

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).

2019 年汛期气候预测效果评述及降水 预测先兆信号分析*

丁 婷 韩荣青 高 辉

国家气候中心,北京 100081

提 要: 2019 年汛期降水呈南多北少分布,主要多雨区位于东北和江南等地。3 月发布的预报对江南、西南东部、东北东部、西北中部地区降水偏多和内蒙古中部及东北部的偏少均做了较好预测;5 月发布的滚动预测将南方主要多雨中心南移,订正结果与实况更为一致。6 月发布的盛夏预报及时加强了对东北地区降水趋势的订正,准确预测了东北地区降水明显偏多的特征。对南海夏季风、西南雨季、梅雨及华北雨季的季节进程预测也和实况一致。但 2019 年汛期降水预测也存在明显的不足之处:对长江中下游沿江降水异常偏少预测错误;对东北地区多雨的范围和异常程度估计不足。初步分析了 2018—2019 年冬季青藏高原积雪面积异常偏多、2018—2019 年厄尔尼诺事件以及热带印度洋海温持续偏暖对长江中下游降水预测指示意义的失败,并与 2018 年外强迫信号及大气环流做了简单对比,指出汛期降水和传统影响因子不匹配、非对称的复杂性研究还需要深入开展。

关键词: 气候预测,夏季降水,青藏高原积雪面积,厄尔尼诺,热带印度洋

中图分类号: P461

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2020.04.010

Overview of Climate Prediction for the Summer 2019 and the Precursory Signals

DING Ting HAN Rongqing GAO Hui

National Climate Centre, Beijing 100081

Abstract: In summer 2019, precipitation in south of China was above normal, but below normal in north of China. Much more precipitation was found in Northeast China and the south of the Yangtze River. The precipitation above normal in the south of the Yangtze River, the east of Southwest China, the east of Northeast China, the central part of the Northwest China, and the precipitation below normal in central and northeastern Inner Mongolia were well predicted in March. The updated forecast released in May predicted the main rainy centers in southern China would move southward, and this corrected forecast is more consistent with the observation. The prediction for July—August released in June modified the precipitation prediction trend for Northeast China, and accurately predicted the characteristics of much more precipitation in this region. The predictions on the onset of the South China Sea summer monsoon, the rainy season in Southwest China, Meiyu, and the rainy season in North China were predicted well. However, there

* 国家重点研发计划(2018YFC1505603)、公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306033)和中国气象局预报员专项(CMAYBY2019-149)共同资助

2020 年 2 月 9 日收稿; 2020 年 3 月 10 日收修定稿

第一作者:丁婷,主要从事短期气候预测研究. Email:dingting@cma.gov.cn

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

were deficiencies in the precipitation prediction in summer 2019. The prediction of precipitation anomaly along the middle and lower reaches of the Yangtze River was wrong. The range and the anomaly degree of the precipitation above normal in Northeast China were underestimated. In addition, this paper preliminarily analyzes the failure of the snow area anomaly of Qinghai-Tibetan Plateau, the El Niño event and the tropical Indian Ocean warming in winter 2018–2019 indicating the precipitation anomaly in the middle and lower reaches of the Yangtze River. The external-forcing factors and the associated atmospheric circulation between 2018 and 2019 are compared. It is pointed out that the research on the complexity of the mismatch and asymmetry between the summer precipitation and the traditional impact factors needs to be further carried out.

Key words: climate prediction, summer precipitation, Qinghai-Tibetan Plateau snow cover, El Niño, tropical Indian Ocean

引言

短期气候预测是全球气象防灾减灾和气候服务框架(Global Framework for Climate Services, GF-CS)的重要组成部分,亦是世界气候研究计划(World Climate Research Programme, WCRP)的核心科学目标内容。我国是世界上开展气候预测业务和研究工作最早的国家之一,自1954年开始正式发布短期气候预测产品(陈兴芳和赵振国,2000)。通过我国气象科技工作者的不懈努力,短期气候预测的业务能力、科技水平和现代化程度都迈上了一个新台阶(李维京,2012),实现了从经验统计分析到物理统计分析直至现阶段动力统计相结合的预测技术手段,为政府部门部署防汛抗旱和防灾减灾提供了有力的科技支持(贾小龙等,2013)。

我国位于亚澳季风区,青藏高原热动力效应和印度洋、太平洋等海温的共同作用以及亚洲夏季风的影响使我国成为全球旱涝灾害最频发的国家之一,也是气候预测难度最大的国家之一。尤其是夏季旱涝影响因子复杂,使我们对其物理过程及详细机理的认识仍不够全面、深入,且目前业务气候模式对东亚夏季降水的可预报能力普遍偏低,因此现阶段对夏季旱涝的预测仍然是一个世界性难题。尤其是近年来,在气候变暖的背景下,极端降水事件频发进一步加大了对旱涝预测的难度。在短期气候预测水平整体上升的同时,部分年份、地区预报失误的例子并非鲜见。因此深入认识旱涝异常的成因、总结预测的成败将有助于气象工作者提高认知能力。近10年来,国家气候中心加强当年汛期(6—8月)气候异常的预测效果评估和旱涝成因诊断(张培群等,2009;艾婉秀等,2010;贾小龙等,2011;梁潇云等,

2012;陈丽娟等,2013;2016;2019;柯宗建等,2014;孙林海等,2015;高辉等,2017;王永光和郑志海,2018),以求拓展对我国气候异常机理的认识,从而提高短期气候预测能力,更好地满足用户的服务需求。

2019年夏季我国旱涝分布有明显的空间差异,东部主要多雨区位于江南至华南及东北地区,长江中下游降水明显偏少。在3月国家气候中心和水利部水情信息中心联合组织的全国汛期会商中,未能预报长江中下游严重夏旱和江南严重洪涝并举的降水分布格局。从当时预报依据看,无论是前冬青藏高原积雪异常偏多,还是热带海温尤其是厄尔尼诺事件和热带印度洋海温偏暖等传统预测前兆信号均在2019年预报启用失败。因此,本文回顾了2019年汛期降水、气温、热带气旋及夏季风季节进程的预测效果,详细介绍上述因子在3月制作汛期预报时应用的失败,从而给后续分析提供基础参考,并就今后汛期预测需要深入研究的问题提出了初步讨论。

1 资料

文中所用逐日降水资料取自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—2019年。大气环流资料为NCEP/NCAR逐日再分析资料集中的各层位势高度场、水平风场和水汽场,资料水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ (Kalnay et al,1996; Kistler et al,2001)。海温资料为美国NOAA提供的线性最优插值全球海温数据(OISST-v2),网格点分辨率是 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ (Reynolds et al,2002)。如无特殊说明,本文中冬季指当年12月至次年2月平均,春、夏、秋季分别为3—5月、6—8月、9—11月的平均。

文中所用东亚副热带夏季风强度指数采用张庆云等(2003)定义,即将东亚热带季风槽区($10^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{N}$ 、 $100^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{E}$)与东亚副热带地区($25^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}$ 、 $100^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{E}$)平均的850 hPa风场的纬向风距平差作为季风指数。热带印度洋全区一致海温模态指数(Indian Ocean Basin Wide Mode, IOBW)定义为热带印度洋($20^{\circ}\text{S}\sim 20^{\circ}\text{N}$ 、 $40^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{E}$)区域格点平均海温距平。Niño3.4指数定义为Niño3.4区($5^{\circ}\text{S}\sim 5^{\circ}\text{N}$ 、 $170^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{W}$)区域平均海温距平。积雪面积资料源自国家气候中心气候监测业务结果。

2 2019年夏季气候预测评估

2.1 降水

2019年夏季我国旱涝并举。根据应急管理部(2019)统计,该年7月我国洪涝和地质灾害“南北齐发”,南方出现5次大范围强降雨天气过程,贵州水城7月23日特大山体滑坡灾害造成51人死亡失踪。根据中国气象局国家气候中心(2020)监测,云南初夏温高雨少遭受严重春夏连旱,长江中下游发生严重伏秋连旱。在2019年3月,汛期预测较好把握了“我国气候状况总体偏差,降水呈南多北少分布,极端天气气候事件偏多,旱涝灾害较重”的总趋势。

2019年夏季,我国东部主要多雨区位于江南至华南及东北地区(图1a)。东北大部、江南南部、华南北部、西北地区西部和东北部及山东中部、内蒙古西部和东北部的部分地区、西藏西部、新疆南部等地降水量偏多20%至1倍,局部地区偏多1~2倍。对比实况,可以发现3月发布预报(图1b)中较好预测了江南、西南东部、东北东部、西北中部地区降水偏多和内蒙古中部及东北部的偏少,但对长江中下游沿江地区及江淮降水明显偏少估计不足,对东北地区西部和北部多雨也未能预测。5月订正预报中,认为“降水呈南多北少分布,旱涝灾害较重”等基本结论不变,并将南方主要多雨中心南移,这一订正结果与实况更为一致(图1c),但对东北全区域性多雨仍然预测不足,对江淮地区的少雨干旱也未能滚动预测及时体现。

6月发布的盛夏(7—8月)预报及时加强了对东北地区降水趋势的订正,准确预测了东北地区降水一致性偏多的特征,对江南—华南的多雨预报也和实况一致(图2)。从空间相关系数(ACC)和预测评分两个客观评估指标看,5月发布预报优于3月发

布预报,盛夏预报优于5月,反映出滚动订正的必要性。但盛夏预测仍未能预报出长江中下游降水明显偏少以及东北北部降水异常偏多的特征(图2)。

2.2 气温

2019年夏季,除东北地区北部外,全国大部气温较常年同期偏高,其中华北南部、黄淮大部、江汉、西南地区南部等地偏高 1°C 以上(图3a)。3月发布的夏季气温预测较好把握了全国偏暖的总体特征,但预报东北北部气温偏高,与实况相反,对江淮黄淮气温的异常偏高也预计不足(图3b)。盛夏高温($\geq 35^{\circ}\text{C}$)日数偏多5d以上的地区主要集中在华北南部、淮河、长江中游、江南及华南北部,这和6月预测盛夏“华北西部、黄淮、江淮、江汉、江南、华南东部等地高温日数较常年同期偏多,将出现阶段性高温热浪”基本一致(图略)。

2.3 台风预测

2019年夏季在南海和西北太平洋海域共有10个热带气旋生成,比常年同期(11个)偏少,有4个登陆,与预测“夏季生成热带气旋个数为8~10个,较常年同期偏少;其中有4~5个登陆,接近常年同期(4.6个)”一致。但对全年热带气旋频数预测存在偏差,2019年3月预计“全年生成的热带气旋个数为23~25个(常年26个),登陆我国的个数为7~8个(常年7个),初次登陆我国时间偏晚(常年为6月28日),登陆强度较常年偏强,路径以西行为主,对东南和华南沿海影响较大”。实况为全年热带气旋生成29个,登陆我国5个,登陆总体强度较强,路径呈西行和北上两类,初次登陆日期为7月3日。其中2019年第9号台风利奇马是当年登陆中国的最强台风,登陆强度达超级强台风级别,陆上滞留时间长,风雨综合强度指数为1961年以来最大。“利奇马”北上影响范围广,共计有12个省(市)受其影响,据应急管理部(2020)不完全统计,“利奇马”造成的直接经济损失超过500亿元。2018年热带太平洋海气处于拉尼娜事件行将结束、厄尔尼诺状态即将发展的气候背景下,西太平洋副热带高压(以下简称副高)异常偏北(Ding et al, 2019; Yuan et al, 2020; 顾薇和陈丽娟, 2019; 陈丽娟等, 2019),导致该年台风总数明显偏多且北上台风数也最多(Chen et al, 2019a; 2019b)。而2019年热带海气气候背景与2018年有显著不同,上半年厄尔尼诺事件逐渐衰减结束,副高总体偏南偏西,在传统统计预测模型中,

这样的海温和大气环流背景并不利于热带气旋生成频数偏多、路径偏北,但 2019 年实况却和 2018 年有较多相似之处,其中机理将进一步分析并另文发表。

2.4 夏季风雨带季节进程预测

我国东部地区具有典型的季风气候特点,每年雨带自南向北推进。因此对汛期雨带季节进程的预测是汛期预测和服务的重点内容之一。2019 年对季节内雨季进程的预测和实况均一致,具体预测和实况对比如下:(1)2019 年 4 月底预测南海夏季风于 5 月第 2 候爆发,明显早于多年平均日期(5 月第

5 候),实况是 5 月第 2 候爆发,预测和实况一致;(2)预测西南雨季开始时间偏晚,实况是西南雨季于 6 月第 3 候开始,明显偏晚于常年(5 月下旬);(3)2019 年中国梅雨呈现出很强的区域差异性,其中江南梅雨于 6 月 5 日开始(多年平均为 6 月 8 日),结束于 7 月 16 日(多年平均为 7 月 8 日)。梅雨期长度明显偏长,梅雨量比常年偏多 56%。在 5 月底预测江南梅雨开始时间早、雨量明显偏多,和实况一致;(4)预测长江中下游梅雨“开始日期偏晚,梅雨期雨量正常至略偏多”,实况是长江中下游梅雨于 6 月 17 日开始(多年平均 6 月 14 日),梅雨量比常年偏



图 1 2019 年汛期(6—8 月)降水量距平百分率实况(a)及 3 月(b)和 5 月(c)发布预报

Fig. 1 Precipitation anomaly percentages in June—August 2019

(a) observation, (b) seasonal forecast issued in March, (c) seasonal forecast issued in May 2019

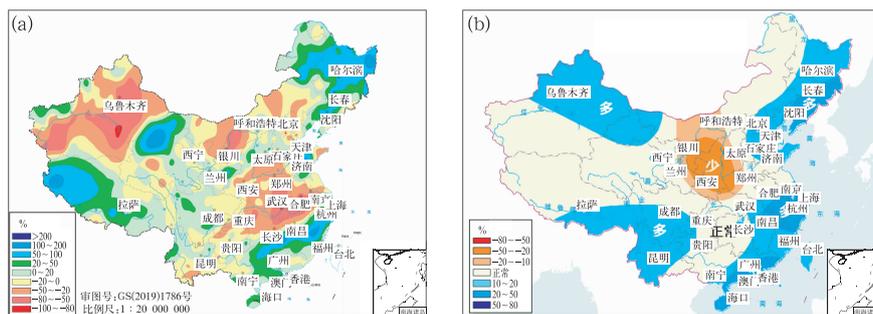


图 2 2019 年盛夏(7—8 月)降水量距平百分率实况(a)和预报(b)

Fig. 2 Precipitation anomaly percentages of

(a) observation, (b) forecast in July—August 2019

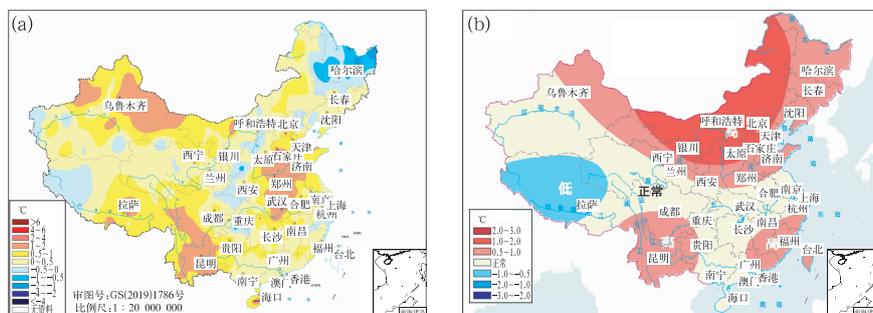


图 3 2019 年汛期(6—8 月)气温距平实况(a)和 3 月发布预报(b)

Fig. 3 Air temperature anomaly in June—August 2019

(a) observation, (b) seasonal forecast issued in March 2019

多 3%;(5)预测江淮梅雨“入梅时间偏晚、梅雨量明显偏少”,实况是整个夏季期间江淮地区未能达到入梅标准;(6)预测华北雨季开始时间偏晚,实况是华北雨季于 7 月 23 日开始(多年平均为 7 月 18 日)。

3 冬季青藏高原积雪异常偏多

青藏高原对周围大气形成一个高耸的冷热源,通过辐射、感热和潜热作用,对全球大气环流和气候变化产生特殊的热力影响。而前期高原积雪面积的多少会直接影响夏季高原的热力效应。研究表明,高原积雪与 500 hPa 位势高度表现为明显的反相关关系(赵振国,1999),说明高原积雪可以通过改变自身上空大气环流异常进而影响下游的东亚夏季风。大量的研究揭示二者之间的密切联系以及详细机制,这里不一一介绍,相关研究进展见朱玉祥和丁一汇(2007)、李栋梁和王春学(2011)、段安民等(2014;2018)、王顺久(2017)。长期以来,前冬高原积雪面积的异常是我国汛期降水预测业务中非常重要的一个前兆信号(陈兴芳和赵振国,2000;赵振国,1999)。

2018 年 12 月至 2019 年 2 月,青藏高原积雪面积均较常年异常偏多,距平值分别为 50 万、68 万和 71 万 km^2 ,对应距平百分率分别为 67%、71% 和 85%,整个冬季积雪面积距平百分率为 74%(图 4),这一数值超过 3 倍标准差,是近 40 年来最多的冬季。从图 4 可以看到,近 40 年来,高原积雪面积正距平百分率超过和接近 40% 的冬季共有四年(时间为前一年 12 月至当年 2 月),除 2018/2019 年冬季外,还有 1982/1983 年、1997/1998 年和 2007/2008 年冬季,其中前两个冬季的后期夏季长江中下游地区均发生了严重的汛情,2008 年长江中下游降水也整体偏多。因此,从极端年份分析,前冬多雪年有利于夏季长江中下游多雨,这也是 2019 年汛期预测中重点考虑的外强迫前兆信号。

基于 1981—2018 年冬季高原积雪面积对后期夏季全国各站降水做了一元线性回归,图 5 基于回归模型给出了当积雪增多 70% 后,夏季降水的异常分布情况。可以看到,长江中游地区降水可偏多 40% 以上,而 2018/2019 年冬季高原积雪偏多达 74%,这表明长江中下游发生严重汛情的概率很高,这也是导致 2019 年 3 月绝大部分机构预测长江多雨的最主要原因之一。从图 5 还可以看出,江南北

部也为正距平区,但江南南部和华南均无明显差异。图 5 的回归结果和之前的研究结论一致。

为进一步分析高原积雪和夏季长江中下游降水关系的稳定性,分析了二者的 21 年滑动相关。可以看出。在 20 世纪 90 年代以后,二者的正相关关系非常稳定且相关值可通过 0.05 显著性水平检验(图 6a)。从气候预测业务的角度,关系显著且稳定的外强迫信号是重点考虑对象。考虑 1998 年长江中下游地区发生了极端洪涝且前期高原积雪异常偏多,为排除极端个例影响,去除 1998 年这一特殊年份。滑动相关的结果仍然表明,积雪和降水存在非常稳定的相关关系(图 6b),虽然数值较图 6a 有一

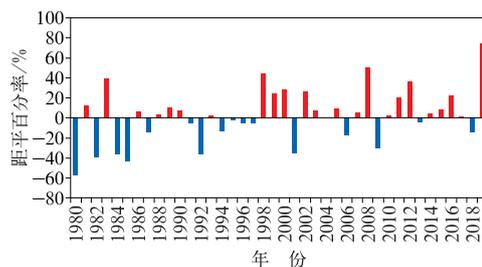


图 4 1980/1981 年至 2018/2019 年冬季青藏高原积雪面积距平百分率
Fig. 4 Percentage of the Qinghai-Tibetan Plateau snow area anomaly in winter from 1980/1981 to 2018/2019

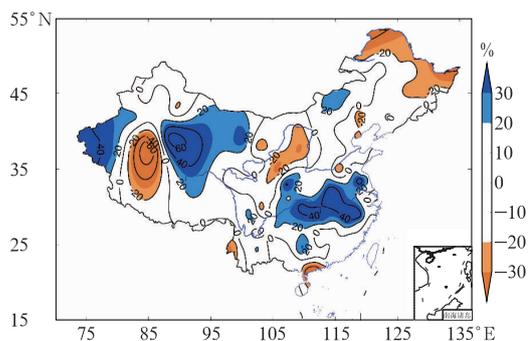


图 5 前冬青藏高原积雪面积偏多 70% 的夏季降水距平百分率
(基于 1981—2018 年青藏高原冬季积雪面积和夏季降水一元线性回归模型计算)

Fig. 5 Distribution of the percentage of precipitation anomaly in summer if the Qinghai-Tibetan Plateau snow area being more than 70% in the previous winter (based on the regression model of Qinghai-Tibetan Plateau snow area and the summer precipitation during 1981—2018)

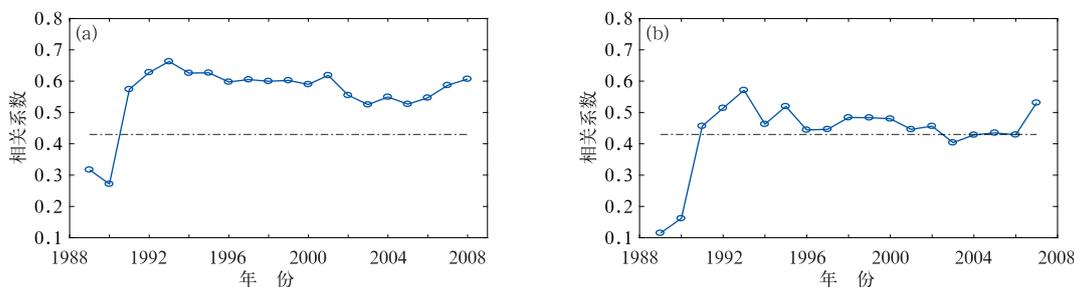


图6 1980—2018年(a)和去除1998年(b)的夏季长江中下游降水与前冬高原积雪面积21年滑动相关(虚线为0.05显著性水平检验)

Fig. 6 The 21-year running correlations between the summer precipitation in the middle and lower reaches of Yangtze River and the Qinghai-Tibetan Plateau snow in the previous winter for 1980—2018 (a) and the years without 1998 (b) (Dashed line is the significance test at 0.05 level)

定程度下降,但也均通过0.05显著性水平检验。这表明,基于前期高原积雪异常偏多预测长江中下游夏季降水同样偏多在统计上是合理的。但在2019年,这一关系发生了明显的反转。高原积雪异常偏多,长江中下游区却出现了罕见旱情。说明基于积雪这一传统的前兆信号预测2019年汛期降水出现了失败。失败原因和中高纬度大气环流的作用有关(丁婷和高辉,2020),此部分将另文发表。

4 2018—2019年厄尔尼诺事件及热带印度洋持续暖海温

作为全球气候系统年际异常最主要的影响因子,厄尔尼诺-南方涛动(ENSO)事件的发生、发展和位相差异都会造成东亚夏季风强弱变化,并导致旱、涝灾害的发生。最典型的是1997—1998年赤道东太平洋发生的超强厄尔尼诺事件导致夏季我国长江发生全流域性大洪水(中国气象局国家气候中心,1998;李维京,1999;陈烈庭,2001;王钦等,2012)。2014—2016年,赤道中东太平洋再次发生了超强厄尔尼诺事件,并于2015年11月达到峰值。受其影响,2016年夏季长江流域降水明显偏多,中下游出现严重汛情,部分地区洪涝灾害极为严重(袁媛等,2017)。除ENSO外,热带印度洋海温也会导致夏季风环流和夏季降水的异常(陈丽娟等,2013)。热带印度洋全区一致海温模态(IOBW)则是热带印度洋海温变化的最主要模态。已有研究指出,通过“大气桥”(Klein et al,1999;Lau and Nath,2000)或印度尼西亚贯穿流(Meyers,1996)等机制,当赤道中东太平洋有厄尔尼诺(拉尼娜)事件发展时,在冬

季至次年春、夏季,热带印度洋海温往往表现为全区一致偏暖(偏冷),在该过程中印度洋起一种信号储存的电容器效应(Yang et al,2007;Xie et al,2009)。当热带印度洋一致偏暖时,长江流域夏季降水易偏多(Hu et al,2011)。

2018年9月开始,赤道中东太平洋发生了一次弱的厄尔尼诺事件。根据国家气候中心监测,该次事件于2018年11月达到峰值(10—12月Niño3.4区海温指数滑动平均值为 1.0°C)。同时IOBW指数自2018年11月开始持续为正位相。图7为东亚副热带夏季风强度指数(张庆云等,2003)与前期至同期沿赤道($5^{\circ}\text{S}\sim 5^{\circ}\text{N}$)海温相关图。可以看出,在前一年秋季,赤道东太平洋为显著的负相关区,到了冬季,显著的负相关区除东太平洋外还扩大至热带印度洋地区。春季,除3月东太平洋地区负相关仍显

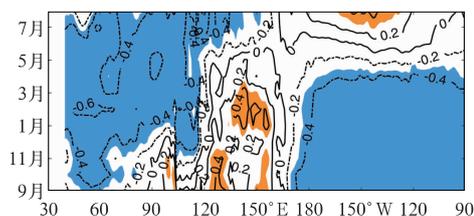


图7 副热带东亚夏季风强度指数与前期至同期 $5^{\circ}\text{S}\sim 5^{\circ}\text{N}$ 海温相关(阴影区通过0.05显著性水平检验)

Fig. 7 Correlation between the subtropical East Asian summer monsoon index and the sea surface temperature averaged in $5^{\circ}\text{S}\sim 5^{\circ}\text{N}$ from previous September to August (Shaded area has passed the significance test at 0.05 level)

著外,其他两个月明显减弱,但热带印度洋地区仍稳定维持显著负相关。在夏季同期相关场上,东太平洋地区已转为弱的正相关区,但热带印度洋的显著负相关持续。相关结果表明,厄尔尼诺事件对东亚夏季风的影响主要表现为超前半年影响,但热带印度洋则体现为从冬到夏的持续影响,也即体现出热带印度洋的接力作用(高辉等,2017; Yuan et al, 2017)。

统计结果表明,冬季赤道东太平洋海温变暖(厄尔尼诺事件)且热带印度洋冬、春、夏持续变暖时,有利于后期东亚夏季风偏弱,导致主要多雨区出现在长江中下游和淮河流域。在 2019 年 3 月全国汛期会商时,厄尔尼诺的空间型演变尚不明朗,为此根据任宏利等(2017)选取东部型和中部型两种不同类型的厄尔尼诺作对比分析(图 8)。可以看出,对于典型的东部型厄尔尼诺事件,后期降水分布特征为长江中下游和江南东部多雨,而江南西部和华南地区降水易偏少。对于中部型厄尔尼诺事件,夏季长江中游和淮河地区降水易偏多,江南西部和华南西部降水偏少。但从图 1a 结果看,2019 年夏季江南华南均偏多,而无论是长江中下游还是淮河均少雨干旱。很显然,2019 年夏季降水异常的分布无论和中部型厄尔尼诺还是东部型厄尔尼诺的影响均不一致。进一步分析发现,2019 年东亚夏季风的强度指数为 0.4(丁婷和高辉,2020),这与图 7 的统计结论也不符。这表明,中等和弱的厄尔尼诺对东亚夏季环流的影响确实易受其他因子调制,与薛峰和刘长征(2007)、刘长征和薛峰(2010a; 2010b)研究相符。此外,高辉等(2017)对比了 1981 年之后所有厄尔尼诺年及中等以上厄尔尼诺年夏季降水分布,发现中等以上厄尔尼诺年长江多雨的信号更为清晰。这也

表明,传统物理统计预测模型中提及的 ENSO 正(负)位相易造成长江中下游多(少)雨的统计关系主要由强 ENSO 事件决定,季节预测业务中对弱 ENSO 年海温信号的参考需要谨慎。

需要说明的是,东亚季风系统的复杂性使得我国汛期降水预测受到多时间尺度和多因子的共同影响,具有较大的变率和不确定性。而这种不确定性受不同因子强度、位置或形态的影响,导致每年汛期气候的可预报性存在很大差异。限于篇幅本文仅列举了前冬高原积雪和热带海温异常两个汛期降水前兆信号并加以分析。

5 结论与讨论

通过前文分析可知,2019 年汛期较好预测了“气候状况总体偏差,降水呈南多北少分布,极端天气气候事件偏多,旱涝灾害较重”的总体特征。对江南、西南东部、东北东部、西北中部地区降水偏多和内蒙古中部及东北部的偏少预测与实况一致;5 月发布的滚动预测将南方主要多雨中心南移,这一订正结果与实况更为一致。6 月发布的盛夏预报及时加强了对东北地区降水趋势的订正,准确预测了东北地区降水明显偏多的特征。对南海夏季风于 5 月第 2 候爆发、西南雨季开始时间较常年偏晚、梅雨最先于江南地区开始及时间较常年偏早、长江中下游入梅较常年偏晚、华北雨季开始时间偏晚等季节内进程预测也和实况一致。夏季气温预测较好把握了全国偏暖的总体特征及盛夏高温($\geq 35^{\circ}\text{C}$)日数偏多 5 d 以上的地区。对夏季台风频数的预测也与实况接近。

2019 年汛期降水预测也存在明显的不足之处。

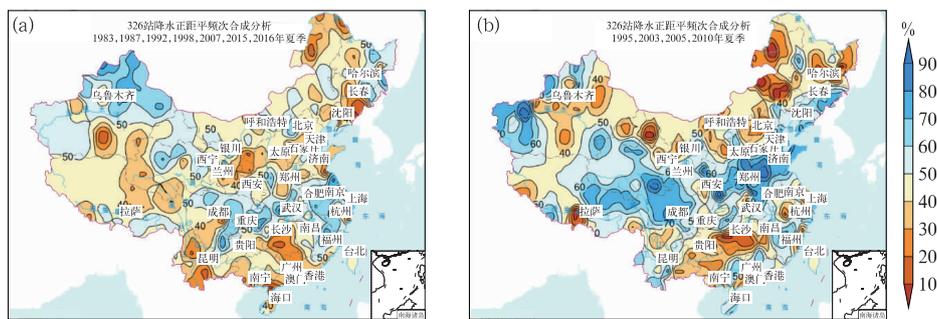


图 8 1981—2018 年东部型厄尔尼诺事件(a)和中部型厄尔尼诺事件(b)合成的夏季降水正距平频次分布

Fig. 8 Percentages of precipitation above normal in summer for the years of (a) eastern Pacific El Niño and (b) central Pacific El Niño during 1981—2018

首先是对长江中下游沿江降水明显偏少预测错误。在3月底的汛期预测中,根据前期厄尔尼诺事件和热带印度洋海温演变及高原积雪异常偏多的特征,综合国内外气候模式和客观方法预测结果进行研判,成功排除主雨带中心位于华北、淮河及华南等地区的可能,预计主雨带中心将位于长江中下游和江南地区。多年降水资料分析表明汛期长江中下游和江南北部的降水基本为一致性变化,3月起报的国内外动力模式和客观预测结果也均反映了这种变化特征,这导致对主雨带范围和中心位置的预测出现了偏差,在准确预测江南降水偏多的情况下对长江中下游沿江地区及江淮降水明显偏少估计不足。此外对东北地区多雨的范围和异常程度估计不足,东北北部夏季受东北冷涡影响显著,8月中旬超强台风利奇马北上也加剧了东北北部地区降水正异常的程度,同时使得东北中南部降水由前期偏少转为偏多。因此,对东北冷涡活跃程度及北上台风影响估计不足是导致对夏季东北地区降水偏多的范围和程度预测出现明显偏差的主要原因。

通过对2019年汛期预测的分析,汛期降水和传统影响因子不匹配、非对称的复杂性研究还需要深入开展。2019年夏季长江中下游降水偏少2~5成,与2018年夏季的降水特征相似,但这两年的夏季风环流有本质的差别。2018年夏季,西北太平洋副高异常偏北,脊线位置为有记录以来最北,夏季风强度也为历史最强,这样的环流导致水汽输送异常偏北,从而导致长江流域降水明显偏少,这与科学研究得出的夏季风偏强有利于长江流域偏旱的规律认识相一致。但2019年夏季,副高偏强,位置明显偏南,夏季风强度接近正常,这种环流形势应该有利于长江流域多雨,也是3—5月预测长江中下游夏季降水偏多的主要分析依据之一。然而,2019年的结果与目前认识的规律相反。在影响东亚夏季风的外强迫信号方面,2019年与2018年也存在显著差异。2018年气候背景为拉尼娜,热带印度洋为冷海温,前冬高原积雪偏少,外强迫信号有利于夏季风偏强,从而导致长江中下游少雨。但2019年气候背景为厄尔尼诺,热带印度洋偏暖,前冬高原积雪异常偏多,这些都是有利于东亚夏季风偏弱和长江中下游多雨的典型前兆信号,然而2019年的夏季降水实况却呈明显偏少的特征。从2019年东亚夏季风环流尤其是夏季风强度和副高形态位置及强度看,无论是2018—2019年厄尔尼诺事件还是热带印度洋持

续暖海温的影响都比较有限,这可能和已有研究指出的弱厄尔尼诺事件易受其他影响信号调制有关(Xue and Liu,2008)。基于高原积雪这一传统的前兆信号预测2019年汛期长江中下游降水也出现了失败,对比了1998年和2019年这两个高原积雪异常多年份春季大气环流的差异,并结合张顺利和陶诗言(2001)研究,发现在2019年从春到夏过渡时段高原积雪的影响已中断,5月高原东侧500 hPa的垂直速度和1998年及多雪年合成均相反,积雪对夏季风和雨带影响的中断还需进一步分析。初步的研究结果也指出,导致南方降水异常更直接的原因与中高纬度大气环流的作用有关,2019年东亚中高纬度异常强的低槽可能是长江中下游少雨和江南多雨的直接原因(丁婷和高辉,2020)。上文分析表明,汛期气候预测仍然是一个极具挑战性的科学难题。

参考文献

- 艾婉秀,孙林海,宋文玲,2010. 2009年海洋和大气环流异常及对中国气候的影响[J]. 气象,36(4):101-105. Ai W X, Sun L H, Song W L, 2010. Ocean and atmospheric circulation anomalies in 2009 and their impacts on climate in China[J]. Meteor Mon, 36(4):101-105(in Chinese).
- 陈丽娟,高辉,龚振淞,等,2013. 2012年汛期气候预测的先兆信号和应用[J]. 气象,39(9):1103-1110. Chen L J, Gao H, Gong Z S, et al, 2013. Overview of precursory signals of seasonal climate prediction and its application in summer 2012[J]. Meteor Mon, 39(9):1103-1110(in Chinese).
- 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).
- 陈烈庭,2001. 青藏高原异常雪盖和 ENSO 在 1998 年长江流域洪涝中的作用[J]. 大气科学,25(2):184-192. Chen L T, 2001. The role of the anomalous snow cover over the Qinghai-Xizang Plateau and ENSO in the great floods of 1998 in the Changjiang River Valley[J]. Chin J Atmos Sci, 25(2):184-192(in Chinese).
- 陈兴芳,赵振国,2000. 中国汛期降水预测研究及应用[M]. 北京:气象出版社. Chen X F, Zhao Z G, 2000. Study on Precipitation Forecast in China During Flood Season and Its Applications [M]. Beijing:China Meteorological Press(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).
- 段安民,肖志祥,王子谦,2018. 青藏高原冬春积雪和地表热源影响亚洲夏季风的研究进展[J]. 大气科学, 42(4):755-766. Duan A M, Xiao Z X, Wang Z Q, 2018. Impacts of the Tibetan Plateau winter/spring snow depth and surface heat source on Asian summer monsoon: a review[J]. Chin J Atmos Sci, 42(4):755-766(in Chinese).
- 段安民,肖志祥,吴国雄,等,2014. 青藏高原冬春积雪影响亚洲夏季风的研究进展[J]. 气象与环境科学, 37(3):94-101. Duan A M, Xiao Z X, Wu G X, et al, 2014. Study progress of the influence of the Tibetan Plateau winter and spring snow depth on Asian summer monsoon[J]. Meteor Environ Sci, 37(3):94-101(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).
- 国家气候中心,2020. 2019年国内外十大天气气候事件[EB/OL]. (2020-01-03) [2020-02-09]. <http://news.weather.com.cn/2020/01/3273106.shtml>. National Climate Center, 2020. Top ten weather and climate events in global in 2019[EB/OL]. (2020-01-03) [2020-02-09]. <http://news.weather.com.cn/2020/01/3273106.shtml>(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).
- 贾小龙,陈丽娟,龚振淞,等,2011. 2010年海洋和大气环流异常及对中国气候的影响[J]. 气象, 37(4):446-453. Jia X L, Chen L J, Gong Z S, et al, 2011. Anomalies of ocean and atmospheric circulation in 2010 and their impacts on climate in China[J]. Meteor Mon, 37(4):446-453(in Chinese).
- 柯宗建,王永光,龚振淞,2014. 2013年汛期气候预测的先兆信号及其应用[J]. 气象, 40(4):502-509. Ke Z J, Wang Y G, Gong Z S, 2014. Review of the precursor and its application in summer climate prediction in 2013[J]. Meteor Mon, 40(4):502-509(in Chinese).
- 李栋梁,王春学,2011. 积雪分布及其对中国气候影响的研究进展[J]. 大气科学学报, 34(5):627-636. Li D L, Wang C X, 2011. Research progress of snow cover and its influence on China climate[J]. J Nanjing Inst Meteor, 34(5):627-636(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).
- 李维京,2012. 现代气候业务[M]. 北京:气象出版社. Li W J, 2012. Modern Climate Service [M]. Beijing: China Meteorological Press(in Chinese).
- 梁潇云,龚振淞,王永光,2012. 2011年汛期预测回顾[J]. 气象, 38(9):1150-1154. Liang X Y, Gong Z S, Wang Y G, 2012. Review of the summer climate prediction in 2011[J]. Meteor Mon, 38(9):1150-1154(in Chinese).
- 刘长征,薛峰,2010a. 不同强度 El Niño 的衰减过程. I, 强 El Niño 的衰减过程[J]. 地球物理学报, 53(1):39-48. Liu C Z, Xue F, 2010a. The decay of El Niño with different intensity. Part I, The decay of the strong El Niño[J]. Chin J Geophys, 53(1):39-48(in Chinese).
- 刘长征,薛峰,2010b. 不同强度 El Niño 的衰减过程. II, 中等和较弱 El Niño 的衰减过程[J]. 地球物理学报, 53(11):2564-2573. Liu C Z, Xue F, 2010b. The decay of El Niño with different intensity. Part II, The decay of the moderate and relatively-weak El Niño[J]. Chin J Geophys, 53(11):2564-2573(in Chinese).
- 任宏利,王润,翟盘茂,等,2017. 超强厄尔尼诺事件海洋学特征分析与预测回顾[J]. 气象学报, 75(1):1-18. Ren H L, Wang R, Zhai P M, et al, 2017. Upper-ocean dynamical features and prediction of the super El Niño in 2015/2016: a comparison with 1982/1983 and 1997/1998 [J]. Acta Meteor Sin, 75(1):1-18(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,宋文玲,龚振淞,2015. 2014年汛期气候预测先兆信号应用及其复杂性初探[J]. 气象, 41(5):639-648. Sun L H, Song W L, Gong Z S, 2015. Preliminary study of precursor and its application in summer climate prediction and its complexity in 2014[J]. Meteor Mon, 41(5):639-648(in Chinese).
- 王钦,李双林,付建建,等,2012. 1998和2010年夏季降水异常成因的对比分析:兼论两类不同厄尔尼诺事件的影响[J]. 气象学报, 70(6):1207-1222. Wang Q, Li S L, Fu J J, et al, 2012. On the formation of anomalous summer precipitation in the years of 2010 and 1998: a comparison of the El Niño's impact between Modoki and typical El Niño cases[J]. Acta Meteor Sin, 70(6):1207-1222(in Chinese).
- 王顺久,2017. 青藏高原积雪变化及其对中国水资源系统影响研究进展[J]. 高原气象, 36(5):1153-1164. Wang S J, 2017. Progresses in variability of snow cover over the Qinghai-Tibetan Plateau and its impact on water resources in China[J]. Plateau Meteor, 36(5):1153-1164(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).
- 薛峰,刘长征,2007. 中等强度 ENSO 对中国东部夏季降水的影响及

- 其与强 ENSO 的对比分析[J]. 科学通报, 52(23): 2798-2805.
- Xue F, Liu C Z, 2008. The influence of moderate ENSO on summer rainfall in eastern China and its comparison with strong ENSO[J]. Chin Sci Bull, 53(5): 791-800(in Chinese).
- 应急管理部, 2019. 2019年7月全国自然灾害基本情况[EB/OL]. (2019-08-07) [2020-02-09]. http://www.xinhuanet.com/yingjijiyuan/2019-08/07/c_1210232145.htm. Ministry of Emergency Management, 2019. Basic situation of natural disasters of China in July 2019[EB/OL]. (2019-08-07) [2020-02-09]. http://www.xinhuanet.com/yingjijiyuan/2019-08/07/c_1210232145.htm(in Chinese).
- 应急管理部, 2020. 2019年全国十大自然灾害[EB/OL]. (2020-01-13) [2020-02-09]. http://www.xinhuanet.com/yingjijiyuan/2020-01/13/c_1210436055.htm. Ministry of Emergency Management, 2020. Basic situation of natural disasters of China in July 2019[EB/OL]. (2020-01-13) [2020-02-09]. http://www.xinhuanet.com/yingjijiyuan/2020-01/13/c_1210436055.htm (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).
- 张培群, 贾小龙, 王永光, 2009. 2008年海洋和大气环流异常及对中国气候的影响[J]. 气象, 35(4): 112-117. Zhang P Q, Jia X L, Wang Y G, 2009. Anomalies of ocean and general atmospheric circulation in 2008 and their impacts on climate anomalies in China[J]. Meteor Mon, 35(4): 112-117(in Chinese).
- 张庆云, 陶诗言, 陈烈庭, 2003. 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, 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): 559-569(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).
- 赵振国, 1999. 中国夏季旱涝及环境场[M]. 北京: 气象出版社. Zhao Z G, 1999. Summer Drought and Flood in China and the Circulation Patterns[M]. Beijing: China Meteorological Press(in Chinese).
- 中国气象局国家气候中心, 1998. 98中国大洪水与气候异常[M]. 北京: 气象出版社. National Climate Centre, CMA, 1998. Severe Flood and Climate Extremes of China in 1998[M]. Beijing: China Meteorological Press(in Chinese).
- 朱玉祥, 丁一汇, 2007. 青藏高原积雪对气候影响的研究进展和问题[J]. 气象科技, 35(1): 1-8. Zhu Y X, Ding Y H, 2007. Influences of snow cover over Tibetan Plateau on weather and climate: advances and problems[J]. Meteor Sci Technol, 35(1): 1-8(in Chinese).
- Chen L J, Gong Z S, Wu J, et al, 2019a. Extremely active tropical cyclone activities over the Western North Pacific and South China Sea in Summer 2018: joint effects of decaying La Niña and intraseasonal oscillation[J]. J Meteor Res, 33(4): 609-626.
- Chen L J, Gu W, Li W J, 2019b. Why is the East Asian summer monsoon extremely strong in 2018: collaborative effects of SST and snow cover anomalies[J]. J Meteor Res, 33(4): 593-608.
- 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.
- Hu Z Z, Kumar A, Huang B H, et al, 2011. Persistent atmospheric and oceanic anomalies in the North Atlantic from Summer 2009 to Summer 2010[J]. J Climate, 24(22): 5812-5830.
- 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.
- 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.
- Klein S A, Soden B J, Lau N C, 1999. Remote sea surface temperature variations during ENSO: evidence for a tropical atmospheric bridge[J]. J Climate, 12(4): 917-932.
- Lau N C, Nath M J, 2000. Impact of ENSO on the variability of the Asian-Australian monsoons as simulated in GCM experiments [J]. J Climate, 13(24): 4287-4309.
- Meyers G, 1996. Variation of Indonesian throughflow and the El Niño-Southern Oscillation[J]. J Geophys Res Oceans, 101(C5): 12255-12263.
- 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.
- 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.
- Xue F, Liu C Z, 2008. The influence of moderate ENSO on summer rainfall in eastern China and its comparison with strong ENSO [J]. Chin Sci Bull, 53(5): 791-800.
- 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, Gao H, Ding T, 2020. The extremely north position of the western Pacific subtropical high in summer of 2018: important role of the convective activities in the western Pacific[J]. Int J Climatol, 40(3): 1361-1374.
- 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.