

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. 气象, 42(4): 496-506.

## 2015 年汛期气候预测先兆信号的综合分析<sup>\*1</sup>

陈丽娟<sup>1,2</sup> 顾薇<sup>1</sup> 丁婷<sup>1</sup> 袁媛<sup>1</sup> 任宏利<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 国家气候中心, 中国气象局气候研究开放实验室, 北京 100081

<sup>2</sup> 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:** 文章全面回顾了发布 2015 年汛期预测时考虑的先兆信号及其应用情况。2015 年春夏季厄尔尼诺事件进一步发展, 并由中部型向东部型转变, 热带印度洋为一致偏暖模态发展; 冬、春季北大西洋三极子为正位相; 冬、春季北极海冰较常年略偏少, 南极海冰偏多; 冬季欧亚积雪增量略少, 青藏高原积雪略多但气温偏高。通过诊断分析, 认为 2015 年汛期预测的主导外强迫信号是太平洋厄尔尼诺事件和印度洋海温一致偏暖模态。同时参考动力气候模式的预测, 在 4 月初的预报中, 重点考虑了厄尔尼诺事件的强度和空间型变化对东亚夏季风环流的影响, 有利于东亚夏季风偏弱, 西太平洋副热带高压偏强偏西, 季风季节内进程偏晚, 我国降水呈南多北少型。在 5 月底的订正预报中, 进一步考虑热带印度洋偏暖模态对副热带高压偏强偏西偏南的影响, 以及南半球越赤道气流强度偏弱特征及对夏季风季节进程和强度的影响。经过综合分析, 准确地预测了 2015 年东亚夏季风偏弱、我国夏季降水南多北少的布局, 以及季节内主要气候事件的演变。最后对汛期气候预测存在的不足进行了初步分析和讨论。

**关键词:** 汛期, 先兆信号, 厄尔尼诺, 东亚夏季风, 多雨带

**中图分类号:** P461

**文献标志码:** A

**doi:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2016.04.014

## Overview of the Precursory Signals of Seasonal Climate Prediction in Summer 2015

CHEN Lijuan<sup>1,2</sup> GU Wei<sup>1</sup> DING Ting<sup>1</sup> YUAN Yuan<sup>1</sup> REN Hongli<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratory for Climate Studies, National Climate Centre, CMA, Beijing 100081

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

**Abstract:** The precursory signals and their application in the short-term climate prediction of the flood season in 2015 are reviewed in this paper. During the winter and spring in 2015, the thermal condition of the underlying surface exhibited some anomalous features. The El Niño event continued to develop and experienced a transition from the warm pool type to the cold tongue type. The warm sea surface temperature anomaly (SSTA) in the basin wide Indian Ocean continued to develop. The triple SSTA mode in the North Atlantic was in its positive phase. The sea ice extent was below normal in the Arctic and above normal in the Antarctic. The snow cover was below normal in Eurasia but above normal in the Tibetan Plateau. Among all the above features, the El Niño event and the warm tropical Indian Ocean were considered to be the most important factor for the prediction. In early April, based on the possible impact of the El Niño event and the dynamical model prediction, it was predicted that the East Asian summer monsoon would be weaker than normal and the precipitation would be more than normal in the southern part of East China and less in the northern part. In late May, a modification of the prediction was issued based on the possible

\* 国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2015CB453203 和 2013CB430203)及国家自然科学基金项目(41275073)共同资助  
2016 年 1 月 25 日收稿; 2016 年 2 月 18 日收修定稿  
第一作者: 陈丽娟, 主要从事气候异常诊断和气候预测方法研究及应用. Email: chenlj@cma.gov.cn

impact from the warm SSTA in Indian Ocean and the weak cross-equator flow in the South Hemisphere. Based on thorough investigation and analyses, the main features of the East Asian summer monsoon, the precipitation anomaly pattern in China and the major rainy seasons during summer were successfully predicted. Finally, this paper discusses some disadvantages of the prediction in summer 2015 as well.

**Key words:** flood season, precursory signals, El Niño, East Asia summer monsoon, main rainfall belt

## 引言

高技巧的短期气候预测对国家防灾减灾工作的部署有重要参考意义,因此提高气候预测准确率是气象工作者的长期目标。但是受到科学认知水平、资料质量、模式性能和可预报性等诸多因素的影响,当今气候预测水平与实际需求还存在较大差距。因此,针对每一次短期气候预测,不仅要认识气候异常的形成机制,还要总结预测成败的原因,细致和深入地研究分析有助于气象工作者提高认知能力,逐步提高预测水平。为此国家气候中心非常重视分析当年汛期气候异常的成因,对汛期前能够获取的前兆信号和应用效果进行梳理(陈丽娟等,2013a;柯宗建等,2014;孙林海等,2015),及时总结各种预测方法和技术的技巧高低,以求加强对我国气候异常机理的认识,提高对短期气候异常的预测能力,更好地满足政府和公众的需求。

本文首先回顾了2015年汛期降水、汛期气温、全年热带气旋和季节内重要气候事件的预测效果,然后总结了在不同时间节点发布汛期预测前重点考虑的先兆信号以及这些信号和预报对象的可能联系,最后就汛期气候预测的不足及今后需要深入研究的问题进行讨论。

## 1 资料

本文用到的资料有中国气象局国家气候中心整理的160站逐月降水和气温资料。台风资料来自中央气象台。大气环流资料为NCEP/NCAR逐月再分析资料,水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ (Kalney et al, 1996)。海温、积雪和极冰监测信息来源于国家气候中心气候监测业务应用资料。海温资料为美国NOAA提供的线性最优插值(OIV)全球海温数据,网格点分辨率是 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ (Reynolds et al, 2002)。积雪和极冰监测信息来自国家气候中心常规监测业务。如无特别说明,变量的气候值均为1981—2010年平均。

## 2 2015年夏季气候和全年热带气旋趋势预测评估

2015年的汛期气候预测总体比较成功,预测东亚夏季风偏弱、我国降水呈“北少南多”分布、全国大部地区气温接近常年到偏高,均与实况比较吻合。对汛期内主要气候事件(华南前汛期、梅雨和华北雨季等)的预测也与实况比较一致,预测评分达到近年来最好成绩。

### 2.1 夏季降水预测及效果

2015年4月初,国家气候中心在全国会商结束后发布预测,指出夏季我国中东部降水呈“北少南多”分布型,主要多雨区位于长江流域及以南地区,西北地区东部至华北地区降水偏少(图1a)。实况是2015年夏季我国降水呈“北少南多”(图1c),其中华北大部、西北地区东部、黄淮大部、东北地区西南部和西藏中部等地降水偏少2~5成,局部偏少5成以上;江淮、江南东北部、贵州东南部、新疆东部和西部部分地区、西藏西部局部降水偏多2成至1倍,局部偏多1倍以上(王东阡等,2016)。预测与实况比较一致,尤其是预测江淮、江南和西南地区东部降水明显偏多,而西北地区东部至华北地区明显少雨与实况吻合。

2015年5月下旬,国家气候中心根据4月以来的气候系统演变特征以及多种动力、统计预测结果对夏季降水预测进行了订正(图1b),将主要多雨中心南移、西南南部和华南西部降水改为接近常年到偏少。订正预测更接近实况,不仅从服务上体现了汛期预测滚动会商和及时订正的重要性,也从科学上表明汛期气候不仅受到前期下垫面异常的影响,同时受到近期大气环流的作用,因此在季节预测中需要综合考虑两者对气候异常的贡献。但是与实况相比,对长江流域异常多雨中心位置的预测仍有偏差,东北中北部地区降水偏多的预测也明显强于实况。因此订正预报还有一定的提升空间。

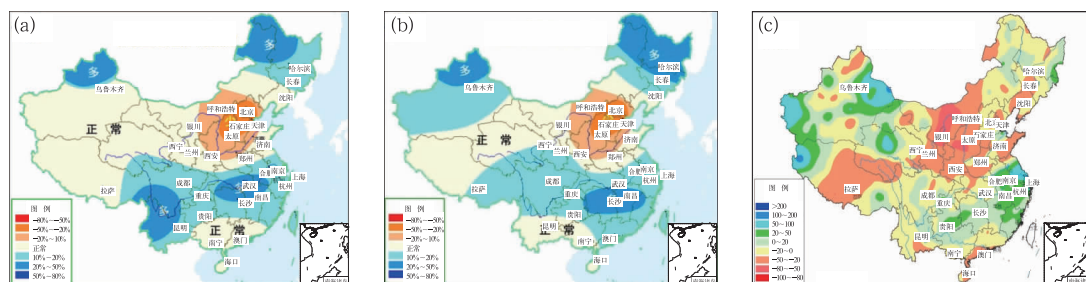


图 1 2015 年夏季(6—8 月)降水量距平百分率预报(a, 4 月初发布; b, 5 月底发布)和实况(c)

Fig. 1 The predicted rainfall anomaly percentages (unit: %) in summer (June to August) 2015 issued in early April (a), late May (b) and the observation (c)

## 2.2 夏季气温预测及效果

2015 年 4 月初发布预测指出“夏季全国大部地区气温接近常年同期或偏高”(图 2a)。实况是 2015 年夏季, 全国平均气温  $21.2^{\circ}\text{C}$ , 较常年同期 ( $20.9^{\circ}\text{C}$ ) 偏高  $0.3^{\circ}\text{C}$  (王东阡等, 2016)。全国大部

地区气温接近常年同期或偏高, 其中新疆北部和西南部局部、内蒙古东部和黑龙江北部的局部偏高  $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ ; 而安徽南部局部气温偏低  $1\sim 2^{\circ}\text{C}$  (图 2b)。预测全国大部地区气温接近常年或偏高、江淮地区接近常年略偏低, 与实况趋势较为一致, 但对江淮到江南北部气温偏低程度估计不足。

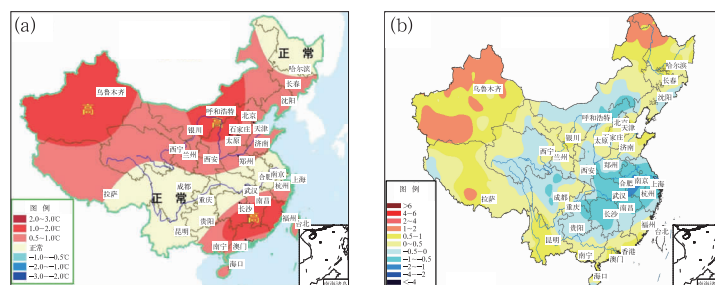


图 2 2015 年夏季(6—8 月)气温距平 4 月初发布预报(a)和实况(b)

Fig. 2 The predicted air temperature anomaly (unit:  $^{\circ}\text{C}$ ) in summer (June to August) 2015 issued in early April (a) and the observation (b)

## 2.3 年热带气旋频数预测及效果

2015 年在西北太平洋和南海地区的全年、夏季和下半年热带气旋活动特征趋势预测是成功的, 包

括生成个数、登陆个数、影响程度、主要影响区域、活跃时段等预测与实况比较一致, 尤其是对登陆热带气旋的个数和强度预测与实况比较吻合(表 1)。

表 1 2015 年生成和登陆热带气旋的预测和实况对比  
Table 1 The prediction and observation of tropical cyclone features over Northwest Pacific and South China Sea in 2015

预测对象		预测	实况	评估
全年	生成	24~26 个	27 个(常年)	略有差异
	登陆	5~7 个	6 个(偏少)	趋势一致
	登陆强度	偏强	偏强	趋势一致
夏季	生成	11~13 个	9 个(偏少)	趋势一致
	登陆	4~5 个	4 个(常年)	趋势一致
下半年	生成	16~18 个	18 个(偏少)	趋势一致
	登陆	4~6 个	5 个(偏少)	趋势一致

2.4 汛期内主要气候事件预测及效果

汛期季节进程的演变是汛期预测和服务的重点内容,做好对主要气候事件的预测,对于工农业生产以及防汛抗旱工作的部署具有重要指导意义。2015 年,国家气候中心加强了对汛期内主要气候事件的预测,尤其是细化了对中国梅雨的预测,按照气候监测业务的新标准(中国气象局预报与网络司,2014a; 2014b;2014c),对华南前汛期、江南梅雨、长江梅雨、

江淮梅雨、华北雨季的开始(结束)时间,雨季长度、雨强进行了预测,总体预测与实况比较一致(表 2),取得很好的服务效果。这里需要指出的是 2015 年多数气候事件开始时间较常年偏晚,显示出东亚夏季风季节进程推迟的特征。但是华南前汛期开始偏晚,总雨量偏少(邵懿等,2015);江南梅雨的开始时间较常年偏早,季节进程并不迟。这种在季节进程总体偏晚背景下,个别气候事件特征的异常原因值得进一步研究。

表 2 2015 年主要气候事件的预测和实况对比  
Table 2 The prediction and observation of major climate events in 2015

气候事件	开始时间	结束时间	雨季长度	雨强	预测时间	预测强度
华南前汛期	5 月 5 日 (晚 29 d)	6 月 25 日 (早 8 d)	51 d (短 37 d)	714.4 mm (少 26.8%)	开始偏晚	雨量偏多
江南梅雨	5 月 27 日 (早 12 d)	7 月 26 日 (晚 18 d)	60 d (长 30 d)	676.7 mm (多 85.6%)	开始和结束 偏晚	梅雨期偏长、 雨量偏多
长江梅雨	6 月 14 日 (正常)	7 月 27 日 (晚 14 d)	43 d (长 14 d)	380.7 mm (多 35.5%)	开始和结束 偏晚	梅雨期偏长、 雨量偏多
江淮梅雨	6 月 24 日 (晚 3 d)	7 月 25 日 (晚 10 d)	31 d (长 7 d)	387.6 mm (多 46.6%)	开始和结束 偏晚	梅雨期偏长、 雨量偏多
华北雨季	7 月 23 日 (晚 5 d)	8 月 17 日 (早 1 d)	26 d (短 6 d)	65.2 mm (少 52.1%)	开始偏晚, 结束偏早	雨量偏少

2.5 汛期内主要气象灾害和衍生灾害的预测及效果

为更好地为水利部、国土资源部、农业部和林业局等部门和用户 提供针对性的气象服务,我们还提供了气象灾害预测信息。2015 年提供的气象灾害预测有暴雨洪涝区、干旱区、台风高影响区、地质灾害区及高温影响区。在暴雨洪涝预测中指出,“淮河流域南部降水较常年偏多,局部地区可能出现洪涝;长江流域降水较常年明显偏多,中下游地区可能出现较重汛情。”实况显示,淮河流域和长江流域的部分江湖在夏季出现汛情(陈博宇等,2015)。在干旱预测中指出,华北地区大部和西北地区东部有气象干旱发生。实况显示,上述两区域在夏季出现了持续时间较长的中度至重度气象干旱,预测与实况吻合(沈晓琳等,2015;张芳等,2015)。此外,预测台风登陆和明显影响区域集中在东南和华南沿海地区,西南地区东部地质灾害较重也与实况比较一致。但是对高温区域的预测与实况有一定偏差,预测“夏季江南南部和华南地区北部高温日数偏多”,而实际上上述地区高温主要出现在 8 月(张芳,2015),而 7 月极端高温事件主要出现在新疆地区(沈晓琳等,

2015)。  
3 2015 年汛期预测先兆信号的综合分析

2015 年的汛期预测及服务能够取得比较好的效果,与发布预测前对气候系统先兆信号的全面分析以及多种预测方法的技术支持分不开。尤其是在众多信号面前,如何分清主次,抓住主导信号很重要。业务人员加强了对预报对象和预报因子的多时间尺度特征分析及两者的可能联系,从年代际尺度、年际尺度和次季节尺度等多方面进行诊断,并根据服务需求以及超前预报时间,分阶段提供详略不同的预测信息。4 月初给出汛期展望,到 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。在 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。预测业务中关注的年代际信号主要有两个:北太平洋年代际涛动(Pacific Decadal Oscillation, PDO; Mantua et al, 1997; Zhang et al, 1997)和北大西洋年代际振荡(Atlantic Multidecadal Oscillation, AMO; Kerr, 2000)。PDO和AMO都对ENSO有调制作用。进入21世纪以来,PDO出现冷位相的频次在增加。而在PDO冷位相期,夏季海平面气压在北太平洋负异常较强,而在东亚大陆负异常较弱,东亚夏季风偏强,西太平洋副热带高压(以下简称副高)偏北,此时华北地区降水偏多而长江中下游地区降水异常偏少(朱益民等,2003)。进入21世纪,AMO暖位相出现的频率增加,而AMO暖位相倾向于减弱ENSO强度,增强东亚夏季风(李双林等,2009)。陈丽娟等(2013a)在2012年汛期预测中,重点考虑了这两个信号对东亚夏季风偏强的影响。

然而监测显示,从2014年1月开始PDO指数持续为正值(指数定义和数据见<http://jisao.washington.edu/pdo/PDO.latest>),AMO指数基本维持正值(指数定义和数据见<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/timeseries/AMO/>),即两个年代际信号对东亚夏季风的调制步调可能出现不一致。由于资料序列的限制,当前还无法判断PDO位相是否在转折。从这个角度讲,不能将PDO和AMO作为2015年汛期预测的主导信号,应该更多关注年际和次季节尺度变化信息。此外我国夏季降水主要多雨带在21世纪以来处于偏北的年代际变化特征(陈丽娟等,2013a)也可能由于2014年多雨带的南移以及厄尔尼诺事件的发生而中断(孙林海等,2015)。因此,在2015年的汛期降水预测中对年代际背景特征的使用需要慎重。

### 3.2 年际尺度先兆信号

在季节气候预测业务中关注的年际异常外强迫信号有海温、极冰、积雪和陆面过程等特征。这些信号对东亚夏季风的影响机理已经取得很大的进展,在短期气候预测业务中得到广泛应用(陈丽娟等,2013b;贾小龙等,2013)。即使如此,对于每年的汛期预测,不同信号的影响程度不同,所起的作用有差异甚至是相反。因此面对众多的先兆信号,如何抓住主导信息仍然是预报员每年面临的难题。

截至2015年3月,能够获取的年际异常信号有:2014年5月开始,热带中东太平洋海温迅速上

升导致ENSO中性状态结束进入暖水状态,至10月,Nino3.4区海表温度距平指数连续6个月达到或超过 $0.5^{\circ}\text{C}$ ,达到厄尔尼诺事件标准[标准见李晓燕等(2000)],一次新的厄尔尼诺事件形成(王东阡等,2015)。2014年秋冬季大西洋海温呈三极子正位相;冬季赤道印度洋为较弱一致偏暖型(IOBW正位相),冬季赤道印度洋偶极子(IOD)为负位相;冬季欧亚积雪略少,高原积雪略多;北极海冰略偏少,南极海冰偏多。其他的环流特征是前期冬季,东亚冬季风偏弱,北极涛动(AO)处于正位相,南极涛动(AAO)处于偏强的正位相。

经过全面分析,尤其是关注环太平洋地区前期秋、冬季的气候异常特征以及对各外强迫信号的响应,认为2014/2015年东亚冬季风明显受到中部型厄尔尼诺事件的影响(王东阡等,2015),而冬季欧亚积雪、极冰异常量级偏小,信号相对较弱,不适合直接应用过去的研究成果进行预测(陈兴芳等,2000;武炳义等,2004;穆松宁等,2010;马洁华等,2011;竺夏英等,2013),极冰、积雪对未来东亚夏季气候的影响存在较大的不确定性。前冬南极涛动特征及其影响在最近几年的夏季风变化中的作用也出现不一致,可以在索马里越赤道气流建立后,将南半球环流特征作为补充订正预报考虑的信号。经综合诊断分析,确定重点考虑厄尔尼诺事件和印度洋海温特征以及青藏高原积雪对热带和副热带环流的影响,以及大西洋海温三极子正位相特征对中高纬度环流的影响。

厄尔尼诺事件对我国气候,尤其是汛期气候的影响具有复杂性。一般厄尔尼诺事件在春季发生,秋、冬季达到盛期,次年春、夏季结束。因此,厄尔尼诺事件对于我国当年和次年的夏季气候都可能会产生影响。而研究显示,处于厄尔尼诺事件发展阶段和衰减阶段的夏季,东亚季风环流不同,我国降水会出现截然不同的异常特征(Huang et al, 1989; 陈文, 2002; Song et al, 2014)。而在厄尔尼诺事件影响次年夏季降水的过程中,印度洋海温起到重要的作用(Yuan et al, 2008; 晏红明等, 2012)。印度洋海温与热带中东太平洋海温关系密切,其发展明显滞后于中东太平洋海温。一般在厄尔尼诺事件开始年的夏季,印度洋海温还没有增暖,中东太平洋海温会通过海气相互作用、激发大气中的遥相关型影响到东亚气候。而在厄尔尼诺事件次年夏季,印度洋海温偏暖明显,会显著影响副高,使得副高偏强西伸偏南。

然而2014—2015年的厄尔尼诺事件发展演变具有特殊性。根据国家气候中心的监测和第二代气候系统模式BCC\_CSM1.1m(吴统文等,2013)的预测(图3),从2015年4月开始,中东太平洋海温快速增暖,厄尔尼诺事件发展加强,于2015年夏季继续维持厄尔尼诺状态,从空间上由冬、春季暖池型(中部型)向夏季冷舌型(东部型)转变,而关于厄尔

尼诺/拉尼娜空间型特征对东亚气候的影响已有大量研究(Ashok et al, 2007; Kug et al, 2009; Ren et al, 2011),是值得关注的信号。同时,印度洋海温也从2015年3月迅速增暖。因此2015年春、夏季的热带中东太平洋表现为厄尔尼诺开始年的特征,而热带印度洋表现为厄尔尼诺次年的特征,从而使得热带海温变化对大气的影

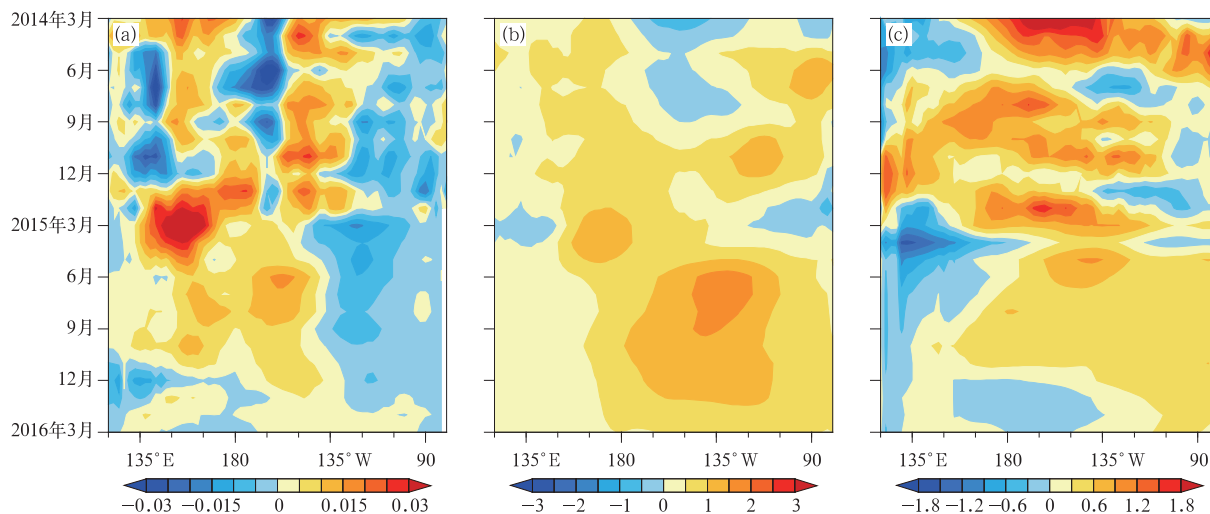


图3 监测(2015年3月以前)和BCC\_CSM1.1m模式预测(2015年3月以后)的 $2^{\circ}\text{S}\sim 2^{\circ}\text{N}$ 平均西风距平(a,单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )、SSTA(b,单位: $^{\circ}\text{C}$ )和海洋热容量距平(c,单位: $10^9\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ )

Fig. 3 The zonal wind anomaly (a, unit:  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), the SSTA (b, unit:  $^{\circ}\text{C}$ ) and the upper ocean heat content anomaly (c, unit:  $10^9\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ) averaged over  $2^{\circ}\text{S}\sim 2^{\circ}\text{N}$

(The data used before and after March 2015 are from the observation and the prediction from BCC\_CSM1.1m, respectively)

我们根据滑动3个月的Nino3.4指数连续5个月大于 $0.5^{\circ}\text{C}$ (数据取自 [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml))即确定为厄尔尼诺事件,选取前冬处于厄尔尼诺事件中的年份作为厄尔尼诺次年,排除年代际变化背景的影响,选择1980年以后9个厄尔尼诺年次年(1983、1987、1988、1992、1995、1998、2003、2005、2007和2010年)进行850 hPa距平风场合成(图4),可以看到东亚地区为显著的北风距平,表示东亚夏季风明显偏弱,不利于水汽向北方输送,易造成我国北方降水明显偏少。

此外,还要关注厄尔尼诺事件空间型的变化。图5为冬、次年春、次年夏海表温度距平和850 hPa风场距平分别与冬季Nino3指数和冬季EMI指数(Ashok et al, 2007)的偏相关[计算方法见Sankar-Rao等(1996)]。可以看出,对于东部型厄尔尼诺事件,菲律宾以东的反气旋在冬、春、夏季稳定维持,有

利于多雨区出现在我国南方。中部型厄尔尼诺事件年,菲律宾反气旋的位置从冬到夏呈明显变化,强度也有所减弱,位置从冬到夏逐渐北抬,相应会影响到我国主要多雨区偏北(Yuan et al, 2012a; 2012b)。

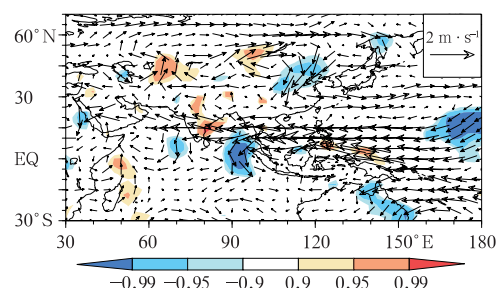


图4 厄尔尼诺年次年夏季850 hPa距平风场合成(深、中、浅色阴影分别表示通过0.01、0.05和0.10显著性水平检验的区域)

Fig. 4 Composite of the summer 850 hPa wind anomaly during the El Niño decaying phases (Dark, middle and light shaded areas indicate the parts having passed the 0.01, 0.05 and 0.10 levels of significance test, respectively)



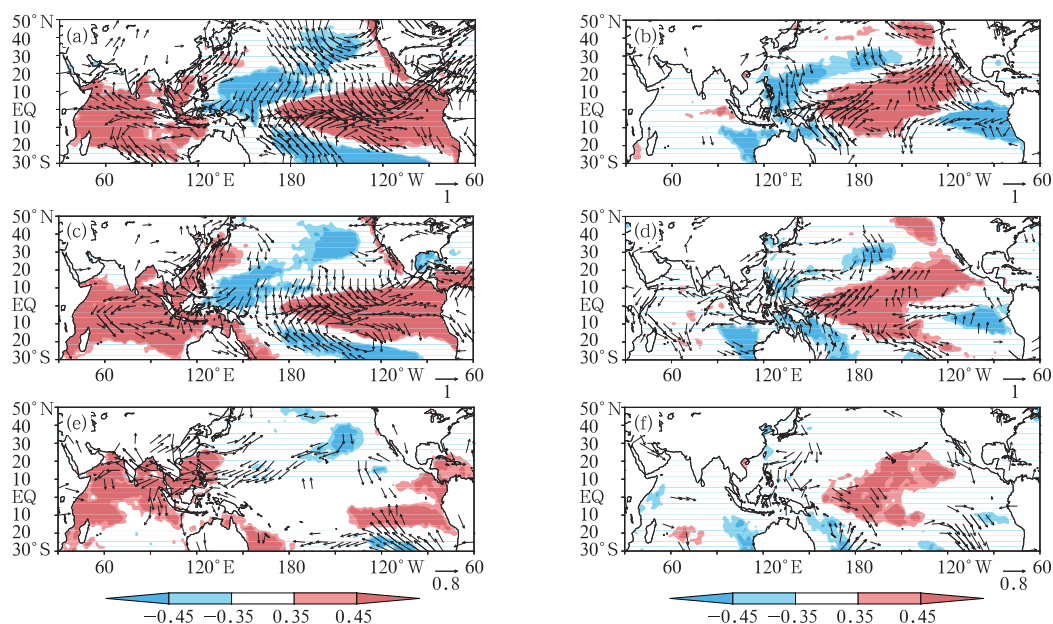


图 5 冬(a, b)、次年春(c, d)、次年夏(e, f)海表温度距平(阴影区)和 850 hPa 风场距平(矢量)分别与冬季 Nino3(a, c, e)和冬季 EMI(b, d, f)指数的偏相关(阴影区由浅到深表示海温相关分别通过 0.05 和 0.01 的显著性水平检验,矢量为纬向风或经向风通过 0.05 显著性水平检验的风场)

Fig. 5 Partial correlations of seasonal SSTA (shaded area) and 850 hPa wind anomalies (vectors) with normalized DJF Nino3 (a, c, e) and DJF EMI (b, d, f) for winter (a, b), next spring (c, d), and next summer (e, f) (Shaded areas indicate correlations of SSTA above the 0.05 and 0.01 levels of significance test; vectors show the correlated anomalous 850 hPa zonal or meridional wind having passed the 0.05 level of significance test)

另外要关注的是印度洋海温偏暖的程度及其影响。印度洋海温偏暖也会影响菲律宾反气旋的维持和强度(Wu et al, 2010),从而影响我国夏季多雨带位置。1980 年以后的厄尔尼诺年次年,东部主要雨带中心有两种类型,一类是主要多雨带位于长江—江南地区(长江型),包括 1983、1987、1992、1995、1998 和 2010 年;另一类是位于淮河地区(淮河型),包括 2003、2005 和 2007 年。对这两组年份的冬、春、夏季海温分别进行合成后显示(图 6),长江型一般对应较强东部型厄尔尼诺事件,同时印度洋海温持续显著地偏暖,而江淮型一般对应较弱中部型厄尔尼诺事件,同时印度洋偏暖程度弱。所以需要密切关注印度洋海温的演变及其对菲律宾反气旋的影响,并进一步确定未来夏季的主要多雨区。

最新的研究(Ren et al, 2015)还发现青藏高原积雪对初夏菲律宾反气旋的维持起到重要作用。2014/2015 年冬季青藏高原积雪偏多也可能会加强菲律宾反气旋特征,有利于多雨带偏南。

在 2015 年 3 月获得的信息是:热带太平洋海温(中东太平洋、西太平洋海温)体现出中部型的典型特征,如果这种特征持续,则有利于夏季多雨带位于淮河流域。而国内外多个动力气候模式预测未来春、夏季热带太平洋海温从中部型向东部型发展,印度洋海温增暖。如果春季印度洋海温增暖迅速,则有利于多雨带偏南。

由于国内外动力气候模式对印度洋海温的预测能力普遍低于对厄尔尼诺事件的预测,因此印度洋海温的演变趋势及影响存在不确定性。2015 年 4 月初,我们在发布预报时,将主要多雨带定在江南北部地区,多雨中心在江淮(图 1a)。到 2015 年 5 月,根据印度洋海温春季明显偏暖的特征及其对热带环流和副热带环流的影响,在订正预报中(图 1b)将主要多雨中心南移到江南北部。

实况显示,2015 年汛期降水特征体现出厄尔尼诺次年的“北少南多”的空间分布。同时也表现出一些非典型厄尔尼诺次年的特征,如汛期降水总体偏

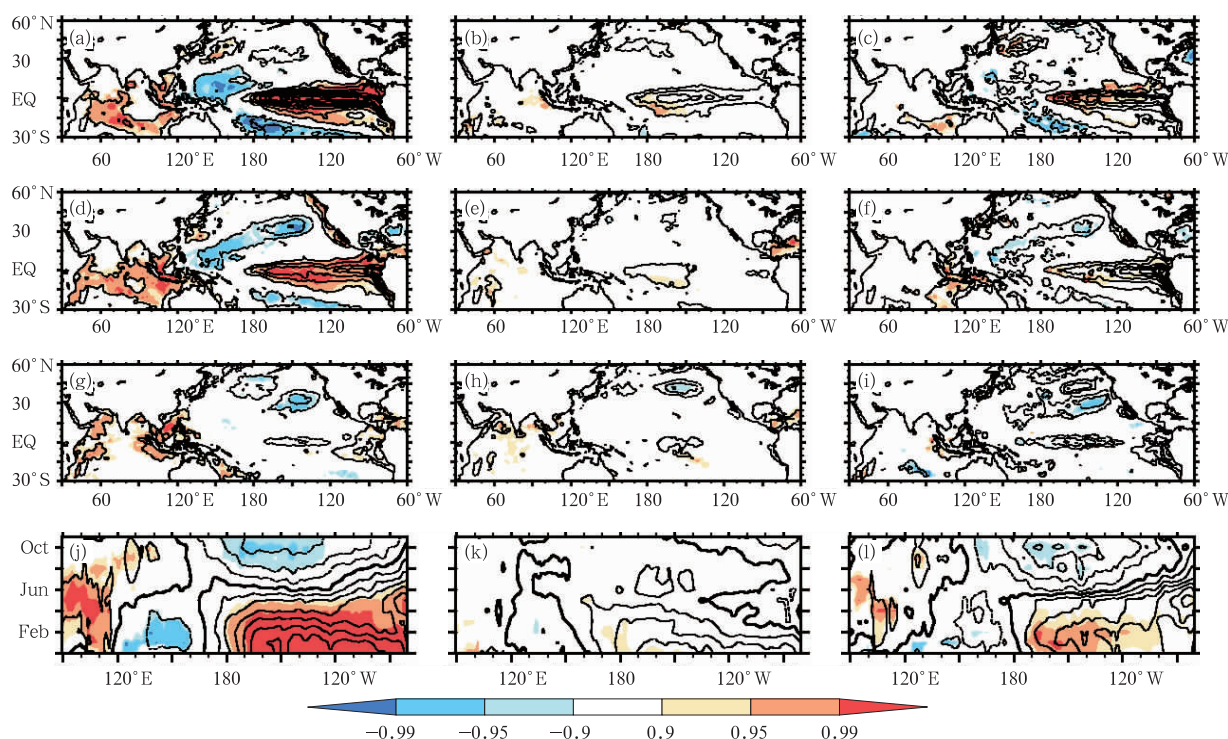


图6 厄尔尼诺次年长江多雨型(a, d, g, j)和江淮多雨型(b, e, h, k)冬、春、夏季及逐月海温距平合成图及两者差值(c, f, i, l)

(深、中、浅色阴影分别表示通过0.01、0.05和0.10显著水平检验的区域)

Fig. 6 Composites of the SSTA in (a) winter, (d) spring, (g) summer and (j) the monthly tropical SSTA averaged over (5°S–5°N) for the El Niño summers with more precipitation near the Yangtze River;

(b, e, h, k) the composites for the El Niño summers with more precipitation between the Yangtze River and the Huaihe River; (c, f, i, l) the differences

between the SSTA in the above two groups

(Dark, middle and light shaded areas indicate the parts having passed the 0.01, 0.05, and 0.10 levels of significance test, respectively)

少、季风雨带相对较弱,季节内变率明显等。这种不典型特征,是否与本次厄尔尼诺事件在夏季持续发展的状态有关,值得深入研究。此外,中高纬度环流特征也扮演了重要角色。

已有的研究显示(Wu et al, 2009; 左金清等, 2012; Zuo et al, 2013)前期冬、春季北大西洋三极子(NAT)特征可能影响后期夏季的欧亚中高纬度环流型。通过合成冬季 NAT 正/负位相年夏季 500 hPa 高度场及其差值(图7),可以看到, NAT 正位相年,贝加尔湖地区和乌拉尔山地区的高度场均偏低,阻塞形势不明显,中高纬环流以纬向为主。到5月进行订正预报时,获得的监测信息是春季 NAT 维持正位相,通过合成春季 NAT 正位相年的 500 hPa 高度场可见(图略),欧亚中纬度地区为“两槽一脊”型,仍然以纬向环流为主,预示影响我国的冷空气较弱。

根据上述分析,可以预测2015年东亚夏季风偏弱,西太平洋副高偏强偏西偏南,菲律宾反气旋显著,中高纬度环流以纬向为主,因此我国出现“南多北少”降水型的可能性较大。由于对中高纬度环流的纬向型预测明显不同于1998年的阻塞型(李维京, 1999),因此可以排除出现1998年全国降水异常偏多以及流域性洪涝的可能性。

事后的实际监测显示,东亚夏季风明显偏弱,副高偏强偏西,脊线较常年略偏南,但季节内变化大,中高纬度环流为“两槽一脊”型(王东阡等, 2016)。对夏季总体趋势的预测比较好,但需要加强对环流的季节内变化预测能力。

### 3.3 季节内尺度先兆信号

2015年夏季预测与服务加强了对季节内重要气候事件的分析 and 预测,对重要气候事件的预测基



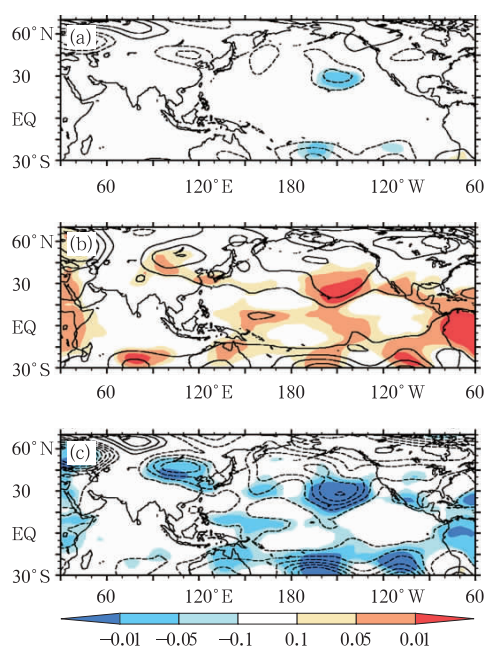


图 7 冬季 NAT 正位相年(a)和负位相年(b)  
夏季 500 hPa 高度场距平合成及其差值(c)

(深、中、浅色阴影分别表示通过 0.01、  
0.05 和 0.10 显著水平检验的区域)

Fig. 7 Composites of the geopotential  
height at 500 hPa in (a) positive NAT  
summers, (b) negative NAT summers  
and (c) their difference

(Dark, middle and light shaded areas indicate  
the parts having passed the 0.01, 0.05, and  
0.10 levels of significance test, respectively)

于两个方面,一是从外强迫影响的角度,在 4 月初给出初步展望;另外从初值的角度,在气候事件发生前 1 至 2 周的超前时间给出滚动订正预测。

ENSO 循环影响南海夏季风的物理机制(Wang et al, 2000; Zhou et al, 2007)可以归纳为:前冬为厄尔尼诺(拉尼娜)事件,有利于热带印度洋第二年春季增暖(变冷),从而热带印度洋对流发展(减弱),热带印度洋—西太平洋出现异常沃克环流,使得副高加强(减弱),造成南海夏季风爆发偏晚(偏早)。

综合热带海温异常状态特征,于 2015 年 4 月初预测当年亚洲夏季风季节进程推迟的可能性大,季节进程较常年偏晚,与实况比较吻合(表 2)。至 2015 年 5 月,对南半球越赤道气流的监测显示,索马里越赤道气流和南海越赤道气流建立的时间接近常年,但是强度明显偏弱,从而有利于亚洲季风系统开始时间接近常年到偏晚,强度偏弱(高辉等, 2006)。因此在订正预报中进一步明确了亚洲夏季

风季节进程推迟,主要气候事件发生时间偏晚的预测意见。

综上所述,2015 年春季以来,热带中东太平洋及热带印度洋海温发展迅速,较常年异常偏暖。研究显示,海温的上述特征对东亚地区大气环流和季风降水有较为典型的影响,即有利于副高偏强偏西偏南、东亚夏季风偏弱。2015 年夏季东亚环流及降水总体表现出上述特征,但在大气季节内尺度变化的影响下,也出现了副高偏东、季风偏强的阶段性特征(沈晓琳等, 2015)。这种阶段性特征在一定程度上削弱了热带海温影响下东亚环流和降水的典型特征,使得预报与实况存在一定偏差(预测的长江流域及其附近多雨区较实况范围偏大)。在 6 月下旬至 7 月上旬,大气季节内振荡(MJO)的对流活跃位相传播到西太平洋,台风出现对应的阶段性活跃特征,在西北太平洋形成“三台共舞”长达 6 天的局面,历史少见(沈晓琳等, 2015)。台风活跃使得副高东退,其西伸脊点位置在 7 月上旬和中旬持续较常年同期明显偏东。因此不同于 6 月在副高偏强西伸影响下,多雨区位于江南至江淮的特征,7 月主要降水异常表现为强台风降水的特点,多雨区主要位于江南及华南东部,范围较小。在大气季节内尺度变化的影响下,夏季长江流域附近的多雨区比预测范围要小。对季节气候预测而言,汛期内大气低频变化的特征及其影响是气候科学的难点之一。

## 4 结论和讨论

根据前期对气候系统的监测、动力气候模式预测以及相应的诊断分析,预报组于 2015 年 4 月初给出如下比较明确的预测结论:(1)2015 年厄尔尼诺事件对前期热带—东亚副热带大气、热带及我国南方降水异常均有明显影响,表现出中部型厄尔尼诺的气候影响特征。(2)预计厄尔尼诺事件将于 2015 年再次发展加强,赤道中东太平洋海温于 2015 年夏季继续维持厄尔尼诺状态,并由冬、春季暖池型(中部型)向夏季冷舌型(东部型)转变;热带印度洋海温偏暖。(3)厄尔尼诺状态的维持和热带印度洋海温偏暖可能导致 2015 年夏季副高偏强偏西偏南,菲律宾反气旋显著,东亚夏季风偏弱,我国夏季降水呈“北少南多”型。汛期三个主要气候事件特征为:华南前汛期开始偏晚,梅雨量偏多,华北雨季降水偏少。

事后的实况显示,预测与实况比较一致,但是也存在一定的偏差。例如华南前汛期入汛晚,总体强度偏弱,但是入汛后有阶段性偏强。华南地区3—4月降水偏少,入汛偏晚,入汛以后(5月5—31日),华南地区降水显著偏多(邵懿等,2015)。但是5月底至6月初,副高较常年偏北,雨带北移到江南地区,江南降水增强,梅雨提前开始,华南降水减弱。虽然对总体趋势的预测效果比较好,但是对季节内气候事件和环流转折的预测仍然存在难度。

另外,极端性降水和台风降水强度增加了短期气候预测的难度。例如6月下旬至7月上旬出现台风的阶段性活跃特征。台风活跃使得副高东退,直接影响了梅雨形势。台风登陆后的路径也影响了局地洪涝发生。天气尺度扰动和热带气旋降水在汛期降水中占有较大比率,但无论是气候模式还是物理统计方法对这种性质的降水预测都存在很大不确定性。

此外,本次厄尔尼诺事件始于2014年,且印度洋海温在2015年春季已表现为偏暖,而2015年春季开始,赤道中东太平洋海温再次加强。因此2015年夏季气候受到赤道中东太平洋海温偏暖和印度洋海温偏暖的共同影响。2015年汛期预测面对的海温外强迫特征与历史个例的研究结果不完全一致,表现出本次厄尔尼诺事件自身演变的复杂性及影响的不确定性。还需要深入研究不同外强迫信号和不同尺度因子及其配置对我国汛期气候的影响,获得更为清晰的物理机制和图像,提高短期气候预测的水平,更好地为气象防灾减灾服务。

**致谢:**本文在完成过程中得到国家气候中心气候预测室、气候系统监测室、气候研究开放实验室、气候模式室提供的资料和研发成果,在此一并致谢。

## 参考文献

- 陈博宇,张芳华. 2015. 2015年6月大气环流和天气分析. 气象, 41(9):1170-1176.
- 陈丽娟,高辉,龚振淦,等. 2013a. 2012年汛期气候预测的先兆信号和应用. 气象, 39(9):1103-1110.
- 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综述. 应用气象学报, 24(5):521-532.
- 陈文. 2002. El Nino 和 La Nina 事件对东亚冬、夏季风循环的影响. 大气科学, 26(5):595-610.
- 陈兴芳,宋文玲. 2000. 欧亚和青藏高原冬春积雪与我国夏季降水关系的分析和预测应用. 高原气象, 19(2):215-223.
- 高辉,薛峰. 2006. 越赤道气流的季节变化及其对南海夏季风爆发的影响. 气候与环境研究, 11(1):57-68.
- 贾小龙,陈丽娟,高辉,等. 2013. 我国短期气候预测技术进展. 应用气象学报, 24(6):641-655.
- 柯宗建,王永光,龚振淦. 2014. 2013年汛期气候预测的先兆信号及其应用. 气象, 40(4):502-509.
- 李双林,王彦明,邵永祺. 2009. 北大西洋年代际振荡(AMO)气候影响的研究评述. 大气科学学报, 32(3):458-465.
- 李维京. 1999. 1998年大气环流异常及其对中国气候异常的影响. 气象, 25(4):20-25.
- 李晓燕,翟盘茂. 2000. ENSO 事件指数与指标研究. 气象学报, 58(1):102-109.
- 马洁华,王会军,张颖. 2011. 北极夏季无海冰状态时的东亚气候变化数值模拟研究. 气候变化研究进展, 7(3):162-170.
- 穆松宁,周广庆. 2010. 冬季欧亚大陆北部新增雪盖面积变化与中国夏季气候异常的关系. 大气科学, 34(1):213-226.
- 邵懿,柳艳菊,李多,等. 2015. 2015年春季我国主要气候特征及其成因分析. 气象, 41(10):1292-1297.
- 沈晓琳,张芳华,周博坤. 2015. 2015年7月大气环流和天气分析. 气象, 41(10):1298-1304.
- 孙林海,宋文玲,龚振淦. 2015. 2014年汛期气候预测先兆信号应用及其复杂性初探. 气象, 41(5):639-648.
- 王东阡,崔童,司东,等. 2015. 2014/2015年东亚冬季风活动特征及其可能成因分析. 气象, 41(7):907-914.
- 王东阡,王艳娇,崔童,等. 2016. 2015年夏季气候异常特征及其成因简析. 气象, 42(1):159-166.
- 武炳义,卞林根,张人禾. 2004. 冬季北极涛动和北极海冰变化对东亚气候的影响. 极地研究, 16(3):211-220.
- 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. 应用气象学报, 24(5):533-543.
- 晏红明,袁媛. 2012. 印度洋海温异常的特征及其影响. 北京:气象出版社, 198.
- 中国气象局预报与网络司. 2014a. 关于印发《华南汛期监测业务规定(试行)》的通知, 气预函(2014)2号.
- 中国气象局预报与网络司. 2014b. 关于印发《梅雨监测业务规定》的通知, 气预函(2014)28号.
- 中国气象局预报与网络司. 2014c. 关于印发《华北雨季监测业务(试行)规定》的通知, 气预函(2014)117号.
- 张芳,张芳华. 2015. 2015年8月大气环流和天气分析. 气象, 41(11):1425-1432.
- 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. 气象, 39(9):1111-1118.
- 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. 气象学报, 61(6):641-654.
- 左金清,李维京,任宏利,等. 2012. 春季北大西洋涛动与东亚夏季风年际关系的转变及其可能成因分析. 地球物理学报, 55(1):384-395.
- Ashok K, Behera S K, Rao S A, et al. 2007. El Nino Modoki and its possible teleconnection. J Geophys Res, 112: C11007. DOI: 10.1029/2006JC003798.
- Huang R H, Wu Y F. 1989. The influence of ENSO on the summer climate change in China and its mechanism. Adv Atmos Sci, 6(1):21-32.

- Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull Amer Meteor Soc*, 77(2):437-471.
- Kerr R. 2000. A North Atlantic climate pacemaker for the centuries. *Science*, 288:1984-1986.
- Kug J S, Jin F F, An S I. 2009. Two types of El Niño events; Cold tongue El Niño and warm pool El Niño. *J Climate*, 22(6):1499-1515.
- Mantua N J, Hare S R, Zhang Y, et al. 1997. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bull Amer Meteor Soc*, 78:1069-1079.
- Ren Hongchang, Li Weijing, Ren Hongli, et al. 2015. Distinct linkage between winter Tibetan Plateau snow depth and early summer Philippine Sea anomalous anticyclone. *Atmos Sci Lett*. DOI:10.1002/asl.646.
- Ren Hongli, Jin Feifei. 2011. Niño indices for two types of ENSO. *Geophys Res Lett*, 38, L04704, DOI: 10.1029/2010GL046031.
- Reynolds R W, Rayner N A, Smith T M, et al. 2002. An improved in situ and satellite SST analysis for climate. *J Climate*, 15(13):1609-1625.
- Sankar-Rao M, Lau K M, Yang S. 1996. On the relationship between Eurasian snow cover and the Asian summer monsoon. *Int J Climatol*, 16(6):605-616.
- Song F, Zhou T. 2014. Interannual variability of East Asian summer monsoon simulated by CMIP3 and CMIP5 AGCMs; Skill dependence on Indian Ocean-Western Pacific anticyclone teleconnection. *J Climate*, 27(4):1679-1697.
- Wang B, Wu R G, Fu X. 2000. Pacific-East Asian teleconnection: How does ENSO affect east asian climate? *J Climate*, 13(9):1517-1535.
- Wu B, Li T, Zhou T. 2010. Relative contributions of the Indian Ocean and local SST anomalies to the maintenance of the western North Pacific anomalous anticyclone during El Niño decaying summer. *J Climate*, 23(11):2974-2986.
- Wu Z, Wang B, Li J, et al. 2009. An empirical seasonal prediction model of the East Asian summer monsoon using ENSO and NAO. *J Geophys Res*, 114, D18120. DOI: 10.1029/2009JD011733.
- Yuan Y, Yang S. 2012a. Impacts of different types of El Niño on the East Asian climate; Focus on ENSO cycles. *J Climate*, 25(21):7702-7722. DOI:10.1175/JCLI-D-11-00576.1.
- Yuan Y, Yang S, Zhang Z Q. 2012b. Different evolutions of the Philippine Sea anticyclone between Eastern and Central Pacific El Niño; Effects of Indian Ocean SST. *J Climate*, 25(21):7867-7883. DOI:10.1175/JCLI-D-12-00004.1.
- Yuan Y, Zhou W, Chan J C L, et al. 2008. Impacts of the basin-wide Indian Ocean SSTa on the South China Sea summer monsoon onset. *Int J Climatol*, 28(12):1579-1587.
- Zhang Y, Wallace J M, Battisti D S. 1997. ENSO-like interdecadal variability:1900-93. *J Climate*, 10:1004-1020.
- Zhou W, Chan J C L. 2007. ENSO and South China Sea summer monsoon onset. *Int J Climatol*, 27(2):157-167.
- Zuo J Q, Li W J, Sun C H, et al. 2013. The impact of North Atlantic sea surface temperature tripole on the East Asian summer monsoon. *Adv Atmos Sci*, 30(4):1173-1186. DOI:10.1007/s00376-012-2125-5.