

2015/2016年超强 El Niño 局地海气特征及其特殊性



张文君, 耿新

南京信息工程大学 气象灾害教育部重点实验室/气候与环境变化国际合作联合实验室/气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 江苏南京 210044

* 联系人, E-mail: zhangwj@nuist.edu.cn

2016-08-25 收稿, 2016-10-24 接受

国家自然科学基金资助项目(41675073); 国家公益性行业(气象)专项(GYHY20150613; GYHY20140622); 江苏省高校自然科学研究资助项目(13KJB170013); 江苏省青蓝工程和六大人才高峰项目

摘要 利用 NOAA 海表温度和 NCEP/NCAR 大气环流等全球再分析资料, 讨论了 2015/2016 年超强 El Niño 事件局地海气过程的演变特征, 并与 1982/1983 和 1997/1998 年两次强 El Niño 事件做了对比分析。结果表明, 2015/2016 年 El Niño 在峰值强度、持续时间、累计海温距平等指标上都略强于前两次 El Niño, 可视为有完整气象观测纪录以来的最强事件; 与前两次事件相比, 2015/2016 年 El Niño 海温异常中心位置明显偏西, 热带东太平洋海温相对较冷而中太平洋更暖, 由于热带对流对海温的非线性响应, 赤道东太平洋降水相对较弱, 中太平洋则显著偏多, 这在 El Niño 当年 12 月至次年 4 月尤为明显; 此外, 在前两次 El Niño 的成熟期至衰减期, 中太平洋大气响应都存在明显的南移特征, 西风异常和对流中心都从赤道南移到了 5°S 以南。而 2015/2016 年中太平洋大气响应一直位于赤道附近, 南移特征相对较弱, ENSO 和年循环相互作用的组合模态相比前两次较弱, 西北太平洋反气旋的强度也弱于前两次。这主要是由于 2015 年冬季至 2016 年春季, 热带太平洋暖海温异常位置偏西, 中太平洋海温异常明显强于前两次, 叠加气候平均态海温之后, 赤道南北两侧海温都高于对流阈值, 对流旺盛, 这大大削弱了大气响应的经向移动和 ENSO 组合模态的强度。

关键词

2015/2016 年超强 El Niño
ENSO 组合模态
大气响应南移
西北太平洋反气旋

ENSO (El Niño-Southern Oscillation) 是热带太平洋海洋与大气年际变率的最主要模态, 一般以 2~7 a 周期循环往复, 其发生不仅直接导致热带太平洋地区的天气气候异常, 还能通过遥相关的方式影响热带外乃至全球的气候系统 (Rasmusson and Carpenter, 1982; Philander, 1983; 翟盘茂等, 2003; Zhang et al., 2013, 2014)。例如, 当 ENSO 处于暖位相 (即 El Niño) 时, 热带西北太平洋出现的异常反气旋环流会对东亚季风造成显著影响 (Li, 1990; Zhang et al., 1996; 陈文, 2002)。关于西北太平洋反气旋异常的形成机理目前仍存在一些争议, 有观点认为是热带西太平洋冷海温的大气响应 (Wang et al.,

2000), 也有研究工作指出滞后 ENSO 的印度洋延迟效应是该反气旋异常产生的关键 (吴国雄和孟文, 1998; Yang et al., 2007; Xie et al., 2009, 2016)。最新的研究发现, ENSO 变率与年循环存在着相互作用 (被称作 ENSO 组合模态), 这一相互作用现象能被热带太平洋表面风场的第二模态所反映 (Stuecker et al., 2013)。进一步的研究指出 ENSO 组合模态可能是西北太平洋反气旋和中国降水异常的产生原因 (Stuecker et al., 2013, 2015; Zhang et al., 2016)。与 El Niño 事件相联系的太平洋局地海气异常及其对全球的气候影响在超强 El Niño 年尤为剧烈, 例如 1983 年东南亚大范围的严重干旱和

引用格式: 张文君, 耿新, 2016. 2015/2016 年超强 El Niño 局地海气特征及其特殊性 [J]. 大气科学学报, 39(6): 778-787.

Zhang W J, Geng X, 2016. Characteristics and particularity of local air-sea processes for the 2015/2016 super El Niño event [J]. Trans Atmos Sci, 39(6): 778-787. doi: 10.13878/j.cnki.dqkxxb.20160825001. (in Chinese).

1998年我国长江和松花江流域出现的特大暴雨洪涝都与前期冬季热带中东太平洋的超强 El Niño 事件有关(黄海燕等,2016;袁媛等,2016)。

监测结果表明,继 1982/1983 和 1997/1998 年冬季之后,2015/2016 年冬季热带中东太平洋又发生了一次超强 El Niño 事件(Levine and McPhaden, 2016;邵颢和周兵,2016),受此影响,全球多地出现了强度不等的天气气候异常。就我国而言,2015 年夏季华北、河套地区出现了严重干旱,秋季华南地区降水持续性偏多,12 月中东部频繁遭遇大范围雾霾天气过程等(刘屹岷等,2016;聂羽等,2016;翟盘茂等,2016)。鉴于超强 El Niño 事件的深远影响,同时为了更全面系统地认识这次 El Niño 事件,本文将详细分析 2015/2016 年 El Niño 事件局地海气异常的演变过程,并着重讨论本次超强 El Niño 事件与前两次事件相比的特殊之处,以期为后续预测及对东亚的气候影响提供参考。

1 资料和方法

本文采用的资料主要包括:1)美国国家大气海洋管理局(NOAA)拓展重建的全球月平均海表温度数据集(ERSST v4),分辨率为 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ (Huang et al., 2015); 2)美国国家环境预测中心/国家大气研究中心(NCEP/NCAR)提供的全球月平均 10 m 水平风场和海平面气压场(Kalnay et al., 1996); 3) NOAA 提供的美国气候预测中心(CPC) CMAP 全球月平均降水数据,分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ (Xie and Arkin, 1997)。所有资料的时间跨度皆为 1979 年 1 月至 2016 年 5 月。

本文主要采用合成分析、组合变量经验正交函数分解(MV-EOF)(王盘兴,1981)等常用的气候诊断和统计方法。为避免全球变暖趋势和其他长时间尺度变率的可能影响,计算前首先扣除了数据的线性趋势,之后再通过扣除气候平均场得到各气象要素的距平数据用于研究,气候平均场为研究时段中逐月的多年平均值。值得注意的是,受对流资料长度所限,本文用降水来粗略地表示热带对流。采用 Niño3.4 指数(即 $170^{\circ} \sim 120^{\circ} \text{W}$ 、 $5^{\circ} \text{S} \sim 5^{\circ} \text{N}$ 区域平均的海温距平序列)作为 El Niño 事件的监测指标,重点讨论 3 次超强 El Niño 事件的局地海气过程。印度洋偶极子(Indian Ocean Dipole, IOD)指数定义为赤道印度洋西部($50^{\circ} \sim 70^{\circ} \text{E}$ 、 $10^{\circ} \text{S} \sim 10^{\circ} \text{N}$)和东部($90^{\circ} \sim 110^{\circ} \text{E}$ 、 $10^{\circ} \text{S} \sim 0^{\circ}$)平均海温距平差(Saji et al., 1999);印度洋全区一致(Indian Ocean Basin Wide,

IOBW)模态指数定义为热带印度洋($40^{\circ} \sim 110^{\circ} \text{E}$ 、 $20^{\circ} \text{S} \sim 20^{\circ} \text{N}$)区域平均的海温距平(Yuan et al., 2012),西北太平洋反气旋指数定义为($120^{\circ} \sim 150^{\circ} \text{E}$ 、 $10^{\circ} \text{S} \sim 10^{\circ} \text{N}$)区域平均的海平面气压场(Wang et al., 2000)。为了描述方便,文中的 1979 年冬季指 1979/1980 年冬季,year(0)/year(1)为 El Niño 事件的当年/次年。

2 热带海温和对流特征及其差异

目前中国气象局国家气候中心和美国 CPC 等机构均采用 Niño3.4 指数监测 ENSO 事件的演变过程(邵颢和周兵,2016),因此首先给出了 1982/1983、1997/1998 和 2015/2016 年 3 次超强 El Niño 事件期间 Niño3.4 指数的时间演变曲线(图 1)。按照 CPC 对 El Niño 事件的定义(即 3 个月滑动平均的 Niño3.4 指数连续 5 个月大于等于 0.5°C)可以看到,2015/2016 年 El Niño 开始于当年 4 月,稍稍早于 1982/1983 的 6 月和 1997/1998 的 5 月。此后,3 次事件 Niño3.4 指数均逐渐增强,在当年冬季到达峰值后迅速衰减。3 次超强 El Niño 事件 Niño3.4 区海温异常的演变过程基本类似。但由表 1 可见,截止到 2016 年 5 月,2015/2016 年 El Niño 事件已持续了 14 个月,长于 1982/1983 和 1997/1998 年两次事件的 12 个月。Niño3.4 区海温异常的峰值强度和累计距平分别达到 2.23°C 和 19.61°C ,也均稍稍强于前两次事件。因此,从

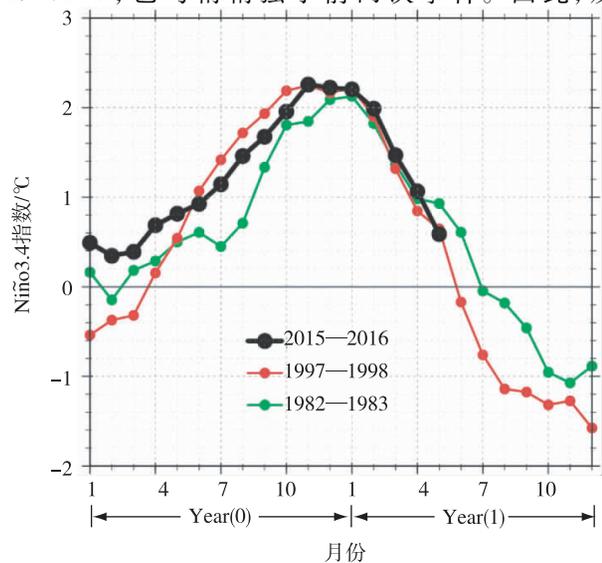


图 1 3 次超强 El Niño 事件 Niño3.4 指数(单位: $^{\circ} \text{C}$) 的时间演变

Fig.1 Temporal evolutions of the Niño3.4 index (units: $^{\circ} \text{C}$) during the three super El Niño events

Niño3.4区监测指标来看,可以将2015/2016年El Niño视为有完整气象记录以来的最强事件。邵颢和周兵(2016)基于NOAA最优插值海温数据(OISST v2)的诊断分析也得到了类似的结果。

表1 3次超强厄尔尼诺事件各指标对比

Table 1 Comparison of the indices for the three super El Niño events

	开始时间	持续时间/月	峰值强度/°C	累计海温距平/°C
1982/1983	1982年6月	12	2.02	15.93
1997/1998	1997年5月	12	2.21	19.37
2015/2016 (截止2016年5月)	2015年4月	14	2.23	19.61

图2a—2c给出了热带(5°S~5°N)印度洋和太平洋海温距平的时间—经度季节演变,3次超强El Niño事件的暖异常均开始于日界线以西,然后逐渐东传至赤道中东太平洋,而热带西太平洋海温偏低。增暖的赤道中东太平洋存在异常沃克环流上升支,对流活动加强,降水偏多,而异常沃克环流在西太平洋下沉,对流活动受抑制,降水偏少。在El Niño发展期的夏秋季,热带印度洋海温异常表现为东冷西暖的偶极分布,而在El Niño成熟期至衰减期,IOD被IOBW取代。这些特征与对El Niño事件的传统认识基本吻合。为了研究2015/2016年超强El Niño相比前两次事件的特殊性,图2d给出了2015/2016年超强El Niño海温和降水距平与前两次事件的差异分布。通过对比3次El Niño事件海温距平的时间演变特征(图2a—2c),结合图2d不难发现,相比前两次事件,2015/2016年El Niño期间热带印度洋海温明显更暖,对流活动也相对偏强,尤其是发展期的夏秋两季。

进一步给出3次El Niño期间IOD和IOBW指数的时间演变曲线(图3),2015/2016年El Niño期间,印度洋海温异常更多地表现为全区一致模态(图2c),发展期秋季的IOD信号相对较弱,IOBW指数明显偏强。而在太平洋方面,2015/2016年El Niño最大海温距平的位置相对偏西,当年冬季至次年春季热带中太平洋海温正异常强于前两次同期,而东太平洋相对较冷。降水异常也表现为中太平洋偏多,东太平洋偏少的特征。

为更好地说明海温和对流的关系,以热带中太平洋(160°E~160°W,5°S~5°N)为例,绘制了逐年冬春季平均的海温与降水异常的散点图(图4),从

他们之间的线性相关系数(0.87,通过了0.01信度的显著性检验)来看,海温与降水异常存在显著正相关,说明下界面海温越高,赤道中太平洋对流越强。然而图4中的2次拟合线表明两者更是呈一个非线性的抛物线关系,降水对海温的增长速率大概可分为两部分,当海温小于28.8°C左右时,降水异常基本都是负值,对流被抑制。同时其斜率较小,对流随海温增加而增加的幅度较小;而海温一旦超过这个阈值后,降水异常基本都是正异常。同时对流随海温增加的幅度大大增大,基本呈非线性快速增长。也就是说总海温与对流之间存在非线性关系,对流不仅取决于海温异常,也决定于总海温。这也与前人的研究结果一致(Gadgil et al., 1984; Hoerling et al., 1997; 李海燕等, 2016a)。由于北半球冬春季热带中太平洋气候态海温接近28.7°C,在2015/2016年El Niño海温异常明显偏西的情况下,中太平洋也存在明显的正异常海温,海温升高并超过了对流阈值,对流大大增强,因而降水异常增加,比1982/1983和1997/1998年同期偏多了1倍左右。

3 ENSO和年循环相互作用的组合模态及其差异

前人研究发现,在强El Niño当年冬季至次年春季,热带中太平洋总是伴随着大气响应的南移现象,即El Niño年12月至次年1月前后,热带中太平洋降水和西风异常中心会从赤道向南移动至5°S以南(McGregor et al., 2012, 2013)。这一现象能被热带太平洋10 m风场EOF的第二模态所表征(Stuecker et al., 2013)。Stuecker et al. (2013)率先揭示了这一模态的物理本质,即产生于El Niño与海温年循环的非线性相互作用,并将其命名为ENSO和年循环相互作用的组合模态(简称ENSO组合模态)。研究表明,ENSO组合模态与强El Niño事件的快速衰减、季节锁相、气候影响等诸多特征有密切关系(McGregor et al., 2012, 2013; Abellán and McGregor, 2016),因此受到国内外学者的广泛关注。以气候影响为例,单纯El Niño信号在冬春季的气候影响主要局限于热带地区,但ENSO组合模态能借助西北太平洋反气旋将大气响应从赤道向热带外地区拓展延伸,使得东亚地区降水偏多(Zhang et al., 2016)。事实上,大气响应南移和ENSO组合模态的强度对热带太平洋海温异常的纬向位置非常敏感,海温异常越偏西,相应的大气异常南移现象越

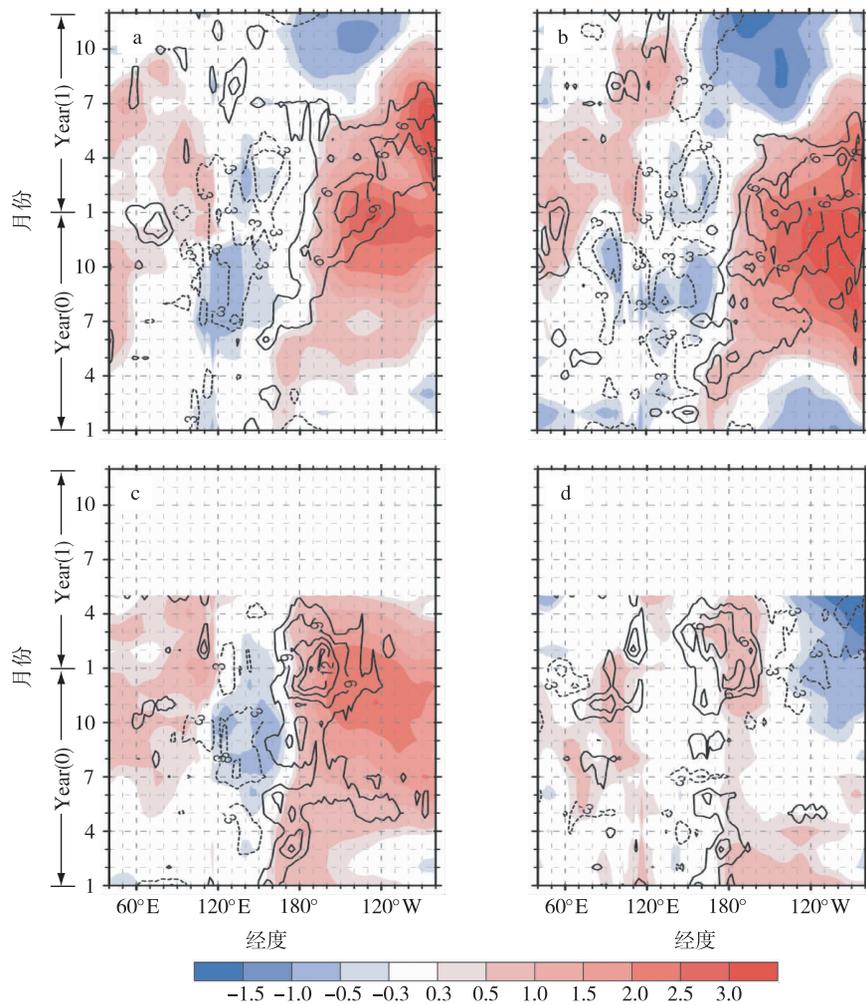


图2 1982/1983(a)、1997/1998(b)、2015/2016(c)超强 El Niño 期间热带(5°S~5°N)海温(阴影,单位:°C)和降水(等值线,单位:mm/d)异常的时间—经度分布及(d)2015/2016年超强 El Niño 期间热带海温和降水异常与1982/1983和1997/1998年两次事件平均异常的差异(等值线间隔为3 mm/d,零线未画出)

Fig.2 Time-longitude evolution of SST(shading;units:°C) and precipitation(contours;units:mm · d⁻¹) anomalies in the tropical ocean during the (a) 1982/1983, (b) 1997/1998 and (c) 2015/2016 super El Niño events, and (d) the difference in SST(shading;units:°C) and precipitation(contours;mm · d⁻¹) anomalies between the 2015/2016 super El Niño and the average of the 1982/1983 and 1997/1998 anomalies(contour interval is 3 mm · d⁻¹ with the zero isoline omitted)

弱(Zhang et al., 2015)。鉴于2015/2016年 El Niño 最大海温异常中心位置偏西以及中太平洋降水明显偏多的特征,有必要考察该次事件 ENSO 组合模态的情况。

首先,给出了3次超强 El Niño 事件热带中太平洋(160°E~160°W)风场及降水异常纬度—时间的季节演变(图5),尽管 El Niño 相关的海表温度异常主要分布在中东太平洋,但其相应的大气响应在中太平洋最强,所以此处分析中太平洋区域(李海

燕等, 2016a)。在当年12月之前,1982/1983和1997/1998年 El Niño 大气响应基本是关于赤道准对称分布,最大西风和降水异常都位于赤道上(图5a,b)。但2015/2016年 El Niño 则呈现出更复杂的特征,最大西风异常略偏向赤道北侧,而降水正异常中心略偏于南半球,这可能与东北太平洋海温偏暖(图略)以及前冬夭折的 El Niño 事件有关,具体原因目前尚不清楚。自 El Niño 当年12月至次年4月期间,1982/1983和1997/1998年 El Niño 大气响

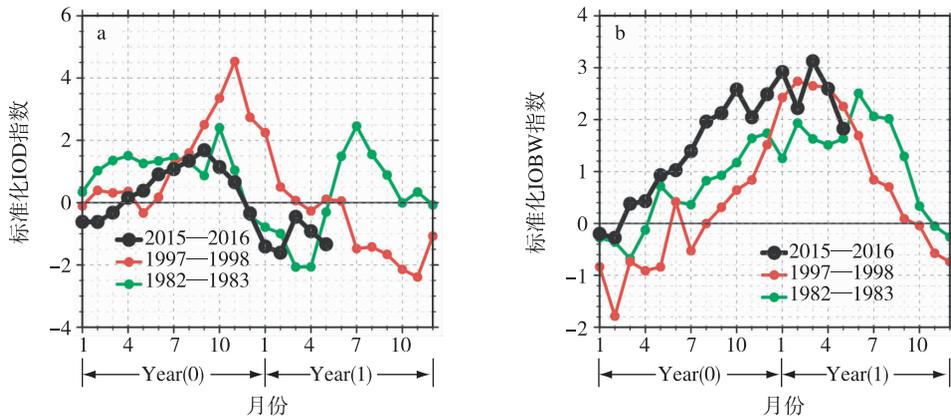


图3 3次超强 El Niño 事件期间标准化 IOD (a) 和 IOBW 指数 (b) 的时间演变
 Fig.3 Temporal evolution of the normalized (a) IOD (Indian Ocean Dipole) and (b) IOBW (Indian Ocean Basin-wide) indices during the three super El Niño events

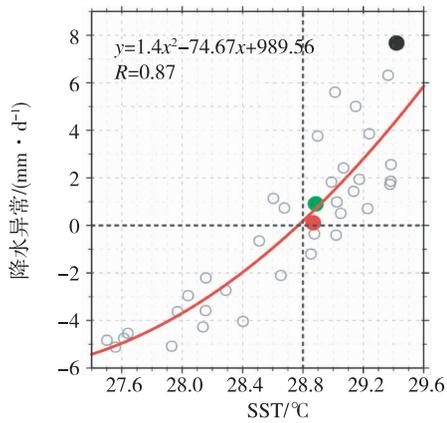


图4 赤道中太平洋 (160°E~160°W, 5°S~5°N,) 冬春季 (DJFMA 平均) 海表温度 (单位: °C) 与降水异常 (单位: mm/d) 的散点图 (绿点代表 1982/1983 年, 红点代表 1997/1998 年, 黑点代表 2015/2016 年)

Fig.4 Scatter plot of SST (°C) and precipitation anomalies (mm · d⁻¹) over the equatorial central Pacific (5°S—5°N, 160°E—160°W) during boreal winter and spring (December—April mean), in which the green, red and black dots represent the values of 1982/1983, 1997/1998 and 2015/2016, respectively

应突然南移到了 5°S 以南, 但这一现象在 2015/2016 年 El Niño 事件同期中相对较弱, 西风和降水异常的大值中心仍位于 5°S~5°N 之间的赤道附近。

在中太平洋大气响应表现出不同特征的情况下, ENSO 组合模态又会表现出何种差异呢? 为回答这一问题, 对赤道太平洋地区 (120°E~90°W, 10°S~10°N) 的 10 m 风场进行 MV-EOF 分析。如

图 6 所示, 第一模态反映了典型的 El Niño 风场响应结构, 即赤道中太平洋显著西风异常和东印度洋显著东风异常, 是一个相对赤道成经向对称分布的空间型。EOF1 的时间系数 (PC1) 与 Niño3.4 指数表现出高度一致性, 其相关系数高达 0.83。因此将 EOF1 称为 ENSO 风场模态。与 EOF1 不同, 第二模态异常风场在赤道两侧几乎成反对称的结构 (图 6b), 表现为西北太平洋异常反气旋和东南太平洋异常气旋的风切变结构。该模态本质上是 ENSO 变率与背景海温年循环相互作用的结果, 因此称之为 ENSO 组合模态, 其时间系数 (PC2) 存在着两个显著的主周期 (8 月和 15 月附近, 图略), 这些结果也与前人的研究相一致 (Stuecker et al., 2013; 李海燕等, 2016b; Ren et al., 2016; Zhang et al., 2016)。图 6c、6d 则给出了 3 次超强 El Niño 期间 PC1 和 PC2 的时间演变曲线, 从中可以看出, 3 次事件 ENSO 风场模态都在当年冬季成熟, 随后衰减, 峰值强度都在 3 个标准差附近, 基本呈现出一致的演变特征。而 ENSO 组合模态却存在一些差异, 虽然初冬时节 PC2 都出现了由负到正的位相转换, 但转正位相之后的峰值差异明显, 2015 年冬季至次年春季的组合模态强度明显弱于 1982 和 1997 年同期。这也是与 2015/2016 年热带中太平洋西风顺移的强度偏弱相对应的。由于西北太平洋反气旋是 ENSO 组合模态的一个重要特征, 故特别关注了 3 次超强 El Niño 年西北太平洋反气旋的强度差异 (图 7), 与 ENSO 组合模态和中太平洋西风顺移特征对应, 2015 年冬季至 2016 年春季, 西北太平洋反气旋的强度也弱于前两次 El Niño。

为了进一步回答 2015/2016 年 ENSO 组合模态

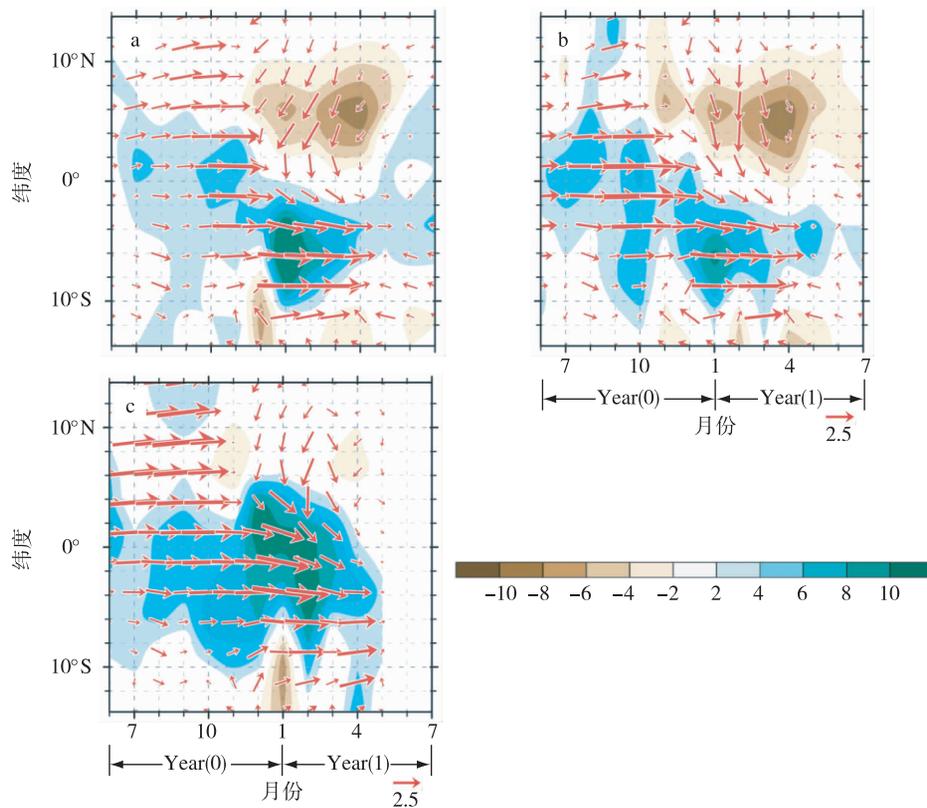


图5 1982/1983 (a)、1997/1998 (b) 和 2015/2016 (c) 超强 El Niño 事件期间中太平洋 (160°E—160°W) 的降水距平 (阴影, 单位: mm/d) 和 10 m 风场距平 (箭矢, 单位: m/s) 随纬度—时间的逐月演变

Fig.5 Latitude-time evolution of precipitation (shading; units: $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$) and 10 m wind (vectors; units: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) anomalies in the central Pacific (160°E—160°W) during the (a) 1982/1983, (b) 1997/1998 and (c) 2015/2016 super El Niño events

或中太平洋大气响应南移与前两次超强 El Niño 存在差异的原因,给出了北半球冬春季 (DJFMA) 平均的气候态海温和 2015/2016 年 El Niño 异常海温的空间分布 (图 8a)。从多年平均的气候态角度来看,受太阳直射点的影响,此时高于对流阈值的暖海温几乎都位于赤道南侧,对流很活跃,而赤道北侧海温低于对流阈值 $28.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, 对流受到抑制。而 1982/1983 和 1997/1998 年两次 El Niño 发生时,异常海温主要位于赤道东太平洋,对赤道中太平洋的影响很小,故中太平洋仍然是南高北低的海温分布,且只有赤道南侧的海温高于对流阈值。而在此之前,太阳直射点位于赤道上,气候态海温及大气响应一般关于赤道准对称分布 (图略; 李海燕等, 2016a; Zhang et al., 2015), 因此冬春季热带中太平洋会出现大气响应得向南移动。与此不同的是, 2015/2016 年 El Niño 异常海温位置偏西, 受其影响, 冬春季中太平洋海温明显增加, 使得赤道南北两侧海温都高于对流阈值, 对流都能得到加强, 因此大气响应的南

移现象较弱 (图 8b—8d)。

4 结论

继 1982/1983 和 1997/1998 年超强 El Niño 事件之后, 2015/2016 年赤道中东太平洋又发生了一次超强 El Niño 事件, 基于最新的海表温度和大气资料, 简要分析了该次事件的局地海气过程, 并将其与前两次超强 El Niño 事件做了对比研究, 主要得到以下结论:

1) 与前两次超强 El Niño 事件相比, 2015/2016 年 El Niño 在峰值强度、持续时间、累计海温距平等指标上都略强, 可视为有完整气象观测纪录以来的最强 El Niño 事件。

2) 与前两次事件相比, 2015/2016 年 El Niño 海温异常的中心位置明显偏西, 热带东太平洋海温相对较冷而中太平洋更暖。由于热带对流活动对海温是非线性响应的关系, 赤道东太平洋降水相对较弱, 热带中太平洋则比前两次偏多了将近 1 倍, 这在 El

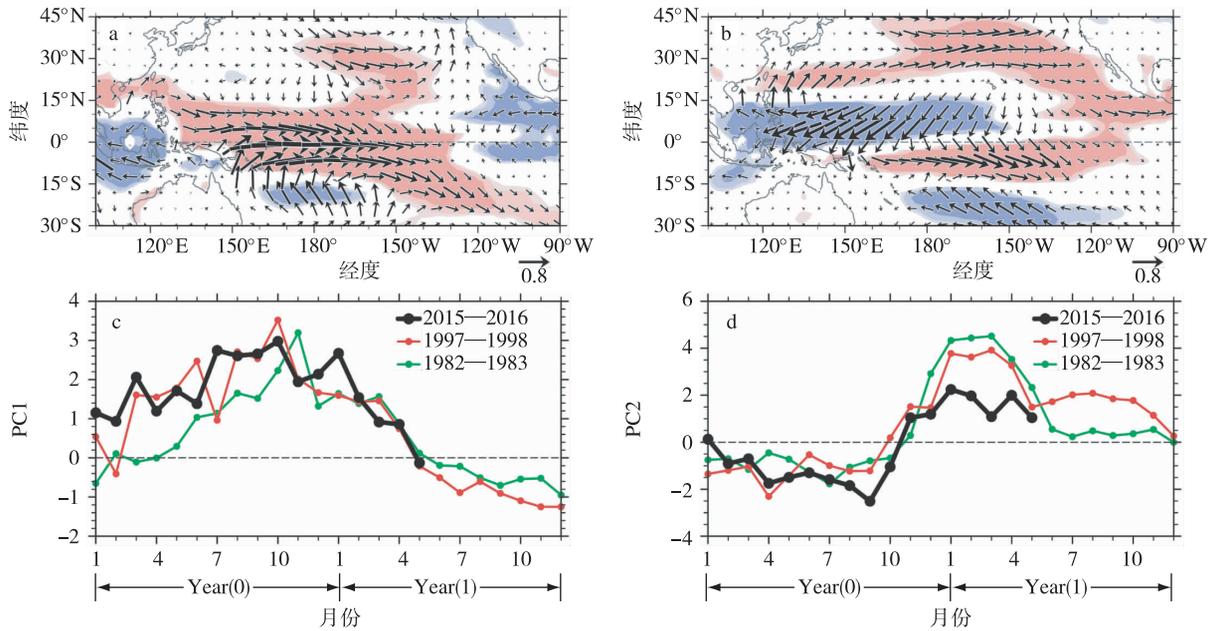


图6 热带太平洋(120~270°E,10°S~10°N) 10 m 风场 MV-EOF 第一模态标准化时间系数 PC1(a)、第二模态标准化时间系数 PC2(b)与原距平场回归系数的空间分布以及3次超强 El Niño 事件期间 PC1(c)和 PC2(d)的时间演变(a和b中的深浅阴影分别表示10 m 纬向风的回归系数通过了0.1以上的信度检验)

Fig.6 Regression pattern of the 10 m monthly wind anomalies upon normalized time coefficients for the (a) first and (b) second MV-EOF modes (i.e., PC1 and PC2) of 10 m wind over the tropical Pacific (10° S—10° N, 120—270° E), and the temporal evolution of (c) PC1 and (d) PC2 during the three super El Niño events [shading in (a, b) represents the 10 m zonal wind anomalies above the 90% confidence level]

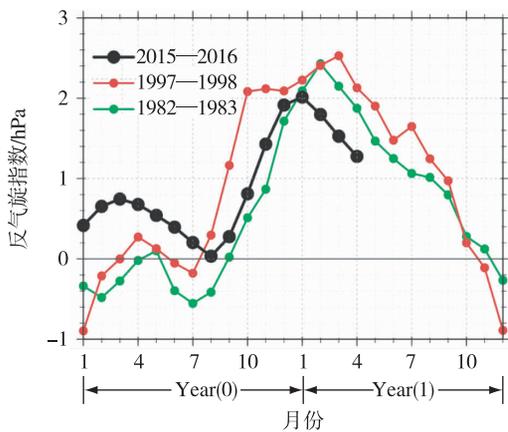


图7 3次超强 El Niño 事件期间菲律宾反气旋指数(单位:hPa)的时间演变

Fig.7 Temporal evolution of the anomalous Philippine Sea anticyclone index (hPa) during the three super El Niño events

Niño 当年12月至次年4月尤为明显。

3)在前两次 El Niño 事件的成熟期至衰减期,中太平洋大气响应都存在明显的南移特征,西风异常和对流中心都从赤道南移到了5°S以南;而2015/2016年 El Niño 事件同期,中太平洋的大气响应一

直位于赤道附近,南移特征相对较弱,ENSO 组合模态和西北太平洋反气旋的强度也弱于前两次。ENSO 组合模态的偏弱与 El Niño 异常海温的纬向位置密切相关。2015年冬季至2016年春季,El Niño 海温异常的中心位置明显偏西,热带中太平洋的暖海温异常显著强于前两次,叠加气候平均态的海温之后,赤道南北两侧的海温都高于对流阈值,对流旺盛,这大大削弱了 ENSO 大气响应的经向移动和组合模态的强度。

本研究仅从局地海气过程角度探讨了2015/2016年超强 El Niño 与1982/1983和1997/1998年 El Niño 的不同特征,重点关注了 El Niño 冬春季中太平洋大气响应南移现象。考虑到 ENSO 局地海气过程的异常特征对 El Niño 事件的预测和自身发展演变具有重要影响(任宏利等,2016),同时由于 ENSO 组合模态是 El Niño 影响东亚气候的关键因子(Zhang et al.,2016),其强度的差异势必造成不同的气候响应,后续研究将深入探讨这些问题。

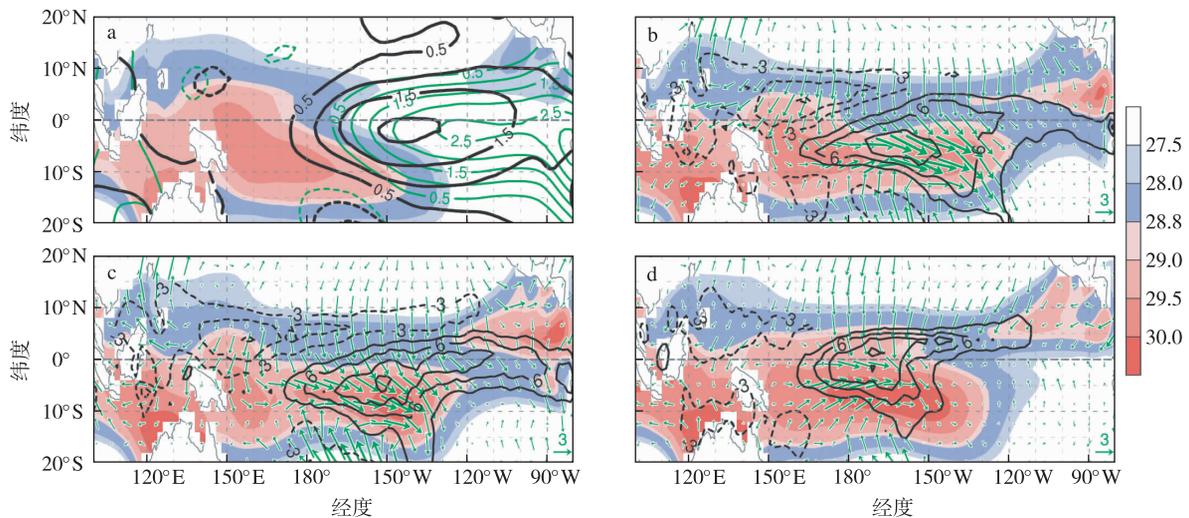


图 8 北半球冬春季 (DJFMA) 气候态海温 (阴影, 单位: $^{\circ}\text{C}$)、2015/2016 年超强 El Niño 异常海温 (黑色等值线, 单位: $^{\circ}\text{C}$) 及 1982/1983 和 1997/1998 年两次超强 El Niño 平均异常海温 (绿色等值线, 单位: $^{\circ}\text{C}$) 的空间分布 (a) 和同期 1982/1983 (b), 1997/1998 (c) 和 2015/2016 (d) 超强 El Niño 的平均原始海温 (阴影, 单位: $^{\circ}\text{C}$)、降水异常 (等值线, 单位: mm/d) 及 10 m 风场异常 (箭矢, 单位: mm/d) 的空间分布

Fig.8 (a) Climatological SST (shading; units: $^{\circ}\text{C}$), SST anomalies in 2015/2016 (black contours; units: $^{\circ}\text{C}$) and SST anomalies in 1982/1983 and 1997/1998 (green contours; units: $^{\circ}\text{C}$) during boreal winter and spring (December—April mean); SST (shading; units: $^{\circ}\text{C}$), precipitation (contours; units: $^{\circ}\text{C}$) and 10 m wind (vectors; units: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) anomalies during boreal winter and spring (December—April mean) in the (b) 1982/1983, (c) 1997/1998 and (d) 2015/2016 super El Niño events

参考文献 (References)

- Abellán E, McGregor S, 2016. The role of the southward wind shift in both the seasonal synchronization and duration of ENSO events [J]. *Climate Dyn*, 47(1): 509-527.
- 陈文, 2002. El Niño 和 La Niña 事件对东亚冬、夏季风循环的影响 [J]. *大气科学*, 26(5): 595-610. Chen W, 2002. Impacts of El Niño and La Niña on the cycle of the East Asian winter and summer monsoon [J]. *Chin J Atmos Sci*, 26(5): 595-610. (in Chinese).
- Gadgil S, Joseph P V, Joshi N V, 1984. Ocean-atmosphere coupling over monsoon regions [J]. *Nature*, 312(5990): 141-143.
- Huang B, Thorne P W, Smith T M, et al., 2015. Further exploring and quantifying uncertainties for extended reconstructed sea surface temperature (ERSST) Version 4 (v4) [J]. *J Climate*, 29(9): 3119-3142.
- Hoerling M P, Kumar A, Zhong M, 1997. El Niño, La Niña, and the nonlinearity of their teleconnections [J]. *J Climate*, 10: 1769-1786.
- 黄海燕, 王亚非, 何金海, 等, 2016. 天气尺度波列对长江中下游 6 月梅雨的影响 [J]. *大气科学学报*, 39(1): 28-36. Huang H Y, Wang Y F, He J H, et al., 2016. Impact of synoptic scale wave train on Meiyu over the middle and lower reaches of the Yangtze River in June [J]. *Trans Atmos Sci*, 39(1): 28-36. (in Chinese).
- Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al., 1996. The NCEP/NCAR reanalysis project [J]. *Bull Amer Meteor Soc*, 77(1996): 437-472.
- Levine A F Z, McPhaden M J, 2016. How the July 2014 easterly wind burst gave the 2015—2016 El Niño a head start [J]. *Geophys Res Lett*, 43(12): 6503-6510.
- Li C Y, 1990. Interaction between anomalous winter monsoon in East Asia and El Niño events [J]. *Adv Atmos Sci*, 7(1): 36-46.
- 李海燕, 张文君, 何金海, 等, 2016a. SST 年循环对 El Niño 事件局地海气过程的影响 [J]. *海洋学报*, 38(1): 56-68. Li H Y, Zhang W J, He J H, et al., 2016. Influence of SST annual cycle on local air-sea processes during El Niño events [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 38(1): 56-68. (in Chinese).
- 李海燕, 张文君, 何金海, 2016b. ENSO 及其组合模态对中国东部各季节降水的影响 [J]. *气象学报*, 74(3): 322-334. Li H Y, Zhang W J, He J H, 2016. Influences of ENSO and its combination mode on seasonal precipitation over eastern China [J]. *Journal of Meteorological Research*, 74(3): 322-334. (in Chinese).
- 刘屹岷, 刘伯奇, 任荣彩, 等, 2016. 当前重大厄尔尼诺事件对我国春夏气候的影响 [J]. *中国科学院院刊*, 31(2): 241-250. Liu Y M, Liu B Q, Ren R C, et al., 2016. Current super El Niño event and its impacts on climate in China in spring and summer [J]. *Bull Chin Acad Sci*, 31(2): 241-250. (in Chinese).
- McGregor S, Timmermann A, Schneider N, et al., 2012. The effect of the South Pacific convergence zone on the termination of El Niño events and the

- meridional asymmetry of ENSO[J]. *J Climate*, 25(16): 5566-5586.
- McGregor S, Ramesh N, Spence P, et al., 2013. Meridional movement of wind anomalies during ENSO events and their role in event termination[J]. *Geophys Res Lett*, 40(4): 749-754.
- 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).
- Philander S G, 1983. El Niño southern oscillation phenomena[J]. *Nature*, 302(302): 295-301.
- Rasmusson E M, Carpenter T H, 1982. Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the southern oscillation El Niño[J]. *Mon Wea Rev*, 110(5): 354-384.
- 任宏利, 刘颖, 左金清, 等, 2016. 国家气候中心新一代 ENSO 预测系统及其对 2014/2016 年超强厄尔尼诺事件的预测[J]. *气象*, 42(5): 521-531. Ren H L, Liu Y, Zuo J Q, et al., 2016. The new generation of ENSO prediction system in Beijing Climate Centre and its predictions for the 2014/2016 super El Niño event[J]. *Meteor Mon*, 42(5): 521-531. (in Chinese).
- Ren H L, Zuo J Q, Jin F F, et al., 2016. ENSO and annual cycle interaction: The combination mode representation in CMIP5 models[J]. *Climate Dyn*, 46(11): 3753-3765.
- Saji N H, Goswami B N, Vinayachandran P N, et al., 1999. A dipole in the tropical Indian Ocean[J]. *Nature*, 401(6751): 360-363.
- 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).
- Stuecker M F, Timmermann A, Jin F F, et al., 2013. A combination mode of the annual cycle and the El Niño/Southern Oscillation[J]. *Nature Geoscience*, 6(7): 540-544.
- Stuecker M F, Jin F F, Timmermann A, et al., 2015. Combination mode dynamics of the anomalous North-West Pacific anticyclone[J]. *J Climate*, 28(3): 1093-1111.
- Wang B, Wu R, Fu X, 2000. Pacific-East Asian teleconnection: How does ENSO affect East Asian climate? [J]. *J Climate*, 13(9): 1517-1536.
- 王盘兴, 1981. 气象向量场的自然正交展开方法及其应用[J]. *南京气象学院学报*, 1: 37-48. Wang P X, 1981. On the method of empirical orthogonal expansion in a meteorological vector field and its application[J]. *J Nanjing Inst Meteor*, 1: 37-48. (in Chinese).
- 吴国雄, 孟文, 1998. 赤道印度洋—太平洋地区海气系统的齿轮式耦合和 ENSO 事件 I. 资料分析[J]. *大气科学*, 22(4): 470-480. Wu G X, Meng W, 1998. Gearing between the Indo-monsoon circulation and the Pacific-Walker circulation and the ENSO. Part I: Data analysis[J]. *Scientia Atmospherica Sinica*, 22(4): 470-480. (in Chinese).
- Xie P P, Arkin P A, 1997. Global precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs [J]. *Bull Amer Meteor Soc*, 78(11): 2539-2558.
- Xie S P, Hu K, Hafner J, et al., 2009. Indian Ocean capacitor effect on Indo-western Pacific climate during the summer following El Niño[J]. *J Climate*, 22(3): 730-747.
- Xie S P, Kosaka Y, Du Y, et al., 2016. Indo-western Pacific ocean capacitor and coherent climate anomalies in post-ENSO summer: A review[J]. *Adv Atmos Sci*, 33(4): 411-432.
- Yang J, Liu Q, Xie S P, et al., 2007. Impact of the Indian Ocean SST basin mode on the Asian summer monsoon[J]. *Geophys Res Lett* 34(2): 155-164.
- Yuan Y, Yang S, Zhang Z, 2012. Different evolutions of the Philippine Sea anticyclone between the eastern and central Pacific El Niño: Possible effects of Indian Ocean SST[J]. *J Climate*, 25(22): 7867-7883.
- 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, 2016. Influence of the 2014—2016 super El Niño event on climate[J]. *Meteor Mon*, 42(5): 532-539. (in Chinese).
- 翟盘茂, 李晓燕, 任福民, 2003. 厄尔尼诺[M]. 北京: 气象出版社. Zhai P M, Li X Y, Ren F M, 2003. El Niño[M]. Beijing: China Meteorological Press. (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 Meteorologica Sinica*, 74(3): 309-321. (in Chinese).
- 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.
- Zhang W, Jin F F, Zhao J X, et al., 2013. The possible influence of a nonconventional El Niño on the severe autumn drought of 2009 in Southwest China [J]. *J Climate*, 26(21): 8392-8405.
- Zhang W, Jin F F, Turner A G, 2014. Increasing autumn drought over southern China associated with ENSO regime shift[J]. *Geophys Res Lett*, 41(11): 4020-4026.
- Zhang W, Li H, Jin F F, et al., 2015. The annual-cycle modulation of meridional asymmetry in ENSO's atmospheric response and its dependence on ENSO zonal structure[J]. *J Climate*, 28(14): 5795-5812.
- Zhang W, Li H, Stuecker M F, et al., 2016. A new understanding of El Niño's impact over East Asia: Dominance of the ENSO combination mode[J]. *J Climate*, 29(12): 4347-4359.

Characteristics and particularity of local air-sea processes for the 2015/2016 super El Niño event

ZHANG Wenjun, GENG Xin

Key Laboratory of Meteorological Disaster, Ministry of Education (KLME)/Joint International Research Laboratory of Climate and Environment Change (ILCEC)/Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters (CIC-FEMD), Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China

Based on the latest monthly global reanalyzed NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) sea surface temperature (SST) and NCEP (National Centers for Environmental Prediction)/NCAR (National Center for Atmospheric Research) atmospheric circulation data, we analyzed the characteristics of the local air-sea processes for the 2015/2016 super El Niño event, and the differences with previous (1982/1983 and 1997/1998) super El Niño events are also discussed.

The 2015/2016 super El Niño event can be regarded as the strongest on record, since the corresponding indices of El Niño duration, peak intensity and accumulated SST anomaly remain the strongest among the existing three super El Niño events. The location of the tropical SST anomaly was displaced further west compared with the 1982/1983 and 1997/1998 events. As a result, the SST of the 2015/2016 El Niño event was colder in the tropical eastern Pacific and warmer in the central Pacific than that of the previous two super El Niño events. Due to nonlinear responses of the convective precipitation to the SST anomaly, precipitation anomalies were weaker in the tropical eastern Pacific and much stronger in the central Pacific during the 2015/2016 El Niño event than those during the previous two super El Niño events, which was particularly evident from the El Niño December to the following April. Moreover, the 1982/1983 and 1997/1998 super El Niño events exhibited obvious southward shifts of the atmospheric responses from the equator to 5°S in the tropical central Pacific during the mature-to-decay phase. However, the precipitation and the westerly wind anomalies during the same phase of the 2015/2016 event were mainly located near the equator and the meridional movements were not as robust as those during the 1982/1983 and 1997/1998 events. The intensities of the ENSO combination mode, which results from the interaction between ENSO and the annual cycle, were also weaker during the 2015/2016 event than those during the previous two super El Niño events, and so was the anomalous western North Pacific anticyclone.

Further analyses reveal that these particular phenomena in the 2015/2016 super El Niño were the consequence of the westward shift of the SST anomaly in the tropical central Pacific from winter 2015 to spring 2016. The relatively cold climatological SST north of the equator increased and exceeded the convection threshold, which favored the convection activities both south and north of the equator and led to the weakened meridional movement of the atmospheric responses.

2015/2016 super El Niño; ENSO combination mode; southward shift of atmospheric response; western North Pacific anticyclone

doi:10.13878/j.cnki.dqkxxb.20160825001

(责任编辑:孙宁)