

前期热带太平洋、印度洋持续性海温异常事件对菲律宾低层大气环流的影响

李琰¹, 王庆元², 李欢¹, 张增健¹, 宋军¹, 李响¹

1. 国家海洋信息中心, 天津 300171; 2. 天津市气象局, 天津 300074

摘要: 利用 NCEP/NCAR 的 1951~2010 年逐月再分析资料和 NOAA 气候诊断中心的 1951~2010 年的海表温度扩展重建资料, 在诊断分析的基础上结合数值模拟试验探讨了前期秋季开始持续的热带海温异常事件对菲律宾低层大气环流的影响。结果表明: 1) 相比于西南印度洋海温异常事件和北印度洋海温异常事件, 前期秋季印度洋上与 9 月至次年 6 月的菲律宾异常反气旋(PSAC)关系最为密切的是印度洋偶极子事件(IOD); 2) 在前期秋季单纯 El Niño 事件发生时, 11 月至次年 5 月在菲律宾海地区均表现出明显的异常反气旋性环流特征。在没有 El Niño 事件影响时, 单纯正位相 IOD 事件下从 11 月到次年 4 月菲律宾海地区依然表现出异常反气旋性环流特征, 但再分析资料表明其强度要较 El Niño 情形下的偏弱; 3) 当正位相两事件伴随发生时, 两事件对 El Niño 具有协同作用, 在该作用下菲律宾海地区的反气旋异常环流相对于单纯某种海温异常事件表现得更加强大, 且持续时间更长, 甚至到 8 月仍表现出显著的反气旋环流特征。

关键词: 菲律宾异常反气旋环流, 厄尔尼诺, 印度洋偶极子

中图分类号: P732.27; P731.11 文献标识码: A 文章编号: 1009-5470(2014)01-0036-08

Impacts of long lasting SST anomaly events in the tropical Pacific and Indian oceans on anomalous Philippine Sea anticyclone

LI Yan¹, WANG Qing-yuan², LI Huan¹, ZHANG Zengjian¹, SONG Jun¹, LI Xiang¹

1. National Marine Data & Information Service, Tianjin 300171, China; 2. Tianjin Meteorological Observatory, Tianjin 300074, China

Abstract: Based on the NCEP/NCAR reanalysis data and the sea surface temperature (SST) data from the NOAA, the influence of SST anomalies (SSTAs) associated with the ENSO and IOD (Indian Ocean Dipole) events on low-level anomalous anticyclone in the Philippine Sea (named PSAC) was investigated using diagnosis methods and simulation experiments. The results are as follows. There is a more significant relationship between the IOD events in preceding autumn and the PSAC from winter to spring than that between other Indian SSTA events and PSAC. In a pure El Niño year, there is a notable PSAC appearing over the Philippine Sea from November to the following April. Compared to the El Niño events, the influence of pure positive IOD events on the PSAC is much weaker based on the reanalysis data and has shorter lifecycle from November to the following April. In the co-occurring year of El Niño and IOD, the PSAC tends to enhance and remain until the following August, which indicates that these SSTA events reinforce the PSAC jointly.

Key words: The anomalous Philippine Sea anticyclone, El Niño, Indian Ocean Dipole

Wang, et al(2000, 2002)的研究认为赤道东太平洋海温异常在消退期对东亚气候影响的关键系统是菲律宾附近的低层异常反气旋环流 (anomalous anticyclonic circulation around the Philippine Sea,

PSAC)。这个菲律宾异常反气旋在 El Niño 事件遥强迫作用、局地海气相互作用和热带-热带外相互作用等共同影响下一般从冬季持续到次年春季。Lau, et al(2000)用数值模拟证实了这一结论。在与之毗邻的

收稿日期: 2013-03-1; 修订日期: 2013-05-03。林强编辑

基金项目: 国家自然科学基金项目(41106004、41106159、41206013); 国家海洋局海洋公益性行业科研专项经费项目(201005019); 国家海洋局青年海洋科学基金(2012223)

作者简介: 李琰(1982-), 女, 安徽省宿州市人, 博士, 主要从事气候变化研究。E-mail: ly_nmdis@163.com

热带印度洋上, Watanabe, et al(2003)年发现印度洋暖海盆海温异常(sea surface temperature anomaly, SSTa)导致印度洋上纬向垂直环流的减弱, 抑制海洋大陆地区降水, 也可以产生 PSAC。Annamalai, et al(2005)发现冬半年西南印度洋($7.5^{\circ} \sim 17.5^{\circ}\text{S}$, $50^{\circ} \sim 70^{\circ}\text{E}$)的暖海温异常也可以造成西太平洋-海洋大陆的异常降水。黄刚 等(2008)研究也指出当夏季北印度洋海表温度为正异常时, 会产生西北太平洋反气旋异常。印度洋偶极子(Indian Ocean Dipole, IOD)事件作为发生在热带印度洋上另一个显著的海温异常事件, 也使得印度洋及邻近地区天气气候出现异常(Guan, et al, 2003; Wang, et al, 2003; Gadgil, et al, 2004)。1951~2000 年中 IOD 和 ENSO 事件常相伴出现的, IOD 和 ENSO 事件在秋季强度较大且相关最为密切(李琰 等, 2007)。研究认为当正位相 IOD 事件和 El Niño 事件相伴发生时, 可以形成印度洋-太平洋海温联合模态(刘秦玉 等, 2009; 黄菲 等, 2010)。这一联合模态对中国天气气候的影响不同于单纯的 IOD 或单纯的 El Niño 事件(杨辉 等, 2006), 因此有必要将 ENSO 和 IOD 事件结合分析, 考查两者对大气环流的共同作用(李琰 等, 2007)。

而前人研究主要就赤道西太平洋(Wang, et al, 2002; 陈永利 等, 2011)、赤道中东太平洋(赵尔旭 等, 2011)、西北太平洋(谢炯光 等, 1999)或赤道印度洋的某一区域海温异常事件(黄刚 等, 2008)对夏季 PSAC 的影响做了一些研究。但工作多集中在冬春季或同期夏季, 对前期秋季热带海温异常事件的影响研究不多, 对 IOD 事件的作用研究相对较少, 且很少综合考虑两大洋海温异常事件的协同作用。因此, 本文将在前期工作基础(李琰, 2010)上深入地揭示单纯正位相 IOD 事件、单纯 El Niño 事件和两事件伴随发生时对 PSAC 影响, 重点讨论两事件伴随发生时与单纯某一海温异常事件作用的不同。Wang, et al(2000, 2002)的观测表明菲律宾低层大气环流一般维持到初夏, 本文研究重点放在 9 月至次年 6 月 PSAC 的形成和发展上。

1 资料和试验方案

本文通过诊断分析和数值试验来研究上述问题, 利用合成和相关等统计方法研究海温异常事件与菲律宾附近低层大气环流间关系;同时利用美国国家大气研究中心(National Center for Atmospheric Research, NCAR)研制的公共气候系统模式中的大气部分 NCAR CAM3.0 (Community Atmosphere

Model v3.0)设计数值试验证实和进一步探讨各海温异常事件对菲律宾附近低层大气环流的影响:

1.1 资料

本文表层海温场(SST)资料来自美国 NOAA 气候诊断中心提供的 1951 年 1 月至 2010 年 12 月的 SST 扩展重建资料, 水平网格距为 $2.0^{\circ} \times 2.0^{\circ}$; 本文风场资料取自美国环境预报中心/国家大气研究中心(The National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research, NCEP/NCAR)的全球再分析 1951 年 1 月至 2010 年 12 月的月平均风场资料, 水平网格距为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$; 并将上述资料计算成月平均距平场。文中的秋季是指 9 月、10 月和 11 月。

1.2 数值试验方案设计

IOD 事件常伴随 ENSO 事件发生, 难以从观测资料的诊断分析中将两事件对大气环流的影响区分开来。为更清晰地认识各海温异常事件对 PSAC 的作用和机制, 特进行了以下三组敏感性试验:

1)为考察单纯正位相 IOD 型海温异常的作用, 海温强迫场中仅在热带印度洋中分别加入正位相 IOD 型 SSTa 和负位相 IOD 型 SSTa。

2)为考察单纯 El Niño 事件的影响, 海温强迫场中仅在热带太平洋中分别加入 El Niño 型 SSTa 和 La Niña 型 SSTa。

3)为考察两事件共同作用的影响, 海温强迫场中在热带印度洋和热带太平洋均加入相应的正位相 SSTa 和负位相海 SSTa。

以敏感性试验 3 为例, 海温强迫场中加入的正位相 SSTa 是正位相 IOD 和 El Niño 事件伴随发生且强度较大的年份: 1963、1972、1982、1987、1997 年合成得到的 8 月到次年 4 月的再分析资料 SSTa, 其中 9 月和 10 月海温异常中心最大异常值均为 2.1, 其他月份的海温异常分布图略。负位相海温异常值是负位相 IOD 和 La Niña 事件伴随发生且强度较大的年份: 1964、1971、1975、1984、1988 年合成得到的 8 月至次年 4 月的 SSTa, 其中 9 月和 10 月海温异常中心最大异常值为 -1 和 -1.6, 其他月份的海温异常分布图略。试验 1 和 2 加入的 SSTa 与上述方法类似, 只是按照事件的不同选择年份不同。其中选取单纯正位相 IOD 事件年(1961、1977 和 1994 年)和负位相年(1958, 1989, 1992, 1996 年合成得到的 8 月到次年 4 月的 SSTa)。选取单纯 El Niño 年: 1968, 1969, 1986, 2002, 2004 和单纯 La Niña 年: 1973, 1975, 1988, 1999 年合成得到的 8 月到次年 4 月的 SSTa。

本文的试验以数据海洋模式 (data ocean model, DOM) 运行, 月平均海温和海冰作为强迫场驱动模式大气运行, 试验过程中只有海洋对大气的强迫作用, 而没考虑复杂的海气相互作用。试验均选取模式第 16~20 年这 5 个模式年不同初始场进行积分, 积分时段从 8 月到次年 6 月。我们所讨论的试验结果是这 5 个不同大气初始场积分结果的平均值。并且将每组试验的正负位相海温异常事件强迫结果的差作为正位相海温异常事件强迫下的 850hPa 流场响应情况。

2 相关关系分析

表征 IOD 事件的指数 (IODI) 定义为 ($10^{\circ}\text{S} \sim 10^{\circ}\text{N}$, $50^{\circ}\text{E} \sim 70^{\circ}\text{E}$) 海区与 ($10^{\circ}\text{S} \sim 10^{\circ}\text{N}$, $90^{\circ}\text{E} \sim 110^{\circ}\text{E}$) 海区区域平均的 SSTa 之差 (Saji, et al, 1999)。表征热带西南印度洋海温异常事件的指数 (SWTIO) 定义为 ($7.5^{\circ}\text{S} \sim 17.5^{\circ}\text{S}$, $50^{\circ}\text{E} \sim 70^{\circ}\text{E}$) SSTa 的区域平均值 (Annamalai, et al, 2005)。表征热带北印度洋海温异常事件的指数 (NTIO) 定义为 ($60^{\circ} \sim 90^{\circ}\text{E}$, $0^{\circ} \sim 15^{\circ}\text{N}$) SSTa 的区域平均值 (黄刚 等, 2008)。本文将菲律宾附近低层异常反气旋指数 (PSACI) 定义为 ($10^{\circ} \sim 20^{\circ}\text{N}$, $120^{\circ} \sim 150^{\circ}\text{E}$) 区域平均的异常流函数值 (其中正值代表异常反气旋性环流, 负值代表异常气旋性环流)。

由前期秋季 IODI、SWTIO、NTIO 与 9 月至次年 6 月逐月 PSACI 的相关关系可见 (图 1), 相关最为显著的是 IODI, 11 月到次年 4 月相关系数远远超过 95% 的信度检验。热带西北印度洋指数的相关次之, 在次年 1 月至 3 月的相关关系超过 95% 的信度检验, 热带西南印度洋指数的相关最弱, 仅在次年的 3 月能超过 95% 信度检验。因此, 前期秋季印度洋上的

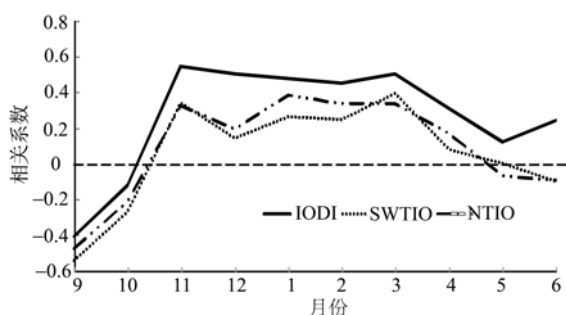


图 1 秋季 IODI、SWTIO、NTIO 与 9 月至次年 6 月的 PSACI 的相关关系

虚线为 95% 信度水平线

Fig. 1 Correlation coefficients between the IODI, SWTIO, or NTIO in preceding autumn and PSACI from September to the following June

IOD 事件与后期冬季到春末夏初的 PSAC 关系最为密切。下面我们针对 IOD 事件和与之关联的 ENSO 事件对 PSAC 的作用进行探讨。

3 不同海洋异常事件对 PSAC 的影响

下面进一步分析前期秋季单纯 ENSO、单纯 IOD 事件和两事件伴随发生时, 对菲律宾附近低层大气环流的影响。分别对单纯 ENSO 年份、单纯 IOD 年份、两事件伴随发生的年份进行合成分析。于卫东 (2004) 指出, 热带大气的运动与中高纬度大气运动不同, 大气散度分量扮演了重要角色, 采用散度分量和旋度分量来分析大气运动能得到更加明确、简洁的结果。因此, 本文主要分析不同事件下的流函数距平分布。

在单纯 El Niño 事件下 (图 2), 9 月菲律宾海地区为一个异常气旋性环流控制; 10 月菲律宾海地区表现为异常气旋性环流向异常反气旋环流转换的特征; 11 月至次年 5 月菲律宾海地区一直维持异常反气旋环流; 次年 6 月这一异常反气旋环流消亡, 大气环流恢复到常态。单纯 IOD 事件下 (图 3), 9 月菲律宾海地区为弱的异常气旋性环流; 10 月表现为异常气旋环流向异常反气旋环流转换的现象; 11 月在菲律宾海地区出现异常强反气旋环流; 12 月到次年 3 月这个异常反气旋环流依然维持; 次年 4 月以后异常反气旋环流消亡, 大气环流恢复到常态。在两事件伴随发生的年份 (图 4), 有同样类似的演变特征, 不同的是 11 月至次年 6 月在菲律宾海地区一直维持着异常反气旋环流, 且在次年 7 月、8 月仍有弱的异常反气旋环流, 次年秋季后才恢复常态 (图略)。Wang, et al (2002) 在分析 El Niño 事件对 PSAC 影响时也发现 PSAC 是从 10 月建立并持续到次年 6 月。

以上分析可见 ENSO 和 IOD 事件下 PSAC 于当年 10 月开始建立, 时间较为一致, 但持续时间各有不同。Wang, et al (2002) 年的研究认为 8 月和 9 月的菲律宾海异常气旋环流由 El Niño 事件发生时的赤道西太平洋至赤道中东太平洋的异常西风所产生的正切变涡度引起 (黄刚 等, 2008)。这个异常气旋可以增强西北太平洋季风槽、赤道西太平洋风速以及降水, 从而使这一地区海温冷却降低, 而这个冷的海温异常正是 10 月菲律宾海地区出现异常反气旋环流的前兆。就菲律宾海异常反气旋环流的强度和持续时间而言, 以上三种情形存在明显的差异。单纯 IOD 或 ENSO 事件发生时, 反气旋环流强度相对较弱, 且仅维持到春季; 而当两事件伴随发生时,

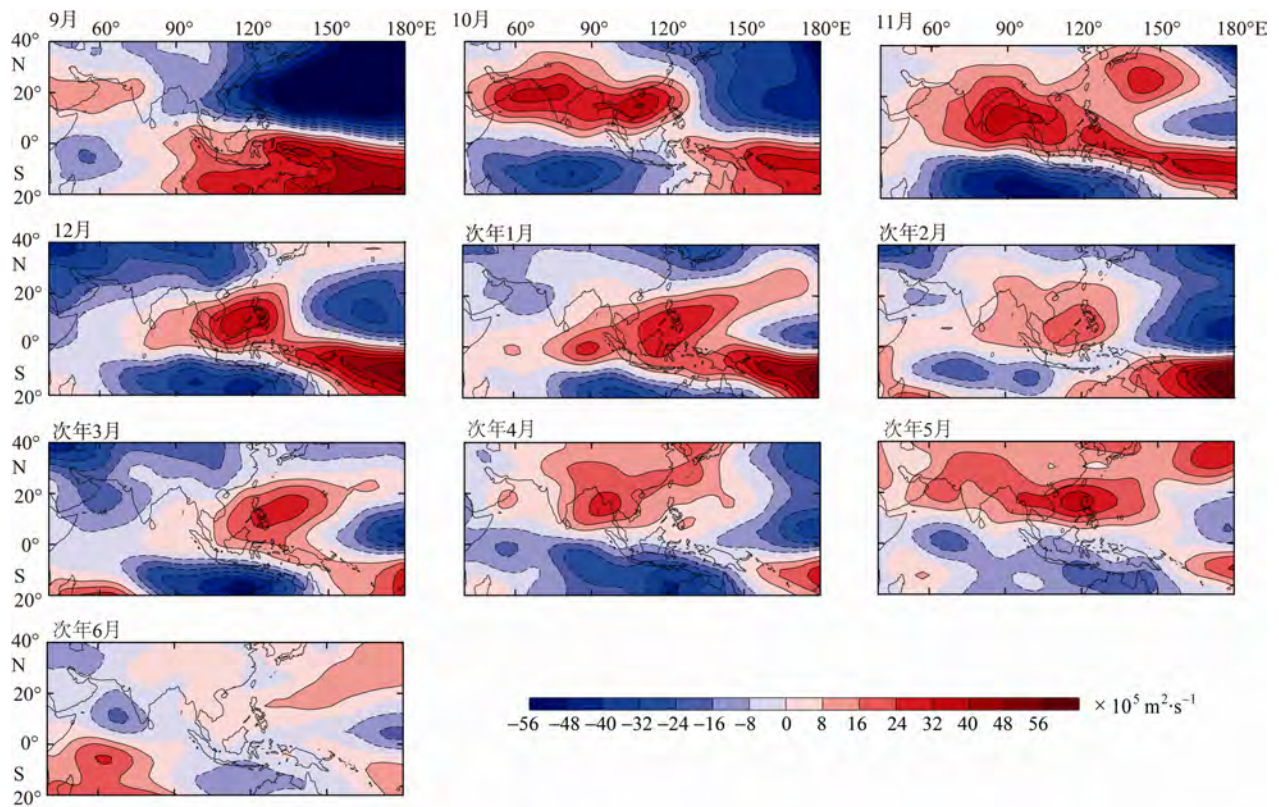


图 2 单纯强 ENSO 事件(El Niño 减 La Niña)年份从 9 月到次年 6 月 850hPa 异常流函数距平的合成分布图

Fig. 2 Composite 850-hPa streamfunction (S850) anomalies for pure, strong El Niño events (El Niño minus La Niña) from September to the following June.

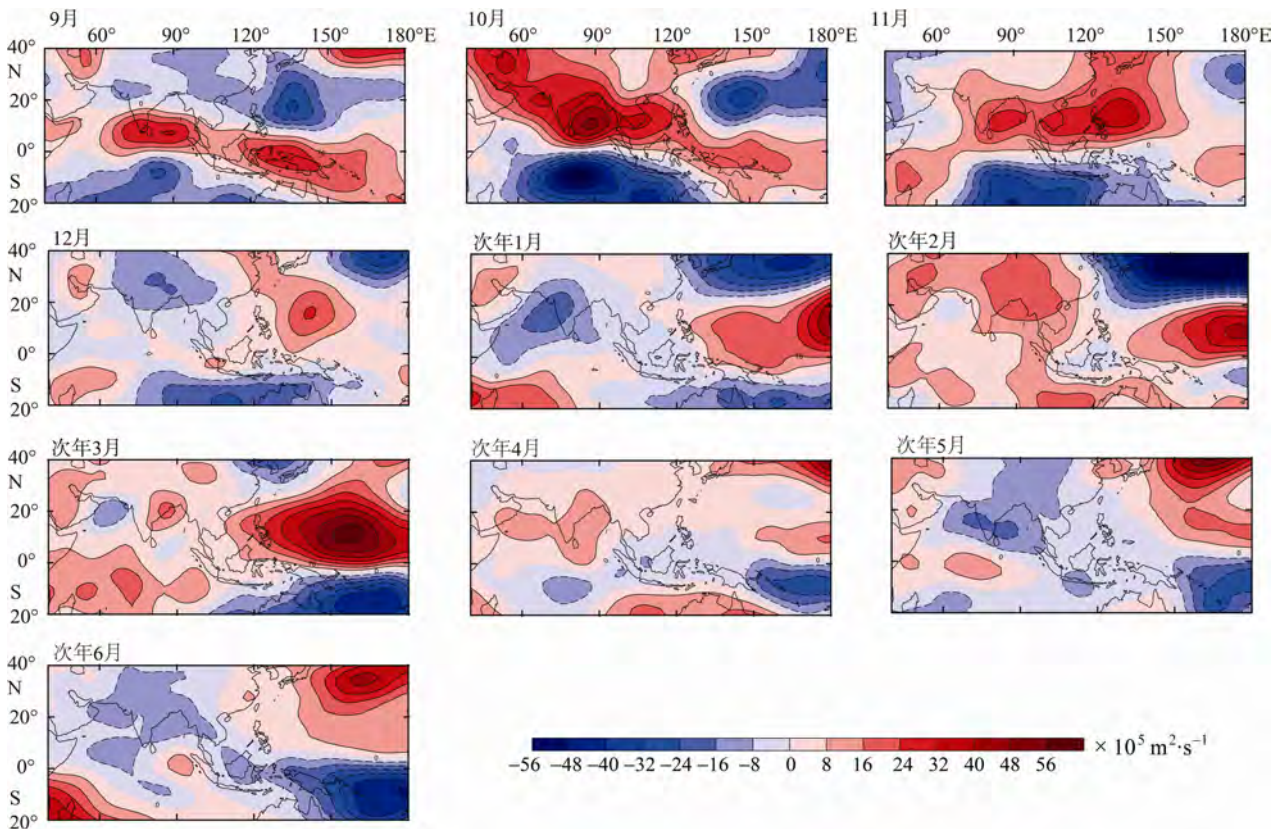


图 3 单纯强 IOD 事件(正位相减去负位相)年份下的 S850 距平分布

Fig. 3 Composite 850-hPa streamfunction (S850) anomalies for pure, strong positive IOD events (positive IOD minus negative IOD)

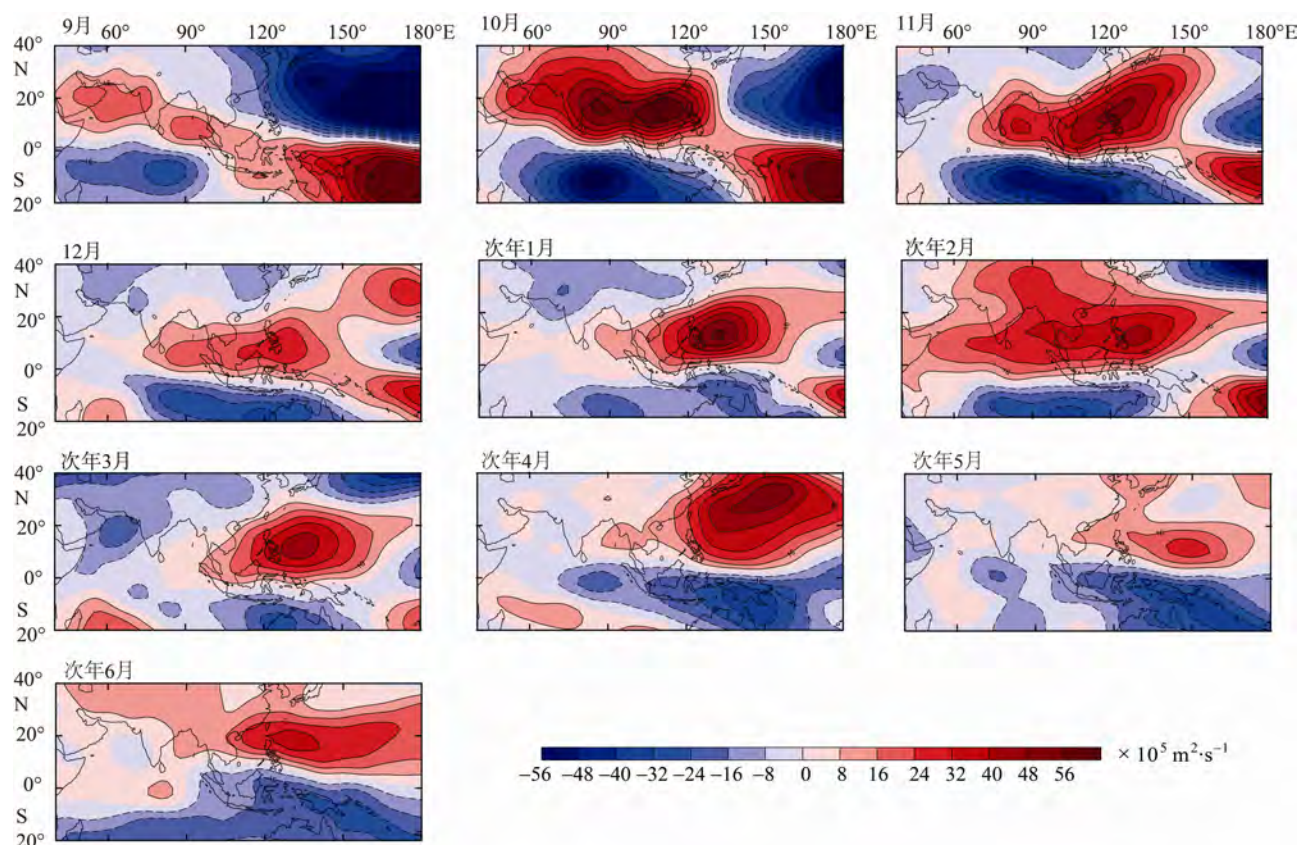


图 4 El Niño 与 IOD 事件伴随发生的年份(正位相年减负位相年)下的 S850 距平分布

Fig. 4 Composite 850-hPa streamfunction (S850) anomalies for pure, strong El Niño years with positive IOD (positive phase events minus negative events)

在正位相 IOD 和 El Niño 事件的协同作用下会使得菲律宾异常反气旋环流加强和维持, 进而使得 PSAC 对东亚季风区降水的影响不仅在冬季和春季, 还会影响到初夏, 甚至仲晚夏。

4 数值模拟分析

由于 ENSO 和 IOD 事件联系密切相互作用, 菲律宾海异常反气旋环流除热带海温外还受到热带-热带外相互作用和台风等的影响(Wang, et al, 2002), 因此基于再分析资料结果势必受到其他因子的影响而使分析结果很可能存在偏差。为更清晰地了解各事件发生时 PSAC 的响应情况, 下面利用 CAM3.0 大气环流模式进行模拟分析。

图 5、6 和 7 分别给出 CAM3.0 模拟得到的单纯 ENSO、单纯 IOD 和两事件伴随发生时的 850hPa 异常流函数分布情况。结果表明, 前期秋季 IOD 和 ENSO 事件都对冬春季 PSAC 有重要影响。单纯 ENSO 事件下, 模拟出 12 月到次年 5 月的 PSAC, 但模拟其出现的时间较观测晚一个月且强度偏弱(图 5)。在单纯 IOD 事件下, 也模拟出从 11 月到次年 2 月的 PSAC(图 6), 模拟结果与再分析资料结果基本

一致, 但强度要偏强。而当两事件伴随发生时, 菲律宾海地区从 10 月到次年 6 月都模拟出强大的异常反气旋环流, 其强度要远大于单纯一个海洋事件发生时的异常反气旋强度(图 7), 且可以持续到 6 月, 甚至 7 或 8 月(图略)。模拟结果从 PSAC 的强度和持续时间上看都和再分析资料的结果十分一致。因此, 再分析资料和数值模拟结果都准确地反映出两事件伴随发生时, 在菲律宾海地区从 10 月到次年 6 月出现的强 PSAC, 且强度远大于单纯某一个海洋事件发生时的异常反气旋强度现象。事实上利用 Nino3 指数(定义为 5°S~5°N, 150°~90°W 范围内 SSTa 的区域平均)、IODI 指数和表征两大洋海温异常的综合指数 IODN3 指数(李琰 等, 2007), 分别计算的秋季 IODI、Nino3 指数、IODN3 指数与 9 月至次年 6 月逐月的 PSACI 的相关关系也表明, 前期秋季三种指数与 PSACI 的信度检验显著相关(超过 95%)均集中在 11 月至次年 4 月, 且以 IODN3 的相关关系最为显著(图略)。

综上所述, 在没有热带太平洋 ENSO 事件的情形下, 前期秋季单纯 IOD 事件能在冬、春季形成菲律宾异常反气旋环流。由于 IOD 事件往往伴随 ENSO

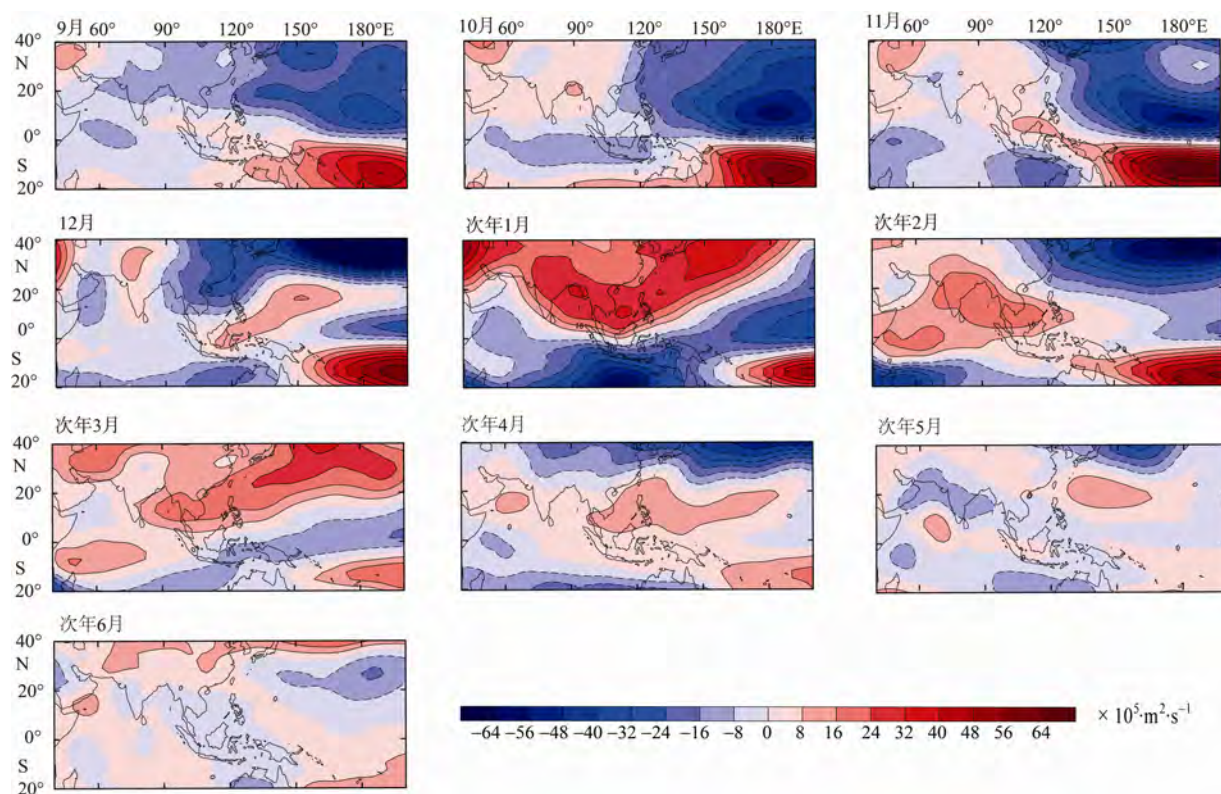


图 5 模拟的单纯 ENSO 事件(El Niño 减 La Niña)下 9 月到次年 6 月 S850 距平分布图(等值线间隔为 $8 \times 10^5 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig. 5 Simulated S850 anomalies for pure, strong ENSO events (El Niño minus La Niña) from September to the following June. Contour interval is $8 \times 10^5 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

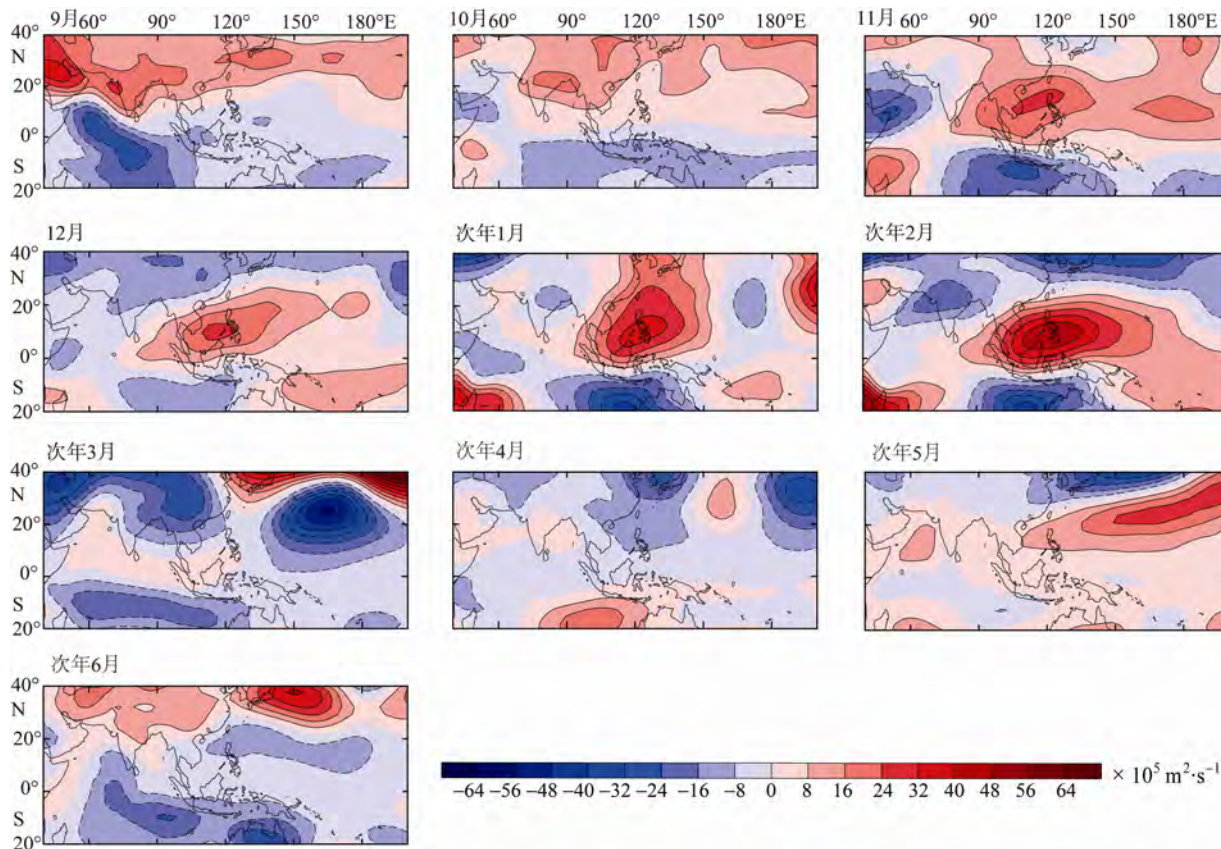


图 6 单纯 IOD 事件(正位相 IOD 减去负位相 IOD 事件)下 S850 距平分布图

Fig. 6 Simulated S850 anomalies for pure, strong IOD events (positive IOD minus negative IOD)

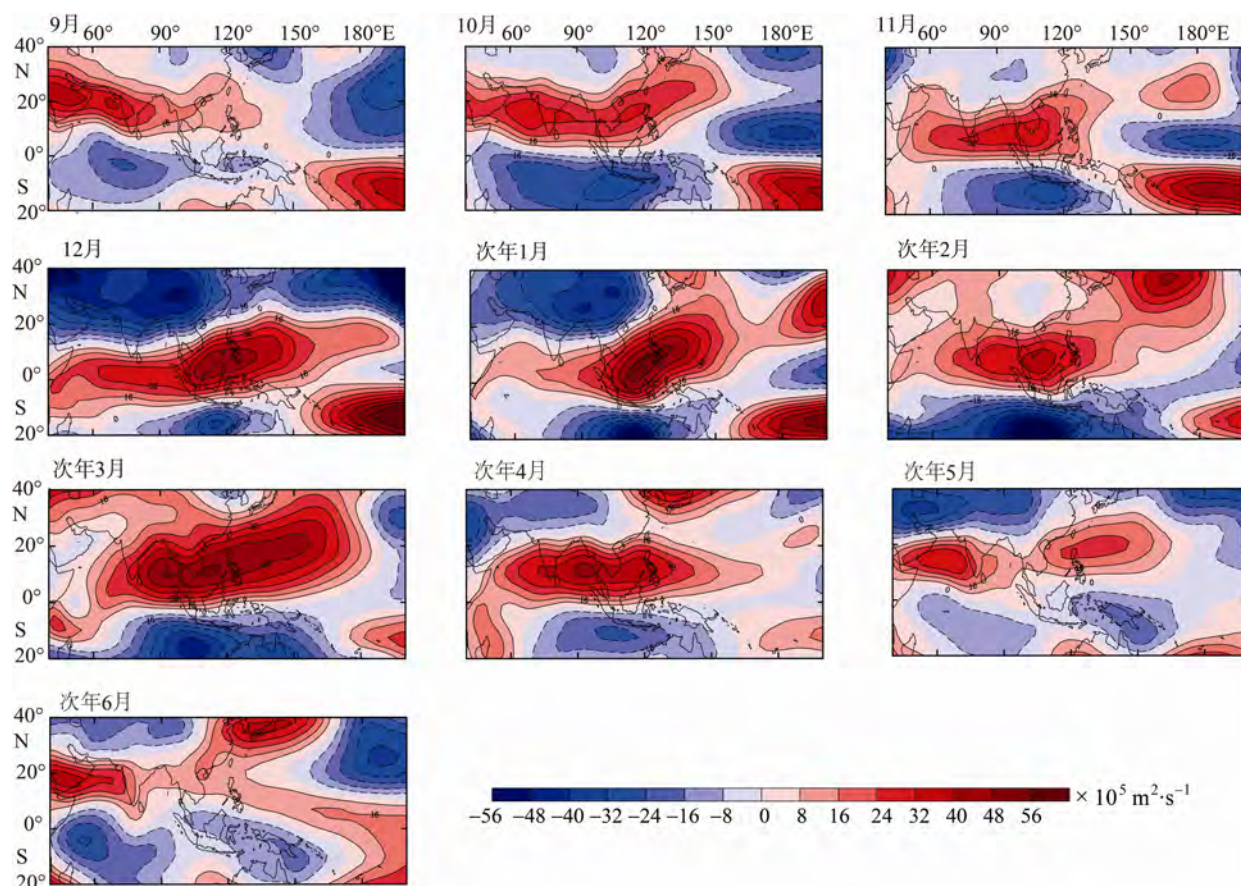


图 7 El Niño 与 IOD 事件伴随发生(正位相减负位相事件)下 S850 距平分布图

Fig. 7 Simulated S850 anomalies for pure, strong El Niño years with positive IOD (positive phase events minus negative events)

事件发生, 这种情形下两事件存在某种协同作用, 会在菲律宾海地区形成异常强的反气旋环流, 而且由于强度较强, 该反气旋在季节转换后的初夏甚至仲晚夏仍能维持, 将更多的水汽输送到东亚沿岸附近地区, 使初夏副热带高压偏南偏强, 这正是 ENSO 事件影响到中国南部汛期降水的重要环节 (Wang, et al, 2000; Zhang, et al, 1996; 张人禾, 2003)。从某种意义上讲, IOD 作用会加强 ENSO 对大气的作用, 如果没有印度洋海温异常的存在, ENSO 对中国南方天气气候特别是南方初夏天气气候的影响将会有所不同。

5 结论

本文讨论了前期秋季 IOD 和 ENSO 事件与后期 PSAC 的关系。利用诊断分析和数值模拟的方法对单纯 IOD 事件、单纯 ENSO 事件以及两事件的共同作用对 PSAC 的影响进行研究, 得出以下结

论:

- 1) 印度洋上与 9 月至次年 6 月的菲律宾异常反气旋关系最为密切的是 IOD 事件, 且主要是前期秋季 IOD 与冬、春季的 PSAC 有显著相关关系。
- 2) 前期秋季有单纯 IOD 事件或单纯 ENSO 事件发生时, 从 11 月至次年 4 月在菲律宾海地区均表现出明显的反气旋异常性环流特征。
- 3) 当两事件伴随发生时, 菲律宾海地区的反气旋异常环流相对强大, 并且持续时间更长, 到夏季仍表现出显著的反气旋环流特征。

由于菲律宾异常反气旋与西北太平洋-东亚气候背景存在密切的季节锁相, 使得从春季开始到初夏维持的菲律宾异常反气旋逐渐衰退 (Chen, et al, 2007), 本文的研究表明 IOD 事件的作用会加强 ENSO 对大气环流和降水的影响, 两者的协同作用使得菲律宾异常反气旋能够持续到 8 月, 因而有可能对长江中下游夏季降水产生更加显著且持久的影响。

参考文献

陈永利, 赵永平, 王凡, 等. 2011. 热带太平洋次表层海温异常年代际变率及其对中国气候异常的影响 [J]. 热带气象学报, 27(6): 785–796.

黄菲, 谢瑞煌, 黄少妮. 2010. 印度洋-太平洋海表温度年际变化的联合模态 [J]. 中国海洋大学学报, 40(1): 1–9.

- 黄刚, 胡开明. 2008. 夏季北印度洋海温异常对西北太平洋低层反气旋异常的影响[J]. 南京气象学院学报, 31(6): 749–757.
- 李琰, 王亚非, 魏东. 2007. 前期热带太平洋、印度洋海温异常对长江流域及以南地区6月降水的影响[J]. 气象学报, 65(3): 393–405.
- 李琰. 2010. IOD 和 ENSO 事件的关系及其对菲律宾附近低层大气环流影响的研究[D]. 南京: 南京信息工程大学: 158.
- 刘秦玉, 范磊. 2009. 热带海洋–大气耦合的主模态[J]. 中国海洋大学学报, 39(5): 815–821.
- 谢炯光, 纪忠萍. 1999. 西北太平洋海温与广东省汛期降水的关系[J]. 热带气象学报, 15(1): 56–63.
- 杨辉, 贾小龙, 李崇银. 2006. 热带太平洋–印度洋海温异常综合模及其影响[J]. 科学通报, 51(17): 2085–2090.
- 于卫东, 巢纪平. 2004. 热带太平洋 ENSO 期间的海气相互作用分析——大气环流无旋和无辐散分量的年际变化[J]. 自然科学进展, 14(8): 917–924.
- 张人禾. 厄尔尼诺期间东亚气候的异常特征. 2003. ENSO 循环机理和预测研究[M]. 北京: 气象出版社: 28–42.
- 赵尔旭, 赵刚, 琚建华. 2011. 热带海温异常对东南亚夏季风爆发的影响[J]. 热带气象学报, 27(6): 930–936.
- ANNAMALAI H, LIU P, XIE S P. 2005. Southwest Indian Ocean SST Variability: Its Local Effect and Remote Influence on Asian Monsoon [J]. J Climate, 18(20): 4150–4167.
- CHEN J M, LI T, SHIH C F. 2007. Fall persistence barriers of sea surface temperature in the South China Sea associated with ENSO[J]. J Climate, 20: 158–172.
- GADGIL S, VINAYACHANDRAN P N, FRANCIS A, et al. 2004. Extremes of the Indian summer monsoon rainfall, ENSO and equatorial Indian Ocean oscillation[J]. Geophys Res Lett, 31: 12213–12216.
- GUAN Z, ASHIK K, YAMAGATA T. 2003. Summertime response of the tropical atmosphere to the Indian Ocean Dipole sea surface temperature anomalies[J]. J Meteorol Soc Japan, 81: 533–561.
- LAU N C, NATH M J. 2000. Impact of ENSO on the variability of the Asian–Australian monsoons as simulated in GCM experiments [J]. J Climate, 13(24): 4287–4309.
- SAJI N H, COSWAMI B N, VINAYACHANDRAN P N, et al. 1999. A dipole in the tropical Indian Ocean[J]. Nature, 401: 360–363.
- WANG B, WU R G, FU X H. 2000. Pacific–East Asian teleconnection: how does ENSO affect East Asian climate? [J]. J Climate, 13(9): 1517–1536.
- WANG B, ZHANG Q. 2002. Pacific–East Asian teleconnection. Part II: How the Philippine Sea anomalous anticyclone is established during El Niño development [J]. J Climate, 15(22): 3252–3265.
- WANG B, WU R G, LI T. 2003. Atmosphere–warm ocean interaction and its impacts on Asian–Australian monsoon variation[J]. J Climate, 16(8): 1195–1211.
- WATANABE M, JIN F F. 2003. A moist linear baroclinic model: Coupled dynamical–convective response to El Niño [J]. J Climate, 2003, 16(8): 1121–1139.
- ZHANG R H, SUMI A, KIMOTO M I. 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: 49–62.