

文章编号:2096 - 5389(2021)06 - 0038 - 06

近 40 a 铜仁市凝冻气候特征及其异常年成因分析

张丹丹¹, 严小冬², 张李娟³, 黎 荣⁴, 许文亚⁴

(1. 贵州省铜仁市碧江区气象局, 贵州 铜仁 554300; 2. 贵州省气候中心, 贵州 贵阳 550002;
3. 贵州省铜仁市气象局, 贵州 铜仁 554300; 4. 贵州省德江县气象局, 贵州 德江 565200)

摘 要:该文主要对 1978—2019 年铜仁市冬季凝冻特征进行分析, 划分出铜仁市强弱凝冻年, 并建立近 40 a 铜仁市冬季凝冻事件个例库, 简要分析异常凝冻年的特征和成因。研究结果表明:①近 40 a 铜仁市雨淞日共出现 1 483 d, 万山站出现 1 088 d(占铜仁市 73.4%), 除万山外雨淞均出现在 12 月、1 月、2 月;②近 40 a 铜仁市冬季共出现 164 次凝冻天气过程, 冬季多出现 4~5 d 的中级凝冻过程(占凝冻过程总数的 47%);③近 40 a 铜仁市共有 7 a 为异常凝冻年, 异常凝冻年出现凝冻天气过程是凝冻过程总数的 1/4, 2008 年是持续时间最长影响范围最大的特重级异常凝冻年;④铜仁市冬季凝冻在空间上由西北向东南方向逐渐增加, 时间上有不明显的递减趋势;⑤赤道太平洋 Nino3.4 区海温异常偏低, 欧亚大陆 500 hPa 高度场中高纬出现北高南低的异常环流, 是铜仁市发生异常凝冻年的主要成因。

关键词:凝冻; 时空特征; 海温; 500 hPa 高度场

中图分类号:P426.63 **文献标识码:**A

Characteristics of Freezing Climate and Cause Analysis of Abnormal Years in Tongren in Recent 40 Years

ZHANG Dandan¹, YAN Xiaodong², ZHANG Lijuan³, LI Rong⁴, XU Wenya⁴

(1. Bijiang Meteorological Bureau of Tongren, Tongren 554300, China; 2. Climate Center of Guizhou,
Guiyang 550002, China; 3. Meteorological Bureau of Tongren, Tongren 554300, China;
4. Meteorological Bureau of Dejiang, Dejiang 565200, China)

Abstract: This paper mainly analyzes the characteristics of winter freezing in Tongren from 1978 to 2019, divides the strong and weak freezing years in Tongren, establishes the case database of winter freezing events in Tongren in recent 40 years, and briefly analyzes the characteristics and causes of abnormal freezing years. The results show that: ① In recent 40 years, there are 1483 glazed days in Tongren, 1088 days in Wanshan (73.4% of Tongren), and glazed days appear in December, January and February, except Wanshan. ② In recent 40 years, there are 164 freezing weather processes in winter, and the intermediate freezing process of 4~5 days occurred in winter (accounting for 47% of the total freezing process). ③ In recent 40 years in Tongren, there are 7 years of abnormal freezing year, the freezing weather process of abnormal freezing year is 1/4 of the total freezing process, and 2008 is the most severe abnormal freezing year with the longest duration and the largest influence range. ④ The winter freezing in Tongren gradually increases from northwest to southeast in space, but has an insignificant decreasing trend in time. ⑤ The abnormal low SST in Nino3.4 region of the equatorial Pacific and the abnormal circulation of north high and south low in the high latitude of Eurasia 500 hPa height field are the main causes of the abnormal freezing year in Tongren.

收稿日期: 2021-02-08

第一作者简介: 张丹丹(1992—), 女, 工程师, 主要从事综合气象业务工作, E-mail: 3296291841@qq.com。

资助项目: 国家自然科学基金地区项目(41865005): 贵州凝冻灾害事件特征和成因及其预报预测研究; 贵州省气象局科研业务登记项目(黔气科登[2020]03-20号): 铜仁市凝冻灾害事件气候特征研究。

Key words: freezing; spatial – temporal features; sea surface temperature; 500 hPa height field

0 引 言

凝冻是贵州山区常见的气象灾害。凝冻也称冻雨,是贵州主要灾害性天气之一,冬季北方冷空气的不断入侵,长时间的阴雨连绵低温天气导致贵州凝冻灾害事件发生。特别是 2008 年铜仁市出现的历史罕见的凝冻灾害事件,对交通运输、供电、通讯等造成了巨大的损失,因此对铜仁市凝冻气候变化特征开展研究,能为凝冻灾害事件的评估提供基础服务,同时也能为铜仁市凝冻灾害天气的预测预报提供参考,能够更好的开展凝冻灾害气象服务。

国外学者对冻雨的研究起步较早, Brooks 等^[1]很早就对冻雨形成的条件进行了研究,冻雨常发生在近地面气温 0℃左右条件下, Cortinas 等^[2]发现地形和水汽是美国冻雨形成的关键,对冻雨的时空特征方面也有比较全面研究。国内学者从天气气候、预测预报方法、冻雨个例等方面对冻雨的发生机制等进行了大量研究,宗志平等^[3]、赵美艳等^[4]、杨贵名等^[5]通过对 2008 年大范围低温凝冻天气凝冻分析,揭示了逆温层高度是冻雨发生的重要参考指标,静止锋的位置决定着贵州凝冻的范围,张智等^[6]又从冻雨的微物理特征研究表明贵州冻雨的出现均有静止锋系统,白慧等^[7]从高空环流及海温异常方面出发,指出 ENSO 事件是贵州冬季冻雨的重要外强迫因子,海温异常对贵州冬季凝冻具有很好的预测指示意义,严小冬等^[8]对贵州冻雨气候特征进行研究,指出贵州雨淞空间分布不均,集中在贵州西北部及海拔较高地区,冬季冻雨存在准 4 a 的年际变化,总体呈现减弱的趋势。本文主要对铜仁市 1978—2020 年近 40 a 雨淞日数据进行研究,统计铜仁凝冻基本特征,建立铜仁市冬季凝冻事件数据库,着重分析铜仁市冬季凝冻时空分布特征,划分铜仁市强弱凝冻年,并从 500 hPa 高度场和海表面温度两方面分析铜仁市异常凝冻年的成因。本文建立了冬季凝冻事件个例库,方便以后学者查阅了解近 40 a 铜仁市冬季凝冻的详细信息,同时研究结果为今后铜仁市冬季凝冻预测指标的研究奠定了基础。

1 数据与方法

1.1 数据

由贵州省气象信息中心提供的 1978 年 1 月—

2020 年 2 月铜仁市 10 个国家站的逐月雨淞日数据。

1978—2020 年 NCEP/NCAR 逐月再分析资料, 500 hPa 高度场,分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$; 1978—2020 年美国国家海洋和大气管理局重构的第 4 版海表面温度数据,分辨率为 $2.0^{\circ} \times 2.0^{\circ}$ 。

1.2 方法

本文的冬季指每年 12 月—次年 2 月,运用统计学方法对 1978—2020 年铜仁市 10 个国家站逐月雨淞日数进行统计,分析近 40 a 铜仁市冬季凝冻基本气候特征。按照《贵州省气象灾害的划分标准》对一次凝冻过程进行定义,即同时出现日平均气温 $\leq 1^{\circ}\text{C}$ 、日最低气温 $\leq 0^{\circ}\text{C}$ 以及日雨量 $\geq 0\text{ mm}$,并持续 $\geq 3\text{ d}$ (其中第 4 d 起允许间断 1 d 日最低气温为 $0.1 \sim 0.5^{\circ}\text{C}$ 或无雨)且至少有 1 d 出现凝冻天气现象,根据单站凝冻分级标准,分轻级、中级、重级、特重级建立铜仁市冬季凝冻事件个例库。

将 1978—2019 年共 42 a 铜仁市逐月雨淞日数处理为逐年雨淞日序列,计算出年雨淞日的平均值和标准差,定义序列值 $>$ 平均值与标准差之和为强凝冻发生年,序列值 $<$ 平均值与标准差之差为弱凝冻发生年,定义强凝冻发生年为异常凝冻年。

对 1978—2019 年铜仁市逐年冬季雨淞日数运用 EOF 分析方法进行展开分析,计算方差贡献率,对特征值运用 North 检验方法进行显著性检验,分析铜仁市冬季凝冻时空分布特征。

2 凝冻特征分析

2.1 铜仁市凝冻基本特征

1978 年 1 月—2020 年 2 月铜仁市雨淞日共出现 1 483 d (表 1), 万山站出现 1 088 d (占铜仁市 73.4%), 铜仁市雨淞集中出现在 12 月、1 月和 2 月,仅万山站在 11 月、3 月出现过雨淞,所以铜仁市雨淞集中出现在冬季,由此本文主要对铜仁市冬季凝冻进行研究。近 40 a 铜仁市 10 个国家站年平均雨淞天数在 0.17 ~ 25.9 d 之间,铜仁市东南部万山、南部江口、玉屏出现雨淞天数较多,其中万山年均雨淞天数长达 25.3 d。冬季雨淞日数与地理位置关系密切,除万山外铜仁市其余 9 个观测站海拔高度在 400 ~ 600 m 之间,万山观测站海拔 884.3 m,导致其观测到的雨淞日数是铜仁其他观测站的 10 倍以上。

表 1 1978—2020 年雨淞日统计表(单位:d)

Tab.1 Statistics of glaze days from 1978 to 2020 (Unit:d)

站名	雨淞天数	冬季雨淞天数	年均雨淞天数	占铜仁市比例
沿河	7	7	0.17	0.5%
德江	25	25	0.60	1.7%
松桃	39	37	0.93	2.6%
思南	23	23	0.55	1.6%
印江	26	26	0.62	1.8%
石阡	40	40	0.95	2.7%
江口	78	76	1.86	5.3%
玉屏	104	101	2.48	7.0%
碧江	53	51	1.26	3.6%
万山	1088	970	25.90	73.4%
合计	1483	1356		100.0%

2.2 铜仁市冬季凝冻的时空特征

将 1978—2019 年铜仁市 10 个国家站冬季逐年雨淞日数据处理为距平序列,对序列进行 EOF 展开分析,探索近 40 a 铜仁市冬季雨淞的时空分布特

征。研究结果表明,前 4 个特征值的累积方差贡献率为 98.61%(表 2),前 2 个特征值累积方差贡献率达 95.87%,第一、第二特征值通过了 North 显著性检验。

第一特征值代表的模态 1 的方差贡献率为 78.03% 远高于其他模态,所以模态 1 是铜仁市冬季雨淞日的主要分布类型(图 1)。模态 1 的特征值均为正值,表明近 40 a 铜仁市各区县冬季出现雨淞日的高度一致性。空间分布图上颜色较深为高值区表示出现雨淞日较多,颜色浅的为低值区表示出现雨淞日较少,高值区在东南部(万山),弱高值中心在中南部(江口)和南部(玉屏),低值区在西北部(沿河、德江),所以铜仁市冬季雨淞日由西北向东南方向逐渐增加。对模态 1 时间系数做线性拟合,近 40 a 铜仁市冬季雨淞日有下降的趋势,但不明显,没有通过显著性水平 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验。

表 2 近 40 a 铜仁市冬季雨淞日前 4 模态特征向量方差贡献

Tab.2 variance contribution of the first four modal eigenvectors of winter glaze in Tongren in recent 40 years

模态	特征值	方差贡献	累积方差贡献	特征跟误差下限	特征根误差上限
1	120.0170	0.7803	0.7803	173.6902	66.3437
2	27.4393	0.1784	0.9587	39.7105	15.1681
3	3.2409	0.0211	0.9798	4.6903	1.7915
4	0.9777	0.0064	0.9861	1.4150	0.5405

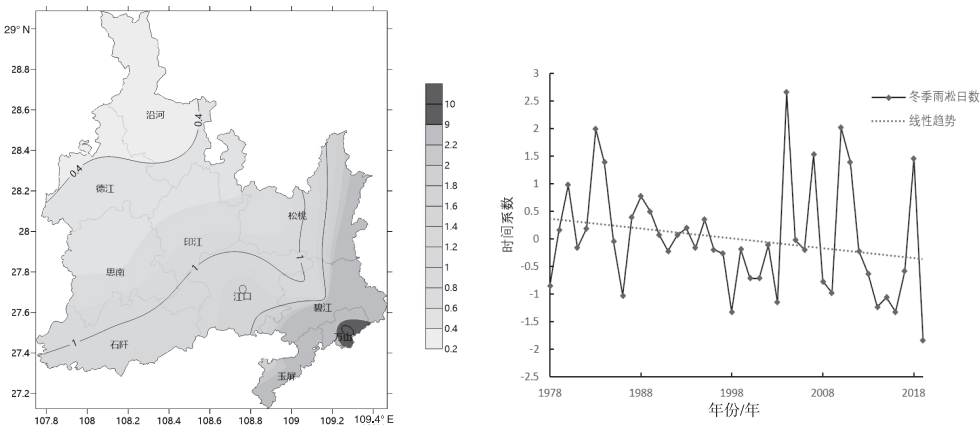


图 1 近 40 a 铜仁市冬季雨淞日第 1 模态时间和空间分布图

Fig.1 Time and space distribution of the first mode of winter glaze day in Tongren in recent 40 years

2.3 铜仁凝冻事件个例库

按照《贵州省气象灾害的划分标准》对凝冻过程进行定义,本文收集了 1978—2019 年共 42 a 铜仁市冬季凝冻过程,并按站名、过程出现次数、过程出现起止日期、过程平均气温、过程最低气温、过程累积降水量 6 个要素,分轻级(2~3 d)、中级(4~5

d)、重级(6~9 d)、特重级(10 d 以上)建立铜仁市冬季凝冻事件个例库。根据统计,近 40 a 年铜仁市冬季共出现 164 次凝冻天气过程,其中万山出现 128 次是铜仁市冬季凝冻事件总数的 78%,近 40 a 铜仁市西北地区沿河没有出现凝冻天气过程、德江仅出现 2 次,中部思南仅出现 1 次、印江仅出现 5

次、松桃出现 2 次,西南部石阡仅出现 3 次,东南部是铜仁市冬季出现凝冻较严重地区,总的来说铜仁市冬季凝冻事件由西北向东南方向逐渐增强(图 2)。

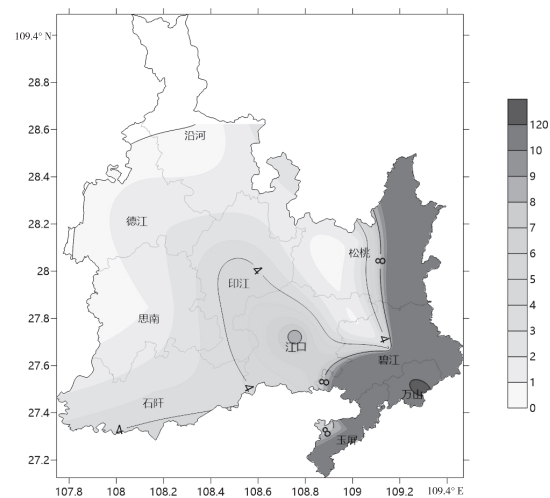


图 2 近 40 a 铜仁市冬季凝冻事件空间分布图
Fig. 2 spatial distribution of winter freezing events in Tongren in recent 40years

按照凝冻级别进行统计,近 40 a 铜仁市冬季轻级凝冻出现 32 次,中级凝冻出现 77 次,重级凝冻出现 38 次,特重级凝冻出现 17 次(表 3),铜仁市冬季多出现 4~5 d 的中级凝冻过程,是所有级别凝冻过程的 47%,铜仁多在 12 月下旬开始出现凝冻事件,铜仁冬季凝冻事件最早出现时间是 1997 年 12 月 2 日的万山站,2008 年冬季石阡、江口、玉屏、碧江、万山等 5 个区县出现特重级凝冻天气过程,其中万山持续天数长达 22 d,最低气温低至 -8°C ,累积降雨量达 79 mm。

表 3 近 40 a 铜仁市冬季出现凝冻事件次数统计表

Tab. 3 Statistics of freezing events in winter in Tongren in recent 40 years

站名	轻级 (2~3d)	中级 (4~5d)	重级 (6~9d)	特重级 (10d 以上)
沿河	0	0	0	0
德江	2	0	0	0
松桃	0	1	1	0
思南	0	1	0	0
印江	1	4	0	0
石阡	1	1	0	1
江口	2	5	1	1
玉屏	0	6	3	1
碧江	0	3	0	1
万山	26	56	33	13
合计	32	77	38	17

2.4 铜仁强弱凝冻年及异常凝冻年成因分析

2.4.1 强弱凝冻年 按照前文强弱凝冻年定义方法,研究 1978—2019 年铜仁市强弱凝冻年和异常凝冻年。结果表明,近 40 a 铜仁市平均年雨淞日为 35 d,平均值与标准差之和为 59 d,平均值与标准差之差为 12 d,由图 3 可知其中有 7 a 为强凝冻年,仅有 1999 年、2017 年为弱凝冻年,强凝冻年即异常凝冻年为 1981 年、1984 年、1985 年、2008 年、2011 年、2012 年、2018 年。

根据本文凝冻事件个例库统计分析表明,7 个异常凝冻年共发生 42 次凝冻天气过程,是近 40 a 铜仁市凝冻过程的 1/4,除万山 1985 年、2018 年 12 月最早出现凝冻过程外其余地区均在 1 月最早出现凝冻过程,凝冻过程平均温度在 $0\sim-4.9^{\circ}\text{C}$ 之间,凝冻过程最低温度在 $-0.6\sim-8^{\circ}\text{C}$ 之间,过程降雨量在 1.7~79 mm 之间。

2.4.2 异常凝冻年的成因分析 利用 1978—2020 年 500 hPa 高度场逐月再分析资料和秋季海表面温度数据对异常凝冻年的成因进行了初探。

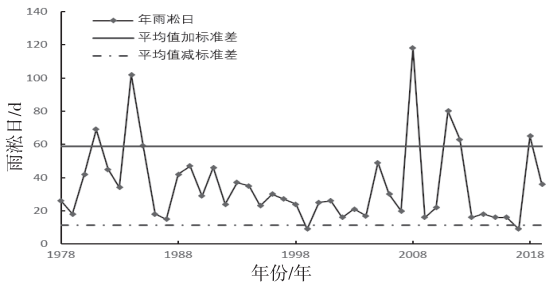


图 3 近 40 a 铜仁市凝冻强弱年变化曲线图
Fig. 3 annual variation curve of freezing strength in Tongren in recent 40 years

对 1978—2020 年冬季 500 hPa 高度场和铜仁市雨淞日数距平序列进行相关性分析,通过了 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验,由图 4a 可知在乌拉尔山以东、巴尔什湖以北呈正相关,在 30°N 以北内蒙古附近呈负相关。对前文分析出的 7 个异常凝冻年冬季 500 hPa 高度场距平序列进行合成分析,由图 4b 可知在乌拉尔山以东、巴尔什湖以北有很明显的正距平中心,距平中心强度达 60 hPa 以上,在 40°N 附近我国内蒙古地区有明显的负距平。由以上分析表明,欧亚大陆 500 hPa 高度场中高纬出现北高南低的异常环流,即乌拉尔山以东、巴尔什湖以北有阻塞高压,在东亚内蒙古地区有低槽,是铜仁市异常凝冻年的主要环流形势。

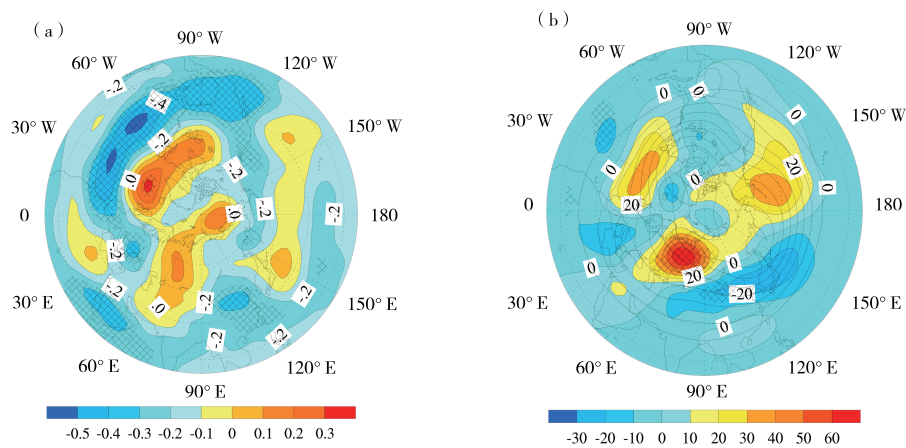


图 4 (a) 近 40 a 冬季 500 hPa 高度与雨淞日相关性分布图、(b) 铜仁市异常凝冻年 500 hPa 高度距平场
Fig. 4 (a) Correlation distribution of winter 500 hPa height and glaze day in recent 40 years
(b) 500 hPa height anomaly field in Tongren abnormal freezing year

根据白慧等^[7] 研究结果秋季海温异常对贵州冬季凝冻具有很好的预测指示意义, 选用 1978—2020 年秋季海表面温度和铜仁市冬季雨淞日数距平序列进行相关性分析, 通过了 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验, 图 5a 发现秋季赤道太平洋 Nino3.4 区海温与铜仁市凝冻呈负相关。对 7 个异常凝冻年秋季海表面温度进行分析, 由图 5b 可知在赤道太平洋 Nino3.4 区有明显的负距平中心, 负距平中心强度在 -0.8° 以下, 且统计近 40 a 铜仁市 7 个异常凝冻年

中 6 个异常凝冻年均是在 LaNina 年后出现, 只有 1981 年例外, 表明秋季赤道太平洋 Nino3.4 区的海温异常偏低是铜仁市异常凝冻年发生的重要影响因素。

3 结果与讨论

通过 1978—2020 年铜仁市凝冻数据、高度场再分析和海表面温度资料, 综合分析得出如下结果:

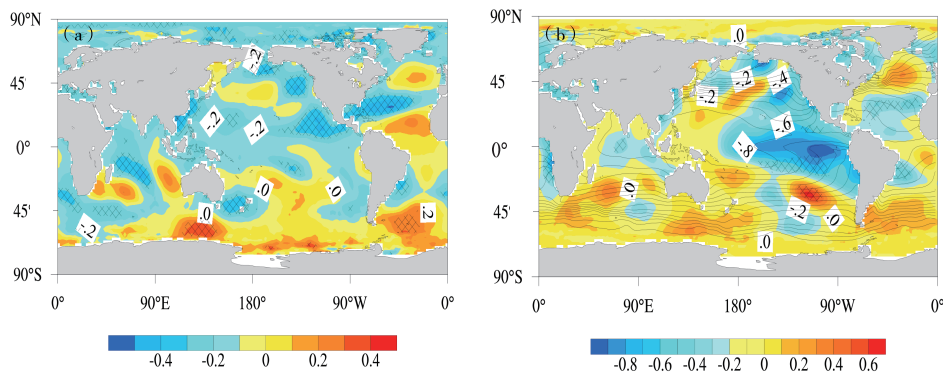


图 5 (a) 近 40 a 秋季海温与雨淞日相关性分布图、(b) 铜仁市异常凝冻年海温距平场
Fig. 5 (a) Correlation distribution of autumn SST and glaze days in recent 40 years
(b) Anomaly field of SST in abnormal freezing year in Tongren

①近 40 a 铜仁市雨淞日共出现 1 483 d, 万山站出现 1 088 d(占铜仁市 73.4%), 铜仁市雨淞集中出现在 12 月、1 月和 2 月。近 40 a 铜仁市 10 个国家站年平均雨淞天数在 0.16 ~ 25.3 d 之间, 铜仁市冬季雨淞日东南部(万山) 出现最多, 中南部(江口) 和南部(玉屏) 出现较多, 在西北部(沿河、德江) 出现最少, 铜仁市冬季雨淞日由西北向东南方向逐渐

增加, 近 40 a 铜仁市冬季雨淞日有不明显的下降趋势。

②近 40 a 年铜仁市冬季共出现 164 次凝冻天气过程, 轻级凝冻出现 32 次, 中级凝冻出现 77 次, 重级凝冻出现 38 次, 特重级凝冻出现 17 次, 其中万山出现 128 次是铜仁市冬季凝冻事件总数的 78% , 铜仁市冬季多出现 4 ~ 5 d 的中级凝冻过程, 多在 12

月下旬开始出现凝冻事件,最早出现时间是 1997 年 12 月 2 日的万山站,其中 2008 年出现持续时间最长影响范围最大的特重级凝冻天气过程。

③近 40 a 铜仁市强凝冻年共出现 7 a,1999 年、2017 年为弱凝冻年,强凝冻年即异常凝冻年为 1981 年、1984 年、1985 年、2008 年、2011 年、2012 年、2018 年。异常凝冻年共发生 42 次凝冻天气过程是近 40 a 铜仁市凝冻过程的 1/4,过程平均温度在 $0 \sim -4.9^{\circ}\text{C}$ 之间,凝冻过程最低温度在 $-0.6 \sim -8^{\circ}\text{C}$ 之间,过程降雨量在 $1.7 \sim 79\text{ mm}$ 之间。

④秋季赤道太平洋 Nino3.4 区的海温异常偏低,500 hPa 高度场在欧亚大陆中高纬出现北高南低的异常环流,即乌拉尔山以东、巴尔什湖以北有阻塞高压,在东亚内蒙古地区有低槽,中低层存在逆温层,配合低纬暖湿气流的输送是铜仁市异常凝冻年的主要成因。下一步将对异常凝冻年的成因进行更深入的研究,寻找铜仁市异常凝冻年的预测指标。

参考文献

- [1] Brooks C F. The nature of sleet and how it is formed[J]. Mon. Wea. Rev., 1920, 48: 69–73.
- [2] Cortinas Jr J V, Bernstein B C, Robbins C C, et al. . Ananalysis of freezing rain, freezing drizzle, and ice pellets across the United States and Canada: 1976–90 [J]. Wea. Forecasting, 2004 (19): 377–390.
- [3] 宗志平, 马杰. 2008 年初冻雨强度变化以及与逆温层特征之间的关系[J]. 气象, 2011, 37(2): 156–160.
- [4] 赵美艳, 徐海明. 2008 年初南方冰雪天气逆温层特征及其维持机制[J]. 气象科学, 2010(6): 814–821.
- [5] 杨贵名, 孔期, 毛冬艳. 2008 年初“低温雨雪冰冻”灾害天气的持续原因分析[J]. 气象学报, 2008, 66(5): 836–849.
- [6] 张智, 韩永翔, 王瑾, 等. 高原山地环境下冻雨微物理特征及成因分析[J]. 气象科学, 2016, 36(3): 389–395.
- [7] 白慧, 柯宗建, 吴战平, 等. 贵州冬季冻雨的大尺度环流特征及海温异常的影响[J]. 高原气象, 2016, 35(5): 1224–1232.
- [8] 严小冬, 吴战平, 古书鸿. 贵州冻雨时空分布变化特征及其影响因素浅析[J]. 高原气象, 2009, 28(3): 694–701.
- [9] 李显良, 潘影, 邓世有, 等. 2011 年 1 月安顺市凝冻天气特点及成因浅析[J]. 贵州气象, 2011, 35(5): 36–39.
- [10] 高红梅, 陈波, 夏阳, 等. 黔南州凝冻气候特征以及异常凝冻年环流特征[J]. 中低纬山地气象, 2019, 43(5): 42–47.

[1] Brooks C F. The nature of sleet and how it is formed[J]. Mon.