

文章编号:2096 - 5389(2021)06 - 0044 - 06

黔西南州极端气温时空演变规律研究

段 荣^{1,2}, 杨春艳¹, 李 婧¹, 范 倩¹, 孟庆怡¹, 李 阳¹

(1. 贵州省黔西南布依族苗族自治州气象局, 贵州 兴义 562400; 2. 贵州省山地气候与资源重点实验室, 贵州 贵阳 550002)

摘 要:利用黔西南州 8 个国家气象观测站 1961—2020 年的极端最高、最低和平均最高、最低气温资料,以年代为周期,分析近 60 a 黔西南州极端最高、最低和平均最高、最低气温的时空演变特征。结果表明:夏季,北亚热带季风湿润气候区及南亚热带季风湿润气候区的平均最高气温、平均极端最高气温在 20 世纪 60—80 年代处于持续上升趋势,在 90 年代略下滑,进入 21 世纪后又持续上升。北亚热带季风湿润气候区,近 60 a 平均最高气温升高 0.96 ℃,平均极端最高气温升高 0.43 ℃;南亚热带季风湿润气候区近 60 a 平均最高气温升高 0.73 ℃,平均极端最高气温升高 0.62 ℃。冬季,北亚热带季风湿润气候区平均最低气温及平均极端最低气温在 70—80 年代处于持续上升趋势,90 年代略下滑,而进入 21 世纪又转为上升,近 60 a 平均最低气温升高 0.92 ℃,平均极端最低气温升高 1.64 ℃;南亚热带季风湿润气候区,冬季平均最低气温及平均极端最低气温近 60 a 呈持续上升趋势,平均最低气温升高 2.35 ℃,平均极端最低气温升高 3.32 ℃。

关键词:黔西南州;极端气温;演变规律

中图分类号:P423 **文献标识码:**A

Study on Spatial and Temporal Development of Extreme Temperature in Qianxinan Prefecture, Guizhou Province

DUAN Rong^{1,2}, YANG Chunyan¹, LI Jing¹, FAN Qian¹, MENG Qingyi¹, LI Yang¹

(1. Meteorological Bureau of Buyi and Miao Autonomous Prefecture in Qianxinan Prefecture, Guizhou Province, Xingyi 562400, China; 2. Guizhou Key Laboratory of Mountain Climate and Resources, Guiyang, 550002, China)

Abstract: Based on the data of extreme maximum, minimum, average maximum and minimum temperatures from 8 national meteorological stations in Qianxinan Prefecture from 1961 to 2020, the temporal and spatial evolution characteristics of extreme maximum, minimum, average maximum and minimum temperatures in Qianxinan Prefecture in recent 60 years were analyzed under one year a cycle. The results show that: In summer, the average maximum temperature and the average extreme maximum temperature in the north subtropical monsoon humid climate region and the south subtropical monsoon humid climate region are in a continuous upward trend from the 1960s to the 1980s, and slightly decline in the 1990s, and continue to rise after entering the 21st century. In the north subtropical monsoon humid climate zone, the average maximum temperature increased by 0.96 ℃ and the average extreme maximum temperature increased by 0.43 ℃ in recent 60 years; in the humid monsoon climate region of South Asia, the average maximum temperature increased by 0.73 and the average extreme maximum temperature increased by 0.62 ℃ in recent 60 years. In winter, the average minimum temperature and the average extreme minimum temperature in the subtropical monsoon humid climate region continued to rise from the 1970s to the 1980s, declined slightly in the 1990s, and turned to rise again in the 21st century. In the past 60 years, the average minimum temperature has increased by 0.92 ℃ and the average extreme minimum temperature has increased by 1.64 ℃; in the humid monsoon climate zone of South Subtropical Zone, the average minimum

收稿日期:2020 - 11 - 26

第一作者简介:段 荣(1962—),女,副高,主要从事中长期气候预测研究工作,E-mail:gzxnyy@163.com。

通讯作者简介:杨春艳(1990—),女,硕士,工程师,主要从事中短期天气预报及气候研究工作,E-mail:1048574207@qq.com。

temperature and the average extreme minimum temperature in winter have been increasing continuously in recent 60 years, with the average minimum temperature increasing by 2.35 °C and the average extreme minimum temperature increasing by 3.32 °C.

Key words: Qianxinan Prefecture; extreme temperature; evolution rule

0 引言

黔西南布依族苗族自治州(104°35′~106°32′E, 24°38′~26°11′N)位于云南、广西、贵州三省(区)结合部,海拔500 m以下地区为亚热带季风湿润气候区,1400 m以上为北亚热带季风湿润气候区,界于其间的大部分地区属于中亚热带季风湿润气候区^[1-3]。青藏高原作为全球气候变化的敏感区域,一直是人们研究气候变化的热点地区^[4],而处于青藏高原斜坡地带的黔西南州有3个气候区气候,极端气候特征比较复杂且特殊,全球气候变化以及本地的生态环境状况息息相关,气温作为最基本的气候要素,对生态环境的变迁起着决定性作用^[5],其变化已经影响到世界上许多地方的各种自然和生物系统^[6],因此有必要进一步理清地处青藏高原斜坡带的黔西南州特殊的地理环境及其组成单元极端气温的最新特点。本文的研究结论进一步揭示黔西南州明显不同的两个气候区(北亚热带季风湿润气候区和亚热带季风湿润气候区)近60 a时空演变特征,分析了气候变化与极端气候的时空格局,为黔西南州气候系统和生态系统的脆弱性研究及发展农牧业和旅游产业提供了科学依据,同时也对全球变暖的响应研究提供了对比案例^[7-11]。

1 数据与方法

1.1 数据来源

本文采用黔西南州8个气象观测站1961—2020年的极端气温资料,夏季(6—8月)平均最高气温及夏季逐月极端最高气温资料;冬季(12月—次年2月)平均最低气温及冬季逐月极端最低气温资料。

1.2 研究方法

①研究方法为合成分析、多项式趋势分析。用 x_i 来表示样本量为 n 的某一气候变量;用 x_i 表示 y_i 所对应的时间点,这样就建立了 x_i 和 y_i 之间的一元二次回归方程:

$$y_i^2 = ax_i^2 + bx_i + c \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

②分析 R^2 值的大小, R 平方值是取值范围在0~1之间的数值,当趋势线的 R 平方值等于1或接

近1时,其可靠性最高,反之则可靠性较低。 R 平方值也称为决定系数。在统计学中, R 平方值的计算方法如下: R 平方值=回归平方和/总平方和,其中回归平方和=总平方和-残差平方和。总平方和: $Const$ 参数为True的情况下,总平方和等于 y 的实际值与平均值的平方差之和; $Const$ 参数为False的情况下,总平方和等于 y 的实际值的平方和。残差平方和:残差平方和等于 y 的估计值与 y 的实际值的平方差之和^[9]。在分析极端气温近60 a的变化趋势时,如果 R^2 值很大,接近1时,说明极端最高气温分析曲线和一元二次回归分析的趋势线的拟合高,未来气候变化预估就可根据二次回归分析的趋势线来判断,为未来极端气温变化预估提供科学依据。

2 黔西南州极端气温分布特征

2.1 日极端最高、极端最低气温的时空分布特征

黔西南州日极端最高气温出现在2010年5月1日的册亨41.2 °C;日极端最低气温出现在1968年2月14日的安龙-8.9 °C。日极端最高气温,东南部高,西南部次高;日极端最低气温,北部、中部比东南部、西南部低,如图1所示。

夏季,日极端最高气温分布在东南部,次高分布在西南部,位于东南部的册亨站比位于北部的晴隆站日极端最高气温偏高6.1 °C,38.6 °C为最高出现在册亨(1990年8月29日),如图2a所示。6月日极端最高气温37.8 °C(1976年6月17日出现在望谟),7月日极端最高气温37.7 °C出现在册亨(1986年7月1日),8月日极端最高气温38.60 °C出现在册亨(1990年8月29日)。

冬季,日极端最低气温-6 °C以下的分布在海拔1200 km以上的气候区,-8.9 °C为最低(1968年2月14日出现在安龙),州的东南部及西南部在-2.3~-4.8 °C之间,其余地区在-6.2~-8.9 °C之间,如图2b所示。12月日极端最低气温-5.90 °C(1975年12月14日出现在普安),1月日极端最低气温-6.2 °C(1977年7月31日出现在晴隆),2月日极端最低气温-8.9 °C(1968年2月14日出现在安龙)。

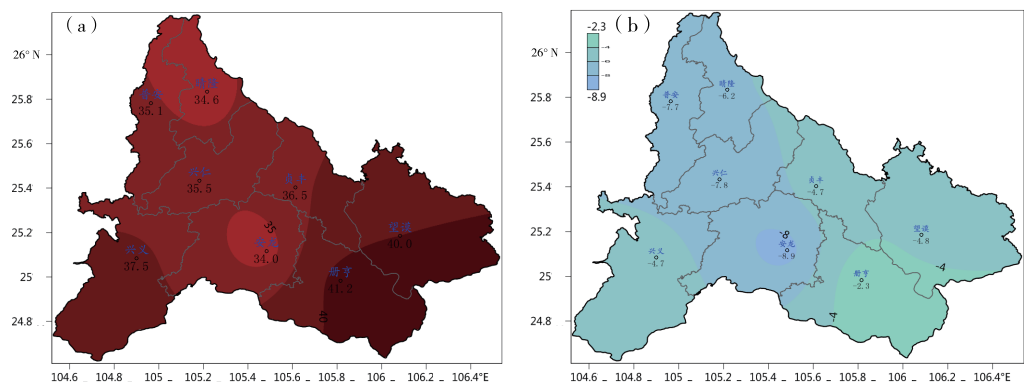


图 1 1961—2020 年黔西南州极端最高(a)、极端最低(b)气温空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of extreme maximum (a) and extreme minimum (b) temperatures in Southwest Guizhou from 1961 to 2020

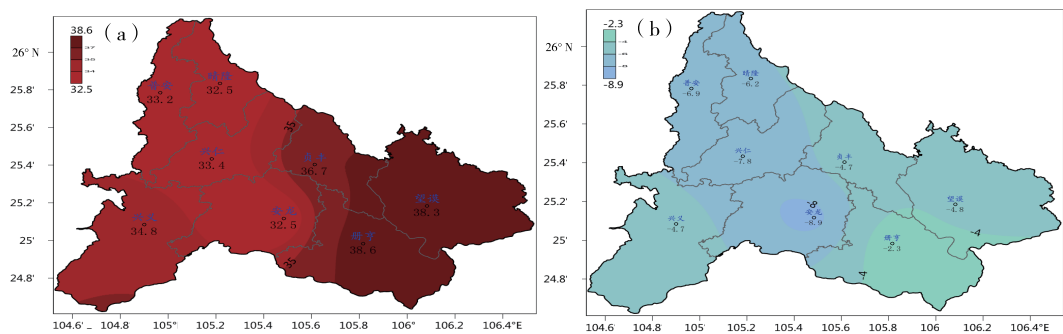


图 2 1961—2020 年黔西南州夏季极端最高(a)、冬季极端最低(b)气温空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of extreme maximum (a) and extreme minimum (b) temperature in Qianxinan Prefecture from 1961 to 2020

2.2 夏季平均最高气温、极端最高气温年代变化趋势分析

选取黔西南州夏季平均气温最低的普安站(属北亚热带季风湿润气候区)的平均最高气温、极端最高气温资料,以及夏季平均气温最高的望谟站(属南亚热带季风湿润气候区)的平均最高气温、极端最高气温资料进行分析。

2.2.1 北亚热带季风湿润气候区夏季平均最高、极端最高年代变化趋势分析 普安站夏季(6—8 月)平均最高气温为 24.60 °C。平均最高气温 20 世纪

60—80 年代处于持续上升区,其中 60 年代比平均值偏低 0.35 °C,70 年代比平均值偏低0.09 °C,80 年代比平均值偏高 0.12 °C,90 年代下滑,比平均值偏低 0.32 °C;进入 21 世纪持续缓慢上升,2001—2010 年比平均值偏高 0.05 °C;2010—2020 年比平均值偏高 0.60 °C。近 60 a 平均最高气温升高 0.96 °C。 $R^2=0.617$,说明普安站夏季平均最高气温年代变化趋势分析曲线与多项式回归分析曲线拟合率中等,如图 3a 所示。

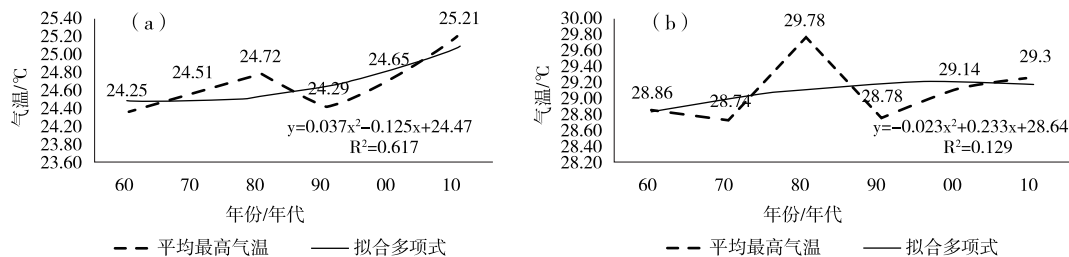


图 3 1961—2020 年普安(a)夏季平均最高气温、(b)夏季平均极端最高气温年代变化趋势分析

Fig. 3 Analysis of decadal variation trend of (a) summer average maximum temperature and (b) summer extreme average maximum temperature in Pu'an from 1961 to 2020

普安站夏季平均极端最高气温为 29.02℃。平均极端最高气温 60—80 年代处于持续上升区,其中 60 年代比平均值偏低 0.16℃,70 年代比平均值偏低 0.28℃,80 年代比平均值偏高 0.76℃,90 年代下滑,比平均值偏低 0.24℃;进入 21 世纪持续缓慢上升,2001—2010 年比平均值偏高 0.12℃;2011—2020 年比平均值偏高 0.28℃。近 60 a 平均极端最高气温升高 0.44℃。 $R^2=0.129$,说明普安站夏季平均极端最高气温年代变化趋势分析曲线与多项式回归分析曲线不拟合,说明极端最高气温年代变化趋势,随机性很大,如图 3b 及表 1 所示。

表 1 1961—2020 年普安站夏季平均极端最高气温年代变化分析表

Tab. 1 Annual variation analysis of mean extreme maximum temperature in summer at Puán station from 1961 to 2020

年代	60	70	80	90	00	10
6 月	28.62	28.99	30.04	30.06	29.12	29.42
7 月	29.17	29.14	29.01	28.18	29.58	29.31
8 月	28.8	28.08	30.3	28.11	28.73	29.16
平均	28.86	28.74	29.78	28.78	29.14	29.30
距平	-0.16	-0.28	0.76	-0.24	0.12	0.28

2.2.2 南亚热带季风湿润气候区夏季平均最高、极端最高气温年代变化趋势分析 南亚热带季风湿

润气候区的望谟站夏季(6—8 月)平均最高气温为 31.37℃比北亚热带季风湿润气候区的普安站(24.60℃)高 6.77℃。平均最高气温 60 年代、70 年代均比平均值偏低,其中 60 年代比平均值偏低 0.20℃,70 年代比平均值偏低 0.33℃;80 年代上升,比平均值偏高 0.02℃;90 年代下滑,比平均值偏低 0.22℃;进入 21 世纪是持续上升,2001—2010 年比平均值偏高 0.21℃;2011—2020 年比平均值偏高 0.53℃。近 60 a 平均最高气温升高 0.73℃。 $R^2=0.840$,说明望谟站夏季平均最高气温年代变化趋势分析曲线与多项式回归分析曲线拟合率很高,如图 4a 所示。

望谟站夏季平均极端最高气温为 34.90℃。平均极端最高气温 60 年代、70 年代均比平均值偏低 0.25℃;80 年代比平均值偏高 0.01℃,90 年代下滑,比平均值偏低 0.13℃;进入 21 世纪是持续缓慢上升,2001—2010 年比平均值偏高 0.26℃;2011—2020 年比平均值偏高 0.37℃。近 60 a 平均极端最高气温升高 0.62℃。 $R^2=0.870$,说明望谟站夏季平均极端最高气温年代变化趋势分析曲线与多项式回归分析曲线拟合率很高,如图 4b 及表 2 所示。

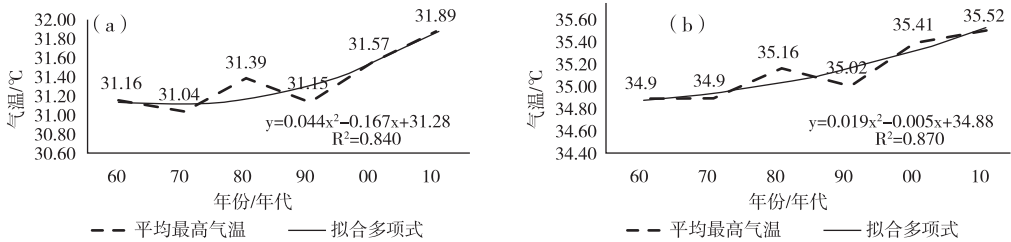


图 4 1961—2020 年望谟站(a)夏季平均最高气温、(b)夏季平均极端最高气温年代变化趋势分析
Fig. 4 Analysis of annual variation trend of (a) summer average maximum temperature and (b) summer extreme average maximum temperature at Wangmo station from 1961 to 2020

表 2 1961—2020 年望谟站夏季平均极端最高气温年代变化分析表

Tab. 2 Annual variation analysis of average extreme maximum temperature from June to August at Wangmo station from 1961 to 2020

年代	60	70	80	90	00	10
6 月	34.13	35.09	34.98	34.90	35.10	35.35
7 月	35.46	35.12	35.41	34.95	35.61	35.57
8 月	35.12	34.49	35.08	35.22	35.52	35.63
平均	34.90	34.90	35.16	35.02	35.41	35.52
距平	-0.25	-0.25	0.01	-0.13	0.26	0.37

2.3 冬季平均最低、极端最低气温年代变化趋势分析

选取黔西南州冬季平均气温最低的普安站(属北亚热带季风湿润气候区)及冬季平均气温最高的望谟站(属南亚热带季风湿润气候区)的平均最低气温、极端最低气温资料进行分析。

2.3.1 北亚热带季风湿润气候区冬季平均最低、极端最低气温年代变化趋势分析 北亚热带季风湿润气候区的普安站冬季(12—次年 2 月)平均最低气温为 3.24℃。平均最低气温近 60 a 都处于持续

缓慢上升,60—90 年代均比平均值偏低,其中 60 年代比平均值偏低 0.56 ℃,70 年代比平均值偏低 0.21 ℃,80 年代比平均值偏低 0.23 ℃,2001—2010 年比平均值明显偏高 0.72 ℃,2011—2020 年比 2001—2010 年略下滑 0.37 ℃,但比平均值偏高

0.35 ℃。近 60 a 平均最低气温升高 0.92 ℃。 $R^2 = 0.767$,说明普安站冬季平均最低气温年代变化趋势分析曲线与多项式回归分析曲线拟合率中等,如图 5a 所示。

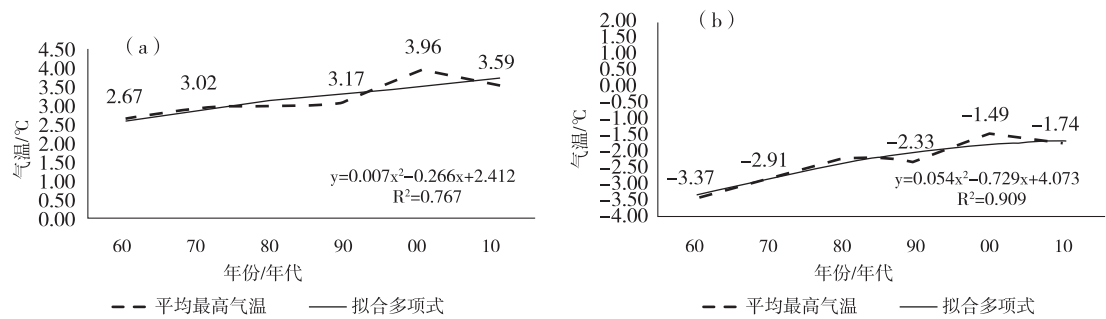


图 5 1961—2020 年普安站 (a) 冬季平均最低气温、(b) 冬季平均极端最低气温年代变化趋势分析图
Fig. 5 Analysis of decadal variation trend of (a) average minimum temperature in winter and (b) extreme average minimum temperature in winter at Pu'an station from 1961 to 2020

普安站冬季平均极端最低气温为 -2.06 ℃。平均最低气温近 60 a 都处于持续缓慢上升,其中 60 年代比平均值偏低 -1.31 ℃;70 年代比平均值偏低 0.85 ℃;80 年代比平均值偏低 0.14 ℃;90 年代下滑,比平均值偏低 0.27 ℃;进入 21 世纪持续缓慢上升,2001—2010 年比平均值偏高 0.57 ℃;2011—2020 年比平均值偏高 0.32 ℃。近 60 a,平均极端最低气温升高 1.63 ℃。 $R^2 = 0.909$,说明普安站冬季平均极端最低气温年代变化趋势分析曲线与多项式回归分析曲线曲线拟合率很高,图 5b 及表 3 所示。

表 3 1961—2020 年普安站 12—次年 2 月
平均极端最低气温年代变化分析表
Tab. 3 Analysis of decadal variation of average extreme minimum temperature from December to February at Pu'an station from 1961 to 2020

年代	60	70	80	90	00	10
12 月	-1.63	-1.46	-1.61	-1.37	-1.06	-1.85
1 月	-3.21	-3.23	-2.52	-3.35	-2.14	-2.19
2 月	-3.53	-2.58	-1.88	-1.31	-0.83	-1.28
平均	-3.37	-2.91	-2.20	-2.33	-1.49	-1.74
距平	-1.31	-0.85	-0.14	-0.27	0.57	0.32

2.3.2 南亚热带季风湿润气候区冬季平均最低、极端最低年代变化趋势分析 南亚热带季风湿润气候区的望谟站冬季(12 月、1 月、2 月)平均最低气温为 8.06 ℃。平均最低气温近 60 a 都处于持续上升,60—80 年代均比平均值偏低,其中 60 年代比平均值偏低 1.02 ℃;70 年代比平均值偏低 0.79 ℃;

80 年代比平均值偏低 0.49 ℃;90 年代比平均值偏高 0.08 ℃;2001—2010 年比平均值明显偏高 0.88 ℃,2001—2010 年比平均值偏高 1.33 ℃。近 60 a 平均最低气温升高 2.35 ℃。 $R^2 = 0.989$,说明望谟站冬季平均最低气温年代变化趋势分析曲线与多项式回归分析曲线拟合率高,如图 6a 所示。

望谟站冬季平均极端最低气温为 2.25 ℃。平均最低气温近 60 a 都处于持续上升,其中 60 年代比平均值偏低 -1.51 ℃;70 年代比平均值偏低 1.09 ℃;80 年代比平均值偏低 0.16 ℃;90 年代比平均值偏高 0.36 ℃;2001—2010 年比平均值偏高 1.48 ℃;2011—2020 年比平均值偏高 1.81 ℃。近 60 a 平均极端最低气温升高 3.32 ℃。 $R^2 = 0.984$,说明望谟站冬季平均极端最低气温年代变化趋势分析曲线与多项式回归分析曲线拟合率高,如图 6b 及表 4 所示。

表 4 1961—2020 年望谟站 12—次年 2 月
极端最低气温年代变化分析表
Tab. 4 Analysis on the decadal variation of extreme minimum temperature from December to February at Wangmo station from 1961 to 2020

年代	60	70	80	90	00	10
12 月	1.60	1.20	1.14	1.85	2.75	3.21
1 月	-0.78	0.18	1.09	1.12	2.69	3.2
2 月	2.26	2.15	3.09	4.11	4.77	4.92
平均	0.74	1.17	2.09	2.62	3.73	4.06
距平	-1.51	-1.09	-0.16	0.36	1.48	1.81

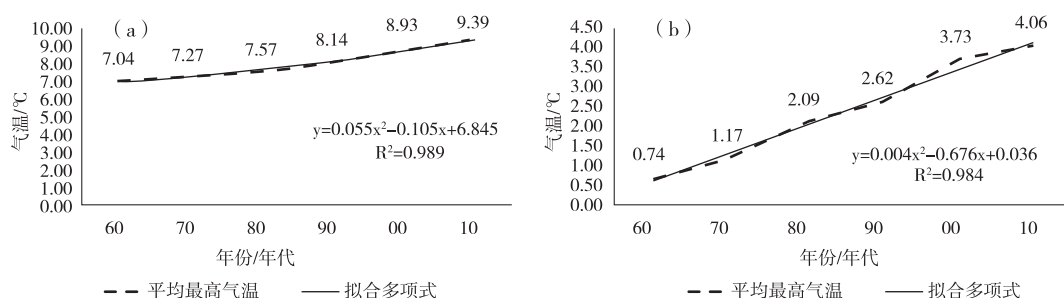


图6 1961—2020年望谟站(a)冬季平均最低气温、(b)冬季平均极端最低气温年代变化趋势分析图

Fig. 6 Analysis of annual variation trend of (a) average minimum temperature in winter and (b) extreme average minimum temperature in winter at Wangmo station from 1961 to 2020

3 结论

①黔西南州日极端最高气温及平均极端最高气温不是出现在夏季,均出现在春季的5月;日极端最低气温、平均极端最低气温均出现在2月。日极端最高气温、日极端最低气温均呈现出东南部高,西南部次高,中部、北部比东南部、西南部低的分布特点。

②夏季,北亚热带季风湿润气候区及南亚热带季风湿润气候区,平均最高气温及极端最高气温均是20世纪60—80年代处于持续上升趋势,90年代略下滑,进入21世纪又持续上升。北亚热带季风湿润气候区,近60 a平均最高气温升高0.96℃,平均极端最高气温升高0.43℃;南亚热带季风湿润气候区近60 a平均最高气温升高0.73℃,平均极端最高气温升高0.62℃。

③冬季,北亚热带季风湿润气候区平均最低气温及极端最低气温,70年代、80年代处于持续上升区,90年代略下滑,进入21世纪后上升,近60 a平均最低气温升高0.92℃,平均极端最低气温升高1.64℃;南亚热带季风湿润气候区,冬季平均最低气温及极端最低气温近60 a呈现持续上升趋势,近60 a平均最低气温升高2.35℃,平均极端最低气温升高3.32℃。

④夏季,普安站平均最高气温年代变化趋势分析曲线与多项式回归分析曲线拟合率中等($R^2 = 0.617$);普安站平均极端最高气温年代变化趋势分析曲线与多项式回归分析曲线不拟合($R^2 = 0.129$),说明普安站极端最高气温年代变化趋势,随机性很大。望谟站平均最高气温及平均极端最高气温年代变化趋势分析曲线与多项式回归分析曲线拟合率高(R^2 分别为0.840和0.870)。冬季,普安站冬季平均最低气温年代变化趋势分析曲线

与多项式回归分析曲线拟合率中等($R^2 = 0.767$);普安站冬季平均极端最低气温、望谟站冬季平均最低气温及冬季平均极端最低气温年代变化趋势分析曲线与多项式回归分析曲线拟合率很高(R^2 分别为0.909、0.989、0.984),说明冬季未来最低气温气候变化预估就可根据二次回归分析的趋势线来判断,为气候变化预估提供科学依据。

参考文献

- [1] 张万诚,郑建萌,马涛,等. 1961—2012年云南省极端气温时空演变规律研究[J]. 资源科学, 2015, 37(4): 710—722.
- [2] 《气候变化国家评估报告》编写委员会. 气候变化国家评估报告[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [3] 李腹广,王芬,赵玉金,等. 黔西南气候资源与农业生产[J]. 广东气象, 2006, 27(增刊): 42—45.
- [4] 周宁芳,秦宁生,屠其璞,等. 近50 a青藏高原地面气温变化的区域特征分析[J]. 高原气象, 2005, 24(3): 344—349.
- [5] 唐红玉,杨小丹,王希娟,等. 三江源地区近50年降水变化分析[J]. 高原气象, 2007, 26(1): 47—54.
- [6] IPCC. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability: Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [7] 易湘生,尹衍雨,李国胜,等. 青海三江源地区近50 a来的气温变化[J]. 地理学报, 2011, 66(11): 1451—1465.
- [8] 游庆龙,吴芳营,孙博,等. 青藏高原三江源地区近60 a气候与极端气候变化特征分析[J]. 大科学学报, 2020, 43(6): 1042—1055.
- [9] 刘学华,季致建,吴洪宝,等. 中国近40 a极端气温和降水的分布特征及年代际差异[J]. 热带气象学报, 2006, 22(6): 618—624.
- [10] 杨春艳,严小冬,夏阳,等. 近56 a西南区域降水分布及持续性干旱的研究[J]. 中低纬山地气象, 2021, 45(2): 15—22.
- [11] 严锐,董端,龙园,等. 全球气候变暖背景下水城县近30 a气温与降水变化的新特征[J]. 中低纬山地气象, 2020, 44(3): 5—12.