

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).

2018 年夏季海洋大气特征及对我国气候的影响*

顾 薇¹ 陈丽娟^{1,2}

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:为更好地了解 2018 年夏季(6—8 月)我国主要气候异常特征及成因,本文利用我国气象要素站点资料、再分析大气环流资料和全球海温数据分析了 2018 年夏季我国降水和气温的异常特征、东亚大气环流特征及海温对我国气候的影响。结果显示 2018 年夏季全国平均降水量较常年同期偏多 9.6%,我国中东部地区降水呈现“南北多、中间少”的分布特征,北方和华南大部降水较常年同期偏多、长江中下游降水明显偏少。降水的上述异常特征受到东亚副热带和中高纬大气环流的共同影响。2018 年夏季东亚副热带高空急流和西太平洋副热带高压位置都明显偏北,东亚沿岸由南至北为“负—正—负”的高度距平分布,呈现出“东亚—太平洋型”遥相关负位相的特征,菲律宾附近对流层低层大气维持异常的气旋式环流,东亚副热带夏季风异常偏强。同时,欧亚中高纬度大气呈现“两槽一脊”的异常高度分布特征。在副热带和中高纬大气环流的这种配置下,我国北方地区以异常偏南风为主,有利于暖湿气流的输送,降水偏多;华南地区在偏强的热带对流活动影响下,降水也总体偏多;而长江中下游地区则以明显的辐散下沉运动为主,降水偏少。从外强迫因子来看,2017 年 10 月至 2018 年 4 月发生的 La Niña 事件对东亚夏季风偏强及我国降水“南北多、中间少”的异常特征起到了重要作用。

关键词:夏季降水,东亚夏季风,菲律宾异常气旋,La Niña 事件

中图分类号: P461

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2019.01.011

Characteristics of Atmospheric and Oceanic Condition and Their Influences on Summer Climate of China in 2018

GU Wei¹ CHEN Lijuan^{1,2}

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: The anomalous climate features in China during the summer (JJA) of 2018, corresponding atmospheric circulation anomalies in East Asia and possible impacts from the ocean are analyzed in this paper. The results show that in the summer (JJA) of 2018, the average precipitation in China is 9.6% more than average. The precipitation in North and South China is more than normal while the precipitation in the middle and lower reaches of Yangtze River Valley is less than average. The atmospheric circulation in summer exhibits a typical feature of strong East Asian summer monsoon. The East Asian subtropical jet and the Northwest Pacific subtropical high are both significantly more northward located than average. In the lower troposphere, a cyclonic circulation dominates the area near the Philippines. At the same time,

* 国家重点基础研究发展计划(2015CB453203)、国家科技支撑计划项目(2015BAC03B04)和国家自然科学基金项目(41805067)共同资助
2018 年 12 月 14 日收稿; 2019 年 1 月 11 日收修定稿

第一作者: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

通信作者: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.cn

the mid-high latitude atmospheric circulation over Eurasia mainly exhibits a zonal feature. Under the combined impacts of the subtropical and mid-high latitude circulation, the transportation of water vapor to North and Northwest China is strengthened and more precipitation is induced in these regions. The precipitation in South China is also increased because of the strengthened tropical convective activity near South China Sea. However, in the middle and lower reaches of Yangtze River Valley, anomalous divergence and subsidence is observed and less precipitation is caused. In addition, it is also revealed that the La Niña event from October 2017 to April 2018 exerted a significant impact on the East Asian summer monsoon circulation and the summer precipitation in China.

Key words: summer precipitation, East Asian summer monsoon, Philippine abnormal cyclone, La Niña event

引 言

我国地处亚澳季风区,在亚澳季风系统多个成员的协同影响下,气候复杂多变,而汛期气候异常往往会导致严重的旱涝灾害(黄荣辉等,2006;李崇银等,2009;封国林等,2013),如 1998 年长江流域的洪涝灾害,2003 和 2007 年淮河流域的洪涝灾害等,都对人民生活造成巨大影响,给经济发展造成严重损失(李维京,1999;冯明等,2000;徐良炎,2003;高荣等,2018)。在全球变暖背景下,异常和极端的气候事件频发(Donat et al, 2016),气候异常的影响变得更大。因此,深入认识我国汛期气候异常特征及成因有助于提高气候预测准确率(王东阡等,2016;翟盘茂等,2016;袁媛等,2017;郑志海和王永光,2018),可更好地为政府和公众提供保障服务,对我国的防灾减灾部署具有重要意义。

我国夏季天气气候受多因子的影响和控制,既与东亚夏季风系统中多成员的相互协同作用有关,也与中高纬冷空气的活动密切相关(张庆云和陶诗言,1998a;1998b)。同时,东亚夏季风系统还受到海温等外强迫因子的显著影响(陈丽娟等,2013;王永光 and 郑志海,2018)。2017 年 10 月至 2018 年 4 月,热带中东太平洋发生了一次拉尼娜(La Niña)事件,东亚夏季风异常偏强。2018 年夏季,我国气候出现较为明显的异常特征,中东部地区降水呈现“南北多、中间少”的空间分布,我国北方和华南大部分地区降水偏多,长江中下游地区降水偏少;气温则以全国总体偏暖为主要特征。2018 年夏季我国气候受到东亚夏季风环流系统的何种影响? 2017—2018 年的 La Niña 事件对东亚夏季风环流的影响程度如何? 本文将针对上述问题开展分析和讨论,希望能够加深对 2018 年夏季气候异常成因的了解,为今后

的汛期气候预测提供更多的参考和依据。

1 资料和方法

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。各等压面的位势高度场、水平风场等大气环流资料为 NCEP/NCAR 逐日再分析资料,资料分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ (Kalnay et al, 1996; Kistler et al, 2001)。海温资料为美国 NOAA 提供的最优插值全球海温数据,水平分辨率为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ (Reynolds et al, 2002),资料起始时间为 1981 年 12 月。除海温资料的气候平均值因受起始时间限制取 1982—2010 年平均以外,其余数据的气候平均值均为 1981—2010 年平均。本文中冬季指上一年 12 月至当年 2 月平均,春、夏、秋季分别为 3—5、6—8 和 9—11 月平均。

本文选用的东亚夏季风指数为:(1)张庆云等(2003)利用东亚热带季风槽区与东亚副热带地区平均 850 hPa 风场的纬向距平差定义的东亚夏季风指数。(2)祝从文等(2000)综合考虑东西和南北向热力差异所定义的季风指数。西太平洋副热带高压(以下简称副高)脊线南北位置采用刘芸芸等(2012)定义的方法计算。Niño3.4 指数为 Niño3.4 区($5^{\circ}\text{S} \sim 5^{\circ}\text{N}, 170^{\circ} \sim 120^{\circ}\text{W}$)平均海温距平。在分析海温对夏季环流的可能影响时,使用一元线性回归的方法,回归时段选 1982—2017 年。

2 2018 年夏季我国气候异常特征

2018 年夏季风季节进程总体表现为前晚后早的特征,主要气候事件的强度也是前弱后强。华南

前汛期开始时间较常年偏晚 15 d, 结束时间较常年偏早 4 d, 总降水量较常年偏少 19%。我国梅雨开始时间偏晚、雨量偏少: 江南梅雨开始时间较常年偏晚 11 d, 结束时间偏晚 5 d, 雨量偏少 31.8%; 长江中下游梅雨开始时间偏晚 8 d, 结束时间偏早 1 d, 雨

量偏少 39.4%; 江淮梅雨开始偏晚 7 d, 结束偏早 5 d, 雨量偏少 34.6%。但是华北雨季开始和结束时间均偏早, 雨量较常年偏多 22.0%。西南雨季开始和结束时间均接近常年, 总雨量较常年偏多 8.6% (表 1)。

表 1 2018 年汛期主要气候事件的起止日期及雨量

Table 1 The start date, end date and total precipitation of major climate events in 2018

雨季名称	开始时间(常年平均)	结束时间(常年平均)	雨量(常年平均)/mm
华南前汛期	4月21日(4月6日)	6月30日(7月4日)	592(734)
江南梅雨	6月19日(6月8日)	7月13日(7月8日)	249.2(365.4)
长江中下游梅雨	6月22日(6月14日)	7月13日(7月14日)	170.4(281.0)
江淮梅雨	6月28日(6月21日)	7月10日(7月15日)	172.8(264.4)
华北雨季	7月9日(7月18日)	8月7日(8月18日)	165.6(135.7)
西南雨季	5月27日(5月26日)	10月15日(10月14日)	808.0(738.7)

注: 各气候事件定义分别见预报司发文: 气预函[2013]135号; 气预函[2014]2, 28, 117号。

Note: Definitions of the climate events are according to the explanation letters (Letter [2013] 135; Letter [2014] 2, 28 and 117) from Department to Forecasting and Networking of CMA.

2018 年夏季, 全国平均降水量为 356.4 mm, 较常年平均(325.2 mm) 偏多 9.6%, 为 1998 年之后最多的一年(图 1a)。从空间分布来看(图 2a), 我国中东部降水总体呈现“南北多、中间少”的分布特征。西北大部、华北东部、东北北部和华南南部沿海等地降水较常年同期偏多 20%~50%, 部分地区偏多 50%以上。北方地区多雨特征最为明显, 东北(黑龙江、吉林、辽宁)、华北(北京、天津、河北、陕西、内蒙古)和西北(陕西、甘肃、宁夏、青海、新疆)等地区平均降水量为 307.1 mm, 较常年平均(263.0 mm) 偏多 17%, 列 1998 年之后的第二位, 仅次于 2013 年(图 1b)。江汉和江南大部分地区降水较常年同期偏少 20%~50%(图 2a)。

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(图 1c)。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、东北南部、西北大部和内蒙古大部气温偏高 1~2℃ (图 2b)。

3 东亚大气环流异常特征及影响

2018 年夏季, 在对流层上层 200 hPa, 东亚地区北部存在一个异常正高度中心和一个相应的反气旋式环流, 在 40°N 以南为异常偏东风, 以北为异常偏西风, 即东亚副热带高空急流位置较常年同期

(40°N 附近) 偏北(图 3a)。在 500 hPa 高度距平场上东亚沿岸为“负—正—负”的距平分布, 在 30°N 以南为高度场负异常中心, 以北为正异常中心, 即副高脊线位置较常年同期偏北(图 3b)。从夏季副高脊线位置指数的年际变化(图 4a)来看, 2018 年夏季副高脊线指数的正距平达到 3 个标准差, 是 1981 年

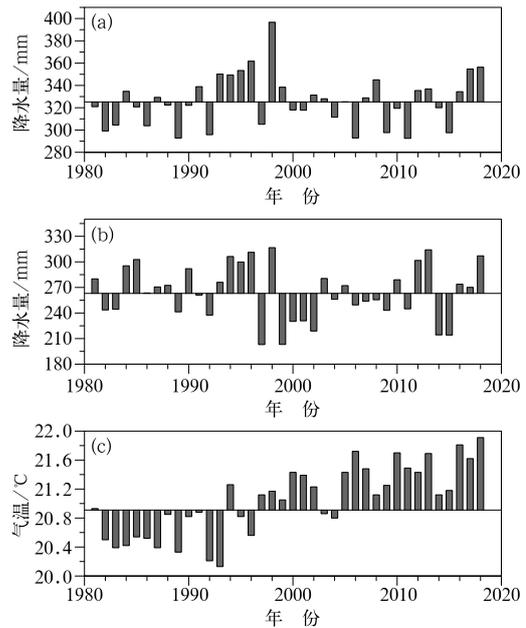


图 1 1981—2018 年夏季(a)全国和(b)北方地区平均降水量, (c)全国平均气温的历史序列
Fig. 1 Time series of summertime average precipitation in China (a) and in northern part of China (b), and (c) average temperature in China during 1981—2018

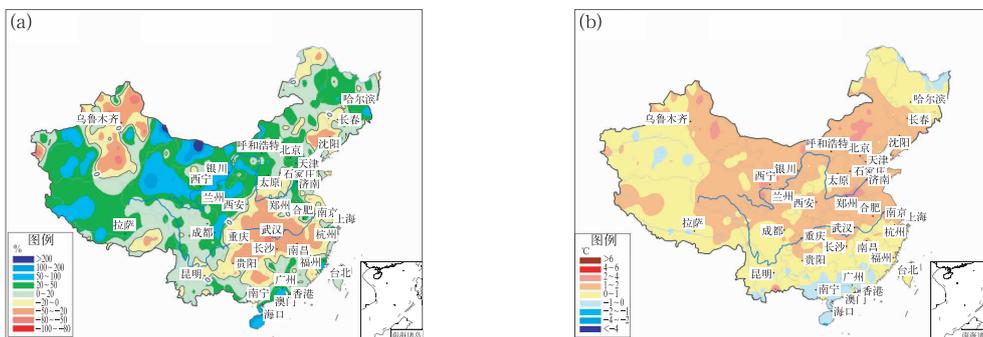


图 2 2018 年夏季全国(a)降水距平百分率和(b)气温距平分布
 Fig. 2 Precipitation anomaly percentage (a) and temperature anomaly (b) in China in summer 2018

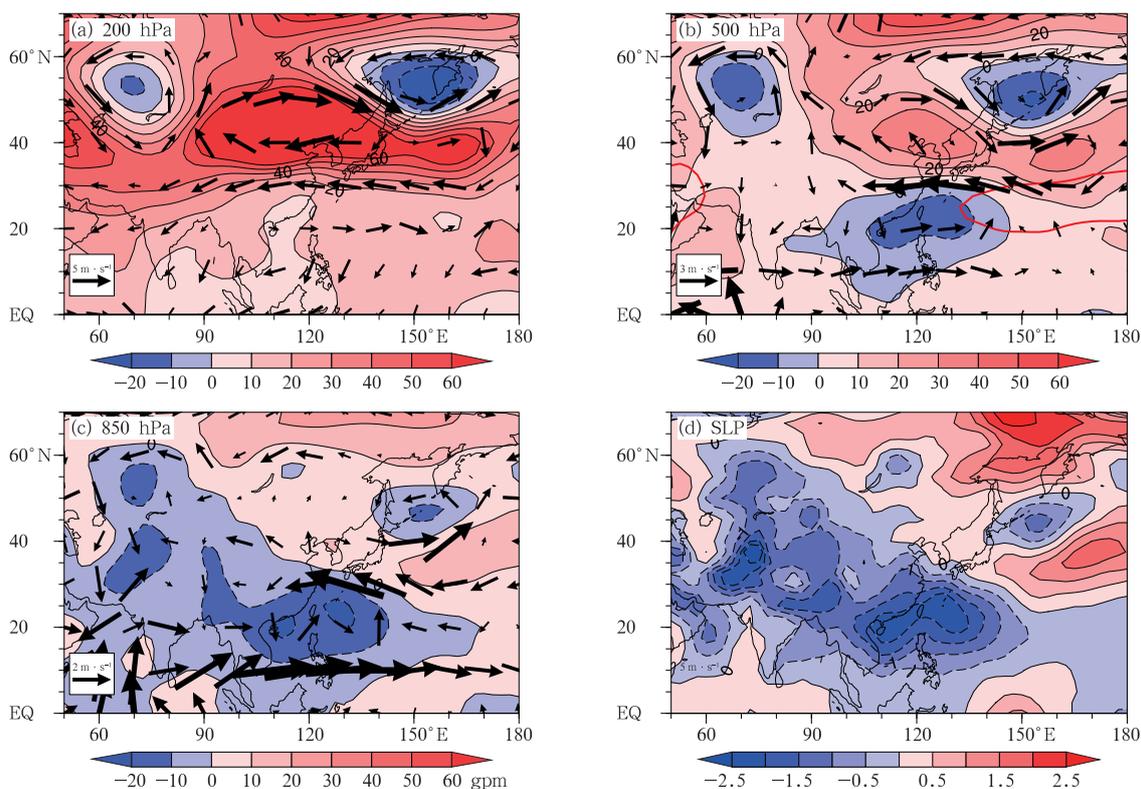


图 3 2018 年夏季(a)200 hPa、(b)500 hPa、(c)850 hPa 的高度距平(等值线和阴影,单位:gpm)和 wind 距平(矢量,单位: $m \cdot s^{-1}$),以及(d)海平面气压距平场(等值线和阴影,单位:hPa)
 Fig. 3 (a) 200 hPa, (b) 500 hPa, (c) 850 hPa anomalous geopotential heights (contours and shadows, unit: gpm) and wind (vectors, unit: $m \cdot s^{-1}$), (d) anomalous sea level pressure (contours and shadows, unit: hPa) in summer 2018

以来最偏北的一年。850 hPa 距平风场上(图 3c)最显著的特征是菲律宾附近为异常气旋式环流,而且在东亚沿岸由南至北表现出“气旋—反气旋—气旋”的分布特征,与 500 hPa 东亚沿岸“负—正—负”的高度距平特征相对应,呈现“东亚—太平洋型”遥相

关负位相的特征(黄荣辉等,2003)。从海平面气压距平场(图 3d)来看,东亚地区为异常偏低区域,即夏季大陆热低压明显偏强。总体来看,2018 年夏季对流层高、中、低层大气的异常都一致反映出东亚夏季季风偏强的典型特征。

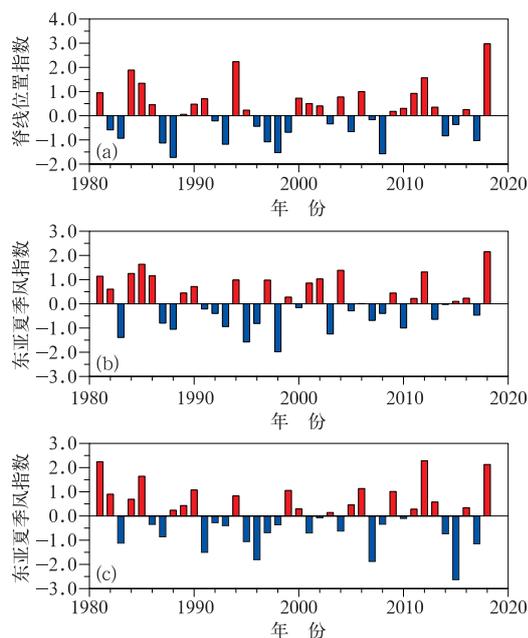


图 4 1981—2018 年(a)西太平洋副高脊线位置指数、(b)张庆云等(2003)和(c)祝从文等(2000)定义的东亚夏季风指数
Fig. 4 (a) Summertime ridge line position index of WPSH, the EASM index defined by (b) Zhang et al (2003) and (c) Zhu et al (2000) during 1981—2018

除了热带、副热带大气环流系统以外,2018 年夏季欧亚大陆中高纬度环流系统的异常特征也有利于东亚夏季风偏强。在 500 hPa 高度场上(图 3b),欧亚大陆地区表现为“两槽一脊”的距平分布特征,在乌拉尔山和鄂霍次克海附近分别存在负高度距平中心,而在贝加尔湖附近则为正高度距平中心。由于乌拉尔山和鄂霍次克海是夏季欧亚大陆阻塞高压最活跃的两个区域,“两槽一脊”的这种高度场异常分布特征意味着 2018 年夏季几乎没有明显的阻塞活动。从国家气候中心对中高纬度阻塞活动的监测(图 5)也可以看到,在 2018 年夏季,欧亚中高纬度地区没有异常偏强且较为持续的阻塞高压形势出现。阻塞高压偏弱有利于梅雨锋偏弱,从而使得东亚夏季风偏强(孙建华和赵思雄,2003;张庆云和陶诗言,1998a;张庆云等,2003)。因此,2018 年中高纬度阻塞高压不活跃的特征也有利于东亚夏季风偏强。

上述分析显示,无论从对流层高、中、低层大气环流,还是从热带、副热带到中高纬度大气环流都表现出东亚夏季风偏强年的典型特征。从张庆云等

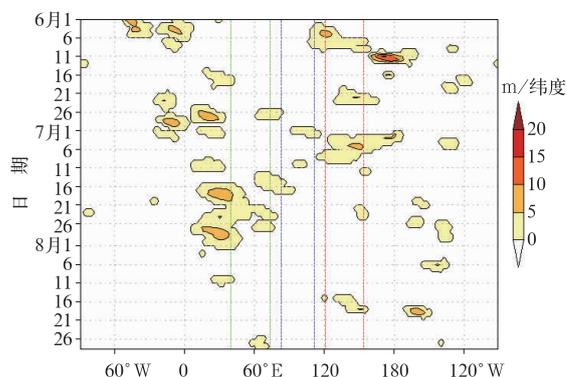


图 5 2018 年夏季欧亚中纬度阻塞高压活动指数监测图
(绿色、蓝色、红色竖线所示区域分别表示乌拉尔区、贝加尔湖区和鄂霍次克海区)
Fig. 5 Blocking activity index over Eurasia in summer 2018

(The green, blue and red vertical lines represent the regions of Ural, Baikal and Okhotsk, respectively)

(2003)定义的东亚夏季风指数的年际演变(图 4b)看,2018 年东亚夏季风是 1981 年以来最强的一年。祝从文等(2000)定义的东亚夏季风指数的年际变化也显示,2018 年是 1981 年以来第三强(图 4c)。

在强东亚夏季风环流系统影响下,长江流域受到其南侧的气旋式异常环流和北侧的反气旋式异常环流的共同影响,水平风场和水汽通量的辐散形势非常明显(图 6a),有利于出现异常下沉运动。从图 6b 可以清楚地看出在 30°N 附近长江中下游地区的确出现较明显的异常下沉运动,从而使得该地区降水异常偏少。对我国 35°N 以北的大部分地区来说,低层风场以偏南风距平为主(图 3c 和图 6b),有利于暖湿气流的输送,从而有利于降水偏多。华南和南海等地处于异常低压中心(图 3d),对流活动异常活跃,上升运动明显加强(图 6b),降水偏多。同时,由于欧亚中高纬度以纬向环流特征为主,冷空气活动偏弱,有利于我国大部地区气温较常年同期偏高。

4 La Niña 事件的可能影响

根据国家气候中心对 Nino3.4 海温指数的监测(图 7a),2017 年 10 月至 2018 年 4 月,赤道中东太平洋发生了一次弱的 La Niña 事件。从海表温度距平(SSTA)的空间分布(图 7b)来看,这次 La Niña 事件表现出明显的东部型特征,冷中心位于赤道东

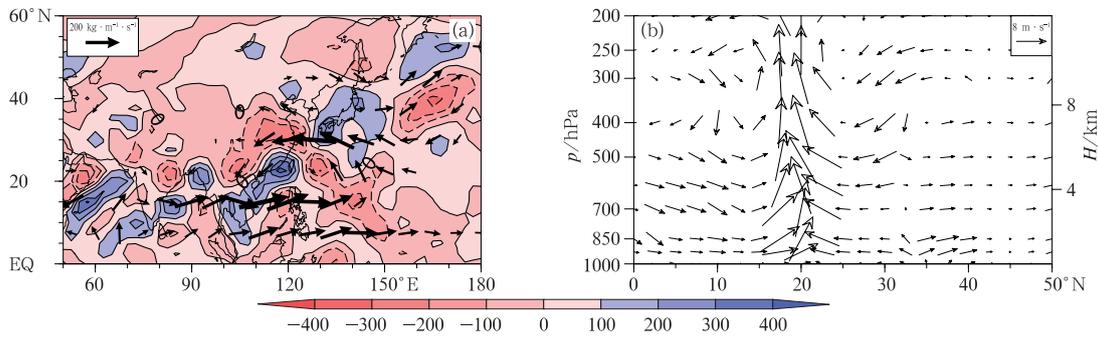


图 6 2018 年夏季(a)整层积分水汽通量距平(矢量,单位: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)和散度(阴影和等值线,单位: $10^{-7} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$), (b) $110^{\circ} \sim 120^{\circ}\text{E}$ 平均经向-垂直速度距平场(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig. 6 (a) Anomalous water vapor flux (vectors, unit: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) and divergence (contours and shadow, unit: $10^{-7} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$),

(b) meridional-vertical wind anomaly (unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) in $110^{\circ} - 120^{\circ}\text{E}$ in summer 2018

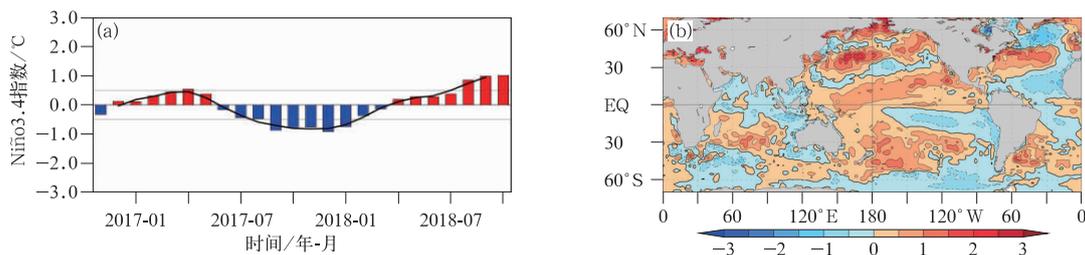


图 7 (a)2016 年 11 月至 2018 年 10 月 Niño3.4 指数和 (b)2017/2018 年冬季海表温度距平(单位: $^{\circ}\text{C}$)

Fig. 7 (a) Monthly Niño3.4 index and (b) sea surface temperature anomalies (unit: $^{\circ}\text{C}$) in the 2017/2018 winter

太平洋,西太平洋海温明显偏暖。

以往研究显示,ENSO 事件会对次年东亚夏季风和我国夏季降水产生显著影响。在 El Niño 次年,夏季风易偏弱;长江流域降水偏多;而在 La Niña 次年,东亚夏季风偏强;长江流域降水偏少 (Huang and Wu,1989;陈丽娟等,2013)。当 ENSO 事件发生后,热带中东太平洋 SSTA 会通过激发大气中的异常波动使得菲律宾附近低层大气出现异常的反气旋/气旋,从而对东亚夏季风产生显著影响 (Zhang et al,1996;Wang et al,2000)。图 8 显示了根据冬季 Niño3.4 指数回归的 850 hPa 速度势和水平风场。可以看到当 Niño3.4 区海温偏冷时,冬季热带东太平洋低层出现异常辐合形势,西太平洋地区则为异常辐散形势(图 8a),即沃克环流加强,热带西太平洋地区对流活动加强。热带西太平洋加强

的对流活动可以在赤道两侧分别激发一个气旋式环流(Gill,1980),北侧的气旋式环流位于菲律宾附近(图 8b)。热带西太平洋地区的异常辐合形势和菲律宾附近的气旋在春季和夏季也都十分显著(图 8c~8f),说明在 La Niña 事件的影响下,西太平洋地区的对流活动异常及其所激发的菲律宾异常气旋可以从冬季一直持续至夏季。

2018 年冬、春和夏季热带和东亚副热带大气环流异常形势(图 9)与根据 Niño3.4 指数对环流的回归场(图 8)表现出相似的特征,这说明热带大气和东亚大气环流对于 2017—2018 年的弱 La Niña 事件产生了较明显的响应。在冬季和春季的 850 hPa 速度势距平场(图 9a 和 9c)上可以看到,热带中东太平洋出现异常辐散运动,而热带西太平洋附近则以辐合上升运动为主,沃克环流加强。在热带

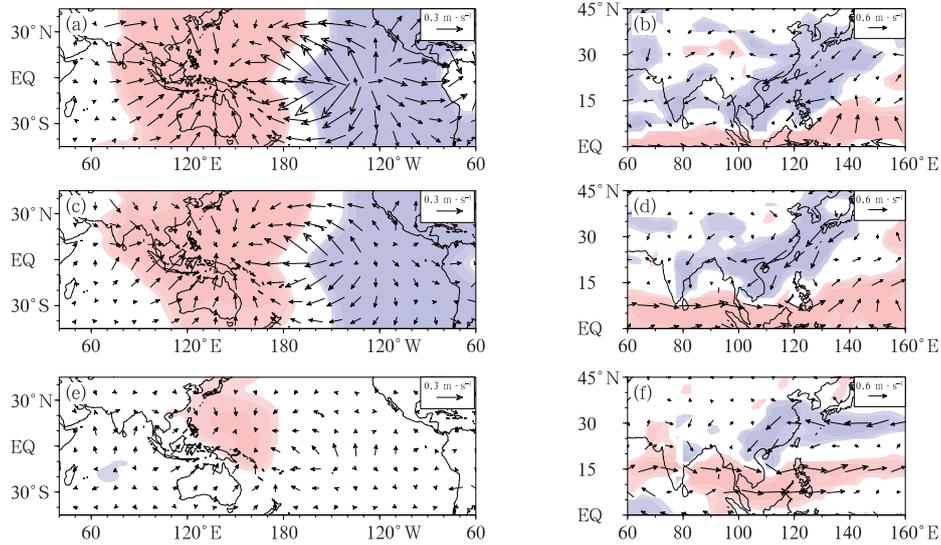


图 8 根据冬季 Niño3.4 指数回归的 850 hPa(a,b)冬季、(c,d)春季、
(e,f)夏季辐散风场(a,c,e),以及水平风场(b,d,f;矢量,单位: $m \cdot s^{-1}$)
(为更好显示冷海温的作用,所得结果均反号显示;图中阴影表示通过
0.10 显著性水平的 t 检验区域)

Fig. 8 Regression of 850 hPa (a, b) winter, (c, d) spring, (e, f) summer
(a, c, e) divergent wind, and (b, d, f) wind (vector, unit: $m \cdot s^{-1}$)
on wintertime Niño3.4 index
(Shadow areas indicate having passed the significance test at 0.10 level)

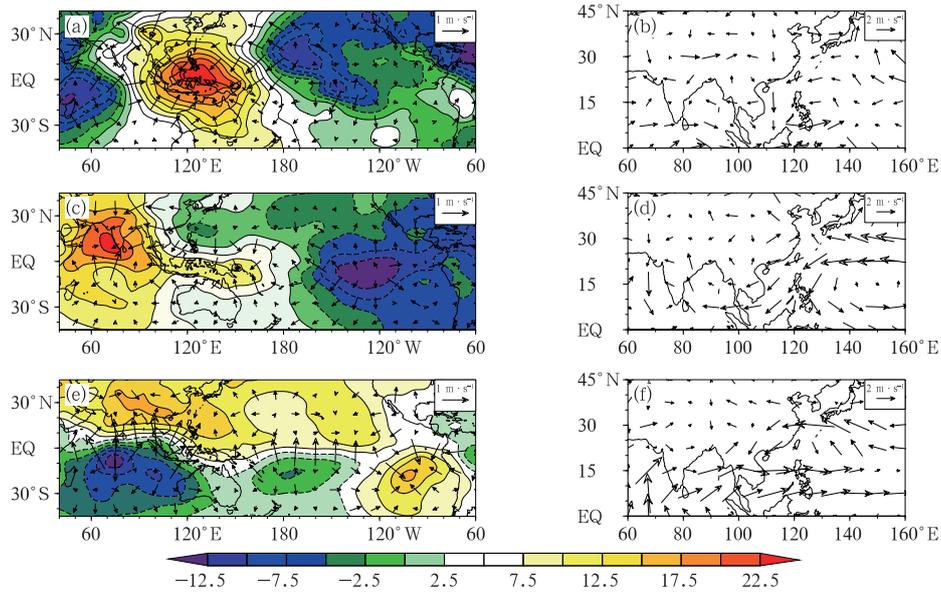


图 9 2018 年(a,b)冬季、(c,d)春季和(e,f)夏季 850 hPa 的(a,c,e)速度势
(等值线和阴影,单位: $10^5 m^2 \cdot s^{-1}$)和辐散风(矢量,单位: $m \cdot s^{-1}$),
(b,d,f)水平风场(矢量,单位: $m \cdot s^{-1}$)

Fig. 9 The 850 hPa (a, b) winter, (c, d) spring, (e, f) summer velocity potential
(contours and shadings, unit: $10^5 m^2 \cdot s^{-1}$) and divergent wind (vectors,
unit: $m \cdot s^{-1}$), and (b, d, f) summer 850 hPa wind
(vector, unit: $m \cdot s^{-1}$) in 2018

西太平洋地区辐合上升运动加强意味着该地区的对流活动更加活跃,从而可以在菲律宾附近对流层低层大气中激发出异常的气旋式环流(图 9b 和 9d)。到了夏季,虽然热带中东太平洋的异常辐散运动减弱消失,但热带西太平洋的异常辐合运动依然持续,且位置有所北移(图 9e)。相应地在 850 hPa 菲律宾地区附近,异常的气旋式环流也依然持续,位置也较冬季和春季明显北移(图 9f)。菲律宾附近的这一异常气旋式环流,有利于副高偏北、东亚夏季风偏强,从而有利于我国降水出现“南北多、中间少”的特征。由此可见,La Niña 事件是 2018 年东亚夏季风异常偏强的主要原因之一。

5 结论和讨论

2018 年夏季,全国平均降水量较常年平均偏多 9.6%,是 1998 年之后最多的一年。我国中东部地区降水总体呈现“南北多、中间少”的分布特征:北方大部分地区和华南降水较常年同期偏多,长江中下游地区较常年同期明显偏少。2018 年梅雨开始时间均较常年偏晚、雨量偏少;华北雨季开始偏早、雨量偏多。2018 年夏季全国大部气温较常年同期偏高,夏季平均气温为有历史记录以来最高的一年。

2018 年夏季对流层高、中、低层大气的异常都一致表现出东亚夏季风偏强的典型特征:东亚副热带高空急流和西太副高位置都较常年同期明显偏北,东亚沿岸由副热带至中高纬出现“负—正—负”的高度距平分布特征,菲律宾附近为异常的气旋式环流,东亚地区大陆低压加强。同时,欧亚中高纬度高度场表现出“两槽一脊”的分布特征,在乌拉尔山和鄂霍次克海附近分别存在负高度距平中心,中高纬度没有明显阻塞活动。在这种环流形势的影响下,长江流域以南为东北风距平,以北为偏南风距平,使得长江流域出现明显的异常辐散下沉运动、降水偏少。而北方大部分地区低层以偏南风为主,有利于降水偏多。华南地区由于受到热带对流活跃的影响,上升运动加强,降水偏多。同时,欧亚中高纬度大气纬向环流特征十分明显,冷空气活动偏弱,有利于我国大部地区气温较常年同期偏高。

2017 年 10 月至 2018 年 4 月赤道中东太平洋发生的 La Niña 事件对 2018 年夏季东亚大气环流产生了明显的影响,有利于东亚夏季风偏强。伴随着这次 La Niña 事件的发生,热带中东太平洋海温

偏低,西太平洋海温偏高,沃克环流加强,热带西太平洋出现异常的辐合上升形势,对流活动加强,从而能够在菲律宾附近激发出一个异常的气旋式环流。热带西太平洋对流活跃的特征从冬季一直持续到夏季,相应的,菲律宾附近的异常气旋也一直持续至夏季,从而有利于副高偏北、东亚夏季风偏强。

值得注意的是,有研究表明,ENSO 事件对东亚夏季风的影响在 20 世纪 80 年代之后(高辉和王永光,2007)明显减弱,而 2017 年 10 月发生的这次 La Niña 事件强度偏弱,意味着这次弱 La Niña 事件对东亚夏季风的影响可能是有限的,即今年东亚夏季风异常偏强的特征有可能还同时受到其他因子的影响,具体影响因子和过程还有待进一步深入分析。

参考文献

- 陈丽娟,袁媛,杨明珠,等,2013. 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, 2013. A review of physical mechanisms of the global SSTA impact on EASM[J]. J Appl Meteor Sci, 24(5):521-532(in Chinese).
- 封国林,赵俊虎,支蓉,等,2013. 动力-统计客观定量汛期降水预测研究新进展[J]. 应用气象学报,17(1):1-9. Feng G L, Zhao J H, Zhi R, et al, 2013. Recent progress on the objective and quantifiable forecast of summer precipitation based on dynamical-statistical method[J]. J Appl Meteor Sci, 17(1):1-9(in Chinese).
- 冯明,王家宝,熊守全,2000. 1998 年长江大洪水与大气环流和海温异常分析[J]. 长江流域资源与环境,9(1):112-117. Feng M, Wang J B, Xiong S Q, 2000. Analysis on the abnormality of general circulation and sea temperature in relation to the flood water of Yangtze River in 1998[J]. Res Environ Yangtze Basin, 9(1):112-117(in Chinese).
- 高辉,王永光,2007. ENSO 对中国夏季降水可预测性变化的研究[J]. 气象学报,65(1):131-137. Gao H, Wang Y G, 2007. On the weakening relationship between summer precipitation in China and ENSO[J]. Acta Meteor Sinica, 65(1):131-137(in Chinese).
- 高荣,宋连春,钟海玲,2018. 2016 年汛期中国降水极端特征及其与 1998 年对比[J]. 气象,44(5):699-703. Gao R, Song L C, Zhong H L, 2018. Characteristics of extreme precipitation in China during the 2016 flood season and comparison with the 1998 situation[J]. Meteor Mon, 44(5):699-703(in Chinese).
- 黄荣辉,蔡榕硕,陈际龙,等,2006. 我国旱涝气候灾害的年代际变化及其与东亚气候系统变化的关系[J]. 大气科学,30(5):730-743. Huang R H, Cai R S, Chen J L, et al, 2006. Interdecadal variations of drought and flooding disasters in China and their association with the East Asian climate system[J]. Chinese J Atmos Sci, 30(5):730-743(in Chinese).
- 黄荣辉,陈文,丁一汇,等,2003. 关于季风动力学以及季风与 ENSO 循环相互作用的研究[J]. 大气科学,27(4):484-502. Huang

- R H, Chen W, Ding Y H, et al, 2003. Studies on the monsoon dynamics and the interaction between monsoon and ENSO cycle [J]. *Chinese J Atmos Sci*, 27(4): 484-502 (in Chinese).
- 李崇银, 黄荣辉, 丑纪范, 等, 2009. 我国重大高影响天气气候灾害及对策研究 [M]. 北京: 气象出版社: 187. Li C Y, Huang R H, Chou J F, et al, 2009. Research on the Weather and Climate Disasters with High Impact in China and the Countermeasures [M]. Beijing: China Meteorological Press: 187 (in Chinese).
- 李维京, 1999. 1998 年大气环流异常及其对中国气候异常的影响 [J]. *气象*, 25(4): 20-25. Li W J, 1999. General atmospheric circulation anomaly in 1998 and their impact on climate anomaly in China [J]. *Meteor Mon*, 25(4): 20-25 (in Chinese).
- 刘芸芸, 李维京, 艾兑秀, 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).
- 孙建华, 赵思雄, 2003. 1998 年夏季长江流域梅雨期环流演变的特殊性探讨 [J]. *气候与环境研究*, 8(3): 291-306. Sun J H, Zhao S X, 2003. A study of special circulation during Meiyu season of the Yangtze River Basin in 1998 [J]. *Clima Environ Res*, 8(3): 291-306 (in Chinese).
- 王东阡, 王艳姣, 崔童, 等, 2016. 2015 年夏季气候异常特征及其成因简析 [J]. *气象*, 42(1): 115-121. Wang D Q, Wang Y J, Cui T, et al, 2016. Analysis on climate anomalies and causations in summer 2015 [J]. *Meteor Mon*, 42(1): 115-121 (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).
- 徐良炎, 2003. 淮河流域暴雨频繁洪涝严重; 江南华南酷热少于伏旱发展 [J]. *气象*, 29(10): 62-63. Xu L Y, 2003. Severe flooding in Huaihe River Valley; Intense heat and drought in Jiangnan and Huanan [J]. *Meteor Mon*, 29(10): 62-63 (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).
- 翟盘茂, 余荣, 郭艳君, 等, 2016. 2015/2016 年强厄尔尼诺过程及其对全球和中国气候的主要影响 [J]. *气象学报*, 74(3): 309-321. Zhai P M, Yu R, Guo Y J, et al, 2016. The strong El Niño in 2015/2016 and its dominant impacts on global and China's climate [J]. *Acta Meteor Sinica*, 74(3): 309-321 (in Chinese).
- 张庆云, 陶诗言, 1998a. 亚洲中高纬度环流对东亚夏季降水的影响 [J]. *气象学报*, 56(2): 199-211. Zhang Q Y, Tao S Y, 1998a. Influence of Asian mid-high latitude circulation on East Asian summer rainfall [J]. *Acta Meteor Sinica*, 56(2): 199-211 (in Chinese).
- 张庆云, 陶诗言, 1998b. 夏季东亚热带和副热带季风与中国东部汛期降水 [J]. *应用气象学报*, 9(S1): 17-23. Zhang Q Y, Tao S Y, 1998b. Tropical and subtropical monsoon over East Asia and its influence of the rainfall over eastern China in summer [J]. *J Appl Meteor Sci*, 9(S1): 17-23 (in Chinese).
- 张庆云, 陶诗言, 陈烈庭, 2003. 东亚夏季风指数的年际变化与东亚大气环流 [J]. *气象学报*, 61(5): 559-568. Zhang Q Y, Tao S Y, Chen L T, 2003. The inter-annual variability of East Asian summer monsoon indices and its association with the pattern of general circulation over East Asia [J]. *Acta Meteor Sinica*, 61(5): 559-568 (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).
- 祝从文, 何金海, 吴国雄, 2000. 东亚季风指数及其与大尺度热力环流年际变化关系 [J]. *气象学报*, 58(4): 391-402. Zhu C W, He J H, Wu G X, 2000. East Asian monsoon index and its inter-annual relationship with large scale thermal dynamic circulation [J]. *Acta Meteor Sinica*, 58(4): 391-402 (in Chinese).
- Donat M G, Lowry A L, Alexander L V, et al, 2016. More extreme precipitation in the world's dry and wet regions [J]. *Nature Climate Change*, 6(5): 508-513.
- Gill A E, 1980. Some simple solutions for heat-induced tropical circulation [J]. *Quart J Roy Meteor Soc*, 106(449): 447-462. DOI: 10.1002/qj.49710644905.
- 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.
- Kalney E, Kanamitsu M, Kistler R, et al, 1996. The NCEP/NCAR 40 year reanalysis project [J]. *Bull Amer Meteor Soc*, 77(3): 437-471.
- 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.
- Reynolds R W, Rayner N A, Smith T M, et al, 2002. An improved in Situ and satellite SST analysis for climate [J]. *J Climate*, 15(13): 1609-1625.
- Wang B, Wu R, Fu X, 2000. Pacific-East Asia teleconnection: how does ENSO affect East Asian climate [J]. *J Climate*, 13(9): 1517-1536. DOI: 10.1175/1520-0442.
- Zhang R H, Sumi A, Kimoto M, 1996. Impact of El Niño on the East Asian monsoon: a diagnostic study of the '86/87 and '91/92 events [J]. *J Meteor Soc Japan*, 74(1): 49-62.