

# 两次超强厄尔尼诺事件海温异常与次年中国东部夏季降水特征对比

罗婷<sup>①②\*</sup>,李丽平<sup>③</sup>,王远清<sup>①②</sup>

① 海南省三亚市气象局,海南 三亚 572000;

② 海南省气象防灾减灾重点实验室,海南 海口 570203;

③ 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/气象灾害教育部重点实验室/大气科学学院,江苏 南京 210044

\* 联系人,E-mail:yustsy@163.com

2017-09-01 收稿,2017-12-24 接受

海南省气象局青年基金资助项目(HNQXQN201610)

**摘要** 利用 NOAA 逐月海表温度(SST)资料,NCEP/NCAR 风场、高度场和比湿再分析资料和国家信息中心提供的 753 站逐日降水资料,对比分析了 1997/1998 年和 2015/2016 年两次强厄尔尼诺事件的海温异常分布特征、次年中国东部夏季降水以及环流异常特征,结果表明:1)2015/2016 的厄尔尼诺事件是自 1950 年以来持续时间最长,强度最强的一次事件,日界线附近的海温较 1997/1998 年的偏高。2)1997/1998 年厄尔尼诺事件次年华南西部、江南北部到长江流域、黄淮北部到华北南部以及我国东北地区降水较常年偏多。而 2015/2016 年厄尔尼诺事件次年降水范围和强度相对较小,强降雨带主要分布在长江流域一带、黄淮地区和华北一带及河套北部。3)1997/1998 年事件次年夏季西北太平洋副热带高压强盛,位置偏西,脊线偏南,向上垂直质量输送异常偏强、高低层水平风场配合以及水汽通量异常辐合偏强均有利于长江流域一带以及我国东北地区降水产生,而 2015/2016 年事件次年的副高相对偏弱,且脊线位置偏北、偏东,水平、垂直异常环流和水汽偏弱,因此降水范围和程度较 1997/1998 年的偏弱。从海温分布型和次年对我国东部夏季降水造成的影响上看,2015/2016 年的超强厄尔尼诺事件有别于传统东部型事件。

## 关键词

厄尔尼诺;  
东部降水;  
水平风场;  
垂直质量输送;  
水汽通量

厄尔尼诺-南方涛动(ENSO)现象是一种年际尺度上的海气相互作用的现象,主要体现为热带太平洋和大气环流的年际异常,并可以影响全球气候环境的变化,对我国的天气气候有着重要影响(Huang et al.,2004)。ENSO 被认为是调节亚洲季风年际变化的一个重要因素(Lau and Weng,2001),东亚夏季风在厄尔尼诺衰减年异常偏强(Zhou et al.,2014)。在厄尔尼诺发展盛期的冬季到次年春季,中国东南部降水异常偏多,到了衰减期夏季,降水正异常出现在长江中下游和淮河流域(Wu et al.,2009)。

自 1951 年有观测数据以来,全球共发生 14 次厄尔尼诺事件,其中超强厄尔尼诺事件共有 3 次,分别是 1982/1983 年、1997/1998 年和 2015/2016 年(邵颢和周兵,2016)。对于前两次超强厄尔尼诺事件,近年来,许多学者从不同的角度出发研究其机制及其对我国气候的影响。李崇银和龙振夏(2001)研究揭示了 1997 年厄尔尼诺事件的发生与赤道中西太平洋地区大气季节内振荡(ISO)的异常增强有关。傅云飞和黄荣辉(1996)指出热带太平洋西风异常对 1982/1983 年厄尔尼诺事件的发生起重大作用。

引用格式:罗婷,李丽平,王远清,2019.两次超强厄尔尼诺事件海温异常与次年中国东部夏季降水特征对比[J].大气科学学报,42(5):715-724.

Luo T, Li L P, Wang Y Q, 2019. Contrast of characteristics of SST anomaly and the summer rainfall in East China in the following years of two strong El Niño events[J]. Trans Atmos Sci, 42(5): 715-724. doi: 10.13878/j.cnki.dqkxxb.20170901002. (in Chinese).

关于热带海温异常对东亚气候异常的影响也有诸多研究,杨芳林和袁重光(1995)通过研究夏季赤道东太平洋区域异常海温对全球及区域短期气候的变化影响,表明海温异常首先引起赤道太平洋地区风场的变化,风场的辐合辐散造成水汽的汇集,从而影响降水分布。黄荣辉和孙凤英(1993)的研究则表明当热带西太平洋暖池增暖时,西太平洋副热带高压的位置偏北,我国江淮流域夏季降水偏少,反之则副高偏南,江淮流域降水偏多,黄河流域降水偏少,郭品文和郎丽玲(2017)发现夏季不同雨区的降水与 ENSO 相关关系的年代际变化特征不尽相同。

科学家们根据海表面温度异常的空间分布形态或爆发时间对厄尔尼诺事件进行分类(袁媛等,2012;李丽平等,2015;张攀全等,2016;范伶俐等,2018),并指出在不同类型厄尔尼诺的次年夏季,通过影响 850 hPa 风场、水汽输送以及 500 hPa 西太平洋副热带高压系统等从而导致中国东部降水异常分布不同。

2015/2016 年发生的厄尔尼诺事件是自 1951 年有记录以来最强的一次。此次事件从 2014 年 9 月开始到 2016 年 6 月结束,维持的时间长、发展的强度均超过前两次事件,峰值强度达到  $2.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ (邵颢和周兵,2016;郭栋等,2016)。袁媛等(2016)分析了此次厄尔尼诺事件期间大气环流场的变化和其对气候的影响。李清泉和闵庆烨(2016)研究表明 2015/2016 年冬季,华南地区广东、广西、海南三省平均的季节累积降水量高达  $363.2\text{ mm}$ ,较常年同期偏多 162%,2016 年春季西南地区东部、江淮、江南等地月平均降水超过同期月平均  $60\text{ mm}$ 。毕宝贵等(2017)指出 2016 年强对流天气尤其雷暴大风和短时强降水天气远超历史同期,是 2000 年以来极端降水事件最频发的一年。另外,在此次超强厄尔尼诺事件期间,西太平洋的台风活动也出现异常,钱伊恬和徐邦琪(2016)研究表明,暖海温于 2014 年中出现,并持续至 2015/2016 年冬季,使得 2015 年 1—5 月在西北太平洋上出现了 7 个热带风暴、其中 5 个发展为台风,比 1—5 月气候平均 1.4 个台风高出了 3.6 倍。对于此次超强厄尔尼诺事件的研究,目前基本是针对其影响机制以及对全球气候影响,而本文主要通过对比分析 2015/2016 年与 1997/1998 年两次厄尔尼诺事件的海温异常强度、分布特点及次年夏季中国东部降水的特征,从而进一步加深对不同类型的超强厄尔尼诺事件背景下,大气环流异常对我国东部夏季降水影响的认识。

## 1 资料和方法

### 1.1 资料

NOAA 最优插值逐月海温数据(Optimum Interpolation (OI) SST V2),时间长度为 1981 年 12 月—2017 年 3 月,分辨率为  $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ (Reynolds et al., 2002)。NCEP/NCAR 逐月的纬向风、径向风、位势高度和比湿场再分析资料,分辨率为  $2.5^{\circ}\times 2.5^{\circ}$ ,时间长度为 1948 年 1 月—2017 年 1 月(Kalnay et al., 1996)。中国国家信息中心提供的中国 753 站逐日降水资料,选取 1982—2016 年完整无缺测的站点共 661 个。

### 1.2 方法

文中各类物理量的气候平均值均为 1982—2016 年平均,距平场的计算也都相对于 1982—2016 年的气候平均值。夏季为 6—8 月平均。Niño3.4 指数定义为中东太平洋( $120^{\circ}\sim 170^{\circ}\text{W}$ , $5^{\circ}\text{S}\sim 5^{\circ}\text{N}$ )区域平均的海温距平。参照文献中的方法(秦育婧等,2006;秦育婧和王盘兴,2015),使用辐散风的经向分量  $v_x$  由叠加方案计算经圈环流质量流函数  $\psi$ ,向上质量输送强度为

$$W(j,k)=\psi(j+1,k)-\psi(j,k)。$$

其中: $j$  为经向格点序数, $j=1,2,\dots,73$ ; $k$  为垂直层序数, $k=1,2,\dots,12$ ;当  $W>0$  时,质量向上输送;当  $W<0$  时,质量向下输送。

据国家气候中心厄尔尼诺事件监测业务标准,自 1951 年以来,共出现了 14 次厄尔尼诺事件(邵颢和周兵,2016)。其中 1980 年以后发生的占多数。孔春燕和屠其璞(2003)指出在 20 世纪 70 年代末、80 年代初,赤道太平洋的海温有一个明显升高的趋势,因此 20 世纪 80 年代前后的厄尔尼诺属于不同气候背景下的事件。从 1982 后 Niño3.4 指数演变(图 1,只显示指数大于 0.5 的值)来看,1982 年以后出现最强的三次厄尔尼诺事件分别为 1982/1983 年、1997/1998 年以及 2015/2016 年,与之前的研究相一致。其中 2015/2016 年这次事件持续时间最长,从 2014 年 9 月开始,Niño3.4 指数就大于  $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,持续到 2016 年 5 月其值还维持在  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  以上,在 2015 年 11 月达到最大值, $2.96\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。相比较而言,1997/1998 年和 1982/1983 年这两次事件持续的时间较短,峰值也较 2015/2016 年这一次略偏小,因此 2015/2016 年厄尔尼诺事件也是目前为止出现的最强的厄尔尼诺事件。

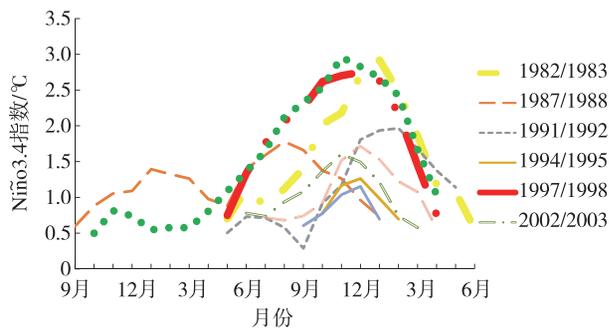


图1 1982—2016年厄尔尼诺事件 Niño3.4 指数变化趋势

Fig.1 The time series of Niño3.4 index of El Niño events during 1982—2016

## 2 两次厄尔尼诺事件海温异常分布特征对比

图2给出1997/1998年与2015/2016年两次厄尔尼诺事件期间海表温度距平分布。可以看到图2a上,0.5℃线西界位于日界线东侧附近,150°W以东异常值都在2.5℃以上,中心最大值4.5℃位于100°W附近,属于东部型厄尔尼诺事件的分布型。同样,1982/1983年的超强厄尔尼诺事件也同

属于此类型(Kug et al., 2009; 袁媛等, 2012),但其中心值略偏小,且中心位置略偏西,在120°W附近(图略)。而2015/2016年(图2b)这次事件中海温异常值纬向分布得更广,大于0.5℃的异常值西界延伸到日界线以西,大于2.5℃的值出现在170°W以东,最大值位于165°~110°W之间,为3℃。由此可见,1997/1998年厄尔尼诺事件的海温异常中心值较2015/2016年的要偏高,但分布范围偏小。从两者的差值分布(图2e)上看,2015/2016年热带太平洋150°W以东Niño3区海表温度比1997/1998年的偏低,而150°W以西的Niño4区则偏高,最大偏差0.9℃,位于170°W附近。由此,可以看出2015/2016年的厄尔尼诺事件的海温异常分布型也有别于传统东部型厄尔尼诺事件。另外从两次事件衰减年夏季的海温分布上来看,两者也有着明显的区别,1998年夏季(图2c)赤道太平洋地区在110°W以西基本上为海温负异常,其中心位于140°W附近,中心强度低于-2.5℃,相比之下,2016年夏季的海温负异常中心范围明显偏小(图2d),主要出现在赤道160°W以东,为且强度偏弱,其余地区则为海温正异常。

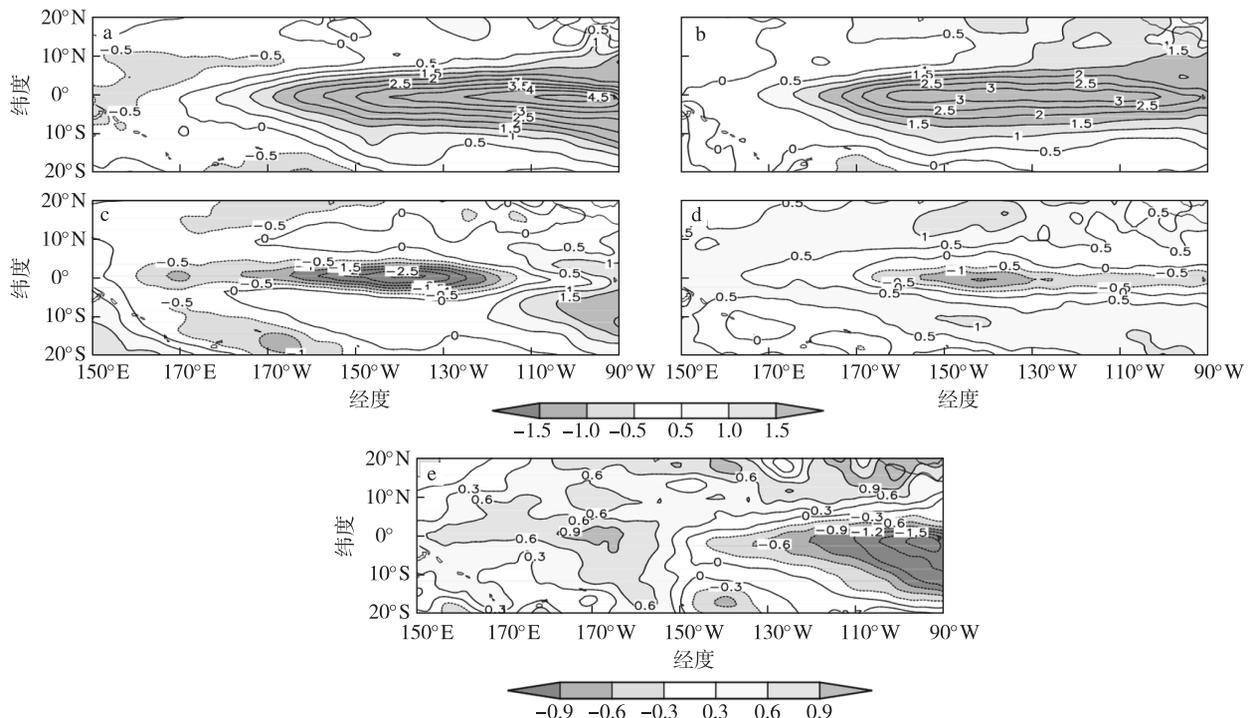


图2 1997/1998年(a)、2015/2016年(b)厄尔尼诺期间海温异常(10月到次年2月异常值平均)和差值分布(e)及其衰减年1998(c)、2016(d)夏季海温异常分布(单位:℃)

Fig.2 SST anomaly distributions during (a) 1997/1998、(b) 2015/2016 El Niño time(the anomalies are averaged from October to the following February)、(e) the differences and SST anomaly during the decaying summer of (c) 1998、(d) 2016(units:℃)

### 3 两次厄尔尼诺事件次年夏季降水分布特征

以往的研究指出在厄尔尼诺发生的次年夏季,长江流域和江南北部降水偏多,而江淮流域降水偏少(Huang and Wu,1989)。从图 3a 上看,1998 年夏季我国东部大部分地区为降水正距平,其中江南北部和长江流域一带、东北西部地区以及黄淮东部降水距平百分率超过 60%,而在华南东部,河套西南部地区降水较常年偏少;相比较之下,2016 年夏季降水正距平的范围则偏小,且程度偏弱,长江流域一带基本上为降水正距平,但是大于 60%的区域仅出现在长江中游,另外华北南部地区以及河套北部的降水距平百分率都在 60%以上,而华南西部、河套西南部和东北东部地区降水则较常年偏少。而从降水逐月分布(图略)上看,1998 年长江流域及其以南部分区域,以及华北、东北大部分地区 6、7、8 月降水均为偏多状态。而 2016 年夏季我国东部大部分地区的降水正距平在 6、7 月增大,8 月开始有所减弱,其中长江流域在 7 月正距平范围和值最大,华北地区在 6 月降水偏多的最为明显,随后两个月逐渐减弱,而河套地区基本上 3 个月降水都以正距平为主。

宗海峰等(2010)提出厄尔尼诺事件在不同年代背景下对中国夏季降水的影响有所不同。进入 21 世纪后,多次厄尔尼诺事件发生次年的夏季降水并未出现在长江流域而是发生在淮河流域至黄淮地区。袁媛等(2012)研究表明,东部型厄尔尼诺事件

次年夏季中国东部降水偏多出现在长江流域和江南地区,而中部型厄尔尼诺事件的次年夏季降水则在长江和黄河之间偏多,黄河以北和长江以南大部分地区以降水偏少为主。

### 4 两次厄尔尼诺事件环流特征对比

下面通过对两次厄尔尼诺事件背景下,东亚夏季 500 hPa 高度场及低层水汽异常输送等方面进行分析,揭示事件次年夏季中国降水异常的可能成因。

#### 4.1 500 hPa 高度场特征

500 hPa 上,副热带高压是中国东部夏季降水的一个主要影响系统。可以看到 1998 年夏季(图 4a),副热带高压较常年偏强,脊线偏南且偏西,588 dapgmm 线脊点西伸至 110°E 附近,北界位于华南南部,因此有利于将西太平洋与南海的水汽向长江中下游一带输送。而相比较之下,2016 年(图 4b)副高的强度偏强于常年平均,但较 1998 年的偏弱,脊线也相对偏北,西脊点偏东位于 120°E 附近。前面通过对海温的分析可以看到,1998 年夏季,赤道太平洋海温负距平强度大,且范围广,其向西伸展到 170°E 附近,而 2016 年夏季的情况相反,在 160°W 以西的海温仍以正距平为主,因此副高的强度和范围都较 1998 年的偏弱。

另外从高度场距平分布上看,1998 年夏季,我国东部从南至北距平呈现“+-”型,有利于南方的暖湿气流与北方的冷空气在长江流域到淮河流域一带交汇,有利于这一带地区降水产生。另外,欧亚中高

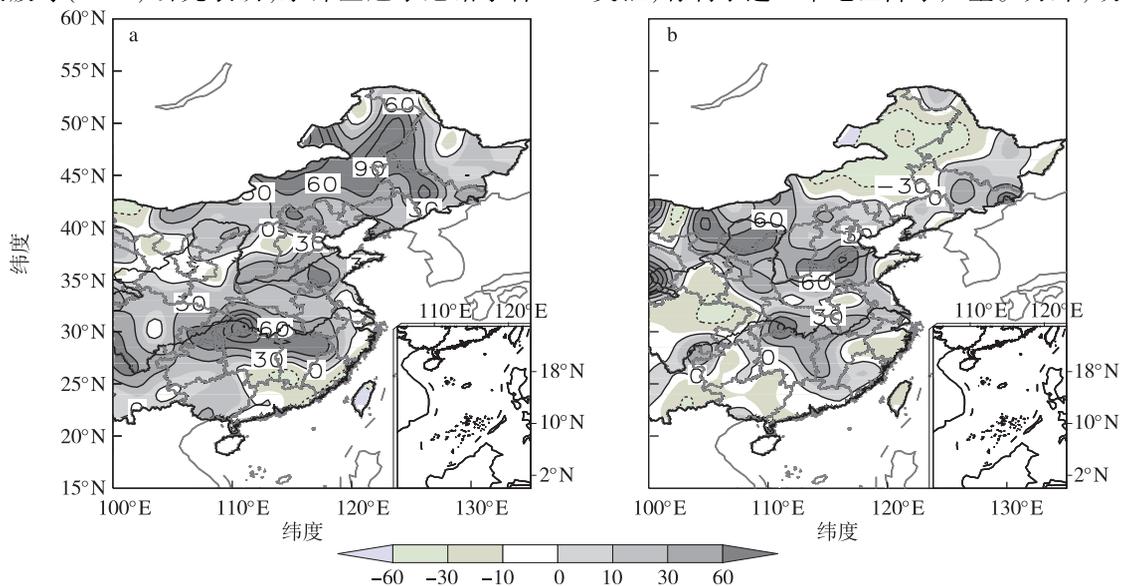


图 3 1998 年(a)、2016 年(b)夏季降水距平百分率分布(单位:%)  
Fig.3 Percentage of summer rainfall anomaly in (a)1998 and (b)2016(units:%)

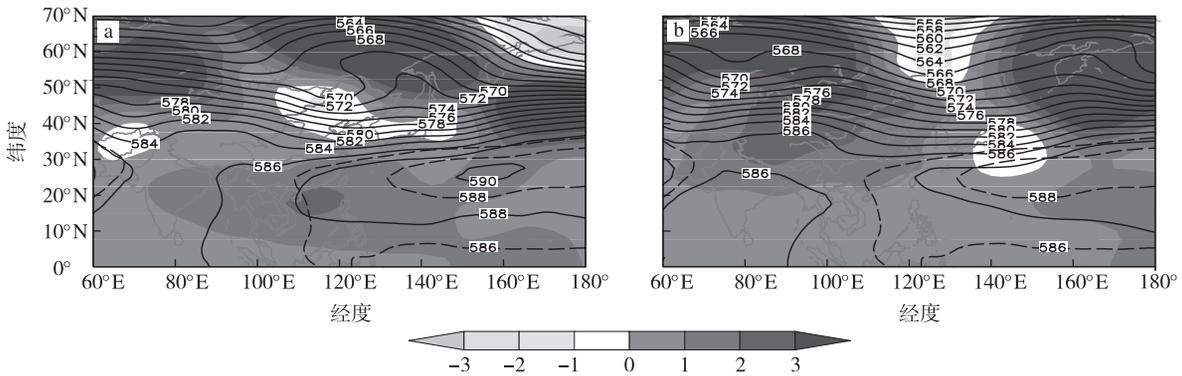


图4 1998年(a)、2016年(b)夏季500 hPa高度场(单位:dapgm)(阴影:高度场距平;实线:等高线;虚线:气候态586 dapgm线与588 dapgm线)

Fig.4 500 hPa geopotential height in the summer of (a)1998 and (b)2016(units:dapgm;shaded area:geopotential height field anomaly;contour:geopotential height;dotted line:climate average 588 dapgm and 586 dapgm)

纬度地区高度距平自西向东呈“+-”分布,有利于北冰洋和欧亚高纬度的水汽向中国西北地区输送,形成北方水汽输通道,有利于东北地区降水。而2016年夏季,我国东部洋面上从南向北,高度距平场呈“+-”型,而欧亚中低纬度地区为高度场正距平,我国东部中纬地区西风槽偏弱,且副高偏东偏弱,输送至长江流域一带的水汽则没1998年夏季的强,另外冷暖空气交汇的区域和强度也较小。除此之外,在欧亚高纬地区“+-”的波型位置较偏北,因此高纬度的水汽输送对我国的作用就偏弱。

#### 4.2 经向垂直环流特征

平均经圈环流(MMC)是由子午面上纬向平均的经向风速度分量和垂直速度分量决定的环流,经向风的变异对我国的气候也有着重要的影响。其中Hadley环流是MMC中重要的组成部分,是热力直接环流,其变化与下垫面加热存在联系(周波涛和王会军,2006)。国内外学者对垂直经圈环流的变化与海温异常的关系做了一系列研究,发现ENSO事件对MMC的强度和位置变化有明显影响(孙柏民和孙淑清,1998;Wang,2002)。质量流函数能较好地表征平均经圈环流特征,下面通过分析1998年与2016年夏季的质量流函数分布和强度,对比两次事件的经向环流特征。

对比图5a和5c,可以看出1998年夏季的Hadley环流中心强度要略大于2016年同期的状态,两者在赤道到20°N之间为宽阔的上升区,并在10°N南北两侧存在两个上升中心。另外在30°N附近还存在一支较弱的上升支,从强度上看1998年的要强于2016年。而从距平场(5b、d)上看,1998年30°N附近的上升支强度要较常年平均偏强,

2016年的则没有明显的表现,这也对应前面所分析的1998年夏季长江流域降水较常年以及2016年的偏强,一方面强的上升支代表有强的上升运动,另外向上的质量输送增大定会引起上、下层质量的辐散、辐合,从而改变水平环流和水汽输送,为该地区的降水提供有利条件(秦育婧和王盘兴,2015)。此外对比图5b和5d还可看到,25°N附近的下沉支在1998年表现得更强一些,与之对应,500 hPa上副高在1998年较2016年明显偏强。

#### 4.3 水平风场及水汽输送特征

图6给出1998年和2016年夏季850 hPa、200 hPa异常水平风场环流。前面提到1998年夏季500 hPa上30°以南,西太平洋到我国东部副高偏强,对应的低层(图6a)西北太平洋30°N及其以南地区为异常反气旋环流,而在青藏高原南侧为异常气旋环流,来自副高西侧的异常东南气流和孟加拉湾异常西南气流在长江流域及江南北部地区汇合。而由于大陆中高纬度地区也为异常反气旋式风场,我国东北地区受异常东北气流影响,到河套附近转为异常偏东气流。在高层(图6b)西北太平洋上为异常气旋性环流,在其北侧则为异常反气旋性风场,南压高压中心位于高原东南部,该地区风场表现为异常反气旋式环流,其东侧与西太平洋气旋环流西侧的异常西北气流在我国长江流域及以南地区形成辐散区,另外在40°N以北东北地区也出现明显分流,这种高低层的配合为该地区降水的产生提供有利的上升运动条件。

与1998年夏季相比,2016年夏季(图6c、d)20°N以南的低纬地区的异常偏东气流较强,而以北的风场较弱。从低层上看,西北太平洋的异常反气

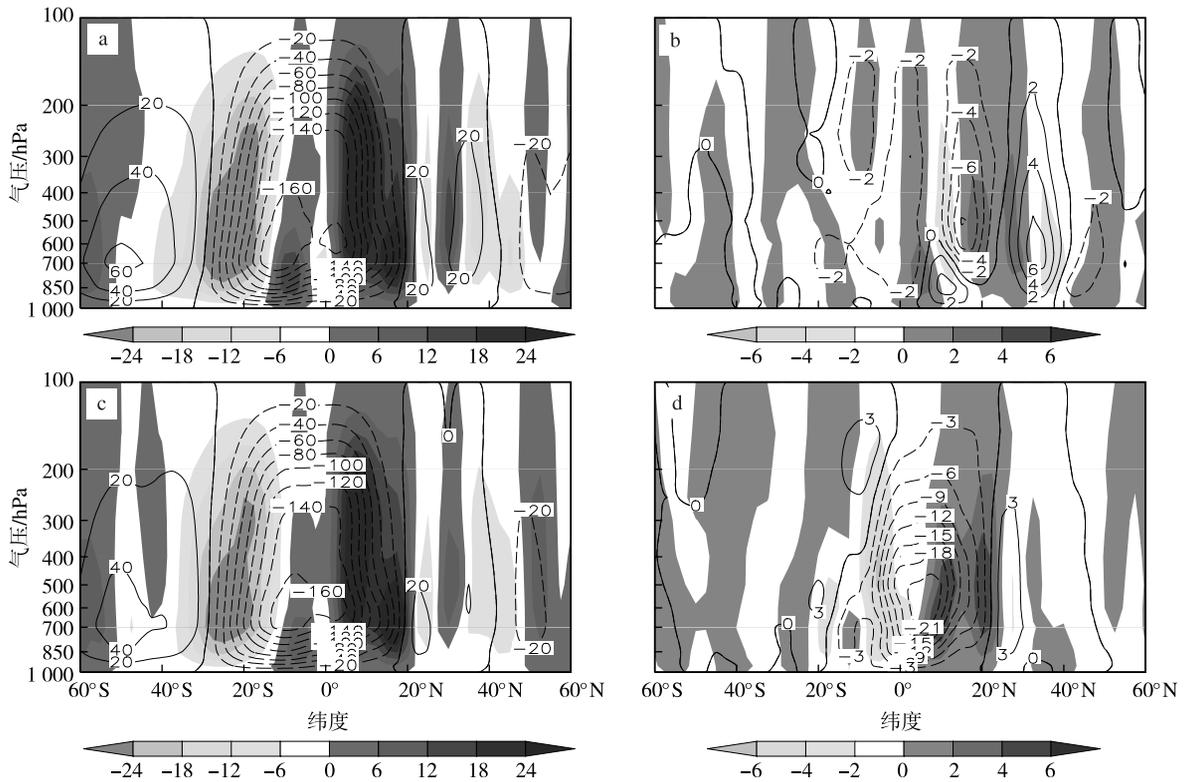


图5 1998年(a,b)、2016年(c,d)夏季经圈环流及其距平值分布(等值线为质量流函数 $\psi$ ,单位: $10^9$  kg/s;阴影代表质量输送强度 $W$ ,单位: $10^9$  kg/s)

Fig.5 Summer meridional circulation and anomalies in (a,b)1998 and (c,d)2016 (shaded area indicates the intensity of mass transfer  $W$ , units: $10^9$  kg/s;the contours indicate the mass streamfunction  $\psi$ , units: $10^9$  kg/s)

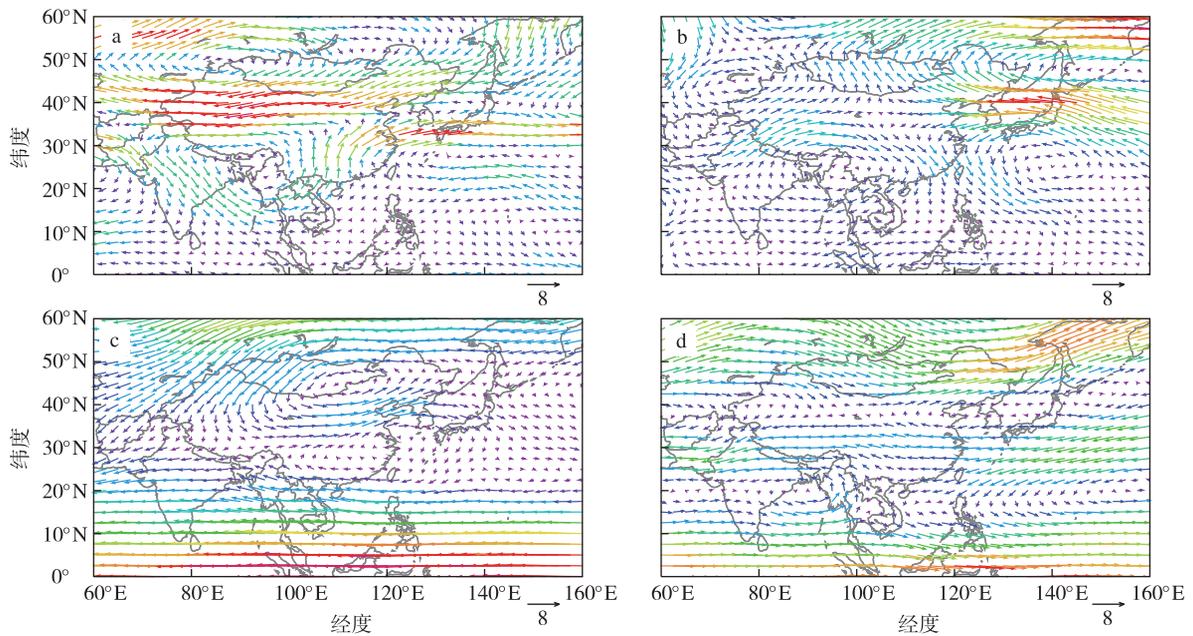


图6 1998年、2016年夏季异常风场分布(单位:m/s):(a)1998年850 hPa;(b)1998年200 hPa;(c)2016年850 hPa;(d)2016年200 hPa

Fig.6 Distribution of wind speed anomaly in summer at(units:m/s):(a)850 hPa in 1998;(b)200 hPa in 1998;(c)850 hPa in 2016;(d)200 hPa in 2016

旋环流强度和范围都较弱,位置偏西,环流中心位于我国东部沿海,这可能与2015/2016年厄尔尼诺事件期间赤道太平洋日界线以西海温异常增暖有关。另外在中高纬度地区有一异常气旋性环流,华南地区为弱的异常偏东气流控制,在长江流域一带出现弱的异常东南风和西南风的辐合,而其北侧,为我国东部沿岸异常反气旋环流北侧与中高纬的异常气旋环流南部的两支异常西南气流的辐合区。高层在长江以南地区也以异常偏东气流控制为主,西太平洋上的异常气旋环流的西侧偏东风与东北风在我国东南部沿海及广西到北部湾一带出现分流。

水平风场的异常分布会造成水汽输送异常,从图7夏季整层水汽通量上看,其分布形态与前面分析的850 hPa风场异常分布相似,主要由于大气中的水汽主要集中在低层,水汽输送受低层风场影响较大(Zhou, 2005)。可以看到1998年夏季(图7a),我国东部大部分地区都为水汽通量辐合区,尤其长江流域及其南部地区,出现较大的异常西南水汽通量。从图上可以看出,西南水汽通道主要有两条,一条在西太平洋上水汽通量异常反气旋环流的作用下由西太平洋经过南海输送到我国,另一条,在孟加拉湾水汽通量异常反气旋环流的作用下将该地水汽经过高原南部输送至我国,两条水汽带在我国长江流域附近汇聚,造成该地区出现较强的水汽辐合。另外在我国中高纬度地区出现水汽通量异常气旋性环流,也有利于将高纬度日本海以及鄂霍茨克海的水汽输送到我国北方地区。而2016年夏季的异常水汽通量及水汽通量散度值也较1998年的要弱,主要在我过西南部、长江流域中游到淮河流域一带,以及华南东部地区出现相对较弱的异常水汽辐合。相比较1998年,此时西太平洋上为水汽通量异常气旋性

环流为主,另外孟加拉湾的反气旋性异常环流偏弱,且位置偏南,影响我国南方地区的水汽主要来自南海,而北方地区的水汽来源大部分也以高纬度陆地上的水汽为主,南北水汽条件都较弱。

## 5 结论与讨论

本文研究了1997/1998年与2015/2016年两次超强厄尔尼诺事件期间海温异常的分布差异,以及相应大气环流异常及其对次年我国东部夏季降水的影响,得到如下主要结论:

1) 2015/2016年的厄尔尼诺事件是自1950年以来,持续时间最长,强度最强的一次事件。其海温正异常的范围向西扩展到日界线西侧。1997/1998年的厄尔尼诺事件属于东部型事件,即海温正异常中心位于热带东太平洋,而相比较之下,2015/2016年这次事件的海温异常中心虽然也位于热带东太平洋,但其在日界线及其西侧的海温较1997/1998年这次的偏高,因此它对我国东部次年夏季降水的影响有别于传统东部型厄尔尼诺事件。

2) 两次厄尔尼诺事件发生的次年,中国东部降水出现异常偏多,其中1998年夏季我国东部南方雨带主要位于华南西部,江南以北到长江流域一带,降水较常年偏多60%以上,而北方雨带主要位于黄淮北部到华北南部以及我国东北地区,其中东北地区降水较常年偏多将近一倍。相比较之下,2016年夏季东部异常降水范围偏小,降水强度也相对偏弱,南方雨带主要分布在长江流域一带,北方雨带在黄淮地区和华北一带较1998年的偏强,另外在河套北部降水也较常年偏多60%以上。

3) 1998年夏季副高脊线偏南偏西,向上垂直质量输送异常偏强、高低层水平风场配合以及水汽通

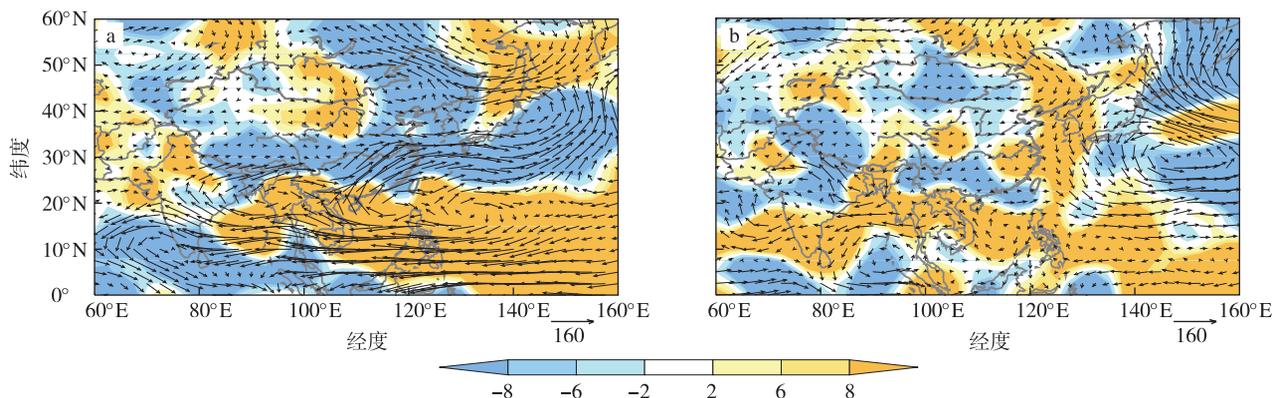


图7 1998年(a)、2016年(b)整层水汽通量(箭矢,单位: $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ )及水汽通量散度距平(阴影,单位: $10^{-6} \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ )

Fig.7 Whole layer water vapor flux(units: $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ ) and vapor flux divergence(units: $10^{-6} \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ ) anomaly in (a)1998 and (b)2016

量异常辐合偏强均有利于长江流域一带以及我国东北地区降水。而2016年夏季副热带高压的强度偏弱,脊线也更偏北偏东,水平、垂直环流异常和水汽条件都较1998年要偏弱,因此降水的范围和强度也相对较弱。

2015/2016年这次超强厄尔尼诺事件最大海温正异常中心分布较广,从Niño3区到Niño4区,从分

布型上来看与传统东部型分布类似,但略有区别。从两次事件海温异常的差值分布来看,2015/2016年这次事件在日界线附近的海温值要高于1997/1998年的,另外它们对次年夏季我国东部的影响也有所区别,因此本文认为2015/2016年的超强厄尔尼诺事件有别于传统东部型事件。

## 参考文献(References)

- 毕宝贵,张小玲,代刊,2017.2016年超强厄尔尼诺背景下的强对流和极端降水天气特点[J].科学通报,62(9):928-937. Bi B G,Zhang X L,Dai K,2017.Characteristics of 2016 severe convective weather and extreme rainfalls under the background of super El Niño[J].Chin Sci Bull,62(9):928-937.(in Chinese).
- 范伶俐,徐峰,徐华,等,2018.春季/夏季型El Niño对中国夏季降水变化的影响[J].大气科学学报,41(6):819-828. Fan L L,Xyu F,Xyu H,et al.,2018.Spring and summer El Niño events and their influences on summer precipitation in China[J].Trans Atmos Sci,41(6):819-828.(in Chinese).
- 傅云飞,黄荣辉,1996.热带太平洋西风异常对ENSO事件发生的作用[J].大气科学,20(6):641-654. Fu Y F,Huang R H,1996.The effect of the westerly anomalies over the tropical Pacific on the occurrence of ENSO events[J].Chin J Atmos Sci,20(6):641-654.(in Chinese).
- 郭栋,王琳玮,李震坤,等,2016.2015/2016和1997/1998超强El Niño衰减年我国夏季降水异常的比较[J].大气科学学报,39(6):835-844. Guo D,Wang L W,Li Z K,et al.,2016.Comparison between anomalies of summer rainfall in China in decaying years during super El Niño events of 2015/2016 and 1997/1998[J].Trans Atmos Sci,39(6):835-844.(in Chinese).
- 郭品文,郎丽玲,2017.ENSO与中国东部夏季降水异常关系的年代际变化[J].大气科学学报,40(4):463-472. Guo P W,Lang L L,2017.Interdecadal variation of the relationship between ENSO and East-China summer rainfall[J].Trans Atmos Sci,40(4):463-472.(in Chinese).
- 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.
- 黄荣辉,孙凤英,1993.热带西太平洋暖池的热状态及其上空的对流活动对东亚夏季气候异常的影响[J].大气科学,18(2):141-151. Huang R H,Sun F Y,1993.Impact of the thermal state and the convection activities in the tropical western warm pool on the summer climate anomalies in East Asia[J].Chin J Atmos Sci,18(2):141-151.(in Chinese).
- Huang R H,Chen W,Yang B L,et al.,2004.Recent advances in studies of the interaction between the East Asian winter and summer monsoons and ENSO cycle[J].Adv Atmos Sci,21(3):407-424.
- Kalnay E,Kanamitsu M,Kistler R,et al.,1996.The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project[J].Bull Amer Meteor Soc,77(3):437-471.
- 孔春燕,屠其璞,2003.全球气候背景下厄尔尼诺对中国东部汛期降水的影响[J].南京气象学院学报,26(1):84-88. Kong C Y,Tu Q P,2003. Influence of El Niño events on summer precipitation in East China under different climatic backgrounds[J].J Nanjing Inst Meteor,26(1):84-88.(in Chinese).
- Kug J S,Jin F F,An S I,2009.Two types of El Niño events:cold tongue El Niño and warm pool El Niño[J].J Climate,22(6):1499-1515.
- Lau K M,Weng H,2001.Coherent modes of global SST and summer rainfall over China:an assessment of the regional impacts of the 1997-98 El Niño[J].J Climate,14(6):1294-1308.
- 李崇银,龙振夏,2001.热带大气季节内振荡的异常与1997年El Niño事件的发生[J].大气科学,25(5):589-595. Li C Y,Long Z X,2001.Intraseasonal oscillation anomalies in the tropical atmosphere and the 1997 El Niño occurrence[J].Chin J Atmos Sci,25(5):589-595.(in Chinese).
- 李丽平,宋哲,吴楠,2015.三类厄尔尼诺事件对东亚大气环流及中国东部次年夏季降水的影响[J].大气科学学报,38(6):753-765. Li L P,Song Z,Wu N,2015.Effects of three types of El Niño events on atmospheric circulation over East Asia and following summer precipitation in eastern China[J].Trans Atmos Sci,38(6):753-765.(in Chinese).
- 李清泉,闵庆烨,2016.对话张人禾:2016年上半年中国南方强降水与超强厄尔尼诺[J].科学通报,61(24):2659-2662. Li Q Q,Min Q Y,2016. A dialogue with Renhe Zhang:the heavy rainfall over southern China in the first half year of 2016 and its relation to the 2015/2016 super El Niño[J].Chin Sci Bull,61(24):2659-2662.(in Chinese).
- 钱伊恬,徐邦琪,2016.2015年西北太平洋台风季提早展开:2015/2016超级厄尔尼诺的影响[J].大气科学学报,39(6):788-800. Qian Y T,Hsu P C,2016.Early onset of the typhoon season over the Western North Pacific in 2015:influence of the 2015/2016 super El Niño event[J].Trans Atmos Sci,39(6):788-800.(in Chinese).
- 秦育婧,王盘兴,2015.夏季东亚季风区Hadley环流上升支结构异常及其对长江流域降水的影响[J].热带气象学报,31(4):467-474. Qin Y J,Wang P X,2015.Anomalies of the ascending branch structure in the Hadley cell over the Eastern Asia monsoon region and their impacts on the precipitation in the Yangtze river basin in summer[J].J Trop Meteor,31(4):467-474.(in Chinese).
- 秦育婧,王盘兴,管兆勇,等,2006.两种再分析资料的Hadley环流比较[J].科学通报,51(12):1469-1473. Qin Y J,Wang P X,Guan Z Y,et al.,

2006. The comparison of Hadley cells between two different reanalysis data[J]. *Chin Sci Bull*, 51(12):1469-1473. (in Chinese).
- 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.
- 邵颢, 周兵, 2016. 2015/2016年超强厄尔尼诺事件气候监测及诊断分析[J]. *气象*, 42(5):540-547. Shao X, Zhou B, 2016. Monitoring and Diagnosis of the 2015/2016 Super El Niño Event[J]. *Meteor Mon*, 42(5):540-547. (in Chinese).
- 孙柏民, 孙淑清, 1998. 海温异常对热带内外环流相互作用影响的对比析[J]. *大气科学*, 22(1):83-96. Sun B M, Sun S Q, 1998. Influence of SST anomaly on the interaction between tropical and extratropical circulation[J]. *Chin J Atmos Sci*, 22(1):83-96. (in Chinese).
- Wang C Z, 2002. Atmospheric circulation cells associated with the El Niño-Southern Oscillation[J]. *J Climate*, 15(4):399-419.
- Wu B, Zhou T J, Li T, 2009. Seasonally evolving dominant interannual variability modes of East Asian climate[J]. *J Climate*, 22(11):2992-3005.
- 杨芳林, 袁重光, 1995. 夏季赤道东太平洋海温异常对全球及东亚短期气候变化影响的数值试验[J]. *大气科学*, 19(5):535-544. Yang F L, Yuan C G, 1995. Numerical experiment on the influence of sea-surface temperature anomalies in the eastern equatorial Pacific in summer upon the short-range climate changes over globe and in East Asia[J]. *Chin J Atmos Sci*, 19(5):535-544. (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 Meteorol Sin*, 70(3):467-478. (in Chinese).
- 袁媛, 高辉, 贾小龙, 等, 2016. 2014—2016年超强厄尔尼诺事件的气候影响[J]. *气象*, 42(5):532-539. Yuan Y, Gao H, Jia X L, et al., 2016. Influences of the 2014—2016 super El Niño event on climate[J]. *Meteor Mon*, 42(5):532-539. (in Chinese).
- 张攀全, 郭品文, 董丽娜, 等, 2016. 两类中太平洋 El Niño 特征的对比分析[J]. *大气科学学报*, 39(6):855-864. Zhang P Q, Guo P W, Dong L N, et al., 2016. Comparative analysis of characteristics of two types of central Pacific El Niño[J]. *Trans Atmos Sci*, 39(6):855-864. (in Chinese).
- 周波涛, 王会军, 2006. Hadley 环流的年际和年代际变化特征及其与热带海温的关系[J]. *地球物理学报*, 49(5):1271-1278. Zhou B T, Wang H J, 2006. Interannual and interdecadal variations of the Hadley circulation and its connection with tropical sea surface temperature[J]. *Chin J Geophys*, 49(5):1271-1278. (in Chinese).
- Zhou T J, 2005. Atmospheric water vapor transport associated with typical anomalous summer rainfall patterns in China[J]. *J Geophys Res*, 110(D8):D08104.
- Zhou T J, Wu B, Dong L, 2014. Advances in research of ENSO changes and the associated impacts on Asian-Pacific climate[J]. *Asia-Pacific J Atmos Sci*, 50(4):405-422.
- 宗海锋, 陈烈庭, 张庆云, 2010. 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*, 34(1):184-192. Zong H F, Chen L T, Zhang Q Y, 2010. The instability of the interannual relationship between ENSO and the summer rainfall in China[J]. *Chin J Atmospheric Sci*, 34(1):184-192. (in Chinese).

## Contrast of characteristics of SST anomaly and the summer rainfall in East China in the following years of two strong El Niño events

LUO Ting<sup>1,2</sup>, LI Liping<sup>3</sup>, WANG Yuanqing<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Sanya Meteorological Bureau of Hainan Province, Sanya 572000, China;

<sup>2</sup>Key Laboratory of South China Sea Meteorological Disaster Prevention and Mitigation of Hainan Province, Haikou 570203, China;

<sup>3</sup>Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters(CIC-FEMD)/Key Laboratory of Meteorological Disaster, Ministry of Education(KLME)/School of Atmospheric Sciences, NUIST, Nanjing 210044, China

Based on the monthly sea surface temperature(SST) data from American National Oceanic and Atmospheric Administration, NCEP/NCAR monthly reanalysis data of wind field, potential height field and humidity as well as daily rainfall data from 753 stations provided by the Chinese National Meteorological Information Center, the characteristics of abnormal SST distribution, summer precipitation in eastern China in the following year and atmospheric circulation anomalies of two strong El Niño events in 1997/1998 and 2015/2016 were compared and analyzed. The results showed that: 1) The 2015/2016 El Niño event had been the longest and strongest one since 1950 and the magnitude of SST near the date-line was larger than that in 1997/1998; 2) During the following summer of 1997/1998 El Niño, more precipitation occurred in the west of the southern China, the north of Jiangnan area to the Yangtze river basin, the northern part of Huang-Huai area to the southern part of North China and Northeast China; precipitation intensity was weaker and the distribution of anomalous rainfall was smaller in the

following summer of 2015/2016, in which the heavy rain belt mainly distributed in the Yangtze river basin, Huang-Huai area and the northern area of the Great Bend of the Yellow River; 3) It was found that the Western North Pacific subtropical high (WNPSH) was strong and its location was to the west of its usual position while the ridge line was to the south of its usual position in the following summer of 1997/1998; the abnormally strong mass transportation vertically and upwards, the horizontal wind field of the upper and lower levels and the anomalous convergence of water vapor flux were all favorable for precipitation in the Yangtze river basin and Northeast China in the following year of 1997/1998 El Niño event; in 2016, the WNPSH was weaker and the ridge line was to the north and east of its usual position; the weaker horizontal and vertical circulation anomalies as well as weaker water vapor conditions made the coverage and intensity of summer precipitation weaker. Considering the SST distribution pattern and the impact on rainfall in the eastern China in the following summer, the strong El Niño event of 2015/2016 was still different from the traditional eastern type events.

**El Niño, rainfall in eastern China, horizontal wind, vertical mass transport, water vapor flux**

doi: 10.13878/j.cnki.dqkxxb.20170901002

(责任编辑: 刘菲)