

扬州市冰雹时空分布特征及预报指标分析

仇丹妮^{1*}, 汪婵娟¹, 迟静²

¹扬州市气象局, 江苏 扬州

²威海市气象局, 山东 威海

收稿日期: 2023年8月18日; 录用日期: 2023年9月15日; 发布日期: 2023年9月25日

摘要

利用1992~2022年扬州市冰雹灾情和常规观测资料, 统计分析了扬州市冰雹的时空分布特征、天气形势特征和环境场特征等。结果表明: 扬州市冰雹次数的年际变化总体呈下降趋势; 月降雹数呈“单峰型”, 峰值为7月; 冰雹分布南多北少, 降雹局地性明显; 11~19时为主要降雹时段, 占总频次近75%。扬州市易产生冰雹的天气形势主要分为沿海低槽、高空冷涡、槽前西南气流和低层辐合型。另外, 筛选得出适合扬州市的8种预报指标特征, 并针对不同季节和天气形势细化指标值域, 为扬州市冰雹天气潜势预报提供参考。

关键词

冰雹, 扬州, 时空分布, 冰雹天气形势, 降雹指标

Temporal and Spatial Distribution Characteristics and Forecasting Indexes Analysis of Hail in Yangzhou

Danni Qiu^{1*}, Chanjuan Wang¹, Jing Chi²

¹Yangzhou Meteorological Bureau, Yangzhou Jiangsu

²Weihai Meteorological Bureau, Weihai Shandong

Received: Aug. 18th, 2023; accepted: Sep. 15th, 2023; published: Sep. 25th, 2023

Abstract

Based on the hail disaster and conventional observation data in Yangzhou from 1992 to 2022, the

*通讯作者。

spatial-temporal distribution, weather situation and environmental field characteristics of hail are analyzed. The results show that the annual feature presents a downward trend generally. The monthly distribution of hail frequency shows a “single peak” pattern, with a peak in July. Hail is distributed more in the south and less in the north, with obvious local characteristics. The main hail period is from 11:00 to 19:00, accounting for nearly 75%. The weather patterns that are prone to hail are mainly divided into coastal low trough, high-altitude cold vortex, southwest flow in front of trough, and low-altitude convergence types. In addition, electing 8 forecasting indexes and refined based to season and weather situations, thus providing reference for hail weather potential forecast in Yangzhou.

Keywords

Hail, Yangzhou, Spatiotemporal Distribution, Hail Weather Situation, Hail Index

Copyright © 2023 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

冰雹是扬州市重要灾害性天气之一，其突发性强、局地性强、持续时间短，常伴有大风和强降水，对农牧业生产和人民生命财产等产生众多不利影响。冰雹也是扬州市常见的强对流天气类型之一，对居民生产生活、城市交通、农业方面有着较高敏感度。在此背景下，给本地冰雹预报提出了更高要求。

近年来，很多学者对江苏省冰雹的气候特征，时空分布等进行了研究，取得了明显的进展[1] [2] [3]；研究表明江苏降雹的天气形势有 4 种主要类型[4]；张礼宝等认为沙氏指数、0℃层、-20℃层高度等对冰雹的发生具有很好的指示性[5]；徐芬等对江苏沿江地区一次强冰雹天气分析发现高 CAPE 值、逆温层、较强的深层垂直风切变及低层适当水汽条件有利于强冰雹天气的发生[6]。

冰雹地域性特点强，特征空间尺度小，为加强扬州市冰雹天气的分析研究，本文利用 1992~2022 年扬州市冰雹灾情和常规气象观测资料，分析了扬州市冰雹发生的时空分布特征、天气形势特征和环境场特征，建立适宜本地的冰雹预报指标，以期对扬州市冰雹预报提供参考。

2. 资料方法

采用 1992~2022 年 MICAPS 常规观测资料和南京站探空资料。冰雹实况取自扬州市气候公报、江苏省灾调系统所记载的全市 6 个区县降雹资料。

资料统计规定，某站在某日观测记录有冰雹，不论时间长短，都记为一个冰雹日。某时某地出现冰雹计降雹数 1 次，同一时间其他地方出现降雹将作为新降雹次数计入。统计得到 116 次冰雹天气过程，69 个降雹日。另外，通过统计扬州入春、入夏和入秋时间，定义 3~5 月为扬州气象意义上的春季，6~9 月为夏季。

3. 扬州市冰雹的时空分布特征

3.1. 年变化特征

分析 1992~2022 年冰雹时间序列(图 1(a))得出，扬州市冰雹年际变化差异较大，其中 2020 年发生冰雹次数异常偏多，如果我们将其剔除(图 1(b))，回归系数变为-0.20，复相关系数增大至 0.36，超过了 0.01

的显著性检验, 即 1992~2022 年扬州市冰雹天气发生次数呈明显的下降趋势。另外, 1992~2009 年间每年都有冰雹发生, 平均每年发生冰雹 4.44 次, 占 31 年总冰雹次数的 86%, 2010~2022 年间只有 5 年发生过冰雹, 其中 2020 年发生冰雹 23 次, 异常偏多, 其余 4 年平均每年发生冰雹 1.75 次, 与 1992~2009 年相比, 年均降雹次数明显降低。这一统计对今后扬州市冰雹的气候趋势预测具有一定意义。

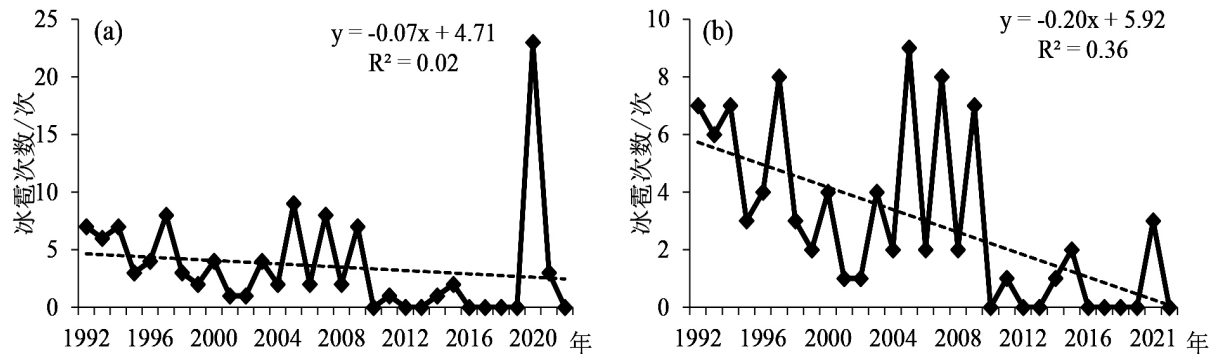


Figure 1. (a) Yearly hail time distributions in Yangzhou from 1992 to 2022, (b) Except 2020
图 1. (a) 1992~2022 年扬州市逐年冰雹时间分布, (b) 不包含 2020 年

3.2. 月变化特征

扬州市月冰雹日数呈明显的“单峰型”分布(表 1), 3~7 月冰雹日逐月增多, 7 月达到峰值 17 天, 之后逐月明显减少, 9 月份仅为 2 天, 10 月至次年 2 月, 仅出现过一次冰雹, 为 1996 年 12 月 31 日。总体而言, 扬州市冰雹主要发生在每年 3~9 月, 即春夏季, 其中 5~8 月为冰雹多发期, 占全年冰雹总日数的 82%, 说明冰雹的产生与环境温度有关。

Table 1. Monthly hail days and hail frequency in Yangzhou from 1992 to 2022
表 1. 1992~2022 年扬州市各月冰雹日数与冰雹发生频率

月份	冰雹日数/天	冰雹发生频率
3	3	4.3
4	7	10.1
5	14	20.2
6	16	23.2
7	17	24.7
8	9	13.1
9	2	2.9
12	1	1.5

3.3. 日变化特征

定义冰雹开始时间即为冰雹发生时间, 从 1992~2022 年扬州市冰雹发生时间占比序列图可知(图 2), 冰雹主要出现在 11~19 时, 占总降雹数的 74.2%; 7~8 时未出现过冰雹; 8~11 时为降雹极少时段, 仅占总降雹数的 6.6%。降雹总体特征为白天多于夜晚、下午多于上午, 这主要是由形成冰雹的热力条件所决定, 下午地面辐射和太阳直接辐射共同作用, 低层大气迅速增温, 不稳定能量得到积累, 致使近地层大气极不稳定, 只要有中小尺度系统触发, 冰雹天气就极易发生[7]。可见, 太阳辐射通过下垫面对边界层

的增热作用，是导致冰雹天气发生的重要热力因素。因此午后到傍晚时段，应加强对冰雹天气可能性的监测。

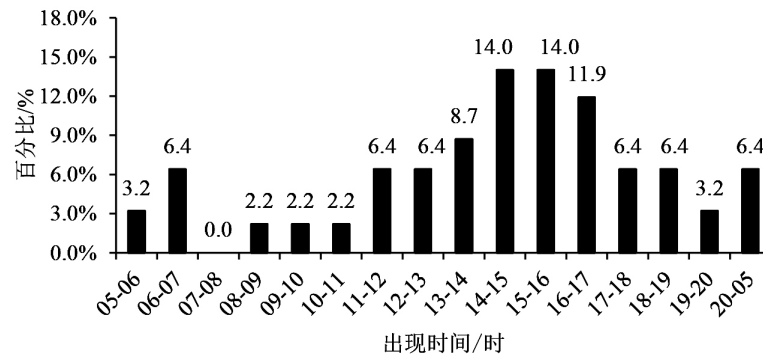


Figure 2. Percentage sequence of hail occurrence periods in Yangzhou from 1992 to 2022

图 2. 1992~2022 年扬州市冰雹发生时段百分比序列

3.4. 空间分布特征

扬州市 1992~2022 年出现冰雹总次数为 116 次，落区分布呈南多北少(图 3)，其中江都区最多，达 31 次，占总冰雹频次的 26.7%；高邮市第二，占 22.4%；广陵区占 17.2%；仪征市占 16.4%；宝应县占 13.8%；邗江区占 3.5%。

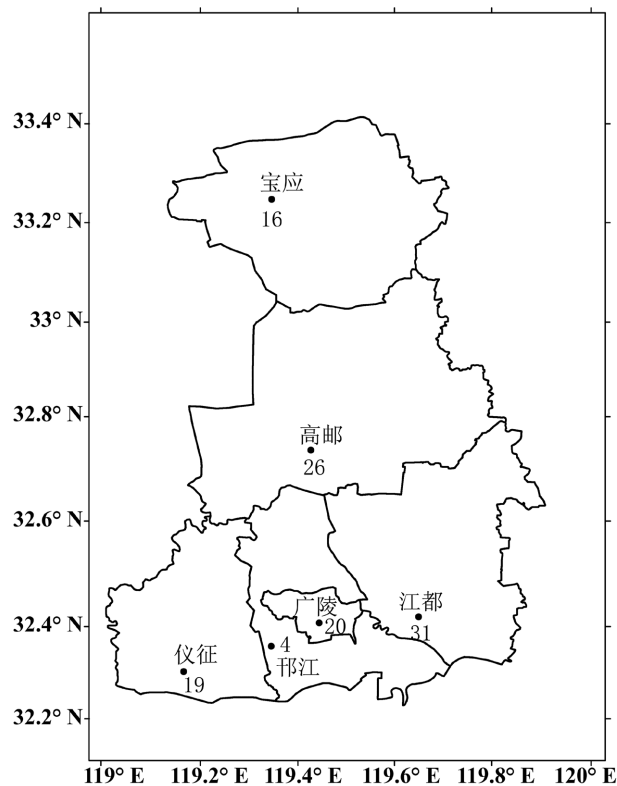


Figure 3. Spatial distribution of hail frequency in Yangzhou from 1992 to 2022 (Unit: times)

图 3. 1992~2022 年扬州市冰雹次数空间分布(单位: 次)

3.5. 影响范围

统计可知, 1992~2022 年扬州市 69 个冰雹日共发生冰雹过程 116 次。只影响一个区县(市)的冰雹日共 35 天, 占总冰雹日的 50.8%; 2 个区县(市)同一天产生冰雹的有 22 天, 占总冰雹日的 31.9%; 3 个区县(市)同一天产生冰雹的有 11 天, 占总冰雹日的 15.9%; 而 ≥ 4 个区县(市)的冰雹日只有一天, 为 2020 年 8 月 10 日, 覆盖了仪征、邗江、广陵、江都 4 个地区(见表 2)。可见大范围区域性降雹天气出现次数很少, 以局部降雹为主。

Table 2. Distribution of hail impact areas in Yangzhou from 1992 to 2022

表 2. 1992~2022 年扬州市冰雹影响范围分布

影响范围/区县(市)	1	2	3	4	5	6
冰雹日数/天	35	22	11	1	0	0
占比/%	50.8	31.9	15.9	1.4	0	0

4. 引发扬州市降雹的主要天气系统

中央台将全国冰雹天气形势划分为 4 种类型: 高空冷槽型、高空冷涡型、高空西北气流型和南支槽型[8]。选取 1992~2022 年间观测资料完整的 62 个冰雹日, 分析冰雹发生前 08 时或 20 时的高低空和地面形势特点, 得出扬州市冰雹天气形势主要有沿海低槽型、高空冷涡型、槽前西南气流型和低层辐合型, 另外, 台风和副高外围的偏西气流也可能带来冰雹天气, 但不做讨论。

4.1. 沿海低槽型

沿海低槽型主要表现为冰雹日 500 hPa 图上(图 4) 130°E 以东的日本海附近存在低涡中心或低槽, 河套北部到长江下游地区为一致的西北气流, 扬州市受较强西北气流控制, 低层一般存在西南急流, 为强天气的发生提供暖湿环境, 由此形成上层干冷、下层暖湿的不稳定层结, 高空冷空气入侵, 触发不稳定能量释放并形成冰雹等强天气。统计个例中沿海低槽型有 17 例, 占总个例的 27.9%。此类冰雹过程均发生在 4~7 月, 且各月出现次数分布均匀没有明显偏向。

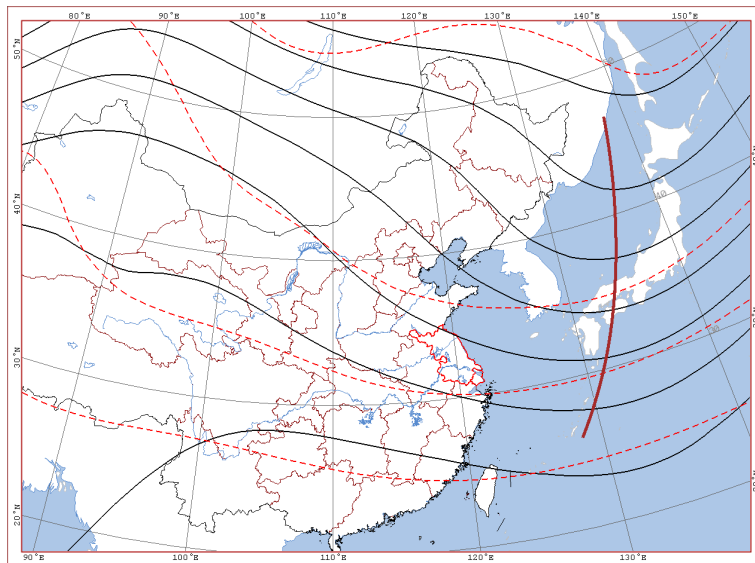


Figure 4. 500 hPa situation field of coastal low trough hail day

图 4. 沿海低槽型冰雹日 500 hPa 形势场

4.2. 高空冷涡型

高空冷涡型包含华北冷涡和东北冷涡两种影响系统，均表现为冰雹日 500 hPa 图上(图 5)华北或东北地区附近存在低压中心，并配有温度场的冷中心或冷槽。地面上扬州市受低压控制，地面和低层空气通过热力作用增温变暖，多存在逆温层，对流层中层由于冷涡后的冷平流变得干冷，由此形成大范围上冷下暖的不稳定层结。此天气背景下，若低槽或低涡后部不断有冷空气南下且低层条件适宜，则易在午后形成冰雹等强对流天气，统计个例中高空冷涡型有 9 例，占总个例的 14.5%。此类冰雹过程主要发生在 5~7 月，占 77.8%。

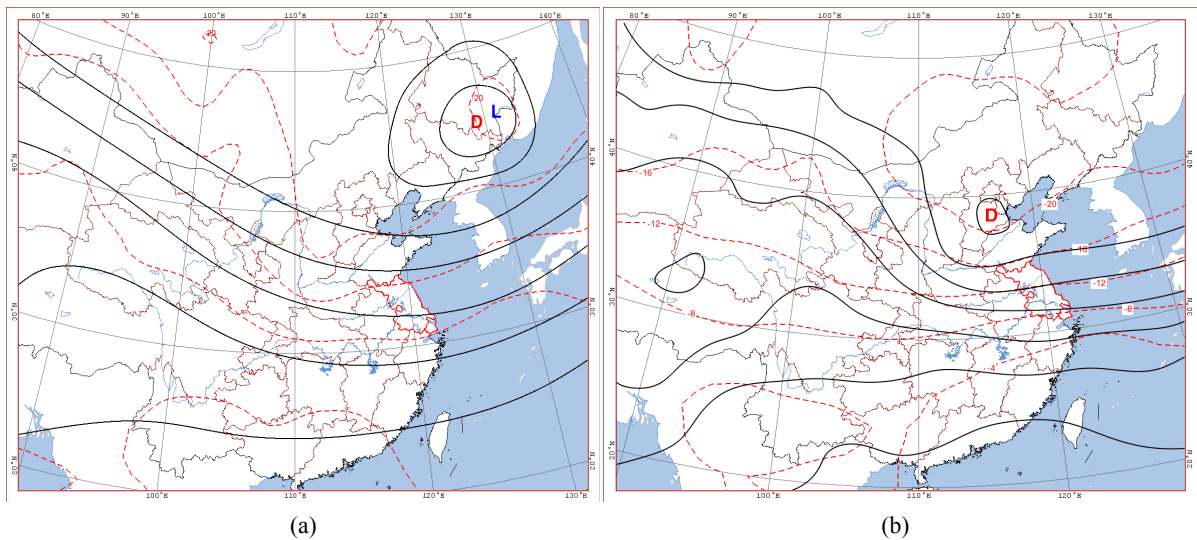


Figure 5. 500 hPa situation field of high-altitude cold vortex ((a) Northeast cold vortex, (b) North China cold vortex) hail day
图 5. 高空冷涡型((a) 东北冷涡, (b) 华北冷涡)冰雹日 500 hPa 形势场

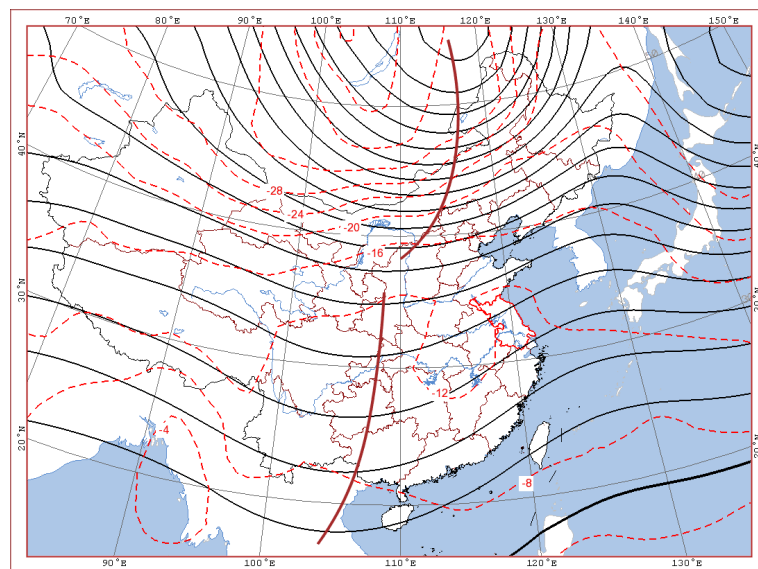


Figure 6. 500 hPa situation field of southwest flow in front of trough hail day
图 6. 槽前西南气流型冰雹日 500 hPa 形势场

4.3. 槽前西南气流型

槽前西南气流型表现为冰雹日 500 hPa 图上 105°E~115°E 之间存在明显的西风带低槽(图 6)，高空有

干冷空气随低槽东移影响扬州市,且移速一般较快,地面上,扬州市往往处于暖低压或暖倒槽里,因此冷空气移动促使前方暖湿气团抬升,为冰雹天气的发生发展提供良好的动力和热力条件。统计个例中槽前西南气流型有 11 例,占总个例的 17.7%。此类冰雹过程主要发生在 6~8 月,占 81.8%。

4.4. 低层辐合型

低层辐合型表现为冰雹日 850 hPa 图上江苏省沿江地区有西南风与东南风的暖式切变或低涡形成(图 7),为降雹提供了良好的抬升条件,从我国西南到江淮地区有西南急流东移,为降雹提供充足的水汽和辐合上升的动力触发条件,此天气背景下 500 hPa 上空一般为暖气团控制,且逐渐变性,出现降温,有助于降雹不稳定层结的形成。统计个例中低层辐合型有 18 例,占总个例的 29%。此类冰雹过程主要发生在 5~6 月,占 66.7%,另外 7 月份出现过 3 次,8、9 月份各出现过 1 次。

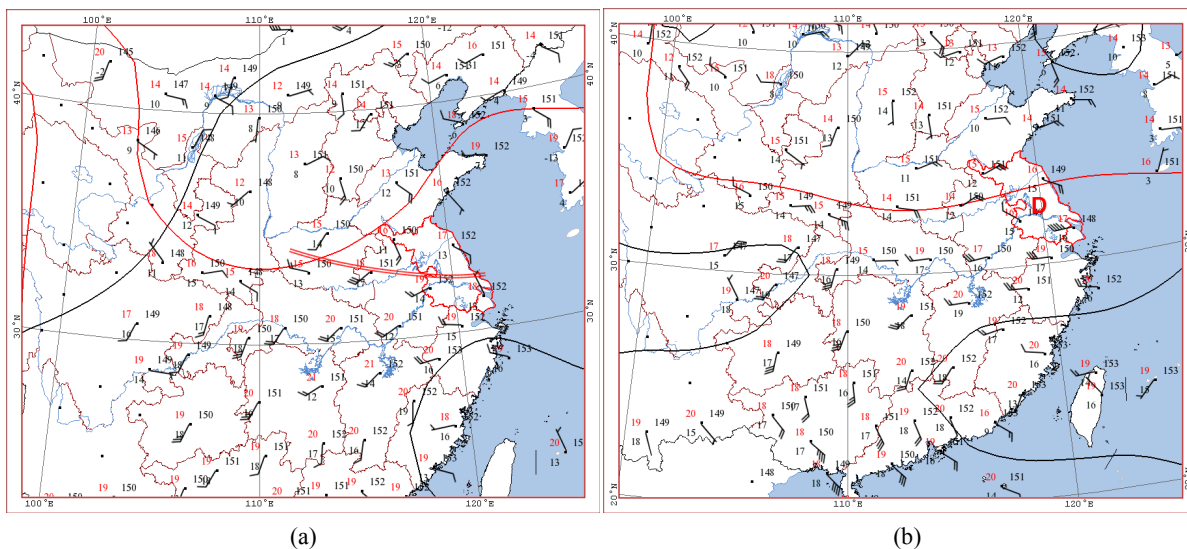


Figure 7. 850 hPa situation field of low-altitude convergence ((a) warm shear line, (b) low vortex) hail day
图 7. 低层辐合型((a) 暖式切变, (b) 低涡)冰雹日 850 hPa 形势场

5. 冰雹发生前的环境场特征

通过分析 1992~2022 年降雹日 08:00 或 20:00 南京探空资料,得出以下 8 种物理量的特征值,分别为 850 hPa 露点温度、850 hPa 比湿、抬升指数、抬升凝结高度、沙氏指数、对流有效位能、0℃和-20℃层高度、0~1 km、0~3 km 和 0~6 km 垂直风切变,为冰雹的预报提供必要参考。

5.1. 水汽条件

5.1.1. 850 hPa 露点温度(Td_{850hPa})

统计得出扬州市降雹日 Td_{850hPa} 总体特征最大值为 21℃,最小值为 0.8℃,平均值为 11.9℃。其中, Td_{850hPa} 极值和平均值春季均比夏季小,即季节不同,易发生冰雹的大气水汽条件也在变化。针对引发冰雹的不同天气系统,高空冷涡天气背景下 Td_{850hPa} 较低,为 3℃~14℃,均值也最低,为 9℃;槽前西南气流天气背景下 Td_{850hPa} 较高,为 13.2℃~18℃,均值也最高,为 15.8℃。

5.1.2. 850 hPa 比湿(q_{850hPa})

统计得出扬州市降雹日 q_{850hPa} 总体特征最大值为 18.41 $g \cdot kg^{-1}$,最小值为 3.4 $g \cdot kg^{-1}$,平均值为 10.9 $g \cdot kg^{-1}$ 。分季节来看,春季平均值、极值均小于夏季,其中,春季 80%以上降雹日在 5~11 $g \cdot kg^{-1}$ 之间,夏

季 80%以上降雹日在 $9\sim 17\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。针对引发冰雹的不同天气系统, $q_{850\text{hPa}}$ 分布也有差异。其中, 槽前西南气流影响下的 $q_{850\text{hPa}}$ 值域范围最为集中, 为 $11.71\sim 15.25\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$; 高空冷涡影响下的 $q_{850\text{hPa}}$ 较小, 为 $5.57\sim 11.79\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 沿海低槽、低层辐合系统天气背景下 $q_{850\text{hPa}}$ 值域跨度较大, 分别为 $5.18\sim 18.41\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $3.4\sim 17.3\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

5.2. 不稳定性与能量

5.2.1. 抬升指数(LI)

LI > 0 表示大气层结稳定, LI < 0 且负值越大, 出现对流性天气的可能性也越大。统计得出, LI 总体特征最大值为 9.74°C , 最小值为 -9.59°C , 平均值为 -5.4°C , 其中, 春季 LI 极值和平均值均大于夏季。另外, LI < 0 时出现冰雹次数为 59 次, LI > 0 时出现冰雹次数为 10 次(有 6 次发生在春季), 可见 LI 为负对冰雹的产生有重要的指示意义。针对引发冰雹的不同天气系统, LI 分布也有差异。其中, 槽前西南气流影响下的 LI 值域范围最为集中且为负, 为 $-5.76^\circ\text{C}\sim -4.66^\circ\text{C}$; 沿海低槽天气背景下 LI 也为负, 为 $-9.59^\circ\text{C}\sim -0.66^\circ\text{C}$; 而高空冷涡和和低层辐合系统影响下的 LI 值域跨度很大, 分别为 $-6.72^\circ\text{C}\sim 0.21^\circ\text{C}$ 和 $-4.45^\circ\text{C}\sim 9.7^\circ\text{C}$ 。

5.2.2. 抬升凝结高度(LCL)

LCL 总体特征最大值为 1004 m, 最小值为 749.9 m, 平均值为 928.6 m, 没有明显的季节和天气系统差异。就均值而言, 高空冷涡天气背景下较低, 为 744.3 m, 其余 3 种天气背景下的 LCL 均值都在 900 m 以上。

5.2.3. 沙氏指数(SI)

SI > 0 表示大气层结较稳定, SI < 0 且负值越大, 大气层结越不稳定。统计得出, SI 总体特征最大值为 8.11°C , 最小值为 -7.82°C , 平均值为 -0.97°C 。其中, 春季 SI 极值和平均值均大于夏季。另外, SI < 0 时出现冰雹次数为 54 次, SI > 0 时出现冰雹次数为 15 次(有 10 次发生在春季), 可见 SI < 0 对冰雹的产生有重要的指示意义, 尤其是夏季。针对引发冰雹的不同天气系统, SI 分布也有差异。其中, 槽前西南气流影响下的 SI 值域范围最为集中, 为 $-4.37^\circ\text{C}\sim -2.12^\circ\text{C}$; 高空冷涡和低层辐合系统天气背景下 SI 值域相近, 分别为 $-2.61^\circ\text{C}\sim 4.54^\circ\text{C}$ 和 $-3.31^\circ\text{C}\sim 4.19^\circ\text{C}$, 而沿海低槽影响下的 SI 值域跨度很大, 为 $-7.82^\circ\text{C}\sim 4.4^\circ\text{C}$ 。

5.2.4. 对流有效位能(CAPE)

CAPE 是对流发生潜势和潜在强度的一个重要指标, CAPE 越大表示上升气流强度及对流发展的潜势越大。统计得出, 春季 CAPE $< 50\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 有 5 次, CAPE $> 1000\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 有 3 次, 介于 $50\sim 500\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间有 7 次, $500\sim 1000\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 有 4 次; 夏季 CAPE $< 50\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 有 3 次, $50\sim 500\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 有 3 次, $500\sim 1000\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 有 3 次, CAPE $> 1000\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 有 22 次。由此可见, 夏季 CAPE 值更大, 即夏季 CAPE 值大对冰雹有重要的指示意义。针对引发冰雹的不同天气系统, CAPE 分布也有差异。其中, 槽前西南气流影响下的 CAPE 值均大于 $1000\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$, 为 $1459.2\sim 2088.6\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$; 高空冷涡和沿海低槽天气背景下 CAPE 值域相近且跨度很大, 分别为 $45.3\sim 2208.8\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $21.8\sim 2103\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$, 平均值分别 $887.5\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $1122.6\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$, 低层辐合系统影响下 CAPE 值域范围也很大, 且低涡是暖式切变天气背景下的一半左右, 分别为 $146.9\sim 1359.5\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $256.9\sim 2230\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$, 平均值分别为 $655.3\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $1264.8\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

5.2.5. 0°C 层高度(H_0)、 -20°C 层高度(H_{-20})

段鹤等研究表明, 降雹天气过程对应的 H_0 为 $3.8\sim 5.5\text{ km}$, 平均 4.5 km , H_{-20} 为 $7.1\sim 8.9\text{ km}$, 平均 7.8 km [9]。统计得出扬州市降雹日 H_0 总体特征最大值为 5.8 km , 最小值为 3.1 km , 平均值为 4.3 km ; H_{-20} 最大值为 9.4 km , 最小值为 6.1 km , 平均值为 7.7 km , 与段鹤等的研究结果基本一致。其中, 夏季的 H_0 、

H_{-20} 大于春季。针对引发冰雹的不同天气系统, H_0 、 H_{-20} 值域范围有所不同, 槽前西南气流影响下的 H_0 、 H_{-20} 较高, 分别为 4.3~5.2 km 和 7.3~9 km; 高空冷涡和沿海低槽天气背景下的 H_0 、 H_{-20} 值域范围相近, 分别为 3.4~4.6 km、3.1~4.8 km 和 6.2~8.3 km、6.4~8 km, 而低层辐合系统天气背景下的 H_0 、 H_{-20} 值域范围跨度较大, 为 3.3~5.6 km 和 6.2~8.7 km。

5.2.6. 0~1 km、0~3 km、0~6 km 垂直风切变(SHR1, SHR3, SHR6)

垂直风切变对于冰雹云系的维持、传播和移动具有意义。统计得出, SHR1 特征最大值为 $18.9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 最小值为 $0.7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 平均值为 $7.4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; SHR3 特征最大值为 $25.9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 最小值为 $0.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 平均值为 $10.6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; SHR6 特征最大值为 $31.9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 最小值为 $1.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 平均值 $16.9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 可见垂直风切变的数值范围跨度很大。另外, SHR1 和 SHR3 春季平均值略小于夏季, 而 SHR6 春季平均值大于夏季。针对不同的天气系统, SHR 值域范围没有较大差异, 且跨度也很大。因此, SHR 只能作为判断冰雹发生的参考因素之一, 小的 SHR 并不能断定冰雹不发生。

6. 结论

1) 1992~2022 年扬州市冰雹天气发生次数的下降趋势非常明显。月冰雹日数呈“单峰型”分布, 7 月达到峰值 17 天, 之后逐月明显减少。冰雹主要发生在每年 3~9 月, 即春夏季。冰雹的日变化特征明显, 主要出现在 11~19 时。降雹下午多于上午, 白天多于夜间, 落区分布南多北少。大范围区域性降雹天气出现次数很少, 以局部降雹为主。

2) 扬州市冰雹的天气形势主要分为沿海低槽型、高空冷涡型、槽前西南气流型和低层辐合型, 另外, 台风和副高外围偏西气流也有可能带来冰雹天气, 但出现次数很少, 只占 10%。

3) 共筛选出 8 种指标为扬州冰雹天气潜势预报提供参考: Td_{850hPa} 区间在 $0.8^\circ\text{C}\sim 21^\circ\text{C}$, 夏季明显高于春季, 高空冷涡天气背景下较低, 为 $3^\circ\text{C}\sim 14^\circ\text{C}$, 槽前西南气流天气背景下较高, 为 $13.2^\circ\text{C}\sim 18^\circ\text{C}$ 。 q_{850hPa} 区间在 $3.4\sim 18.41 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 夏季高于春季, 槽前西南气流天气背景下值域范围最为集中, 为 $11.71\sim 15.25 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 高空冷涡天气背景下较小, 为 $5.57\sim 11.79 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。LI 区间在 $-9.59^\circ\text{C}\sim 9.74^\circ\text{C}$, 春季比夏季大, LI 为负对冰雹的产生有重要的指示意义, 其中沿海低槽和槽前西南气流天气背景下 LI 均为负, 分别为 $-9.59^\circ\text{C}\sim -0.66^\circ\text{C}$ 和 $-5.76^\circ\text{C}\sim -4.66^\circ\text{C}$ 。LCL 区间在 749.9~1004 m, 没有明显的季节和天气背景差异。SI 区间在 $-7.82^\circ\text{C}\sim 8.11^\circ\text{C}$, 春季比夏季大, SI 为负对冰雹的产生有重要的指示意义, 槽前西南气流影响下的 SI 均为负且值域范围最为集中, 为 $-4.37^\circ\text{C}\sim -2.12^\circ\text{C}$ 。CAPE 区间跨度很大, 为 $21.8\sim 4525 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$, 且夏季大 CAPE 值对冰雹的形成有重要的指示作用, 槽前西南气流影响下的 CAPE 值均大于 $1000 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。 H_0 区间在 3.1~5.8 km, H_{-20} 区间在 6.1~9.4 km, 夏季比春季大, 槽前西南气流影响下的 H_0 、 H_{-20} 较高, 分别为 4.3~5.2 km 和 7.3~9 km。SHR1、SHR3 春季略小于夏季, SHR6 春季大于夏季, 没有明显的天气背景差异, 且跨度都很大, 只能作为判断冰雹发生的参考因素之一, 小的垂直风切变不能断定冰雹不发生。

基金项目

扬州市气象局科研项目“扬州市冰雹时空分布特征及预报指标研究”。

参考文献

- [1] 官莉, 王雪芹, 等. 2009 年江苏一次强对流天气过程的遥感监测[J]. 大气科学学报, 2012, 35(1): 73-79.
- [2] 鲁德金, 陈钟荣, 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.
- [3] 杨程, 宋金杰, 等. 热带气旋影响下江苏强对流天气指数分析[J]. 热带气象学报, 2014, 30(3): 559-566.
- [4] 江苏省气象局预报课题组. 江苏冰雹强对流天气条件分析及其物理解释[M]. 北京: 气象出版社, 1988.

-
- [5] 张礼宝, 张杰, 等. 利用物理量场做冰雹潜势预报[J]. 黑龙江气象, 2007(3): 13-14.
- [6] 徐芬, 郑媛媛, 等. 江苏沿江地区一次强冰雹天气的中尺度特征分析[J]. 气象, 2016, 42(5): 567-577.
- [7] 张晓辉, 高艳春, 等. 承德市冰雹时空分布特征及雷达预警指标分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2022(2): 16-22.
- [8] 朱乾根, 林锦瑞, 等. 天气学原理与方法[M]. 北京: 气象出版社, 2000: 449-455.
- [9] 段鹤, 严华生, 等. 滇南冰雹的预报预警的方法研究[J]. 气象, 2014, 40(2): 174-185.