

褚颖佳,郭飞燕,尹承美,等.东部型和中部型厄尔尼诺事件对山东夏季降水的不同影响[J].海洋气象学报,2020,40(4):97-104.  
CHU Yingjia, GUO Feiyan, YIN Chengmei, et al. Different influence of eastern and central Pacific El Niño events on summer precipitation in Shandong[J]. Journal of Marine Meteorology, 2020, 40(4): 97-104. DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2020.04.011. (in Chinese)

## 东部型和中部型厄尔尼诺事件对山东夏季降水的不同影响

褚颖佳<sup>1</sup>,郭飞燕<sup>2</sup>,尹承美<sup>1</sup>,高帆<sup>1</sup>,李瑞<sup>1</sup>

(1.济南市气象局,山东 济南 250102;2.青岛市气象局,山东 青岛 266003)

**摘要:** 利用1951—2017年NOAA月平均海面温度、NCEP/NCAR的再分析资料以及中国160站月降水观测资料,通过分类合成分析方法研究了东部型(eastern Pacific, EP)和中部型(central Pacific, CP)厄尔尼诺(El Niño)事件当年及次对山东夏季降水年际变化的影响。结果表明,两类El Niño发生年,山东夏季降水均较常年显著偏少,但EP El Niño对山东夏季降水的影响强度和范围略弱于CP El Niño;EP El Niño发生年夏季,仅鲁西北部分地区以及胶州湾附近降水较常年显著偏少,而CP El Niño当年夏季山东全区降水较常年显著偏少。EP El Niño和CP El Niño次年对山东夏季降水异常的影响呈反位相,且影响大值区空间位置也完全相反:EP El Niño次年夏季山东东部尤其是半岛地区降水较常年异常偏少(青岛地区最为突出),而CP El Niño次年夏季山东中部和北部尤其是西北部地区降水较常年异常偏多。EP El Niño当年和次年夏季、CP El Niño当年夏季500 hPa高度场异常分布形势不利于西北太平洋副热带高压的北上,850 hPa风场为偏北风和偏东风异常,山东水汽输送条件差,水汽无明显辐合,造成大部分地区降水偏少。CP El Niño次年夏季西北太平洋副热带高压偏强,位置偏西偏北,850 hPa显著西南风场异常,山东中西部水汽辐合明显,这些是降水偏多的重要原因。

**关键词:** 东部型厄尔尼诺事件;中部型厄尔尼诺事件;夏季降水

**中图分类号:** P47;P462.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-3599(2020)04-0097-08

**DOI:** 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2020.04.011

## Different influence of eastern and central Pacific El Niño events on summer precipitation in Shandong

CHU Yingjia<sup>1</sup>, GUO Feiyan<sup>2</sup>, YIN Chengmei<sup>1</sup>, GAO Fan<sup>1</sup>, LI Rui<sup>1</sup>

(1. Jinan Meteorology Bureau, Jinan 250102, China; 2. Qingdao Meteorology Bureau, Qingdao 266003, China)

**Abstract** Based on the monthly mean sea surface temperature data from NOAA, NCEP/NCAR reanalysis data, and monthly mean precipitation observation data of 160 stations in China from 1951 to 2017, the influence of eastern Pacific (EP) El Niño and central Pacific (CP) El Niño events in the developing years and the following years on the interannual variability of summer precipitation in Shandong is investigated using composite analysis method. The conclusions are as follows. In the developing years of the two types of El Niño events, the summer precipitation is both significantly less than that in the normal years, and the influence intensity and range of EP El Niño on the summer

收稿日期:2020-03-09; 修订日期:2020-03-23

基金项目:中国气象局预报员专项(CMAYBY2019-063);济南市科技局社会民生重大专项(201704137);山东省气象局重点科研项目(2016sdqx05);淮河流域气象开放基金项目(HRM201601);山东省气象局预报员专项(SDYBY2017-07)

第一作者:褚颖佳,女,硕士,工程师,主要从事海气相互作用、灾害性天气研究,ouceyj2009@163.com。

通信作者:郭飞燕,女,博士,高级工程师,主要从事海气相互作用、气候变化、强对流天气研究,guofeiyan01@163.com。

precipitation in Shandong are slightly weaker than those of CP El Niño. In the developing summer of EP El Niño, there is significantly less precipitation in partial areas of the northwest of Shandong and near the Jiaozhou Bay, while in the developing summer of CP El Niño, there is significantly less precipitation in the whole province. The influence of EP El Niño and CP El Niño in the following years on the summer precipitation anomaly in Shandong shows a feature of out-of-phase, and the spatial positions of high-value zones are exactly the opposite. In the following summer of EP El Niño, there is anomalously less precipitation than that in the normal years in the east of Shandong, especially in Shandong Peninsula (Qingdao area is the most prominent), while in the following summer of CP El Niño, there is anomalously more precipitation than that in the normal years in the central and northern Shandong, especially in the northwest of Shandong. In the developing and following summer of EP El Niño and the developing summer of CP El Niño, the distributions of geopotential height anomalies at 500 hPa are not beneficial for the western North Pacific subtropical high to proceed northward, and there are northerly and easterly wind anomalies at 850 hPa, which is unfavorable for the water vapor transport to Shandong. Besides, there is no obvious water vapor convergence in Shandong. All those above result in less precipitation in most areas of Shandong. In the following summer of CP El Niño, the western North Pacific subtropical high tends to be stronger and extends westward and northward, which leads to significant southwesterly wind anomalies at 850 hPa, the water vapor convergence is obvious in the central and western Shandong, and therefore, there is more precipitation.

**Key words** EP El Niño event; CP El Niño event; summer precipitation

## 引言

厄尔尼诺-南方涛动(El Niño - Southern Oscillation, ENSO)是发生在热带太平洋地区大尺度的海-气耦合现象<sup>[1-2]</sup>,表现为显著的海面温度异常,其发生往往伴随着全球天气、气候异常<sup>[3-6]</sup>。厄尔尼诺(El Niño)发生年夏季,热带西太平洋和亚洲上空的东亚-太平洋(EAP)<sup>[7]</sup>遥相关型影响东亚阻塞高压的年际变化和西北太平洋副热带高压(以下简称“西太副高”)的位置变化<sup>[8-9]</sup>,从而引起我国江淮流域的降水<sup>[10]</sup>和气温异常。龚道溢和王绍武<sup>[11]</sup>、宗海锋等<sup>[12]</sup>、郭飞燕等<sup>[13]</sup>就 ENSO 冷暖位相对我国不同季节、不同区域的气温、降水等方面的影响做了研究。

20世纪80年代开始,多位科学家发现热带太平洋 El Niño 并非只有一种<sup>[14-15]</sup>。El Niño 事件一般可根据其周期性、传播方向、爆发时间或与之相关的纬向海面温度结构<sup>[16-17]</sup>进行分类。在以上多种 El Niño 的分类方法中,最常用的指标特性是海面温度异常中心位置在赤道太平洋所处位置。传统的 El Niño 是指海面温度正异常首先出现在赤道东太平洋,而近些年提出来的新型 El Niño 事件则是海面温度正异常出现在中太平洋,这类 El Niño 事件被称为“Modoki El Niño”<sup>[17]</sup>、“日界线 El Niño”<sup>[18]</sup>、

“中部型(central Pacific, CP) El Niño”<sup>[19]</sup>或“暖池 El Niño”<sup>[20]</sup>。CP El Niño 的发生机理<sup>[19-20]</sup>以及对热带大气的响应<sup>[17,21]</sup>上与传统 El Niño 有显著的差异,尽管其对全球大部分地区气温和降水也同样产生极大的影响,但在具体影响途径等上与传统 El Niño 有极大的差别<sup>[22]</sup>。ASHOK et al.<sup>[17]</sup>指出 CP El Niño 在不同季节对日本、新西兰、美国西海岸等地区的影响甚至与传统的东部型(eastern Pacific, EP) El Niño 的影响效应完全相反。YUAN and YANG<sup>[21]</sup>发现在当年夏季,CP El Niño 对东亚气候的影响要比 EP El Niño 强,而在其次年夏季 EP El Niño 对东亚气候的影响更显著。王森等<sup>[23]</sup>发现不同类型的 El Niño 事件与夏季西太副高强度、西伸脊点以及脊线位置关系密切,且影响夏季风的强弱变化。袁媛等<sup>[24]</sup>研究了不同类型 El Niño 对中国夏季降水的影响,指出 EP El Niño 和 CP El Niño 事件可能导致中国雨带呈南方型和中间型。

山东省地处中国南北方气候过渡带,多位学者指出 El Niño 事件对山东降水影响明显<sup>[25-29]</sup>。在讨论 El Niño 对山东夏季降水的影响时不仅要区分是哪种类型的 El Niño,同时要指明当年还是次年,否则得到的结论将可能完全相反。本文对 1951—2017 年的 El Niño 事件进行分类,对比研究 EP El Niño 和 CP El Niño 事件当年和次年对山东夏季降

水的影响, 以期为山东夏季降水的预测、预报提供科学的参考依据。

## 1 资料与方法

本文中气象观测资料使用了1951年1月—2017年12月中国160个站点的月平均降水观测资料, 通过线性插值的方法将站点数据转化为格点数据, 然后对山东行政区域以外的数据进行屏蔽。采用美国国家海洋和大气管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)扩充重建海面温度(Extended Reconstructed Sea Surface Temperature, Version 4, ERSST V4), 空间分辨率为 $2.0^{\circ} \times 2.0^{\circ}$ 。位势高度、风场、比湿数据使用的是美国国家环境预报中心/国家大气研究中心(NCEP/NCAR)的再分析资料, 空间分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。ENSO是最强年际变化信号, 因此本文所用到的物理量在扣除年循环的基础上, 通过带通滤波的方式将年际变化信号之外即季节变化以下和年代际变化以上的噪声过滤掉, 仅保留了4~108个月之间的信号。

研究中用Niño3区( $150^{\circ}W \sim 90^{\circ}W, 5^{\circ}N \sim 5^{\circ}S$ )平均海面温度异常(sea surface temperature anomaly, SSTa)的Niño3指数表征EP El Niño的振幅, 用ASHOK et al.<sup>[17]</sup>定义的EMI指数(El Niño Modoki index)来表征CP El Niño的振幅, EMI指数( $I_{EM}$ )公式如下:

$$I_{EM} = A_{SSTA} - 0.5 \times B_{SSTA} - 0.5 \times C_{SSTA} \quad (1)$$

式中,  $A_{SSTA}$ 、 $B_{SSTA}$ 、 $C_{SSTA}$ 分别代表A区域( $165^{\circ}E \sim 140^{\circ}W, 10^{\circ}S \sim 10^{\circ}N$ )、B区域( $110^{\circ}W \sim 70^{\circ}W, 15^{\circ}S \sim 5^{\circ}N$ )、C区域( $125^{\circ}E \sim 145^{\circ}E, 10^{\circ}S \sim 20^{\circ}N$ ) SSTa的区域平均。以Niño3和EMI指数超过0.75个标准差且持续5个月以上并结合海面温度异常的空间分

布特征筛选出EP El Niño和CP El Niño事件, 与陈梦燕等<sup>[30]</sup>的分类方法相同。本文采用分类合成分析法研究EP El Niño和CP El Niño当年和次年对山东夏季降水年际变化的影响。

## 2 1951—2017年东部型与中部型El Niño事件

图1为1951—2017年期间Niño3指数和EMI指数时间序列, Niño3指数(蓝色实线)振幅远大于EMI指数(红色实线), 由此表明EP El Niño要比CP El Niño事件强。67 a间热带太平洋分别发生11次EP El Niño事件和7次CP El Niño事件(表1), 这一分类结果与陈梦燕等<sup>[30]</sup>的结果基本一致。EP El Niño事件不仅强度偏强, 发生频次也较CP El Niño事件偏多, 历史上最强的几次El Niño如1972、1982、1997、2015年, 均属于EP El Niño事件, 而历史上相对较弱的几次El Niño如1992、2002年等均属于CP El Niño事件, 这一结果与袁媛和晏红明<sup>[31]</sup>的研究一致。1994年历来是比较有争议的一年, 依据本文的标准定义1994年为CP El Niño年。CAI et al.<sup>[32]</sup>指出在未来温室气体效应的进一步影响下, EP ENSO事件的强度将进一步增强。两类El Niño发生频次、强度、空间形态不同, 尤其是海面温度异常中心位置不同会引起不同的环流异常<sup>[33]</sup>, 那么通过大气过程对不同区域气候的影响也势必会有显著差异。本文将El Niño事件发生的当年称为El Niño当年, 而事件发生年的第二年称为El Niño次年, 主要分析El Niño当年和次年山东夏季降水变化特征。下一节分别就两类El Niño事件当年及次年对山东地区夏季降水的影响进行研究。

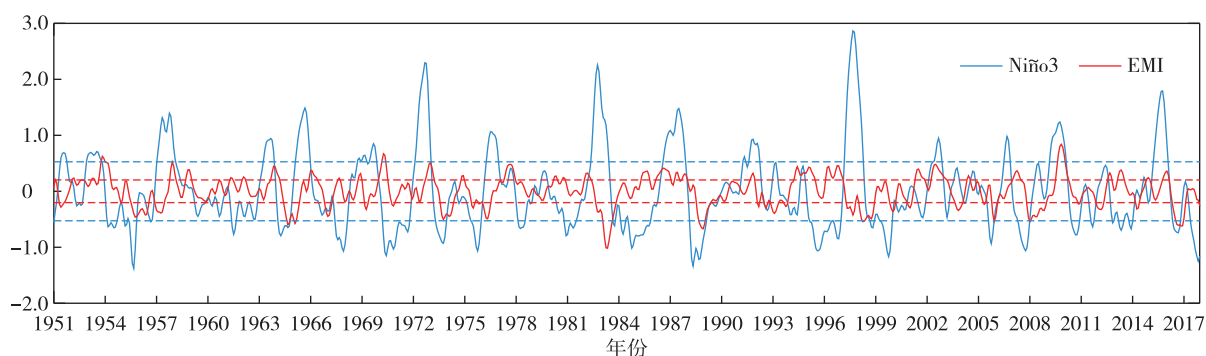


图1 Niño3(蓝色实线)和EMI指数(红色实线)的时间序列(单位:  $^{\circ}C$ ) (蓝色虚线和红色虚线分别表示 $\pm 0.75$ 个Niño3和EMI指数的标准差)

Fig.1 Times series of Niño3 index (blue solid line) and EMI (El Niño Modoki index, red solid line) (units:  $^{\circ}C$ ) (blue and red dashed lines indicate the  $\pm 0.75$  standard deviation of Niño3 index and EMI)

表1 1951—2017年 EP El Niño 和 CP El Niño 事件年份

Table 1 EP El Niño and CP El Niño events from 1951 to 2017

类型	年份
EP El Niño	1951, 1957, 1965, 1972, 1976, 1982, 1987, 1991, 1997, 2006, 2015
CP El Niño	1963, 1968, 1977, 1986, 1994, 2002, 2009

### 3 EP El Niño 和 CP El Niño 当年和次年山东夏季降水异常特征分析

为了对比研究山东夏季降水在两类 El Niño 事件当年、次年的响应差异,对 EP El Niño 和 CP El Niño 当年和次年山东夏季降水异常进行分类分析(图2)。两类 El Niño 当年,山东夏季降水均较常年显著偏少,但 CP El Niño 背景下,山东夏季干旱更为严重,范围也更广,这与 YUAN and YANG<sup>[21]</sup> 结果相符合,两者造成山东降水偏少的空间分布差异显著。EP El Niño 当年夏季,聊城西部、德州西部、滨州北部、青岛西部地区降水量较常年偏少 60 mm 以上(超过信度检验),负的降水量异常自西北向东南递减,鲁南以及半岛东部降水量无明显异常(图2a)。CP El Niño 当年夏季,山东全省降水量整体较常年异常偏少,鲁中东部和半岛西部地区降水较常年偏少尤为严重,偏少可达 60 mm 以上(图2b)。

两类 El Niño 在其次年对山东夏季降水的影响

非常显著,甚至超过其当年对山东夏季降水的影响强度(图2c和2d)。EP El Niño 次年夏季,山东东部尤其是半岛地区降水较常年异常偏少,全省几乎 1/3 地区降水较常年偏少 60 mm 以上(图2c,超过信度检验),青岛地区降水偏少最为突出。CP El Niño 次年夏季,山东中部和北部地区降水较常年异常偏多,尤其是山东西北部地区(约占 1/3 山东地区)偏多 60 mm 以上(图2d,超过信度检验),这与其在当年夏季对山东降水的影响完全相反。EP El Niño 和 CP El Niño 次年对山东夏季降水异常的影响呈反位相,且影响大值区空间位置也完全相反,前者在东南后者在西北。由此可知,不同类型 El Niño 以及在其当年和次年对山东夏季降水的影响不仅在强度、空间分布和范围上存在较大差异,对降水异常正负位相的影响上也存在较大的差别。因此在做夏季降水气候预报预测时,对 El Niño 进行细致的分类分析是非常有必要的。

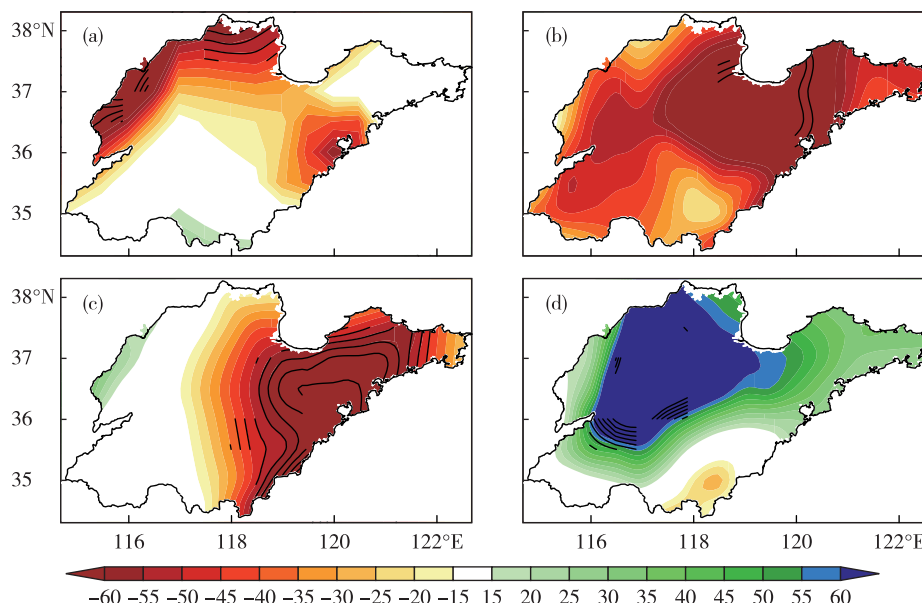


图2 EP El Niño (a/c) 和 CP El Niño (b/d) 当年 (a/b) 和次年 (c/d) 山东夏季降水异常合成图(等值线区域表示通过 85% 信度的显著性检验;填色,单位:mm)

Fig.2 Summer precipitation anomaly composites in Shandong during the developing years (a/b) and the following years (c/d) of EP El Niño (a/c) and CP El Niño (b/d) events (contour areas denote passing the significance test at 85% level; colored, units: mm)

### 4 两类 El Niño 对山东夏季降水影响的成因分析

El Niño 事件发生时,热带太平洋海面温度异常引起大气环流的改变,从而导致降水分布的异常。由于两类 El Niño 发生频次、强度、空间形态不同,尤其是海面温度异常中心位置不同会引起不同的环流异常<sup>[33]</sup>,进而可能会引起截然不同的气候响应。

#### 4.1 高空环流形势分析

由 1951—2017 年夏季 500 hPa 平均高度场(图 3 黑色实线)可以看出,亚洲中高纬地区以纬向环流为主,我国东北至黄淮一带受浅槽的控制,山东处于槽底部。副热带高压的 584 dagpm 等值线穿过江苏境内,588 dagpm 等值线呈舌形,位于 135°E 以东的海面上,副热带高压脊线在 27°N 附近。

EP El Niño 当年夏季(图 3a),贝加尔湖以西位势高度异常偏高,我国东部地区至日本及海上存在一显著的位势高度负异常区,表明该区域受异常低压槽的影响,我国北方处于低压槽后,冷空气较为强盛。山东上空位势高度的负异常自西向东愈加明显(图 3a),此种环流形势不利于副热带高压北抬。正如图 4a 所示,在 EP El Niño 背景下,夏季副热带高压较平均位置偏南,强度偏弱,不利于南方水汽向高纬度输送,导致了山东尤其是偏北部地区降水偏少。CP El Niño 当年夏季(图 3b),亚欧大陆位势高度异常场为“+-”形式,贝加尔湖上空受异常高压控制,乌拉尔山和朝鲜半岛上空均为异常低压形势,包括山东在内的中国东部处于低压异常的后部。副热带高压位置接近常年,但 588 dagpm 等值线明显东缩强度偏弱(图 4a)。

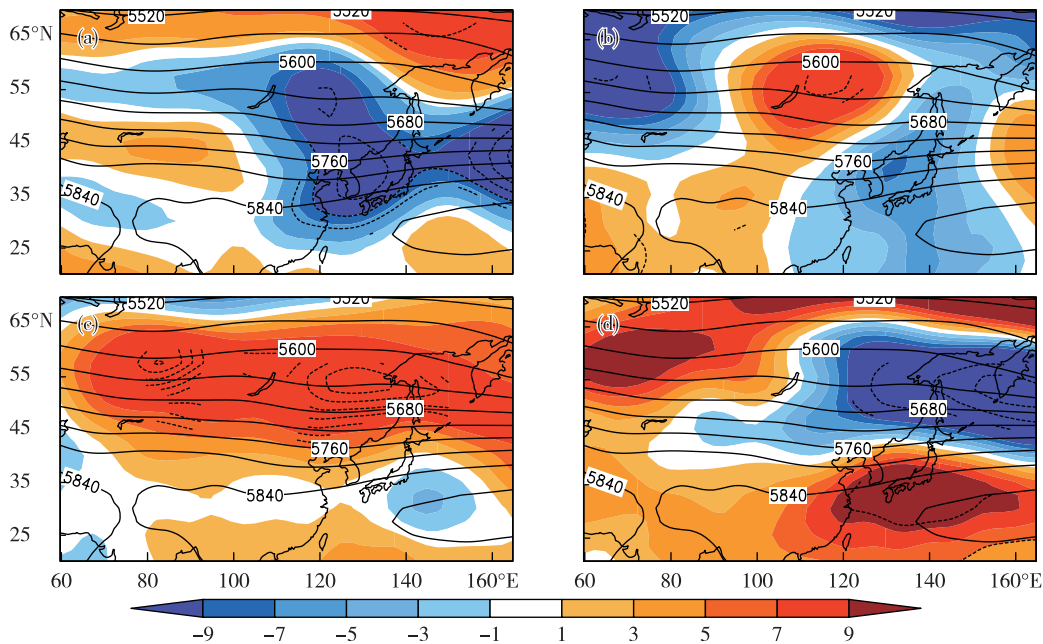


图 3 EP El Niño(a/c)和 CP El Niño(b/d)当年(a/b)和次年(c/d)夏季 500 hPa 位势高度距平合成(填色)和 500 hPa 高度场夏季气候平均(实线等值线)(虚线区域表示通过 85%信度的显著性检验;单位:gpm)

Fig.3 Summer geopotential height anomaly composites (colored) at 500 hPa and climate mean at summer geopotential height field at 500 hPa (solid contour) during the developing years (a/b) and the following years (c/d) of EP El Niño (a/c) and CP El Niño (b/d) events (dotted line areas denote passing the significance test at 85% level; units: gpm)

EP El Niño 次年夏季(图 3c),亚洲中高纬度位势高度呈东西带状型正异常分布,范围从乌拉尔山一直到鄂霍次克海以东,亚洲大陆北部包括山东地区在内受强大的异常高压控制,对流受到抑制,因此不利于夏季降水的发生。副热带高压脊线位置和 584 dagpm 等值线接近常年,但副热带高压较常年西伸明显,强度也有所增强(图 4b),无法为山东地区提供更为有利的水汽供应条件。山东以南无

有利水汽输送,以北地区又无明显冷空气配合,这样的环流形势下不利于山东夏季降水的增多。CP El Niño 次年夏季(图 3d),乌拉尔山和日本南部上空各存在一个显著的正异常中心,鄂霍次克海上空为负异常中心。山东地区高空处于强大异常高压中心的西北部,高空有明显的西南风异常(图 3d)。副热带高压西伸明显,强度异常偏强,位置较常年显著偏北,584 dagpm 等值线压至山东南界(图 4b)。

结合 500 hPa 高度场异常和 850 hPa 风场异常可进一步发现,山东位于副热带高压外围,山东尤其是北部地区处于副热带高压边缘,是南方暖湿气流和

北方冷空气交汇最频繁的地区,造成同期山东北部降水量较常年偏多超过 60 mm(图 2d)。

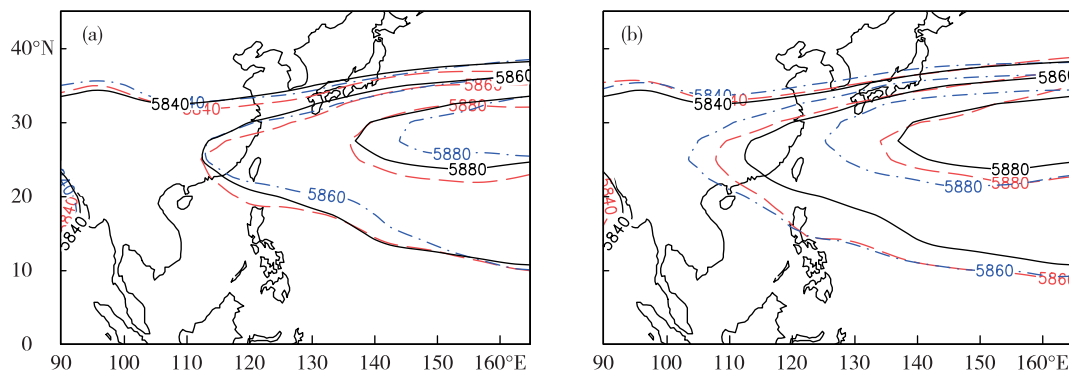


图4 两类 El Niño 当年(a)及次年(b)夏季西太副高 5 840 gpm、5 860 gpm、5 880 gpm 合成(黑线为气候平均态,红线为 EP El Niño 事件,蓝线为 CP El Niño 事件)

Fig.4 Composites of 5 840 gpm, 5 860 gpm, and 5 880 gpm contours of the western Pacific subtropical high in the summer (a) and following summer (b) of the two types of El Niño events (black line for climatological mean, red line for EP El Niño event, blue line for CP El Niño event)

#### 4.2 水汽条件分析

吴萍等<sup>[34]</sup>研究发现,低层风场异常致使水汽输送条件差是导致两类 El Niño 当年中国大部分地区夏季降水偏少的原因。而水汽的输送和辐合的情

况直接影响着降水的分布。下面分析两类 El Niño 事件当年和次年夏季 850 hPa 风场和整层(地面至 500 hPa)的水汽通量散度(图 5)。

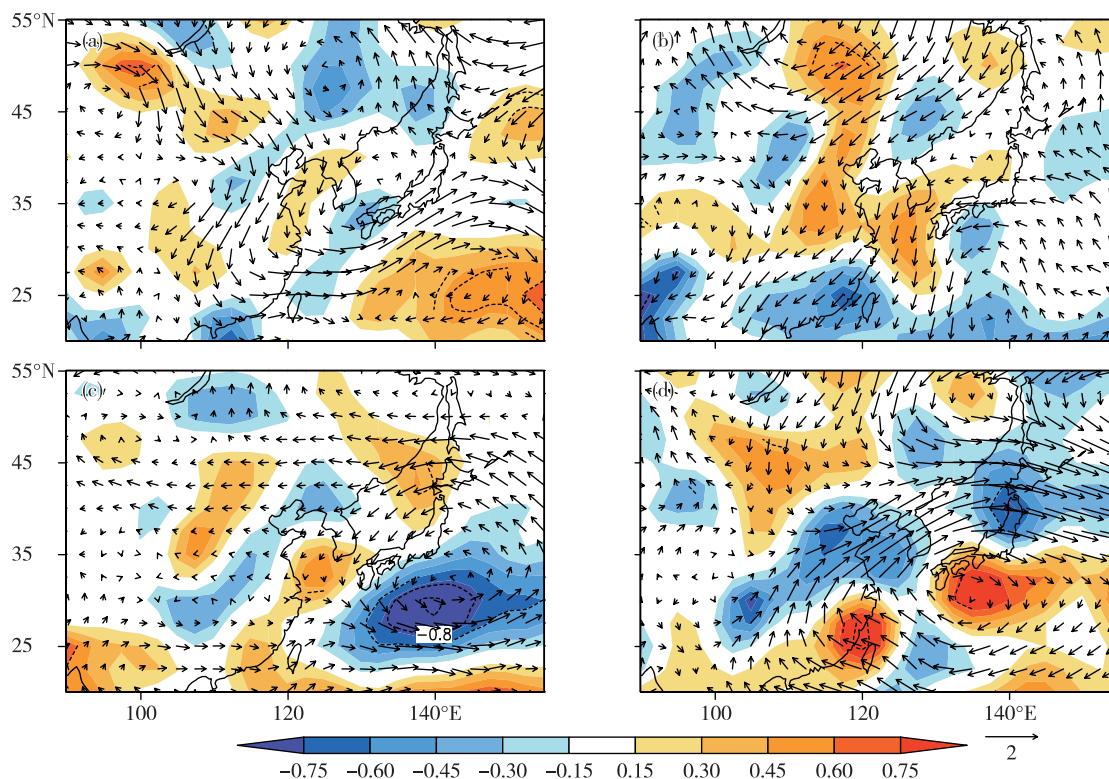


图5 EP El Niño(a/c)和CP El Niño(b/d)当年(a/b)和次年(c/d)夏季 850 hPa 风场异常(矢线,单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )和整层水汽通量散度异常(填色,单位: $10^{-5} \text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )合成(虚线区域表示通过 85%信度的显著性检验)

Fig.5 Composites of wind anomaly (arrow, units:  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) at 850 hPa and vertically integrated water vapor flux divergence anomaly (shaded, units:  $10^{-5} \text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) during the developing summer (a/b) and the following summer (b/d) of EP El Niño (a/c) and CP El Niño events (b/d) (dotted line areas denote passing the significance test at 85% level)

EP El Niño 当年夏季(图 5a),山东地区尤其是山东西北部地区低层 850 hPa 为相对干冷的东北风异常,且山东地区上空为弱的水汽通量散度正异常,总体而言山东地区水汽条件较差不利于降水的发生,因此 EP El Niño 当年山东夏季降水偏少(图 2a)。CP El Niño 当年夏季(图 5b),包括山东在内的中国东部地区 850 hPa 为偏北风异常,长江及以南地区上空处于显著的偏东北风异常,表明水汽输送能力较常年偏弱,来自低纬度的水汽难以到达山东,山东境内水汽通量异常辐散,不利于降水,对应全省降水量异常偏少(图 2b)。

EP El Niño 次年夏季(图 5c),山东上空 850 hPa 处于偏东风异常区,除西部小范围地区,山东大部分地区无水汽辐合,造成降水异常偏少(图 2c)。CP El Niño 次年夏季(图 5d),山东及以南地区 850 hPa 风场为西南风异常,山东上空西南风风速较常年偏大接近  $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,山东全省水汽通量异常辐合,来自南方的暖湿气流源源不断地被输送至山东,造成同期降水显著偏多(图 2d)。

## 5 结果与结论

本文利用 1951 年 1 月—2017 年 12 月 NOAA ERSST V4 月平均海面温度和 NCEP/NCAR 位势高度、风场、比湿再分析数据以及中国 160 个站点的月平均气温和降水观测资料,使用 Niño3 和 EMI 指数并结合逐月海面温度异常空间分布场,对 EP El Niño 和 CP El Niño 事件进行了分类对比分析。1951—2017 年热带太平洋分别发生 11 次 EP El Niño 和 7 次 CP El Niño,EP El Niño 事件不仅强度偏强,发生频次也较 CP El Niño 事件偏多。同时采用合成分析的方法,揭示了两类 El Niño 事件与山东夏季降水异常的关系,并从 500 hPa 环流、西太副高的位置和强度、850 hPa 风场、整层水汽通量散度多方面分析了导致地面降水量异常的原因。通过本文的研究得出以下结论。

1) 两类 El Niño 发生当年,山东夏季降水均较常年显著偏少,但 EP El Niño 对山东夏季降水的影响强度和范围略弱于 CP El Niño;EP El Niño 发生年夏季,仅鲁西北部分地区以及胶州湾附近降水较常年显著偏少,而 CP El Niño 当年夏季山东全区降水较常年显著偏少。EP El Niño 和 CP El Niño 次年对山东夏季降水异常的影响呈反位相,且影响大值区空间位置也完全相反:EP El Niño 次年夏季山东东部尤其是半岛地区降水较常年异常偏少(青岛地

区最为突出),而 CP El Niño 次年夏季山东中部和北部尤其是西北部地区降水较常年异常偏多。不同类型 El Niño 以及在其当年和次年对山东夏季降水的影响不仅在强度、空间分布和范围上存在较大差异,对降水异常正负位相的影响上也存在较大的差别。因此在做夏季降水气候预报预测时,对 El Niño 进行细致的分类分析是非常有必要的。

2) 两类 El Niño 事件当年及次年夏季,高空环流形势和水汽输送条件的明显差异造成了山东夏季不同的降水异常分布。EP El Niño 当年夏季,山东地区高空受异常低压后部影响,850 hPa 为相对于干冷的东北风异常,冷空气较常年偏强,但副热带高压较平均位置偏南强度偏弱,山东地区上空为弱的水汽通量散度正异常,不利于南方水汽向高纬度输送,从而导致山东尤其是偏北部降水偏少;CP El Niño 当年夏季,与 EP El Niño 年相比,山东高层受弱低压异常的影响,低层 850 hPa 为弱的偏北风异常,水汽输送条件较差,山东境内水汽通量辐散,对应地面降水量异常偏少。EP El Niño 次年夏季,亚洲中高纬度位势高度呈带状型显著正异常分布,北方亚洲大陆包括山东地区在内受强大的异常高压控制,对流受到抑制,且无有利的水汽辐合区,导致同期地面降水量显著偏少。CP El Niño 次年夏季,山东地区高空处于强大异常高压中心的西北部,高空有明显的西南风异常,850 hPa 也为明显的西南风异常,高低空均为有利的暖湿气流,整层水汽通量为辐合异常,水汽条件非常有利于夏季降水的发生。同时副热带高压西伸明显,强度异常偏强,位置显著偏北,山东尤其是北部地区处于副热带高压边缘暖湿气流和北方冷空气交汇最频繁的地区,与有利的水汽条件配合,从而使得降水显著偏多。

## 参考文献:

- [1] BJERKNES J. Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific [J]. *Mon Wea Rev*, 1969, 97(3): 163-172.
- [2] WALLACE J M, RASMUSSEN E M, MITCHELL T P, et al. On the structure and evolution of ENSO-related climate variability in the tropical Pacific: Lessons from TOGA[J]. *J Geophys Res: Oceans*, 1998, 103(C7): 14241-14259.
- [3] VAN LOON H, MADDEN R A. The Southern Oscillation. Part I: Global associations with pressure and temperature in northern winter[J]. *Mon Wea Rev*, 1981, 109(6):1150-1162.

- [4] ROPELEWSKI C F, HALPERT M S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation [J]. *Mon Wea Rev*, 1987, 115(8):1606-1626.
- [5] TRENBERTH K E, CARON J M. The Southern Oscillation revisited: Sea level pressures, surface temperatures, and precipitation [J]. *J Climate*, 2000, 13(24):4358-4365.
- [6] ALEXANDER M A, BLADÉ I, NEWMAN M, et al. The atmospheric bridge: The influence of ENSO teleconnections on air-sea interaction over the global oceans [J]. *J Climate*, 2002, 15(16): 2205-2231.
- [7] 黄荣辉,李维京.夏季热带西太平洋上空的热源异常对东亚上空副热带高压的影响及其物理机制[J].*大气科学*, 1988, 12(增刊):107-116.
- [8] 陆日宇,黄荣辉.东亚-太平洋遥相关波列对夏季东北亚阻塞高压年际变化的影响[J].*大气科学*, 1998, 22(5):727-734.
- [9] 陆日宇.与华北地区春季降水量异常关联的大气环流异常[J].*气候与环境研究*, 2001, 6(4): 400-408.
- [10] 朱益民,杨修群,陈晓颖,等. ENSO 与中国夏季年际气候异常关系的年代际变化[J].*热带气象学报*, 2007, 23(2):105-116.
- [11] 龚道溢,王绍武. ENSO 对中国四季降水的影响[J].*自然灾害学报*, 1998, 7(4):44-52.
- [12] 宗海锋,陈烈庭,张庆云. ENSO 与中国夏季降水年际变化关系的不稳定性特征[J].*大气科学*, 2010, 34(1):184-192.
- [13] 郭飞燕,左卫强,郭飞龙,等.伴随 IOD 型和独立型 ENSO 对山东气候年际变化的影响[J].*海洋气象学报*, 2017, 37(4):34-48.
- [14] FU C B, DIAZ H F, FLETCHER J O. Characteristics of the response of sea surface temperature in the central Pacific associated with warm episodes of the Southern Oscillation [J]. *Mon Wea Rev*, 1986, 114(9): 1716-1739.
- [15] YASUNARI T. Zonally propagating modes of the global east-west circulation associated with the Southern Oscillation [J]. *J Meteor Soc Japan*, 1985, 63(6): 1013-1029.
- [16] HORII T, HANAWA K. A relationship between timing of El Niño onset and subsequent evolution [J]. *Geophys Res Lett*, 2004, 31(6):L06304.
- [17] ASHOK K, BEHERA S K, RAO S A, et al. El Niño Modoki and its possible teleconnection [J]. *J Geophys Res: Oceans*, 2007, 112(C11):C11007.
- [18] LARKIN N K, HARRISON D E. Global seasonal temperature and precipitation anomalies during El Niño autumn and winter [J]. *Geophys Res Lett*, 2005, 32(16):L16705.
- [19] KAO H Y, YU J Y. Contrasting eastern-Pacific and central-Pacific types of ENSO [J]. *J Climate*, 2009, 22(3):615-632.
- [20] KUG J S, JIN F F, AN S I. Two types of El Niño events: Cold tongue El Niño and warm pool El Niño [J]. *J Climate*, 2009, 22(6):1499-1515.
- [21] YUAN Y, YANG S. Impacts of different types of El Niño on the East Asian climate: Focus on ENSO cycles [J]. *J Climate*, 2012, 25(21):7702-7722.
- [22] WENG H Y, ASHOK K, BEHERA S K, et al. Impacts of recent El Niño Modoki on dry/wet conditions in the Pacific rim during boreal summer [J]. *Climate Dyn*, 2007, 29(2):113-129.
- [23] 王森,曹润东,姚瑶,等.东部型、中部型 ENSO 影响长江流域降水的调查与分析[J].*资源节约与环保*, 2017(4):65-67.
- [24] 袁媛,杨辉,李崇银.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*, 2012, 70(3):467-478.
- [25] 王常山,王庆,夏艳玲,等.1961~2011年山东地区气温变化的区域差异特征及突变分析[J].*鲁东大学学报(自然科学版)*, 2013, 29(4):353-360.
- [26] 马露,杨东,曾婷.1961—2012年山东省气候变化特征及其与 ENSO 的关系[J].*中国农学通报*, 2015, 31(16):241-249.
- [27] 孟祥新,王娜,商林.海温异常对山东夏季降水的影响分析[J].*气象*, 2017, 43(10):1259-1266.
- [28] 郭飞燕,毕玮,郭飞龙,等.山东气候年际变化特征及其与 ENSO 的关系[J].*海洋与湖沼*, 2017, 48(3):465-474.
- [29] 李媛,李瑞芬,张熙.不同分布型 El Niño 事件对山东次年夏季降水的影响[J].*干旱气象*, 2019, 37(5):762-770.
- [30] 陈梦燕,王鑫,刘钦燕,等.南海海温在两类 El Niño 衰退期的季节响应差异[J].*热带海洋学报*, 2017, 36(1):1-8.
- [31] 袁媛,晏红明.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*, 2012, 57(34):3312-3322.
- [32] CAI W J, WANG G J, DEWITTE B, et al. Increased variability of eastern Pacific El Niño under greenhouse warming [J]. *Nature*, 2018, 564(7735):201-206.
- [33] 董宇佳,孟祥凤.两类 ENSO 事件分类的研究进展[J].*海洋环境科学*, 2015, 34(3):473-480.
- [34] 吴萍,丁一汇,柳艳菊.厄尔尼诺事件对中国夏季水汽输送和降水分布影响的新研究[J].*气象学报*, 2017, 75(3):371-383.