

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).

2020 年夏季我国气候异常特征及成因分析*

刘芸芸^{1,2} 王永光¹ 柯宗建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: 2020 年夏季我国天气气候极为异常,全国平均降水量为 373.0 mm,较常年同期偏多 14.7%,为 1961 年以来次多;季节内阶段性特征显著,6—7 月多雨带主要位于江南大部—江淮地区,8 月则主要在东北、华北及西南地区,致使 2020 年夏季雨型分布异常,不是传统认识上的四类雨型分布。通过对同期大气环流和热带海温等异常特征分析发现,6—7 月,欧亚中高纬环流表现为“两脊一槽”型,东亚副热带夏季风异常偏弱,西太平洋副热带高压(以下简称西太副高)较常年同期显著偏强、偏西,第一次季节性北跳偏早,第二次北跳明显偏晚,且表现出明显的准双周振荡特征;使得来自西北太平洋的转向水汽输送偏强,并与中高纬不断南下的冷空气活动相配合,水汽通量异常辐合区主要位于长江中下游地区,导致江淮梅雨异常偏多。热带印度洋持续偏暖对维持 6—7 月西太副高偏强偏西及东亚夏季风异常偏弱起到了重要作用。8 月,欧亚中高纬环流调整为“两槽一脊”型,蒙古低压活跃;西太副高也由前期偏纬向型的带状分布转为“块状”分布,脊线位置偏北;沿西太副高外围的异常西南风水汽输送延伸至华北—东北南部,形成自西南到东北的异常多雨带,与 6—7 月江淮流域降水异常偏多的空间分布有明显不同。异常的热带大气季节内振荡活动是导致 8 月中低纬大气环流发生调整的重要原因。

关键词: 夏季降水,梅雨,西太平洋副热带高压,印度洋暖海温,热带大气季节内振荡(MJO)

中图分类号: P461

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2021.01.011

Characteristics and Possible Causes for the Climate Anomalies over China in Summer 2020

LIU Yunyun^{1,2} WANG Yongguang¹ KE Zongjian¹

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: In the summer of 2020, the weather and climate in China were extremely abnormal. The national average precipitation was 373.0 mm, with 14.7% more than normal, which is the second most since 1961. The intraseasonal variation of summer rainfall was obvious. The rainbelt from June to July was mainly located in the Yangtze-Huaihe River Valley (YHRV), but moved northward to Northeast China, North China, and Southwest China in August, making the distribution of summer rainfall in 2020 not belong to any of the four traditional patterns of rainfall. The observational analysis on atmospheric circulation and sea surface temperature indicates that the atmospheric circulation in the mid-high latitude was characterized by “two ridges and one trough” over Eurasia from June to July. The East Asian summer monsoon (EASM) was very weak, and the western Pacific subtropical high (WPSH) was much stronger and further

* 国家重点研发计划(2018YFC1505806)、中国气象局创新发展专项(CXFZ2021Z033)和中国气象局预报员专项(CMAYBY2020-164)共同资助
2020 年 10 月 14 日收稿; 2020 年 12 月 14 日收修定稿

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

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

westward than normal. The meridional movement of WPSH presented the characteristics of quasi-biweekly oscillation, accompanied with the early first northward jump and delayed second northward jump, which makes the intensified water vapor transport from the tropical Northwest Pacific. Combined with the cold air activities going southward from the mid-high latitude, the abnormal moisture convergence was located over the middle and lower reaches of the Yangtze River, which leads to excessive Meiyu rainfall in YHRV. The persistent Indian Ocean basin-wide warming played an important role in maintaining the stronger WP-SH and weaker EASM than normal during June–July. By contrast, the atmospheric circulation in mid-high latitude was adjusted to “two troughs and one ridge” over Eurasia in August, with a low trough near Mongolia; the WPSH changed from the East–West zonal distribution to the “block” pattern, located further northward. The abnormal southwesterly moisture transport along the edge of WPSH extended to North–Northeast China, forming an abnormal “northeast–southwest” rainbelt, which is obviously different from that during June–July. The abnormal activity of the tropical Madden-Julian Oscillation was an important factor for the adjustment of the atmospheric circulation in mid-low latitude in August 2020.

Key words: summer rainfall, Meiyu, western Pacific subtropical high, Indian Ocean basin-wide warming, Madden-Julian oscillation

引 言

中国地处东亚季风区,在东亚季风系统多个成员的协同影响下,气候复杂多变,而夏季的气候异常往往会导致严重的旱涝灾害(黄荣辉等,2006;丁一汇等,2007;Liu et al, 2019b;刘芸芸和丁一汇,2020),如1954年和1998年长江流域的洪涝灾害(鞠笑生,1993;陶诗言等,1998),1991年、2003年和2007年淮河流域的洪涝灾害等,都对人民生活造成巨大影响,给经济发展造成严重损失(陆尔和丁一汇,1996;李维京,1999;徐良炎,2003;高荣等,2018)。在全球变暖背景下,异常和极端的气候事件频发(Donat et al, 2016),气候异常的影响变得更大。因此,深入认识中国夏季气候异常特征及成因有助于提高气候预测准确率(袁媛等,2017;郑志海和王永光,2018;顾薇和陈丽娟,2019;丁婷和高辉,2020;陈涛等,2020;张芳华等,2020),可更好地为政府和公众提供保障服务,对我国的防灾减灾部署具有重要意义。

我国夏季天气气候受多因子的影响和控制,其中东部多雨带的分布和强度与西太平洋副热带高压(以下简称西太副高)、低层西南季风水汽输送、高层的南亚高压及其北侧的东亚西风急流、欧亚中高纬槽脊及冷空气活动等关键大气环流系统的异常特征密切相关(丁一汇等,2007;Liu et al, 2019a;张庆云和陶诗言,1998;张庆云等,2003b;刘芸芸和丁一汇,2020)。同时,我国东部降水表现出显著的年际

变率,这主要还受到不同区域海温异常、北极海冰、高原积雪等外强迫因子的显著影响。厄尔尼诺/南方涛动(ENSO)作为热带太平洋年际变率中的最强信号,往往通过迫使西太副高的强度和位置出现变动(Zhang et al, 1996;1999;Wang et al, 2000;2002;张人禾等,2017),而导致长江流域以及华北、华南地区的旱涝和气温变化(管兆勇等,2010;刘屹岷等,2013;Liu et al, 2013;王永光和郑志海,2018;顾薇和陈丽娟,2019;Liu et al, 2019a)。多数 ENSO 爆发年夏季西太副高强度偏弱,位置偏东;厄尔尼诺(El Niño)事件在冬季发展成熟时,西太平洋上空将有反气旋异常环流维持至次年夏季,这个反气旋环流将使次年夏季西太副高异常发展(Wang et al, 2000;张人禾等,2017)。此外,印度洋海温对 El Niño 出现滞后响应而偏高,可通过“两级热力适应机制”加强西太副高(Wu and Liu, 1992;吴国雄等,2000)。另一类研究(Terao and Kubota, 2005;Xie et al, 2009)则表明印度洋海温正距平能激发暖开尔文波东传,同时由于埃克曼抽吸作用在西北太平洋地区出现反气旋异常,传递了前冬 El Niño 对夏季西太副高及东亚气候的影响。此外,也有研究指出前期的北大西洋海温三极子模态、北极海冰、高原积雪等也会对东亚夏季环流及降水异常存在一定的影响(李建等,2007;Wu et al, 2009;Zuo et al, 2013;张若楠等,2018;Ren et al, 2016)。

中国夏季天气气候既与东亚夏季风系统中多成员的相互协同作用有关,也与中高纬冷空气的活动密切相关。同时,东亚夏季风系统还受到海温等外

强迫因子的显著影响。多数年份存在多个影响因子相互作用和调制的问题,尤其当这些因子异常程度不特别极端时往往很难客观诊断各自贡献。另外,夏季降水的异常是多时间尺度叠加的结果,既有年际和年代际变化特征,也有季节内变率的影响,这种次季节-季节-年代际多时间尺度相互作用,目前仍缺乏系统的研究和清晰的影响机制。深入分析和研究气候异常的成因将有助于提高对气候异常的物理过程及其机理的认识。为此,本文将首先回顾 2020 年夏季气候异常特征,包括降水、气温、台风和洪涝灾害等,并重点针对汛期降水异常从环流和海温等方面进行成因分析,希望能够加深对 2020 年夏季气候异常成因的认识,为今后的汛期气候预测提供更多的参考和依据。

1 资料与方法

本文所用的资料包括:(1)中国气象局国家气象

信息中心发布的《中国国家级地面气象站基本气象要素日值数据集(v3.0)》(任芝花等,2012),时段为 1951—2020 年。(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 1951—2020 年的大气环流再分析资料(Kalnay et al,1996),要素包括位势高度场、风场、比湿等,空间分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$;(3)美国 NOAA 提供的最优插值全球海温数据(OISST v2.1;Reynolds et al,2002),空间分辨率为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 。(4)文中夏季指北半球夏季(6—8 月平均),气候态(常年)取为 1981—2010 年的平均(OISST v2.1 受资料起始时间限制,气候态为 1982—2010 年平均)。大气环流指数包括西太副高指数(刘芸芸等,2012;Liu et al,2019b)和东亚夏季风指数(张庆云等,2003a),热带海温指数 Niño3.4 和热带印度洋海盆一致模(IOBM)(Chambers et al,1999),上述指数的具体定义详见表 1。

表 1 文中所用的关键大气环流和海温指数定义

Table 1 Definition of key atmospheric circulation and SST indices applied in this work

指数	定义	备注
西太副高面积指数	$WPSH_{area} = \sum_i A(i),$ $Z500(i) \geq 5880 \text{ gpm}$	$A(i)$ 表示 $10^{\circ} \sim 45^{\circ} \text{N}, 110^{\circ} \text{E} \sim 180^{\circ}$ 范围 500 hPa 位势高度大于等于 5880 gpm 的格点实际面积; $Z500(i)$ 表示格点 i 的 500 hPa 位势高度值(刘芸芸等,2012;Liu et al,2019b)
西太副高强度指数	$WPSH_{intensity} = \sum_i A(i) \times [Z500(i) - 5870],$ $Z500(i) \geq 5880 \text{ gpm}$	
西太副高脊线指数	$10^{\circ} \sim 45^{\circ} \text{N}, 110^{\circ} \sim 150^{\circ} \text{E}$ 范围内 5880 gpm 等值线所包围的西太副高体内纬向风切变线所在纬度位置的平均值(即 $u=0, \partial u / \partial y > 0$)	
西太副高西伸脊点	$10^{\circ} \sim 45^{\circ} \text{N}, 90^{\circ} \text{E} \sim 180^{\circ}$ 范围内 5880 gpm 等值线最西格点所在的经度值	
东亚夏季风指数	$U850(10^{\circ} \sim 20^{\circ} \text{N}, 100^{\circ} \sim 150^{\circ} \text{E}) -$ $U850(25^{\circ} \sim 35^{\circ} \text{N}, 100^{\circ} \sim 150^{\circ} \text{E})$	$U850$ 表示 850 hPa 纬向风距平(张庆云等,2003a)
Niño3.4 指数	$Niño3.4 = SSTA(5^{\circ} \text{S} \sim 5^{\circ} \text{N}, 170^{\circ} \sim 120^{\circ} \text{W})$	SSTA 表示海温距平
IOBM 指数	$IOBM = SSTA(20^{\circ} \text{S} \sim 20^{\circ} \text{N}, 40^{\circ} \sim 110^{\circ} \text{E})$	Chambers et al(1999)

2 2020 年夏季中国气候异常特征

2020 年夏季,全国平均降水量为 373.0 mm,较常年同期(325.2 mm)偏多 14.7%,为 1961 年以来历史同期次多(图 1a),仅次于 1998 年(396.7 mm)。从空间分布看,中国东部大部地区均降水偏多(图 1b),长江和黄河流域降水量分别较常年同期偏多 38% 和 39%,均为 1961 年以来最多,淮河和太湖分别偏多 45% 和 64%,均为次多;松花江和海河流

域分别偏多 15% 和 10%。仅辽河和珠江流域降水分别较常年同期偏少 7% 和 15%。

今年夏季中国东部地区降水阶段性特征显著(图 2),6—7 月多雨带始终在江南至江淮之间摆动,对应江淮流域梅雨入梅早,出梅晚,梅雨季长达 62 d(6 月 1 日至 8 月 2 日),较常年(40 d)偏长 22 d,与 2015 年并列为 1961 年以来历史最长。梅雨量为 759.2 mm,较常年(343.4 mm)偏多 1.2 倍,为 1961 年以来历史最多。8 月,多雨带移至中国东北、华北和西南地区中北部地区,对应华北雨季开始较常年

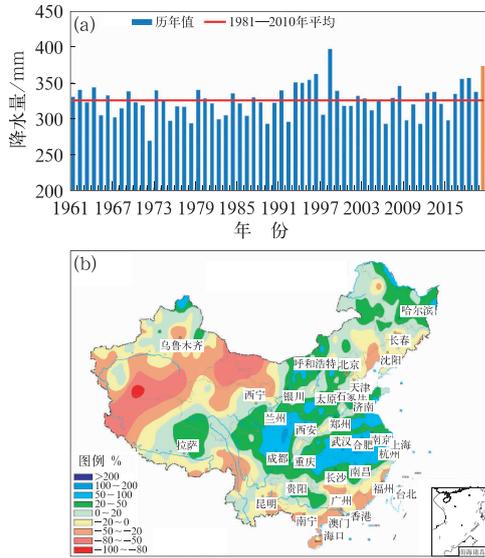


图 1 1961—2020 年夏季全国平均降水量
历年序列(a)和 2020 年夏季
全国降水量距平百分率分布(b)

Fig. 1 (a) Time series of the averaged summer
(June—July—August mean) precipitation
in China during 1961—2020, and
(b) distribution of precipitation anomaly
percentage in summer 2020

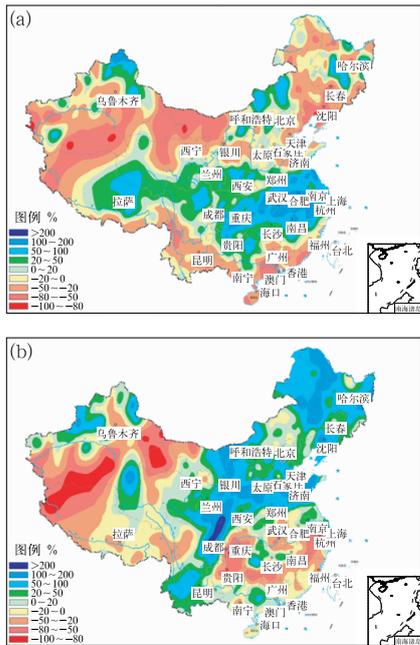


图 2 2020 年 6—7 月平均(a)和 8 月(b)
全国降水量距平百分率分布

Fig. 2 Distribution of precipitation anomaly
percentage in China for (a) the June and
July mean, and (b) August in 2020

(7 月 18 日)偏晚 10 d,结束较常年(8 月 18 日)偏晚 9 d,降水量为 182 mm,较常年偏多 34%,为近 8 年来最多;同时东北和西南地区降水量也明显偏多,其中四川、甘肃均为 1961 年以来同期最多,黑龙江为次多;其中四川中东部部分地区降水量超过 1 000 mm,都江堰达到 1 080.1 mm,较常年同期偏多 3.2 倍。

2020 年夏季全国平均气温为 21.5℃,较常年同期(20.9℃)偏高 0.6℃(图 3a)。从空间分布看,全国大部地区气温接近常年同期或偏高,其中江南南部、华南东部、西南东南部及辽宁北部、西藏西部等地偏高 1~2℃;黑龙江东北部和新疆中部部分地区偏低 1~2℃(图 3b)。其中福建、广东平均气温为 1961 年以来历史同期最高,云南、湖南、贵州、海南为次高,江西和广西为第三高。7 月 11 日之后,江南东南部、华南东部等地出现区域性高温天气过程,持续时间为 1961 年以来历史第二长,仅次于 2013 年 6 月 29 日至 8 月 29 日高温天气过程。

夏季台风生成(8 个)及登陆中国(4 个)个数均比常年同期(11.2 个,4.6 个)偏少。7 月无台风生成和登陆,为 1949 年以来首次“空台”的 7 月;8 月台风生成(7 个)及登陆(3 个)个数均较常年同期(5.8 个,1.9 个)偏多,台风活跃的阶段性特征突出。登陆台风具有“生成源地偏西、生命史短、近海加强、影响偏轻”的特点。

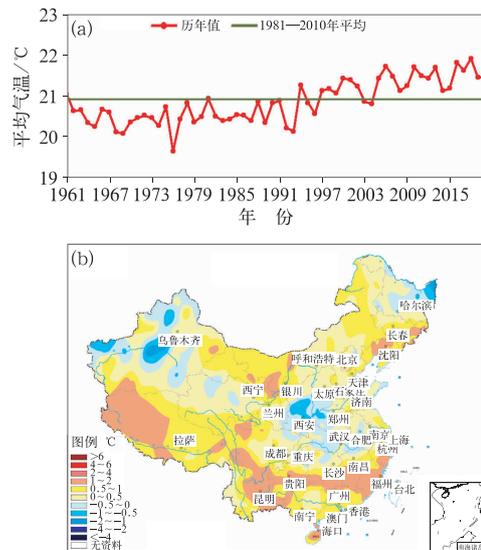


图 3 同图 1,但为平均气温(a)和平均气温距平(b)
Fig. 3 Same as Fig. 1, but for (a) averaged
temperature and (b) temperature anomaly

总体来说,今年夏季天气气候极为异常,夏季全国降水量为 1961 年以来次多,且阶段性特征显著,6—7 月多雨带主要在江淮、江南地区,8 月则主要在东北、华北及西南地区中北部。孙林海等(2005)对中国东部季风区 1880 年以来 120 多年的夏季降水进行了客观分型,在空间上能够将逐年的夏季降水异常空间分布归为华北型、淮河型、长江型和华南型这四类雨型中的其中一种。然而 2020 年夏季南北多个流域降水均显著偏多,致使 2020 年夏季雨型分布异常,与传统认识上的四类雨型分布有很大差异。全国平均气温为 21.5°C ,较常年同期偏高 0.6°C ,其中南方大部省份气温显著偏高;盛夏江南东南部、华南东部等地出现持续性的高温天气过程,持续时间为 1961 年以来第二。夏季台风生成及登陆个数均偏少,其中 7 月首次出现“空台”,8 月生成台风异常偏多,台风活跃的阶段性特征突出。针对今年夏季降水阶段性变化特征,将分为 6—7 月平均和 8 月,分别从大气环流和海温等方面对其成因做简要分析。

3 6—7 月大气环流异常特征分析

2020 年 6—7 月,欧亚中高纬环流表现为“两脊一槽”型,乌拉尔山以西和鄂霍次克海为较强的高压脊,且向极区伸展,巴尔喀什湖附近为低压槽,经向度较大,有利于来自于中高纬地区的冷空气分别从西部和东路分别南下影响中国(图 4a)。冷空气活动是持续性强降水形成的重要因素之一,它能够促成产生强降水所必需的低层辐合抬升(姚秀萍和于玉斌,2005)。另外,东亚沿海附近为平均低槽区,且槽区位势高度为负距平,表明东亚沿岸低槽活跃,冷空气势力也较强。同时,西太副高较常年显著偏强、偏西,菲律宾附近对流层低层为异常反气旋环流控制(图 4b),来自西北太平洋的转向水汽输送明显偏强,并与中高纬不断南下的冷空气活动配合,造成水汽通量异常辐合区主要位于长江中下游地区(图 4c),导致该地降水明显偏多。有研究指出,当鄂霍次克海高压建立并稳定时,亚洲中高纬度及东亚东部地区的距平场易分别形成“+—+”的距平波列,这样的分布形势及其相互作用容易导致梅雨期降水偏多(张庆云和陶诗言,1998)。2020 年 6—7 月的东亚环流形势便呈现出这种典型特征,由此可见中高纬度的环流异常及其与低纬环流的相互作用也是非常重要的因素。

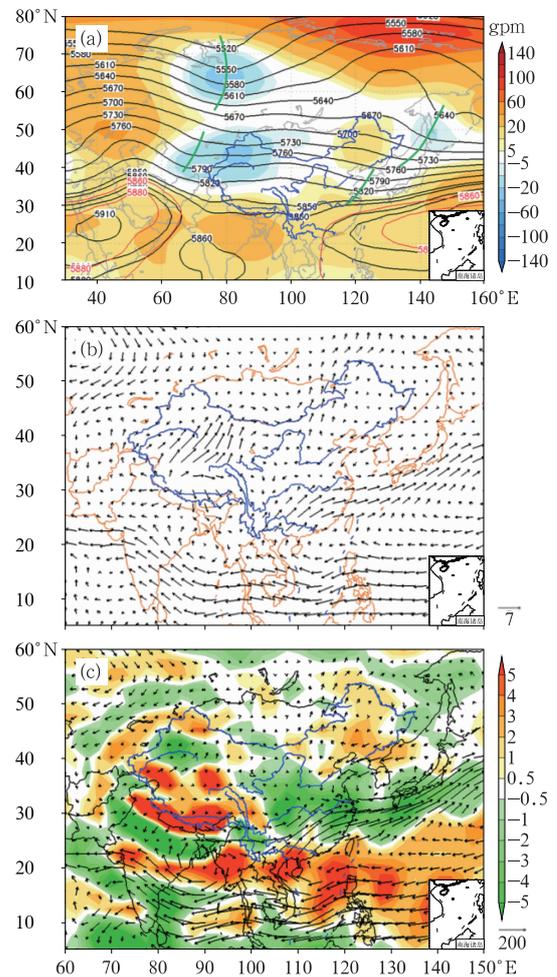


图 4 2020 年 6—7 月平均大气环流距平场
(a)500 hPa 位势高度(等值线,其中红色等值线表示气候平均的 5880 和 5860 gpm)及距平(填色),
(b)850 hPa 距平风场(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), (c) 整层水汽
通量(箭头,单位: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)及
水汽通量散度(填色,单位: $10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
Fig. 4 Averaged atmospheric circulation anomalies
in June–July 2020

(a) 500 hPa geopotential height
(contours, red contours indicate the isolines of 5880
and 5860 gpm), (b) 850 hPa horizontal wind
(unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), (c) vertically integrated water vapor
transport from surface to 300 hPa (vector,
unit: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) and corresponding divergence
(colored, unit: $10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

关键环流指数监测也显示出一致的特征:2020 年 6—7 月平均的西太副高指数较气候平均明显偏强、偏西,其中强度指数为 1961 年以来历史第二,仅次于 2010 年同期(图 5a~5c);东亚副热带夏季风指数为 -2.6 ,为 1961 年以来最弱(图 5e)。尽管 6—7 月平均的脊线指数与气候平均值非常接近(图 5d),

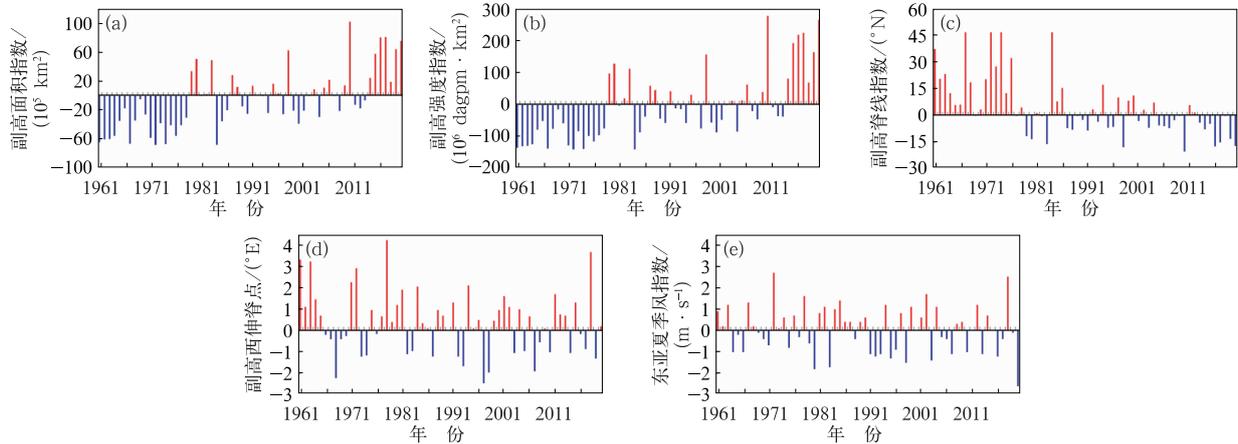


图 5 1961—2020 年 6—7 月平均西太副高指数和东亚夏季风指数的历史序列
(a) 副高面积指数, (b) 副高强度指数, (c) 副高脊线指数, (d) 副高西伸脊点, (e) 东亚夏季风指数
Fig. 5 Time series of western Pacific subtropical high (WPSH) and East Asian summer indices averaged in June—July during 1961—2020
(a) WPSH area index, (b) WPSH intensity index, (c) WPSH ridgeline index, (d) WPSH westernmost point, (e) East Asian summer monsoon index

刘芸芸和丁一汇(2020)通过分析 6—7 月对流层关键环流系统的次季节演变特征发现,西太副高第一次季节性北跳偏早,长江流域提前进入梅汛期,第二次北跳明显偏晚,导致梅汛期时间长,雨带长时间在长江流域附近维持;梅汛期内西太副高表现出明显的准双周振荡特征,共经历了 6 次北抬和南撤过程[刘芸芸和丁一汇(2020)中图 4],对应低层一次次加强的西南暖湿水汽向北输送,并配合冷空气多次南下侵入到 30°N 附近地区,冷暖空气在江南—江淮流域频繁交汇,加剧了江淮流域强降水过程的持续性和异常程度。

热带印度洋海温的持续偏暖是导致夏季中低纬地区大气环流异常的主要原因之一。2019 年 10 月至 2020 年 5 月,赤道中东太平洋经历了一次弱 El Niño 事件,受其影响,西太副高自 2019/2020 年冬季就表现出持续偏强、偏西的特征(赵俊虎等, 2020)。同时,热带印度洋海温也于 2020 年 1 月开始明显偏暖,并且一直持续到夏季(图 6a)。先前的研究指出,热带印度洋海温整体增暖多表现为对 El Niño 事件的滞后响应,它在维持 El Niño 事件对东亚气候的影响中起到重要的“接力”作用(Wu and Kirtman, 2004; Annamalai et al, 2005; Yang et al, 2007; Xie et al, 2009)。通常,在 El Niño 发展年的秋、冬季,东亚副热带地区会通过 Rossby 波遥相关作用在菲律宾附近激发异常反气旋环流,该反气旋环流也被认为是 El Niño 影响东亚气候异常的重要纽带(Wang et al, 2000; Wang and Zhang, 2002; Liu et al, 2020)。然而,在 El Niño 衰减年的春夏季,由于赤道中东太平洋异常暖水已经减弱,此时副高偏

强、偏西以及菲律宾附近异常反气旋环流的维持则多是印度洋暖海温异常的作用(Xie et al, 2009; Yuan et al, 2012; 刘芸芸和陈丽娟, 2019)。从各月西太副高强度指数分别与 Niño3.4 和印度洋一致模指数的同期相关系数也可以看出,春夏季热带印度洋海温对于西太副高强度的影响是持续显著的,而赤道中东太平洋海温的影响则是逐渐减弱的,到 8 月相关系数转为负值(图 6b)。这也进一步证实在 El Niño 次年,当赤道中东太平洋暖海温开始衰减时,热带印度洋的持续偏暖是维持西太副高持续偏强、偏西的重要外强迫因子。

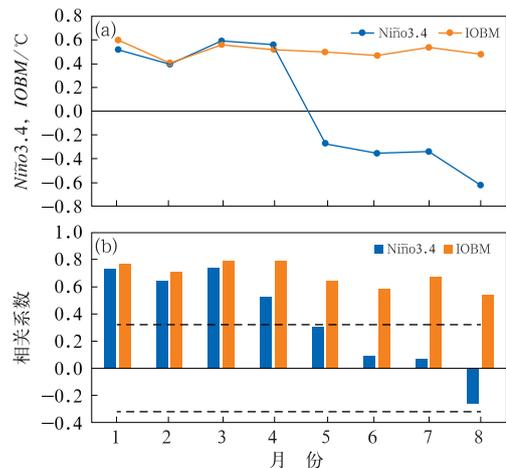


图 6 2020 年 1—8 月 Niño3.4 和 IOBM 指数的逐月演变(a), 1981—2020 年 1—8 月逐月西太副高强度指数与同期 Niño3.4 和 IOBM 指数的相关系数(b)
Fig. 6 (a) Evolution of the monthly Niño3.4 and IOBM indices from January to August 2020, (b) simultaneous correlation coefficients of the monthly WPSH intensity index with Niño3.4 and IOBM indices in January—August during 1981—2020

4 8 月大气环流异常特征分析

8 月,欧亚中高纬环流形势发生明显调整,由前期“两脊一槽”型转为“两槽一脊”型,贝加尔湖以北至极地为显著正高度距平,而乌拉尔山和鄂霍次克海地区由前期的正位势高度距平转为负距平;同时蒙古低压活跃,有利于来自极区的冷空气从中路南下影响中国东部地区;8 月的西太副高也较 6—7 月有明显调整,由前期的偏纬向型的带状分布转为经向跨度大的块状分布,脊线位置偏北(图 7a)。低层环流场也可以看到在西北太平洋上为明显的异常反气旋性环流(图 7b),其位置较 6—7 月明显偏北(图 4b)。受其影响,沿西太副高外围的异常西南风水汽输送自南向北延伸至华北—东北南部(图 7c),与来自极区的中路南下冷空气频繁在西太副高的西北侧交汇,从而形成自四川到东北的“西南—东北”向的异常多雨带,与 6—7 月江淮流域降水异常偏多的空间分布有明显不同。

8 月的大气环流形势为何会发生显著变化,尤其在中低纬地区西太副高较前期明显北抬,导致中国北方大部降水偏多?这与 8 月热带大气低频振荡(MJO)加强并东传至西太平洋(第 6~7 位相)有关。通常,MJO 在印度洋区域(第 2~3 位相)活跃时有利于西太副高的加强西伸,而 MJO 在次大陆—西太平洋(第 5~7 位相)活跃时则有利于南海和西北太平洋上对流加强,在下垫面异常偏暖海水的共同影响下,则容易生成热带气旋,同时使得西太副高北抬或减弱。从 MJO 指数的位相图(图 8)可见,2020 年 7 月 MJO 活动始终位于第 2~3 位相,但 8 月开始 MJO 从第 4 位相依次经过 5~8 位相,再回到第 2~3 位相,完成一个全位相循环(图 8a);西北太平洋地区的 OLR 逐候演变也表明,8 月对流

活动较 7 月明显增强(图 8b)。而对应地,西北太平洋 7 月无台风生成,而 8 月突然变得异常活跃,共有 7 个台风生成,且台风路径特点鲜明,除直接在南海生成的 2 个台风为西北行路径外,另 5 个台风[“黑格比”(2004),“蔷薇”(2005),“米克拉”(2006),“巴威”(2008),“美莎克”(2009)]移动路径均为径直北

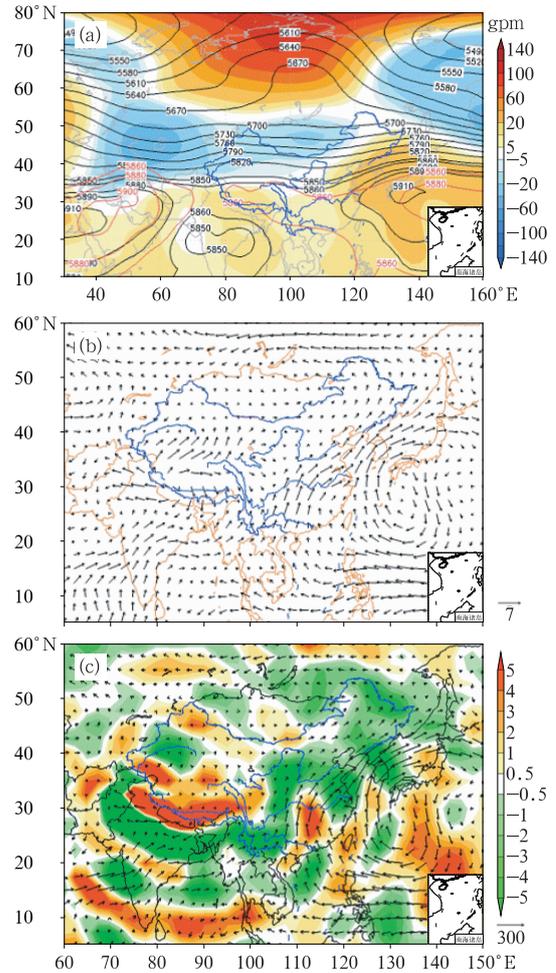


图 7 同图 4,但为 2020 年 8 月
Fig. 7 Same as Fig. 4, but for August 2020

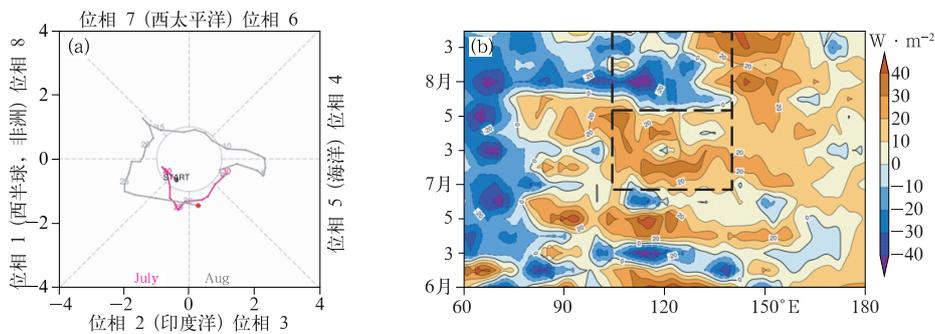


图 8 2020 年 7—8 月 MJO 指数位相(a)(红色代表 7 月,灰色代表 8 月),
6—8 月 10°~20°N 平均逐候 OLR 距平的时间-经度剖面(b)
Fig. 8 (a) Phase space diagram of MJO index during July—August 2020
(red line for July, and grey line for August), (b) longitude-time cross-sections of
pentad OLR anomaly averaged over 10°—20°N from June to August 2020

上(图略),对中国东部沿海甚至东北地区造成了较大影响。台风的频繁北上将挤压西太副高甚至将其切断,使其位置偏北,并呈现“块状”分布。另一方面,台风巴威和美莎克生命周期长,先后长驱直入中国东北腹地,造成 8 月东北降水异常偏多。这种能够径直北上直接影响中国东北地区的台风也属历史罕见。因此说,8 月 MJO 活动异常导致南海和西北太平洋地区对流加强,是西北太平洋热带气旋异常活跃以及中低纬地区大气环流发生明显调整的重要原因。

5 结论与讨论

2020 年夏季中国天气气候极为异常,全国平均降水量为 373.0 mm,较常年同期偏多 14.7%,为 1961 年以来次多;季节内阶段性特征显著,6—7 月多雨带主要位于江南大部—江淮地区,8 月则主要在东北、华北及西南地区中北部,致使 2020 年夏季雨型分布异常,不是传统认识上的四类雨型分布。全国平均气温为 21.5℃,较常年同期偏高 0.6℃,其中南方大部省份气温显著偏高;盛夏江南东南部、华南东部等地出现持续性的高温天气过程,持续时间为 1961 年以来第二。7 月首次出现“空台”,8 月台风转为异常活跃,共生成 7 个台风。

利用大气环流和海温等资料,进一步分析了今年夏季降水异常的可能原因。6—7 月,欧亚中高纬环流表现为“两脊一槽”型,有利于来自于中高纬地区的冷空气分别从西部和东路分别南下影响我国;东亚副热带夏季风异常偏弱,西太副高较常年显著偏强、偏西,使得来自西北太平洋的转向水汽输送偏强,并与中高纬不断南下的冷空气活动相配合,造成水汽通量异常辐合区主要位于长江中下游地区,导致该地降水明显偏多。从季节内变化来看,西太副高第一次季节性北跳偏早,长江流域提前进入梅汛期,第二次北跳明显偏晚,且梅汛期内表现出明显的准双周振荡特征,导致梅汛期时间长,并加剧了江淮流域强降水过程的持续性和异常程度。对海温外强迫因子的分析表明,热带印度洋持续偏暖对维持 6—7 月西太副高持续偏强、偏西及东亚夏季风异常偏弱起到了重要作用。

8 月,欧亚中高纬环流调整为“两槽一脊”型,中纬度地区蒙古低压活跃,有利于来自极区的冷空气从中路南下影响中国中东部地区;西太副高也由前期偏纬向型的带状分布转为经向跨度大的块状分布,脊线位置偏北;沿西太副高外围的异常西南风水

汽输送自南向北延伸至华北—东北南部,形成自西南到东北的异常多雨带,与 6—7 月江淮流域降水异常偏多的空间分布有明显不同。8 月中低纬地区环流形势的突然转变主要是受到热带 MJO 活动的影响,较强的 MJO 东传使得南海—西北太平洋地区对流活动增强,在下垫面偏暖海水的影响下激发了异常活跃的热带气旋活动,且以北上路径为主,不断挤压西太副高甚至将其切断,使其位置偏北,并呈现“块状”分布。

本文仅从大气环流和热带海温等方面简要分析了今年夏季降水异常的可能原因,但实况显示,2020 年夏季长江、黄河流域降水量均为 1961 年以来最多,淮河和太湖次多,降水异常程度已远远超过超强厄尔尼诺年影响下的 1998 年和 2016 年。这样的气候异常明显是热带和中高纬多因子多时间尺度叠加作用的结果。除了本文分析的热带印度洋海温持续偏暖外,前期青藏高原积雪异常偏多(Ren et al, 2016),春、夏季北大西洋涛动等的异常变化(Wu et al, 2009; Liu et al, 2020)可能也对 2020 年西太副高偏强有着一定贡献;而 8 月 MJO 的活动异常可能与赤道中东太平洋海温迅速转冷有关。另外,影响今年西太副高在季节内尺度表现出两次季节性北进异常且准双周振荡显著的主要因素及其机制还不清楚,将在后续工作中针对以上问题做更为深入的分析研究工作。

参考文献

- 陈涛,张芳华,于超,等,2020. 2020 年 6—7 月长江中下游极端梅雨天气特征分析[J]. 气象,46(11):1415-1426. Chen T, Zhang F H, Yu C, et al, 2020. Synoptic analysis of extreme Meiyu precipitation over Yangtze River Basin during June—July 2020[J]. Meteor Mon, 46(11):1415-1426(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,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).
- 高荣,宋连春,钟海玲,2018. 2016 年汛期中国降水极端特征及与 1998 年对比[J]. 气象,44(5):699-703. Gao R, Song L C, Zhong H L, 2018. Characteristics of extreme precipitation in China during the 2016 flood season and comparison with the 1998 situation[J]. Meteor Mon, 44(5):699-703(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).
- 管兆勇,蔡佳熙,唐卫亚,等,2010. 长江中下游夏季气温变化型与西太平洋副高活动异常的联系[J]. 气象科学, 30(5): 666-675. Guan Z Y, Cai J X, Tang W Y, et al, 2010. Variations of western Pacific subtropical high associated with principal pattern of summertime temperature anomalies in the middle and lower reaches of the Yangtze River[J]. Sci Meteor Sin, 30(5): 666-675(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).
- 鞠笑生,1993. 1954年、1991年长江流域洪涝对比[J]. 灾害学, 8(2): 68-73. Ju X S, 1993. Comparison of flood and waterlogging in the Yangtze River reaches between 1954 and 1991 [J]. J Catastrophol, 8(2): 68-73(in Chinese).
- 李建,周天军,宇如聪,2007. 利用大气环流模式模拟北大西洋海温异常强迫响应[J]. 大气科学, 31(4): 561-570. Li J, Zhou T J, Yu R C, 2007. Atmospheric response to the North Atlantic SST anomalies in CAM2[J]. Chin Atmos Sci, 31(4): 561-570(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).
- 刘屹岷,洪洁莉,刘超,等,2013. 淮河梅雨洪涝与西太平洋副热带高压季节推进异常[J]. 大气科学, 37(2): 439-450. Liu Y M, Hong J L, Liu C, et al, 2013. Meiyu flooding of Huaihe River Valley and anomaly of seasonal variation of subtropical anticyclone over the western Pacific[J]. Chin J Atmos Sci, 37(2): 439-450(in Chinese).
- 刘芸芸,陈丽娟,2019. 2019年春季我国主要气候异常特征及可能成因分析[J]. 气象, 45(10): 1483-1493. Liu Y Y, Chen L J, 2019. Features and possible causes for the spring climate anomalies in 2019[J]. Meteor Mon, 45(10): 1483-1493(in Chinese).
- 刘芸芸,丁一汇,2020. 2020年超强梅雨特征及其成因分析[J]. 气象, 46(11): 1393-1404. Liu Y Y, Ding Y H, 2020. Characteristics and possible causes for the super Meiyu in 2020[J]. Meteor Mon, 46(11): 1393-1404(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).
- 陆尔,丁一汇,1996. 1991年江淮特大暴雨与东亚大气低频振荡[J]. 气象学报, 54(6): 730-736. Lu E, Ding Y H, 1996. Low frequency oscillation in East Asia during the 1991 excessively heavy rain over Changjiang-Huaihe River Basin[J]. Acta Meteor Sin, 54(6): 730-736(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).
- 陶诗言,张庆云,张顺利,1998. 1998年长江流域洪涝灾害的气候背景和大尺度环流条件[J]. 气候与环境研究, 3(4): 291-299. Tao S Y, Zhang Q Y, Zhang S L, 1998. The great floods in the Changjiang River Valley in 1998[J]. Climatic Environ Res, 3(4): 291-299(in Chinese).
- 吴国雄,刘平,刘屹岷,等,2000. 印度洋海温异常对西太平洋副热带高压的影响——大气中的两级热力适应[J]. 气象学报, 58(5): 513-522. Wu G X, Liu P, Liu Y M, et al, 2000. Impacts of the sea surface temperature anomaly in the Indian Ocean on the subtropical anticyclone over the western Pacific, two-stage thermal adaptation in the atmosphere[J]. Acta Meteor Sin, 58(5): 513-522(in Chinese).
- 王永光,郑志海,2018. 2017年汛期气候预测先兆信号的综合分析[J]. 气象, 44(4): 565-571. Wang Y G, Zheng Z H, 2018. Precursory signal analysis of summer rainfall prediction in China in 2017[J]. Meteor Mon, 44(4): 565-571(in Chinese).
- 徐良炎,2003. 淮河流域暴雨频繁洪涝严重 江南华南酷热少雨伏旱发展——2003年7月[J]. 气象, 29(10): 62-63. Xu L Y, 2003. July 2003—Frequent heavy rain caused flood in the Huaihe Valley[J]. Meteor Mon, 29(10): 62-63(in Chinese).
- 姚秀萍,于玉斌,2005. 2003年梅雨期干冷空气的活动及其对梅雨降水的作用[J]. 大气科学, 29(6): 973-985. Yao X P, Yu Y B, 2005. Activity of dry cold air and its impacts on Meiyu rain during 2003 Meiyu period[J]. Chin J Atmos Sci, 29(6): 973-985(in Chinese).
- 袁媛,高辉,柳艳菊,2017. 2016年夏季我国东部降水异常特征及成因简析[J]. 气象, 43(1): 115-121. Yuan Y, Gao H, Liu Y J, 2017. Analysis of the characteristics and causes of precipitation anomalies over eastern China in the summer of 2016[J]. Meteor Mon, 43(1): 115-121(in Chinese).
- 张芳华,陈涛,张芳,等,2020. 2020年6—7月长江中下游地区梅汛期强降水的极端性特征[J]. 气象, 46(11): 1405-1414. Zhang F H, Chen T, Zhang F, et al, 2020. Extreme features of severe precipitation in Meiyu period over the middle and lower reaches of Yangtze River Basin in June—July 2020[J]. Meteor Mon, 46(11): 1405-1414(in Chinese).
- 张若楠,孙丞虎,李维京,2018. 北极海冰与夏季欧亚遥相关型年际变化的联系及对我国夏季降水的影响[J]. 地球物理学报, 61(1): 91-105. Zhang R N, Sun C H, Li W J, 2018. Relationship between the interannual variations of Arctic sea ice and summer Eurasian teleconnection and associated influence on summer precipitation over China[J]. Chin J Geophys, 61(1): 91-105. (in Chinese).
- 张庆云,陶诗言,1998. 亚洲中高纬度环流对东亚夏季降水的影响[J]. 气象学报, 56(2): 199-211. Zhang Q Y, Tao S Y, 1998. Influence of Asian mid-high latitude circulation on East Asian

- summer rainfall[J]. *Acta Meteor Sin*, 56(2): 199-211 (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(5): 559-569. 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(5): 559-569 (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).
- 张人禾, 闵庆焯, 苏京志, 2017. 厄尔尼诺对东亚大气环流和中国降水年际变异的影响: 西北太平洋异常反气旋的作用[J]. *中国科学: 地球科学*, 47(5): 544-553. Zhang R H, Min Q Y, Su J Z, 2017. Impact of the El Niño on atmospheric circulations over East Asia and rainfall in China; role of the anomalous western North Pacific anticyclone[J]. *China Ear Sci*, 60(6): 1124-1132 (in Chinese).
- 赵俊虎, 宋文玲, 柯宗建, 2020. 2019/2020 年冬季我国暖湿气候特征及成因分析[J]. *气象*, 46(7): 982-993. Zhao J H, Song W L, Ke Z J, 2020. Characteristics and causes analysis of the warm and wet winter in China in 2019/2020[J]. *Meteor Mon*, 46(7): 982-993 (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).
- Annamalai H, Xie S P, McCreary J P, et al, 2005. Impact of Indian Ocean sea surface temperature on developing El Niño[J]. *J Climate*, 18(2): 302-319.
- Chambers D P, Tapley B D, Stewart R H, 1999. Anomalous warming in the Indian Ocean coincident with El Niño[J]. *J Geophys Res*, 104(C2): 3035-3047.
- Donat M G, Lowry A L, Alexander L V, et al, 2016. More extreme precipitation in the world's dry and wet region[J]. *Nat Climate Change*, 6(5): 508-513.
- 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.
- Liu B, Yan Y, Zhu C, et al, 2020. Record-breaking Meiyu rainfall around Yangtze River in 2020 regulated by subseasonal phase transition of North Atlantic Oscillation[J]. *Geophys Res Lett*, 47(22): e2020GL090342.
- Liu Y Y, Ding Y H, Gao H, et al, 2013. Tropospheric biennial oscillation of the western Pacific subtropical high and its relationships with the tropical SST and atmospheric circulation anomalies[J]. *Chin Sci Bull*, 58(10): 3664-3672.
- Liu Y Y, Ke Z J, Ding Y H, 2019a. Predictability of East Asian summer monsoon in seasonal climate forecast models [J]. *Int J Climatol*, 39(15): 5688-5701.
- Liu Y Y, Liang P, Sun Y, 2019b. The Asian Summer Monsoon: Characteristics, Variability, Teleconnections and Projection [M]. Cambridge: Elsevier: 237.
- Liu Y Y, Hu Z Z, Wu R G, 2020. Cooperative effects of tropical Pacific and Atlantic SST forcing in southern China winter precipitation variability[J]. *Clim Dyn*, 55(9): 2903-2919.
- Ren H C, Li W J, Ren H L, et al, 2016. Distinct linkage between winter Tibetan Plateau snow depth and early summer Philippine Sea anomalous anticyclone[J]. *Atmos Sci Lett*, 17(3): 223-229.
- Terao T, Kubota T, 2005. East-west SST contrast over the tropical ocean and the post El Niño western North Pacific summer monsoon[J]. *Geophys Res Lett*, 32(15): L15706.
- Reynolds R W, Rayner N A, Smith T M, et al, 2002. An improved in situ and satellite SST analysis for climate[J]. *J Climate*, 15(13): 1609-1625.
- Wang B, Wu R G, Fu X H, 2000. Pacific-East Asian teleconnection: how does ENSO affect East Asian climate[J]. *J Climate*, 13(9): 1517-1536.
- Wang B, Zhang Q, 2002. Pacific-East Asian teleconnection. Part II: how the Philippine Sea anomalous anticyclone is established during El Niño development[J]. *J Climate*, 15(22): 3252-3265.
- Wu R G, Kirtman B P, 2004. Understanding the impacts of the Indian Ocean on ENSO variability in a coupled GCM[J]. *J Climate*, 17(20): 4019-4031.
- Wu G X, Liu H Z, 1992. Atmospheric precipitation in response to equatorial and tropical sea surface temperature anomalies[J]. *J Atmos Sci*, 49(23): 2236-2255.
- Wu Z W, Wang B, Li J P, et al, 2009. An empirical seasonal prediction model of the East Asian summer monsoon using ENSO and NAO[J]. *J Geophys Res*, 114: D18120.
- Xie S P, Hu K M, Hafner J, et al, 2009. Indian Ocean capacitor effect on Indo-western Pacific climate during the summer following El Niño[J]. *J Climate*, 22(3): 730-747.
- Yang J L, Liu Q Y, Xie S P, et al, 2007. Impact of the Indian Ocean SST basin mode on the Asian summer monsoon[J]. *Geophys Res Lett*, 34(2): L02708.
- 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 R H, Sumi A, Kimoto M, 1996. Impact of El Niño on the East Asian monsoon: a diagnostic study of the 86/87 and 91/92 events[J]. *J Meteor Soc Japan*, 74(1): 49-62.
- 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.
- 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.