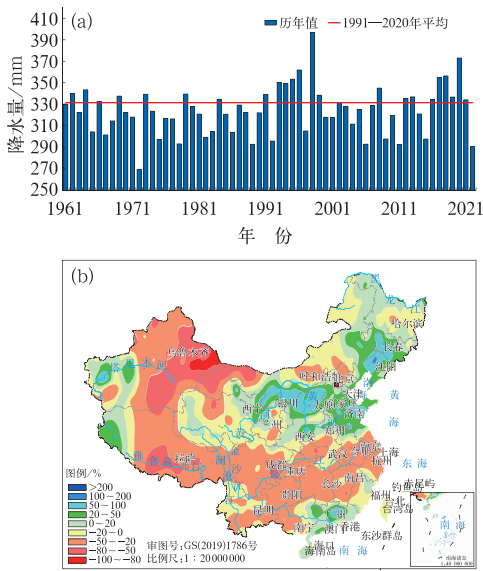


图 1 (a)1961—2022 年夏季全国平均降水量历年序列和(b)2022 年夏季全国降水量距平百分率分布

Fig.1 (a) Time series of the averaged summer precipitation in China during 1961—2022, and (b) distribution of precipitation anomaly percentage in summer 2022

2.4 气 温

2022 年夏季全国平均气温为 22.3°C , 较常年同期偏高 1.1°C (图 4a), 为 1961 年有完整气象观测记录以来历史同期最高。全国大部地区气温较常年同期偏高 $0.5\sim 2^{\circ}\text{C}$, 华东中部、华中中部、西南地区东北部等地偏高 $2\sim 4^{\circ}\text{C}$ (图 4b)。湖南、浙江、江苏、湖北、安徽、江西、上海、四川、重庆、贵州、甘肃、陕西、河南、宁夏、青海、新疆、西藏 17 个省(自治区、直辖市)平均气温均为历史最高, 福建为第二高。

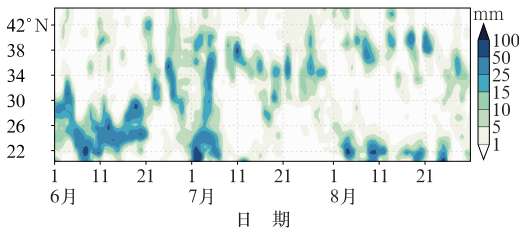


图 2 2022 年 6 月 1 日至 8 月 31 日中国东部 ($110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$) 平均降水量的时间-纬度剖面

Fig.2 Time-latitude cross-section of the mean precipitation averaged over $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ in eastern China from 1 June to 31 August 2022

表 1 2022 年中国东部雨季进程

Table 1 The duration of each rainy season in eastern China in 2022

雨季名称	开始时间(气候平均)	结束时间(气候平均)	雨季长度(气候平均)/d	降水量(气候平均)/mm
华南前汛期	3 月 24 日(4 月 9 日)	6 月 22 日(7 月 4 日)	90(86)	856.0(718.7)
江南梅雨	5 月 29 日(6 月 9 日)	7 月 8 日(7 月 10 日)	40(31)	426.1(395.0)
长江中下游梅雨	5 月 29 日(6 月 14 日)	7 月 8 日(7 月 16 日)	40(32)	258.3(318.2)
江淮梅雨	7 月 4 日(6 月 23 日)	7 月 31 日(7 月 14 日)	27(21)	179.6(257.2)
华北雨季	7 月 13 日(7 月 18 日)	9 月 4 日(8 月 17 日)	53(30)	214.7(136.6)

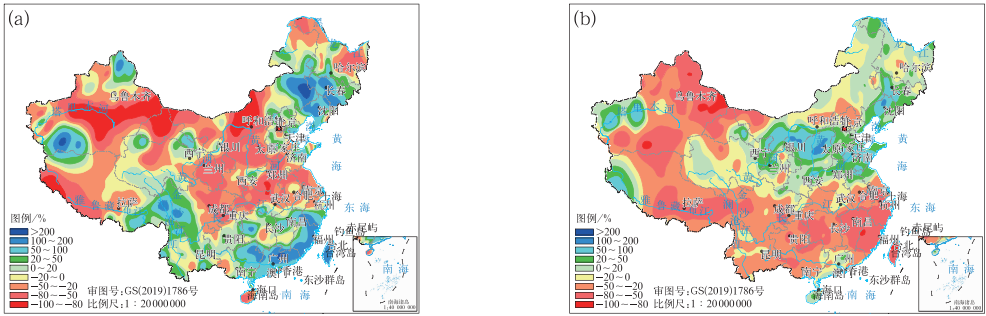


图 3 2022 年(a)6 月上中旬和(b)6 月下旬至 8 月全国降水量距平百分率分布

Fig.3 Distribution of precipitation anomaly percentage in China (a) in the first two dekads of June and (b) from late June through August 2022

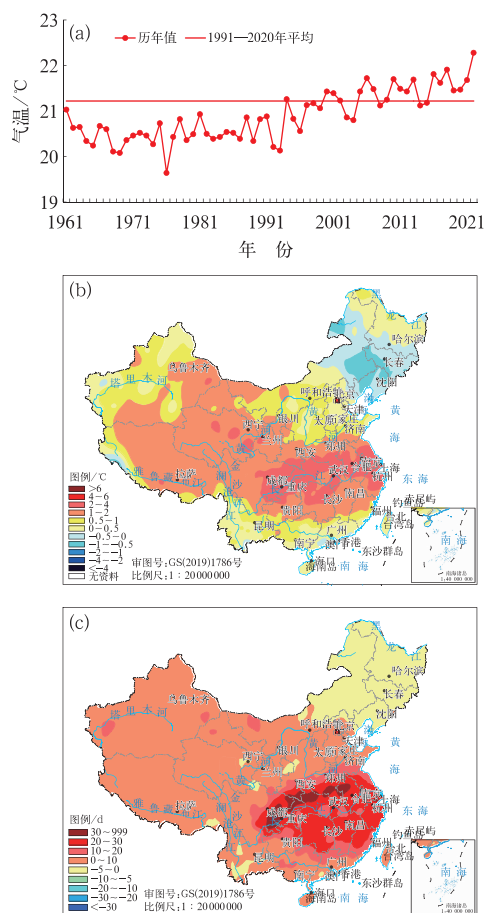


图 4 (a)1961—2022 年夏季全国平均气温历年序列,2022 年夏季(b)气温距平和(c)高温日数距平分布

Fig. 4 (a) Time series of averaged summer temperature in China from 1961 to 2022, (b, c) spatial distributions of (b) temperature anomaly and (c) number of days exceeding 35°C in summer 2022

全国平均高温日数为 14.3 d,较常年同期偏多 6.3 d,为 1961 年以来历史同期最多。华东中南部、华中大部、西南地区东北部等地高温日数较常年偏多 20 d 以上(图 4c)。全国共 366 个国家气象站(占全国总站数 15.1%)日最高气温持平或突破历史极值。重庆北碚(45.0°C)、江津(44.7°C)、湖北竹山(44.6°C)等 15 个站日最高气温达 44°C 及以上。全国共 449 个国家气象站(占全国总站数 18.5%)连续高温日数持平或突破历史极值。福建浦城(42 d)、湖南常宁(42 d)、江西广丰(42 d)、四川合江(37 d)、重庆北碚及沙坪坝(37 d)等 78 个站连续高温日数达 35 d 及以上。

6 月 13 日至 8 月 30 日,我国中东部出现 1961 年

以来综合强度最强的高温过程。此次高温事件持续 79 d,为 1961 年以来我国高温过程持续时间最长。覆盖范围广,35°C 以上覆盖 1692 个站(占全国总站数 70%),为 1961 年以来历史第二多;37°C 以上覆盖 1445 个站(占全国总站数 60%),为 1961 年以来最多。极端性强,有 361 个站(占全国总站数 14.9%)日最高气温达到或超过历史极值。

2022 年盛夏(7—8 月),受持续高温少雨的影响,长江中下游和川渝地区出现了严重的夏伏旱。此次长江中下游及川渝地区干旱范围广、持续时间长、强度强、影响大(崔童等,2022)。川、渝、黔、湘、赣、浙、鄂、苏、皖、沪等 10 省(直辖市)平均降水量之少(178.1 mm)、平均气温之高(29.0°C)、高温日数之多(34.1 d)均为 1961 年以来历史同期之最。

3 夏季气候异常成因分析

2022 年夏季,欧亚中高纬度为“两脊一槽”型环流,西太副高异常偏强,西伸脊点偏西,脊线位置 6—7 月较常年偏南,8 月偏北,北界持续偏北。西北太平洋对流层低层盛行反气旋式距平环流,菲律宾、南海和孟加拉湾上空为东风距平,我国南方大部为西南风距平。夏季降水和环流变化的阶段性特征明显,6 月上中旬与 6 月下旬至 8 月的降水异常分布和环流背景存在显著差异,下面分别针对这两个时段进行气候异常成因分析。

3.1 6 月上中旬大气环流异常特征分析

2022 年 6 月上中旬,西太副高强度和西伸脊点位置接近常年同期,脊线位置较常年略偏南(图 5a)。菲律宾及南海上空对流层低层为异常反气旋式环流,孟加拉湾北部为异常气旋式环流,来自南海和孟加拉湾的西南水汽输送偏强(图 5b)。另一方面,欧亚中高纬 500 hPa 位势高度距平场呈“西低东高”分布,经向度较大,乌拉尔山至贝加尔湖西侧为低压槽,贝加尔湖至鄂霍次克海上空为高压脊,东亚大槽较常年同期略偏强(图 5a),欧亚中高纬地区多短波槽脊活动。国家气候中心东北冷涡监测显示,6 月上中旬共有 4 次冷涡活动过程,时段分别为 6 月 1—3 日、4—6 日、10—12 日和 11—13 日。东北冷涡活动频繁,并且活动路径偏南,一方面导致东北中部和南部、内蒙古东部降水明显偏多;另一方面引导冷空气频繁南下,抑制了西太副高的北抬,并与

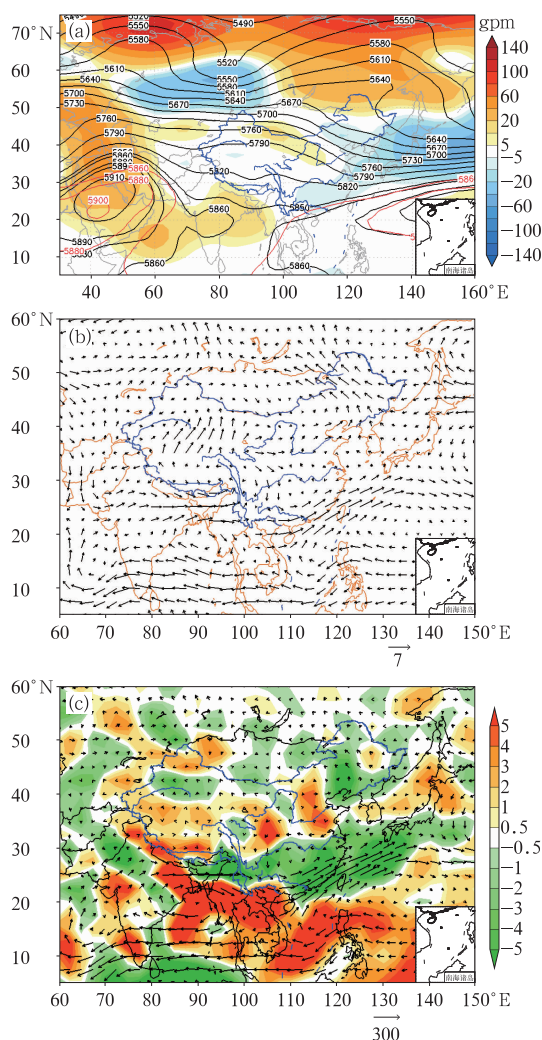


图5 2022年6月上中旬平均大气环流距平场

(a)500 hPa 位势高度(等值线,其中

红色等值线表示气候平均的 5880 gpm 和 5860 gpm)

及距平场(填色),(b)850 hPa 距平风场

(风矢,单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$),(c)整层

水汽通量(矢量,单位: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

和水汽通量散度(填色,单位: $10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig. 5 Average atmospheric circulation anomaly

in the first two dekads of June 2022

(a) 500 hPa geopotential height

(contours, red contours indicate the climatically averaged 5880 gpm and 5860 gpm),

(b) 850 hPa horizontal wind (wind vector, unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$),

(c) vertically integrated water vapor flux

(vector, unit: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

and its corresponding divergence

(colored, unit: $10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

西太副高和季风环流引导的水汽输送相配合,导致

我国江南南部至华南地区为水汽通量异常辐合区(图 5c),降水较常年同期显著偏多。

每年 5—6 月东北冷涡活动最为频繁(He et al, 2007;刘刚等,2015;房一禾等,2022)。随着春夏东亚急流的北进和减弱,冷涡日数逐渐增加,一般于 6 月 6 日前后达到峰值(谢作威和布和朝鲁,2012),并在长江中下游入梅后逐渐减少。研究表明,东北冷涡年际变率与赤道中东太平洋和北大西洋的海温异常密切相关。例如,在 La Niña 事件成熟或发展阶段,东北冷涡往往偏强(苗春生等,2006);春季北大西洋三极型海温模态(NAT)异常可通过海气相互作用,激发欧亚中高纬度遥相关波列,进而影响东北冷涡降水(Zuo et al,2013)。当春季 NAT 处于正位相时,春末夏初东北冷涡活跃(Fang et al, 2018)。国家气候中心全球海洋监测显示,2021 年秋季开始的赤道中东太平洋 La Niña 事件在 2022 年春季再次发展加强,Niño3.4 指数为 -1.2°C (图 6a),同时 2022 年春夏季 NAT 持续正位相(图 6b,6c)。因此,持续的 La Niña 事件和北大西洋海温 NAT 正位相为 2022 年初夏东北冷涡活跃提供了重要的海温背景条件。

3.2 6 月下旬至 8 月大气环流异常特征分析

6 月下旬至 8 月,500 hPa 欧亚中高纬度环流形势发生明显调整,由前期“西低东高”型转为“两脊一槽”型,乌拉尔山以西高压脊发展,贝加尔湖至我国东北北部为宽广的低压槽控制,鄂霍次克海及以东为高压脊。我国大陆大部地区为偏强的大陆高压控制,东亚沿岸上空为高度场正距平,东亚大槽偏弱,西太副高较常年明显偏强、偏西,控制我国长江以南大部地区。东亚位势高度距平场的经向分布由前期“北高南低”转为“北低南高”(图 7a)。在对流层低层,菲律宾和南海上空盛行东风距平,菲律宾以北仍为异常反气旋环流控制,但其位置明显向北移动,范围向北扩展(图 7b),从而引导来自西北太平洋的水汽向我国长江以北地区输送,我国南方大部为水汽通量异常辐散区(图 7c),导致我国中东部降水呈“北多南少”异常分布。

西太副高各项特征指数显示(图 8),从初夏到盛夏,西太副高强度由接近常年转为异常偏强,其中 8 月强度指数排名为 1961 年以来历史第一。7 月和 8 月西太副高西伸脊点位置均异常偏西,并且多次出现西太副高与其西侧的大陆高压和伊朗高压打

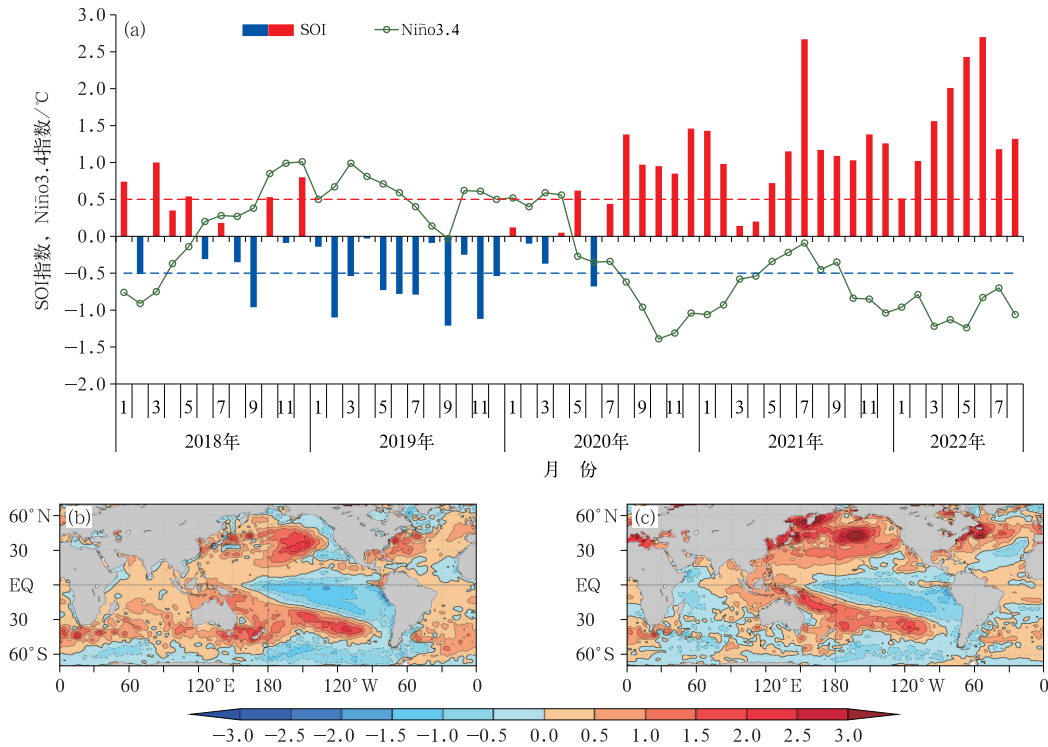


图 6 (a) 2018 年 1 月至 2022 年 8 月 Niño3.4 指数和南方涛动(SOI)指数
以及 2022 年(b)春季和(c)夏季海表温度距平分布

Fig. 6 (a) Monthly Niño3.4 index and standardized southern oscillation index (SOI) from January 2018 to August 2022, and (b, c) spatial distribution of sea surface temperature (SST) anomalies in (b) spring and (c) summer of 2022

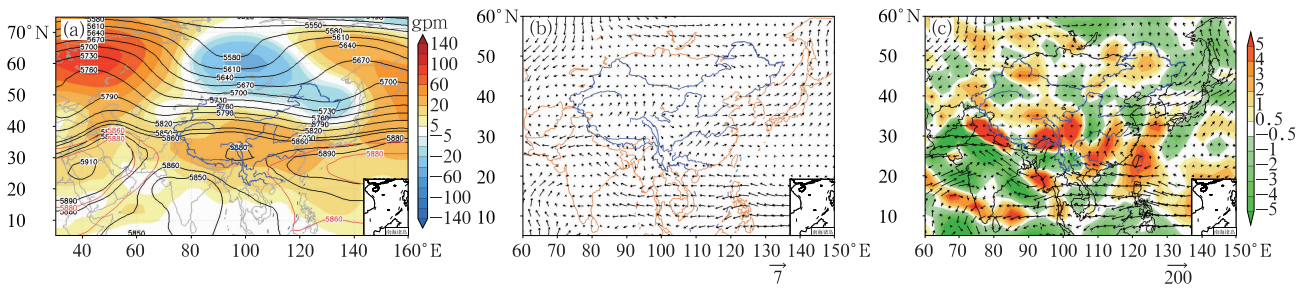


图 7 同图 5, 但为 2022 年 6 月下旬至 8 月

Fig. 7 Same as Fig. 5, but for late June through August 2022

通,形成完整的副热带高压带的情况。西太副高脊线位置阶段性变化明显,6月上中旬偏南、6月下旬偏北、7月上旬受台风暹芭影响先偏南后偏北、7月中下旬偏南、8月持续偏北。西太副高第一次北跳发生在6月21日前后,较常年偏晚(苏同华等,2017)。副高北界指数除在7月中旬偏南外,盛夏总体表现为偏北。我国长江流域在强大的西太副高控制之下,盛行下沉气流有利于地面增温,同时晴空少云,太阳辐射偏强,导致盛夏出现了破纪录的高温天

气。另一方面,异常西伸的西太副高与大陆高压和伊朗高压打通,形成稳定的副热带高压带,一定程度上阻断了其西南侧的水汽输送通道,从而导致我国夏季降水总体偏少。此外,在台风活跃季,西太副高偏强偏西,菲律宾附近为异常反气旋环流持续控制,不利于西北太平洋和南海的台风生成和登陆,导致华南后汛期降水持续偏少。

2022年夏季西太副高的异常偏强是多种因素共同作用的结果。首先,在全球变暖背景下,副热带

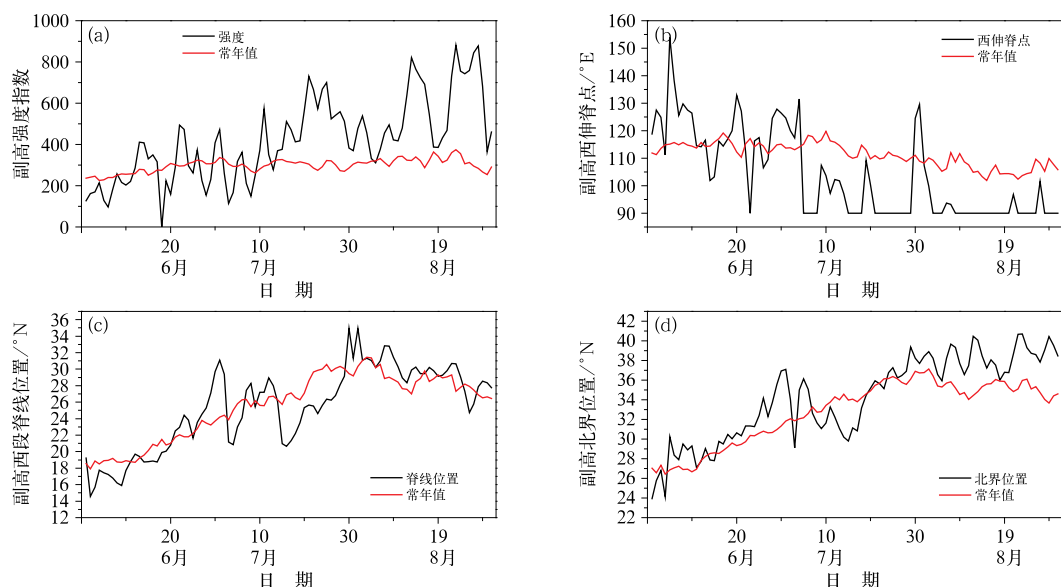


图8 2022年夏季西太副高特征指数的逐日变化

(a)副高强度指数,(b)副高西伸脊点位置,(c)副高西段(110°~130°E)脊线位置,(d)副高北界位置

Fig. 8 Daily variation of western Pacific subtropical high (WPSH) index in summer 2022

(a) intensity index, (b) longitudinal position of western most point of WPSH,

(c) latitudinal position of ridge line of WPSH (110°~130°E), (d) latitudinal position of north edge of WPSH

地区高度场呈现增强、北扩的趋势(Lu et al, 2007; Wu and Wang, 2015), 这为2022年夏季北半球副热带高压带的持续偏强提供了重要的气候背景; 其次, 2021年秋季开始的La Niña事件在2022年春季不仅没有衰减反而再次发展加强, 尤其赤道中太平洋冷海温的发展通过Gill-Matsuno响应在其西北侧激发出反气旋异常环流, 有利于西太副高增强(Wang et al, 2013; Xiang et al, 2013; Yang et al, 2022)。La Niña事件发展的同时, 西太平洋暖池区海表温度也持续偏高, 局地对流活动加强(图9), 异常增强的凝结潜热通过激发局地哈得来环流导致副热带西北太平洋受异常下沉运动控制, 也有利于西太副高的增强(杨辉和李崇银, 2005); 再次, 2022年盛夏热带印度洋海表温度呈西冷东暖的偶极型模态, 即热带印度洋偶极子(TIOD; Saji et al, 1999)负位相, 并且8月TIOD指数达到1961年以来最强。研究表明, TIOD可以通过激发对流层上层青藏高原附近的异常反气旋环流对西太副高和东亚夏季风产生影响(Li et al, 2003; 林莉等, 2008)。TIOD负位相导致青藏高原反气旋偏强, 南亚高压偏强偏东, 西太副高加强西伸。因此, 2022年盛夏异常偏强的TIOD负位相也是西太副高持续偏强的主要原因; 最后, 2022年盛夏北太平洋海温异常偏暖, 尤其是黑潮及延伸区海温的异常偏高, 有利于东北亚位势高度正距平

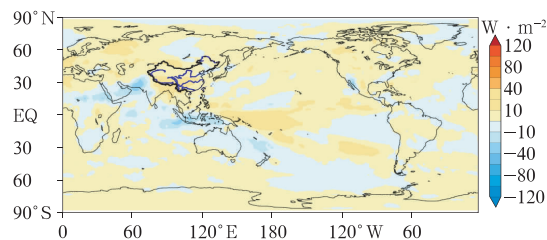


图9 2022年夏季平均全球对外长波辐射距平场

Fig. 9 Distribution of global outgoing long-wave radiation anomaly in summer 2022

的发展加强, 以及西太副高的加强和向北扩展(Ding et al, 2019)。

另一方面, 在对流层上层, 南亚高压强度自6月下旬开始持续偏强(图10a), 7月和8月强度指数均为1961年以来最强(图11)。南亚高压中心经度位置7月偏西、8月偏东, 中心纬度位置持续偏北(图10b, 10c)。研究表明, 夏季南亚高压的东西振荡具有显著的双模态特征, 即青藏高压型和伊朗高压型(陶诗言和朱福康, 1964; Zhang et al, 2002)。南亚高压与西太副高在纬向上的东西进退存在明显的反向关系, 在经向上主要表现为一致变化的特征(任荣彩等, 2007; 胡景高等, 2010; 魏维等, 2012; 金爱浩等, 2018), 即南亚高压的东伸和北移有利于西太副高的西伸和北抬。2022年盛夏南亚高压持续

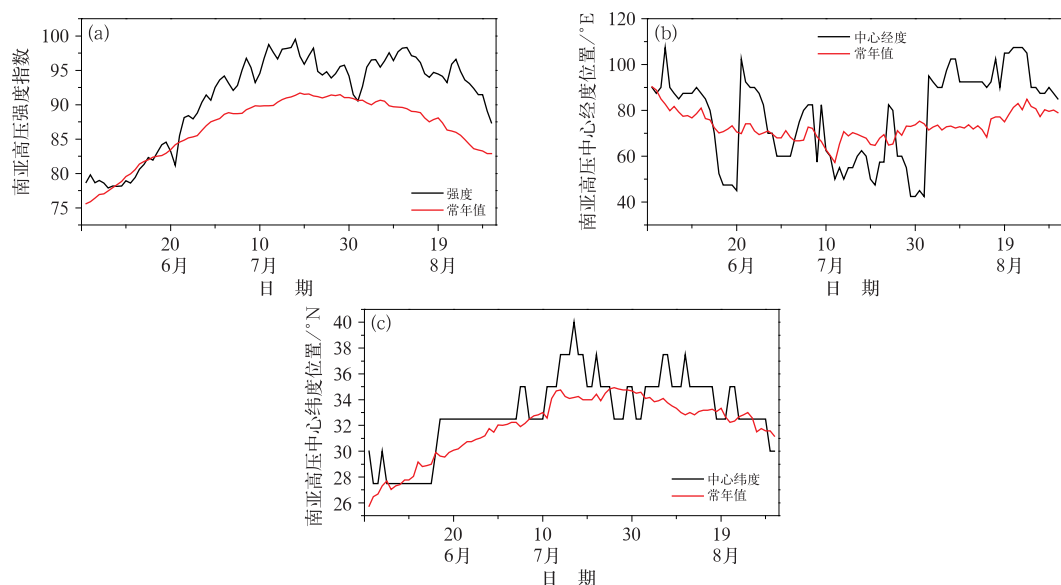


图 10 2022 年夏季南亚高压特征指数的逐日变化

(a)强度指数, (b)中心经度位置, (c)中心纬度位置

Fig. 10 Daily variation of South Asian high (SAH) index in summer 2022

(a) intensity index, (b) longitudinal position of SAH center, (c) latitudinal position of SAH center

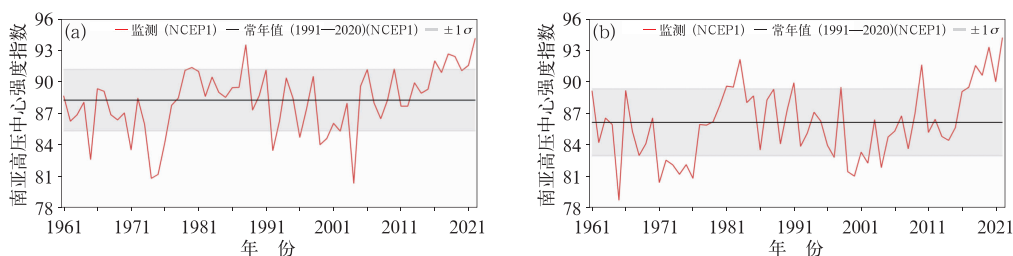


图 11 1961—2022 年(a)7 月, (b)8 月南亚高压中心强度指数逐年变化

Fig. 11 Annual variation of SAH center intensity index in

(a) July and (b) August of 1961–2022

偏强,中心纬度位置持续偏北,尤其 8 月中心经度位置异常偏东,也是导致西太副高异常偏强、偏西、偏北的重要原因。因此,2022 年夏季西太副高的极端异常是全球变暖背景、La Niña 事件再发展、西北太平洋对流活跃、TIOD 负位相异常偏强、北太平洋海温显著偏高、南亚高压加强东伸等多种因素共同作用的结果。

4 结论与讨论

2022 年夏季,东亚夏季风季节进程整体提前,南海夏季风爆发和主要雨季开始时间均较常年偏早。中国东部地区降水呈“北多南少”异常分布,东

北南部、华北南部、黄淮东部、西北地区东部和华南东部等地降水较常年明显偏多。长江流域降水异常偏少,发生了历史罕见的夏伏旱。6 月中旬至 8 月的大范围高温热浪在持续时间、影响范围和极端程度等方面均打破历史纪录。综合大气环流和外强迫背景分析,得到如下结论:

(1)6 月上中旬,中国东部降水总体呈“南北多,中间少”分布。江南南部和华南地区的降水偏多与西太副高脊线偏南和季风环流水汽输送偏强有关,东北和内蒙古东部等地降水主要受到东北冷涡频繁活动的影响。东北冷涡的异常活跃和活动路径偏南,是导致冷空气频繁南下影响我国南方和副高偏南重要原因,而东北冷涡的活跃又与赤道中东太平

洋 La Niña 海温背景和 NAT 的持续正位相有关。

(2)6月下旬至8月,东部降水呈“北多南少”分布。随着6月下旬西太副高明显北跳,东部地区主雨带北移至东北、华北、黄淮和西北地区东部等地。盛夏西太副高异常加强西伸,北界持续偏北。西太副高与其西侧的大陆高压和伊朗高压打通,形成稳定的副热带高压带。中国长江流域在西太副高控制下,气温异常偏高,降水持续偏少,发生严重的高温伏旱事件。对流层高层南亚高压持续偏强,8月高压中心位置偏东,有利于西太副高的进一步加强西伸。La Niña 事件在春季的再次发展,赤道中太平洋冷海温加强和海洋性大陆对流活跃,TIOD 负位相异常偏强,以及黑潮及延伸区海温偏暖等因子的协同作用,是导致2022年盛夏西太副高异常的重要原因。

2021/2022年冬季青藏高原积雪偏多,但受春季地表气温异常偏高的影响,积雪覆盖在春夏季转为偏少。青藏高原的热力作用对盛夏大气环流异常和长江流域高温伏旱可能有一定贡献,但其影响程度和机制还需要进一步研究(Duan et al,2017)。从海温背景来看,2021年和2022年都是La Niña 事件次年,夏季TIOD也均为负位相,NAT均为正位相,但是这两年夏季长江流域降水的异常特征截然不同。2021年夏季长江流域降水异常偏多,8月出现了罕见的“二度梅”现象(赵俊虎等,2022),而2022年夏季长江流域降水为1961年以来最少,8月发生破纪录高温伏旱。研究显示,连续La Niña 事件次年夏季的大气环流和气候异常响应存在显著差异(Hu et al,2014;DiNezio et al,2017;Okumura et al,2017;Raj Deepak et al,2019)。全球变暖背景下,ENSO循环的周期可能延长,导致出现连续La Niña 事件的概率可能上升(Power and Delage,2018;Berner et al,2020;Fredriksen et al,2020),这给理解ENSO影响东亚气候的复杂性和短期气候预测提出新的挑战。此外,较之季节平均,目前对汛期季节内变化特征的预测能力仍然相对较低,需要进一步加强次季节变率机理和可预报性的研究。

参考文献

崔童,王凌,叶殿秀,2022.2022年夏季全国气候特征及主要天气气候事件[EB/OL].[2022-09-04].https://mp.weixin.qq.com/s?_biz=MzA5OTM4MzY2MA%3D%3D&mid=2650701925&idx=1&sn=80b3c83fa2a780b1f35df35ea2f55a81&scene=45

- #wechat_redirect,Cui T,Wang L,Ye D X,2022.Climate characteristics and major weather and climate events in China during the summer of 2022[EB/OL].[2022-09-04].https://mp.weixin.qq.com/s?_biz=MzA5OTM4MzY2MA%3D%3D&mid=2650701925&idx=1&sn=80b3c83fa2a780b1f35df35ea2f55a81&scene=45#wechat_redirect(in Chinese).
- 丁婷,高辉,2020.2019年夏季东亚大气环流异常及对我国气候的影响[J].气象,46(1):129-137.Ding T,Gao H,2020.Atmospheric circulation in East Asia in summer 2019 and its influence on climate of China[J].Meteor Mon,46(1):129-137(in Chinese).
- 丁一汇,2013.中国气候[M].北京:科学出版社.Ding Y H,2013.Climate over China[M].Beijing:Science Press(in Chinese).
- 房一禾,赵春雨,李杨,等,2022.东北冷涡气候研究进展及展望[J].气象与环境学报,38(1):92-99.Fang Y H,Zhao C Y,Li Y,et al,2022.A review on climatological research of cold vortex in Northeast China[J].J Meteor Environ,38(1):92-99(in Chinese).
- 顾薇,陈丽娟,2019.2018年夏季海洋大气特征及对我国气候的影响[J].气象,45(1):126-134.Gu W,Chen L J,2019.Characteristics of atmospheric and oceanic condition and their influences on summer climate of China in 2018[J].Meteor Mon,45(1):126-134(in Chinese).
- 胡景高,陶丽,周兵,2010.南亚高压活动特征及其与我国东部夏季降水的关系[J].高原气象,29(1):128-136.Hu J G,Tao L,Zhou B,2010.Characteristic of South Asia high activity and its relation with the precipitation of East China in summer[J].Plateau Meteor,29(1):128-136(in Chinese).
- 金爱浩,曾刚,余晖,等,2018.南亚高压与西太平洋副热带高压经纬向位置配置对中国东部夏季降水的影响[J].热带气象学报,34(6):806-818.Jin A H,Zeng G,Yu Y,et al,2018.Effects of latitudinal and longitudinal positions of South Asia high and western Pacific subtropical high on the summer precipitation over East China[J].J Trop Meteor,34(6):806-818(in Chinese).
- 林莉,李跃清,范广洲,2008.印度洋海温异常与南亚高压东西振荡的关系[J].高原山地气象研究,28(4):39-45.Lin L,Li Y Q,Fan G Z,2008.The relationship analysis between ocean temperature abnormality in Indian Ocean and the oscillation of South Asia high[J].Plateau Mountain Meteor Res,28(4):39-45(in Chinese).
- 刘刚,廉毅,颜鹏程,等,2015.5—8月东北冷涡客观识别分类及北半球大气环流特征分析[J].地理科学,35(8):1042-1050.Liu G,Lian Y,Yan P C,et al,2015.The objective recognition and classification of northeast cold vortex and the northern hemisphere atmospheric circulation characters in May to August[J].Sci Geogr Sin,35(8):1042-1050(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).
- 苗春生, 吴志伟, 何金海, 等, 2006. 近 50 年东北冷涡异常特征及其与汛期华南降水的关系分析[J]. 大气科学, 30(6): 1249-1256. Miao C S, Wu Z W, He J H, et al, 2006. The anomalous features of the northeast cold vortex during the first flood period in the last 50 years and its correlation with rainfall in South China[J]. Chin J Atmos Sci, 30(6): 1249-1256(in Chinese).
- 任荣彩, 刘屹岷, 吴国雄, 2007. 1998 年 7 月南亚高压影响西太平洋副热带高压短期变异的过程和机制[J]. 气象学报, 65(2): 183-197. Ren R C, Liu Y M, Wu G X, 2007. Impact of South Asia high on the short-term variation of the subtropical anticyclone over western Pacific in July 1998[J]. Acta Meteor Sin, 65(2): 183-197(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).
- 苏同华, 薛峰, 陈敏艳, 等, 2017. 季节内振荡影响西太平洋副热带高压两次北跳的机制[J]. 大气科学, 41(3): 437-460. Su T H, Xue F, Chen M Y, et al, 2017. A mechanism study for the intraseasonal oscillation impact on the two northward jumps of the western Pacific subtropical high[J]. Chin J Atmos Sci, 41(3): 437-460(in Chinese).
- 陶诗言, 朱福康, 1964. 夏季亚洲南部 100 毫巴流型的变化及其与西太平洋副热带高压进退的关系[J]. 气象学报, 34(4): 387-396. Dao S Y, Chu F K, 1964. The 100-mb flow patterns in southern Asia in summer and its relation to the advance and retreat of the west-Pacific subtropical anticyclone over the far East[J]. Acta Meteor Sin, 34(4): 387-396(in Chinese).
- 魏维, 张人禾, 温敏, 2012. 南亚高压的南北偏移与我国夏季降水的关系[J]. 应用气象学报, 23(6): 650-659. Wei W, Zhang R H, Wen M, 2012. Meridional variation of South Asian high and its relationship with the summer precipitation over China[J]. J Appl Meteor Sci, 23(6): 650-659(in Chinese).
- 谢作威, 布和朝鲁, 2012. 东北冷涡低频活动特征及背景环流[J]. 气象学报, 70(4): 704-716. Xie Z W, Cholaw B, 2012. Low frequency characteristics of Northeast China cold vortex and its background circulation pattern[J]. Acta Meteor Sin, 70(4): 704-716(in Chinese).
- 杨辉, 李崇银, 2005. 热带太平洋-印度洋海温异常综合模对南亚高压的影响[J]. 大气科学, 29(1): 99-110. Yang H, Li C Y, 2005. Effect of the tropical Pacific-Indian Ocean temperature anomaly mode on the South Asia high[J]. Chin J Atmos Sci, 29(1): 99-110(in Chinese).
- 张琼, 钱永甫, 张学洪, 2000. 南亚高压的年际和年代际变化[J]. 大气科学, 24(1): 67-78. Zhang Q, Qian Y F, Zhang X H, 2000. Interannual and interdecadal variations of the South Asia high[J]. Chin J Atmos Sci, 24(1): 67-78(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).
- 郑志海, 王永光, 2018. 2017 年夏季北半球大气环流特征及对我国天气气候的影响[J]. 气象, 44(1): 199-205. Zheng Z H, Wang Y G, 2018. Northern hemisphere atmospheric circulation characteristics in Summer 2017 and its impact on weather and climate in China[J]. Meteor Mon, 44(1): 199-205(in Chinese).
- Allan R P, Hawkins E, Bellouin N, et al, 2021. Summary for policy-makers[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.
- 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.
- Berner J, Christensen H M, Sardeshmukh P D, 2020. Does ENSO regularity increase in a warming climate? [J]. J Climate, 33(4): 1247-1259.
- Chen M Y, Shi W, Xie P P, et al, 2008. Assessing objective techniques for gauge-based analyses of global daily precipitation[J]. J Geophys Res: Atmos, 113(D4): D04110.
- DiNezio P N, Deser C, Okumura Y, et al, 2017. Predictability of 2-year La Niña events in a coupled general circulation model[J]. Climate Dyn, 49(11): 4237-4261.
- Ding R Q, Tseng Y H, Di Lorenzo E, et al, 2022. Multi-year El Niño events tied to the North Pacific Oscillation[J]. Nat Commun, 13(1): 3871.
- Ding T, Yuan Y, Zhang J M, et al, 2019. 2018: the hottest summer in China and possible causes[J]. J Meteor Res, 33(4): 577-592.
- Duan A M, Sun R Z, He J H, 2017. Impact of surface sensible heating over the Tibetan Plateau on the western Pacific subtropical high: a land-air-sea interaction perspective[J]. Adv Atmos Sci, 34(2): 157-168.
- Fang Y H, Chen K Q, Chen H S, et al, 2018. The remote responses of early summer cold vortex precipitation in northeastern China to the precedent sea surface temperatures[J]. Atmos Res, 214: 399-409.
- Fredriksen H B, Berner J, Subramanian A C, et al, 2020. How does El Niño-Southern Oscillation change under global warming-a first look at CMIP6[J]. Geophys Res Lett, 47(22): e2020GL090640.
- He J H, Wu Z W, Jiang Z H, et al, 2007. "Climate effect" of the northeast cold vortex and its influences on Meiyu[J]. Chin Sci Bull, 52(5): 671-679.
- Hu Z Z, Kumar A, Huang B H, et al, 2020. The interdecadal shift of ENSO properties in 1999/2000: a review[J]. J Climate, 33(11): 4441-4462.

- Hu Z Z, Kumar A, Xue Y, et al, 2014. Why were some La Niñas followed by another La Niña? [J]. *Climate Dyn*, 42(3/4): 1029-1042.
- Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al, 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project [J]. *Bull Amer Meteor Soc*, 77(3): 437-472.
- Li T, Wang B, Chang C P, et al, 2003. A theory for the Indian Ocean dipole-zonal mode [J]. *J Atmos Sci*, 60(17): 2119-2135.
- Lu J, Vecchi G A, Reichler T, 2007. Expansion of the Hadley cell under global warming [J]. *Geophys Res Lett*, 34(6): L06805.
- Okumura Y M, DiNezio P, Deser C, 2017. Evolving impacts of multi-year La Niña events on atmospheric circulation and U. S. drought [J]. *Geophys Res Lett*, 44(22): 11614-11623.
- Power S B, Delage F P D, 2018. El Niño-Southern oscillation and associated climatic conditions around the world during the latter half of the twenty-first century [J]. *J Climate*, 31(15): 6189-6207.
- Raj Deepak S N, Chowdary J S, Dandi A R, et al, 2019. Impact of multiyear La Niña events on the South and East Asian summer monsoon rainfall in observations and CMIP5 models [J]. *Climate Dyn*, 52(11): 6989-7011.
- 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.
- Saji N H, Goswami B N, Vinayachandran P N, et al, 1999. A dipole mode in the tropical Indian Ocean [J]. *Nature*, 401(6751): 360-363.
- Wang B, Xiang B Q, Lee J Y, 2013. Subtropical high predictability establishes a promising way for monsoon and tropical storm predictions [J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 110(8): 2718-2722.
- Wu L G, Wang C, 2015. Has the western Pacific subtropical high extended westward since the late 1970s? [J]. *J Climate*, 28(13): 5406-5413.
- Xiang B Q, Wang B, Yu D, et al, 2013. How can anomalous western North Pacific subtropical high intensify in late summer? [J]. *Geophys Res Lett*, 40(10): 2349-2354.
- Xie P P, Chen M Y, Yang S, et al, 2007. A gauge-based analysis of daily precipitation over East Asia [J]. *J Hydrometeorol*, 8(3): 607-626.
- Yang K, Cai W J, Huang G, et al, 2022. Increased variability of the western Pacific subtropical high under greenhouse warming [J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 119(23): e2120335119.
- Yuan Y, Yang S, 2012. Impacts of different types of El Niño on the East Asian climate: focus on ENSO cycles [J]. *J Climate*, 25(21): 7702-7722.
- Yuan Y, Yang S, Zhang Z Q, 2012. Different evolutions of the Philippine sea anticyclone between the eastern and central pacific El Niño: possible effects of Indian Ocean SST [J]. *J Climate*, 25(22): 7867-7883.
- Zhang Q, Wu G X, Qian Y F, 2002. The bimodality of the 100 hPa South Asia high and its relationship to the climate anomaly over East Asia in summer [J]. *J Meteor Soc Japan*, 80(4): 733-744.
- Zuo J Q, Li W J, Sun C H, et al, 2013. Impact of the North Atlantic sea surface temperature tripole on the East Asian summer monsoon [J]. *Adv Atmos Sci*, 30(4): 1173-1186.

(本文责编:王婷波)