

# 黔东南州近10年凝冻特征及灾害风险区划分析

秦畅畅<sup>1</sup>, 严小冬<sup>2\*</sup>, 龙俐<sup>2</sup>, 梁平<sup>1</sup>, 朱军<sup>2</sup>, 王玥彤<sup>2</sup>

<sup>1</sup>黔东南州气象局, 贵州 凯里

<sup>2</sup>贵州省气候中心, 贵州 贵阳

收稿日期: 2024年8月12日; 录用日期: 2024年9月12日; 发布日期: 2024年9月20日

## 摘要

文章选用2011~2020年黔东南州16个国家气象站和500个区域自动站12月~次年2月的气温、降水、相对湿度、雨淞等逐日观测资料, 运用模糊信息分配法找出黔东南地区发生凝冻时的气象要素阈值, 结合地理信息系统技术GIS, 利用实际观测发生雨淞日数、过程发生频次、过程平均最低气温、最长持续天数4个指标来界定实际发生凝冻的等级并进行风险区划。结果表明: 判断黔东南地区形成凝冻天气的标准为日平均气温 $\leq 1.0^{\circ}\text{C}$ 、日最高气温 $\leq 4.0^{\circ}\text{C}$ 、日最低气温 $\leq 0^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $\geq 80\%$ , 利用该阈值去寻找满足上述条件区域站发生凝冻的日数, 建立凝冻时间序列, 最后将凝冻划分为高、较高、中、低4个风险等级。

## 关键词

凝冻, 时空变化, GIS, 风险区划

# Analysis of Freezing Characteristics and Disaster Risk Zoning in Qiandongnan Prefecture in Recent 10 Years

Changchang Qin<sup>1</sup>, Xiaodong Yan<sup>2\*</sup>, Li Long<sup>2</sup>, Ping Liang<sup>1</sup>, Jun Zhu<sup>2</sup>, Yuetong Wang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Qiandongnan Prefecture Meteorological Bureau, Kaili Guizhou

<sup>2</sup>Guizhou Provincial Climate Center, Guiyang Guizhou

Received: Aug. 12<sup>th</sup>, 2024; accepted: Sep. 12<sup>th</sup>, 2024; published: Sep. 20<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

According to the daily observation data of temperature, precipitation, relative humidity, rime, etc., from December to February of the following year at 16 national weather stations and 500 regional

\*通讯作者。

文章引用: 秦畅畅, 严小冬, 龙俐, 梁平, 朱军, 王玥彤. 黔东南州近 10 年凝冻特征及灾害风险区划分析[J]. 气候变化研究快报, 2024, 13(5): 1233-1242. DOI: 10.12677/ccr.2024.135140

automatic stations in Qiandongnan Prefecture from 2011 to 2020, this paper uses fuzzy information distribution method to find threshold values of meteorological elements when freezing occurs in Qiandongnan Prefecture, combined with GIS, four indicators are used to define the actual freezing level and carry out risk zoning, including actual observation days of rime, frequency of process occurrence, average minimum temperature of the process, and maximum duration of the process. The results show that the criteria for judging the formation of freezing weather in Qiandongnan Prefecture are daily average temperature  $\leq 1.0^{\circ}\text{C}$ , daily maximum temperature  $\leq 4.0^{\circ}\text{C}$ , daily minimum temperature  $\leq 0^{\circ}\text{C}$ , and relative humidity  $\geq 80\%$ . This paper uses this threshold to find the number of days when freezing occurs in the regional station that meets the above conditions, establishes the freezing time sequence, and finally divides the freezing into four risk levels: high, relatively high, medium, and low.

## Keywords

Freezing, Temporal and Spatial Changes, GIS, Risk Zoning

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

贵州省是全国凝冻灾害最重、发生频率最为频繁的省份，冻雨天气日数最多，约占全国总数的 84% [1]。冬季受北方冷空气和西南暖湿气流共同影响，云贵静止锋活跃，当气温降至  $0^{\circ}\text{C}$  左右或以下时，极易形成冬季贵州山区常见的凝冻天气，雨凇、雾凇等天气现象出现频次高[2]-[4]。持续的凝冻天气会给农业、服务业、人民群众生活以及生命财产造成不同程度的损失，严重的凝冻天气可破坏有线通讯、影响电力输送、中断交通运输、冻死牲畜、冻坏农作物等。国内学者也做了有关凝冻的多方面研究，王海军等[5]分析了中国南方冰冻天气时空分布规律，研究表明贵州是南方冰冻天气最为严重的省份。梁平等[6]建立了黔东南州低温雨雪冰冻灾害影响程度定量评价模型，研究表明低温雨雪冰冻天气所造成的影响，不仅与异常的大气环流有关，还与特殊的地形有关。凝冻是黔东南地区冬季主要的气象灾害之一，具有明显的地方性天气气候特征，发生频率较高且持续时间较长，危害程度重。本文旨在利用凝冻发生时的气候特征及凝冻指数，结合海拔高度、地形要素等特点对凝冻影响区域进行划分，对黔东南州凝冻气候特征和风险区划进行研究，为今后的凝冻天气预报预警提供气象背景支撑，也为相关部门开展防灾救灾的决策提供参考和帮助。

## 2. 黔东南州气候概况

黔东南州位于贵州省东南部，地处云贵高原向湘桂丘陵盆地过渡地带，境内总体地势是东部低，北、西、南三面高，境内大部地区海拔 500~1000 m，全州最高点为雷公山，海拔 2179 m，最低点为黎平县地坪乡，海拔 148 m。州北部位于武陵山脉的南侧，中部有苗岭山脉横亘，海拔差异较大，东西部的海拔高度差达 2041 m，从东到西地势不断增高，各地气象要素明显不同。全州气温总体趋势是南部高于北部，东部高于西部[7]。

## 3. 资料与方法

### 3.1. 资料选取

本文选取黔东南地区( $107.4^{\circ}\text{E}\sim 109.6^{\circ}\text{E}$ ,  $25.4^{\circ}\text{N}\sim 27.4^{\circ}\text{N}$ )范围内 16 个国家站 2011~2020 年的逐日气温、

相对湿度、降水、日照时数和逐日雨凇观测资料以及 500 个区域自动站逐日气温、降水等资料；以台站出现雨凇天气来表示实际发生凝冻的参考，以黔东南 16 个站点的气象资料作为样本数据，使用模糊信息分配法划分各气象要素等级并计算概率，基于概率找出区域站出现凝冻的各气象要素阈值。时间范围统一为 2011~2020 年 12 月~次年 2 月。

### 3.2. 方法

本文主要采用了模糊信息分配法[8]-[10]、地理信息系统技术(GIS)方法[11] [12]等。

模糊信息分配法，不需要假设数列的总体分布函数就能得到较为接近数列实际概率分布图形，具有比传统直方图精度更高的优点。假设有  $n$  个样本，将分为  $m$  个区间， $x_i = (1, 2, 3, \dots, m)$

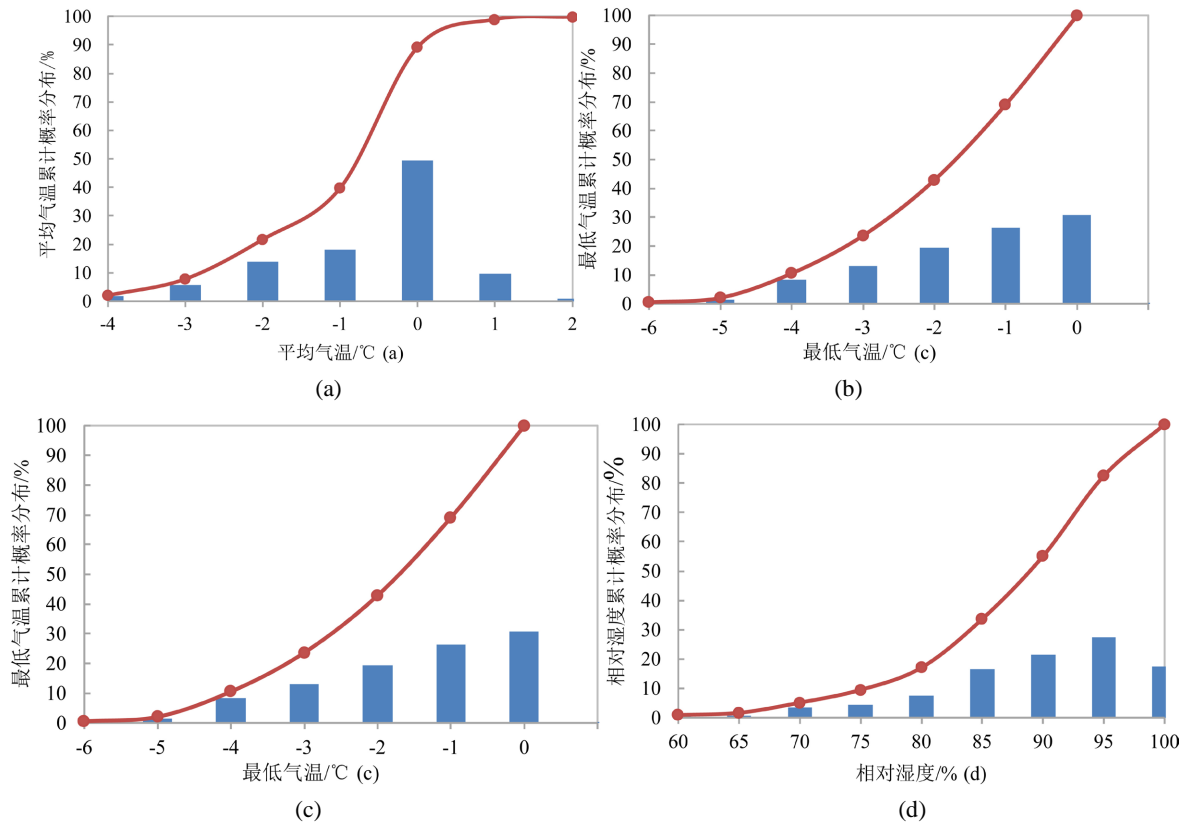
是样本组中的第  $i$  个指数值， $u_j$  是第  $j$  个等级区间的中间值， $\Delta = u_j - u_{j-1} (j = 1, 2, 3, \dots, m)$

是信息分配区间长度，某数值的模糊信息分配概率  $q_{ij}$  计算如下：

$$q_{ij} = \begin{cases} 1 - \frac{|x_i - u_j|}{\Delta}, & |x_i - u_j| \leq \Delta \\ 0, & |x_i - u_j| \geq \Delta \end{cases}$$

第  $j$  个等级的概率值， $S_j = \sum_{i=1}^n q_{i,j}$  数列  $x$  被分配到不同等级中去，从而可以得到各个等级概率分布图。

## 4. 凝冻发生时的气象要素配置



**Figure 1.** Facial probability (column -shaped) and cumulative probability (real line) distribution  
**图 1.** 黔东南气象要素模糊概率(柱形)及累计概率(实线)分布

由于区域站没有雨凇观测资料,因此采用 2011~2020 年黔东南 16 个国家站出现的雨凇天气记录,统计凝冻发生频次,分析当时的气象要素特征。黔东南地形起伏较大,站点一般在县城内,若站点出现雨凇,相对于县城周边海拔较高的乡镇更容易出现雨凇。利用模糊信息分配法找出凝冻发生的气象要素阈值。图 1 给出黔东南 16 个国家站 779 条雨凇天气记录中 4 个要素累计概率分布及其累计情况。

平均气温的累计概率分布(图 1(a)),平均气温的范围为 $-5\sim 3^{\circ}\text{C}$ ,以 $\Delta = 1^{\circ}\text{C}$ 为区间划分,分成 17 个等级( $m = 17$ ),可以看出凝冻发生时,平均气温在 $1.0^{\circ}\text{C}$ 以下的累计概率超过 95%;最高气温(图 1(b))以 $\Delta = 1^{\circ}\text{C}$ 为区间划分,分成 4 个等级( $m = 4$ ),凝冻发生时最高气温低于 $4.0^{\circ}\text{C}$ 的累计概率超过 95%;最低气温(图 1(c))以 $\Delta = 1^{\circ}\text{C}$ 为区间划分,分成 20 个等级( $m = 20$ ),在 $0^{\circ}\text{C}$ 以下的累计概率达到 100%。王玥彤等[13]对西南地区冻雨特征研究时发现最低气温和平均气温、最高气温的分布有所区别,说明在考虑选取凝冻形成条件时不仅要考虑平均气温,还要考虑最高气温(最高气温与冻雨的融点有一定联系)和最低气温(是否达到冰点)。相对湿度(图 1(d))的数值跨度相对较大,从 50~100%,以 $\Delta = 5\%$ 为区间划分,分成 9 个等级( $m = 9$ ),当相对湿度大于 70%时,各个等级出现的概率随着湿度的升高而增大,说明凝冻发生时,相对湿度普遍较大。

通过上述分析可知:黔东南发生凝冻时处于低温、高湿的环境中,初步得到影响黔东南形成凝冻天气的要素阈值条件为日平均气温 $\leq 1.0^{\circ}\text{C}$ 、日最高气温 $\leq 4.0^{\circ}\text{C}$ 、日最低气温 $\leq 0^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $\geq 80\%$ 。利用该阈值去寻找满足上述条件气象区域站发生凝冻的日数,建立凝冻时间序列。通过对要素筛选,境内符合以上条件的共有 262 个区域站,56%以上站点海拔高度在 600 m 以上。

## 5. 结果分析

### 5.1. 黔东南冬季雨凇时空变化特征分析

#### 5.1.1. 黔东南逐月雨凇日数分布

由图 2 可以看出,2011~2020 年黔东南平均逐月雨凇日数冬季(12 月~翌年 2 月)较多,即雨凇多发期,其中 1 月雨凇日数出现最多,占总数的 59%,春季 3 月和秋季 11 月有少量雨凇日出现,11 月雨凇出现最少。

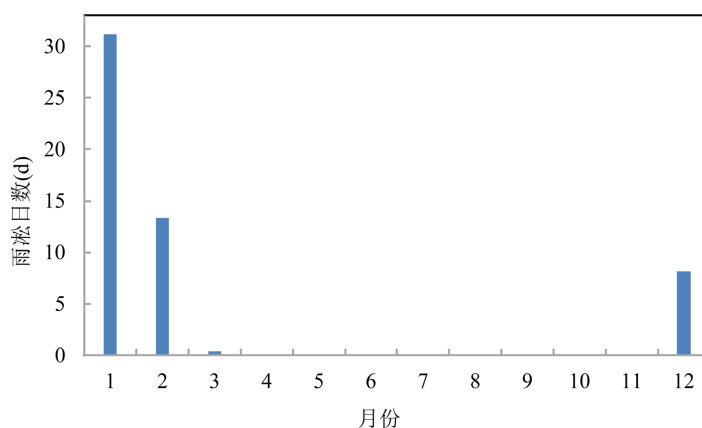


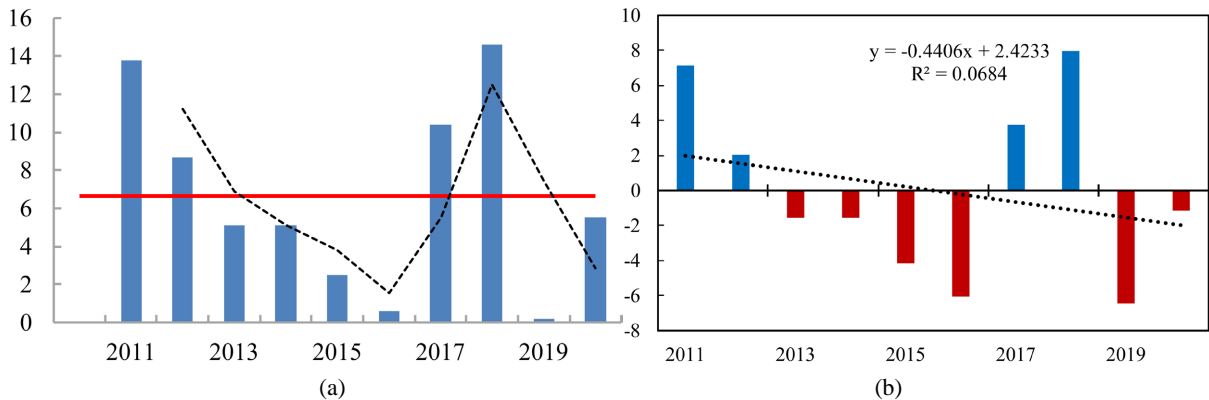
Figure 2. 2011 - 2020 monthly rain rain daily sequence

图 2. 2011~2020 年逐月雨凇日数时间序列

#### 5.1.2. 黔东南雨凇日数时间变化特征

从雨凇日数时间变化特征看出,2011~2020 年黔东南平均雨凇日数的逐年时间序列呈现“高-低-

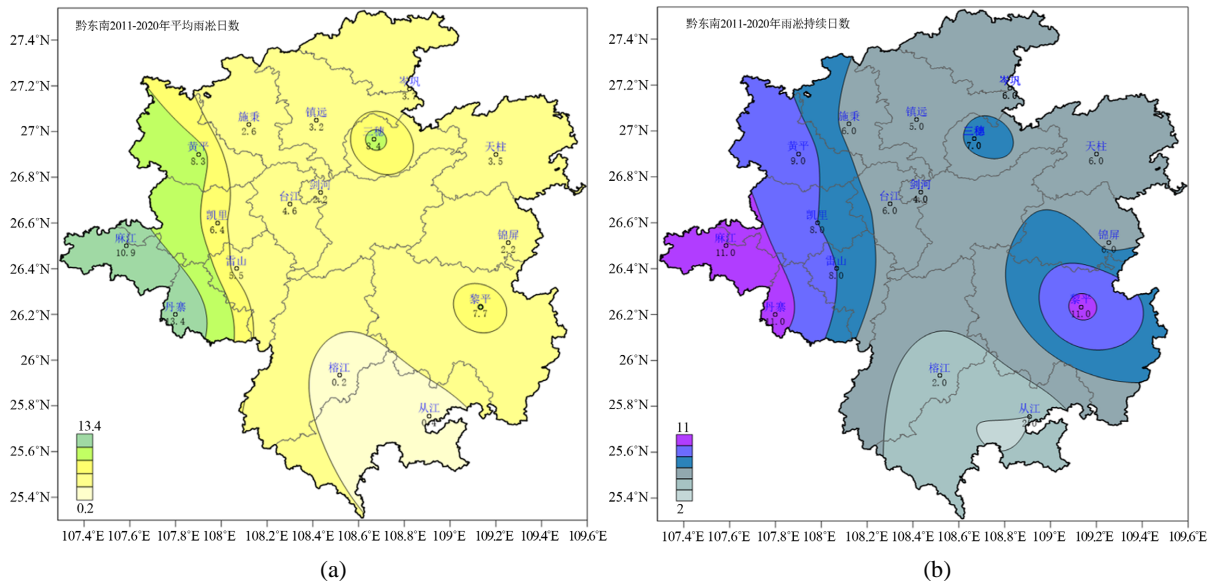
高-低”的趋势变化特征，研究时段内有4a(2011/2012年冬季、2012/2013年冬季、2017/2018年冬季、2018/2019年冬季)为雨淞日数异常偏多年份，超过近10a雨淞日数气候态，有2a(2016/2017年冬季、2019/2020年冬季)为异常偏少的年份(图3(a))。从雨淞距平时间序列看出，有4a发生较强雨淞，分别是2011/2012年冬季、2012/2013年冬季、2017/2018年冬季、2018/2019年冬季，这4a中，2018/2019年冬季雨淞强度是最强的，雨淞平均持续日数6.8d，但是从线性趋势看，黔东南冬季雨淞整体呈现减少趋势(图3(b))。



**Figure 3.** (a) 2011 - 2020 average rainfall day changes year by year, (b) 2011 - 2020 average rainfall distance flat time sequence

**图 3.** (a) 2011~2020 年平均雨淞日数逐年变化, (b) 2011~2020 年平均雨淞距平时间序列

### 5.1.3. 黔东南雨淞日数空间变化特征



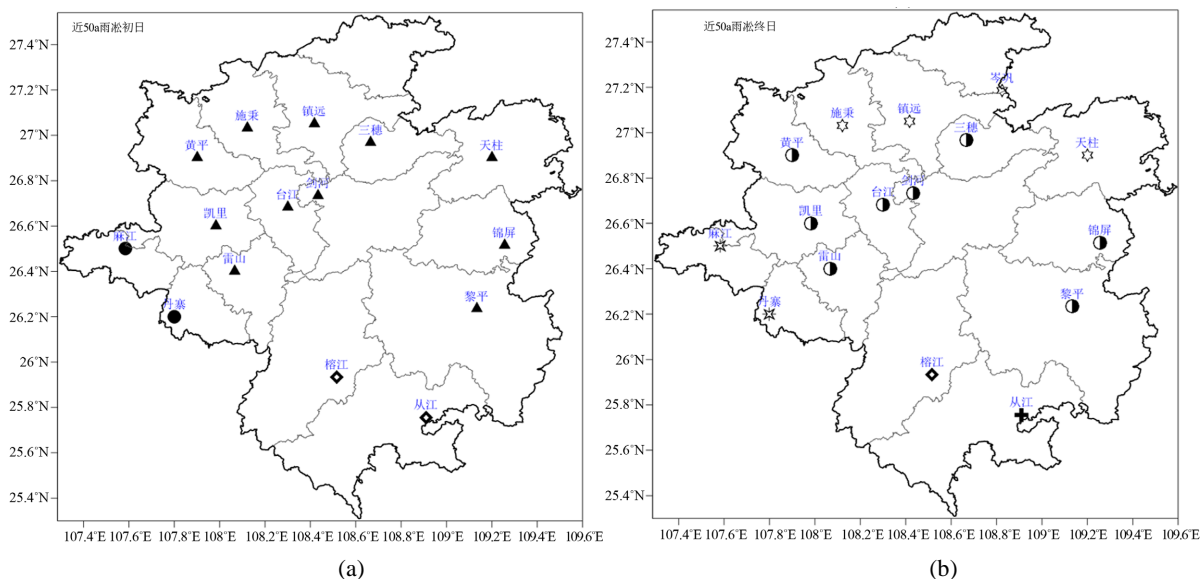
**Figure 4.** (a) 2011 - 2020 Average winter rainfall day distribution, (b) 2011 - 2020 Winter Rainbow Last Disposal Division

**图 4.** (a) 2011~2020 年平均冬季雨淞日数分布, (b) 2011~2020 年冬季雨淞持续日数分布

从雨淞日数空间变化特征可以看出，冬季黔东南有3个雨淞多发中心，依次是位于黔东南西部地区的丹寨、麻江，平均雨淞日数10.9~13.4d，雨淞出现日数为最多，雨淞持续最长日数11.0d，其次是东部地区的三穗以及东南部地区的黎平，三穗平均雨淞日数8.4d，雨淞持续最长日数7.0d，黎平平均雨淞日

数 7.7 d, 雨淞持续最长日数 11.0 d; 麻江、丹寨、黎平雨淞日数持续时间最长; 海拔高度相对较低的从江、榕江平均雨淞日数最少 0.2~0.4 d, 雨淞持续最长日数仅为 2.0 d, 持续时间最短(图 4(a、b))。严小冬等[14]研究发现, 雨淞年平均日数是随着海拔高度增加而增加的, 这是由于气温随着高度向上递减的缘故。

## 5.2. 雨淞初(终)日



注: 图形代表日期(●11.20~11.30、▲12.1~12.10、◇1.1~1.10日)(☆3.10~3.20、●2.20~2.28、☆2.1~2.10、◇1.1~1.10、+1.20~1.30日)。

**Figure 5.** Time and space distribution at the beginning of the rainy (end) day and space  
**图 5.** 雨淞初(终)日时空分布

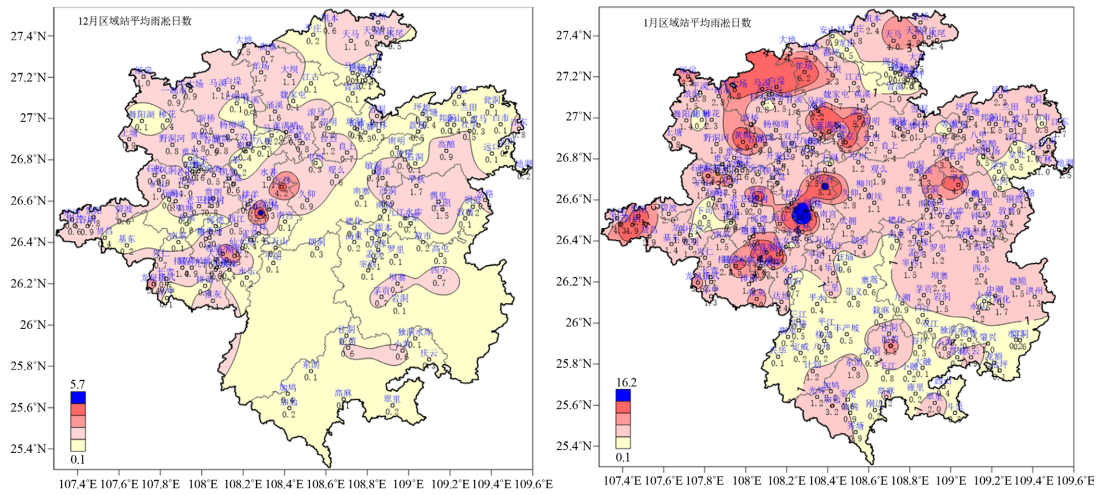
图 5 为黔东南近 10 a 雨淞出现的时空分布, 从雨淞开始最早时间分布来看, 雨淞平均初始日大部站点发生在 12 月上旬, 海拔较高的丹寨、麻江出现雨淞时间最早(2016 年 11 月 25 日), 而海拔较低的榕江、从江在 1 月上旬才开始出现雨淞。雨淞初日整体呈现西部早, 南部迟, 由西向东向南推进的特征。从雨淞结束最晚时间分布来看, 雨淞最晚结束是麻江(2016 年 3 月 11 日), 比丹寨晚一天结束, 榕江、从江在 1 月全部结束, 结束时间较早, 其余大部站点在 2 月全部结束。雨淞终日整体呈现南部早、西部晚, 由南向东向西推迟的特征。西部雨淞最早开始最晚结束, 南部最晚开始最早结束, 这和冷空气的入侵路径有关, 也和特殊地形有关。

## 5.3. 区域站雨淞强度特征分析

利用模糊信息分配法初步得到黔东南发生凝冻天气的气象要素阈值条件, 通过对 500 个区域自动站要素筛选, 满足日平均气温 $\leq 1.0^{\circ}\text{C}$ 、日最高气温 $\leq 4.0^{\circ}\text{C}$ 、日最低气温 $\leq 0^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $\geq 80\%$ 以上条件的共有 262 个区域自动站, 借助 Surfer 软件对区域自动站雨淞强度的时空分布进行绘图分析。

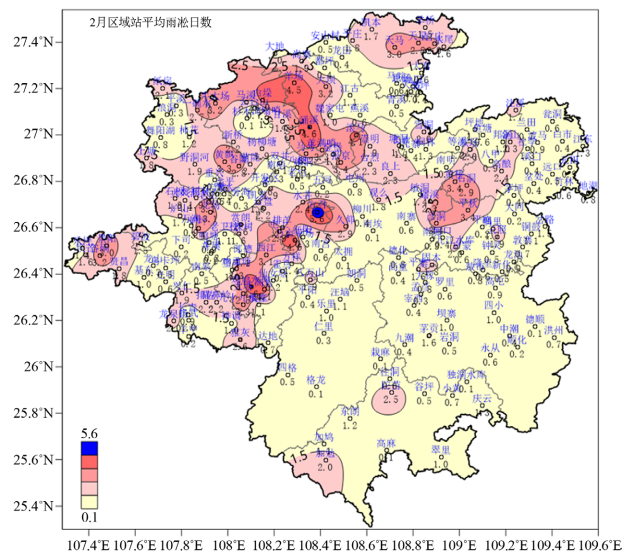
从雨淞空间分布可知(图 6(a、b、c)), 12 月平均雨淞日数大值区出现在台江、雷山两县交界处, 月平均发生 3.0~5.7 d, 平均海拔高度 1000 m 以上, 南部雨淞相对较少。1 月开始全州大范围出现雨淞, 大值区出现在西部、北部地区, 月平均发生 5.0 d 以上, 顾欣等[2]研究发现雷公山附近山区, 主要是由于海拔高而造成雨淞偏重区域, 南部地区处在苗岭山脉的东南侧, 当冷空气绕行南下, 进入该地区堆积后, 处于迎风坡, 海拔高度相对于周边地区要高, 形成月亮山山区雨淞偏重区域。2 月雨淞范围较 1 月有所缩

小，大值区出现在西部、北部及东部地区，由于东部海拔较低，受到苗岭山脉阻挡影响，冷空气在此堆积，易出现雨凇。

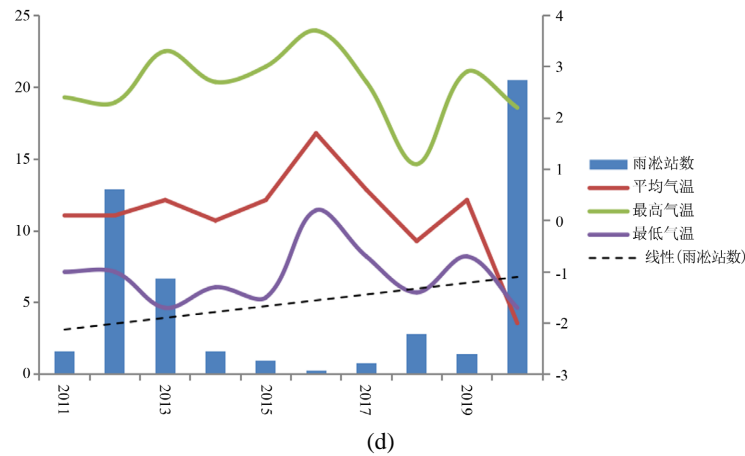


(a)

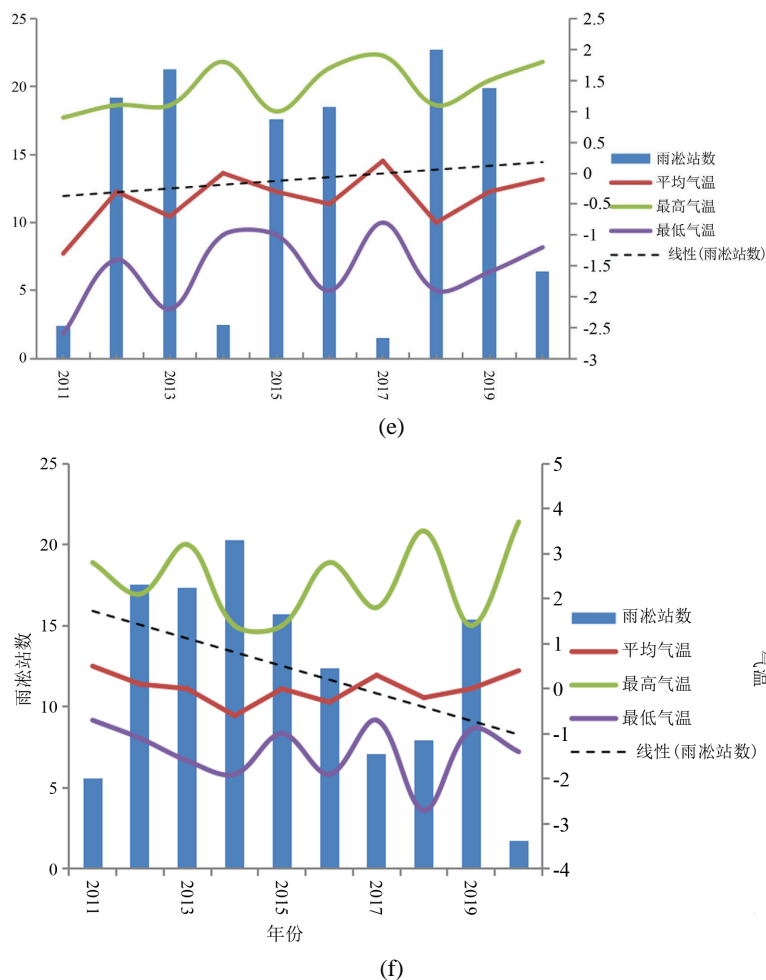
(b)



(c)



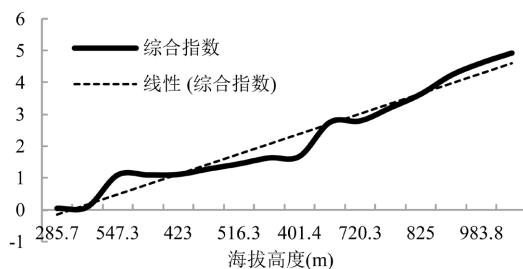
(d)



**Figure 6.** Regional station monthly average rainy daily number of space distribution (a, b, c) and the number of temperature and rain stations (d, e, f)  
**图 6.** 区域站月平均雨淞日数空间分布(a、b、c)和气温与雨淞站数时间序列(d、e、f)

从气温和雨淞站数时间序列可见(图 6(d、e、f)), 雨淞偏多年份对应的气温整体偏低, 偏少年份随即相反。2011 年以后雨淞由偏多转偏少。从趋势上看: 12 月雨淞呈“多-少-少-多”的分布型, 雨淞站数整体呈减少的趋势; 1 月雨淞呈“少-多-多-少-多-少-多-少”的分布型, 雨淞站数整体呈增多的趋势; 2 月雨淞呈“少-多-少-多-少”的分布型, 雨淞站数整体呈减少的趋势。

### 6. 黔东南凝冻风险等级区划



**Figure 7.** Analysis of the correlation between the comprehensive index and altitude  
**图 7.** 综合指数与海拔的相关性分析



根据黔东南州 16 个国家站点建站以来实际观测发生雨凇日数、过程发生频次、过程平均最低气温、最长持续天数 4 个指标的多年平均归一化值，并确定各个指标的权重系数，进行权重求和得到凝冻指数。图 7 根据凝冻随海拔高度增高而增多的特点，本文将凝冻指数与海拔进行了相关性分析，结果表明两个变量通过了  $\alpha = 0.01$  的显著性水平检验，相关系数为 0.878，最终得到凝冻综合指数。

利用 ARCGIS 插值，并采用自然间断点法对凝冻综合指数进行分级，将凝冻划分为高、较高、中、低 4 个风险等级。图 8 显示，高风险区包括雷公山附近山区及麻江西部、剑河南部、月亮山区附近；较高风险区包括凯里北部、麻江中部、施秉北部、剑河中部、黎平北部以及镇远、丹寨、黄平、雷山、台江大部；除海拔较低的低风险区外，其余大部为中风险区；低风险区包括岑巩南部、镇远东部边缘、天柱东部、锦屏东部、黎平南部、从江中东部、榕江中南部。

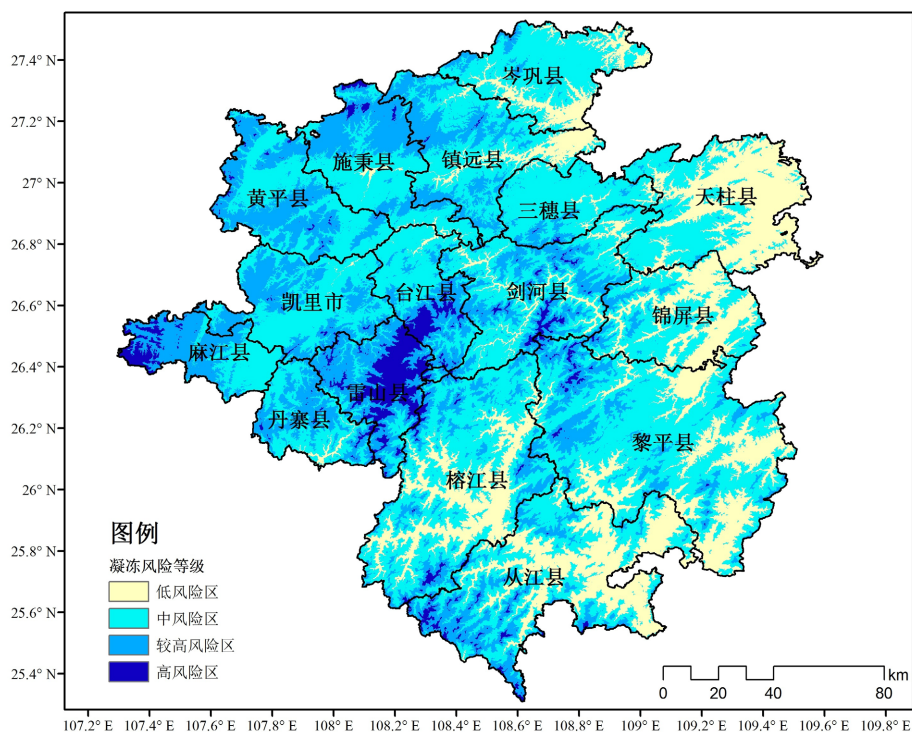


Figure 8. Frozen risk level area drawing

图 8. 凝冻风险等级区划图

## 7. 小结

1) 本文通过国家站已有的雨凇观测记录，利用模糊信息分配法初步得到日平均气温 $\leq 1.0^{\circ}\text{C}$ 、日最高气温 $\leq 4.0^{\circ}\text{C}$ 、日最低气温 $\leq 0^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $\geq 80\%$ 为影响黔东南形成凝冻天气的气象要素阈值。对符合条件的 262 个区域站雨凇时空分布统计分析得出：12 月雨凇大值区出现在台江、雷山两县交界处，平均海拔高度 1000 m 以上，南部雨凇相对较少。1 月开始全州大范围出现雨凇，大值区出现在西部、北部地区，2 月雨凇范围较 1 月有所缩小，雨凇大值区出现在西部、北部及东部地区。

2) 通过分析黔东南冬季雨凇时空分布，在研究时段内，雨凇 1 月出现频次最多，占总数的 59%，雨凇日数的逐年时间序列呈现“高 - 低 - 高 - 低”的趋势变化特征，从整体线性趋势来看，黔东南近 10 a 冬季雨凇整体呈现减少的趋势。

3) 通过对黔东南雨凇初(终)日分析得出，雨凇初日整体呈现西部早，南部迟，由西向东向南推进的

特征：雨淞终日整体呈现南部早、西部晚，由南向东向西推迟的特征。西部雨淞最早开始最晚结束，南部最晚开始最早结束。

4) 黔东南凝冻高风险区包括雷公山附近山区及麻江西部、剑河南部、月亮山区附近；较高风险区包括凯里北部、麻江中部、施秉北部、剑河中部、黎平北部以及镇远、丹寨、黄平、雷山、台江大部；除海拔较低的低风险区外，其余大部为中风险区；低风险区包括岑巩南部、镇远东部边缘、天柱东部、锦屏东部、黎平南部、从江中东部、榕江中南部。

## 参考文献

- [1] 欧建军, 周毓荃, 杨棋, 等. 我国冻雨时空分布及温室结构特征分析[J]. 高原气象, 2011, 30(3): 692-699.
- [2] 顾欣, 梁平, 等. 黔东南凝冻气候变化特征及灾害指数评估分析[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(35): 17658-17661.
- [3] 杜晓玲, 彭芳, 等. 贵州冻雨频发地带分布特征及成因分析[J]. 气象, 2010, 36(5): 92-97.
- [4] 许丹, 罗喜平. 贵州凝冻的时空分布特征和环流成因分析[J]. 高原气象, 2003, 22(4): 401-404.
- [5] 王海军, 覃军, 张峻. 中国南方 7 省份冰冻天气时空分布规律研究[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(7): 839-846.
- [6] 梁平, 白慧, 等. 黔东南州 2008 年低温雨雪冰冻灾害气象因素影响定量评价[J]. 气象科技, 2009, 37(4): 496-502.
- [7] 汪卫平, 张娇艳. 贵州省短期气候预测手册[M]. 北京: 气象出版社, 2020: 12.
- [8] 赵晓萌, 李栋梁, 等. 西南地区覆冰气象要素的变化特征及综合评估[J]. 自然科学学报, 2011, 26(5): 80-91.
- [9] 毛淑君, 李栋梁. 基于气象要素的我国南方低温雨雪冰冻综合评估[J]. 冰川冻土, 2015, 37(1): 14-26.
- [10] 王玥彤. 中国西南地区冻雨的气候异常特征及其影响因子[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京信息工程大学, 2017.
- [11] 贺芳芳, 邵步粉. 上海地区低温雨雪冰冻灾害的风险区划[J]. 气象科学, 2011, 31(1): 33-39.
- [12] 汪超, 罗喜平. 基于 GIS 的贵州省道路结冰灾害风险区划分析[J]. 高原山地气象研究, 2017, 37(3): 71-77.
- [13] 王玥彤, 李栋梁. 中国西南地区冻雨灾害特征分析与评估[J]. 冰川冻土, 2017, 39(5): 967-978.
- [14] 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.