

梁萍,周兵,马悦,等,2019. 2017 年秋季华西秋雨的多时间尺度变化特征及成因分析[J]. 气象,45(8):1104-1112. Liang P, Zhou B, Ma Y, et al, 2019. Characteristics of variability on multiple timescales and cause analysis of autumn rainfall in West China during 2017[J]. Meteor Mon, 45(8):1104-1112(in Chinese).

2017 年秋季华西秋雨的多时间尺度 变化特征及成因分析 *

梁 萍^{1,2} 周 兵³ 马 悦¹ 汪佳伟¹

1 上海市气候中心,上海 200030

2 中国气象局上海城市气候变化应对重点开放实验室,上海 200030

3 国家气候中心,北京 100081

提 要: 利用我国 723 个常规观测气象站降水资料和 NCEP 再分析资料等,综合大气环流的季节内-季节异常、海洋外强迫年际异常及降水的长期变化影响,分析了 2017 年华西秋雨异常的成因。结果表明:20 世纪 60 年代以来,华西秋雨存在 3~4、6~9、12~18 a、36 a 等多个时间尺度的准周期变化,并自 1990 年以来呈现增加的长期变化趋势。2017 年华西秋雨异常偏多是多时间尺度变率叠加影响的结果。2017 年秋季,北半球极涡偏向东亚地区,贝加尔湖低槽多冷空气分裂南下,西太平洋副热带高压异常偏强偏西,华西地区处于水汽输送异常辐合大值区,出现降水异常偏多。在季节内时间尺度上,东亚夏季风的季节内撤退过程偏慢,夏季风北界位置持续偏北,9—10 月主雨带维持在华西—江汉—江淮一带。自西太平洋经南海北上的水汽输送的季节内变化,并与东北冷涡的季节内活动相配合,是造成华西秋汛的季节内环流影响因子。华西秋雨年际异常与赤道中东太平洋海温呈现显著的负相关。夏末秋初开始发展的拉尼娜状态是 2017 年我国秋季降水异常的重要外强迫因子。2017 年华西秋雨的异常偏多也与其近年来的年代—多年代际正距平位相及长期增加趋势相关联。

关键词: 华西秋雨,夏季风,拉尼娜,西太平洋副热带高压,多时间尺度

中图分类号: P466

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2019.08.007

Characteristics of Variability on Multiple Timescales and Cause Analysis of Autumn Rainfall in West China During 2017

LIANG Ping^{1,2} ZHOU Bing³ MA Yue¹ WANG Jiawei¹

1 Shanghai Climate Centre, Shanghai 200030

2 Key Laboratory of Cities' Mitigation and Adaptation to Climate Change in Shanghai, CMA, Shanghai 200030

3 National Climate Centre, Beijing 100081

Abstract: Based on the precipitation observations from 723 basic meteorological stations in China and the NCEP reanalysis data, the possible causes of the 2017 autumn rainfall anomalies in West China were investigated by detailed investigations about the impacts of sub-seasonal to seasonal anomaly of atmospheric circulation, interannual anomaly of external forcing from ocean together with long-term variations of precipitation. The results show that quasi-period variations with multiple timescales, including 3—4 a, 6—9 a, 12—18 a and 36 a since 1960s, along with an increasing long-term trend since 1990 found in the autumn rainfall in Western China. The abnormal heavy rainfall in West China during autumn of 2017 resulted from

* 国家重点研发计划(2017YFC1502301)、国家自然科学基金项目(41775047)、国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2012CB955901)、上海市气象局青年起航计划和国家气象科技创新工程“次季节至季节气候预测和气候系统模式”共同资助

2018 年 4 月 8 日收稿; 2018 年 9 月 18 日收修定稿

第一作者:梁萍,主要从事季风气候及次季节-季节预测研究. Email:liangping1107@163.com

the superposition influences from multi-time scale variations. In the autumn of 2017, the position of polar vortex in the Northern Hemisphere lay towards East Asia, allowing the cold air from the low trough near Lake Baikal to splitting southward. Meanwhile, the West Pacific subtropical high was excessively stronger and westward. Therefore, a stronger water vapor convergence area was formed and eventually led to the abnormal heavy rainfall in West China. On sub-seasonal time scales, the East Asian summer monsoon retreated more slowly than normal, and the northern boundary position of the summer monsoon was continuously maintained northward than normal. The main rain band was correspondingly maintained around the region of West China, Jianghuai and Hanjiang in September and October. The sub-seasonal variations of the northward water vapor transportation from the West Pacific Ocean through the South China Sea, together with the sub-seasonal activities of northeastern cold vortex, may be sub-seasonal circulation factors which influence the autumn rainfall anomaly in West China. In addition, the interannual anomaly of autumn rainfall in West China and central-eastern equatorial Pacific SST shows a remarkable negative correlation. The La Niña condition which developed from the late summer and early autumn in 2017 acts as the important interannual forcing of autumn rainfall anomalies. Also, the abnormal heavy rainfall in West China is related to positive phases of decadal to multi-decadal variability and long-term increasing trend in recent years.

Key words: autumn rainfall in West China, summer monsoon, La Niña, West Pacific subtropical high, multiple timescales

引 言

2017年秋季我国出现了较为异常的气候特征。其中,华西地区经历了自1984年来最多的秋雨,雨量较常年偏多7成,被列为2017年中国十大天气气候事件。9—10月,江淮大部及华西秋雨明显,雨量大、雨日多、影响重。重庆北部、湖北大部、河南南部、安徽北部、江苏南部等地降水量较常年同期偏多1~2倍,局地超过2倍(中国气象局和国家气候委员会,2018)。持续降雨造成华西等上述多地明显秋汛,部分地区洪涝灾害严重,局地还引发山体滑坡、泥石流等灾害;部分地区出现阴雨寡照天气,对作物秋收秋播不利。

要全面了解气候异常特征,预防各种可能的自然灾害,秋季降水是不能忽视的。近年来,特别是2007、2011和2014年的秋季华西降水异常偏强,导致农田被淹、城镇内涝,局地出现山洪、滑坡、泥石流等灾害,均造成了严重的经济损失(贾小龙等,2008;柳艳菊等,2012;司东等,2015)。施能(1988)还表明,秋季大尺度降水异常与来年汛期降水也有一定的关系。因此,深入分析秋季降水异常成因有助于加深对秋季气候异常的理解,并进一步为预测预报提供线索,更好地服务于防灾减灾工作。已有关于

秋季降水异常的研究(徐桂玉和林春育,1994;鲍媛媛等,2003;白虎志和董文杰,2004)多集中在与其相联系的大尺度环流背景方面,较少关注综合季节内、年际、年代际等多时间尺度变率及相关影响因子的诊断分析。为此,本文将从大尺度环流异常及其季节内变化、年际异常海洋外强迫以及长期变化影响等角度,分析2017年华西秋雨异常的成因。

1 资料与方法

本文采用的资料包括:(1)NCEP/NCAR(美国气象环境预报中心/美国国家大气研究中心)的逐日再分析高度场、风场、比湿场、可降水量场等资料,水平分辨率为 $2.5^{\circ}\times 2.5^{\circ}$;(2)国家气象信息中心提供的中国地区723站观测月降水量资料;(3)国家气候中心提供的1961—2014年华西秋雨资料;(4)国家气候中心整编的1951—2017年逐月Niño3.4区($5^{\circ}\text{S}\sim 5^{\circ}\text{N}$, $170^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{W}$)海温指数;(5)美国国家海洋大气管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)提供的ERSST(extended reconstructed sea surface temperature)V4逐月海温资料。除传统的统计和检验方法外,本文采用集合经验模态分解方法(EEMD)获得长序列的多时间尺度分离。EEMD(Wu and Huang,2009)是在经

验模态分解(EMD; Huang et al, 1998)的基础上发展的处理非线性、非平稳时间序列的最新方法。该方法的最大优点在于能够以自适应方式提取信号的分量及变化趋势。EEMD 的基本方法是通过以下四个步骤获取信号:(1)在原始时间序列上加入一组白噪音;(2)分解加入白噪音的时间序列,提取出本征模态函数(IMF);(3)采用不同的白噪音,对原始序列重复步骤(1)和(2);(4)将加入不同白噪音后分解得到的多个 IMF 进行集合平均,作为最后的 IMF。

此外,本文使用的各要素的气候平均值为 1981—2010 年平均值,秋季指北半球 9—11 月。

2 2017 年秋季降水异常特征

图 1 给出 2017 年秋季及季内各月降水距平百分率分布。从整个秋季来看,华西地区、江淮—江汉、华北中南部降水量较常年同期偏多 2 成至 1 倍,而河南南部、湖北中北部、安徽北部等地偏多 1~2 倍(图 1a)。对季内各月(图 1b~1d)而言,降水异常空间分布呈现明显的季节内变化。9 月多雨区主要出现在华西、江汉和黄淮地区;10 月多雨区位于华北及其以南至长江一带的大部区域,其中 9 月的多雨区在 10 月仍持续;而 11 月降水异常空间分布转为全国大部偏少的特征。对比秋季及各月降水异常空间分布可知,9—10 月的降水异常对整个秋季降水异常的空间格局起决定作用,基本与 2017 年 8 月 24 日至 10 月 26 日的华西秋雨雨季(支蓉等, 2018)相吻合。

3 华西秋雨的多时间尺度变化特征

华西秋雨是我国秋季的主雨带,也是东亚夏季风向冬季风转换阶段下在我国大陆上的最后一个雨季。中国气象局《华西秋雨监测业务规定(试行)》(中国气象局预报与网络司, 2015)针对华西秋雨定义了具体的监测指标:自 8 月 21 日起,将华西地区 8 省(区、市)范围内出现 $\geq 50\%$ 的台站日降雨量 ≥ 0.1 mm 的某日确定为一个秋雨日,若连续出现 5 个秋雨日(第 2~4 日中可有一个非秋雨日),则定义为多雨期开始,其第一个秋雨日为该多雨期开始日。此后若连续出现 5 个非秋雨日(第 2~4 日中可有一个秋雨日),则该多雨期结束,并将第一个非秋雨日

定为该多雨期结束日。最早(晚)的多雨期开始日确定为华西秋雨的开始日(结束日)。为考察与 2017 年华西秋雨相联系的多时间尺度变率,图 2 给出利用 EEMD 方法获得的华西秋雨长序列(国家气候中心勘定整编的 1961—2014 年数据)在不同时间尺度上的变化分量。分解出的多个准周期变化分量包括了从年际到年代际多个时间尺度。其中,第 1~2 分量(IMF_{1~2})对应 3~4、6~9 a 周期的年际变化分量;第 3 分量(IMF₃)对应 12~18 a 周期的年代际变化分量;第 4 分量(IMF₄)对应准 36 a 周期变化;第 5 分量(Trend)则为趋势项。用白噪声进行显著性水平检验发现,IMF_{1~4} 的周期性均通过了 0.05 的显著性水平检验。从图中可以发现,IMF₁ 在 2014 年呈现由负距平向正距平的转换阶段外;IMF_{2~4} 在 2013 年开始进入正距平位相;趋势项则自 1990 年前后呈现增加趋势,且自 2010 年左右增幅进一步加大。综合 IMF_{1~4} 的准周期变化以及趋势项的演变规律可见,除了年际变化的影响外,IMF_{3~4} 表征的多年代际变化分量以及长期趋势分量均对 2017 年华西秋雨异常偏多有正贡献。计算上述各分量占华西秋雨的方差百分比表明,IMF_{1~2} (3~4 和 6~8 a 准周期变化)的方差贡献率分别为 36.6% 和 22.2%,是华西秋雨年际异常的主要分量;而 12~18 a(IMF₃)和准 36 a(IMF₄)周期变化对华西秋雨年际异常也有较重要的贡献,方差贡献率均超过 10%;而长期趋势(Trend)也有一定的贡献(占 9.4%)。进一步比较各分量与华西秋雨异常的同号率发现,除 IMF₁ 与原始序列的距平同号率接近 80% 外,IMF_{2~4} 与华西秋雨异常的距平同号率均在 55%~57%。因此,无论是从方差贡献率还是异常同号率来看,年代际及多年代际变化分量对华西秋雨异常均有重要作用,其近年来的正距平位相可解释 2017 年华西秋雨的异常偏多现象。此外,自 20 世纪 90 年代增加的长期趋势对 2017 年华西秋雨偏多也有一定的贡献。

4 秋季环流异常特征

图 3 给出秋季 500 hPa 高度场距平、850 hPa 距平风场、整层水汽输送场距平。由图 3a 可见,亚欧中高纬地区在对流层中层的高度场距平呈现“东低西高”的分布,而北半球极涡恰好偏向位于贝加尔湖以东至日本一带的高度场负距平中心,造成冷空气

在蒙古至我国东北地区堆积,并沿着贝加尔湖低槽不断分裂南下至黄河以南地区。同时,西太平洋副热带高压(以下简称副高)异常偏强偏西,副热带高

压带在整个北半球呈环状结构,我国副热带地区对流层中层高度场以正距平为主。受偏强的副高西侧转向的西南风水汽输送和冷空气分裂南下共同影

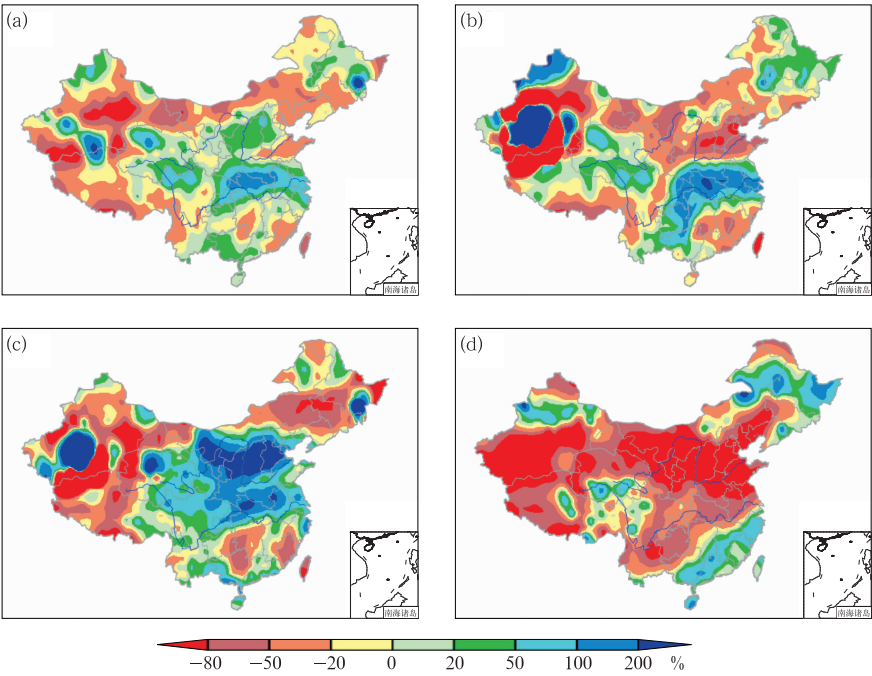


图 1 2017 年全国秋季(a)及 9 月(b)、10 月(c)、11 月(d)降水距平百分率
Fig. 1 Distribution of precipitation anomaly percentage over China during autumn (a), September (b), October (c) and November (d) in 2017

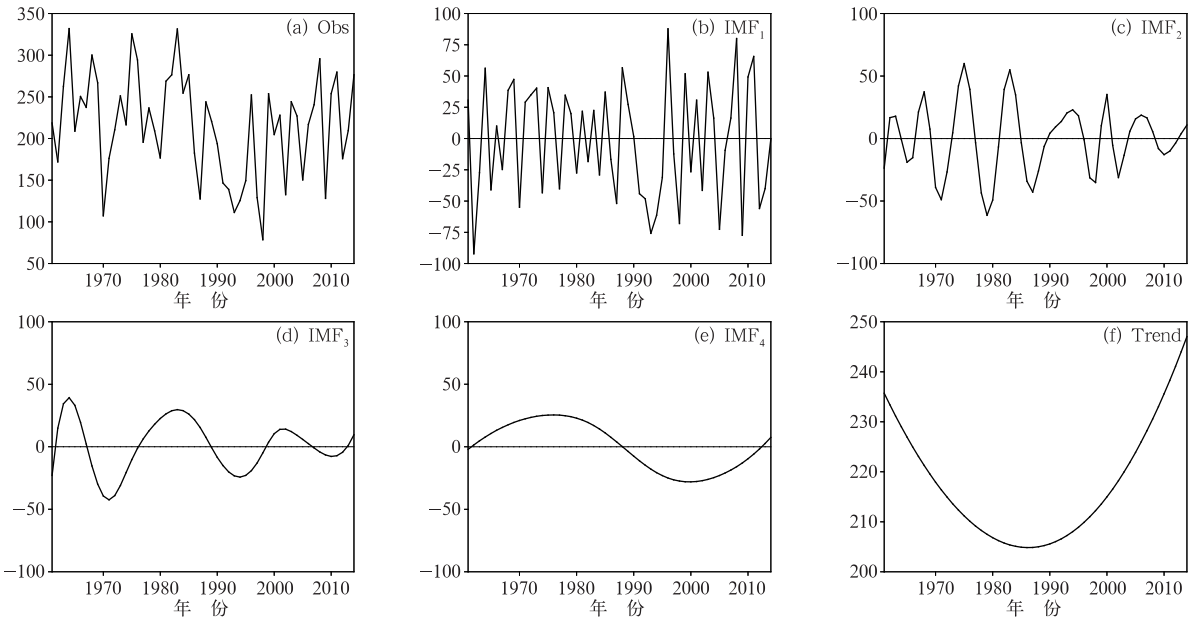


图 2 华西秋雨逐年演变(a)及 4 个准周期变化分量(b,c,d,e)和 1 个趋势项分量(f)(单位:mm)
Fig. 2 Annual variation of autumn rain in western China (a) and four quasi-cycle components (b, c, d, e) and one trend component (f) (unit: mm)

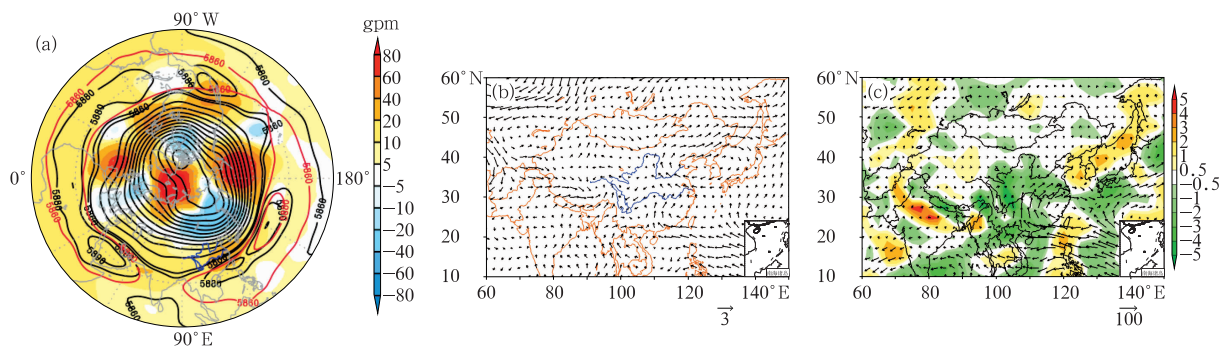


图 3 2017 年秋季 500 hPa 高度场及距平(a;黑色等值线为实况,红色等值线为气候平均态的 5860 和 5880 gpm 等值线;阴影为距平)、850 hPa 距平风场(b,单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)、整层水汽输送距平场(c,矢量,单位: $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$;阴影表示水汽输送散度,单位: $10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)分布

Fig. 3 The 500 hPa geopotential height and anomalies (a, unit: gpm; black contours denote observation, red contours represent 5860 and 5880 gpm contours in climatology; shading denotes anomalies), 850 hPa wind anomalies (b, unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) and moisture transport anomalies vertically integrated from the total column atmosphere (c, vector, unit: $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$; shading denotes divergence, unit: $10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$) during autumn of 2017

响,华西地区处于水汽输送异常辐合大值区,出现异常偏多的降水。对比季内各月(图略)发现,9月环流异常总体类似于秋季;10月亚欧中高纬环流异常为宽广的低槽区,由此造成多雨区域扩大至华北中南部;11月中高纬环流异常和9月及秋季类似,但副高强度明显减弱,副热带环流影响范围和常年平均接近,由此造成11月包括华西在内的全国降水异常转为大部偏少型。

5 季节内环流异常特征

通常,西伯利亚冷空气自8月上旬开始南下,8月中旬华北雨季结束(郭其蕴和王继琴,1981)。同时,由于青藏高原的阻挡作用,东亚夏季风在我国东部大陆撤退得很快,到达南海后继续向南撤退,最后导致9月中旬左右南海夏季风从南海撤退(冯瑞权等,2007)。而夏季风撤退偏早(晚)与赤道辐合带对流活动偏弱(强)有密切关联(王安宇等,2010)。因此,夏季风在夏末初秋的撤退过程对我国秋季降水异常有重要影响。从东亚夏季风北界(汤绪等,2009)的演变(图4)来看,2017年秋季特别是9—10月的东亚夏季风北界位置较气候平均持续明显偏北,即夏季风南撤速度较常年明显偏慢,直到10月末夏季风北界南撤至常年平均位置附近。其中,9和10月的夏季风北界平均位置分别在 30.2°N 、 29.2°N ,基本维持在长江中下游沿线,我国主雨带

仍维持在华西—江淮—江汉地区(图略),对于上述地区9—10月降水异常偏多(图1b,1c)产生直接作用。进一步从副高脊线位置的季节内演变考察其对秋季雨带的影响。其中,参考毛江玉等(2002),将热带东风带和中纬度西风带的分界线,即纬向风速为 $0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的等值线位置确定为副高脊线位置。由图5可看出,与通常的华北雨季结束相对应的是,副高脊线位置在8月下旬南落至沿江一带,从9月起至10月上旬则位于江南上空,自10月下半月南撤至南海地区。在2017年(图5a),尽管副高受台风活跃影响在8月底东撤南落,但9月初开始副高脊线位置迅速加强北抬,并于9月中旬到达沿江一带上空,副高西侧转向的偏强西南风水汽输送导致华西—江淮—江汉地区的9月上半月降水异常偏多,华西和江汉大部降水偏多5成甚至1倍以上。和气候平均相比,9月上半月和10月中下旬副高脊线位置异常偏北,均位于江南北部—沿江一带上空。由

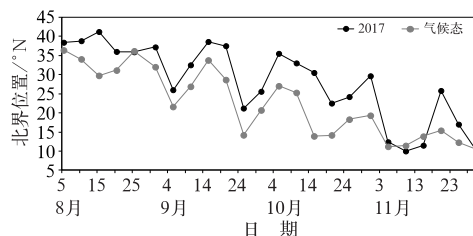


图 4 2017 年东亚夏季风北界撤退过程
Fig. 4 Retreat of north edge of East Asian summer monsoon in 2017

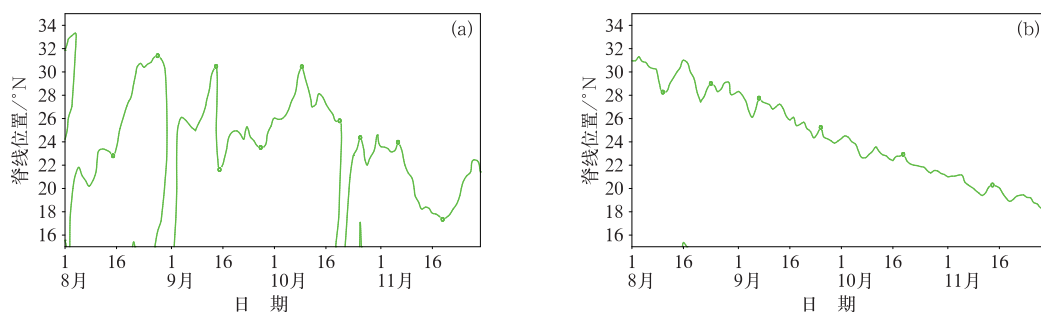


图5 2017年(a)和气候态(b)的副高脊线位置演变

Fig. 5 Evolution of ridge locations of western Pacific subtropical high in (a) 2017, (b) climatology

于副高西侧转向的西南风是东亚夏季风的重要组成部分,上述夏季风北界偏北以及撤退偏慢与副高的季节内异常直接相联系。

进一步从水汽输送的逐日演变(图6)来看,9—10月东亚副热带水汽输送大值区(阴影)位于 $28^{\circ}\sim 33^{\circ}\text{N}$,特别是9月上旬和9月下旬至10月中旬,造成华西—江汉—江淮一带降水过程频繁。参考刘宗秀等(2002)的定义,由 $35^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{N}$ 、 $115^{\circ}\sim 145^{\circ}\text{E}$ 范围内的500 hPa位势高度距平乘以-1.0确定东北冷涡强度。进一步结合东北冷涡的活动(图7)来看,9月下半月至10月上旬前期、10月中旬前期配合有偏强的东北冷涡活动,造成连阴雨过程,特别是9月下旬中期至10月上旬的强冷涡活动给华西—江汉—江淮一带带来了大暴雨及洪涝灾害。需要指出的是,尽管11月下半月的冷涡活动也较活跃,但由于来自西太平洋经南海向北的水汽输送在

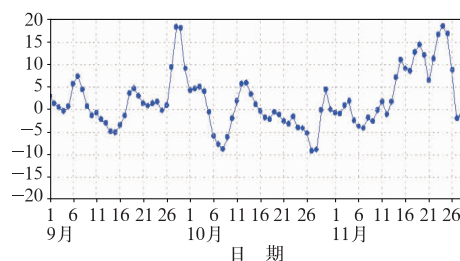


图7 2017年秋季逐日东北

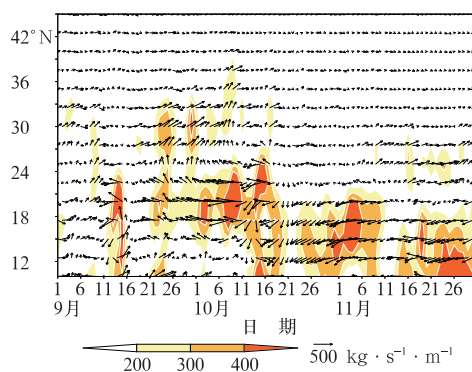
冷涡强度演变(单位:gpm)

Fig. 7 Daily evolution of Northeast vortex strength in autumn of 2017 (unit: gpm)

副高南落东撤的过程中明显减弱南退,导致11月华西—江汉—江淮一带地区降水偏少,而多雨区转至华南(图1d)。可见,与副高环流相联系的水汽输送的季节内变化,与东北冷涡的季节内活动相配合,是造成华西秋汛的重要原因。

6 拉尼娜影响

ENSO是国际上公认的最强年际信号,对我国的气候异常有显著影响(Huang and Wu, 1989; 顾薇, 2016)。关于ENSO对我国秋季气候异常的影响研究(龚道溢和王绍武, 1999; 谌芸和施能, 2003; 贾小龙等, 2008)表明,厄尔尼诺年我国秋季降水以南多北少型居多,拉尼娜年则北多南少分布的频率增加。根据国家气候中心的监测(图8),2016年6月至2017年1月赤道中东太平洋维持拉尼娜状态,2017年2月起转为厄尔尼诺状态并维持半年,此后又于8月起转为拉尼娜状态,并在秋季持续加强发展。分析表明,夏末秋初开始发展的拉尼娜事件是2017年华西秋雨异常偏多的重要年际变化外强迫因子。

图6 2017年秋季逐日东亚($110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$)整层水汽输送
(阴影为大值区)Fig. 6 Daily moisture transport of total column atmosphere over East Asia along $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ in 2017
(Shading denotes large value area)

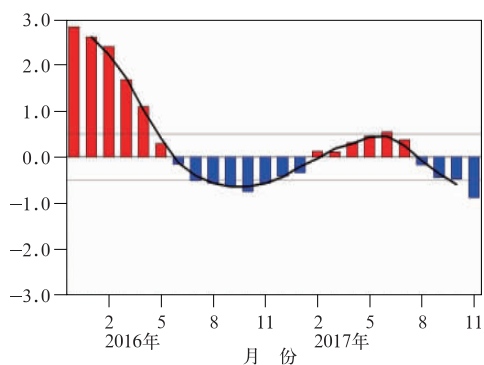


图8 Niño3.4区海温指数

逐月演变(单位: $^{\circ}\text{C}$)Fig. 8 Evolution of monthly sea surface temperature index of Niño3.4 (unit: $^{\circ}\text{C}$)

图9给出1961—2014年华西秋雨降水总量(经国家气候中心勘定)与秋季海温的相关系数分布。从图中可清楚地发现,与华西秋雨年际变化相联系的显著相关区位于中东太平洋地区,且呈现显著的负相关(通过0.01的显著性水平检验)。与2017年秋季发展的拉尼娜状态相一致的是,整个秋季赤道太平洋的海温负距平区域从东太平洋一直延伸到中太平洋(图略),中太平洋的海温异常平均接近 -0.5°C 。在拉尼娜状态的影响下,从海洋性大陆到赤道东太平洋呈现出一个异常纬向环流圈,上升支位于海洋性大陆到赤道西太平洋地区,下沉支位于赤道中东太平洋(图10a)。在经向方向,位于海洋性大陆到赤道西太平洋地区的上升支气流有利于哈

得来环流的加强(图10b),进而使得副高加强西伸,这与500和850 hPa环流异常图(图3)显示的一致。由此可见,夏末秋初的赤道中东太平洋海温异常进入拉尼娜状态是华西秋雨偏多的重要影响因子,这与贾小龙等(2008)、柳艳菊等(2012)的研究结果是一致的。除此之外,本研究还表明,年代际以上的长期变率对2017年华西秋雨的异常偏多也有重要贡献。因此,在重点关注赤道中东太平洋海温异常的基础上,进一步考虑华西秋雨的长期变率背景,可为华西秋雨异常量级的预测提供参考依据。

7 结论

本文分析了华西秋雨的多时间尺度变化特征及

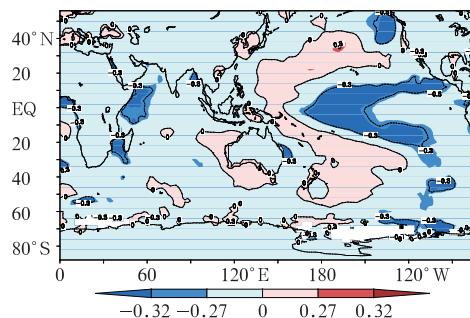
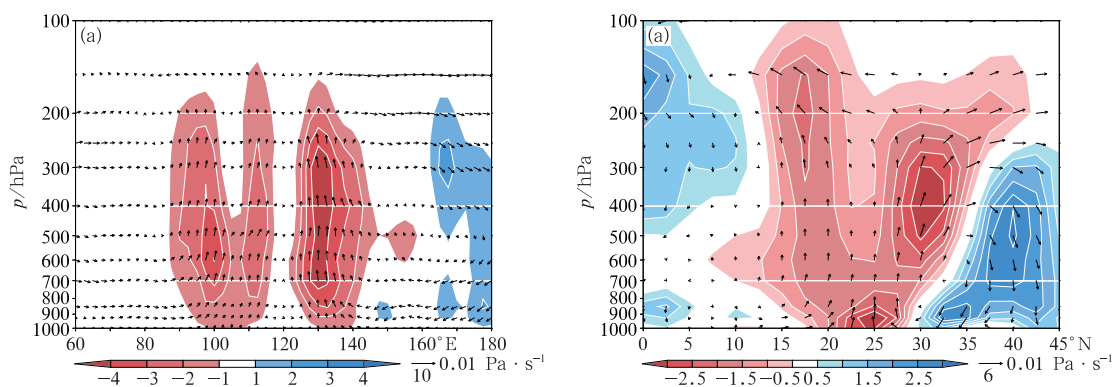


图9 华西秋雨与全球海温的相关系数

Fig. 9 Distribution of correlation coefficient between autumn rain in West China and global sea surface temperature

图10 2017年秋季赤道地区($5^{\circ}\text{S}\sim 5^{\circ}\text{N}$)平均沃克环流(a)及沿东亚东部($120^{\circ}\sim 130^{\circ}\text{E}$)经向环流(b)异常特征

(矢量,阴影为垂直速度异常)

Fig. 10 Anomalous (a) Walker circulation along the equator ($5^{\circ}\text{S}\sim 5^{\circ}\text{N}$) and (b) meridional circulation along East Asia ($120^{\circ}\sim 130^{\circ}\text{E}$) in autumn of 2017

(vector, shading area denotes anomalous vertical velocity)

其长期变率与2017年华西秋雨异常的联系,并进一步从季节内—季节环流异常、海洋外强迫年际变率影响等角度出发,诊断了2017年华西秋雨降水异常偏多的成因。主要结论如下:

(1) 20世纪60年代以来,华西秋雨存在年际(3~4、6~9 a)、年代际(12~18 a)、多年代际(准36 a)多个时间尺度的准周期变化,并自1990年以来呈现增加的长期变化趋势。年代—多年代际变化及长期变化趋势分量对华西秋雨年际异常有重要作用。2017年华西秋雨的异常偏多与其近年来的年代—多年代际变化正距平位相及长期增加的趋势背景相联系。

(2) 2017年秋季,北半球极涡偏向东亚地区,冷空气沿着贝加尔湖低槽不断分裂南下至黄河以南地区;副高异常偏强偏西,我国副热带地区对流层中层高度场以正距平为主。受偏强的副高西侧转向的西南风水汽输送和冷空气分裂南下共同影响,华西地区处于水汽输送异常辐合大值区,出现降水异常偏多。

(3) 东亚夏季风的季节内活动异常对2017年华西秋雨有重要影响。2017年9—10月,东亚夏季风的季节内撤退过程偏慢,夏季风北界位置持续偏北,对秋季主雨带维持在华西—江汉—江淮一带产生直接作用。与副高季节内异常相联系的自西太平洋经南海北上的水汽输送的季节内变化,并与东北冷涡的季节内活动相配合,是造成华西秋汛的重要原因。

(4) 夏末秋初开始发展的拉尼娜状态是2017年我国秋季降水异常的重要外强迫因子。华西秋雨年际异常与同期赤道中东太平洋海温呈现显著的负相关。在赤道中东太平洋海温负异常的影响下,海洋性大陆到赤道西太平洋地区的上升支气流有利于哈得来环流的加强,进而造成副高持续偏强偏西,是2017年华西秋雨异常偏多的重要影响背景。

致谢:感谢国家气候中心司东、李莹博士提供的部分数据和资料。感谢国家气候中心“气候系统监测—诊断—预测—评估系统”以及“气候与气候变化交互与分析系统”提供的部分产品。

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, Ablimiti, 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.我国秋季降水、温度的时空分布特征及气候变化[J].南京气象学院学报,26(5):622-630. Chen Y, Shi N, 2003. Spatial and temporal distribution of autumn precipitation and temperature in China and climatic change[J]. J Nanjing Inst Meteor, 26(5):622-630(in Chinese).

冯瑞权,王安宇,梁建茵,等,2007.南海夏季风撤退期的气候特征I——40年平均[J].热带气象学报,23(1):7-13. Fong S K, Wang A Y, Liang J Y, et al, 2007. Climatic characteristics of the retreat of South China Sea summer monsoon I—40-year means [J]. J Trop Meteor, 23(1):7-13(in Chinese).

龚道溢,王绍武,1999.近百年 ENSO 对全球陆地及中国降水的影响[J].科学通报,44(3):315-320. Gong D Y, Wang S W, 1999. Impacts of ENSO on rainfall of global land and China[J]. Chin Sci Bull, 44(9):852-857(in Chinese).

顾薇,2016.夏季热带西太平洋海温对厄尔尼诺发展阶段我国东部汛期降水的影响分析[J].气象,42(5):548-556. Gu W, 2016. Possible impact of the western tropical Pacific SSTa on precipitation during the El Niño developing summers in the eastern part of China[J]. Meteor Mon, 42(5):548-556(in Chinese).

郭其蕴,王继琴,1981.近三十年我国夏季风盛行期降水的分析[J].地理学报,36(2):187-195. Guo Q Y, Wang J Q, 1981. Interannual variations of rain spell during predominant summer monsoon over China for recent thirty years[J]. Acta Geogr Sin, 36(2):187-195(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).

柳艳菊,孙冷,孙丞虎,等,2012.2011年秋季华西秋雨异常及成因分析[J].气象,38(4):456-463. Liu Y J, Sun L, Sun C H, et al, 2012. Analysis of anomalies of autumn rain in West China in 2011 and its possible mechanism[J]. Meteor Mon, 38(4):456-463(in Chinese).

刘宗秀,廉毅,高枫亭,等,2002.东北冷涡持续活动时期的北半球500 hPa环流特征分析[J].大气科学,26(3):361-372. Liu Z X, Lian Y, Gao Z T, et al, 2002. Analyses of the Northern Hemisphere circulation characters during northeast cold vortex persistence[J]. Chin J Atmos Sci, 26(3):361-372(in Chinese).

毛江玉,吴国雄,刘屹岷,2002.季节转换期间副热带高压带形态变异及其机制的研究 I:副热带高压结构的气候学特征[J].气象学报,60(4):400-408. Mao J Y, Wu G X, Liu Y M, 2002. Study on modal variation of subtropical high and its mechanism during seasonal transition Part I: climatological features of subtropical high structure[J]. Acta Meteor Sin, 60(4):400-408(in Chinese).

施能,1988.我国秋、冬月降水、气温场的时空结构特征及其在我国初

- 夏降水预报中的应用[J]. 大气科学, 12(3):283-291. Shi N, 1988. The temporal and spacial characteristics of monthly temperature and rainfall field during autumn and winter in China and their application in early summer precipitation forecasting [J]. Chin J Atmos Sci, 12(3):283-291(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).
- 汤绪, 陈葆德, 梁萍, 等, 2009. 有关东亚夏季风北边缘的定义及其特征[J]. 气象学报, 67(1):83-89. Tang X, Chen B D, Liang P, et al, 2009. Definition and features of the north edge of Asian summer monsoon[J]. Acta Meteor Sin, 67(1):83-89(in Chinese).
- 王安宇, 梁建茵, 冯瑞权, 等, 2010. 南海夏季风撤退的气候特征 II——年代际变化[J]. 热带气象学报, 26(3):325-329. Wang A Y, Liang J Y, Fong S K, et al, 2010. Climatological characteristics of the retreat period of South China Sea summer monsoon II—interdecadal variation[J]. J Trop Meteor, 26(3):325-329(in Chinese).
- 徐桂玉, 林春育, 1994. 华西秋雨特征及成因探讨[J]. 气象科学, 14(2):149-154. Xu G Y, Lin C Y, 1994. Survey on the causes and features of autumn rain in western China[J]. Sci Meteor Sin, 14(2):149-154(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, 国家气候委员会, (2018-01-17). 2017 年中国气候公报 [EB/OL]. http://www.cma.gov.cn/root7/auto13139/201801/t20180117_460484.html#rhhz_high_light. China Meteorological Administration, National Climate Committee, (2018-01-17). China climate report in 2017 [EB/OL]. http://www.cma.gov.cn/root7/auto13139/201801/t20180117_460484.html#rhhz_high_light(in Chinese).
- 中国气象局预报与网络司, 2015. 华西秋雨监测业务规定(试行) [Z]. 气预函[2015]2 号(in Chinese). Division of Forecasting and Network of China Meteorological Administration, 2015. Operational Regulations for Autumn Rain Monitoring in West China (Trial Implementation) [Z]. [2015]No. 2 Official Letter of Division of Forecasting and Network, China Meteorological Administration(in Chinese).
- Huang N E, Shen Z, Long S R, et al, 1998. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis[J]. Proc Roy Soc London, Ser A: Math, Phys Eng Sci, 454(1971):903-995.
- Huang R H, Wu Y F, 1989. The influence of ENSO on the summer climate change in China and its mechanism[J]. Adv Atmos Sci, 6(1):21-32.
- Wu Z H, Huang N E, 2009. Ensemble empirical mode decomposition: a noise-assisted data analysis method[J]. Adv Adapt Data Anal, 1(1):1-41.