

CMIP6模式对我国西南地区降水分布的评估和预估

杨贵业, 裴宇菲, 宋敏红

成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都

收稿日期: 2021年10月8日; 录用日期: 2021年11月3日; 发布日期: 2021年11月10日

摘要

利用第六次国际耦合模式比较计划(CMIP6)的模式模拟结果和全国降水观测资料评估了20个全球模式对1961~2014年我国西南地区夏季降水以及夏季极端降水的模拟能力, 并选取模拟性能较好的7个模式进行集合平均, 预估了SSP126和SSP585两种情景下2015~2100年西南地区夏季降水的变化趋势。得到如下主要结论: 1) 20个模式模拟的西南地区夏季降水都偏多, 半数模式模拟的降水偏差超过50%, 大部分模式相对于观测值的标准差之比在1~1.5之间, 空间相关系数相差较大。2) 对西南地区夏季极端降水的模拟能力优于对夏季降水模拟能力, 模式模拟的主要降水中心基本与观测数据一致。3) 在SSP126情景下, 未来西南地区大部分地区夏季降水增多, 四川西北部、川西高原增多明显; 在SSP585情景下, 未来西南地区夏季降水整体呈增多趋势, 并从东北向西南逐渐升高。

关键词

CMIP6, 西南地区, 夏季降水, 评估和预估

Evaluation and Projection of Precipitation in Southwestern China Using CMIP6 Models

Guiye Yang, Yufei Pei, Minhong Song

College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan

Received: Oct. 8th, 2021; accepted: Nov. 3rd, 2021; published: Nov. 10th, 2021

Abstract

The model simulation results of the Sixth International Coupled Model Comparison Program (CMIP6) and national precipitation observations were used to evaluate the simulation ability of 20

global models for summer precipitation and summer extreme precipitation in southwest China from 1961 to 2014, and the seven models with better simulation performance were selected for ensemble averaging to predict the changes in summer precipitation trends in southwest China under the SSP126 and SSP585 scenarios from 2015 to 2100. The main conclusions are as follows: 1) The summer precipitation in southwest China simulated by 20 models are all excessive, half of the models have precipitation deviations of more than 50%, and the ratio of standard deviations of most models relative to the observed values is between 1 and 1.5, with large differences in spatial correlation coefficients. 2) The ability to simulate extreme summer precipitation in southwest China is better than that of summer precipitation, and the main precipitation centers simulated by the model are basically consistent with the observed data. 3) Under the SSP126 scenario, the future summer precipitation increases in most areas of southwest China, with obvious increases in northwestern Sichuan and the western Sichuan plateau; under the SSP585 scenario, the overall trend of future summer precipitation in southwest China increases and gradually rises from north-east to southwest.

Keywords

CMIP6, Southwest China, Summer Precipitation, Evaluation and Projection

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

气候模式已成为气候模拟、气候变化预测的重要工具,由世界气候研究计划(WCRP)耦合模式工作组(WGCM)组织的耦合模式比较计划(CMIP)已进行到了第6次。CMIP计划于1995发起,其最初的目的是为了比较当时数量有限的全球气候耦合模式的预报性能。此后,全球气候耦合模式快速发展,到CMIP6计划时共有来自33家机构的112个气候模式参加[1]。CMIP计划的数据结果在整个气象科学研究领域起到了重要的作用,如在第5次IPCC评估报告中,CMIP5计划的试验结果给予IPCC评估报告的编写重要支撑。

有效评估数值模式的模拟结果不仅能够帮助我们了解数值模式的模拟能力,发现模拟结果可能存在的问题,而且能够为改进和提升模式的模拟能力提供参考依据。张武龙等[2][3]评估了CMIP5的34个全球耦合气候模式对我国西南地区干湿季降水的模拟,结果表明约一半模式对西南地区干湿季降水有一定的模拟能力,大部分模式模拟的降水偏多,各个模式模拟能力差距较大;并指出21世纪初期西南地区干季川西高原降水将增多,其他大部分地区减少,湿季川西高原、贵州和广西大部分地区降水增多,四川盆地及攀西地区和云南降水减少。张琪等[4]指出西南地区降水量分布整体呈“东多西少”,高值区位于四川盆地的雅安地区和滇西南区,近48年西南地区年降水量总体上呈弱的减少趋势。Ling *et al.* [5]基于12个CMIP6全球模式实验数据对亚洲中高纬地区的极端降水进行了评估,指出在模拟极端降水的气候平均值时,CMIP6模式的集合平均相较于CMIP5模式模拟性能更好。同时,大多数新版本的模式模拟性能都优于CMIP5中旧版本,但大部分指数被高估了。汤稀晨等[6]评估了加拿大CanESM5模式和日本MIROC6模式年代际试验的结果对中国近地面气温预测能力,发现两个模式地面气温预测技巧年代际预报均优于历史模拟试验,两个模式在中国各个地区模拟能力都表现良好。辛晓歌等[7]和周天军等[8]研究指出BCC-CSM2-MR模式对历史气温的演变比BCC-CSM1.1m模式具有更好的模拟能力,且对21世纪

全球增暖减缓现象有较好的模拟能力,降水的模拟能力也有所提升。Luo *et al.* [9]评估了 CMIP6 和 CMIP5 模式中国极端温度的模拟能力,表明 CMIP6 模式能较好的再现日最高、日最低温度、霜冻日数的空间分布特征,模拟能力相较 CMIP5 模式有所提升,但是模式再现暖昼和冷夜的能力依旧不足。Tang *et al.* [10]评估了 FGOALS-f3-L 模式的两个实验数据,结果表明赤道太平洋地区海温对降水模拟影响显著,其影响主要集中在中低纬地区。

西南地区位于青藏高原东南部,地形复杂,青藏高原、云贵高原、四川盆地和横断山区等构成了该地区地貌的主要特征。因此,数值模式准确模拟出西南地区的降水存在很大的困难。从现有研究成果来看,CMIP 模式对我国西南地区降水的评估和预估研究并不多,特别是对最新的 CMIP6 模式在西南地区降水的评估则更少。因此,本文选取 20 个 CMIP6 模式对我国西南地区夏季降水的模拟性能进行评估,并选取模拟性能较好的模式进一步评估西南地区极端降水的模拟能力,从而预估 SSP126 和 SSP585 两种情景模式下 21 世纪西南地区夏季降水的变化。

2. 数据和方法

2.1. 数据来源

研究所用的观测数据来自于国家气象信息中心,是由该中心基础资料专项整编的中国地面高密度台站(约 2400 个国家级气象观测站)的降水资料,利用 ANUSPLIN 软件的薄盘样条法(TPS, Thin Plate Spline)进行空间插值,生成 1961~2018 年的水平分辨率 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 的中国地面逐月降水格点数据。

所用模式数据来自参与 CMIP6 计划的 20 个模式,其中我国研发的模式有 6 个,编号为 3、4、9、10、18、20,各个模式的详细信息见表 1。主要数据包括:1961~2014 年各个模式的历史试验数据和 2015~2100 年 SSP126、SSP585 两种未来情景试验的模拟数据。由于各个模式的空间分辨率相差较大,为了方便比较,将模式数据插值成与观测数据分辨率一致,即统一插值到 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 水平分辨率格点上。

Table 1. Overview of the 20 models participating in CMIP6

表 1. 20 个参与 CMIP6 计划的模式概况

序号	模式名称	所属国家/地区	模式分辨率	序号	模式名称	所属国家/地区	模式分辨率
1	ACCESS-CM2	澳大利亚	$1.875^\circ \times 1.250^\circ$	11	IITM-ESM	印度	$1.875^\circ \times 1.915^\circ$
2	AWI-CM-1-1-MR	德国	$0.938^\circ \times 0.938^\circ$	12	INM-CM4-8	俄罗斯	$2.000^\circ \times 1.500^\circ$
3	BCC-CSM2-MR	中国	$1.125^\circ \times 1.125^\circ$	13	IPSL-CM6A-LR	法国	$2.500^\circ \times 1.259^\circ$
4	CAMS-CSM1-0	中国	$1.125^\circ \times 1.125^\circ$	14	KACE-1-0-G	韩国	$1.875^\circ \times 1.250^\circ$
5	CanESM5	加拿大	$2.813^\circ \times 2.813^\circ$	15	MIROC6	日本	$1.406^\circ \times 1.406^\circ$
6	CESM2-WACCM	美国	$1.250^\circ \times 0.938^\circ$	16	MPI-ESM1-2-HR	德国	$0.938^\circ \times 0.938^\circ$
7	CMCC-CM2-SR5	意大利	$1.250^\circ \times 0.938^\circ$	17	MRI-ESM2-0	日本	$1.125^\circ \times 1.125^\circ$
8	EC-Earth3	欧盟	$0.703^\circ \times 0.703^\circ$	18	NESM3	中国	$1.875^\circ \times 1.875^\circ$
9	FGOALS-f3-L	中国	$1.250^\circ \times 1.000^\circ$	19	NorESM2-LM	挪威	$2.500^\circ \times 1.875^\circ$
10	FIO-ESM-2-0	中国	$1.250^\circ \times 0.938^\circ$	20	TaiESM1	中国	$1.250^\circ \times 0.938^\circ$

2.2. 方法介绍

使用泰勒图方法[11]来评估模式对西南地区降水的模拟能力,并根据泰勒图结果选取性能较好的几个模式对夏季极端降水的模拟能力进行评估。使用百分位法选取极端降水的阈值,即将每个格点的降水数据进行排序,然后选取某个百分位的数据作为阈值,这里选取 95%百分位的数据作为极端降水的阈值,大于该阈值的降水则认为是极端降水。

3. 降水的模拟性能评估

3.1. 夏季降水

3.1.1. 平均偏差

图 1 是 1961~2014 年 20 个 CMIP6 模式模拟的我国西南地区夏季平均降水偏差。由图 1 可以看出,所有模式的平均降水偏差均为正值,这表明模式模拟的降水相对于观测值偏多,其中有 6 个模式的偏差在 60%~90%之间,6 个模式的偏差在 30%~60%之间,8 个模式的偏差在 0%~30%之间,最高偏差不超过 90%;平均偏差较小的模式有 3 个,分别是 CAMS-CSM1-0、FGOALS-f3-L、IPSL-CM6A-LR,平均偏差分别为 5.8%、8%、8.9%。6 个我国研发的模式中,BCC-CSM2-MR、CAMS-CSM1-0、FGOALS-f3-L 模式平均偏差较小,均低于 20%;FIO-ESM-2-0、NESM3、TaiESM1 模式的平均偏差则较大,在 50%~90%之间。

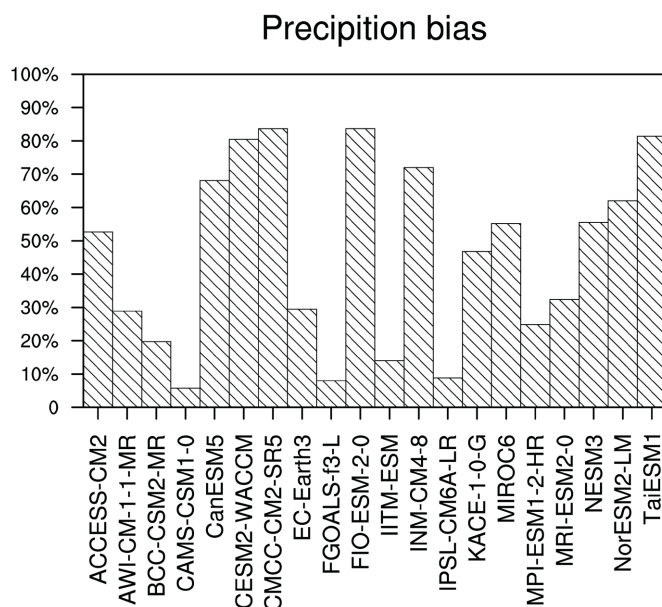


Figure 1. Average deviation of summer precipitation simulated and observed by each model in southwest China in 1961~2014
图 1. 1961~2014 年我国西南地区各模式模拟与观测的夏季降水平均偏差

3.1.2. 空间分布

从编号为 1~5 的模式以及观测值的西南地区夏季降水分布(图 2)可以看出, ACCESS-CM2 模式模拟的降水中心在四川西南部、贵州南部及云南西南部,最大降水量达到 360 mm; AWI-CM-1-1-MR 模式模拟的降水中心位于四川盆地西部、四川西南部及云南西南部,最大降水量达到 320 mm; BCC-CSM2-MR 模式模拟的降水中心位于四川盆地西部(呈带状分布)、云南西南部,最大降水量达到 340 mm; CAMS-CSM1-0 模式模拟的降水中心位于四川盆地西部,最大降水量达到 260 mm; CanESM5 模式模拟的降水中心位于川西高原,最大降水量达到 520 mm。对比图 2(f)可知, AWI-CM-1-1-MR 模式模拟的降

水中心位置最接近观测；从降水量级上来看，除了 CanESM5 模式降水中心降水量达到 500 mm 以上外，其余 4 个模式最大降水都在 200~280 mm 左右。

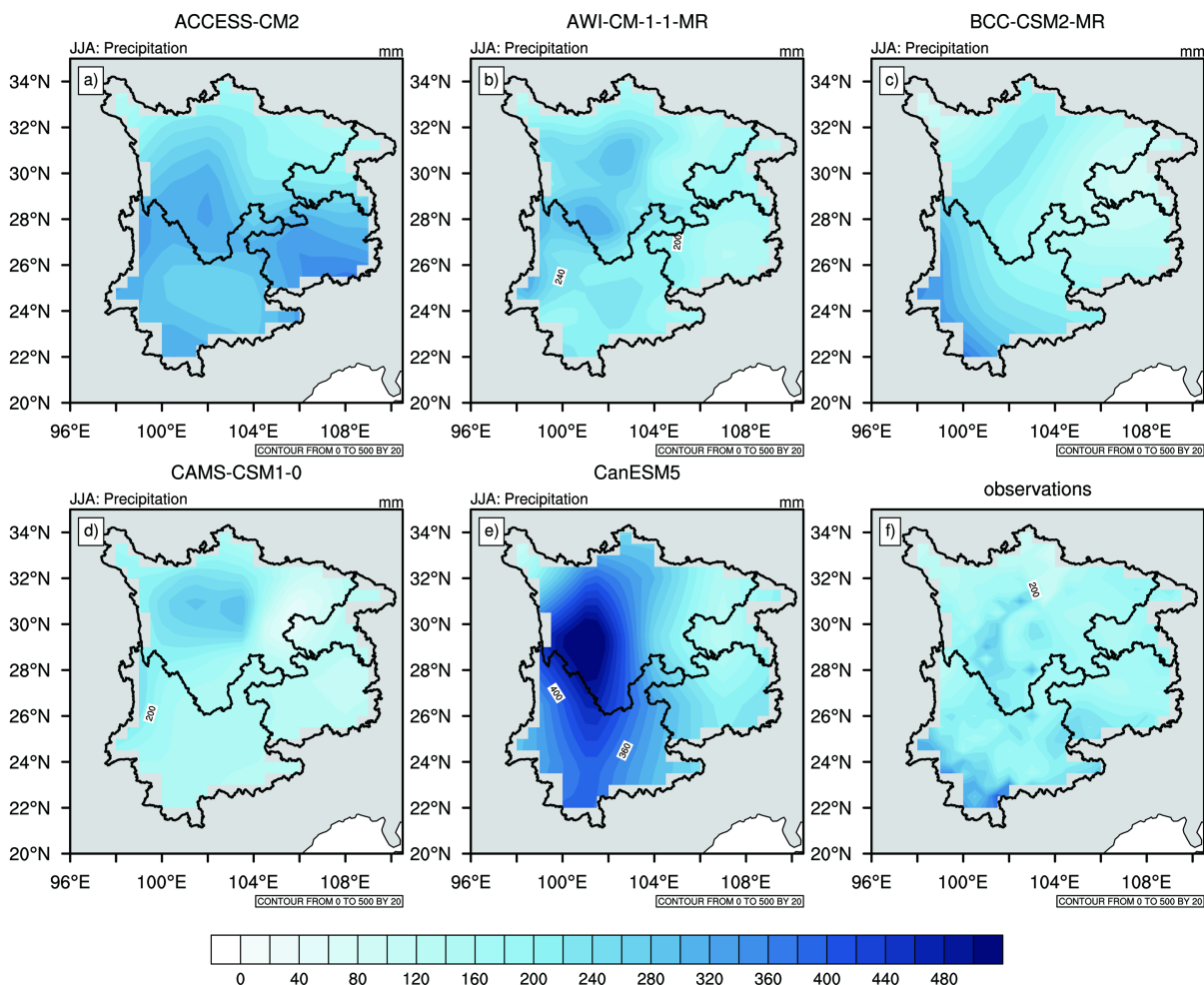


Figure 2. Spatial distribution of simulated (a)~(e) and observed (f) mean summer precipitation in the southwest (Unit: mm) of 1~5 models in 1961~2014

图 2. 1961~2014 年编号 1~5 模式模拟的(a)~(e)和观测的(f)西南地区平均夏季降水的空间分布(单位: mm)

从图 3 可看出，CESM2-WACCM 模式模拟的降水中心位于四川盆地西部以及云南西南部，最大降水量达到 500 mm；CMCC-CM2-SR5 模式模拟的降水中心位于四川盆地西部、云南西部，最大降水量达到 680 mm；EC-Earth3 模式模拟的降水中心位于四川盆地西部、云南和四川交界处、云南西南部以及云南贵州交界处，最大降水量达到 450 mm；FGOALS-f3-L 模拟的降水中心位于云南西部以及四川盆地西部有一个量级较小的降水中心，最大降水量达到 440 mm；FIO-ESM-2-0 模式模拟的降水中心位于四川盆地西部、云南西部以及云南和贵州交界处，最大降水量达到 680 mm。

从编号 11~15 模式模拟和观测的西南地区平均夏季降水分布(图 4)可看出，IITM-ESM 模式模拟的降水中心位于川西高原以及云南西部，最大降水量达到 260 mm；INM-CM4-8 模式模拟的降水中心位于四川西北部、云南南部，最大降水量达到 460 mm；IPSL-CM6A-LR 模式模拟的降水中心位于四川北部、云南南部大部分地区、贵州南部，最大降水量达到 300 mm；KACE-1-0-G 模拟的降水中心位于四川南部、云南西部，最大降水量达到 360 mm；MIROC6 模式模拟的降水中心位于四川盆地西部、云南西部以及云

南和贵州交界处, 最大降水量达到 450 mm。从图 5 可看出, MPI-ESM1-2-HR 模式模拟的降水中心位于四川盆地西部、四川云南交界处、云南西部以及云南东部, 最大降水量达到 300 mm; MRI-ESM2-0 模式

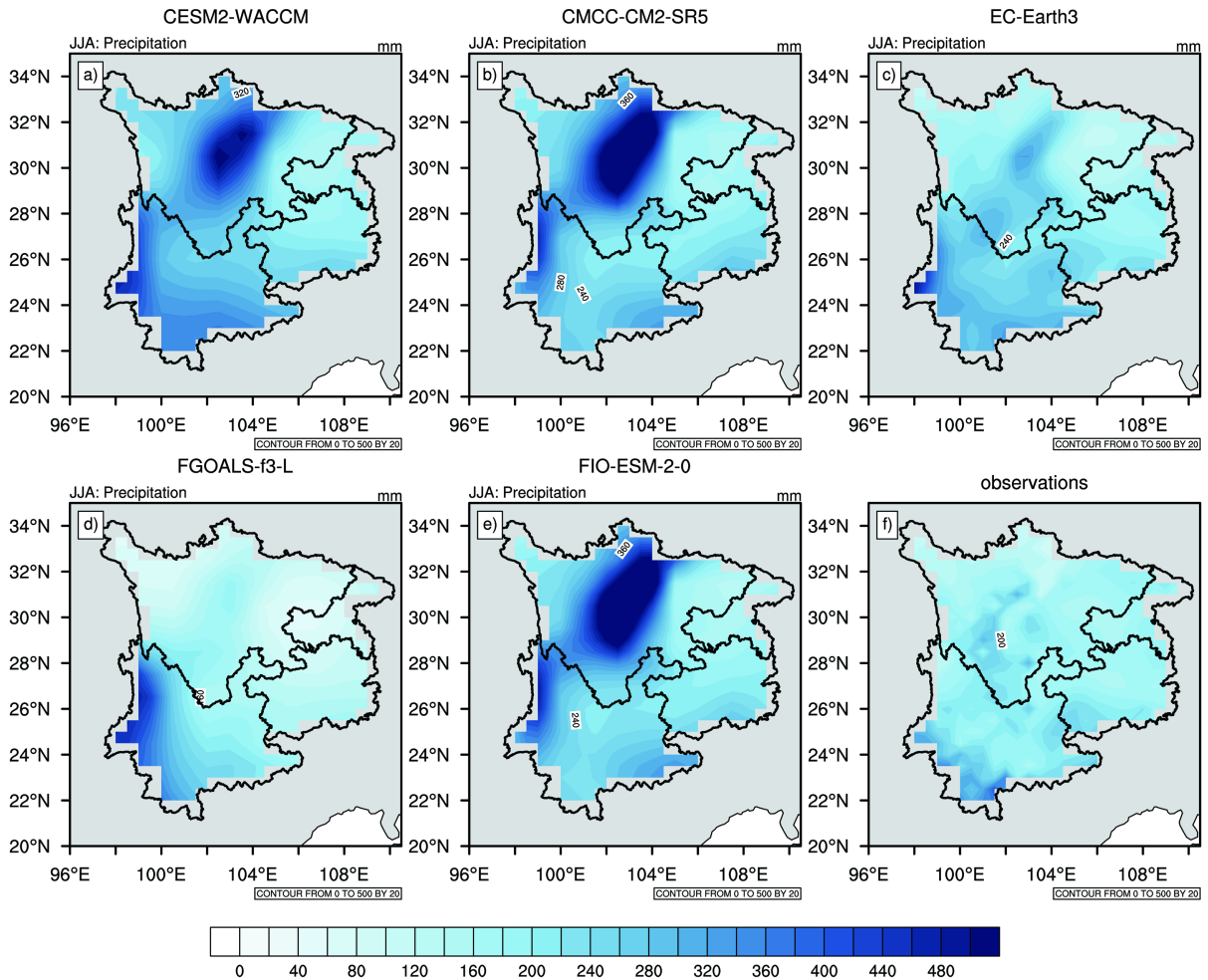
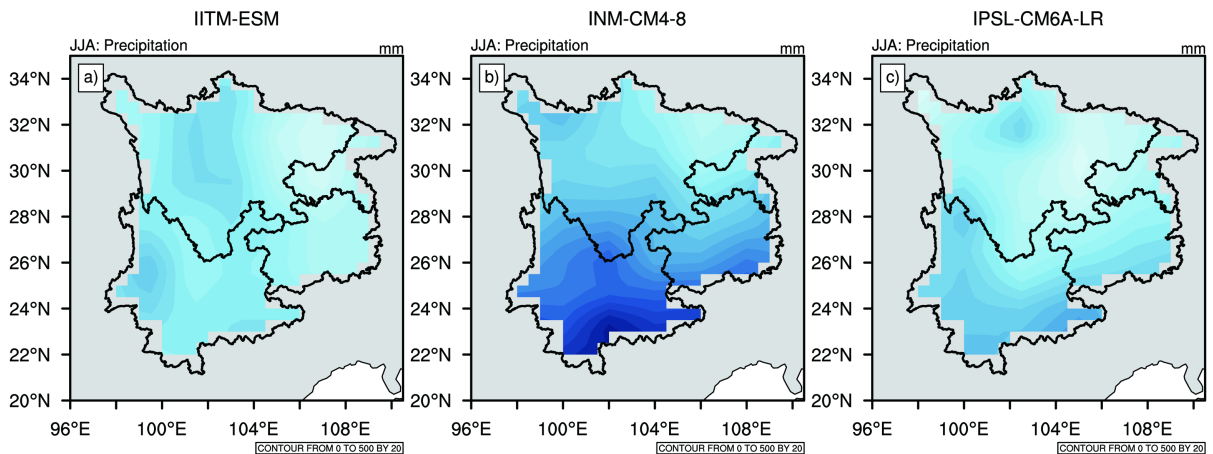


Figure 3. Spatial distribution of simulated (a)~(e) and observed (f) mean summer precipitation in the southwest (Unit: mm) of 6~10 models in 1961~2014

图 3. 1961~2014 年编号 6~10 模式模拟的(a)~(e)和观测的(f)西南地区平均夏季降水的空间分布(单位: mm)



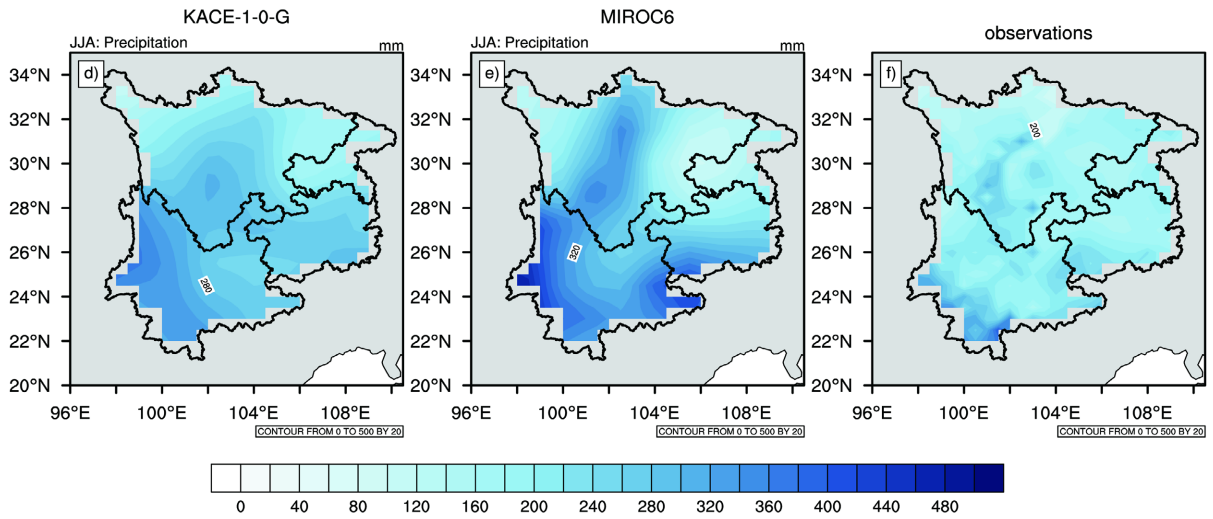


Figure 4. Spatial distribution of simulated (a)~(e) and observed (f) mean summer precipitation in the southwest (Unit: mm) of 11~15 models in 1961~2014

图 4. 1961~2014 年编号 11~15 模式模拟的(a)~(e)和观测的(f)西南地区平均夏季降水的空间分布(单位: mm)

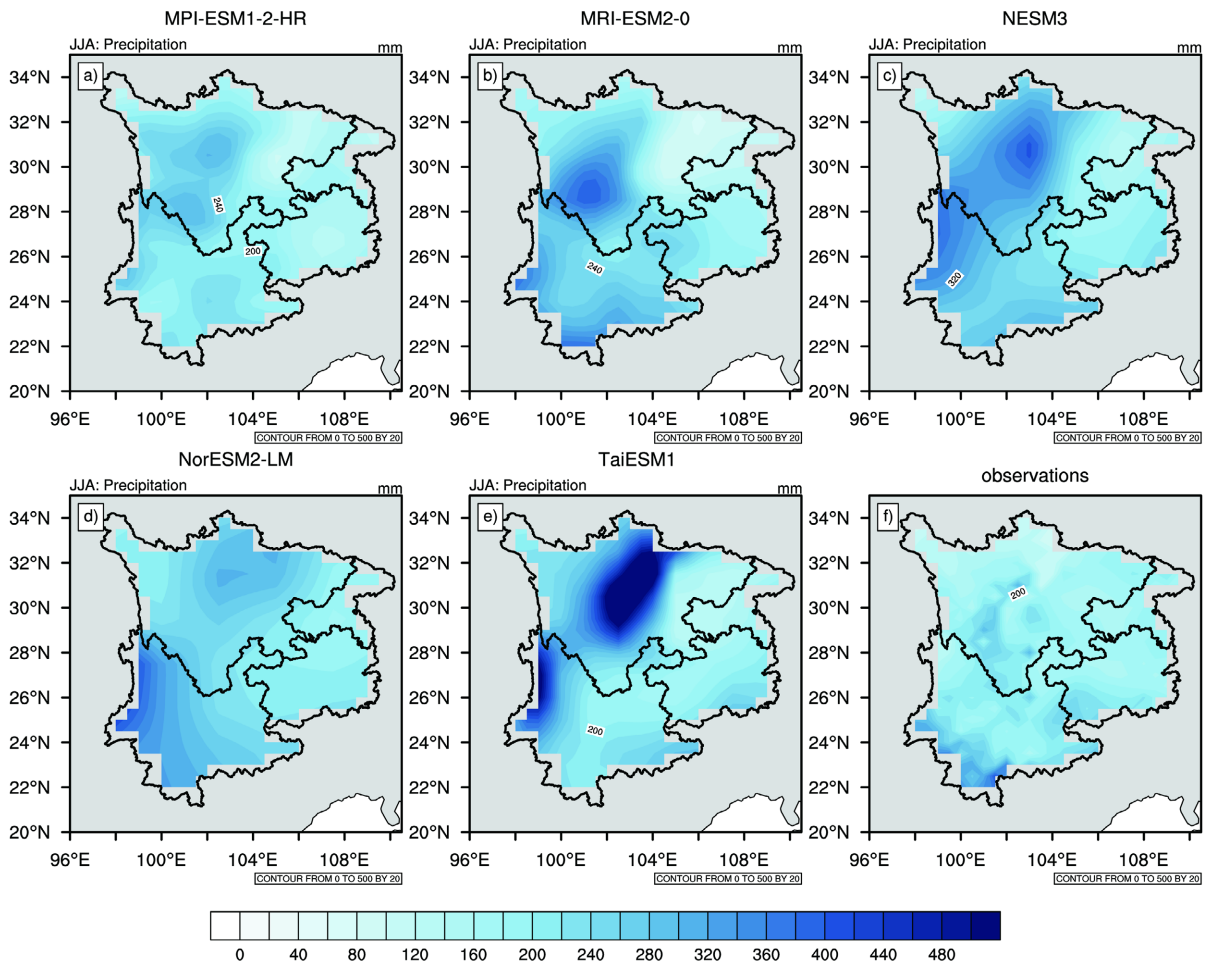


Figure 5. Spatial distribution of simulated (a)~(e) and observed (f) mean summer precipitation in the southwest (Unit: mm) of 16~20 models in 1961~2014

图 5. 1961~2014 年编号 16~20 模式模拟的(a)~(e)和观测的(f)西南地区平均夏季降水的空间分布(单位: mm)

模拟的降水中心位于四川南部、云南西南部以及云南和贵州交界处，最大降水量达到 360 mm；NESM3 模式模拟的降水中心位于四川盆地西部、云南西部、云南东南部，最大降水量达到 400 mm；NorESM2-LM 模式模拟的降水中心位于四川盆地西南部、云南西部，最大降水量达到 400 mm；TaiESM1 模式模拟的降水中心位于四川盆地西部、云南西部，最大降水量达到 600 mm。

由观测值的降水分布可以看到(图 2~5 中(f))，观测值的降水中心位于川西高原、四川盆地西部、云南西南部以及云南和贵州交界处，云南西南部为降水量最大的降水中心，最高达到 450 mm，其余降水中心最大值在 300 mm 左右。

综上所述，在对于夏季降水降水量模拟方面，从空间分布图上能够看到所有的模式模拟的降水量是偏多的，这与之前平均降水偏差的评估结果一致。其中可以明显看出 CanESM5、CESM2-WACCM、FIO-ESM-2-0、CMCC-CM2-SR5、FIO-ESM-2-0、TaiESM1 在主要的降水中心模拟的降水量明显过多。在对于主要降水中心位置的描述方面，从观测数据的空间分布能够看出，西南地区夏季降水主要降水中心位于川西高原、四川盆地西部、云南西南部以及云南和贵州交界处，根据模式的降水空间分布，可以看出除 CanESM5、INM-CM4-8 两个模式外，其他模式模拟的主要降水中心位置基本与观测数据一致。在张武龙等[2]对 CMIP5 模式的评估指出，在其评估的 34 个模式中，绝大部分模式对西南地区的降水模拟偏多，这与本文得到结果相同。

3.1.3. 泰勒图

为了定量评估 CMIP6 计划的 20 个模式对西南地区夏季降水的模拟性能，使用泰勒图方法进一步对模式进行评估。图 6 给出了 1961~2014 年西南地区夏季降水的泰勒图，从图 6 可以看出各个模式的模拟能力相差较大，并且模式模拟的降水普遍偏多，这与前面分析结果相一致。大部分模式与观测的标准差之比在 1~1.5 之间，仅 3 个模式标准差之比在 0.75~1 之间，第 10、11 号模式标准差之比较大，但是最大不超过 2.0，第 7 号模式由于数据存在问题，故不考虑；各个模式与观测值的空间相关系数大小从-0.04 到 0.62 分布较散，最大值为 INM-CM4-8 的 0.62。

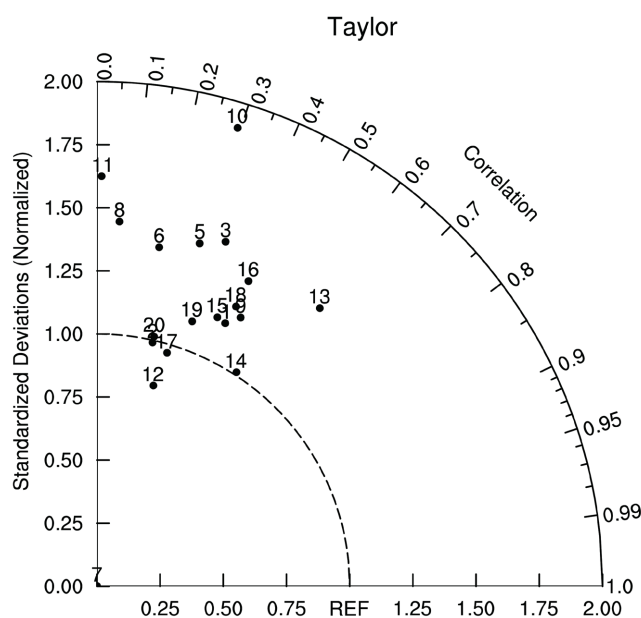


Figure 6. Taylor distribution of summer precipitation in the southwest simulated by the CMIP6 model from 1961 to 2014 (Radius indicates the ratio of standard deviation of model and observations; azimuth indicates spatial correlation coefficient; REF indicates observations)

图 6. 1961~2014 年 CMIP6 模式模拟的西南地区夏季降水的泰勒分布(半径表示模式和观测值的标准差之比；方位角表示空间相关系数；REF 表示观测)

根据泰勒图中结果，选取空间相关系数大于 0.4 且标准差之比在 0.75~1.5 之间的模式为模拟能力较好的模式，认为其结果更可信。最终选出 7 个模式，分别是：ACCESS-CM2、EC-Earth3、INM-CM4-8、IPSL-CM6A-LR、KACE-1-0-G、MIROC6、MRI-ESM2-0。下面对西南地区极端降水和未来夏季降水预估时均选用这 7 个模式的结果或这些模式集合平均结果。

3.2. 极端降水

比较 ACCESS-CM2、EC-Earth3、INM-CM4-8、IPSL-CM6A-LR、KACE-1-0-G、MIROC6、MRI-ESM2-0 等模式模拟的西南地区极端降水平均偏差情况(图略)可知，通过泰勒图选取出的模式模拟的降水量偏差较小，在-13%~22%以内，明显优于模拟的夏季平均降水。

从所选 7 个模式模拟的性能地区夏季极端降水空间分布(图 7)可以看出，各模式能够模拟出川西高原、四川盆地西部以及云南西南部的大值降水中心，模拟的极端降水分布基本与观测一致，相对于夏季降水模拟得更准确。

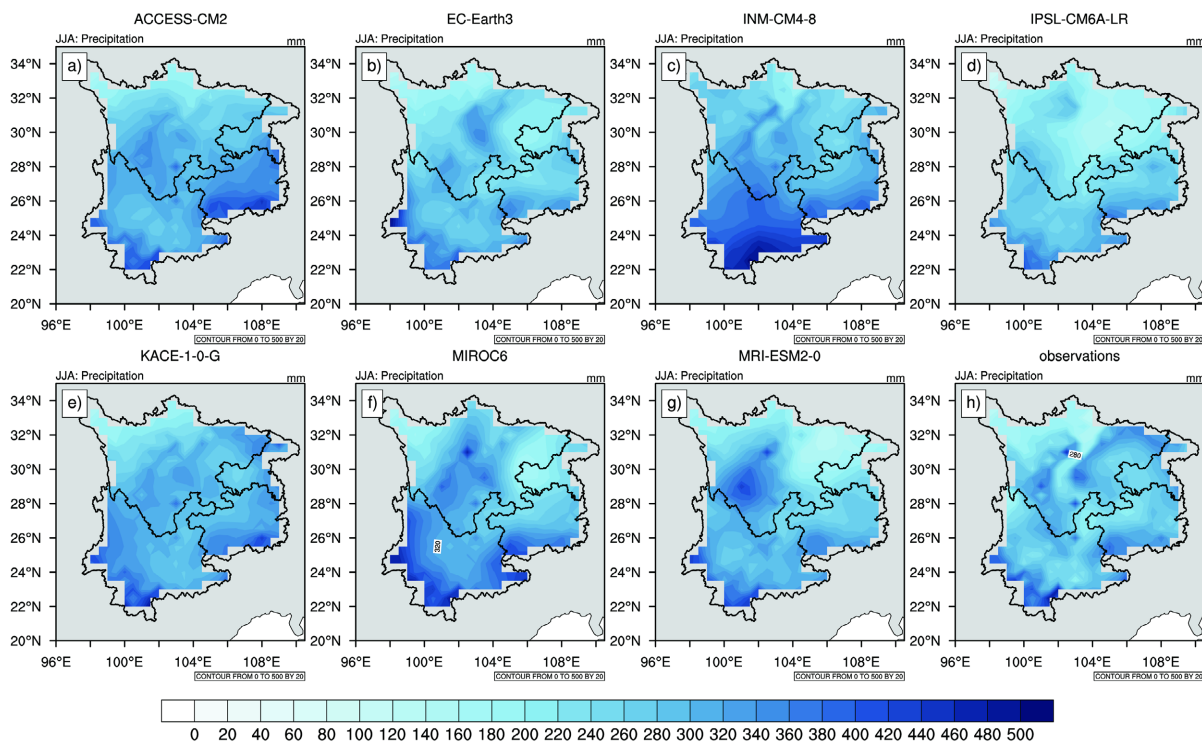


Figure 7. Spatial distribution of simulated (a)~(e) and observed (f) extreme summer precipitation in the southwest of the seven selected models from 1961 to 2014 (Unit: mm)

图 7. 1961~2014 年 7 个模式模拟的(a)~(e)和观测的(f)西南地区夏季极端降水的空间分布(单位: mm)

4. 未来预估

集合平均是集合预报最基本的产品，通常比单一模式预报更为准确。选取 7 个模拟性能较优的模式利用在 SSP126 和 SSP585 两种未来情景下的等权重集合平均结果预测 2015~2100 年西南地区夏季降水的变化。

从图 8 可以看出，两种情景下西南地区的降水均呈增加的趋势，SSP585 情景下增加更为明显，可见，未来 SSP585 情景下，西南地区夏季极端降水明显增多，2100 年极端降水已达到 295 mm，而 SSP126 情景下，2100 年极端降水不足 260 mm。

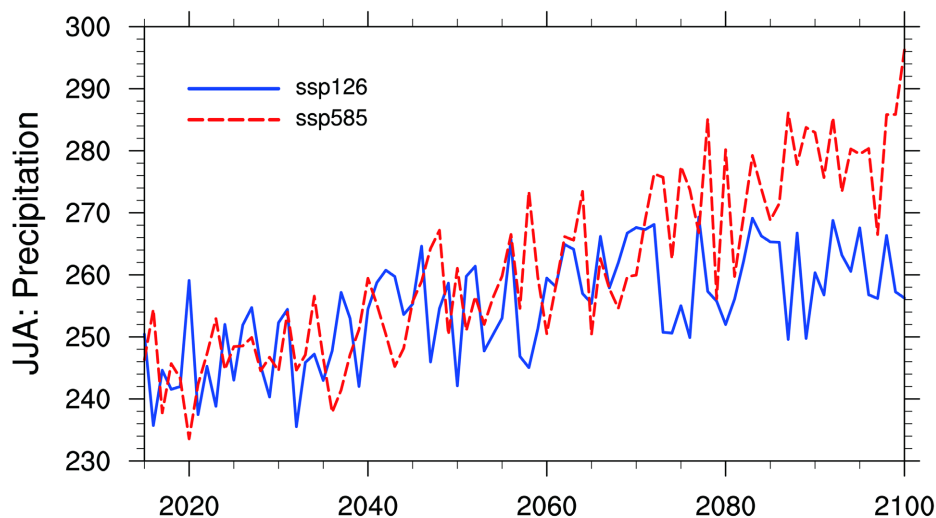


Figure 8. Temporal evolution of summer precipitation in the southwest under the two scenarios SSP126 and SSP585 from 2015 to 2100 (Unit: mm)

图 8. 2015~2100 年 SSP126、SSP585 两种情景下西南地区夏季降水的时间演变(单位: mm)

在 SSP126 情景下,我国西南地区夏季的降水变化趋势为大部分地区降水将增多,最高达到 10 mm/10a,具体为四川西北部以及川西高原明显增多,贵州、云南交界处增加趋势较明显,云南西部增加的趋势不明显;在 SSP585 情景下,我国西南地区夏季的降水变化趋势整体也表现为增加的趋势,最高达到 10 mm/10a,整体上从东北向西南降水增加的趋势逐渐升高(图 9)。

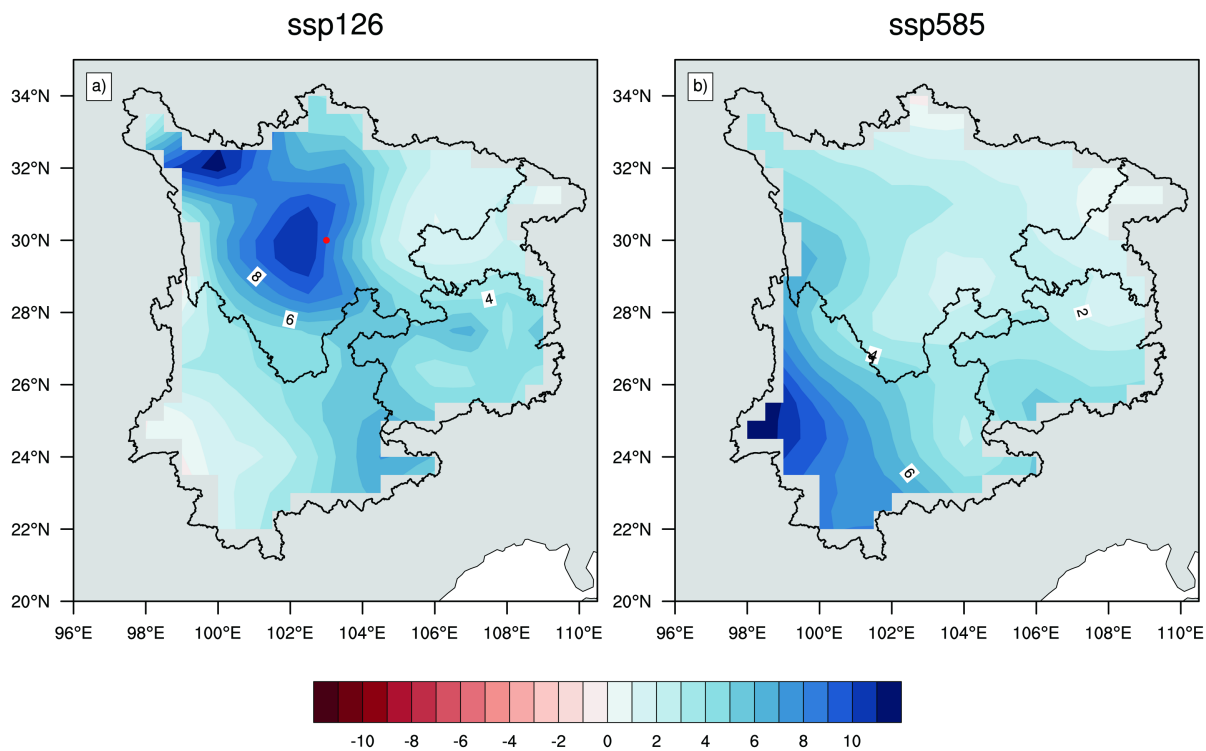


Figure 9. Trends of summer precipitation in southwest China under two scenarios of SSP126 (a) and SSP585 (b) from 2015 to 2100 (Unit: mm/10a)

图 9. 2015~2100 年 SSP126 (a)、SSP585 (b)两种情景下西南地区夏季降水的变化趋势(单位: mm/10a)

5. 结论

基于国家气候中心的逐月观测数据评估了 20 个 CMIP6 模式对西南地区夏季降水和夏季极端降水的模拟能力, 并对未来 SSP126 和 SSP585 两种情景下西南地区夏季降水的变化进行预估。得到如下主要结论:

1) 20 个模式中夏季降水偏差在 60% 至 90% 之间和 30% 至 60% 之间各有 6 个模式, 8 个模式模拟结果的偏差在 0% 至 30% 之间, 最高偏差不超过 90%。西南地区夏季降水主要降水中心位于四川盆地西部以及云南西南部, 除 CanESM5、INM-CM4-8 两个模式外, 其他模式模拟的主要降水中心位置基本与观测数据一致, 这说明大部分模式对降水空间分布的模拟能力较好。

2) 各个模式的模拟能力相差较大, 且模拟降水普遍偏多。大部分模式与观测的标准差之比在 1~1.5 之间, 有 3 个模式标准差之比在 0.75~1 之间; 各个模式与观测值的空间相关系数大小在 -0.04~0.62 之间, 最大可达 0.62。

3) 所选 7 个模式对西南地区夏季极端降水的模拟能力明显好于对夏季降水, 特别是夏季极端降水量级的模拟, 降水偏差在 -15%~20% 之间, 且模式模拟的主要降水中心基本与观测一致。

4) 在 SSP126 情景下, 西南地区夏季的降水变化趋势为大部分地区增多; 在 SSP585 情景下, 西南地区夏季降水变化趋势整体呈增多趋势, 整体上从东北向西南降水增加的趋势逐渐升高。

基金项目

成都信息工程大学科研基金项目(KYTZ201721)。

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] 张武龙, 张井勇, 范广洲. CMIP5 模式对我国西南地区干湿季降水的模拟和预估[J]. 大气科学, 2015, 39(3): 559-570.
- [3] 张武龙, 张井勇, 范广洲. 我国西南地区干湿季降水的主模态分析[J]. 大气科学, 2014, 38(3): 590-602.
- [4] 张琪, 李跃清. 近 48 年西南地区降水量和雨日的气候变化特征[J]. 高原气象, 2014, 33(2): 372-383.
- [5] Chen, H.P., Sun, J.Q., Lin, W.Q. and Xu, H.W. (2020) Comparison of CMIP6 and CMIP5 Models in Simulating Climate Extremes. *Science Bulletin*, **65**, 1415-1418. <https://doi.org/10.1016/j.scib.2020.05.015>
- [6] 汤秭晨, 李清泉, 王黎娟, 伍丽泉. CMIP6 年代际试验对中国气温预测能力的初步评估[J]. 气候变化研究进展, 2021, 17(2): 162-174.
- [7] 辛晓歌, 吴统文, 张洁, 张芳, 李伟平, 张艳武, 路屹雄, 房永杰, 颀卫华, 张莉, 董敏, 史学丽, 李江龙, 储敏, 刘茜霞, 颜光辉. BCC 模式及其开展的 CMIP6 试验介绍[J]. 气候变化研究进展, 2019, 15(5): 533-539.
- [8] 周天军, 陈梓明, 邹立维, 陈晓龙, 俞永强, 王斌, 包庆, 鲍颖, 曹剑, 何编, 胡帅, 李立娟, 李建, 林岩鑫, 马利斌, 乔方利, 容新尧, 宋振亚, 唐彦丽, 吴波, 吴统文, 辛晓歌, 张贺, 张明华. 中国地球气候系统模式的发展及其模拟和预估[J]. 气象学报, 2020, 78(3): 332-350.
- [9] Luo, N., Guo, Y., Gao, Z.B., Chen, K.X. and Chou, J.M. (2020) Assessment of CMIP6 and CMIP5 Model Performance for Extreme Temperature in China. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, **13**, 589-597. <https://doi.org/10.1080/16742834.2020.1808430>
- [10] Tang, Y.Q., He, B., Bao, Q., Liu, Y.M., Li, J.X. and Wu, G.X. (2020) The Climate Variability in Global Land Precipitation in FGOALS-f3-L: A Comparison between GMMIP and Historical Simulations. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, **13**, 559-567. <https://doi.org/10.1080/16742834.2020.1776088>
- [11] Venkatram, A. (2008) Computing and Displaying Model Performance Statistics. *Atmospheric Environment*, **42**, 6862-6868. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.04.043>