

# 1961—2021年贵州省日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 气候特征分析

王君军<sup>1</sup> 严小冬<sup>2</sup> 夏阳<sup>2</sup> 张皓<sup>3</sup>

(1 贵州省贵阳市气象局, 贵阳 550002; 2 贵州省山地气象研究所, 贵阳 550002; 3 贵州省清镇市气象局, 清镇 551400)

**摘要:** 贵州省冬季供暖需求呈上升趋势, 而气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 成为冬季能源保供气象服务中的重要指标。利用1961—2021年贵州省82个国家级地面气象观测站逐日平均气温资料, 对日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 日数时空分布特征进行分析。结果表明: 贵州省日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 日期主要集中在11月下旬—次年3月上旬, 呈西北多、南部少的空间分布特征; 秋、冬、春季日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 日数呈减少趋势, 其中春季减少最快; 日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 平均开始(结束)日期由西北向南逐渐推迟(提前), 20世纪90年代末以来开始/结束时间呈现明显偏晚/偏早特征; 各地年日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 日数突变时间集中在20世纪90年代至21世纪初, 南部早于北部, 突变后年日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 日数减少特征明显, 其中自东向西中部一线减少显著; 年日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 日数存在10~12 a、4~6 a和3 a左右的显著振荡周期, 其中3 a左右的振荡周期最为显著; 日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 日数多少除了受海拔影响外, 还受地理位置和天气系统等因素的影响。

**关键词:** 贵州省, 日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ , 变化特征

中图分类号: P4

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2024.04.004

## Climate Characteristics of Daily Mean Temperature Below $10^{\circ}\text{C}$ in Guizhou Province from 1961 to 2021

Wang Junjun<sup>1</sup>, Yan Xiaodong<sup>2</sup>, Xia Yang<sup>2</sup>, Zhang Hao<sup>3</sup>

(1 Guiyang Meteorological Bureau of Guizhou Province, Guiyang 550002; 2 Guizhou Mountainous Meteorological Research Institute, Guiyang 550002; 3 Qingzhen Meteorological Bureau of Guizhou Province, Qingzhen 551400)

**Abstract:** Using daily mean temperature data from 82 national meteorological observation stations in Guizhou Province from 1961 to 2021, the spatiotemporal distribution characteristics of days with daily mean temperature below  $10^{\circ}\text{C}$  are analyzed. The results show that the time period with daily mean temperature below  $10^{\circ}\text{C}$  in Guizhou Province ranges mainly from late November to early March, showing a spatial distribution feature of more in the northwest and less in the south. The number of days with daily mean temperature below  $10^{\circ}\text{C}$  in autumn, winter, and spring tends to decrease, with the fastest decrease occurring in spring. The average start (end) date with daily mean temperature below  $10^{\circ}\text{C}$  is gradually delayed (advanced) from northwest to south. Since the late 1990s, the start (end) date have shown a significant tendency to be later (earlier). The mutation of annual days with daily mean temperature below  $10^{\circ}\text{C}$  concentrated in the 1990s–2000s, showing a distribution pattern where the southern regions experienced mutations earlier than the northern regions. After the mutation, the number of days with daily mean temperature below  $10^{\circ}\text{C}$  decreased significantly, with a significant decrease in the central region from east to west. There are significant oscillation periods of 10–12 years, 4–6 years, and 3 years for annual days with daily mean temperature below  $10^{\circ}\text{C}$  in Guizhou Province, with the oscillation period of 3 years being the most significant. The distribution of the number of days with daily mean temperature below  $10^{\circ}\text{C}$  is not only influenced by altitude, but also by factors such as geographical location and weather system.

**Keywords:** Guizhou Province, daily mean temperature below  $10^{\circ}\text{C}$ , variation characteristic

## 0 引言

气候变化给人类生存和发展带来严峻挑战<sup>[1]</sup>, 气温作为衡量气候变化的重要指标之一, 受到越来越多

专家学者的密切关注<sup>[2-7]</sup>。贵州省地处长江、珠江流域上游, 属于典型的低纬高原亚热带喀斯特湿润区, 具有生态系统脆弱, 地形复杂破碎, 区域小气候多样, 气候敏感性较强等特点<sup>[8]</sup>。

贵州省冬季湿度大, 当气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 时, 在体感上相较于同纬度地区明显感觉寒冷<sup>[9]</sup>。随着基础设施建设不断完善, 贵州省冬季供暖需求呈上升趋势, 而气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 成为冬季能源保供气象服务中的重要指标,

收稿日期: 2023年5月4日; 修回日期: 2023年9月7日

第一作者: 王君军(1982—), Email: 71844875@qq.com

通信作者: 严小冬(1978—), Email: 734909254@qq.com

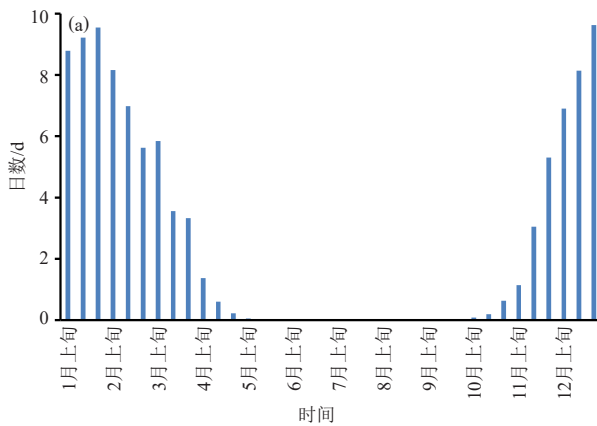
资助信息: 贵阳市气象局自立科研项目(筑气科合YW[2023]15号)

因此开展相关研究具有一定的现实意义。近年来，针对贵州地区冬季气温、极端最低气温、日较差等不同空间区域、时间尺度研究开展较多<sup>[10-13]</sup>，而对气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 变化特征分析却鲜见报道。本文通过分析贵州省日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 的时空变化特征，以期为科学部署工农业生产和生态建设、合理开发利用气候资源、制定能源供应等可持续发展战略提供科学支撑。

## 1 资料与方法

本文利用1961—2021年贵州省82个国家级地面气象观测站逐日平均气温资料。由于气象站点迁站，将搬迁前后海拔差异较大的台站气温值作均一化处理<sup>[14]</sup>（订正时间：紫云站1961年1月—1965年7月；贵阳站2000年1月—2021年12月；盘州站2003年1月—2021年12月；福泉站1961年1月—1969年12月；都匀站2007年1月—2021年12月；晴隆站1961年1月—1967年5月；仁怀站1961年1月—1969年4月）。

采用线性回归法分析1961—2021年贵州省日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 日数的年际、年代际变化趋势。突变检测采用Mann-Kendall方法（简称M-K法）。M-K法是世界气象组织（WMO）推荐的一种非参数的突变检验法，



具有干扰性少、校验范围宽的特点，可以对时间序列变化趋势的显著性和突变性进行检验，通过正序列和反序列曲线交叉点来确定突变时间节点<sup>[14-15]</sup>。周期性分析运用Morlet小波函数。小波分析在时频两域具有局部特征表征能力，可以较好地反映气候周期变化动态的时间格局。

## 2 日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 日数时空分布特征

### 2.1 日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 日数的气候特征

如图1a所示，贵州省除7—8月未出现日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 外，其余月份均有出现，且主要集中在11月下旬—次年3月上旬，其中下半年最早出现日期为1972年9月3日（威宁），上半年最晚结束日期为1976年6月11日（威宁）。日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 日数年平均为99.2 d，各地日数在36.5 d（望谟）~150.7 d（威宁）。空间分布呈现由南向北逐渐增多（图1b），高值区（ $>110.0$  d）主要位于贵州省的北部、西北部高海拔地区以及东部边缘，其中威宁一带在130.0 d以上，低值区（ $<70.0$  d）主要位于贵州省的南部边缘以及赤水一带的低海拔地区，其中册亨、罗甸、望谟在50.0 d以下。

贵州省秋、冬、春季日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 的平均日

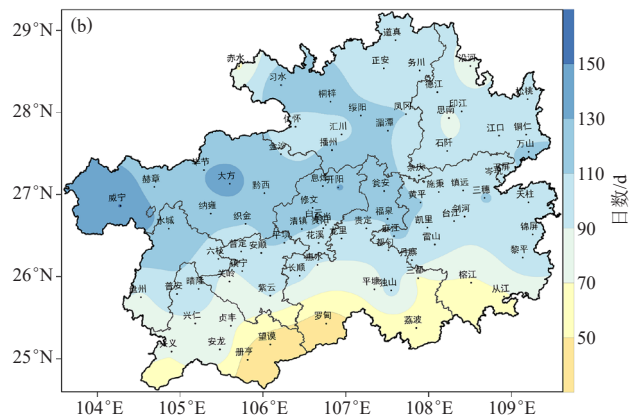


图1 1961—2021年贵州省日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 逐旬平均日数变化(a)及年平均日数空间分布(b)

Fig. 1 Ten-day variation of average days (a) and spatial distribution of annual average days (b) with daily mean temperature below  $10^{\circ}\text{C}$  in Guizhou from 1961 to 2021

数分别为10.8 d、73.3 d和15.3 d。各季空间分布与年日数分布一致，即由南向北逐渐增多（图2）。秋季平均日数在0.8（罗甸）~36.3 d（威宁）， $>20.0$  d的高值区位于贵州省的西北部， $<10.0$  d的低值区位于南部及东部；冬季平均日数在34.5（望谟）~86.0 d（习水）， $>80.0$  d的高值区位于贵州省北部、西北部以及东部边缘， $<50.0$  d的低值区位于南部边缘一带；春季平均日数在1.5（望谟）~31.1 d（威宁）， $>20.0$  d的高值区位于贵州省西北部及中北部， $<10.0$  d的低值区位于

南部一带。

### 2.2 日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 日数倾向率变化及主要周期特征

1961—2021年贵州省日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 日数趋于减少（图3a），减少速率为2.0 d/（10 a），特别从20世纪90年代后期开始减少明显，减少速率为4.0 d/（10 a）。各地年日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 日数均呈减少趋势（图3b），减少速率在0.5~4.6 d/（10 a），其中减少快速区（ $>3.0$  d/（10 a））主要位于贵州省西部边缘、西南部边缘

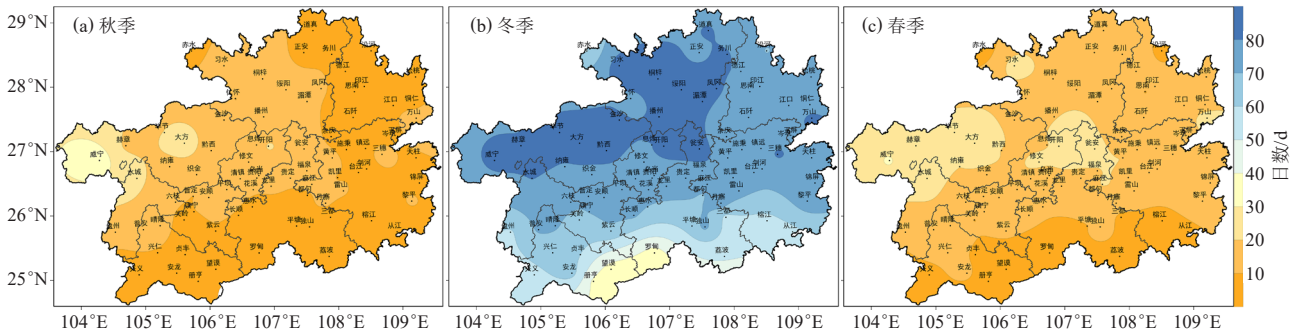


图2 1961—2021年贵州省日平均气温<10℃各季节平均日数空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of average days with daily mean temperature below 10 °C during different seasons in Guizhou from 1961 to 2021

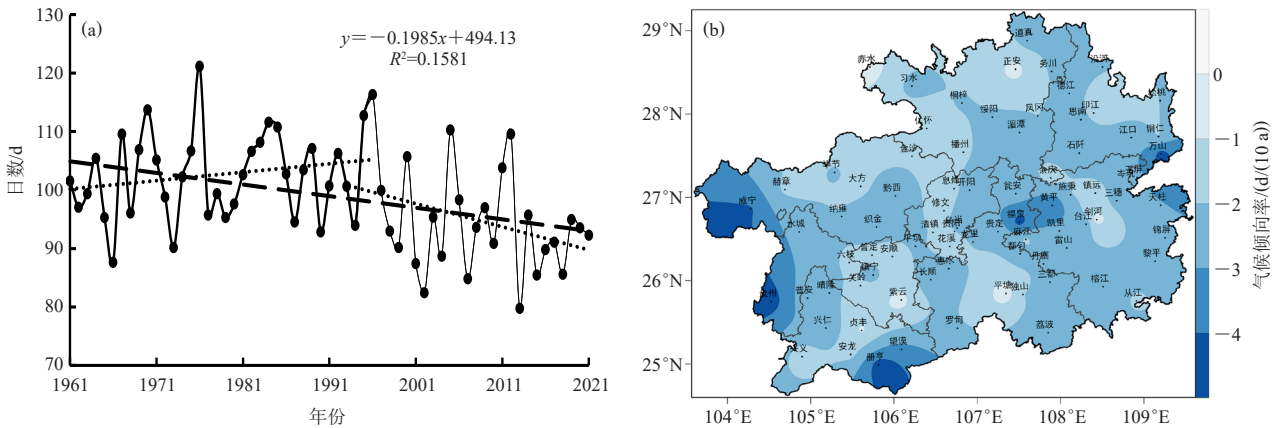


图3 1961—2021年贵州省日平均气温<10℃日数变化趋势(a)及气候倾向率空间分布(b)

Fig. 3 Annual trend of days with daily mean temperature below 10 °C (a) and spatial distribution of climate tendency rates (b) in Guizhou from 1961 to 2021

以及东部边缘。

贵州省秋、冬、春季日平均气温<10℃日数呈一致性减少趋势(图4),减少速率分别为0.5 d/(10 a)、0.5 d/(10 a)和0.7 d/(10 a)。秋季减少快速区(>1.0 d/(10 a),本段下同)主要位于西部边缘,减少缓慢区(<0.5 d/(10 a),本段下同)主要位于东北部及南部一带;冬季减少快速区主要位于西部及南部边

缘,减少缓慢区主要位于西南部以及北部边缘;春季减少快速区主要位于东部,减少缓慢区主要位于南部一带。

为得到多尺度变化信息,对贵州省日平均气温<10℃日数进行小波及功率谱分析可知(图5),20世纪70年代存在10~12 a的显著振荡周期,20世纪90年代至21世纪初存在4~6 a的显著振荡周期,21世纪初至10

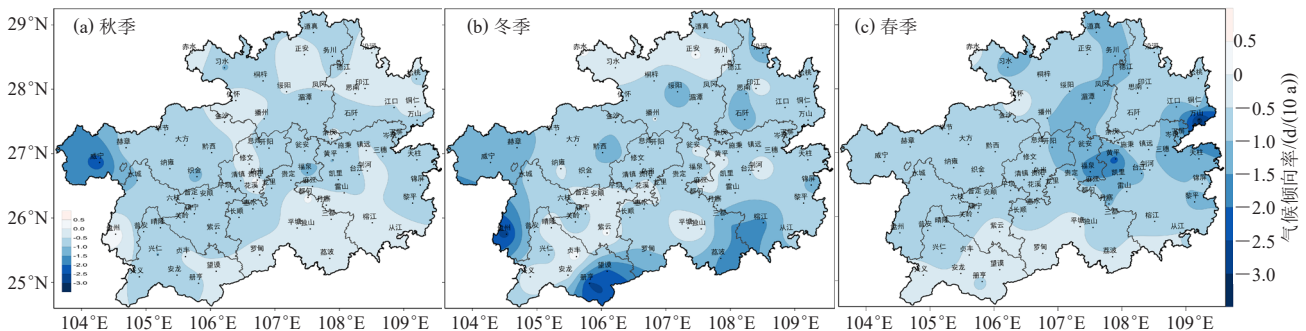


图4 1961—2021年贵州省各季节日平均气温<10℃日数气候倾向率空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of climate tendency rate of days with daily mean temperature below 10 °C in different seasons in Guizhou from 1961 to 2021

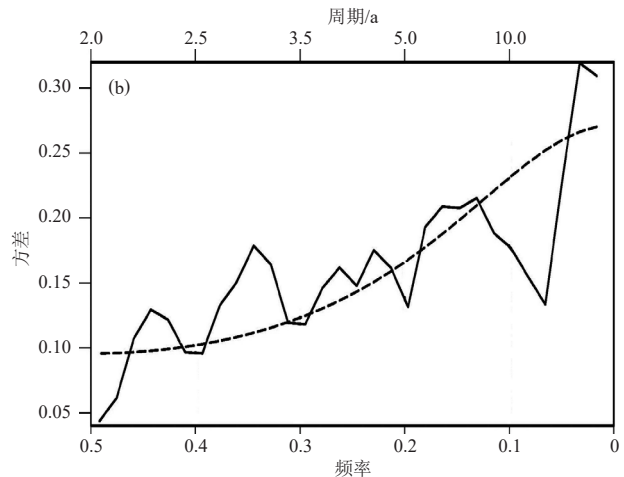
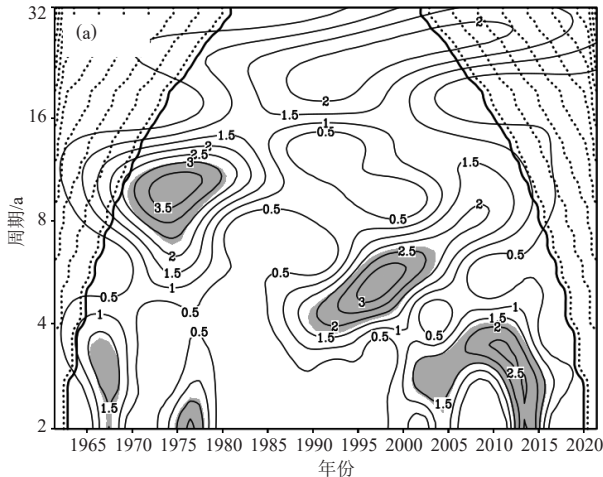


图5 1961—2021年贵州省日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 日数的Morlet小波分析(a, 阴影为通过90%的显著性水平 $t$ 检验, 虚线区为小波变换受边界影响的区域)及功率谱(b, 实线为方差, 虚线为通过95%的显著性水平红噪声检验)

Fig. 5 Morlet wavelet analysis (a, the shadow represents a significant  $t$ -test at 90%, and the dashed area indicates the region affected by boundary effects in wavelet transform) and power spectrum (b, the solid line is the variance and the dotted line represents the red noise test with 95% significance) of days with daily mean temperature below  $10^{\circ}\text{C}$  in Guizhou from 1961 to 2021

年代中期存在3 a的显著振荡周期。结合功率谱分析可知, 在整个时间区域上3 a左右的振荡周期最为显著。

### 3 日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 初日及终日

图6给出了贵州省日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 开始日期及结束日期的空间分布, 其中下半年日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 开始日期为初日, 次年上半年日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 结束

日期为终日。总体来看, 贵州省日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 平均初日(终日)由西北向南逐渐推迟(提前), 大致从10月上旬—12月上旬逐渐开始, 次年3月中旬—5月上旬逐渐结束。其中贵州省西部、中部以及东部边缘在10月中旬—下旬开始, 次年4月中旬—5月上旬结束; 南部边缘一带低海拔地区在11月下旬—12月上旬开

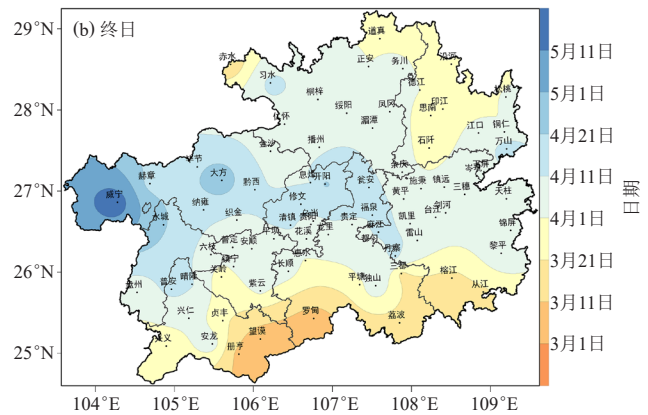
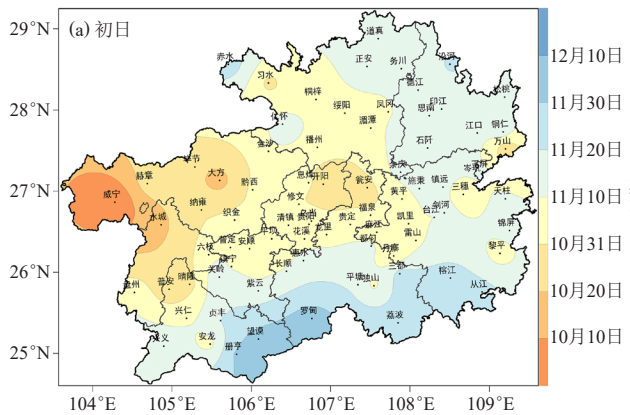


图6 1961—2021年贵州省日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 平均初日(a)及终日(b)空间分布

Fig. 6 Spatial distribution of average first-day (a) and end-day (b) with daily mean temperature below  $10^{\circ}\text{C}$  in Guizhou from 1961 to 2021

始, 次年3月中旬—下旬结束。

由初日距平变化序列(图7a)可见, 峰值(谷值)表示当年日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 开始时间较历年平均偏晚(偏早), 总体上, 20世纪60年代后期及80年代后期至90年代以偏早为主, 90年代末期以来呈现明显偏晚特征。由终日距平变化序列(图7b)可见, 峰值(谷值)表示当年日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 结束时间较历年平均偏晚(偏早), 总体上, 20世纪60年代后期至70年代初以

及80年代以偏晚为主, 90年代末期以来呈现明显偏早特征。

### 4 突变分析

如图8所示, 1961—2021年贵州省日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 日数序列(UF, 实线)在20世纪60年代至80年代中期呈波动性上升趋势, 之后波动性下降, 特别是2000年以后减少趋势显著。根据与UB(虚线)交点可知, 在2006年前后发生突变, 突变前日平均气温

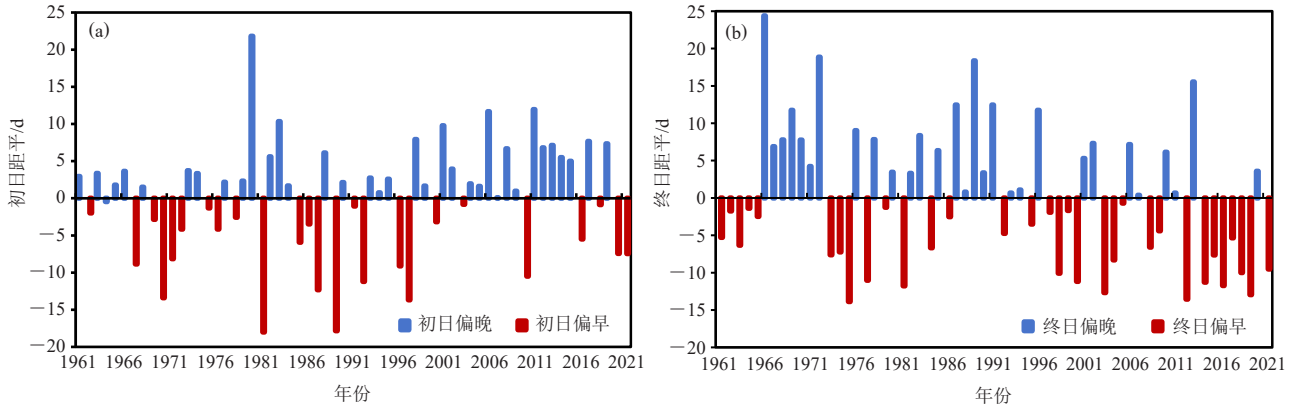


图7 1961—2021年贵州省日平均气温<10℃初日(a)及终日(b)距平变化

Fig. 7 Departure of first-day (a) and end-day (b) with daily mean temperature below 10 °C in Guizhou from 1961 to 2021

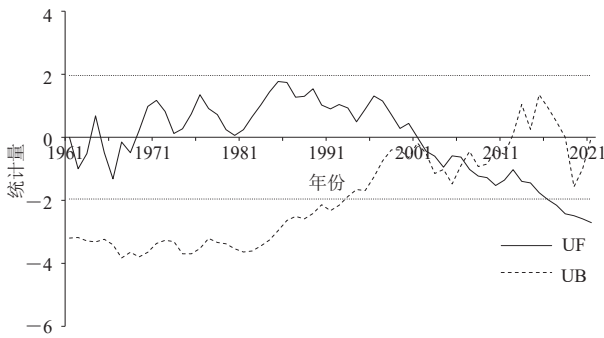


图8 1961—2021年贵州省日平均气温<10℃日数突变  
Fig. 8 Mutation of days with daily mean temperature below 10 °C in Guizhou from 1961 to 2021

<10 °C日数年平均为101.1 d, 偏多年份占60.8%; 突变后偏少年份占86.7%, 年平均日数为92.9 d, 减少了8.2 d。

贵州省各地突变时间集中在20世纪90年代至21世纪初, 呈现南部早于北部的分布特征(图9a), 其中西北部及东部大部分地区突变时间在21世纪第一个10年的中后期, 西南部地区突变时间在20世纪90年代中前期。由突变前后日数距平分布(图9b)可见, 各地突变后日数均减少, 其中自东向西中部一线大部分地区突变后较突变前减少10.0 d以上, 西北部边缘减少16.0 d以上。

### 5 日平均气温<10℃日数与海拔关系分析

分析贵州省各站点日平均气温<10 °C日数与海拔的关系(图10)发现, 伴随着海拔的上升, 日平均气温<10 °C日数呈现上升趋势。利用线性回归方法拟合海拔(x)与日平均气温<10 °C日数(y)的关系可见, 两者拟合度不高, 说明影响日平均气温<10 °C日数分布的除了海拔外, 还有其他因素。例如, 位于贵州省东部边缘的万山站海拔为884.3 m, 日平均气温<10 °C日数年平均达126 d, 而西南部的盘州、兴

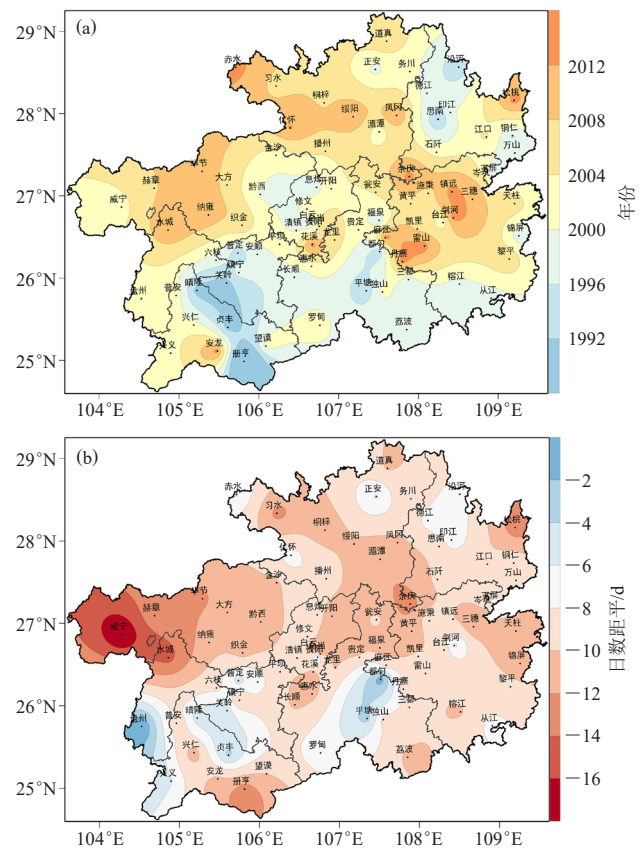


图9 1961—2021年贵州省日平均气温<10℃日数突变时间分布(a)及突变前后日数距平分布(b)

Fig. 9 Temporal distribution of mutation of days with daily mean temperature below 10 °C (a) and departure of days before and after the mutation (b) in Guizhou from 1961 to 2021

义站海拔分别为1515.2 m、1300.5 m, 年平均日数仅有78.0 d、71.2 d; 位于贵州省东部边缘的岑巩、玉屏、松桃一带海拔仅有400 m左右, 年平均日数达100 d以上, 而西南部边缘的罗甸、望谟、册亨一带海拔与东部边缘相当, 但年平均日数仅有40 d左右。究其原因,

冬半年西伯利亚冷空气累积加强后东移南压至我国华北地区,同时,低空冷空气折向西南,经贵州省东部入侵并向西推进影响全省。由《中国灾害性天气气候图集(2016—2015年)》<sup>[16]</sup>可知,贵州省中东部一线寒潮及强冷空气发生频次高于省内其余大部分地区,可见贵州省东部边缘一带虽然海拔相对不高,但位于冷空气入侵路径上,日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 日数相对偏多,这也是上述贵州省中东部一线日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 日数偏高的原因。另外,贵州省位于云贵高原东部,海拔总趋势自东向西升高,冷空气向西移动时,受高原阻挡常常迫使冷锋在贵州省西南部形成准静止锋,西南部的盘州以及兴义一带海拔虽然较高,但常处于锋前,日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 日数相对较少,而罗甸、望谟、册亨一带位于贵州省的西南部边缘,常处于锋前,加之海拔低,所以日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 日数更少。由此可见,影响日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 日数多少的除了海拔外,还受地理位置及天气系统等因素影响。

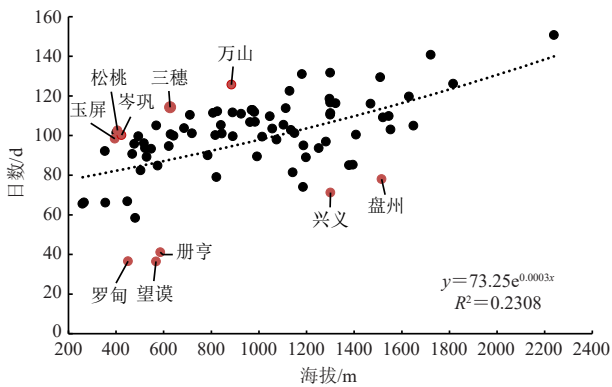


图10 1961—2021年贵州省各气象站日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 日数与海拔的关系

Fig. 10 Relationship between the days with daily mean temperature below  $10^{\circ}\text{C}$  and altitude in Guizhou from 1961 to 2021

## 6 结论

本文基于日平均气温资料对1961—2021年贵州省日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 日数时空分布特征进行了分析,结果表明:

1) 贵州省日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 时间主要集中在11月下旬—次年3月上旬,历年平均日数为99.2 d,整体呈减少趋势,其中20世纪90年代后期以来减少显著;空间分布呈现西北多南部少的特征,高值区主要位于北部、西北部高海拔地区以及东部边缘,低值区主要位于南部边缘以及赤水一带低海拔区。日数多少除了受海拔影响外,还受地理位置和天气系统等因素的

影响。

2) 秋、冬、春季日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 日数均趋于减少,其中春季减少速率最快。各地减少趋势分布存在差异,减少速率显著区秋季位于西部边缘、冬季位于西部及南部边缘、春季位于东北部一带;减少速率缓慢区秋季位于东北部及南部、冬季位于西南部及北部边缘、春季位于南部一带。

3) 各地日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 平均初日(终日)由西北向南逐渐推迟(提前),从10月上旬—12月上旬逐渐开始,次年3月中旬—5月上旬逐渐结束。20世纪90年代末以来开始/结束时间呈现明显偏晚/偏早特征。

4) 贵州省日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 日数在2006年发生突变,突变后日数明显减少;各地突变时间集中在20世纪90年代至21世纪初,整体呈现南部早于北部的分布特征;各地突变后日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 日数减少特征明显,其中自东向西中部一线减少显著。

5) 贵州省日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ 日数序列存在10~12 a、4~6 a和3 a左右的显著振荡周期,其中3 a左右的振荡最显著。

## 参考文献

- [1] 《第三次气候变化国家评估报告》编写委员会. 第三次气候变化国家评估报告(2版)[M]. 北京: 科学出版社, 2015.
- [2] 丁一汇, 王会军. 近百年中国气候变化科学问题的新认识[J]. 科学通报, 2016, 61(10): 1029-1041.
- [3] 周梦子, 周广胜, 吕晓敏, 等. 1.5和 $2^{\circ}\text{C}$ 升温阈值下中国温度和降水变化的预估[J]. 气象学报, 2019, 77(4): 728-744.
- [4] 黎洛丝, 郑细华, 李勇增, 等. 我国东部夏季气温特征分析[J]. 气象科技, 2010, 38(5): 537-542.
- [5] 黄建平, 陈文, 温之平, 等. 新中国成立70年以来的中国大气科学研究: 气候与气候变化篇[J]. 中国科学: 地球科学, 2019, 49(10): 1607-1640.
- [6] 巢清尘, 赵宗慈, 丁一汇. 全球气候系统的变化[J]. 气象科技, 1991(6): 17-23.
- [7] 于淑秋, 林学椿, 徐祥德. 中国气温的年代际振荡及其未来趋势[J]. 气象科技, 2003, 31(3): 136-139, 146.
- [8] 朱大运, 熊康宁, 董晓超. 贵州1960—2016年气温时空变化特征[J]. 水土保持研究, 2018, 25(4): 168-173, 180.
- [9] 赵洁云, 龙步菊, 袁维颖, 等. 基于气温和体感温度的中国南方地区供暖必要性分析[J]. 气象与环境学报, 2021, 37(2): 41-47.
- [10] 严小冬, 宋燕, 黄晨然, 等. 贵州省冬季气温的时空特征及其与海气的关系[J]. 高原气象, 2017, 36(5): 1336-1345.
- [11] 唐红忠, 白慧, 舒兴武, 等. 近51年贵州南部冬季气温气候特征及其变化规律[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2012(S2): 374-380.
- [12] 赵志龙, 罗娅, 杨胜天, 等. 基于均一化序列的贵州高原1960—2018年气温时空变化特征分析[J]. 水资源与水工程学报, 2021, 32(2): 81-89.
- [13] 杨世球, 曾晓珊, 谭文, 等. 1968—2018年贵州气温日较差的时空变化[J]. 贵州农业科学, 2021, 49(1): 155-160.
- [14] 严中伟, 李珍, 夏江江. 气候序列的均一化——定量评估气候变化的基础[J]. 中国科学: 地球科学, 2014, 44(10): 2101-2111.
- [15] 刘永婷, 徐光来, 尹周祥, 等. 全球变化背景下安徽近55 a气温时空变化特征[J]. 自然资源学报, 2017, 32(4): 680-691.
- [16] 国家气候中心. 中国灾害性天气气候图集(1961—2015年)[M]. 北京: 气象出版社, 2018.

(编辑: 郑秋红)