

刘芸芸,王永光,龚振淞,等,2021. 2020 年汛期气候预测效果评述及先兆信号分析[J]. 气象,47(4):488-498. Liu Y Y, Wang Y G, Gong Z S, et al, 2021. Precursory signals of the 2020 summer climate in China and evaluation of real-time prediction[J]. Meteor Mon, 47(4):488-498(in Chinese).

## 2020 年汛期气候预测效果评述及先兆信号分析\*

刘芸芸<sup>1,2</sup> 王永光<sup>1</sup> 龚振淞<sup>1</sup> 娄德君<sup>3</sup>

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

3 黑龙江省齐齐哈尔市气象局,齐齐哈尔 161006

**提 要:** 2020 年汛期准确预测了“我国气候状况总体偏差,极端天气气候事件偏多”“涝重于旱”的总体特征,对长江中下游、黄河中上游、海河流域以及松花江流域降水较常年同期偏多和辽河流域降水偏少的预测与实况吻合。较好把握了华南前汛期雨季开始偏早、梅雨开始偏早和结束偏晚、华北雨季开始偏晚等雨季进程;但低估了长江中下游降水偏多的异常程度,对江淮西部、汉水降水明显偏多预测不准确,对四川盆地降水异常偏多也估计不足。对全国气温偏高以及我国南方高温日数偏多等主要趋势特征的预测与实况一致,对汛期台风数量较常年偏少及前期生成偏少后期生成偏多,以及在夏末至秋季较常年同期活跃的变化趋势的预测也均与实况吻合。2020 年汛期预测重点考虑了前冬赤道中东太平洋弱暖水衰减的演变趋势对东亚夏季环流的滞后影响,同时热带印度洋的持续暖海温的接力作用有利于西太平洋副热带高压持续偏强偏西、菲律宾异常反气旋偏强。预测中低估了热带印度洋的异常偏暖程度及其对长江中下游、江淮地区降水的影响,导致预测中出现了较大偏差。国家气候中心模式对我国东部地区降水整体偏多的特征把握较好,这主要与模式对夏季平均的热带和副热带主要环流系统的空间分布型预测准确有关。但对季节内尺度的环流变化特征把握不好,包括中高纬欧亚地区在 6—7 月表现出的“两脊一槽”双阻型环流,以及 7 月副热带高压脊线位置持续偏南,季节进程较常年明显偏晚。

**关键词:** 气候预测,汛期降水,El Nino 事件,热带印度洋暖海温,西太平洋副热带高压,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.1000-0526.2021.04.010

### Precursory Signals of the 2020 Summer Climate in China and Evaluation of Real-Time Prediction

LIU Yunyun<sup>1,2</sup> WANG Yongguang<sup>1</sup> GONG Zhensong<sup>1</sup> LOU Dejun<sup>3</sup>

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

3 Qiqihar Meteorological Office, Heilongjiang Province, Qiqihar 161006

**Abstract:** It was accurately predicted that in the flood season of 2020, the overall characteristics of “China’s generally poor climate condition, more extreme weather and climate events” and “more serious flooding than drought”. The predictions of abundant precipitation in the middle and lower reaches of the Yangtze River Valley, the middle and upper reaches of the Yellow River Valley, the Haihe River Valley, and the Songhuajiang River Valley, and the deficit precipitation in the Liaohe River Basin, are consistent with

\* 国家重点研发计划(2017YFA0603701)、中央引导地方科技发展专项(ZY18C12)、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

2021 年 2 月 7 日收稿; 2021 年 3 月 16 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:liyuny@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.

observations. The subseasonal monsoon rainy season processes, including the earlier start of South China pre-flood season, the earlier onset and later retreat of Meiyu in Yangtze-Huaihe River Valley, and the later start of North China rainy season than normal, were also well predicted in the climate operation. However, we underestimated the abnormal degree of excessive precipitation in the middle and lower reaches of the Yangtze River, and did not accurately predict the precipitation anomaly in the western reach of the Huaihe River, the Hanshui River, and the Sichuan Basin. The predictions of the surface air temperature are in line with the observations which was warmer than normal in most of China and more high-temperature days in South China. Moreover, we had a good grasp of the tropical cyclone frequency, tracks, and active/inactive periods over the Northwest Pacific and the South China Sea in 2020. For the diagnostic analyses, the weak sea surface temperature (SST) warming in the central and eastern Pacific in pre-winter plus continuous warming in the tropical Indian Ocean were considered to be important predictors. Under the influence of the tropical SST anomalies, the western Pacific subtropical high (WPSH) tended to be stronger and further westward, and anomalous anticyclone dominated the Philippine Sea. Nevertheless, the degree of abnormal warming in the tropical Indian Ocean SST and its impact on the precipitation in the middle and lower reaches of the Yangtze-Huaihe Rivers were underestimated, which is a significant deviation in the prediction. The Climate System Model of the National Climate Centre (NCC\_CSM1.1(m)) had a good performance overall in predicting the observation of more precipitation in eastern China, which was mainly related to the accurate prediction of the spatial distribution patterns of atmospheric circulation systems over the tropical and subtropical regions in summer by dynamic models. The subseasonal circulation variations, however, were not well captured, including the double blocking high circulation with “two ridges and one trough” in the mid and high latitudes of Eurasia region in June and July, the persistent southward position of WPSH ridgeline in July, with obviously late subseasonal process.

**Key words:** climate prediction, summer precipitation, El Niño event, tropical Indian Ocean warming, Western Pacific subtropical high (WPSH), Philippine anomalous anticyclone

## 引 言

我国是全球开展短期气候预测研究和业务工作最早的国家之一,从 1954 年开始正式发布相关的预测产品。目前我国短期气候预测的科技水平、业务能力和现代化程度都有了显著提升(李维京,2012),从传统的经验统计分析,发展到现阶段的动力-统计相结合的预测技术和方法,为国家和政府部门的防汛抗旱和防灾减灾提供了科技支撑(贾小龙等,2013)。

我国是全球旱涝灾害最为频发的国家之一,也是气候预测难度最大的国家之一。夏季旱涝影响因子复杂,对其物理过程及详细机理的认识仍不够全面和深入,且目前动力气候模式对东亚夏季降水的可预报能力普遍偏低,导致夏季旱涝预测仍然是一个世界性难题。近年来,气候变暖背景下极端降水

事件频发,进一步加大了旱涝预测的难度。为此,国家气候中心每年都组织汛期预测团队,及时总结汛期气候预测成败的原因(陈丽娟等,2016;2019;高辉等,2017;王永光和郑志海,2018;丁婷等,2020),分析汛期气候异常的机理(Yuan et al,2017;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),以期加深对东亚气候异常特征的认识,通过总结预测技术和方法,从而进一步提高短期气候预测水平和服务能力。

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淮地区至江南大部,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(孙林海等,2005)。在 3 月国家气候中心与水利部信息中心联合组织的全国汛期会商中,未能准确预测出我国

东部大范围降水偏多尤其是江淮地区偏多的特征,这与当时对异常先兆信号的分析 and 认识有关。因此,本文首先回顾了2020年汛期降水、气温、热带气旋及夏季风季节进程的预测效果,并对发布汛期预测前重点考虑的多个先兆信号以及这些信号的应用进行了总结分析,最后对季节气候预测可预报性以及值得深入研究的问题进行了讨论。

## 1 资料

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)美国国家海洋和大气管理局(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 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ ;(3)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 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ ;(4)美国国家环境信息中心(NCEI)发布的北半球的逐周积雪覆盖范围数据集(Estilow et al, 2015),利用该数据集加工得到1981年以来的逐月青藏高原积雪覆盖面积距平指数。本文中冬季指北半球上一年12月至当年2月平均,春季指3—5月平均,夏季指6—8月平均,气候态(常年)取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)。本文所用的大气环流指数包括西太平洋副热带高压(以下简称副高)指数(刘芸芸等,2012; Liu et al, 2019b),菲律宾反气旋指数(Wang et al, 2000)和东亚夏季风指数(张庆云等, 2003), Niño3.4指数和热带印度洋海盆一致模(IOBM)指数(Chambers et al, 1999)。

## 2 2020年夏季气候预测效果评估

2020年汛期气候预测较好地把握了“我国气候状况总体偏差,极端天气气候事件偏多”“涝重于旱”的总体特征;预测东亚夏季风强度偏弱、副高偏强;全国大部地区气温较常年同期偏高、汛期台风数量较常年偏少及前期生成偏少后期生成偏多、在夏末

至秋季较常年同期活跃的变化趋势,均与实况吻合;准确预测了华南前汛期雨季开始偏早、梅雨开始偏早和结束偏晚、华北雨季开始偏晚等雨季进程。3月底发布汛期降水预测评分为70分,气温为84分;4月底降水滚动预测为74分。均超过1981—2010年气候平均分(67分)。

### 2.1 降水

2020年夏季全国平均降水量为373.0 mm,为1961年以来历史同期次多,仅次于1998年。其中东部大部地区均降水偏多,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%(刘芸芸等,2021)。

对比实况和3月底及4月底发布的预报可见,2020年汛期预测准确把握了汛期“涝重于旱”的总体特征(图1)。3月底发布的预测(图1b)指出,2020年夏季我国南北方都有多雨区,南方多雨区主要位于江南大部、华南北部和西南地区东部,北方多雨区位于东北地区北部、华北大部、黄淮,上述地区可能出现较重的洪涝灾害,长江中下游、黄河中上游和海河流域以及松花江流域降水较常年同期偏多,暴雨过程和日数较多,可能有较重汛情;辽河流域降水接近常年同期偏少。对比实况(图1a)可以看到,对以上区域的降水异常分布特征及早涝趋势都与实况较为一致。但不足的是,低估了长江中下游降水偏多的异常程度,对江淮西部、汉水降水明显偏多预测不准确,对四川盆地降水异常偏多估计不足。2020年夏季长江中下游沿江地区降水较常年偏多5成以上,局部地区偏多1倍。而预测的南方主要多雨带中心位置偏南,预测长江中下游地区降水偏多2~5成,低估了其偏多的异常程度;预测江淮西部、汉水地区降水偏少2成左右,与实况相反。在4月底滚动订正预报中(图1c),根据最新的海洋、积雪、大气等影响因子演变特征以及国内外动力模式的最新预测,维持南北都有多雨区、涝重于旱的总体意见不变,对局部有订正,将江汉—西北地区东南部的少雨区减小,安徽中部、河南东南部和湖北东北部由偏少订正为正常。这次订正使长江—江淮流域的预测更接近实况,但异常程度仍然与实况有较大偏差。

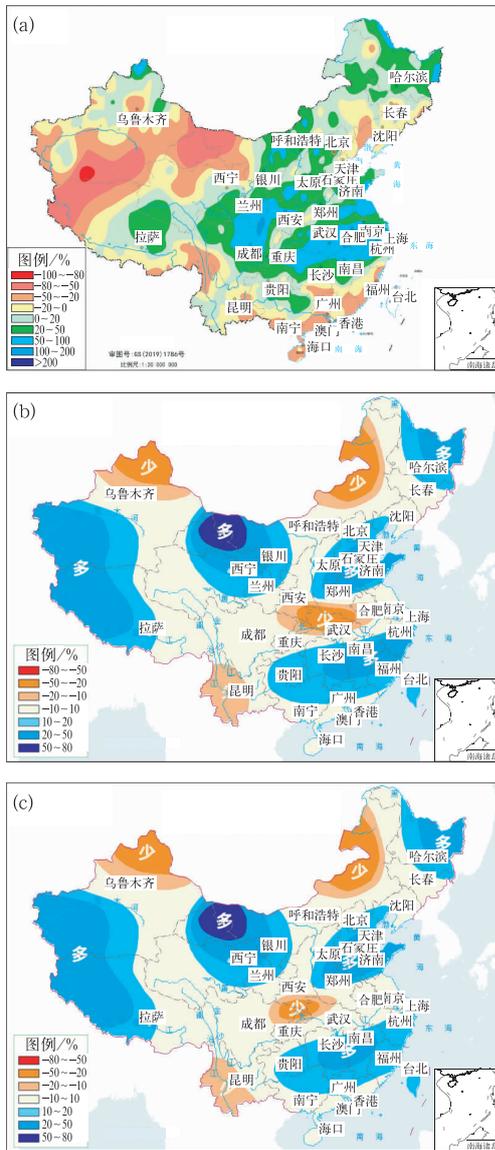


图 1 2020 年汛期(6—8 月)降水量距平百分率实况(a)以及 3 月底(b)和 4 月底(c)发布的季节预报

Fig. 1 Observed precipitation anomaly percentages in the flood season of 2020 (June—July—August) (a) and corresponding seasonal predictions issued at the ends of March (b) and April (c) 2020, respectively

## 2.2 气温

2020 年夏季全国平均气温为 21.5℃,较常年同期(20.9℃)偏高 0.6℃(刘芸芸等,2021)。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分地区偏低 1~2℃(图 2a)。根据国家气候中心

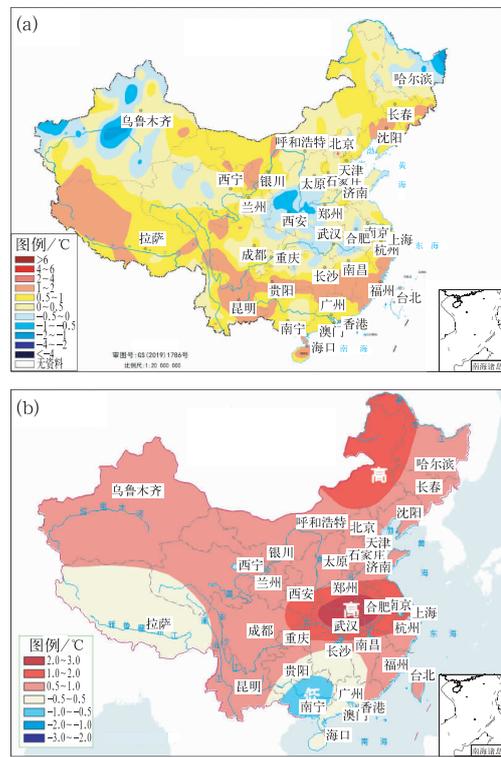


图 2 2020 年汛期(6—8 月)气温距平实况(a)和 3 月底发布的季节预报(b)

Fig. 2 Observed air temperature anomaly in the flood season of 2020 (June—July—August) (a) and corresponding seasonal forecast issued at the end of March 2020 (b)

监测,2020 年夏季福建、广东平均气温为 1961 年以来历史同期最高,湖南、海南、云南、贵州为次高,江西和广西为第三高。7 月 11 日以来,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 日的高温天气过程。

2020 年 3 月底发布预测指出“全国大部地区气温接近常年同期到偏高,黄淮西部、江淮、江汉、江南北部等地区高温( $\geq 35^{\circ}\text{C}$ )日数较常年同期偏多,可能出现阶段性高温热浪(图 2b)”。汛期的气温预测体现出全国气温偏高以及我国南方高温日数偏多等主要趋势特征,与实况一致;但对我国中东部部分地区气温偏低估计错误,这与 2020 年汛期我国东部大范围降水偏多估计不足有关。

## 2.3 热带气旋

表 1 给出了 2020 年夏季(6—8 月)在西北太平洋和南海地区的热带气旋(台风)各特征量的实况与

预测结果。实况显示,2020 年夏季西北太平洋生成台风(8 个)及登陆我国(4 个)个数均比常年同期(11.2 个,4.6 个)偏少。其中 6 月生成 1 个并登陆;7 月无台风生成和登陆,为 1949 年以来首次“空台”的 7 月;8 月生成(7 个)及登陆(3 个)个数均较常年同期(5.8 个,1.9 个)偏多。台风活跃的阶段特征突出,且登陆台风具有“生成源地偏西、生命史短、近海加强、影响偏轻”的特点。

表 1 2020 年汛期(6—8 月)热带气旋预测和实况对比

Table 1 Prediction and observation of tropical cyclone features over the Northwest Pacific and the South

China Sea in the flood season of 2020

预测对象	预测	实况	评估
生成	8~10 个	8 个	趋势一致
登陆	4~5 个	4 个	趋势一致
路径	西北行	西行和北上转向	趋势一致
影响区域	华东和 华南沿海	华南、华东 沿海和东北	趋势基本 一致
活跃阶段	前弱后强	前弱后强	趋势一致

准确预测了汛期台风数量和“前期生成偏少、后期生成偏多的特点,在夏末至秋季较常年同期活跃”的变化趋势,并指出“盛夏可能有北上台风影响我国”。2020 年 8 月底至 9 月初的 8 号台风巴威、9 号台风美莎克和 10 号台风海神受副高西侧引导气流的影响连续北上,历史罕见地给我国东北地区带去大风和大量降水(图略)。预测时主要考虑了 El Niño 事件衰减年及印度洋持续暖海温对台风生成及登陆路径的影响。在这种海温背景下,西北太平

洋季风槽的位置偏西,副高后期容易偏北,有利于台风生成源地偏西,且活跃期沿副高西侧的引导气流北上影响我国东部沿海地区。

## 2.4 东部雨季季节进程

我国东部地区的雨带随着夏季风进程自南向北推进。夏季风进程明显受到来自热带海洋、陆面积雪等异常信号的影响(Zhou and Chan, 2007; Liu and Ding, 2008a; 2008b; 竺夏英等, 2013),同时还可能受到次季节尺度大气环流(如低频振荡)的作用(李春晖等, 2016; 刘芸芸和丁一汇, 2020; Ding et al, 2021)。因此,在 2020 年预测和服务时不仅考虑了多因子先兆信号的共同作用,而且还在滚动订正预测中参考临近动力气候模式的预测信息,充分考虑次季节尺度系统的特征及对夏季风进程的影响,从而较好地把握了 2020 年汛期夏季风和各主要雨带进程早晚的总体特征(表 2),准确预测了华南前汛期雨季开始偏早、梅雨开始偏早和结束偏晚、华北雨季开始偏晚等雨季进程。如果单纯考虑 ENSO 循环的影响,2019 年 10 月至 2020 年 5 月发生的 El Niño 事件有利于 2020 年的夏季风进程偏晚。然而在 2020 年春夏交接时期,我国南方表现出显著的准双周振荡,影响了华南前汛期、南海夏季风爆发的时间,造成季节进程较常年偏早;影响了江淮流域梅雨的提前开始,并且长时间持续(刘芸芸和丁一汇, 2020; Ding et al, 2021)。

表 2 2020 年汛期主要气候事件的预测与实况对比

Table 2 Prediction and observation of major climate events in the flood season of 2020

	开始时间	结束时间	雨季长度/d	雨量/mm	预测时间	预测强度
华南前汛期	3 月 25 日(早 12 d)	6 月 27 日(早 9 d)	94(长 3 d)	624(少 15%)	开始偏早	雨量偏多
江南梅雨	5 月 29 日(早 10 d)	7 月 11 日(晚 3 d)	43(长 13 d)	682(多 86.6%)	开始偏晚	雨量偏多
长江中下游梅雨	6 月 9 日(早 5 d)	7 月 31 日(晚 18 d)	52(长 23 d)	754(多 153.2%)	开始偏早结束偏晚	雨量偏多
江淮梅雨	6 月 10 日(早 11 d)	8 月 2 日(晚 18 d)	53(长 29 d)	659(多 149.2%)	开始偏早结束偏晚	雨量偏多
华北雨季	7 月 28 日(晚 10 d)	8 月 25 日(晚 7 d)	28(短 3 d)	182(偏多 34%)	开始偏晚	雨量偏多

## 3 2020 年汛期预测先兆信号及应用

2020 年的汛期预测及服务能取得较好效果,与发布预测前对气候系统先兆信号的全面分析以及对动力气候模式有效信息的提取密不可分,尤其是在众多信号面前,如何提取主导信号并把握各主导信

号的协同作用尤为重要。首先对预报对象和多个预报因子的关系进行了分析,从年际和次季节尺度等多方面进行诊断分析,并在不同超前时间点提供了详略不同的预测服务信息:3 月底给出汛期气候趋势展望;4—5 月,根据亚洲夏季风的季节推进特征,对汛期气候趋势进行滚动订正,同时提供季节内气候事件特征的趋势预测;6—8 月,根据动力气候模

式提供的最新预测以及夏季风推进的特点,给出季节内气候事件的开始(结束)时间及强度等详细预测信息。

### 3.1 厄尔尼诺事件

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,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)。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, 2019a; 2021)。

由于此次暖事件发展强度弱,因此在做预测时考虑更多的是赤道中东太平洋海温的演变对我国夏季降水的可能影响。首先选择有相似演变特征的历史年份,并去除了超强 El Niño 年,得到7个相似年:1995、2003、2004、2005、2007、2010和2019年(图3a)。夏季降水的合成结果显示,在 El Niño 弱暖水衰减状态下,我国容易出现南北均有多雨区,其中长江以北的大部地区降水明显偏多,而长江下游降水偏少(图3b)。与2020年夏季降水实况对比发现在长江中下游地区存在较大差异,这说明赤道中东太平洋的弱暖水衰减状态可能并不是2020年夏季降水异常的主要贡献因子。

### 3.2 热带印度洋

前期除了赤道中东太平洋地区海温异常外,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(刘芸芸等,2021)。其中2020年夏季热带印度洋一致模(IOBM)指数为1961年以来同期最高值(0.60°C),标准差为2.15(图4a)。前人研究指出,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; Yang et al, 2007; Xie et al, 2009)。从2020年 IOBM 夏季监测实况来看,其显著异常的演变特征在一定程度上说明它除了对前期弱 El Niño 事件的响应外,同时热带印度洋局地的海气相互作用也加强了它的异常程度。

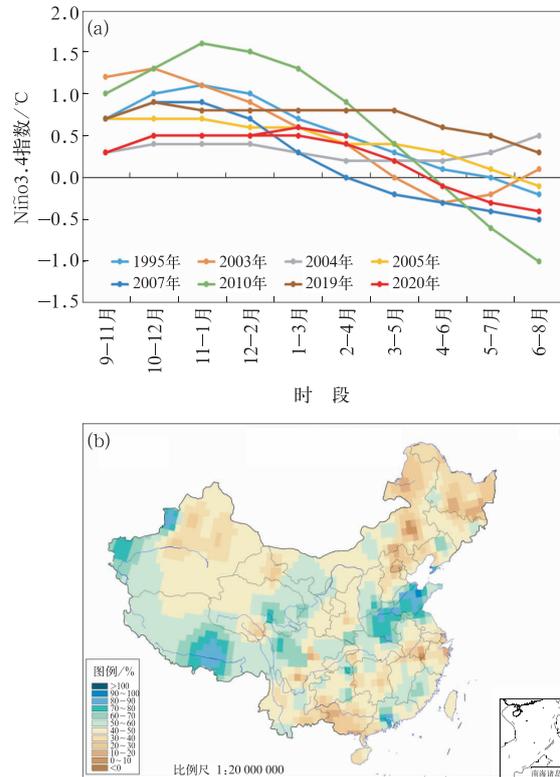


图3 2019年秋季至2020年夏季及相似年同期的 Niño3.4 指数演变(a),以及7个 Niño3.4 演变相似年的夏季降水合成场(b)  
Fig. 3 Seasonal variation of Niño3.4 index from autumn 2019 to summer 2020 and other seven years with similar evolution (a), and the composite of summer precipitation anomaly in the seven similar years (b)

预测中利用偏相关的方法,考虑了在排除 EN-SO 影响下的前冬—春季印度洋暖海温对夏季环流的影响,发现其有利于副高偏强、偏西,以及菲律宾附近异常反气旋环流的维持(Xie et al, 2009; Yuan et al, 2012; 刘芸芸和陈丽娟, 2019)。在印度洋暖海温异常的相似年的降水合成则反映出有利于夏季江淮流域显著偏多(图4b),这与2020年夏季的环流和降水实况更为接近。而从最新的夏季降水成因分析中也发现,2020年热带印度洋显著偏暖的先兆信号是我国乃至东亚地区夏季降水显著偏多的主要原因之一(Ding et al, 2021; Takaya et al, 2020)。

### 3.3 青藏高原积雪

除海温异常信号外,国家气候中心监测显示2019/2020年冬季的青藏高原积雪面积较常年显著偏多  $168.8 \times 10^6 \text{ km}^2$ ,为1980/1981年冬季以来次

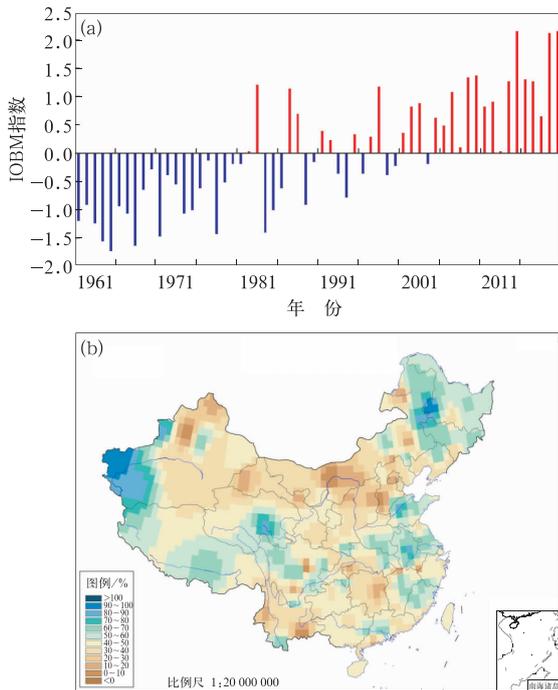


图 4 1961—2020 年夏季标准化的热带印度洋一致模 (IOBM) 指数 (a), 以及 6 个正 IOBM 指数相似年的夏季降水合成场 (b)

Fig. 4 The normalized summer Indian Ocean Basin-wide Mode (IOBM) index from 1961 to 2020 (a), and the composite of summer precipitation anomaly in the six similar years of positive IOBM index (b)

多, 仅少于 2018/2019 年冬季 (图 5a)。根据已有研究, 高原积雪偏多, 经过热力异常和动力异常的作用, 有利于东亚夏季风偏弱, 初夏长江流域降水偏多 (张顺利和陶诗言, 2001; 陈兴芳和宋文玲, 2000; 竺夏英等, 2013)。在做汛期预测分析时, 一方面关注到了高原积雪的异常偏多信号, 有利于初夏江淮梅雨偏多; 另一方面还注意到冬季高原积雪与夏季降水的关系有年代际尺度的变化, 两者在 1981—2019 年的相关系数可达到 0.4, 通过了 0.05 的显著性水平检验 (图 5b), 但 2000—2019 年的相关关系明显减弱 (图 5c)。从冬季青藏高原积雪面积距平的历史序列可知 (图 5a), 1982/1983、1997/1998、2007/2008、2018/2019 年冬季高原积雪也显著偏多, 其中前两个冬季的后期夏季长江中下游地区发生了严重汛情, 2008 年长江中下游降水也整体偏多。但 2019 年夏季南方主要多雨区位于江南至华南地区, 而长江中下游沿江地区及江淮降水明显偏少 (丁婷等, 2020)。统计相关和个例分析使得在做 2020 年汛期夏季预测时对青藏高原积雪面积异常偏多这个陆面信号考虑不够全面。但从 2020 年夏季降水实况来看, 前冬的高原积雪异常偏多可能也会对夏季江淮

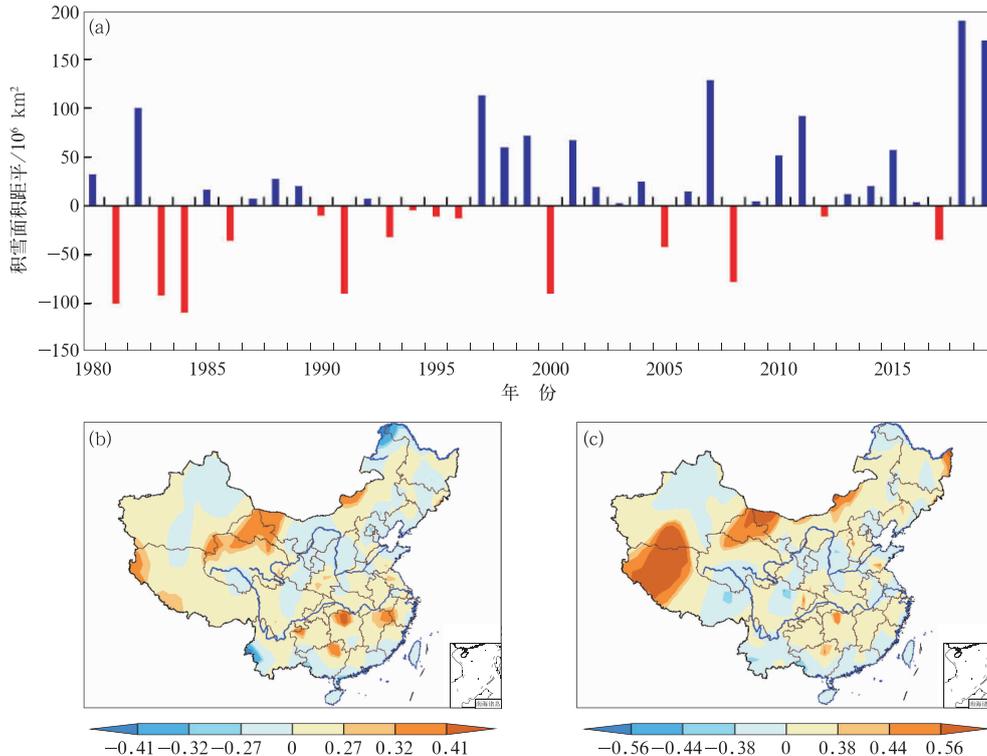


图 5 1980/1981—2019/2020 年冬季青藏高原积雪面积距平 (a), 及其分别与 1981—2019 年 (b) 和 2000—2019 年 (c) 夏季降水的相关分布

Fig. 5 The winter snow cover anomaly over the Tibetan Plateau from 1980/1981 to 2019/2020 (a), and its correlation distributions with summer precipitation anomalies during 1981—2019 (b), and 2000—2019 (c), respectively

流域洪涝有一定贡献。未来工作还将对其展开更为深入的分析。

### 4 动力气候模式预测及应用

除物理诊断外,还分析评估了国内外动力气候模式的预测结果。国家气候中心 BCC\_CSM1.1 m 模式预测 2020 年夏季北半球极涡较常年同期偏强,中高纬欧亚大陆地区以纬向环流为主,包括我国东北地区在内的贝加尔湖以东东北亚大部分区域均为显著正高度距平区;副热带西北太平洋地区高度场也为正距平分布,有利于副高偏强西伸(图 6b)。其他国外气候预测中心(如 NCEP、ECMWF、TCC 等)的动力模式对欧亚环流型的预测与国家气候中心类似(图略)。考虑到东亚夏季风、副高和菲律宾反气旋的强弱对我国汛期气候及主要多雨带空间分布有直接的影响,重点对比了各模式对副高各特征指数(刘芸芸等,2012)与菲律宾反气旋指数(Wang et al,2000)的预测(图 7)。结果显示,3 月下旬起报的多模式集合预测夏季副高显著偏强偏西,6 月脊线位置接近常年同期,7—8 月偏北,菲律宾反气旋偏强,这样的环流形势有利于我国长江及其以北地

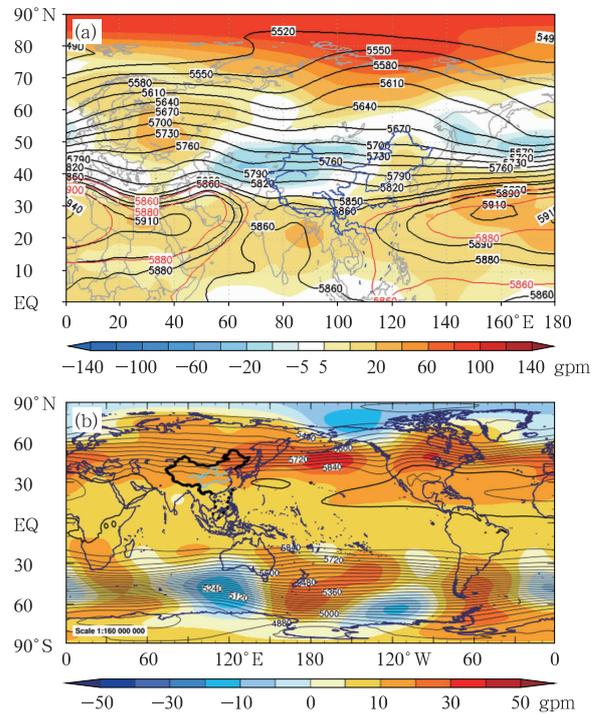


图 6 观测的 2020 年夏季 500 hPa 高度场(a) 以及 BCC\_CSM1.1 m 模式 2020 年 3 月起报的结果(b) (实线:位势高度,单位:gpm;填色:距平)

Fig. 6 Observed summer 500 hPa geopotential height anomaly in summer 2020 (a) and seasonal prediction initiated from March 2020 by BCC\_CSM1.1 m (b) (solid line: geopotential height, unit: gpm; colored: anomaly)

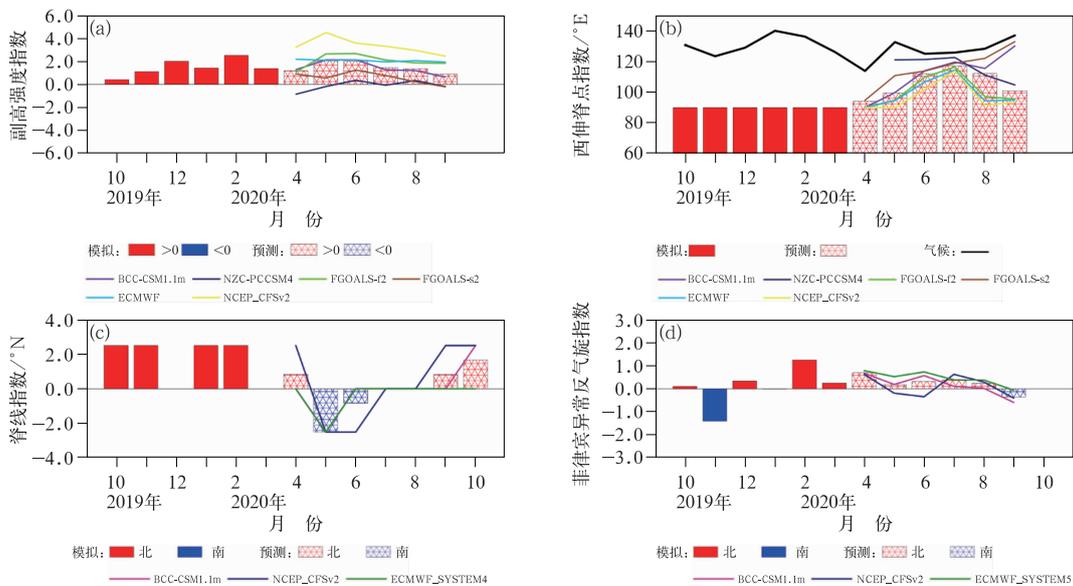


图 7 2020 年 3 月起报的逐月副高强度指数(a)、西伸脊点指数(b)和脊线指数(c), 及菲律宾异常反气旋指数(d)的多模式集合预测

Fig. 7 The multi-model prediction of monthly atmospheric circulation indices initiated from March 2020, including intensity (a), westernmost point (b), and ridgeline (c) of western Pacific subtropical high indices, and the Philippine Sea anomalous anticyclone index (d)

区降水偏多。与实况(图 6a)对比可知,上述各动力模式对夏季平均的热带和副热带主要环流系统的空间分布型预测效果较好,但对季节内尺度的环流变化特征把握不好,包括中高纬欧亚地区在 6—7 月表现出的“两脊一槽”双阻型环流,以及 7 月副高脊线位置持续偏南,主要多雨带维持在江淮至江南北部地区,7 月底副高才第二次北跳,季节进程较常年明显偏晚(刘芸芸等,2021)。由于模式在主要多雨带季节进程上的预测失误,从而导致主要多雨区较实况偏北,高估了华北区域的降水,而低估了长江及其以南区域的降水。Liu et al(2019a;2019b;2021)专门针对目前国内外主要气候模式的季节和季节内尺度的预报能力进行了详细评估,发现气候模式普遍存在对夏季主要多雨带强度预报偏弱和北抬时间偏早的系统性偏差。这为今后的汛期气候预测中如何准确应用模式预测信息提供了参考。

## 5 结论与讨论

2020 年汛期准确预测了“我国气候状况总体偏差,极端天气气候事件偏多”“涝重于旱”的总体特征,对长江中下游、黄河中上游、海河流域以及松花江流域降水较常年同期偏多和辽河流域降水偏少的预测与实况吻合;但低估了长江中下游降水偏多的异常程度,同时对江淮西部、汉水降水明显偏多预测不准确,对四川盆地降水异常偏多估计不足;较好把握了华南前汛期雨季开始偏早、梅雨开始偏早和结束偏晚、华北雨季开始偏晚等雨季进程;对全国气温偏高以及我国南方高温日数偏多等主要趋势特征的预测与实况一致,但对我国中东部部分地区气温偏低估计错误;对汛期台风数量较常年偏少及前期生成偏少后期生成偏多、在夏末至秋季较常年同期活跃的变化趋势的预测与实况吻合。

在 2020 年汛期预测中,将诊断分析和国内外动力模式预测结果相结合。在分析先兆信号时,重点考虑了前冬赤道中东太平洋弱暖水衰减的演变趋势对东亚夏季环流的滞后影响,同时热带印度洋的持续暖海温的接力作用有利于副高持续偏强偏西、菲律宾反气旋偏强。国家气候中心气候预测模式对我国东部地区降水整体偏多的特征把握较好,这主要与动力模式对夏季平均的热带和副热带主要环流系

统的空间分布型预测准确有关。但对季节内尺度的环流变化特征把握不好,包括中高纬欧亚地区在 6—7 月表现出的“两脊一槽”双阻型环流,以及 7 月副高脊线位置持续偏南、季节进程较常年明显偏晚。

通过对 2020 年汛期气候异常特征及其先兆信号的分析可知这是热带和中高纬多因子多时间尺度叠加作用的结果。从年际尺度看,2020 年汛期副高异常偏强,其强度超过了 1998 年和 2016 年,在弱 El Niño 背景下,印度洋持续暖海温和青藏高原积雪异常偏多可能都对 2020 年副高异常偏强及长江流域严重洪涝有重要贡献。在季节内尺度上,2020 年副高第一次季节性北跳偏早,第二次季节性北跳明显偏晚,导致主要多雨带长时间在长江流域维持。这其中青藏高原积雪的作用,以及影响副高季节性北进的主要因素都值得进一步深入分析。另外,2020 年夏季季节内中高纬环流经向性大,冷空气过程频繁,使得南方暖湿气流与北方冷空气长时间在长江流域交汇(刘芸芸和丁一汇,2020)。但国内外气候模式从 3—5 月均预测夏季中高纬地区以纬向环流为主,与实况相反。因此,加强对中高纬度环流系统演变规律、影响机制及可预报性的科学认识尤为迫切。

## 参考文献

- 陈丽娟,顾薇,丁婷,等,2016. 2015 年汛期气候预测先兆信号的综合分析[J]. 气象,42(4):496-506. Chen L J, Gu W, Ding T, et al, 2016. Overview of the precursory signals of seasonal climate prediction in summer 2015[J]. Meteor Mon, 42(4):496-506 (in Chinese).
- 陈丽娟,顾薇,龚振淞,等,2019. 影响 2018 年汛期气候的先兆信号及预测效果评估[J]. 气象,45(4):553-564. Chen L J, Gu W, Gong Z S, et al, 2019. Precursory signals of the 2018 summer climate in China and evaluation of real-time prediction[J]. Meteor Mon, 45(4):553-564 (in Chinese).
- 陈兴芳,宋文玲,2000. 欧亚和青藏高原冬春季积雪与我国夏季降水关系的分析和预测应用[J]. 高原气象,19(2):214-223. Chen X F, Song W L, 2000. Analysis of relationship between snow cover on Eurasia and Qinghai-Xizang Plateau in winter and summer rainfall in China and application to prediction[J]. Plateau Meteor, 19(2):214-223 (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).

- 丁婷,韩荣青,高辉,2020.2019年汛期气候预测效果评述及降水预测先兆信号分析[J].气象,46(4):556-565. Ding T, Han R Q, Gao H, 2020. Overview of climate prediction for the summer 2019 and the precursory signals[J]. Meteor Mon, 46(4): 556-565(in Chinese).
- 高辉,袁媛,洪洁莉,等,2017.2016年汛期气候预测效果评述及主要先兆信号与应用[J].气象,43(4):486-494. Gao H, Yuan Y, Hong J L, et al, 2017. Overview of climate prediction of the summer 2016 and the precursory signals[J]. Meteor Mon, 43(4): 486-494(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).
- 贾小龙,陈丽娟,高辉,等,2013.我国短期气候预测技术进展[J].应用气象学报,24(6):641-655. Jia X L, Chen L J, Gao H, et al, 2013. Advances of the short-range climate prediction in China[J]. J Appl Meteor Sci, 24(6): 641-655(in Chinese).
- 李春晖,刘燕,李霞,等,2016.热带西北太平洋10~30 d振荡对南海夏季季风影响[J].应用气象学报,27(3):293-302. Li C H, Liu Y, Li X, et al, 2016. Impact of 10-30-day oscillation intensity over the tropical Northwest Pacific Ocean on the South China Sea summer monsoon[J]. J Appl Meteor Sci, 27(3): 293-302(in Chinese).
- 李维京,2012.现代气候业务[M].北京:气象出版社. Li W J, 2012. Modern Climate Operation[M]. Beijing: China Meteorological Press(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 extreme Meiyu in 2020[J]. Meteor Mon, 46(11): 1393-1404(in Chinese).
- 刘芸芸,李维京,艾祝秀,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).
- 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).
- 张庆云,陶诗言,陈烈庭,2003.东亚夏季季风指数的年际变化与东亚大气环流[J].气象学报,61(5):559-568. Zhang Q Y, Tao S Y, Chen L T, 2003. 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): 559-568(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,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).
- 竺筮英,陈丽娟,李想,2013.2012年冬春季高原积雪异常对亚洲夏季风的影响[J].气象,39(9):1111-1118. Zhu X Y, Chen L J, Li X, 2013. Impact of Tibetan Plateau snow cover anomaly on Asian summer monsoon in 2012[J]. Meteor Mon, 39(9): 1111-1118(in Chinese).
- Chambers D P, Tapley B D, Stewart R H, 1999. Anomalous warming in the Indian Ocean coincident with El Niño[J]. J Geophys Res Oceans, 104(C2): 3035-3047.
- Ding Y H, Liu Y Y, Hu Z Z, 2021. The record-breaking Meiyu in 2020 and associated atmospheric circulation and tropical SST anomalies[J]. Adv Atmos Sci. DOI: 10. 1007/s00376-021-0361-2.
- Estilow T W, Young A H, Robinson D A, 2015. A long-term Northern Hemisphere snow cover extent data record for climate studies and monitoring[J]. Earth Syst Sci Data, 7(1): 137-142.
- 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 Y Y, Ding Y H, 2008a. Teleconnection between the Indian summer monsoon onset and the Meiyu over the Yangtze River Valley[J]. *Sci China Ser D Earth Sci*, 51(7): 1021-1035.
- Liu Y Y, Ding Y H, 2008b. Analysis and numerical simulations of the teleconnection between Indian summer monsoon and precipitation in North China[J]. *Acta Meteor Sin*, 22(4): 489-501.
- Liu Y Y, Hu Z Z, Wu R G, et al, 2021. Subseasonal prediction and predictability of summer rainfall over eastern China in BCC\_AGCM2.2[J]. *Climate Dyn*. DOI:10.1007/s00382-020-05574-y.
- 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]. Amsterdam; Elsevier: 237.
- 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.
- Takaya Y, Ishikawa I, Kobayashi C, et al, 2020. Enhanced Meiyu-Baiu rainfall in early summer 2020; aftermath of the 2019 super IOD event [J]. *Geophys Res Lett*, 47(22): e2020GL090671. DOI:10.1029/2020GL090671.
- 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.
- 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. DOI:10.1029/2006GL028571.
- Yuan Y, Gao H, Li W J, et al, 2017. The 2016 summer floods in China and associated physical mechanisms; a comparison with 1998 [J]. *J Meteor Res*, 31(2): 261-277.
- 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.
- Zhou W, Chan J C L, 2007. ENSO and the South China Sea summer monsoon onset[J]. *Int J Climatol*, 27(2): 157-167.