

文章编号:2096-5389(2022)01-0086-05

1990—2019 年毕节春季霜冻气候特征及温度关系分析

姚 浪¹, 吴 珊², 李 刚^{1,3}, 王 璇¹, 王博卿¹

(1. 贵州省毕节市气象局, 贵州 毕节 551700; 2. 贵州省毕节市七星关区气象局,
贵州 毕节 551700; 3. 贵州省气象台, 贵州 贵阳 550002)

摘 要:春季霜冻是农业生产的主要气象灾害之一,该文利用毕节 1990—2019 年 0 cm 地温和气温资料,分析春季霜冻特征和霜期内不同天气现象下气温与 0 cm 地温关系。结果表明:近 30 a 毕节春季霜冻日数随时间呈显著减少趋势,特别在 21 世纪 10 年代减少速率跃增,终霜冻期随时间呈显著提早趋势。空间上春季霜冻日数自西向东递减,终霜冻期自东向西推迟,威宁大部和赫章西部高海拔山区是春季霜冻发生最频繁区域,且终霜冻在该区域显著偏晚。突变检验显示毕节春季霜冻日数的减少趋势呈现 2 个阶段性下降,在 21 世纪 10 年代后减少趋势显著,终霜冻提早明显,存在突变年。周期变化中春季霜冻日数存在准 3 a 和准 8 a 周期变化,其中 3 a 周期变化显著性最高。不同天气现象下春季霜冻期内日最低 0 cm 地温和日最低气温差异大,晴天辐射霜冻是毕节春季主要霜冻类型,期间日最低气温较日最低 0 cm 地温平均高出 4.2 ℃,且存在月份差异。

关键词:春季霜冻;终霜冻;毕节;气候特征;突变检验

中图分类号:P426.3⁺22 **文献标识码:**B

Analysis of Climatic Characteristics of Spring Frost and Temperature Relationship in Bijie from 1990 to 2019

YAO Lang¹, WU Shan², LI Gang^{1,3}, WANG Xuan¹, WANG Boqing¹

(1. Bijie Meteorological Bureau of Guizhou Province, Bijie 551700, China;
2. Qixingguan Meteorological Bureau of Guizhou Province, Bijie 551700, China;
3. Guizhou Meteorological Observatory, Guiyang 550002, China)

Abstract: Spring frost is the main meteorological disaster of agricultural production. Based on the data of 0 cm ground temperature and temperature in Bijie from 1990 to 2019, the characteristics of spring frost and the relationship between temperature and 0 cm ground temperature under different weather phenomena during the frost period are analyzed. The results showed that the number of frost days in the spring of Bijie in the past 30 years showed a significant decreasing trend with time, especially in the 2010s, the decrease rate increased sharply, and the final frost period showed a significant trend of coming earlier. Spatially, the number of spring frost days decreases from west to east, and the final frost period is postponed from east to west. Most of Weining and the high-altitude mountains in western Hezhang are the most frequent areas of spring frost, and the final frost is significantly later than other locations. The mutation test showed that the reduction trend of the number of frost days in the spring of Bijie showed a two-stage decrease, and the decrease trend was significant after the 2010s. The final frost was obvious earlier and there was a year of mutation. There are quasi-3a and quasi-8a cyclical changes in the number of spring frost days in the cyclical changes, and the 3a cyclical change is the most significant. Under different weather phenomena, there is a big difference between the daily minimum 0 cm ground temperature and daily minimum temperature during the spring frost period. Sunny radiation frost is the main type of

收稿日期:2021-04-09

第一作者简介:姚 浪(1989—),男,工程师,主要从事气象服务与应用工作,E-mail:452334633@qq.com。

资助项目:贵州省气象局科研登记项目(黔气科登[2020]06-10号);毕节市近三十年霜冻特征分析。

frost in Bijie spring. During this period, the daily minimum temperature is 4.2°C higher than the daily minimum 0 cm ground temperature on average, and there are monthly differences.

Key words: spring frost; final frost; Bijie; climatic characteristics; mutation test

0 引言

毕节市位于贵州西北部,平均海拔 $1\,511\text{ m}$,由于地处低纬度高海拔山区,春季冷空气影响或晴空辐射夜间气温大幅下降致作物冻害,近地层水汽接近饱和时白霜频发,湿度条件差时会出现黑霜,霜冻成为毕节春季常见的农业气象灾害。随着近年来农村产业结构调整,大量坝区经济作物规模化种植,春季霜冻对经济果林开花、作物苗期移栽和主要粮食作物生长的危害程度增加。伴随着近年来毕节温度持续上升,春季霜冻气候特征在时间和空间尺度发生了不同程度的变化^[1]。张波等^[2]在贵州霜冻气候特征分析中指出海拔是影响贵州初霜冻、终霜冻的关键因子。朱永宁等^[3]在宁夏春霜冻特征研究中发现最低气温显著上升和霜冻日数显著下降有很好的相关性。张婷华等^[4]在西宁地区霜冻预报方法研究中找出气温、地面温度、相对湿度和风速与霜冻特征的对应关系。严应存等^[5]在青海省霜冻灾害风险区划中将霜冻发生频率、作物面积和受灾情况纳入评估模型划分风险区域。目前关于贵州省霜冻灾害研究主要着眼于霜冻日和无霜期变化特征,对于毕节霜冻致灾严重的春季霜冻研究较少,更加精细的毕节春季霜冻时间、空间特征分析能为科学布局农业产业结构,有效规避和减轻霜冻对农业生产影响提供帮助,同时针对不同天气现象的霜冻期温度分析能为下一步应用区域自动站资料加密精细化分析毕节霜冻风险区划提供技术支撑。

1 资料与方法

对比毕节春季气象站霜观测资料和地面 0 cm 最低温度,发现春季用地面温度定义霜冻更接近于台站霜观测资料,同时地面温度可以反映春季黑霜对作物冻害的影响,因此在毕节春季霜冻特征分析中选取 0 cm 地温 $\leq 0^{\circ}\text{C}$ 作为霜冻指标^[2,4]。

选取 1990—2019 年毕节市地面观测站日最低气温 ($T_{\min}$) 分析春季霜冻日数和终霜冻气候特征。终霜冻期统计中将时间按序列表示,即 1 月 1 日取为 1,1 月 2 日取为 2,以此类推,规定本年春季最后一次 0 cm 地温 $\leq 0^{\circ}\text{C}$ 日期作为终霜冻日。

霜冻时间变化特征采用一元线性趋势分析,用

气候倾向率反映霜冻的变化趋势,同时采用 3 a 滑动平均和年代际特征值描述时间变化特征。在趋势诊断分析中使用 M-K 检验方法,对于突变年份的确定中应用滑动 T 检验结合 M-K 检验共同判断突变点的显著性。在霜冻特征的周期性分析中应用 Morlet 小波分析,通过小波系数和能量谱分析探索毕节霜冻的周期特征。

在精细化霜冻特征分析中,由于大多乡镇无地面温度观测数据,因此探索春季不同类型霜冻发生时气温和 0 cm 地温的关系特征可以推算出毕节区域内更精细的霜冻影响分布,本文通过云量对辐射的影响将春季霜冻期内日最低气温和最低 0 cm 地温按阴天(总云量 $8\sim 10$ 成)、多云(总云量 $4\sim 7$ 成)、晴天(总云量 $0\sim 3$ 成)分类统计,分析毕节春季霜冻期内气温和 0 cm 地温的关系特征。

2 结果分析

2.1 时间变化特征

图 1a 为毕节 1990—2019 年春季霜冻日数时间变化特征,近 30 a 中毕节平均春季霜冻日数为 1.87 d ,最多春季霜冻日数为 5.38 d ,发生在 1994 年,在 2015 年毕节首次出现春季霜冻日数为 0 d ,间隔 1 a 后 2017 年再次出现。春季霜冻日数随时间呈显著下降趋势,减少速率为 $0.81\text{ d} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。从年代际变化趋势看,20 世纪 90 年代—21 世纪 10 年代呈年代际显著减少趋势,且减少趋势从 $0.59\text{ d} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 跃增到 $1.14\text{ d} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。从终霜冻日时间变化特征图 1b 可见,毕节平均终霜冻日期为 3 月 7 日,最迟终霜冻日发生在 2005 年 4 月 7 日,最早终霜冻日发生在 2019 年 2 月 5 日,最迟和最早终霜冻日时间序列相差 61 d。近 30 a 来毕节终霜冻日随时间呈显著提早趋势,提早速率为 $4.89\text{ d} \cdot (10\text{a})^{-1}$,从年代际变化趋势看,20 世纪 90 年代—21 世纪 10 年代平均终霜冻日分别为 3 月 9 日、3 月 14 日和 2 月 26 日,在 21 世纪 00—10 年代终霜冻日提早速率迅速加大。

2.2 春季霜冻日数和终霜冻期空间特征

对春季霜冻日数、终霜冻期和各观测点海拔、经度、纬度进行多元回归分析,计算得出毕节 1990—2019 年春霜冻日数和终霜冻期的空间分布(图 2),由图可见毕节春季霜冻日数呈现自西向东

递减,西部威宁大部地区属于春季霜冻高发区,威宁北部边缘、西南部边缘和赫章西部高海拔山区属于春季霜冻次高发区,七星关北部、金沙大部、黔西大部和织金东北部海拔较低地区属于春季霜冻发生低值区。终霜冻期分布呈现东部、北部赤水河谷

等较低海拔区域发生偏早,自东向西终霜冻发生逐渐推迟,其中威宁大部和赫章西部高海拔山区终霜冻发生最晚,毕节中部地区居中,且区域分布不均匀。

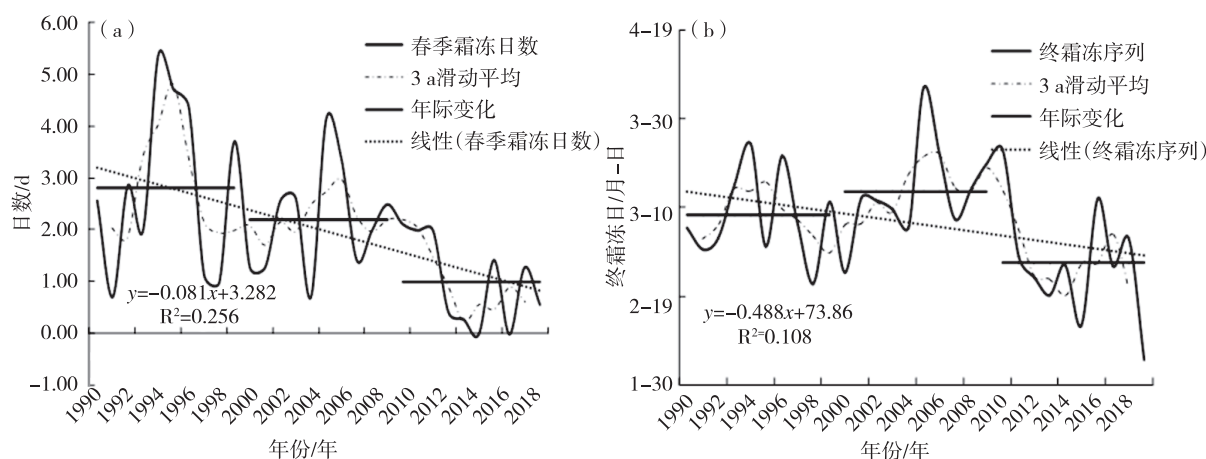


图 1 毕节春季霜冻日数(a)和终霜冻期(b)时间变化

Fig. 1 Changes in the number of frost days in the spring and the time of the final frost period in Bijie

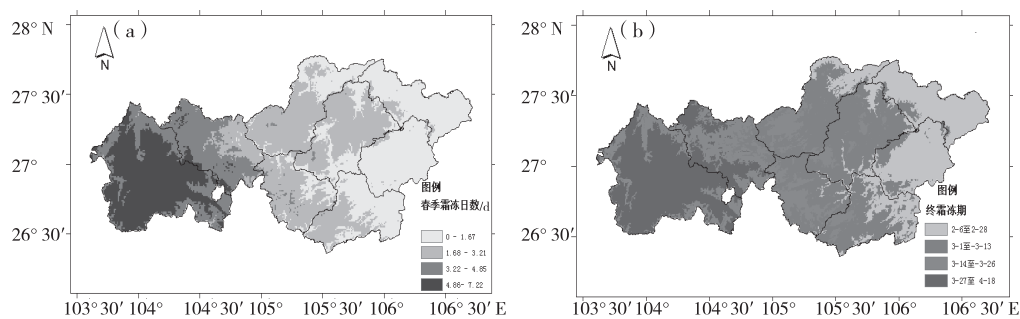


图 2 毕节春季霜冻日数(a)和终霜冻期(b)空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of spring frost days and final frost period in Bijie

2.3 春季霜冻日数和终霜冻日突变分析

图 3 为毕节 1990—2019 年春季霜冻日数和终霜冻期的突变特征,从春季霜冻日数 $M-K$ 检验结果(图 3a)可见春季霜冻日数在 1996 年前呈波动上升趋势,在 1996 年 UF 统计量达峰值后开始转为递减趋势,其中在 1996—2001 年呈第 1 阶段波动下降趋势,2012—2019 年呈第 2 阶段快速下降趋势,且在 2012 年后 UF 统计量超过显著水平 0.05 的临界线,表明春季霜冻日数快速减少趋势显著。 UF 和 UB 曲线在显著性水平 0.05 临界线内有多个交点,结合春季霜冻日数滑动 T 检验分析,在 2006 年春季霜冻日数转变特征最显著,确定为突变年。从毕节终霜冻期 $M-K$ 检验结果(图 3b)可见终霜冻期在 2010 年前呈上下波动趋势,2010 年以后下降趋势确立, UF 和 UB 曲线在显著性水平 0.05 临界线内有 3

个交点,结合终霜冻日的滑动 T 检验分析,将共振交点 2012 年确定为毕节终霜冻期突变年。

2.4 春季霜冻周期特征

图 4 是 1990—2019 年毕节春季霜冻日数 Morlet 小波分析,小波分析实部结果显示实线正值区为霜冻日数偏多,负值区域为霜冻日数偏少,等值线的时间变化可反映霜冻日数不同时间尺度周期变化及其时间序列变化,由图 4a 可见等值线在 1995—2012 年极为密集,期间出现过 5 个正负值中心,表明该阶段霜冻日数变化剧烈,波动幅度加大,分析可能存在的周期变化发现在 1995—2012 年存在准 3a 左右的周期变化,期间出现了偏少—偏多的准 5 次振荡,1998—2014 年存在准 8 a 左右的周期变化,期间出现了偏多—偏少的准 3 次振荡,在时间尺度内还存在 2 次偏多—偏少的准 15 a 左右周期

变化。图 4b 给出小波去噪后的能量谱分布,粗实线以内为通过 0.05 显著性检验区域,由图可见 3~4 a 时间尺度的能量谱最强、周期性最显著,但准 3 a 周期变化具有局部性,主要集中在 1995—2008 年之间,准 8 a 周期变化能量较弱,准 15 a 周期变化能量

中心值达 2.4,几乎占据整个研究时段(1990—2019 年),但处于显著区之外。综合分析得出毕节春季霜冻日数准 3 a 周期变化最显著为第 1 周期变化,准 8 a 为第 2 周期变化。

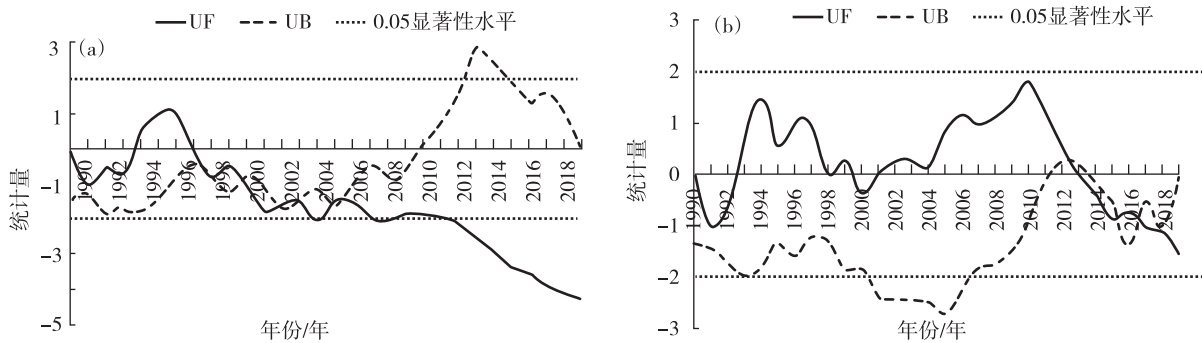


图 3 毕节春季霜冻日数(a)和终霜冻期(b)M-K 检验

Fig. 3 Bijie Spring Frost Days and M-K Inspection of Final Frost Period

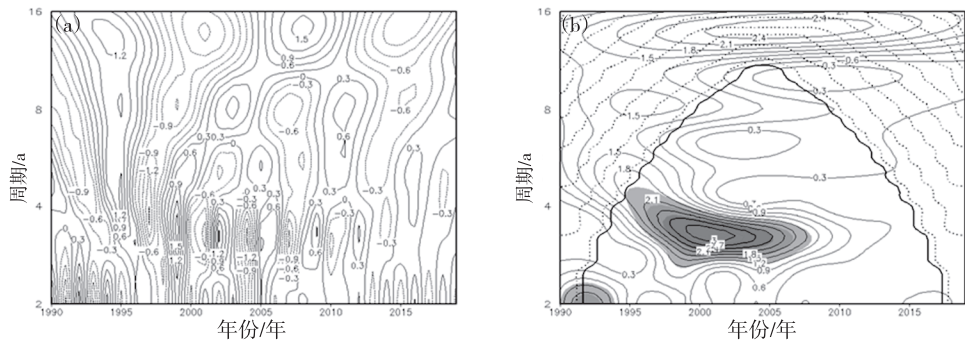


图 4 毕节春季霜冻日数小波分析(a:小波实部,b:小波能量谱)

Fig. 4 Wavelet analysis of the number of frost days in Bijie in spring

根据小波主周期的确定,绘制毕节春季霜冻日数演变的第 1 和第 2 主周期小波系数图,由图 4 可见在 3 a 特征时间尺度上,毕节春季霜冻日数平均

周期为 3.5 a 左右,大约经历了 8 次偏多—偏少变化,在 8 a 特征时间尺度上,春季霜冻的平均变化周期为 9.5 a,经历 3 次偏多—偏少变化。

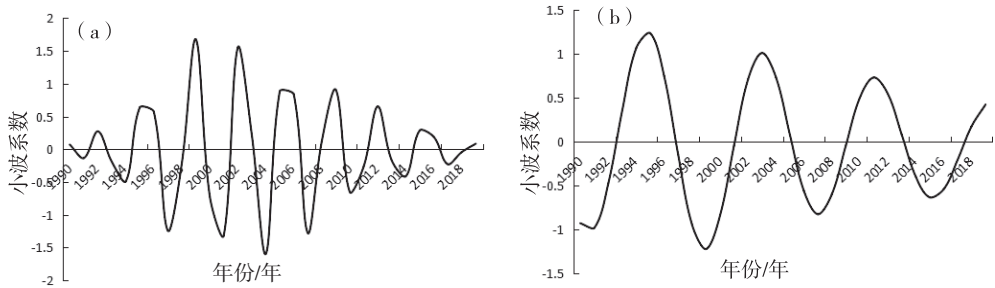


图 5 毕节春季霜冻日数主周期变化(a. 第 1 周期,b. 第 2 周期)

Fig. 5 The main cycle changes of the number of frost days in Bijie in spring

2.5 春霜冻期地面 0 cm 地温和气温特征

表 1 列出了近 30 a 毕节春季霜冻期不同天气现象时日最低地面 0 cm 地温和日最低气温特征,由

表 1 可见毕节春季霜冻期晴天出现频率最大,占 42.4%,阴天出现频率次之,占 33.2%,多云出现频率最小占 24.4%。从春季霜冻期天气现象频率分

布可见毕节春季出现频率最高为辐射霜冻,最低为平流霜冻。按月分析发现毕节春季霜冻期主要集中在 3 月,出现频率高达 92.2%,4 月出现频率居中为 6%,但由于毕节境内主要农作物和经济果林开花期集中在 4 月,常造成强影响霜冻灾害,5 月仅出现晴天辐射霜冻,占比 1.8%。从同类天气现象不同月份发生霜冻时日最低 0 cm 地温和日最低气温统计可见,晴天时日最低气温和最低 0 cm 地温平均

差值最大,阴天时最小,其中发生在 5 月的晴天霜冻平均温差最大(6.7℃)。从 $T_{min} - T_0$ 正负情况分析发现,晴天和多云时霜冻发生期 $T_{min} > T_0$ 频率占 63.8%,远大于 $T_{min} < T_0$ 频率(3%),阴天时霜冻发生期 $T_{min} < T_0$ 频率约是 $T_{min} > T_0$ 时的 2 倍。春季晴天时霜冻期日最低气温较日最低 0 cm 地温平均高出 4.2℃,多云时平均高出 2.4℃,阴天时低 0.3℃。

表 1 毕节春季霜冻期不同天气现象日最低气温 (T_{min}) 和日最低 0 cm 地温 (T_0) 分布

Tab. 1 Distribution of minimum temperature (T_{min}) and minimum 0 cm ground temperature (T_0) of different weather phenomena during the spring frost period in Bijie

月份/月	天气现象	样本数	$T_0/^\circ\text{C}$	$T_{min}/^\circ\text{C}$	$(T_{min} - T_0)/^\circ\text{C}$	频率/%	
						$T_{min} \geq T_0$	$T_{min} \leq T_0$
3	晴	163	-1.6	2.6	4.2	37.3	0.2
	多云	99	-1.4	0.8	2.3	20.5	2.3
	阴天	152	-0.8	-1.1	-0.3	11.1	20.7
4	晴	13	-1.1	2.3	3.4	3.0	0
	多云	7	-1.0	2.3	3.3	1.2	0.5
	阴天	6	-1.0	-0.5	0.5	0.7	0.7
5	晴	8	-0.7	6.0	6.7	1.8	0

3 结论

通过对毕节 1990—2019 年春季霜冻特征和霜期内不同天气现象下日最低气温和日最低 0 cm 地温特征分析得出以下结论:

①1990—2019 年毕节平均春季霜冻日数为 1.87 d,平均终霜冻期为 3 月 7 日,随时间变化春季霜日呈显著减少趋势,特别在 21 世纪 10 年代减少速率跃增,终霜冻期呈提早趋势。

②空间分布中春季霜冻日数自西向东递减,终霜冻期自东向西推迟,毕节西部威宁大部和赫章西部高海拔山区是春季霜冻发生最频繁的区域,且终霜冻在该区域最晚,同时在毕节中部较高海拔乡镇终霜冻发生期偏晚。

③突变检验显示毕节春季霜冻日数减少趋势呈现 2 个阶段性下降时段,且在 21 世纪 10 年代后减少趋势显著,终霜冻提早明显,存在突变年。

④春季霜冻日数存在准 3 a 周期变化和准 8 a 周期变化,其中 3 a 周期变化能量最集中,显著性最高,时间尺度内共经历 8 次偏多—偏少变化。

⑤不同天气现象下春季霜冻期内日最低 0 cm 地温和日最低气温差异大,晴天辐射霜冻是毕节春季霜冻主要类型,期间日最低气温较日最低 0 cm 地温平均高出 4.2℃,且存在月份差异。

参考文献

[1] 吴姗,姚浪,赵春霞,等. 毕节市近 46a 气温变化特征及对旅游发展的影响[J]. 内蒙古气象,2018,239(6):12-15.
[2] 张波,于飞,吴战平,等. 贵州霜冻气候变化特征[J]. 浙江农业学报,2020,32(4):685-695.
[3] 朱永宁,冯东溥,李红英,等. 宁夏春霜冻期最低气温和霜冻日数时空变化特征[J]. 干旱气象,2020,38(2):256-262.
[4] 张婷华,李昌玉,谢启玉. 西宁地区霜冻气候变化特征及预报方法研究[J]. 青海科技,2020,27(3):74-78.
[5] 严应存,周秉荣,陈国茜. 1961—2010 年青海省霜冻灾害变化特征及风险区划[J]. 气象科技,2015(5):986-991.
[6] 叶殿秀,张勇. 1961—2007 年我国霜冻变化特征[J]. 应用气象学报,2008,19(6):661-665.
[7] 朱宝文,张令振,谢启玉,等. 1954—2016 年西宁市区气温变化特征[J]. 气象水文海洋仪器,2021,38(4):117-120.
[8] 陈平. 自动气象站温度观测数据不确定度分析方法研究[J]. 气象水文海洋仪器,2021,38(4):74-75.