

陈晓燕,罗松,杨玲.黔西南州冰雹时空分布及春夏冰雹环境条件分析[J].暴雨灾害,2010,29(1):49-53

# 黔西南州冰雹时空分布及春夏冰雹环境条件分析

陈晓燕<sup>1,2</sup>,罗松<sup>3</sup>,杨玲<sup>2</sup>

(1.兰州大学大气科学院,兰州 730020;2.贵州省兴义市黔西南州气象局,兴义 562400;  
3.云南省昭通市气象局,昭通 657000)

**摘要:**使用 1961—2008 年 48 年黔西南州 8 个县市气象站逐月冰雹日资料以及周边 4 个探空站资料,分析该州冰雹日数时空分布特征和冰雹天气发生的环境条件。结果表明,近 48 年来该州冰雹日数总体呈逐年减少趋势,其地区差异较大,大致是北多南少;全州一年 12 个月均有冰雹出现,春季冰雹日数最多,冬季次之,夏季再次之,秋季最少,4 月冰雹最多,9 月冰雹日数最少;该州年均冰雹日数与海拔高度呈较好的正相关,相关系数达 0.934;通过对 2004—2009 年春夏冰雹天气发生前的 CAPE 值和垂直风切变分析发现,春季冰雹发生前,要求 700 hPa 到 200 hPa 垂直风切变达到  $0.002\text{ s}^{-1}$  以上,而对 CAPE 值要求不高,多在  $800\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$  以下;夏季冰雹发生前,一般要求 CAPE 值在  $700\sim 2\ 000\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$  之间,而垂直风切变大多在  $0.002\text{ s}^{-1}$  以下。

**关键词:**冰雹;时空分布;变差系数;CAPE;垂直风切变

中图分类号:P458.1\*21.2 文献标识码:A 文章编号:1004-9045(2010)01-0049-05

## 1 引言

黔西南州位于珠江上游、贵州省西南部,属珠江水系南北盘江流域,其地理位置为  $24^{\circ}37'\sim 26^{\circ}11'\text{N}$ 、 $104^{\circ}31'\sim 106^{\circ}32'\text{E}$ 。全州地处云贵高原东南侧斜坡地带,平均海拔 1 100 m,地形崎岖不平,既受高原东移天气系统和北方南下低槽、冷空气影响,又受副热带和热带天气系统影响。特殊的地理位置和地形地貌以及气候特征决定了该州天气复杂多变,是冰雹、雷电、暴雨等强对流天气多发区。统计资料表明,该州北部地区是贵州省冰雹中心之一。冰雹天气常出现在春夏,对当地农作物生长发育危害极大。因此,深入分析当地冰雹时空分布特征及春夏雹暴环境条件,对今后开展强对流天气预报预警服务和气象防灾减灾决策服务十分必要。

对于我国各地冰雹的发生发展和气候变化规律,已有许多科技工作者进行过较为深入的研究。蔡义勇等<sup>[1]</sup>分析了福建省冰雹时空分布特征,并对冰雹的环流形势进行分型,发现 20 世纪 80 年代到 90 年代初期是冰雹多发期,90 年代中期到 2008 年冰雹减少。张核真等<sup>[2]</sup>分析了西藏冰雹的时空分布特征,并以冰雹的大小和持续时间为主要致灾因子,将青藏高原冰雹分为 3 个灾变等级。丁青兰等<sup>[3]</sup>对北京 1994—2005 年暖季对流天气的气候特征进行了统计和分析,揭示了北京地区暖季各类强对流天气的气候概率和时空分

布特征。王正旺等<sup>[4]</sup>对 1980—2003 年长治市冰雹天气的气候背景进行了统计分析,明确了冰雹发生的时空尺度,地理分布,月、年际变化,冰雹发源地以及冰雹主要影响路径。本文使用 1961—2008 年 48 年黔西南州 8 个县市气象站逐月冰雹日资料以及 2004—2009 年出现雹暴天气时周边 4 个探空站资料,分析了该州冰雹时空分布特征和春夏雹暴天气发生的环境特征,试图揭示一些有规律性的特征,进一步提高此类强对流天气的预报水平。

## 2 资料与方法

本文所用冰雹日数资料来源于黔西南州 8 个县市气象站,其年限为 1961—2008 年;本文依据《地面气象观测规范》,上述 8 站中任一 1 日内只要出现冰雹天气,无论时间长短,均记为 1 个雹日。另外,将全年划分四个季节,即:春季(3—5 月),夏季(6—8 月),秋季(9—11 月),冬季(当年 12 月至次年 2 月)。

应用昆明、贵阳、威宁、百色 4 个探空站 2004—2009 年资料,分析强对流天气发生前的对流有效位能(CAPE)和 700 hPa 到 200 hPa 垂直风切变。本文只考虑自由大气垂直风切变环境条件对雹暴的影响,并消除地形对风暴的局地影响,因此不计算低层垂直风切变。同时,由于产生冰雹的风暴通常都能发展到 8~12 km 高度,所以选择计算 700~200 hPa 自由大气垂直风切变。上述 4 站分别位于黔西南州的西、东北、西北、西

收稿日期:2010-01-20;定稿日期:2010-03-04

作者简介:陈晓燕,女,1970 年生,高级工程师,主要从事天气预报工作。E-mail: xychenxiaoyan@yahoo.com.cn

南方向,其直线距离150~200 km不等。文中 CAPE 值是四个探空站中的最大值;以贵阳探空站为代表站,计算 700 hPa 到 200 hPa 垂直风切变。在分析对流有效位能和 700 hPa 到 200 hPa 垂直风切变时,考虑到每天 08 时、20 时探空资料,规定:降雹出现在 08—20 时,使用当日 08 时探空资料;降雹出现在 20—08 时,使用当日 20 时探空资料。

### 3 黔西南州冰雹日数的气候统计特征

#### 3.1 冰雹日数的年变化特征

统计结果表明,近 48 年黔西南州 8 个县市气象站共出现 745 个冰雹日,年平均 15.5 个。图 1 给出 1961—2008 年黔西南州冰雹日数逐年变化。从图中可见,20 世纪 60 年代末到 80 年代初是该州冰雹日数相对较多期,80 年代中后期至 2008 年是冰雹日数相对较少期;冰雹日数主峰期在 70 年代末到 80 年代初,次峰期在 60 年代中期;80 年代初期到中期,冰雹日数降幅明显,在 80 年代中期形成整个年代序列中的最低谷;80 年代后期冰雹日数有一较小增幅,之后从 90 年代至 2008 年,冰雹日数基本呈缓慢减少趋势;冰雹日数最多(29 d)的年份是 1997 年,最少(5 d)的年份是 1962 年,相差 24 d。

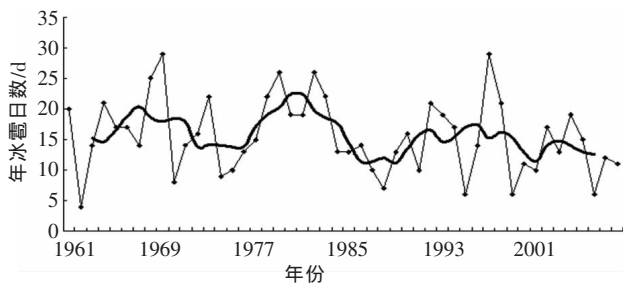


图 1 1961—2008 年黔西南州冰雹日年变化图  
(折线为逐年冰雹日,平滑线为 5 年滑动平均)

蔡义勇等<sup>[1]</sup>的研究表明,福建省 20 世纪 90 年代中期之后冰雹较 80 年代减少。李照荣等研究<sup>[5]</sup>发现,我国西北地区近 10 年来冰雹日明显减少。黔西南州冰雹日数减少趋势与以上专家在不同地区的研究结果有相似之处,进入 21 世纪后,该州年冰雹日数继续呈缓慢减少趋势,且其北部多冰雹区减幅大于东南部少冰雹区。至于黔西南州为什么会出这样的减少趋势,其气候上的原因又是什么,还有待于进一步研究。

另外,从黔西南州各站年均冰雹日数分布图上可见(图 2),其地区差异较大,南北各有一冰雹日数大值中心,分别位于北部的晴隆(3.3 d)和南部的安龙(2.2 d);北部冰雹日数最多的是晴隆站(3.3 d),南部冰雹日数最少的是册亨站(0.9 d),前者比后者多 2.4 d;西部冰雹日数最多的是兴义站(1.9 d),东部冰雹日数最少

的是望谟站(0.7 d),前者比后者多 1.2 d。

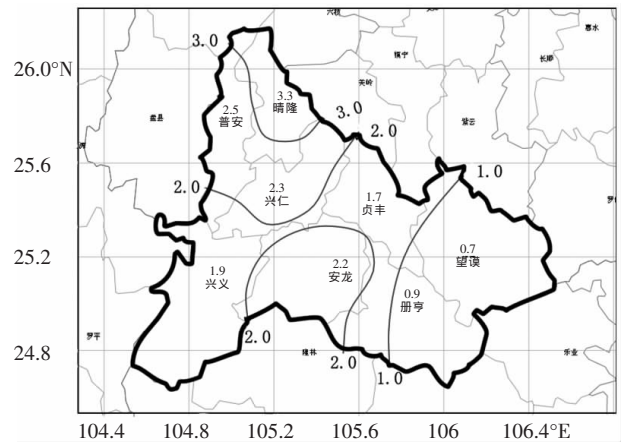


图 2 黔西南州 1961—2008 年年平均冰雹日空间分布(单位:日)

经统计发现,黔西南州年均冰雹日数与海拔高度呈较好的正相关(图 3),相关系数达 0.934。这表明高海拔地区降雹机率高,河谷低洼地带降雹机率低,如该州南部的安龙站,因海拔比同纬度的兴义、望谟站高,其冰雹出现频率相对较高,并成为一降雹中心,这一结果与王瑾等<sup>[6]</sup>的研究结论“地形高程是影响贵州省降雹分布的最主要地形影响因子,年平均降雹日数随地形高程增加呈增加趋势”一致。李照荣等在分析我国西北地区冰雹分布特征时也发现<sup>[5]</sup>,西北地区冰雹发生次数与海拔高度有密切正相关。黔西南州年均冰雹日数北部多、东南部少,究其原因,是该州北部地区与东南地区的高差普遍在 1 100 m 左右,并可能与地势较高地区距 0℃层距离近、融化层厚度薄,冰雹到达地面的距离小、融化时间短有一定联系。

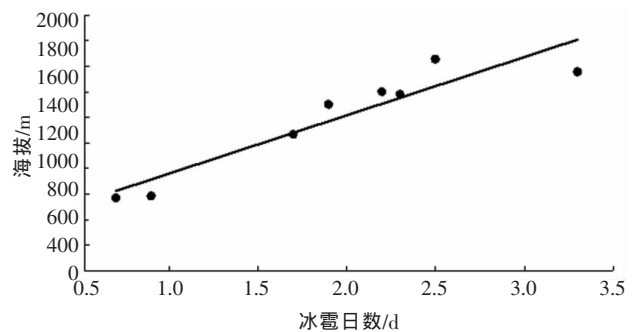


图 3 1961—2008 年黔西南州各县年平均冰雹日与海拔高度的关系

#### 3.2 冰雹日数的季、月变化特征

从黔西南州 1961—2008 年四季冰雹频次统计图上可见(图 4),春季冰雹频次最多,占全州冰雹总频次的 71.8%;冬季次之,占全州冰雹总频次的 13.4%;夏季再次之,占全州冰雹总频次的 9.1%;秋季冰雹频次最少,仅占全州冰雹总频次的 5.6%;全州一年 12 个月均有冰雹出现,4 月冰雹频次最多,占全年冰雹总频次的 36.4%;9 月冰雹频次最少,仅占全年冰雹总频

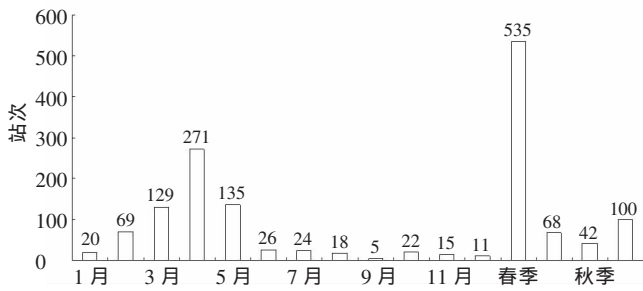


图 4 黔西南州 1961—2008 年四季、各月冰雹日数频次变化图

次的0.7%。

综上所述可知,春季(尤其是 4 月份)是黔西南州最容易出现冰雹的季节(月份),这一方面与该州位于

云贵高原、地貌崎岖不平、山地气候特征显著有关,还与春季是大气环流转换期、天气形势复杂多变有关。

分季统计结果表明(图 5),春季年均冰雹日数空间分布与年冰雹日数相似,大致为北多南少,南部的安龙由于地势较高,成为一降雹中心(图 5a);冬季年均冰雹日数空间分布与春季有所不同,除西北部的晴隆、兴仁站为 0.4 d,东南部的册亨、望谟为 0.1 d 外,其余 4 站均为 0.3 d,降雹日数空间分布相对均匀(图 5d);夏季年均冰雹日比冬季少,东南部的册亨、望谟站几乎无降雹,其余各站降雹日数自北向南减少(图 5b);秋季是年均冰雹日数最少季节,东南部的安龙、册亨、望谟站几乎无冰雹日,其分布也基本是自北向南减少(图5c)。

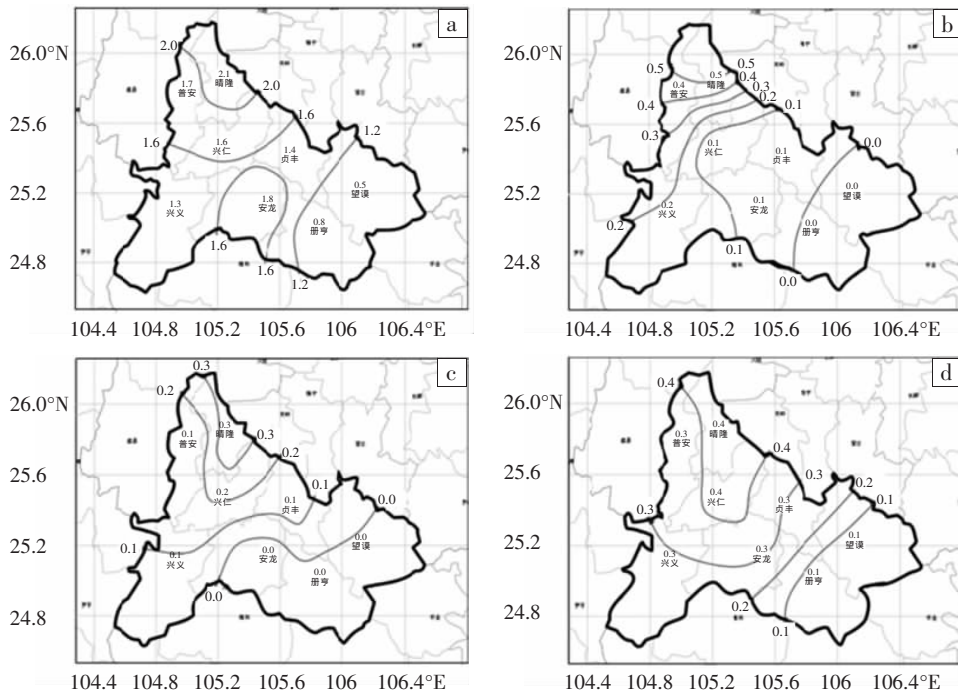


图 5 黔西南州 1961—2008 年春(a)、夏(b)、秋(c)、冬(d)四季年均冰雹日空间分布图

值得注意的是,安龙是该州南部的一降雹中心,由于其海拔高于本州差不多同纬度的其他站而冰雹日数偏多,但其年均冰雹日数主要集中在冬春两季,夏季仅 0.1 d,秋季几乎无冰雹日;而距离安龙站 56 km、同纬度的兴义站,一年四季均有冰雹日出现,除春季冰雹日数最多(1.3 d)外,其它三季冰雹日数相对均匀,夏、秋、冬季分别为 0.2、0.1、0.3 d。可见,黔西南州山区冰雹强对流天气时空分布不均,局地性非常强,这给预报造成很大难度。

### 3.3 冰雹日数年际变化的变差系数

本文采用变差系数<sup>[7]</sup>,即均方差除以多年平均值来反映冰雹日数的年际变化。图 6 给出 1961—2008 年黔西南州冰雹日数年变差系数空间分布。从中可见,变差系数一般是南部大于北部,大致是自西北向东南增大,东南部冰雹日数少的地区年变差系数最

大,这表明东南部的册亨、望谟一带(变差系数为 1.08~1.12)降雹虽不如北部地区频繁,但降雹年际变化大,降雹条件不稳定,因而造成有的年份灾情轻、有的年份灾情很重;北部的晴隆、普安和兴仁一带变差系数

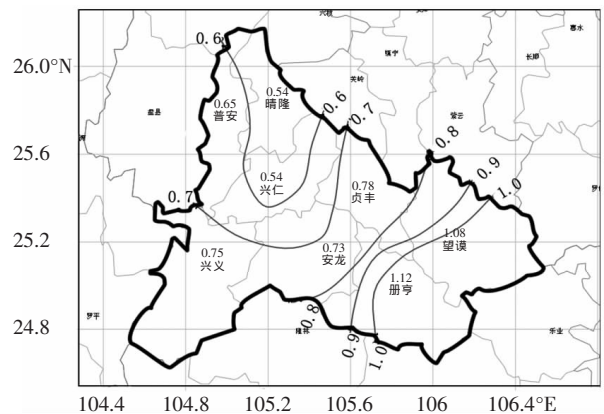


图 6 1961—2008 年黔西南州冰雹日数年变差系数空间分布图

相对较小(0.54~0.65),表明这一地区降雹较为频繁、程度大致相当,造成的灾情相对稳定。

### 4 春夏冰雹环境条件分析

以上分析表明,黔西南州春季是出现冰雹最多的季节且造成危害最重,夏季冰雹直径一般比冬季大。春夏是当地主要农作物成长季,准确预报春夏冰雹成为天气预报服务的关键。冰雹等强对流天气产生于较强的对流风暴中,冰雹直径大小与风暴强度有关,大冰雹的产生常与超级单体风暴相联系。观测和数值模拟研究表明,风暴动力结构及风暴潜在影响力很大程度上取决于环境热力不稳定、环境风垂直切变和水汽垂直分布三个因子<sup>[8]</sup>,热力不稳定是影响风暴强度和类型的重要因子之一;而在一定热力不稳定条件下,垂直风切变增强将导致风暴加强和发展<sup>[9]</sup>。产生冰雹的风暴形成并不一定要有暴雨天气所需的水汽条件。因此,本文在分析有利雹暴形成的环境条件时,没有考虑水汽条件,重点分析环境的热力不稳定条件和 700 hPa 到 200 hPa 垂直切变。

根据对 2004—2009 年春、夏季冰雹天气样本的统计发现,黔西南州降雹大多发生在午后到傍晚,夜间和上午降雹较少;全州 2004—2009 年共收集到冰雹天气样本 77 个(含乡镇和气象站资料),其中 5 个样本因探空资料不全而舍弃,其有效样本 72 个。根据冰雹直径(D),将冰雹强度分为三级,即: 级,  $D \geq 40$  mm; 级,  $20 \text{ mm} \leq D < 40$  mm; 级,  $D < 20$  mm。统计结果表明,黔西南州春季冰雹样本有 47 个,占春夏总冰雹样本的 65.3%,其中 级 25 次, 级 14 次, 级 8 次;夏季冰雹样本 25 个, 级冰雹仅 2 次。

#### 4.1 热力不稳定条件和垂直风切变

图 7a 给出黔西南州春季不同强度的冰雹发生前的对流有效位能和垂直风切变。从中可见, 级冰雹(共 8 次)发生前,其中有 5 次  $CAPE \leq 400 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,3 次  $CAPE$  值为  $900 \sim 1\ 400 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ; 级冰雹(共 14 次)发生前,其中有 11 次  $CAPE \leq 800 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,仅 3 次  $CAPE > 1\ 000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ; 级冰雹(共 25 次)发生前,仅 9 次  $CAPE > 700 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。垂直风切变较大时,对 级、级冰雹发生较为有利,且 级冰雹发生前,垂直风切变均在  $0.002 \text{ s}^{-1}$  以上;春季强雹暴的发展过程中,环境垂直风切变的影响权重相对对流有效位能大。

图 7b 给出黔西南州夏季不同强度的冰雹发生前的对流有效位能和垂直风切变。从中可见, 级冰雹(共 2 次)发生前,其  $CAPE$  值均在  $400 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$  以上,垂直风切变均不足  $0.002 \text{ s}^{-1}$ ; 级冰雹(共 8 次)发生前,其  $CAPE$  值均在  $800 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$  以上(有 2 次例外),而垂直

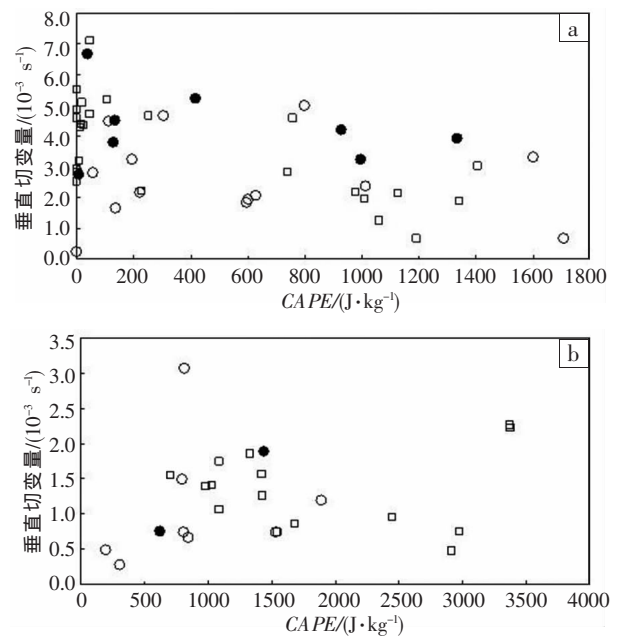


图 7 2004—2009 年黔西南州春季(a)、夏季(b)不同强度的冰雹发生前的对流有效位能和垂直风切变  
●、○、□分别表示 级、级、级冰雹

风切变均小于等于  $0.0015 \text{ s}^{-1}$ (有 1 次例外); 级冰雹(共 15 次)发生前,其  $CAPE$  值均在  $600 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$  以上,而垂直风切变均小于  $0.002 \text{ s}^{-1}$ (有 1 次例外)。因此,夏季雹暴出现前要求有较大的  $CAPE$  值,且大多发生在  $CAPE$  为  $700 \sim 2\ 000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$  之间;但对垂直风切变值要求不高,冰雹发生前,其垂直风切变大多在  $0.002 \text{ s}^{-1}$  以下。

综上所述,黔西南州春季冰雹发生前,要求垂直风切变在  $0.002 \text{ s}^{-1}$  以上,而对  $CAPE$  值要求不高(多在  $800 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$  以下);该州夏季冰雹发生前,一般要求  $CAPE$  值为  $700 \sim 2\ 000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,而垂直风切变大多在  $0.002 \text{ s}^{-1}$  以下。相比之下,春季发生冰雹前垂直风切变明显比夏季大,夏季发生雹暴前对流有效位能要比春季大得多。究其原因,这与春夏季不同环流形势和气团性质有关。因此,在黔西南州冰雹预报中,使用对流有效位和垂直风切变作为预报判据时应充分考虑其季节性。

#### 4.2 雹暴天气发生的 0 °C 层与 -20 °C 层高度

我国主要用环境空气 0 °C 层高度来预报冰雹。同时,要产生冰雹,除了冻结层高度合适外,还必须有足够的负温区供冰雹运动和增长。由于大水滴自然成冰的温度在  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$  左右,因此  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$  层高度也是一个判断环境大气是否有利冰雹云形成的参数。廖晓农等<sup>[10]</sup>对北京盛夏一次罕见大雹事件的分析表明, $-20 \text{ }^\circ\text{C}$  层高度在  $500 \sim 400 \text{ hPa}$ ( $5\ 500 \sim 7\ 500 \text{ km}$ )时,有可能出现冰雹。由于地理位置不同,具体到某一地区,其有利于出现冰雹的  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$  层高度有所不同。对黔西南州雹暴天气,以贵阳探空为代表站,应用 2004—2009 年春夏 72 个冰雹天气样本的  $T-\ln p$  图对该州冰雹天气

发生当天的 0℃层、-20℃层高度进行统计分析, 结果发现, 春季 0℃层高度为 1 933~5 358 km, 平均高度 4 292 km; -20℃层高度为 6 369~8 795 km, 平均高度 7 636 km。夏季 0℃层高度在 4 843~5 644 km 之间, 平均高度为 5 202 km; -20℃层高度在 8 285~9 163 km 之间, 平均高度 8 741 km。可见, 合适的 0℃层高度(春季 4 290 km 左右、夏季 5 200 km 左右)和 -20℃层高度(春季 7 640 km 左右、夏季 8 740 km 左右)为黔西南州春夏季冰雹发生提供了有利条件。

## 5 结论

本文使用 1961—2008 年 48 年黔西南州 8 个气象站逐月冰雹日资料以及周边 4 个探空站资料, 分析了该州冰雹日数时空分布特征和冰雹天气发生前的环境特征, 得到以下结论。

(1) 该州冰雹日数总体呈逐年减少趋势; 其地区差异较大, 大致是北多南少。变差系数一般是南部大于北部, 大致是自西北向东南增大, 东南部降雹不如北部地区频繁, 降雹年际变化大, 降雹条件不稳定; 北部变差系数相对较小, 降雹较频繁、程度大致相当。

(2) 该州年均冰雹日数与海拔高度呈较好的正相关, 相关系数达 0.934, 其北部高海拔地区降雹机率较高, 东南部河谷低洼地带降雹机率相对较低。

(3) 全州一年 12 个月均有冰雹出现, 春季最多, 冬季次之, 夏季再次之, 秋季最少; 4 月最多, 9 月最少。

(4) 黔西南州春季冰雹发生前, 要求垂直风切变达

到  $0.002 \text{ s}^{-1}$  以上, 而对  $CAPE$  值要求不高, 多在  $800 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$  以下; 夏季冰雹发生前, 一般要求  $CAPE$  值为  $700 \sim 2\,000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 而垂直风切变大多在  $0.002 \text{ s}^{-1}$  以下。

(5) 除环境热力不稳定、环境风垂直切变条件外, 环境温度垂直分布也是冰雹发生的重要条件。合适的 0℃层高度(春季 4 290 km 左右、夏季 5 200 km 左右)和 -20℃层高度(春季 7 640 km 左右、夏季 8 740 km 左右)为黔西南州春夏季冰雹发生提供了有利条件。

## 参考文献:

- [1] 蔡义勇, 王宏, 余永江. 福建省冰雹时空分布与天气气候特征分析[J]. 自然灾害学报, 2009, 18(4): 43-47.
- [2] 张核真, 假拉. 西藏冰雹的时空分布特征及危险性区划[J]. 气象科技, 2007, 35(1): 53-56.
- [3] 丁青兰, 王令, 陈晓轩, 等. 近 12 年北京暖季对流天气的气候特征[J]. 暴雨灾害, 2007, 26(2): 144-147.
- [4] 王正旺, 庞转棠, 姚彩霞, 等. 长治市冰雹气候特征及预报研究[J]. 自然灾害学报, 2007, 16(2): 34-39.
- [5] 李照荣, 丁瑞津, 董安祥, 等. 西北地区冰雹分布特征[J]. 气象科技, 2005, 33(2): 160-162.
- [6] 王瑾, 刘黎平. 基于 GIS 的贵州省冰雹分布与地形因子关系分析[J]. 应用气象学报, 2008, 19(5): 627-633.
- [7] 任国玉. 气候变化与中国水资源[M]. 北京: 气象出版社, 2007: 22-27.
- [8] 俞小鼎, 姚秀萍, 熊廷南, 等. 多普勒天气雷达原理与业务应用[M]. 北京: 气象出版社, 2006: 92-93.
- [9] 俞小鼎, 郑媛媛, 廖玉芳, 等. 一次伴随强烈龙卷的强降水超级单体风暴研究[J]. 大气科学, 2008, 32(3): 508-521.
- [10] 廖晓农, 俞小鼎, 于波. 北京盛夏一次罕见的大雹事件分析[J]. 气象, 2008, 34(2): 10-17.

# Analysis of Temporal and Spatial Distribution Characteristics and Environmental Conditions of Hail in Southwest Guizhou

CHEN Xiao-yan<sup>1,2</sup>, LUO Song<sup>3</sup>, YANG Ling<sup>2</sup>

(1. Atmospheric Sciences Academy of Lanzhou University, Lanzhou 730020; 2. Qianxinan Meteorological Bureau of Guizhou Province, Xingyi 562400; 3. Zhaotong Meteorological Bureau of Yunnan Province, Zhaotong 657000)

**Abstract:** The temporal and spatial distribution characteristics and the environmental conditions when hail occurred in spring and summer are studied by using the hail daily data from 8 meteorological stations in Southwest Guizhou and the sounding data from 4 weather stations around the Southwest Guizhou from 1961 to 2008 on a monthly basis. The results show that the number of hail-day is decreasing year by year in the latest 48 years in general, and the hail occurred more frequently in the north parts than that in the south parts with a multiplicity of the different hail day number. Hail occurred in each month of the year, and the maximum number of hail-day appears in spring, the second in winter, the third in summer, and the minimum in autumn. Within one year, the maximum of hail-day number appears in April and the minimum appears in September. The average annual number of hail correlates positively with the altitude, and their correlation coefficient is 0.934. According to analysis on  $CAPE$  value and the vertical wind shear before hail occurred in spring and summer from 2004 to 2009, the vertical wind shear from 700 hPa to 200 hPa must reach  $0.002 \text{ s}^{-1}$  or above and  $CAPE$  value is usually below  $800 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$  before hail occurred in spring;  $CAPE$  value generally is between  $700 \sim 2000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$  and vertical wind shear is usually below  $0.002 \text{ s}^{-1}$  before hail occurred in summer.

**Key words:** Hail; Variation coefficient;  $CAPE$ ; Vertical wind shear