

刘晓璐,刘东升,张世林,等. 近 30 年四川冰雹气候特征[J]. 气象,2012,38(10):1217-1224.

近 30 年四川冰雹气候特征^{*}

刘晓璐 刘东升 张世林 刘 平 郝克俊

四川省人工影响天气办公室,成都 610072

提 要: 利用四川省 148 个站点 1978—2007 年的 30 年逐日观测资料,对四川省冰雹发生分布情况进行了统计分析。结果表明:冰雹日数高原山地多于盆地,其年际变化主要有准两年和 6 a 的振荡周期;冰雹日数总体呈下降趋势,高原下降趋势更为明显;冰雹发生频率以夏季最多,春、秋季次之,冬季最少;地理位置和海拔高度相近的站点,冰雹发生频率的月际变化特征相似。

关键词: 冰雹日数,气候特征,年际变化,月际变化

Climatology of Hail in Sichuan Province in Recent 30 Years

LIU Xiaolu LIU Dongsheng ZHANG Shilin LIU Ping HAO Kejun

Sichuan Weather Modification Office, Chengdu 610072

Abstract: By using hail data at 148 stations in Sichuan Province during 1978—2007, the spatial and temporal characteristics of hail days were analyzed. The results show that hail days are more in plateau and mountain areas than basin areas. The number of hail days has declined as a whole, especially in plateau areas. The hail appeared with the highest frequency in summer, less in spring and autumn, and the least in winter. In the interannual variations, the periods of quasi-biennial oscillation and 6-year oscillation are primary. The similar inter-monthly variation in hail days happened to the surrounding stations which have the similar altitudes.

Key words: hail days, climate characteristics, interannual variation, inter-monthly variation

引 言

我国是冰雹灾害较多的国家,一次强烈的降雹天气过程会对影响地区的农业、林业、畜牧业以及人民生命财产造成较大损失。目前全国 20 多个省、市、自治区都开展了人工防雹作业,各地关于冰雹分布特征的研究也比较多^[1-15]。在全球气候变化的背景下,四川省的气候同样发生着明显的变化,近年来随着经济社会的发展,农经作物发展较快,为了力保丰收,全省各地政府加大了人工防雹的力度,许多地方都在逐步建设各具特色的人工防雹作业体系。在自然气候变化和人工影响天气的共同作用下,冰雹

发生规律的宏观特征是否发生了变化?因此,分析四川省冰雹的时空分布特征,可以为开展防雹减灾工作提供参考。

四川省地跨青藏高原、横断山脉、云贵高原、秦巴山地、四川盆地等几大地貌单元,地势西高东低,由西北向东南倾斜。最高点是西部的大雪山主峰贡嘎山,海拔高达 7556 m。地形复杂多样,以龙门山—大凉山一线为界,东部为四川盆地及盆周山地,西部为川西高原及川西南山地。山地、高原和丘陵约占全省土地面积的 97.46%,除四川盆地底部的平原和丘陵外,大部分地区岭谷高差均在 500 m 以上。最低的东部接近长江三峡处,海拔仅 70 余米,与贡嘎山相差 7400 m 以上。地表起伏之悬殊,在

* 中国气象局气象新技术面上推广项目(CMATG2010M21)资助
2011 年 4 月 25 日收稿; 2012 年 7 月 2 日收修定稿

第一作者:刘晓璐,主要从事人工影响天气,天气和气候变化研究。Email:suoyingchuang@163.com

中国仅西藏、新疆可比。如此复杂多样的地形特征也造就了四川省的冰雹气候特点与其他地区的差异。因此,分析四川省冰雹发生的气候特征是一项非常重要的研究课题。

1 资料与方法

1.1 资料

本研究使用的数据为 1978—2007 年的四川省 148 个地面气象观测站的地面气象记录月报表资料。四川省总共有 159 个站点,但是部分站点的冰雹资料记录不全面,例如龙泉只有 1980 年至今的资料,炳草岗缺少 1985 年的资料,泸州缺少 2003 年以后的资料。为了使研究数据更具有稳定性、同步性、连续性和可比性,因此将 11 个资料缺损的站点去掉,采用 1978—2007 年资料长度一致的四川省 148 个地面气象观测站的地面气象记录月报表资料。

1.2 方法

本研究中,定义某站点在一天内有一次或多次降雹现象为一个单站冰雹日。单站 30 年累计冰雹日数为 30 年内单站冰雹日数的总和。单站各月累计冰雹日数为 30 年内相同月份的单站冰雹日数总和。全省 30 年累计冰雹日数为 30 年内 148 个站点冰雹日数的总和。全省各年累计冰雹日数为 30 年内相同年份的 148 个站点冰雹日数的总和。全省各月累计冰雹日数为 30 年内相同月份的 148 个站点冰雹日数的总和。大冰雹是指落到地面 20 mm 以上的冰雹,考虑到最大冰雹不一定落到观测站点上,所以本文定义站点观测到冰雹直径达到 12 mm 以上的冰雹为强冰雹事件,定义直径小于 2.5 mm 的冰雹为小冰粒。

本文采用回归分析、功率谱等方法^[16-17]对四川省冰雹日数的气候特征进行研究,并且运用相关分析探讨了冰雹与海拔高度的关系。

2 年际变化时空分布

2.1 年平均空间分布

从图 1a 的四川省单站 30 年累计冰雹日数分布图发现空间分布差异显著,以龙门山—大凉山山脉

为界呈现明显的西多东少分布,川西高原及川西南山地累计冰雹日数明显多于四川盆地及盆周山地。甘孜州的理塘是全省累计冰雹日数的极大值站点,达到了 589 d,平均每年近 20 d。另外两个超过 500 d 的站点位于川西高原上的石渠和色达,分别达到了 588 和 556 d。各市州的站点,越靠近盆地,30 年累计冰雹日数越少。

除了盆地西南部的峨眉山、盆地以北的南江和盆地以东的万源、达州有超过 10 d 的累计冰雹日数,盆地其余站点的 30 年累计冰雹日数均不超过 10 d。大邑、邛崃、新津、彭县、仁寿、青神、夹江、芦山、荣经、武胜 10 个站点的冰雹日数为 0 d,其中除了武胜位于盆地东部外,其余站点均位于盆地西部。

全省冰雹日数的分布与图 1b 的四川省海拔高度的分布极其相似,同样是以龙门山—大凉山山脉为界,西部高原山地海拔高,东部盆地平原海拔低,且峨眉山为盆地内的高海拔中心。通过单站 30 年累计冰雹日数与单站海拔高度的相关性计算,得到相关系数 $r=0.787$,并且通过了 0.01 显著性水平检验。单站 30 年累计冰雹日数与单站海拔高度呈现显著正相关,海拔越高累计冰雹日数越多。高原地区的冰雹日数明显多于盆地地区,盆周山地的冰雹日数比盆地平原的冰雹日数多。由于山区地形复杂,下垫面受热不均匀,有利于局地热力对流的产生,在一定天气系统的背景下,较容易出现局地性的降雹,所以高原、山区冰雹日数多于平原^[18-20]。

图 1c 和 1d 分别给出了冰雹直径大于 12 mm 的强冰雹事件和直径小于 2.5 mm 的小冰粒发生日数和频率的空间分布。

全省 148 个站点 30 年累计观测到直径大于 12 mm 的冰雹日数为 1061 d,占全省 30 年累计冰雹日数的 16%。阿坝是强冰雹事件日数最多的站点,共 89 d,石渠和理塘次之,分别发生了 70 和 66 d,强冰雹日数的分布也是呈现高原山地多,盆地平原少的特征。强冰雹事件发生频率高的区域在盆地西北部的绵阳和盆地中部的邻水,两个站点仅有的 3 次冰雹记录均为直径大于 12 mm 的强冰雹事件,盆地中部的遂宁与南部的宜宾是发生强冰雹事件的高频率地区,达到了 70%,在高原山地区域,只有位于川西南山地的会理达到了 30%,高原其他区域的强冰雹频率普遍为 10%,强冰雹事件在高原山地的发生频率整体低于盆地平原。

全省 148 个站点 30 年累计观测到直径小于

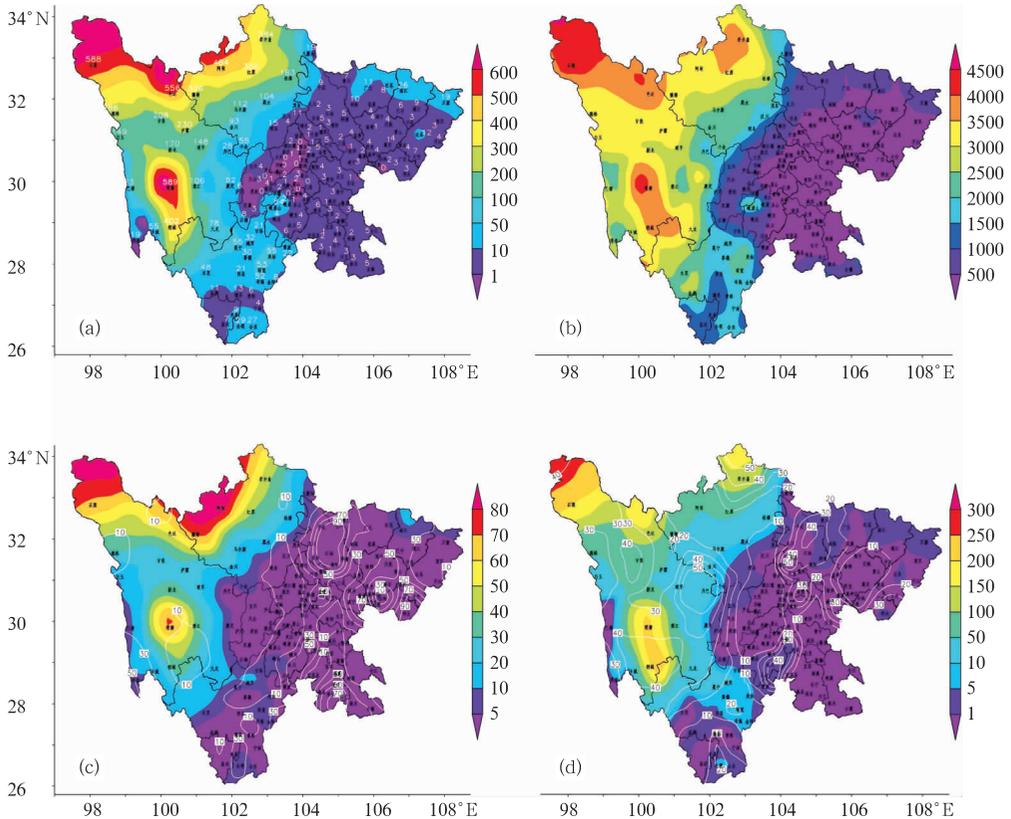


图 1 四川省 1978—2007 年(a)累计冰雹日数(单位:d), (b)海拔高度(单位:m), (c)强冰雹事件日数与(d)小冰粒日数的空间分布
[(c)和(d)阴影代表日数(单位:d),等值线代表频率(单位:%)]

Fig. 1 Geographical distributions of (a), the sum of hail days (unit: d), (b) elevation (unit: m), (c) severe hail events, and (d) little ice particle events (unit: d, shown by shaded, and frequency in unit: % shown by contours) during 1978—2007 in Sichuan Province

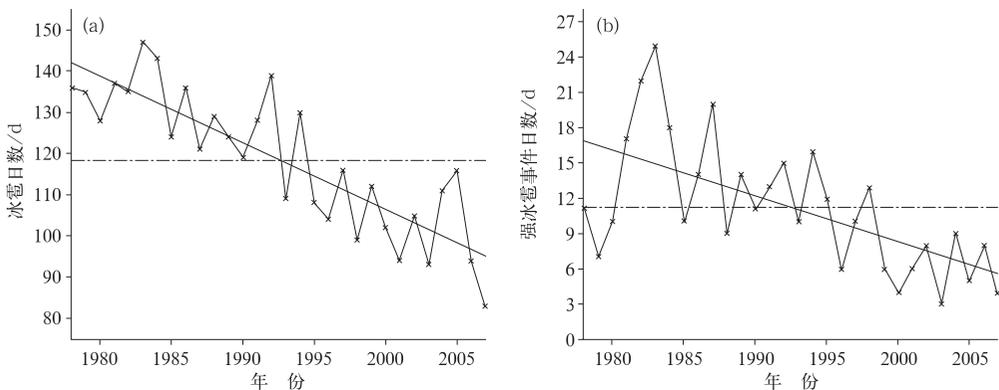


图 2 四川省 1978—2007 年各年累计(a)冰雹日数, (b)强冰雹事件日数的年际变化(单位:d)
Fig. 2 Inter-annual variations of (a) hail days and (b) severe hail days during 1978—2007 in Sichuan Province (unit: d)

表 1 线性趋势超过置信区间的站点数与冰雹发生频率
Table 1 The number and the percentage of stations with the linear trend of annual hail days over confidence interval

回归系数 置信区间	大于 0				等于 0	小于 0			
	总数	0.10	0.05	0.01	总数	总数	0.10	0.05	0.01
站点数/个	28	2	0	0	10	110	38	29	16
百分比/%	18.92	1.35	0.00	0.00	6.76	74.32	25.68	19.59	10.81

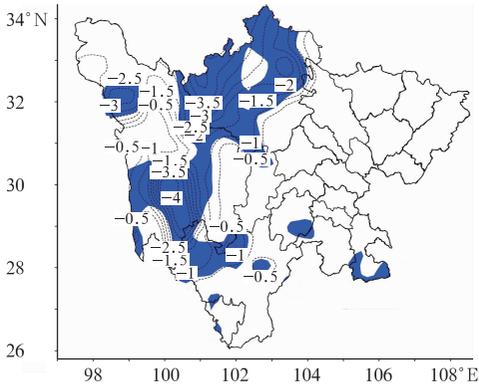


图 3 四川省各年冰雹日数线性趋势的空间分布[单位: $d \cdot (10 a)^{-1}$]
 (阴影代表通过 $\alpha=0.10$ 显著性水平检验的区域)
 Fig. 3 Geographical distribution of linear trend of annual hail days in Sichuan Province [unit: $d \cdot (10 a)^{-1}$]
 (Areas with 0.10 significance level are shaded)

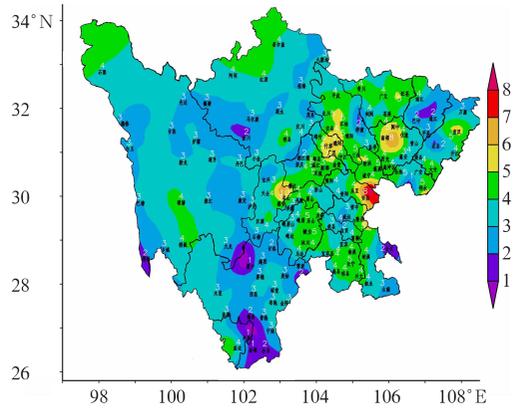


图 4 四川省最早发生冰雹月份的空间分布
 Fig. 4 Geographical distribution of first hail month in Sichuan Province

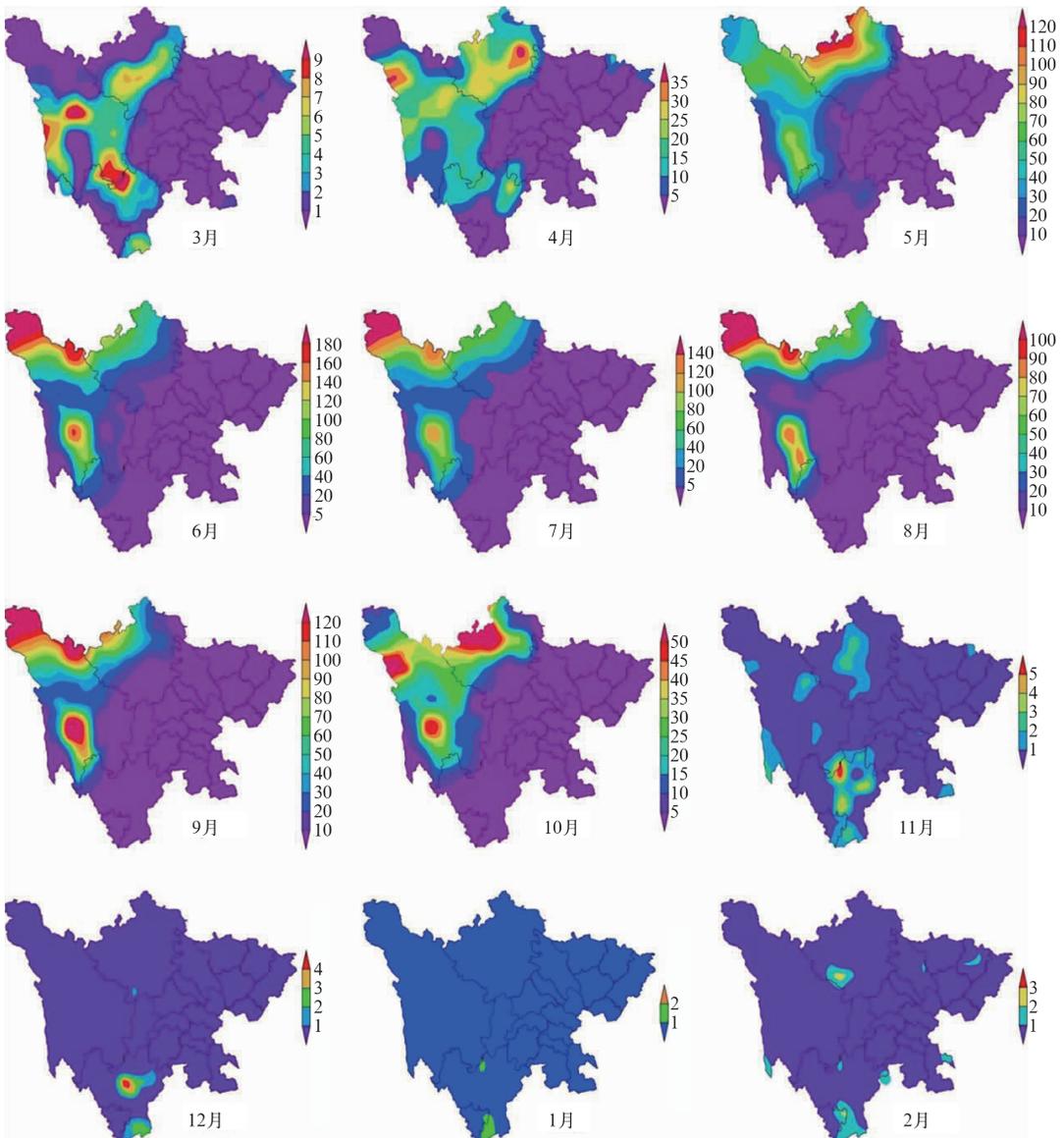


图 5 四川省 1978—2007 年各月累计冰雹日数的空间分布(单位: d)
 Fig. 5 Geographical distribution of accumulated monthly hail days in Sichuan Province during 1978—2007 (unit: d)

2.5 mm 的冰雹累计日数为 1756 d, 占全省 30 年累计冰雹日数的 27%, 石渠是小冰粒出现日数最多的站点有 214 d, 其次是理塘、稻城均为 193 d, 若尔盖与色达也超过了 130 d。小冰粒发生频率最高的区域位于川西高原的巴塘、雅江和宝兴, 均超过了 60%, 高原的小冰粒发生频率普遍在 30% 以上。盆地西北部的德阳、绵阳和南部的乐山、宜宾频率也超过了 30%。

强冰雹事件和小冰粒日数的空间分布, 依然呈现高原山地多, 盆地平原少的特征。盆地平原的冰雹日数虽然少, 但是发生的多为强冰雹事件。

2.2 时间演变

全省 148 个站点 30 年累计冰雹日数为 3557 d, 全省每年平均 118 d。全省各年累计冰雹日数的年际变化(图 2a)呈现下降趋势。

根据冰雹日数的平均线, 可分为两个主要阶段, 1978—1992 年的前 15 年, 每年的累计冰雹日数均超过 118 d, 特别是 1983 年达到了峰值 147 d。1993—2007 年的后 15 年, 除了 1994 年的累计冰雹日数达到 130 d 超过平均值外, 其余的 14 年发生的冰雹的日数均低于 118 d, 特别是 2007 年谷值仅有 83 d。由此可见, 1978—2007 年的 30 年内, 前 15 年的冰雹日数整体高于后 15 年的年累计冰雹日数。

通过一元线性回归模型的处理, 得出回归系数 $b = -1.62$, 回归常数 $a = 143.65$, 建立了冰雹日数 y 随时间 t 变化的一元回归方程: $y = 143.65 - 1.62t$ 。计算出的相关系数为 $r = -0.843$, 超过了 0.01 显著性水平。由此可见, 四川省各年累计冰雹日数的下降趋势是明显的。

各年累计冰雹日数不仅呈现总体下降的趋势, 并且伴有周期振荡特征, 冰雹日数多发年份和少发年份交替出现。利用功率谱的计算, 振荡周期为 2.4~3 和 6 a。由此可见四川省的冰雹日数同样具有准两年振荡周期。

全省 148 个站点 30 年累计强冰雹事件日数为 336 d, 全省每年平均 11.2 d。由全省各年累计强冰雹事件数年际变化(图 2b)可见, 近 30 年来强冰雹事件整体呈现下降趋势, 1983 年是强冰雹事件出现最多的年份, 共有 25 d, 2003 年强冰雹事件最少, 只有 3 d。

建立强冰雹事件日数 y 随时间 t 变化的一元回归方程: 方程: $y = 17.13 - 0.38t$ 。计算出的相关系数为 $r = -0.615$, 通过了 0.01 显著性水平检验。由此可见, 四川省各年累计强冰雹事件日数的下降趋势明显。

2.3 气候趋势的空间结构

由表 1 看出全省各年累计冰雹日数呈现上升趋势的站点有 28 个, 呈下降趋势的有 110 个, 趋势不变的有 10 个。通过了 0.10 显著性水平检验的上升趋势站点有 2 个, 分别位于凉山州的金阳和盐源。下降趋势的站点有 38 个, 其中有 16 个站点通过了 0.01 显著性水平检验。可见全省大部地区冰雹日数年变化趋势以下降趋势为主, 这一结论在图 2 中也有所体现。

结合图 3, 下降趋势的站点主要分布在高原山地地区, 全省最低值为理塘 $-4 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$, 与稻城构成了全省的极低值中心, 德格、壤塘和松潘分别为高原北部的三个次极低值中心。下降趋势站点最多的区域位于阿坝州。金阳和盐源虽然通过了 0.10 的显著性水平检验, 但是由于上升趋势均小于 $0.3 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$, 因此可以忽略不计。盆地及周边山区由于冰雹日数较少, 30 年来趋势变化不明显, 由此可见各年累计冰雹日数的下降趋势是显著的且地理区域较为集中, 位于川西高原山地地区。

3 月际变化时空分布

3.1 空间分布

从图 4 的最早发生冰雹月份的空间分布上可见, 全省初次降雹的时间跨度之长, 从年初的 1 月至年尾的 10 月。冕宁、米易、会理和广安 1 月发生初次降雹, 其中广安最早在 1 月 3 日出现降雹, 其余 3 地均为 1 月下旬发生。名山在 10 月 25 日出现全省最晚的初次降雹。4 月是初次降雹站点最多的月份, 其次是 3 月, 分别有 51 和 45 站, 5 和 2 月紧随其后分别有 20 和 13 站。

川西高原地区普遍在 3 月开始降雹, 初次降雹最早发生在 1 月, 站点均位于攀西高原。理塘是高原上初次降雹发生最晚的站点, 5 月才初次降雹, 但

同时也是全省 30 年累计冰雹日数最多的站点(图 1)。而石渠、阿坝、红原和若尔盖等高原北部地区 4 月才初次降雹,也是冰雹发生日数极多的站点。

盆地普遍在 4 月初次降雹。盆地中部的广安最早 1 月降雹,盆地西部的名山最晚 10 月初次降雹。盆地西部大部分站点在 4 月才初次降雹,盆地北部的梓潼、巴中、平昌以及盆地南部的合江早在 2 月就发现初次降雹,盆地北部的南部和盆地中部的安岳在 8 月才初次降雹。盆地周围的站点发生冰雹的月份多集中在 4 和 5 月。

高原山地地区初次降雹的月份多为 2—4 月,盆地平原地区初次降雹的月份多为 4—6 月。由此可见,全省各站点初次降雹在时空上有明显差异,高原山地地区普遍早于盆地平原地区。

由图 5 可以看到全省 30 年各月累计冰雹日数的空间特征。冰雹多发月在 3—10 月,11 月至次年 2 月为冰雹少发月。从春季的 3 月开始,虽然单站的冰雹日数依然和 2 月一样小于 10 d,但是发生冰雹的站点激增,特别是川西高原多数站点均有降雹发生,并且在新龙和冕宁为两个极大值中心。4 月的单站冰雹日数平均在 10 d 以上,最高达到 34 d,极大值中心北抬到了松潘和德格,盆地也有小于 10 d 的冰雹日数出现。5 月全省普降冰雹,阿坝站达到了 113 d 极大值,并且将极大值中心又进一步北抬,甘孜州的理塘成为川西高原南部一个高值中心。6—9 月冰雹的分布形态大致相同,分为南北两个高值中心,一个为川西高原西北部的石渠站,一个为川西高原南部的理塘站,与 30 年累计冰雹日数分布(图 1a)相似。10 月各站的冰雹日数减少,川西高原划分为三个高值中心,分别位于北部的阿坝、西北部的德格和南部的理塘。11—12 月冰雹日数急速减少,盆地及高原大部甚至没有降雹发生,只有攀西高原的冕宁有少量降雹。

3.2 时间演变

全省 148 个站点 30 年累计冰雹日数为 3557 d,全省每月平均 296 d,由表 2 可见,1、2、3、11 和 12 月的累计冰雹日数均未超过该平均值,5 和 6 月发生的冰雹日数为平均值的 2 倍。1 月全省冰雹日数仅有 5 d,5 月则高达 617 d,它们分别为全年冰雹日数的最小值和最大值月份。2—5 月冰雹日数骤然上升,3—5 月逐月递增,递增幅度分别为 90、286 和

225 d。6—8 月逐月递减,递减幅度较 3—5 月的递增幅度小,分别为 13、112 和 70 d。9 月冰雹日数开始增加,达到 503 d,较 8 月增加 81 d,冰雹日数仅次于 5 和 6 月。之后的 10—12 月冰雹日数直线减少,分别比前一月减少 158、302 和 31 d。由此可见,各月累计冰雹日数有明显的两阶段兼双峰型特征。两阶段分别为 4—10 月的冰雹多发期和 11 月至次年 3 月的冰雹少发期。而在冰雹多发期内又有正弦波动的形态,5 和 9 月为两个波峰位置,4 和 8 月为两个波谷位置。

冰雹日数的四季平均值为 889 d,春、夏、秋季的冰雹日数均大于季平均值。春季(3—5 月)共有冰雹日数 1115 d,发生频率为 31.35%,夏季(6—8 月)为 1518 d,发生频率为 42.67%,秋季(9—11 月)为 891 d,发生频率为 25.05%,冬季(12 月至次年 2 月)仅发生 33 d,就是说每年冬季全省只有 1 d 发生冰雹,发生频率不到总次数的 1%。由此可见,除了冬季以外,其他三个季节出现冰雹的日数较多,且发生频率夏季最高,春季次之。春末夏初的 5 和 6 月和秋初的 9 月是冰雹发生频率最高的 3 个月,分别发生了 17.35%、16.98% 和 14.14%,这 3 个月冰雹发生频率的总和占全年冰雹发生频率的近一半。

强冰雹事件发生频率的季节特征与冰雹发生频率的季节特征相同,均为夏、春、秋、冬依次递减的形式,冬季未观测到冰雹直径大于 12 mm 的强冰雹事件。强冰雹事件出现最多的月份也是 5 月,占全年强冰雹事件数的近四分之一,6 月出现的强冰雹事件占全年的近五分之一,5 和 6 月的强冰雹事件日数占全年的一半以上,可见春末夏初是强冰雹事件发生频率非常高的时期。

由此可以推测,温度与冰雹的发生有密切的联系,夏季温度较高,有利于冰雹云的能量积累,易于冰雹产生^[18]。春季和夏季都会出现强对流天气,但春末夏初时期出现得还更多一些。这是因为在春夏交替之际,温度升高较快,而冷空气活动也较频繁,大气层更加不稳定,因此更容易出现冰雹天气;而夏季虽然温度高,但冷空气活动较少,大气层相对稳定。

选取川西高原上具有代表性的多个站点,分别计算各月累计冰雹日数的发生频率,分析冰雹日数的月际变化。从图 6 可以看出,各地冰雹日数的月际变化特征具有各自的异同点。

表 2 1978—2007 年四川省各月累计冰雹和强冰雹事件
日数与冰雹发生频率

Table 2 The sum and the percentage of hail days and
severe hail days in Sichuan Province during 1978—2007

时间	冰雹日数/d	冰雹发生频率/%	强冰雹事件日数/d	强冰雹事件发生频率/%
3 月	106	2.98	11	3.27
4 月	392	11.02	34	10.12
5 月	617	17.35	82	24.41
春季	1115	31.35	127	37.80
6 月	604	16.98	64	19.05
7 月	492	13.83	39	11.61
8 月	422	11.86	33	9.82
夏季	1518	42.67	136	40.48
9 月	503	14.14	46	13.69
10 月	345	9.70	24	7.14
11 月	43	1.21	3	0.89
秋季	891	25.05	73	21.72
12 月	12	0.34	0	0
1 月	5	0.14	0	0
2 月	16	0.45	0	0
冬季	33	0.93	0	0

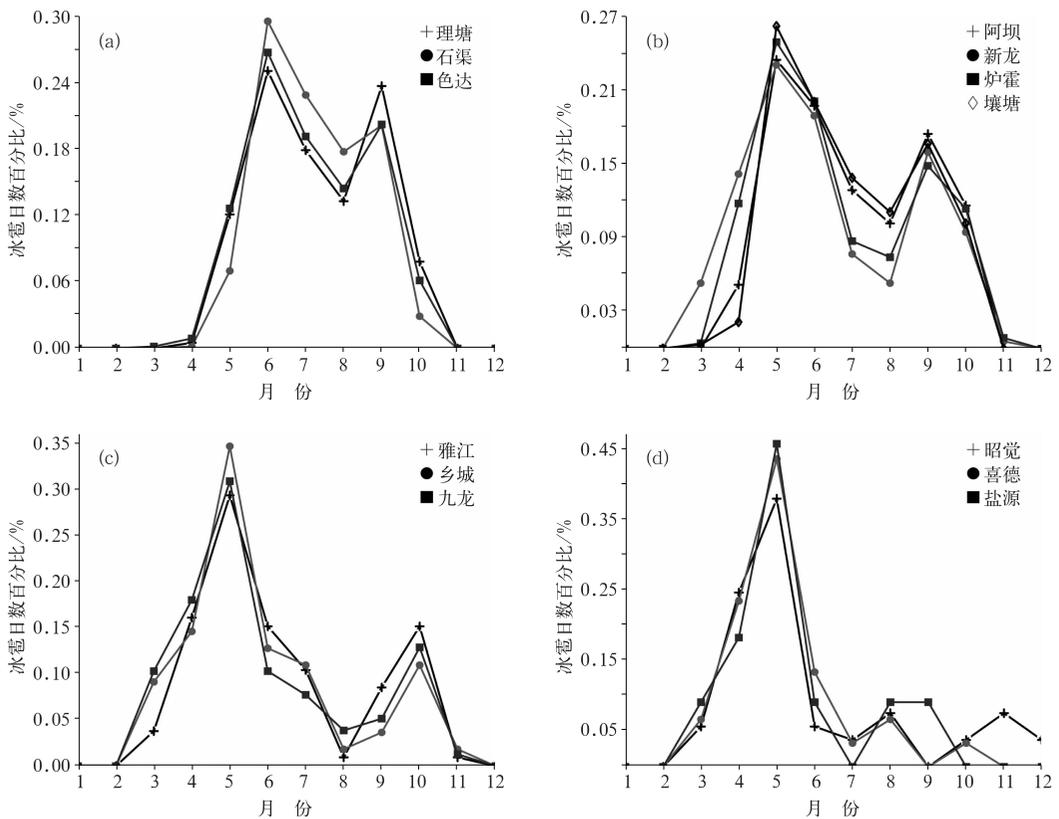


图 6 典型站点的冰雹日数发生频率的月际变化(单位:%)

Fig. 6 Inter-monthly variations of hail day frequency at typical stations (unit: %)

- (a) the top three stations of hail days with about 3900 m asl,
- (b) the four stations with high elevation of 3000—3300 m,
- (c) the three stations with elevation of 2600—2900 m,
- (d) the three stations with elevation of 1800—2500 m

理塘、石渠、色达是全省冰雹日数最多的前三个站点,海拔高度均在 3900 m 左右,冰雹日数发生频率的月际变化具有相似的双峰型特征。主峰和次峰分别位于 6 和 9 月。平均达到 27% 和 20%,8 月为双峰间的波谷达 12%~18%。1—3 月和 11—12 月的发生频率近似为 0。可见,3 站的冰雹主要发生在春末至秋末,初夏和秋季是发生冰雹较多的时段。

阿坝、新龙、炉霍和壤塘的海拔高度区间为 3000~3300 m,4 站具有相似的双峰特征。主峰和次峰分别位于 5 和 9 月,8 月为双峰间的波谷。冰雹多发期为春季至秋季,特别是春末夏初,冰雹发生最为频繁。

雅江、乡城、九龙位于 2600~2900 m 海拔高度上,3 站具有相似的双峰型特征。主峰和次峰分别位于 5 和 10 月。主峰值达到了 30%~35%,次峰值为主峰值的一半即仅 10%~15%,8 月为双峰间的波谷,发生频率接近 0。可见,3 站的冰雹主要发生在春季和秋季,且以春季尤为明显。

凉山州的昭觉、喜德和盐源海拔高度为 1800~2500 m,3 站为单峰型特征,波峰在 5 月,发生频率超过 35%,6—12 月振荡波动,且均小于 10%。春季是 3 站的冰雹多发季。

由 4 个典型月际变化图,说明冰雹的月际变化与海拔高度和地理位置有一定的关联。相同的海拔和临近的地区,冰雹日数的月际变化特征相似。

4 结 论

(1)四川省是冰雹频发的省份,高原山地的降雹明显多于盆地平原,盆地周边的山区多于盆地中部的成都平原。冰雹日数与海拔高度呈现显著正相关。直径小于 2.5 mm 的小冰粒日数占全省累计冰雹日数的四分之一。盆地平原的强冰雹事件发生频率高于高原山地。

(2)四川省的各年累计冰雹日数呈现减少的趋势,该趋势在高原山地表现得尤为显著。全省冰雹日数有两个时间尺度的周期变化,一个是准两年周期,另一个是 6 a 周期。

(3)冰雹初发月份的时空分布上,川西高原地区大部分最早发生在 2—4 月,盆地地区则普遍最早发生在 4—6 月。攀西高原上最早 1 月就有降雹发生。

(4)除了冬季以外,春、夏、秋三个季节全省冰雹日数的总和较多,且发生频率夏季最高,春季次之。

春末夏初的 5 月是冰雹发生频率最多的月份。相同海拔高度和地理位置相近的站点,拥有相似的冰雹日数月际变化特征。

致谢:感谢审稿专家对本文提出的重要建议;感谢四川省气象信息中心为本文提供的资料。

参考文献

- [1] 符琳,李维京,张培群,等.近 50 年我国冰雹年代际变化及北方冰雹趋势的成因分析[J].气象,2011,37(6):669-676.
- [2] Zhang Chunxi, Zhang Qinghong, Wang Yuqing. Climatology of Hail in China: 1961—2005[J]. Appl Meteor & Climat, 2008,47:795-804.
- [3] 廖晓农,于波,卢丽华.北京雷暴大风气候特征及短时临近预报方法[J].气象,2009,35(9):18-28.
- [4] 漆梁波,陈雷.上海局地强对流天气及临近预报要点[J].气象,2009,35(9):11-17.
- [5] 许爱华,张瑛,刘献耀.江西“暖区”强对流天气的热力和动力条件诊断分析[J].气象,2001,27(5):30-34.
- [6] 王静爱,史培军,刘颖慧,等.中国 1990—1996 年冰雹灾害及时空动态分析[J].自然灾害学报,1999,8(3):46-53.
- [7] 胡淑兰,武麦风,王旭仙,等.关中东部连续性冰雹特征分析[J].高原气象,2006,25(1):159-163.
- [8] 刘德祥,白虎志,董安祥.中国西北地区冰雹的气候特征及异常研究[J].高原气象,2004,23(6):795-803.
- [9] 叶彩华,姜会飞,李楠,等.北京地区冰雹发生的时空分布特征[J].中国农业大学学报,2007,12(5):34-40.
- [10] 纪晓玲,陈晓光,贾宏元,等.宁夏冰雹的分布特征[J].灾害学,2006,12(4):14-17.
- [11] 赵红岩,宁慧芳,徐金芳,等.西北地区冰雹时空分布特征[J].干旱气象,2005,23(4):37-40.
- [12] 杨家康,杞明辉.云南省冰雹的时空分布特征[J].气象科技,2005,23(1):41-44.
- [13] 龙余良,刘建文.江西冰雹与雷雨大风气候变化特征的对比分析[J].气象,2010,36(12):62-67.
- [14] 王秀玲,郭丽霞,高桂芹,等.唐山地区冰雹气候特征与雷达回波分析[J].气象,2012,38(3):344-348.
- [15] 闵晶晶,曹晓钟,段宇辉,等.近 30 年京津冀地区冰雹的气候特征和突变分析[J].气象,2012,38(2):189-196.
- [16] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:气象出版社,2007:1-104.
- [17] 黄嘉佑.气象统计分析与预报方法[M].北京:气象出版社,2004:1-191.
- [18] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等.天气学原理和方法[M].北京:气象出版社,2003:400-460.
- [19] 王雨增,李凤声,伏传林.人工防雹实用技术[M].北京:气象出版社,1994:1-30.
- [20] 许焕斌,段英,刘海月.雹云物理与防雹的原理和设计[M].北京:气象出版社,2006:249-250.