

中国区域CMIP6模式气温要素模拟能力评估

邓嘉玲

成都信息工程大学, 大气科学学院, 四川 成都
Email: dengjlcuit@126.com

收稿日期: 2020年12月30日; 录用日期: 2021年1月22日; 发布日期: 2021年1月29日

摘要

使用全球气候系统模式来模拟研究未来气候变化是现在常用的方法。由于全球气候系统模式对区域尺度的模拟能力有较大的不确定性, 所以预估未来气候变化之前通常要进行模式模拟能力的评估。本文利用CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6)中的8个全球气候系统模式对中国区域进行气温要素模拟的结果, 来评估全球气候系统模式对中国区域的模拟能力。同观测资料对比, 能得出以下结论, 此8个模式能较好的模拟过去一段时间中国气温变化的大致趋势, 都呈现升温的趋势。对中国区域的模拟, 模式对青藏高原和四川盆地等受地形影响气温变化的模拟能力不是很好, 产生非常大的冷偏差。对国内中部以及东南地区的模拟能力也就相对较好, 误差较小。

关键词

CMIP6, 中国区域, 气温, 评估

Assessment of Air Temperature Simulations in China by CMIP6 Multi-Models

Jialing Deng

School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan
Email: dengjlcuit@126.com

Received: Dec. 30th, 2020; accepted: Jan. 22nd, 2021; published: Jan. 29th, 2021

Abstract

Based on the simulations of global climate system models, the projection of future climate change can be researched. Since the global climate system model has great uncertainty in the ability to simulate the regional scale, this study uses the results of the temperature element simulations of

the 8 global climate system models in CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6) to evaluate the ability of simulation global climate system model in China. Comparing with the observation data, the following conclusions can be drawn: each model can better simulate the general trend of temperature changes in China in the past period, and all show a warming trend. For the temperature simulation in China, the models are not very good at simulating the topography-related temperature change, such as in the Qinghai-Tibet Plateau and in the Sichuan Basin, resulting in very large cold deviations. The simulation capability for the central and southeastern regions of China is relatively good, with small bias.

Keywords

CMIP6, China, Air Temperature, Assessment

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

世界气候研究计划(WCPR)为了推动模式发展和增进对地球气候系统的科学理解,开创了国际耦合模式比较计划(CMIP, Coupled Model Intercomparison Project Phase 6) [1],其先后进行了共计六次的模式比较计划。如今,耦合模式进行到了第六阶段,这次的研究计划是 CMIP 计划实施以来,模式数量最多,模拟数据最庞大的一次。相较于上一代 CMIP5 模式,CMIP6 模式在模式分辨率和模式物理过程等方面已有不少改进,且这次参与 CMIP6 的模式研发团队增加了 13 家机构,一共达到了 33 家研发团队。而这次所提供的气候模式数据也能够对未来全球范围内的气候研究起到了支撑作用。在目前全球增温的环境下,由于全球气候系统的复杂性,不同区域的气候变化会受海陆因素、地形、人类活动和当地的经济状况等的影响,从而表现出不同的特征。虽然气候系统模式对大尺度系统的变化趋势、特征有较好的模拟能力 [2],但对区域尺度的气候模拟依然有许多不足、不确定性,所以我们需要针对不同区域来评估气候系统模式的模拟能力。同时,中国地形多种多样山区面积广大,还有丰富的季风系统以及青藏高原、四川盆地等多样化的地形地势,使中国的气候十分复杂。因此气候系统对中国气候的模拟、预测十分重要,也一直是被广泛关注的问题。论文对 8 个全球气候模式进行了中国区域过去一段时间内的气温要素模拟能力的简单评估,希望能为全球气候模式对中国区域未来天气变化的预估增加可信度。

张莉,张艳武,徐影[3]等对 cmip5 中 29 个气候模式,通过等权重算术平均的方法进行了中国区域气温要素模拟能力的评估,得出了模式能较好的模拟过去一段时间内中国区域气温的空间分布,对中国区域的气候时空变化特征有一定的模拟能力,通过 CMIP5 研究中国未来平均气温变化和规律是可行的。梁苏洁[4]得出了 CMIP5 气候模式基本都能反应出中国冬季气温变化的增暖的趋势,且国内北方相较于南方增暖更厉害,伍清[5]等则对 CMIP5 对西南地区的气温模拟能力进行了评估,得出模式都能较好的反应出西南地区过去五十年的增温趋势,但仅有少数的模式能模拟出气温的增加幅度对海拔存在依赖性的特征。郭彦[2]等将 CMIP5 模式对中国年平均气温模拟及其与 CMIP3 模式的比较,目前利用气候系统模式对中国区域气温要素的模拟都还处于 CMIP5,CMIP6 计划中的数据更为庞大,对大气物理过程的描述也更加准确,但是我们对 CMIP6 中的气候系统模式在区域尺度上对气温的模拟能力还未进行过评估,还存在着不足,所以若要对中国未来气候变化进行预测以及其变化机制等方面的研究,对 CMIP6 进行模拟能力评

估是必不可少的。

我们知道，气候系统模式是我们目前研究气候变化机制和预测未来气候变化非常有力的工具[6]。在自然和人类活动的外强迫下，模式能够较好的模拟出全球变暖的主要特征[7]，所以其准确性也一直是被广泛关注的问题，而随着计算机，科技的发展，能计算的数据越来越精细，资料也越来越丰富，大气模式的分辨率也大大提高，所以对未来气候的预测的精确度和时间长度要求越来越高，对模式在区域尺度的气候要素的模拟能力的准确性的要求在不断增加。同时基于这些气候系统模式的分析结果也是我们对气候预估以及气候谈判等方面的基础。同时，这些气候系统模式的发展也对我们的日常生活，如天气预报等，有非常大的帮助，与其他许多行业的发展也息息相关。但是通过对 CMIP5 气候系统模式的模拟评估我们知道，它对区域尺度的模拟尚有待完善和改进的地方，所以在耦合模式进行到当前阶段的时候，在中国区域对 CMIP6 气候系统模式各气象要素如气温的模式进行评估就重要了。也对我们预测未来气候变化，研究气候变化机制，发展气候方面的研究有帮助。

2. 资料概况与研究方法

资料包括有观测资料和模式资料。模式资料我们取了 CMIP6 模式中 8 个全球气候模式的数据，该数据来自于 WCPR 官网中 CMIP6 模式的数据，时间跨度为 1840~2015 年。该模式对比 CMIP5 模式，不仅大气和海洋模式的分辨率大大提高[1]，而且主要以碳氢循环过程的模式为主。模式资料的研发机构包括了法国，加拿大等。8 个模式资料基本信息见下图(表 1)。

观测资料是由吴佳等[8]基于国家气象中心 2400 多国家级台站建立的 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 分辨率的月平均温度的格点资料，时间跨度为 1961~2014 年。

Table 1. The basic information for 8 global climate models

表 1. 8 个全球气候模式基本信息

模式名称研发机构模式分辨率		
BCC-CSM2-MR	BCC, CMA, 中国	160 × 320
CNRM-ESM2-1	CNRM, CERFACS, 法国	128 × 256
CAMS-CSM1-0	CAMS, CMA, 中国	160 × 320
CanESM5	CCCma, 加拿大	64 × 128
CESM2	NCAR, 美国	192 × 288
CESM2-WACCM	NCAR, 美国	192 × 288
CNRM-CM6-1	CNRM, CERFACS, 法国	128 × 256
BCC-ESM1	BCC, CMA, 中国	64 × 128

由于每个模式的分辨率不同，所以我们需要首先通过双线性插值方法将模式资料插值到分辨率为 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 的网格点，这样才能方便比较，进行后面的数据处理。然后将中国区域的数据单独抠出来后，进行维度方面的简单算术平均处理，得到中国区域的 1961~2014 年的年平均温度变化，对观测资料进行同样处理。然后通过观测资料和模式资料进行对比，可得到模式资料对中国过去 1961 到 2014 年的气温要素的大致模拟能力。为了更直接清晰地看出各模式对中国区域的模拟能力，还分别在空间尺度上和时间序列上进行了简单的差值处理(模式资料减去观测资料)。

3. 中国区域气温模拟能力

3.1. 时间维度上的模拟能力

通过对模式数据处理，得到了八个模式下中国区域 1961~2014 年的平均温度折线图(图 1)，观察观测

数据我们能看到在 1961 到 2014 年这段时期中国的平均气温是呈增长趋势的，总的 1961 到 2014 年的观测数据的平均增长速率为 $0.17^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ，为了更清晰的看出模式对中国地区气温的总体变化趋势的模拟的能力，也计算了模式在 1961 到 2014 年 54 年间的平均增长速率(见表 2)。可以看到大部分的模式资料在这段时期也都基本表现出增温的趋势，只有一个模式 BCC-ESM1 在 2014 年相对于 1961 年温度降低了，使速率呈现出一个负的增长。对比所有模式 CESM2-WACCM 的增长速率最为接近，说明和观测资料总的增长趋势最为接近。

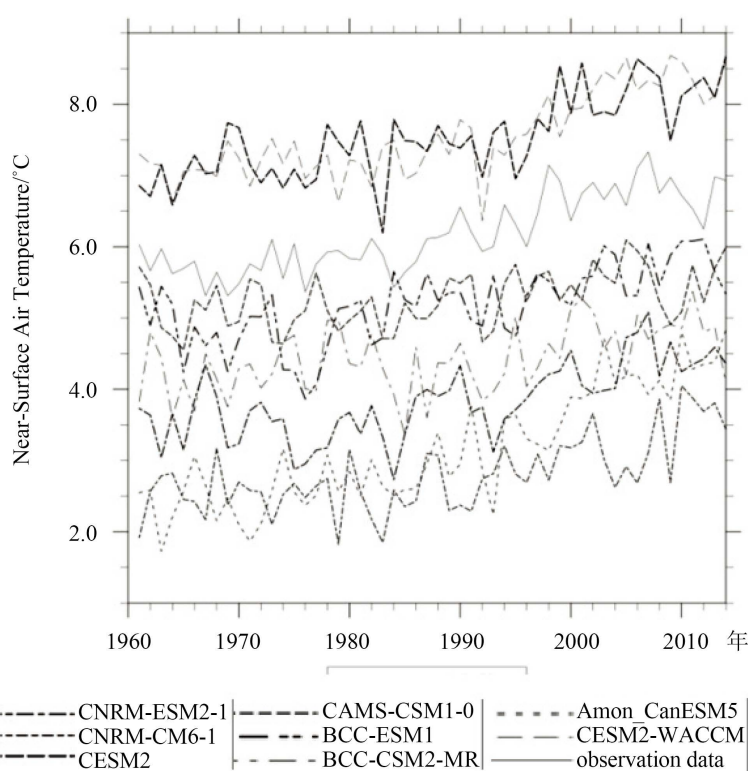


Figure 1. The mean temperature of models in China during 1961~2014

图 1. 模式 1960~2010 年中国区域平均温度模拟

Table 2. The change trend of models during 1961~2014

表 2. 1961~2014 年间模式平均增长速率

模式名称	CanESM5	BCC-CSM2-MR	BCC-ESM1	CAMS-CSM1-0
平均增长速率($^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)	0.43	0.06	-0.02	0.06
模式名称	CESM2	CNRM-CM6-1	CNRM-ESM2-1	CESM2-WACCM
平均增长速率($^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)	0.33	0.28	0.31	0.24

因为在这 54 年间，主要的增长时期是在 1976 到 2007 年，平均增长速率为 $0.51^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 所以为了更细致的比较，计算了 8 个模式在这段时期内的增长速率(表 3)。在这段时期内，我们可以看到所有的模式都呈现了增长的趋势，而且在总的 54 年内呈负趋势的 BCC-ESM1 也在这段时期内是有一个正的增长趋势的，而且是所有模式中 与观测资料增长趋势第二相近的。有这个结果的可能原因是由于 1961 到 2014 年这 54 年总的温度增长并不是特别大，而模式与观测资料间的差值可能是正值也可能是负值，也可能有大有小，从而导致的这个结果。模式中与这段增长区间速率最为相近的为 CNRM-ESM2-1，比例为 96%，

非常接近。为了更直观的看出模式对气温要素的总体变化趋势的模拟能力，计算了模式与观测数据之间的相关系数(表 4)，可以看到 CESM2-WACCM 是最好的，在 0.8 左右。最差的为 CNRM-CM6-1 相关系数在 0.54 而前面总的平均增长速率相差最大的模式相关系数也有 0.6 这说明看模式对中国区域平均气温的总体趋势的模拟能力，通过总的平均增长速率来评判不是特别准确。

Table 3. The change trend of models during 1976~2007

表 3. 1976~2007 年间模式平均增长速率

模式名称	CanESM5	BCC-CSM2-MR	BCC-ESM1	CAMS-CSM1-0
平均增长速率(°C/10a)	0.36	0.23	0.46	0.21
模式名称	CESM2	CNRM-CM6-1	CNRM-ESM2-1	CESM2-WACCM
平均增长速率(°C/10a)	0.31	0.18	0.49	0.31

Table 4. The correlation coefficients between models and observation data

表 4. 模式与观测数据之间的相关系数

模式名称	CanESM5	BCC-CSM2-MR	BCC-ESM1	CAMS-CSM1-0
相关系数	0.7792	0.5426	0.6435	0.5665
模式名称	CESM2	CNRM-CM6-1	CNRM-ESM2-1	CESM2-WACCM
相关系数	0.6826	0.5236	0.7228	0.7919

综合上述结果，说明模式对中国区域平均气温的总体的增长趋势是有较好的模拟能力的。而对观测资料的的增长趋势模拟能力最好的为 CESM2-WACCM。最后在总的增温趋势中有两个增加十分明显的时段，一个是在 1984 年到 1990 平均增温速率达到了 0.2°C/年。以及 1996 到 1998 年平均增温速率为 0.55°C/年，而大部分的模式在这两个时间段也表现出增温的趋势，只有少数的模式表现出了较前年下降的趋势，综合比较相关系数，说明大部分的模式对于中国区域气温要素的变化特征能有较具体的模拟能力。模式能大致的表现的中国地区气温要素变化的特征，但还是有些许差距，相关系数最大的也在 0.8 附近，说明在这方面模式还有待发展。观测资料表现出来的自 1970 年之后的增温与北半球以及全球的平均气温的年代际变化一致[9]。Delworth [10]等通过 GFDL 海气耦合模式研究认为这段时期的变暖是由于人类活动以及海气系统内部年代际变率共同的作用造成的。虽然在全球变暖的背景下，模式对中国地区气温要素模拟能力在总的趋势上有较好的性能，但是由图 1 可以看到在模式与观测数据之间的平均温度还是有些许差距的，大部分数据的折线都在观测数据的下方，模式相比于观测数据基本温度都是偏低的，只有两个模式有正的差值，模拟的温度数据比观测温度数据值要大。而模式和模式之间有的折线增长趋势以及温度模拟非常接近，比如 BCC-CSM2-MR 和 BCC-ESM1 之间，CESM2 和 CESM2-WACCM 之间，CNRM-CM6-1 和 CNRM-ESM2-1 之间。这三对模式的平均温度折线非常接近，温度相差不超过 1°C。这说明不同研发机构在模式中对大气物理过程中如水汽过程、正负反馈机制等是有差异的，而这种差异也就是导致模式与模式数据之间的不同。也因此来自同一研发机构的模式之间，对同一气象要素的模拟数据结果是相近的。周天军[11]等也指出对于 CMIP5 中的模式由于没有严格的限制准入条件，导致各个模式在性能上表现出较大的差异。由于模式与观测数据之间还是存在一定差值的，为了更清楚的显示出模式数据下对中国区域的平均气温的模拟与观测数据之间的差异，也对 8 个模式数据进行了简单的差值处理(图 2)。

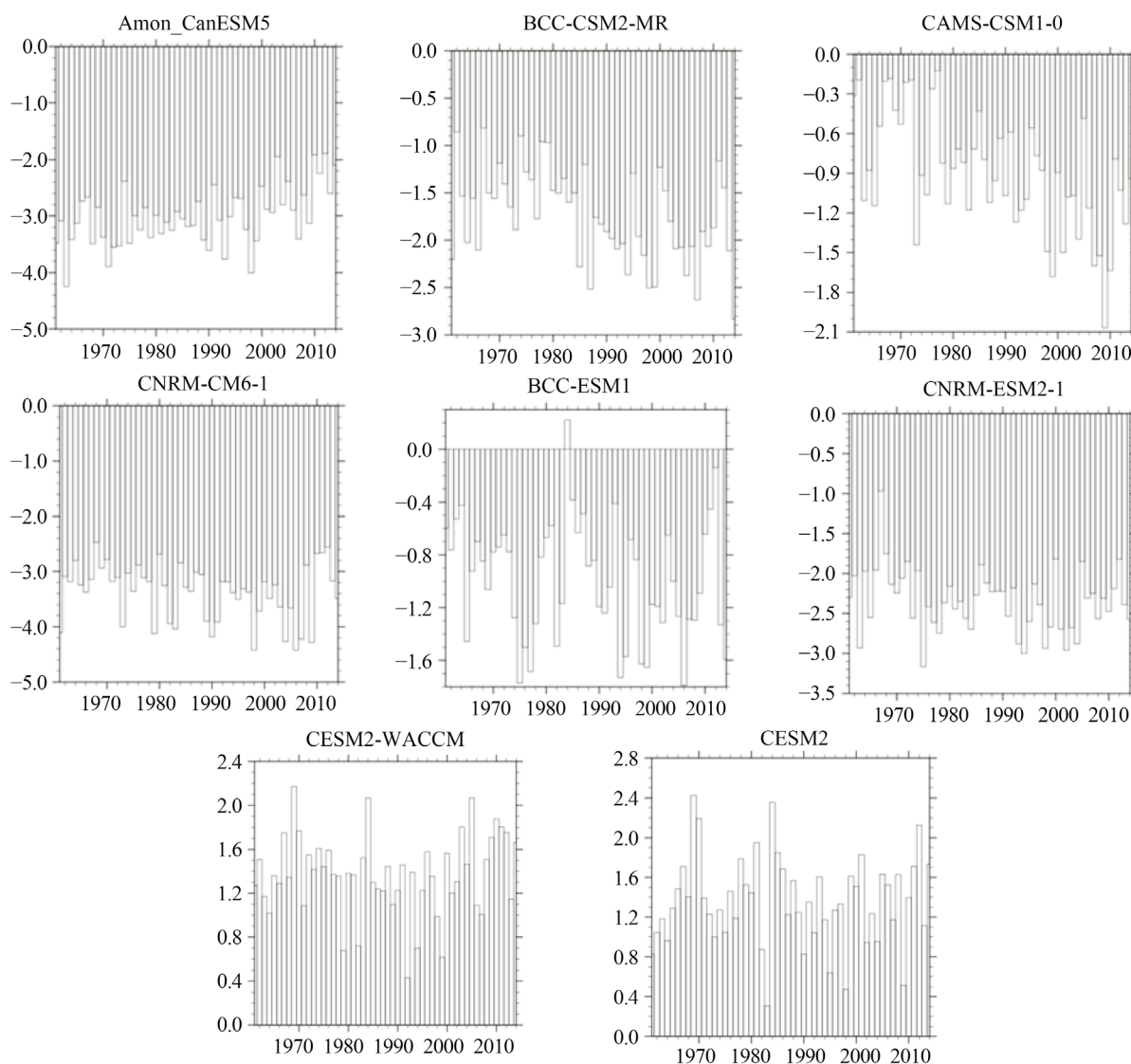


Figure 2. The difference between each model and observation data during 1961~2014

图 2. 1961 到 2014 年平均温度模式与观测数据差值

可以看到与前面折线图分析相同的结果,只有 CESM2 和 CESM2-WACCM 这两种模式下的平均气温比观测数据要高。其余的模式与观测资料都是负差值,都比观测温度的数据要低。而大部分的模式对气温的模拟性能都是不错的,差值都比较小,基本差值都是处于 2°C 左右。但是也有模拟性能不是很好的模式,与观测数据相差较大,其中 CNRM-CM6-1 模式与观测数据差值的绝对值都在 $3^{\circ}\text{C}\sim 4^{\circ}\text{C}$ 左右,不过最近几年 2010 到 2014 年间的误差就相对较小了,为 2°C 左右。而同样有这么大差值绝对值的为 CanESM5 模式,该模式在 2000 年到 2010 年间误差基本都在 4°C ,而对 1961 到 1970 间的气温模拟误差都普遍在 3°C 。误差较大的模式,对年份与年份之间的误差都不大,基本保持一个差值上下浮动。但是模拟能力相对较好的模式,年份之间的差异就非常大了,比如 BCC-ESM1,它所有年份间的误差都在 2°C 以内,但是年份间的误差却非常大,整个柱状图看起来是非常不平整的,在 1984 年出现了正差值为 0.2°C ,模拟最好的年份在 2013 年,差值绝对值仅为 0.1°C ,但在 2006 年差值为 -1.8°C ,年份之间差的最大有 2°C ,和它相似的还有 CAMS-CSM1-0 这个模式,在模拟性能好的年份,差值仅为 0.2°C ,在差值大的年份,甚至达

到了 2.1℃。所以在运用模式资料的时候,对年份之间误差都保持在一个水平线上的模式可以进行全部加减一个值,就能使模式的预测性能提高一些,但对年份之间相差较大的模式,如何从中选取合适的年份的数据就很重要了,要从不同时间序列中选到合适的、准确的,有代表性的数据。除此之外,CanESM5 模式随着年份的增加,模拟的性能是逐渐变好的,但是 CAMS-CSM1-0 模式,的模拟性能随着年份却是不断下降的,在 1990 年到 2014 年间的平均误差为 1.17 而 1861 到 1990 年的平均误差仅为 0.69。出现这个现象的原因可能是出于模式的不确定性。在以上的基础上,为了分析模式在时间序列的总的模拟能力,对模式 1961~2014 年间的模拟温度取了总的平均与这段时期内总的平均值进行了差值,得到了(图 3)。

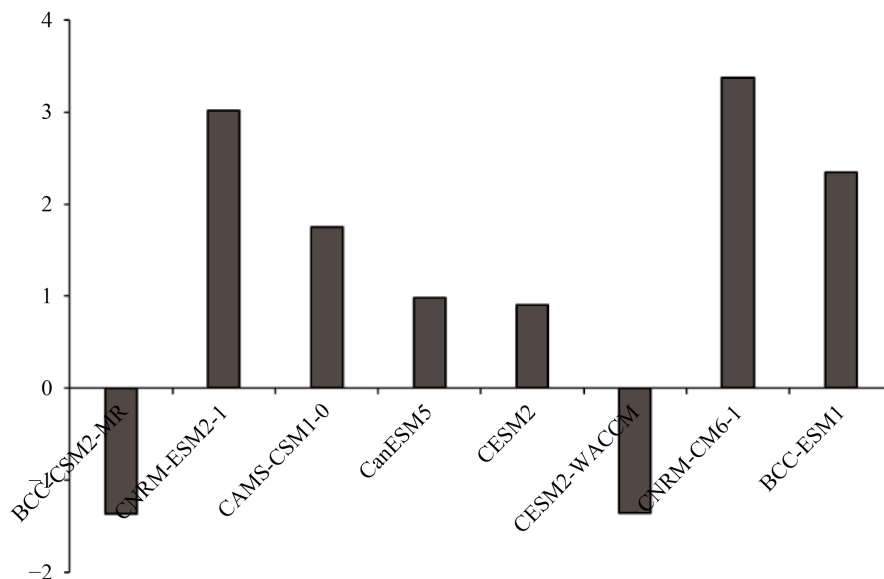


Figure 3. The difference between models mean and observation data during 1961~2014

图 3. 模式 1961 到 2014 年间总平均温度与观测数据差值

总的来说,误差都不是很大,模式在时间尺度上对气温要素有较好的模拟。可以看到模式在气温要素时间维度上的模拟性能最好的为 CAMS-CSM1-0 平均误差仅为 0.91℃,其次为 BCC-ESM1,平均误差为 0.99℃,也相差不是很大。接着是 CESM2、CESM2-WACCM、BCC-CSM2-MR 这些模式的平均误差都在 2℃ 以内,模拟性能都比较好。初此之外的模式,CAMS-ESM2-1 的平均误差在 2.35℃、而 CanESM5、CNRM-CM6-1 两个模式的误差都达到了 3℃。结合前面模式对气温要素总体趋势的模拟能力,我们可以看到,CNRM-CM6-1 这个模式在总的对时间维度上的模拟能力是比较差的,性能最好的是 CESM2-WACCM。也有 CAMS-CSM1-0 模式在总体的趋势模拟能力较差,但对年份的平均温度是较好的。所以在选取模式的时候,根据模式对模拟要素在不同方面的性能好坏来选取比较好。模式无法模拟出气温突变的特征。另外,我们能看到模拟性能较差的模式都是相较于其他模式的大气模式分辨率较低,说明大气模式分辨率也对模式的模拟能力有影响,但是 BCC-ESM1 这个模式的分辨率不高,差值却不是很大,说明在模式中对大气物理过程的描述是非常重要的,描述的差异造成了模式之间对气象要素模拟能力的差异,且影响是相较之分辨率更大的。我们也可以看到来自中国大气研究所的、本土的模式对我们中国区域的气温要素模拟能力是普遍较好的。也表现出了中国大气研究所对中国地区的大气物理过程的描述是比较符合实际情况的。CESM2 和 CESM2-WCCM 这两个模式具有相同的大气模式分辨率,且都来自于美国,但是数据结果却有所不同,也表现出了这个特征。最后根据以上两个方面(对中国区域气温变化的总体趋势以及对气温年平均变化)的模拟能力,得出所有的模式在时间维度上模拟性能的排名为

CESM2-WACCM、CAMS-CSM1-0、BCC-ESM1、CESM2、CNRM-CM6-1、CanESM5、BCC-CSM2-MR、CNRM-CM6-1。

3.2. 空间尺度下模式的模拟能力

在对模式做了区域平均取得模式在时间维度上的大致模拟能力后，为了对模拟能力的评估有更多方面的比较，了解模式对中国具体区域的模拟能力，对模式取了 1961~2014 年的平均温度，在空间尺度上与观测数据进行差值处理(观测数据减模式数据)，得到以下(图 4)。

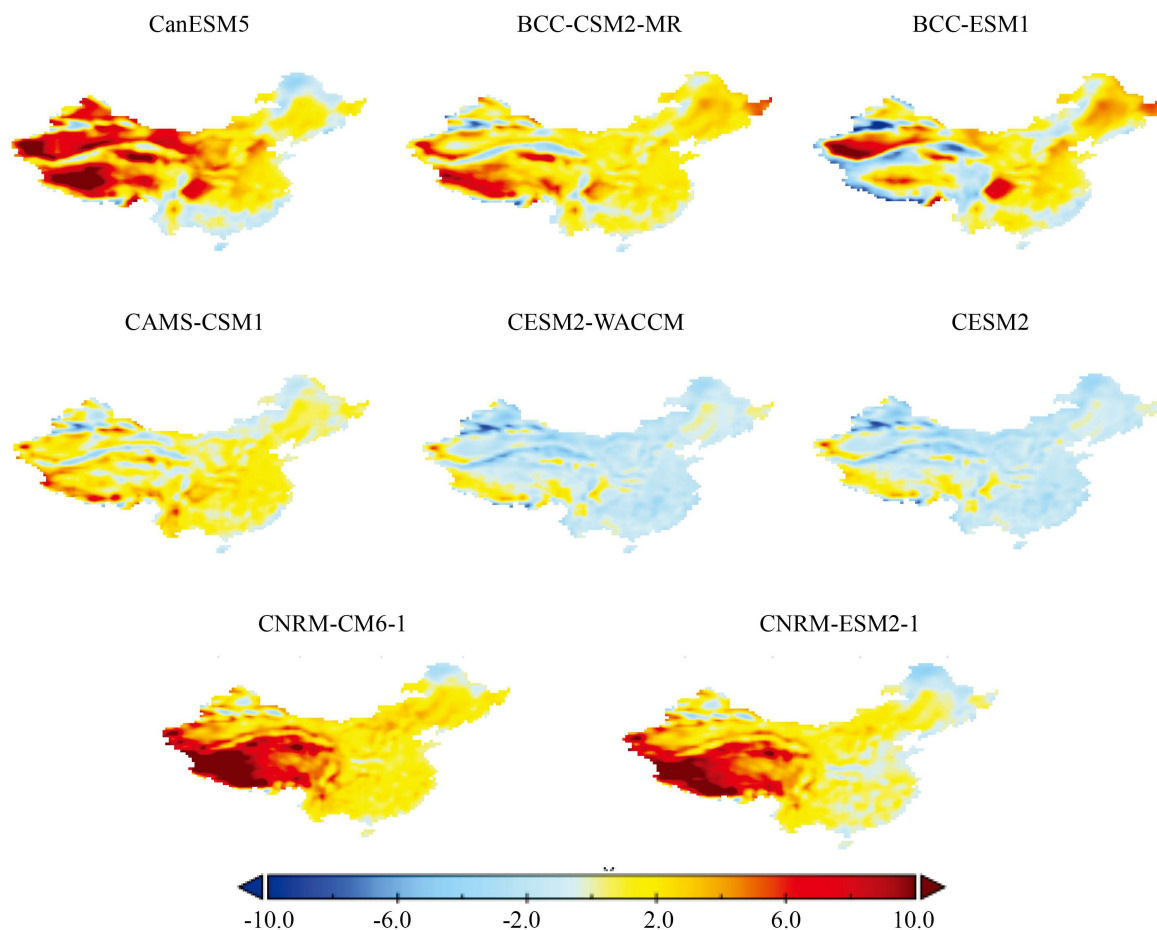


Figure 4. The spatial difference between models mean and observation data during 1961~2014

图 4. 1961 到 2014 年模式与观测数据区域平均温度差值

同样可以看到与前面相符的是只有 CESM2-WACCM 和 CESM2 对比观测数据的温度总体是偏高的，其他的模式数据基本都是偏低，最明显的是 CNRM-CM6-1，CNRM-ESM2-1 两个模式，几乎对中国全区域的温度都进行了较观测资料低的预测。其余的模式，虽然总体来说模拟数据都是比观测资料的温度低，但是与观测值出现暖偏差的地方都集中在了西部，且偏差都较大，在全国范围内，所有模式误差最大的地方基本都集中在了西藏的西部地区。同时由图可以看到所有的模式差值都很明显的能看出中国的几个典型的地形 - 青藏高原，四川盆地，天山山脉，在这些地方的偏差与周围地区都有明显的差距，地形会对模式的模拟性能产生影响。为了更清晰的看到模式与观测资料之间的空间相关性，对每个模式进行了空间相关系数的计算(表 5)。离 1 越近说明越相关，也就说明这个模式对中国地区空间上的模拟能力最好。

由图表可以看到，在所有的模式中，模式的模拟性能从高到低依次为 CESM2-WACCM，CESM2，CAMS-CSM1，BCC-CSM2-MR，CNRM-CM6-1，CNRM-ESM2-1，CanESM5，BCC-ESM1。而这个结果与大气模式分辨率完全相对应。大气模式分辨率高的，在空间维度上的模拟的能力表现的都比较好。最差的两个模式，大气模式分辨率都是最低的。所以如果要提高模式在空间尺度上的模拟能力，可以提高模式的大气水平分辨率。

Table 5. The spatial correlation coefficient between models and observation data
表 5. 模式与观测资料的空间相关系数

模式名称	CanESM5	BCC-CSM2-MR	BCC-ESM1	CAMS-CSM1-0
相关系数	0.9154	0.9600	0.9055	0.9725
模式名称	CESM2	CNRM-CM6-1	CNRM-ESM2-1	CESM2-WACCM
相关系数	0.9770	0.9521	0.9500	0.9777

总体来看，所有模式的空间相关系数都较大，说明所有的模式对中国地区气温要素在空间维度上的模拟能力都表现很好，都能较好的反映出中国地区平均气温的空间分布特征。在此基础上，我们可以看到所有模式都对黑龙江的西北部漠河温度模拟都偏高，有暖偏差，但差的并不多，大约为 2℃。在全球变暖的背景下，这里相较于全球也是增温比较明显的地方[12]，而且在年季变化方面，都是比较复杂的[13]。而对于青藏高原，和四川盆地以及新疆这种有着复杂地势的地形，都出现了较大的冷偏差。落桑曲加[14]等也通过 CMIP5 分析未来青藏高原地区的气温是有升温的趋势。在模拟性能较差的几个模式中，误差甚至能达到 12℃。由于模拟性能较好的三个模式在全中国来说，除了几个地形以外，差值都较小，所以除开他们以外，从总的区域模拟性能来说，所有的模式对中国的中部以及东南区域的气温模拟能力较好，差的小的能在 1℃以内，最多的也不会超过 2℃，偏差都较小。而误差在 4~5 东北地区次之，而西南以及新疆地区都有着非常大的偏差值，西南地区的误差都在 12℃左右模拟性能较差。对于青藏高原和四川盆地以及新疆这种偏差值较大的地区，误差相对较小的为 CESM2-WACCM 以及 CESM2 这两个模式，较次之的是 CAMS-CSM1，这几个模式的分辨率都是比较高的，因为在青藏高原这种复杂地形的区域的大气物理过程都比较复杂，很难准确的描述出来，有很多的干扰条件和不确定因素，所以如果要对有着复杂地形的区域做气温要素的模拟，可以选择提高大气模式分辨率，这是一个比较有效的方法。因为所有模式对青藏高原等复杂地形的模拟能力都较差，所以在之后要提高模式对气温要素在空间尺度上的模拟能力，让模式进一步发展，在提高模式大气模式分辨率的基础上，如何准确的表示出这些地方的大气物理过程，使模式在复杂地形的模拟更准确是一个必须解决的问题。

值得一提的是，在青藏高原这种高海拔的高原地形，由于观测站所处的海拔高度一般都是处于海拔较低的河谷地区而模式地形的海拔高度一般是代表大尺度的平均海拔，就会导致模式和观测资料的海拔高度相差较大。从而导致模式的模拟结果与观测资料之间的偏差。且青藏高原地区的观测站由于建立成本等耗费太大，所以观测站较少也导致了观测资料本身就存在着不确定性。由张蓓[6]等对通过 CMIP5 模式集合对中国气温预估偏差分析以及订正，看到模式在气温预估的一致性方面东部是高于西部的，而且在高排放的情景下会加剧西部地区模式气温模拟偏低的情况，并且会比东部更加明显。分析显示模式气温偏差会与地形偏差关联，存在气候漂移的现象，如果去除这种现象可以消除一部分地形以及插值的影响，且订正效果较好。

4. 结论

基于 CMIP6 中的 8 个模式对中国年平均气温变化的模拟结果，评估了 CMIP6 模式对中国区域在时

间和空间尺度上的气温要素模拟能力。

1) 在 1961 年到 2014 年中国区域的平均气温呈增温趋势的, 且大部分的模式同表现出升温的趋势, 能合理的模拟出中国平均气温变化的总特征。但是模式和模式之间以及模式和观测数据之间仍然有较大的差别。大部分的模式对较观测资料的平均气温较低, 低估基本在 2℃左右。

2) 从空间尺度来看, 模式能够较好的模拟出气温气候态的空间分布和中国的年平均气温的空间分布特征。模式对中国的中部以及南方的气温模拟能力较好, 其次是东北地区, 对青藏高原以及西北地区和四川盆地等地都有较大的冷偏差。提高模式的大气分辨率对模拟性能的提升有一定的效果。

3) 从时间平均和空间尺度两方面综合考虑, 将 8 个模式对中国地区气温要素模拟能力的性能进行了个排名, 从高到低依次为: ESM2-WACCM、CAMS-CSM1-0、CESM2、CNRM-CM6-1、BCC-ESM1、BCC-CSM2-MR、CanESM5、CNRM-CM6-1。

论文首先选取了 CMIP6 中的 8 个模式, 利用统计分析方法来对模式对中国区域气温的模拟能力进行评估。CMIP6 模式对中国区域的气温要素在时空分布的总体特征有较好的模拟性能。如果能利用更多的更有效的分析方法, 比如多模式集合, 加权平均等方法应该能对模式进行更多方面, 更全面的评估。同时由于模式本身有不确定性, 所以如何从众多模式中取得合适的以及可靠的数据, 也是利用模式进行研究的重要问题。

参考文献

- [1] 周天军, 邹立维, 陈晓龙. 第六次国际耦合模式比较计划(CMIP6)评述[J]. 气候变化研究进展, 2019, 15(5): 445-456.
- [2] 郭彦, 董文杰, 任福民, 赵宗慈, 黄建斌. CMIP5 模式对中国年平均气温模拟及其与 CMIP3 模式的比较[J]. 气候变化研究进展, 2013, 9(3): 181-186.
- [3] 张莉, 张艳武, 徐影. CMIP5 模式对中国地区气温模拟能力评估与预估[J]. 气候变化研究进展, 2016, 12(1): 10-19.
- [4] 梁苏洁. CMIP5 气候系统模式对中国冬季气温变化模拟评估及未来情景预估[J]. 气候变化研究快报, 2017, 6(5): 317-339.
- [5] 伍清, 蒋兴文, 鞋洁. CMIP5 模式对西南地区气温的模拟能力评估[J]. 高原气象, 2017, 36(2): 358-370.
- [6] IPCC. (2007) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, 1-47.
- [7] Zhou, T.J. and Yu, R.C. (2006) Twentieth-Century Surface Air Temperature over China and the Globe Simulated by Coupled Climate Models. *Journal of Climate*, **19**, 5843-5858. <https://doi.org/10.1175/JCLI3952.1>
- [8] 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.
- [9] Wang, S.W. and Gong, D.Y. (2000) Enhancement of the Warming Trend in China. *Journal of Geophysical Research*, **27**, 2581-2584. <https://doi.org/10.1029/1999GL010825>
- [10] Delworth, T.L. and Knutson, T.R. (2000) Simulation of Early 20th Century Global Warming. *Science*, **287**, 2246-2250. <https://doi.org/10.1126/science.287.5461.2246>
- [11] 周天军, 邹立维. IPCC 第五次评估报告全球和区域气候预估图集评述[J]. 气候变化研究进展, 2014, 10(2): 149-152.
- [12] 秦大河, 丁一汇, 苏纪兰, 等. 中国气候与环境演变[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 507-555.
- [13] 左洪超, 吕世华, 胡隐樵. 中国近 50 年气温及降水量的变化趋势[J]. 高原气象, 2004, 23(2): 238-244.
- [14] 洛桑曲加, 白玛. CMIP5 全球增温预测结果中青藏高原的气候变化[J]. 西藏大学学报: 社会科学版, 2016, 31(5): 52-62.