

赵俊虎,王永光,2019. 2018 年秋季我国气候异常及成因分析[J]. 气象,45(4):565-576. Zhao J H, Wang Y G, 2019. Features and possible causes for the climatic anomaly in China in autumn 2018[J]. Meteor Mon,45(4):565-576(in Chinese).

## 2018 年秋季我国气候异常及成因分析\*

赵俊虎 王永光

国家气候中心,中国气象局气候研究开放实验室,北京 100081

**提 要:** 2018 年秋季我国气候异常特征总体表现为:气温呈“东高西低”的分布;东部降水呈“南北多、中间少”的分布,其中内蒙古中东部、东北、江南南部和华南大部地区降水异常偏多,而华北至江南北部降水异常偏少,且江南和西南地区降水出现明显的季节内反向分布转变特征。异常成因分析表明,秋季欧亚中高纬度槽脊活动频繁,冷空气活跃,西太平洋副热带高压较常年同期偏强偏西,脊线季节内南北波动较大,西南水汽输送偏强,导致我国东部降水南北多、中间少。进一步研究表明,海温异常是影响 2018 年秋季我国气候异常的最主要外强迫因子,季节内 El Niño 由中部型向东部型发展,热带印度洋海温偶极子正位相持续,副热带南印度洋偶极子正位相发展。秋季后期 El Niño 影响增强,东亚副热带大气环流发生明显的季节内响应。因此,El Niño 和印度洋海温的演变及其对东亚环流的影响,加上欧亚中高纬环流异常的季节内调整,二者共同导致了我国南方地区降水出现明显的东西反向的季节内变化。

**关键词:** 气候异常特征,季节内转折,成因分析,El Niño,印度洋海温

**中图分类号:** P461

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2019.04.011

## Features and Possible Causes of the Climatic Anomaly in China in Autumn 2018

ZHAO Junhu WANG Yongguang

Laboratory of Climate Studies, National Climate Centre, CMA, Beijing 100081

**Abstract:** During the autumn of 2018, the surface air temperature was below normal in West China but above normal in East China. And the distribution of precipitation in eastern China was “more in the north and south, less in the middle”. The precipitation was above normal in the central and eastern part of Inner Mongolia, Northeast China, the southern part of the south of the Yangtze River and South China, but below normal in the region from North China to the northern part of the south of the Yangtze River. In addition, the precipitation in the south of the Yangtze River and Southwest China showed obvious seasonal reverse distribution characteristics. By analyzing the causes for the climatic anomaly, we found that in autumn, ridge and trough activities in middle and high latitudes of Eurasia were frequent, the cold air was active, the western Pacific subtropical high (WPSH) was stronger and more westward than normal, the ridges of WPSH fluctuated greatly from north to south, and the southwest water vapor transport was stronger, resulting in the abnormal distribution of precipitation in eastern China. Further studies have shown that the sea surface temperature anomaly (SSTA) was the major external forcing factor for the climatic anomalies in the autumn of 2018. The El Niño type developed from the central Pacific type (CP) El Niño

\* 国家重点研发计划(2018YFC1506005)、国家自然科学基金项目(41875093、41705074 和 41505061)、中央引导地方科技发展专项(ZY18C12)及陕西省气象局气候监测与预测创新团队项目共同资助

2018 年 12 月 26 日收稿; 2019 年 3 月 21 日收修定稿

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

通信作者:王永光,主要从事短期气候预测研究. Email:ygwang@cma.gov.cn

to the eastern Pacific type (EP) El Niño. The positive phase of tropical Indian Ocean dipole (TIOD) turned to the positive phase of South Indian Ocean dipole (SIOD). And there was obvious response of the East Asian subtropical atmospheric circulation to the SSTA in the Pacific and Indian Ocean in autumn. Therefore, the evolution of El Niño and the SST in the Indian Ocean and their influence on the East Asia atmospheric circulation, together with the seasonal adjustment of the anomalous circulation in the middle and high latitudes in Eurasia, led to the obvious east-west interseasonal changes of precipitation in southern China.

**Key words:** climatic anomaly feature, interseasonal change, possible causes, El Niño, Indian Ocean SST

## 引 言

中国地处东亚季风区,季风气候显著。秋季是夏季风环流向冬季风环流转变的过渡时期。此时,东亚夏季风系统开始南撤,季风槽逐步南移,中高纬度的冷空气活动开始活跃。热带暖湿气流和南下的冷空气在不同地区的交汇造成我国天气和气候的异常,不同强度的冷暖气团在某些区域持续的对峙甚至可以带来一些极端天气和气候事件。同时由于秋季是我国秋收秋种的重要季节,秋季的天气气候异常将对我国粮食生产和人民生活安全造成严重的影响。因此做好秋季气候异常的诊断分析和预测,将有利于认识秋雨发生的科学规律,有助于防灾减灾(鲍媛媛等,2003;白虎志和董文杰,2004;贾小龙等,2008;侯威等,2015;肖科丽等,2015;柳龙生和高拴柱,2018)。

自 20 世纪 90 年代以来,我国秋季气温总体处于偏暖的年代际背景下;而秋季降水自 21 世纪以来进入偏多的时段。近几年秋季我国降水异常偏多(柳艳菊等,2013;王朋岭等,2014;司东等,2015;聂羽等,2016;竺夏英和宋文玲,2017;支蓉等,2018)。2018 年秋季,我国气候区域差异大,西部地区总体呈现“冷湿”的特征,东部气温偏高,降水呈“南北多、中间少”的分布特征。在西北地区东部、华北西部、东北地区、江南和华南等地,出现强降水天气过程,部分地区出现洪涝、泥石流等灾害。此外,2018 年秋季降水季节内变化显著,9 月南方地区呈“东少西多”的分布,而后秋(10—11 月)南方地区转为“东多西少”的分布。本文从 2018 年秋季我国主要气候特点出发,通过诊断分析造成气候异常的大气环流特征和外强迫信号,探讨造成 2018 年秋季气候异常的可能成因,为今后的气候预测和服务提供参考。

## 1 资料和方法

本文使用了 1961—2018 年的中国逐日气温和降水观测资料。数据来源于国家气象信息中心整编的中国地区 2400 台站观测气候数据集。此外,本文还使用了 1961—2018 年美国国家环境预报中心和美国国家大气研究中心(NCEP/NCAR)提供的 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 水平分辨率的位势高度场、水平风场、水汽场的逐日再分析资料(Kalnay et al,1996)和美国国家海洋大气局(NOAA)提供的 1961—2018 年逐月海温资料(Reynolds et al,2007)。文中部分图片出自国家气候中心开发的“气象灾害影响评估系统”及“大气环流交互诊断系统”。

西太平洋副热带高压(以下简称副高)指数、Niño3 指数、El Niño Modoki 指数(EMI)、热带印度洋海温偶极子指数(TIOD)和副热带南印度洋偶极子指数(SIOD)来自国家气候中心。其中 Niño3 指数表示  $5^{\circ} \text{S} \sim 5^{\circ} \text{N}, 150^{\circ} \text{W} \sim 90^{\circ} \text{W}$  区域平均的 SSTA。根据 Ashok et al (2007),EMI 定义为:  $(\text{SSTA})_{\text{C}} - 0.5(\text{SSTA})_{\text{E}} - 0.5(\text{SSTA})_{\text{W}}$ , 其中  $(\text{SSTA})_{\text{C}}, (\text{SSTA})_{\text{E}}, (\text{SSTA})_{\text{W}}$  分别表示热带太平洋中部( $10^{\circ} \text{S} \sim 10^{\circ} \text{N}, 165^{\circ} \text{E} \sim 140^{\circ} \text{W}$ )、东部( $15^{\circ} \text{S} \sim 5^{\circ} \text{N}, 110^{\circ} \sim 70^{\circ} \text{W}$ )和西部( $10^{\circ} \text{S} \sim 20^{\circ} \text{N}, 125^{\circ} \sim 145^{\circ} \text{E}$ )区域平均的海温距平(Ashok et al,2007;Weng et al,2007;2009)。Niño3 指数和 EMI 分别用于监测东部型和中部型 ENSO 事件。TIOD 定义为热带西印度洋( $10^{\circ} \text{S} \sim 10^{\circ} \text{N}, 50^{\circ} \sim 70^{\circ} \text{E}$ )与热带东南印度洋( $10^{\circ} \text{S} \sim 0^{\circ}, 90^{\circ} \sim 110^{\circ} \text{E}$ )区域平均海温距平的差值(Saji et al,1999)。SIOD 定义为西南印度洋( $45^{\circ} \text{S} \sim 30^{\circ} \text{S}, 45^{\circ} \sim 75^{\circ} \text{E}$ )与东南印度洋( $25^{\circ} \text{S} \sim 15^{\circ} \text{S}, 80^{\circ} \sim 100^{\circ} \text{E}$ )区域平均海温距平的差值(Behera and Yamagata, 2001;晏红明等,2009),TIOD

> 0℃ 和  $SIOD > 0℃$  表示正位相,  $TIOD < 0℃$  和  $SIOD < 0℃$  表示负位相。文中的气候常年值为 1981—2010 年的平均值。

### 2 2018 年秋季我国主要气候异常特征

2018 年秋季,全国平均气温为 10.0℃,较常年同期(9.9℃)偏高 0.1℃(图 1a)。从空间分布看,气温呈现“东高西低”的分布,内蒙古东部、东北大部、华北南部、黄淮、江淮、江汉、江南大部、华南东南部和西藏大部等地区气温偏高,其中内蒙古东部、黑龙江大部 and 吉林西北部等地气温较常年同期偏高 1~2℃,局部偏高 2℃ 以上;而新疆大部、内蒙古西部和中部、西北大部、华北北部、西南大部、华南西部等地气温较常年同期偏低,其中新疆北部局部和西南地区东部局部偏低 1~2℃(图 1b)。季内,由于冷空气活动频繁,华北及内蒙古东部、吉林西部、辽宁南部、山东北部、山西南部、陕西、青海东北部以及江苏等地发生极端日降温事件。

秋季,全国平均降水量为 129.7 mm,较常年同期(119.8 mm)偏多 8.3%(图 2a)。降水空间分布非常不均匀,其中东部地区总体呈现“南北多、中间

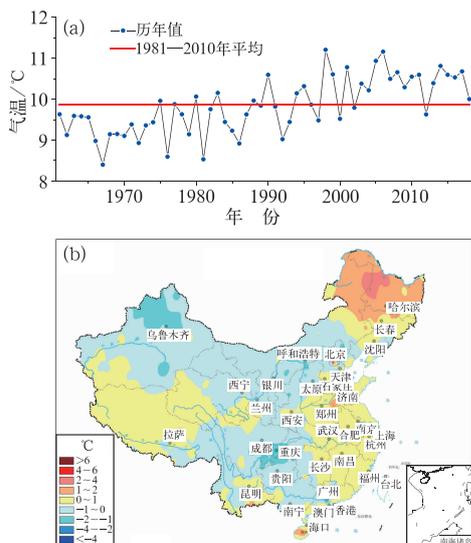


图 1 1961—2018 年秋季全国平均气温历年变化(a)及 2018 年秋季全国气温距平分布(b)  
Fig. 1 Time series of autumn mean temperature over China during 1961—2018 (a) and distribution of temperature anomalies in autumn 2018 (b)

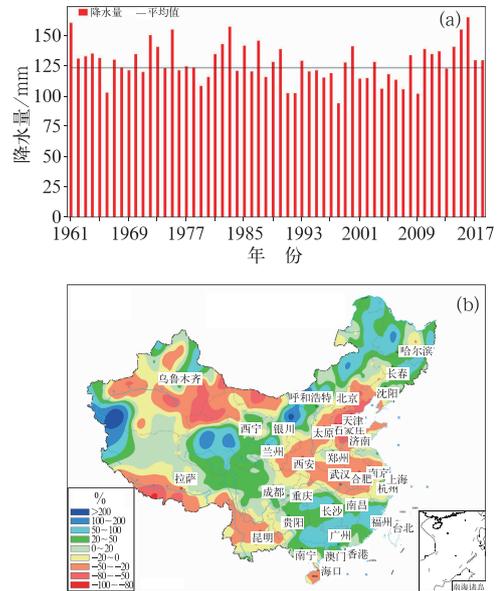


图 2 1961—2018 年秋季全国平均降水量历年变化(a)及 2018 年秋季全国降水距平百分率分布(b)  
Fig. 2 Time series of autumn mean rainfall over China during 1961—2018 (a) and distribution of precipitation anomaly percentage in autumn 2018 (b)

少”的空间分布,而西部地区总体呈现“南北少、中间多”的空间分布。降水偏多区出现在新疆北部、西北南部、内蒙古中部和东部、东北大部、西南北部和东部局部、江南南部及华南大部等地,尤其是河套地区、内蒙古中东部、东北北部、华南中部至江南南部等地区降水偏多 5 成以上;而华北大部、西北东南部、江汉、江淮大部、西藏南部、西南南部等地降水较常年同期明显偏少,部分地区偏少 8 成至 1 倍(图 2b)。

从区域特征看,东北地区(黑龙江、吉林、辽宁)平均降水量(119.7 mm)较常年同期(98.2 mm)偏多 21.9%(图 3a)。华北地区(北京、天津、河北和山西)平均降水量(53.8 mm)较常年同期(94.9 mm)偏少 43.3%,为 1998 年以来最少年(图 3b)。南方地区(广东、广西、贵州、湖南、江西、福建)平均降水量(322.0 mm)较常年同期(238.0 mm)偏多 35.3%,为 1983 年以来第五多年(图 3c)。季内,内蒙古、甘肃、青海、宁夏、山东、浙江和江苏等地还出现了极端日降水量事件,其中山东台儿庄(199.4 mm)、内蒙古乌海(133.9 mm)和乌斯太(94.3 mm)、青海甘德(40.1 mm)等站日降水量突破历史极值。

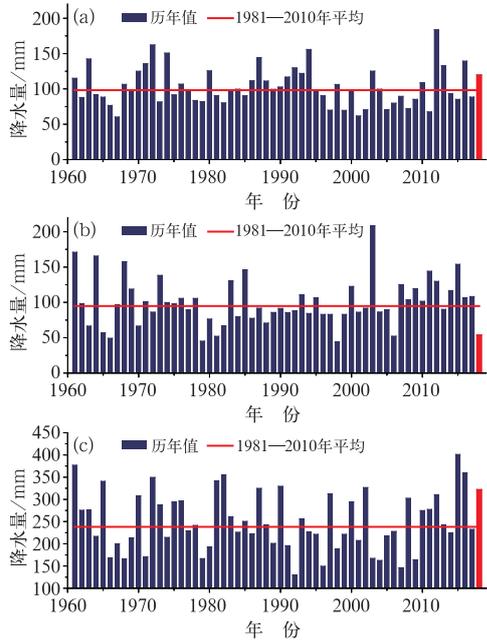


图 3 1961—2018 年秋季东北(a)、华北(b)和南方(c)地区平均降水量历年变化

Fig. 3 Time series of autumn rainfall over Northeast China (a), North China (b) and South China (c) during 1961—2018

从国家气候中心华西秋雨的监测结果来看(表 1),2018 年华西秋雨监测区降水总体较常年偏少 20.1%。其中华西北区(主要包括陕西南部大部、宁夏南部和甘肃南部)秋雨开始日期较常年偏晚 5 d,结束日期偏早 22 d,秋雨期偏短 26 d,累积降水量偏少 67.5%;华西南区(湖北西部、湖南西部、重庆、四川东部、贵州北部以及陕西南部部分地区)秋雨开始日期偏晚 1 d,结束日期偏晚 9 d,秋雨期偏长 8 d,累积降水量偏多 5.4%。

从降水的季节内变化来看,各区域存在明显的季节内转折变化(图 4)。其中长江以南地区,9 月总体表现为“西多东少”的分布特征(图 4a);而 10 月

表 1 2018 年华西秋雨指数特征

Table 1 Indexes of autumn rainfall over West China in 2018

	开始时间 (气候值)	结束时间 (气候值)	持续时间 (气候值) /d	秋雨量 (气候值) /mm
北区	9 月 13 日 (9 月 8 日)	9 月 21 日 (10 月 13 日)	8 (35)	44.3 (136.5)
南区	9 月 10 日 (9 月 9 日)	11 月 9 日 (10 月 31 日)	59 (52)	194.3 (184.4)
总体	9 月 10 日 (8 月 31 日)	11 月 9 日 (11 月 1 日)	59 (62)	162.0 (202.8)

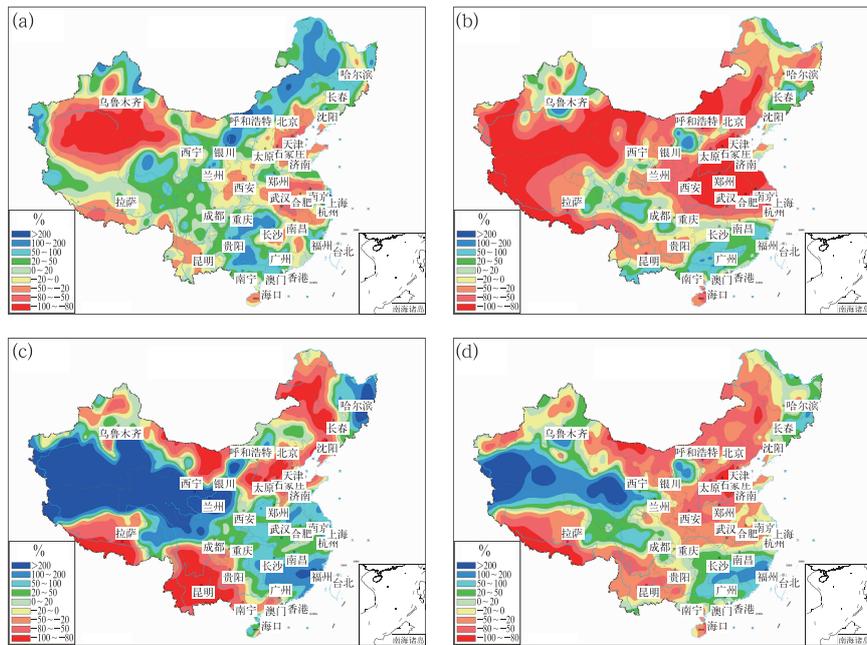


图 4 2018 年秋季逐月全国降水距平百分率分布

(a)9 月,(b)10 月,(c)11 月,(d)10—11 月

Fig. 4 Distribution of precipitation anomaly percentage in 2018

(a) September, (b) October, (c) November and (d) October—November

(图 4b)和 11 月(图 4c)降水异常的空间特征则发生了显著变化,长江以南地区转变为江南多、西南少的东多西少分布特征,尤其是 11 月东多西少分布特征更明显。为了后文的分析,图 4d 给出了 10—11 月的降水距平百分率,中国东部总体表现为南多北少的分布特征,长江以南则为江南多、西南少的东多西少分布特征。

何敏(1984)的研究中将我国秋雨区分成一般秋雨区和明显秋雨区,华西属于明显秋雨区,而长江中下游及其以南的大部分地区属于一般秋雨区。2018 年华西秋雨降水量北区异常偏少,南区接近常年略偏多。而华南至江南的秋雨强度明显强于华西地区,南方 6 省秋季平均降水量较常年同期偏多 35.3%,为 1983 年以来第五多年(图 3c),且季节内空间分布的转变特征较明显,对当地秋收秋种产生显著的不利影响。降水异常空间型的变化伴随着大气环流的调整和次季节尺度大气演变特征。为了突出气候异常特征并使降水成因分析更有针对性,下文将重点分析秋季我国南方地区降水异常偏多及空间分布型转变的原因。

### 3 气候异常的可能成因

由以上分析可见,2018 年秋季我国的主要气候异常突出表现为:气温总体呈“东高西低”的分布;东部降水呈“南北多、中间少”的分布,其中内蒙古中东部和东北大部、江南南部和华南地区异常偏多,而华北至江淮异常偏少,且南方地区降水异常的空间分布出现显著的季节内转折变化。2018 年秋季我国气候异常的主要原因包括两个方面:大气环流异常是影响气温和降水异常的直接原因,而海温异常则是气候异常的重要外强迫因子。

#### 3.1 大气环流异常特征

大气环流异常是造成我国气候异常的直接原因。从秋季平均的 500 hPa 高度场及距平场上可以看出(图 5a),欧亚中高纬为“两脊一槽”,欧洲—乌拉尔山以西为正高度距平,巴尔喀什湖及其以北为低槽控制,贝加尔湖—东亚大部为正高度距平控制,除东北外我国大部分地区处于负高度距平控制区,

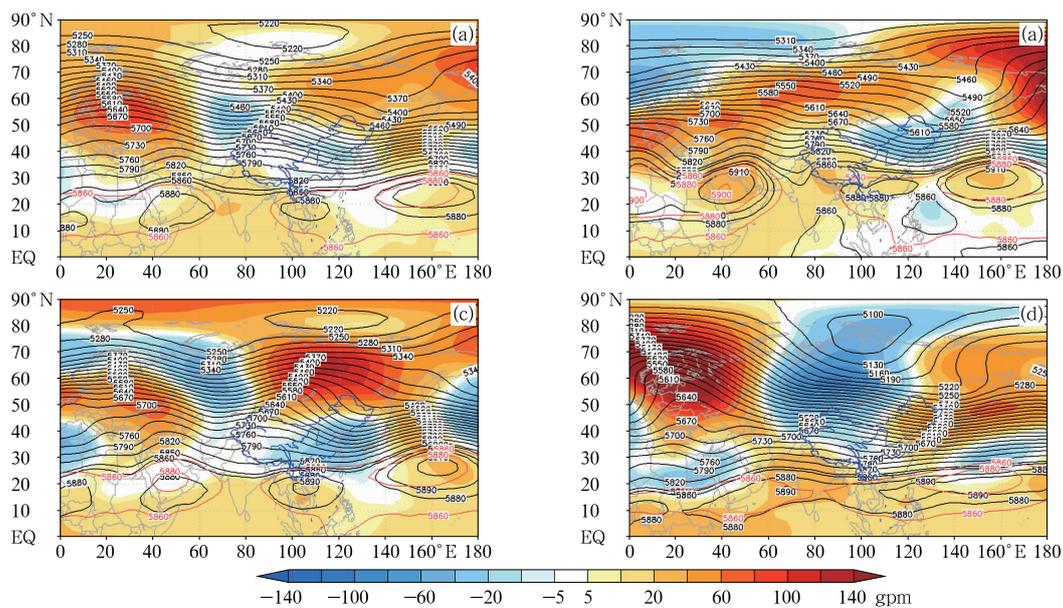


图 5 2018 年秋季 500 hPa 位势高度(等值线,单位:gpm)及距平场(填色)  
(a)秋季,(b)9 月,(c)10 月,(d)11 月  
(红色线为气候平均的位势高度等值线)

Fig. 5 500 hPa geopotential height (contours, unit: gpm) and anomalies (colored areas) in the autumn of 2018  
(a) autumn, (b) September, (c) October, (d) November  
(Red contours stand for the climatological mean of geopotential height contours)

从而有利于来自极地和中高纬度地区的冷空气从西北向东南方向扩散。整个秋季共发生了 10 次明显的冷空气过程,较常年同期偏多 2 次,导致我国西部大部分地区气温偏低。对于低纬度地区,副高的主体较气候态偏强偏南,但受到台风活动影响,副高体分为东西两段,西部中心位于南海上空,东部中心位于  $130^{\circ}\text{E}$  以东的西北太平洋地区。环绕西部副高体的反气旋环流范围较大,且外缘位置明显偏西,从而有利于来自低纬度的西南暖湿水汽向我国南方地区输送,并与西北方南下的冷空气交汇,在西南地区东部、江南和华南这些地区形成明显的水汽通量辐合,有利于南方地区降水偏多。东段副高主体与日本岛以东的高压体相连,引导高压体西侧的南方水汽向北输送至东北地区 and 内蒙古东部地区,形成明显的水汽通量辐合(图 6a),造成东北地区 and 内蒙古东部地区降水明显偏多。

此外,大气环流和水汽输送存在明显的季节内变化。9 月,欧亚中高纬呈“两脊一槽”的分布,乌拉尔山地区和鄂霍次克海为高压脊,而蒙古、我国华北

和东北地区为低压槽控制,东亚槽偏弱,副高体位于  $20^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{N}$ ,位置略偏北,且分为东西两段,西段副高体位于中国华南至江南地区,菲律宾东部海洋上空为低压槽控制(图 5b)。环绕西部副高体的反气旋控制我国南方地区,从而有利于来自低纬度的暖湿水汽向我国西南地区和华南地区输送,并与西北方南下的冷空气交汇,在两个地区形成明显的水汽通量辐合(图 6b),有利于西南和华南降水偏多;而江南大部受西北气流控制,降水偏少。

10 月,东亚呈“北高南低”的分布,贝加尔湖及其以东为正高度距平,我国大部分地区为负高度距平。副高形态类似于 9 月,但西段主体位置明显偏南,中心南移至  $10^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{N}$ (图 5c)。菲律宾至孟加拉湾为较强的反气旋距平环流控制(图略),孟加拉湾的水汽沿着反气旋向我国江南南部和华南地区输送,并与中国东部的冷空气交汇,在江南和华南形成明显的辐合(图 6c),导致两个地区降水偏多。

11 月,东亚中高纬转为明显的“西低东高”的分布,乌拉尔山以东至贝加尔湖转为较强的负高度

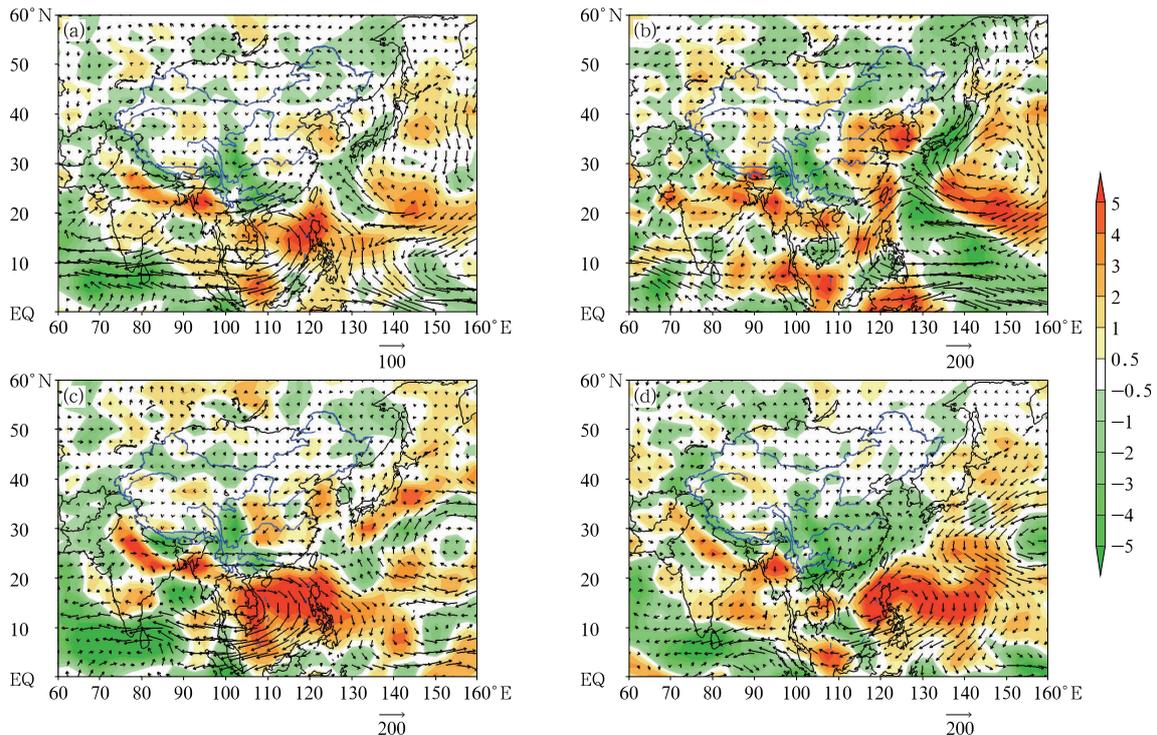


图 6 2018 年秋季对流层整层积分水汽通量(矢量,单位:  $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ )  
及水汽通量散度距平场(填色,单位:  $10^{-5} \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ )  
(a) 秋季, (b) 9 月, (c) 10 月, (d) 11 月

Fig. 6 Anomalies moisture flux integrated from 1000 hPa to 300 hPa (vectors, unit:  $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ )  
and divergence (colored areas, unit:  $10^{-5} \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ ) in 2018  
(a) autumn, (b) September, (c) October, (d) November

距平,中国东部至鄂霍次克海转为较强的正高度距平,鄂霍次克海高压脊加强(图 5d)。副高形态较 10 月发生明显变化,强度明显增强,主体位置明显偏南,中心南移至 10°~20°N,连为一体,且异常西伸,西伸脊点最西达到 30°E 以西(图 5d)。菲律宾为较强的反气旋距平环流控制(图略),西南水汽沿着反气旋向我国东南地区输送,华南、江南和江淮地区为明显的水汽辐合区(图 6d),导致我国东南部地区降水异常偏多。

综上所述,2018 年秋季欧亚中高纬度槽脊活动频繁,冷空气活跃,副高偏强偏西,西南水汽输送偏强,导致我国气温“东高西低”的分布,东部降水“南北多、中间少”。且欧亚中高纬环流形势和副高均存在显著的季节内变化,二者共同导致了我国南方地

区降水出现明显的东西反向的季节内变化。

### 3.2 海温

2017 年 10 月开始的拉尼娜(La Niña)事件于 2018 年 4 月结束后,赤道中东太平洋海温缓慢上升,8、9、10、11 月 Niño3.4 区海温指数分别为 0.27、0.38、0.85、0.99℃,8—10 月 3 个月滑动平均为 0.5℃。根据 Ren et al(2018) 制定的《厄尔尼诺/拉尼娜事件监测业务规定》,赤道中东太平洋已经在 9 月进入 El Niño 状态。从 SSTA 的空间演变可见,9 月,赤道中东太平洋暖海温主要位于赤道以北区域,赤道东太平洋赤道以南区域为正常—偏冷海温(图 7a),海温分布更偏向于中部型 El Niño 型;热带印度洋为东冷西暖的海温分布,即 TIOD 为正位相。

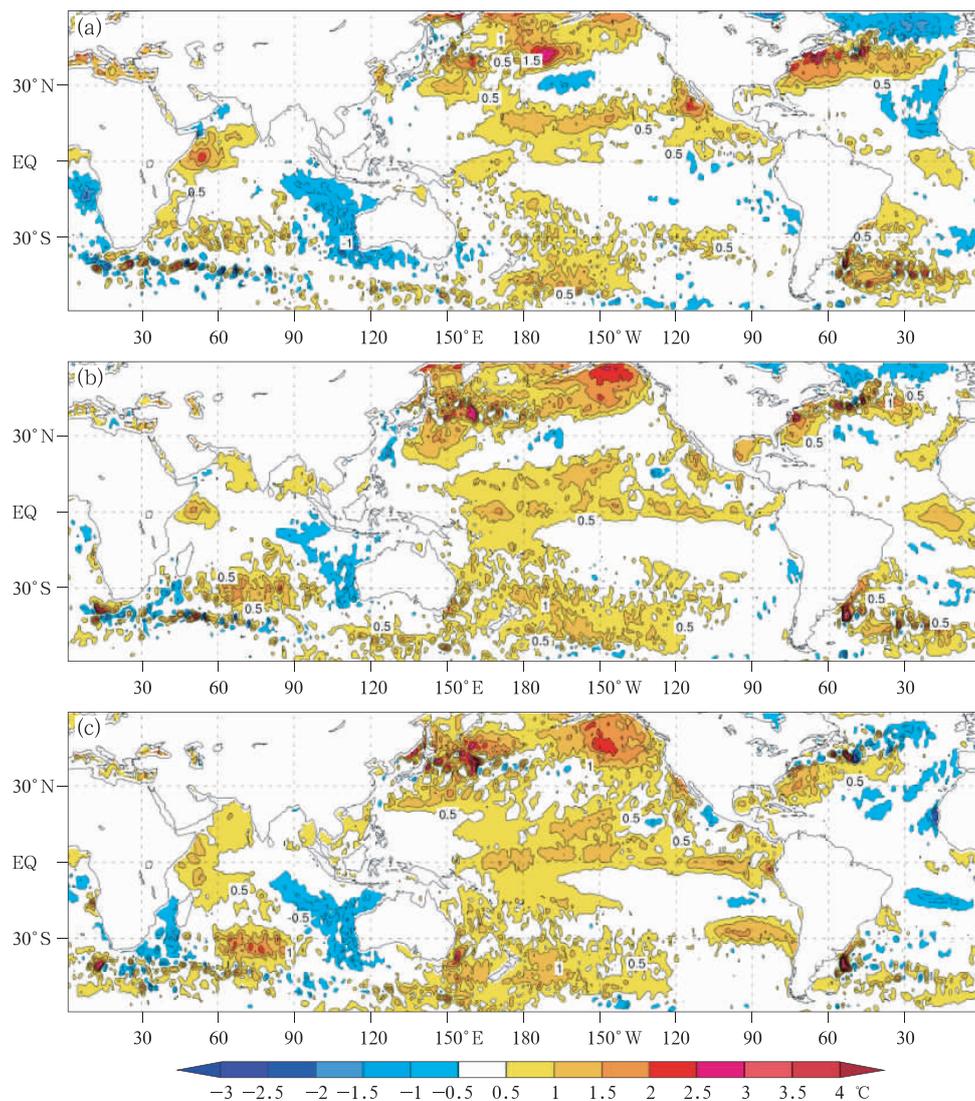


图 7 2018 年 9 月(a)、10 月(b)和 11 月(c)平均海表温度距平

Fig. 7 SST anomalies in September (a), October (b), November (c) of 2018

10月赤道中太平洋暖海温向东传播,整个赤道中东太平洋均为暖海温,同时 TIOD 正位相减弱,而 SIOD 正位相发展(图 7b);11月,整个赤道中东太平洋暖海温进一步发展,中心东移至东太平洋,海温分布更偏向于东部型 El Niño 型,SIOD 正位相也进一步发展(图 7c)。从 2017—2018 年 EMI、Niño3 指数、TIOD 和 SIOD 演变来看,EMI 从 2018 年 4 月转为正值,此后在波动中上升;4—9 月,Niño3 指数明显弱于 EMI,10 和 11 月 Niño3 指数突然分别增加至 0.85 和 0.90℃,且明显高于 EMI;2—9 月, TIOD 维持负位相,SIOD 于 10 月由负转正,11 月达到 0.90℃。

已有研究表明,热带太平洋及印度洋海温异常是影响我国秋季降水的两个重要外强迫因子(湛芸和施能,2003;刘宣飞和袁慧珍,2006a;2006b;贾小龙等,2008;柳艳菊等,2013;顾薇等,2012;韩晋平等,2013;Gu et al, 2015;何珊珊等,2015;刘佳等,2015;支蓉等,2018)。通常在 El Niño 年,我国秋季降水容易出现南多北少的异常分布特征。Gu et al (2015)研究发现,热带太平洋东西 SST 差与我国南方秋季降水密切相关,当东太平洋偏暖西太平洋偏冷时,中南半岛至我国东部为显著的偏南风,加强了我国南方的水汽输送和上升运动,导致我国南方地区降水偏多。刘宣飞和袁慧珍(2006b)研究表明,仅有 IOD 发生时,其正位相年使得中国西南地区和黄河流域的秋季降水出现正异常,而当 IOD 与 EN-SO 伴随出现时,IOD 正位相年和 El Niño 使得中国西南地区秋季降水正异常区域维持并向东扩展,还使得黄河流域秋季降水转为负异常。从刘宣飞和袁

慧珍(2006b)的 IOD 正位相年和 El Niño 联合发生年秋季降水距平百分率合成图与 2018 年秋季降水距平百分率图(图 2b)对比来看,前者降水偏多区域主要位于西南地区东南部至江南西部,而 2018 年降水偏多区域主要位于华南至江南中部,位置有明显的差异。结合中国南方秋季降水季节内转变来看,这一差异可能与赤道中东太平洋和印度洋 SSTA 的季节内演变有关。2018 年秋季,赤道中东太平洋和印度洋 SSTA 的演变均存在明显的季节内差异,El Niño 由 9 月的中部型向 10—11 月的东部型转变,印度洋秋季 TIOD 正位相维持,10—11 月 SIOD 正位相发展。为了说明这一问题,从 1981—2017 年秋季海温资料中选取四组赤道中东太平洋和印度洋海温异常的组合年。

A 组:9 月 El Niño 中部型和 TIOD 正位相年 ( $EMI \geq 0.5^{\circ}\text{C}$ , 且  $EMI > \text{Niño3}$  指数,  $TIOD > 0^{\circ}\text{C}$ ; 1986、1991、1994 和 2004 年);B 组:9 月 La Niña 中部型和 TIOD 负位相年(1984、1985、1988、1998、2010 和 2016 年);C 组:10—11 月 El Niño 东部型和 SIOD 正位相年 ( $\text{Niño3}$  指数  $\geq 0.5^{\circ}\text{C}$ , 且  $\text{Niño3}$  指数  $> EMI$ ,  $SIOD > 0^{\circ}\text{C}$ ; 1986、1987、2004 和 2006 年);D 组:10—11 月 La Niña 和 SIOD 负位相年(1983、1996、1999 和 2007 年)。

从 A 组和 B 组年份我国 9 月降水距平百分率合成图(图略)及二者的差值图(图 9a)可见,9 月 El Niño 中部型和 TIOD 正位相年,我国南方降水呈西南多而江南少的西多东少分布特征(图略),而 La Niña 中部型和 TIOD 负位相年,南方降水呈东多西少分布(图略),二者的差值图也显示,西南地区

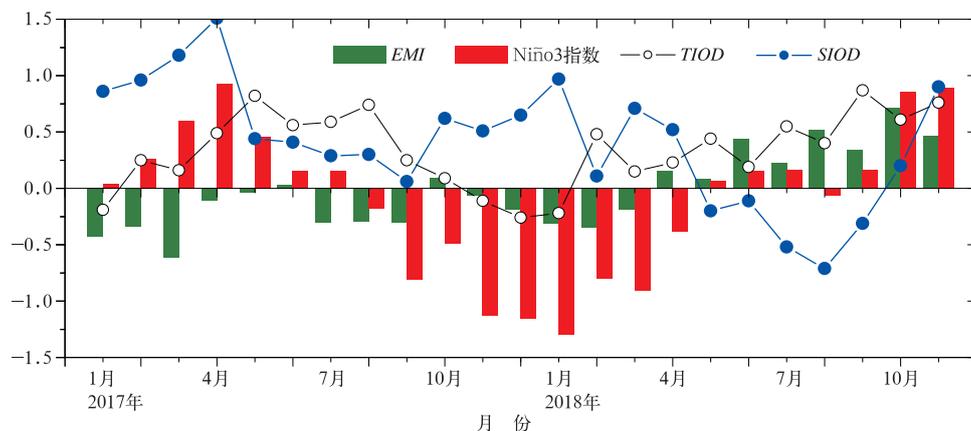


图 8 2017—2018 年 EMI、Niño3 指数、TIOD 和 SIOD(单位:℃)

Fig. 8 Monthly EMI, Niño3, TIOD and SIOD indexes during 2017—2018 (unit: °C)

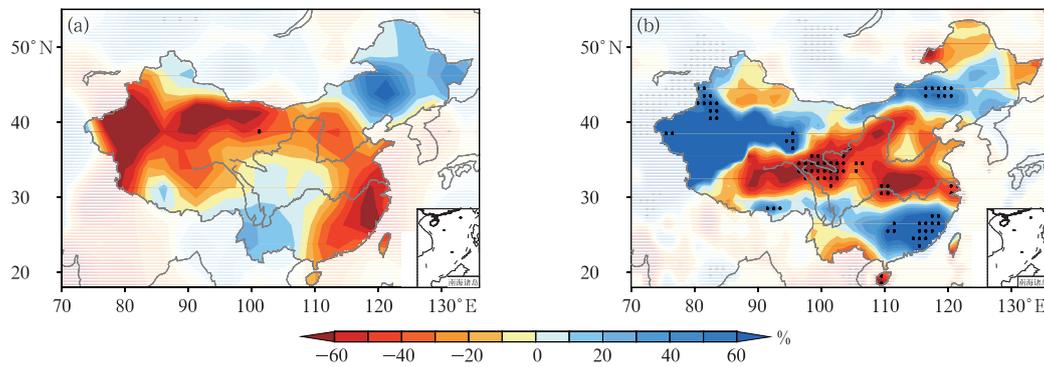


图 9 我国 9 月(a)和 10—11 月(b)降水距平百分率差值

(a)9 月 El Niño 为中部型且 TIOD 正位相年减去 9 月为 La Niña 东部型且 TIOD 负位相年,  
 (b)10—11 月为 El Niño 东部型且 SIOD 正位相年减去 10—11 月为 La Niña 且 SIOD 负位相年  
 (黑点为通过 0.05 显著性水平检验区域)

Fig. 9 The difference figures of precipitation anomaly percentage  
 in (a) September and (b) October–November

(a) years of central Pacific type (CP) El Niño and positive TIOD subtract years  
 of Eastern Pacific type (EP) El Niño and negative TIOD in September,  
 (b) years of EP El Niño and positive SIOD subtract years of La Niña  
 and negative SIOD in October–November  
 (Black dots indicate the area have passed the 0.05 significance level test)

为正差值区,江南至江淮为负差值区(图 9a)。从 9 月降水距平百分率图(图 4a)和图 9a 对比可见,南方降水二者均具有西多东少的分布,但华南地区和东南沿海部分地区有差异,这主要是因为 9 月登陆我国华南的台风较多,造成这些区域降水明显偏多。

从 C 组和 D 组年份我国 10—11 月降水距平百分率合成图(图略)及二者的差值图(图 9b)可见,10—11 月 El Niño 东部型和 SIOD 正位相年,我国东部降水呈南多北少分布,华南北部至江南降水偏多,而江淮至华北降水偏少(图略);而 10—11 月 La Niña 和 SIOD 负位相年,10—11 月我国东部降水分布恰好相反,华南北部至江南降水偏少,而江淮至华北降水偏多(图略),二者的差值图也显示,华南北部至江南为显著正差值区,而江淮至华北为负差值区(图 9b)。从 10—11 月降水距平百分率图(图 4d)和图 9b 对比可见,二者在中东部均具有南多北少的特征,在南方二者也均具有东多西少的分布特征。

从 A 组和 B 组年份 9 月东亚 500 hPa 高度距平场和 850 hPa 风场距平的合成图(图略)及二者的差值图(图 10a)可见,9 月 El Niño 中部型和 TIOD 正位相年,欧亚中高纬呈“两脊一槽”的分布,乌拉尔山地区和鄂霍次克海为高压脊,蒙古、中国华北和东北地区为低压槽控制,副高偏弱位置略偏北,华北为

气旋距平,西南地区为西南风和西北风交汇区,江南大部为东北风异常(图略)。这种环流形势与 2018 年 9 月相类似,有利于华北和西南地区降水偏多、江南降水偏少。9 月 La Niña 中部型和 TIOD 负位相年,欧亚中高纬呈“两槽一脊”的分布,乌拉尔山地区和鄂霍次克海为低压槽,乌拉尔山以东至贝加尔湖以东为正高度距平,中国大陆为负高度距平,西北太平洋为正高度距平,副高偏强、位置偏南偏西,华南和江南为南风距平(图略)。这种环流形势有利于华南和江南降水偏多。二者的差值图也显示,贝加尔湖经中国华北至西北太平洋副热带地区为负差值区,江南为东北风距平控制(图 10a)。

从 C 组和 D 组年份 10—11 月东亚 500hPa 高度距平场和 850hPa 风场距平的合成图(图略)及二者的差值图(图 10b)可见,10—11 月 El Niño 东部型和 SIOD 正位相年,乌拉尔山至鄂霍次克海为负高度距平,中国西部至江南为负高度距平,华北和东北地区为正高度距平,副高偏强偏南且异常西伸,华南至江南地区为西南风异常(图略),这种环流形势与 2018 年 10—11 月较为类似,有利于我国华南和江南降水偏多。10—11 月 La Niña 年和 SIOD 负位相年,东亚环流形势大体上与 El Niño 东部型和 SIOD 正位相年相反,贝加尔湖以西为异常偏强

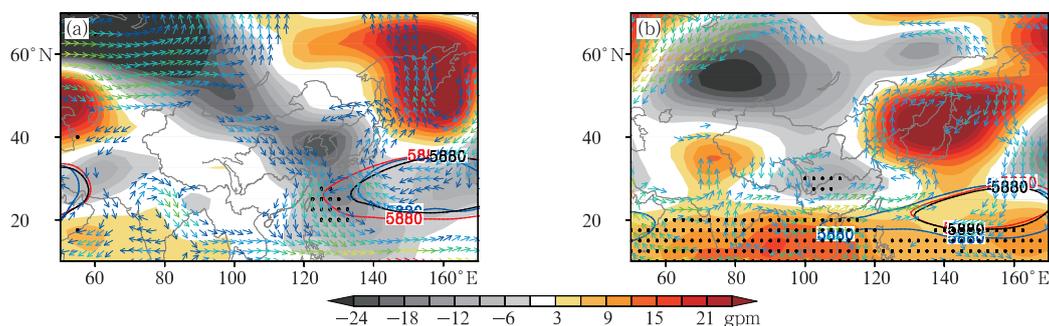


图 10 同图 9, 但为 500 hPa 高度场(阴影)和 850 hPa 风场(矢量, 单位:  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )  
(蓝、红和黑线在图 10a/图 10b 中分别表示 A 组/C 组、B 组/D 组和气候平均的 5880 gpm 等值线;  
黑点为通过 0.05 显著性水平检验区域)

Fig. 10 Same as Fig. 9, but for 500 hPa geopotential height (contours) and anomalies fields (shadings) and 850 hPa wind anomalies (vectors, unit:  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )  
(blue, red and black contours stand for the Group A/C, Group B/D and climatological 5880 gpm contours in Fig. 10a/Fig. 10b, respectively; black dots indicate the area have passed the 0.05 significance level test)

的正高度, 以东为负高度距平, 副高强度和位置接近常年同期, 我国华南至河套地区为正高度距平(图略)。南方受正高度距平的控制, 降水偏少; 而受正高度距平西南侧偏强的水汽输送, 我国长江以北地区降水偏多。二者的差值图也显示, 巴尔喀什湖至长江流域为显著负差值区, 孟加拉湾至西太平洋副热带地区为显著的正差值区, 我国南方为西南风距平(图 10b), 即 El Niño 东部型年和 SIOD 正位相年, 副高偏强偏西偏南, 西南水汽输送偏强, 我国南方降水偏多、北方降水偏少; La Niña 年和 SIOD 负位相年, 环流和降水则呈相反分布特征。

#### 4 结论和讨论

(1) 2018 年秋季, 全国平均气温为  $10.0^{\circ}\text{C}$ , 较常年同期偏高  $0.1^{\circ}\text{C}$ , 空间上呈“东高西低”分布; 平均降水量为  $129.7 \text{ mm}$ , 较常年同期偏多  $8.3\%$ , 降水空间分布非常不均匀, 其中东部地区总体呈现“南北多、中间少”的空间分布, 而西部地区总体呈现“南北少、中间多”的空间分布, 其中内蒙古中东部、东北、江南中南部和华南大部地区降水异常偏多, 而华北至江南北部降水异常偏少, 且南方地区降水出现明显的季节内反向变化特征。

(2) 大气环流和水汽输送异常是造成我国气候异常的直接原因。2018 年秋季, 欧亚中高纬度槽脊活动频繁, 冷空气活跃, 副高偏强偏西, 西南水汽输送偏强, 导致我国气温“东高西低”, 东部降水“南北

多、中间少”。且欧亚中高纬环流形势和副高均存在显著的季节内变化, 二者共同导致了我国南方地区降水出现明显的西南和江南东西反向的季节内变化。

(3) 海温异常是影响 2018 年秋季我国气候异常的最主要的外强迫因子, 季节内 El Niño 由中部型向东部型发展, TIOD 正位相维持, 10—11 月 SIOD 正位相发展。随着赤道中东太平洋海温和印度洋海温形态的共同转变, 秋季后期 El Niño 影响增强, 东亚副热带环流显示出清晰的响应, 9 月副高偏强偏北, 10—11 月副高偏强偏南。因此, El Niño 和印度洋海温的演变及其对东亚环流的影响, 加上欧亚中高纬环流异常的季节内调整, 二者共同导致了我国南方地区降水出现明显的江南与西南反向的季节内变化。

热带太平洋和印度洋海温异常是影响东亚大气环流的重要因素。袁媛等(2012)、袁媛和晏红明(2012)研究发现, 热带大气对不同分布型 El Niño 和 La Niña 事件有不同的响应特征, 进而对我国气候造成不同的影响。已有研究探讨过印度洋海温异常尤其是 TIOD 与我国秋季降水的关系(刘宣飞和袁慧珍, 2006a; 2006b; 刘佳等, 2015)。一般认为夏、秋季印度洋偶极子均与中国南方秋季降水有很好的正相关关系, 同时 ENSO 事件的发生对 TIOD 与中国秋季降水的关系有调制作用, 导致 TIOD 与 ENSO 事件联合作用和独立作用时对秋季气候的影响不同。也有研究指出, SIOD 对印太地区及我国

气候具有较大的影响(Behera and Yamagata, 2001; Reason, 2001; 贾小龙和李崇银, 2005)。但SIOD对我国秋季降水的影响机制还不清晰,需要进一步分析研究。本文通过2018年秋季降水异常成因分析发现,ENSO分布型和印度洋海温模态位相的季节内转变,对我国南方秋季降水空间分布型季节内调整起到了重要的作用,该结论为我国秋季降水预测提供了依据。

## 参考文献

- 白虎志,董文杰,2004. 华西秋雨的气候特征及成因分析[J]. 高原气象,23(6):884-889. Bai H Z, Dong W J, 2004. Climate features and formation causes of autumn rain over southwest China[J]. Plateau Meteor, 23(6):884-889(in Chinese).
- 鲍媛媛,阿布力米提,李峰,等,2003. 2001年华西秋雨时空分布特点及其成因分析[J]. 应用气象学报,14(2):215-222. Bao Y Y, Abulimiti, Li F, et al, 2003. Space-time distribution and physical mechanisms of autumn rains in west China in 2001[J]. J Appl Meteor Sci, 14(2):215-222(in Chinese).
- 湛芸,施能,2003. 厄尔尼诺/南方涛动与我国秋季气候异常[J]. 热带气象学报,19(2):137-146. Chen Y, Shi N, 2003. El Nino/ENSO and climatic anomaly in the autumn of China[J]. J Trop Meteor, 19(2):137-146(in Chinese).
- 顾薇,李维京,陈丽娟,等,2012. 我国秋季降水的年际变化及与热带太平洋海温异常分布的关系[J]. 气候与环境研究,17(4):467-480. Gu W, Li W J, Chen L J, et al, 2012. Interannual variations of autumn precipitation in China and their relations to the distribution of tropical Pacific sea surface temperature[J]. Climatic Environ Res, 17(4):467-480(in Chinese).
- 韩晋平,张人禾,苏京志,2013. 中国北方秋雨与热带中太平洋海表冷却的关系[J]. 大气科学,37(5):1059-1071. Han J P, Zhang R H, Su J Z, 2013. Relationship between cooling of tropical Pacific sea surface temperature and autumn precipitation in China[J]. Chin J Atmos Sci, 37(5):1059-1071(in Chinese).
- 何敏,1984. 我国主要秋雨区的分布及长期预报[J]. 气象,10(9):10-13. He M, 1984. Distribution of the main autumn rain area in China and its long-term forecasting[J]. Meteor Mon, 10(9):10-13(in Chinese).
- 何珊珊,张文君,祁莉,等,2015. 两类厄尔尼诺事件发展年秋季印度洋海温异常特征对比[J]. 气象学报,73(3):515-528. He S S, Zhang W J, Qi L, et al, 2015. Contrasting SST anomalies over the Indian Ocean between the two types of El Niño events during boreal autumn[J]. Acta Meteor Sin, 73(3):515-528(in Chinese).
- 侯威,邹旭凯,王朋岭,等,2015. 2014年中国气候概况[J]. 气象,41(4):480-488. Hou W, Zou X K, Wang P L, et al, 2015. Climatic characteristics over China in 2014[J]. Meteor Mon, 41(4):480-488(in Chinese).
- 贾小龙,李崇银,2005. 南印度洋海温偶极子型振荡及其气候影响[J]. 地球物理学报,48(6):1238-1249. Jia X L, Li C Y, 2005. Dipole oscillation in the southern Indian Ocean and its impacts on climate[J]. Chin J Geophys, 48(6):1238-1249(in Chinese).
- 贾小龙,张培群,陈丽娟,等,2008. 2007年我国秋季降水异常的成因分析[J]. 气象,34(4):86-94. Jia X L, Zhang P Q, Chen L J, et al, 2008. Causality analysis of autumn rainfall anomalies in China in 2007[J]. Meteor Mon, 34(4):86-94(in Chinese).
- 刘佳,马振峰,杨淑群,等,2015. 印度洋偶极子和华西秋雨的关系[J]. 高原气象,34(4):950-962. Liu J, Ma Z F, Yang S Q, et al, 2015. Relationship between Indian Ocean dipole and autumn rainfall in West China[J]. Plateau Meteor, 34(4):950-962(in Chinese).
- 刘宣飞,袁慧珍,2006a. 印度洋偶极子与中国秋季降水的关系[J]. 南京气象学院学报,29(5):644-649. Liu X F, Yuan H Z, 2006a. Relationship between the Indian Ocean dipole and autumn rainfall in China[J]. J Nanjing Inst Meteor, 29(5):644-649(in Chinese).
- 刘宣飞,袁慧珍,2006b. ENSO对印度洋偶极子与中国秋季降水关系的影响[J]. 南京气象学院学报,29(6):762-768. Liu X F, Yuan H Z, 2006b. Effects of ENSO on the relationship between IOD and autumn rainfall in China[J]. J Nanjing Inst Meteor, 29(6):762-768(in Chinese).
- 柳龙生,高栓柱,2018. 2018年9月大气环流和天气分析[J]. 气象,44(12):1635-1640. Liu L S, Gao S Z, 2018. Analysis of the September 2018 atmospheric circulation and weather[J]. Meteor Mon, 44(12):1635-1640(in Chinese).
- 柳艳菊,王艳姣,司东,等,2013. 2012年秋季我国气候异常及成因分析[J]. 气象,39(4):526-530. Liu Y J, Wang Y J, Si D, et al, 2013. Features and possible causes for the climatic anomaly in China in autumn 2012[J]. Meteor Mon, 39(4):526-530(in Chinese).
- 聂羽,孙冷,李清泉,等,2016. 2015年秋季我国气候异常及暖湿成因分析[J]. 气象,42(4):507-513. Nie Y, Sun L, Li Q Q, et al, 2016. Possible causes for the warmer and wetter autumn in 2015 in China[J]. Meteor Mon, 42(4):507-513(in Chinese).
- 司东,邵懿,孙冷,等,2015. 2014年秋季我国华西地区降水异常的成因分析[J]. 气象,41(4):508-513. Si D, Shao X, Sun L, et al, 2015. Causality analysis of autumn rainfall anomalies in West China 2014[J]. Meteor Mon, 41(4):508-513(in Chinese).
- 王朋岭,李多,柳艳菊,等,2014. 2013年秋季东北地区气候异常及成因分析[J]. 气象,40(4):510-514. Wang P L, Li D, Liu Y J, et al, 2014. Study on climate anomaly and possible mechanism over the Northeast China in autumn 2013[J]. Meteor Mon, 40(4):510-514(in Chinese).
- 肖科丽,赵国令,方建刚,等,2015. 陕西汛期降水年际增量预测新技术研究[J]. 气象,41(3):328-335. Xiao K L, Zhao G L, Fang J G, et al, 2015. Study on interannual increment forecasting approach for rainy season precipitation in Shaanxi[J]. Meteor Mon, 41(3):328-335(in Chinese).
- 晏红明,李崇银,周文,2009. 南印度洋副热带偶极模在 ENSO 事件中的作用[J]. 地球物理学报,52(10):2436-2449. Yan H M,

- Li C Y, Zhou W, 2009. Influence of subtropical dipole pattern in southern Indian Ocean on ENSO event[J]. *Chin J Geophys*, 52(10): 2436-2449(in Chinese).
- 袁媛, 晏红明, 2012. 不同分布型 La Niña 事件及热带大气的响应特征对比[J]. *科学通报*, 57(34): 3312-3322. Yuan Y, Yan H M, 2013. Different types of La Niña events and different responses of the tropical atmosphere[J]. *Chin Sci Bull*, 58(3): 406-415(in Chinese).
- 袁媛, 杨辉, 李崇银, 2012. 不同分布型厄尔尼诺事件及对中国次年夏季降水的可能影响[J]. *气象学报*, 70(3): 467-478. Yuan Y, Yang H, Li C Y, 2012. Study of El Niño events of different types and their potential impact on the following summer precipitation in China[J]. *Acta Meteor Sin*, 70(3): 467-478(in Chinese).
- 支蓉, 陈丽娟, 竺夏英, 2018. 2017 年秋季我国北方地区降水异常偏多成因分析[J]. *气象*, 44(4): 572-581. Zhi R, Chen L J, Zhu X Y, 2018. Analysis of characteristics and causes of precipitation anomalies over northern China in autumn 2017 [J]. *Meteor Mon*, 44(4): 572-581(in Chinese).
- 竺夏英, 宋文玲, 2017. 2016 年秋季中国气候特征及其可能成因[J]. *气象*, 43(4): 495-500. Zhu X Y, Song W L, 2017. Features of climatic anomalies in China during the fall of 2016 and the possible causes[J]. *Meteor Mon*, 43(4): 495-500(in Chinese).
- Ashok K, Behera S K, Rao S A, et al, 2007. El Niño Modoki and its possible teleconnection[J]. *J Geophys Res Oceans*, 112(C11): C11007.
- Behera S K, Yamagata T, 2001. Subtropical SST dipole events in the southern Indian Ocean[J]. *Geophys Res Lett*, 28(2): 327-330.
- Gu W, Wang L, Li W J, et al, 2015. Influence of the tropical Pacific east-west thermal contrast on the autumn precipitation in South China[J]. *Int J Climatol*, 35(7): 1543-1555.
- 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.
- Reason C J C, 2001. Subtropical Indian Ocean SST dipole events and southern African rainfall[J]. *Geophys Res Lett*, 28(11): 2225-2227.
- Ren H L, Lu B, Wan J H, et al, 2018. Identification standard for ENSO events and its application to climate monitoring and prediction[J]. *J Meteor Res*, 32(6): 923-936.
- Reynolds R W, Smith T M, Liu C Y, et al, 2007. Daily high-resolution-blended analyses for sea surface temperature[J]. *J Climate*, 20(22): 5473-5496.
- Saji N H, Goswami B N, Vinayachandran P N, et al, 1999. A dipole mode in the tropical Indian Ocean[J]. *Nature*, 401(6751): 360-363.
- Weng H Y, Ashok K, Behera S K, et al, 2007. Impacts of recent El Niño Modoki on dry/wet conditions in the Pacific Rim during boreal summer[J]. *Climate Dyn*, 29(2/3): 113-129.
- Weng H Y, Behera S K, Yamagata T, 2009. Anomalous winter climate conditions in the Pacific rim during recent El Niño Modoki and El Niño events[J]. *Climate Dyn*, 32(5): 663-674.