

南太平洋副热带偶极子对南太平洋辐合带的影响

李 琼^{1,2,3,4}, 郑 建^{1,3,4}, 王法明^{1,3,4}

(1. 中国科学院海洋研究所, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 中国科学院海洋研究所 海洋环流与波动重点实验室, 山东 青岛 266071; 4. 青岛海洋科学与技术国家实验室 海洋动力过程与气候功能实验室, 山东 青岛 266071)

摘要: 为研究南太平洋副热带偶极子的局地气候效应, 利用 Hadley 中心的海温数据集 HadISST 以及 NCEP-NCAR 的大气再分析数据, 分析了南太平洋副热带偶极子(South Pacific Subtropical Dipole, SPSD)对南太平洋辐合带(South Pacific Convergence Zone, SPCZ)的影响, 并探讨了相应的物理过程。研究结果显示, 南太平洋副热带偶极子事件线性独立于 ENSO(El Niño-Southern Oscillation)事件, 有明显的季节锁相, 于 12~2 月达到峰值并显著影响 SPCZ 降水带的位置。其中, 正偶极子事件(简称“正事件”)期间偶极子东北极区域(暖海温)水汽辐合上升, 降水增多; 而在偶极子西南极区域(冷海温)水汽辐散下沉, 降水减少, 因此 SPCZ 降水带偏北。负偶极子事件(简称“负事件”)则相反, 东北极降水减少的同时西南极降水增多, 从而 SPCZ 降水带偏南。本研究关于 SPSD 与 SPCZ 关系的分析, 将有助于更好地理解南太平洋的年际气候变异和海气相互作用。

关键词: 南太平洋副热带偶极子; 南太平洋辐合带; 海面温度; 降水; 大气环流
中图分类号: P47 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3096(2016)10-0143-08
doi: 10.11759/hyxx20151201002

海陆比为 4 : 1 的南半球拥有比北半球更广阔的海域, 其副热带区域海面温度(sea surface temperature, SST)存在明显的偶极型年际变化, 可通过大气环流的调整影响局地以及全球气候。例如, 南大西洋偶极子能影响南大西洋辐合带的位置、强度^[1-2]和几内亚海岸的降水等^[3], 南印度洋偶极子可通过经向大气环流作用于中国春季降水^[4-7]。最新研究表明, 在南太平洋副热带存在类似的海温偶极子结构^[8-11], 但其气候效应, 特别是对局地降水的影响, 还不清楚。

南太平洋辐合带(South Pacific Convergence Zone, SPCZ)是南太平洋夏季(南半球)的主要降水区域, 按位置可分为纬向部分和斜向部分^[12]。其中, 西北支与热带辐合带(Intertropical Convergence Zone, ITCZ)重合受西太平洋暖池调控呈东西方向分布, 称之为纬向部分^[13-14]。斜向部分呈西北~东南走向, 延伸至东南太平洋 30°S, 120°W 附近, 受到热带加热和东南太平洋副高等因素的调控^[12]。海气耦合模式试验的结果显示, SPCZ 斜向部分的倾斜程度受到其下方 SST 倾斜梯度的直接影响^[15]。

本文研究了南太平洋副热带偶极子对 SPCZ 斜向部分的影响。在多种表示 SPCZ 位置的参数中^[16-17]降水的表征比较明显, 可以用来表示 SPCZ 位置的移

动, 因此本文用降水带的位置和强弱表示 SPCZ。

1 资料和方法

1.1 数据资料

海温资料使用英国气象局 Hadley 中心的海冰和海表面温度数据集(HadISST), 分辨率是 1°×1°。长期降水数据和大气风场、气压场、比湿、垂直运动速度的数据是由美国环境预报中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)和国家大气研究中心(National Center for Atmospheric Research, NCAR)联合提供的再分析资料。同时使用美国国家海洋和大气局(National Oceanic and Atmospheric

收稿日期: 2015-12-01; 修回日期: 2016-01-21

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(XDA11010102); 国家自然科学基金项目(41176017, 41421005, 41606018); 国家自然科学基金委员会-山东省人民政府联合资助海洋科学研究中心项目(U1406401) [Foundation: Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences, No.XDA11010102; National Natural Science Foundation of China, No.41176017, No.41421005, No.41606018; NSFC-Shandong Joint Fund for Marine Science Research Centers, Grant No.U1406401]

作者简介: 李琼(1990-), 女, 山东潍坊人, 硕士, 研究方向为海洋气象学, 电话: 13210022531, E-mail: liqiong113@mails.ucas.ac.cn; 王法明, 通信作者, 研究员, 主要从事气候动力学、海气耦合等方面的教学与研究, 电话: 0532-82898933, E-mail: faming_wang@qdio.ac.cn

Administration, NOAA) 和环境科学协作研究所 (Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences, CIRES) 的 20 世纪再分析资料 (V2) 做降水分析验证。此次研究主要关注 0°~50°S 的东南太平洋区域, 统一选取数据集所共有时间段 (1948~2012 年) 的月平均数据进行分析。

1.2 分析方法

在使用原始数据进行分析之前, 先对变量在每个格点上的值进行预处理。第一步去除气候态和线性趋势, 避免年循环和全球变暖趋势对研究结果的影响。而且本文关注的是南太平洋副热带固有的海温偶极子结构, 第二步需要去除副热带对热带变化响应的部分, 即通过减去自回归过程 $Y(t)$ 尽可能去除 ENSO (El Niño-Southern Oscillation) 强信号的影响。

$$Y(t) = \sum_{l=1}^L a_l N_1(t-l) + \sum_{l=1}^L b_l N_2(t-l) \quad (1)$$

N_1 和 N_2 分别是热带太平洋海温距平 EOF (Empirical Orthogonal Function) 分析的前两个主成分时间序列, 通常认为 ENSO 对南半球海洋的影响可持续 6 个月, 所以 L 取 6^[8], 自回归系数 a_l 和 b_l 由 Yule-Walker 方法确定^[18]。海温、降水和大气环流数据减去 $Y(t)$ 之后, 剩余部分则被认为是东南太平洋固有的年际气候变化。除了典型个例分析, 如果没有特别说明, 做其他分析之前都需要对数据进行以上两步预处理。

在本文的研究中主要使用主成分 (EOF) 分析、相关分析和合成分析这 3 种方法。首先, 对东南太平洋 12~2 月 (December January February, DJF) 的海温距平进行主成分分析, 确定其海温变化的主要空间模态, 并得到第一主成分的时间序列 (PC1)。其次利用超前滞后相关分析可得到 PC1 与东南太平洋降水的相关关系, 初步确定两者的联系, 并使用双尾 T 检验验证假设的显著性。最后, 用合成分析方法分别对正负偶极子事件年的降水、海温和大气环流场进行对应月份合成, 可得到它们对偶极子事件的响应。

2 偶极子模态的时空分布

2.1 SPSD 的空间模态

文献显示, 南太平洋副热带偶极子 (South Pacific Subtropical Dipole, SPSD) 在南半球夏季有很强季节锁相^[8, 10]。为了解南半球夏季 SPSD 的变化, 对南太平洋海盆 (0°~50°S, 160°~65°W) DJF 的季节平均海平面温度异常 (sea surface temperature anomaly,

SSTA) 做 EOF 分析。区域敏感性测试显示, EOF 分析的结果并不过于依赖数据边界的选择, 数据左边界从 160°W 向西扩展到 170°E, 偶极子空间模态几乎没有变化, 南北边界的选择也对偶极子影响较小。

南太平洋副热带 SST 变化第一 EOF 模态的方差贡献是 22%, 表现为西南区域向东北区域倾斜的强 SST 梯度, 这种反位相的海温分布称为南太平洋副热带偶极子 (图 1)。偶极子东北区域有着显著正异常, 其中心位于 20°S, 105°W 附近, 称为东北极 (North-East Pole, NEP); 西南区域海温以 33°S, 130°W 为中心呈负距平分布, 相比东北极振幅稍小, 称为西南极 (South-West Pole, SWP)。

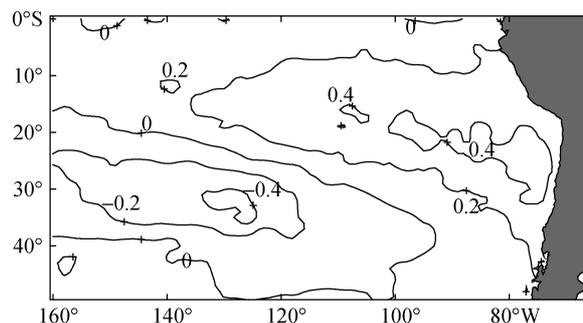


图 1 南半球夏季 (12~2 月) SSTA 的 EOF 第一模态
Fig. 1 First EOF mode of austral summer (DJF) SSTA

2.2 SPSD 的事件年

为研究偶极子模态和 SPCZ 降水的关系, 将 SSTA 主成分分析的 PC1 (图 2) 作为表征偶极子的指数。由于不同文献对偶极子区域选择和研究内容的不同, 定义偶极子的方式也略有差别^[3-5, 7-8, 19], 本文根据已有文献的阈值范围 (0.5~1 个标准差) 和此次研究中逐年的海温距平变化选取 0.6 个标准差为阈值, 使得每个偶极子事件都有稳定的发生、发展和消亡过程。按照以上标准选择正负偶极子事件 (简称“正事件”“负事件”) 年: 若南半球夏季 DJF 的 PC1 均大于 0.6, 则 12 月 (December, D) 所在的年份为正偶极子年, 均小于 -0.6 则为负偶极子年, 例如 PC1 在 1957 年 12 月、1958 年 1 月和 2 月都小于 -0.6, 则认为 1957 年为负偶极子事件年。由此可得正事件年 8 次: 1956、1964、1976、1978、1979、1982、1983、1999 年; 负事件年 9 次: 1957、1970、1972、1973、1974、1990、1997、2009、2010 年 (表 1)。其中正偶极子事件年中的 1976、1979、1982 年和负偶极子事件年中的 1957、1972、1997、2009 年是厄尔尼诺年;

同样，正事件中的 1964、1999 年和负事件中的 1970、1973、1974、2010 年为拉尼娜年。可见，厄尔尼诺和拉尼娜事件在正负偶极子事件中发生频次几乎是相等的，说明 ENSO 事件与偶极子事件没有固定相关关系，从侧面佐证了偶极子现象独立于 ENSO 存在。表 1 中未标明“+”和“-”的年份表示在偶极子发生时没有 ENSO 事件，在文后中将选择偶极子单独发生的事件年进行详细个案分析。

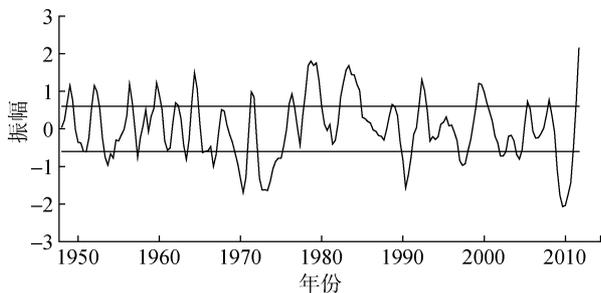


图 2 南半球夏季(12~2 月)SSTA 的 EOF 第一模态时间序列(PC1)

Fig. 2 Time series of austral summer (DJF)SSTA EOF1(PC1)

表 1 正负偶极子事件发生年份

Tab. 1 Years with positive and negative Dipole events

正偶极子事件年份	负偶极子事件年份
1956	1957+
1964-	1970-
1976+	1972+
1978	1973-
1979+	1974-
1982+	1990
1983	1997+
1999-	2009+
	2010-

+：厄尔尼诺事件；-：拉尼娜事件

2.3 SPSD 的季节合成分析

因为季节锁相是偶极子模态的一个重要特性，对偶极子做分析时按照季节进行合成(图 3)。合成分析的结果与 EOF 第一空间模态相似，也存在反位相的海温空间结构。正事件年中，在南半球春季(9~11 月)南太平洋逐渐出现偶极子形态的海温异常，东北极从南美洲中高纬度地区向西北延伸至 20°S, 120°W，未出现明显的海温异常极大值区，而西南极从太平洋中西部向东南一直延伸至 35°S, 100°W，海温异常极大值区已见雏形(图 3a)。春季之后偶极子持续增强，在夏季(12~2 月)达到峰值(图 3b)，形成明显

的正负偶极子中心，中心区域海温距平大于 0.6℃并延续到南半球秋季(3~5 月)，之后海温变化的强度减弱，偶极子型海温结构逐渐瓦解(图 3c)。负偶极子事件的季节演变与正偶极子事件相似，不同之处在于负偶极子西南极在春季的形成速度更慢(图 3d)，在秋季的瓦解速度却快于正偶极子事件(图 3f)，但是在峰值期间负偶极子西南极的强度并不弱于同期正偶极子事件(图 3e)。

若做未去除 ENSO 的海温距平分析(图略)，单个年份的数据分析与去除 ENSO 的结果相比变化较大。而正负偶极子事件年季节合成结果显示，只有春季(September October November, SON)的海温偶极子型变化比图 3 略弱，夏季(DJF)和秋季(March April May, MAM)的海温偶极子强度和空间分布与去除 ENSO 的合成结果具有高度一致性。其原因与厄尔尼诺和拉尼娜事件在正负偶极子事件中的相似频率有关，合成分析中厄尔尼诺事件和拉尼娜事件所引起的正负海温变化相互抵消，从而突显了副热带偶极子型海温分布，这也说明副热带偶极子可能是一个独立于 ENSO 之外的气候模态。

3 SPSD 对 SPCZ 降水的影响

3.1 SPSD 与 SPCZ 的关系

SPCZ 作为南太平洋最活跃的海气相互作用带，其斜向部分恰好横穿整个南太平洋副热带偶极子区域，由此猜想偶极子冷暖极位相的转变是否可影响 SPCZ 的位置？为验证这一假设，把海温距平 12~2 月的 EOF 第一模态时间序列 PC1 与东南太平洋区域降水距平做空间相关，降水滞后海温 1 个月时两者的相关性最好(图 4)，说明海温主要影响 1 个月后的 SPCZ 降水。图 4 中所显示的填色部分均通过了 95% 的显著性检验，PC1 与东南太平洋大部分地区的降水距平呈现正相关，且主要集中于偶极子的东北极区域，西南极区域有较弱的负相关，表明在正事件年(PC1>0.6)与降水呈正相关的东北极(暖海温)降水增加，而与降水呈负相关的西南极(冷海温)降水减少，显然较强的偏暖海温占主导，从而正偶极子事件年的整体降水趋势增加。负偶极子事件年则相反，东北极较强的偏冷海温导致大部分区域降水减少。

为了进一步说明海温偶极子和降水变化的关系，对正负偶极子事件年的降水距平分别做 1~3 月(JFM)的合成分析(图 5)。偶极子正事件期间偶极子北部有正降水异常，南部有负降水异常，SPCZ 北移(图 5a)；

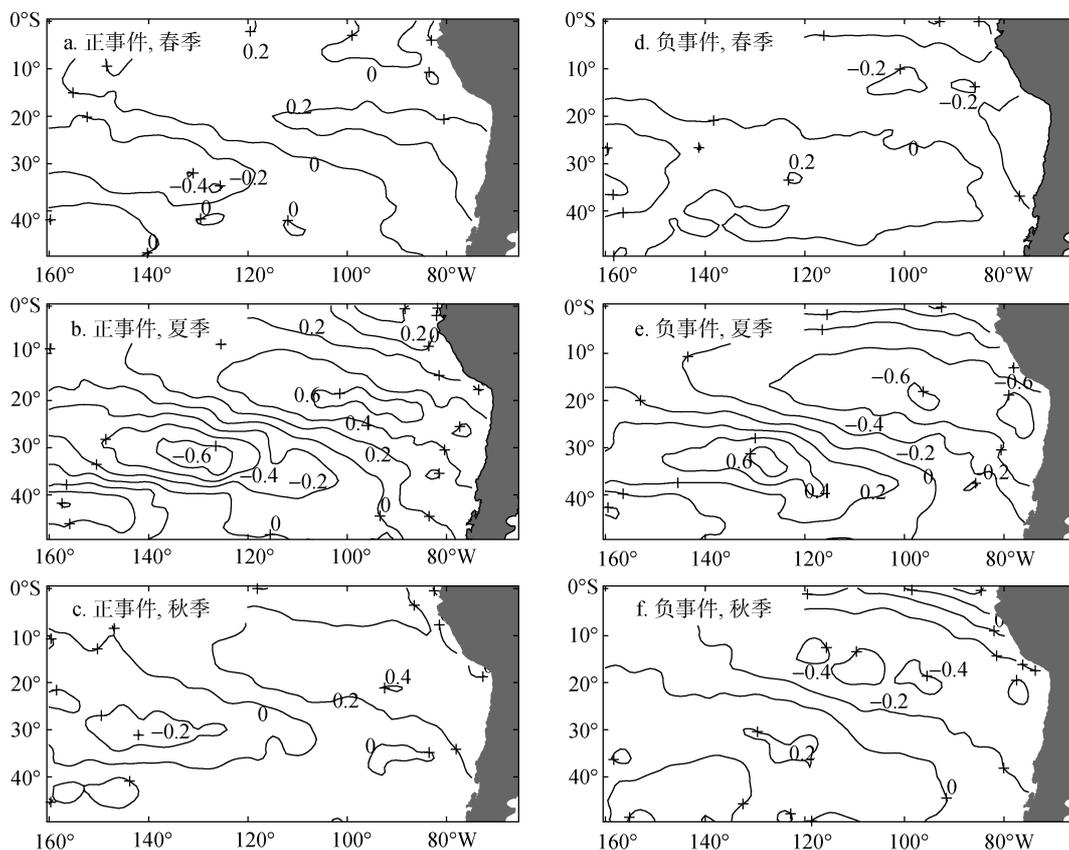


图3 南半球正(a~c)、负(d~f)事件年 SSTA 春季(SON)、夏季(DJF)、秋季(MAM)的季节合成(单位: °C)

Fig. 3 Composite SSTA of positive events during austral spring(SON) (a), austral summer (DJF) (b), and austral autumn (MAM) (c). Composite SSTA of negative events during austral spring(SON) (d), austral summer (DJF) (e), and austral autumn (MAM) (f) (unit: °C)

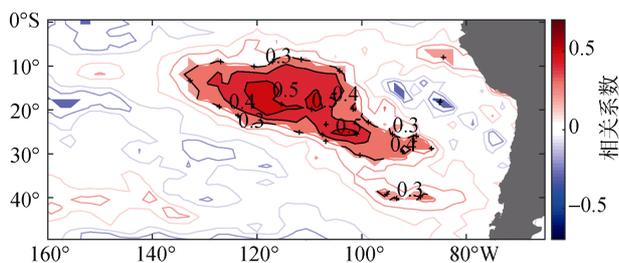


图4 SSTA EOF 第一时间序列 PC1(DJF)与降水距平 (January February March, JFM)的空间相关

Fig. 4 Correlation between time series PC1(DJF) of SSTA EOF1 and precipitation anomaly (JFM)

负偶极子事件则相反, 正降水异常位于偶极子南部, 负降水异常位于北部, SPCZ 南移(图 5b)。用 20 世纪再分析资料(V2)同样对 1948~2012 年降水做合成分析, 两个数据集对于正负偶极子事件期间 SPCZ 降水带移动的结论具有高度一致性, 说明南太平洋副热带偶极子影响 SPCZ 降水的现象并不局限于 NCEP-NCAR 数据分析中。

3.2 SPSD 影响 SPCZ 降水的可能机制

早先的研究表明降水的变化与同期的大气环流密切相关^[19-21], 海温偶极子模态是否可以通过大气环流影响 SPCZ 区域降水变化? 通过分析东南太平洋海温(DJF)以及与降水(JFM)有关的大气环流场(JFM)验证以上假设。正偶极子事件后 1 个月有低压异常中心(18°S, 112°W)位于整个偶极子区域部分, 且有高压异常位于西南冷极西南部(图 6a), 东北区域降水增加, 西南区域降水减少, SPCZ 向北移动(图 6b)。图 6b 中的矢量表示的是 925 hPa 水汽输送量 Q 距平 1~3 月(JFM)的合成, 水汽输送的变化与降水异常密切相关^[22], Q 是按照公式(2)定义的。

$$Q = q \cdot v \quad (2)$$

其中, q 是 925 hPa 的比湿, v 是 925 hPa 的水平风矢量。根据公式(2)得到 Q 后再计算距平值, 就可以得到水汽输送变化。图 6c 中表示的是南半球 1~3 月(JFM)500 hPa 垂直运动 ω 距平的合成, 与图 6b 相对

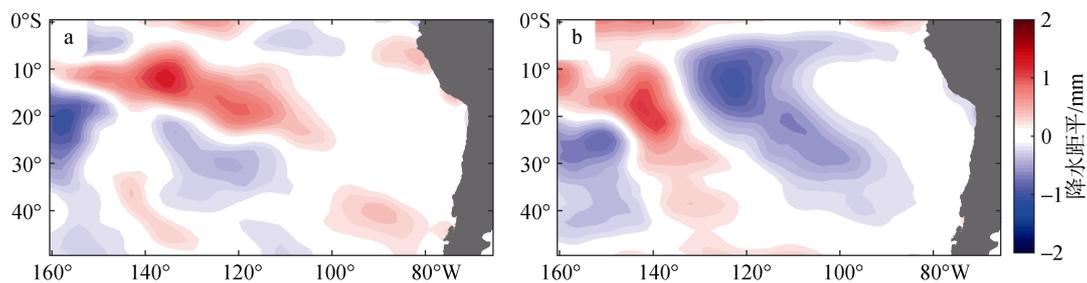


图 5 正(a)、负(b)事件年降水距平在 JFM 的合成

Fig. 5 Composite precipitation anomaly during JFM of positive dipole event (a) and negative dipole event (b)

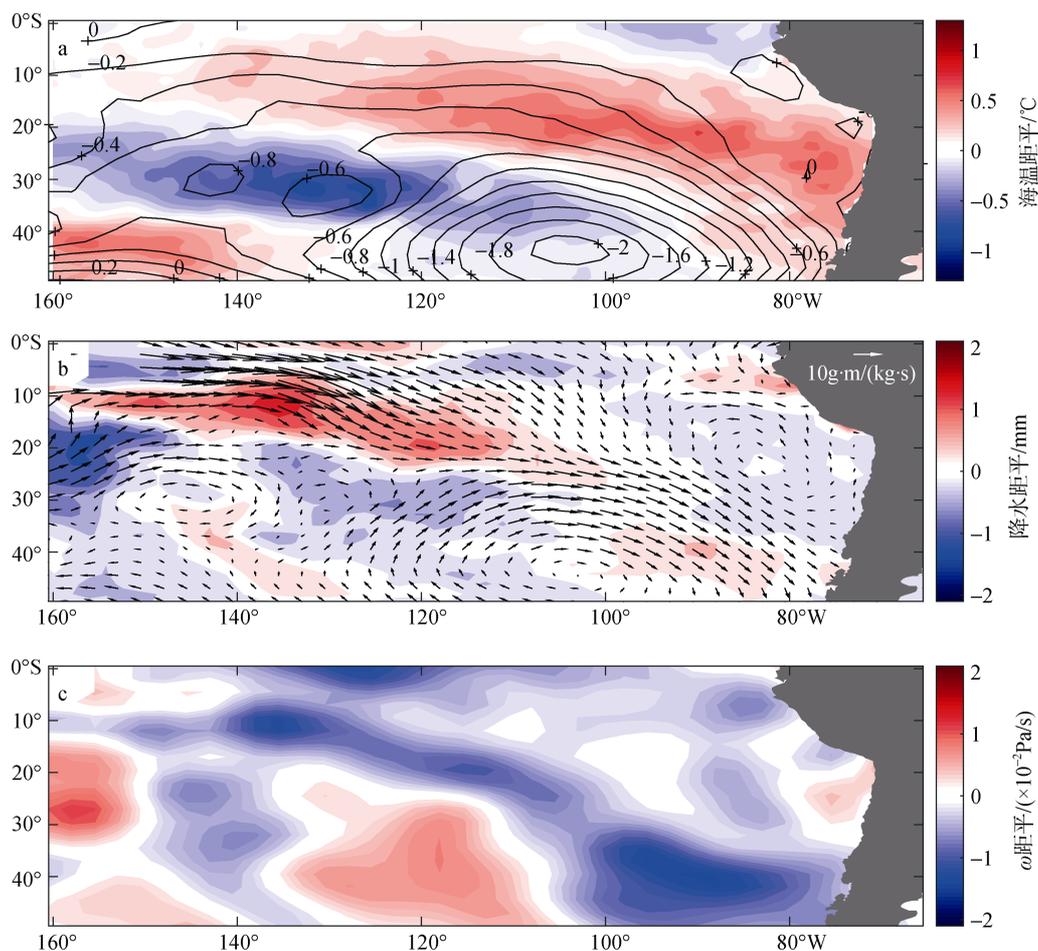


图 6 正事件年南半球夏季 12~2 月(DJF)海温距平和 1~3 月(JFM)的海平面气压距平(等值线单位为 hPa)合成(a)、1~3 月(JFM)降水距平和 1~3 月(JFM)的 925 hPa Q 距平(箭头, 单位: $g \cdot m / (kg \cdot s)$)的合成(b)以及 1~3 月(JFM)500 hPa 垂直运动 ω 距平的合成(c)

Fig. 6 Composite SSTA during austral summer (DJF) and composite SLPA (contours, unit: hPa) during JFM of positive dipole event (a), composite precipitation anomaly and 925 hPa Q anomaly (vectors, unit: $g \cdot m / (kg \cdot s)$) during JFM of positive dipole event (b), composite 500 hPa ω anomaly during JFM of positive dipole event (c)

应, 大气向上运动区($\omega < 0$)降水显著增多, 西南下沉区域($\omega > 0$)降水普遍减少。结合图 6b 和图 6c, 可以发现, 高纬度的下沉气流携带冷水汽从 $105^{\circ} \sim 140^{\circ}W$ 间向北输送, 在 $35^{\circ}S, 130^{\circ}W$ 附近辐散下沉, 造成西南区域降水减少, 之后的辐散气流分成两部分, 一部

分向右偏转与来自赤道太平洋和南美洲低纬度地区携带有大量水汽的暖空气在偶极子暖极区辐合上升, 形成大量降水, 从而降水带北移, SPCZ 位置偏北。

负偶极子事件的机制与正偶极子事件相似(图略), 偶极子主要受到高压控制, 东北极受到冷海温

影响,水汽辐散下沉,降水明显减少;西南暖极则水汽辐合上升,降水偏多,因此在负偶极子事件年,东北部降水少,西南部降水多,从而降水带南移,SPCZ 位置偏南。

3.3 典型个例 1990 年分析

选取 1990 年作为个例分析,因为在这一年只有负偶极子事件,而没有热带太平洋厄尔尼诺和拉尼娜事件的影响,所以通过此分析过程,不仅分析在没有 ENSO 影响的真实年份中海温偶极子对 SPCZ 降水的影响情况,而且从侧面验证前文去除 ENSO 的方法是否合理。原始海温、降水和大气环流数据

先去除气候态和趋势,然后再进行季节平均,不做去 ENSO 处理。如图 7 所示,与负偶极子事件合成分析结果类似,海温偶极子西南极的暖海温异常使得此区域主要受到低压异常控制,从 $140^{\circ}\sim 100^{\circ}\text{W}$ 而来的高纬度水汽与来自低纬度的水汽在西南暖区域汇合,水汽上升形成降水;东北冷极区域受高压控制,水汽整体呈辐散分布,从而降水减少,因此 1990 年降水异常偏向西南区域,从而 SPCZ 南移。典型年份 1990 年的结果与负偶极子事件合成分析结果的一致性,进一步说明副热带海温偶极子影响 SPCZ 降水。

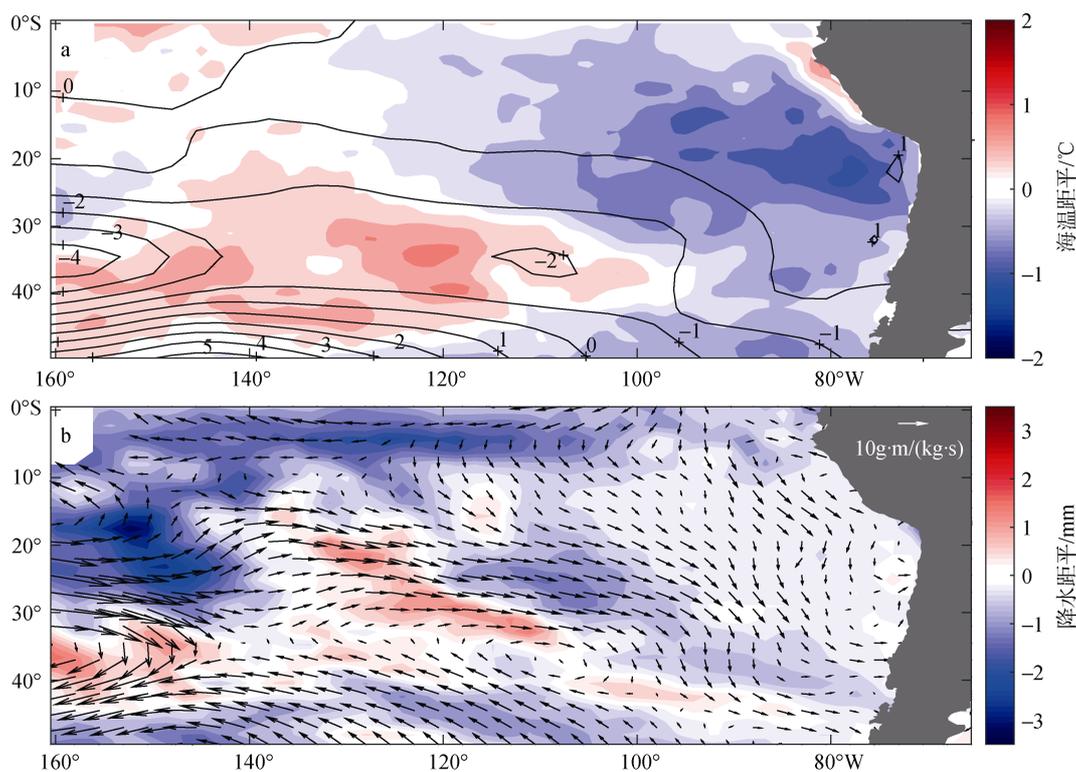


图 7 1990 年南半球夏季 12~2 月(DJF)海温距平和 1~3 月(JFM)的海平面气压距平(等值线单位为 hPa)平均(a)、1~3 月(JFM)降水距平和 1~3 月(JFM)的 925 hPa Q 距平(箭头,单位: $\text{g}\cdot\text{m}/(\text{kg}\cdot\text{s})$)的平均(b)

Fig. 7 Austral summer (DJF) SSTA average and JFM average of SLPA (contours, unit: hPa) during 1990 (a), JFM average precipitation anomaly and JFM average of 925 hPa Q anomaly (vectors, unit: $\text{g}\cdot\text{m}/(\text{kg}\cdot\text{s})$) during 1990 (b)

4 结论

本文主要使用 HadISST 海温数据和 NCEP-NCAR 再分析数据初步分析了 ENSO 事件与偶极子事件的关系,重点研究了正负偶极子事件年中南太平洋副热带偶极子对 SPCZ 位置的影响。主要结论如下:

1) 偶极子事件年与 ENSO 没有明显的对应关系,而且海温偶极子去除 ENSO 和包括 ENSO 的季节合

成结果相似,侧面证明了偶极子事件反映的是南太平洋副热带海温的固有模式,独立于 ENSO 而存在。

2) 南太平洋副热带偶极子显著影响之后 1 个月的 SPCZ 降水,根据超前滞后相关,12~2 月的偶极子指数与 1~3 月的降水距平相关性最好,在东北极区域有较明显正相关,西南区域有较弱的负相关,而且海温距平和之后 1 个月降水距平的季节合成在空间上具有高度的一致性。

3) 南太平洋副热带偶极子主要通过同期大气环流影响 SPCZ 区域降水, 正偶极子事件发生时, 东北极的暖水面上暖湿空气上升, 降水增加; 西南极的冷水区域有着下沉气流, 降水减少, 从而降水带北移, SPCZ 位置偏北。负偶极子事件中, 偶极子对降水的影响机制与正偶极子事件相似, 降水带南移, SPCZ 位于南方。文献研究表明, 厄尔尼诺期间 SPCZ 向东北方向移动, 拉尼娜期间 SPCZ 向西南方向移动^[16, 23], 因此, 虽然偶极子事件独立于 ENSO 事件, 但是它对 SPCZ 区域降水影响的结果仍与 ENSO 对于 SPCZ 影响的结论相似。

4) 对个例 1990 年的分析, 与负偶极子事件年的合成分析具有一致性, 很好地验证了偶极子影响 SPCZ 降水这一假设, 也从侧面验证了前文去除 ENSO 方法的合理性。

另外, 本文的研究结果主要基于资料的诊断分析, 无法完整揭示副热带偶极子的海气耦合过程, 这需要在下一步数值模式试验中进行验证。

参考文献:

- [1] Jorgetti T, Dias P L D S, Freitas E D D. The relationship between South Atlantic SST and SACZ intensity and positioning[J]. *Climate Dynamics*, 2014, 42(11-12): 3077-3086.
- [2] De Almeida R A F, Nobre P, Haarsma R J, et al. Negative ocean-atmosphere feedback in the South Atlantic Convergence Zone[J]. *Geophysical Research Letters*, 2007, 34(18): 529-538.
- [3] Nnamchi H C, Li J. Influence of the South Atlantic Ocean Dipole on West African summer precipitation[J]. *Journal of Climate*, 2011, 24(4): 1184-1197.
- [4] Feng J Q, Yu L J, Hu D X. Influence of Indian Ocean subtropical dipole on spring rainfall over China[J]. *International Journal of Climatology*, 2014, 34(4): 954-963.
- [5] 杨明珠, 丁一汇. 中国夏季降水对南印度洋偶极子的响应研究[J]. *大气科学*, 2007, 31(4): 685-694.
Yang Mingzhu, Ding Yihui. A study of the impact of South Indian Ocean Dipole on the summer rainfall in China[J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2007, 31(4): 685-694.
- [6] 徐海明, 张岚, 杜岩. 南印度洋偶极子及其影响研究进展[J]. *热带海洋学报*, 2013, 32(1): 1-7.
Xu Haiming, Zhang Lan, Du Yan. Research progress of southern Indian Ocean Dipole and its influence[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2013, 32(1): 1-7.
- [7] 杨秋明. 南印度洋副热带偶极子型海温异常与全球环流和我国降水变化的关系[J]. *海洋学报*, 2006, 28(3): 47-56.
- [8] Wang F. Subtropical dipole mode in the Southern Hemisphere: A global view[J]. *Geophysical Research Letters*, 2010, 37(10): 43-63.
- [9] Wang F. Thermodynamical coupled modes in the tropical atmosphere-ocean: An analytical solution [J]. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 2010, 67: 1667-1677.
- [10] Morioka Y, Ratnam J V, Sasaki W, et al. Generation mechanism of the South Pacific Subtropical Dipole[J]. *Journal of Climate*, 2013, 26(16): 6033-6045.
- [11] Guan Y, Zhu J, Huang B, et al. South Pacific Ocean Dipole: A predictable mode on multiseasonal time scales[J]. *Journal of Climate*, 2014, 27(4): 1648-1658.
- [12] Vincent D G, Vincent D G. The South Pacific convergence zone (SPCZ): A review[J]. *Monthly Weather Review*, 1994, 122: 1949-1970.
- [13] 吴增茂, 陈登俊, 温之平. 南太平洋辐合带(SPCZ)的特征分析[J]. *中国海洋大学学报*, 1993, S2: 108-114.
Wu Zengmao, Chen Dengjun, Wen Zhiping. Feature analysis of the South Pacific Convergence Zone(SPCZ)[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 1993, S2: 108-114.
- [14] Kiladis G N, Storch H V, Loon H V. Origin of the South Pacific Convergence Zone[J]. *Journal of Climate*, 1989, 2(10): 1185-1195.
- [15] Wiel K V D, Matthews A J, Joshi M M, et al. Why the South Pacific Convergence Zone is diagonal[J]. *Climate Dynamics*, 2015: 1-16.
- [16] Folland C K, Renwick J A, Salinger M J, et al. Relative influences of the interdecadal Pacific oscillation and ENSO on the South Pacific Convergence Zone[J]. *Geophysical Research Letters*, 2002, 29(13): 21-1-21-4.
- [17] Matthews A J. A multiscale framework for the origin and variability of the South Pacific Convergence Zone[J]. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 2012, 138(666): 1165-1178.
- [18] Wang F, Chang P. Coupled variability and predictability in a stochastic climate model of the Tropical Atlantic[J]. *Journal of Climate*, 2010, 21(23): 6247-6259.
- [19] Li G, Li C, Tan Y, et al. Observed relationship of boreal winter South Pacific Tripole SSTA with Eastern China rainfall during the following boreal spring[J]. *Journal of Climate*, 2014, 27(21): 8094-8106.
- [20] 高晶, 高辉. 副热带东南太平洋海温对东北夏季降水的影响及可能机制[J]. *大气科学*, 2015, 39 (5): 967-977.
Gao Jing, GaoHui. Relationship between summer precipitation over Northeastern China and sea surface

- temperature in the Southeastern Pacific and the possible underlying mechanisms[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences(in Chinese), 2015, 39 (5): 967-977.
- [21] 郑彬, 林爱兰, 谷德军, 等. 广东沿海夏季降水年代际变化成因分析[J]. 海洋科学, 2012, 36(3): 100-107. Zheng Bin, Lin ailan, Gu Dejun, et al. A possible cause for interdecadal variations of summer precipitation along Guangdong coast[J]. Marine Sciences, 2012, 36(3): 100-107.
- [22] 齐庆华. 西北太平洋水汽输送异常及其与中国夏季降水的耦合模态[J]. 海洋科学, 2009, 33(9): 35-41. Qi Qinghua. The spatio-temporal characters of the northwest Pacific water vapor flux and its coupled modes with the summer rainfall in China[J]. Marine Sciences, 2009, 33(9): 35-41.
- [23] Dai A, Wigley T M L. Global Patterns of ENSO-induced Precipitation[J]. Geophysical Research Letters, 2000, 27(9): 1283-1286.

Influence of the South Pacific Subtropical Dipole on the South Pacific Convergence Zone

LI Qiong^{1, 2, 3, 4}, ZHENG Jian^{1, 3, 4}, WANG Fa-ming^{1, 3, 4}

(1. Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Key Laboratory of Ocean Circulation and Wave, Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 4. Laboratory for Ocean and Climate Dynamics, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071, China)

Received: Dec. 1, 2015

Key words: the South Pacific Subtropical Dipole; the South Pacific Convergence Zone; sea surface temperature; precipitation; circulation

Abstract: This study analyzes the influence of the South Pacific Subtropical Dipole (SPSD) on the South Pacific Convergence Zone (SPCZ) and explores its dynamic processes by using SST data HadISST from the Hadley center and atmospheric reanalysis NCEP-NCAR data. Analysis shows that the SPSD is linearly independent of ENSO and shows strong phase locking peaks in summer (December January February). The location of the SPCZ precipitation is significantly affected by an SPSD event. The northeast pole (warmer SST) has a positive precipitation anomaly because of lower pressure and moisture convergence in this area during positive dipole event (referred to as positive event) years. However, the southwest pole (cooler SST) with its higher pressure is dominated by a divergence of moisture resulting in less precipitation. Therefore, the SPCZ precipitation zone moves to the north and the location of precipitation is opposite during a negative dipole event (referred to as negative event), which has less precipitation in northeast pole area and more precipitation in southwest pole area. Therefore, the SPCZ precipitation zone moves to the south. The results of this study provide more knowledge on the relationship between SPSD and SPCZ and help to better understand annual climate change and air-sea interaction in South Pacific.

(本文编辑: 李晓燕)