

井宇,陈闻,姚静,等.陕西夏季短时暴雨时空特征分析[J].陕西气象,2025(2):19-25.

文章编号:1006-4354(2025)02-0019-07

# 陕西夏季短时暴雨时空特征分析

井 宇<sup>1,2</sup>,陈 闻<sup>2,3</sup>,姚 静<sup>1,2</sup>,张蔚然<sup>1,2</sup>

(1. 陕西省气象台,西安 710014;

2. 中国气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点开放实验室,西安 710016;

3. 陕西省气象科学研究所,西安 710016)

**摘要:**基于2008—2023年陕西省95个国家气象站的小时降水资料分析了陕西夏季(6—8月)短时暴雨的时空特征。结果表明:短时暴雨频次日变化存在区域差异,陕北和关中的极大峰值出现在午后至夜间,陕南变化范围较小。短时暴雨空间分布不均,主要分布在陕南中西部;与全省其他区域相比,陕西东部和西南部短时暴雨的累计降水量占夏季总降水量的比例相对较高。包含短时暴雨的降水事件午后至傍晚多发,夜间至清晨较少发生,但持续时间大于6 h的频次较多。持续时间1~24 h包含短时暴雨的降水事件中,2~6 h的发生频次较高;平均累计降水量随持续时间的增长呈增加趋势,平均降水强度则呈减小趋势。关中西南和陕南西部持续性包含短时暴雨的降水事件的累计降水量(频次)占持续时间1~24 h包含短时暴雨的降水事件累计降水量(频次)的比例较高,其余地区短历时降水占比例较高。不同起始时间的包含短时暴雨的降水事件,始于午后至夜间的较多且平均降水强度较大,始于夜间至次日中午的平均累计降水量较多。始于不同时段包含短时暴雨的降水事件空间特征分析表明,15时一次日02时发生频次较多,多发区主要分布在陕北和陕南;21时一次日08时平均累计降水量较大,高值区主要分布在陕北东部和陕南中西部。

**关键词:**短时暴雨;时空特征;持续时间

**中图分类号:**P458.121

**文献标识码:**A

暴雨是夏季最主要的灾害性天气之一,短时暴雨在较短时间内较大的降水量,易引发山洪、泥石流和城市内涝等次生灾害,造成巨大的生命财产损失<sup>[1-2]</sup>。因此短时暴雨一直是短临预报工作的重点和难点<sup>[3]</sup>。科技工作者从不同角度开展了一系列关于短时暴雨的研究<sup>[4-7]</sup>。

我国不同地区短时暴雨的日变化特征表现出明显的地域差异。大连地区的短时暴雨发生频次的日分布表现为昼多夜少的特征<sup>[8]</sup>,辽宁短时暴雨发生频次的峰值出现在夜间22时<sup>[9]</sup>,安顺市的短时暴雨有典型的夜雨特征<sup>[10]</sup>。短时暴雨在不

同地点表现出不同的空间分布特征。甘肃河东地区的东部及南部短时暴雨发生频次偏多,北部偏少<sup>[11]</sup>;福州地区内陆县市的短时暴雨发生频数多于沿海县市,高海拔山区的短时暴雨发生频数多于平原地区<sup>[12]</sup>。另有很多科技工作者从降水持续性对包含高小时雨强的降水事件进行研究。川渝地区短历时强降水事件的高值区主要分布于盆地西部、南部和东部,长持续时间的强降水事件主要分布在峨眉站附近地区<sup>[13]</sup>;重庆地区强降水事件平均持续时间低值区主要分布在中西部,高值区主要分布在东北部与东南部<sup>[14]</sup>;河南省持续时

---

收稿日期:2024-02-29

作者简介:井宇(1985—),女,汉族,陕西米脂人,硕士,高工,主要从事短临天气预报技术研究。

基金项目:陕西省自然科学基础研究计划项目(2023-JC-QN-0367);灾害天气国家重点实验室开放课题

(2023LASW-B21);秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室开放基金课题(2021G-28;2023G-1;2022G-2)

间 $\geq 3$  h 的强降水事件在河南南部的发生频率更高,存在两个高频集中区且与地形关系密切<sup>[15]</sup>;长江流域的大别山地区因其地形作用,成为持续型短时强降水事件的高发区<sup>[16]</sup>。

陕西地处青藏高原东北侧,受青藏高原大地形、秦巴山区和黄土高原等地形的影响<sup>[17]</sup>。陕北地区地处黄土高原的北部,总体地势西高东低,由西北向东南倾斜<sup>[18]</sup>。秦岭是中国南北地理环境的重要分界线,是亚洲东部暖温带与亚热带之间的过渡带<sup>[19]</sup>。陕西省多种地形错综复杂,降水导致的地质灾害时有发生<sup>[20]</sup>。陕西地区降水规律的研究对于提高城市防灾减灾能力具有重要的意义。本文利用 2008—2023 年夏季(6—8 月)逐小时降水资料,研究陕西省短时暴雨时空分布特征,从而提高对该地区夏季降水规律的认识。近年来,很多学者对短时强降水的气候特征进行了分析,文中对比了短时暴雨和短时强降水的时空特征,以期为业务人员提供更有益的参考。

## 1 资料和方法

所用资料为 2008—2023 年陕西省 6—8 月国家气象站逐小时的降水数据,对数据的完整性进行检查,为了减少记录缺失对分析的影响<sup>[21]</sup>,剔除了数据完整性小于 99% 的站点,质控后保留 95 站(图 1)。

根据陕西省地方标准《灾害性天气气候》(DB61/T 442.1—2008)小时暴雨的定义,将 1 h 降水量 $\geq 10$  mm 的降水称为短时暴雨<sup>[22]</sup>。短时强降水是指 1 h 降水量 $\geq 20$  mm 的降水过程<sup>[23]</sup>。某站出现 1 h 降水量 $\geq 10$  mm(20 mm),则该站短时暴雨(短时强降水)频次计 1 次,区域短时暴雨(短时强降水)频次为区域内各站短时暴雨(短时强降水)频次之和,单位为站次。定义一次降水事件开始时为至少前 2 h 无大于等于 0.1 mm 降雨量发生,降水结束后至少连续 2 h 降雨量小于 0.1 mm 时,判定一次降水事件结束<sup>[13]</sup>。降水事件的持续时间定义为降水开始至结束的小时数,降水事件持续时间段的累计降水为降水事件的降水量。将降水事件按不同的持续时间分为 3 类,持续时间 1~6 h、7~12 h 和 13~24 h 分别为短历时降水事件、持续性降水事件和长持续性降水

事件<sup>[24]</sup>。降水事件的降水强度定义为事件累计降水量与持续时间的比值。包含短时暴雨的降水事件时空特征分析中,如果某站持续时间 1~24 h 的某个降水事件中包含 1 h 降水量 $\geq 10$  mm 的短时暴雨,则该站包含短时暴雨的降水事件频次计 1 次。某时段内(或某持续时间)区域包含短时暴雨的降水事件频次,为区域内各站包含短时暴雨的降水事件频次之和。某时段内(或某持续时间)区域包含短时暴雨的降水事件的平均降水量(降水强度),为此区域范围内所有站点包含短时暴雨的降水事件的平均降水量(降水强度)。

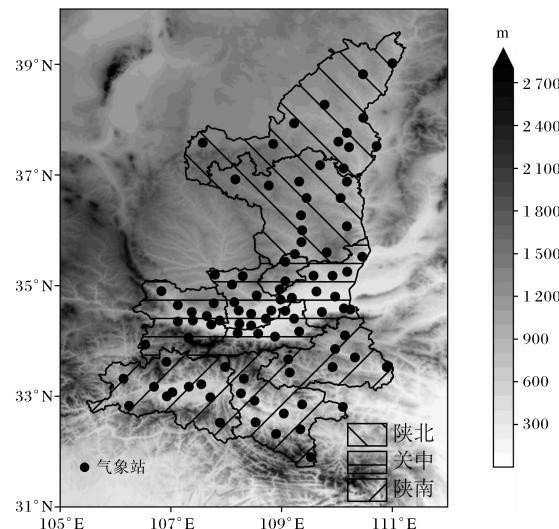


图 1 陕西省 95 个国家气象站分布和地形高度  
(审图号为 GS(2024)0650 号,下同)

## 2 短时暴雨的时空分布特征

### 2.1 短时暴雨的日变化特征

图 2a 给出了全省和各区域短时暴雨频次逐小时变化,全省短时暴雨总体上 16—21 时出现频次较多,峰值在 19 时。一般认为由于地表受太阳辐射加热,导致低层大气不稳定,从而午后对流易被触发,有利于短时且集中的降水发生<sup>[25-27]</sup>。陕北短时暴雨午后至傍晚出现频次较多,峰值在 18 时;关中 16 时—次日 01 时出现频次较高,峰值在 19 时;陕南短时暴雨频次日变化波动范围较小。

从图 2b 可看出全省、陕北和关中短时强降水和短时暴雨频次的高值时段相似,陕南短时强降水 16 时—次日 01 时出现频次较高,峰值在 17 时。

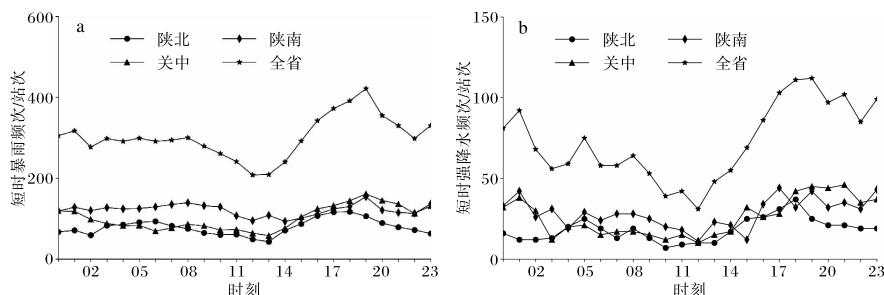


图 2 2008—2023 年陕西省短时暴雨(a)和短时强降水(b)频次日变化

## 2.2 短时暴雨的空间分布特征

由 2008—2023 年夏季各站累计短时暴雨频次的空间分布图(图 3a)可见, >100 次的高值区主要分布在陕南的中西部, 极大值出现在汉中镇巴(205 次)。短时强降水与短时暴雨频次的空间分布相似(图 3b)。

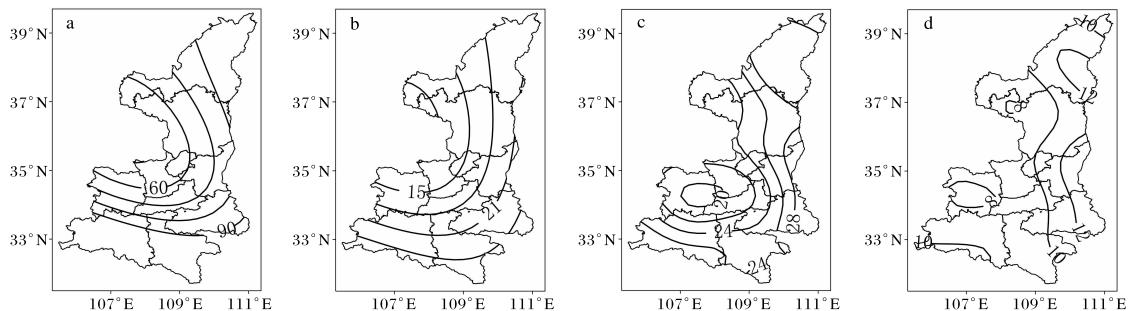


图 3 2008—2023 年陕西省短时暴雨(a)和短时强降水(b)频次(站次)及短时暴雨累计降水量(c)和短时强降水累计降水量(d)占夏季总降水量比例(%)空间分布

从各站点短时暴雨频次的日峰值及其出现时间(分别计算各站点短时暴雨频次日变化,统计各站点频次最高的时次)的空间分布图(图 4)可见,陕北、关中和陕南东北部的日峰值主要出现在 15—21 时(60 站, 占总站数的 63%), 陕南中西部的日峰值多出现在 00—10 时。陕南短时暴雨频次的日峰值显著大于陕北和关中。陕南位于秦岭南侧, 受地形影响有利低层暖湿气流聚集, 且地形抬升触发作用有利于强降水的发生发展<sup>[28-29]</sup>。

## 2.3 包含短时暴雨的降水事件特征

**2.3.1 包含短时暴雨的降水事件整体特征** 全省 2008—2023 年夏季持续时间在 1~24 h 降水事件中, 包含短时暴雨的降水事件共发生 4 985 次, 占夏季持续时间在 24 h 内降水事件总次数的比例为 8.29%, 其中 947 次累计降水量  $\geq 50 \text{ mm}$ , 占包含短时暴雨的降水事件总数的 19.00%。

从图 3c 可看出, 关中中西部短时暴雨的累计降水量占夏季总降水量的比例相对较低, 陕北东部、关中东部、陕南东部和西南部短时暴雨的累计降水量占夏季总降水量的比例相对较高。短时强降水与短时暴雨的累计降水量分别占夏季总降水量比例的空间分布相似(图 3d)。

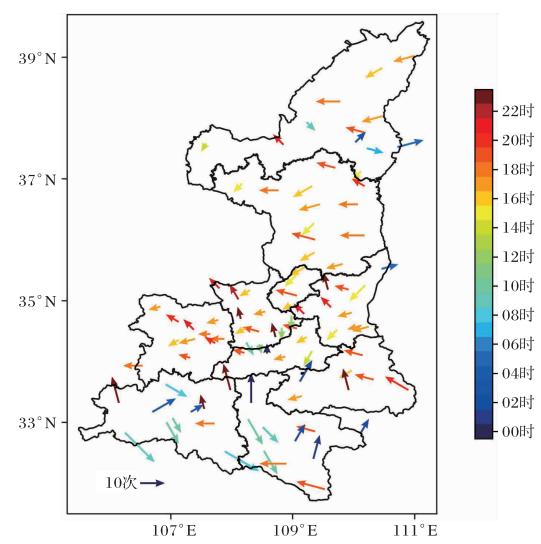


图 4 2008—2023 年陕西省短时暴雨频次日峰值及其出现时间的空间分布

**2.3.2 包含短时暴雨的降水事件的时空分布特征** 持续时间在1~24 h降水事件中,包含短时暴雨的降水事件频次和累计降水量占所有降水事件的比例见图5,高值区主要分布在陕北东部、关中东部和陕南。全省包含短时暴雨的降水事件发生频次占夏季降水事件频次的比例在4.4%~11.7%之间,极大值出现在榆林佳县;累计降水量占夏季降水量比例在21.8%~51.3%之间,极大值出现在榆林子洲。

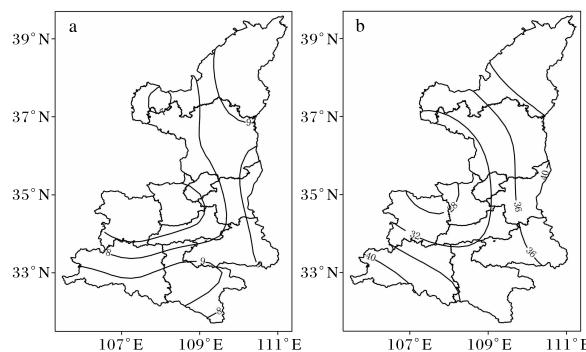


图5 2008—2023年陕西省持续时间1~24 h降水事件中包含短时暴雨的降水事件频次(a)和降水量(b)占比(%)空间分布

午后至傍晚,包含短时暴雨的降水事件多发,但以短历时降水为主(图6);夜间至清晨,包含短时暴雨的降水事件总体发生频次较少,但持续时间大于6 h的降水增多。

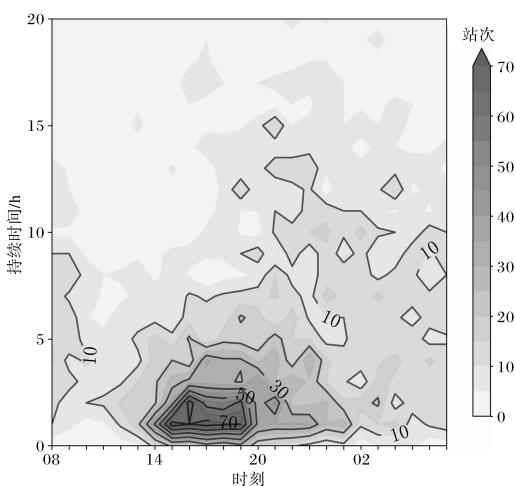


图6 2008—2023年陕西省不同持续时间的包含短时暴雨的降水事件频次日变化

### 2.3.3 不同持续时间包含短时暴雨的降水事件

**特征** 从不同持续时间包含短时暴雨的降水事件的频次、平均降水量和平均降水强度变化曲线(图7)可见,持续2~6 h的降水频次较多,占总频次的44.71%。其中,持续时间2 h的降水频次最多,达722次,2 h以上的降水逐渐减少。包含短时暴雨的降水事件平均累计降水量随持续时间的增大呈增加趋势,平均降水强度随持续时间增长呈减小趋势。

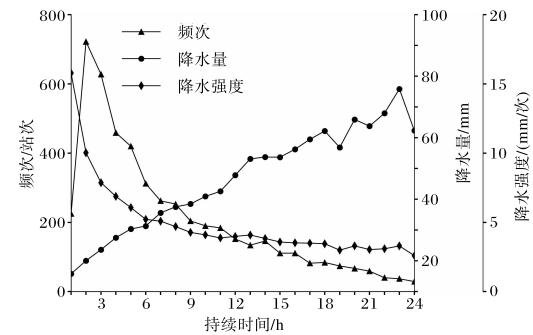


图7 2008—2023年陕西省不同持续时间包含短时暴雨的降水事件的频次、降水量和降水强度

**不同持续时间包含短时暴雨的降水事件的发生频次占总频次的比例显示**(图8):短历时降水的低比例区主要分布在关中西南和陕南西部,其他地区的比例>50%;持续性降水的高比例区域主要分布在关中西部;长持续性降水的高比例区主要分布在关中西南部和陕南西部。

**不同持续时间包含短时暴雨的降水事件的累计降水量占总降水量的比例显示**(图9):短历时降水的低比例区主要分布在关中西南和陕南中西部,其他地区比例>30%;持续性降水的高比例区域主要分布在陕北北部和关中西南;长持续性降水的高比例区主要分布在关中西南和陕南中西部。夏季陕北上游低压切变附近生成对流系统后,沿西北—东南倾斜地形南下影响陕北地区,可能是陕北北部持续时间1~12 h包含短时暴雨的降水事件发生频次和累计降水量比例高的成因之一。

**2.3.4 不同开始时间包含短时暴雨的降水事件特征** 从不同开始时间包含短时暴雨的降水事件的频次、降水量和降水强度日变化曲线(图10)可见:发生频次从11—15时陡然增加,19时达到峰值(344次);15—23时维持在250站次以上,累计

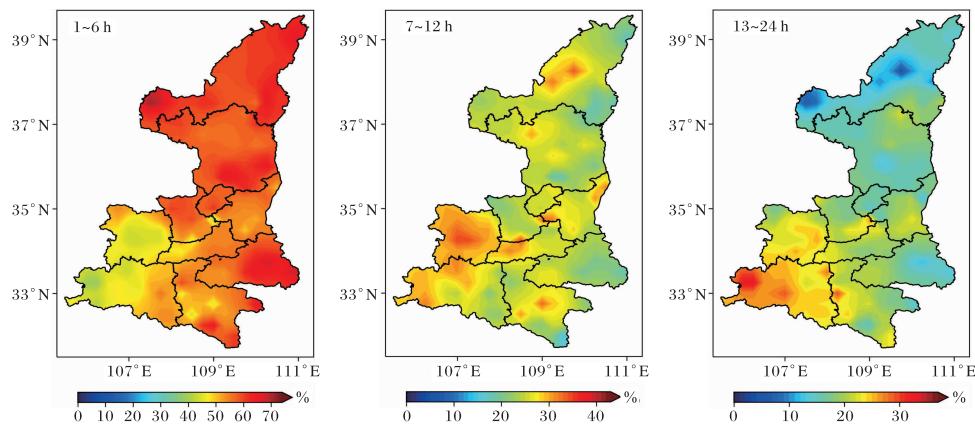


图 8 2008—2023 年陕西省不同持续时间包含短时暴雨的降水事件频次占总频次的比例

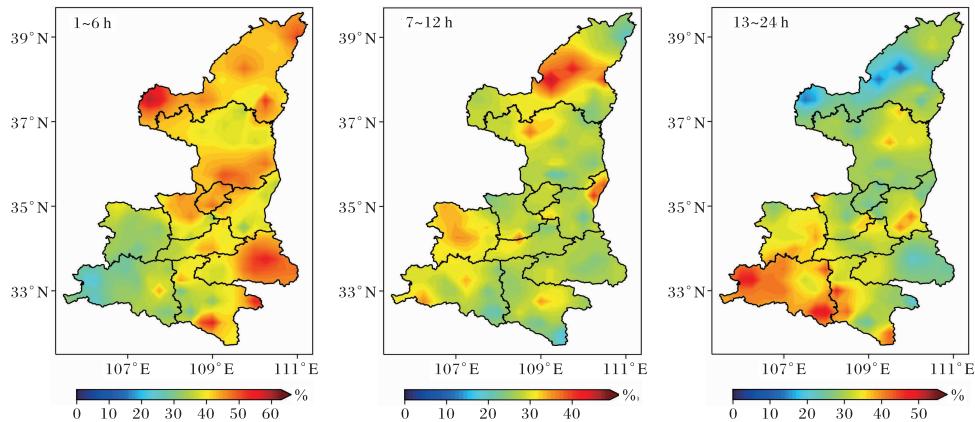


图 9 2008—2023 年陕西省不同持续时间包含短时暴雨的降水事件累计降水量占总降水量的比例

频次占总频次的比例达 53.26%;之后逐渐减小。平均累计降水量从 15 时开始逐渐增加,02 时达到最大值,21 时一次日 11 时平均累计降水量维持在 35 mm 以上。平均降水强度从 10 时之后逐渐增加,12—15 时增加幅度较大,17 时增至 7.83 mm/次,之后波动减小。

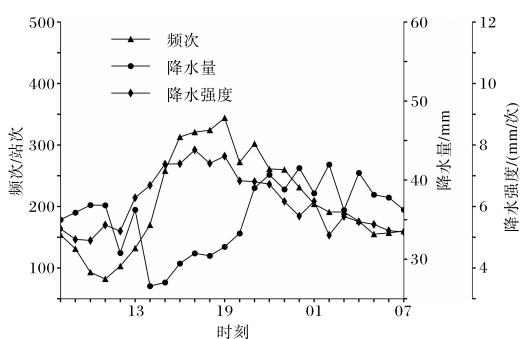


图 10 2008—2023 年陕西省不同开始时间的包含短时暴雨的降水事件的频次、降水量和降水强度

由于太阳辐射加热日变化,下午和傍晚低层大气易达到不稳定状态,并激发局地湿对流活动,

形成短时降水<sup>[27,30]</sup>。秦岭地区下垫面地形的复杂性和地处青藏高原东部的特殊位置,使秦岭南部长夜雨显著<sup>[31]</sup>。因此将 1 日分为 4 个时段,研究不同时段降水事件的特征。

不同开始时间包含短时暴雨的降水事件频次的空间分布(图 11)显示:始于 15—20 时的降水频次相对较多,≥20 次的高发区主要分布在陕北和陕南东部,最大值出现在商洛商南(37 次);始于 21 时一次日 02 时降水高发区主要分布在陕南,与地形相关的夜间对流层的中上层上升运动加强和垂直次级环流的形成,是秦岭南部长夜雨多发的重要原因<sup>[31]</sup>;始于 03—08 时的降水高发区也主要分布在陕南,陕北和关中较少出现;始于 09—14 时的降水频次相对于其他 3 个时段较少。

不同开始时间包含短时暴雨的降水事件平均累计降水量空间分布(图 12)显示:始于 15—20 时降水事件的平均累计降水量相对较小;始于 21 时一次日 02 时降水事件的平均累计降水量除陕

北西部外,其余地区均较大;始于 03—08 时降水事件的平均降水量相对较大,高值区分布在陕北

东部和陕南西部;始于 09—14 时降水事件的平均降水量除关中西部外,其余地区较小。

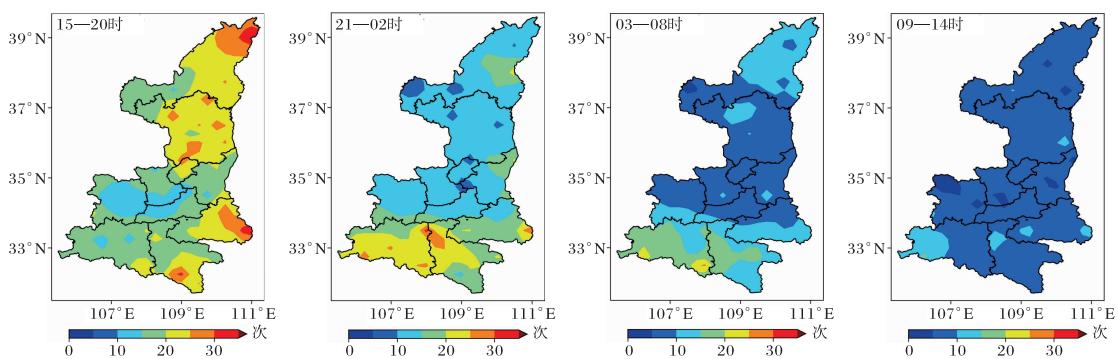


图 11 2008—2023 年陕西省始于不同时段包含短时暴雨的降水事件的发生频次

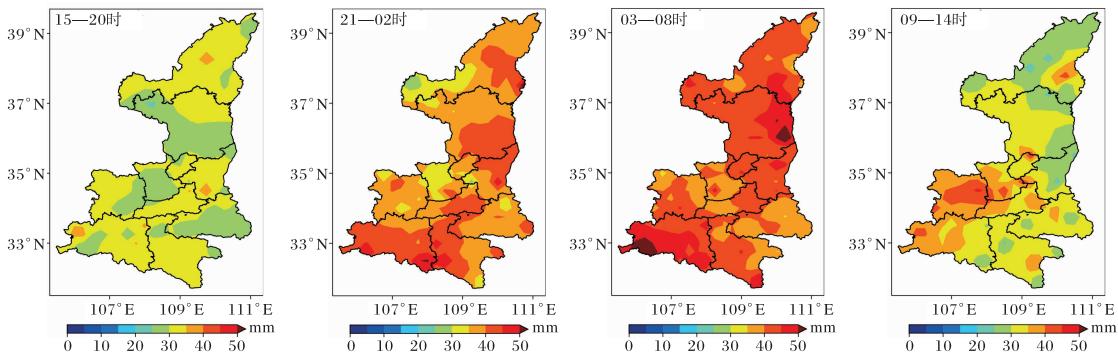


图 12 2008—2023 年陕西省始于不同时段包含短时暴雨的降水事件的平均累计降水量

### 3 结论

(1)各区域短时暴雨日变化存在差异,陕北和关中的主峰分别出现在 18 时和 19 时;陕南短时暴雨频次日变化波动范围较小。陕北和关中短时强降水和短时暴雨频次的高值时段相似,陕南短时强降水 16 时—次日 01 时出现频次较高,峰值在 17 时。

(2)短时暴雨累计频次的空间分布不均,高值区主要分布在秦岭以南的陕南中西部;短时强降水与短时暴雨频次的空间分布相似。短时强降水与短时暴雨的累计降水量分别占夏季总降水量比例的空间分布相似,高值区主要分布在陕西东部和西南部。各站点的短时暴雨频次日峰值多出现在午后至夜间,高频次区主要分布在陕南。

(3)持续时间 1~24 h 降水事件中,包含短时暴雨的降水事件累计降水量(频次)占所有事件的比例的高值区主要分布在陕北东部、关中东部和陕南。包含短时暴雨的降水事件午后至傍晚多

发,但以短历时降水为主;夜间至清晨发生频次较少,但持续时间大于 6 h 的降水增多。

(4)不同持续时间包含短时暴雨的降水事件,2~6 h 的降水频次较多;平均累计降水量(降水强度)随持续时间的增大呈增加(减小)趋势。不同持续时间包含短时暴雨的降水事件的空间特征分析显示,关中西南和陕南西部长持续性降水的发生频次(累计降水量)占总频次(总降水量)的比例较高,其余地区短历时降水占比例较高。

(5)不同开始时间包含短时暴雨的降水事件的频次、降水量和降水强度日变化特征分析显示,始于午后至夜间的发生频次较大且平均降水强度较大,始于夜间至次日中午的平均累计降水量较大。始于不同时段包含短时暴雨的降水事件空间特征分析显示,15 时—次日 02 时为多发时段,降水高发区主要分布在陕北和陕南;始于 21 时—次日 08 时的平均累计降水量较大,高值区主要分布在陕北东部和陕南中西部。

## 参考文献:

- [1] 赵强,王楠,高星星,等. 西安连续两天短时暴雨的对流条件及触发机制对比分析[J]. 高原气象, 2021, 40(4):801–814.
- [2] 李静睿. 陕南两次西南涡引发的短时暴雨对比分析[J]. 陕西气象, 2022(1):9–16.
- [3] 杨芳园,潘娅婷,邹灵宇,等. 昆明市两次局地短时暴雨过程对比分析[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2021, 43(5):953–963.
- [4] 毕旭,王丽,张雅斌,等. 陕西秦岭北麓致灾短时暴雨特征及预警技术[J]. 灾害学, 2019, 34(2):122–127.
- [5] 高宇星,王瑞英,杜萌萌,等. 西安一次突发性短时暴雨环境条件及成因分析[J]. 陕西气象, 2023(6): 26–32.
- [6] 张雅斌,罗慧,赵荣,等. 西安致灾短时暴雨中尺度与动力指数特征[J]. 热带气象学报, 2019, 35(5): 614–628.
- [7] 刘帆,蔡惠文,高萌,等. 西安一次短时暴雨的双偏振雷达特征[J]. 陕西气象, 2024(2):1–7.
- [8] 吴杞平,王树雄,李燕,等. 2004—2009年大连地区短时暴雨分析预报[J]. 气象与环境学报, 2012, 28(2):71–76.
- [9] 肖光梁,陈传雷,龙晓慧,等. 辽宁省短时暴雨和大暴雨时空分布与变化特征[J]. 气象与环境学报, 2019, 35(5):46–52.
- [10] 蒙军,徐良军,彭波,等. 2012—2015年安顺市短时暴雨时空分布[J]. 中低纬山地气象, 2019, 43(3):46–50.
- [11] 赵玉娟,路亚奇,张洪芬,等. 基于模糊数学的甘肃河东地区短时暴雨的大气环境参数综合评价研究[J]. 干旱区研究, 2023, 40(4):543–551.
- [12] 张美花,张炜月. 2013—2018年福州地区短时暴雨特征分析[J]. 海峡科学, 2020(8):8–11.
- [13] 李强,邓承之,张勇,等. 1980—2012年5—9月川渝盆地小时强降水特征研究[J]. 气象, 2017, 43(9):1073–1083.
- [14] 杨春,张勇,张亚萍,等. 近25a重庆地区小时降水量时空分布特征分析[J]. 暴雨灾害, 2020, 39(1): 71–80.
- [15] 王婧羽,李哲,汪小康,等. 河南省雨季短时强降水时空分布特征[J]. 暴雨灾害, 2019, 38(2):152–160.
- [16] 唐永兰,徐桂荣,万蓉. 2020年主汛期长江流域短时强降水时空分布特征[J]. 大气科学学报, 2022, 45(2):212–224.
- [17] 高维英. 弱天气系统下陕西暖区暴雨分型及其环境场特征[J]. 陕西气象, 2022(6):1–6.
- [18] 杜少少,洪勃,王力,等. 陕北黄土地层地貌特征及工程特性综述[J]. 中国地质调查, 2018, 5(6): 83–89.
- [19] 宋春英,延军平,张立伟. 陕西秦岭南北旱涝灾害时空变化趋势分析[J]. 干旱区研究, 2011, 28(6): 944–949.
- [20] 李巧,戚友存,朱自伟,等. 复杂地形下C波段雷达定量降水估计算法[J]. 气象学报, 2021, 79(4): 689–702.
- [21] YANG P, REN G, HOU W, et al. Spatial and diurnal characteristics of summer rainfall over Beijing Municipality based on a high-density AWS dataset [J]. International Journal of Climatology, 2013, 33(13):2769–2780.
- [22] 杜继稳. 陕西省短期天气预报技术手册(修订版)[M]. 北京:气象出版社, 2023:430–440.
- [23] 刘新伟,段海霞,杨晓军,等. 甘肃东部两次短时强降水天气过程对比分析[J]. 干旱气象, 2017, 35(5):868–873.
- [24] 杨霞,张俊兰,华烨,等. 新疆伊犁河谷不同季节降水的日变化特征[J]. 干旱气象, 2021, 39(3): 394–405.
- [25] 汪雅,董广涛,杨辰,等. 基于小时降水资料的上海市降水精细特征分析[J]. 高原气象, 2022, 41(5):1209–1219.
- [26] 杨萍,肖子牛,石文静. 基于小时降水资料研究北京地区降水的精细化特征[J]. 大气科学, 2017, 41(3):475–489.
- [27] YU R, ZHOU T, XIONG A, et al. Diurnal variations of summer precipitation over contiguous China [J/OL]. Geophysical Research Letters, 2007, 34: L01704 [2024-01-16]. <https://doi.org/10.1029/2006GL028129>.
- [28] 毕宝贵,刘月巍,李泽椿. 秦岭大巴山地形对陕南强降水的影响研究[J]. 高原气象, 2006, 25(3): 485–494.
- [29] 慕建利,李泽椿,李耀辉. 高原东侧特大暴雨过程中秦岭山脉的作用[J]. 高原气象, 2009, 28(6): 1282–1290.
- [30] 董旭光,顾伟宗,曹洁,等. 山东省汛期小时极端强降水分布和变化特征[J]. 气象, 2017, 43(8): 953–961.
- [31] 张宏芳,潘留杰,陈昊明,等. 秦岭及周边地区暖季降水日变化及其成因分析[J]. 高原气象, 2020, 39(5):935–946.