

地球系统模式 FIO-ESM 对 2016—2017 年 La Niña 事件及其对中国近海地区影响的预测

廖华夏^{1,2}, 鲍颖^{1,2}, 宋振亚^{1,2*}, 舒启^{1,2}, 尹训强^{1,2}

(1. 国家海洋局第一海洋研究所, 山东 青岛 266061;

2. 青岛海洋科学与技术国家实验室 区域海洋动力学与数值模拟功能实验室, 山东 青岛 266237)

摘要:最近的观测表明赤道太平洋中部及东部的水温略低于拉尼娜事件的阈值,但大气与海洋的状态还不足以完全支持转为弱拉尼娜现象。本研究基于地球系统模式 FIO-ESM 和集合调整卡尔曼滤波同化方案建立的短期气候同化和预测系统,进行了 1992-01-01—2016-10-31 的模式同化,结果表明同化系统能够为预测提供较好的初始场。随后对 2016—2017 年拉尼娜事件的状态以及中国近海地区气温和降水异常进行了未来 6 个月的预测,结果表明赤道太平洋会在 2016 年年底继续降温,Nino3.4 区海温异常将持续略低于拉尼娜事件的阈值 $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,说明 2016—2017 年为弱拉尼娜事件,2017 年春季东太平洋继续降温,表明此次拉尼娜事件可能会持续较长时间。预测结果同时也表明 2016 年冬季至 2017 年春季中国近海地区存在着北高南低的气温异常分布,中国南部地区降水存在负异常。拉尼娜带来的极端天气与气候异常会对中国沿岸地区带来巨大影响,但总体来说 2016—2017 年拉尼娜事件对中国的影响相对较弱。

关键词:拉尼娜;短期气候预测;FIO-ESM;集合调整卡尔曼滤波同化方案;中国近海地区

中图分类号:P732

文献标识码:A

文章编号:1002-3682(2017)01-0012-10

doi:10.3969/j.issn.1002-3682.2017.01.002

拉尼娜现象,通常出现在厄尔尼诺现象之后,是厄尔尼诺现象的反位相,它是指赤道附近东太平洋水温反常下降的一种现象,表现为东太平洋明显变冷。与厄尔尼诺现象一样,拉尼娜的出现也会伴随着全球性天气和气候的异常^[1-8],对于中国近海地区的气温降水^[9]以及黑潮^[10-11]等都有显著影响。拉尼娜年在我国登陆的台风数量明显偏多^[12-13],会严重影响中国沿岸港口码头、防波堤等工程的建设与防护工作。最近的观测表明尽管赤道太平洋中部及东部的水温略低于拉尼娜事件的阈值 $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,但是大气变量如底层风的异常变化还不足以完全支持转为弱拉尼娜现象,综合来看,当前还是中性状态。美国气候预测中心/气候与社会国际研究所(Climatic Prediction Center/International Research Institute for Climate and Society,CPC/IRI)多模式预测结果认为赤道太平洋中部及东部的水温超过 60%的可能性会在今年冬季(2016-12—2017-02)进一步下降进而出现弱拉尼娜现象。但是今年冬季是否能够发生拉尼娜现象?若发生,强度多大?对中国近海区域的气温降水影响如何?这些问题仍不清晰。

自从 20 世纪 70 年代 Manabe 和 Bryan^[14]的开创性工作以来,气候系统模式取得了巨大的进步,模拟能力有了大幅提高,其对 ENSO 的预测技巧已经超过了统计模型,已被广泛的用于 ENSO 的预测中^[15-16]。当前,参与到由 IRI 组织和负责的全球多模式 ENSO 预测计划的 26 个模式中有 17 个是气候系统模式(http:

收稿日期:2016-11-24

资助项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目——束星北青年基金-地球系统模式 FIO-ESM V2.0 的建立及应用(2016S03)和东海黑潮锋面涡旋特性及其诱发机制研究(GY0213025);“全球变化与海气相互作用”专项——海洋动力系统可预报性研究(GASI-IPOVAI-06)和太平洋-印度洋与亚洲季风的相互影响(GASI-IPOVAI-03);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——海洋环境动力学与数值模拟(U1606405)

作者简介:廖华夏(1992-),男,硕士研究生,主要从事热带海气相互作用方面研究.E-mail: liaohx@fio.org.cn

* 通讯作者:宋振亚(1982-),男,副研究员,博士,主要从事地球系统模式研发和海气相互作用方面研究.E-mail: songroy@fio.org.cn

(李 燕 编辑)

//iri.columbia.edu/our-expertise/climate/forecasts/enso/)。国家海洋局第一海洋研究所通过考虑浪致混合作用^[17]建立了首个包含海浪的地球系统模式 FIO-ESM v1.0 (First Institute of Oceanography-Earth System Model version 1.0)并于 2012 年参与了第五次耦合模式比较计划(Coupled Model Intercomparison Project Phase 5, CMIP5)。由于 FIO-ESM 在海洋模式的垂向混合中引入了更为合理的浪致混合作用,其对热带地区气候态和 ENSO 频率等的模拟能力得到了大幅提升^[18]。随后,基于 FIO-ESM 和集合调整卡尔曼滤波同化方案(Ensemble Adjusted Kalman Filter assimilation scheme)建立了短期气候预测系统用于夏季海冰预测(<https://www.arcus.org>)和 ENSO 预测。Song 等^[19]在 2015-10 用该预测系统对 2015—2016 年强厄尔尼诺事件进行了较为准确的预测,但预测的强度比实际观察的强度略低,这可能也是造成预测的 2015—2016 厄尔尼诺现象提前结束的原因之一。然而该系统对于拉尼娜事件预测的能力还不清楚。

本文利用该短期气候预测系统对 2016—2017 年的拉尼娜事件进行预测,一方面为气候会商提供建议,同时也用以检验对拉尼娜事件的预测能力。

1 模式介绍和数值实验设计

1.1 短期气候预测系统

FIO-ESM 是由国家海洋局第一海洋研究所研发的地球系统模式^[18],该模式是全球首个耦合海浪模式的地球系统模式,并参与了第五次耦合模式比较计划 CMIP5。FIO-ESM 主要由气候系统模式和碳循环模式两部分组成,本文主要分析气候模式部分的结果。FIO-ESM 的气候系统模式采用大气环流模式(CAM3)^[20]、海洋环流模式(POP2.0)^[21]、陆面模式(CLM3.5)^[22]、海冰模式(CICE4)^[23]以及海浪模式(MASNUM)^[24]五个动力分量模块,并采用美国大气研究中心(National Center for Atmosphere Research, NCAR)发展的耦合器 Coupler6^[25]将各个模块封装耦合起来。其中大气环流模式的水平分辨率为 T42,约为 2.875° ,垂直方向分为 26 层;陆面模式的水平分辨率与大气相同;海洋环流模式的水平分辨率经向为 1.1° ,纬向为 $0.3^\circ \sim 0.5^\circ$,垂直方向分为 40 层;海冰模式的水平分辨率与海洋模式相同,海洋与海冰模式采用了极点投影转移的两级曲线正交坐标,将北极的投影点转移到格陵兰岛;海浪模式的水平分辨率为 2° ,波向分辨率为 30° 。FIO-ESM 的更多细节可参考文献^[18]。

FIO-ESM 模式基于集合调整卡尔曼滤波方案^[26],建立了 EAKF 数据同化和预测系统^[27-28],在本研究中主要同化了卫星观测海面温度(SST)与海面高度异常(SLA)数据。同化和预测系统由 5 个部分组成(图 1):数据预处理模块(包括 SST 预处理与 SLA 预处理两个模块,对卫星数据进行单位转换与质量控制)、EAKF 同化模块、FIO-ESM 模式初始场扰动模型、FIO-ESM 模式海面观测数据 EAKF 同化系统和 FIO-ESM 模式集合预报模型。关于 EAKF 同化系统的更多细节可参考文献^[27]和^[28]。

本研究中所采用的日平均 SST 数据为美国国家海洋与大气局气候数据中心(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)提供的水平分辨率为 $1/4^\circ \times 1/4^\circ$ 的气象卫星 NOAA-AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer)与微波扫描辐射计 AMSR(Advanced Microwave Scanning Radiometer)观测后处理数据^[29]。同化采用的日均海面高度异常(SLA)为 AVISO (Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Data in Oce-

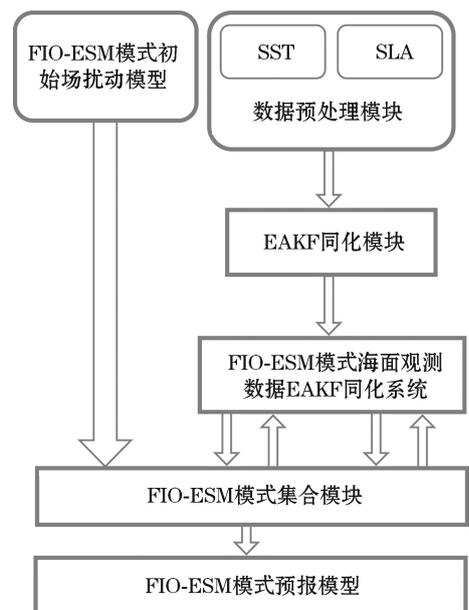


图 1 同化与预测系统示意图

Fig.1 A sketch map of the assimilation and forecasting system

anography)提供的水平分辨率为 $1/3^\circ \times 1/3^\circ$ 全球海域观测数据^[30]。

1.2 数值实验设计

本研究共设计了 3 组数值实验(表 1)。ASSI 实验为长时间同化实验,时间为 1992-01-01—2016-10-31。ASSI 实验利用 EAKF 同化系统,通过 10 个集合样本将海面温度(SST)与海面高度异常(SLA)同化到 FIO-ESM 模式中。Hind 实验为每次 6 个月的历史后报实验,利用 ASSI 实验的结果为初始条件进行计算,每个实验的启动日期为 1993-01—2013-12 中每个月的第一天。PRED 实验为 2016—2017 年拉尼娜的预测实验。预测实验自 2016-11-01 开始,预测长度为 6 个月。预测实验的初始条件来自 ASSI 实验的 10 个集合样本。

表 1 数值实验

Table 1 A list of the numerical experiments

实 验	数据同化	时 间	备 注
ASSI	是	1992-01—2016-10	同 化
HIND	否	1993-01—2013-12	后 报
PRED	否	2016-11—2017-04	预 测

本次实验中,ASSI 实验的目的是评估 FIO-ESM 模式在进行 EAKF 同化下的表现,并且为 HIND 与 PRED 实验提供初始场。HIND 实验是为了评估 FIO-ESM 的预测能力。PRED 实验用来预测 2016—2017 年拉尼娜的演变状况。

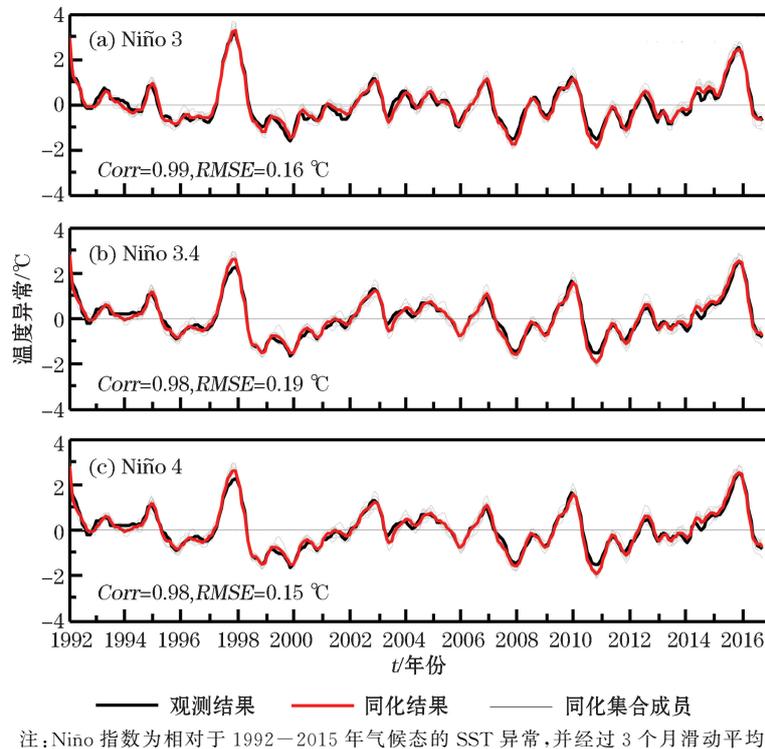
2 结果与分析

2.1 同化与历史回报结果

通过数据同化可以提高模式的分析精度和预报技巧,加深对动力过程的理解和认识。先前的研究表明集合调整卡尔曼滤波同化方案能显著提升 FIO-ESM 模式对 SST 的模拟能力,改善海洋温度、盐度分布状况,并通过海洋—大气相互作用增强了模式对大气环流、云量与降水的模拟能力^[23-24]。初始场的好坏在很大程度上决定了预报系统的预报能力,因此本文首先通过 Niño 3 ($5^\circ\text{N}\sim 5^\circ\text{S}$, $210^\circ\sim 270^\circ\text{W}$), Niño 3.4 ($5^\circ\text{N}\sim 5^\circ\text{S}$, $190^\circ\sim 240^\circ\text{W}$), Niño 4 ($5^\circ\text{N}\sim 5^\circ\text{S}$, $160^\circ\sim 210^\circ\text{W}$) 指数来检验分析 FIO-ESM 模式在 EAKF 同化下对 ENSO 的模拟能力。

本文中 Niño 区域 SST 异常的计算参照 CPC/IRI 的计算方法,即取 Niño 区域平均 SST 异常的 3 个月滑动平均值。所有的 Niño 指数均通过 1992—2015 年的平均态计算得出。图 2 给出了观测与模式在 1992-01—2016-10 的 Niño 指数,其中黑线为模式同化使用的卫星观测日均 SST 数据,红线为模式同化结果。3 个 Niño 区域(Niño 3, Niño 3.4 和 Niño 4)的 SST 异常都与观测吻合的较好,模式结果与观测的相关系数(Corr)分别为 0.99, 0.98 和 0.98, 均方根误差(RMSE)分别为 0.16, 0.19 和 0.15 $^\circ\text{C}$ 。模式同化的 Niño 3.4 区海温异常明显模拟出了 1997—1998 年和 2015—2016 年的强厄尔尼诺现象, 2002—2003 年, 2009—2010 年的中等厄尔尼诺现象, 以及 1998—1999 年、1999—2000 年、2007—2008 年、2010—2011 年共 4 个中等拉尼娜现象。模式同化的 Niño 3 区海温异常模拟出了 2006—2007 年较弱的厄尔尼诺事件, 而由 Niño 4 区海温异常也可模拟出 1994—1995 年、2004—2005 年两个较弱的中太平洋型厄尔尼诺事件。这表明了基于 FIO-ESM 和 EAKF 数据同化方案建立的同化系统可以较好地重现 ENSO 事件, ASSI 实验可以作为预测实验的启动场。

先前研究表明 6 个月的历史后报实验可以较好地预报出 1993—2014 年几乎所有的厄尔尼诺与拉尼娜事件^[16],在此就不赘述。这表明基于 FIO-ESM 和 EAKF 数据同化方案建立的短期预测系统能够较好地预测出厄尔尼诺和拉尼娜事件。



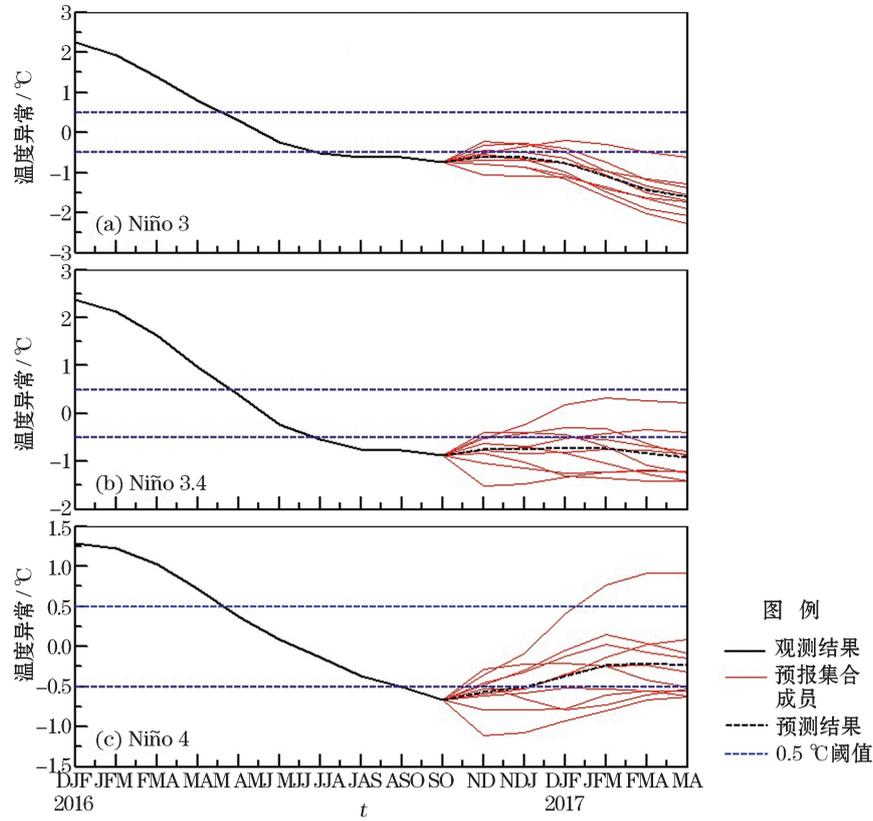
注: Niño 指数为相对于 1992—2015 年气候态的 SST 异常,并经过 3 个月滑动平均

图 2 1992—2016 年 Niño 3, Niño 3.4 和 Niño 4 指数的变化

Fig. 2 Changes in the indices of Niño 3 (a), Niño 3.4 (b) and Niño 4 (c) from 1992 to 2016

2.2 2016—2017 年拉尼娜事件预测结果

最新观测结果表明 Niño 3.4 区域的海温异常在 2016-11 第二周轻微低于 $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 达到了弱拉尼娜的阈值,同时赤道地区的大气风场形式倾向于略微增强的沃克环流(<http://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/forecasts/enso/current/>),然而目前 ENSO 仍处于中性状态。图 3 为 PRED 实验预测的 Niño 区域海温异常的 3 个月滑动平均。预测结果表明 Niño 3.4 区域的海温异常将持续降低,在 2016-11, 2016-12, 2017-01 及 2017-02 持续低于 $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 这表明 2016—2017 冬季的太平洋海温异常为弱拉尼娜事件。图 4 为 PRED 实验预测的赤道太平洋海区异常 SST 的分布变化。从图 4 可以看出,赤道冷的海温异常在 2016-11, 2016-12 继续发展,成为弱拉尼娜事件。2017-01, 2017-02 SST 冷异常向东太平洋移动并逐渐减弱,此时 Niño 4 海域海温异常迅速降低接近于 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, 但 Niño 3 海域的海温异常在缓慢增强。结果表明 Niño 3.4 区域海温冷异常在 2017-03 和 2017-04 有较小的增幅(图 3), 中太平洋海域(Niño 4 区)海温维持不变,但东太平洋海域(Niño 3 区)海温冷异常超过了一 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。图 4 也表明冷水在东太平洋秘鲁沿岸逐渐增强并向西太平洋发展。以上预测结果表明此次拉尼娜现象将在 2017 年继续发展,有可能成为持续时间较长的拉尼娜事件。



注: Niño 指数为相对于 1992—2015 年气候态的 SST 异常, 并经过 3 个月滑动平均, 横坐标英文字母为月份英文首字母

图 3 2016-11-01 起报的未来 6 个月的 Niño 3, Niño 3.4, Niño 4 地区海表温度异常

Fig.3 The SST anomalies in the future 6 months in the areas of Niño 3(a), Niño 3.4(b) and Niño 4(c), forecasted on November 1, 2016

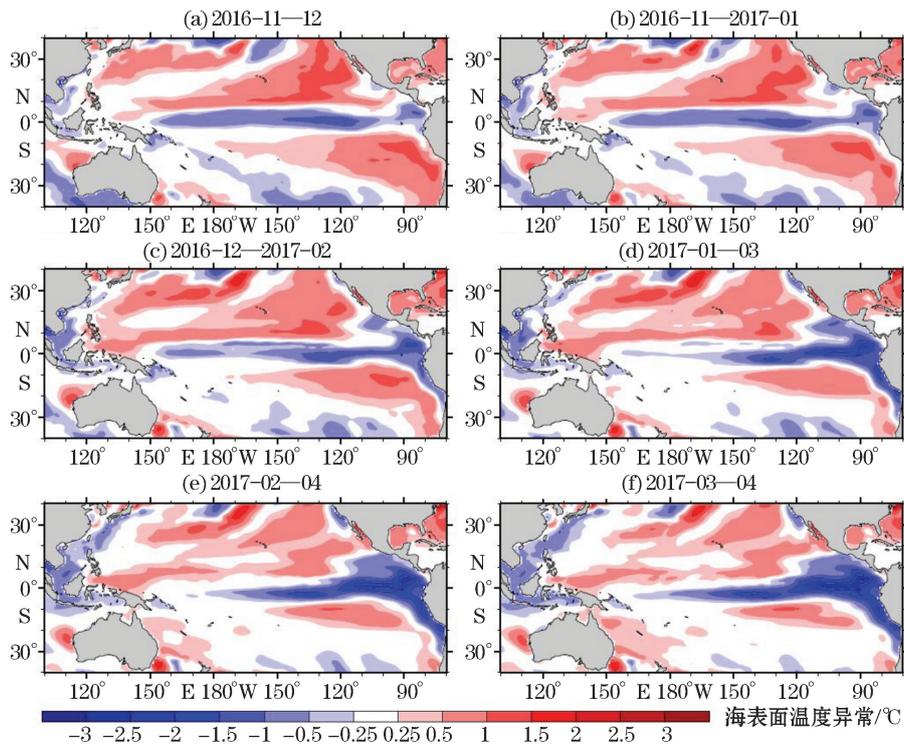


图 4 2016-11-01 起报的集合平均 SST 异常

Fig.4 The ensemble average SST anomaly forecasted on November 1, 2016

2.3 2016—2017 年中国近海地区预测结果

与厄尔尼诺类似,拉尼娜现象也对中国的气温与降水分布有着重要的影响。先前研究表明拉尼娜年冬季中国地区存在着北高南低的气温异常^[31],而拉尼娜对中国地区降水的影响存在着年代际变化^[32]。

图 5 为 PRED 实验预测的中国地区气温异常的分布变化。预测结果表明 2016 年冬季中国南海存在着大小在 $-0.5 \sim -1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷的海温异常(图 4),并在接下来的 6 个月里逐渐向东海黄海海域发展,推动着中国南部至东南亚部分地区冷的气温异常在 2016 年冬季以及 2017 年春季持续增强并逐渐向东北方向扩展,但

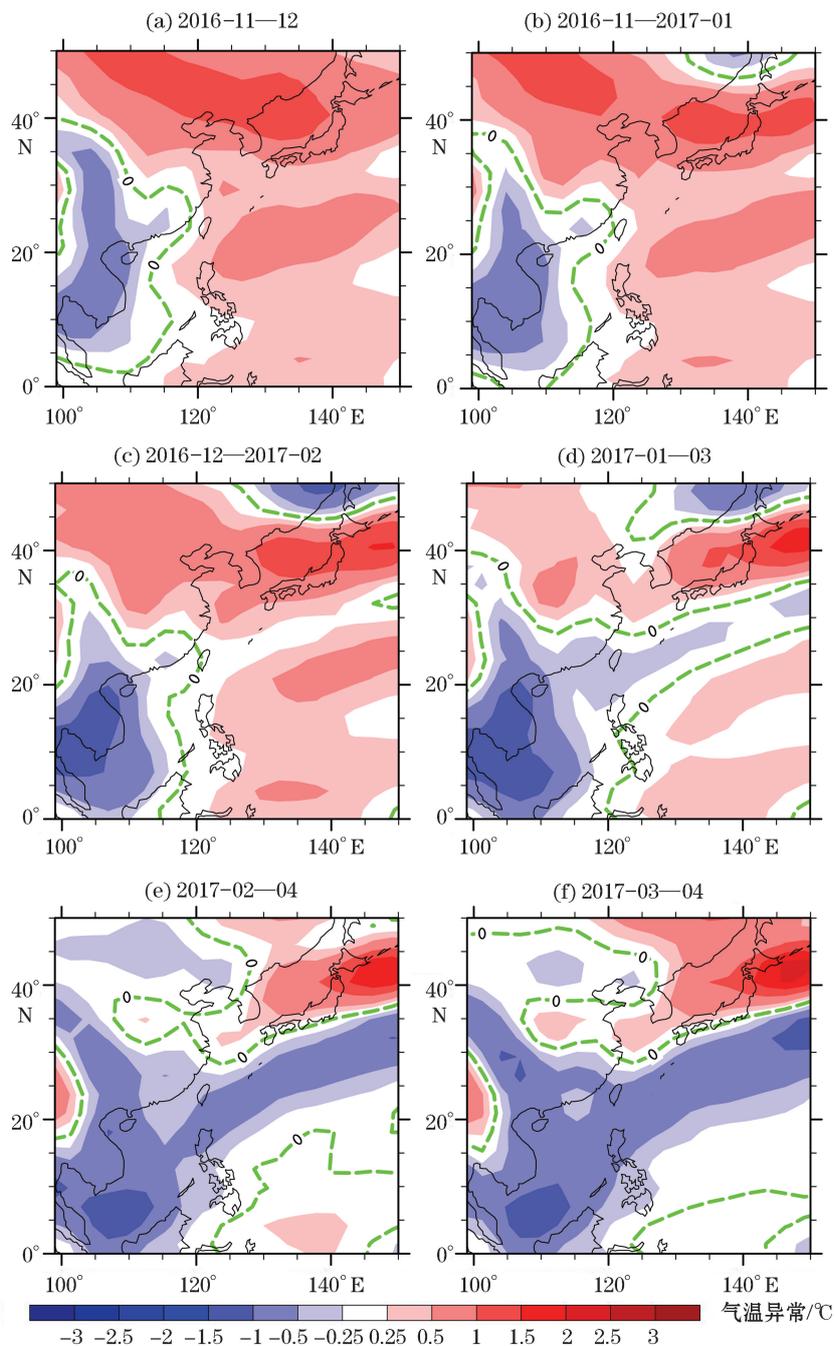


图 5 2016-11-01 起报的集合平均中国近海地区气温异常

Fig.5 The ensemble average air temperature anomaly in the coastal regions of China, forecasted on November 1, 2016

2016 年年末冷气温异常对中国西南部分地区的控制将逐渐减弱。中国北部至日本地区存在着大小在 $1\sim 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 暖的气温异常,并随着时间逐渐减弱消退。图 6 为 PRED 实验预测中国地区降水异常的分布变化。预测结果表明 2016-11,2016-12 降水正异常主要集中在南海以及菲律宾附近,孟加拉湾以及中国南部、日本地区则存在负异常。预测 2016 年冬季至 2017 年春季中国南部地区气温异常低于 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$,降水异常少于 20 mm/月 ,表明此次拉尼娜事件对中国的影响相对较小。

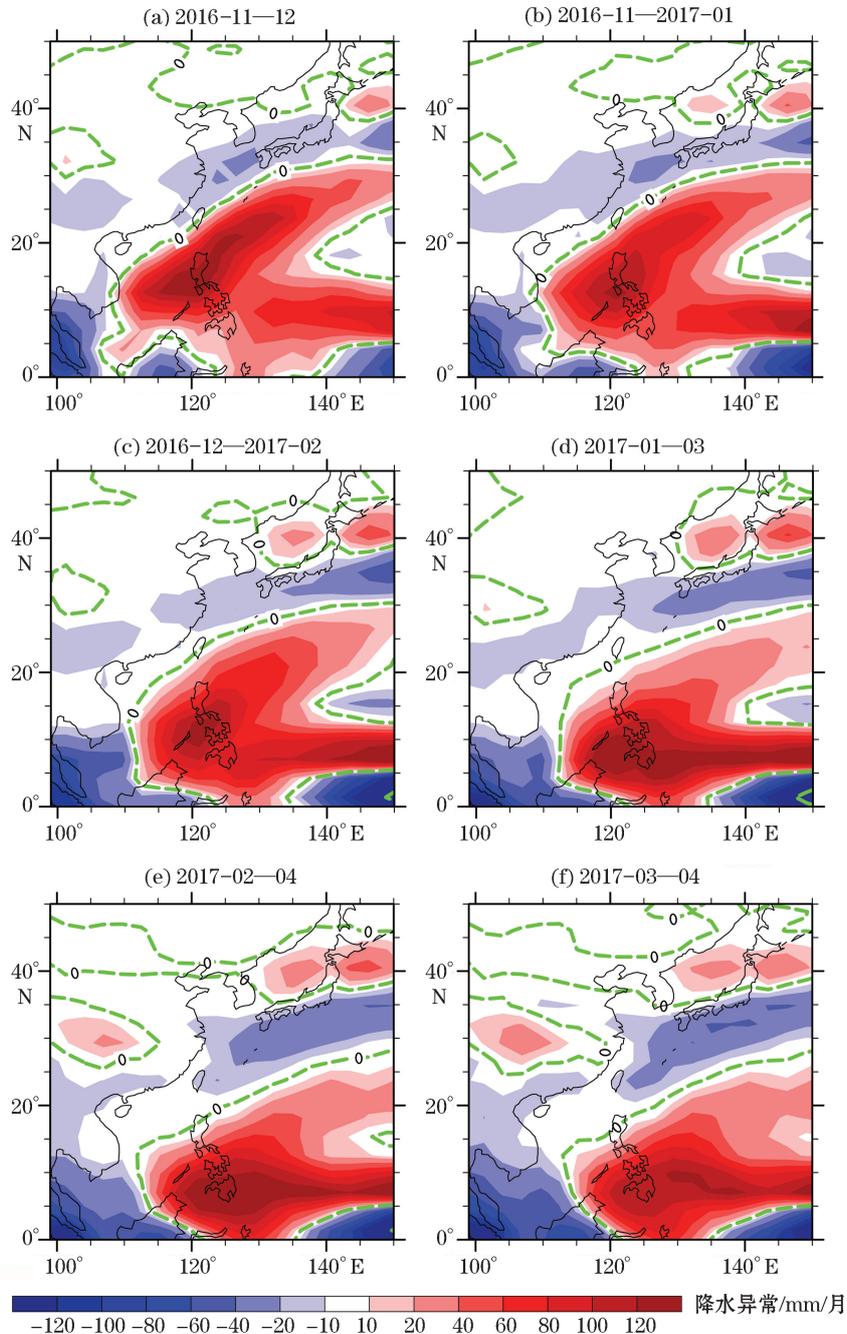


图 6 2016-11-01 起报的集合平均中国近海地区降水异常

Fig.6 The ensemble average precipitation anomaly in the coastal regions of China, forecasted on November 1, 2016

3 结 语

本文利用基于 FIO-ESM 和集合调整卡尔曼滤波同化方案建立的短期气候预测系统对 2016—2017 年拉尼娜的演变情况进行了预测。预测实验自 2016-11-01 开始,预报时长为 6 个月。模式的预测结果认为 2016 年年底拉尼娜的强度仍旧保持在略低于 $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的范围,说明 2016—2017 年发生的是弱拉尼娜事件。预测结果也显示 2017-03,2017-04 东太平洋秘鲁沿岸冷水逐渐发展,预示着此次拉尼娜事件可能会持续较长时间。

上述结论是分析 FIO-ESM 预测结果的集合平均得到的。在预测实验的 10 个集合成员中,有 8 个在 2016 年年底表现为弱拉尼娜,一个冷异常迅速减弱成为中性事件,一个继续降温成为中等强度的拉尼娜事件。这表明 2016—2017 年赤道太平洋的冷异常有 90% 的可能性成长为拉尼娜事件,但其强度有超过 80% 的可能性维持在弱拉尼娜的范围之内。

预测实验同时表明 2016 年年底中国地区存在着北高南低的气温异常分布,同时中国南部地区降水存在负异常。但总的来说,气温异常和降水异常幅度都较小,这表明 2016—2017 年拉尼娜事件对中国的影响相对较弱,对中国沿岸工程的建设与防护工作造成的压力较小。

致谢: 本文所有实验是在国家超级计算天津中心 TH-1A 超级计算机上完成。

参考文献:

- [1] 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]. *Journal of Climate*, 2002, 15(16): 2205-2231.
- [2] PHILANDER S G H. El Niño Southern Oscillation phenomena[J]. *Nature*, 1983, 302(5906): 295-301.
- [3] TANAKA M. Interannual and interdecadal variations of the western North Pacific monsoon and Baiu rainfall and their relationship to the ENSO cycles[J]. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 1997, 75(6): 1109-1123.
- [4] TRENBERTH K E, STEPANIAK D P, CARON J M. The global monsoon as seen through the divergent atmospheric circulation[J]. *Journal of Climate*, 13(22): 3969-3993.
- [5] WANG C Z, PICAUT J. Understanding ENSO physics—a review[M]// WANG C, XIE S P, CARTON J A. *Earth's Climate: The Ocean-Atmosphere Interaction*. Washington D C: AGU, 2000, 147: 21-48.
- [6] WANG X, WANG D X, ZHOU W, et al. Interdecadal modulation of the influence of La Niña events on Mei-yu rainfall over the Yangtze River Valley[J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2012, 29(1): 157-168.
- [7] WANG X, ZHOU W, LI C Y, et al. Comparison of the impact of two types of El Niño on tropical cyclone genesis over the South China Sea[J]. *International Journal of Climatology*, 2014, 34(8): 2651-2660.
- [8] WANG X, WANG C Z. Different impacts of various El Niño events on the Indian Ocean Dipole[J]. *Climate Dynamics*, 2014, 42(3): 991-1005.
- [9] 高川,陈锦年,王宏娜,等. 2011/2012 年我国冷冬与中部型 La Niña 事件的联系[J]. *海洋科学进展*, 2014, 32(3): 306-315.
- [10] 唐绍磊,于昀,杨晓峰,等. 不同类型的 El Niño 事件对黑潮流域影响的统计分析[J]. *海洋科学进展*, 2015, 33(4): 439-450.
- [11] 路凯程,于杰,吕庆平,等. 北太平洋风应力与流场联合 EOF 的主模态分析[J]. *海洋科学进展*, 2014, 32(4): 467-481.
- [12] 杨绮薇,林爱兰. 华南登陆台风频数的变化及其与 ENSO 事件的关系[J]. *气象*, 2001, 27(3): 12-16.
- [13] 焦梦梁. ENSO 与影响福建省热带气旋数量和强度关系研究[J]. *应用海洋学学报*, 2016, 2016(1): 33-37
- [14] MANABE S, BRYAN K. Climate calculations with a combined ocean-atmosphere model[J]. *Journal of Atmosphere Sciences*, 1969, 26(4): 786-789.
- [15] BARNSTON A G, TIPPETT M K, L'HEUREUX M L, et al. Skill of real-time seasonal ENSO model predictions during 2002—II: Is our capability increasing? [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2012, 93(5): 631-651.
- [16] FLATO G, MAROTZKE J, ABIODUN B, et al. Evaluation of climate models[M]// STOCKER T F, QIN D, PLATTNER G K, et al. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. USA: Cambridge University Press, 2013.

- [17] QIAO F L, YUAN Y L, YANG Y Z, et al. Wave induced mixing in the upper ocean: Distribution and application to a global ocean circulation model[J]. *Geophysical Research Letters*, 2004, 31(11): L11303, doi: 10.1029/2004GL019824.
- [18] QIAO F L, SONG Z Y, BAO Y, et al. Development and evaluation of an Earth System Model with surface gravity waves[J]. *Journal of Geophysical Research Oceans*, 2013, 118(9): 4514-4524.
- [19] SONG Z Y, SHU Q, BAO Y, et al. The prediction on the 2015/16 El Niño event from the perspective of FIO-ESM[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2015, 34(12): 67-71.
- [20] COLLINS W D, RASCH P J, BOVILLE B A, et al. The formulation and atmospheric simulation of the Community Atmosphere Model version 3 (CAM3)[J]. *Journal of Climate*, 2006, 19(11): 2144-2161.
- [21] SMITH R, JONES P W, BRIEGLEB B, et al. The Parallel Ocean Program (POP) reference manual, ocean component of the community climate system model (CCSM). Technical Report LAUR10-01853[R]. Boulder, Colorado: National Centre for Atmosphere Research, 2010.
- [22] DICKINSON R E, OLESON K W, BONAN G, et al. The community land model and its climate statistics as a component of the community climate system model[J]. *Journal of Climate*, 2006, 19(11): 2302-2324.
- [23] HUNKE E C, LIPSCOMB W H. CICE: The Los Alamos sea ice model, documentation and software user's manual Version 4.0. Technical Report LA-CC-06-012[R]. Los Alamos, NM: T-3 Fluid Dynamical Group, Los Alamos National Laboratory, 2008.
- [24] 杨永增, 乔方利, 赵伟, 等. 球坐标系下 MASNUM 海浪数值模式的建立及其应用[J]. *海洋学报*, 2005, 27(2): 1-7.
- [25] CRAIG A P, JACOB R, KAUFFMAN B, et al. CPL6: The new extensible, high performance parallel coupler for the community climate system model [J]. *The International Journal of High Performance Computing Applications*, 2005, 19(3): 309-327, doi: 10.1177/1094342005056117.
- [26] ANDERSON J L. An ensemble adjustment Kalman filter for data assimilation[J]. *Monthly Weather Review*, 2001, 129(12): 2884-2903.
- [27] 陈辉, 尹训强, 鲍颖, 等. 基于地球系统模式 FIO-ESM 的海洋卫星资料 EAKF 同化实验[J]. *中国科学:地球科学*, 2015, 45(12): 1937-1948.
- [28] 尹训强. 集合调整 Kalman 滤波同化模块的建立及其在海洋和气候系统模式中的应用[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2015.
- [29] REYNOLDS R W, SMITH T M, LIU C Y, et al. Daily high-resolution-blended analyses for sea surface temperature[J]. *Journal of Climate*, 2007, 20(22): 5473-5496.
- [30] DUCET N, LE TRAON P Y, REVERDIN G. Global high-resolution mapping of ocean circulation from TOPEX/Poseidon and ERS-1 and-2[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2000, 105(C8): 19477-19498.
- [31] WANG B, WU R, FU X. Pacific-east asian Teleconnection: How does ENSO affect east Asian climate? [J]. *Journal of Climate*, 2000, 13(9): 1517-1536.
- [32] 袁媛, 李崇银, 杨崧. 与厄尔尼诺和拉尼娜相联系的中国南方冬季降水的年代际异常特征[J]. *气象学报*, 2014(2): 237-255.

Prediction on 2016—2017 La Niña Event and Its Influence on Coastal Region of China by Using the Earth System Model FIO-ESM

LIAO Hua-xia^{1,2}, BAO Ying^{1,2}, SONG Zhen-ya^{1,2}, SHU Qi^{1,2}, YIN Xun-qiang^{1,2}

(1.*The First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266061, China*;2.*Laboratory for Regional Oceanography and Numerical Modeling, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266237, China*)

Abstract: Recent observations have shown that the SST anomalies in the central and the eastern Tropical Pacific Ocean are slightly lower than the La Niña threshold (-0.5°C), but both the atmospheric and oceanic states cannot fully support the turning to weak La Niña. In the present paper, assimilation of the climate models from 1 January 1992 to 31 October 2016 is carried out by using the First Institute of Oceanography-Earth System Model (FIO-ESM) and the short-term climate assimilation and forecasting system established based on the Ensemble Adjusted Kalman Filter (EAKF) assimilation scheme, showing that the assimilation system can provide a good initial field for prediction. Afterwards, the states of the 2016—2017 La Niña event and the anomalies of the air temperature and the precipitation in the coastal regions of China are predicted for the future 6 months. The predicted results indicate that the surface water of the Tropical Pacific Ocean will continue to cool down by the end of 2016, and the SST anomaly in the Niño3.4 area will still be slightly lower than -0.5°C , indicating that there will be a weak La Niña in 2016—2017. It is also shown that the SST in the eastern Tropical Pacific Ocean will continuously drop down in spring of 2017, suggesting that the 2016—2017 La Niña be lasted longer. The predicted results also show that air temperature anomaly which shows higher in the north and lower in the south occurs in the coastal regions of China from winter of 2016 to spring of 2017. In the southern region of China a negative anomaly of precipitation is present. The Extreme weather and climate anomalies associated with La Niña can cause a great influence on the coastal regions of China, but the influence caused by the 2016—2017 La Niña would be relatively weak in general.

Key words: La Niña; short-term climate prediction; FIO-ESM; Ensemble Adjusted Kalman Filter assimilation scheme; coastal regions of China

Received: November 24, 2016