

李泽明, 郭渠, 陈皎. 1961~2012 年重庆城口县气温变化特征及其趋势预估[J]. 干旱气象, 2014, 32(2): 226-232. [LI Zeming, GUO Qu, CHEN Jiao. Variation Characteristic and Prediction of Temperature in Chengkou of Chongqing During 1961-2012[J]. Journal of Arid Meteorology, 2014, 32(2): 226-232], doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2014)-02-0226

1961~2012 年重庆城口县气温变化特征及其趋势预估

李泽明¹, 郭渠², 陈皎¹

(1. 重庆市气象信息与技术保障中心, 重庆 401147; 2. 重庆市气候中心, 重庆 401147)

摘要:通过对重庆城口县 1961~2012 年的平均气温、平均日最高气温、平均日最低气温随时间变化特征的分析发现:近 52 a 来城口县年平均气温微弱增温,气候倾向率为 0.09 °C/10 a,远小于全国平均气温的增幅。与年平均气温的变化相比,年平均日最高、最低气温的增温更显著,气候倾向率分别为 0.28 °C/10 a 和 0.12 °C/10 a。年平均气温、年平均日最高、最低气温分别于 1998、1998、1990 年发生了显著突变,且均有 2~4 a 的周期振荡特征。CCLM 高精度区域气候模式模拟的重庆城口地区的气温数据可较好地反映气温的年际变化趋势,且在 SRES-A1B(中等排放)情景下 2013~2050 年城口地区预估的气温将呈增加趋势,年平均气温、年平均日最高、最低气温平均增幅(相对于 1981~2000 年)分别为 1.19、1.34、1.02 °C。

关键词:城口;气温;CCLM;趋势预估

文章编号:1006-7639(2014)-02-0226-07 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2014)-02-0226

中图分类号:P467

文献标识码:A

引言

气温是气候变化最为重要的指标,气温变化对人类的生产和生活以及自然环境状况都会产生重大影响。丁一汇^[1]、陈隆勋^[2-3]等的研究表明:全国平均气温变暖具有明显的区域性,其中北方大部分地区变暖,而西南地区自 20 世纪 50 年代以来一直在降温。加入新的资料计算 1951~2002 年中国年平均气温变化趋势的空间分布,发现原来的变暖区范围在扩大,而变冷区只剩下西南地区四川盆地东部和云贵高原东北部。近年来,许多学者对重庆气候变化进行了大量的研究。如程炳岩等^[4]对重庆地区夏季气温的气候特征与环流形势进行了研究;刘晓冉^[5]、张天宇^[6]、郭渠^[7]等对重庆地区的旱涝、降水、气温变化特征进行了分析。重庆地区以山地为主,地势由西向东逐步升高,由南北向长江河谷倾斜,起伏较大,特殊的地形条件形成了季节变化明显、空间差异显著、年际变化大的气候特征,为了深入了解气候变化空间差异,必须对该区域内的天气气候变化进行精细化研究。

重庆城口县地处秦巴山区腹地,面积为 3 232 km²,介于 108°15'E~109°16'E、31°37'N~32°12'N 之间,处于川、陕、渝 3 省(市)交界处,是重庆向北重要门户,也是红色革命老区,有着悠久的历史,民俗文化风情多彩,有“大巴盆景之城”之称。研究该地区气温变化特征对重庆乃至川东北和西南地区都有很好的借鉴意义,对分析秦巴山区气候变化具有很好的参考价值,也是重庆气候变化精细化研究的有益尝试。本文试图分析城口县 52 a 来气温变化情况,了解气温的变化趋势,运用高精度的 CCLM 区域气候模式,通过对城口气温的观测数据和模拟数据的对比分析,综合评估该模式在城口地区对气温的模拟能力,并在 SRES-A1B 温室气体排放情景下对城口未来气温特征进行预估,这对于开发利用区域气候资源、服务当地经济社会发展等具有重要的理论和现实意义。

1 资料与方法

1.1 资料

使用的资料包括 2 部分:重庆市气候中心根据

收稿日期:2014-01-07;改回日期:2014-04-08

基金项目:国家自然科学基金项目(40975058)、重庆市自然科学基金计划项目(CSTC2008BA0022)和公益性行业(气象)科研专项(GYHY201006054)共同资助

作者简介:李泽明(1960-),女,重庆人,工程师,主要从事气候资料分析工作。E-mail: lizeming60@163.com

逐日气温观测资料统计整理的1961~2012年城口站的月平均气温(T)、平均日最高气温(T_{\max})、平均日最低气温(T_{\min})时间序列,其完全符合中国气象局颁发的气候资料统计规定^[8]。在统计气候学上,通常以3~5月为春季,6~8月为夏季,9~11月为秋季,12月至次年2月为冬季。模式数据源于德国波茨坦气候影响研究所(The Potsdam Institute for Climate Impact Research, PIK)基于德国气象局的LM(The Local Model)发展而来的区域气候模式CCLM。CCLM模式是一种动力降尺度的区域模式,是以全球模式ECHAM5的输出结果作为边界条件,模拟时间尺度可达百年,分辨率介于1~50 km^[9]。ECHAM5在全球模式对比计划中模拟效果相对较好,被应用于IPCC AR4和AR5,CCLM设计目的是为了ECHAM5的降尺度使用,其在天气和气候预估方面已有很多应用^[10-11]。PIK已完成了CCLM区域气候模式在SRES-A1B温室气体排放情景下中国地区主要气候要素的逐日模拟,空间分辨率为 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 。SRES-A1B情景描述的是地区间相互影响,各种能源的供给和利用较均衡,经济、社会、环境可持续发展的中等排放情景^[12-13],这与未来全球以及中国的发展规划和情景较符合。本文选取了城口县境内2个格点(地理位置分别为 108.25°E 、 31.75°N 和 108.75°E 、 31.75°N)1961~2050年CCLM的模拟资料,且进行区域算术平均。预估中的距平值采用相对于1981~2000年的变化。

1.2 方法

利用趋势分析、Mann-Kendall检验和小波分析等方法分析了城口县气温的变化特征。

气温日较差(DTR)是指一天中气温最高值与最低值之差,其大小和纬度、季节、地表性质及天气情况有关。其表达式为:

$$DTR = T_{\max} - T_{\min} \quad (1)$$

式中, T_{\max} 、 T_{\min} 分别为日最高气温和最低气温。

气温非对称性变化是指日最低气温和最高气温变化趋势的差,其表达式如下:

$$\Delta T_d = \Delta T_{\min} - \Delta T_{\max} \quad (2)$$

式中, ΔT_{\min} 、 ΔT_{\max} 分别表示日最低气温和最高气温的变化趋势。 ΔT_d 越大,最低气温和最高气温变化趋势差异越大,表明气温非对称性变化就越明显。

趋势分析是利用气象要素的时间序列,以时间 t 为自变量,要素 y 为因变量,建立一元回归方程: $y(t) = a + bt$,其中 b 为气候倾向率,其符号反映上升或下降的变化趋势。在给定的显著性信度水平 α ,若 $|r| \geq r_\alpha$,则表示 y 随 t 的变化趋势显著,否则表示变化趋势不显著。

Mann-Kendall法是一种非参数检验方法,分析序列的顺序曲线和逆序曲线,若顺序曲线的值 >0 ,则表明序列呈上升趋势, <0 则表明呈下降趋势^[14]。在给定的显著性水平下,当统计曲线超过临界线时,表明上升或下降趋势显著,超过临界值的范围确定为出现突变的时间区域。如果2条曲线在临界值之间出现交点,那么交点对应的的时间便是突变开始的时间。

2 城口气温变化特征

2.1 平均气温的变化趋势

表1是1961~2012年城口县年、季平均气温的线性趋势系数 R 和气候倾向率 b 。可以看出,城口年平均气温的气候倾向率为 $0.09^\circ\text{C}/10\text{a}$,高于重庆市主城区近50a来年平均气温的变化速率 $0.04^\circ\text{C}/10\text{a}$ ^[15],却远小于全国 $0.25^\circ\text{C}/10\text{a}$ ^[16]。从城口四季平均气温的变化来看,除夏季外,其他季节的平均气温均呈显著的上升趋势,其中冬季平均气温增温速率最高,为 $0.17^\circ\text{C}/10\text{a}$,高于重庆市主城区

表1 1961~2012年城口气温的趋势系数 R 和倾向率 b (单位: $^\circ\text{C}/10\text{a}$)

Tab.1 Trend coefficients (R) and tendency rates (b) of temperature during 1961-2012 in Chengkou (Unit: $^\circ\text{C}/10\text{a}$)

	T		T_{\max}		T_{\min}		DTR	
	R	b	R	b	R	b	R	b
春季	0.29*	0.12*	0.54**	0.43**	0.20	0.06	0.51**	0.36**
夏季	-0.16	-0.08	0.11	0.08	0.11	0.04	0.07	0.04
秋季	0.32*	0.14*	0.46**	0.40**	0.28*	0.13*	0.31*	0.27*
冬季	0.34*	0.17*	0.27*	0.15*	0.49**	0.24**	-0.12	-0.09
年	0.30*	0.09*	0.49**	0.28**	0.53**	0.12**	0.35*	0.16*

注:*表示通过0.05的显著性检验;**表示通过了0.01的显著性检验

近 50 a 来冬季平均气温 $0.06\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 的增温率^[15],却远小于全国冬季 $0.39\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 的增温率^[16];夏季平均气温呈微弱的下降趋势,降温率为 $-0.08\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,与重庆市主城区近 50 a 来夏季平均气温的变化趋势一致,但降温幅度高于重庆市主城区(降温率为 $-0.02\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)^[15],却与全国夏季 $0.15\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 的变化趋势相反^[16]。

图 1 为 1961~2012 年城口县气温变化曲线。可以看出,年平均气温具有明显的阶段性变化特征,1960 年代气温波动不大,平均气温为 $13.7\text{ }^{\circ}\text{C}$,1970 年代至 1980 年代中期为降温阶段,其中 1980 年前后年平均气温下降最为明显,说明城口县气温由偏暖期转变为偏冷期,1980 年代的平均气温仅有 $13.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,是近 52 a 中最低;1990 年代中前期至今为持续增温阶段,平均气温为 $14.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,城口县 1990 年代至今出现的显著增温现象在时间上迟于全国 1986 年前后开始的普遍增温^[17],表明城口地区气温变化与全国气候变暖存在非同步性。另外,1974 年为城口县有观测记录以来最冷的年份,年平均气温比 1961~2012 年的平均值低了 $0.98\text{ }^{\circ}\text{C}$;最暖的年份为 2006 年,年平均气温高达 $14.9\text{ }^{\circ}\text{C}$,比近 52 a 的多年平均值高 $1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$,而同期重庆主城区和全国平均气温最高的年份分别为 2006 年和 1998 年^[2]。可见,在全球气候变暖的大背景下,城口与重庆地区气温变化基本相同,但与全国气温变化不同步。

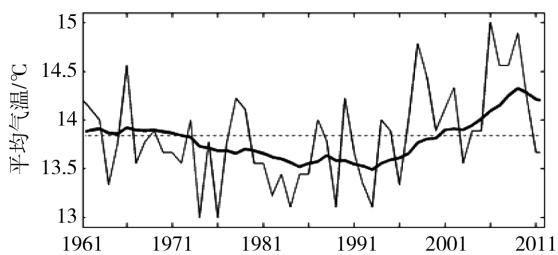


图 1 1961~2012 年城口平均气温的年变化
Fig. 1 Annual changes of mean temperature
from 1961 to 2012 in Chengkou

2.2 平均日最高、最低气温的变化趋势

表 1 还给出了城口县 1961~2012 年平均日最高、最低气温的年及四季的趋势系数和气候倾向率。可以看出,无论是年平均还是季节平均,城口县平均日最高、最低气温均呈增温趋势,但夏季的增温趋势不显著。其中年平均日最高、最低气温增温趋势显著,均达到 0.01 的显著性水平。对比倾向率发现,春季的平均日最高气温的增温速率最大,为 $0.43\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,秋季次之,为 $0.40\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,冬季较春、秋季

小得多,仅为 $0.15\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$;而平均日最低气温的增温速率与最高气温的相反,冬季的最大。此外还看出,冬季平均日最低气温的增幅比最高气温的大,其它季节正相反,即平均日最低气温的增幅均比最高气温的小。可见,城口冬季气温变化具有明显的非对称性,最低气温增温趋势大于最高气温,城口冬季变暖趋势非常明显,这一结论与 Manton^[18]、郭渠^[15]等在其它区域开展的研究结论一致。

另外,城口县 DTR 总体呈上升趋势,尤其是春、秋季表现更明显,年、秋季和春季上升速率分别为 0.16 、 0.27 、 $0.36\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,其中年 DTR 与近 50 a 来四川盆地(含重庆地区)年 DTR 的变化趋势相反^[19];冬季 DTR 呈不显著的下降趋势,变化率为 $-0.09\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,与同期四川盆地的变化趋势一致(气候倾向率为 $-0.19\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)^[19];夏季 DTR 为微弱的上升趋势,速率为 $0.04\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,与四川盆地夏季的变化速率相反(气候倾向率为 $-0.10\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)^[19]。DTR 变大主要是由于平均日最高气温增温幅度较最低气温大所致。

尽管近 52 a 来城口县平均日最高、最低气温整体都呈现显著的增温趋势,但二者均具有明显的阶段性变化特征。就平均日最高气温而言,1960~1980 年代整体为降温阶段,尤其是 1970 年代中期以前,降温趋势更明显;1990 年代以后,为增温阶段(图 2a),可见,日最高气温的变化特征与平均气温的较相似。平均日最低气温与平均气温和平均日最高气温的变化特征差异较大,1970 年代中期以前为显著降温阶段;此后至 1990 年代中期处于波动阶段,前期上升,后期下降;1990 年代中期以后,为明显的升温阶段(图 2b)。

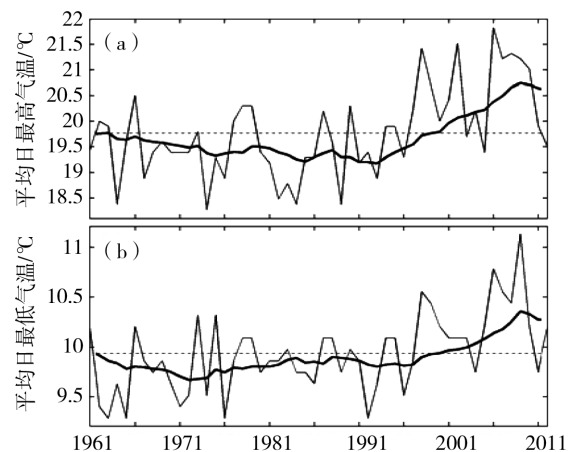


图 2 1961~2012 年城口平均日最高(a)、
最低气温(b)的年变化

Fig. 2 Annual changes of maximum (a) and minimum (b)
temperature from 1961 to 2012 in Chengkou

2.3 气温突变检验

利用 Mann-Kendall 检验方法,对城口年平均气温、平均日最高气温、平均日最低气温时间序列进行突变检验分析(图3)。可以看出,城口年平均气温在1980年代中期以前呈减少趋势,1980年代中期后开始持续增温,1990年代中期以后为整个时段的显著增温阶段,1998年前后出现了气候突变(图3a),意味着这一时期年平均气温增温速率加快,与重庆年平均气温的突变时间2000年^[20]基本相同,但晚于全国(1981年)^[21]。年平均日最高气温的变化特征和突变特征与年平均气温基本一致,于1998年发生了显著突变(图3b)。年平均日最低气温于1963年开始呈增温趋势,2000年后增温趋势更加显著,在1990年出现突变(图3c)。

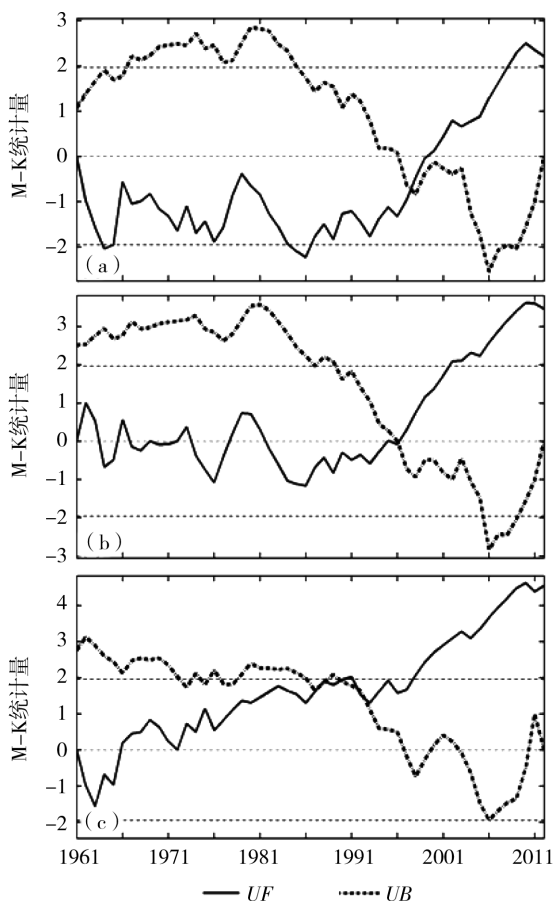


图3 1961~2012年城口县年平均(a)、日最高气温(b)和日最低气温(c)的M-K突变检验

Fig. 3 The M-K test of the annual mean temperature (a), daily maximum (b) and minimum (c) temperature during 1961-2012 in Chengkou

2.4 多时间尺度变化特征

气候变化含有多种时间尺度,在时域内存在着多时间尺度结构和局部变化特征,而在频域内表现

为不同显著性水平的周期振荡。小波变换是将一维气候信号在时间域和频率域中展开,可以反映气候信号时频结构的精细变化和局部化特征^[22]。图4给出了城口年平均气温、平均日最高气温、平均日最低气温的时频域变化特征。可以看出,近52a来城口年平均气温存在2~4a和6a左右时间尺度的显著周期信号,其中2~4a时间尺度周期振荡能量最强,1990~2000年期间通过了置信水平为95%的红噪声检验;年平均日最高气温具有2~4a、6~8a左右的显著变化周期,其中2~4a尺度的周期振荡在1964~1967、1987~1990、1997~2003年能量较强;年平均日最低气温存在2~4a的年度尺度显著变化周期,年代际尺度周期信号较弱。其中2~4a左右的周期振荡在1965~1970、1977~1981年表现明显,而4~8a尺度的周期振荡在1973~1976、1994~1997、1989~2005年能量强大。可见,城口气温变化的时频结构存在相似性,都具有2~4a尺度的显著变化周期,而高频振荡能量相对较弱,说明城口气温年际变化特征明显,这与重庆地区气温的周期振荡特征相同^[21]。

3 2013~2050年城口气温变化预估

3.1 CCLM区域气候模式对城口气温变化模拟能力的评估

为了检验 CCLM 区域气候模式在 SRES-A1B 情景下对 1961~2000 年城口县气温线性趋势模拟能力,参照文献^[10-11]的方法,计算了城口县气温 CCLM 模拟值与观测值的线性趋势、相关系数、距平符号。图5给出了 CCLM 区域气候模式模拟值与观测值的年、四季平均气温变化曲线。可以看出,年与四季平均气温模式模拟结果的年变化特点与观测值大致相同,但模拟的数值偏低。其中,年、夏季平均气温的模拟结果与观测值最为接近,相关系数分别为 0.33、0.34,达到了 95% 置信水平;在距平符号一致率上,冬季平均气温模拟效果最好,达 67.5%,春季平均气温稍差,符号一致率为 55%。

上述对比结果表明,CCLM 区域气候模式对城口气温具有较好的模拟能力,使用该模式 A1B 情景下的预估结果来分析 2001~2012 年预估结果与观测值的差异。发现在 A1B 情景下,2001~2012 年年平均气温预估值与观测值的差异与 1961~2000 年的差异表现为相同的特征,预估气温在大部分年份偏低,年平均气温距平符号一致率为 75%,比 1961~2000 年的模拟效果要好。

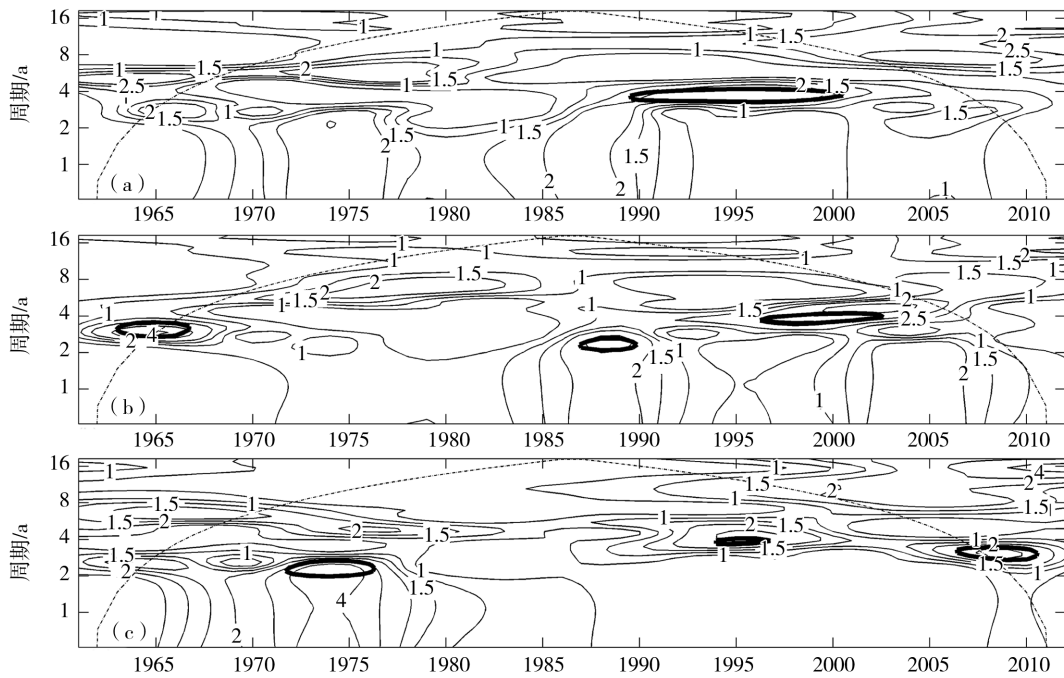


图4 1961~2012 城口年平均气温(a)、日最高气温(b)、日最低气温(c)的小波功率谱
(粗黑实线表示通过置信水平为95%的检验)

Fig.4 The wavelet power spectrum of annual mean temperature (a), daily maximum (b) and minimum (c) temperature from 1961 to 2012 in Chengkou
(The thick black contours are above 95% confidence level)

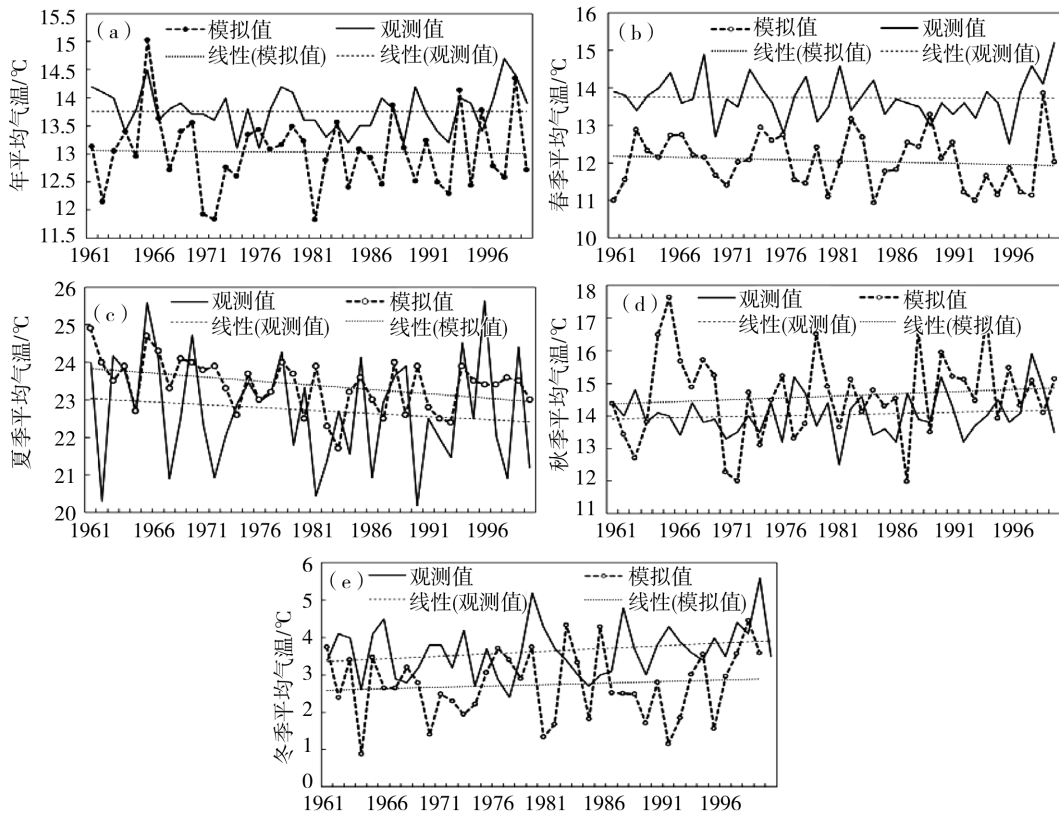


图5 1961~2000 年城口县观测与模拟的年(a)、春(b)、夏(c)、秋(d)、冬季(e)平均气温
Fig.5 Observed and simulated mean temperature from 1961 to 2012 in Chengkou
(a) year; (b) spring; (c) summer; (d) fall; (e) winter

3.2 2013~2050 年气温变化趋势预估

从 CCLM 模式在 SRES - A1B 情景下对 2013 ~ 2050 年城口气温变化的预估序列中看出(图 6),在 SRES - A1B 情景下城口未来 40 a 气温将呈增加趋势,年平均气温、年平均日最高、最低气温的气候倾向率分别为 0.49 °C/10 a、0.54 °C/10 a、0.42 °C/10 a,均通过了信度 95% 的显著性检验,比程炳岩等^[23]基于全球气候模式对重庆 21 世纪气温变化预估的 0.33 °C/10 a 稍高。在 A1B 情景下,城口日最高气温的增温率最大,白天变热的趋势在 21 世纪中前期仍将持续,尤其是 2035 ~ 2050 年气温显著上升。

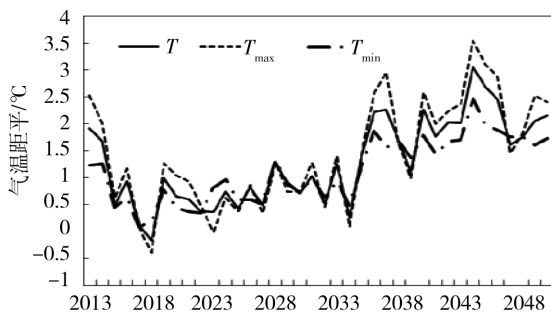


图 6 CCLM 模拟的 2013~2050 年城口气温的年变化
Fig. 6 Annual changes of temperatures simulated by CCLM during 2013 - 2050 in Chengkou

表 2 给出了 2013 ~ 2031、2032 ~ 2050 年在 A1B 情景下年及季节平均气温距平的模式预估结果。可见,在 SRES - A1B 情景下,2031 年前城口 T 、 T_{\max} 、 T_{\min} 的年平均值分别升高 0.66、0.74、0.59 °C,至 21 世纪中叶(2032 ~ 2050 年)变暖趋势更显著,分别升高 1.72、1.93、1.45 °C;就季节变化而言,2031 年前冬季气温增幅大于夏季,到 21 世纪中叶情况相反,而春、秋季 2 个时段的变化特征基本一致。

表 2 A1B 情景下模式预估 2013 ~ 2031、2032 ~ 2050 年的年和四季 T 、 T_{\max} 、 T_{\min} 距平(相对于 1981 ~ 2000 年)

Tab. 2 The anomalies of simulated annual and seasonal mean T 、 T_{\max} 、 T_{\min} in A1B scene during 2013 - 2031 and 2032 - 2050 (compared to 1980 - 2000)

年份	气温/°C	年	春季	夏季	秋季	冬季
2013 ~ 2031	T	0.66	0.55	0.39	0.76	0.93
	T_{\max}	0.74	0.59	0.23	0.9	1.25
	T_{\min}	0.59	0.49	0.53	0.7	0.65
2032 ~ 2050	T	1.72	1.37	2.04	1.99	1.47
	T_{\max}	1.93	1.53	2.23	2.12	1.82
	T_{\min}	1.45	1.21	1.76	1.7	1.13

4 小 结

(1) 近 52 a 来,城口年平均气温存在着显著增温趋势,气候倾向率为 0.09 °C/10 a,远小于全国年平均气温的增温幅度。其中 1970 年代至 1980 年代中期气温持续下降,为气候冷期,1990 年代至今增温迅速;日最高、最低气温的年变化趋势与重庆市主城区并不一致,春、夏、秋季最高气温的增幅高于最低气温的增幅,日最高气温的显著升温使气温日较差明显变大,其中冬季平均气温非对称性明显。

(2) 城口年平均气温、年平均日最高气温均在 1998 年出现升温突变,而年平均日最低气温升温突变较早,出现在 1990 年;年平均气温、年平均日最高、最低气温均存在 2 ~ 4 a 尺度的周期振荡。

(3) 1961 ~ 2000 年 CCLM 区域气候模式模拟的气温与观测值的对比表明,模拟结果可较好地反映出城口气温的线性变化趋势,能很好地预估城口气温的变化特征。基于 CCLM 区域气候模式在 SRES - A1B 情景下 2013 ~ 2050 年城口气温将继续呈增加趋势, T 、 T_{\max} 、 T_{\min} 平均增幅为 1.19、1.34、1.02 °C。

本文主要揭示了城口气温的变化特征,并基于 A1B 情景下的 CCLM 区域气候模式模拟数据预估了城口未来 40 a 气温变化趋势。尽管 SRES - A1B 情景与未来全球以及中国发展规划情景较符合,但气候系统模式本身存在的不确定性以及对气候变化的科学认知程度、未来温室气体排放情景的不确定性等方面的限制,本研究结果尚存在较大的不确定性。另外,关于城口气温变化的原因和气候背景、人类活动对气温变化的影响以及改进气候模式、降低气候模式系统的不确定性等,还有待进一步研究。

致谢:感谢德国波茨坦气候影响研究所提供 CCLM 模式数据

参考文献:

[1] 丁一汇,戴晓苏. 中国近百年来的温度变化[J]. 气象,1994,20(12):19 - 26.
 [2] 陈隆勋,朱文琴. 中国近 45 年来气候变化的研究[J]. 气象学报,1998,56(3):257 - 271.
 [3] 陈隆勋,周秀骥,李维亮. 中国近 80 年来气候变化特征及其形成机制[J]. 气象学报,2004,63(5):634 - 646.
 [4] 程炳岩,孙卫国,郭渠. 重庆地区夏季高温的气候特征与环流形势分析[J]. 西南大学学报(自然科学版),2010,32(1):73 - 80.
 [5] 刘晓冉,程炳岩,李国平. 三峡库区夏季旱涝变化特征及成因[J]. 应用气象学报,2010,21(5):590 - 597.
 [6] 张天宇,李永华,程炳岩,等. 重庆主城区百年雨日及强度变化特征[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版),2011,28(3):37 - 42.

- [7] 郭渠,孙卫国,程炳岩,等. 重庆近 48 年来高温天气气候特征及其环流形势[J]. 长江流域资源与环境,2009,18(1):52-59.
- [8] 国家气象中心. 全国地面气候资料(1961-1990)统计方法[S]. 北京:国家气象中心,1990.
- [9] 施能. 气象科研与预报中的多元分析方法[M]. 北京:气象出版社,2002. 120-122.
- [10] 谈丰,苏布达,高超,等. 高精度区域气候模式对淮河流域降水的模拟评估[J]. 长江流域资源与环境,2012,21(10):1236-1242.
- [11] Burkhard R, Andreas W, Andreas H. The regional climate model COSMO-CLM (CCLM) [J]. Meteorologische Zeitschrift, 2009, 17(4):347-348.
- [12] 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.
- [13] 吴统文,宋连春,刘向文,等. 国家气候中心短期气候预测模式系统业务化进展[J]. 应用气象学报,2013,24(5):533-543.
- [14] 希爽,张志富. 中国近 50 a 积雪变化时空特征[J]. 干旱气象, 2013,31(3):451-456.
- [15] 郭渠,孙卫国,程炳岩,等. 重庆市气温变化趋势及其可能原因分析[J]. 气候与环境研究,2009,14(6):853-892.
- [16] 任国玉,初子莹,周雅清,等. 中国气温变化研究最新进展[J]. 气候与环境研究,2005,10(4):701-716.
- [17] 林学椿,于淑秋,唐国利. 中国近百年温度序列[J]. 大气科学, 1995,19(5):525-534.
- [18] Mantou M J, Della - Marta P M, Hayloek M R, et al. Trend in extreme daily rainfall and temperature in Southeast Asia and the South Pacific: 1961-1998[J]. International Journal of Climatology, 2001,21(3):269-284.
- [19] 班军梅,缪启龙,李雄. 西南地区近 50 年来气温变化特征研究[J]. 长江流域资源与环境,2006,15(3):346-351.
- [20] 周浩,杨宝钢,程炳岩. 重庆近 46 年气候变化特征分析[J]. 中国农业气象,2008,29(1):23-27.
- [21] 郝振纯,孙乐强. 我国 1961-2009 年气温变化规律分析[J]. 河海大学学报(自然科学版),2011,39(6):595-601.
- [22] 程炳岩,郭渠,孙卫国. 川渝地区降水变化与 Niño3 区 SST 的关系及其稳定性分析[J]. 气象,2010,36(2):27-33.
- [23] 程炳岩,刘晓冉,张天宇,等. 基于全球气候系统模式结果的重庆 21 世纪气候变化预估分析[J]. 气象科技,2009,77(4):415-419.

Variation Characteristic and Prediction of Temperature in Chengkou of Chongqing During 1961-2012

LI Zeming¹, GUO Qu², CHEN Jiao¹

(1. Chongqing Meteorological Information and Technology Support Center, Chongqing 401147, China;
2. Chongqing Climate Center, Chongqing 401147, China)

Abstract: Based on annual mean temperature, daily maximum and minimum temperature in Chengkou of Chongqing from 1961 to 2012, the variation characteristics and predictive trend of temperature were analyzed. The results showed that the annual temperature increased weakly from 1961 to 2012 in Chengkou, and the linear tendency rate with $0.09\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ was less than that of China. Compared with the annual mean temperature, the annual mean daily maximum and minimum temperature were more significant, and the warming rate were $0.28\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ and $0.12\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$. The mutations of annual mean temperature, daily maximum and minimum temperature happened in 1998, 1998 and 1990, respectively. And there were significant the periodic oscillations with 2-4 years for the annual mean temperature, daily maximum and minimum temperature. In addition, the temperature in Chengkou simulated by CCLM (COSMO Model in Climate Mode) can well reflect the interannual variation trend of temperature. The temperature predicted by CCLM in the SRES-A1B scenario during 2013-2050 will keep on increasing, and the annual mean temperature, daily maximum and minimum temperature will increase 1.19 , 1.34 and $1.02\text{ }^{\circ}\text{C}$, respectively.

Key words: Chengkou; temperature; CCLM; trend prediction