张玉荣,姚晓娟,白舜耀,等.1991—2020年暖季河套灌区强对流天气主要流型及环境参量特征分析[J].沙漠与绿洲气象,2024,18(2):76-82. doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2024.02.010

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



1991—2020年暖季河套灌区强对流天气 主要流型及环境参量特征分析

张玉荣¹,姚晓娟^{2*},白舜耀¹,赵明明¹

(1.巴彦淖尔市气象局,内蒙古 临河015000;2.内蒙古自治区气象局,内蒙古 呼和浩特010000)

摘 要:利用常规气象观测资料、区域自动站观测资料及 ERA5 再分析资料,对河套灌区 1991— 2020年542个冰雹个例和281个短时强降水个例主要流型及环境参量特征进行分析。结果显示: (1)短时强降水天气主要有新疆低槽(涡)、东北冷涡、蒙古冷涡、西南气流4类影响系统,冰雹天 气主要有蒙古冷涡、西北气流、东北冷涡、巴尔喀什湖冷涡4类影响系统;(2)河套灌区短时强降 水和冰雹各关键参数预报阈值均有差异,最低阈值的建议值采用箱线图 25%百分位值,其中 ΔT₈₅₀₋₅₀₀ 分别为 26 和 33 ℃,K 指数均值分别为 27 和 35 ℃,CAPE 均值分别为 515 和 405 J·kg⁻¹, 0~6 km 垂直风切变均为 7×10⁻³ s⁻¹,0 ℃层高度均值分别为 4 656 和 4 069 m,-20 ℃层高度均值分 别为 8 070 和 7 054 m;(3)冰雹需要更大的 K 指数、 $\Delta T_{850-500}$ 以及更强的低层暖空气,同时冰雹有 更低的0℃层和-20℃层高度,较低的0℃层高度可以防止冰雹下落过程融化。此外,下垫面因子 对不同强对流天气的影响程度也不同,海拔高度是影响河套灌区冰雹分布的主要因素。

关键词:强对流天气;短时强降水;冰雹;物理量 中图分类号:P458.2 文献标识码:A 文章编号:1002-0799(2024)02-0076-07

在全球气候变暖的背景下,极端天气、水旱灾害 不仅多发重发,其突发性、极端性、不可预见性也日 益凸显,尤其是冰雹和短时强降水会破坏农作物、引 发洪水或山体滑坡,甚至造成人员伤亡。开展强对流 天气研究,揭示短时强降水、冰雹的客观规律,对预 防气象灾害有现实意义[1-5]。多年来科学家们对强对 流天气已经进行了大量的研究,迄今为止,大多数研 究都采用指标研究和机制研究[6-14]。在指标研究中, 研究人员将对流层中、低层的温湿度特征与风变化 相结合,总结了大气能量变化的相关指标^[15],从而探 究强对流天气发生发展规律¹⁰,但这些指标大多被

收稿日期:2023-08-16;修回日期:2023-10-09

- 基金项目:内蒙古自治区气象局科技创新项目(nmqxkjcx202313) 作者简介:张玉荣(1989—),女,工程师,主要从事天气预报预测研 究。E-mail:bsqxj_zyr@163.com
- 通信作者:姚晓娟(1990—),女,工程师,主要从事天气预报预测研 究。E-mail: yaoxiaojuan90@163.com

用作评价大气状态的单项指标,其相关性往往并不 清楚,导致强对流天气的早期预报预警的准确性并 不高;在机理研究中,主要研究强对流天气系统的结 构和发展机制,其机制与大气动力学和热力学密切 相关,然而,动力变化和热力变化的特征因季节和地 区而异,因此,很难提出单一的能够涵盖强对流天气 的统一标准[17-18]。

河套灌区位于大陆深处,四季分明,雨热同季,是 中温带大陆性气候与季风气候的交界区,也是亚洲最 大的一首制自流引水灌区,受东亚夏季风影响,加之 复杂的地质条件,极易引发山洪、农田渍涝等次生灾 害。此外,阴山山脉横亘东西,山前为河套平原,山后 是蒙古高原, 受地形影响易形成强烈的上升气流,为 强对流天气的形成发展提供有利条件,每年因雷雨大 风、冰雹等气象灾害给当地农业造成较大的经济损失。

早期由于巴彦淖尔市观测站网稀疏,对本地强 对流天气的发生与不稳定能量的分布(热力条件)、

水汽饱和程度(水汽条件)和一些触发抬升机制(动 力条件)研究认识不足。近年来,区域自动气象站的 建设和数值天气预报的大力发展,为强对流天气研 究提供了很好的数据基础。本文针对当地短时强降 水、冰雹两类主要的强对流天气,利用地面气象观 测站数据、本地防雹作业记录、高程数据(DEM)和 归一化植被指数(NDVI),对比分析短时强降水和 冰雹天气主要流型及关键物理量指标差异,并对其 原因进行初探,旨在提升当地预报员的认知水平和 强对流潜势预报能力,为当地气象防灾减灾工作提 供决策参考。

1 资料和方法

1.1 资料

短时强降水实况资料来源于全国综合气象信息 共享系统(天擎),包括巴彦淖尔市 1991—2020 年 9 个国家级气象观测站(临河区、磴口县、杭锦后旗、五 原县、乌拉特前旗、乌拉特中旗、乌拉特后旗、海力 素、大佘太)和 2006—2020 年 160 个区域自动雨量 站逐日地面观测数据,将雨量 ≥20 mm/h 作为个例 筛选标准,选出 281 个短时强降水个例。冰雹实况资 料来源于 1991—2020 年巴彦淖尔市气象局防雹作 业记录,筛选出 542 个降雹个例。同时利用地理空间 数据云和资源环境科学与数据中心的 90 m 分辨率 DEM 数据和 1 km 分辨率的 NDVI 数据。

环境场和物理量数据来自于欧洲中期天气预报 中心(ECMWF)的 ERA5 再分析数据,其时间分辨率 为1h,空间分辨率为0.25°×0.25°。它同化了来自地 面风观测、无线电探空仪、空投探空仪、飞机测量以 及气象卫星等数据^[19]。

1.2 研究方法

本文采用强对流天气流型辨识方法^[20]和基于配 料法的预报方法^[21],采用逐个分析与统计分析相结 合的方式研究环流背景和物理量特征。首先收集所 有冰雹和短时强降水实况资料,逐个分析每一个研 究对象的局地特征,然后总结环境场和物理量指标。 利用最邻近值方法做空间匹配,将 ERA5 数据匹配 到站点数据上。

2 强对流天气气候特征分析

2.1 环流背景及天气分型

根据 ERA5 再分析资料,对 281 个短时强降水 个例的 500 hPa 影响系统进行合成分析,主要有新 疆低槽(涡)(图 1a)、东北冷涡(图 1b)、蒙古冷涡(图



东北冷涡(g)、巴尔喀什湖冷涡(h)形势

1c)、西南气流(图 1d)4 类。其中,新疆低槽(涡)是 河套灌区短时强降水的主要影响系统,占总过程的 37.26%,500 hPa 低槽(涡)在 70°~100°E、45°~70°N; 其次是东北冷涡,冷涡中心至少有 2 根闭合等高线, 中高纬环流经向度较大,占总过程的 16.62%;蒙古 冷涡占总过程的 10.07%,河套灌区位于冷涡底部,新 疆至蒙古国均受低压带控制;而西太平洋副热带高 压(简称"副高")外围西南气流仅占总过程的 7.08%, 副高西伸北抬,新疆附近和蒙古为宽广低槽活动区。

根据 ERA5 再分析资料,对 542 个冰雹个例的 500 hPa 影响系统进行合成分析,主要有蒙古冷涡、 西北气流、东北冷涡、巴尔喀什湖冷涡 4 类(图 1e~ 1h)。其中,蒙古冷涡是河套灌区冰雹的主要影响系 统,占总过程的 29.8%,500 hPa 低槽(涡)在 90°~ 110°E、45°~55°N;其次是西北气流,500 hPa 欧亚范 围呈两槽一脊,中高纬环流经向度较大,位于 70°~ 100°E、45°~70°N,占总过程的 15.98%;东北冷涡占 总过程的 12.44%,冷涡中心至少有 2 根等高线,河 套灌区位于涡后偏北气流中;而巴尔喀什湖冷涡仅 占总过程的 7.72%,冷涡形态完整,外围等压线密 集,河套灌区位于涡前偏南气流中,偏南风较大。

2.2 时间变化特征

由 1991—2020 年河套灌区短时强降水和冰雹 年度发生次数(图 2a)可知,短时强降水年平均发生 次数为 7.4 次,1997 和 2001 年发生次数最多,为 13 次。1993、1995、1999、2019年均发生12次,2006年 为11次,其余年均<10次;冰雹年平均发生次数为 2.1 次,其中 2006 年发生最多,为 12 次,2020 年发 生7次,1997、2015年均发生6次,其余年<5次,且 冰雹年平均发生次数有减少趋势。由短时强降水和 冰雹不同时次发生次数(图 2b)可知,短时强降水多 发生在凌晨、午后和傍晚,冰雹多发生在凌晨和中 午。短时强降水8月发生次数最多,为44次,7月次 之;冰雹7月发生次数最多,为46次,8月次之。短 时强降水发生次数最多的地区是乌拉特前旗,为 113次;其次是磴口县,为53次,其余地区是18~26 次;冰雹发生次数最多的地区是临河区,为146次, 其次为五原县,为110次,乌拉特前旗发生90次,杭

锦后旗和乌拉特中旗均发生 71 次,乌拉特后旗仅发 生 6 次。

2.3 空间变化特征

图 3 为河套灌区短时强降水和冰雹发生频次空 间分布,同时结合 DEM 和 NDVI 进行分析。河套灌 区短时强降水和冰雹年均频数分别为 7.4 和 2.1 次, 其空间分布差异明显,短时强降水(图 3a)西南部 多、东部少,高频区磴口县(>14次)是低频区乌拉特 前旗(<5次)的 3.3 倍。冰雹(图 3b)主要发生在磴 口县、临河区、杭锦后旗、五原县。下垫面的差异是 影响强对流天气空间分布的重要原因,田晨等四将 影响强对流天气的下垫面因素归纳为海拔高度、植 被覆盖和地表特征等,本文主要针对前两项进行分 析。从地形高程(图 3c)和强对流天气的空间分布 来看,冰雹的高频区对应着阴山沿山一线,主要由 地形差异诱发的局地辐合[23]或环流强迫[24]等原因 造成,并与地形高度较高、冰相粒子来不及融化有 关。进一步比较强对流天气频数和 NDVI(图 3d)的 空间分布,发现高植被覆盖区更有利于对流天气发 生,原因可能是植被覆盖率越高,越有利于增加层 结不稳定并诱发一定的环流^[25]。同时河套灌区下垫 面复杂,有平原、河流、山脉和高原,复杂的下垫面 条件和地形是影响河套灌区冰雹分布的主要因素。

3 对流局地环境特征分析

3.1 参数选取与阈值对比分析

河套灌区雨热同季,短时强降水和冰雹多发生 在暖季,影响对流天气发生所必须的3个基本要素 为水汽条件、层结不稳定和对流触发条件,此外中层 干冷空气的侵入、适当的0℃层和-20℃层高度也 是冰雹形成的重要指标。表1给出了短时强降水、冰 雹发生前对流参数平均值及阈值。

由于河套灌区降水主要发生在 6—8 月,尤其集 中在"七下八上",对流天气多,且分布不均匀,常常 一场降水的降水量就是年降水量的 1/3 到 1/2,不同 时间的降水特点明显不同,需要对各月的对流参数 统计分析,表 2 和表 3 分别给出了 5—9 月冰雹和短 时强降水发生前对流参数平均值及阈值。





图 3 河套灌区短时强降水(a)和冰雹天气(b)发生频次空间分布、 及巴彦淖尔市高程地形(c)和 NDVI(d)分布

表1 充	豆时强降水、	冰雹发生	前对流参	数平均值及阈	值
------	--------	------	------	--------	---

物理量	冰雹发生前 平均值	冰雹发生前 阈值	强降水发生前 平均值	强降水发生 前阈值
$\Delta T_{850-500}$ /°C	33	(30,40)	26	(22,37)
K 指数/℃	35	(29,41)	27	(24,37)
总指数 <i>TT</i> /℃	51	(38,57)	46	(36,54)
А 指数/℃	-18	(-40,8)	-17	(-45,2)
对流有效位能/(J·kg ⁻¹)	405	(26,2367)	515	(0,2 251)
0~3 km 垂直风切变/(10⁻³ s⁻¹)	6	(0,15)	8	(1,23)
0~6 km 垂直风切变/(10 ⁻³ s ⁻¹)	7	(0,28)	7	(0,22)
0 ℃层高度/m	4 069	(2 427,5 004)	4 656	(3 387,5 730)
-20 ℃层高度/m	7 054	(5 242,8 713)	8 070	(6 090,9 103)
地面至 500 hPa 水汽通量散度/(10 ⁻⁵ kg·m ⁻² ·s ⁻¹)	-9	(-272,291)	-60	(-592,253)

表2 5—)月各	月冰雹发生前对流参数平均值
-------	-----	---------------

月份	5	6	7	8	9
$\Delta T_{ m 850-500}$ /°C	33	33	32	32	32
0 ℃层高度/m	3 431	3 814	4 239	4 272	3 530
-20 ℃层高度/m	6 308	6 704	7 291	7 288	6 364
K 指数/℃	30	32	36	37	32
A 指数/℃	-19	-17	-16	-20	-26
总指数 <i>TT</i> /℃	52	51	51	52	52
0~3 km 垂直风切变/(10 ⁻³ s ⁻¹)	6	5	5	6	7
0~6 km 垂直风切变/(10 ⁻³ s ⁻¹)	11	6	7	8	7

表 3 5-9月各月短时强降水发生前

对流参数平均值

月份	5	6	7	8	9
$\Delta T_{ m 850-500}$ /°C	29	29	26	25	25
0 ℃层高度/m	3 729	4 122	4 800	4 821	4 236
-20 ℃层高度/m	6 877	7 350	8 287	8 254	7 503
K指数/℃	32	37	39	37	35
A 指数/℃	-21	-20	-16	-15	-21
总指数 <i>TT</i> /℃	47	49	47	45	46
0~3 km 垂直风切变/(10 ⁻³ s ⁻¹)	4	6	8	9	8
0~6 km 垂直风切变/(10 ⁻³ s ⁻¹)	5	6	6	8	6

3.2 静力不稳定

大气静力稳定度常用 850 和 500 hPa 之间的温 差 $\Delta T_{850-500}$ 表征,值越大,表示条件不稳定性越强,由 短时强降水和冰雹发生前 $\Delta T_{850-500}$ (图 4)可知,短时 强降水箱线图的 25%~75%百分位数在 20~30 °C,平均 为 26 °C;冰雹箱线图的 25%~75%百分位数在 30~ 35 °C,平均为 33 °C。冰雹与强降水平均温差为 7 °C,表 明冰雹天气所需的高层冷空气更强,主要是因为冰 雹形成需要高层更低的温度。

3.3 水汽条件

3.4 能量条件

对流天气发生需要丰富的水汽供应,图 5 为短 时强降水和冰雹发生前地面(900 hPa)~100 hPa 比 湿(*Q*)、相对湿度(RH)和温度露点差(*T*-*T*_d)垂直廓 线。水汽主要集中于大气中低层,短时强降水在 400 hPa 比湿条件明显差于冰雹;短时强降水发生 的相对湿度基本在 70%以下,而冰雹发生的相对湿 度在 70%以上。在 700 hPa 以下,短时强降水的温度 露点差接近 0 ℃,冰雹的温度露点差较短时强降水 大一些,但也在 5 ℃以下,在 700 hPa 以上温度露点 差显著增大。有利于强对流天气发生的上干下湿环 境条件较为明显,但冰雹的发生需要低层更湿的环 境条件,可见水汽的垂直分布对区分强天气类型有 很好的指示意义。 对流有效位能(CAPE)是强对流天气预报的重 要判据,CAPE 越大表明对流系统储存的能量越 多。在系统性强降水天气中 CAPE 值较敏感,且与 天气发生的地点和时间密切相关。此外,对流天气 发生所需 CAPE 值逐月变化明显,其中 7、8 月最大。 河套灌区冰雹发生的 CAPE 均值是 405 J·kg⁻¹,极大 值为2 367 J·kg⁻¹;短时强降水发生的 CAPE 均值是 515 J·kg⁻¹,极大值为 2 513 J·kg⁻¹。短时强降水和冰 雹所需 CAPE 值相当,且阈值跨度大,对区分强对流 天气类型效果有限。

3.5 垂直风切变

垂直风切变是维系强对流发生发展的必要条件。巢纪平等¹⁰⁹指出中纬度地区对流云在中低空主要靠凝结潜热维持,在高空由强风带中获得动能,高空急流下方风速垂直切变大的区域有利于对流发展。从表1可以看出,短时强降水和冰雹0~6 km垂直风切变均为7×10⁻³s⁻¹。由图6可知,短时强降水在不同月份0~6 km垂直风切变箱线图25%~75%百分位差异不大,其中8月最大,平均为8×10⁻³s⁻¹;冰雹在不同月份0~6 km垂直风切变箱线图25%~75%百分位差异稍大,主要是5月的垂直风切变差异大,相差约11×10⁻³s⁻¹,这可能是因为5月水汽条件和能量条件不足,需要更大的垂直风切变来促进冰雹云的发展,从而确保雹胚增长。





4 结论

利用河套灌区国家地面气象观测资料、区域自 动站资料、本地防雹作业记录以及 ERA5 再分析资 料,对 281 个短时强降水个例和 542 个冰雹个例的 主要流型和局地环境特征进行分析,得出以下结论:

(1)河套灌区强对流天气的主要流型因地理位置、地形及纬度不同,其中短时强降水主要有新疆低槽(涡)、东北冷涡、蒙古冷涡、西南气流4类形势;冰雹主要有蒙古冷涡、西北气流、东北冷涡、巴尔喀什湖冷涡等4类形势。

(2)短时强降水年平均发生次数为 7.4 次,冰雹 年平均发生次数为 2.1 次。短时强降水 8 月发生次 数最多,为 44 次,7 月次之;冰雹 7 月发生最多,为 46 次,8 月次之。河套灌区短时强降水和冰雹空间分 布差异明显,短时强降水西多东少,冰雹南多北少。 冰雹的高频区对应着阴山沿山一线和植被覆盖率越 高的区域。

(3)河套灌区短时强降水和冰雹各关键参数预报阈值均有差异,最低阈值的建议值采用箱线图 25%百分位值,其中 ΔT₈₅₀₋₅₀₀分别为 26 和 33 ℃,K 指数均值分别为 27 和 35 ℃,CAPE 均值分别为 515 和 405 J·kg⁻¹,0~6 km 垂直风切变均为7×10⁻³ s⁻¹,0 ℃层高度的均值分别为 4 656 和 4 069 m,-20 ℃层高度的 均值分别为 8 070 和 7 054 m。

上述工作构成了河套灌区强对流天气短时预报 基础,可以将上述结果集成到智能网格预报系统,以 提高短时强降水、冰雹等灾害性天气的预报预警准 确率。本文分析方法有一定的局限性,受区域自动气 象站监测范围影响,无法观测到短时强降水发生的 同时是否伴有冰雹、雷雨大风等其他强对流天气。在 对河套灌区各类短时强降水潜势阈值的讨论中,对 气候概率及触发机制没有进行讨论,今后还需进一 步细致分析。

参考文献:

[1] 吴迎旭,张慧君,周一,等.黑龙江省非典型天气系统下短

时强降水和冰雹特征分析[J].沙漠与绿洲气象,2016,10 (6):59-67.

- [2] 谭丹,黄玉霞,沙宏娥.甘肃省强对流天气特征分析[J].自 然灾害学报,2022,31(2):222-232.
- [3] 杨丽杰,程鹏,刘翔,等.1970—2019 年陇东地区强对流 天气的气候特征分析[J].沙漠与绿洲气象,2023,17(1): 25-31.
- [4] WANG H, HE J, WEI M, et al.Synthesis analysis of one severe convection precipitation event in Jiangsu using ground-based GPS technology[J].Atmosphere, 2015, 6(7): 908-927.
- [5] OUYANG S.Weather evolution and structure prediction [M].Beijing: China Meteorological Press, 1998.
- [6] 高晓梅,俞小鼎,王令军.等.鲁中地区分类强对流天气环 境参量特征分析[J].气象学报,2018,76(2):196-212.
- [7] 黄艳,俞小鼎,张云惠.新疆短时强降水天气主要流型及 环境参量特征分析[J].气象科技,2022,50(1):85-93.
- [8] 刘艳杰,周玉都,马庚雪.河北廊坊冰雹天气特征统计分析[J].气象与环境科学,2018,41(1):108-15.
- [9] 仇娟娟,何立富.苏沪浙地区短时强降水与冰雹天气分布 及物理量特征对比分析[J].气象,2013,39(5):577-584.
- [10] 郑永光,陶祖钰,俞小鼎.强对流天气预报的一些基本问题[J].气象,2017,43(6):641-652.
- [11] 张一平,吴蓁,苏爱芳,等.基于流型识别和物理量要素 分析河南强对流天气特征[J].高原气象,2013,32(5): 1492-1502.
- [12] 吴蓁,俞小鼎,席世平,等.基于配料法的"08·6·3"河南 强对流天气分析和短时预报[J].气象,2011,37(1):48-58.
- [13] 俞小鼎.关于冰雹的融化层高度[J].气象,2014,40(6): 649-654.
- [14] 李崇,吉曹翔,夏传栋,等.沈阳地区强对流天气潜势预 报环境参数特征分析[J].气象与环境学报,2016,32(6):
 43-51.
- [15] WEISMAN M L, KLEMP J B. The dependence of numerically simulated convective storms on vertical wind shear and buoyancy [J].Monthly Weather Review, 1982, 110(6):504-520.
- [16] BLANCHARD D O.Assessing the vertical distribution

of convective available potential energy[J].Weather and Forecasting, 1998, 13(3):870-877.

- YU X,ZHOU X,WANG X.The advances in the nowcasting techniques on thunderstorms and severe convection [J]. Acta Meteorologica Sinica, 2012,70(3):311-337.
- [18] WANG H, WEI M, LI G, et al. Analysis of precipitable water vapor from GPS measurements in Chengdu region: distribution and evolution characteristics in autumn [J]. Advances in Space Research, 2013, 52(4):656–667.
- [19] HERSBACH H, BELL B, BERRISFORD P, et al. The ERA5 global reanalysis [J].Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2020, 146(730):1999–2049.
- [20] MADDOX R A, CHAPPELL C F, HOXIT L R.Synoptic and meso- α scale aspects of flash flood events[J].Bulletin of the American Meteorological Society, 1979, 60 (2):

115-123.

- [21] DOSWELL C A, BROOKS H E, MADDOX R A.Flash flood forecasting: An ingredients – based methodology[J]. Weather and Forecasting, 1996, 11(4):560–581.
- [22] 田晨,周伟灿,苗峻峰.中国地区下垫面特征对强对流天 气影响研究进展[J].气象科技,2012,40(2):207-212.
- [23] 武文婧, 翟丹华.基于数值模拟对重庆西部地区一次强 对流天气过程的成因分析[J].气象与环境科学, 2021, 44 (5):57-63.
- [24] 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.
- [25] 郭建侠,杜继稳,郑有飞.陕北生态治理对当地降水影响 的数值模拟[J].高原气象,2005,24(6):994-1001.
- [26] 巢纪平,周晓平.积云动力学[M].北京:科学出版社, 1964.

Characteristics of Major Flow Patterns and Environmental Parameters of Strong Convective Weather in the Hetao Irrigation Area from 1991 to 2020

ZHANG Yurong¹, YAO Xiaojuan², BAI Shunyao¹, ZHAO Mingming¹

(1.Bayannur Meteorological Bureau, Linhe 015000, China;

2.Inner Mongolia Autonomous Region Meteorological Bureau, Huhhot 010000, China)

Abstract This paper analyzed the primary flow patterns and environmental parameter characteristics of 542 hail cases and 281 short-term heavy precipitation cases in the Hetao Irrigation Area from 1991 to 2020, using conventional meteorological observation data, regional automatic station observation data, and ERA5 reanalysis data. The results showed that: (1) The weather associated with short-term heavy precipitation is primarily characterized by four types of influencing systems, Xinjiang low trough (vortex), northeast cold vortex, Mongolia cold vortex, and southwest airflow. In contrast, hail weather is primarily associated with four types: Mongolia cold vortex, northwest airflow, northeast cold vortex, and Balkhash Lake cold vortex. (2) Variations exist in the forecasting thresholds for key parameters of short-term heavy precipitation and hailstorms in the Hetao Irrigation Area. The suggested lowest thresholds are determined based on the 25th percentile values from box-and-line diagrams. The mean values of $\Delta T_{850-500}$ are 26 and 33 °C, the mean values of the K-index are 27 and 35 °C, the mean values of CAPE are 515 and 405 J·kg⁻¹, the vertical wind shear from 0 to 6 km is 7×10⁻³ s⁻¹, the mean values of the 0 °C layer heights are 4 656 and 4 069 m, and the mean values of the -20 °C layer heights are 8 070 and 7 054 m, respectively. (3) Hailstorms require larger K-index values, greater $\Delta T_{850-500}$, and stronger low-level warm air for development.Furthermore, hailstorms are associated with lower 0 °C and -20 °C layer heights, as the lower 0 °C layer heights can prevent hailstones from melting during the descent. Moreover, the impact of subsurface factors on different severe convective weather events varies, with altitude being the primary factor influencing the distribution of hailstorms in the Hetao Irrigation Area.

Key words convective weather; short-term heavy precipitation; hailstorm; physical quantities