

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2018.07.020

川渝盆地主汛期短时强降水事件日变化特征研究^①

李 强^{1,2}, 张亚萍¹, 何 跃¹, 刘伯骏¹, 郭 渠³

1. 重庆市气象台, 重庆 401147; 2. 高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室, 成都 610000;
3. 重庆市气候中心, 重庆 401147

摘要: 利用四川盆地和重庆地区 1980—2012 年主汛期(5—9 月)基本站小时降水观测资料, 分析了短时强降水事件降水量、频次和强度的日变化特征, 研究了短时强降水事件日峰值位相和空间分布特征, 事件极值降水日变化和持续时间等分布特征, 得出以下主要结论: 1) 川渝盆地短时强降水事件开始时间的日变化上(01:00—24:00 时, 北京时间, 下同), 表现为“V”型结构下典型夜间峰值位相特征; 结束时间的日变化上, 表现为多个峰值型结构分布. 强降水事件持续时间的日变化上, 频次和降水量均呈双峰型结构, 频次极大峰值出现在 3 h, 而强度上随着持续时间的延长, 呈现逐渐增加的趋势; 2) 短时强降水事件极值开始时间空间分布上, 极大频次和极大降水量出现在 20:00—01:00 时内, 主要分布在盆地南部和西部大部分地区; 日峰值频次结束时间主要发生在 20:00—01:00 时和 08:00—13:00 时两个时段内, 主要分布于盆地南部、中部和西部大部分地区; 3) 短时强降水事件极值降水的日变化上, 降水量和频次呈现单峰型结构, 白天多为短时间(2~4 h)强降水事件出现极值, 而傍晚开始至第二天清晨, 持续 2~10 h 强降水事件出现极值均有发生; 强降水事件极值降水持续时间日变化, 1~24 h 内呈单峰型结构, 峰值出现在 2 h.

关键词: 短时强降水; 短时强降水事件; 频次; 强度

中图分类号: P468.0⁺24

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2018)07-0144-09

位于青藏高原东侧的川渝盆地地区, 北邻秦岭巴山, 南连云贵高原, 西倚青藏高原, 东临巫山—武陵山脉, 地形地貌复杂, 海拔落差大, 是高原大地形和中国东部平原的过渡区, 受东亚季风和印度季风的共同影响, 同时又受到青藏高原环流系统的影响, 气候复杂, 大气降水具有显著的区域特性^[1-2], 导致该地区多出现短时强降水等强对流特征. 短时强降水是一定时间内产生大量降水, 其降雨量达到或超过某一量值的天气现象. 其主要是由于中小尺度天气系统造成的, 由于其发生发展十分迅速, 具有历时短、雨强大、局地性强等特点, 且常伴有雷雨、大风、冰雹等强对流天气, 具有降水的短历时特征及强对流特征, 而对短时强降水落区和时效的预报预警一直是预报的难点.

在大尺度天气系统和中小尺度天气系统配合下, 短时强降水时间短、强度大、局地性强等特点, 以及伴随着持续时间长, 而形成局地性的大量降水, 构成包含短时强降水的强降水事件, 导致洪涝、泥石流、城市渍涝等灾害. 由于小时尺度降水资料长时间的积累, 国内外研究围绕降水的日变化特征开展了一些研究^[3-5]. Yu 等^[6-7]利用自动站观测降水资料分析了中国大陆夏季的日变化特征和降水持续时间的

① 收稿日期: 2017-02-08

基金项目: 中国气象局 2017 年预报员专项(CMAYBY2017-060); 高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室开放研究基金项目(SZ-KT2016004); 重庆市气象局 2016 年业务技术攻关项目(YWGGTD-201607, YWGGTD-201624); 重庆市科委基础与前沿研究计划项目(cstc2015jcyjA00039).

作者简介: 李 强(1982-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事天气预报研究.

关系,指出夏季降水存在显著的日变化;东南部和东北部的降水量日变化表现为下午单峰型,青藏高原东部和四川盆地为午夜单峰型,长江中游地区为清晨峰值,中东部地区为清晨和午后双峰型. Zhou 等^[8]利用地面降水观测资料和卫星观测的降水资料进一步分析了中国夏季降水频率和强度的日变化特征,进一步验证 Yu 等研究的中国降水日变化核心特征. Yuan 等^[9-10]利用数值模式结果,评估验证了 Yu 等关于中国大陆日变化特征,且研究指出降水事件时空分布特征与地形特征关系密切^[11]. 对川渝地区降水特征的研究多以日、月、年降水资料为基础,且主要为研究气候时空分布特征^[11-15]. 陈炯等^[16]指出中国西南部是仅次于华南地区的短时强降水活跃地带,且该区域短时强降水日变化也呈夜间活跃型的单峰结构. 周秋雪等^[17]利用高空间分辨率自动站研究四川小时降水时空分布特征,指出小时降水的强落区主要分布在四川盆地及攀西南部地区.

以上研究成果对于认识四川和重庆所在的西南地区的降水日变化和气候变化特征具有一定参考意义,降水量的多寡与降水的小时强度和持续性之间具有密切关系,包含短时强降水的强降水事件具有短时强降水特征和降水的持续性特征,以及对流云降水或者层状云降水的特征,其产生降水量具有短历时、强度大、持续时间长等特征,导致其产生灾害往往严重. 目前对于局地性强降水事件的研究尚少,开展川渝盆地的强降水事件时空分布特征研究,对于提高对该地区短时强降水事件发生、发展规律的认识,充实对该类天气的气候规律认识具有重要意义,为对短时强降水落区和时效的预报预警提供一定科学基础.

1 研究资料和方法

本研究范围主要为四川盆地和重庆与四川省接壤地区的盆地地区(图 1),而川西高原和攀枝花西部地区高原不在本研究的范围之内. 研究中所用数据包括四川和重庆 1980—2012 年主汛期(5—9 月),即该地区主要降水月份逐小时降水观测资料,源于中国气象局国家气象信息中心提供的“中国国家级地面气象站逐小时降水数据集(V1.0)”,数据经过了气候极值检验、内部一致性检验和时间一致性检验等质量控制,考虑到数据的完整性,对于每年 5—9 月不能完整记录的站点,记录当年缺测,滤除了缺测 2 年以上的站点,最终使用有 123 个气象观测站. 不同阈值小时强降水具有不同天气尺度系统特征^[16],中央气象台对短时强降水的定义是小时降水量 ≥ 20 mm,本文主要研究包含 ≥ 20 mm/h 小时强降水的强降水事件,研究强降水事件的日变化的时空分布特征.

利用逐小时降水,对每个站 24 h 内降水进行普查,利用降水持续性特征,当一次降水过程有 ≥ 20 mm/h 小时强降水发生定义为一次短时强降水事件,定义一次强降水开始时间为至少 2 h 前没有降水发生,降水开始之后连续 2 h 没有降水发生,判定一次强降水过程结束,将一次强降水开始至结束间隔的小时数定义为一次强降水持续时间,强持续时间内的降水量累计为一次强降水事件的降水总量,开始时间定义为强降水事件开始时间,结束时间定义为强降水事件结束时间,一次强降水事件中,最大降水出现的值,为此次降水事件的峰值,出现时间为峰值出现时间. 根据降水持续时间得到不同持续时间的强降水事件,以 1 h 为间隔,统计 1~24 h 持续性强降水事件频数、累计降水量和强度,强降水事件频次指统计时段内发生强降水事件的次数,降水总量为强降水事件累计雨量,而降水强度指强降水事件总量和强降水事件频次的比值.

为了使降水量、频次和强度的时间变化可在统一纵坐标中得到显示,对 01:00—24:00 时(或 1~

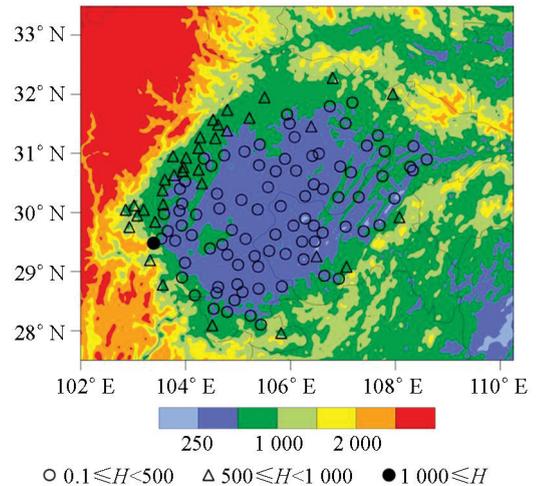


图 1 川渝盆地地区气象站高度及空间分布和地形叠加

单位: m.

24 h)强降水进行标准化无量纲处理, 短时强降水事件的降水量用 01:00—24:00 时(或 1~24 h)逐时刻的降水在整个分析时段内分别累加, 强降水事件频次为 01:00—24:00 时(或 1~24 h)逐时刻累计, 强度为逐时刻累计降水量除以累计频次. 降水量、频次和强度的日变化位相用 01:00—24:00 时(或 1~24 h)逐时均值除以 24 h 均值所得的时间序列表示, 得出降水量、频次和强度的无量纲化序列.

2 结果分析

2.1 短时强降水事件时间演变特征

不同开始时间短时强降水事件的日变化上(图 2), 从 01:00 时至 24:00 时, 01:00 时开始, 事件频次逐渐减少, 直到 12:00 时, 频次达到谷值(168 次), 同时短时强降水事件降水达到谷值(72.58 mm), 而后又呈逐渐增加趋势, 一直到 24:00 时频次达到极大值(996 次), 同时降水量也达到极大值(559.4 mm), 而短时强降水事件主要发生在 18:00 至次日 06:00 时这段时间内, 占强降水事件的 76%, 相应地降水量占总降水量的 80%, 01:00—24:00 时短时强降水事件的降水量和频次日变化上呈现“V”字型分布, 即为单谷型结构, 谷值出现在白天 12:00 时, 峰值出现在夜间 24:00 时, 表现为夜间为短时强降水事件高发时段, 且降水量和频次的日振幅较大, 夜间峰值降水和频次接近白天 2 倍, 但两者相关系数为 0.99, 通过 0.99 相关性检验, 即在日变化上具有高度一致性. 而强降水事件强度日变化上, 也呈弱的“V”字型分布, 即单峰结构表现不明显, 日变化振幅也较小, 强度大值出现夜间, 而小值出现在白天, 峰值出现在 21:00 和 23:00 时, 谷值出现在 15:00 时, 但整体在上在 0.84~1.21 之间, 其变化幅度并没有频次和降水量明显, 且强降水强度峰值超前于降水量峰值, 这宇如聪等^[18]研究盆地结果较为一致.

短时强降水事件结束时间的日变化上(图 3), 01:00—23:00 时, 01:00 时开始, 强降水事件频次逐渐增加, 到 08:00 时达到峰值(799 次), 而后 10:00 时出现次峰值(779 次), 此时短时强降水事件降水量达到峰值(415.00 mm), 而后频次逐渐减小, 22:00 时频次达到谷值(274 次), 此后维持较低频次. 从 01:00 至 24:00 时强降水事件的降水量和频次呈现倒“V”字型分布, 但倒“V”字存在多个峰值型结构分布, 峰值分别出现在 04:00, 08:00, 10:00, 14:00 和 16:00 时, 且 07:00 至 11:00 时为强降水事件降水量和频次的结束时间主要时段, 而 22:00 至 24:00 时相对较小时段, 且在 06:00—19:00 时这段时间内, 占结束时间强降水事件的 70.8%, 相应地降水量占总降水量的 74.0%, 即白天为短时降水事件的主要结束时段, 从降水量和频次的日振幅上, 夜间峰值降水和频次接近白天 1.6 倍, 但两者相关系数为 0.97, 通过 0.99 相关性检验, 即在日变化上具有一致性. 从降水强度时间变化上, 也呈倒“V”字型单峰结构分布, 但日变化振幅较小, 强度大值出现白天, 而小值出现在夜间, 峰值出现在 21:00 和 23:00 时, 谷值出现在 00:00 时, 但整体在上在 0.82~1.22 之间, 其变化幅度并没有频次和降水量明显.

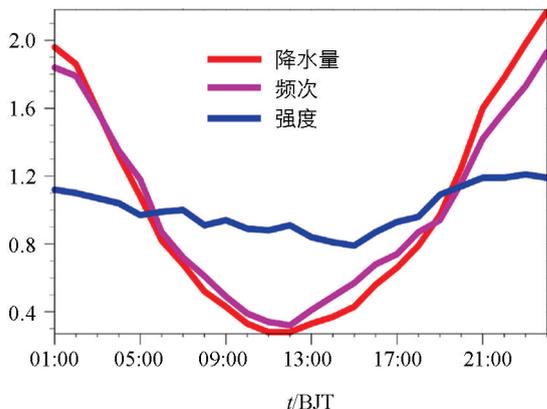


图 2 不同开始时间短时强降水事件的降水量(红色)、频次(紫色)和强度(蓝线)日变化演变曲线

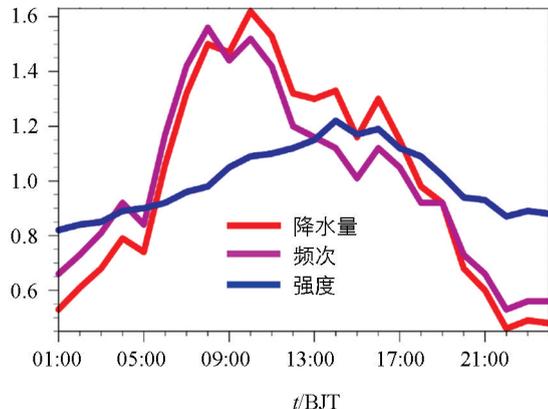


图 3 不同结束时间短时强降水事件的降水量、频次和强度日变化演变曲线

不同持续时间(1~24 h)的变化曲线(图 4a), 短时强降水事件开始后, 事件频次和降水量呈现急剧增加, 频次在 3 h 达到极大峰值(1 115 次), 而后呈现逐渐减小趋势, 10 h 达到次峰值(731 次), 强降水事件降水量极大值(410.0 mm), 次峰值也出现在 10 h(400.1 mm), 降水量极大峰值较频次极大峰值持续时间滞后, 次峰值一致, 即持续时间 1~24 h 内强降水事件具有双峰型结构, 且 3~6 h 强降水事件均维持较大频次($\geq 1\ 000$ 次), 2~12 h 强降水持续事件为主要持续时间段, 占总频次的 75%, 而持续 3~12 h 降水量量级差别较小, 但 3~12 h 持续时间降水量占总降水量比例为 60%. 降水量和频次的持续不同时间振幅上, 频次峰值接近谷值 2 倍, 而降水量接近 1.6 倍, 强降水量和频次相关系数为 0.87, 通过 0.99 相关性检验. 不同持续时间强度上, 随着降水事件持续时间的延长, 平均持续降水事件的单位小时降水量呈现逐渐增加的趋势.

图 4b 是不同开始时间下的不同持续时间短时强降水事件日变化, 川渝盆地地区的短时强降水事件频次具有双峰型结构, 从上午 12:00 时开始, 到 20:00 时之前, 为第一个降水峰值, 主要为短时间(2~6 h)持续强降水事件; 从 20:00 时左右开始, 强降水事件频次逐渐增大, 在 00:00 时左右达到最大, 对应第二个强降水事件出现峰值, 这在图 2 上也有表现, 此后强降水事件的持续时间又呈逐渐减小趋势, 一直到第二天 08:00 时. 强降水事件持续时间上, 白天多为短时间强降水事件(1~6 h), 而傍晚开始至第二天清晨, 持续 2~18 h 强降水事件均有发生. 从持续强降水事件总降水量上, 白天的短持续时间强降水事件累积平均降水量极大值(21.9 mm)出现在 3 h 左右, 夜间极值出现 6~12 h 之间, 且白天的降水量极值偏大; 1~6 h 强降水占总降水量 57%, 而 7~12 h 占总降水量 27%. 且强降水事件的数量与强降水量有很好的吻合, 即强降水事件的降水总量出现极大值, 也为事件频次的极大值.

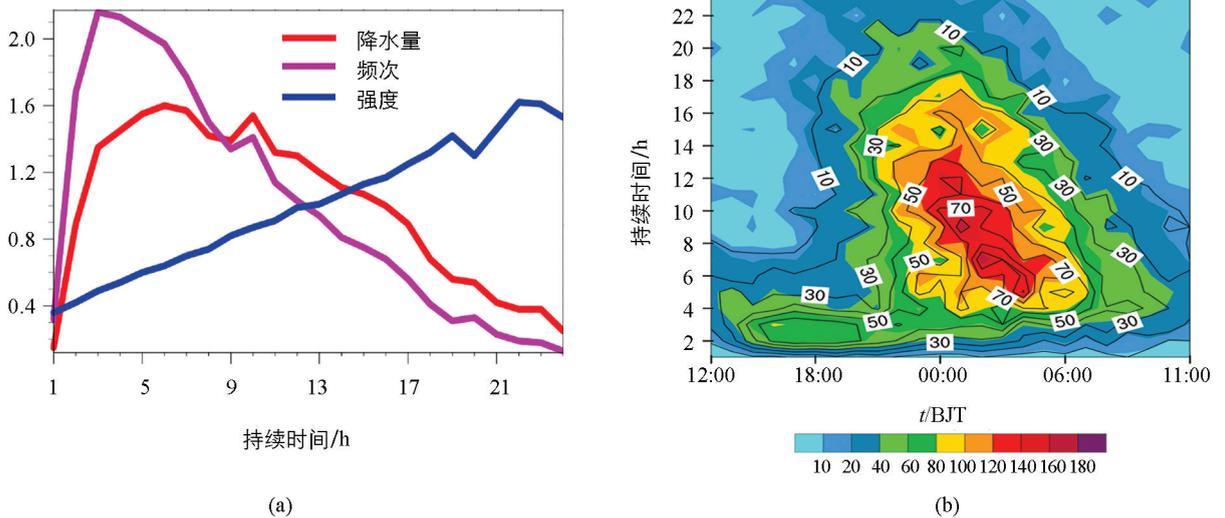


图 4 不同持续时间演变曲线(a), 不同开始时间下的不同持续时间短时强降水事件日变化(b, 阴影为区域平均累积降水量, 等值线为相应的事件累积数量)

2.2 短时强降水事件空间分布特征

短时强降水事件频次和降水量的开始时间日峰值空间分布上(图 5), 川渝盆地南部和盆地西部大部分地区频次较大, 极大频次出现在四川峨眉(27 次), 出现时间分布上, 主要在 20:00—01:00 时间段内, 而盆地中部、北部和东部, 强降水事件极大频次较小, 且出现时间大都在 02:00—07:00 时间段, 频次日峰值出现在 20:00—01:00 时间段内的站数为 69 站, 占有站数的 56.1%, 而在 02:00—07:00 时间段的站数为 44 站, 占有站数的 35.8%, 8 站次强降水事件极大频次出现在 14:00—19:00 时间段. 强降水事件降水量日峰值空间分布上, 川渝盆地南部和盆地西部大部分测站强降水事件的峰值降

水量较大, 极大降水量峰值出现在四川洪雅(2 442.2 mm), 出现时间上, 主要在 20:00—01:00 时间段内, 而盆地中部、北部和东部, 强降水事件极大降水量较小, 且出现时间大都在 02:00—07:00 时间段, 即日峰值降水量与日峰值频次出现时间具有较好一致性, 极大降水量出现在 20:00—01:00 时间段内的站数为 76 站, 为所有站数的 61.8%, 频次峰值出现在 20:00—01:00 段内的站数为 40 站, 为所有站数的 32.5%。从以上分析可以发现, 川渝盆地地区强降水事件的日峰值频次和降水量均主要发生在夜间, 且 20:00—01:00 时间段出现比例较大。

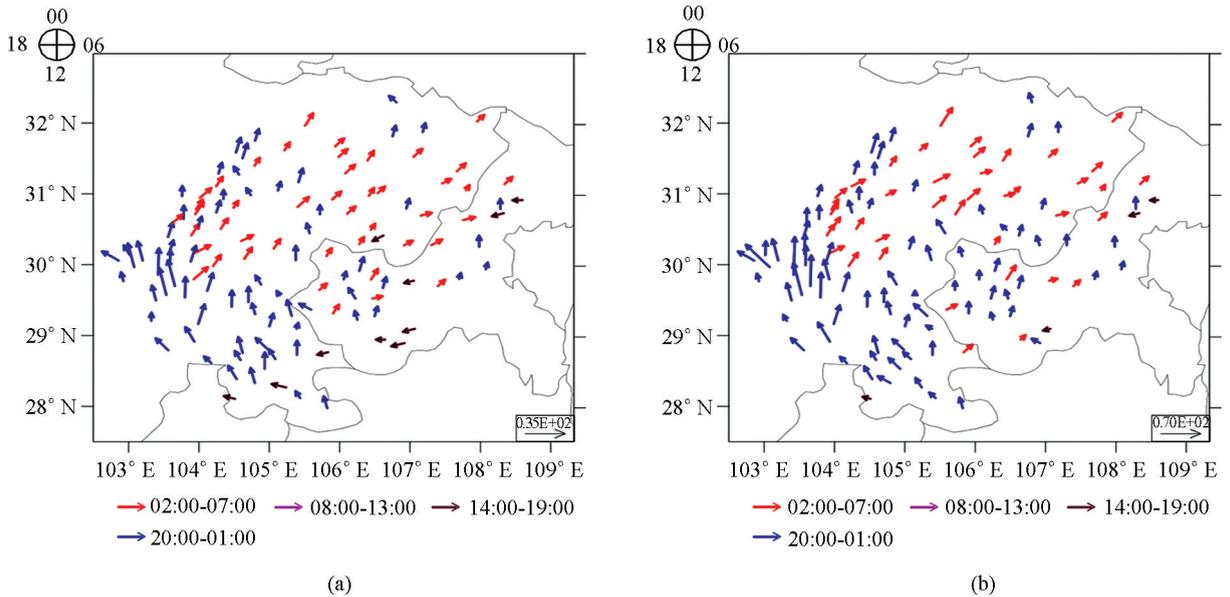


图 5 川渝盆地地区短时强降水事件的频次(a)和降水量(b)开始时间日峰值分布(方向杆的长度表示峰值大小, 箭头表示出现时间)

短时强降水事件和降水量日峰值结束时间空间分布上(图 6), 盆地出现极大频次出现在四川夹江(20 次), 而日结束时间的峰值频次不同时间段空间分布上, 并不具有局域一致性特征, 在 20:00—01:00 时、02:00—07:00 时、08:00—13:00 时和 14:00—19:00 时这 4 个时段内, 站次数分别为 36, 21, 54 和 12 次, 分别占总站数 29.3%, 17.1%, 43.9% 和 9.7%, 即主要强降水事件的极大频次主要出现在 20:00—01:00 时和 08:00—13:00 时这两个时段内。而从日峰值降水量结束时间空间分布上, 盆地南部、中部和西部大部分站点出现在 08:00—13:00 时时间内, 总站次数达 72 次, 占总站数的 58.5%, 14:00—19:00 时次之, 站次数为 36 站, 占总站数的 29.3%。从以上分析, 强降水事件极大频次结束时间主要出现在 08:00—13:00 时时段内。

短时强降水事件极大频次和极大降水量的持续时间空间分布上(图 7), 极大持续时间频次空间分布区域性特征不明显, 极大频次出现在四川大邑、雅安、峨眉和开县(20 次), 持续时间上, 盆地内持续时间峰值以 1~6 h 时间为主, 共 102 站, 占总站次 83.0%, 而持续 7~12 h 有 21 站。降水量持续时间峰值分布, 盆地西部相对较大, 极大降水量峰值出现在四川峨眉(1 645.00 mm), 持续时间上, 主要以 1~6 h 和 7~12 h 为主, 分别为 46, 49 站, 占总站数的 37.4%, 39.8%, 持续 13~18 h 为 26 站次, 占 21.1%, 而持续 19~24 h 只有 2 站次。

2.3 短时强降水事件极值降水分布特征

不同时间强降水事件极值降水的日变化上(图 8a), 从 01:00 时至 24:00 时, 降水量和频次呈现单峰型结构, 峰值出现在夜间 03:00 时, 谷值出现在白天 13:00 时附近, 日变化演变上从白天 13:00 时开始,

极值频次和降水量呈逐渐缓慢增加趋势, 21: 00 时以后呈明显增加, 03: 00 时达到峰值, 而后逐渐减少趋势, 直达到达到谷值. 降水量和频次的日振幅上, 夜间峰值降水和频次峰值接近白天谷值 2 倍, 且两者相关系数为 0.99, 通过 0.99 相关性检验, 即在日变化上具有高度一致性. 强度日变化上, 强度振幅并不明显, 变化趋势也不明显.

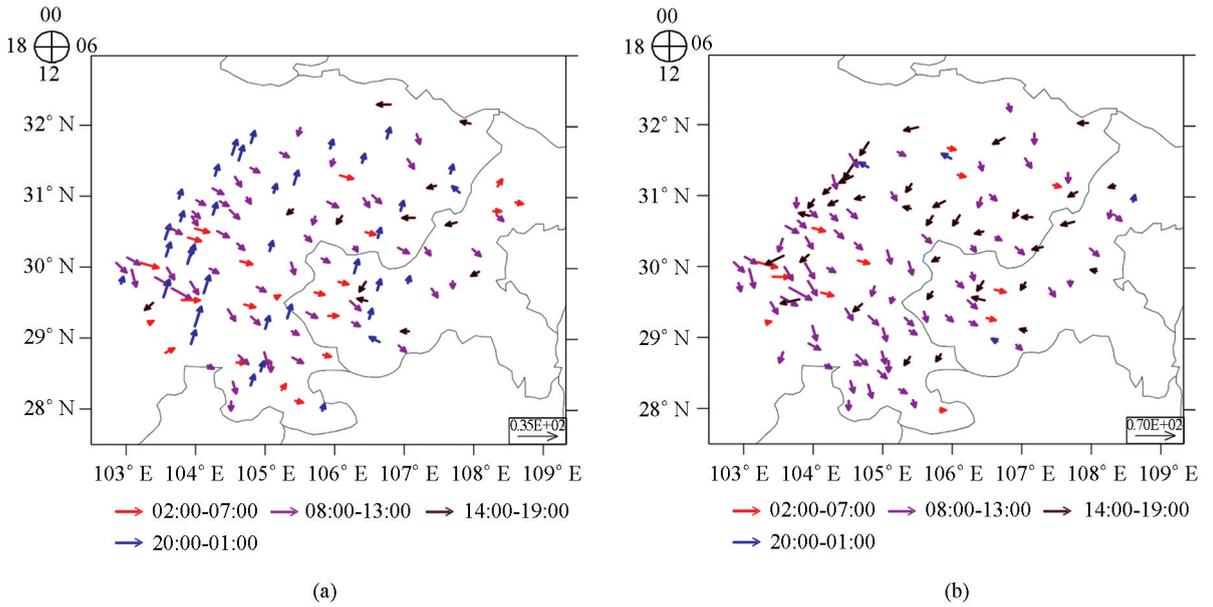


图 6 川渝盆地地区短时强降水事件的频次(a)和降水量(b)结束时间日峰值分布

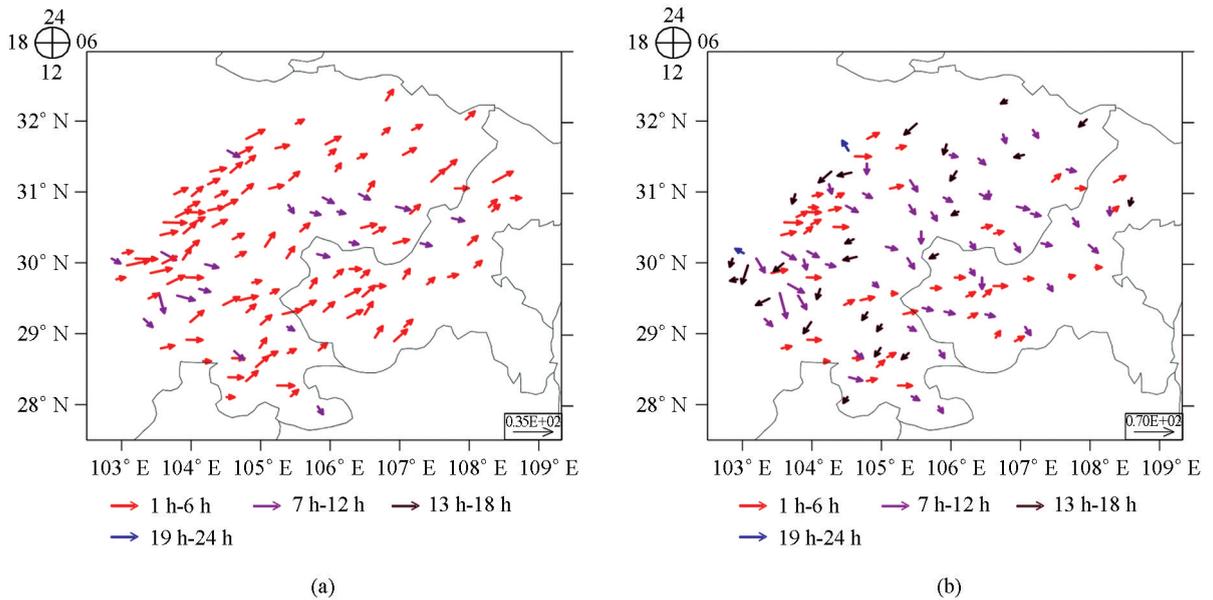


图 7 川渝盆地地区短时强降水事件的频次(a)和降水量(b)持续时间日峰值分布

不同持续时间强降水事件极值降水的变化曲线(图 8b), 持续时间 1~24 h 内呈单峰型结构, 峰值出现在 2 h, 而后强降水事件极值降水量和频次呈现剧烈减少趋势, 14 h 趋近于零线附近, 降水量和频次的日振幅上, 峰值降水和频次峰值接近谷值 7 倍, 且两者相关系数为 0.99, 通过 0.99 相关性检验, 即在日变化上具有高度一致性. 强度日变化上, 由于持续到 23~24 h, 没有出现极值降水, 强度为 0, 其余持续时间强度均为 1 附近, 振幅并不明显, 即表明变化趋势并不明显.

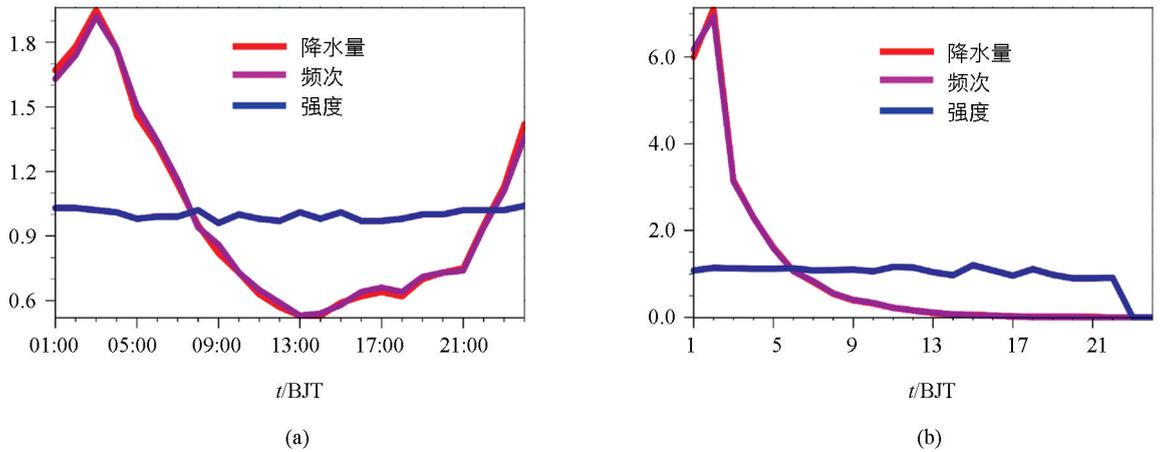


图 8 不同时间出现短时强降水事件极值(a)和不同持续时间短时强降水事件极值(b)的降水量、频次和强度演变曲线

图 9 是不同出现时间强降水事件中极值日变化, 川渝盆地地区的短时强降水事件频次具有单峰型结构, 从上午 12:00 时开始, 直到 20:00 时之前, 主要为短时间(2~4 h)持续强降水事件极值出现; 从 20:00 时左右开始, 强降水事件极值出现频次逐渐增大, 在 04:00 时左右达到极大(282 次), 此后强降水事件的极值频次又呈逐渐减小趋势, 一直到第二天 08:00 时. 强降水事件持续时间出现极值上, 白天多为短时间(2~4 h)强降水事件出现极值, 而傍晚开始至第二天清晨, 持续 2~10 h 强降水事件出现极值均有发生. 从降水总量比较上, 12:00—20:00 时短持续时间强降水事件累积平均降水量极值较小, 20:00 时左右开始, 极值降水量逐渐增大, 到 04:00 时达到 273.05 mm, 此后有呈逐渐减小, 一直到第二天 08:00 时.

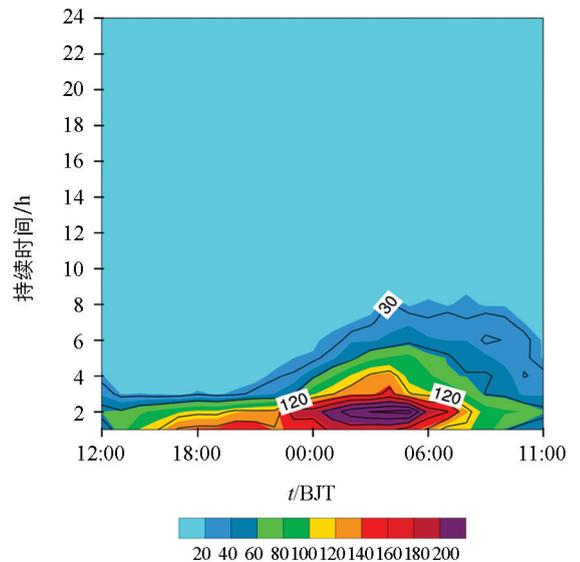


图 9 不同时间出现的不同持续短时强降水事件极值日变化

3 结论和讨论

基于四川和重庆盆地地区 1980—2012 年主汛期 5~9 月台站观测小时降水资料, 研究了短时强降水事件降水量、频次和强度日变化的特征, 揭示了不同开始时间、不同结束时间的强降水事件日峰值, 以及持续时间日峰值空间分布特征, 短时强降水事件极值降水日分布和持续时间等分布特征, 得出以下主要结论:

1) 川渝盆地短时强降水事件开始时间的日变化上, 01:00 时至 24:00 时强降水事件的降水量和频次呈现“V”字型分布, 表现为单谷型结构下典型夜间日变化峰值位相特征, 峰值出现在 00:00 时, 谷值出现在 12:00 时; 不同结束时间日变化上, 降水量和频次呈现倒“V”字型分布, 但表现为多个峰值型结构分布, 白天日变化峰值位相特征明显; 强度日变化上, 均呈现弱的单峰型结构, 且峰值超前于降水量峰值.

2) 短时强降水事件持续时间的日变化上, 强降水事件频次和降水量均呈双峰型结构, 频次极大峰值出现在 3 h, 持续 2~12 h 为强降水事件主要持续时间段, 而持续 3~12 h 持续时间降水量为主要降水量时间段; 不同持续时间强度上, 持续时间越长, 平均持续降水单位小时降水量呈现逐渐增加. 短时强降水事件的持续时间具有双峰型结构, 午后为第一个降水峰值, 20:00 时到第二天 07:00 时对应第二个峰值强降水事件峰值, 白天多为短时间强降水事件(1~6 h), 而傍晚开始至第二天清晨, 持续 2~18 h 强降水事件均有发

生,主要是由于白天主要以局地对流性强降水事件为主,局地对流刚发生是,尺度较小但强度会很快达到峰值,而夜间则由于对流开始很弱并转为更大尺度的层状云降水时,不同天气尺度系统触发,在系统发生、发展和成熟的各个阶段产生的强降水,持续时间长,这一特征宇如聪等^[19-20]已分别从降水过程的不对称性和降水过程的区域均匀性两个方面进行了研究。

3) 强降水事件极值的开始时间和结束时间空间分布上,强降水事件极大频次和极大降水量在 20:00—01:00 时间段为主要开始时段,主要分布在盆地南部和西部大部分地区;日峰值频次的结束时间主要发生在 20:00—01:00 时和 08:00—13:00 时两个时段内,日峰值降水量,主要分布在盆地南部、中部和西部大部分站点,且出现在 08:00—13:00 时时间内。

4) 不同时间强降水事件极值降水的日变化上,从 01:00 时至 24:00 时,降水量和频次呈现单峰型结构,峰值出现在夜间 03:00 时,谷值出现在白天 13:00 时附近;不同持续时间强降水事件极值降水的变化,持续时间 1~24 h 内呈单峰型结构,峰值出现在 2 h;不同出现时间强降水事件中极值日变化,具有单峰型结构,白天多为短时间(2~4 h)强降水事件出现极值,而傍晚开始至第二天清晨,持续 2~10 h 强降水事件出现极值均有发生。

短时强降水事件的研究,为区域小时尺度的强降水预报、预测提供客观的依据,为了进一步理解强降水事件触发机制、维持时间和结束特征,需要进一步研究不同环流特征下的强降水事件的特征,结合雷达数据和卫星遥感数据,能够深入研究强降水事件不同强降水事件类型的触发和维持机制,充分认识强降水事件降水三维结构特征、中小尺度特征和云微物理特征。

参考文献:

- [1] 徐裕华. 西南气候 [M]. 北京: 气象出版社, 1991.
- [2] 朱艳峰, 宇如聪. 川西地区夏季降水的年际变化特征及与大尺度环流的联系 [J]. 大气科学, 2003, 27(6): 1045—1056.
- [3] TRENBERTH K E, DAI A G, RASMUSSEN R M, et al. The Changing Character of Precipitation [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2003, 84(9): 1205—1218.
- [4] CHEN C S, CHEN Y L, LIU C L, et al. Statistics of Heavy Rainfall Occurrences in Taiwan [J]. Weather and Forecasting, 2007, 22(5): 981—1002.
- [5] 李 建, 宇如聪, 王建捷. 北京市夏季降水的日变化特征 [J]. 科学通报, 2008, 53(7): 829—832.
- [6] YU R C, ZHOU T J, XIONG A Y, et al. Diurnal Variations of Summer Precipitation Over Contiguous China [J]. Geophysical Research Letters, 2007, 34(1): 223—234.
- [7] YU R C, XU Y P, XIONG A Y, et al. Relation Between Rainfall Duration and Diurnal Variation in the Warm Season Precipitation Over Central Eastern China [J]. Geophysical Research Letters, 2007, 34(13): 173—180.
- [8] ZHOU T J, YU R C, CHEN H M, et al. Summer Precipitation Frequency, Intensity, and Diurnal Cycle over China: A Comparison of Satellite Data with Rain Gauge Observations [J]. Journal of Climate, 2008, 21(16): 3997—4010.
- [9] Yuan W H. Diurnal Cycles of Precipitation Over Subtropical China in IPCC AR5 AMIP Simulations [J]. Adv Atmos Sci, 2013, 30(6): 1679—1694.
- [10] YUAN W H, YU R C, ZHANG M H, et al. Diurnal Cycles of Precipitation Over Subtropical East Asia in CAM5 [J]. Journal of Climate, 2013, 26(10): 3159—3172.
- [11] YUAN W H, SUN W, CHEN M H, et al. Topographic Effects on Spatiotemporal Variations of Short-Duration Rainfall Events in Warm Season of Central North China [J]. J Geophys Res Atmos, 2015, 119(19): 11223—11234.
- [12] 马振锋, 彭 骏, 高文良, 等. 近 40 年西南地区的气候变化事实 [J]. 高原气象, 2006, 25(4): 633—642.
- [13] 周长艳, 岑思弦, 李跃清, 等. 四川省近 50 年降水的变化特征及影响 [J]. 地理学报, 2011, 66(5): 619—630.
- [14] 唐红玉, 顾建峰, 俞胜宾, 等. 西南地区降水日变化特征分析 [J]. 高原气象, 2011, 30(2): 376—384.
- [15] 张 琪, 李跃清. 近 48 年西南地区降水量和雨日的气候变化特征 [J]. 高原气象, 2014, 33(2): 372—383.
- [16] 陈 炯, 郑永光, 张小玲, 等. 中国暖季短时强降水分布和日变化特征及其与中尺度对流系统日变化关系分析 [J]. 气象学报, 2013, 71(3): 367—382.

- [17] 周秋雪, 刘 莹, 冯良敏, 等. 2008—2012 年四川强小时雨强的时空分布特征 [J]. 高原气象, 2015, 34(5): 1261—1269.
- [18] 宇如聪, 李 建. 中国大陆日降水峰值时间位相的区域特征分析 [J]. 气象学报, 2016, 74(1): 18—30.
- [19] 宇如聪, 原韦华, 李 建. 降水过程的不对称性 [J]. 科学通报, 2013, 58(15): 1385—1392.
- [20] YU R C, CHEN H M, SUN W. The Definition and Characteristics of Regional Rainfall Events Demonstrated by Warm Season Precipitation Over the Beijing Plain [J]. Journal of Hydrometeorology, 2014, 16(1): 396—406.

Diurnal Variation of the Short-Duration Strong Rainfall Events in Sichuan and Chongqing During the Main Flood Season

LI Qiang^{1,2}, ZHANG Ya-ping¹, HE Yue¹,
LIU Bo-jun¹, GUO Qu³

1. Chongqing Meteorological Observatory, Chongqing 401147, China;

2. Heavy Rain and Drought-Flood Disasters in Plateau and Basin Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610000, China;

3. Chongqing Climatic Center, Chongqing 401147, China

Abstract: Based on the qualified hourly rainfall database of 123 stations in Sichuan province and Chongqing municipality during the major flood period from 1980 to 2012, diurnal variations in amount, frequency and intensity of short-duration strong rainfall events are investigated, their diurnal peak phases and spatial distribution features are studied and their diurnal changes of maximum rainfall and duration hours are analyzed. The main conclusions are as follows. The diurnal variations of beginning time of short-duration strong rainfall events show a single active peak structure with a typical night peak phase from 01: 00 to 24: 00 Beijing time (BJT), and the ending time of the strong rainfall events show a multi-active peaks structure. For the diurnal variations in duration hours of short-duration strong rainfall events, both their frequency and amount are characterized by a double-peaked structure, with the maximum frequency happening at lasting 3 hours. The intensity gradually increases by the lasting time. The beginning time of maximum frequency and rainfall amount of short-duration strong rainfall events mainly occur between 20: 00 and 01: 00 and are largely distributed in the southern and western regions of the Basin, and the ending time of diurnal peak of frequency mostly happens from 20: 00 to 01: 00 and from 08: 00 to 13: 00 and is located in the southern, central and western regions of the Basin. Diurnal variations in the maximum rainfall, the frequency and the amount of short-duration strong rainfall events at different happening time show a single active peak structure. The maximum rainfall with short lasting hours (2—4 h) occur at day time, yet the maximum precipitation with lasting 2 to 10 hours all happen between the nightfall and the next day morning. The diurnal variations of maximum rainfall show a single active peak structure at 3 h.

Key words: short-duration heavy rainfall; short-duration strong rainfall event; frequency; intensity

