

孙林海,王永光,2020. 2019年秋季我国气候异常及成因分析[J]. 气象,46(4):566-574. Sun L H, Wang Y G, 2020. Features and possible causes of the climatic anomaly in China in autumn 2019[J]. Meteor Mon, 46(4):566-574(in Chinese).

2019年秋季我国气候异常及成因分析^{*}

孙林海 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: 2019年秋季,我国大部地区气温较常年同期偏高,全国平均气温为1961年以来同期第三高;降水空间分布非常不均匀,呈“西多东少、北多南少”的特征。异常成因分析表明,秋季欧亚中高纬度槽脊活动频繁,冷空气势力接近常年同期,西太平洋副热带高压较常年同期偏强偏西偏北,副热带高压西段位于南海西侧上空,有利于西南暖湿水汽向我国西部地区输送,菲律宾东北部为较强的气旋距平环流控制,导致我国南方地区受偏北气流控制,水汽条件偏差。进一步研究表明,海温异常是影响2019年秋季我国气候异常的最主要外强迫因子,2019年7月弱的中部型El Niño事件结束,秋季海温分布偏向于中部型El Niño。东亚副热带环流显示出清晰的响应。

关键词: 气候异常特征,成因分析,厄尔尼诺

中图分类号: P461

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2020.04.011

Features and Possible Causes of the Climatic Anomaly in China in Autumn 2019

SUN Linhai WANG Yongguang

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

Abstract: During the autumn of 2019, the surface air temperatures were above normal in most areas in China, and it was the third warmest in the same period after 1961. The distribution of precipitation over China was more in the west and north, and less in the east and south of China. By analyzing the causes for the climatic anomaly, we found that in autumn, activities of ridges and troughs in middle and high latitudes of Eurasia were seen frequently, the cold air activity was near normal, and the western Pacific subtropical high (WPSH) was stronger and more northwestward than normal. The western part of WPSH was located over the west of the South China Sea, which was conducive to the southwest water vapor transportation to the western part of China. The northeast of the Philippines was under the control of strong cyclonic anomaly circulation, making the southern part of China controlled by the northerly air flow and resulting in poor water vapor condition. Further studies show that the sea surface temperature (SST) anomaly was the major external forcing factor for the climatic anomalies in the autumn of 2019. In July 2019, the weak central Pacific type El Niño event ended, and the autumn SST distribution was inclined to the central type. The subtropical circulation in East Asia showed a clear response.

Key words: climatic anomaly feature, possible cause, El Niño

^{*} 国家重点研发计划(2017YFA0603701)资助

2020年1月22日收稿; 2020年3月3日收修定稿

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

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

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,随着东亚夏季风系统开始南撤,季风槽逐步南移,西太平洋副热带高压(以下简称副高)东撤南退,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的持续对峙甚至可以带来一些极端天气和气候事件,我国华西地区由于特殊的地理位置,秋雨特征显著,很早就引起气象学家的重视(高由禧,1958;高由禧和郭其蕴,1958)。秋季是我国秋收秋种的重要农忙时段,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工作非常重要,有利于我们认识和揭示秋雨发生的科学规律,并有效地采取相应措施,做到防灾、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。秋季气候受到海温等外强迫因子的影响(湛芸和施能,2003;韩晋平等,2013;王春学等,2015),还有显著的年际变化特征(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;赵俊虎和王永光,2019)。

2019年秋季(9—11月),我国大部地区气温较常年同期偏高,全国平均气温为1961年以来同期第三高。降水空间分布非常不均匀,呈“西多东少、北多南少”的分布特征。本文从2019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2019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1961—2019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个台站观测气候数据集。此外,本文还使用了1961—2019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—2019年逐月海温资料(Reynolds et al,2007)。文中部分图形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”。西太平洋副高指数、Niño3.4指数来自国家气候中心。其中Niño3.4指数表示 $170^{\circ} \sim 120^{\circ} \text{W}$ 、 $5^{\circ} \text{S} \sim 5^{\circ} \text{N}$ 区域平均的海表温度距平(SSTA)。文中的气候常年值为1981—2010年的平均值。

2 2019年秋季我国主要气候异常特征

2019年秋季,全国平均气温为 11.0°C ,较常年同期(9.9°C)偏高 1.1°C ,为1961年以来同期第三高(图1a)。从空间分布看,除四川东部、重庆西部等地略偏低外,全国大部气温普遍偏高 $0.5 \sim 2^{\circ} \text{C}$ (图1b)。从区域特征看,东北、华北、西北、长江中下游、华南、西南六大区域气温均较常年同期偏高 0.5°C 以上,其中长江中下游偏高 1.23°C ,为1961年以来第三高(图1c)。江西平均气温为1961年以来历史同期最高,湖北、青海、西藏为次高,河北、河南、湖南、江苏、山东、上海、云南为第三高。

秋季,全国平均降水量为 112.6 mm ,较常年同期(119.8 mm)偏少6%(图2a)。降水空间分布非常不均匀,总体呈现“西多东少、北多南少”的空间分布。东北西部、内蒙古东北部、黄淮、江淮、江汉大部、江南大部、华南大部、西南南部、西藏西部、新疆东部等地偏少2~8成,内蒙古中西部、华北北部和西南部、西南中部和东部、西北大部及新疆西部等地偏多2成至1倍(图2b)。从区域特征看,长江中下游地区降水较常年偏少41%,为1961年以来历史同期最少;华南偏少37%,为近15年来最少;西北、西南和华北分别较常年同期偏多39%、8%和3%(图2c)。福建、江西秋季降水量均为1961年以来历史同期最少,安徽为第二少。

从降水的季节内变化来看,季节内变化不明显,整个秋季时段内降水主要集中在我国的中西部地区,10月多雨范围较9月和11月大,降水偏多的区

域主要集中在内蒙古中西部、华北西部、西南地区北部和东部、西藏中东部、西北地区大部、新疆北部和西部(图 3)。

根据华西秋雨监测指标(中国气象局,2019),2019 年华西秋雨平均降水量为 271.7 mm,比常年(202.8 mm)偏多 34%。8 月 27 日,华西秋雨监测区南区(包括湖北西部、湖南西部、重庆、四川东部、

贵州北部以及陕西南部)进入秋雨季,较常年(9 月 9 日)偏早 13 d,结束日期偏晚 30 d,秋雨期偏长 43 d,累计降水量偏多 57%;北区(包括陕西南部大部、宁夏南部和甘肃南部)9 月 9 日进入秋雨季,较常年(9 月 8 日)偏晚 1 d,结束日期偏早 6 d,秋雨期偏短 7 d,累计降水量偏多 12.5%(表 1)。

8 月 27 日至 11 月 30 日,华西秋雨地区累计降

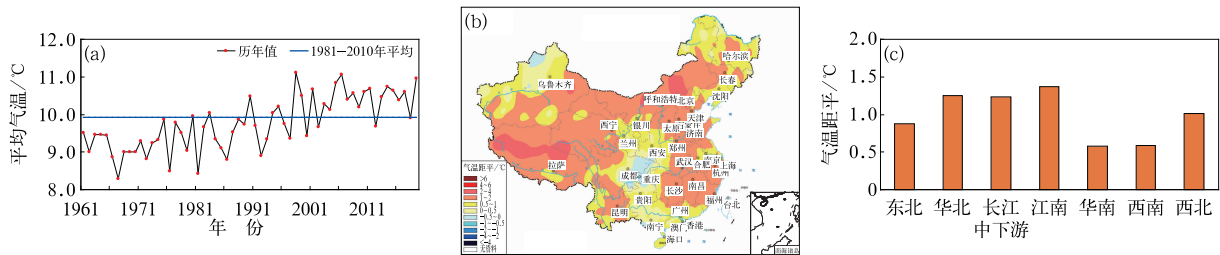


图 1 1961—2019 年秋季全国平均气温历年变化(a),2019 年秋季全国气温距平分布(b)和区域平均气温距平(c)

Fig. 1 Time series of autumn mean temperature over China during 1961—2019 (a), distribution of temperature anomalies over China (b) and regional average temperature anomalies in autumn 2019 (c)

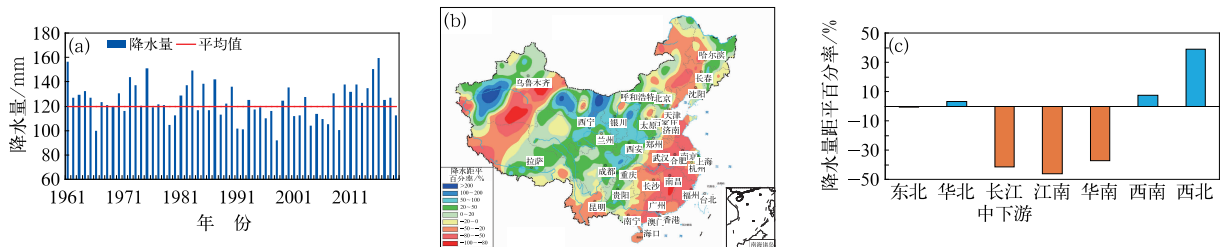


图 2 1961—2019 年秋季全国平均降水量历年变化(a),2019 年秋季全国降水距平百分率分布(b)和区域降水量距平百分率(c)

Fig. 2 Time series of autumn mean rainfall over China during 1961—2019 (a), distribution of precipitation anomaly percentage over China in autumn 2019 (b) and regional precipitation anomaly percentage in autumn 2019 (c)

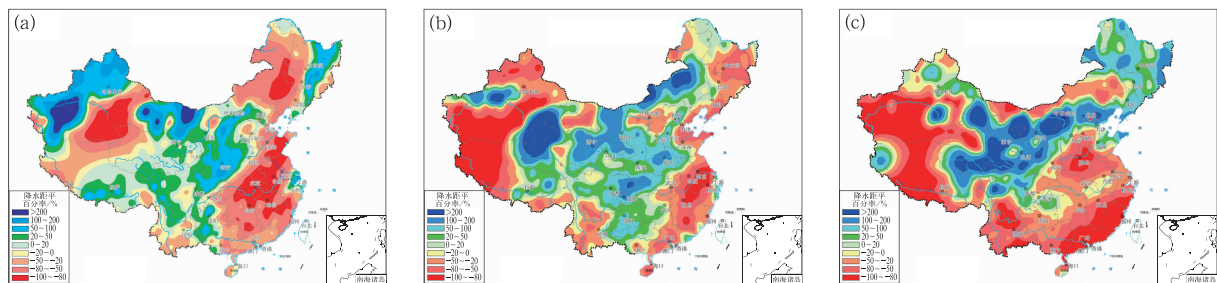


图 3 2019 年秋季逐月全国降水距平百分率分布
(a)9 月,(b)10 月,(c)11 月

Fig. 3 Distribution of precipitation anomaly percentage over China in 2019
(a) September, (b) October, (c) November

表 1 2019 年华西秋雨指数特征

	开始时间 (气候值)	结束时间 (气候值)	持续时间/d (气候值)	秋雨量/mm (气候值)
北区	9 月 9 日 (9 月 8 日)	10 月 7 日 (10 月 13 日)	28 (35)	153.6 (136.5)
南区	8 月 27 日 (9 月 9 日)	11 月 30 日 (10 月 31 日)	95 (52)	289.7 (184.4)
总体	8 月 27 日 (8 月 31 日)	11 月 30 日 (11 月 1 日)	95 (62)	271.1 (202.8)

水量一般为 100~200 mm,中部达 200~400 mm,局地超过 400 mm(图 4a);与常年相比,华西地区中部和北部降水偏多 2 成至 1 倍(图 4b)。降水日数一般为 20~50 d,四川中部、重庆西部等地超过 50 d(图略),与常年相比,中部地区偏多 5~10 d,部分地区偏多 10 d 以上。

3 气候异常的可能成因

由以上分析可见,2019 年秋季我国的主要气候异常突出表现为:全国大部地区气温偏高,降水空间分布不均,呈现“西多东少、北多南少”的空间分布。2019 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。根据前人的研究,贝加尔湖—巴尔喀什湖地区低槽偏强和副高偏强偏西的环流配置非常有利于华西秋雨偏强,2019 年秋季的环流型及华西地区降水偏强的特征与已有研究结论相符合(冯丽文和郭其

蕴,1983;何敏,1984;白虎志和董文杰,2004;王遵娅和丁一汇,2008)。从 2019 年秋季平均的 500 hPa 高度场及距平场可以看出(图 5d),欧亚中高纬为“两脊一槽”分布,乌拉尔山以西为正高度距平,巴尔喀什湖—贝加尔湖及其以北为低槽控制,贝加尔湖以东大部为正高度距平控制,我国大部地区受正高度距平控制,不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。秋季冷空气整体势力一般,共发生了 9 次明显的冷空气过程,接近常年同期(8 次),冷空气过后迅速回温,因而秋季我国大部地区气温偏高。副高面积偏大,强度偏强,西伸脊点偏西,脊线偏北。副高体分为东西两段,东段位于 130°E 以东的西北太平洋地区,位置较常年同期偏北,引导水汽向我国华北和内蒙古地区输送,从而造成我国北方地区降水偏多。副高西段位于南海西侧上空,有利于来自低纬度的西南暖湿水汽向我国西南地区输送,在西南地区形成水汽通量辐合(图 6d),有利于西南地区北部和东部降水偏多。从秋季 850 hPa 风场距平图(图略)上可以看出,菲律宾东北部存在明显的气旋性环流,因而我国南方地区受偏北气流控制,降水偏少。

此外,大气环流和水汽输送存在季节内变化。9 月,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负距平控制,而贝加尔湖及其以南为正高度距平,东亚槽偏东,副高偏强、偏北,副高东段位于 130°E 以东的西北太平洋地区,西段位于中国西南南部至印度东北部(图 5a)。环绕西段副高体的反气旋控制我国西南南部至高原南部,因而阻断来自低纬度的暖湿水汽向我国西南和华南地区输送,水汽北上至印度东部沿高原南侧向东输送,在我国西部地区形成弱的水汽通量辐合(图 6a),有利

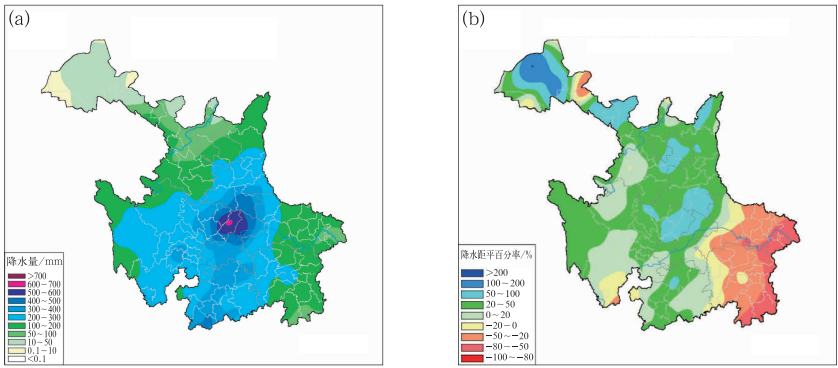


图 4 2019 年 8 月 27 日至 11 月 30 日华西地区降水量(a)及其距平百分率(b)分布
Fig. 4 Distribution of precipitation (a) and its anomaly percentage (b)
in West China from 27 August to 30 November 2019

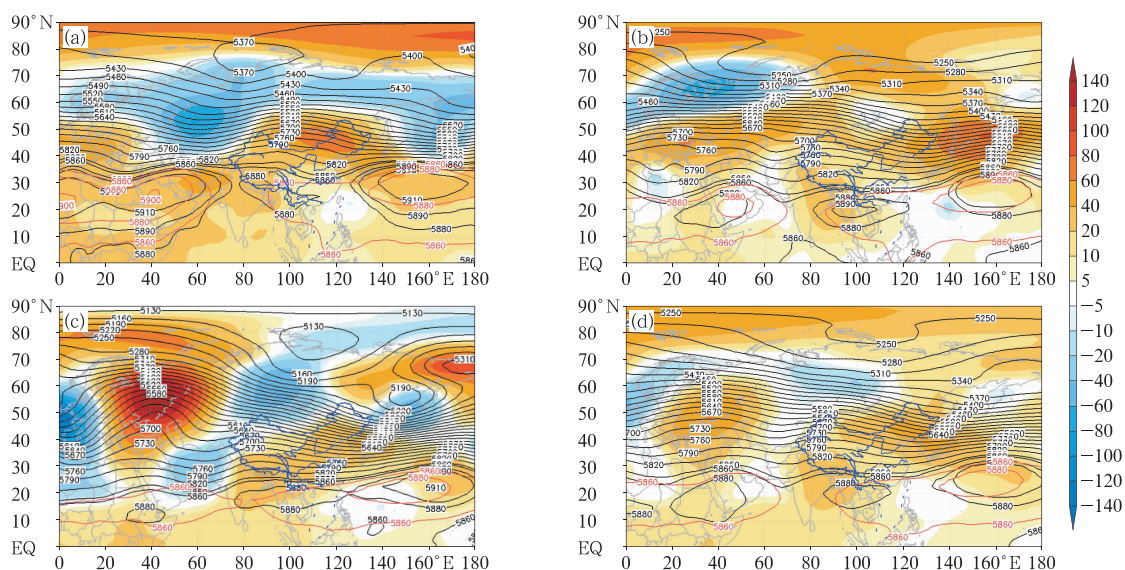


图 5 2019 年秋季 500 hPa 位势高度(等值线)及距平场(填色)

(a)9 月,(b)10 月,(c)11 月,(d)秋季(9—11 月)

(红色线为气候平均的 5880 gpm 等值线,单位:gpm)

Fig. 5 The 500 hPa geopotential height (contours, unit: gpm) and anomalies (colored areas) in 2019

(a) September, (b) October, (c) November, (d) autumn (September–November)

(Red contours stand for the climatological 5880 gpm contours, unit: gpm)

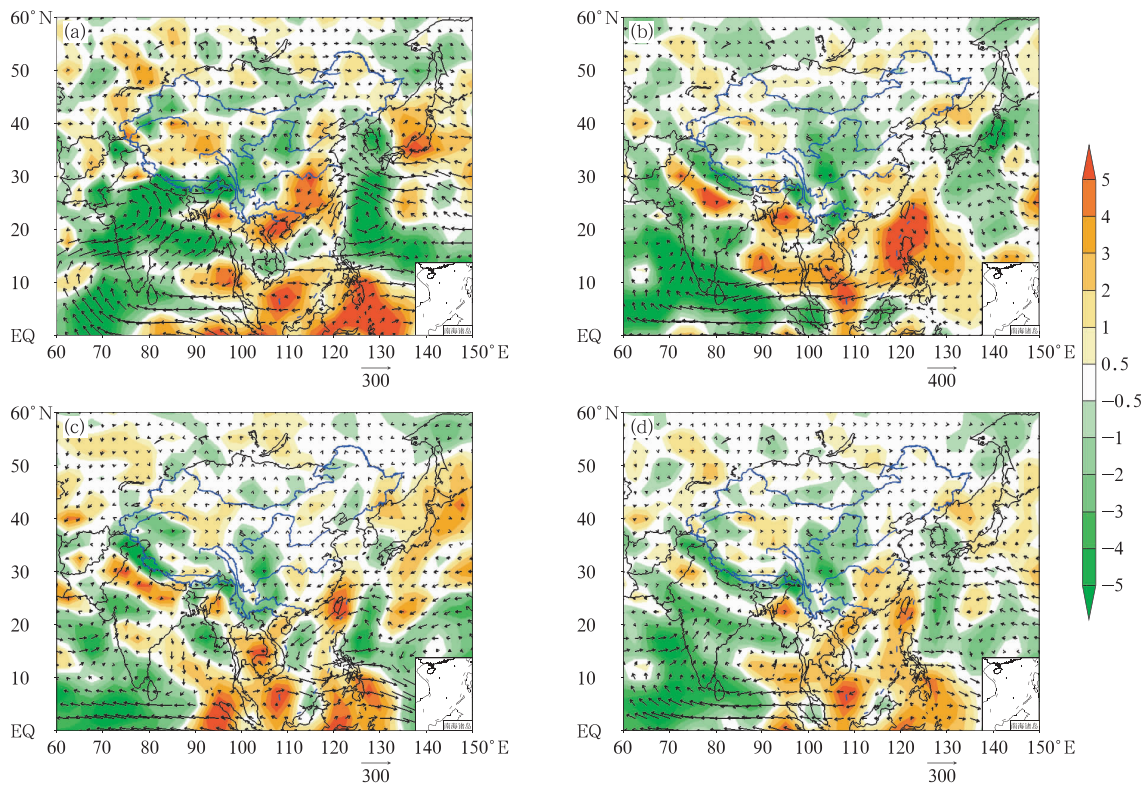


图 6 2019 年秋季对流层整层积分水汽通量(矢量,单位: $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$)及水汽通量散度距平场(填色,单位: $10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)

(a)9 月,(b)10 月,(c)11 月,(d)秋季(9—11 月)

Fig. 6 Anomaly 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 2019

(a) September, (b) October, (c) November, (d) autumn (September–November)

于我国西部地区降水偏多。受东段副高和日本地区正距平的共同作用,我国北方地区受偏东气流控制,引导水汽向我国华北和内蒙古地区输送,从而造成我国北方地区降水偏多。由于菲律宾东北部为气旋性环流控制,造成我国南方地区受偏北气流控制,降水偏少。

10月,东亚中高纬地区以纬向环流为主,正距平中心位于鄂霍次克海以南,贝加尔湖地区存在一个相对偏低的高度距平区,东亚槽偏弱,我国大部地区受正高度距平控制。副高形态类似于9月,仍然维持面积偏大、强度偏强的状态,脊线接近正常。副高东段位于 130°E 以东的西北太平洋地区,位置较9月偏东,副高西段位置较9月偏南(图5b)。菲律宾至孟加拉湾为较强的反气旋距平环流控制,孟加拉湾的水汽沿着反气旋向我国西南地区输送,在西南东部形成辐合(图6b),导致西南地区降水偏多。

11月,欧亚中高纬转为“十一”波列分布,乌拉尔山以西和东北亚北部为正高度距平控制,乌拉尔山至贝加尔湖地区为负高度距平,鄂霍次克海为负距平控制,我国大部仍受正高度距平控制(图5c)。副高偏强、偏西,脊线偏北。副高形态较前两个月有明显变化,东西连通,呈带状分布。西南水汽仍向我国西南地区输送,但水汽辐合较弱(图6c)。菲律宾东北部仍存在明显的气旋距平环流控制,导致我国南方地区受偏北气流控制,降水偏少。

3.2 海温

2018年9月开始的El Niño事件于当年11月达到峰值,强度为弱(Niño3.4区海温指数三个月滑动平均值为 0.95°C),其后有所减弱,到2019年1月,达到一次El Niño事件标准。2月以后,赤道中东太平洋海温再次发展加强,4月Niño3.4指数三个月滑动平均值为 0.84°C ,之后减弱。5月、6月、7月Niño3.4指数分别为 0.71°C 、 0.59°C 和 0.40°C ,三个月滑动平均为 0.56°C ,弱El Niño维持。6月、7月、8月Niño3.4指数三个月滑动平均为 0.37°C ,降至 0.5°C 以下,根据任宏利等(2017)判定,El Niño事件于2019年7月结束。本次El Niño事件持续10个月(2018年9月至2019年6月),为一次弱的中部型El Niño事件。

从SSTA的空间演变(图7)可见,9月,赤道太平洋中部海表温度较常年同期偏高,其中日界线附近海温正距平中心超过 1.0°C ,而赤道东太平洋海

表温度接近常年同期,海温分布偏向于中部型El Niño(图7a)。热带印度洋为东冷西暖的海温分布,即热带印度洋海温偶极子(TIOD)为正位相。10月赤道中太平洋暖海温向东扩展,Niño3.4区海温指数为 0.62°C 。11月,赤道太平洋中部表层异常暖水持续向东扩展,赤道中东太平洋大部海表温度较常年同期偏高,其中日界线附近赤道中太平洋大部海温正距平超过 0.5°C (图7c),11月Niño3.4区海温指数为 0.61°C ,基本与10月持平。

有大量研究探讨了海温与我国秋季降水的关系(李耀辉等,2001;谌芸和施能,2003;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;支蓉等,2018;赵俊虎和王永光,2019),已有研究表明,热带太平洋海温异常是影响我国秋季降水的重要外强迫因子,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。

2019年7月,弱的中部型El Niño事件结束,直到秋季赤道中太平洋仍然维持暖海温,从秋季Walker环流距平图(图略)可以看到,大气仍对El Niño

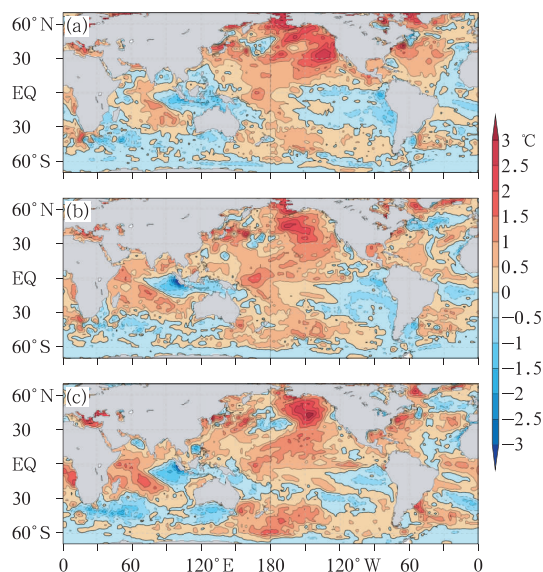


图7 2019年9月(a),10月(b),11月(c)平均海表温度距平

Fig. 7 Average SST anomalies in 2019
(a) September, (b) October, (c) November

事件有明显的响应。从海温外强迫对气候的影响出发,选取历史上与 2019 年海温发展相似的年份,即秋季前发生 El Niño 事件、秋季中太平洋维持暖水、剔除暖水事件结束之后发生冷水事件的年份,得到与 2019 年秋季最佳的海温相似年为:1978 年、2003 年和 2005 年。从这三年秋季降水的合成 t 检验图(图 8)上可以看出,我国北方和西部地区降水偏多,长江以南大部地区降水偏少。在华北西部和南部、西北地区东部通过了 0.10 显著性水平检验。同时,在 500 hPa 环流和 850 hPa 合成图(略)上,也能够清楚地看到由于副高偏北,副高外围水汽向我国华北、内蒙古中西部、西北地区东部输送,而菲律宾东北部的气旋性环流使得我国南方地区受北风控制,造成我国北方和西部降水偏多,南方地区降水偏少。

对比 2019 年秋季和典型 El Niño Modoki II 型海温分布,发现两者十分相似,在历史上选取了秋季海温 Modoki II 型分布的典型年份(1992、1994、2003、2004 和 2014 年)进行合成分析,结果显示这些年秋季我国降水均呈“北多南少”分布(图 9a),我国长江以南大部地区通过显著性水平检验。从相似年合成的 850 hPa 风场(图 9b)上可以看出,副高偏北,引导水汽向我国北方输送,而菲律宾东北部存在明显的气旋性环流,偏北风控制我国南方大部地区,导致南方降水偏少。

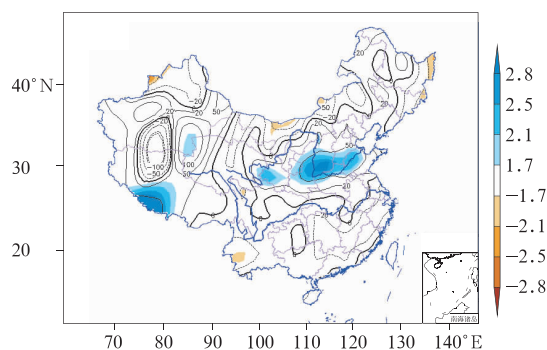


图 8 中部型 El Niño 事件结束后维持暖年
秋季降水量距平百分率合成分析

(阴影区为通过 0.10 显著性水平检验的区域)

Fig. 8 Composite autumn precipitation anomaly
percentage over years of central Pacific type
(CP) after the end of El Niño event

(Shaded area has passed the
significance test at 0.10 level)

4 结 论

综合以上分析,我国 2019 年秋季主要气候特征如下:

(1)2019 年秋季,全国大部地区气温偏高,全国平均气温为 11.0°C ,较常年同期偏高 1.1°C ,为 1961 年以来同期第三高;全国平均降水量为 112.6 mm ,较

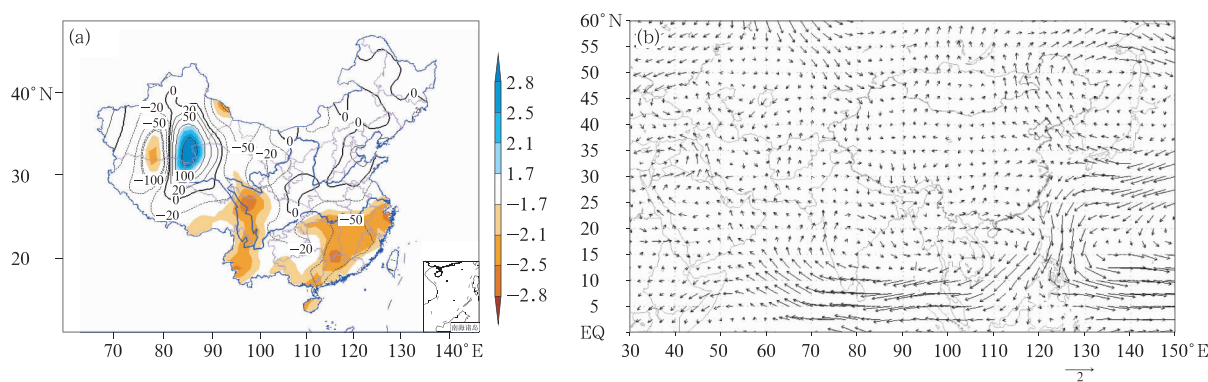


图 9 秋季 El Niño Modoki II 型海温分布相似年合成分析

(a)降水量距平百分率(阴影为通过 0.10 显著性水平检验的区域),

(b)850 hPa 距平风场(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig. 9 Composite analysis of SST distribution in autumn over similar years of El Niño Modoki II

(a) precipitation anomaly percentage (Shaded area has passed the significance test at 0.10 level),

(b) 850 hPa wind anomalies (unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

常年同期偏少6%,降水空间分布非常不均匀,总体呈现“西多东少、北多南少”的空间分布。

(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。2019年秋季,欧亚中高纬为“两脊一槽”分布,我国大部地区受正高度距平控制,不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,导致我国大部地区气温偏高;副高偏强偏西偏北,菲律宾东北部的气旋环流明显,我国南方水汽输送偏差,降水呈“西多东少、北多南少”分布。

(3)海温异常是影响2019年秋季我国气候异常的最主要的外强迫因子,2019年7月弱的中部型El Niño事件结束,秋季海温分布偏向于中部型El Niño。东亚副热带环流显示出清晰的响应,秋季副高偏强偏西偏北,菲律宾东北部气旋环流异常,导致了我国西部和北方地区降水偏多,南方地区降水偏少。

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).
- 冯丽文,郭其蕴,1983. 华西秋雨的多年变化[J]. 地理研究,2(1):74-84. Feng L W, Guo Q Y, 1983. The fluctuation of autumn rain in southwest China[J]. Geograph Res, 2(1):74-84(in Chinese).
- 高由禧,1958. 东亚的秋高气爽[J]. 气象学报,29(2):83-92. Gao Y X, 1958. On the high autumn clear weather in China[J]. Acta Meteor Sin, 29(2):83-92(in Chinese).
- 高由禧,郭其蕴,1958. 我国的秋雨现象[J]. 气象学报,29(4):264-273. Gao Y X, Guo Q Y, 1958. On the autumn raining area in China[J]. Acta Meteor Sin, 29(4):264-273(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,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).
- 李耀辉,李栋梁,赵庆云,2001. 中国西北地区秋季异常降水异常的特征分析[J]. 高原气象,20(2):158-164. Li Y H, Li D L, Zhao Q Y, 2001. An analysis on characteristic of autumn rainfall anomaly in Northwest China[J]. Plateau Meteor, 20(2):158-164(in Chinese).
- 柳龙生,高拴柱,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).
- 任宏利,孙丞虎,任福民,等,2017. 厄尔尼诺/拉尼娜时间判别方法:GB/T 33666—2017[S]. 北京:中国标准出版社:6. Ren H L, Sun C H, Ren F M, 2017. Identification method for El Niño/La Niña events:GB/T 33666—2017[S]. Beijing: Standards Press of China:6(in Chinese).
- 司东,邵颢,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).
- 王春学,马振峰,王佳津,等,2015. 华西秋雨准4年周期特征及其与赤道太平洋海表温度的关系[J]. 大气科学,39(3):643-652. Wang C X, Ma Z F, Wang J J, et al, 2015. The characteristics of

- Huaxi autumn rain and its relationship with sea surface temperatures over the equatorial Pacific[J]. *Chin J Atmos Sci*, 39(3): 643-652(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).
- 王遵娅,丁一汇,2008.中国雨季的气候学特征[J]. *大气科学*,32(1): 1-13. Wang Z Y, Ding Y H, 2008. Climatic characteristics of rainy seasons in China[J]. *Chin J Atmos Sci*, 32(1): 1-13(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).
- 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 of the climatic anomaly in China in Autumn 2018 [J]. *Meteor Mon*, 45(4):565-576(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).
- 中国气象局,2019.中国雨季监测指标 华西秋雨:QX/T 496—2019 [S]. 北京:气象出版社. China Meteorological Administration, 2019. Monitoring indices of rainy season in China—autumn rain of West China: QX/T 496—2019 [S]. Beijing: China Meteorological Press(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).
- 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.
- 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.