# 伊犁河谷短时强降水的时空分布及雷达回波 特征分析

玛合巴·巴合提<sup>1</sup>,祝小梅<sup>1\*</sup>,阿来依·艾丁<sup>2</sup>,陈晓文<sup>1</sup>

<sup>1</sup>伊犁州气象局,新疆 伊犁 <sup>2</sup>乌鲁木齐市气象局,新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2024年12月2日; 录用日期: 2025年1月2日; 发布日期: 2025年1月14日

# 摘要

本文利用伊犁河谷国家基本站和区域自动站2015年至2021年5至10月小时降水资料及伊宁新一代多普 勒天气雷达资料,采用常规统计方法对伊犁河谷短时强降水天气时空分布及雷达回波参数值进行了研究 分析。结果表明: (1) 伊犁河谷短时强降水空间分布呈山区多,平原少的特点,霍城县北部、伊宁县北 部、尼勒克县、昭苏县、特克斯县及新源县东部等地的山区大部为显著的高发区并都处于山前的迎风坡 处; (2) 近7a中,短时强降水年发生频次整体呈减少趋势,年平均为20次,2016年出现最多,2020年 为最少年份; (3) 短时强降水有明显的月变化,自5月迅速增加,6月达到峰值,8月开始减少,6月至7 月最为活跃; (4) 短时强降水的日变化呈单峰型结构,峰值出现时段在18~23时;河谷不同地区的日变 化特征也不尽相同,西部、东部呈单峰型结构,而南部呈双峰型结构;(5) 当雷达回波参数值中最大回 波强度 >47 dBZ,垂直积分液态水含量 >10.8 kg/m<sup>2</sup>,回波顶高 <9.7 km,S35>37.2 km<sup>2</sup>时,伊犁 河谷易发生短时强降水天气。

# 关键词

短时强降水,时空分布,雷达回波参数,伊犁河谷

# Analysis of the Spatio-Temporal Distribution and Radar Echo Characteristics of Short-Time Heavy Precipitation in the Yili River Valley

Maheba Baheti<sup>1</sup>, Xiaomei Zhu<sup>1\*</sup>, Alayi Aiding<sup>2</sup>, Xiaowen Chen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Yili Prefecture Meteorological Bureau, Yili Xinjiang <sup>2</sup>Urumqi Meteorological Bureau, Urumqi Xinjiang

\*通讯作者。

**文章引用:** 玛合巴·巴合提, 祝小梅, 阿来依·艾丁, 陈晓文. 伊犁河谷短时强降水的时空分布及雷达回波特征分析[J]. 气候变化研究快报, 2025, 14(1): 31-39. DOI: 10.12677/ccrl.2025.141004 Received: Dec. 2<sup>nd</sup>, 2024; accepted: Jan. 2<sup>nd</sup>, 2025; published: Jan. 14<sup>th</sup>, 2025

### Abstract

This study analyzes the spatio-temporal distribution and radar echo parameters of short-time heavy precipitation in the Yili River Valley using hourly precipitation data from national basic stations and regional automatic stations in the valley, as well as Doppler weather radar data from Yining, Xinjiang, for the period from May to October between 2015 and 2021. The analysis employs conventional statistical methods. The results indicate that: (1) The spatial distribution of short-time heavy precipitation in the Yili River Valley is characterized by a higher frequency in mountainous areas and a lower frequency in plains. Most of the mountainous regions in the north of Huocheng County, the north of Yining County, Nilka County, Zhaosu County, Tekes County, and the east of Xinyuan County are significant high-incidence areas and are located on the windward slopes of the mountains, (2) Over the past seven years, the annual frequency of short-time heavy precipitation has shown an overall decreasing trend, with an average of 20 events per year. The highest frequency occurred in 2016, while the lowest was in 2020. (3) Short-time heavy precipitation exhibits a clear monthly variation, increasing rapidly from May, peaking in June, and decreasing from August, with the most active period being from June to July. (4) The diurnal variation of short-time heavy precipitation follows an unimodal pattern, with the peak occurring between 18:00 and 23:00. The diurnal variation characteristics also vary among different regions of the valley, with an unimodal pattern in the west and east, and a bimodal pattern in the south. (5) When the radar echo parameters exceed certain thresholds, specifically a maximum echo intensity greater than 47 dBZ, a vertical integrated liquid water content greater than  $10.8 \text{ kg/m}^2$ , an echo top height less than 9.7 km, and an S35 area greater than 37.2 km<sup>2</sup>, short-time heavy precipitation is likely to occur in the Yili River Valley.

# **Keywords**

Short-Time Heavy Precipitation, Spatio-Temporal Distribution, Radar Echo Parameters, Yili River Valley

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc. This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0). <u>http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</u>

CC O Open Access

# 1. 引言

短时强降水是指降水强度大、持续时间短、突发性强、局地性强的强对流天气的一种,这种天气在 平原地区易造成城市内涝,山区则易发滑坡、山洪、泥石流等地质灾害,严重危害人民生命安全、影响 农牧业生产等。伊犁河谷属于温带大陆性气候,地形复杂,北、东、南三面环山,具有独特的"喇叭口" 地形,且海拔由西向东逐渐抬升,降水分布不均且受地形影响显著[1]-[3]。伊犁河谷在 5~10 月出现长时 间、大范围的降水天气较少,强降水多以短时强降水为主。

国内众多学者已对短时强降水的时空分布进特征行了深入研究,沈伟、付超等[4][5]在研究江苏、江 西等地区暖季短时强降水的时空分布特征,发现短时强降水在早晨、午后至傍晚各有一个峰值,日变化 具有明显的双峰特征。宇如聪等[6]分析我国暖季降水分布特征指出,华南地区是我国短时强降水的多发 区,日变化峰值主要出现在午后、清晨和夜间;姚莉等[7]研究1h雨强在我国的时空分布特征发现,西 南和华南地区日变化最为明显,但雨强在不同等级之间的差异并不大;王浪等[8]研究宝兴县短时强降水, 表明短时强降水主要发生在 7~8 月。徐慧燕等[9]分析丽水地区的短时强降水,指出短时强降水主要出现 在 5~9 月,峰值在 6 月和 8 月,日变化呈 3 峰结构,主峰出现在 14~22 时,次峰出现在 3 时和 8 时。贺 发胜等[10]研究河源市短时强降水,指出短时强降水在 5 月和 8 月出现频次最多,4~5 月容易发生在清晨 和下午,其余月份容易发生在下午。

近年来在新疆地区,也有许多气象学者对短时强降水的分布特征进行了深入研究。杨涛等[11]研究表明,新疆短时强降水空间分布极不均匀,每个区域短时强降水日变化明显,月变化不一致;秦贺等[12]研究表明,北疆和南疆短时强降水的月分布呈单峰型,具有迅速增强、迅速减弱的特征;全疆短时强降水的日变化为3峰结构,主峰在午后,次峰在前半夜和清晨,北疆与之相同,而南疆3个峰值时间和强度都与北疆存在显著差异。李博渊等[13]研究表明,新疆北部短时强降水发生频次年变化大,主要发生在6~7月,6月下旬为峰值,且日变化呈明显的单峰型,峰值主要发生在17~19时,显著的高发区是在山脉的迎风坡和喇叭口地形附近。黄艳等[14]研究表明,南疆短时强降水主要发生在7月上旬和8月,日变化为明显的双峰特征,在凌晨、午后至傍晚较易发生。还有许多气象工作者[15]-[24],通过对本地区短时强降水过程的时空分布、环流条件等研究分析,得到短时强降水分布特征、演变规律等。

从上述疆内外的研究中可以发现,不同地区短时强降水的时空分布特征存在很大差异。伊犁河谷地 形复杂,特别是随着全球气候变暖背景下,短时强降水成为伊犁河谷 5~10 月的主要灾害性天气之一,但 对于伊犁河谷这一特定地区短时强降水的研究却相对较少,尤其对出现短时强降水时的雷达参数的统计 分析研究的更少。因此,本文旨在基于已有的研究成果的基础上,进一步分析伊犁河谷短时强降水的时 空分布特征及雷达参数统计分析,以期为伊犁河谷短时强降水的预报预警提供参考依据。



# 2. 资料说明

**Figure 1.** Yili River Valley topography and the site distribution 图 1. 伊犁河谷地形及站点分布

降水资料选用伊犁河谷国家站和区域自动站 2015~2021 年 5~10 月小时降水实况数据,地形和站点分 布见图 1; 雷达资料为同时段(每 6 min 1 次)伊宁新一代多普勒天气雷达探测资料。

由于新疆干旱气候背景,在天气监测和预报预警业务中新疆气象部门把短时强降水的标准定为 1 小时降水量 ≥ 10 mm 的强降水[1]。由于近些年伊犁河谷出现 1 小时降水量 ≥ 20 mm 短时强降水的站点和 频次均在增多,因此本文选取 1 小时降水量 ≥ 20 mm 数据进行了重点统计分析。每个站点出现≥20 mm/h 的雨量记为一个站次,其中年平均值为 2015~2021 年的平均值。

本部分将伊犁河谷地区分为西部(伊宁市、伊宁县、霍尔果斯市、霍城县、察布查尔县),东部(尼勒 克县、新源县、巩留县),南部(昭苏县、特克斯县)进行分析。

#### 3. 短时强降水时空分布特征

#### 3.1. 空间分布特征

2015~2021 年伊犁河谷 10 个国家站和 89 个区域自动站出现过短时强降水,各站短时强降水累计次数为 143 站次。由(图 2)可以看出,伊犁河谷降水空间分布不均,呈现山区多,平原少的特点。尼勒县出现最多,共计 31 次,占总站次的 21.7%,第二为霍城县,23 次,占 16.1%,其次为昭苏县和特克斯县,分别为 22 次和 21 次,占 15.2%和 14.7%,其余各县(市)共计 46 次,占 32.2%,其中最少出现在伊宁市,只有 2 次,仅占 1.4%。两个极值站点为:昭苏县洪纳海乡乌鲁昆盖村(极值雨强为 28.9 mm/h,出现在 2015 年 6 月 8 日 11 时)、霍城县芦草沟镇别西阿尕什村小东沟(极值雨强为 37.3 mm/h,出现在 2016 年 5 月 18 日 10 时)短时强降水次数最多,均为 5 次。

从(图 3)极值雨强分布图来看,短时强降水主要以 20.0~29.9 mm/h 为主,占总次(88 次)的 75.0%,各 县均有分布,其中西部占 36.4%、东部占 34.8%、南部占 38.8%,主要分布于平原地区; 30.1~39.8 mm/h 的极值雨强占 20.5%,其中西部占 33.%、东部占 38.0%、南部占 27.8%,主要分布在沿山地区;而 42.8~44.3 mm/h 的极值雨强仅有 4 次,西部 2 次,东部 2 次,主要分布在霍城县北部、伊宁县北部和新源县东部等 山区,其中最大极值雨强为 44.3 mm/h, 2016 年 6 月 17 日 4 时发生伊宁县麻扎乡上博尔博松村站。

从以上伊犁河谷短时强降水站次和极值统计来看,霍城县北部、伊宁县北部、新源县东部、尼勒克 县、昭苏县及特克斯县等地的山区大部为显著的高发区,并都处于山前的迎风坡处,说明伊犁河谷的短 时强降水受特殊的地形影响较大。



![](_page_3_Figure_10.jpeg)

![](_page_4_Figure_1.jpeg)

Figure 3. Spatial distribution of extreme rainfall intensity for short-time heavy precipitation in the Yili River Valley from 2015 to 2021

图 3. 2015~2021 年伊犁河谷短时强降水极值雨强空间分布图

# 3.2. 时间分布特征

# 3.2.1. 年变化特征

2015~2021 年 5~10 月,伊犁河谷短时强降水共出现 143 次,年平均 20 次,从(图 4)可知,河谷短时 强降水年发生频次整体呈现减少趋势。短时强降水峰值年份为 2016、2018 及 2021 年,最多为 2016 年, 达 56 次,而 2019~2021 年整体偏少,尤其 2020 年最少,仅发生 2 次。

![](_page_4_Figure_7.jpeg)

Figure 4. Annual variation curve of annual cumulative frequency of short-time heavy precipitation in the Yili River Valley from 2015 to 2021 图 4. 2015~2021 年伊犁河谷短时强降水年累积频次年变化曲线

对比分析伊犁河谷西部、东部、南部短时强降水频次的年分布发现,西部和东部短时强降水次数均为50次、南部为43次,年均分别为7次、7次、6次,2017、2020、2021年西部短时强降水维持在平均水平之下,东部短时强降水在2019~2021年均不足平均水平,而南部2015、2019~2021年均在平均水平之下;西部短时强降水两个峰值年份为2016年和2018年,最多为2016年的19次,东部短时强降水峰值年份为2015~2016年,均为17次,而南部短时强降水峰值年份为2016年,为20次。逐年对比发现,2015年河谷短时强降水共发生29次,其中东部就为17次,而南部仅为4次,2019年河谷短时强降水共发生10次,其中西部为8次,东部为2次,而南部没有出现短时强降水;其它年份,河谷西部、东部、南部短时强降水发生频次差距均在2~3次。

#### 3.2.2. 月变化特征

由图 5 伊犁河谷短时强降水的月分布图可知,月累积变化呈现明显单峰型,5 月共 13 次,占总次 9.1%,6月达到峰值 76 次,占比为 53.1%,7 月减少为 40 次,占 28.0%,8 月为 10 次,占 7.0%,9 月、 10 月迅速减少至 2 次,均占 1.4%,且 6~7 月出现频次占总频次的比例高达 81.1%。说明,河谷短时强降 水在 6~7 月最为活跃,6月达到峰值。

对比伊犁河谷西部、东部、南部短时强降水频次的月分布发现,均呈现单峰型,西部、东部短时强 降水频次自5月迅速增加,6月达到峰值,7月迅速减少,整体呈迅速增强、迅速减弱的特点;而南部5~6 月缓慢增多,7月达到峰值,8月迅速减少,整体为缓慢增加、迅速减弱的特点。西部峰值出现在6月, 为34次,占总次(50次)的68.0%,东部峰值也出现在6月,为33次,占总次(50次)的66.0%,而南部峰 值出现在7月,为21次,占总次(43次)的48.8%。

![](_page_5_Figure_5.jpeg)

![](_page_5_Figure_6.jpeg)

#### 3.2.3. 日变化

从图 6 可知,伊犁河谷短时强降水主要出现在午后至凌晨,即当日 15 时至次日 01 时,共计 123 次, 占总次数的 83%。短时强降水的日变化呈单峰型结构,15 时起迅速增多,峰值出现时段在 18~23 时,其 中 23 时频次最多,为 19 次。短时强降水在后半夜大幅下降,03~14 时发生次数相对较少,共计 24 次, 占总次数的 17%,其中 09 时频次最少,为 0 次。

对比伊犁河谷西部、东部、南部短时强降水日变化来看,西部、东部与河谷短时强降水日变化相同, 呈单峰型结构,但峰值出现时次有前后差异,而南部呈双峰型结构。西部短时强降水峰值出现时段与河 谷相同,也出现在 18~23 时,其中 18 时频次最多,为 8 次;东部峰值时段在 20 时至次日 01 时,22 时 频次最多,为8次;南部短时强降水出现时段较西部和东部偏早,15时迅速增加,17~20时出现主峰, 18时频次最多,为7次,次峰出现在23时,频次为6次。

![](_page_6_Figure_2.jpeg)

Figure 6. Diurnal variation curve of cumulative frequency of short-time heavy precipitation in the Yili River Valley from 2015 to 2021

图 6. 2015~2021 年伊犁河谷短时强降水累积频次日变化曲线

## 4. 雷达回波参数值分析

目前新一代天气雷达可监测到多种高时空分辨率的产品,这些强对流天气分析产品极大地增强了短时和临近灾害性天气的监测和预警能力,但这些产品需要根据本地区特殊地形进行试用和总结,才能有效地提高强对流天气的识别准确率。为此,统计了2015~2021年5~10月伊犁河谷短时强降水天气发生期间,伊宁新一代天气雷达系统识别出并产生强降水的风暴单体作为样本。伊宁新一代天气雷达风暴识别追踪分析临近预报产品识别出了101个强降水风暴单体,共计有119站出现短时强降水。伊犁河谷短时强降水主要是对流性强降水,统计最大反射率因子强度、垂直液态水含量、回波顶高及35dBZ以上强度回波的面积(S35)等参数,由此得到短时强降水风暴单体的参数值。

| Table | <b>1.</b> Statistics of radar echo parameters |
|-------|---|
| 表1.   | 雷达回波参数统计表                                     |

|      |      | 最大反射率因子强度/dBZ | 垂直积分液态水含量/(kg/m²) | 回波顶高/km | 回波面积/km <sup>2</sup> |
|------|------|---------------|-------------------|---------|----------------------|
| 5~9月 | 最大   | 63            | 26.9              | 14.5    | 163.1                |
|      | 最小   | 37            | 1.1               | 4.8     | 16.5                 |
|      | 平均   | 50.5          | 10.8              | 8.5     | 53.8                 |
|      | ≥70% | >47           | >6                | <9.7    | >37.2                |

统计表 1 结果表明,短时强降水发生时最大反射率因子强度最大值 63 dBz,最小 37 dBz,平均 50.5 dBz,大于等于 50 dBz 的几率为 61%;垂直液态水含量最大达 26 kg/m<sup>2</sup>,平均为 10.8 kg/m<sup>2</sup>;回波顶高最 高为 15.5 km,最低 4.8 km,平均 8.5 km; S35 最大为 163.1 km<sup>2</sup>,最小 16.6 km<sup>2</sup>,平均 53.8 km<sup>2</sup>。70%以上的短时强降水最大反射率因子强度在 47 dBZ 以上,垂直积分液态水含量在 10.8 kg/m<sup>2</sup>以上,回波顶高

低于 9.7 km, S35 为 37.2 km<sup>2</sup>以上。根据上述统计的结果,设定雷达参数阈值,当相应的雷达参数阈值 满足时,伊犁河谷发生 1 小时降水量 ≥ 20 mm 短时强降水天气可能性较大。

#### 5. 结论与讨论

本文利用 2015~2021 年 5~10 月伊犁河谷 10 个国家基本站和 89 个区域自动站逐小时降水资料,系统分析了伊犁河谷短时强降水的时空分布特征和雷达回波参数值的统计,得出以下结论:

(1) 伊犁河谷短时强降水空间分布不均,呈现山区多,平原少的特点。出现最多的是尼勒克县,其次 是霍城县,最少的是伊宁市。霍城县北部,伊宁县北部、新源县东部、尼勒克县、特克斯县及昭苏县等地 的山区为显著高发区,并都处于山前的迎风坡处。

(2) 近 7 年中,伊犁河谷短时强降水年发生频次整体呈现减少趋势,年平均为 20 次;2016 年是出现 短时强降水最多年份,达 56 次,2020 年为最少年份,仅发生 2 次。

(3) 伊犁河谷短时强降水有明显的月变化。自 5 月迅速增加, 6 月达到峰值, 7 月略有减少, 8 月开 始迅速减少。河谷短时强降水 6~7 月最为活跃,短时强降水次数占总次数的 81.1%。

(4) 伊犁河谷短时强降水的日变化呈单峰型结构,峰值出现时段在18~23 时。河谷不同地区的日变化 特征不尽相同,西部、东部与河谷短时强降水日变化特征相同,呈单峰型结构,峰值出现时段和强度与 之也存在差异,而南部呈双峰型结构。

(5) 当雷达回波参数值中最大回波强度 > 47 dBZ, 垂直液态水含量在>10.8 kg/m<sup>2</sup>,回波顶高 < 9.7 km, S35 > 37.2 km<sup>2</sup>时,伊犁河谷易发生 1 小时降水量 ≥ 20 mm 短时强降水天气。

由于伊犁河谷短时强降水受特殊的地形影响较大,目前河谷区域气象站点空间分布不均匀,总体上 是平原多、山区少,因此可能会对短时强降水的空间分布统计造成一定影响。

# 基金项目

伊犁哈萨克自治州科技计划项目(YJC2023A10);新疆气象局科学研究项目(QN202405)。

#### 参考文献

- [1] 杨莲梅, 张云惠, 黄艳, 等. 新疆短时强降水诊断分析暨预报手册[M]. 北京: 气象出版社, 2020.
- [2] 史玉光, 孙照渤, 杨青. 新疆区域面雨量分布特征及其变化规律[J]. 应用气象学报, 2008, 19(3): 326-332.
- [3] 赵勇, 黄丹青, 古丽格娜, 等. 新疆北部夏季强降水分析[J]. 干旱区研究, 2010, 27(5): 773-779.
- [4] 沈伟, 袁慧玲, 晨曦, 等. 江苏暖季短时强降水的时空不均匀特征分析[J]. 大气科学学报, 2017, 40(4): 453-462.
- [5] 付超, 谌芸, 朱克云, 等. 2010-2016 年江西省暖季短时强降水特征分析[J]. 气象, 2019, 45(9): 1238-1247.
- [6] 宇如聪,李建,陈昊明,等. 中国大陆降水日变化研究进展[J]. 气象学报, 2014, 72(5): 948-968.
- [7] 姚莉, 李小泉, 张立梅, 等. 我国 1 小时雨强的时空分布特征[J]. 气象, 2009, 35(2): 80-87.
- [8] 王浪,马力.四川宝兴县短时强降水的时空分布特征[J]. 气象科技, 2016, 44(3): 423-429.
- [9] 徐慧燕, 邓霞君, 周国华. 丽水地区短时强降水时空分布特征及成因分析[J]. 气象与环境科学, 2016, 39(3): 44-49.
- [10] 贺发胜,肖建军,郑金新,等. 河源市短时强降水的时空分布及雷达回波特征分析[J]. 广东气象, 2020, 42(6): 35-38.
- [11] 杨涛, 张云惠, 杨莲梅. 新疆短时强降水时空分布精细化特征[J]. 气象水文海洋仪器, 2022, 39(3): 34-37.
- [12] 秦贺,陈春艳,阿不力米提江·阿布力克木,李娜.新疆暖季短时强降水特征[J]. 干旱区研究, 2019, 36(6): 1440-1449.
- [13] 李博渊, 赵江伟, 李新豫, 等. 新疆北部暖季短时强降水的时空分布特征 [J]. 沙漠与绿洲气象, 2021, 15(2): 34-41.

- [14] 黄艳, 俞小鼎, 陈天宇, 等. 南疆短时强降水概念模型及环境参数分析[J]. 气象, 2018, 44(8): 1033-1041.
- [15] 庄晓翠,赵江伟,李健丽,等. 新疆阿勒泰地区短时强降水流型及环境参数特征[J]. 高原气象, 2018, 37(3): 675-685.
- [16] 赵江伟, 庄晓翠, 张云惠. 新疆阿勒泰地区夏季短时强降水时空分布特征[J]. 气象与减灾研究, 2022, 45(1): 31-37.
- [17] 李博渊,马宏君,庄晓翠,等. 2010-2016 年新疆阿勒泰地区暖季降水日变化特征[J]. 干旱气象, 2017, 35(5):797-805.
- [18] 祝小梅, 白婷, 齐元元, 等. 伊犁河谷短时强降水气候特征及大尺度环流背景分析[C]//第 35 届中国气象学会年会 S1 灾害天气监测、分析与预报. 伊犁: 新疆伊犁州气象局, 2018: 2499-2509.
- [19] 刘晶,周玉淑,杨莲梅,等. 伊犁河谷一次极端强降水事件水汽特征分析[J]. 大气科学, 2019, 43(5): 959-974.
- [20] 黄秋霞, 赵勇, 何清. 新疆伊犁州夏季降水日变化特征[J]. 冰川冻土, 2015, 37(2): 369-375.
- [21] 李胜楠. 库尔勒市主汛期降水日变化特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2019, 13(2): 63-68.
- [22] 黄秋霞, 方雯, 王春燕, 等. 新疆昌吉市主汛期降水日变化特征[J].沙漠与绿洲气象, 2016, 10(6): 19-23.
- [23] 赵克明. 喀什市降水日变化特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2016, 10(2): 31-35.
- [24] 张超, 贾健. 乌鲁木齐市短时强降水分布特征及环境条件分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2019, 13(3): 41-47.