

文章编号:2096 - 5389(2018)03 - 0018 - 09

重庆地区极端高温事件的模拟研究

魏麟骁¹, 李永华¹, 何卷雄², 唐红玉¹, 辛晓歌³

(1. 重庆市气候中心, 重庆 401147; 2. 中国科学院大气物理研究所国际气候与环境科学中心, 北京 100029;
3. 中国气象局国家气候中心, 北京 100081)

摘 要:该文使用了中国科学院大气物理研究所大气环流模式 IAP AGCM4.1 和中尺度数值模式 WRF3.2 建立的耦合模式(IWRF), 利用该耦合模式对 1982—2014 年重庆夏季气候进行了试验, 将模拟结果与 NCEP/DOE 再分析资料驱动 WRF3.2(NWRF)的模拟结果进行了比较, 并利用观测资料评估了这 2 个试验对于重庆极端高温事件的模拟能力。结果表明:①2 个试验均能较为合理地再现重庆夏季地表气温的气候态特征, IWRF 的模拟偏差较大, 尤其对于高海拔地区。它们对极端高温事件的模拟存在较大偏差, 对日最高气温最大值(TXx), 两者的距平分布相似, 对暖昼指数(TX90p)和热浪持续指数(HWDI), IWRF 的表现好于 NWRF。在西部和东南部地区, 2 个试验对暖昼指数都具有一定的模拟能力;②NWRF 能够模拟出极端高温指数的年际变化特征, 而 IWRF 表现欠佳;③它们都不能模拟出 TXx 的变化趋势, 但是, NWRF 能够模拟出 HWDI 和 TX90p 的增加趋势。该文的结论可为重庆短期气候预测系统用于极端高温的预测提供一定参考。

关键词:夏季气温;极端高温事件;区域模式;动力降尺度

中图分类号:P423 **文献标识码:**A

The simulation of extreme high temperature over the Chongqing area

WEI Linxiao¹, LI Yonghua¹, HE Juanxiong², TANG Hongyu¹, XIN Xiaoge³

(1. Chongqing Climate Center, Chongqing 401147, China; 2. International Center for Climate and Environmental Sciences, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;
3. National Climate Center, Beijing 100081, China)

Abstract: This paper carried out the 1982—2014 Chongqing summer climate experiment was by using the coupled model of IAP AGCM4.1 and WRF3.2, and compare the NCEP/DOE reanalysis data driven WRF3.2 (NWRF) downscaling simulation results, and by using the observation data the evaluation of the two trials for simulation of extreme temperature events in Chongqing. The results showed that: (1) two tests are more reproduction of the climatological characteristics of Chongqing summer surface temperature reasonably, IWRF simulation of large deviations, especially for high altitude areas; their simulation of extreme temperature events there is a deviation, the maximum value of the daily maximum temperature (TXx) anomaly distribution, similar to the two. On warm days index (TX90p) and heat wave duration index (HWDI), the performance of IWRF is better than NWRF; in the West and Southeast, two test has the ability to simulate the warm day index; (2) NWRF can simulate the extreme high temperature refers to the interannual variation of the number, and the poor performance of IWRF; (3) they can simulate the variation trend of TXx, however, NWRF can simulate the increasing trend of HWDI and TX90p. The conclusion of this paper can provide some reference for the short - term climate forecast system of Chongqing for the prediction of extreme high temperature.

Key words: Summer surface air temperature; Extreme high - temperature events; Regional climate model; Dynamical downscaling

收稿日期:2017 - 10 - 25

第一作者简介:魏麟骁(1988—),男,工程师,主要从事气候诊断和短期气候预测相关工作,Email:quiet7@126.com。

资助项目:重庆市气象局青年基金项目(QNJJ-201705);西南地区东部夏季降水的统计降尺度模型研究。

1 引言

重庆位于西南地区东部,属亚热带季风性湿润气候,地处长江上游,气候灾害频发,尤其是与高温有关的灾害较多。近几十年来,由于人类活动和自然因素的综合影响,全球极端降水和高温事件频发,而重庆地区的高温灾害尤其严重,对经济和社会的发展造成了很大影响。20世纪中期以来,中国地区的暖事件增加而冷事件减少,并且暖事件对平均态改变的敏感程度比冷事件高^[1]。例如2003年夏季,高温热浪席卷欧洲,打破了近500 a的记录,造成上万人死亡^[2],同年,我国长江流域也出现了大范围的高温事件。2006年夏季,重庆和四川地区遭受特大伏旱,造成的灾害十分严重^[3]。2013年夏季,我国南方地区遭受大范围的热浪袭击,影响的范围、持续时间和强度均为历史罕见。鉴于此,我国很多学者对极端高温开展了大量的研究。况雪源等^[4]对近50多年来全国群发性高温事件进行了识别,发现2000年以后的群发性高温事件都是5个年代中最显著的,并且长江以南地区发生频率最高。唐恬等^[5]对2013年我国南方高温天气进行了分析,发现这次高温事件的发生次数突破了历史记录,其中,8月的极端高温十分突出。因此,提前对高温事件做出准确预测对国计民生意义重大,也是气象部门的服务重点之一。

随着我国短期气候预测系统的不断发展,月动力延伸期预测(DERF2.0)产品在气候预测业务中得到广泛应用^[6,7],预测水平逐年提升,但是全球模式对于区域气候的模拟能力有限,在业务应用中需要使用更高分辨率的区域气候模式对地表气温和极端高温事件进行模拟和预测。高学杰等^[8]使用区域气候模式单向嵌套全球模式的输出结果对东亚地区的气候进行了模拟和预估,发现区域模式提供了气温和降水更详细的空间分布信息,对夏季的季风降水型模拟也有了很大改进。李东欢等^[9]利用中国科学院大气物理研究所全球模式FGOALS-g2的模拟数据驱动区域气候模式RegCM3,发现相对于全球模式,区域模式由于水平分辨率较高,能在刻画地表气温分布的细节上体现出优势。余正^[10]通过对1961—2005年的模拟研究表明,IAP AGCM4.1模式可以较好的模拟出高温日数的空间分布特征,但是高估了华北、江淮流域和川渝地区等地的高温日数。许建伟等^[11]利用NCEP/DOE再分析资料驱动WRF模式对1999—2008年夏季黑河流域及其周边地区的气温和降水进行了模拟,结果

表明,在复杂地形条件下,WRF模式较再分析资料能够更精细地模拟出复杂地形条件下气温和降水的分布特征。由此可见采用动力降尺度的方法进行短期气候预测是具有一定优势的,本文的目的是分析重庆短期气候预测系统(IAP AGCM4.1和WRF的耦合模式)对重庆夏季地表气温和极端高温事件的模拟能力,并对使用该系统预测极端高温事件提出建议。

2 资料和方法

2.1 模式简介

使用的耦合模式(IAP AGCM_WRF)是在中国科学院大气物理研究所IAP AGCM4.1和美国的中尺度数值模式WRF3.2的基础上建立的。IAP-AGCM4.1模式的水平分辨率为 $1.4^{\circ} \times 1.4^{\circ}$,模式层顶为10 hPa。大气环流模式的初始条件来自于NCEP/DOE再分析资料,海温(SST)和海冰(SEA ICE)来自于美国国家海洋和大气管理局(NOAA)的逐周OISST资料。中尺度模式的水平分辨率为20 km,中心点位于(29°N , 106°E),经纬方向的格点数为 111×111 ,范围覆盖了我国西南的大部分地区,模式的垂直方向为31层。该系统的运行步骤是首先将IAP-AGCM4.1每隔6 h输出的气候要素场进行空间插值,生成驱动WRF模式的初始和边界条件,接下来再运行WRF模式,得到预测结果。在正式开始试验前,我们进行了大量的参数化方案敏感性试验(2000—2014年),通过与再分析资料的对比,选出了模拟效果较好且运行比较稳定的参数化方案组合(见表1)。同时,也使用了NCEP/DOE再分析资料为驱动场开展了模拟,参数化方案的配置、海温和海冰覆盖资料与上一个试验相同,2个试验的积分时间段都为1982年1月1日—2014年12月31日。

根据前人的研究,区域气候模式对于将其驱动的大尺度模式的模拟结果会有较大改进,那么与观测资料驱动的区域气候模式的模拟结果相比其差距如何?这是本文要解决的问题。本文将分析IAP-AGCM4.1驱动的WRF3.2模式对重庆夏季地表气温及极端高温事件的模拟结果,并讨论IAP-AGCM4.1驱动的WRF模式(IWRF)与再分析资料(NCEP/DOE)驱动的WRF模式(NWRF)在模拟结果上的差异。本文的结论对于探讨重庆短期气候预测系统在预测极端高温的能力上具有一定的参考价值,并对如何使用该系统提出建议。

2.2 观测资料和分析方法

使用CN05.1格点资料来检验模式的模拟性

能,该资料的分辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$, 使用了中国境内 2 400 个台站的观测资料,采用距平逼近法,由气候场和距平场分别插值后叠加得到^[12,13]。使用的平均气温、最高和最低气温资料,起始时间为 1982 年 1 月 1 日—2014 年 12 月 31 日。为了方便与观测资料进行比较,先将 2 个模式的结果统一插值到与观测资料相同的格点上。对模拟结果进行检验所用的统计量包括模拟结果与观测场的偏差、均方根误差、皮尔逊相关系数,以上 3 类检验方法的计算公式分别为:

$$Bias = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i) \tag{1}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \tag{2}$$

$$CORR = \frac{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y})^2}} \tag{3}$$

其中, *Bias* 表示模拟与观测之间的偏差, *RMSE*

表示均方根误差, *CORR* 表示空间相关系数, x_i 和 y_i 分别为各格点上的模拟值和观测值, $\bar{x}$ 和 $\bar{y}$ 分别为模拟和观测区域的平均值, n 为年数, m 为格点数。由于模拟时间的限制,对 TX90p 和 HWDI 的基准期计算中,采用 1982—2011 年夏季第 90 个百分位数的日最高气温值。

表 1 模式选项设置

Tab. 1 Main physics options in the experiment

类别	名称
微物理参数化方案	WSM6 方案
积云对流参数化方案	Kain - Fritsch 方案
陆面过程	Noah 陆面模式
行星边界层和近地面方案	YSU + MM5 similarity 方案
长波辐射方案	CAM 长波辐射方案
短波辐射方案	CAM 短波辐射方案

根据重庆地区地表气温的分布情形以及重庆市气候中心预测业务的常用划分方法,将重庆地区划分为 4 个子区域,如图 1 所示。

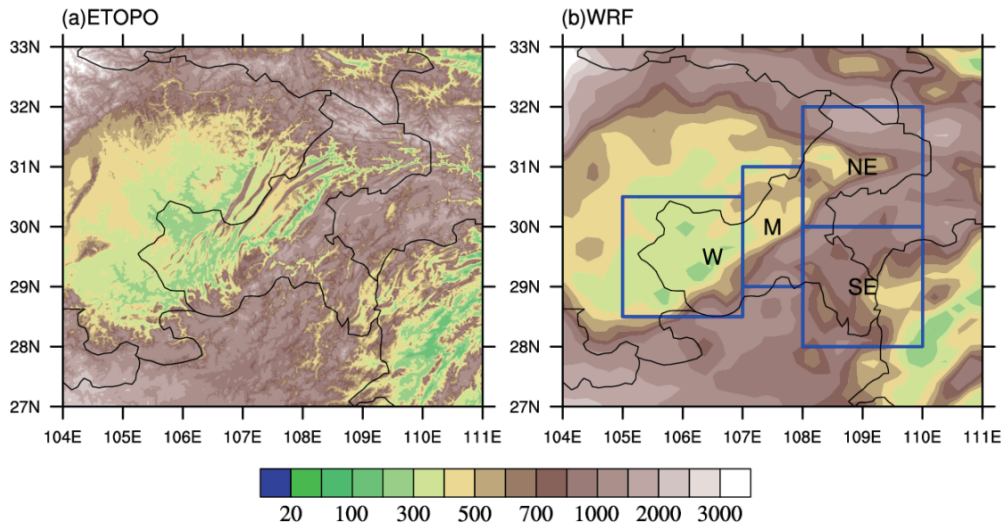


图 1 重庆地形以及文中的 4 个分区。黑色方框分别表示 4 个分区:西部(W:28.5 ~ 30.5°N, 105 ~ 107°E)、中部(M:29 ~ 31°N, 107 ~ 108°E)、东北部(NE:30 ~ 32°N, 108 ~ 110°E)和东南部(SE:28 ~ 30°N, 108 ~ 110°E)

Fig. 1 The topography of the east of the southwest area (shading, units: m) and distribution of 4 sub - regions in the east of the southwest area. The boxes illustrate the 4 sub - regions: western region (W: 28. 5 ~ 30. 5°N, 105 ~ 107°E), central region (M: 29 ~ 31°N, 107 ~ 108°E), northeastern region (NE: 30 ~ 32°N, 108 ~ 110°E) and southeastern region (SE: 28 ~ 30°N, 108 ~ 110°E)

表 2 极端气候事件的定义

Tab. 2 The definition of extreme high - temperature indices

名称	缩写	定义	单位
热浪持续指数	HWDI	至少持续 3 d, 日最高温度不低于基准期第 90 个百分位数的天数	d
暖昼指数	TX90p	每年日最高气温大于或者等于基准期内 90% 分位数的天数占统计日数的百分比	d
日最高气温最大值	TXx	每年日最高气温最大值	℃

3 结果分析

3.1 夏季地表气温气候态模拟

从观测来看,重庆地区的平均、最高和最低气温气候态的空间分布特征较为相似:高温区出现在盆地中部和东南部,低温区主要出现在高海拔地区。IWRF 模式可以较好的模拟出 3 个地表气温指标的空间分布,能够再现盆地中部和东南部地区的高温中心,但是模拟的高温中心量级偏大(图略)。IWRF 模拟的平均气温在盆地中部和东北、东南大部地区主要表现为 1~3℃ 的暖偏差,高海拔地区为冷偏差;模拟的最高气温的偏差分布与平均气温相

似,盆地南部的最大偏差在 3℃ 左右,高海拔地区的偏差也较平均气温大;相对来说,IWRF 对于最低气温模拟的较好,在盆地四周为 1℃ 左右的暖偏差。NWRF 模拟的 T_{2m} 和 T_{max} 的高值中心在量级上要好于 IWRF,模拟的 T_{min} 的分布特征与 IWRF 相近(图略)。在盆地内部和东南部地区,NWRF 模拟的 T_{2m} 和 T_{max} 的偏差均小于 IWRF,尤其对于盆地南部改进最大,这与使用了较为准确的强迫场有很大关系,但是 NWRF 对于 T_{min} 的模拟效果没有 IWRF 的效果好。通过 IWRF 与 NWRF 之间的差值场可以看到,IWRF 主要在盆地中部出现暖偏差,偏差幅度在 1~2℃ 之间。

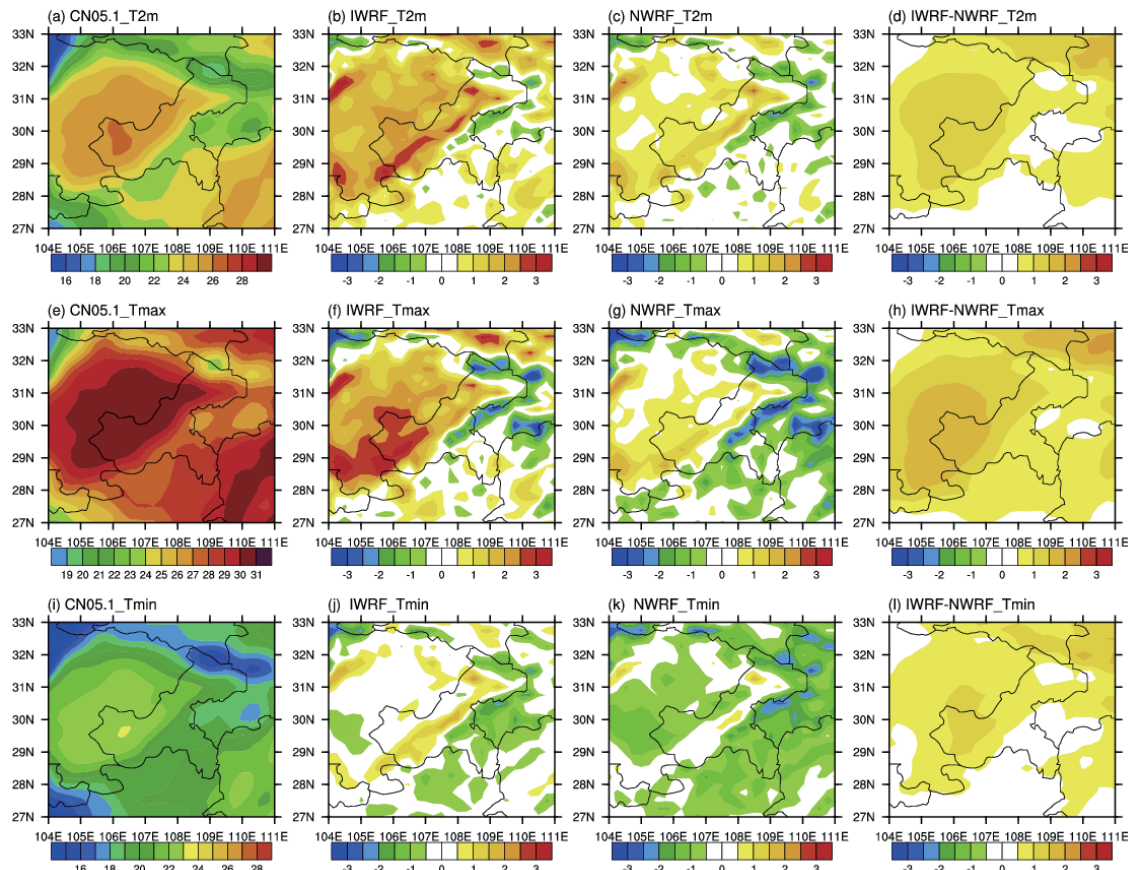


图2 1982—2014 年夏季重庆地表气温的气候态和模式模拟偏差(单位:℃),
从上到下依次为日平均气温 T_{2m} 、日最高气温 T_{max} 、日最低气温 T_{min} ;左列为观测资料的气候态分布,
第2、第3列分别为 IWRF 和 NWRF 的模拟偏差,右列为 IWRF 减去 NWRF 的模拟结果

Fig. 2 Climatology and simulation bias of summer surface air temperature during 1982 – 2014 (units:℃).

The top, middle and bottom row indicates the results of t_{2m} , t_{max} , and t_{min} , respectively. The first column indicates the results from CN05.1, the second column indicates the bias between IWRF and CN05.1, the third column indicates the bias between NWRF and CN05.1, and the last column indicates the bias between IWRF and NWRF.

表3 夏季气温模拟结果与观测的定量比较(空间相关系数、与观测的偏差和均方根误差)

Tab.3 Comparison between the simulation of two experiments (pattern correlation / difference with observation / root mean square error)

模式	时间	空间相关系数			差值			均方根误差		
		T_{ave}	T_{max}	T_{min}	T_{ave}	T_{max}	T_{min}	T_{ave}	T_{max}	T_{min}
IWRF	逐月	0.96	0.94	0.97	0.98	0.67	-0.14	1.52	1.95	0.91
NWRF	逐月	0.95	0.93	0.97	0.20	-0.37	-0.79	0.84	1.22	0.99

IWRF 和 NWRf 模拟的 3 个地表气温指标与观测的空间相关系数均在 0.9 以上,说明这 2 个试验结果均对夏季气温的空间分布有较好的表征。从偏差和均方根误差来看,NWRf 除最低气温较 IWRF 大外,平均气温和最高气温均优于 IWRF。总体来看,这 2 个试验对于重庆夏季气温的模拟表现的都较好。

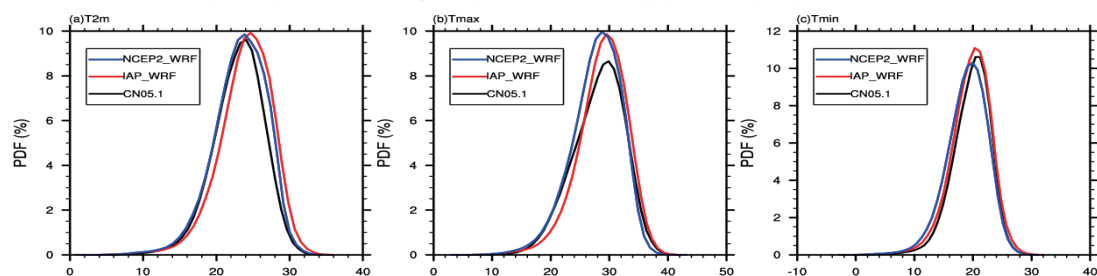


图 3 1982—2014 年中国夏季地表气温概率密度分布(单位:℃), (a) T_{2m} 、(b) T_{max} 、(c) T_{min} 。

图中的概率密度分布使用所选时段、所选区域中各个点的逐日数据(不是区域平均)计算而成。

黑色表示观测资料 CN05.1 中的结果,红色表示 IWRF 模拟的结果,蓝色表示 NWRf 模拟的结果

Fig. 3 Frequency distribution of daily (a) t_{2m} , (b) t_{max} and (c) t_{min} from individual grid (not average).

Black indicates the results from CN05.1, red indicates the results from IWRF and green indicates the results from NWRf

根据上文所划分的 4 个子区域,对地表气温进行区域平均可以更直观地考察 2 个试验对地表气温的模拟能力。从图 4(a,b,c) 可以看到,除了最低气温,IWRF 模拟的其余 2 个气温指标普遍高于观测。IWRF 对西部和中部地区的模拟偏差较大。使用泰勒图可以更直观的表征模拟和观测的地表气温的

空间相似程度,2 个试验的空间分布归一化标准差大多介于 0.5~2.5 之间。从空间相关系数来看,对于各个子区域的空间分布都有较好的模拟。总体来看,IWRF 模拟的西部和中部地区的平均气温和最高气温偏差较大,NWRf 的表现好于 IWRF,它们对最低气温的模拟效果较好。

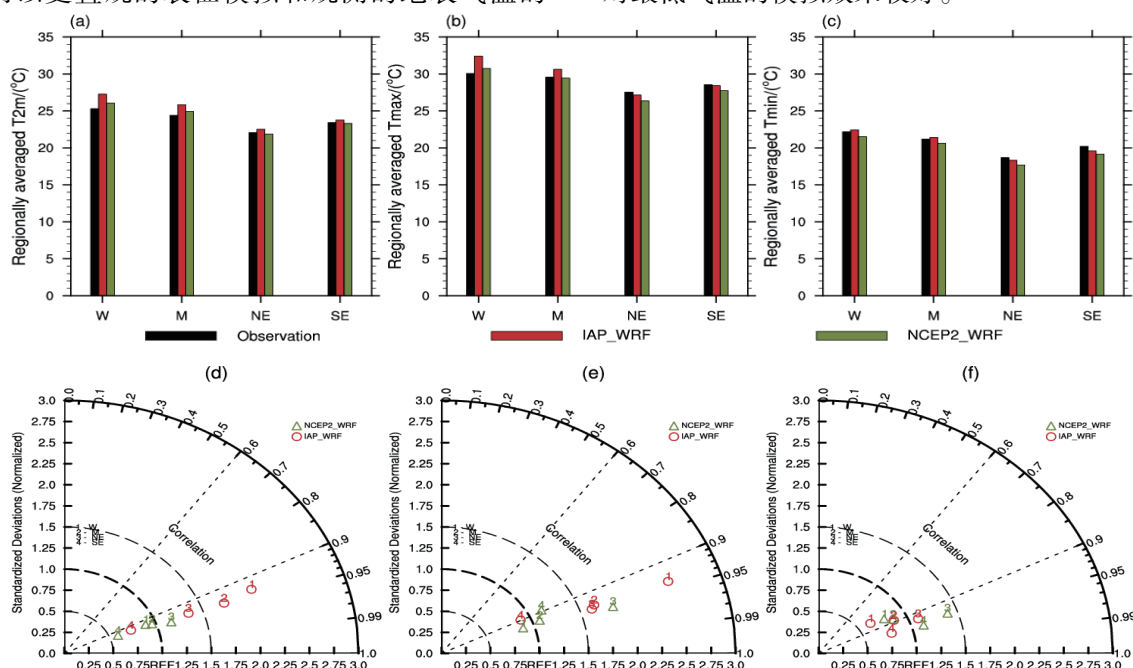


图 4 区域平均的地表气温(单位:℃), (a)、(b)、(c)分别为 T_{2m} 、 T_{max} 和 T_{min} ,

黑色表示 CN05.1,红色表示 IWRF,蓝色表示 NWRf; (d) T_{2m} 、(e) T_{max} 和 (f) T_{min} 为泰勒图,

红色表示 IWRF 模拟结果,绿色表示 NWRf 模拟结果,1~4 分别表示文中划分的 W、M、NE、SE 4 个子区域

Fig. 4 (a), (b) and (c) indicates the regional averaged summer surface air temperature (units: °C), t_{2m} , t_{max} and t_{min} , respectively, black indicates CN05.1, red indicates IWRF and blue indicates NWRf. (d), (e) and (f) indicates the Taylor diagram for displaying pattern statistics of T_{2m} , T_{max} , T_{min} , respectively. Red indicates the results from IWRF, and blue indicates the results from NWRf. 1–4 represents W, M, NE and SE.

3.2 夏季极端高温事件气候态模拟

从图 5 可知,日最高气温最大值(TX_x)与地表气温指标的分布相似,都是在西部地区出现大值中心,IWRF 和 NWRf 都能较好的模拟出 TX_x 的空间分布和强度,两者对于东北部和东南部地区的模拟存在较强的冷偏差,这可能是由于地形的原因造成的。观测场上,热浪持续指数(HWDI)的大值中心出现在四川东北部地区,并向东扩展到重庆的中部和东北部地区,基本在 6 d 左右,IWRF 和 NWRf 与实况相比模拟的 HWDI 偏少,就偏差图来看,IWRF

的结果优于 NWRf,偏差区域主要出现在四川的东北部,偏少 1~2 d 左右,而 NWRf 模拟的模拟结果在整个区域都偏少。观测场上,暖昼指数(TX90p)的大值中心出现在重庆大部以及湖北和湖南部分地区,IWRF 的模拟结果仍然好于 NWRf,偏差主要出现在东北部部分地区,偏少 0.5~1 d;NWRf 的模拟结果在重庆大部地区都偏少,尤其在东北部地区偏少最多,偏少 1~2 d。从极端高温指数的空间分布来看,除了 TX_x,IWRF 对 HWDI 和 TX90p 的模拟要好于 NWRf。

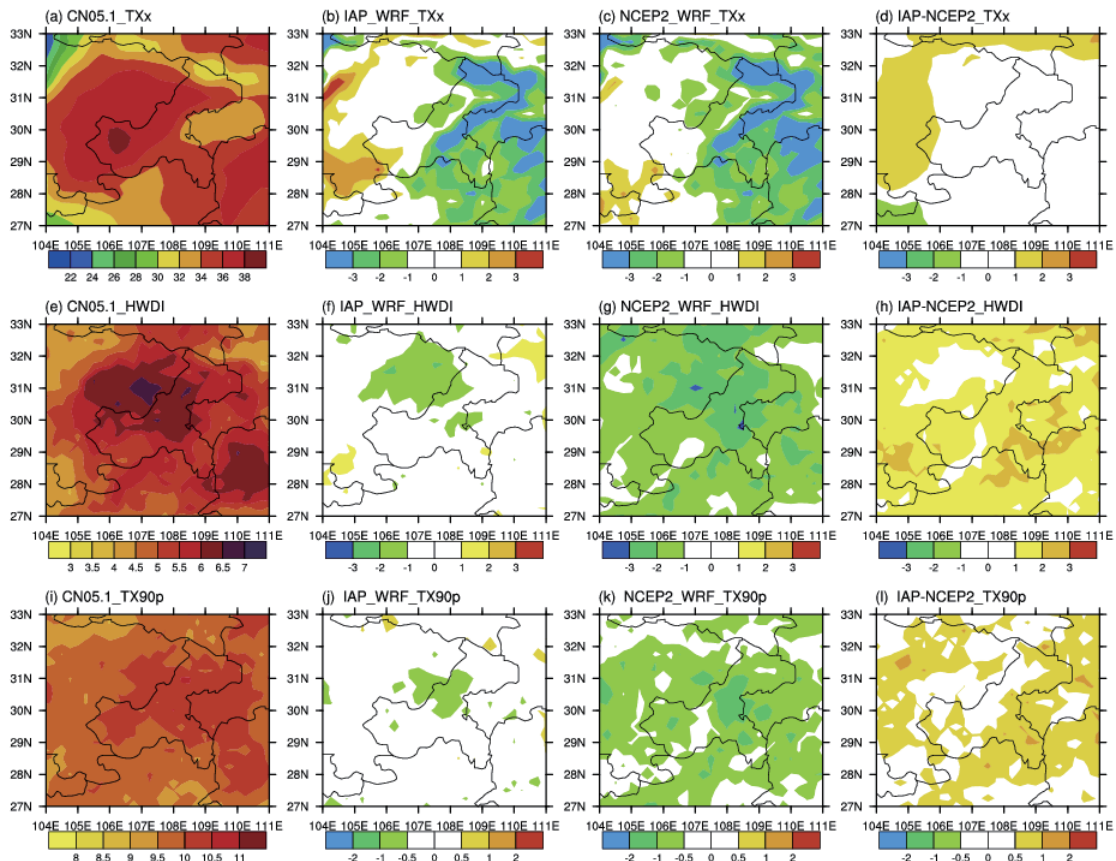


图 5 1982—2014 年夏季重庆极端高温气候态,从上到下依次为日最高气温最大值 TX_x(单位:℃)、热浪持续指数 HWDI(单位:d)、暖昼指数 TX90p(单位:d);左列为观测场的气候态结果,第 2、第 3 列分别为 IWRF 和 NWRf 的模拟偏差,右列为 IWRF 减去 NWRf 的模拟结果
Fig. 5 Climatology and simulation bias of summer high temperature indices during 1982–2014.

The top row indicates the results of TX_x (units:℃), the middle row indicates the results of HWDI (units:day), and the bottom row indicates the results of TX90p (units:day). The left column indicates the results from CN05.1, the second column indicates the bias between IWRF and CN05.1, the third column indicates the bias between NWRf and CN05.1, and the last column indicates the bias between IWRF and NWRf

图 6 为 2 个试验对于极端高温事件区域平均的模拟结果,IWRF 和 NWRf 模拟的 TX_x(图 6a)在东北部地区偏低较为明显,偏差幅度在 2~3℃之间,但是,对西部地区模拟的较好。IWRF 模拟的 HWDI 在各区域都要好于 NWRf,在西部和东南部地区模拟的较好,NWRf 在各区域模拟的 HWDI 都偏少 2

~4 d。在这 4 个区域,它们对 TX90p 都模拟的很好。本文也计算了 2 个试验模拟的极端高温事件的空间相关系数和均方根误差,IWRF 模拟的 TX_x 4 个区域的空间相关系数均在 0.8 以上,但是均方根误差较大,最大出现在东北地区,NWRf 的模拟结果与 IWRF 相似。它们对于 HWDI 和 TX90p 的空

间分布模拟的较差,但是在西部地区和东南部地区有一定的模拟能力,相关系数在 0.3 左右,均方根误

差也较小。总之,这 2 个试验对于 TX90p 和 HWDI 的空间分布模拟能力弱于对 TXx 的模拟。

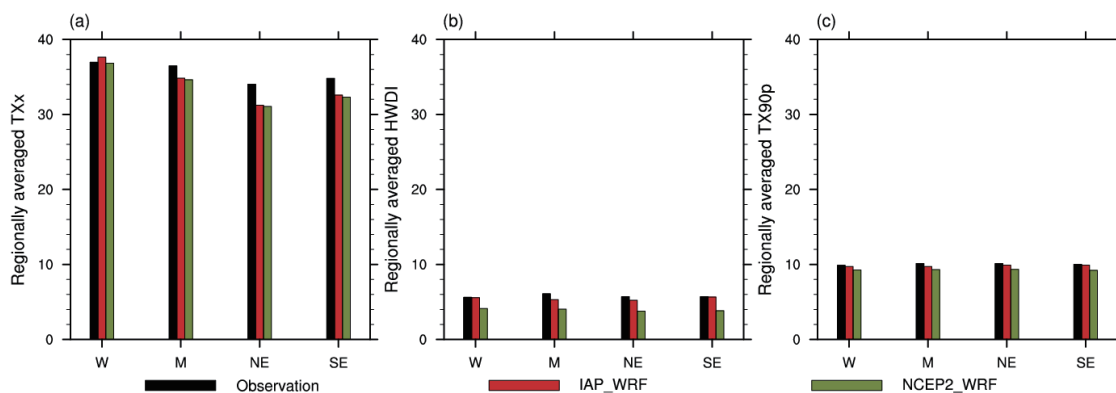


图 6 区域平均的极端高温指数,(a)、(b)、(c)分别为 TXx(单位:°C)、HWDI(单位:d)和 TX90p(单位:d),黑色表示 CN05.1,红色表示 IAP_WRF,蓝色表示 NCEP2_WRF

Fig. 6 (a), (b) and (c) indicates the regional averaged extreme temperature indices, TXx, HWDI and TX90p, respectively, black indicates CN05.1, red indicates IAP_WRF and blue indicates NCEP2_WRF

3.3 极端高温事件演变的模拟

按照上文划分的 4 个区域,计算了它们区域平均的模拟和观测的气候指标距平的年际变化情况

(相较于 1982—2011 年)。图 7 为观测和模拟的重庆极端气温指标的年际变化曲线,在西部地区, NCEP2 模拟出的 TXx 与观测差距较大,相关系数只

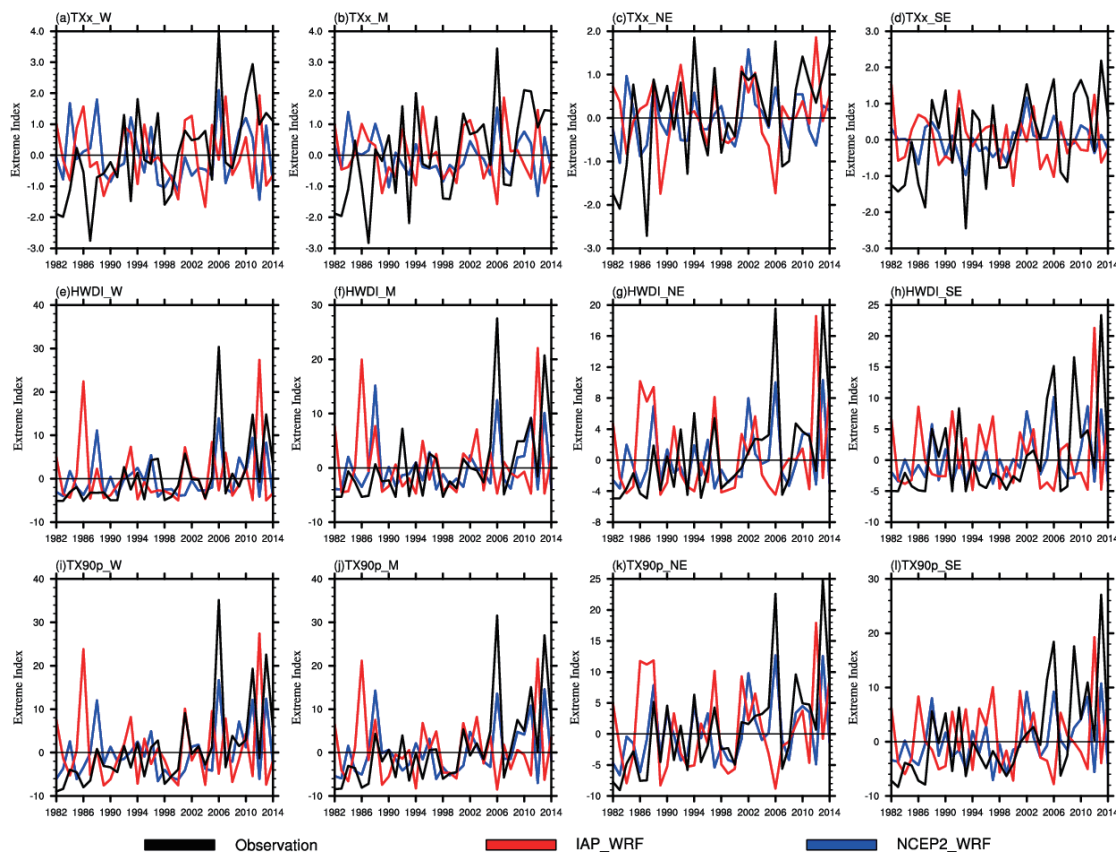


图 7 1982—2014 年观测和模拟的极端气温指标距平的年际变化(相对于 1982—2011 年):

从上到下依次为日最高气温最大值 TXx、极端高温日数 HWDI、暖昼指数 TX90p

Fig. 7 Interannual variations of observed and simulated extreme temperature indices for 1982—2014 with reference period 1982—2011: (a, b, c, d) TXx; (e, f, g, h) HWDI, (i, j, k, l) TX90p

有 0.23,但是对于东南部地区模拟的较好,相关系数达到 0.51。对于热浪持续指数和暖昼指数, NWRF 与观测的相关系数都在 0.6~0.8 之间,超过了 0.01 信度的显著性检验,2006 年是重庆地区有气象资料记录以来最严重的高温干旱年,无论是热

浪持续指数还是暖昼指数, NWRF 在这 4 个区域都能模拟出该极值,这与使用了较为准确的强迫场有关。IWRF 不能模拟出极端高温事件的年际变化特征。

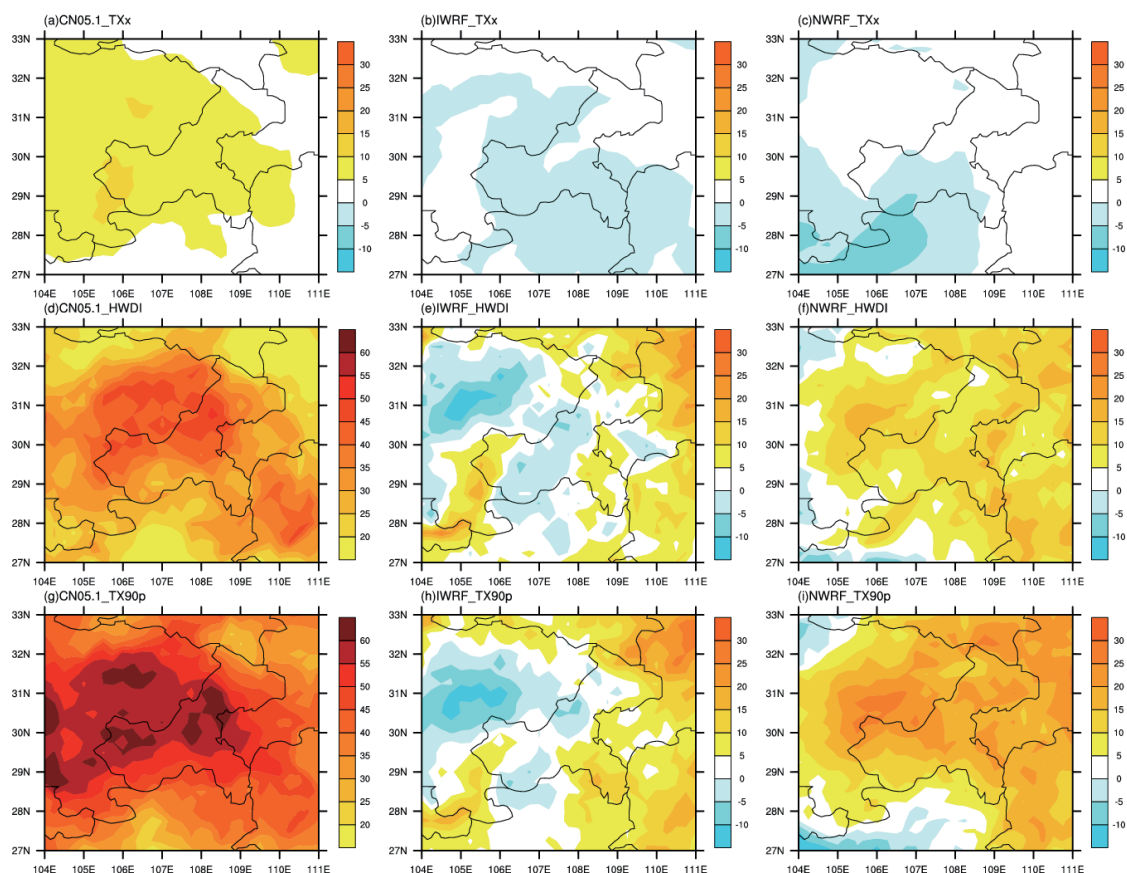


图 8 1982—2014 年夏季重庆极端高温指数的趋势变化(扩大了 100 倍),从上到下依次为日最高气温最大值 TXx(单位:℃)、热浪持续指数(单位:d)、暖昼指数 TX90p(单位:d);

左列为观测场的趋势分布,第 2、3 列分别为 IWRF 和 NWRF 的趋势分布

Fig. 8 The geographic distribution of the observed (a,d,g) and simulated by IWRF (b,e,h) and NWRF (c,f,i) long-term trends per year for 1982—2014 for extreme temperature indices in the eastern part of Southwest China, (a,b,c),(d,e,f),(g,h,i) represent TXx,HWDI,TX90p, respectively

为了考察这 2 个试验对于重庆极端高温事件长期变化趋势的模拟能力,分别计算了观测与模拟的这 3 个极端气温指数的线性趋势。图 8a、8b 和 8c 为 TXx 的长期变化趋势,从观测中可以看到,重庆大部地区每年的最高气温最大值都呈现出了增加趋势,这 2 个试验均未能模拟出这种一致性的增加趋势。图 8d、8e 和 8f 是热浪持续指数的变化趋势,观测中,四川和重庆东北部地区的增加趋势十分显著,其余地区也都呈现出增加的趋势, IWRF 未能模拟出这种增加趋势,在四川东北部和重庆中西部地区呈减小趋势,重庆东部地区为增加趋势, NWRF 对于这种全区一致的增加趋势模拟的较好。图 8g、

8h、8i 为暖昼指数的趋势分布图,观测中的趋势分布和热浪持续指数的分布较为一致,只是增加的趋势更为显著, IWRF 同样未能模拟出这种增加趋势,但是可以模拟西部部分地区和东南、东北部分地区暖昼指数的增加趋势, NWRF 模拟得最好,只是趋势值偏小。

4 结论

本文比较了重庆短期气候预测系统和 NCEP/DOE 再分析资料驱动的 WRF 模式对重庆夏季地表气温和极端高温事件的模拟能力,主要结论如下:

① 2 个试验均能模拟出平均、最高和最低气温

的空间分布,NWRF 模拟的平均气温和最高气温高值中心的量级要好于 IWRF,但是,IWRF 模拟的最低气温要优于 NWRF。它们对 3 个地表气温指标的概率密度分布都有较好的模拟。总体上,2 个试验对于重庆夏季气温的空间分布模拟的很好。

②它们都能较好的模拟出西部地区 TXx 的空间分布,但对于东部地区存在较强的冷偏差。IWRF 和 NWRF 模拟的热浪持续指数和暖昼指数偏少,但是,IWRF 的模拟结果优于 NWRF。

③NWRF 对于极端气温指数的年际变化特征具有较强的模拟能力,IWRF 不能模拟出极端高温事件的年际变化。

④NWRF 能够模拟出 HWDI 和 TX90p 的增加趋势,但是不能模拟出 TXx 的趋势变化。IWRF 对这 3 个极端高温指数的长期变化趋势没有模拟能力。

本文的结论表明 IWRF 对于重庆地表气温指标具有较好的模拟能力,对于极端高温事件模拟能力不足,但是,其模拟的热浪持续指数和暖昼指数的空间分布要好于 NWRF,并且模拟的暖昼指数在西部和东南部地区误差较小,这说明应用该系统进行极端高温事件的预测还存在较大的局限性,应用该系统预测极端高温事件时需要格外注意。

参考文献

[1] 周雅清,任国玉. 中国大陆 1956—2008 年极端气温事件变化特

征分析[J]. 气候与环境研究,2010,15(4):405-417.

[2] Larsen J. Record heat wave in Europe takes 35000 lives:far greater losses may lie ahead [R]. Earth Policy Institute, 2003. <http://www.earth-policy.org/updates/update29.htm>

[3] 邹旭恺,高辉. 2006 年夏季川渝高温干旱分析[J]. 气候变化研究进展,2007,3(3):149-153.

[4] 况雪源,王遵娅,张耀存,等. 中国近 50 年来群发性高温事件的识别及统计特征[J]. 地球物理学报,2014,57(6):1782-1791.

[5] 唐恬,金荣花,彭相瑜,等. 2013 年夏季我国南方区域性高温天气的极端性分析[J]. 气象,2014,40(10):1207-1215.

[6] 章大全,王永光. 基于 DERF2.0 的长江中下游春播期气候预测[J]. 应用气象学报,2016,27(2):182-190.

[7] 白慧,殷莹,王兴菊,等. 基于 DERF2.0 模式产品对单站旬、月极端降水日数的预测[J]. 贵州气象,2016,40(1):1-6.

[8] 高学杰,石英,张冬峰,等. RegCM3 对 21 世纪中国区域气候变化的高分辨率模拟[J]. 科学通报,2012,57(5):374-381.

[9] 李东欢,周天军,邹立维,等. 2017. RegCM3 CORDEX 东亚试验模拟和预估的中国夏季温度变化[J]. 大气科学,41(3):544-560.

[10] 余政. 中国区域极端高温日数的时空演变特征及其模拟评估[D]. 中国科学院大学,2016.

[11] 许建伟,高艳红. WRF 模式对夏季黑河流域气温和降水的模拟及检验[J]. 高原气象,2014,33(4):937-946.

[12] 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,doi:10.6038/g20130406.

[13] Wu J, Gao XJ, 2013, A gridded daily observation dataset over China region and comparison with the other datasets. Chinese Journal of Geophysics, 56(4):1102-1111, doi:10.6038/g20130406 (in Chinese with English abstract).