

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. 应用气象学报,2019,30(6):710-721.
DOI: 10.11898/1001-7313.20190607

基于灾情信息的 1981—2017 年北京地区降雹特征

虎雅琼¹⁾²⁾³⁾ 边宇轩^{4)*} 黄梦宇¹⁾²⁾³⁾ 马新成¹⁾²⁾³⁾

¹⁾(云降水物理研究与云水资源开发北京市重点实验室,北京 100089)

²⁾(中国气象局华北云降水野外科学试验基地,北京 101200)

³⁾(北京城市气象研究院,北京 100089)

⁴⁾(中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室,北京 100081)

摘 要

该文对 1981—2017 年北京地区 1010 个高精度冰雹灾情信息进行统计分析。从年代际变化看,1981—1990 年平均降雹日数为 10 d,1991—2000 年和 2001—2010 年年平均降雹日数均有所减少(5.67 d 和 4.33 d),而从 2011 年起,年平均降雹日数急剧增加到 21 d。1981—1995 年年平均最大冰雹直径总体呈增加趋势,2002 年开始总体较小。从年变化看,冰雹日数的年变化呈明显的单峰型即初夏峰型,4 月起降雹日数逐渐增加并在 6 月达到峰值,其后缓慢下降。从空间分布看,北京地区的降雹分布十分广泛,但高频次降雹区域主要集中在北京西北部延庆区,平均每年至少发生两次降雹,此外降雹高值区还出现在城区的海淀区。2010 年后,降雹范围明显增大,同时降雹分布也由相对集中变为相对均匀。

关键词: 北京地区; 灾情信息; 冰雹; 时空分布

引 言

作为超大城市的北京,冰雹是其主要气象灾害之一,通过毁坏建筑、农作物和车辆等方式,对农业等社会生产及人民生命财产安全构成严重威胁。如 2016 年 7 月北京一次冰雹天气过程,造成大兴区农田、果林经济损失达 3.17 亿元(<http://bj.people.com.cn/n2/2016/0701/c337131-28597909.html> 人民网——北京频道)。精细化分析降雹时空分布特征,对于更好地评估降雹风险和指导防雹作业均具有重要意义。

在气候变化背景下,开展对冰雹频率、性质和强度等气候学研究具有重要意义并可在很多领域广泛应用,气象学家需要冰雹气候学信息提高冰雹预报预警的精度,经济学家和保险公司需要依靠对历史冰雹资料的研究评估冰雹相关险种的风险,建筑施工需要考虑新型建筑方法和能源系统(太阳能等)受

冰雹灾害的影响以制定施工计划^[1]。

20 世纪初,Prohaska^[2]对 1888—1900 年奥地利气象站冰雹观测资料进行了统计分析。在此之后,世界各国均开展了对冰雹时空分布特征的研究工作^[3-6]。Frisby 等^[7]应用全球气象站资料,对热带冰雹发生频率和落区进行总结。除了气象站观测资料之外,新闻报道、保险公司的灾情咨文、农业及房地产业记录和统计年鉴等资料也常被用于分析冰雹分布特征。Tuovinen 等^[8]利用 70 年新闻报道等非标准资料,对欧洲北部斯堪的纳维亚半岛的严重雹灾(直径大于 2 cm)进行了研究。近年来,一些国家和组织开始应用经过训练的气象信息员的信息汇报对冰雹等灾害天气进行分析并建立了数据库,如欧洲灾害天气数据库(ESWD)、龙卷和风暴研究组织(TORRO)数据库等^[9]。这一类气象信息的应用,使包括冰雹在内的灾害天气的监测和记录更加详细,时空分辨率更高,也更有助于探讨冰雹天气的时空分布特征。

2019-07-15 收到,2019-09-30 收到再改稿。

资助项目:北京市自然科学基金青年项目(8184076),国家重点研究发展计划(2017YFC1501405)

* 通信作者,邮箱:bianyx@cma.gov.cn

我国很早就开展了冰雹灾害研究,1966 年刘全根等^[10]对全国的降雹气候特征进行了分析。近年来,人们利用多年的全国气象站冰雹资料、L-波段探空和大气环境再分析资料等分析了中国大陆地区的冰雹空间分布特征、降雹频次和冰雹最大直径变化趋势,发现频发区主要集中在青藏高原,其次是华北东北部,近些年的年平均降雹日数、降雹频次和年平均最大冰雹直径有减小趋势,并讨论了冰雹和环境条件、云系特征和天气背景之间的关系^[11-16]。全国部分地区冰雹天气分布特征和规律均有相应研究^[17-23]。

叶彩华等^[24]利用 1978—2006 年北京地区气象站冰雹发生资料,统计了北京地区冰雹发生的时空分布特征,发现降雹频率和日数均为山区多于城区。扈海波等^[25]将近 30 年北京地区冰雹灾害历史灾情资料进行灾损评估,对灾情数值进行时间序列分析,依据雹灾频次统计结果计算北京地区冰雹灾害的平均风险值并用该值制定冰雹风险等级标准,最后利用风险评估方程计算历次雹灾的风险值,结合风险等级标准完成了北京地区冰雹灾害风险区划。闵晶晶等^[26]基于 1979—2008 年京津冀地区 175 个气象站的冰雹观测资料,分析了京津冀地区冰雹发生的多时间尺度变化特征和趋势,发现近 30 年该地区的冰雹有减少趋势。张琳娜等^[27]利用北京市观象台实况探空资料,对 2000—2009 年北京地区 30 次冰雹过程的天气形势进行了分析,发现东北冷涡型、蒙古低涡型和低槽型是北京地区的主要天气类型。张秉祥等^[28]应用雷达回波拼图、气象站冰雹观测资料和常规探空资料,对 2008—2012 年华北地区冰雹样本进行了识别效果检验,给出了识别评分结果、识别提前量和冰雹位置等。蓝渝等^[29]则利用 FY-2E 静止气象卫星观测资料等分析了 2010—2012 年华北区域 27 次冰雹过程的大气环流背景、主要影响系统和云系的云型特征分类,研究表明:在冰雹云同时具备低云顶亮温和大亮温梯度的情况下,更有利于直径大于 10 mm 大冰雹发生。

然而,我国开展的这些有关冰雹时空分布特征及其演变规律的研究,多采用气象站观测资料,由于冰雹尺度小、生命期短,气象站分布对于降雹情况分析过于稀疏,因此,很多冰雹信息难以捕捉。目前,北京地区能够人工观测冰雹的国家级观测站点有 20 个,每个行政区 1~2 个,对于冰雹这种局地性很强的过程远达不到要求。因此,更高空间分辨率的

高精度冰雹信息资料,对分析北京地区冰雹特征具有重要意义。除了常规地面观测和重要天气报导外,经过质量控制的目击者或气象信息员报告将是提供更高时空分辨率强对流天气实况监测的重要直接来源^[30]。近年来,北京市气象局大力开展类似 ESWD 的气象信息员队伍建设。截至 2015 年底,北京市共有气象信息员 9017 人,在基层防灾减灾和科普宣传工作中发挥了重要作用 (http://www.bjrd.gov.cn/zt/qxzh/fgjs/201606/t20160603_163734.html)。目前国内在利用气象信息员记录资料研究包括冰雹在内的气象灾害方面几乎空白。相比观测站资料,气象信息员上报的冰雹灾情信息空间精度较高,同时信息员队伍相对稳定,且已积累了近 40 年的包括冰雹灾情信息在内的气象信息记录。这些资料为开展冰雹的时空分布特征及其变化趋势的研究提供了很好的数据基础。因此,本文利用冰雹灾情信息资料对冰雹的精细时空分布特征、发生频率及其变化趋势进行统计分析。

1 资料与方法

1.1 资料来源

本研究采用的北京地区灾情信息由北京市气象信息员观测收集,各区气象台汇总上报,北京市人工影响天气办公室业务值班员记录保存。20 世纪 50 年代,中央气象局提出在人民公社建立气象哨,在生产队建立气象组,承担观察记载、天气预报传播、灾情收集和开展气象知识普及和宣传等任务,为农业生产服务。后来气象哨发展演变成气象信息员。从人员构成看,各地气象信息员基本由乡镇干部和当地村干部兼职担任,或者由当地乡镇政府推荐具有一定文化程度的人员(如人影作业手)兼职担任,这使气象信息员的覆盖面广、密度高。气象信息员行政村(社区)覆盖率一直稳定在较高水平,近年来一直保持在 100%,这一资料被认为有较好的一致性。但不可否认,灾情信息员的数量有波动,且降雹点不固定,需根据信息员上报信息确定。重点使用其中的降雹发生时间、发生地点等资料。剔除了只有日期没有具体发生小时和分钟时间的记录和地点无法查证的记录,由于原始上报信息主要包含地点名称和最大冰雹直径项,对灾情信息进行了整理和校对,确定灾情发生位置的坐标信息,并统计同一位置发生灾情的频次。整理后的资料时间范围为 1981 年

5月—2017年9月,其中冰雹出现的最早时间是4月11日(2015年),最晚时间是10月13日(2011年);每一个上报发生过降雹的位置为1个记录点,共有389个(可定位364个)记录点;1个记录点的1次降雹记录记为1个点次,共有1010个记录点次(图1)。由图1可知,全市各区均发生过降雹,降雹点分布不均,城区和西北部降雹点较多,其中延庆区降雹频次最高。

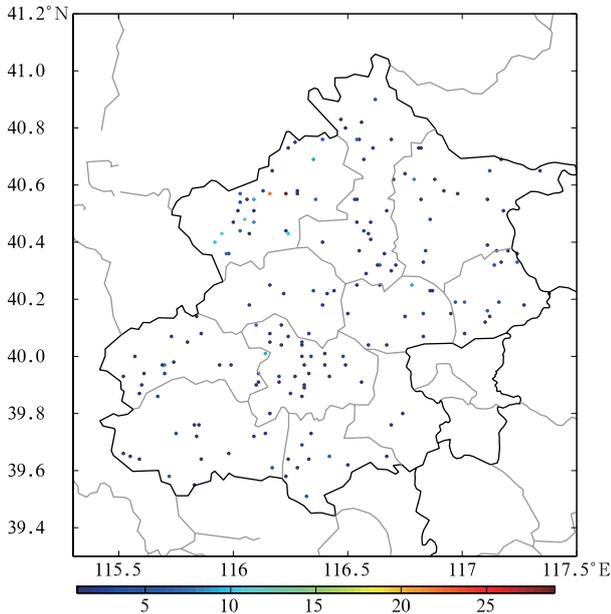


图1 1981—2017年记录的北京地区总降雹频次

Fig.1 Total hail frequency in Beijing during 1981—2017

1.2 灾情信息资料处理方法

本研究中将当日发生过至少1个点次的降雹事件记为1个降雹日,当日发生降雹事件的点次数记为当日的降雹频次数。由于采用的灾情信息点位分布于北京市各区县中,且分布较为密集,为了更好地对降雹的空间信息进行分析,增强不同区域的可比性,对降雹频次信息进行了格点化处理。首先,考虑到灾情信息的村镇(社区)覆盖率保持在100%的水平,将北京地区按照 $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$ 的分辨率分为若干网格点,以确保每个网格点都可被灾情信息资料覆盖。然后,分别统计总时间范围内以及不同年份(月份)内,每一格点中发生的降雹频次的和,作为该格点在该年份(月份)的降雹频次。这种格点化处理方法有助于更好地对降雹事件的空间分布特征进行分析,也有助于进行可视化呈现。

由于本研究采用的灾情信息资料中,部分冰雹大小描述来自于灾情信息员的估计而非仪器测量,

需要通过尺度对应关系,将这些对冰雹大小的定性描述(如乒乓球、玉米粒等)转化为估算的冰雹直径。Li等^[31]在应用全国气象站观测得到的冰雹资料中对冰雹大小的描述信息时,通过参考国家气象信息中心提供的资料建立了冰雹大小描述与直径的对应关系。本研究中,为了与气象站观测资料的冰雹大小资料保持一致,增加其可比性,参考上述方法建立了灾情信息对应的冰雹直径估算表(表1)。

表1 灾情信息对应的冰雹直径估算
Table 1 Approximate hailstone diameter interpreted from disaster information

信息描述	估算直径/mm
乒乓球	40
核桃	40
葡萄	20
枣	20
卫生球	20
蚕豆粒	15
杏核	15
花生米	10
玉米粒	8
豌豆粒	8
黄豆粒	8
绿豆	5
米粒	5

2 北京地区降雹的时间分布特征

2.1 年际变化

从1981—2017年降雹发生情况看,降雹日数、降雹频次数和最大冰雹直径均有显著的年际变化特征(图2)。降雹日数和降雹频次数的变化趋势十分接近,均在1982年达到较高值,其后总体缓慢减小,2011年起又有明显的增加趋势。1981年5月—2017年9月北京地区总降雹日数为323 d,总降雹频次为1010次。年平均降雹日数为9.85 d,年平均降雹频次达31.47次,年降雹日数最多为34 d(2015年),年降雹频次最高为135次(2017年)。总体来看,1981—1990年年平均降雹日数和降雹频次均较大,平均为10.00 d和27.20次;1991—2000年和2001—2010年年降雹日数和降雹频次均较小,平均降雹日数分别为5.67 d和4.33 d,平均降雹频次分别为13.67次和9.25次;从2011年起,年降雹日数和年降雹频次均急剧增加,2011—2017年平均降雹日数达21.00 d,年降雹频次达76.57次。

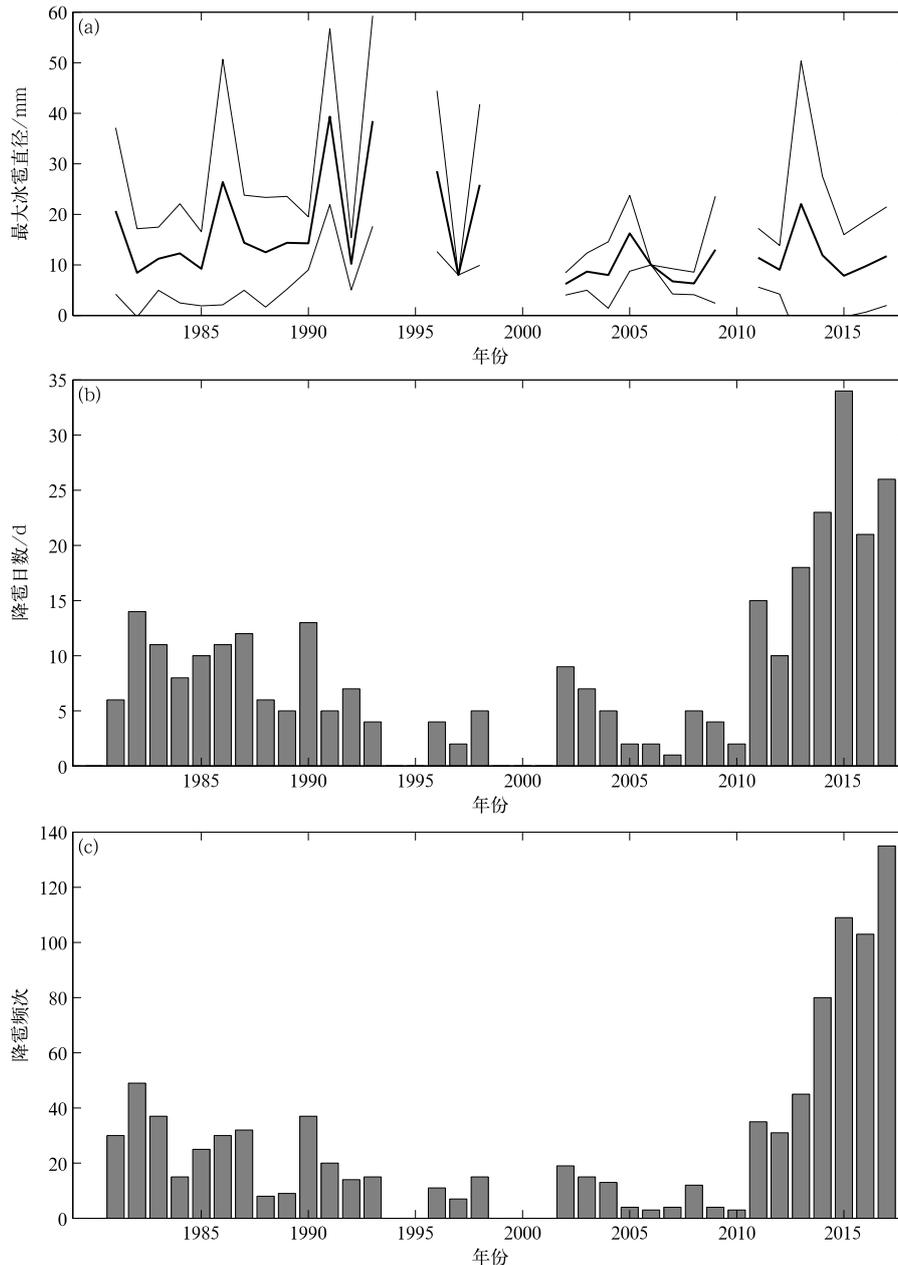


图 2 平均最大冰雹直径(粗实线为平均值,细实线为平均值±标准差)(a)、
降雹日数(b)和降雹频次(c)年际变化

Fig. 2 Interannual variations of mean maximum hail diameter(the thick line is the mean and the thin line is the mean plus or minus standard deviation)(a), hail days(b) and frequency(c)

冰雹强度可由冰雹大小表示,利用单点次的最大直径资料统计了年平均最大冰雹直径的年际变化,得到最大冰雹直径达 80 mm(2013 年 6 月 26 日,平谷区),多年平均最大冰雹直径达 13.00 mm,年平均最大冰雹直径出现在 1991 年,为 39.3 mm。最大冰雹直径的变化趋势与降雹日数和降雹频次并不相同,1981—1995 年年平均最大冰雹直径总体呈增加趋势,2002 年开始总体较小。1981—1990 年

年平均最大冰雹直径平均为 14.12 mm;1991—2000 年年平均最大冰雹直径总体较大,平均为 26.61 mm;2001—2010 年和 2011—2017 年年平均最大冰雹直径均较小,分别为 8.17 mm 和 10.61 mm。

2.2 年变化

从多年平均的月最大冰雹直径(图 3a)看,各月差异不明显,呈双峰型,4 月和 10 月较小,分别为 6.46 mm 和 8 mm,5—9 月差异较小,平均为 13.66 mm。

从年代变化(图略)看,1981—1990年呈先增后减特征,8月平均最大冰雹直径为21.43 mm;1991—2000年月平均最大冰雹直径总体较大,呈现双峰特征,峰值分别为39.25 mm(9月)和35.21 mm(6月);2001—2010年和2011—2017年变化特征和多年平均接近,各月差异不明显,月平均最大冰雹直径较小。

从北京地区1981—2017年累计各月降雹日数可知,降雹发生具有明显的季节差异(图3b)。从历年降雹发生日数看,降雹发生在春、夏、秋季。春季(4—5月)共降雹40 d,占总降雹日数的13.03%;夏季(6—8月)共降雹234 d,占总降雹日数的76.22%;秋季(9—10月)共降雹33 d,占总降雹日数的10.75%。从逐月变化看,降雹日数呈明显的单峰型

即初夏峰型,4月起降雹日数逐渐增加并在6月达到峰值,其后缓慢下降。其中,10月仅有4 d发生过降雹,占总降雹日数的1.30%;而6月有100 d发生过降雹,占总降雹日数的32.57%。这一结论与叶彩华等^[24]利用站点资料分析的结果基本一致。从各年代平均月降雹日数的变化看,各年代均呈现单峰特征,除1981—1990年峰值出现在7月(27 d)外,其他年代均出现在6月,2011—2017年平均月降雹日数均高于其他时段,2001—2010年各月平均降雹日数总体偏低。月降雹频次的变化与降雹日数趋势十分接近。导致这种分布特征的主要原因是夏季的热力条件和动力条件利于对流性天气的发展,6月由于高低空温差较大,不稳定能量较大,对对流天气的形成和发展最为有利。

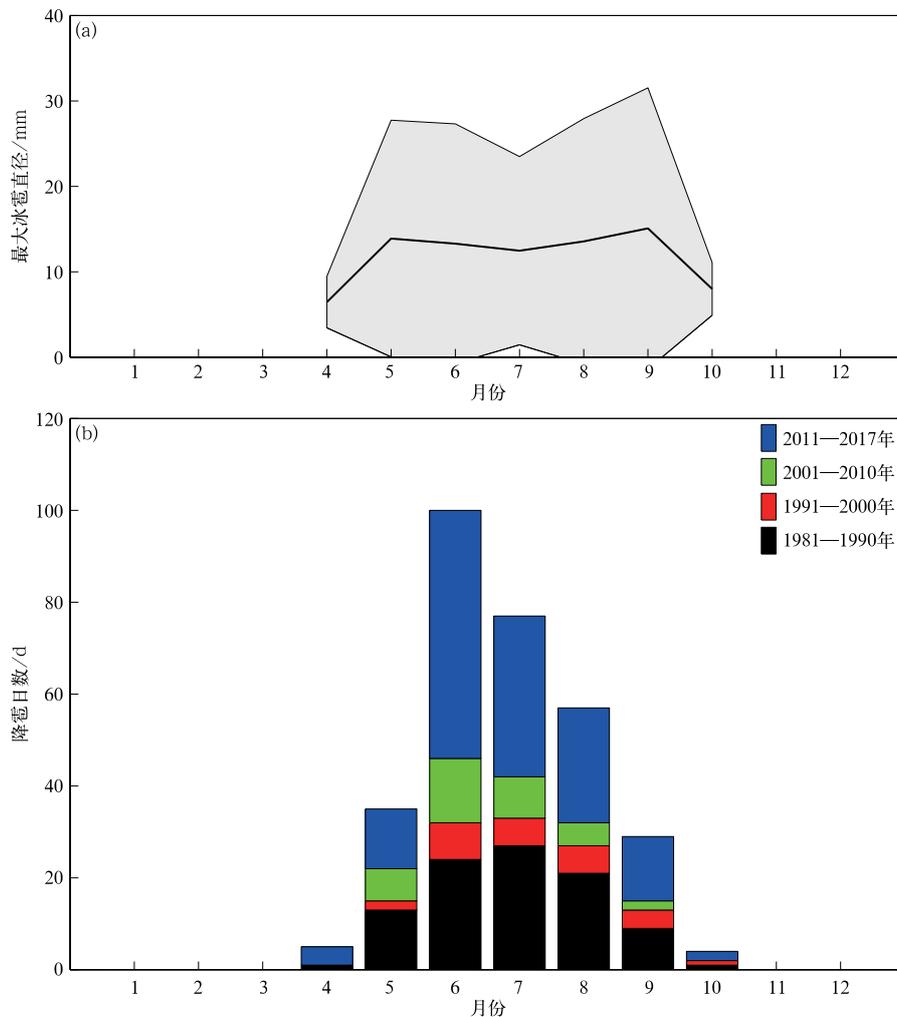


图3 1981—2017年平均最大冰雹直径(粗实线为平均值,细实线为平均值±标准差)(a)和降雹日数(b)的年变化

Fig. 3 The annual variation of maximum hail diameter(the thick line is the mean and the thin line is the mean plus or minus standard deviation)(a) and hail days(b)

2.3 日变化

图 4 给出了 1981—2017 年平均最大冰雹直径和累计降雹日数日变化。从冰雹最大直径的日变化(图 4a)看,最大冰雹直径的个例多集中在 09:00(北京时,下同)至次日 03:00,午后到傍晚的冰雹直径

总体较大,其他时段总体较小,最大冰雹的平均直径总体大于 10 mm 多出现在 12:00—21:00,与累计降雹日数较多的时段基本对应。这可能与午后到傍晚的对流不稳定能量较高、水汽和动力条件较好有关。

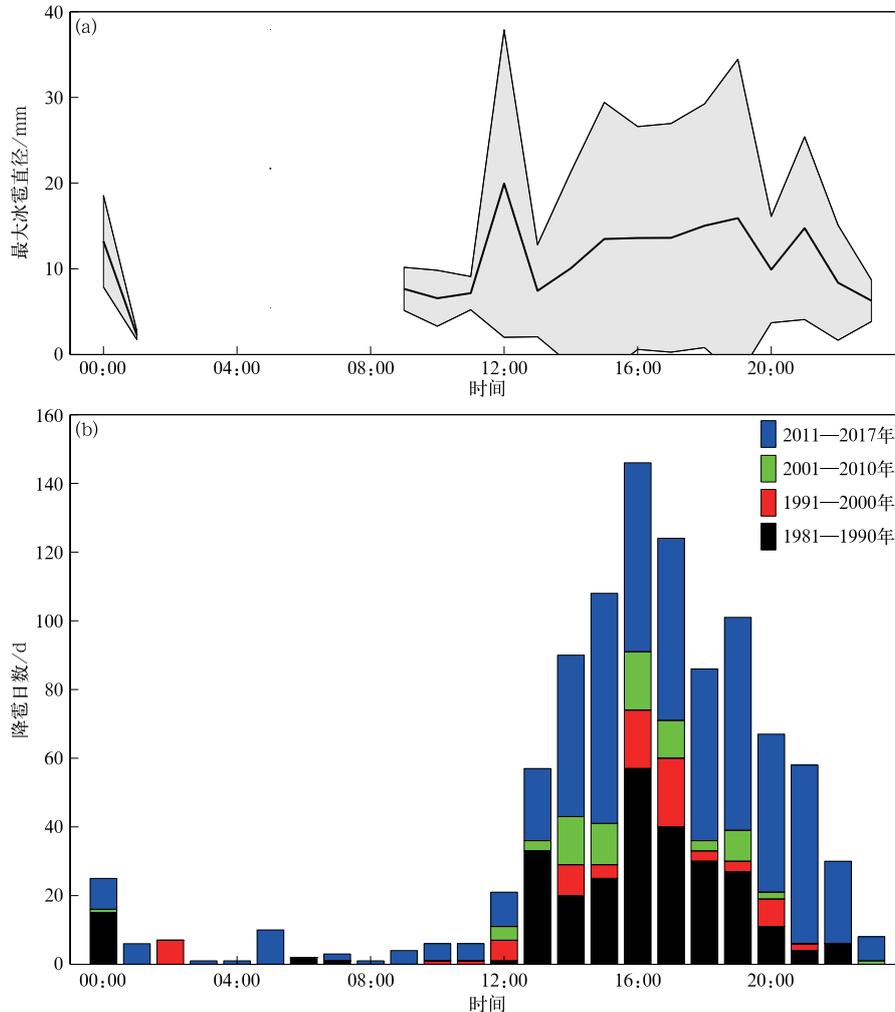


图 4 平均最大冰雹直径(粗实线为平均值,细实线为平均值±标准差)(a)和降雹日数(b)的日变化

Fig. 4 Diurnal variations of maximum hail diameter(the thick line is the mean and the thin line is the mean plus or minus standard deviation)(a) and hail days(b)

不同年代的降雹日数变化特征相似(图 4b)。午后出现降雹的概率大,在 15:00—17:00 出现的概率最大,其后减小,属于午后多雹型。01:00—11:00 出现降雹的概率较小,仅占 6.82%。从年代间的差异看,1981—1990 年和 1991—2000 年的单峰特征十分明显,分别在 16:00(57 d)和 17:00(20 d)达到极值。2001—2010 年各时段降雹日数均偏少。而 2011—2017 年 14:00—21:00 的降雹日数变化不

大,远高于 1991—2000 年和 2001—2010 年,且夜间降雹日数也有所增加。

3 北京地区降雹的空间分布特征

3.1 累计降雹频次分布

将离散的冰雹灾情信息格点化处理到 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 的网格点上,得到了一套网格化的冰雹灾情信

息资料,既保留了降雹频次的分布信息,又便于开展进一步对比。从累计降雹频次分布(图5)看,北京地区的降雹分布十分广泛,18.66%的格点发生过10次以上的降雹。高频次降雹点主要集中在北京西北部延庆区,平均每年至少发生2次降雹,这与地形的抬升作用有一定关系。该区域处于燕山山脉的

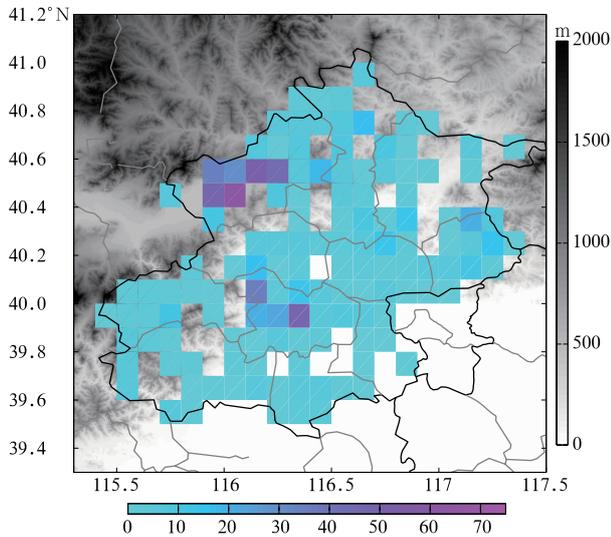


图5 1981—2017年北京地区累计降雹频次分布(灰色表示地形高度)

Fig. 5 Cumulative hail frequency distribution in Beijing during 1981—2017 (the grey denotes the altitude)

支脉——海坨山东南麓,位于盛行风山脊下风方向。研究发现:北京地区的冰雹多出现在高山背风坡附近4~6 km的地方。通过山谷风的热力效应和动力抬升作用,高山对北京地区雹云的形成起着重要作用。雷雨云可以在强力引导气流的引导下,被迫抬升800~1000 m,这是很大的潜能触发机制,过山后雷雨云会发展为雹云^[32]。而对流系统一般在下山后会减弱,使下游出现降雹的可能性减少。城区西北部区域即海淀区存在一个降雹频次高值区域,也有类似的地形影响特征。

3.2 各年代降雹频次分布

图6给出了各年代的降雹频次空间分布情况,由图6可见,1981—1990年北京地区的降雹分布比较集中,降雹区域主要是北京西北部山区延庆地区和主城区西北部,年平均最高频次可达4.3次。1991—2000年北京地区的降雹集中区域基本不变,频次总体减小,其中年平均最高频次区域仍在延庆西北部,年平均仅1.83次。此外,怀柔南部和门头沟西部频次减小,平谷东部和城区西南部频次增加。2001—2010年降雹范围和频次数继续减少,年平均最高频次仍出现在延庆地区,减小到年平均0.89次,但空间差异明显减小。此外,门头沟中部的降雹频次有所增加。2011—2017年降雹区域范围增加十分显著,几乎覆盖整个北京,同时,各降雹格点之

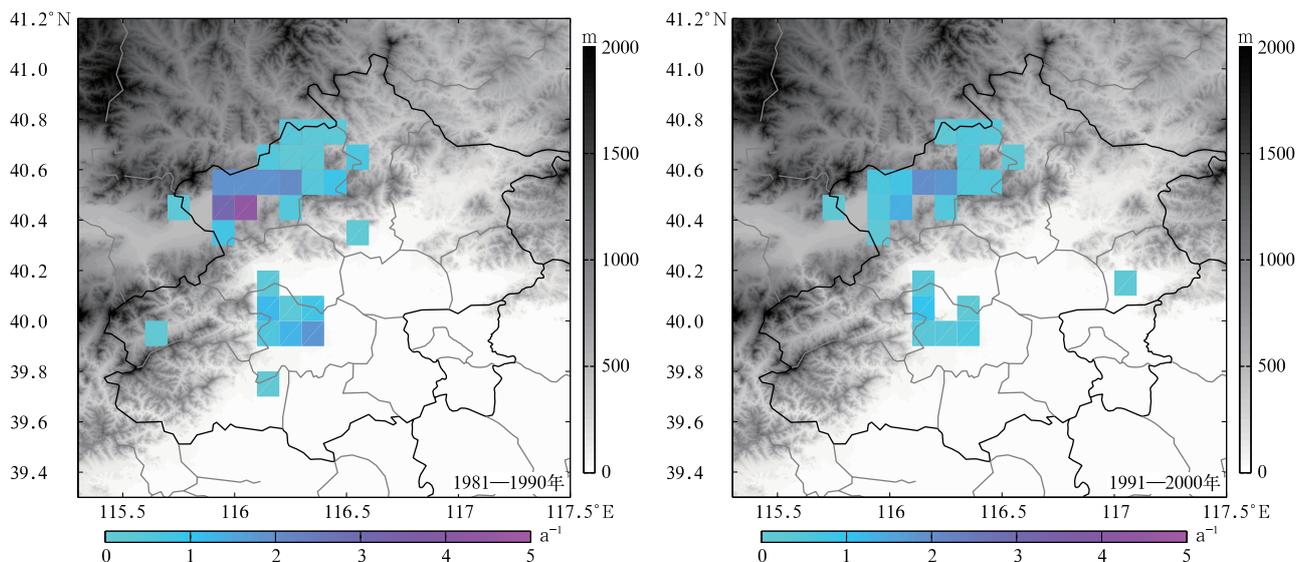
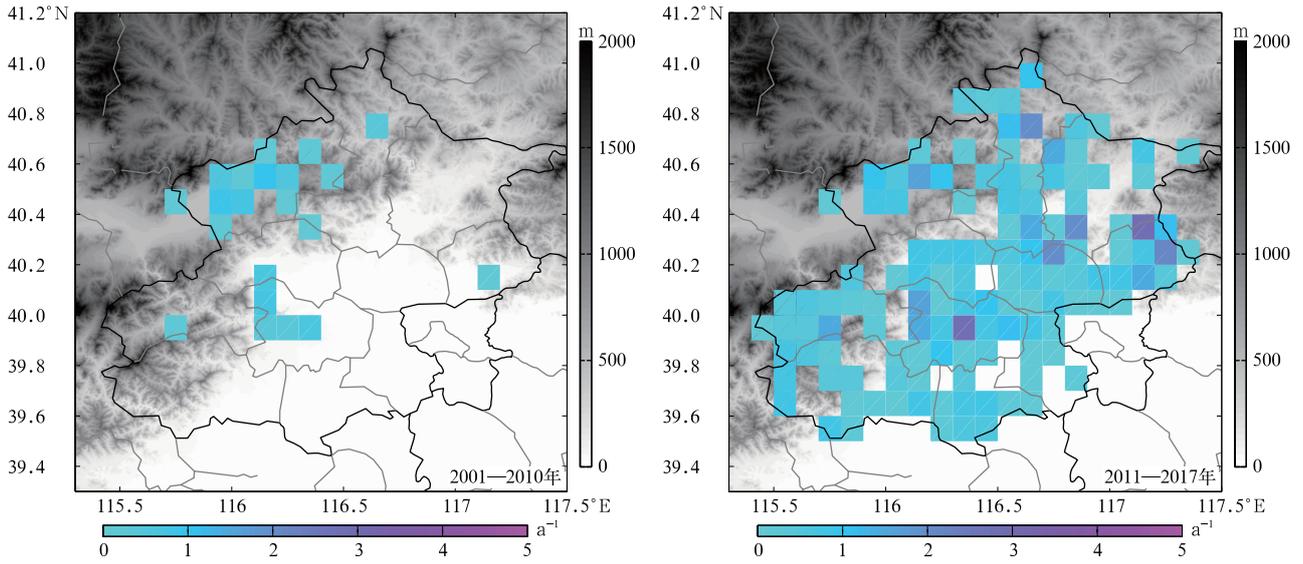


图6 1981—1990年、1991—2000年、2001—2010年和2011—2017年北京地区年平均降雹频次(填色)分布(灰色表示地形高度)

Fig. 6 Annual average frequency(the shaded) of hail in Beijing during 1981—1990,1991—2000, 2001—2010,2011—2017(the grey denotes the altitude)



续图 6

间的频次差异不显著,频次较高格点主要集中在平谷区北部、主城区中部等地,最高为 2.85 次/a,而延庆地区降雹频次与 2001—2010 年接近。从降雹频次极值看,1981—1990 年出现最高值,1991—2000 年和 2001—2010 年逐步减小,2011—2017 年有所回升。从空间分布看,从 1981—2010 年,降雹主要发生在延庆地区和主城区西北部的海淀地区,而 2011—2017 年降雹范围明显增大,同时降雹分布也由相对集中变为相对均匀。

3.3 各月降雹频次分布

从各月降雹频次分布看,总体比较分散(图 7)。

4 月和 10 月降雹格点少且降雹频次少,最高降雹频次分别为 3 次和 2 次。这主要是由于 4 月和 10 月气温低,对流不稳定能量低,不利于对流的发生发展。5 月降雹频次有所增加,区域有所扩大,西北部延庆地区降雹频次显著增加,最高达到 9 次。6 月北京大部分区域均出现过降雹,降雹频次最高的区域是西北部延庆区,最高达到 23 次,其次是主城区西北部海淀区域和东北部平谷区。7 月降雹范围相比 6 月略有减小,而最高降雹频次区的延庆区与 6 月相比也略有减小,为 21 次。8 月降雹范围变化不大,但最高降雹频次进一步减小为 15 次,随后 9 月、

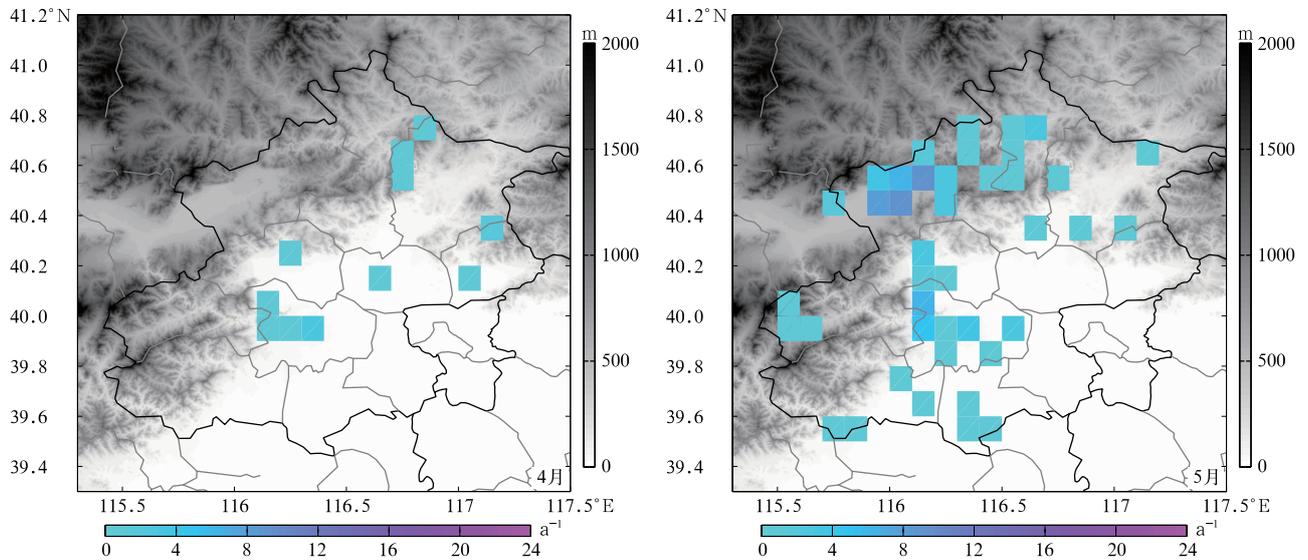
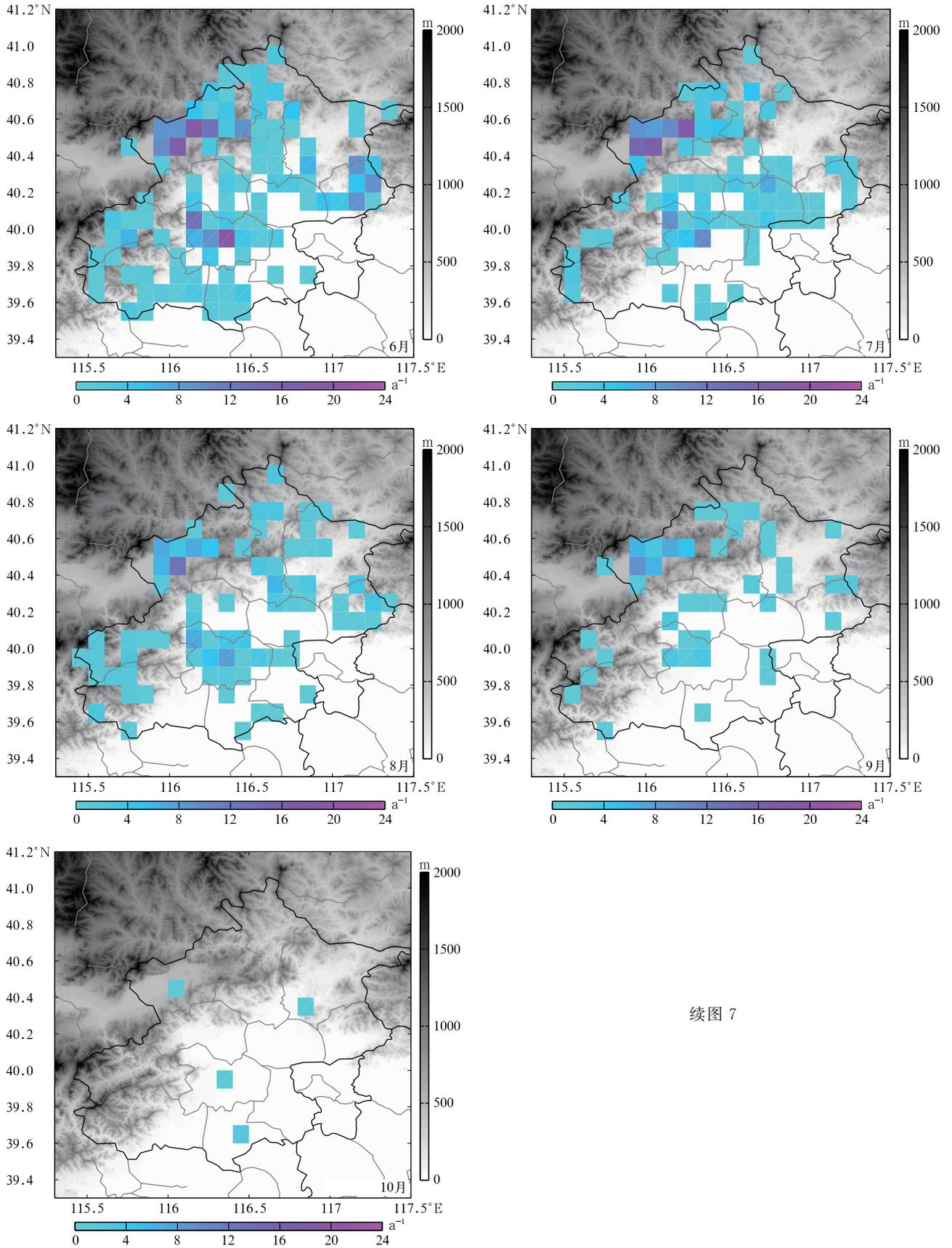


图 7 4—10 月北京地区月降雹频次分布(灰色表示地形高度)

Fig. 7 Monthly cumulative hail frequency distribution in Beijing from Apr to Oct(the grey denotes the altitude)



续图 7

10月降雹范围和降雹频次均逐步减小。总体来看，

月降雹的分布范围和频次数均呈现明显的先增加后

减小的特征,降雹高频次区域为延庆区域,主城区西北部也相对较高。

4 结论和讨论

本文通过分析北京冰雹灾情信息资料,得到以下结论:

1) 降雹日数和频次均在1981—1990年达到高值,其后总体缓慢减小。2011年起又出现明显增加趋势。年平均最大冰雹直径1981—1995年总体呈增加趋势,2002年开始总体较小。

2) 降雹日数的年变化呈明显的单峰型,从4月起降雹日数逐渐增加并在6月达到峰值,其后缓慢下降。2011—2017年的年平均月降雹日数均高于其他时段,2001—2010年各月平均降雹日数总体偏低。各月最大冰雹直径差异不明显,从各年代的差异看,1981—1990年呈先增后减特征,而1991—2000年月平均最大冰雹直径总体较大。

3) 北京地区属于午后多雹型。1981—1990年和1991—2000年冰雹频次日变化的单峰特征十分明显,2001—2010年各时段降雹日数均偏少,而2011—2017年14:00—21:00的降雹日数变化不大,远高于1991—2000年和2001—2010年,且夜间降雹日数也相比往年有所增加。午后到傍晚的冰雹直径总体较大,其他时段总体较小。

4) 降雹频次空间分布从1981—1990年的最高值到1991—2000年和2001—2010年逐步减小,2011—2017年有所回升。1981—2010年降雹主要发生在延庆地区和主城区西北部的海淀地区,而2011—2017年,降雹范围明显增大,同时降雹分布也由相对集中变为相对均匀。各月降雹的分布范围和频次均呈现明显的先增加后减小的特征,降雹高频次区域为延庆区域,城区西北部也相对较高。

尽管气象信息员的行政村覆盖率一直保持很高水平,行政村分布位置基本固定,但不可否认观测员人数和生活的空间分布变化必然会对研究结果造成影响。气溶胶通过直接和间接效应影响着云、天气和气候。过去40年华北区域人类排放气溶胶特征存在显著变化,这必然导致冰雹云和冰雹变化。环境条件的变化也是导致冰雹变化的重要因素,与冰雹产生有关的环境条件有对流有效位能、0~6 km垂直风切变、0℃层高度和冰雹增长层厚度等,这些物理量也会随着气候环境的变化而变化。在后续工

作中,重点将冰雹灾情信息资料与其他资料相结合,对影响降雹时空分布变化的原因进行深入分析。人工影响天气作业的频次和空间分布变化,必然与降雹密切相关。20世纪80年代以来,北京市人工影响天气办公室先后在怀柔、密云、延庆、平谷、海淀等区开展了高炮防雹作业,而近年来随着城市化进程的加快,远郊区县的下垫面发生着巨大的变化,使北京市防雹作业点的安全射界逐年缩小;加之北京作为超大型城市航班越来越密集使作业的空域越来越少,共同导致近年来防雹作业的频次和作业点分布发生变化,这可能使近年来北京地区尤其北京城区降雹频次呈增加趋势。

致 谢:灾情信息来源于北京市气象信息员收集,各区气象台汇总上报,北京市人工影响天气办公室值班员记录,感谢大家的辛勤工作。感谢中国气象科学研究院胡志晋研究员和北京大学赵春生教授的悉心指导以及中国气象科学研究院李明鑫助理研究员的交流讨论。

参 考 文 献

- [1] Punge H J, Kunz M. Hail observations and hailstorm characteristics in Europe: A review. *Atmos Res*, 2016, 176: 159-184.
- [2] Prohaska K. Über Gewitter und Hagelschläge in Steiermark, Kärnten und Oberkrain. *Mitt Nat Ver Steiermark*, 1902, 38: 49-84.
- [3] Müller W. Hail Climatology in Stuttgart Area // Proceedings of the 2nd Int Symp on Hail Suppression. 1987.
- [4] Berthet C, Dessens J, Sanchez J L. Regional and yearly variations of hail frequency and intensity in France. *Atmos Res*, 2011, 100: 391-400.
- [5] Cintineo J L, Smith T M, Lakshmanan V, et al. An objective high-resolution hail climatology of the Contiguous United States. *Wea Forecasting*, 2012, 27: 1235-1248.
- [6] Suwala K, Bednorz E. Climatology of hail in Central Europe. *Quaestiones Geographicae*, 2013, 32: 99-110.
- [7] Frisby E M, Sansom H W. Hail incidence in the tropics. *J Appl Meteor*, 1967, 6(2): 339-354.
- [8] Tuovinen J P, Punkka A J, Rauhala J, et al. Climatology of severe hail in Finland: 1930—2006. *Mon Wea Rev*, 2009, 137: 2238-2249.
- [9] Dotzek N, Groenemeijer P, Feuerstein B, et al. Overview of ES-SL's severe convective storms research using the European Severe Weather Database ESWD. *Atmos Res*, 2009, 93: 575-586.
- [10] 刘全根, 汤懋苍. 中国降雹的气候特征. *地理学报*, 1966, 32(1): 48-65.
- [11] 张芳华, 高辉. 中国冰雹日数的时空分布特征. *南京气象学院学报*, 2008, 31(5): 687-693.
- [12] 曹治强, 王新泉. 与强对流相联系的云系特征和天气背景. 应

- 用气象学报,2013,24(3):365-372.
- [13] Li M,Zhang Q,Zhang F. Hail day frequency trends and associated atmospheric circulation patterns over China during 1960-2012. *J Climate*,2016,29:7027-7044.
- [14] Zhang Q,Ni X,Zhang F. Decreasing trend in severe weather occurrence over China during the past 50 years. *Scientific Reports*,2017,7:42310.
- [15] Ni X,Zhang Q,Liu C,et al. Decreased hail size in China since 1980. *Scientific Reports*,2017,7:10913.
- [16] Li M,Zhang D L,Sun J,et al. A statistical analysis of hail events and their environmental conditions in China during 2008-2015. *J Applied Meteor Climatol*,2018,57:2817-2833.
- [17] 赵燕生. 江苏省冰雹天气气候分析. 气象科学,1982,2(增刊D):140-146.
- [18] 李英,段旭. 湿位涡在云南冰雹天气分析中的应用. 应用气象学报,2000,11(2):242-248.
- [19] 纪晓玲,马筛艳,丁永红,等. 宁夏40年灾害性冰雹天气分析. 自然灾害学报,2007,16(3):24-28.
- [20] 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. 应用气象学报,2008,19(5):627-634.
- [21] 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. 自然灾害学报,2009,18(4):43-48.
- [22] 刘晓璐,刘建西,张世林,等. 基于探空资料因子组合分析方法的冰雹预报. 应用气象学报,2014,25(2):168-175.
- [23] 石宝灵,王红艳,刘黎平. 云南多普勒天气雷达网探测冰雹的覆盖能力. 应用气象学报,2018,29(3):16-27.
- [24] 叶彩华,姜会飞,李楠,等. 北京地区冰雹发生的时空分布特征. 中国农业大学学报,2007,12(5):34-40.
- [25] 扈海波,董鹏捷,潘进军. 基于灾损评估的北京地区冰雹灾害风险区划. 应用气象学报,2011,22(5):612-620.
- [26] 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. 气象,2012,38(2):189-196.
- [27] 张琳娜,郭锐,何娜,等. 北京地区冰雹天气特征. 气象科技,2013,41(1):114-120.
- [28] 张秉祥,李国翠,刘黎平,等. 基于模糊逻辑的冰雹天气雷达识别算法. 应用气象学报,2014,25(4):415-426.
- [29] 蓝渝,郑永光,毛冬艳,等. 华北区域冰雹天气分型及云系特征. 应用气象学报,2014,25(5):538-549.
- [30] 郑永光,周康辉,盛杰,等. 强对流天气监测预报预警技术进展. 应用气象学报,2015,26(6):641-657.
- [31] Li X,Zhang Q,Zou T,et al. Climatology of hail frequency and size in China,1980-2015. *J Applied Meteor Climatol*,2018,57:875-887.
- [32] 许焕斌,段英. 冰雹形成机制的研究并论人工雹胚与自然雹胚的“利益竞争”防雹假说. 大气科学,2001,25(2):277-288.

Characteristics of Hailstone Distribution Based on Disaster Information in Beijing from 1981 to 2017

Hu Yaqiong¹⁾²⁾³⁾ Bian Yuxuan⁴⁾ Huang Mengyu¹⁾²⁾³⁾ Ma Xincheng¹⁾²⁾³⁾

¹⁾ (*Beijing Key Laboratory of Cloud, Precipitation and Atmospheric Water Resources, Beijing 100089*)

²⁾ (*Field Experiment Base of Cloud and Precipitation Research in North China, China Meteorological Administration, Beijing 101200*)

³⁾ (*Institute of Urban Meteorology, China Meteorological Administration, Beijing 100089*)

⁴⁾ (*State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081*)

Abstract

Fine analysis on the variation of temporal and spatial distributions of hail day, frequency and size is very important for risk evaluation and hail suppression. The hailstone disaster information with high spatial resolution can be used to provide database for analyzing characteristics and patterns of hail distribution. After meshing the hailstone disaster information in Beijing into a gridded database, the following results are summarized by analyzing 1010 cases of hail disaster information in Beijing during 1981—2017. The number of annual averaged hail days during 1981—1990 is 10 days, which is relatively more than that during 1991—2000 and 2001—2010, while the number increases to 21 days from 2011 to 2017. The annual averaged maximum hail diameter increases from 1981 to 1995, and then decreases since 2002. It is significant that the monthly variation of hail days is unimodal distributed. Hail days increase gradually from April and reach the peak in June, and then decline slowly. The average monthly hail days during 2011—2017 are higher than those in other periods, and the average monthly hail days during 2001—2010 are generally low. The difference of maximum hail diameter in each month is not obvious, as far as the difference between different ages, the monthly maximum hail diameter during 1981—1990 increased first and then decreased, while the value during 1991—2000 is larger in general. Hails occur most frequently in the afternoon in Beijing. The daily variation of hail days during 1981—1990 and 1991—2000 show obvious single peak characteristics, but the frequency drops significantly from 2001 to 2010. The frequency of hails from 1400 BT to 2100 BT during 2011—2017 is stable and much higher than that in 1991—2000 and 2001—2010. At the same time, it is also observed that hails occurring at night during 2011—2017 are also higher. It is obvious that hailstorms are widely distributed in Beijing. The maximum hail frequency of horizontal distribution is the highest in 1981—1990, and then decreases gradually, but recovers during 2011—2017. During 1981—1990 and 2001—2010, the hail frequency in Yanqing District, northwest of Beijing is the highest, and Haidian District is another high hail frequency area in Beijing downtown. From 2011 to 2017, the distribution of hailstorms is relatively uniform. Combining the information of hail disaster with other related data, and causes for this spatial and temporal distribution variation will be investigated.

Key words: Beijing; disaster information; hailstone; temporal and spatial distributions