

引用格式:张甜,廖晓荔,马君,杜爱军. 渝东南地区冰雹时空分布特征[J]. 山地学报,2021,39(1):38-46

ZHANG Tian, LIAO Xiaoli, MA Jun, DU Aijun. Temporal and spatial distribution of hail in southeastern Chongqing, China[J]. Mountain Research, 2021, 39(1): 38-46

## 渝东南地区冰雹时空分布特征

张甜<sup>1</sup>,廖晓荔<sup>2\*</sup>,马君<sup>1</sup>,杜爱军<sup>1</sup>

(1. 重庆市巴南区气象局,重庆 巴南,401320; 2. 重庆市人工影响天气办公室,重庆 401147)

**摘 要:** 冰雹灾害是渝东南地区威胁最大的气象灾害之一,掌握渝东南地区冰雹时空分布及天气特征是人工防雹业务的迫切需要,对避免和减轻其灾害具有重要意义,对防灾减灾也有积极作用。本文利用《中国气象灾害大典:重庆卷》中 1960—2011 年渝东南地区造成灾害的冰雹资料以及 2000—2011 年的 MICAPS 资料,对渝东南地区降雹时空分布特征、降雹过程的天气特征进行统计对比分析,结果表明:2000—2011 年期间渝东南地区的降雹频次较前 40 年明显增加,成为重庆市平均降雹发生频率次高的地区,且高频中心位于黔江区。Mann-Kendall 分析结果显示 1960—2011 年前后渝东南地区冰雹日数发生了两次明显的突变。小波分析结果显示渝东南地区的降雹日数在 60~80 年代初期有 8 a 左右的年际变化周期,80 年代中期以后则是 14 a 左右的年际变化周期较为显著,降雹过程发生的偏多时期出现在 1990 年和 2004 年前后。从月际变化来看,4 月和 5 月是该地区降雹日数出现最多的两个月份,7 月和 8 月为次多的月份。春季冰雹主要由系统性的上升运动触发,夏季冰雹则主要由局地热力抬升运动造成。上述结论对促进渝东南地区掌握降雹规律、科学防雹、减轻灾害具有重要的理论及现实意义。

**关键词:** 渝东南地区;突变及周期;小波分析;天气特征

**中图分类号:** P458.1

**文献标志码:** A

渝东南地区位于四川盆地盆缘,是大娄山和武陵山两山交汇之地,地形特征独特,山地气候典型,冰雹天气频发。冰雹灾害是渝东南地区威胁最大的气象灾害之一,虽然局地性强、降雹时间短、范围小,但往往强度大且来势凶猛,暴雨、大风常伴其左右,时常造成严重的损失。2000 年以来,该地区降雹日数的增加较为显著,冰雹造成的灾害损失也日益加剧。根据中国气象局气象灾害管理系统中搜集的灾情信息表明,仅 2002 年至 2009 年 8 年时间,渝东南地区因冰雹灾害造成的受灾人数达 8 万余人、农作物受灾面积 8 万余公顷,直接经济损失 3 亿余元。

许多学者深入研究了我国气象灾害的时空分布特征、气象成因<sup>[1-3]</sup>等,冰雹灾害是气象灾害中造成损失较大的灾害之一,为了减轻其造成的不利影响,国内外专家在降雹的时空分布特征<sup>[4-11]</sup>、天气气候特征<sup>[12-14]</sup>以及雷达回波特征<sup>[15-17]</sup>等方面做了大量的研究工作,为了解降雹规律、做好冰雹预报提供了理论支撑和科学依据。在对冰雹的研究工作中,有学者分析了华北地区冰雹的时空分布特征<sup>[18]</sup>,指出该地区降雹高频区呈“T”型特征分布,冰雹日变化具有季节性规律、年变化具有三峰型特点。有的学者分析了北京地区出现的冰雹过程<sup>[19]</sup>,指出北京地

**收稿日期** (Received date): 2018-09-24; **改回日期** (Accepted date): 2020-09-11

**基金项目** (Foundation item): 重庆市气象局 2018 年智慧气象技术创新团队项目 (ZHCXTD-201822)。[Intelligent Meteorological Technology Innovation Team Project of Chongqing Meteorological Bureau in 2018 (ZHCXTD-201822)]

**作者简介** (Biography): 张甜 (1982-), 女, 重庆人, 硕士, 主要研究方向: 气象为农服务、气象防灾减灾。[ZHANG Tian (1982-), female, born in Chongqing, M. Sc. research on meteorological services for agriculture, meteorological disaster prevention and mitigation] E-mail: 43046468@qq.com

\* **通讯作者** (Corresponding author): 廖晓荔 (1981-), 女, 广西桂林人, 硕士, 主要研究方向: 气象防灾减灾、人工影响天气。[LIAO Xiaoli (1981-), female, born in Guangxi, M. Sc. research on meteorological disaster prevention and mitigation, artificial weather, modification] E-mail: 360418906@qq.com

区降雹天气类型主要是东北冷涡型、蒙古低涡型和低槽型这三类。还有研究对甘肃省平凉市冰雹的时空分布、气候条件、层结特征、雷达回波特征等进行了分析<sup>[20]</sup>,指出对流层上层不稳定是降雹的主要原因。以上研究<sup>[18-20]</sup>分别从不同侧重点分析了各地的冰雹特征,如冰雹季节性规律、年变化特征、降雹的天气类型,以及冰雹天气的层结特征、雷达回波特征等,为学界对于各地冰雹灾害的研究提供了较为重要的理论参考。然而,冰雹作为一种局地性强的灾害性天气,受气候条件和地形差异的影响往往是决定性的,上述研究对渝东南地区冰雹的时空分布特征以及触发冰雹产生的天气条件也少有分析。本文选用1960—2011年渝东南地区的冰雹灾害资料、2000—2011年MICAPS资料,利用Mann-Kendall检验、小波分析方法研究了渝东南地区冰雹时空分布特征,对降雹过程的天气学特征进行统计对比分析,此项工作填补了渝东南地区冰雹灾害研究的空白,为气象部门熟悉该地区降雹条件、掌握降雹规律、开展人工防雹作业提供科学依据和理论支撑。

## 1 资料选取与研究方法

### 1.1 资料来源

重庆市冰雹天气过程定义:重庆市所属34个区(县)一日内有4个或4个以上区(县)出现降雹,定为一次全市的冰雹天气过程;渝东南地区6个区(县)一日内有2个或2个以上区(县)出现降雹,定为一次渝东南地区的冰雹天气过程。

本文选取《中国气象灾害大典·重庆卷》<sup>[21]</sup>以及重庆市气象局灾情报告中1960—2011年渝东南地区造成灾害的冰雹资料,对渝东南地区出现的冰雹天气现象进行统计,得出其时空分布特征。根据重庆市预报分区规则,重庆市东南部(文中称为渝东南地区)包括6个区县,分别为黔江区、武隆区、秀山县、彭水县、酉阳土家族苗族自治县和石柱土家族自治县(文中简称为黔江、武隆、秀山、彭水、酉阳、石柱),因此本文在做渝东南地区冰雹时空分布特征时选用的冰雹资料主要来自这6个区县的气象观测站点数据。由于2000年以后才有完整的MICAPS资料,因此天气特征部分本文选取了2000—2011年渝东南地区2站以上的冰雹天气过程,利用MICAPS资料分析冰雹日的天气环流背景

特征和物理量场及稳定度空间分布特征。由于渝东南6个区县无探空观测站,所以本文在研究物理量场及稳定度特征时选取了MICAPS资料中临近的怀化站(站号57749)探空资料进行分析。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 Mann-Kendall 检验

Mann-Kendall 检验法<sup>[22]</sup>是运用于时间序列趋势分析中的非参数检验方法,学界普遍应用Mann-Kendall方法来分析长时间序列的趋势变化。本文运用Mann-Kendall法对渝东南地区冰雹天气序列进行突变检测,通过诊断分析来揭示该地冰雹的特征与规律。

#### 1.2.2 小波分析

小波分析<sup>[23]</sup>是在时间和频率上分别将一个一维信号展开,用二维图形展示。本文用小波变幻对降雹日数进行分析,Morlet小波变换系数实部等值线图反映了降雹日数在不同时间尺度的周期变化特征,正负位相分别用图中的实线和虚线表示,正位相表示冰雹的发生处于偏多时期,反之负位相表示处于偏少时期,分析振荡的正负位相,可以得到振荡的周期;另外,还可以通过小波模等值线图阴影部分来分析振荡周期的振幅强弱。

## 2 渝东南地区冰雹空间分布特征

渝东南地区处于重庆东南部,地形地貌复杂,地貌以丘陵、山地为主。由1960—2011年重庆市年平均降雹日数分布图(图1)可见,重庆市的降雹高频中心有两个,均位于渝东北地区,一个是奉节,其年平均降雹日数达2.1 d,另一个是开县,其年平均降雹日数为1.7 d,渝东南地区则是冰雹发生较少的区域。

然而,2000—2011年,重庆市的降雹高频中心仍有两个,但空间分布出现了较大变化(图2)。一个中心仍位于渝东北地区的巫溪,平均降雹日数高达2.3 d;另一个中心则出现在渝东南的黔江,降雹日数为1.9 d,而且从色斑图上看渝东南地区降雹日数有显著增加。

由此可见,1960—2011年渝东南地区年平均降雹日数在重庆范围来看总体发生较少,而2000—2011年期间渝东南地区的降雹频次明显增加,成为重庆市冰雹天气发生频率次高的地区,且高频中心位于黔江。

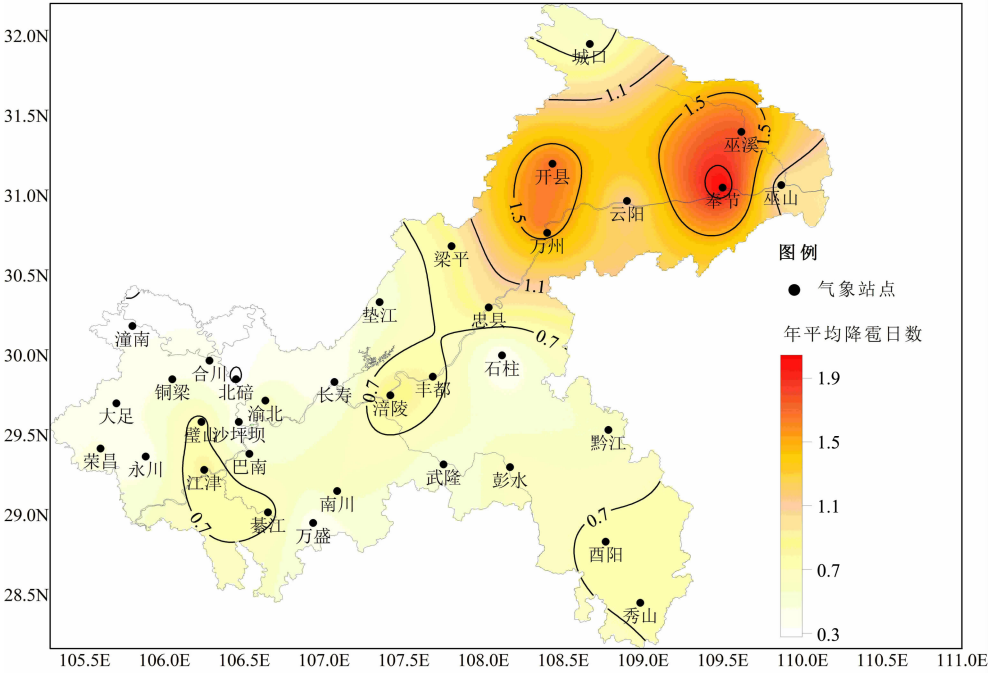


图 1 1960—2011 年重庆市年平均降雹日数分布图

Fig. 1 Distribution of annual average hail days in Chongqing from 1960 to 2011

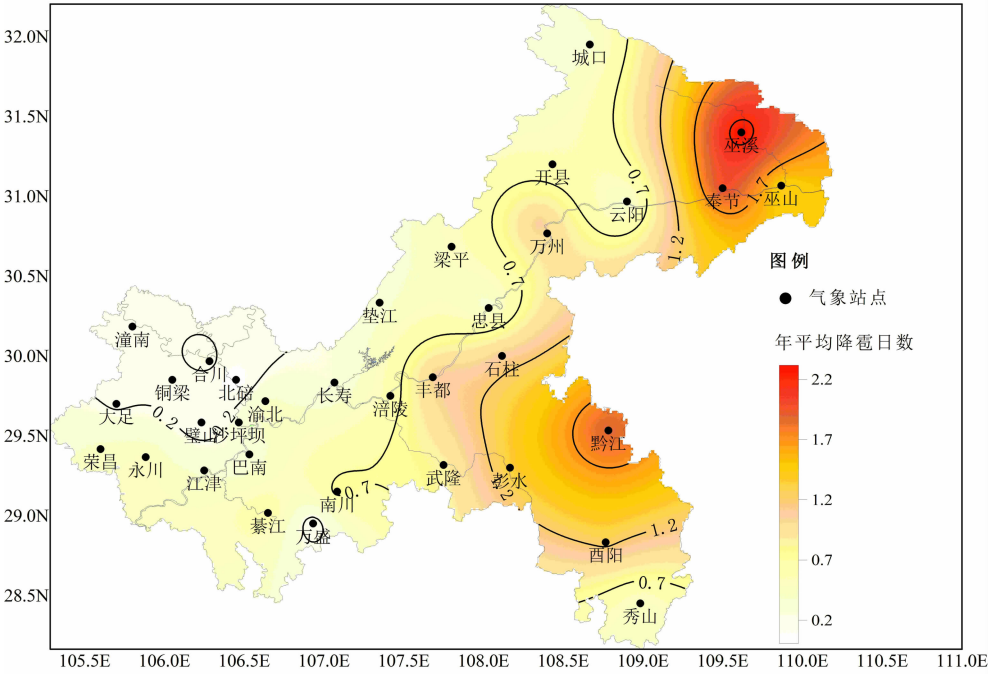


图 2 2000—2011 年重庆市年平均降雹日数分布图

Fig. 2 Distribution of annual average hail days in Chongqing from 2000 to 2011

3 渝东南地区冰雹时间变化特征

3.1 年际变化

降雹日数反映了冰雹过程的频度,降雹站次数

则反映了冰雹过程的强度,年降雹日数和降雹站次数的差值越大表明该年的冰雹过程越强。利用计算气象要素的时间序列与自然数序列之间的相关系数(趋势系数)方法在研究气象要素的长期变化趋势方面有广泛的运用<sup>[24]</sup>。

据统计,1960—2011 年渝东南地区年平均降雹日数为 2.6 d,年平均降雹站次数为 3.4 站次。分析 1960—2011 年渝东南地区降雹日数的变化特征,可知其线性趋势为增加的趋势(图 3),递增率为  $0.543 \text{ d}/(10 \text{ a})$ ,趋势系数为 0.348(通过了 0.05 水平的显著性检验),增加趋势明显。2000 年以来,渝东南地区的降雹日数和降雹站次数均有显著的增加,表明该地区 21 世纪以来冰雹过程多,且强度大。1960—2011 年渝东南地区 3 站以上的强冰雹过程共有 5 次,其中 3 次均发生在 2000 年以后。

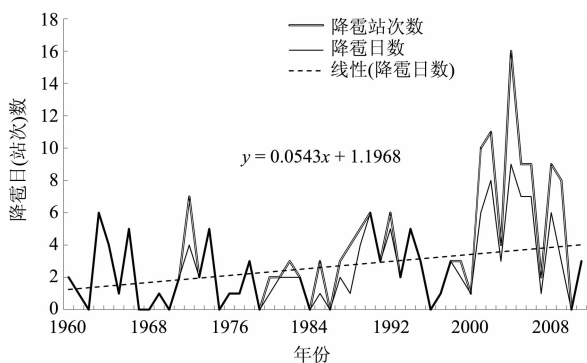


图 3 1960—2011 年渝东南地区逐年降雹日数及降雹站次数变化图

Fig. 3 Variation of hail days and hail stations in Southeast Chongqing from 1960 to 2011

将 1960—2011 年渝东南地区降雹日数按照年代做年代际分析(图 4)可知,渝东南地区 60~90 年代,以及 21 世纪 00 年代(2000—2011 年)降雹日数分别为 20 站次、18 站次、24 站次、32 站次和 79 站次,该地区 60~80 年代降雹日数年代间波动较小,90 年代降雹日数略有增加,而 21 世纪 00 年代降雹日数较前面几个年代呈成倍增长。此外,分析图 4 中渝东南地区降雹日数的年代际变化特征,可知其为增加的趋势,且递增率达到了  $13.8 \text{ d}/(10 \text{ a})$ ,趋势系数为 0.8219(通过了 0.05 水平的显著性检验),增加趋势明显。

### 3.2 渝东南地区冰雹突变及周期分析

#### 3.2.1 Mann-Kendall 分析

由于渝东南地区降雹日数呈增多趋势,且在 2000—2011 年成为重庆市降雹高频中心之一,在此用 Mann-Kendall 检验法来检测 1960—2011 年渝东南地区降雹日数时间序列的突变情况。

渝东南地区 1960—2011 年降雹日数时间序列

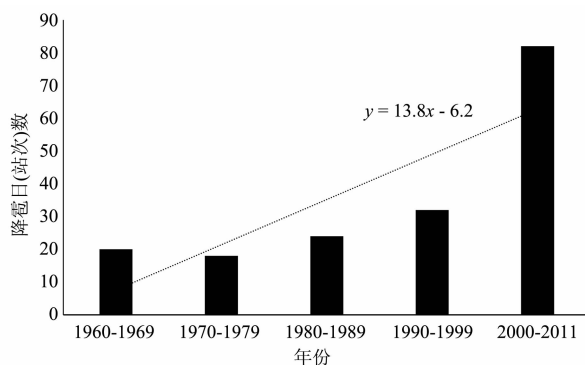
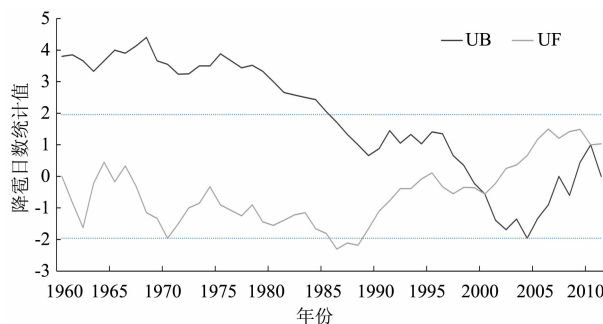


图 4 1960—2011 年渝东南地区降雹日数年代际分析图

Fig. 4 Interdecadal analysis of the number of hail days in Southeast Chongqing from 1960 to 2011

的 Mann-Kendall 突变检验曲线(图 5)显示,UF 和 UB 的交点有两个,分别出现在 2000 年和 2010 年,且交点落在两条直线  $U_{0.05} = \pm 1.96$  内,说明在 2000 年和 2010 年渝东南地区冰雹日数发生了两次明显的突变,即 2000 年以后渝东南地区年降雹日数明显增加,由负距平转化为正距平,而 2010 年出现了又一次突变,降雹日数减少。



注:图中直线为  $\alpha = 0.05$  显著性水平临界值

图 5 渝东南地区降雹日数的 Mann-Kendall 曲线图

Fig. 5 Mann-Kendall curve of hail days in Southeast Chongqing, China

#### 3.2.2 小波分析

渝东南地区降雹日数的周期变化特征如图 6 所示,该地区的降雹日数在 60~80 年代初期有 8 a 左右的年际变化周期,80 年代中期以后则是 14 a 左右的年代际变化周期较为显著,而 90 年代以后 14 a 的变化周期最为明显,周期振幅最强(图 6a)。在周期  $a = 14$  时,1990 年和 2004 年渝东南地区降雹日数小波变换系数的实部出现了两个大值中心,表明该时间前后是渝东南地区冰雹过程发生的偏多时期。图 6(b)反映的周期变化特征与图 6(a)基本对

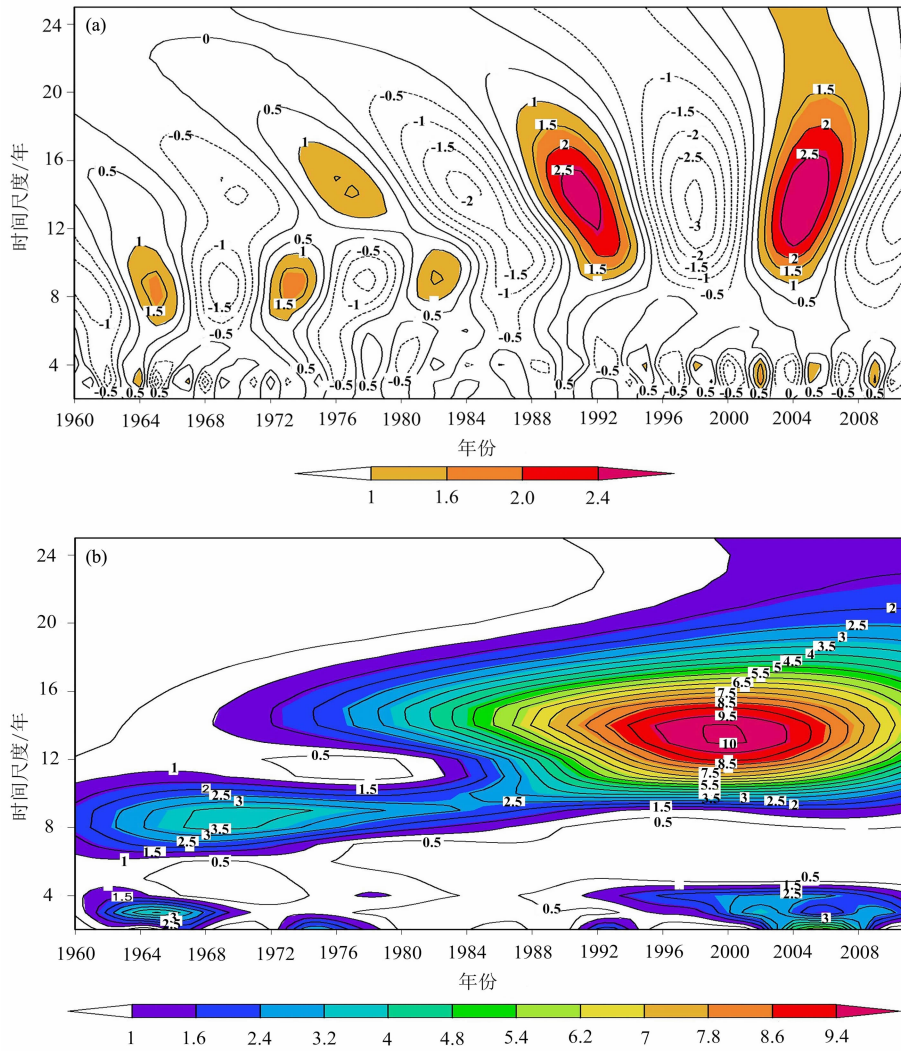


图 6 渝东南地区降雹日数小波分析:(a)小波实部;(b)小波模

Fig. 6 Wavelet analysis of the number of hail days in Southeast Chongqing real part of the wavelet ( a ) , wavelet modulus( b )

应,同样也是 60 ~ 80 年代初期年际变化周期为 8 a 左右,之后变化周期为 14 a 左右。

综上所述,渝东南地区的降雹日数在 60 ~ 80 年代初期有 8 a 左右的年际变化周期,80 年代中期以后则是 14 a 左右的年代际变化周期较为显著,降雹过程发生的偏多时期出现在 1990 年和 2004 年前后。

### 3.3 月际变化

由渝东南地区的逐月降雹日数(图 7)可见,4 月和 5 月是该地区降雹日数出现最多的两个月份,7 月和 8 月为次多的两个月份,10 月、12 月和 1 月无冰雹天气过程。从降雹日数和降雹站次数的对比来看,渝东南地区的冰雹过程强度在 4 月份最强,最强冰雹过程出现在 2009 年 4 月 15 日,有 5 站(除石柱

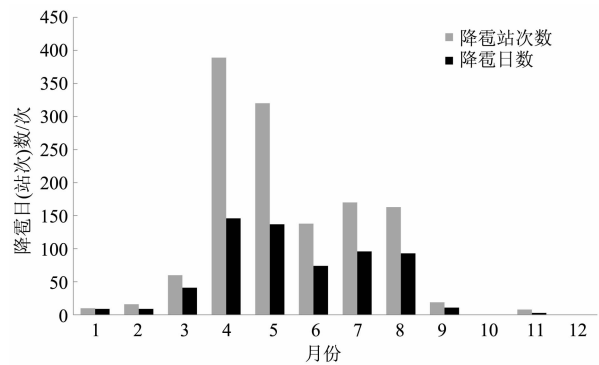


图 7 1960—2011 年渝东南总降雹日数及降雹站次数月际变化图

Fig. 7 Monthly changes in the total hail days and station frequency in Southeast Chongqing form 1960 to 2011

外)出现了冰雹。

3.4 渝东南各区县降雹日数对比

1960—2011 年渝东南地区降雹日数呈明显的上升趋势,且该地区在 2000—2011 年期间位于重庆市降雹的高频中心。由表 1 可见,1960—2011 年酉阳的年平均降雹日数为渝东南地区最高,达 0.75 d/a,石柱最低,为 0.33 d/a;2000—2011 年渝东南各区县年平均降雹日数除秀山外,均显著高于 1960—2011 年的该地均值,其中黔江最高为 1.92 d/a,成为重庆市降雹的高频中心之一。

表 1 渝东南各区县年平均降雹日数(天/年)

Tab. 1 Annual averages of hail days in districts and counties in Southeast Chongqing, China(d/a)

地区	年代	
	1960—2011 年	2000—2011 年
酉阳	0.75	1.25
秀山	0.71	0.42
彭水	0.65	1.33
黔江	0.56	1.92
武隆	0.44	0.83
石柱	0.33	1.08

4 天气特征

2000—2011 年,渝东南地区共出现 17 次冰雹天气过程,雹期为 2—8 月,其中 4 月冰雹过程最多。

4.1 环流背景

冰雹天气过程通常由中小尺度强对流系统触发,它的发生、发展受到环流背景和大尺度系统的影响和制约,而且受地形影响。

通过分析 2000—2011 年渝东南地区冰雹天气过程的 MICAPS 资料,对冰雹天气过程期间的天气环流形势进行统计(表 2)可知,渝东南地区的冰雹过程有 76.5% 发生在低槽、切变线或低涡等低值系统的控制下,而西北气流、反气旋或弱脊等高值系统控制下发生的冰雹过程仅占 23.5%。从低层 850 hPa 的情况来看,无论高层 500 hPa 为何种系统影响,低层的影响系统均为低涡或切变线,这表明该地区冰雹天气出现的水汽条件和动力条件均来源于低层的辐合上升运动。

4.2 物理量场及稳定度特征

形成对流性天气的基本条件除了抬升力条件外,还有水汽条件和不稳定的层结条件。

为分析冰雹过程的水汽条件,本文分析了 2000—2011 年渝东南地区冰雹天气过程期间 MICAPS 资料中该地区探空代表站怀化站的探空资料(表 3),由其冰雹日 08 时探空资料可知,渝东南地区冰雹天气过程期间 850 hPa 比湿为 6 ~ 17 g/kg,表明冰雹过程发生前,低层有较好的水汽条件。

850 hPa 和 500 hPa 等压面之间的温度差(即  $\Delta T = T_{850} - T_{500}$ )可表示两等压面之间气层的不稳定度,差值越大表明气层越不稳定。经统计,渝东南冰雹过程  $\Delta T$  为 22 ℃ - 32 ℃,气层确实处于不稳定区间。

0 ℃ 层及 -20 ℃ 层高度对冰雹的形成也有重要影响,一般来说 0 ℃ 层在 600 hPa、-20 ℃ 层在 400 hPa 上下有利于成雹。经统计,渝东南地区冰雹过程 0 ℃ 层高度为 549 ~ 668 hPa, -20 ℃ 层高度为 354 ~ 464 hPa,的确处在利于降雹区间。

5 结论

本文利用《中国气象灾害大典:重庆卷》以及灾情报告中 1960—2011 年对渝东南地区造成灾害的冰雹资料以及 2000—2011 年的 MICAPS 资料,研究了该地区的降雹时空分布特征及天气特征,得出以下结论:

(1)1960—2011 年渝东南地区降雹日数递增率为 0.543 d/(10 a),趋势系数为 0.348,增加趋势明显。2000 年以来,渝东南地区的降雹日数和降雹站次数均有显著的增加,表明该地区 21 世纪以来冰雹过程多,且强度大。

(2)1960—2011 年期间渝东南地区年平均降雹日数在重庆范围来看总体发生较少,但 2000 年之后渝东南地区的降雹频次明显增加,冰雹日数发生了一次明显的突变,降雹日数明显偏多,成为重庆市平均降雹发生频率次高的地区,且高频中心位于黔江区。2010 年该地区降雹日数又出现了一次突变,降雹日数减少。

(3)小波分析表明渝东南地区降雹日数在 60 ~ 80 年代初期有 8 a 左右的年际变化周期,80 年代中

表 2 2000—2011 年渝东南地区冰雹天气过程环流背景

Tab.2 Circulation background of hail Weather Process in Southeast Chongqing form 2000 to 2011

日期	等压面			日期	等压面		
	500 hPa	700 hPa	850 hPa		500 hPa	700 hPa	850 hPa
2001 - 07 - 02	低槽	切变线	切变线	2005 - 04 - 08	低槽	切变线	低涡
2002 - 04 - 04	低槽	低涡	低涡	2005 - 05 - 17	低槽	切变线	切变线
2002 - 04 - 23	切变线	低涡	低涡	2006 - 05 - 04	低槽	切变线	低涡
2002 - 08 - 25	低槽	切变线	低涡	2006 - 08 - 16	反气旋	反气旋	切变线
2003 - 03 - 31	低槽	切变线	低涡	2007 - 04 - 01	波动槽	切变线	低涡
2004 - 02 - 20	低槽	低涡	低涡	2008 - 06 - 05	低槽	切变线	切变线
2004 - 04 - 29	切变线	切变线	切变线	2009 - 04 - 05	低槽	偏南气流	西南气流
2004 - 07 - 13	西北气流	反气旋	切变线	2009 - 04 - 16	偏北气流	切变线	东北气流
2004 - 08 - 04	反气旋	切变线	切变线				

表 3 2000—2011 年渝东南地区冰雹天气过程  
物理量场及稳定度特征

Tab.3 Physical quantity field and stability characteristics of  
hail weather process in Southeast Chongqing for 2000 to 2011

日期	比湿/ (g · kg <sup>-1</sup> )	$\Delta T/^{\circ}\text{C}$	高度/hPa	
			0℃ 层	-20℃ 层
2001 - 07 - 02	15	26	550	357
2002 - 04 - 04	10	27	602	394
2002 - 04 - 23	11	23	591	388
2002 - 08 - 25	12	22	563	356
2003 - 03 - 31	10	29	594	411
2004 - 02 - 20	6	28	668	483
2004 - 04 - 29	12	27	576	393
2004 - 07 - 13	11	32	575	370
2004 - 08 - 04	17	25	554	353
2005 - 04 - 08	11	26	588	415
2005 - 05 - 17	7	22	580	399
2006 - 05 - 04	11	29	568	379
2006 - 08 - 16	12	30	549	347
2007 - 04 - 01	13	27	572	405
2008 - 06 - 05	10	32	604	393
2009 - 04 - 05	8	28	600	419
2009 - 04 - 16	8	25	632	408

期以后年际变化周期则是较为显著的 14 a 左右,降雹过程偏多时期出现在 1990 年和 2004 年前后。

(4)从月际变化来看,4 月和 5 月是该地区降雹日数出现最多的两个月份,7 月和 8 月为次多的月份。10 月、12 月和 1 月无冰雹天气过程。从降雹日

数和降雹站次数的对比来看,渝东南地区的冰雹过程强度在 4 月份最强。

(5)从天气环流形势分析,渝东南地区的冰雹过程有 76.5% 发生在低槽、切变线或低涡等低值系统的控制下,而西北气流、反气旋或弱脊等高值系统控制下发生的冰雹过程仅占 23.5%。渝东南地区春季冰雹主要由系统性的上升运动触发,范围较广;而夏季冰雹则主要由局地热力抬升运动造成,局地性更强。无论高层 500 hPa 为何种系统影响,低层的影响系统均为低涡或切变线,低层的辐合上升运动为冰雹天气的发生提供有利的动力条件和水汽条件。

(6)从物理量场及稳定度特征分析,当 850 hPa 和 500 hPa 等压面之间的温度差为 22 ℃ ~ 32 ℃、850 hPa 比湿为 6 ~ 17 g/kg、0℃ 层高度为 549 ~ 668 hPa,且 -20 ℃ 层高度为 354 ~ 464 hPa 时,有利于渝东南地区冰雹的发生。

参考文献 (References)

[1] 孙霞,俞海洋,孙斌,等. 河北省主要气象灾害时空变化的统计分析[J]. 干旱气象,2014,32(3):388 - 392. [SUN Xia, YU Haiyang, SUN Bin, et al. Statistical analysis of meteorological disasters in Hebei province[J]. Journal of Arid Meteorology,2014, 32(3):388 - 392] DOI:10. 11755/j. issn. 1006 - 7639(2014) - 03 - 0388

[2] 李红梅,周秉荣,申红艳,等. 青海高原干旱时空分异特征及发生风险研究[J]. 山地学报,2019,37(2):230 - 239. [LI Hongmei, ZHOU Bingrong, SHEN Hongyan, et al. Research on temporal and spatial differentiation and occurrence risks of drought in Qinghai, China[J]. Mountain Research,2019,37(2):230 - 239] DOI:10. 16089/j. cnki. 1008 - 2786. 000417

- [3] 林志东,陈兴伟,林木生,等. 东南沿海西溪流域暴雨洪水的时空变化特征[J]. 山地学报,2017,**35**(4):488–495. [LIN Zhidong, CHEN Xingwei, LIN Musheng, et al. Spatial and temporal variations of storm-floods in Xixi watershed of southeast coastal region [J]. Mountain Research, 2017, **35**(4): 488–495] DOI: 10.16089/j.cnki.1008–2786.000246
- [4] 张芳华,高辉. 中国冰雹日数的时空分布特征[J]. 南京气象学院学报,2008,**31**(5):687–693. [ZHANG Fanghua, GAO Hui. Temporal and spatial features of hail days in China[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2008, **31**(5): 687–693] DOI: 10.3969/j.issn.1674–7097.2008.05.011
- [5] 虎雅琼,边宇轩,黄梦宇,等. 基于灾情信息的1981–2017年北京地区降雹特征[J]. 应用气象学报,2019,**30**(6):710–721. [HU Yaqiong, BIAN Yuxuan, HUANG Mengyu, et al. Characteristics of hailstone distribution based on disaster information in Beijing from 1981 to 2017[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2019, **30**(6): 710–721] DOI: 10.11898/1001–7313.20190607
- [6] 赵文慧,姚展予,贾烁,等. 1961~2015年中国地区冰雹持续时间的时空分布特征及影响因子研究[J]. 大气科学,2019,**43**(3):539–551. [ZHAO Wenhui, YAO Zhanyu, JIA Shuo, et al. Characteristics of spatial and temporal distribution of hail duration in China during 1961–2015 and its possible influence factors [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2019, **43**(3): 539–551] DOI: 10.3878/j.issn.1006–9895.1808.18123
- [7] 杨淑群,邱予声. 四川省冰雹的时空变化特征[J]. 西南大学学报(自然科学版),2012,**34**(11):63–68. [YANG Shuqun, QIU Yusheng. The characteristics of temporal and spatial variation of hailstone in Sichuan [J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2012, **34**(11): 63–68] DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2012.11.006
- [8] BERTHET C, DESSENS J, SANCHEZ J L. Regional and yearly variations of hail frequency and intensity in France[J]. Atmospheric Research, 2011(100):391–400. DOI: 10.1016/j.atmosres.2010.10.008
- [9] SUWALA K, BEDNORZ E. Climatology of hail in central Europe [J]. Quaestiones Geographicae, 2013, **32**(3): 99–110. DOI: 10.2478/quageo–2013–0025
- [10] JELIC D, MEGYERI O A, MALECIC B, et al. Hail climatology along the northeastern Adriatic [J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2020, **125**(23): e2020JD032749. DOI: 10.1029/2020JD032749
- [11] PUCIK T, CASTELLANO C, GROENEMEIJER P, et al. Large hail incidence and its economic and societal impacts across Europe [J]. Monthly Weather Review, 2019, **147**(11): 3901–3916. DOI: 10.1175/MWR-D-19-0204.1
- [12] 赵文慧,姚展予,贾烁,等. 1961~2015年中国地区冰雹持续时间的时空分布特征及影响因子研究[J]. 大气科学,2019,**43**(3):539–551. [ZHAO Wenhui, YAO Zhanyu, JIA Shuo, et al. Characteristics of spatial and temporal distribution of hail duration in China during 1961–2015 and its possible influence factors [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2019, **43**(3): 539–551] DOI: 10.3878/j.issn.1006–9895.1808.18123
- [13] 苏永玲,何立富,巩远发,等. 京津冀地区强对流时空分布与天气学特征分析[J]. 气象,2011,**37**(2):177–184. [SU Yongling, HE Lifu, GONG Yuanfa, et al. A study of temporal—spatial distribution and synoptic characteristics of severe convective weather in Beijing, Tianjin and Hebei [J]. Meteorological Monthly, 2011, **37**(2): 177–184] DOI: 10.7519/j.issn.1000–0526.2011.2.007
- [14] 顾光芹,史印山,池俊成,等. 河北省冰雹气候特征及其与环流异常的关系[J]. 高原气象,2011,**30**(4):1132–1138. [GU Guangqin, SHI Yinshan, CHI Juncheng, et al. Climatic characteristic of hail in Hebei and its relation to circulation anomaly [J]. Plateau Meteorology, 2011, **30**(4): 1132–1138]
- [15] 廖向花,林娜,李轲,等. 利用多普勒雷达产品识别重庆冰雹云指标分析[J]. 西南大学学报(自然科学版),2011,**33**(11):131–135. [LIAO Xianghua, LIN Na, LI Ke, et al. Analysis of characteristic indexes for hail cloud identification in Chongqing by means of Doppler radar products [J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2011, **33**(11): 131–135]
- [16] 潘佳文,魏鸣,郭丽君,等. 闽南地区大冰雹超级单体演变的双偏振特征分析[J]. 气象,2020,**46**(12):1608–1620. [PAN Jiawen, WEI Ming, GUO Lijun, et al. Dual-polarization radar characteristic analysis of the evolution of heavy hail supercell in southern Fujian [J]. Meteorological Monthly, 2020, **46**(12): 1608–1620] DOI: 10.7519/j.issn.1000–0526.2020.12.008
- [17] 何炳文,胡振菊,高伟,等. 湘西北地区强冰雹的多普勒天气雷达旁瓣回波统计分析[J]. 暴雨灾害,2020,**39**(3):269–275. [HE Bingwen, HU Zhenju, GAO Wei, et al. Statistical analysis of Doppler weather radar side-lobe echo for severe hail in northwest Hunan area [J]. Torrential Rain and Disasters, 2020, **39**(3): 269–275] DOI: 10.3969/j.issn.1004–9045.2020.03.007
- [18] 杨贵名,马学款,宗志平. 华北地区降雹时空分布特征[J]. 气象,2003,**29**(8):31–34. [YANG Guiming, MA Xuekuan, ZONG Zhiping. Characteristics of hailfall in north China [J]. Meteorological Monthly, 2003, **29**(8): 31–34] DOI: 10.7519/j.issn.1000–0526.2003.8.007
- [19] 张琳娜,郭锐,何娜,等. 北京地区冰雹天气特征[J]. 气象科技,2013,**41**(1):114–120. [ZHANG Linna, GUO Rui, HE Na, et al. Characteristic analysis of a hail event in Beijing [J]. Meteorological Science and Technology, 2013, **41**(1): 114–120] DOI: 10.3969/j.issn.1671–6345.2013.01.022
- [20] 王若升,张彤,樊晓春,等. 甘肃平凉地区冰雹天气的气候特征和雷达回波分析[J]. 干旱气象,2013,**31**(2):373–377. [WANG Ruosheng, ZHANG Tong, FAN Xiaochun, et al. Analysis of the climate features and radar echo of the hail weather in Pingliang of Gansu province [J]. Journal of Arid Meteorology,

- 2013, **31**(2): 373 – 377] DOI: 10. 11755/j. issn. 1006 – 7639 (2013) – 02 – 0373
- [21] 温克刚, 马力. 中国气象灾害大典: 重庆卷[M]. 北京: 气象出版社, 2008: 162 – 182. [WEN Kegang, MA Li. China meteorological disaster: Chongqing volume[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2008: 162 – 182]
- [22] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术(第二版)[M]. 北京: 气象出版社, 2007: 63 – 66. [WEI Fengying. Statistical diagnosis and prediction technology for modern climate (second edition) [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2007: 63 – 66]
- [23] 洪梅, 刘科峰, 张栋, 等. 基于交叉小波分析方法的西太平洋副热带高压年际变率与热带海温及大气环流异常的相关性研究[J]. 热带气象学报, 2020, **36**(2): 166 – 179. [HONG Mei, LIU Kefeng, ZHANG Dong, et al. The correlation of the western pacific subtropical high interannual variability with tropical SST and atmospheric circulation anomalies based on the cross-wavelet analysis[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2020, **36**(2): 166 – 179] DOI: 10. 16032/j. issn. 1004 – 4965. 2020. 017
- [24] 施能. 北半球冬季大气环流遥相关的长期变化及其与我国气候变化的关系[J]. 气象学报, 1996, **54**(6): 675 – 683. [SHI Neng. Secular variation of winter atmospheric teleconnection pattern in the northern hemisphere and its relation with China's climate change[J]. Acta Meteorologica Sinica, 1996, **54**(6): 675 – 683] DOI: 10. 11676/qxxb1996. 070

## Temporal and Spatial Distribution of Hail in Southeastern Chongqing, China

ZHANG Tian<sup>1</sup>, LIAO Xiaoli<sup>2\*</sup>, MA Jun<sup>1</sup>, DU Aijun<sup>1</sup>

(1. Ba'n'an Meteorological Bureau, Ba'n'an 401320, Chongqing, China;

2. Chongqing Artificial Weather Modification Office, Chongqing 401147, China)

**Abstract:** Hail disaster is one of the most threatening meteorological disasters in southeast Chongqing, China. It is an urgent need to interpret the spatial and temporal distribution of hail disasters as well as the associated weather process for the purpose of hail prevention in southeast Chongqing, which is of great significance to avoid and reduce its disasters and plays a positive role in disaster prevention and mitigation. In this study, it performed statistically examination on the spatial and temporal distribution characteristics of hailfalls with the associated meteorological features of hailfall process in southeastern Chongqing by using the hailfall records of 1960—2011 and MICAP data of 2000 – 2011, which were extracted from China meteorological disaster: Chongqing volume and Natural Disaster Report from 1960 to 2011. The results showed that the frequency of hailfall in southeastern Chongqing increased significantly from 2000 to 2011 as compared with the previous 40 years, making it the place of the second highest average hailfall frequency in Chongqing, and its center of high frequency was located in Qianjiang District of Chongqing. By Mann-Kendall analysis, it found that there were two obvious abrupt changes in the number of hail days in southeastern Chongqing from 1960 to 2011. And by wavelet analysis, it found that the number of hail days in southeastern Chongqing had an interannual variation cycle of about 8 years in the early 1960 s to 1980 s, and an interdecadal variation cycle of about 14 years after the mid-1980 s was more remarkable. It occurred more hail events around 1990 and 2004. In terms of inter-monthly changes, April-May were the two months with the largest number of hail days in the region, and July-August is the second most. Spring hail was mainly triggered by systematic ascending movement of water vapor condition, while summer hail was mainly caused by local thermal uplifting. The above conclusions have very important theoretical and practical significance to promote the understanding of hailfall regulation, scientific hail prevention and disaster reduction in southeast Chongqing.

**Key words:** Southeastern Chongqing; abrupt and periodic variation; wavelet analysis; weather characteristics