

张娇艳^{1,2} 李扬³ 吴战平¹ 李忠燕¹ 段莹¹

CMIP5 全球气候模式对贵州省极端气温的预估

摘要

利用泰勒图客观地评估了贵州省在参照时段 1986—2005 年 8 个 CMIP5 模式试验结果对气温的模拟能力,并采用在等权重系数条件下的集合平均结果计算了贵州省 21 世纪不同阶段不同情景下未来极端气温指数.研究表明:8 个模式的集合平均的模拟效果能较好地模拟用于计算极端气温指数的基础数据,包括日平均气温、日最低气温和日最高气温.根据集合平均的结果,不同 RCPs 排放情景下 21 世纪贵州省相对于基准期大于 25 °C 的高温日数(SU)、最低气温的最低值(TNN)和生长季长度(GSL)均表现为增加的趋势,而小于 0 °C 的霜冻日数(FD)则呈现减少的趋势,排放越高,增加或减少的趋势越明显.RCP8.5、RCP4.5 和 RCP2.6 情景下 2006—2009 年贵州省极端气温指数相对于 1986—2005 年 SU、TNN、FD 和 GSL 的变化速率分别为 8.06~1.30 d/(10 a)、0.49~0.07 °C/(10 a)、-4.99~-0.97 d/(10 a) 和 3.33~0.04 d/(10 a).

关键词

CMIP5;不同 RCP 情景;气候变化预估;极端气温

中图分类号 TP13

文献标志码 A

收稿日期 2016-11-07

资助项目 中国清洁发展机制基金赠款项目(2013031);贵州省气象局青年科技基金(黔气科合 QN[2016]08 号);贵州省气象科技开放基金(黔气科 KF[2018]01 号)

作者简介

张娇艳,女,硕士,工程师,主要从事气候变化工作.mylove813jiaojiao@163.com

1 贵州省气候中心,贵阳,550002

2 贵州省山地气候与资源重点实验室,贵阳,550002

3 贵州省贵阳市气象局,贵阳,550001

0 引言

2016 年世界气象日主题为“直面更热、更早、更涝的未来”,未来极端事件频率可能会进一步增加,气候对人类赖以生存的环境影响越来越大,未来极端事件的发展趋势越来越受到人们的关注.自 2008 年以来,已有超过 50 种气候模式参与了全球耦合模式比较计划第 5 阶段(CMIP5),其结果为政府间气候变化专门委员会第五次评估报告(IPCC AR5)提供了重要的理论基础^[1].基于 CMIP5 全球气候模式,气温的模拟能力相对较强^[2],因此与气温相关的极端事件模拟结果也相对可靠.目前国内学者已经开展了大量与气温相关的极端事件预估工作.姚遥等^[3]通过 8 个 CMIP5 模式对中国极端气温进行了模拟和预估,未来极暖天气可能增多、增强,而极冷天气可能减少、减弱.沈雨辰^[4]的研究结果也表明,在 21 世纪中期和末期,中国地区极端冷事件将会减少,极端暖高温事件将会增加.特定的较小区域,比如上海的极端气温事件,在吴蔚等^[5]的研究中也有体现,例如冷夜日数呈减少趋势,暖夜日数呈增加趋势.另外,陶纯苇等^[6]利用 CMIP5 模式对中国东北气候模拟能力进行了评估,气温模拟效果优于降水,空间分布模拟效果优于时间变化.我国西南地区地处低纬高原,全球变暖的背景下,针对该地区的气候变化趋势认识的深入,有助于中国更进一步应对气候变化^[7-9].在西南地区中,贵州既处在中低纬度喀斯特高原,又属于亚热带季风气候,拥有中国独一无二的避暑气候资源^[10],深入地分析贵州未来情景下极端气温的变化趋势很有必要.本研究利用 8 个 CMIP5 模式试验结果采用泰勒图客观地评估了气温的模拟能力,后又对未来极端气温变化做出预估.

1 资料与方法

本研究所使用的模式数据是由国家气候中心收集和整理的 8 个 CMIP5 模式,具体信息如表 1 所示.这些模式包含了目前国际上通用的主要模式,数量上满足集合要求,而且前人的研究也表明,至少数个模式,多至数十个模式,其预估趋势并没有很大差别^[3-9].该数据集包括 1961—2005 年历史模拟和 2006—2009 年 RCP2.6、RCP4.5、RCP8.5 排放情景下的逐日平均气温、最高气温和最低气温资料.历史实况部分,本研究使用了贵州省 1986—2005 年 84 个气象站气候平均的平均气温、最高气温和最低气温资料.为了便于分析,将 CMIP5 模

式资料插值至 84 个站点.按照国际通用做法^[8],参照时段为 1986—2005 年,未来时段划分为:2016—2035 年、2046—2065 年、2080—2099 年,且这 3 个时期分别表示 21 世纪早期、中期和末期.

泰勒图^[6]可以将 2 个场或者 2 组序列间的相关系数、标准差以及均方根误差这 3 个指标放在同一张极坐标图上,因为这三者间存在算数上的三角转换关系,可以从泰勒图上全面地反映各模式模拟结果的优劣.具体来讲,模拟结果序列与观测序列的空间相关系数可以表示对主要中心位置的描述能力,均方根误差则表示模拟型态与观测值的相似性(均方根误差越接近 0,表示模拟能力越好),相对于观测序列的标准差则表示模式对中心振幅的模拟能力(标准差越接近 1,表示模拟能力越好)^[11].

针对低纬高原的气候特点,选取极端天气气候事件指数中的 4 个指数描述极端气温^[9],具体指数定义如表 2 所示^[12].

表 1 8 个 CMIP5 全球气候模式相关信息

Table 1 Details of eight global climate models of CMIP5

序号	模式名称	模式中心	分辨率 (纬向-经向格点数)
1	BCC-CSM1-1	中国	128×64
2	CCSM4	美国	288×192
3	CSIRO-Mk3-6-0	澳大利亚	192×96
4	EC-EARTH	欧洲	320×160
5	GFDL-ESM2G	美国	144×90
6	IPSL-CM5A-MR	法国	144×143
7	MRI-CGCM3	日本	320×160
8	NorESM1-M	挪威	144×96

表 2 极端气温指数定义

Table 2 Definition of extreme temperature events

序号	指数	描述	单位
1	SU	高温日数,日最高气温在 25 °C 以上的天数	d
2	TNN	最低气温的最低值	°C
3	FD	霜冻日数,日最低气温达到 0 °C 以下的天数	d
4	GSL	生长季长度,连续 5 d 平均气温大于 5 °C 至连续 5 d 平均气温小于 5 °C 之间的天数	d

2 模式评估

从本研究重点关注的 4 种极端气温指数来看,涉及模式中的基础数据为日平均气温、日最低气温和日最高气温.为了客观地衡量模式的模拟能力,应从基础数据出发检验 8 种 CMIP5 模式对日平均气

温、日最低气温和日最高气温这 3 种基础数据的模拟效果.图 1 为贵州省在参照时段 1986—2005 年,8 个 CMIP5 全球气候模式以及集合平均模拟场相对于观测场的年平均值泰勒图,包括日平均气温、日最低气温和日最高气温.对于日平均气温、日最低气温和日最高气温的模拟,总体上来说,IPSL-CM5A-MR 和 MRI-CGCM3 的模拟效果最好,空间相关系数大于 0.7,均方根误差相对于其他模式比较小,介于 0.5 和 0.75 之间,而标准差基本上都大于 0.5. NorESM1-M 的模拟效果最差,空间相关系数小于 0.5,标准差介于 0.25 与 0.5 之间,均方根误差接近 1.除此以外,其他模式以及 8 个模式的集合平均的模拟效果比较接近,属于中等水平.但是与中国其他区域对气温的模拟水平相比,总体略弱,这在沈雨辰^[4]的工作中也有体现.

考虑到对于大部分单个模式结果,多模式集合模拟的平均值效果更好^[7],而且从泰勒图的分析结果来看,集合平均的效果与其他效果较优的单个模式成员差别并不大,泰勒图体现效果较优的仅为 IPSL-CM5A-MR 和 MRI-CGCM3 两个模式,数量太少,因此本研究对极端气温的预估分析采用 8 个 CMIP5 模式在等权重系数条件下集合平均的结果,该方法在其他相关研究中得到了广泛的认可^[13].此外,值得注意的是,这 8 个 CMIP5 模式在除贵州以外的其他区域也得到了普遍的使用和较好的检验效果^[3-9].

3 未来预估

利用 8 个集合平均的模拟结果,计算了 2006—2099 年不同排放情景下贵州省各模式集合平均的与温度相关的极端天气气候事件指数 SU、TNN、FD 和 GSL 相对于 1986—2005 年的变化,其 9 a 滑动平均演变如图 2 所示.为客观定量评估 8 个不同 CMIP5 模式间的不确定性,利用模式间平均的 1 个标准差范围来衡量,如图 2 阴影区所示,即阴影区面积小,不确定性小;阴影区面积大,则不确定性大^[9].总体上来看,不同 RCPs 排放情景下 21 世纪贵州省相对于基准期大于 25 °C 的高温日数 SU、最低气温的最低值 TNN 和生长季长度 GSL 均表现为增加的趋势,而小于 0 °C 的霜冻日数 FD 则呈现减少的趋势,排放越高,增加或减少的趋势越明显.另外,阴影区反映不同模式间的模拟结果差异还是比较大.具体来看,2050 年是分水岭,各极端气温指数在 2050 年以前 3 种情景的增加或者减少的幅度差异较小,2050 年之

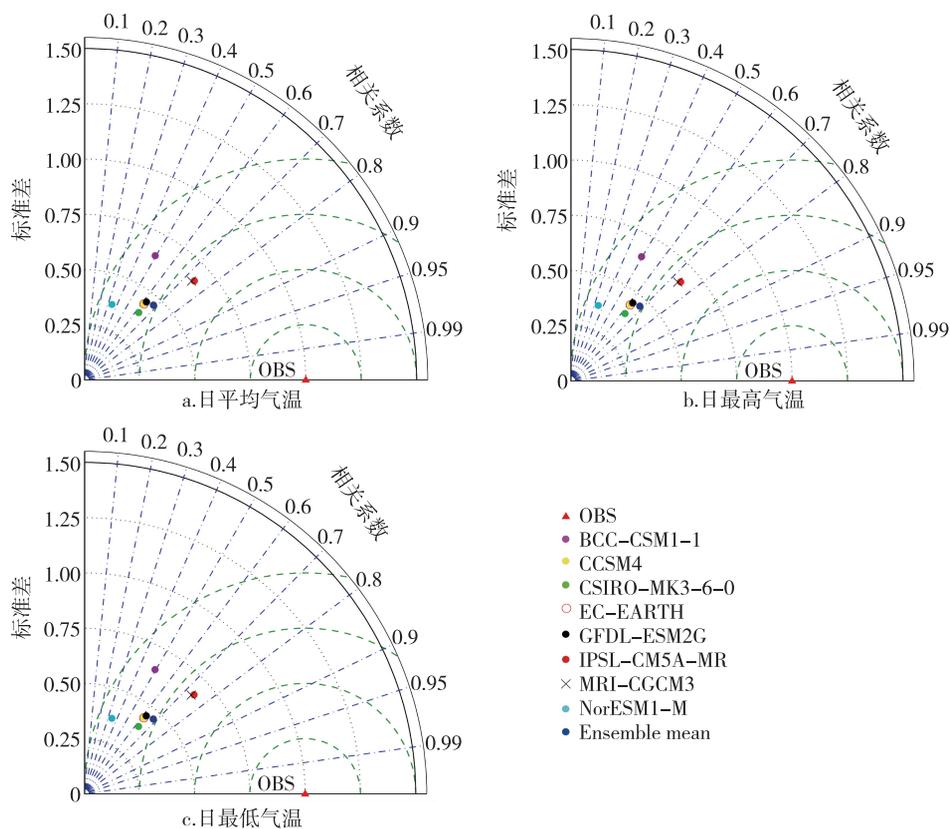


图1 贵州省在参照时段1986—2005年,8个CMIP5全球气候模式以及集合平均模拟场相对于观测场的年平均泰勒图(深蓝色实心点为模式集合,横坐标上红色三角形表示观测值)

Fig. 1 Taylor diagrams of annual (a) mean surface air temperature, (b) maximum temperature, and (c) minimum temperature over period of 1986–2005 in Guizhou compared with the observation by the 8-model ensemble and the averaged one (The solid dark blue circles represent the averaged values and the solid red triangles represent observed values)

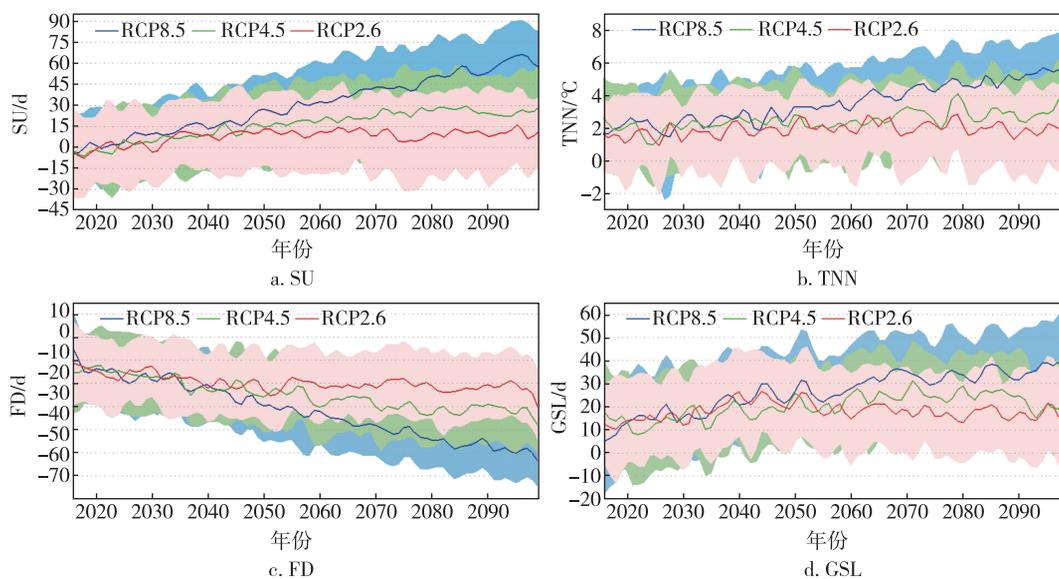


图2 2006—2099年不同排放情景下贵州省各模式集合平均的与温度相关的极端天气气候事件指数SU(d)、TNN(°C)、FD(d)和GSL(d)相对于1986—2005年的变化的9a滑动平均演变(阴影为模式间平均的1个标准差范围)

Fig. 2 The 9-year running average of the anomalies of extreme temperature events from 2006 to 2099 by different emission scenarios of the eight model' ensemble in Guizhou relative to 1986–2005, SU (units in day), TNN (units in °C), FD (units in day), and GSL (units in day) (shaded areas represent one standard deviation from the multi-model average)

后发生较大变化,RCP8.5 情景下 SU、TNN 和 GSL 持续增加(FD 持续减小),RCP4.5 情景下 SU、TNN 和 GSL 缓慢增加(FD 缓慢减小),而 RCP2.6 情景下基本保持不变.表 3 给出了不同 RCP 情景下 2006—2099 年贵州省极端气温指数相对于 1986—2005 年变化的线性趋势,RCP8.5、RCP4.5 和 RCP2.6 情景下 SU、TNN、FD 和 GSL 的变化速率分别为 8.06~1.30 d/(10 a)、0.49~0.07 °C/(10 a)、-4.99~-0.97 d/(10 a) 和 3.33~0.04 d/(10 a).

表 3 不同 RCP 情景下 2006—2099 年贵州省极端气温指数变化的线性趋势

Table 3 Linear variation trends of extreme temperature events during 2006–2099 under different RCP scenarios in Guizhou

RCP	SU/ (d/(10 a))	TNN/ (°C/(10 a))	FD/ (d/(10 a))	GSL/ (d/(10 a))
8.5	8.06	0.49	-4.99	3.33
4.5	3.88	0.16	-2.47	1.34
2.6	1.30	0.07	-0.97	0.04

图 3 给出了贵州省 21 世纪不同阶段不同情景下与气温相关的极端天气气候事件指数 SU 相对于 1986—2005 年变化的空间分布.总体上看,各排放情景下 21 世纪贵州省大于 25 °C 的高温日数相对于基准期基本上是偏多的,偏多幅度自北向南增加,且排放越高,偏多幅度越大.具体来讲,21 世纪早期,3 种情景下除贵州省西北部高温日数相对于基准期偏少 0~10 d 外,其余大部分地区以偏多 0~10 d 为主;21 世纪中期,在 RCP8.5、RCP4.5 和 RCP2.6 情景下,贵州省高温日数偏多幅度分别为 10~50、10~30 和 0~20 d;21 世纪末期,RCP8.5、RCP4.5 和 RCP2.6 情景下,贵州省高温日数偏多幅度分别为 40~80、10~40 和 0~20 d.

贵州省 21 世纪不同阶段不同情景下与气温相关的极端天气气候事件指数 TNN 相对于 1986—2005 年变化的空间分布如图 4 所示.各排放情景下 21 世纪贵州省最低气温的最低值相对于基准期偏高幅度都在 1 °C 以上,呈现北部高南部低,且排放越

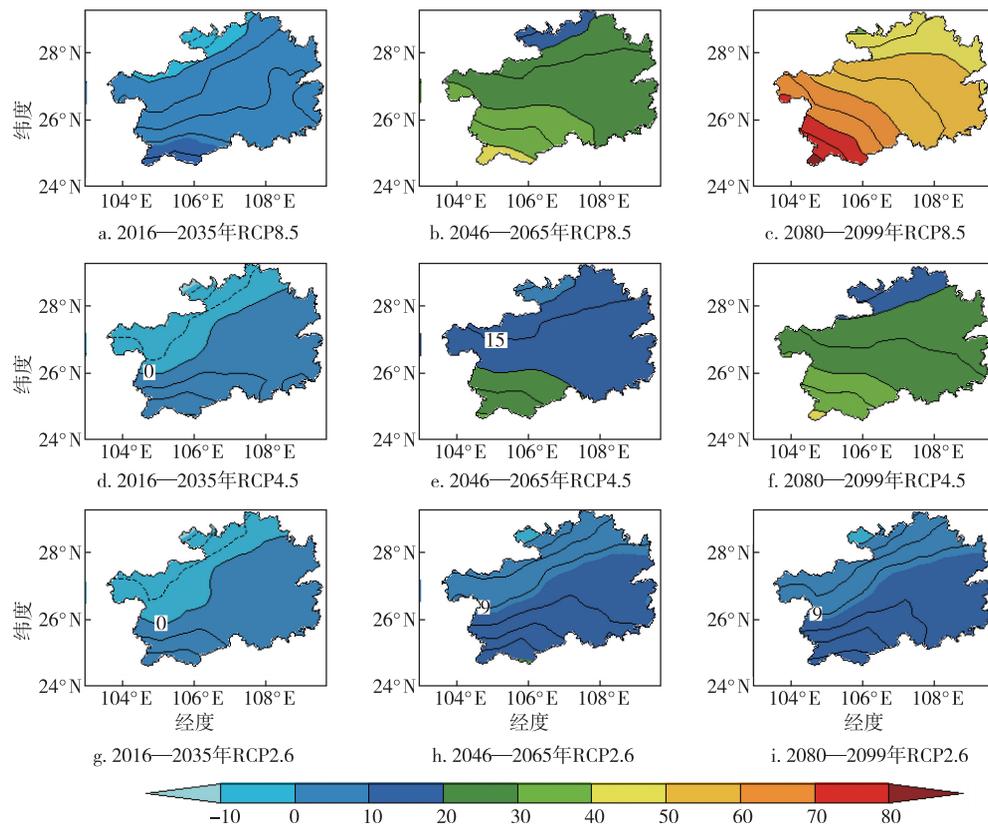


图 3 贵州省 21 世纪早期(2016—2035 年)、中期(2046—2065 年)和末期(2080—2099 年)极端天气气候事件指数 SU(d) 相对于 1986—2005 年的变化分布

Fig. 3 Spatial distributions of the anomalies of extreme temperature event (SU) over Guizhou during 2016–2035, 2046–2065, and 2080–2099 under scenarios relative to period of 1986–2005 (units in day)

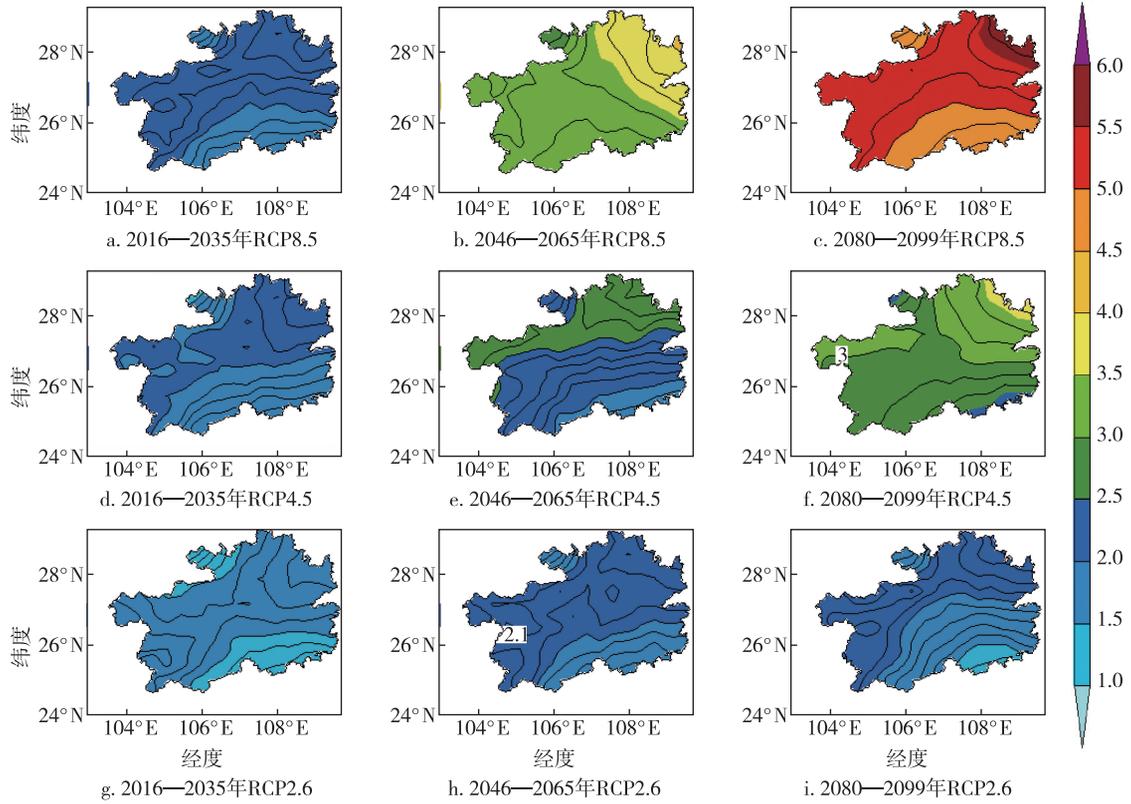


图4 贵州省 21 世纪早期(2016—2035 年)、中期(2046—2065 年)和

末期(2080—2099 年)极端天气气候事件指数 TNN(°C)相对于 1986—2005 年的变化分布

Fig. 4 Spatial distributions of the anomalies of extreme temperature event (TNN) over Guizhou during 2016-2035, 2046-2065, and 2080-2099 under scenarios relative to period of 1986-2005 (units in °C)

高,偏高幅度越大.21 世纪早期,在 RCP8.5、RCP4.5 和 RCP2.6 情景下,贵州省最低气温的最低值相对于基准期偏高幅度分别为 1.5~2.5、1.5~2.5 和 1.0~2.0 °C;21 世纪中期,在 RCP8.5、RCP4.5 和 RCP2.6 情景下,贵州省最低气温的最低值偏高幅度分别为 3.0~4.0、2.0~3.0 和 1.5~2.5 °C;21 世纪末期,RCP8.5、RCP4.5 和 RCP2.6 情景下,贵州省最低气温的最低值偏高幅度分别为 4.5~6.0、2.5~3.5 和 1.5~2.5 °C.

图 5 为贵州省 21 世纪不同阶段不同情景下与气温相关的极端天气气候事件指数 FD 相对于 1986—2005 年变化的空间分布.总体上看,各排放情景下 21 世纪贵州省日最低气温在 0 °C 以下的霜冻日数相对于基准期均是偏少的,偏少幅度自南向北增加,且排放越高,偏少幅度越大.具体来讲,21 世纪早期,3 种情景下贵州省霜冻日数相对于基准期偏少 10~20 d;21 世纪中期,在 RCP8.5、RCP4.5 和 RCP2.6 情景下,贵州省霜冻日数偏少幅度分别为 25~40、20~30 和 15~25 d;21 世纪末期,RCP8.5、RCP4.5 和 RCP2.6 情景下,贵州省霜冻日数偏少幅

度分别为 35~55、25~40 和 20~30 d.

图 6 是贵州省 21 世纪不同阶段不同情景下与气温相关的极端天气气候事件指数 GSL 相对于 1986—2005 年变化的空间分布.总体上看,各排放情景下 21 世纪贵州省生长季长度相对于基准期均是偏多 5d 以上,偏多幅度自南向北增加,且排放越高,偏多幅度越大.具体来讲,21 世纪早期,3 种情景下贵州省生长季长度相对于基准期偏多 10~20 d;21 世纪中期,在 RCP8.5、RCP4.5 和 RCP2.6 情景下,贵州省生长季长度偏多幅度分别为 15~35、10~30 和 15~25 d;21 世纪末期,RCP8.5、RCP4.5 和 RCP2.6 情景下,贵州省生长季长度偏多幅度分别为 20~50、10~35 和 10~25 d.

4 讨论与结论

本研究利用泰勒图客观地评估了贵州省在参照时段 1986—2005 年 8 个 CMIP5 模式试验结果对气温的模拟能力,并采用在等权重系数条件下的集合平均结果计算了贵州省 21 世纪不同阶段不同情景下未来极端气温指数.主要结论如下:

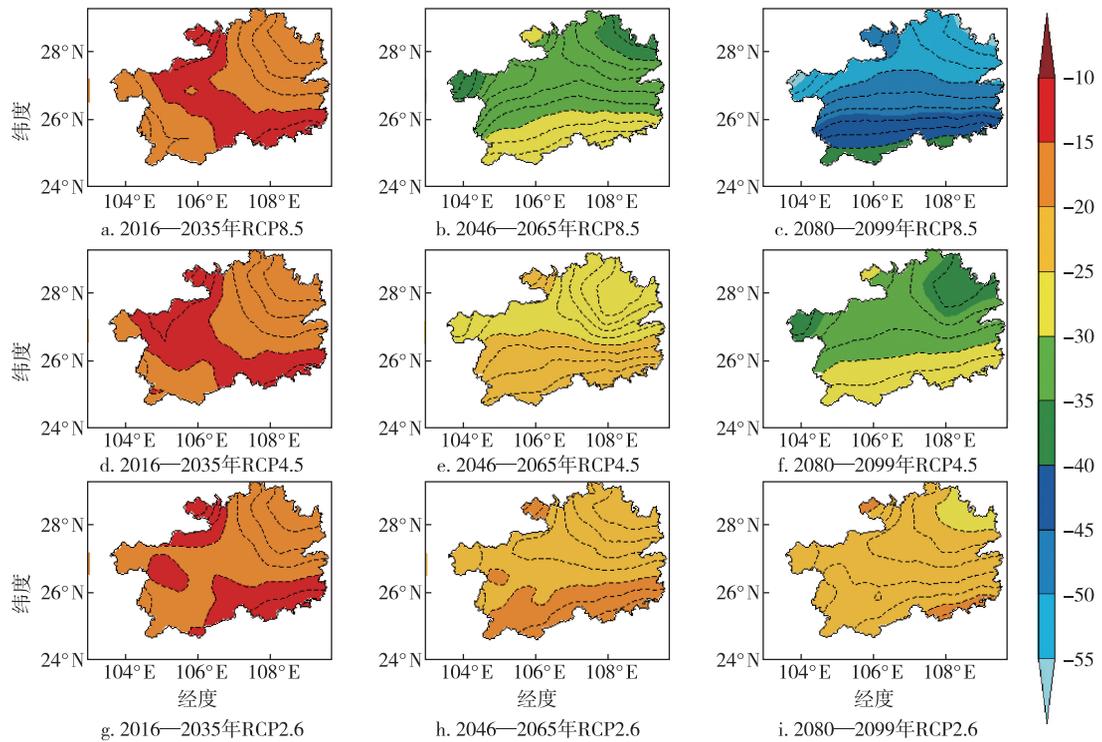


图5 贵州省21世纪早期(2016—2035年)、中期(2046—2065年)和末期(2080—2099年)极端天气气候事件指数FD(d)相对于1986—2005年的变化分布

Fig.5 Spatial distributions of the anomalies of extreme temperature event (FD) over Guizhou during 2016-2035,2046-2065, and 2080-2099 under scenarios relative to period of 1986-2005 (units in day)

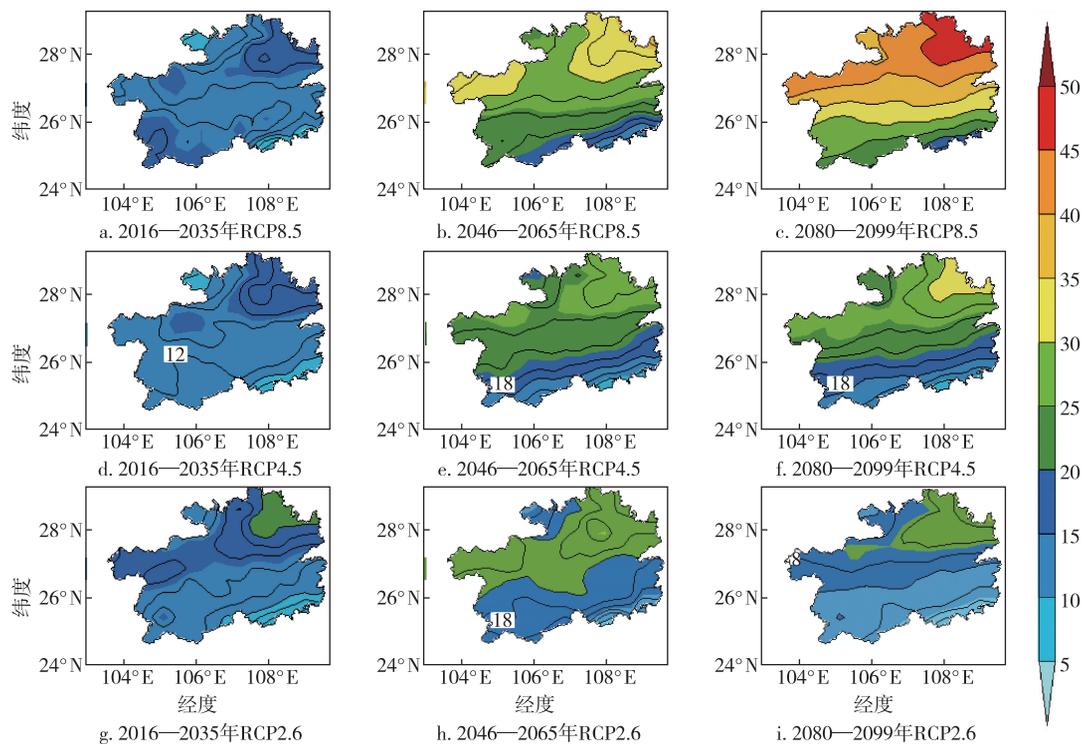


图6 贵州省21世纪早期(2016—2035年)、中期(2046—2065年)和末期(2080—2099年)极端天气气候事件指数GSL(d)相对于1986—2005年的变化分布

Fig.6 Spatial distributions of the anomalies of extreme temperature event (GSL) over Guizhou during 2016-2035,2046-2065, and 2080-2099 under scenarios relative to period of 1986-2005 (units in day)

对于计算极端气温指数的基础数据日平均气温、日最低气温和日最高气温的模拟,IPSL-CM5A-MR 和 MRI-CGCM3 的模拟效果最好,NorESM1-M 的模拟效果最差,其他模式以及 8 个模式的集合平均的模拟效果比较接近,属于中等水平。

根据集合平均的结果,不同 RCPs 排放情景下 21 世纪贵州省相对于基准期大于 25 °C 的高温日数 SU、最低气温的最低值 TNN 和生长季长度 GSL 均表现为增加的趋势,而小于 0 °C 的霜冻日数 FD 则呈现减少的趋势,排放越高,增加或减少的趋势越明显,且不同模式间的模拟结果差异比较大。其中,SU 相对于基准期偏多值从北向南增加,偏多幅度最大区域位于贵州省的西南部;TNN 由南向北变大,最大值位于贵州省东北部;FD 偏少幅度由南向北变大,偏少幅度最大的区域在贵州北部地区;GSL 偏多幅度自南向北变大,最大值位于贵州东北部。RCP8.5、RCP4.5 和 RCP2.6 情景下 2006—2009 年贵州省极端气温指数相对于 1986—2005 年 SU、TNN、FD 和 GSL 的变化速率分别为 8.06 ~ 1.30 d/(10 a)、0.49 ~ 0.07 °C/(10 a)、-4.99 ~ -0.97 d/(10 a) 和 3.33 ~ 0.04 d/(10 a)。

另外,极端降水也是预估工作的另一个关注点,下一步工作应该将此作为重点开展。

致谢:本研究所使用的全球气候模式气候变化预估数据,由国家气候中心研究人员对数据进行整理、分析和惠许使用。原始数据由各模式组提供,由 WGCM (JSC/CLIVAR Working Group on Coupled Modelling) 组织 PCMDI (Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison) 搜集归类。多模式数据集的维护由美国能源部科学办公室提供资助。

参考文献

References

- [1] 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
- [2] IPCC. Climate change 2014: Synthesis report [M]. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland, 2015
- [3] 姚遥, 罗勇, 黄建斌. 8 个 CMIP5 模式对中国极端气温的模拟和预估 [J]. 气候变化研究进展, 2012, 8(4): 250-256
YAO Yao, LUO Yong, HUANG Jianbin. Evaluation and projection of temperature extremes over China based on 8 modeling data from CMIP5 [J]. Advances in Climate Change Research, 2012, 8(4): 250-256
- [4] 沈雨辰. CMIP5 模式对中国极端气温指数模拟的评估及其未来预估 [D]. 南京: 南京信息工程大学大气科学学院, 2014
SHEN Yuchen. Projection and evaluation of the temperature extremes indices over China by CMIP5 models [D]. Nanjing: School of Atmospheric Science, Nanjing University of Information Science and Technology, 2014
- [5] 吴蔚, 穆海振, 梁卓然, 等. CMIP5 全球气候模式对上海极端气温和降水的情景预估 [J]. 气候与环境研究, 2016, 21(3): 269-281
WU Wei, MU Haizhen, LIANG Zhuoran, et al. Projected changes in extreme temperature and precipitation events in Shanghai based on CMIP5 simulations [J]. Climatic and Environmental Research, 2016, 21(3): 269-281
- [6] 陶纯苇, 姜超, 孙建新. CMIP5 模式对中国东北气候模拟能力的评估 [J]. 气候与环境研究, 2016, 21(3): 357-366
TAO Chunwei, JIANG Chao, SUN Jianxin. Evaluation of CMIP5 models performance on climate simulation in Northeast China [J]. Climatic and Environmental Research, 2016, 21(3): 357-366
- [7] 王麟, 刘毅鹏, 汪健, 等. 5 个 CMIP5 模式对低纬高原气温的模拟和预估 [J]. 云南大学学报(自然科学版), 2015, 37(6): 851-860
WANG Lin, LIU Yipeng, WANG Jian, et al. Simulations and estimates of low latitude highland temperature by 5 CMIP5 models [J]. Journal of Yunnan University (Natural Sciences), 2015, 37(6): 851-860
- [8] 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
ZHANG Wulong, ZHANG Jingyong, FAN Guangzhou. Evaluation and projection of dry-and wet-season precipitation in southwestern China using CMIP5 models [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2015, 39(3): 559-570
- [9] 云南省未来 10~30 年气候变化预估及其影响评估报告 [M]. 北京: 气象出版社, 2014
Assessment report of climate change forecast and its impact on Yunnan province in the next 1 to 3 decades [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2014
- [10] 向红琼, 谷晓平, 郑小波. 贵州省旅游气候研究与应用 [M]. 北京: 气象出版社, 2014
XIANG Hongqiong, GU Xiaoping, ZHENG Xiaobo. Research and application of tourism climate in Guizhou [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2014
- [11] 姜燕敏, 吴昊旻. 20 个 CMIP5 模式对中亚地区年平均气温模拟能力评估 [J]. 气候变化研究进展, 2013, 9(2): 110-116
JIANG Yanmin, WU Haomin. Simulation capabilities of 20 CMIP5 models for annual mean air temperatures in central Asia [J]. Advances in Climate Change Research, 2013, 9(2): 110-116
- [12] Frich P, Alexander L, Della M, et al. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of

the twentieth century [J]. Climate Research, 2002, 19: 193-212
[13] 陈活泼. CMIP5 模式对 21 世纪末中国极端降水事件变化的预估 [J]. 科学通报, 2013, 58(8): 743-752

CHEN Huopo. Projected change in extreme rainfall events in China by the end of the 21st century using CMIP5 models [J]. Chinese Science Bulletin, 2013, 58 (8): 743-752

Projected changes in extreme temperature events in Guizhou based on CMIP5 simulations

ZHANG Jiaoyan^{1,2} LI Yang³ WU Zhanping¹ LI Zhongyan¹ DUAN Ying¹

1 Guizhou Climate Center, Guiyang 550002

2 Guizhou Key Laboratory of Mountainous Climate and Resources, Guiyang 550002

3 Guiyang Meteorological Bureau of Guizhou Province, Guiyang 550001

Abstract Based on the climate simulations from 8 CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5) models, their simulation capabilities for air temperature in Guizhou have been examined by using Taylor diagram for period of 1986–2005. Future changes in extreme temperature events under the RCPs (Representative Concentration Pathways) scenarios with the simple multi-model ensemble method are presented for the 21st century over Guizhou. Results show that the simple multi-model ensemble method from the 8 CMIP5 modes can well simulate the spatial distribution of daily average temperature, daily minimum temperature and daily maximum temperature, which are necessary to compute the indexes of extreme temperature events. Project results show that in the 21st century, Guizhou's maximum temperature days (SU), values of extreme minimum temperature (TNN), and days of growing season length (GSL) are likely to increase; while the frost days (FD) are likely to decrease; moreover, the increasing and decreasing trends are more obvious with more gas emission. Relative to period of 1986–2005, the linear variation trends of Guizhou's SU, TNN, FD and GSL during 2006–2099 are likely to be 8.06–1.30 d/(10 a), 0.49–0.07 °C/(10 a), –4.99––0.97 d/(10 a), and 3.33–0.04 d/(10 a), respectively, under the RCPs scenarios.

Key words CMIP5; RCPs scenarios; projected climate change; extreme temperature events