

doi:10.3969/j.issn.1673-1719.2014.01.013

董文杰, 周天军, 郭彦, 等. 气候现象及其与未来区域气候变化的联系 [J]. 气候变化研究进展, 2014, 10 (1): 60-64

气候现象及其与未来区域气候变化的联系

Climate Phenomena and Their Relevance for Future Regional Climate Change

董文杰¹, 周天军², 郭彦¹, 邹立维²

¹ 地表过程与资源生态国家重点实验室/北京师范大学, 北京 100875; ² 大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室 LASG/中国科学院大气物理研究所, 北京 100029

与IPCC以前的评估报告相比,第五次评估报告(AR5)增加了单独一章,即第十四章^[1],比较系统地评估了关于气候现象及其与未来区域气候变化关系方面取得的最新研究进展。这是AR5的亮点之一。

区域气候是很多复杂的大气过程共同影响的结果。在全球变暖的背景下,这些过程对大尺度强迫的响应有明显的区域特征,所以区域气候变化存在显著差异。与CMIP3模式比,CMIP5模式对大尺度气候现象的模拟能力有一定提高,这使得模式预估未来区域气候变化的可信度有所提高。为便于理解,AR5专门给出了气候现象的定义。如果一种气候现象被认为与区域气候变化有关,则必须满足两个条件:第一,有证据表明这种现象对区域气候有影响;第二,在典型浓度路径(RCP)4.5或者更高的RCP下,气候现象发生了显著的变化。图1扼要概括了全球主要的区域气候现象及其气候影响,这些气候现象包括横贯热带太平洋、大西洋和非洲的热带辐合带(ITCZ)、位于南太平洋的南太平洋辐合带(SPCZ)、位于南美洲南部和南大西洋的南大西洋辐合带(SACZ)、全球季风区域和中纬度的主要风暴路径、北大西洋涛动(NAO)、厄尔尼诺-南方涛动(ENSO)、北半球环状模、南半球环状模(SAM)。

1 主要评估结论

1.1 季风系统

季风区气候变率大,一直是气候模拟研究的难点。CMIP5模式对全球季风、亚澳季风和东亚季风气候态特征的模拟能力^[2-4],较之前的模式^[5-7]显著提高。与过去相比,AR5对季风系统变化给出了明确的结论。图2给出了相对于目前气候态(1986—2005年)在未来(2080—2099年)4种RCP排放情景下季风指标的变化,预估到21世纪末,季风环流减弱^[8-9],但全球季风范围很可能扩大,强度增加,季风雨季的持续时间将会延长,季风撤退日期推迟。在南美、非洲、东亚、南亚、东南亚和澳大利亚区域,季风区极端降水很可能会增加(图2)。

与全球季风相比,目前模式对区域季风的模拟能力依然较低,并且对不同区域季风系统的模拟能力有很大差异,相关结论只有中等信度。在亚澳季风区,东亚和印度季风区的降水将会明显增加,澳大利亚夏季降水增加幅度则较小;在印度季风区,虽然夏季环流将会减弱,但由于大气中水汽含量增加,季风降水将会增加;在东亚夏季季风区,季风环流将增强,季风降水增加。在21世纪,印度夏季季风区降水和极端降水事件的增加将会是所有季风区

收稿日期: 2013-12-10; 修回日期: 2013-12-22

资助项目: 全球变化研究国家重大科学计划项目“基于CMIP5多模式模拟试验的气候变化集合预估和归因分析研究”; 国家自然科学基金(41330527)

作者简介: 董文杰,男,研究员,主要研究方向为气候动力学、气候理论与预测和全球变化, dongwj@bnu.edu.cn

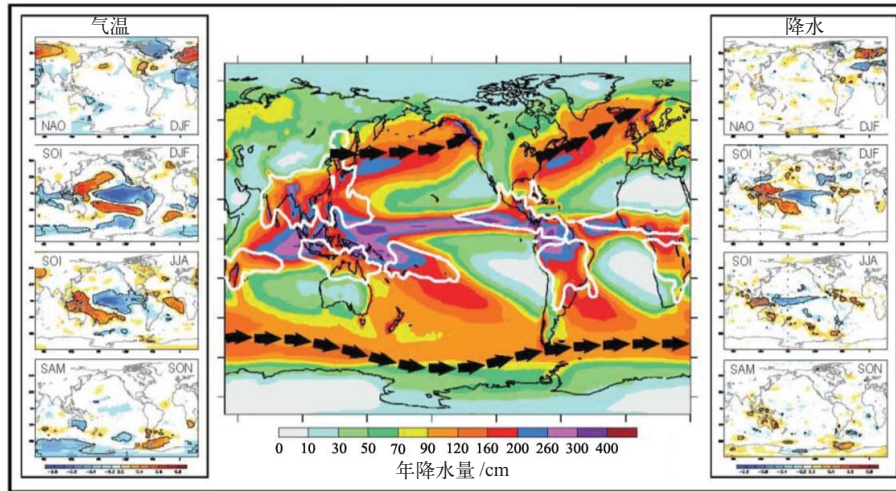
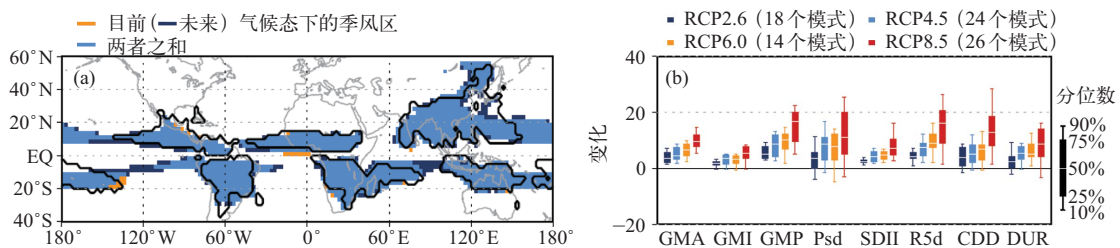


图 1 1979—2010 年气候态年降水量 (填色) 空间分布、季风降水区 (白色等值线) 及南北半球冬季风暴轴 (黑色箭头)。左列为不同季节北大西洋涛动 (NAO)、南方涛动指数 (SOI) 和南半球环状模 (SAM) 模态指数与温度异常的相关系数分布; 右列则为这些指数与降水异常的相关系数分布。模态指数来自 NOAA (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>), 全球温度资料来自 NASA GISTEMP (<http://data.giss.nasa.gov/gistemp/>), 全球降水资料来自 GPCP (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.gpcp.html>)^[1]

Fig. 1 Global distribution of average annual rainfall from 1979–2010 GPCP data base, monsoon precipitation domain (white contour), and winter storm-tracks in both hemispheres (black arrows). In left (right) column seasonal correlation maps of NAO, SOI and SAM mode indexes vs. monthly temperature (precipitation) anomalies in boreal winter (DJF), austral winter (JJA) and austral spring (SON). The mode indexes were taken from NOAA (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>), global temperatures from NASA GISTEMP (<http://data.giss.nasa.gov/gistemp/>) and global precipitations from GPCP (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.gpcp.html>)^[1]



GMA—全球季风区 (%), GMI—全球季风强度 (%), GMP—全球季风总降水 (%), Psd—季节降水年际变率标准差 (%), SDII—简化日降水强度指数 (%), R5d—一节最大旬降水量 (%), CDD—一节最大连续干旱日数 (%), DUR—季风季节持续时间 (d)

图 2 (a) 观测 (黑等值线) 和模拟 (填色) 的全球季风区, 季风区按照 Wang 等^[8]的定义, 观测基于 GPCP v2.2 数据; 模拟基于 26 个插值到 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 格点上的 CMIP5 模式降水集合平均值在目前 (1986—2005 年) 气候态和未来 (2080—2099 年) RCP8.5 情景下的结果, (b) 模式预估的季风指标相对于目前气候态在未来 4 种排放情景下的变化, 所有季风指标都指夏季风 (北半球 5—9 月, 南半球 11 月至次年 3 月)^[1]

Fig. 2 (a) Observed (thick contour) and simulated (shading) global monsoon domain, based on the definition of Wang *et al.*^[8]. The observations are based on GPCP v2.2 data, and the simulations are based on 26 CMIP5 multi-model mean precipitation with a common 2.5 by 2.5 degree grid in the present day (1986–2005) and the future (2080–2099, RCP8.5), (b) projected changes for the future relative to the present-day in the global monsoon areas (GMA, %) and global monsoon intensity (GMI, %), global monsoon total precipitation (GMP, %), standard deviation of inter-annual variability in seasonal average precipitation (Psd, %), simple daily precipitation intensity index (SDII, %), seasonal maximum 5-day precipitation total (R5d, %), seasonal maximum consecutive dry days (CDD, %), and monsoon season duration (DUR, d), under RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 and RCP8.5 scenarios. Box-whisker plots show the 10th, 25th, 50th, 75th and 90th percentiles. All of the indices are calculated for the summer season (May to September in the Northern Hemisphere; November to March in the Southern Hemisphere)^[1]

中最明显的。

对于21世纪南美和北美季风区降水量变化的预估,仅具有低信度,但是北美季风将会推迟(中等信度)。南美季风区将会扩大(高信度)。模式对西非季风主要特征的模拟能力不足,这限制了对于未来西非季风变化的预估。

1.2 热带气候现象

与CMIP3模式相比,CMIP5模式对ENSO的模拟能力增强,模式模拟ENSO在未来将继续存在,它很可能继续成为未来年际变率的主导模态。由于未来水汽增加,与ENSO相关的区域降水变率可能会增强^[10]。不同模式对ENSO方差和空间型自然变化的模拟仍然存在很大差异,因此,对于在任何给定的RCP情景下,ENSO变率在21世纪变化的预估,仍然只有低信度。

CMIP5模式对印度洋偶极子总体特征的模拟能力有明显提高,预估到21世纪,赤道印度洋可能呈现一个纬向变化的空间分布型,即东部增温缓慢、降水减少,而西部增温迅速、降水增加,这将直接影响东非和东南亚的降水。

在中等信度下,CMIP5模式模拟的热带海洋区年平均降水的未来变化将呈现暖湿型,即在海温超过热带平均的地方降水增加,反之则减少;纬向型南太平洋辐合带出现频率将会增加,这将使得很多南太平洋的岛屿国家降水减少;南大西洋辐合带将向南移动,导致南美洲的东南部降水增加,其北部降水减少。

CMIP5模式对季节内振荡的模拟能力仍然较差,因而对季节内振荡的预估只有低信度。与之相关的西亚、南亚、东南亚和澳大利亚地区的极端气候事件的预估也有高度不确定性。CMIP5模式对热带大西洋当前气候的模拟存在系统误差,对热带大西洋的平均态和年际变率模态的未来预估都只有低信度。所以,对北大西洋飓风、热带南美洲和西非降水的未来变化预估也是不确定的。

1.3 气旋

CMIP5模式对全球热带气旋的预估具有较高的一致性,全球热带气旋的发生频率可能会减少或者

基本上保持不变,但全球平均的热带气旋最大风速和降水可能会增加^[11]。未来热带气旋变化有明显的区域差异,在区域尺度上,对热带气旋频次和强度变化的预估可信度较低。气候模式分辨率的提高和降尺度方法的使用,使得强风暴的预估水平有所提高,并且大多数强风暴的发生频率在某些海盆多半可能增加。

CMIP5多数模式对热带外气旋频次的未来变化有较一致的预估结果,全球热带外气旋频次的减少不可能超过几个百分点。南半球和中北太平洋的风暴路径可能有较小的向极移动^[12]。到21世纪末(2081—2100年),在北极、北欧、北美和南半球冬季降水可能将主要源于更多的热带外气旋降水,它与跟风暴有关的极端降水的增强密切相关。

1.4 阻塞系统

与CMIP3模式相比,CMIP5模式对阻塞系统模拟能力有所提高,模式对阻塞系统变化的预估更加一致。在中等信度下,预估21世纪南北半球的阻塞系统发生的频率不会增加。但是目前仍然不能确定阻塞系统的强度和持续时间的未来变化趋势。因此,在与阻塞系统相关的区域,如北美、欧洲、地中海、中亚和北亚,其区域气候变化也是难以预估的。

1.5 环状模和偶极模的变率

CMIP5模式基本能够模拟出环状模和偶极模的总体特征。模式给出的预估结果表现出较高的一致性,未来北半球冬季的NAO很可能出现大的自然变率,其变化趋势与观测到的过去变化的量级相当,并且可能会变得稍微偏向其正位相,这会对北极、北美和北欧的冬季气候产生一定影响。鉴于平流层臭氧在21世纪中叶很可能得到恢复,SAM在南半球夏季和秋季的增长趋势可能会有相当程度的减弱^[13],这会对南美、非洲、澳大利亚、新西兰和南极地区的气候产生一定影响。

1.6 大西洋多年代际振荡(AMO)和太平洋南美洲型(PSAP)

分析CMIP5模式的预估结果,再结合古气候重

建资料提供的相关证据, 在未来气候态改变的情况下, AMO 不可能发生显著改变。但 AMO 在未来几十年内的自然变率可能会影响区域气候, 这种影响的强度至少与人类活动导致的影响强度相当, 这种影响会涉及到大西洋强飓风发生频率、西非的湿季以及北美和欧洲的夏季气候。

在中等信度下, CMIP5 模式对 PSAP 的未来变化作出如下预估: 未来南半球夏季平均大气环流的变化会影响到 PSAP 遥相关型, 从而影响南美辐合带以及南美东南部的降水。

2 讨论

人类活动引起的全球气候系统变暖, 不仅会影响到全球气候的显著变化, 而且会影响到区域气候的显著变化, 而一些大尺度气候现象变化, 是连接并理解全球尺度气候变化和区域尺度气候变化关系的桥梁。关于在全球变暖背景下, 区域气候的变化和预估问题, 以往的 IPCC 评估报告只是零星地提及, 没有专门的章节进行系统的分析和论述, AR5 则首次较为系统地评估了 CMIP5 模式对气候现象及其与区域气候变化关系的模拟能力, 并给出了与主要气候现象相联系的区域气候未来变化的预估结果, 评估了预估结论的可信度。这是 AR5 较之以往 4 次评估报告的一个显著亮点。

CMIP5 模式对全球季风系统、ENSO、印度洋偶极子、全球热带气旋、阻塞系统、环状模和偶极模等气候现象的模拟能力显著提高, 模式对相关的区域气候未来变化的预估有中等及以上的信度; 但模式对季节内振荡和风暴路径变化等的模拟能力仍然有限, 与之相关的未来区域变化的预估信度较低。

总体来看, CMIP5 模式对全球尺度的气候现象变化模拟能力较强, 但对区域尺度的气候现象及其相关的区域气候的模拟能力存在较大的区域差异, 总体性能较差, 对季风系统的模拟尤其如此; 对于东亚气候的模拟^[9]则较之 CMIP3 模式^[14]并无显著进步。

AR5 第十四章偏重对区域气候现象的描述和对未来变化的预估, 但是围绕着过去特别是最近 50~60 年区域气候变化与这些现象的联系、相关的动力

学机理和物理过程的评估, 则较为薄弱乃至有些被忽视, 仅有部分内容在附件 (即 Supplementary Material) 中略加涉及。而这方面的内容, 恰恰是区域气候变化 / 变率研究领域关注的一个重要话题。气候模式对过去气候变化特点的模拟能力, 是衡量其对未来变化预估结果可信度的一个重要指标, 而在此方面, AR5 在评估内容的设计上存在欠缺。

未来需要加强的研究方向之一, 是如何通过气候现象把全球气候系统的变化与区域气候和区域极端气候事件的变化联系起来, 以揭示人类活动对区域气候的影响及其机理, 并利用这种联系, 进一步提高我们对区域气候和极端事件的预估能力。这是未来气候变化科学领域的重要研究方向。

未来需要加强的研究方向之二, 是如何把全球模式关于区域气候的预估结果, 与区域气候模式的降尺度预估结果相比较。AR5 对于区域气候的预估, 是基于全球模式的。目前国际上在 CORDEX 计划框架下, 正在组织区域气候模式预估研究, 未来需要加强全球模式和区域模式预估结果的比较^[15]。

未来需要加强的研究方向之三, 是自然气候变率和人为因素引起的气候变化信号的分离、检测和归因。观测到的实际气候变化, 是气候系统的内部变率、自然因素 (如太阳活动和火山活动) 和人为因素 (温室气体、气溶胶等大气成分变化和土地利用的变化等) 共同作用的结果。CMIP5 模式难以再现部分观测的 20 世纪气候演变特征, 原因在于模式无法再现内部变率的作用^[16-17]。AR5 给出的气候预估结果是基于多模式集合的数据, 由于自然变率的时间演变模态是因模式而异的, 多模式集合技术最终消除了气候系统内部变率的影响; 同时, 由于 RCP 情景中无法考虑太阳活动和火山活动等自然强迫因子的未来变化, 因此, 预估结果中也未考虑自然变率部分。这样, 基于不同 RCP 情景的未来预估结果, 实际上考察的仅是气候模式对于人为外强迫变化 (温室气体、气溶胶等大气成分变化和土地利用的变化等) 的响应。因此, 不能简单地把预估结果视同预报, 未来的实际气候演变不会、也不可能完全按照 RCP 情景预估的结果来变化。

未来需要加强的研究方向之四, 是气候模拟和

预估结果的不确定性研究。在同样的 RCP 外强迫情景驱动之下, CMIP5 模式预估的未来全球和区域气候变化彼此差异显著, 原因来自模式动力框架、物理过程等不确定性的影响。气候模式系统越复杂, 存在的不确定性因子就越多, 其对气候预估结果准确性的影响也就越大。如何在气候预估中准确度量这种不确定性的大小, 从而向决策者和用户准确传达可靠的气候预估信息, 是当前气候模式研发和模拟研究领域的国际热点。 ■

参考文献

- [1] Christensen J H, Kumar K K, Aldrian E, *et al.* Climate phenomena and their relevance for future regional climate change [M/OL]// IPCC. Climate change 2013: the physical science basis. Cambridge: Cambridge University Press, in press. 2013-09-30 [2013-09-30]. http://www.climatechange2013.org/images/uploads/WGIAR5_WGI-12Doc2b_FinalDraft_Chapter14.pdf
- [2] Kitoh A, Endo H, Kumar K K, *et al.* Monsoons in a changing world: a regional perspective in a global context [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2013, 118, doi:10.1002/jgrd.50258
- [3] Sperber K R, Annamalai H, Kang I-S, *et al.* The Asian summer monsoon: an intercomparison of CMIP5 vs. CMIP3 simulations of the late 20th century [J]. *Climate Dynamics*, 2013, 41, 2711-2744, doi: 10.1007/s00382-012-1607-6
- [4] 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*, 2013, doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00248.1>
- [5] Chen H, Zhou T, Neale R B, *et al.* Performance of the new NCAR CAM3.5 in East Asian summer monsoon simulations: sensitivity to modifications of the convection scheme [J]. *Journal of Climate*, 2010, 23: 3657-3675
- [6] Zhou T, Wu B, Wang B. How well do atmospheric general circulation models capture the leading modes of the interannual variability of the Asian-Australian monsoon? [J]. *Journal of Climate*, 2009, 22: 1159-1173
- [7] Zhou T, Li Z. Simulation of the East Asian summer monsoon by using a variable resolution atmospheric GCM [J]. *Climate Dynamics*, 2002, 19: 167-180
- [8] Wang B, Liu J, Kim H-J, *et al.* Recent change of the global monsoon precipitation (1979–2008) [J]. *Climate Dynamics*, 2012, 39: 1123-1135.
- [9] Dong W J, Ren F M, Huang J B, *et al.* The atlas of climate change: based on SEAP-CMIP5 [M]. Berlin: Springer, 2013: 1-175
- [10] Kim S T, Yu J-Y. The two types of ENSO in CMIP5 models [J]. *Geophysical Research Letters*, 2012, doi:10.1029/2012GL052006
- [11] Ying M, Knutson T R, Kamahori H, *et al.* Impacts of climate change on tropical cyclones in the Western North Pacific Basin. Part II: late twenty-first century projections [J]. *Tropical Cyclone Research and Review*, 2012, 1: 231-241
- [12] Chang E K M, Guo Y, Xia X. CMIP5 multimodel ensemble projection of storm track change under global warming [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2012, 117, doi: 10.1029/2012JD018578
- [13] Bitz C M, Polvani L M. Antarctic climate response to stratospheric ozone depletion in a fine resolution ocean climate model [J]. *Geophysical Research Letters*, 2012, 39, L20705
- [14] Zhou T, Yu R. Twentieth century surface air temperature over China and the globe simulated by coupled climate models [J]. *Journal of Climate*, 2006, 19 (22): 5843-5858
- [15] Zou L, Zhou T. Near future (2016–2040) summer precipitation changes over China under RCP8.5 emission scenario projected by a regional climate model: a comparison between RCM downscaling and driving GCM [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2013: 30 (3): 806-818, doi: 10.1007/s00376-013-2209-x
- [16] 满文敏, 周天军, 张丽霞, 等. 20 世纪温度变化中自然变率和人为因素的影响: 基于耦合气候模式的归因模拟 [J]. *地球物理学报*, 2012: 55 (2): 372-383, doi:10.6038/j.issn.0001-5733.2012.02.002
- [17] 满文敏, 周天军, 张洁, 等. 气候系统模式 FGOALS_g1 模拟的 20 世纪温度变化 [J]. *气象学报*, 2011, 69 (4): 644-654