

doi:10.3969/j.issn.1673-1719.2014.03.011

陈晓晨, 徐影, 许崇海, 等. CMIP5 全球气候模式对中国地区降水模拟能力的评估 [J]. 气候变化研究进展, 2014, 10 (3): 217-225



## CMIP5 全球气候模式对中国地区 降水模拟能力的评估

陈晓晨<sup>1,2,3</sup>, 徐影<sup>2,3</sup>, 许崇海<sup>4</sup>, 姚遥<sup>5</sup>

1 中国气象科学研究院, 北京 100081;

2 中国气象局国家气候中心, 北京 100081;

3 中国气象局气候研究开放实验室, 北京 100081;

4 中国气象局气象探测中心, 北京 100081;

5 清华大学地球系统科学研究中心, 北京 100084

**摘要:** 使用多种观测资料和 43 个参加耦合模式比较计划第五阶段 (CMIP5) 的全球气候模式模拟数据, 评估分析了全球气候模式对中国地区 1980—2005 年降水特征的模拟能力。结果表明: 多数 CMIP5 模式能够模拟出中国降水由西北向东南递增的分布特点, 这与耦合模式比较计划第三阶段 (CMIP3) 的模式模拟结果类似, 但华南地区降水模拟偏少, 西部高原地区降水模拟偏多。模式能够较好地模拟出降水冬弱夏强的季节变化特征, 但降水模拟系统性偏多。从 EOF 分析结果来看, 多数 CMIP5 模式可以再现中国地区年平均降水的时空变化特征, 集合平均的表现优于 CMIP3。多模式集合在月、季、年时间尺度下模拟的平均值优于大部分单个模式的结果。CMIP5 中 6 个中国模式的模拟能力与其他模式相当, 其中 FGOALS-g2、BCC-CSM1-1-m 的模拟能力相对较好。

**关键词:** 全球气候模式; 降水; CMIP5

### 引言

全球气候模式是研究过去气候变化机理和预估未来气候变化的重要工具, 但受全球气候系统的复杂性、气候模式的代表性和可靠性等因素影响, 全球气候模式对气候变化的模拟能力存在一定不足, 有必要从多时空尺度定量评估全球气候模式对气候平均态及其变率的模拟能力<sup>[1]</sup>。IPCC 第四次评估报告 (AR4) 指出<sup>[2]</sup>, 当前的模式基本上能模拟出全球降水的大尺度变化特征, 但在区域性降水的模拟方面仍存在很多不足。此外, 由于受季风气候和青藏高原大地形等因素的影响, 中国地区降水变化异常复杂, 如何准确地模拟、预测中国地区的降水特征

一直是中国气象学者关注的问题<sup>[3]</sup>。一些科学家基于耦合模式比较计划第三阶段 (CMIP3) 全球气候模式的模拟数据, 评估了气候模式对中国降水的模拟能力<sup>[4-6]</sup>, 结果表明, 多数模式对中国东南沿海季风区降水量模拟偏少, 对雨带的季节推进也有模拟偏差<sup>[4,6]</sup>。另外, 大部分全球气候模式在中国中西部地区会模拟出虚假的降水中心<sup>[7-9]</sup>。

耦合模式比较计划第五阶段 (CMIP5) 全球气候模式与 CMIP3 相比采用更合理的参数化方案、通量处理方案和耦合器技术, 以提高气候模式的模拟和预估能力, 增强了对气候系统变化的机理性认识<sup>[10]</sup>。目前, 全球各国气候模式组 40 多个 CMIP5 气候模式的模拟数据已提交完毕并提供下载。利用此数据, 可

收稿日期: 2013-10-21; 修回日期: 2014-01-10

资助项目: 公益性行业 (气象) 科研专项 (GYHY201306019); 国家重点基础研究计划 (2010CB950102, 2010CB950501)

作者简介: 陈晓晨, 女, 硕士研究生, 研究方向为模式评估和气候变化, chenxiaochen\_ams@hotmail.com

评估新一代气候模式对中国地区降水变化的模拟能力。Xu等<sup>[11]</sup>利用18个CMIP5全球气候模式初步评估了模式对中国地区降水变化的模拟能力。Song等<sup>[12]</sup>的研究表明CMIP5全球气候模式对中国地区夏季季风降水的模拟能力要优于CMIP3。此外,一些科学家还利用参加CMIP5的全球气候模式结果驱动区域模式对中国地区降水作了模拟研究<sup>[13-14]</sup>。但上述研究工作采用的模式资料有限,需进一步利用更多的模式资料进行较全面的评估研究。因此,本文利用43个CMIP5全球气候模式的结果,从多时空尺度定量地评估新一代气候模式对中国降水时空分布特征的模拟能力,为全球气候模式的进一步改进和预估中国地区未来气候变化提供可靠的科学依据。

## 1 数据和方法

经过多年的发展,CMIP5模式的分辨率相比以往有所提高,本文评估的多数模式的分辨率在 $1^{\circ}\sim 2^{\circ}$ 之间,个别模式(如MIROC4h)分辨率已接近 $0.5^{\circ}$ 。为了评估模式对中国地区降水的模拟能力,文章的分析主要基于中国2400站的观测资料制作的 $0.25^{\circ}\times 0.25^{\circ}$ 分辨率的格点资料作为对比<sup>[15]</sup>,以下简称CN05.1,该格点数据的时间段为1961—2007年。此外,由于降水观测资料存在较大的不确定性,本文还使用了美国气候预测中心的降水融合观测数据(CMAP)和全球降水气候态计划(GPCP)观测数据以及东亚地区降水格点观测资料(简称Xie)进行对比分析<sup>[16-18]</sup>。其中CMAP与GPCP资料分辨率都为 $2.5^{\circ}\times 2.5^{\circ}$ ,时间跨度为1979—2005年;Xie资料的分辨率为 $0.5^{\circ}\times 0.5^{\circ}$ ,时间段为1961—2006年。模式数据为43个CMIP5全球气候模式的历史气候模拟试验数据,其中包括中国的6个模式数据,基本信息见表1,更多细节可参阅<http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/>。为了便于比较,分析时将观测资料与气候模式数据使用双线性插值方法统一插值到 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 的格点上。

为了评估模式对中国地区空间分布的模拟效果,计算了模式模拟与观测数据间的均方根误差(RMSE)。根据Gleckler等<sup>[19]</sup>定义的相对偏差,本文

对RMSE做了类似的标准化处理,得到相对均方根误差(RMSE<sub>rel</sub>),公式如下:

$$RMSE_{rel} = \frac{RMSE - RMSE_m}{RMSE_m}$$

RMSE<sub>m</sub>代表各模式RMSE的中位数。RMSE<sub>rel</sub>表示该模式相对各模式模拟平均水平的模拟能力。

参照IPCC第五次评估报告(AR5)中对气候模式评估的时段,本文将1980—2005年选取为气候参考平均态,在气候平均态的分析中均针对该时段。本文中多模式集合平均(MME)为各单个模式结果的等权重算术平均。

## 2 中国地区降水气候平均态的模拟

从观测和多模式集合的多年平均降水分布来看(图略),模式能够模拟出中国降水由西北向东南递增的地理分布特征,与观测之间的空间相关系数为0.73。在中国大部分地区,降水模拟值高于观测,尤其是在西北及青藏高原地区。青藏高原东部地区存在虚假的降水中心,说明CMIP3模式对青藏高原东部降水模拟偏高的特征在新的模式中仍然存在<sup>[3-4]</sup>。而在新疆北部及华南地区降水量模拟则偏少(图1a)。通过计算模拟值偏大的模式所占的比例,发现对于青藏高原、西北、华北及东北等地区,90%以上的模式模拟的降水偏多;对华南地区,50%以上的模式模拟的降水偏少。这说明目前气候模式对中国西部及北部地区降水的模拟存在系统性高估,这与全球气候模式对于复杂地形的反映有限有很大的关系<sup>[11,20-22]</sup>。尽管经过发展,CMIP5模式相比CMIP3模式变得更加复杂<sup>[10]</sup>,但这些改进仍不能明显减小模式对高原地区降水模拟的这种高估。而对东南沿海季风区,以往的评估表明由于模式不能够很好地模拟东南季风的变化特征,对海陆差异的一些物理过程反映也有限,导致多数CMIP3模式对中国东南部地区降水的模拟存在系统性低估<sup>[6]</sup>,从本文评估的43个CMIP5模式的模拟情况来看,新一代气候模式对这种偏差未有明显的改进。

从对中国地区年平均降水模拟的模式间标准差来看(图1b),各个模式对降水气候态模拟的一致性

表1 43个CMIP5全球气候模式基本信息  
Table 1 Information of 43 global coupled climate models from CMIP5

模式名称	单位及所属国家	分辨率	模式名称	单位及所属国家	分辨率
ACCESS1-0	CSIRO-BOM, 澳大利亚	192 × 145	GFDL-ESM2G	NOAA GFDL, 美国	144 × 90
ACCESS1-3	CSIRO-BOM, 澳大利亚	192 × 145	GFDL-ESM2M	NOAA GFDL, 美国	144 × 90
BCC-CSM1-1	BCC, 中国	128 × 64	GISS-E2-H	NASA GISS, 美国	144 × 90
BCC-CSM1-1-m	BCC, 中国	320 × 160	GISS-E2-H-CC	NASA GISS, 美国	144 × 90
BNU-ESM	GCESS, 中国	128 × 64	GISS-E2-R	NASA GISS, 美国	144 × 90
CanCM4	CCCMA, 加拿大	128 × 64	GISS-E2-R-CC	NASA GISS, 美国	144 × 90
CanESM2	CCCMA, 加拿大	128 × 64	HadCM3	MOHC, 英国	96 × 73
CCSM4	NCAR, 美国	288 × 192	HadGEM2-AO	NIMR/KMA, 韩国/英国	192 × 145
CESM1-BGC	NSF-DOE-NCAR, 美国	288 × 192	INMCM4	INM, 俄罗斯	180 × 120
CESM1-CAM5	NSF-DOE-NCAR, 美国	288 × 192	IPSL-CM5A-LR	IPSL, 法国	96 × 96
CESM1-CAM5-1-FV2	NSF-DOE-NCAR, 美国	192 × 96	IPSL-CM5A-MR	IPSL, 法国	144 × 143
CESM1-FASTCHEM	NSF-DOE-NCAR, 美国	288 × 192	IPSL-CM5B-LR	IPSL, 法国	96 × 96
CESM1-WACCM	NSF-DOE-NCAR, 美国	144 × 96	MIROC5	MIROC, 日本	256 × 128
CMCC-CESM	CMCC, 意大利	96 × 48	MIROC-ESM	MIROC, 日本	128 × 64
CMCC-CM	CMCC, 意大利	480 × 240	MIROC-ESM-CHEM	MIROC, 日本	128 × 64
CMCC-CMS	CMCC, 意大利	192 × 96	MIROC4h	MIROC, 日本	640 × 320
CNRM-CM5	CNRM-CERFACS, 法国	256 × 128	MPI-ESM-LR	MPI-M, 德国	192 × 96
CSIRO-Mk3-6-0	CSIRO-QCCCE, 澳大利亚	192 × 96	MPI-ESM-MR	MPI-M, 德国	192 × 96
FGOALS-g2	LASG-CESS, 中国	128 × 60	MRI-CGCM3	MRI, 日本	320 × 160
FGOALS-s2	LASG-IAP, 中国	128 × 108	NorESM1-M	NCC, 挪威	144 × 96
FIO-ESM	FIO, 中国	128 × 64	NorESM1-ME	NCC, 挪威	144 × 96
GFDL-CM3	NOAA GFDL, 美国	144 × 90			

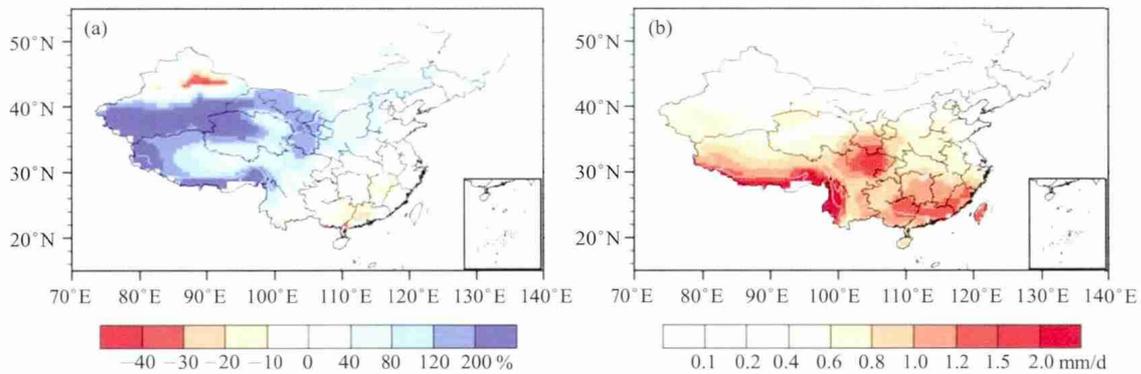


图1 43个CMIP5模式模拟的1980—2005年平均降水集合平均值与观测的偏差(a)及各模式间标准差(b)  
Fig. 1 The geographical distributions of bias between the multi-model ensemble and observation (a) and standard deviation among 43 climate models (b) for annual mean precipitation in 1980–2005

有待进一步提高。40°N以北的大部分地区模式模拟的一致性较高，而华南地区、四川盆地模拟的差异较大。差异最显著的地区为青藏高原南部和西南地区，这与Xu等<sup>[11]</sup>利用18个CMIP5模式得出的结论基本一致，以往的研究也表明这种模拟的不确定性主要是因为全球模式的分辨率较低，对陡峭地形难以细致描述<sup>[3]</sup>，提高模式分辨率有助于改进模式对陡峭地形区的降水模拟<sup>[9,23]</sup>。

对于中国地区的月平均降水，多模式集合平均值能够很好地模拟出降水冬弱夏强的季节变化特征(图2)，与观测之间的时间相关系数为0.99，通过了0.01显著性水平的检验。但由于降水的观测数据也具有不确定性，不同来源的观测资料之间存在差异，因此图2中还给出了其他降水观测资料(CMAP、Xie和GPCP)的结果。与多种观测资料相比较后发现，模式对中国区域平均降水量级的模拟同Xie观测数据最接近。综合来看，模式对各月降水气候平均的模拟存在系统性偏高，特别是1—5月及11—12月，几乎所有模式均高估了中国区域平均的降水，对比刘敏等<sup>[4]</sup>对13个CMIP3模式的评估可以发现，CMIP5模式对中国地区平均冬季降水的模拟与CMIP3模式相似，但模拟的夏季降水量级略高于

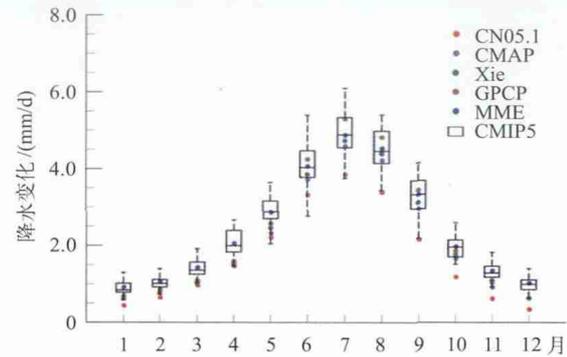


图2 1980—2005年中国地区月平均降水变化盒须图(箱体表示第25和第75百分位数间的范围,箱体中的黑色实线表示多模式模拟值的中位数,上下两端的虚线表示模式集合的上下限)

Fig. 2 Box-and-whisker plots for monthly average precipitation in China in 1980-2005 (The boxes indicate the range between the 25th and 75th percentiles, the black solid marks within the boxes show the multi-model medians and the whiskers indicate the total inter-model ranges)

CMIP3模式。对于5—10月降水变化，模式集合平均值与观测值基本一致，但5—9月各月降水量较大，各模式模拟值的离散程度较大，观测的不确定性也高于其他月份。因此，有必要逐一分析单个模式的结果，下文将对各模式模拟的差异作进一步的研究和比较。

图3给出各模式模拟的多时间尺度(月、季、年)

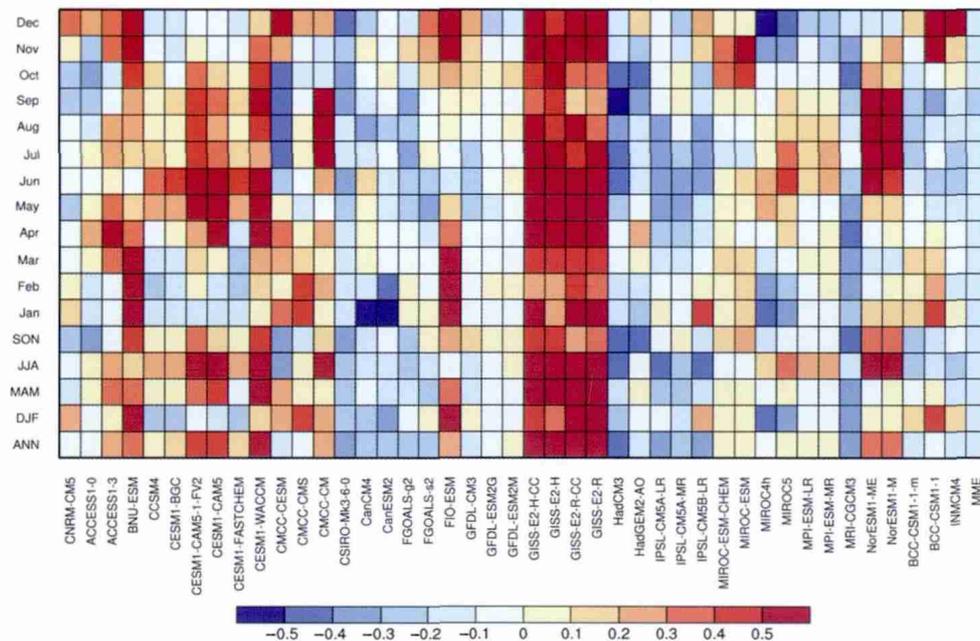


图3 1980—2005年各模式模拟的多时间尺度(月、季、年)平均降水的相对均方根误差(RMSE')

Fig. 3 The relative root-mean-square error (RMSE') of the (monthly, seasonal, annual) mean precipitation in 1980-2005 simulated by the CMIP5 models

平均降水的RMSE,根据定义,  $RMSE < 0$  (蓝色系)代表该模式模拟效果优于各模式模拟偏差的中等水平;反之,  $RMSE > 0$  (红色系)代表该模式模拟效果不及各模式模拟偏差的中等水平。

从图3中可看出,与CN05.1观测资料对比,在国外的模式中,GISS-E2-H-CC、GISS-E2-H、GISS-E2-R-CC、GISS-E2-R、CESM1-WACCM这5个模式在几乎所有的季节和月份RMSE都  $> 0.4$ ,即对中国地区降水各时间尺度上气候平均态模拟的RMSE高出所有模式RMSE中值40%以上;ACCESS1-3、CESM1-CAM5-1-FV2、CESM1-CAM5、CMCC-CM、NorESM1-M、NorESM1-ME这6个模式对2/3以上月份和季节的降水模拟的RMSE  $> 0$ ,即在多数时间尺度上表现出不及中等水平的模拟效果。模拟效果相对较好的模式分别是CSIRO-Mk3-6-0、CanESM2、HadCM3、IPSL-CM5A-LR和MRI-CGCM3这些模式在几乎所有的时间尺度上都优于中等水平,其中CSIRO-Mk3-6-0是所比较的模式中唯一的对所有月份和季节模拟的RMSE均  $< -0.1$ 的模式, HadCM3对6—10月的模拟为所有模式中

最好,其RMSE均  $< -0.3$ ,即其RMSE比各模式RMSE的中值小30%以上;CNRM-CM5、CanCM4、GFDL-ESM2G、HadGEM2-AO、IPSL-CM5A-MR这5个模式在大部分时间尺度降水的模拟能力表现良好,对2/3以上的月份和季节模拟的RMSE  $< 0$ 。中国的6个全球气候模式中,FGOALS-g2、BCC-CSM1-1-m的表现最优,其次是BCC-CSM1-1、FGOALS-s2;而BNU-ESM、FIO-ESM这两个模式在多数时间尺度上模拟能力都不及中等水平。综合来看,模式集合平均后的结果优于大多数单个模式的结果。与CMAP、GPCP、Xie观测数据对比后的结果与上述结论基本一致。

### 3 中国地区1980—2005年平均降水主要模态的模拟

基于1980—2005年的CN05.1月平均资料,对中国地区年平均降水序列进行了EOF分析,得到降水距平的前4个特征向量,前4个模态的方差贡献率为54.2%。EOF1(图4a)的方差贡献为24.0%,主

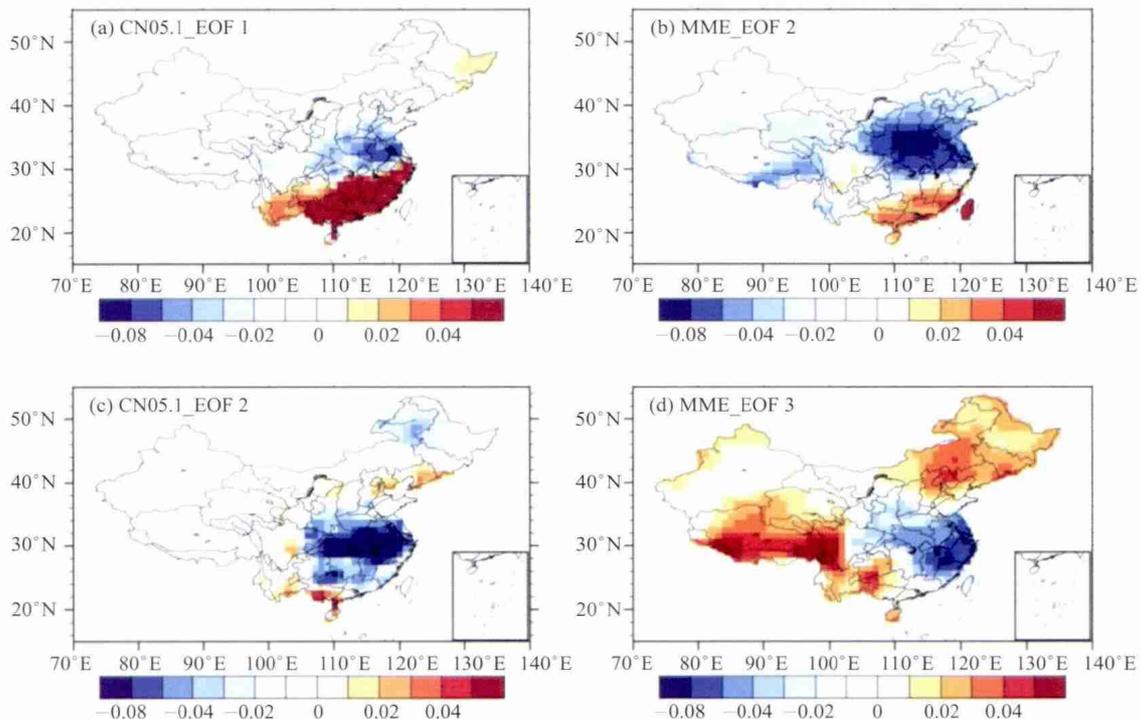


图4 1980—2005年中国地区观测(CN05.1,左)和多模式集合(MME,右)的年降水EOF分析得到的特征向量  
Fig. 4 Spatial patterns of the principle components of the EOF analysis of observation (left) and multi-model ensemble (right) for annual mean precipitation anomalies (1980–2005)

要特征是中国东部地区在南北方向上表现为正 - 负的空间型态, 华北地区南部至淮河流域为负信号; EOF2 (图 4c) 的方差贡献为 14.0%, 表现为长江中下游地区信号较强, 其他地区信号较弱; EOF3 (图略) 的方差贡献为 8.9%, 整个中国在南北方向上表现为正 - 负 - 正型态, 长江中下游地区为负信号; EOF4 (图略) 的方差贡献为 7.3%, 整个中国在东西方向上呈现负 - 正 - 负的空间分布型, 青海、甘肃、华中地区、长江中下游地区、华南地区为正信号。对多模式集合的年降水距平作 EOF 分析得到的前 4 个特征向量中, 第 1、2 特征向量与观测的 EOF1 的空间场相似度均较高, 其中第 2 特征向量 (图 4b, 方差贡献率为 16.4%) 与观测的 EOF1 的空间相似度略高于第 1 特征向量, 基本也为南北方向上正 - 负的空间分布型, 空间相关系数为 0.68, 达到 0.05 显著性水平, 较好地表征了观测到的第一特征向量场; 而第 3 特征向量 (图 4d, 方差贡献率为 10.7%) 则反映出观测的 EOF2 的主要特征, 两者空间相关系数为 0.62; 第 4 特征向量与观测得到的前 4 个特征向量空间场相似度均较低。和以往基于 CMIP3 模式集合对中国地区降水时空特征模拟评估的结论<sup>[5]</sup>相比, CMIP5 模式集合对前两个模态的表现更好, 方差贡献也更接近。

此外, 为了进一步评估单个模式及其集合对中国地区降水分布型的模拟能力, 根据对 1980—2005 年单个模式模拟值和多模式集合平均值进行的 EOF 分析结果, 对前 4 个模态分别和观测资料得到的前 2 个主要模态计算了空间相关系数, 挑选出各模式与观测相关系数高于 0.5 的模态, 将其方差贡献列于图 5 中。结果表明, 大部分模式对观测值的 EOF1、EOF2 模态均有一定的表现力, 对 EOF1 的模拟要更好一些。能同时模拟出前两个模态的模式有 19 个, 对前两个模态均难以较好反映的模式有 6 个。

对比图 3 和图 5 可见, 模式对降水气候态特征的模拟能力与模式对降水特征模态的模拟能力无明显的联系, 如 ACCESS1-3、BNU-ESM、CESM1-WACCM、FIO-ESM 模式可以较好地模拟出观测的前两个主要模态, 但是对各时间尺度降水气候平均的模拟能力均低于各模式的一般水平; 另一方面, 对

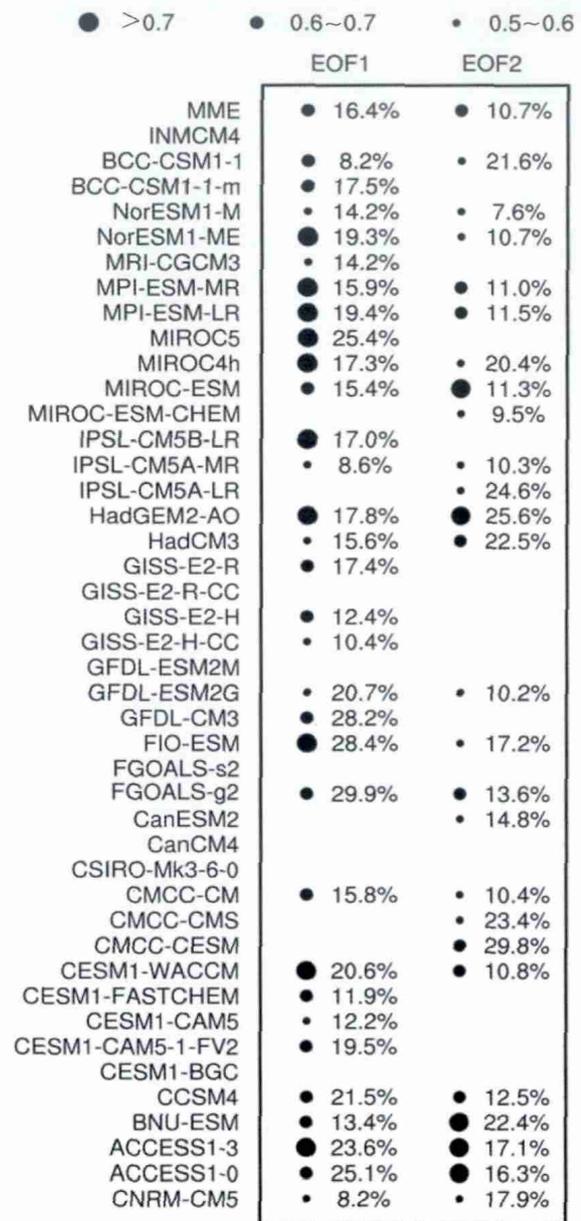


图 5 各模式结果对中国地区年降水主要模态的反映 (方框中圆圈大小表示空间相关系数的大小, 百分数为模拟对应模态的方差贡献, 空白表示空间相关系数 < 0.5)

Fig. 5 The reflection of the main modes of annual mean precipitation in China in models simulation results (Large circles indicate spatial correlation coefficients greater than 0.7; medium circles refer to 0.6-0.7; small circles refer to 0.5-0.6; spatial correlation coefficients less than 0.5 are not marked out; numbers refer to the percent variance explained by the corresponding modes)

多时间尺度降水模拟能力较好的 CanCM4、CSIRO-Mk3-6-0、GFDL-ESM2M 和 INMCM4 模式未能描述出观测场 EOF 各主要空间模态。对 EOF 空间模态以

及多时间尺度的模拟能力都较好的模式有FGOALS-g2和HadGEM2-AO,而对两者模拟均不理想的模式有CESM1-CAM5和GISS-E2-H-CC。需要说明的是,基于CMAP、GPCP、Xie观测资料分别得到的结果与上述结论有一定的差异,但大部分模式对观测得到的第一个主要模态均有较好表现能力,模式集合结果优于多数单个模式的结果。

#### 4 结论与讨论

利用多种观测资料和CMIP5气候模式模拟的中国地区1980—2005年月平均降水数据,评估了参加CMIP5的43个新一代全球气候模式对中国地区降水时空变化特征的模拟能力,得到如下主要结论。

(1) 全球气候模式对中国地区多年平均降水分布具有一定的模拟能力,能够模拟出中国降水由西北向东南递增的分布特点,与观测之间的空间相关系数为0.73。与CMIP3模式相比,CMIP5模式的模拟偏差未见明显减少,过去模式对青藏高原降水的高估和东南沿海地区降水的低估在新一代的模式中仍然存在。各模式对降水气候态模拟的一致性有待进一步提高,差异最显著的地区为青藏高原南部和西南地区,模式间标准差最高可达2 mm/d。

(2) 全球模式很好地模拟出降水冬弱夏强的季节变化特征,与观测之间的时间相关系数通过了0.01显著性水平检验。与观测相比,模拟的降水量呈系统性的高估,中国区域平均年平均降水的模式集合平均值比观测高出0.75 mm/d。

(3) 对于多时间尺度(月、季、年)降水的气候平均态,有5个模式表现良好,普遍高于中等水平,而5个模式对中国地区的降水平均态的模拟能力则均低于中等水平。模式集合平均值的模拟效果优于大多数单个模式。

(4) 全球模式能较好模拟年平均降水EOF分解的第一个空间模态,对第二个空间模态也有一定的模拟能力,CMIP5模式集合平均对前两个EOF模态的模拟效果优于CMIP3模式。43个CMIP5模式中有19个全球模式能较好地模拟出前两个空间模态,但对多时间尺度平均降水与EOF空间模态模拟均较

好的模式只有FGOALS-g2和HadGEM2-AO,而CESM1-CAM5和GISS-E2-H-CC对两者的模拟能力都有限。多模式集合对多时间尺度(月、季、年)平均降水的模拟最优,对观测场EOF分解的第一、第二模态均有一定的表现力,优于大多数单个模式的模拟能力。

从本文的分析可以看出,以不同的评价指标或对比不同的观测资料来评估气候模式模拟能力时,会得出不同的结论。因此,为了给气候变化及影响评估提供有价值的依据,以及给区域模式背景场选取提供参考,有必要进一步对气候模式的模拟结果作多时空尺度的全面评估。同时,对观测资料的不确定性也应作进一步研究。此外,本文仅以降水为研究对象,未对其他物理量的模拟效果作综合评价。为得到新一代全球气候模式性能的客观评价,还需要综合考察不同要素的模拟能力<sup>[19,24]</sup>,并依据各要素间相关联的机制,作进一步的全面分析。■

致谢:感谢各模式组提供CMIP5模拟结果,及气候模式诊断与比较计划(PCMDI)收集并存储模式输出结果。感谢美国大气海洋局(NOAA)地球系统研究实验室(ESRL)提供CMAP和GPCP降水数据。

#### 参考文献

- [1] Masson D, Knutti R. Spatial-scale dependence of climate model performance in the CMIP3 ensemble [J]. *Journal of Climate*, 2011, 24 (11): 2680-2692
- [2] IPCC. *Climate change 2007: the physical science basis* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 18
- [3] 江志红,陈威霖,宋洁,等. 7个IPCC AR4模式对中国地区极端降水指数模拟能力的评估及其未来情景预估[J]. *大气科学*, 2009, 33 (1): 109-120
- [4] 刘敏,江志红. 13个IPCC AR4模式对中国区域近40a气候模拟能力的评估[J]. *南京气象学院学报*, 2009, 32 (2): 256-268
- [5] 许崇海,罗勇,徐影. 全球气候模式对中国降水分布时空特征的评估和预估[J]. *气候变化研究进展*, 2010, 6 (6): 398-404
- [6] 张莉,丁一汇,孙颖. 全球海气耦合模式对东亚季风降水模拟的检验[J]. *大气科学*, 2008, 32 (2): 261-276
- [7] Yu R, Li W, Zhang X, et al. Climatic features related to eastern China summer rainfalls in the NCAR CCM3 [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2000, 17: 503-518

- [8] Xu Y, Gao X, Giorgi F. Upgrades to the reliability ensemble averaging method for producing probabilistic climate-change projections [J]. *Climate Research*, 2010, 41(1): 61-81
- [9] 高学杰, 徐影, 赵宗慈, 等. 数值模式不同分辨率和地形对东亚降水模拟影响的试验[J]. *大气科学*, 2006, 30 (2): 185-192
- [10] Taylor K E, Stouffer R J, Meehl G A. An overview of CMIP5 and the experiment design [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2012, 93 (4): 485-498
- [11] Xu Y, Xu C H. Preliminary assessment of simulations of climate changes over China by CMIP5 multi-models [J]. *Atmos Oceanic Sci Lett*, 2012, 5: 489-494
- [12] Song F, Zhou T. Inter-annual variability of East Asian summer monsoon simulated by CMIP3 and CMIP5 AGCMs: skill dependence on Indian Ocean-Western Pacific anticyclone teleconnection [J]. *Journal of Climate*, 2014, 27 (4): 1679-1697
- [13] Gao X J, Wang M L, Giorgi F. Climate change over China in the 21st century as simulated by BCC\_CSM1.1-RegCM4.0 [J]. *Atmos Oceanic Sci Lett*, 2013, 6 (5): 381-386
- [14] Zou L, Zhou T. Near future (2016-40) summer precipitation changes over China as projected by a regional climate model (RCM) under the RCP8.5 emissions scenario: comparison between RCM downscaling and the driving GCM [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2013, 30: 806-818
- [15] 吴佳, 高学杰. 一套格点化的中国区域逐日观测资料及与其它资料的对比[J]. *地球物理学报*, 2013, 56 (4): 1102-1111
- [16] Xie P, Arkin P A. Global precipitation: a 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1997, 78 (11): 2539-2558
- [17] Adler R F, Huffman G J, Chang A, *et al.* The version-2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) monthly precipitation analysis (1979-present) [J]. *Journal of Hydrometeorology*, 2003, 4 (6): 1147-1167
- [18] Xie P, Chen M, Yang S, *et al.* A gauge-based analysis of daily precipitation over East Asia [J]. *Journal of Hydrometeorology*, 2007, 8 (3): 607-626
- [19] Gleckler P J, Taylor K E, Doutriaux C. Performance metrics for climate models [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2008, 113 (D6), D06104, doi: 10.1029/2007JD008972
- [20] 高学杰, 林万涛, Kucharsky F, 等. 实况海温强迫的CCM3模式对中国区域气候的模拟能力 [J]. *大气科学*, 2004, 28 (1): 78-90
- [21] Jiang D B, Wang H J, Lang X M. Evaluation of East Asian climatology as simulated by seven coupled models [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2005, 22 (4): 479-495
- [22] Phillips T J, Gleckler P J. Evaluation of continental precipitation in 20th century climate simulations: the utility of multimodel statistics [J]. *Water Resources Research*, 2006, 42(3), W03202, doi: 10.1029/2005WR004313
- [23] Feng L, Zhou T, Wu B, *et al.* Projection of future precipitation change over China with a high-resolution global atmospheric model [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2011, 28 (2): 464-476
- [24] 赵宗慈. 全球气候变化预估最新研究进展 [J]. *气候变化研究进展*, 2006, 2 (2): 68-70

## Assessment of Precipitation Simulations in China by CMIP5 Multi-models

Chen Xiaochen<sup>1,2,3</sup>, Xu Ying<sup>2,3</sup>, Xu Chonghai<sup>4</sup>, Yao Yao<sup>5</sup>

1 *Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China*; 2 *National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China*; 3 *Laboratory for Climate Studies, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China*; 4 *Meteorological Observation Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China*; 5 *Center for Earth System Science, Tsinghua University, Beijing 100084, China*

**Abstract:** The capabilities of the latest global climate models in simulating the precipitation in China from 1980 to 2005 have been assessed from the results of multiple precipitation observations and outputs from 43 models that participate in the fifth phase of the Coupled Model Intercomparison Project (CMIP5). As shown from the results, most of the CMIP5 models can reproduce the basic spatial pattern that the precipitation increases from the northwest to the southeast in China. Most CMIP5 models simulate less precipitation in South China and more in the western part of the Tibet Plateau than the observations, which is similar to the results in models that participate in the third phase of the Coupled Model Intercomparison Project (CMIP3). The seasonal variation of wet summer and dry winter can be well captured, but the magnitude of precipitation is overestimated by the models. From the results of EOF analyses, most CMIP5 models have the ability to simulate the spatial-temporal characteristics of the annual mean precipitation in China, and the CMIP5 multi-model mean shows better performance than CMIP3. The multi-model ensemble mean shows better performance on various time scales than a single model. The capabilities of the 6 Chinese models are comparable to those of the foreign models, and FGOALS-g2 and BCC-CSM1-1-m have relatively better performances among them.

**Key words:** global climate models; precipitation; CMIP5