

DOI: 10.12006/j.issn.1673-1719.2019.132

周天军, 陈晓龙, 何编, 等. 全球季风模式比较计划 (GMMIP) 概述 [J]. 气候变化研究进展, 2019, 15 (5): 493-497

Zhou T J, Chen X L, He B, *et al.* Short commentary on CMIP6 Global Monsoons Model Intercomparison Project (GMMIP) [J]. Climate Change Research, 2019, 15 (5): 493-497

全球季风模式比较计划 (GMMIP) 概述

周天军^{1,2}, 陈晓龙¹, 何编¹,
吴波¹, 张丽霞¹

1 中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学
数值模拟国家重点实验室, 北京 100029;
2 中国科学院大学, 北京 100049

摘要: 全球季风模式比较计划 (GMMIP) 是第六次国际耦合模式比较计划 (CMIP6) 的重要组成部分。文中首先介绍了 GMMIP 发起的科学背景, 指出发起 GMMIP 的必要性和历史机遇。进一步扼要描述了 GMMIP 试验设计的总体思路和方案、试验的用途以及与 CMIP6 其他模式比较子计划的相关性。最后对 GMMIP 的科学意义进行了评述, 指出其在提升和扩大中国季风模拟和研究领域国际影响力方面的重要作用。

关键词: 全球季风模式比较计划 (GMMIP); CMIP6; 试验设计

引言

季风影响着全球近 2/3 的人口, 一方面, 季风活动是水资源的重要来源; 另一方面, 异常的季风环流和降水变化所带来的气象灾害, 又会对该地区人们的生命和财产安全造成威胁^[1]。中国属于典型的季风区, 季风强弱决定旱涝变化, 每年因季风异常造成的国民经济损失非常巨大。理解东亚季风的变化机理是做出可靠的预报和预估、减轻灾害和减缓气候影响的基础, 但目前的季风研究尚面临着诸多挑战^[2]。从全球角度来看, 有三大季风系统, 即亚澳季风系统 (含南亚季风、东亚季风、西北太平洋季风和澳洲季风)、非洲季风 (含北非季风和南非季风) 和美洲季风 (含北

美季风和南美季风)。尽管三大季风系统存在着各自的区域性特点, 但由于它们都受到太阳辐射季节变化的驱动和约束, 因此, 可以通过行星尺度环流系统来审视各大子季风变化之间的关联^[3-5]。理解区域子季风的变化机理需要有全球视野^[6]。

全球季风还存在着多时间尺度的变化特征^[7]。季风的变化受到内部变率 (如太平洋年代际振荡 (IPO)、大西洋年代际振荡 (AMO)) 和外强迫 (如温室气体、气溶胶) 的共同作用^[8-11]。理解不同因子影响季风变化的机理进而预测其未来变化需要借助气候 / 地球系统模式^[12]。但是, 由于不同模式研发机构采用不同的动力框架、物理方案和参数配置, 使得模拟结果存在较大的不确定性, 制约了对季风变化机理的认识和气候预测 /

收稿日期: 2019-06-04; 修回日期: 2019-06-26

资助项目: 中国科学院“国际伙伴计划-国际大科学计划培育专项”项目“全球季风模拟研究国际计划”(134111KYSB20160031); 国家自然科学基金(41605057)

作者简介: 周天军, 男, 研究员, zhoujt@lasg.iap.ac.cn

预估产品在科学决策中的有效应用。为了推动大气模式、气候系统乃至地球系统模式的发展,自20世纪90年代初,世界气候研究计划(WCRP)陆续发起了国际大气模式比较计划(AMIP)、耦合模式比较计划(CMIP),大致每5年一个阶段,目前已发展到第六阶段(CMIP6)^[13]。CMIP数据被广泛用于各种时空尺度的气候变化研究,并在评估人类活动对气候变化的影响、适应和减缓气候变化研究方面发挥着巨大作用。利用CMIP计划的气候模拟和预估结果所发表的大量学术论文,构成了历次IPCC科学评估报告的重要组成部分。CMIP计划的实施有效地促进了耦合模式研发和气候模拟领域的国际合作,是迄今为止地学领域组织的最为成功的国际科技合作计划之一,极大地增进了国际学术界和社会各界对气候变化问题的关注。

2015年起WCRP耦合模拟工作组(WGCM)开始组织CMIP6,在设计上强调与国际可持续发展需求的衔接,其结果将直接服务于IPCC第六次气候变化评估报告(AR6)。针对人类社会面临的可持续发展问题,自2012年起WCRP陆续提出当前气候研究面临的七个重大挑战,分别为冰冻圈的融化及其全球影响,云、环流和气候敏感度,气候系统的碳反馈,天气和气候极端事件,粮食生产用水,区域海平面上升及其对沿海地区的影响,以及近期气候预测。这七大挑战均是关系到人类未来生存和发展的重大气候变化问题^[14]。为了应对这些挑战,国际季风学界迫切期待能够携手组织重大国际协作计划,通过国际合作来解决困扰季风预测的国际难题,例如20世纪季风变化中的内部变率和外强迫的相对贡献问题、季风的可靠模拟和预测问题等,这些问题与WCRP提出的水资源利用,极端天气气候,云、环流和气候敏感度,近期气候预测这四大挑战密切相关。在此背景下,中国、英国和美国学者联手发起组织了全球季风模式比较计划(GMMIP),并迅速得到全球各大气候模式研发中心的积极响应,被WCRP的CMIP科学委员会批准,成为CMIP6旗下的科学子计划之一。

1 计划概况

GMMIP的试验设计分为3个层级,分别称为Tier-1、Tier-2和Tier-3(图1)。其中Tier-1是GMMIP的“准入证”,具有最高的优先级,Tier-2和Tier-3的优先级依次降低。优先级主要考虑试验的基础性和难易程度,不代表科学问题的重要性,因此,GMMIP鼓励计算资源充足的模式研发机构能够完成Tier-2和Tier-3的科学试验。

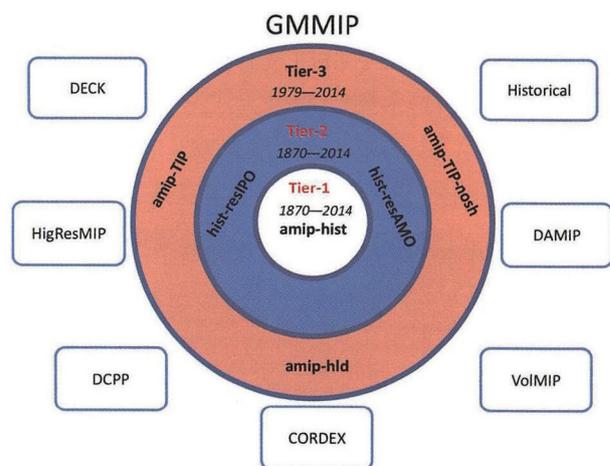


图1 GMMIP的3个层级(Tier)试验设计(外围是与GMMIP并列、并与GMMIP科学问题密切相关的其他CMIP6的模式比较子计划)^[15]

Fig. 1 Three-tier experiments design in GMMIP (surrounding the GMMIP experiments are other counterpart MIPs in CMIP6 that are closely related to the scientific questions in GMMIP)^[15]

(1) Tier-1 试验: 使用单独大气环流模式,将标准的AMIP试验(即利用观测历史海温驱动大气模式)向前扩展到1870年,涵盖了工业革命以后人类活动影响的主要历史时期,称为amip-hist。强迫场与CMIP6的历史气候模拟试验(Historical)保持一致,这使得我们能将amip-hist与观测记录以及Historical试验进行比较,探讨海表温度变率对季风环流和降水长期变化的驱动作用。这组数值试验所需要的海温和海冰的边界条件来自基于观测和重建的数据。

(2) Tier-2 试验: 采用大气-海洋耦合的气候系统或者地球系统模式,模拟的时间段为1870—2014年,与amip-hist一致。其初始场来自CMIP6的Historical试验,所用的强迫场资料

与之保持一致, 包括火山气溶胶和太阳辐照度变化的自然强迫, 以及包含温室气体和气溶胶变化在内的人为强迫等。与标准的 20 世纪历史气候模拟试验的区别在于, 该试验需要将关键海区海表温度变率向观测恢复, 从而引入与观测接近的年际和年代际变化信号, 这如同心脏起搏器的主动搏动, 故被称为“起搏器”(pacemaker) 试验。研究表明, 影响全球季风的两个主要年代际变率模态为 IPO 和 AMO, 前者以热带中东太平洋海表温度的年代际变率为主要特征, 后者则主要体现在北大西洋海表温度的年代际变率。因此, Tier-2 包含两组试验, 称为 hist-resIPO 和 hist-resAMO, 分别在热带中东太平洋和北大西洋区域将模式的海表温度向月平均观测恢复。具体实施方案可参见文献 [15]。这组试验虽然像 Historical 试验一样使用耦合模式, 但由于通过采用“起搏器”技术加入了观测的部分海温变率, 因此, 可以把 Tier-2 试验的模拟结果与 Tier-1 试验和观测记录进行比较, 从而理解季风年代际变率的来源, 特别是 IPO 和 AMO 在季风年代际变化中的作用, 及其与温室气体和气溶胶等外强迫作用影响结果的不同。hist-resIPO 和 hist-resAMO 试验与年代际气候预测计划 (DCPP) 的分量 C (component C) 中的 dcppC-pac-pacemaker 和 dcppC-atl-pacemaker 试验类似^[16], 但是积分时间段和所采用的观测海温数据不同, 目的是彼此通过试验结果数据共享互为支撑。

(3) Tier-3 试验: 为地形扰动试验, 使用单

独的大气环流模式开展类似 AMIP 的敏感性试验, 模拟时间段为 1979—2014 年, 与 CMIP6 的 AMIP 试验一致。通过比较敏感性试验和 AMIP 试验, 可以研究青藏—伊朗高原 (TIP) 大地形的动力和热力强迫对亚洲季风形成的重要作用^[17]。具体来说, Tier-3 设计了两组试验, 分别消除了亚洲高大地形 (amip-TIP) 和关闭了感热通量 (amip-TIP-nosh), 两者对比可理解高原热力和动力作用对季风气候态和多尺度变率的物理过程及相对重要性。另外, 为了理解其他地区的高大地形对周边季风区的作用, 例如东非高原、阿拉伯高原、北美的马德雷山脉和南美的安第斯山脉, Tier-3 还包含了消除这些高大地形的敏感性试验 (amip-hld)。

需指出的是, CMIP6 计划是一个整体, GMMIP 自身的试验不足以用来理解全球季风多尺度变率机理, 还需要借助 CMIP6 的其他模式比较子计划, 以期全面回答与全球季风相关的诸多热点问题 (图 1), 包括人为强迫和自然强迫在季风长期变化中的作用 (检测归因模式比较计划 (DAMIP))、全球季风的年代际可预报性 (年代际气候预测计划 (DCPP))、分辨率提高对全球季风的模拟增值 (高分辨率模式比较计划 (HighResMIP) 和协同区域气候降尺度试验 (CORDEX))、火山气溶胶在全球季风年代际变化中的作用 (火山强迫的气候响应模拟比较计划 (VolMIP)) 等。

目前共有 21 个国际模式研发机构承诺参与 GMMIP 试验 (表 1), 这些模式机构来自不同的

表 1 参加 GMMIP 的模式清单
Table 1 Model list participating in GMMIP

模式简称	机构/国家(地区)	模式简称	机构/国家(地区)	模式简称	机构/国家(地区)
ACCESS	CSIRO-BOM/ 澳大利亚	CESS-THU	THU/ 中国	HadGEM3	MOHC-NCAS/ 英国
BCC-CSM2-MR	BCC/ 中国	CMCC	CMCC/ 意大利	IITM	IITM/ 印度
BNU-ESM	BNU/ 中国	CNRM-CM	CNRM-CERFACS/ 法国	IPSL-CM6	IPSL/ 法国
CAMS-CSM	CAMS/ 中国	FGOALS	IAP/ 中国	MIROC6-CGCM	AORI-UT-JAMSTEC-NIES/ 日本
CanESM	CCCma/ 加拿大	FIO	FIO/ 中国	MPI-ESM	MPI-M/ 德国
CAS-ESM	IAP/ 中国	GFDL	NOAA-GFDL/ 美国	MRI-ESM1.x	MRI/ 日本
CESM	NCAR-COLA/ 美国	GISS	NASA-GISS/ 美国	NUIST-CSM	NUIST/ 中国

国家和地区,表明全球季风已经成为气候模拟和研究领域广泛关注的话题。来源广泛的模式有着不同的动力框架、物理参数化和分辨率配置,能够为研究季风年际以及更长时间尺度的变率提供足够的样本数量,从而减少基于单一模式结果的模式依赖性。和CMIP6其他科学计划一样,GMMIP是一个开放的合作系统,在表1所列单位之外的任何一个气候模式研发机构,若有兴趣加入GMMIP,组织方都欢迎随时加入。

2 计划评述

气候模式在开展气候变率和变化研究中发挥着不可或缺的作用。GMMIP通过多模式比较,致力于推动对全球季风系统演变的物理机制的理解,力图阐明重要的内部变率模态(如IPO和AMO)以及自然和人为外强迫在19世纪末到21世纪初全球季风变化中的相对贡献。GMMIP的实施,有望促进气候模式的研发工作,使之能够更好地模拟全球季风的气候态、年际变率和长期变化,减少模式模拟结果的不确定性,从而提高季风预测和预估的可信度。

GMMIP是开展季风模拟研究的重要国际合作平台,该计划与CMIP6其他相关子计划模拟数据的结合,有望为推进季风模拟和机理认识提供机遇,从而更好地应对WCRP提出的重大科学挑战问题。

GMMIP有望提升当前模式的季风模拟、预测和预估水平。GMMIP将关注的时间范畴拓展到百年以上^[18],为理解最近几十年来季风区频发的极端事件提供长期的气候背景^[19],为开展季风气候的年代际预测提供理论基础^[20]。季风降水的模拟偏差往往与对流参数化和云微物理过程有关^[21],云辐射过程还能够通过影响气候反馈过程改变耦合模式的气候敏感度,是气候预估不确定性的重要来源之一。通过比较不同分辨率模式^[22]、有无海气相互作用的试验,GMMIP期待能够明晰季风降水的偏差来源,为改进大尺度环流和局地对流的相互作用、减小模式气候敏感度的不确定性

提供参考依据。

GMMIP还是多学科交叉合作的平台。GMMIP的目标是促进对季风年际变率和长期变化机制的理解,从而提升对季风的预测和预估水平,这将最终为水资源管理和工农业用水安全提供重要参考。按照设计,目前是GMMIP的第一阶段,未来将根据科学需求陆续组织第二阶段、第三阶段等后续科学试验。

最后,GMMIP是CMIP6中唯一由中国学者联合英、美学者发起和主持的科学子计划,也是CMIP国际计划实施20余年来第一次由中国学者主导发起的科学计划。希望GMMIP的实施能够为中国的季风模拟和季风研究提供一个坚实的国际合作平台,最终扩大和提升中国在季风研究领域的国际影响力。■

参考文献

- [1] Wang B, Ding Q. Global monsoon: dominant mode of annual variation in the tropics [J]. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 2008, 44: 165-183
- [2] 周天军, 吴波, 郭准, 等. 东亚夏季风变化机理的模拟和未来变化的预估: 成绩和问题、机遇和挑战 [J]. *大气科学*, 2018, 42 (4): 902-934. Zhou T J, Wu B, Guo Z, *et al.* A review of East Asian summer monsoon simulation and projection: achievements and problems, opportunities and challenges [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2018, 42 (4): 902-934 (in Chinese)
- [3] Trenberth K, Stepaniak D, Caron J. The global monsoon as seen through the divergent atmospheric circulation [J]. *Journal of Climate*, 2000, 13: 3969-3993
- [4] Qian W H. Dry/wet alteration and global monsoon [J]. *Geophysical Research Letters*, 2000, 27: 3679-3682
- [5] Li J, Zeng Q. A new monsoon index and the geographical distribution of the global monsoons [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2003, 20: 299-302
- [6] Wang P, Wang B, Cheng H, *et al.* The global monsoon across timescales: mechanisms and outstanding issues [J]. *Earth-Science Reviews*, 2017, 174: 84-121
- [7] Wang P, Wang B, Cheng H, *et al.* The global monsoon across timescales: coherent variability of regional monsoons [J]. *Climate of the Past*, 2014, 10: 2163-2291
- [8] Li H M, Dai A G, Zhou T J, *et al.* Responses of East Asian summer monsoon to historical SST and atmospheric forcing during 1950-2000 [J]. *Climate Dynamics*, 2010, 34: 501-514
- [9] Zhou T J, Yu R C, Li H M, *et al.* Ocean forcing to changes in global monsoon precipitation over the recent half-century [J]. *Journal of*

- Climate, 2008, 21: 3833-3852
- [10] Song F F, Zhou T J, Qian Y. Responses of East Asian summer monsoon to natural and anthropogenic forcings in the 17 latest CMIP5 models [J]. *Geophysical Research Letters*, 2014, 41: 596-603
- [11] Wu B, Zhou T J, Li T. Impacts of the Pacific-Japan and circumglobal teleconnection patterns on interdecadal variability of the East Asian summer monsoon [J]. *Journal of Climate*, 2016, 29: 3253-3271
- [12] 王斌, 周天军, 俞永强, 等. 地球系统模式发展展望 [J]. *气象学报*, 2008, 66 (6): 857-869. Wang B, Zhou T J, Yu Y Q, *et al.* A perspective on Earth system model development [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2008, 66 (6): 857-869 (in Chinese)
- [13] 周天军, 邹立维, 吴波, 等. 我国地球气候系统模式研究进展: CMIP 计划实施 20 年回顾 [J]. *气象学报*, 2014, 72 (5): 892-907. Zhou T J, Zou L W, Wu B, *et al.* Development of Earth/climate system models in China: a review from the Coupled Model Intercomparison Project perspective [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2014, 72 (5): 892-907 (in Chinese)
- [14] 周天军, 陈晓龙, 吴波. 支撑“未来地球”计划的气候变化科学前沿问题 [J]. *科学通报*, 2018, 63 (1): 1-10. Zhou T J, Chen X L, Wu B. Frontier issues on climate change science for supporting Future Earth [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2018, 63 (1): 1-10 (in Chinese)
- [15] Zhou T J, Turner A G, Kinter J L, *et al.* GMMIP (v1.0) contribution to CMIP6: Global Monsoons Model Inter-comparison Project [J]. *Geoscientific Model Development*, 2016, 9: 3589-3604
- [16] Boer G J, Smith D M, Cassou C, *et al.* The Decadal Climate Prediction Project (DCPP) contribution to CMIP6 [J]. *Geoscientific Model Development*, 2016, 9: 3751-3777
- [17] Wu G X, Liu Y M, He B, *et al.* Thermal controls on the Asian summer monsoon [J]. *Scientific Reports*, 2012, 2: 404
- [18] Zhang L X, Zhou T J. An assessment of monsoon precipitation changes during 1901–2001 [J]. *Climate Dynamics*, 2011, 37: 279-296
- [19] Zhou T J, Zhang L X, Li H M. Changes in global land monsoon area and total rainfall accumulation over the last half century [J]. *Geophysical Research Letters*, 2008, L16707
- [20] 张丽霞, 张文霞, 周天军, 等. ENSEMBLES 耦合模式对全球陆地季风区夏季降水的年代际预测能力评估 [J]. *地球科学进展*, 2017, 32 (4): 409-419. Zhang L X, Zhang W X, Zhou T J, *et al.* Assessment of the decadal prediction skill on global land summer monsoon precipitation in the coupled models of ENSEMBLES [J]. *Advances in Earth Science*, 2017, 32 (4): 409-419 (in Chinese)
- [21] 张丽霞, 周天军, 曾先锋, 等. 积云参数化方案对热带降水年循环模态模拟的影响 [J]. *大气科学*, 2011, 35 (4): 777-790. Zhang L X, Zhou T J, Zeng X F, *et al.* The annual modes of tropical precipitation simulated with LASG/IAP AGCM: sensitivity to convection schemes [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2011, 35 (4): 777-790 (in Chinese)
- [22] Zhang L X, Zhou T J, Klingaman N P, *et al.* Effect of horizontal resolution on the representation of the global monsoon annual cycle in AGCMs [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2018, 35 (8): 1003-1020

Short commentary on CMIP6 Global Monsoons Model Intercomparison Project (GMMIP)

ZHOU Tian-Jun^{1,2}, CHEN Xiao-Long¹, HE Bian¹, WU Bo¹, Zhang Li-Xia¹

1 State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China; 2 University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Global Monsoons Model Intercomparison Project (GMMIP) is an important participant in the Coupled Model Inter-comparison Project Phase 6 (CMIP6). Firstly, the scientific background of launching the GMMIP is introduced, emphasizing necessity and historic opportunity of this activity. Further, the general ideas of GMMIP experiment design are briefly described, as well as the three experiment tiers, experiment usage and connections with other endorsed Model Intercomparison Projects in CMIP6. Finally, we remark the scientific significance of GMMIP, highlighting its important role in elevating and amplifying the influence of monsoon modelling and research communities in China.

Keywords: Global Monsoons Model Intercomparison Project (GMMIP); CMIP6; Experiment design