

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).

影响 2018 年汛期气候的先兆信号及预测效果评估 *

陈丽娟^{1,2} 顾 薇¹ 龚振淞¹ 任宏利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: 准确预测了 2018 年我国汛期降水“南北多,中间少,旱涝并重”的总体布局,尤其是准确预测了黄河流域降水异常偏多,而长江流域降水异常偏少的特征;对 2018 年东部地区季节内雨季进程前晚后早和夏季全国大部气温正常到偏高的预测也与实况一致;对西北太平洋和南海热带气旋生成和登陆我国的数量偏多、西北行和北上为主的移动路径、活跃程度前强后弱的预测与实况吻合。2018 年汛期气候预测重点分析了冬季达到盛期的拉尼娜事件及其衰减后热带印度洋海温偏低有利于东亚夏季风偏强的机理,还参考了国内外动力气候模式预测西太平洋副热带高压脊线偏北、菲律宾为气旋式异常环流的结果。对先兆信号影响的诊断分析以及动力模式的结果均预测东亚夏季风明显偏强,西太平洋副热带高压偏北,因此拉尼娜事件和印度洋海温对其滞后响应的偏冷特征是有利于预测汛期长江中下游地区降水明显偏少、北方地区降水偏多的重要先兆信号。

关键词: 拉尼娜事件,东亚夏季风,西太平洋副热带高压,夏季降水,评估

中图分类号: P461

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2019.04.010

Precursory Signals of the 2018 Summer Climate in China and Evaluation of Real-Time Prediction

CHEN Lijuan^{1,2} GU Wei¹ GONG Zhensong¹ REN Hongli¹

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 (June to August) of 2018, precipitation was more than average over North China and South China, while it was less over the middle part of East China. Especially, floods were severe in the Yellow River Basin and droughts were observed in the Yangtze River Valley. The pre-flood season in South China and Meiyu season began later relatively, while the rainy season in North China began earlier. All these features were well predicted in the climate operation. The forecast also captured the anomalous features of the tropical cyclone frequency, tracks, intensity and active/inactive periods over the Northwest Pacific and South China Sea in 2018. Moreover, the forecast provided a correct prediction of the surface air temperature which was higher than average in most regions of China. Both diagnostic analyses and results from dynamic models were used to make the summer climate prediction in 2018. For the diagnostic analyses, La Niña event and the cold tropical Indian Ocean were considered to be important predictors. Under

* 国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2015CB453203)、国家科技支撑计划项目(2015BAC03B04)及国家自然科学基金项目(41805067 和 41275073)共同资助

2019 年 2 月 11 日收稿; 2019 年 2 月 27 日收修定稿

第一作者:陈丽娟,主要从事气候异常机理诊断和短期气候预测研究. Email: chenlj@cma.gov.cn

通信作者:顾薇,主要从事气候异常机理诊断和短期气候预测研究. Email: guwei@cma.cn

the influence of the tropical SSTA, the western Pacific subtropical high (WPSH) tended to stay more northward, cyclonic circulation anomaly dominated the Philippines and the East Asian summer monsoon (EASM) was stronger than normal. Dynamic climate models from Beijing Climate Centre and abroad showed similar results of the prediction for the key members of EASM system. The results of diagnostic analyses and dynamic models all indicated that the La Niña event and the cold tropical Indian Ocean were important precursory signals for the prediction of the climate anomaly in summer 2018, which supported less rainfall in the middle and lower reaches of the Yangtze River and more in northern part of China.

Key words: La Niña event, East Asian summer monsoon (EASM), western Pacific subtropical high (WPSH), summer precipitation, evaluation

引言

我国是世界上开展短期气候预测业务最早的国家之一(陈兴芳和赵振国,2000)。通过我国几代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),进入了动力与统计相结合的预测方法为主导的发展阶段(贾小龙等,2013),预测结论每年都为各级政府部门部署防汛抗旱和防灾减灾工作提供决策支撑。但是短期气候预测涉及气候系统多因子在多时间尺度上复杂的相互作用(陈丽娟等,2013b),而目前国内外气象工作者对气候变异机理的认识仍不够全面和深入,各种客观预测方法仍不够完善(Wang et al,2015),因此短期气候预测仍然是一个世界性难题。在这样的背景下,及时总结短期气候预测业务和服务的成败将有助于气象工作者提高认知能力,并提出问题,进一步推动短期气候预测研究的发展。为此国家气候中心每年及时总结汛期气候预测成败的成因(陈丽娟等,2016;高辉等,2017;王永光和郑志海,2018),分析汛期气候异常的机理(Yuan et al,2017;郑志海和王永光,2018),从而提高对东亚气候变异机理的认识,总结预测方法的适用性,进一步提高短期气候预测水平和服务能力。本文首先回顾了对2018年汛期降水、汛期气温、年热带气旋、东部雨季季节进程、主要气象灾害及衍生灾害的预测效果,然后总结了发布汛期预测前重点考虑的多时间尺度先兆信号以及这些信号的应用,最后就季节气候预测的可预报性和今后需要深入研究的问题进行了讨论。

1 资料

本文用到的降水和气温资料来自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),资料时段为1951—2018年。大气环流资料为NCEP/NCAR逐月再分析资料中的位势高度场、水平风场等变量,资料水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ (Kalnay et al,1996; Kistler et al,2001)。海温资料来自英国气象局哈德莱中心,数据水平分辨率为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ (Rayner et al,2003)。各类数据的气候平均场均取1981—2010年平均。本文中冬季指上一年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。

本文使用的动力气候模式数据分别来自:(1)国家气候中心BCC_CSM1.1(m)海气耦合模式,其中大气分量模式的水平分辨率为T106,垂直方向为26层(吴统文等,2013),模式气候态为1991—2010年;(2)欧洲中心的ECMWF耦合模式,模式分辨率 $1.5^{\circ} \times 1.5^{\circ}$,气候态为1981—2010年*;(3)美国国家海洋和大气局(NOAA)的CFS V2耦合模式,模式分辨率 $1.0^{\circ} \times 1.0^{\circ}$,气候态为1982—2010年**。

2 2018年夏季气候预测效果评估

2018年的汛期气候预测比较成功,预测东亚夏季风偏强、我国降水呈“南北多,中间少”分布、全国大部地区气温较常年偏高、生成和登陆台风较常年偏多,均与实况吻合。对汛期内主要气候事件(华南

* <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/accessing-forecasts>

** <http://cfs.ncep.noaa.gov/cfsv2/downloads.html>

前汛期、梅雨和华北雨季等)的开始和强度趋势预测也与实况一致,3月底发布汛期降水预测评分为77分,气温为95分,均为有汛期预测业务记录以来最好成绩。

2.1 降水

对比2018年汛期(6—8月)降水量距平百分率实况及3月底和5月底发布的预报(图1)可见,2018年汛期预报准确把握了汛期“降水南北多,中间少,旱涝并重”的特征。3月底发布的预测(图1b)指出“长江中下游地区降水较常年异常偏少,偏少幅度达20%~50%;黄河流域降水异常偏多,上中游偏多20%~50%”,对比实况(图1a)可以看到,这次预报不仅正确给出主要旱涝区域的分布特征,而且对于这些区域旱涝程度的预测都与实况一致。此外,从实况(图1a)来看,2018年汛期我国北方地区多雨的特征十分突出,东北、华北和西北等北方地区平均降水量为307.1 mm,较常年平均(263.0 mm)偏多17%,列1998年之后的第二位(顾薇和陈丽娟,2019),汛期预测(图1b和1c)也较好地抓住了这一特征,对华北和西北地区降水偏多程度和范围的预测与实况一致。但不足的是对东北地区的预测与实况偏差较大。在对全国七大江河的预测中,指出“黄河流域、海河流域、珠江流域要注意防范汛情”,较好预测了主要流域的汛情特征,但是对辽河流域有汛情的预测与实况有偏差。在5月底订正预报(图1c)中,维持“降水南北多,中间少,旱涝并重”等基本结论不变,但根据东北冷涡活动可能偏弱的特征,扩大了东北北部降水偏少的范围,并将北方多雨区和长江中下游少雨中心南移,东南沿海降水偏多范围缩小,西南地区降水范围扩大加强。这次订正对南方主要区域的预测更接近实况,但对北方多雨区的预测与实况的偏差有所加大。

2.2 气温

2018年3月底发布预测指出“全国大部地区气温偏高,其中甘肃西部、青海北部、新疆大部、内蒙古西部等地偏高1~2℃。盛夏西北地区西部、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。初夏东北地区出现持续性低温的可能性小”(图2b)。实况是2018年夏季全国平均气温为21.9℃,较常年同期(20.9℃)偏高1℃,为我国夏季平均气温有记录以来最高的

一年(顾薇和陈丽娟,2019)。从空间分布特征来看,除华南南部气温较常年同期略偏低以外,全国大部分地区气温较常年同期偏高,江淮、江汉、华北、东南部、西北大部 and 内蒙古大部气温偏高1~2℃(图2a)。根据国家气候中心监测,2018年夏季全国平均高温日数仅次于2017和2013年,位列历史第三,江南、黄淮、西南地区东部等地35℃以上高温日数偏多10 d以上。汛期的气温预测体现出全国气温偏高以及南方高温日数偏多等主要趋势特征,与实况一致,但是对北方高温的强度预计不足,尤其是北方55站高温突破历史极值,值得进一步诊断分析其成因。

2.3 热带气旋

对2018年在西北太平洋和南海地区的热带气旋(TC)活动趋势的预测是成功的,对TC的生成个数、登陆个数、平均强度、主要影响区域、活跃时段、路径、初终台时间等的预测均与实况比较一致(表1)。

预测意见中指出“可能有一个台风北上登陆(在杭州湾以北地区)”“台风活动路径以西北行和北行为主,对华南东部和华东沿海影响较大”。实况显示2018年TC活动路径明显偏北,有4个台风在中国浙江—上海—江苏一带沿海地区登陆,远远多于常年平均(1个),其中有3个台风在上海登陆,为北上登陆台风个数最多的一年。夏季平均登陆TC强度为 $26\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (10级),比多年平均的 $32.8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (12级)偏弱。虽然登陆TC强度总体偏弱,但降水强度大,给登陆地区和TC经过区域(华东、华北东部和东北地区南部、华南)带来强降雨影响。同时,对台风初次、末次登陆我国日期早晚趋势的预测也与实况一致,2018年台风初次登陆我国的时间为6月6日,较常年(平均6月28日)偏早,末次登陆我国的时间为9月13日,也较常年(平均10月6日)偏早。此外,对于台风活动阶段性变化特征的预测也与实况吻合,预测意见中指出“台风活动在春末至初秋较常年同期活跃,呈现前期生成偏多、后期生成偏少的特点”。实况显示,2018年夏季(6—8月)西北太平洋生成TC(18个)和登陆中国的TC(8个)都明显高于常年同期平均值,其中生成TC频次列1951年以来的第二位,而登陆TC的频次列第一位,说明2018年夏季是TC活动异常活跃的时段。

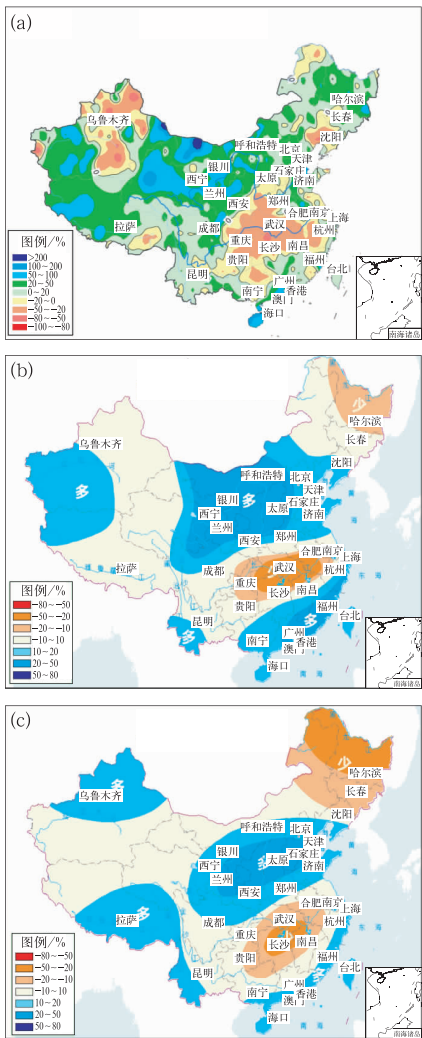


图 1 2018 年汛期(6—8 月)降水量距平百分率
(a)实况, (b)3 月底发布预报,
(c)5 月底发布预报
Fig. 1 Precipitation anomaly percentages
in 2018 flood season (June—July—August)
(a) observation, summer forecast issued
in (b) the end of March 2018 and
(c) the end of May 2018

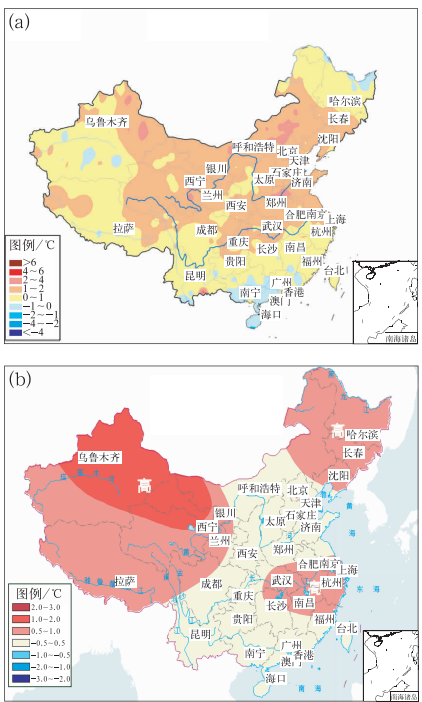


图 2 2018 年汛期(6—8 月)气温距平
(a)实况, (b)3 月底发布预报
Fig. 2 Air temperature anomaly in 2018
flood season (June—July—August)
(a) observation, (b) summer forecast issued
in the end of March 2018

进入秋季(9—11 月)之后,TC 活动明显减弱,生成数量(8 个)和登陆数量(2 个)均分别低于常年同期的 10.9 和 2.4 个,体现了前期活跃后期减弱的阶段性特征(表 2)。

台风预测时主要考虑了 2017 年 10 月至 2018 年 4 月的拉尼娜事件衰减以及印度洋海温偏低对 TC 生成的影响。在这种海温背景下,西太平洋季风槽东段延伸到 150°E 附近,西太平洋副热带高压

表 1 2018 年热带气旋预测和实况对比
Table 1 Prediction and observation of tropical cyclone features over Northwest Pacific
and South China Sea in 2018

预测对象	预测	实况	评估
生成	26~28 个	29 个(偏多)	趋势一致
登陆	7~9 个	10 个(偏多)	趋势一致
路径	西北行和北行为主	西北行和北上转向占优	趋势一致
登陆强度	偏弱	偏弱	趋势一致
影响区域	华南东部和华东沿海	华东、华北东部和东北南部、华南	趋势一致
活跃阶段	前强后弱	夏季强秋季弱	趋势一致
初台时间	偏早	6 月 6 日(偏早)	趋势一致
终台时间	偏早	9 月 13 日(偏早)	趋势一致

表 2 2018 年逐月生成 TC 数量

Table 2 Monthly numbers of TC geneses over the Northwest Pacific (0°—30°N, 100°—180°E) in 2018 and average values (1981—2010)

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2018	1	1	1	0	0	4	5	9	4	1	3	0
多年平均	0.3	0.1	0.3	0.6	1.0	1.7	3.7	5.8	4.9	3.7	2.3	1.1

(以下简称副高)偏北,有利于 TC 生成偏多,且以西北行和北上转向型为主,西行 TC 明显偏少(谢佩妍等,2018)。

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 ENSO 循环的影响(Zhou and Chan,2007),同时还可能受到次季节尺度大气环流(如低频振荡)的作用(李文锐等,2014;李春晖等,2016)。因此在 2018 年预测和服务时不仅考虑了不同时间尺度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,从而较好地把握住了 2018 年汛期夏季

风和各主要雨季进程早晚的总体特征(表 3)。如果单纯考虑恩索循环的影响,2017 年 10 月至 2018 年 4 月发生的拉尼娜事件有利于 2018 的夏季风进程偏早。然而在 2018 年春、夏季,热带大气低频振荡活动在 3 月下旬至 4 月上旬和 6 月上中旬都表现出阶段性活跃的特征,并分别影响了华南前汛期、南海夏季风爆发的时间,造成季节进程较常年平均滞后。在 3—5 月实时监测和预测中注意到了大气低频振荡的异常特征,并根据其影响及时订正了对气候事件开始早晚的预测,使得预测与实况更加一致。此外,对于江淮、长江中下游、江南三个区域梅雨和华北雨季季节进程早晚和雨季强度的预测也与实况基本一致(表 3)。

表 3 2018 年汛期主要气候事件的预测与实况对比

Table 3 Prediction and observation of major climate events in 2018 flood season

雨季名称	开始时间	结束时间	雨季长度	雨量	预测时间	预测强度
华南前汛期	4 月 21 日 (晚 15 d)	6 月 30 日 (晚 4 d)	70 d (短 18 d)	592 mm (少 19%)	开始偏晚	雨量偏少
江南梅雨	6 月 19 日 (晚 11 d)	7 月 13 日 (晚 5 d)	25 d (短 5 d)	249.2 mm (少 32%)	开始偏晚 结束偏早	雨量偏少
长江中下游梅雨	6 月 22 日 (晚 8 d)	7 月 13 日 (早 1 d)	21 d (短 8 d)	170.4 mm (少 39%)	开始偏晚 结束偏早	雨量偏少
江淮梅雨	6 月 28 日 (晚 7 d)	7 月 10 日 (早 5 d)	12 d (短 12 d)	172.8 mm (少 35%)	开始偏晚 结束偏早	雨量偏少
华北雨季	7 月 9 日 (早 9 d)	8 月 7 日 (早 11 d)	29 d (短 3 d)	165.6 mm (多 22%)	开始偏早 结束偏早	雨量偏多

2.5 汛期内主要气象及衍生灾害预测

国家气候中心除发布气温、降水和台风等常规气象要素的趋势预测外,还基于预测结果开展气象灾害展望和防御建议,提供有针对性的气象灾害预测结果,以便更好地为国家的防灾减灾决策服务。3 月发布的汛期主要气象灾害预测(图 3)取得了较好的服务效果。在暴雨洪涝预测中指出“黄河流域、海河流域、珠江流域、辽河流域要注意防范汛情”,实况是黄河流域 7 月下旬形成 1 号和 2 号洪峰,造成陕西洪涝灾害严重,宁夏出现汛情;珠江流域 6 月受台

风活动的影响,出现局部洪涝;海河流域和辽河流域 7 月受强降水和台风活动北上的影响,出现局部洪涝(张芳和何立富,2018;张夕迪和孙军,2018)。在气象干旱预测中指出“东北北部、江淮西部、江汉南部、江南北部、西南地区东部可能有气象干旱发生”,实况是 5—6 月东北地区发生干旱,7—8 月缓解;6—7 月江南北部发生重度气象干旱,局部特旱;7—8 月江淮西部、江汉南部、西南地区东部发生中度—重度气象干旱。在高温热浪预测中指出“西北地区西部、江淮、江汉、江南北部等地可能出现阶段性高温热浪”,实况是 5 月江南、华南地区出现持续性高

温;6月下旬华北出现极端高温;7—8月中东部地区出现持续性高温(周晓敏和张涛,2018;张芳和何立富,2018;张夕迪和孙军,2018;王靖和张玲,2018),主要漏报了华北地区的高温,对其他区域高温情况的预测总体与实况一致。在山洪地质灾害预测中指出“西北地区中东部、华北西部、西南地区北部出现山洪地质灾害可能性大”,实况显示6—8月西北地区东部和西南地区北部多次发生地质灾害,预测预警与实况吻合。

3 2018年汛期预测先兆信号及应用

2018年的汛期预测及服务能取得好效果,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很重要。首先对预报对象和预报因子的多时间尺度特征进行了分析,从年代际尺度、年际尺度和次季节尺度等多方面进行诊断,并在不同超前时段提供详略不同的预测信息:3月底给出汛期气候趋势展望;4月底至5月底根据亚洲夏季风的季节推进特征,对汛期气候趋势进行订正,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 年代际尺度先兆信号

预报对象和预报因子的年代际尺度特征是预报员进行气候预测时首先关注的内容。我国汛期主雨带有明显的年代际变化特征(陈丽娟等,2013a),这和北太平洋年代际涛动(Pacific decadal oscillation, PDO*)冷暖位相的变化有密切的联系。在PDO暖位相期,东亚夏季风偏弱,副高偏南,华北地区降水异常偏少,而长江中下游降水异常偏多(朱益民和杨修群,2003)。监测显示2014年9月,PDO指数由负转正,持续到2018年2月均为明显的正值(图4),说明PDO处于暖位相。而2015—2017年,我国汛期多雨区均位于南方地区,夏季风总体不强,与PDO的暖位相特征是一致的(陈丽娟等,2016;高

辉等,2017;王永光和郑志海,2018)。进入2018年以来PDO指数表现出明显减小的特征,并在3月在这一汛期预测分析的关键时间节点转为负值,这种变化提示PDO暖位相的影响将减弱,不能作为主导信号,应更多地关注年际变化信号的影响。后期PDO指数的监测显示,至2018年9月,PDO指数一直较弱,在0附近波动,最大不超过0.2,证明当初的判断是正确的。

3.2 年际尺度先兆信号

继2014—2016年赤道中东太平洋发生了一次超强厄尔尼诺事件之后,2017年10月至2018年4月,赤道中东太平洋发生一次弱的东部型拉尼娜事件,并于2018年1月达到峰值。该事件强度较弱,持续时间也不长,有分析认为对我国2017/2018年冬季和2018年春季气候的影响不显著(章大全和宋文玲,2018;王遵娅等,2018)。在2018年3月国内外多数动力模式预测赤道中东太平洋海温在夏季为中性状态,那么该事件是否能成为影响我国夏季气候的主导信号呢?已有研究显示厄尔尼诺与拉尼娜事件对我国气候的影响具有明显的不对称性(Huang and Wu,1989;薛峰和刘长征,2007),而拉尼娜事件,尤其是弱拉尼娜事件对我国气候影响的不确定性更大,需要深入诊断。

为准确把握这次拉尼娜事件对我国气候的影响,进一步监测诊断了热带和副热带大气和热带印度洋海温的特征,结果表明,2017/2018年冬季和2018年3月的沃克环流显示出对拉尼娜事件的响应,冬季在热带西太平洋 $120^{\circ}\sim 160^{\circ}\text{E}$ 区域上升气流增强, $170^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{W}$ 区域下沉气流也有所增强(图5a);2018年3月,沃克环流进一步增强,西太平洋上升气流区西扩至 100°E , 170°E 以东的下沉支也明显增强。在850 hPa风场距平上,菲律宾附近为异常气旋式环流(图5b),显示了对拉尼娜事件的显著响应(Wang and Zhang,2002)。在菲律宾附近异常气旋式环流的影响下,冬季长江以南地区受到偏东风距平的控制,降水明显偏少。此外,热带印度洋全区一致海温模态(IOBW)指数在2014年春季至2017年秋季总体表现出较强的正值,说明热带印度洋以偏暖特征为主。而进入2017年至2018年冬

* PDO指数定义和数据见 <http://research.jisao.washington.edu/pdo/PDO.latest.txt>。

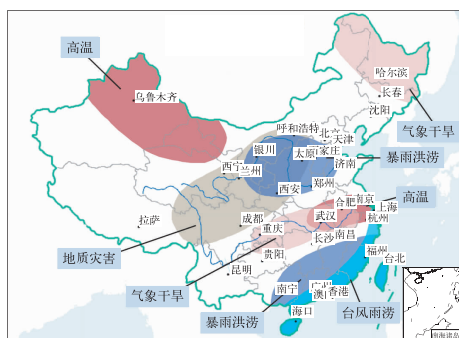


图3 2018年汛期(5—9月)

主要气候灾害预测

Fig. 3 Major climate disaster prediction in 2018 flood season (MJJAS)

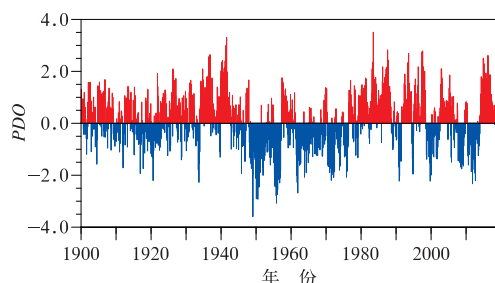


图4 1900年1月至2018年9月

PDO指数逐月演变

Fig. 4 Monthly PDO indices from January 1900 to September 2018

季之后,IOBW指数明显减弱,表现出冷海温的特征(图6),说明印度洋海温对这次弱拉尼娜事件表现出明显的滞后响应。在3月分析评估了国内外动力气候模式对全球海温2018年春、夏季的预测,多数模式预测印度洋海温持续偏低,说明春、夏季印度洋对拉尼娜事件的这种滞后响应依然明显。偏冷的印度洋将有利于东亚夏季风偏强,从而起到对拉尼娜事件影响的“接力”作用(Xie et al, 2009)。实况显示,动力模式对春、夏季印度洋海温的预测是正确的,而根据印度洋海温在春、夏季的发展趋势来考虑拉尼娜事件对东亚气候的影响显著也是成功的。事实上,近些年的研究工作深入揭示出印度洋海温对东亚夏季风的显著影响和机制(Xie et al, 2009; 2016),因此在近几年的汛期预测业务当中,印度洋海温都被当做东亚夏季风的关键影响因子加以重点考虑,如2015和2016年的汛期预测都正确把握了东亚夏季风偏弱的特征,当时对春、夏季印度洋偏暖

特征及其影响的考虑则是预测正确的重要原因之一(陈丽娟等,2016;袁媛等,2016;2017;Yuan et al, 2017;高辉等,2017)。

2017/2018年冬季以来印度洋冷海温的发展趋势及其对拉尼娜事件的“接力作用”说明夏季东亚地区环流和降水将会表现出对冬季拉尼娜事件/状态较典型的滞后影响。因此根据2017/2018年冬季以来赤道中东太平洋海温演变特征,选取1990年以来Nino3.4指数在冬季达到最低值(低于 -0.5°C),并于春夏季升温至中性状态附近的8个相似年(图7a;1996、1997、2001、2006、2008、2009、2012和2017年)对夏季环流和降水进行合成。结果显示,冬季拉尼娜状态有利于夏季菲律宾附近出现气旋性

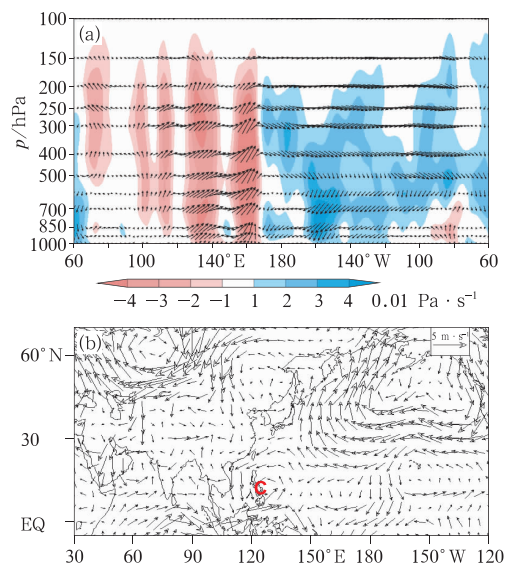


图5 2017—2018年冬季热带(5°S~5°N)经向垂直风距平(a)和850 hPa风场距平(b)

Fig. 5 Meridional-vertical wind anomaly averaged over (5°S-5°N) (a) and 850 wind anomaly (b) in 2017/2018 winter

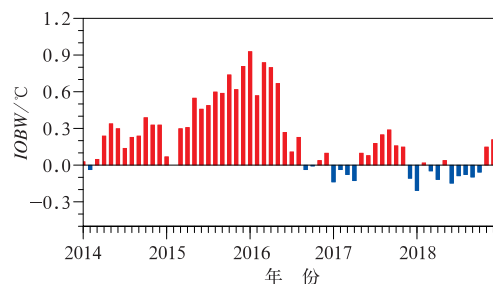


图6 2014—2018年热带印度洋全区一致海温模态(IOBW)指数的逐月演变

Fig. 6 Monthly IOBW index from 2014 to 2018

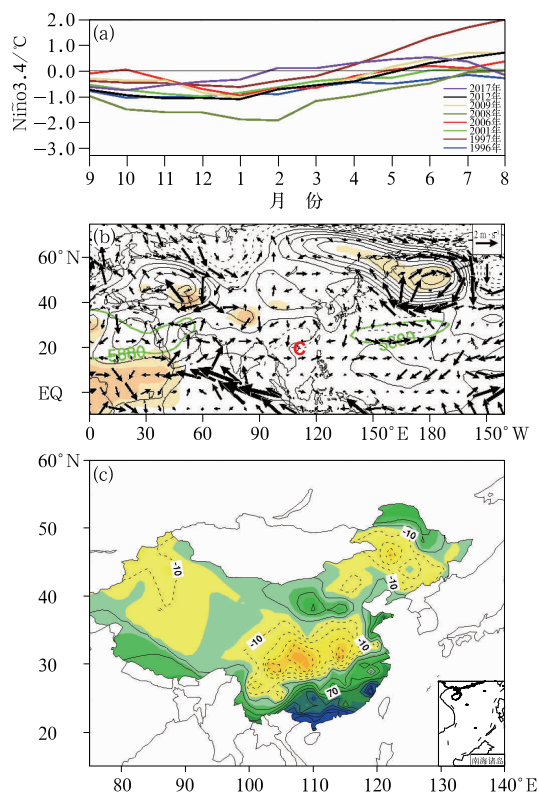


图 7 海温演变相似年的(a)Niño3.4 指数的逐月演变,夏季(b)500 hPa 高度场(等值线,间隔 3 gpm;阴影表示通过 0.10 显著性水平检验区域;绿色实线:气候平均 500 hPa 上 5880 gpm 等值线)、850 hPa 风场(矢量)和(c)降水距平的合成(单位: mm)

Fig. 7 (a) Monthly Niño3.4 index, composite maps of summer (b) 500 hPa geopotential height (contours, interval: 3 gpm; shadings: the regions exceeding the 0.10 significance level; green solid line: the climatology 5880 gpm contour at 500 hPa) and 850 hPa wind anomaly and (c) precipitation anomaly of similar years based on La Niña evolution (unit: mm)

距平环流、副高偏弱偏北、东亚夏季风偏强(图 7b),我国东部地区有南北两条多雨带,北方多雨带中心位于河套地区,南方多雨带中心位于江南南部至华南;长江、江汉地区降水明显偏少(图 7c)。

除海温异常信号外,国家气候中心监测显示 2017/2018 年冬季的青藏高原积雪较常年偏少 0.7 个标准差,且 BCC_CSM1.1(m)模式预测春季积雪持续偏少。根据已有研究(张顺利和陶诗言,2001;陈兴芳和宋文玲,2000;竺夏英等,2013),高原积雪偏少,经过热力异常和动力异常的作用,有利于东亚

夏季风偏强,长江流域易旱。高原积雪对东亚夏季风和我国降水的这种影响与拉尼娜事件的影响是一致的。监测还显示北大西洋海温三极子模态(NAT)在 2018 年 2 月以来持续正位相,可能影响到春末到夏初的欧亚中纬度环流,不利于乌拉尔山和鄂霍茨克海出现阻塞形势(Zuo et al, 2013),从而不利于长江流域和江淮地区降水偏多。北大西洋三极子对东亚夏季风和我国降水的影响也与拉尼娜事件的影响是一致的。关于多因子共同影响东亚夏季风的机理将另文撰写发表。

3.3 动力气候模式的预测

除物理诊断外,还分析评估了大量国内外动力气候模式的预测结果。以国家气候中心 BCC_CSM1.1(m)的 500 hPa 环流场预测(图 8)为例,模式预测北半球中纬度欧亚大陆地区以纬向环流为主,在 60°E 以西的欧洲地区为正距平,60°E 至贝加尔湖为负距平,贝加尔湖以东至鄂霍茨克海地区为正距平;东亚地区从高纬度到低纬度为北高南低型。其他国外主要业务中心(如 NCEP CFCv2、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),最一致的特征都是预测东亚地区为北高南低的形势。由于西太平洋副高和菲律宾反气旋对东亚夏季风和我国汛期气候有直接的影响,对比了各模式预测的副高指数[定义见刘芸芸等(2012)]和菲律宾反气旋指数[定义见 Wang et al (2000)]。结果显示,ECMWF 模式预测夏季副高显著偏强偏西偏北,BCC_CSM1.1(m)和 CFS V2 预测夏季副高强度接近常年、位置偏东偏北。此外,

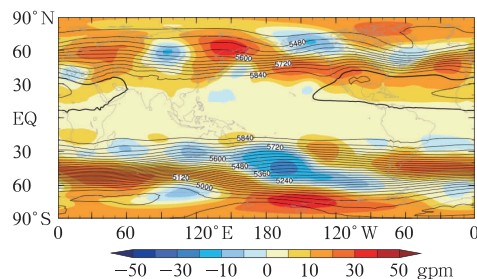


图 8 BCC_CSM1.1(m)模式 2018 年 3 月起报的 2018 年夏季 500 hPa 高度场(阴影为距平)

Fig. 8 Prediction of summer 500 hPa geopotential height anomaly by BCC_CSM1.1(m) initiated from March 2018 (Shading is anomaly)

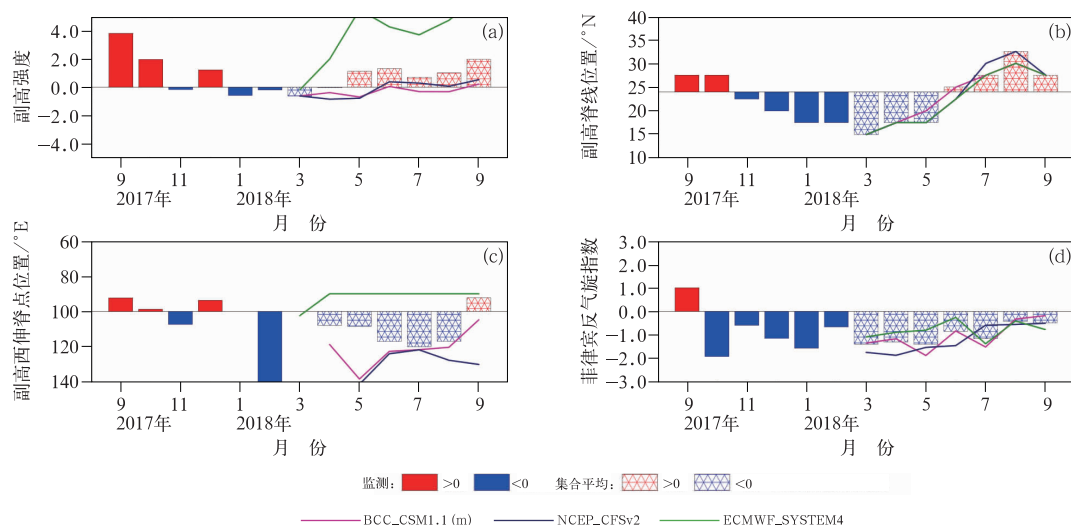


图9 多模式2018年3月起报的逐月副高强度(a)、副高脊线南北位置(b)、副高西伸脊点位置指数(c)和菲律宾反气旋指数(d)

Fig. 9 (a) Strength index, (b) ridgeline position index, (c) westward position index of the subtropical high and (d) anticyclone index over the Philippines predicted by multi-models initiated from March 2018

三个模式均预测菲律宾反气旋指数为负值,即菲律宾附近为气旋性环流距平。三个模式集合平均的结果预测副高强度略偏强,位置偏东偏北(图9)。实况显示,上述各动力气候模式对夏季热带和副热带主要环流型的预测效果较好,但对东北亚地区的环流预测偏差较大(顾薇和陈丽娟,2019),各动力模式一致预测鄂霍茨克海地区为正距平控制,实况在该地区则为一个明显的负距平中心,这也是导致东北地区汛期降水预测偏差大的主要原因。

国内外动力气候模式对东亚夏季降水的预测差异很大(图略),预测技巧偏低。因此主要采纳了动力模式对大尺度环流的预测信息,结合物理诊断结果,确定了东亚夏季风偏强和我国汛期降水“南北多、中间少”的布局。

4 结论和讨论

2018年汛期准确预测了“降水南北多,中间少,旱涝并重”的总体特征,对黄河流域降水异常偏多和长江流域降水异常偏少的预测与实况吻合,但对东北地区降水趋势预测与实况有较大偏差。对2018年季节内雨季进程的预测与实况一致,如预测华南前汛期开始时间偏晚、雨量偏少;江南、长江中下游、

江淮三个区域梅雨入梅偏晚,梅雨量明显偏少;华北雨季开始偏早、雨量偏多等,均与实况吻合。2018年对台风生成和登陆频数偏多、登陆台风强度偏弱、台风活动路径以西北行和北上为主、台风季节内活动特征(前强后弱)的预测与实况一致,起到很好的服务效果。对夏季全国大部气温较常年偏高的总体趋势预测也与实况一致,但未能预测北方大部气温异常偏高的程度。基于要素预报,2018年还对暴雨洪涝、气象干旱、高温热浪、山洪地质灾害等的高发区做了展望,起到了很好的气候服务效果。

在2018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,重点考虑了前冬弱拉尼娜事件及其对夏季风环流的滞后影响,虽然拉尼娜事件在春初结束,但是热带印度洋海温偏低的接力作用有利于副高脊线位置明显偏北、东亚夏季风偏强。国内外主要业务机构的动力气候模式对东亚季风环流主要成员的预测与诊断分析一致,即西太平洋副高偏北,菲律宾地区为气旋式距平环流。但是各动力模式对降水空间分布的预测差异较大,由于模式对降水预测的技巧偏低,因此主要采纳了动力模式对大尺度环流的预测结果。基于东亚夏季风偏强的预测,进一步预测我国北方大部地区降水明显偏多。因此前期拉尼娜事件和后期热

带印度洋海温偏低是2018年汛期气候趋势预测的重要先兆信号。此外,青藏高原冬季积雪偏少,北大西洋海温三极子模态正位相也对欧亚中纬度环流和副热带环流起到明显影响,对东亚夏季风偏强有明显贡献,该部分研究将另文发表。

我国汛期气候受到多时间尺度和多因子的共同作用,具有较大的变率和不确定性,需要根据预报对象的超前时间尺度,确定主导信号及其可能影响。2018年3月开始,PDO指数由正转负,此后在0值附近波动,PDO的空间分布特征不典型,其影响程度也明显减弱,不是2018年汛期预测的主导信号。除上述考虑的海温、积雪等外强迫信号外,大气低频振荡活动对季节内尺度大气演变有明显影响,2018年汛期MJO活动对东亚夏季风以及台风活动都有显著作用,该部分工作也将另文深入分析。

2018年汛期对东部主体雨带的布局预测取得成功,但也暴露出诸多科学问题,例如在海温外强迫信号较弱的背景下,如何利用大尺度环流信息客观预报我国不同区域的气候变异是我们面临的一个关键问题。2018年汛期对东北地区的预测与实况偏差明显较大,凸显了我国不同地区的气候预测存在差异,东北地区的降水异常在6月主要受东北冷涡和鄂霍茨克海阻塞高压的影响,7月主要受西太平洋副高的影响,而8月主要受西太平洋副高和东北冷涡的共同影响(丁婷和陈丽娟,2015)。2018年动力气候模式对西太平洋副高的预测技巧相对较高,而对东北冷涡和鄂霍茨克海阻塞高压的预测与实况相反,这是造成对东北地区降水预测趋势相反的重要原因。此外,2018年北上台风偏多也是东北地区降水偏多的另一个原因。对中纬度环流发展机制及预测能力的不足限制了东北地区的气候预测服务效果,无论从科学上还是服务需求上都需要加强该领域的研究。

参考文献

- 陈丽娟,高辉,龚振淞,等,2013a. 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, 2013a. 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,袁媛,杨明珠,等,2013b. 海温异常对东亚夏季风影响机理的研究进展[J]. 应用气象学报,24(5):521-532. Chen L J, Yuan Y, Yang M Z, et al, 2013b. A review of physical mechanisms of the global SSTA impact on EASM[J]. J Appl Meteor Sci, 24(5):521-532(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).
- 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. Prediction and Application of Flood Season in China[M]. Beijing: China Meteorological Press(in Chinese).
- 丁婷,陈丽娟,2015. 东北地区夏季旱涝的环流型及动力气候模式解释应用[J]. 高原气象,34(4):1119-1130. Ding T, Chen L J, 2015. Circulation pattern for summer precipitation in Northeast China and application of dynamical climate model information[J]. Plateau Meteor, 34(4):1119-1130(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, 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).
- 李文铠,何金海,祁莉,等,2014. MJO对华南前汛期降水的影响及其可能机制[J]. 热带气象学报,30(5):983-989. Li W K, He J H, Qi L, et al, 2014. The influence of the Madden-Julian Oscillation

- on annually first rain season precipitation in South China and its possible mechanism[J]. *J Trop Meteor*, 30(5):983-989(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).
- 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).
- 王靖,张玲,2018.2018年8月大气环流和天气分析[J].*气象*,44(11):1501-1508. Wang Q, Zhang L, 2018. Analysis of the August 2018 atmosphere circulation and weather[J]. *Meteor Mon*, 44(11):1501-1508(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).
- 王遵娅,柳艳菊,丁婷,等,2018.2018年春季气候异常及可能成因分析[J].*气象*,44(10):1360-1369. Wang Z Y, Liu Y J, Ding T, et al, 2018. Features and possible causes for the climate anomalies in spring 2018[J]. *Meteor Mon*, 44(10):1360-1369(in Chinese).
- 吴统文,宋连春,刘向文,等,2013.国家气候中心短期气候预测模式系统业务化进展[J].*应用气象学报*,24(5):533-543. Wu T W, Song L C, Liu X W, et al, 2013. Progress in developing the short-range operational climate prediction system of China National Climate Center[J]. *J Appl Meteor Sci*, 24(5):533-543(in Chinese).
- 谢佩妍,陶丽,李俊徽,等,2018.西北太平洋热带气旋在 ENSO 发展和衰减年的路径变化[J].*大气科学*,42(5):987-999. Xie P Y, Tao L, Li J H, et al, 2018. Variation of tropical cyclone track in the Western North Pacific during ENSO developing and decaying years[J]. *Chin J Atmos Sci*, 42(5):987-999(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).
- 袁媛,高辉,贾小龙,等,2016.2014—2016年超强厄尔尼诺事件的气候影响[J].*气象*,42(5):532-539. Yuan Y, Gao H, Jia X L, et al, 2016. Influences of the 2014—2016 super El Niño event on climate[J]. *Meteor Mon*, 42(5):532-539(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).
- 章大全,宋文玲,2018.2017/2018年冬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(7):969-976. Zhang D Q, Song W L, 2018. Northern Hemisphere atmospheric circulation characteristics in 2017/2018 winter and its impact on weather and climate in China[J]. *Meteor Mon*, 44(7):969-976(in Chinese).
- 张芳,何立富,2018.2018年6月大气环流和天气分析[J].*气象*,44(9):1237-1244. Zhang F, He L F, 2018. Analysis of the June 2018 atmospheric circulation and weather[J]. *Meteor Mon*, 44(9):1237-1244(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).
- 张夕迪,孙军,2018.2018年7月大气环流和天气分析[J].*气象*,44(10):1370-1376. Zhang X D, Sun J, 2018. Analysis of the July 2018 atmospheric circulation and weather[J]. *Meteor Mon*, 44(10):1370-1376(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).
- 周晓敏,张涛,2018.2018年5月大气环流和天气分析[J].*气象*,44(8):1110-1116. Zhou X M, Zhang T, 2018. Analysis of the May 2018 atmospheric circulation and weather[J]. *Meteor Mon*, 44(8):1110-1116(in Chinese).
- 竺夏英,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).
- 朱益民,杨修群,2003.太平洋年代际振荡与中国气候变率的联系[J].*气象学报*,61(6):641-654. Zhu Y M, Yang X Q, 2003. Relationships between Pacific decadal oscillation (PDO) and climate variabilities in China[J]. *Acta Meteor Sin*, 61(6):641-654(in Chinese).
- Huang R H, Wu Y F, 1989. The influence of ENSO on the summer climate change in China and its mechanisms[J]. *Adv Atmos Sci*, 6(1):21-32.
- 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.

- Rayner N A, Parker D E, Horton E B, et al, 2003. Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century[J]. *J Geophys Res Atmos*, 108(D14): 4407. DOI: 10. 1029/2002jd002670.
- 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.
- Wang H J, Fan K, Sun J Q, et al, 2015. A review of seasonal climate prediction research in China[J]. *Adv Atmos Sci*, 32(2): 149-168. DOI: 10. 1007/s00376-014-0016-7.
- 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.
- Xie S P, Kosaka Y, Du Y, et al, 2016. Indo-western Pacific ocean capacitor and coherent climate anomalies in post-ENSO summer: a review[J]. *Adv Atmos Sci*, 33(4): 411-432.
- 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. DOI: 10. 1007/s13351-017-6192-5.
- Zhou W, Chan J C L, 2007. ENSO and the South China Sea summer monsoon onset[J]. *Int J Climate*, 27(2): 157-167.
- 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.