

程智, 杨玮, 徐敏, 等, 2017. JMA/MRI-CPS2 模式对东亚夏季风系统预测能力的评估[J]. 气象, 43(4): 434-442.

# JMA/MRI-CPS2 模式对东亚夏季风系统 预测能力的评估<sup>\*1</sup>

程 智<sup>1</sup> 杨 玮<sup>1</sup> 徐 敏<sup>1</sup> 周 昆<sup>2</sup>

1 安徽省气候中心, 合肥 230031

2 安徽省气象台, 合肥 230031

**提 要:** 基于东京气候中心提供的新一代气候预测业务模式(JMA/MRI-CPS2)回报数据, 综合多种评估方法, 评估了其对于东亚夏季风的预测技巧, 结果表明该模式能够模拟出气候场上主要降水中心和夏季风主要成员的位置, 但存在明显的系统性偏差。对于年际变率的预测, 泰勒图分析结果表明, 该模式对夏季风指数预测效果总体较好, 对于副热带高压指数中的面积、强度和西伸脊点指数预测能力较好, 但对于脊线南北位置指数的预测效果较差; 分月来看, 4 和 5 月起报结果的技巧相对更高。MV-EOF 分析的结果表明模式较为准确地把握住了东亚夏季风主要模态的空间分布, 滞后相关分析的结果表明其第一模态反映出了厄尔尼诺衰减的影响, 第二模态反映出了厄尔尼诺发展的影响, 合成分析的结果也显示, 模式能够反映出厄尔尼诺发展的不同位相下东亚季风环流响应的差异。这些分析表明该模式对于东亚季风区的预测具有一定技巧, 可以作为每年汛期气候预测的有益参考。

**关键词:** 模式评估, 夏季风, JMA/MRI-CPS2, 东亚

**中图分类号:** P466

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2017.04.005

## Evaluation on East Asia Summer Monsoon System Prediction by JMA/MRI-CPS2 Model

CHENG Zhi<sup>1</sup> YANG Wei<sup>1</sup> XU Min<sup>1</sup> ZHOU Kun<sup>2</sup>

1 Anhui Climate Centre, Hefei 230031

2 Anhui Meteorological Observatory, Hefei 230031

**Abstract:** Based on hindcast data of the a new version of JMA/MRI-CPS2 climate prediction model supplied by Tokyo Climate Centre, the skill of predicting East Asian summer monsoon (EASM) is evaluated by use of several estimating methods. The results show that some features of EASM can be predicted, including the climatological distribution of the main precipitation centers and the main members of EASM system, but with some systematic biases. Taylor diagram analysis shows the JMA/MRI-CPS2 model has decent skills in predicting the monsoon indices, as well as the area, intensity and western ridge point of subtropical high. However, for the south-north position index of the ridge line, its prediction result is poor. Reviewed monthly, the results issued in April and May are better. The spatial distribution of the main modes of MV-EOF analyses on EASM are also presented. Similar to the observation, the first mode in hindcast shows the influence of attenuating El Niño and the second one shows the influence of developing El Niño. The composite analysis reflects the different responses of EASM circulation to the different phases of El Niño in developing and decaying years. All of the analyses indicate the model's high predicting skills in EASM re-

\* 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201406021)和安徽省自然科学基金项目(1408085MD73)共同资助

2016 年 2 月 1 日收稿; 2016 年 10 月 12 日收修定稿

第一作者: 程智, 主要从事短期气候预测及模式解释应用研究. Email: alexclimate@sina.com

gion, which could be used as a reference in climate prediction for the flood season every year.

**Key words:** model evaluation, summer monsoon, JMA/MRI-CPS2, East Asia

## 引言

短期气候预测对国民经济发展有重大应用价值,因而得到了各国的重视。除传统的统计方法外,近年来气候模式得到了快速发展,并已成为气候预测业务部门的主要预测工具(任福民等,2014;王冀等,2011;彭相瑜等,2014;汪栩加等,2015)。致力于评估和比较耦合模式的国际项目也正在开展,如欧洲季节-年际尺度多模式集合预测研究计划(Development of a European Multimodel Ensemble System for Seasonal to Interannual Prediction, DEMETER)计划(Palmer et al, 2004)和亚太区经济合作气候中心/气候预测及应用(Asian-Pacific Economic Cooperation Climate Center/Climate Prediction and its Application to Society, APCC/CliPAS)项目(Wang et al, 2009)等,这些气候模式的季节气候预测能力由此被深入认识,尤其是对于亚洲季风的预测。

一直以来对亚洲季风的模拟被认为是很具有挑战的问题,近年来观测资料质量和同化方法的改进、分辨率的提高以及模式对于海气相互作用、积云对流、季节内过程等认识的深入使得模式对于亚洲季风的模拟水平有所提高(智海等,2012;李昉英等,2015)。目前的主流模式已能够较好地模拟出气候态场上亚洲季风环流子系统、强降水中心主要成员的位置分布,在短期气候预测所关注的年际变率上也有一定进步,如CFSv2模式在超前1个月时间尺度上对于Webster-Yang(Webster and Yang, 1992)和Southeast Asian(Wang and Fan, 1999)季风指数预测的相关系数可以达到0.7(Jiang et al, 2013)。Liu et al(2015)评估了BCC\_CSM1.1(m)模式超前0~3个月的回报试验,同样计算了这两种指数的时间相关系数,结果表明其在东亚的技巧更高,后一种指数通过了信度检验。Gao et al(2015)对5个气候模式预测泛亚洲季风区域(包含南亚季风区和东亚季风区)气候的能力进行了评估,结果表明ECMWF、Météo-France和Met Office的模式对于该区域夏季降水第一模态的位置和年际变化模拟效果较好,这一模态与前期冬、春季赤道中东太平洋

海温有密切联系,反映了海温衰减位相对亚洲季风的典型影响。

相对于赤道地区气候的预测,夏季风的预测仍有很大的改进空间。从气候态来看,模式往往对于夏季风强度和季风区降水存在明显的系统性偏差(Kim et al, 2012; Jiang et al, 2013; Liu et al, 2014; 王斌, 2008)。此外从年际变化来看,相对于环流,降水的预测仍是弱项。Wang et al(2008)用14个APCC/CliPAS气候模式系统分析了集合预报与实况的相关系数,结果表明对降水的预测在热带地区技巧最高,尤其是中东太平洋地区,而印度半岛和中国大陆上的技巧较低,相关基本为负值。NCEP\_CFSv2、ECMWF\_System 4和BCC\_CSM1.1(m)模式也十分相似,在陆地季风区上的相关系数也基本未能通过信度检验(Kim et al, 2012; Liu et al, 2015)。这些问题的克服涉及到观测资料、海气相互作用、陆面过程、热带-热带外的遥相关和季节内变化等许多复杂的问题,仍然是一个长期的工作。因此将模式应用于气候预测业务时不能仅仅关注降水预测,也需要更细致地评估模式对季风变率以及其他气候系统对季风的主要影响模态的把握能力,这也是本评估工作的侧重点。

2015年6月,日本气象厅将其新一代气候预测模式“日本气象厅/气象研究所第二代耦合预测系统”(Japan Meteorological Agency/Meteorological Research Institute-Coupled Prediction System version 2, JMA/MRI-CPS2)投入业务应用,与前一代模式相比除分辨率明显提高外,加入了海冰模式,并对积云对流、辐射和海表边界层等方面做了许多改进,由于该模式作为业务模式对于我国每年汛期气候预测会商有一定参考作用,并且近期国家气候中心收集了一些主要气候预测业务机构的业务模式资料,形成了多模式解释应用系统(Multi-model Downscaling Ensemble System, MODES)(刘长征等,2013),因此有必要在应用之前对其性能开展评估,此外以往对短期气候预测模式的评估更多着重于季风气候态和降水年际变率的检验,少有对于季风系统主要模态及其主要影响机制模拟的评估,有必要继续进行更深入分析,以便更多地了解模式性能,发挥其优势,为短期气候预测提供参考。

## 1 资料来源和方法

### 1.1 资料来源

JMA/MRI-CPS2 模式资料由东京气候中心提供,该模式为一种海陆冰气全耦合的气候系统模式,其大气模式的分辨率为 TL159(约 110 km),垂直方向上有 60 层(最高层达 0.1 hPa),海洋模式的纬向分辨率为  $1.0^\circ$ ,经向分辨率为  $0.3^\circ\sim 0.5^\circ$ ,垂直方向上包含 52 层和 1 个底部的边界层。模式的具体介绍可见 <http://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/products/model/outline/index.html>,本文用以评估的回报资料包含 1979—2014 年的 200 和 850 hPa 风场资料、海平面气压场、500 hPa 位势高度预测场以及气温和降水要素预测场,回报资料每月起报两次,每次包含 5 个样本的未来 7 个月的预测。对每个月的预测样本进行平均,用以比较不同月份起报的差异,并通过双线性插值法将其插值到  $2.5^\circ\times 2.5^\circ$  的分辨率以保持和实况资料一致。

环流实况资料和 2 m 气温资料为被广泛应用于气候诊断和模式评估的 JRA55 再分析资料(Kobayashi et al, 2015),实况降水率资料(以下降水均指降水率)为 CMAP 再分析资料(Xie and Arkin, 1997),长度覆盖了模式回报时段,分辨率均为  $2.5^\circ\times 2.5^\circ$ 。逐月 Niño3.4 区海温指数来自 HadISST1(Rayner et al, 2003),海区范围为 ( $5^\circ\text{S}\sim 5^\circ\text{N}, 170^\circ\sim 120^\circ\text{W}$ )。

### 1.2 方法介绍

应用 4 种广泛使用的东亚夏季风强度指数,分别是 Wang and Fan(1999)、张庆云等(2003)、施能等(1996)和何敏等(2002),从纬向风南北差异、海陆气压差和高低层风速差方面评估模式对东亚夏季风强度的预测能力。此外由于西北太平洋副热带高压(以下简称副高)的可预报性是东亚季风气候预测的重要指标,应用了中国气象局业务规定中的副高面积、强度、脊线和西伸脊点指数,从不同角度评估了模式对副高的预测能力,各指数定义详见表 1。

表 1 评估所用季风指数和副高指数的定义

Table 1 Definition of monsoon and subtropical high indices in evaluation

指数名称	定义
季风强度(Wang and Fan, 1999)	$5^\circ\sim 15^\circ\text{N}, 90^\circ\sim 130^\circ\text{E}$ 与 $22.5^\circ\sim 32.5^\circ\text{N}, 110^\circ\sim 140^\circ\text{E}$ 区域平均 850 hPa 纬向风速差
季风强度(张庆云等, 2003)	$10^\circ\sim 20^\circ\text{N}, 100^\circ\sim 150^\circ\text{E}$ 与 $25^\circ\sim 35^\circ\text{N}, 100^\circ\sim 150^\circ\text{E}$ 区域平均 850 hPa 纬向风距平差
季风强度(施能等, 1996)	$20^\circ\sim 50^\circ\text{N}$ (7 个纬带)的 $110^\circ\text{E}$ 与 $160^\circ\text{E}$ 的月(季)的标准化海平面气压差的和,所得的序列再进行一次标准化处理
季风强度(何敏等, 2002)	$0^\circ\sim 10^\circ\text{N}, 100^\circ\sim 130^\circ\text{E}$ 范围内 850 与 200 hPa 纬向风距平差
副高面积	$H500$ $10^\circ\sim 60^\circ\text{N}, 110^\circ\sim 180^\circ\text{E}$ 区域内 $\geq 5880$ gpm 区域的球面面积
副高强度	上述范围内格点位势高度与 5870 gpm 之差乘以格点面积的累积值
副高脊线	$10^\circ\sim 60^\circ\text{N}, 110^\circ\sim 150^\circ\text{E}$ 区域内,逐条经线上副高中心(即 500 hPa 纬向风 $u=0$ 且 $\partial u/\partial y > 0$ )位置所在纬度的平均值
副高西伸脊点	$H500$ $10^\circ\sim 60^\circ\text{N}, 90^\circ\sim 180^\circ\text{E}$ 区域内,5880 gpm 等值线最西端位置的经度

为全面、直观地评估观测与模拟季风、副高指数的一致性,引入泰勒图分析方法,泰勒图是由模拟与观测场空间分布的相关系数、相对标准差及其均方根误差组成的极坐标图(Taylor, 2001; 张宏芳等, 2014),其距原点的距离表示模式相对于实况的标准差,方位角的余弦代表模式与实况的相关系数,与参考点(Reference, REF)的距离反映模式相对于实况的均方根误差,可以很方便地比较不同起报月以及对于不同指标预测效果的差异。

在评估模式反映东亚夏季气候主要模态能力时,采用一种多变量经验正交函数(multivariate

empirical orthogonal function, MV-EOF)分解法,综合 850 hPa 风场和降水场,分析其主要模态的时空变率,具体原理参见 Wang(1992),并通过 North et al(1982)方法检验主要模态的显著性,计算特征值  $\lambda_j$  的误差范围( $e_j$ ),即  $e_j = \lambda_j \sqrt{2/n}$ ,式中  $n$  为样本量,当相邻的特征值满足  $\lambda_j - \lambda_{j+1} \geq e_j$  时,就认为这两个特征值所对应的经验正交函数通过检验。

## 2 模式对气候态预测的评估

首先评估模式对亚洲季风区气候态的模拟能

力,图 1 为回报年平均夏季 850 hPa 风速场、降水率场、500 hPa 位势高度场的实况和回报,可以看出观测场显示的降水中心位于阿拉伯海、孟加拉湾、孟加拉国、缅甸、中南半岛、南中国海和菲律宾东部(图 1a),东亚的降水大致呈西南—东北向分布,华南雨带、长江中下游梅雨雨带、日本和韩国的梅雨带都较为清晰地存在。回报场(图 1c)抓住了观测降水的主要信息,上述主要降水中心的位置和强度模拟较好,能够反映出印度季风和东亚季风雨带分布,主要高估的区域位于海洋性大陆和中南半岛北部,主要低估的区域有赤道印度洋中部、印度、孟加拉国、缅甸北部、南海和菲律宾东部部分地区(图 1e)。

从 850 hPa 风场来看,主要的差异是模式对印度南侧—菲律宾的西风模拟过强以及对孟加拉湾附近的季风槽模拟偏弱,后者造成了对印度、孟加拉国、缅甸北部降水的低估。从 500 hPa 位势高度场来看,模式能够反映出南高北低的形势、东亚和西亚副热带两处高压的分布,但普遍存在负偏差,特别是中高纬、中国东南部及其以东洋面、印度东部向东至菲律宾海的地区,尤其是对于 5880 gpm 的副高特征线没有反映出来。综合来看,模式对强降水中心和季风系统成员位置的模拟较为合理,但存在一定的系统性偏差,对亚洲季风环流模拟偏弱,导致对季风降水模拟偏弱。

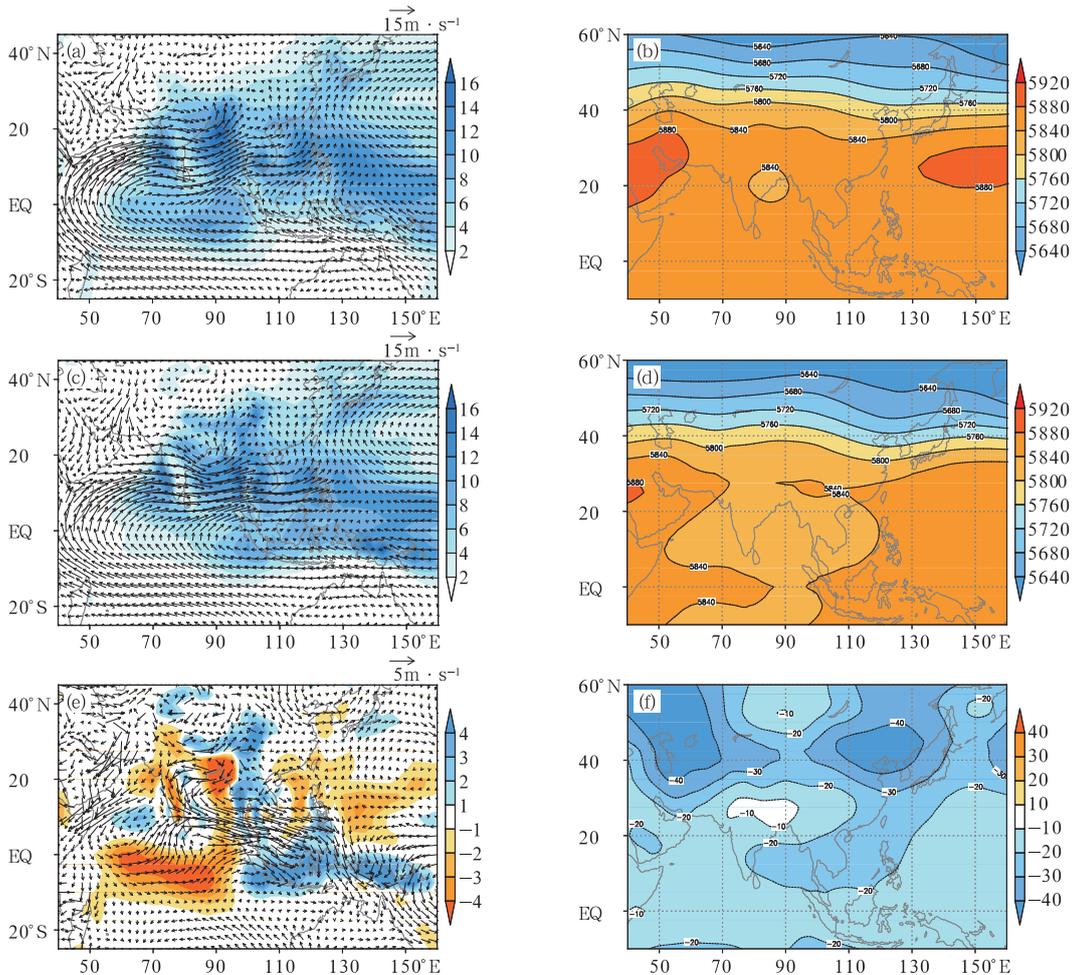


图 1 回报年平均实况(a,b)和模式预测(c,d)及其比较(e,f;模拟与观测值之差)

(a,c,e)850 hPa 风速场(单位:  $m \cdot s^{-1}$ )和降水率场(单位:  $mm \cdot d^{-1}$ ),

(b,d,f)500 hPa 高度场(单位: gpm)

Fig. 1 Hindcast year average observation (a, b) and model prediction (c, d) and their difference between simulated and observed values (e, f)

(a, c, e) 850 hPa wind speed (unit:  $m \cdot s^{-1}$ ) and precipitation rate fields (unit:  $mm \cdot d^{-1}$ ),

(b, d, f) 500 hPa height fields (unit: gpm)

### 3 模式对东亚夏季风变率的模拟

对于短期气候预测来说,最受关注的是对气候变率的预测,为此下文侧重于研究该模式对东亚夏季风变率的模拟技巧,分别选取了 4 种广泛使用的东亚夏季风强度指数和副高指数进行评估,指数定义见第一节的方法介绍。

图 2a 为 1—5 月起报的模式对 4 种季风指数预测结果的泰勒图,可以看出模式对于不同季风指数的模拟效果存在一定差异,其中施能等(1996)指数的均方根误差最小,相对于实况的标准差更接近于 1,相关系数也达 0.9 以上,其次为 Wang and Fan (1999)指数和张庆云等(2003)指数,何敏等(2002)指数的均方根误差最大,相关系数最小,但其相关系数除 1 月起报结果外也均可以通过 0.05 的显著性水平检验;此外从各起报月差异来看,除施能等(1996)指数在 2—5 月结果非常接近外,其他指数综合相关系数、相对标准差和均方根误差来看,都是 4 和 5 月起报的模式预测效果最好。图 2b 是对副高面积、强度、脊线位置和西伸脊点指数评估的结果,可以看出模式对于副高面积、强度和西伸脊点的模拟效果比脊线位置更好,均方根误差明显小于脊线位置的结果,相关系数也都集中在 0.4~0.8,均通过 0.05 的显著性水平检验,而各月脊线位置的相关均不显著;此外从不

同起报月的结果来看,差异并不明显。考虑到在每年汛期气候预测时,需要判断季风和副高的趋势,较高的相关系数意味着应用该模式判断指数年际变化时具有一定参考价值,但模式对于一些指数的预测技巧仍偏弱,尤其是对于副高脊线位置这一影响中国夏季雨带分布的关键因子预测能力仍较低,表明模式还有很大的改进空间,此外综合来看 4 和 5 月起报的结果相对其他月份信度更高,这对于每年 5 月进行的汛期气候预测订正和会商具有积极意义。

为进一步评估模式对东亚季风主要模态变率的把握能力,参考 Wang 等(2008)在评定季风指数代表性时所采用的统计方法,综合降水和 850 hPa 风场进行了 MV-EOF 分解,前面的分析显示出 4 和 5 月起报模式对季风和副高指数的预测效果最好,考虑到每年 5 月汛期气候预测和会商中应用的需要,采用 4 月起报的结果进行分析。实况场 MV-EOF 第一模态占据了 21% 的方差贡献,通过了 North 检验,图 3a 为其空间向量场,可以看出在实况 850 hPa 风速分量场上,最突出的特征是位于中国东北南部、朝鲜半岛和日本的气旋式气流异常和副热带的反气旋式异常,尤其是后者,其西北侧从中国南部一直至黄淮增强的西南风,其南侧  $5^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{N}$  的东风异常都很明显,并且风场的异常和降水场的异常相对应,表现在副高偏强和偏西、低层西南气流强盛的条件,有利于中国除华南的大范围地区降水偏多,而在副

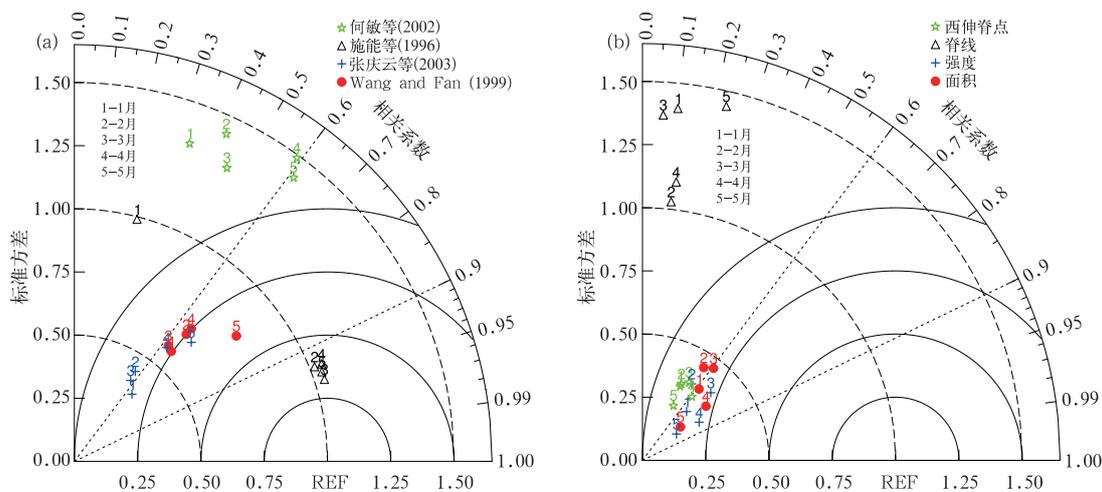


图 2 1—5 月起报的模式对东亚夏季风指数(a)和副高指数(b)的泰勒图

(REF 为参考值)

Fig. 2 Taylor diagrams of model prediction from January to May on ESAM indices (a) and WPSH indices (b)

(Reference value is denoted by REF)

高主体控制下的南中国海、菲律宾降水偏少。对比图 3b 可以看出,模式够模拟出东北亚的气旋式异常、副热带地区的反气旋式异常及低纬大范围的东风异常这些风场分量的最主要信息,位置也较为接近;降水分量同样呈南北差异型的分布,对于中国东部的多雨区以及菲律宾以东洋面的少雨区位置模拟较好,不足之处是实况中朝鲜半岛和日本的多雨区在模式中为少雨区。总体来看,模式对于东亚季风区最主要模态的空间分布把握能力较好,实况和模式空间向量的空间相关系数达 0.87。

图 4 为第二模态的情况,其实况模态占据了 10% 的方差贡献,虽然无法和更高的模态进行区分,但 Wang et al(2008)认为其反映了 ENSO 发展年环流的特征,具有一定的物理意义,可以作为东亚季风的主要模态之一,因此在这里也比较了模式对其的拟合情况。图 4a 的实况 850 hPa 风速分量场显示出季风明显偏弱的环流形势,在东亚 30°N 以北的地区大部为北风距平,与之配合的是西太平洋副热带地区存在一个气旋式异常,有利于副高偏弱、偏东。实况降水分量场显示出了受此弱季风影响下的降水

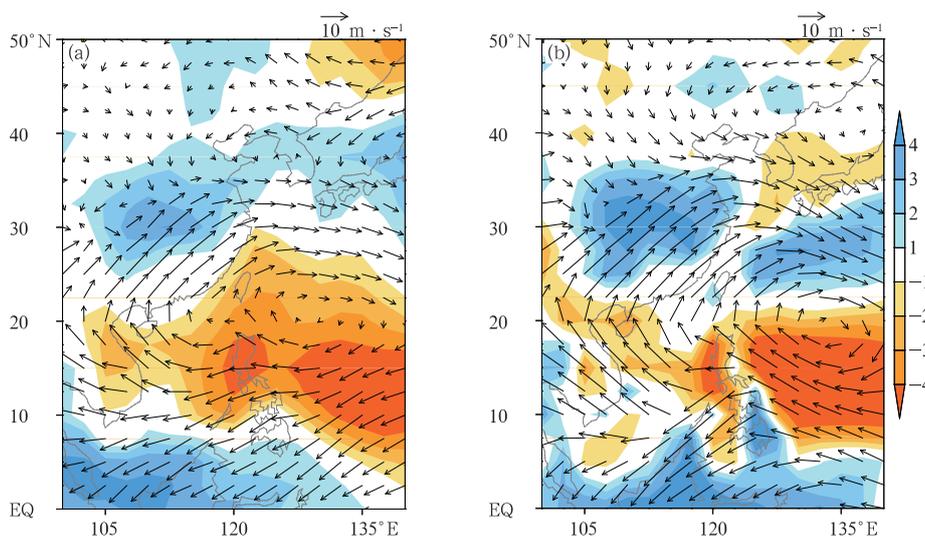


图 3 实况(a)、模式(b)降水场和 850 hPa 风场的多变量经验正交函数第一模态空间分布  
Fig. 3 Spatial distribution of the first MV-EOF mode of precipitation and 850 hPa wind speed field from observation (a) and model (b)

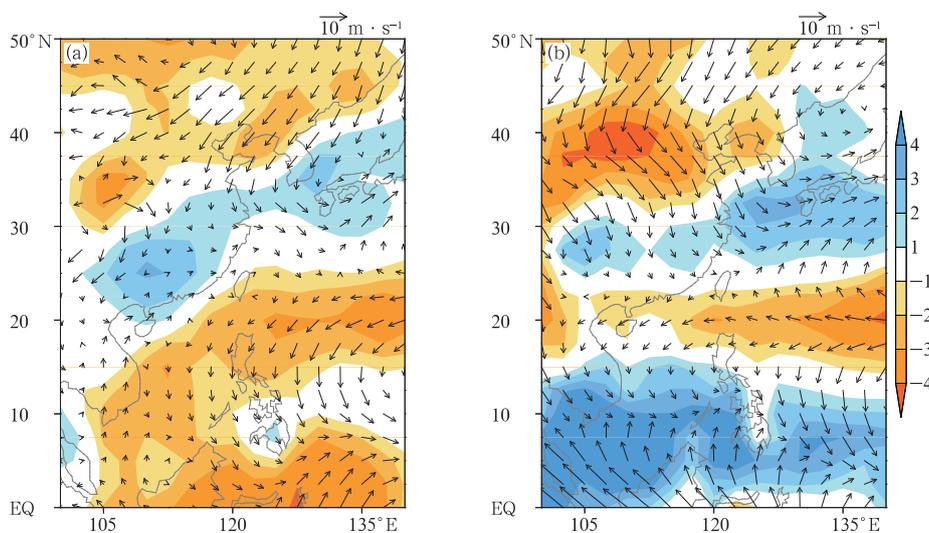


图 4 同图 3,但为第二模态  
Fig. 4 Same as Fig. 3, but for the second mode of MV-EOF

异常,北方降水大范围偏少,中国降水偏多的区域位于南方,此外受韩国、日本附近气旋式异常的影响,这些地区降水也偏多。对比图 4b 可以看出,模式较为准确地抓住了这一主要信息,850 hPa 风场分量同样反映出中国北方及西伯利亚的偏北风距平,韩国和日本的气旋式异常,20°N 附近海域的东风异常,以及菲律宾以东海区的气旋式异常。降水分量场上在 15°N 以北与实况非常相似,自北向南也为“一十一”的异常,但在 15°N 以南的地区与实况符号相反。实况和模式空间向量的空间相关系数为 0.36,通过了 0.05 显著性水平检验,一方面表明模式的结果是可信的,另一方面也验证了该模态的存在。

#### 4 东亚夏季环流对厄尔尼诺信号响应的主要模态

季风对 ENSO 的响应一直是研究关注的重点,因此也是模式评估的重要方面。众多研究者均认为,ENSO 循环会极大地影响季风活动和夏季降水,但这种影响是一个包含遥相关和局地海气相互作用的复杂过程,因此在赤道中东太平洋海温异常逐渐减弱的同时,海温异常可以一直持续到第二年春季甚至夏季(Xie et al,2009),并且导致夏季风在 ENSO 发展年和减弱年呈现不同的响应特征(Wang et al,2008;张人禾和李强,2004),东亚夏季降水雨型也有很大差异(Huang and Wu,1989;黄荣辉等,1996;龚振淞和何敏,2006;李智玉等,2015)。前文提取并分析了东亚夏季风变率的主要模态,模式评估的结果也较好,接下来继续分析这些主要模态是否与 ENSO 相关,模式对其反映能力如何。

为此计算了上述 MV-EOF 前两个模态时间系

数与 Niño3.4 区海温指数滑动 3 个月平均值的滞后相关系数,海温指数从前一年夏季一直计算到当年夏季,两条灰点线表示 0.05 显著性水平  $t$  检验线,图 5a 为实况相关曲线,可以看出第一模态时间系数与海温指数呈显著的滞后正相关,在前一年秋季达到峰值,冬季维持高相关,但从次年春季开始未能通过显著性水平检验,显示出 ENSO 的滞后影响,有利于中国东部至西太平洋地区反气旋式异常的加强,该特征被称为 ENSO 的持续影响或东亚夏季风对 ENSO 的滞后响应(Wang et al,2003),可能是由于大气对暖海洋所产生的罗斯贝(Rossby)波响应,低纬中太平洋赤道两侧分别产生了气旋性异常,菲律宾海反气旋受到东侧东北风异常的影响得以加强,风速的加强导致海温冷却,大气下沉运动加强,局地海气相互作用的结果形成了正反馈,导致菲律宾海反气旋异常不断加强,往往能够持续到次年夏季。第二模态的实况相关在春季之前未能通过显著性水平检验,但在春末至夏季为显著的正相关,意味着厄尔尼诺在夏季的发展与东亚低层偏北风的加强和东亚季风偏弱有一定联系,这种遥相关实际上在整个亚澳季风区都有所体现,在发展年夏、秋季,往往伴随着印度洋至中南半岛出现大范围脊、印度季风加强、印度至低纬西太平洋西风加强和西北太平洋出现气旋式异常。图 5b 为模式前两个模态与 Niño3.4 区海温的滞后相关,可以看出模式对于厄尔尼诺在不同发展阶段对东亚季风环流的影响把握很好,EOF1 的相关同样在前年秋、冬季维持高度正相关,从春季开始明显下降,EOF2 相关的变化趋势也与实况相同,并且同样在春末至夏季达到峰值。这些都表明该模式可以抓住厄尔尼诺不同发展阶段对于夏季季风环流主要模态的影响。

合成分析结果进一步体现了厄尔尼诺不同发展

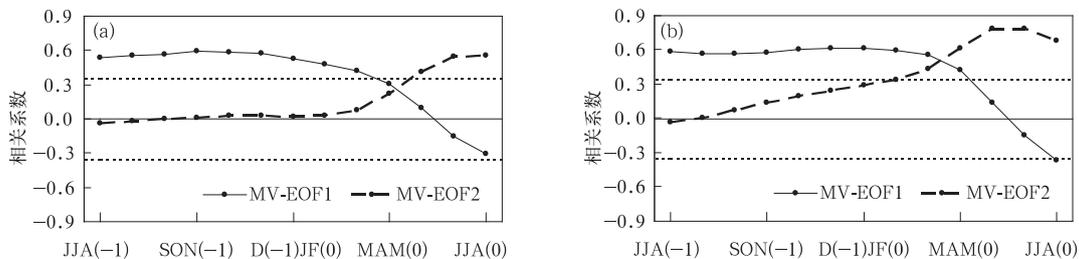


图 5 实况(a)和模式(b)多变量经验正交函数分解前两个模态时间系数与 Niño3.4 区海温(从前年夏季至当年夏季)的滞后相关系数(两条虚线表示 0.05 显著性水平  $t$  检验线)

Fig. 5 The lag correlation coefficients between the two leading MV-EOF PCS of observation (a) and model (b) and the Niño3.4 SST index from JJA (-1) to JJA (+1) (The two dashed lines represent the  $t$ -test line of the 0.05 significance level)

位相阶段夏季风的异常,分别挑选出了1979年以来夏季位于厄尔尼诺发展阶段和衰减阶段的年份,发展阶段的年份有1982、1986、1991、1994、1997、2002、2006和2009年,衰减阶段的年份有1983、1987、1992、1995、1998、2003、2007、2010年,计算了850 hPa合成风场及其相对于气候场通过0.05显著性水平检验的区域。图6a为厄尔尼诺发展年夏季的实况合成场,可以看出主要的特征有从印度以东一直到西太平洋加强的西风、赤道印度洋的东风、印度至海洋性大陆的反气旋式切变,以及中国东南沿海气旋式的异常,这些异常在图6b的模式场中也有很好体现,只不过范围略有差异。在图6c的厄尔尼诺衰减年夏季的实况场上,从阿拉伯海至西太平洋的东风距平异常加强,中国东南沿海至西太平洋存在大范围的反气旋式异常,模式对这两处异常的模拟也十分清晰。上述分析表明在厄尔尼诺不同发展阶段,东亚夏季环流对海温的响应有所差异,而模式对这些影响的主要模态的把握较为合理,反映出对于东亚夏季气候变率预测具有较高的技巧,可以为短期气候预测提供参考。

## 5 结论与讨论

基于东京气候中心新一代气候预测业务模式回报数据,综合多种评估方法,评估了其对于东亚夏季风气候态及气候变率的预测技巧,结果表明:

(1) 该模式能够模拟出气候场上主要降水中心和夏季风主要成员的位置,但具有明显的系统性偏差,泰勒图分析表明该模式对季风指数预测效果总体较好,对于副高指数中的面积、强度和西伸脊点指数预测能力较好,但对于脊线南北位置指数的预测效果较差,其中4和5月起报结果的技巧最高,这对于我国在每年5月对全国汛期气候趋势预测进行补充订正和会商的工作具有积极意义。

(2) MV-EOF分析的结果表明模式准确地把握住了东亚夏季风主要模态的时空结构,滞后相关分析的结果表明其第一模态反映出了厄尔尼诺衰减的影响,第二模态反映出了厄尔尼诺发展的影响,合成分析的结果也显示,模式能够反映出厄尔尼诺发展的不同位相下东亚夏季风环流响应的差异。这些

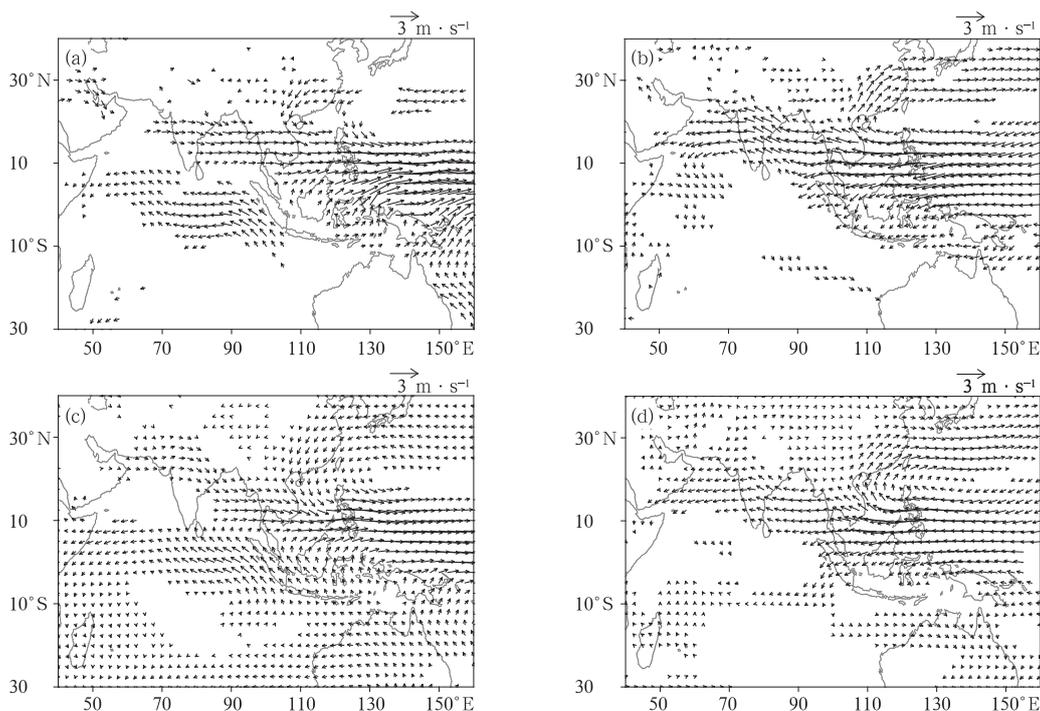


图6 实况(a,c)和模式(b,d)在厄尔尼诺发展年(a,b)和衰减年(c,d)夏季850 hPa风场的合成分析  
(显示区域为通过0.05显著性水平 $t$ 检验的区域)

Fig. 6 Composite analysis of 850 hPa wind speed fields of observation (a, c) and model (b, d) in El Niño developing years (a, b) and decaying years (c, d)

(Areas passing the  $t$ -test of 0.05 significance level are shown)

分析都表明 JMA/MRI-CPS2 模式不仅能够反映出东亚季风区降水、主要环流系统气候态分布,对其变率和主要影响模态都具有较高的预测技巧,可以作为每年汛期气候预测的有益参考。

由于资料所限,本文着重从应用角度介绍这一新发布模式的预测能力,未能对其误差来源进行机理分析,也并未将其与其他模式进行比较,考虑到国家气候中心正在进行的多模式解释应用(MODES)工作,将其与其他所收集的模式资料进行比较,在多模式集合时按照回报效果设定权重并进行优选是下一步需要研究的内容。

## 参考文献

- 龚振淞,何敏,2006.长江流域夏季降水与全球海温关系的分析[J].气象,32(1):56-61.
- 何敏,许力,宋文玲,2002.南海夏季风爆发日期和强度的短期气候预测方法研究[J].气象,28(10):9-14.
- 黄荣辉,傅云飞,臧晓云,1996.亚洲季风与 ENSO 循环的相互作用[J].气候与环境研究,1(1):38-54.
- 李昉英,寇雄伟,方乐铎,等,2015.中国东部云-降水对应关系的分析与模式评估[J].气象学报,73(4):766-777.
- 李智玉,张文君,徐海明,2015.两类 ENSO 事件非对称性特征分析[J].气象学报,73(6):1019-1038.
- 刘长征,杜良敏,柯宗健,等,2013.国家气候中心多模式解释应用集成预测[J].应用气象学报,24(6):677-685.
- 彭相瑜,代刊,金荣花,等,2014.欧洲中心集合预报在中国区域中期时效离散度预报技巧关系分析[J].气象,40(7):777-786.
- 任福民,高辉,刘绿柳,等,2014.极端天气气候事件监测与预测研究进展及其应用综述[J].气象,40(7):860-874.
- 施能,朱乾根,吴彬贵,1996.近 40 年东亚夏季风及我国夏季大尺度天气气候异常[J].大气科学,20(5):575-583.
- 王斌,2008.认识和预报亚洲季风气候:前沿突破点和展望[J].气象学报,66(5):653-669.
- 王冀,宋瑞艳,郭文利,2011.统计降尺度方法在北京月尺度预测中的应用[J].气象,37(6):693-700.
- 汪翔加,郑志海,封国林,等,2015. BCC\_CSM 模式夏季关键区海温回报评估[J].大气科学,39(2):271-288.
- 张宏芳,潘留杰,杨新,2014. ECMWF、日本高分辨率模式降水预报能力的对比分析[J].气象,40(4):424-432.
- 张庆云,陶诗言,陈烈庭,2003.东亚夏季风指数的年际变化与东亚大气环流[J].气象学报,61(4):559-568.
- 张人禾,李强,2004.热带海洋变异对东亚季风的影响[J].气象,30(12):22-26.
- 智海,俞永强,严厉,等,2012.厄尔尼诺衰减年东亚夏季大气环流和降水异常的耦合模式后报试验[J].气象学报,70(4):779-788.
- Gao Y, Wang H J, Chen D, 2015. The capability of ENSEMBLES models in predicting the principal modes of Pan-Asian monsoon precipitation[J]. J Climate, 28(21):8486-8510.
- Huang R H, Wu Y F, 1989. The influence of ENSO on the summer climate change in China and its mechanisms[J]. Adv Atmos Sci, 6(1):21-32.
- Jiang X W, Yang S, Li Y Q, 2013. Seasonal-to-interannual prediction of the Asian summer monsoon in the NCEP climate forecast system version 2[J]. J Climate, 26(11):3708-3727.
- Kim H M, Webster P J, Curry J A, et al, 2012. Asian summer monsoon prediction in ECMWF System 4 and NCEP CFSv2 retrospective seasonal forecasts[J]. Climate Dyn, 39(12):2975-2991.
- Kobayashi S, Ota Y, Harada Y, 2015. The JRA-55 reanalysis: general specifications and basic characteristics[J]. J Meteor Soc Japan, 93(1):5-48.
- Liu X W, Wu T W, Yang S, et al, 2014. Relationships between interannual and intraseasonal variations of the Asian-Western Pacific summer monsoon[J]. Adv Atmos Sci, 31(5):1051-1064.
- Liu X W, Wu T W, Yang S, et al, 2015. Performance of the seasonal forecasting of the Asian summer monsoon by BCC\_CSM1.1(m)[J]. Adv Atmos Sci, 32(8):1156-1172.
- North G R, Bell T L, Cahalan R F, et al, 1982. Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal functions[J]. Mon Wea Rev, 110(7):699-706.
- Palmer T, Alessandri A, Andersen U, et al, 2004. Development of a European multimodel ensemble system for seasonal-to-interannual prediction (DEMETER)[J]. Bull Amer Meteor Soc, 85(6):853-872.
- Rayner N A, Parker D E, Horton E B, et al, 2003. Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century[J]. J Geophys Res, 108(14):1-22.
- Taylor K E, 2001. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram[J]. J Geophys Res, 106(7):7183-7192.
- Wang B, 1992. The vertical structure and development of the ENSO anomaly mode during 1979-1989[J]. J Atmos Sci, 49(8):698-712.
- Wang B, Fan Z, 1999. Choice of South Asian summer monsoon indices[J]. Bull Amer Meteor Soc, 80(4):629-638.
- 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.
- Wang B, Wu Z W, Li J P, et al, 2008. How to measure the strength of the East Asian summer monsoon[J]. J Climate, 21(17):4449-4463.
- Wang B, Li J Y, Kang I S, et al, 2009. Advance and prospectus of seasonal prediction assessment of the APCC/CLIPAS 14-model ensemble retrospective seasonal prediction (1980-2004)[J]. Climate Dyn, 33(1):93-117.
- Webster P J, Yang S, 1992. Monsoon and ENSO: selectively interactive systems[J]. Quart J Roy Meteor Soc, 118(507):877-926.
- Xie 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 M, 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.