Climate Change Research Letters 气候变化研究快报, 2026, 15(6), 1146-1155
Published Online November 2026 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/ccrl
https://doi.org/10.12677/ccrl.2026.156121

北京市顺义区1960~2024年降雹特征及成因分析

贾　也[1]，翟　亮[2]，祝晓云[1]

[1]北京市顺义区气象局气象台，北京
[2]北京市气象台预报科，北京

收稿日期：2026年9月30日；录用日期：2026年10月27日；发布日期：2026年11月4日

摘　要

目的：研究顺义区降雹时空规律，揭示山区到平原过渡带的降雹特征。方法：利用多源资料，对顺义国家气象站1960~2024年241个冰雹灾情信息进行统计分析。结果：年代际变化显示，降雹日数于2005年(7 d)、2022年(8 d)出现峰值，2015年起增加趋势明显；降雹频次变化与降雹日数一致；年平均最大冰雹直径呈三峰型，峰值出现在1982、2000、2004年。季节变化上，冰雹发生于春、夏、秋三季，降雹日数呈单峰型，4月起逐月增加，6月达峰值后下降；各月最大冰雹直径无显著差异。日变化方面，降雹集中在傍晚至夜间(16:00~21:00)，中午时段最大冰雹直径总体较大。空间分布上，累计降雹频次木林最高(34次)，龙湾屯次之(20次)；2011年后各行政区降雹频次明显增多，木林、龙湾屯增幅显著，与地形、海拔密切相关。结论：顺义区降雹年代际、年、日变化特征显著，频次与强度空间分布不均且总体呈增加趋势。结果可为区域防灾减灾提供科学依据。

关键词

顺义区，冰雹，灾情信息，时空分布特征

Characteristics and Causal Analysis of Hailfall in Shunyi District, Beijing, 1960~2024

Ye Jia[1], Liang Zhai[2], Xiaoyun Zhu[1]

[1]Shunyi District Meteorological Bureau, Meteorological Observatory, Beijing
[2]Beijing Meteorological Observatory, Forecast Section, Beijing

Received: September 30, 2026; accepted: October 27, 2026; published: November 4, 2026

文章引用: 贾也, 翟亮, 祝晓云. 北京市顺义区 1960~2024 年降雹特征及成因分析[J]. 气候变化研究快报, 2026, 15(6): 1146-1155.DOI: 10.12677/ccrl.2026.156121

Abstract

This study investigates the spatiotemporal patterns of hailstorms in Shunyi District, Beijing, and characterizes hailfall in the transitional zone from mountainous areas to plains. Based on multi—source data, 241 hail disaster records from the Shunyi National Meteorological Station (1960~2024) were statistically analyzed. Interdecadal variations show that hail days peaked in 2005 (7 days) and 2022 (8 days), with a marked increasing trend since 2015. Hail frequency followed a similar pattern. The annual average maximum hailstone diameter exhibited a three—peak distribution, with maxima in 1982, 2000, and 2004. Seasonally, hailstorms occurred in spring, summer, and autumn. Hail days followed a unimodal distribution, increasing from April to a peak in June, then declining. Monthly maximum hailstone diameters showed no significant differences. Diurnally, hailstorms were most frequent from evening to night (16:00~21:00), while maximum hailstone diameters were generally larger during midday. Spatially, the highest cumulative hail frequency occurred in Mulin (34 times), followed by Longwantun (20 times). After 2011, hail frequency increased significantly across administrative areas, especially in Mulin and Longwantun, closely associated with local topography and altitude. The interdecadal, annual, and diurnal variations of hailfall in Shunyi are pronounced, with an uneven spatial distribution and an overall increasing trend in both frequency and intensity. These findings provide a scientific basis for regional disaster prevention and mitigation.

Keywords

Shunyi, Hailstone, Disaster Information, Temporal and Spatial Distribution

Copyright © 2026 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

顺义区位于华北平原与燕山山脉的交汇地带，整体地势呈现北高南低的特点。东北部以浅山丘陵为主，西南部则是首都机场所在地。受独特地形与气候条件的共同作用，该区域夏季频繁出现强对流天气，冰雹是其中最具威胁的灾害类型之一。冰雹具有局地性强、持续时间短、突发性高等特征，常伴随狂风、短时强降水和气温骤降[1]，对农业生产、林业资源、交通运输以及民众生命财产安全构成严重隐患[2]-[4]。近年来，顺义区多次出现致灾性冰雹过程。如 2022 年 6 月，高丽营、后沙峪等地出现直径 2~3 cm 的冰雹袭击，导致车辆、农作物及温室大棚遭受重大损失。因此，深入研究降雹的时空分布规律，对提升冰雹灾害防控能力和优化人工防雹作业方案具有重要意义。

目前，国内针对冰雹的研究已取得较多成果。就华北地区而言，吴占华等[5]探讨了山西省冰雹的时空演变特征，闵晶晶等[6]揭示了京津冀冰雹在多时间尺度上呈现减少趋势，孙继松等[7]指出北京的冰雹主要集中于北部山区，且高发时段为午后，这与局地热力强迫密切相关。叶彩华等[8]研究表明，北京山区的冰雹日数明显多于城区。张琳娜等[9]将北京冰雹天气归纳为东北冷涡型、蒙古低涡型和低槽型三类；其中蒙古冷涡影响下的冰雹天气分布范围广，局地性强[10]。上述研究为理解北京地区冰雹气候特征提供了重要基础。

然而，已有研究多依赖国家气象站人工测站观测数据，受站点布设位置和密度的限制，难以全面反映冰雹的局地性、小尺度特征。近年来，气象信息员队伍的建立为灾害性天气研究提供了新的数据源。

信息员上报的冰雹灾情信息空间精度高、覆盖广，弥补了传统观测资料的不足，但针对北京地区尤其是顺义区这一冰雹频发区域，鲜有研究将信息员数据与常规观测资料相融合，系统分析降雹的精细时空特征，并深入探讨其成因机制。此外，在全球气候变暖背景下，灾害性天气呈现突发、频发、极端性增强的趋势，冰雹仍是顺义区预报预警的难点，亟需基于更高分辨率数据的成因解析。

为此，本文基于 1960~2024 年顺义国家气象站、历史县志及气象信息员上报等多源冰雹灾害信息，对 241 个冰雹灾情记录进行统计分析，旨在揭示顺义区降雹的精细化时空分布特征、发生频率及其演变规律，并进一步探讨地形、热力条件及天气系统配置对降雹落区和强度的影响机制。与以往单纯依赖气象站观测的研究不同，本研究将高分辨率信息员数据与常规观测资料相融合，实现了对过渡带小尺度降雹事件的有效捕捉，并在此基础上开展成因分析。研究结果可为顺义区冰雹精细化预报预警和防灾减灾提供科学依据。

2. 资料与方法

2.1. 资料来源

本研究采用的冰雹资料由三部分组成：(1) 顺义国家气象站地面观测资料(1960~2024 年)；(2) 顺义地方志等历史文献(1960~2014 年)；(3) 顺义区气象信息员上报资料(2015~2024 年)。其中，1960~2014 年期间，仅有顺义国家气象站具备人工观测条件，各镇未设立观测点，故将地方志等历史文献中有关冰雹的记载作为补充信息纳入资料；气象站资料按《地面气象观测规范》记录，格式统一；信息员资料重点提取了降雹发生时间、地点及冰雹直径等关键信息。以发生过降雹的乡镇为基本统计单元，每个单元的单次降雹事件计为 1 点次，共获得有效降雹记录 241 点次。

2.2. 灾情资料处理方法

本研究中将单日出现 ≥ 1 个降雹点次即计为一个降雹日，当日累计点次数定义为降雹频次，空间统计以顺义区 19 个镇街行政区划为基本单元。针对灾情信息中部分冰雹直径为人工目测而非器测的情况，研究采用“尺度换算”方法，将定性描述(如山楂、黄豆粒等)转化为估算的冰雹直径。该换算体系参考虎雅琼等[11]基于北京气象信息员资料与台站观测数据建立的对应关系，并结合本区一手灾情记录进行本地化校准，形成适用于本地的冰雹直径估算标准(表 1)。

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

信息描述	估算直径/mm
乒乓球	40
核桃	40
鸽子蛋	30
鹌鹑蛋	20
山楂	20
葡萄	20
蚕豆粒	15
花生米	10
玉米粒	8
黄豆粒	5

2.3. 多源数据整合与质量控制

三种数据源的时空分辨率不同，需统一协调。气象站为单点连续观测，地方志以乡镇为单位记载，信息员资料空间精度可达村镇。本研究以目前镇街为基本空间单元，将三类降雹事件统一归并，同一镇街同日多源记录合并为 1 个降雹日，但保留各自点次以避免重复计数。2015~2024 年重叠期优先采用信息员详细记录，并用气象站观测资料校验。最终形成统一时空基准的降雹数据集。

目测描述(如“乒乓球”“黄豆粒”)需转换为标准直径。参考虎雅琼等[11]的对应关系，并利用顺义区 2015~2024 年 176 条同时含目测描述与实测直径的记录进行本地化校准，形成估算标准(表 1)，不确定性主要来自目测主观性。

对信息员上报数据进行筛选，剔除以下记录：① 仅有日期地点、无法确认具体时间的；② 地点无法查证的；③ 缺少冰雹直径的。

3. 顺义区降雹年代际变化特征

3.1. 降雹日数

1960~2024 年顺义区降雹统计结果(图 1(a))，该地区降雹日数与频次均表现出明显的年际波动特征。2005 年出现一次较高峰值，2015 年以后呈现显著增加趋势，2022 年再次达到峰值。1960 年 9 月至 2024 年 7 月顺义区累计发生降雹日数为 96 d，累计降雹次数为 241 次。年平均降雹日数为 2.4 d，年平均降雹次数为 6.0 次，其中 2022 年降雹日数最多为 8 d，年降雹次数也最高为 29 次。这反映出，在顺义区当有强对流天气出现时，降雹可能单日内会多地出现。

3.2. 降雹频次

顺义区降雹频次与降雹日数年代际变化趋势高度一致的变化特征(图 1(b))。按年代统计降雹频次，1960~1970 年和 1971~1980 年均较小，累计降雹日数分别仅为 6 d 和 5 d，累计降雹次数分别为 7 次和 9 次；2011~2020 年和 2021~2024 年降雹次数达峰值，累计降雹日数分别为 34 d 和 21 d，累计降雹频次为 95 次和 84 次。这一变化规律与虎雅琼等[11]对北京地区的分析结果一致。

3.3. 冰雹大小

冰雹的强度可通过其直径来反映。(图 1(c))给出了各点次的最大冰雹直径数据统计了年平均最大冰雹直径的年际变化，可见，历史最大冰雹直径 60.00 mm (2000 年 5 月 17 日木林、2005 年 7 月 9 日北石槽)，多年(1960~2024 年，下同)平均最大冰雹直径为 12.42 mm。年平均最大冰雹直径变化趋势异于降雹日数与频次，呈现出三峰值特点，分别在 1982 年 38.33 mm、2000 年 34.25 mm、2004 年 40.00 mm。2012~2024 年最大冰雹直径变化趋势相对平缓。从各年代对比来看(图略)，1960~1970 年和 2021~2024 年年平均最大冰雹直径的平均值接近，分别为 12.47 mm 和 12.50 mm；1971~1980 年的平均值总体偏小，为 9.67 mm；1981~1990 年(10.48 mm)和 2011~2020 年(11.01 mm)年的平均值相近；而 1991~2000 年(15.21 mm)和 2001~2010 年(16.15 mm)年平均最大冰雹直径明显偏大。

4. 顺义区降雹年变化

4.1. 降雹日数

基于顺义区 1960~2024 年逐月降雹日数统计结果，冰雹天气表现出显著的季节性差异(图 2(a))。从历年降雹日数分布看，冰雹天气发生在春、夏、秋三季。春季(3~5 月)累计降雹 16 d，占比 16.67%；夏季(6~8 月)累计降雹 67 d，占比 69.79%；秋季(9~10 月)累计降雹 13 d，占比 13.54%。逐月变化显示，降雹

日数呈现明显单峰型分布：自 4 月起逐渐上升，6 月达到最高峰(33 d，占 34.38%)，之后逐步回落，10 月仅有 2 d(占 2.08%)。从不同年代各月累计降雹日数看，除 1991~2000 年峰值出现在 8 月(4 d)外，其余年代峰值均出现在 6 月。2011~2020 年各月降雹日数普遍高于其他年代同期，而 1991~2000 年则总体偏低。各月累计降雹频次的变化趋势与降雹日数基本一致。

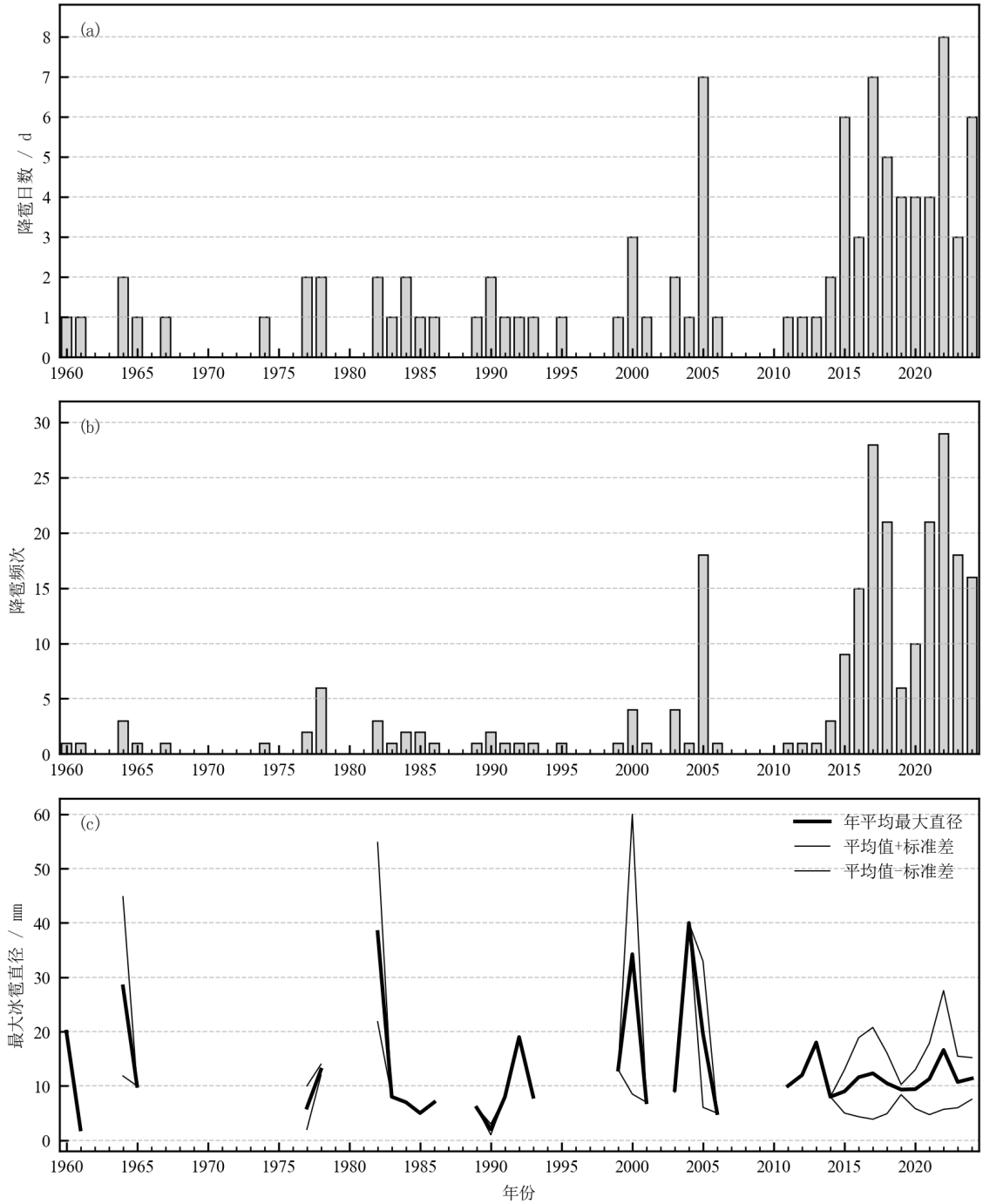


Figure 1. Interannual variations of mean maximum hail days(a), hail frequency (b) and hail diameter (the thick line is the mean and the thin line is the mean plus or minus standard deviation) (c)
图 1. 降雹日数(a)、降雹频次(b)和平均最大冰雹直径(粗实线为平均值，细实线为平均值 ± 标准差) (c)年代际变化

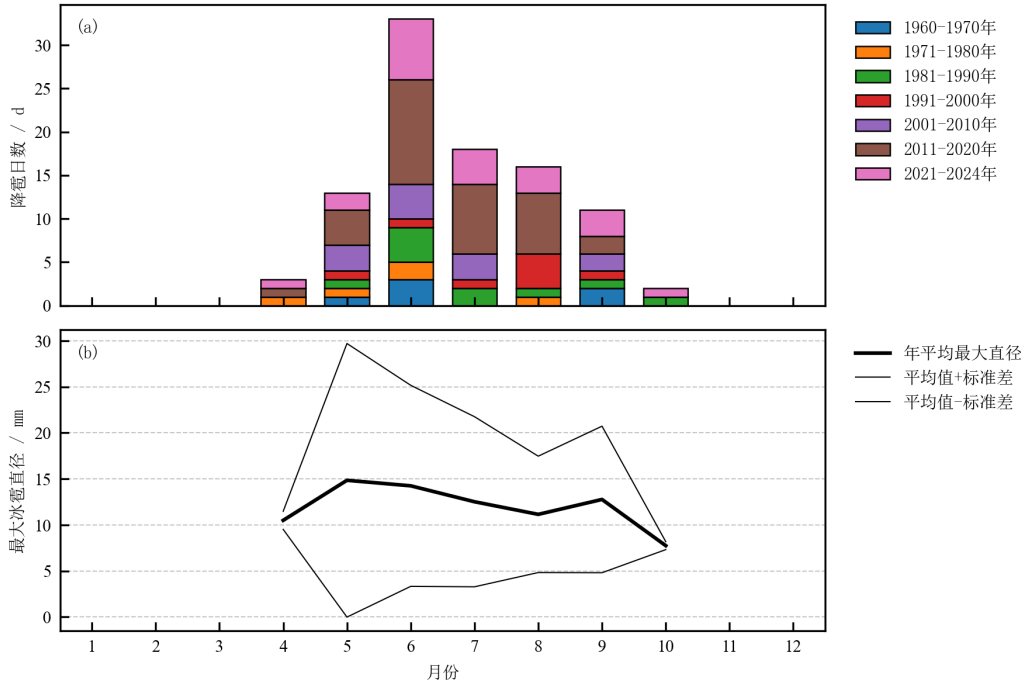


Figure 2. The annual variation of maximum hail days (a) and hail diameter (the thick line is the mean, and the thin line is the mean plus or minus standard deviation) (b)
图 2. 降雹日数(a)和平均最大冰雹直径(粗实线为平均值，细实线为平均值 ± 标准差) (b)的年变化

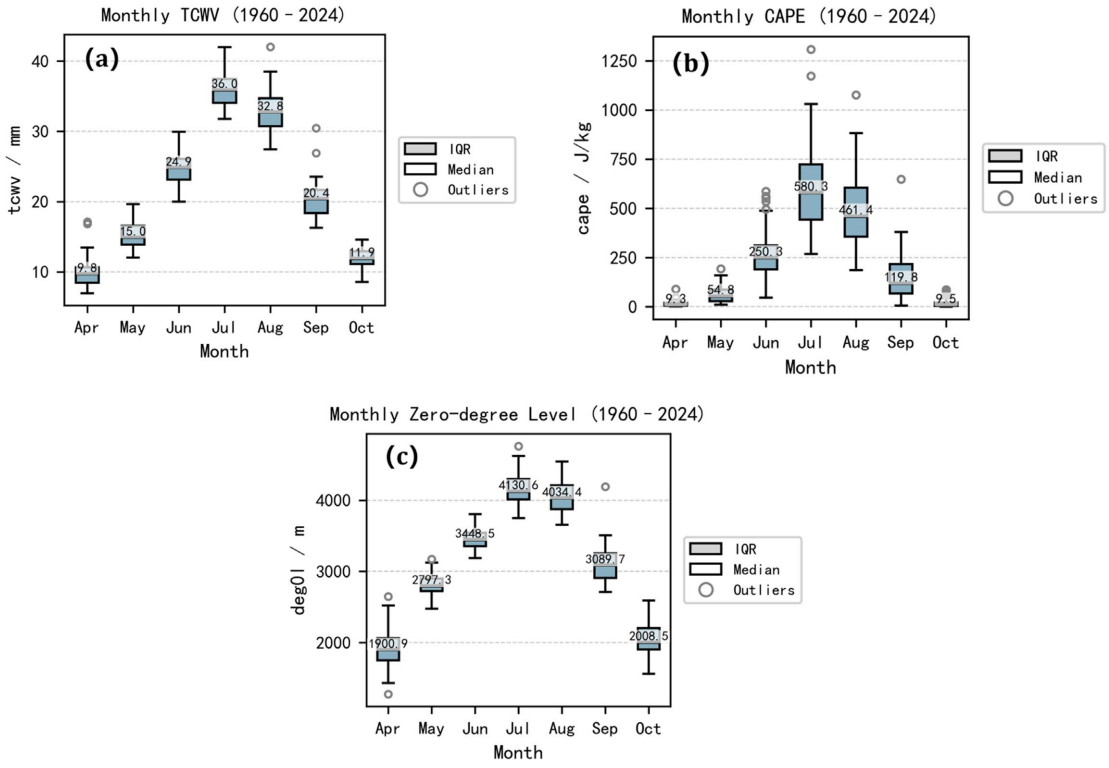


Figure 3. Box-plots of total column water vapor (a), convective available potential energy (b), and 0℃ layer height (c) from April to October
图 3. 4~10 月总水汽含量(a)、对流有效位能(b)和 0℃层高度箱线图(c)

再分析资料显示(图 3)，1960~2024 年 4~10 月总水汽含量(TCWV)、对流有效位能(CAPE)在 6 月起明显上升，9 月起明显下降，表明春末夏初水汽和热力不稳定条件增强，加之过渡季节冷暖空气交汇频繁，导致降雹日数在 6 月达到峰值。9 月以后，随着西太平洋副热带高压东退和太阳辐射减弱，暖湿条件变差，大气层结逐渐趋于稳定，冰雹天气迅速减少[11]。同时 0℃层高度在 6 月升至 3500 m，6~8 月均在 3500~4000 m 上下，这与已有研究指出的适宜冰雹发生的 0℃层高度(3000~4500 m)一致[9] [12] [13]，有利于冰雹的形成。

4.2. 冰雹大小

从多年平均的月最大冰雹直径看(图 2(b))，各月之间差异不显著，整体呈双峰型，第一个峰值出现在 5~6 月，其中 5 月的平均直径最大，为 14.85 mm，第二个峰值出现在 9 月。10 月最小，为 7.75 mm，4~9 月的直径波动较小，为 12.67 mm。从年代变化看(图略)，1960~1970 年和 1981~1990 年呈现先升后降的趋势；1971~1980 年、2011~2020 年及 2021~2024 年与多年平均值接近，各月差异不大；1991~2000 年和 2001~2010 年则表现为逐渐减小的特征，峰值均出现在 5 月，平均最大冰雹直径的月平均值分别为 60 mm 和 24.25 mm。

5. 顺义区降雹日变化

5.1. 降雹日数

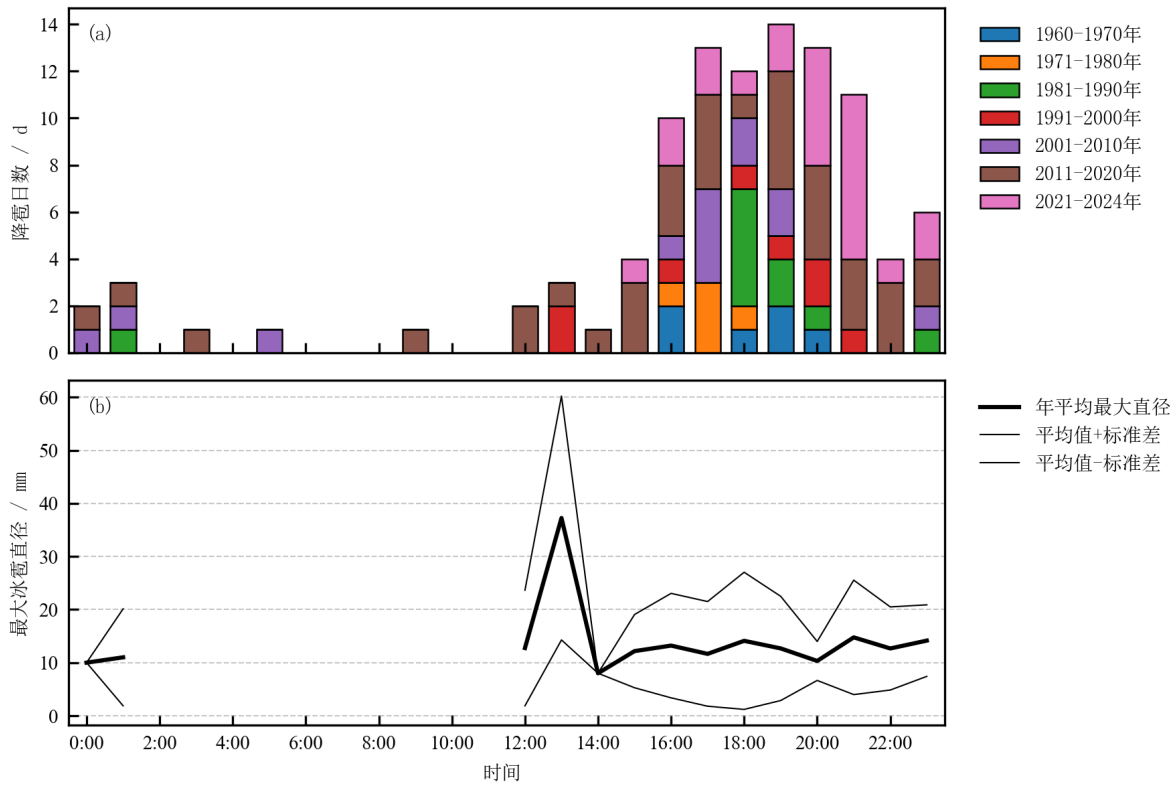


Figure 4. Diurnal variations of maximum hail days (a) and hail diameter (the thick line is the mean, and the thin line is the mean plus or minus standard deviation) (b)
图 4. 降雹日数(a)和平均最大冰雹直径(粗实线为平均值，细实线为平均值 ± 标准差) (b)的日变化

各年代的降雹日变化特征较为相似(图 4(a))，降雹多集中在傍晚至夜间，以 16:00~21:00 出现概率最

高，02:00~11:00 出现概率最低，仅记录 3 d，占总数的 3.13%。从年代间差异看，2021~2024 年和 1981~1990 年单峰特征明显，峰值分别出现在 21:00 (7 d)和 18:00 (5 d)；1991~2000 年、1971~1980 年和 1960~1970 年各时段降雹日数均较少；2001~2010 年和 2011~2020 年期间，16:00~21:00 时段降雹日数变化幅度不大。

冰雹天气在傍晚至夜间较为集中，这与京津冀地区午后到傍晚强对流天气频发的气候特点相一致[14]。其主要原因在于午后气温上升促进热对流发展，大气不稳定能量随之增强[15]。

5.2. 冰雹大小

从冰雹最大直径的日变化(图 4(b))看，最大冰雹直径个例主要集中在 12:00 (北京时间，下同)~次日 01:00，同时也是最大冰雹直径的平均直径大于 10 mm 出现最多时段，其中，中午时段的冰雹直径总体较大，其他时段较为平均。

6. 顺义区累计降雹频次分布

从空间分布看(图 5)，顺义区降雹频次呈现出显著的地域差异。其中，木林的累计降雹频次最高，达到 34 次；龙湾屯次之，为 20 次；此外，杨镇(15 次)、高丽营(12 次)、南彩(12 次)、牛栏山(12 次)等地也属于相对高发区。2011 年以后，各行政区的降雹频次均显著上升，其中以木林、龙湾屯等东北部浅山丘陵地带增幅最为突出。

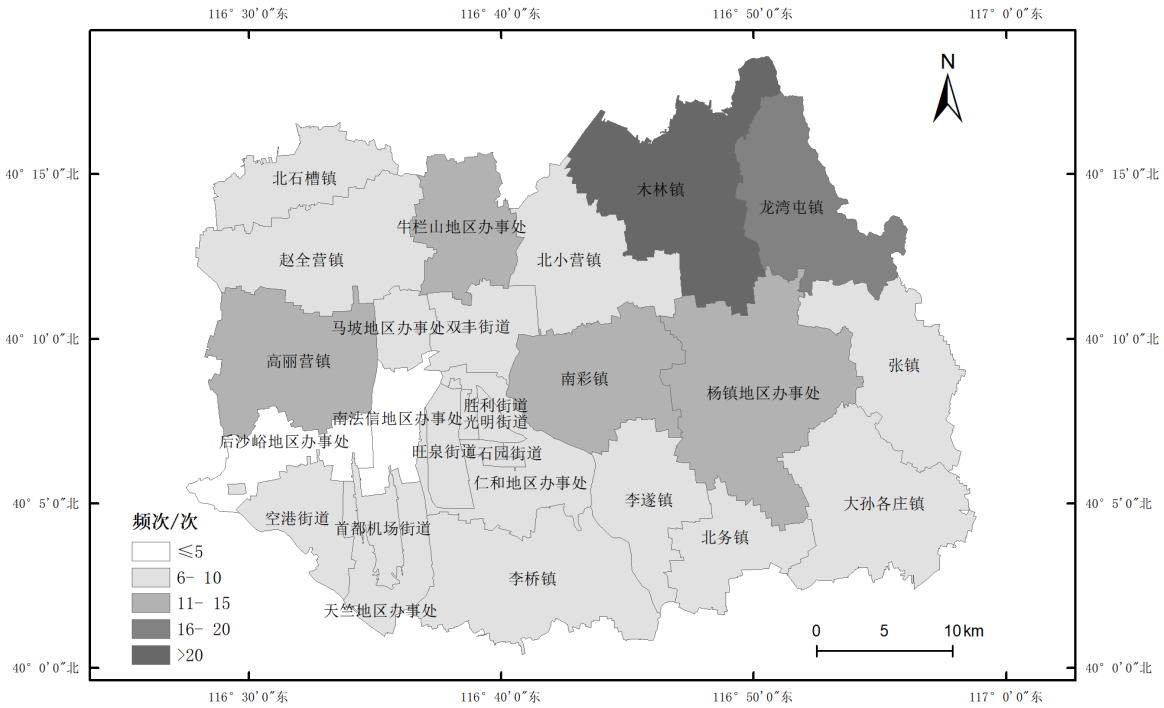


Figure 5. Spatial distribution of hail frequency in Shunyi district, 1960~2024
图 5. 1960~2024 年顺义区降雹频次空间分布图

造成这种分布特征的原因与顺义区特殊的地形条件密切相关。顺义区位于华北平原与燕山山脉的过渡带，东北部为燕山余脉形成的浅山丘陵区。根据孙继松等[7]的研究，午后在晴朗天气条件下，山区与平原地区受热不均会形成强烈的热力差异。一方面，山区的实际气温在“焚风效应”等因素作用下可能接近甚至高于平原地区，为对流发展提供了更有利的热力不稳定条件。另一方面，由山区指向平原的扰

动温度梯度成为低空垂直风切变的强迫源–扰动温度梯度越大，低空垂直切变越强，即动力不稳定越强。因此，对流最旺盛、最易形成降雹的地点往往出现在扰动温度梯度最大的区域，而非气温最高的地方。

与此同时，当低空偏南气流吹向燕山南坡时，迎风坡的强迫抬升作用产生上升运动。地形热力环流与动力强迫共同构成的上升运动，为强对流的启动提供了触发机制。木林、龙湾屯等地恰好位于这一浅山丘陵的迎风坡一带，同时处于山区与平原之间的温度梯度最大区域，因此成为顺义区降雹频次最高的地点。当对流云随着环境气流向平原地区移动时，由于平原地区热力与动力条件减弱，对流强度逐渐降低，降雹过程往往转变为降雨过程。

7. 结论

本文基于顺义区 1960~2024 年 4~9 月的 241 个冰雹灾情资料，对降雹日数、降雹频次及最大冰雹直径等指标的时空变化特征进行了分析，主要结论如下：

(1) 降雹日数与降雹频次的变化趋势基本一致，2005 年出现一个较高峰值，2015 年起呈现显著上升态势，2022 年达到又一峰值(8 d，29 次)。年平均最大冰雹直径变化趋势与前两者不同，呈三峰型分布，峰值分别出现在 1982 年(38.33 mm)、2000 年(34.25 mm)和 2004 年(40.00 mm)，2012 年后变化趋于平缓。观测记录中最大冰雹直径为 60.00 mm (2000 年木林镇、2005 年北石槽镇)。

(2) 冰雹天气主要发生在春、夏、秋三季。降雹日数年变化呈明显单峰型，4 月起逐步增多，6 月达到峰值(33 d，占 34.38%)，之后缓慢回落。各月之间的最大冰雹直径差异不显著。成因上，春末夏初水汽含量和对流有效位能(CAPE)上升，加之 0℃层高度升至 3500~4000 m，为冰雹形成提供了有利条件。9 月后随西太平洋副热带高压东退和太阳辐射减弱，降雹迅速减少。

(3) 顺义降雹时段集中在傍晚到夜间，以 16:00~21:00 出现概率最高，02:00~11:00 出现概率最低。2021~2024 年与 1981~1990 年单峰形态最为突出；峰值分别出现在 21:00 和 18:00。最大冰雹直径在中午时段普遍偏大，其他时段分布较均匀。这一日变化特征与午后气温升高促进热对流发展、大气不稳定能量增强密切相关。

(4) 空间分布上，降雹频次自东北向西南递减，高值区集中在东北部浅山丘陵一带：木林累计频次最高(34 次)，龙湾屯次之(20 次)，杨镇(15 次)、高丽营(12 次)、南彩(12 次)、牛栏山(12 次)等镇也属相对高发区。2011 年后各行政区降雹频次均显著上升，其中木林、龙湾屯浅山地带增幅最为突出。上述分布特征与地形热力作用密切相关，木林、龙湾屯等地位于燕山南坡浅山丘陵迎风坡，午后山区~平原热力差异形成的扰动温度梯度与迎风坡强迫抬升共同作用，使其成为顺义区降雹频次最高地带。

8. 讨论

8.1. 与已有研究的对比

本文揭示的降雹季节变化和日变化特征与虎雅琼等对北京地区的分析结果高度一致：均表现为 6 月峰值、午后至傍晚高发。这表明顺义区作为北京的一部分，其降雹气候特征与全市整体规律相符。空间分布上，本文发现的高频区(木林、龙湾屯)位于燕山南坡浅山丘陵迎风坡，与孙继松等提出的地形热力动力强迫机制相吻合，即午后山区–平原热力差异形成的扰动温度梯度与迎风坡强迫抬升共同作用，使过渡带成为降雹高发区。本文进一步将这一机制具体到顺义区的镇街尺度，补充了区域细节。

在年际变化趋势上，本文结果与部分研究存在差异。闵晶晶等指出近 30 年京津冀地区冰雹呈减少趋势，而顺义区在 2015 年后降雹频次显著上升。这种差异可能源于两方面：一是观测能力提升，2015 年北京市气象信息员队伍组建，使小尺度降雹事件被更多记录，导致统计频次增加；二是局地气候背景，顺义区位于山区–平原过渡带，受气候变化影响较明显。此外，本文最大冰雹直径的三峰型分布(1982、2000、

2004 年)与北京整体趋势(虎雅琼等发现 1981~1995 年增加、2002 年后减小)并不完全一致，可能与局地强对流天气系统的年际差异有关，需结合天气型分类进一步分析。

8.2. 研究局限性与未来研究方向

本研究存在以下局限：第一，数据源不一致。1960~2014 年仅依赖气象站和地方志，2015 年后引入信息员资料，前后期观测能力差异可能影响趋势判断，2015 年后的“急剧增加”部分可能源于观测能力提升而非纯气候信号。第二，冰雹直径多为目测估算，虽经本地化校准，但主观误差仍难以完全消除。第三，成因分析主要基于 ERA5 再分析资料的统计诊断，缺乏雷达、探空等直接观测验证，对冰雹云微物理过程和动力触发机制的认识仍较粗浅。第四，未区分不同天气型(东北冷涡、蒙古低涡、低槽型)对降雹特征的影响，可能掩盖了不同系统下的差异。

针对上述局限，未来工作可从以下方面深入：(1) 利用雷达资料反演冰雹云微物理特征(如冰水含量、强回波顶高度、VIL 等)，结合地面降雹记录，建立顺义区冰雹云识别指标，并探讨不同天气型下的差异。(2) 融合更多历史资料(如保险理赔、农业灾情记录等)，延长信息员数据序列，减少观测能力变化对趋势分析的干扰。(3) 将顺义区结果与怀柔、密云、平谷等周边区县进行对比，检验山区－平原过渡带降雹特征的普适性。上述工作将有助于更全面地理解顺义区降雹规律，并为精细化预报预警提供科技支撑。

参考文献

[1] 鲁德金, 陈钟荣, 袁野, 等. 安徽地区春夏季冰雹云雷达回波特征分析[J]. 气象, 2015, 41(9): 1104-1110.

[2] 王文宇, 王静爱. 基于三种信息源的中国冰雹灾害区域分异研究[J]. 地理研究, 2001, 20(3): 380-387.

[3] 中国气象局. 中国气象灾害年鉴. [M]. 北京: 气象出版社, 2008: 198.

[4] 赵金涛, 岳耀杰, 王静爱, 等. 1950-2009 年中国大陆地区冰雹灾害的时空格局分析[J]. 中国农业气象, 2015, 36(1): 83-92.

[5] 吴占华, 窦利军, 李瑞芳, 等. 山西省冰雹天气变化的气候特征分析[J]. 中国农学通报, 2015, 31(29): 212-220.

[6] 闵晶晶, 曹晓钟, 段宇辉, 等. 近 30 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.

[7] 孙继松, 石增云, 王令. 地形对夏季冰雹事件时空分布的影响研究[J]. 气候与环境研究, 2006, 11(1): 76-84.

[8] 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.

[9] 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.

[10] 王在文, 郑永光, 刘还珠, 等. 蒙古冷涡影响下的北京降雹天气特征分析[J]. 高原气象, 2010, 29(3): 763-776.

[11] 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.

[12] 雷蕾, 孙继松, 魏东. 利用探空资料判别北京地区夏季强对流的天气类别[J]. 气象, 2011, 37(02): 136-141.

[13] 魏东, 孙继松, 雷蕾, 等. 三种探空资料在各类强对流天气中的应用对比分析[J]. 气象, 2011, 37(4): 412-422.

[14] 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.

[15] 马俊岭, 何娜, 屈巍, 等. 近 10a 房山区暖季强对流天气特征分析[J]. 山地气象学报, 2024, 48(4): 10-16.