沙 漠 与 绿 洲 气 象
Desert and Oasis Meteorology
第 17 卷 第 4 期
2023 年 8 月

罗乃兴,周林,李杨,等.基于小时降水资料的贵州降水精细特征分析[J].沙漠与绿洲气象,2023,17(4):38-44.
doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2023.04.006
开放科学(资源服务)标识码(OSID):

基于小时降水资料的贵州降水精细特征分析

罗乃兴,周　林,李　杨,倪　雷
(贵阳市气象局,贵州　贵阳 550002)

摘　要:利用 2010—2019 年贵州地区 2 683 个自动气象站逐时降水观测资料,结合地形特征分析了贵州降水的时空特征,并从平均雨强和降水概率方面进一步研究了贵州各季日内降水的精细化特征。结果表明:(1)贵州年降水时长和年降水量空间分布有所差异,位于大娄山脉北侧的遵义赤水和习水地区仅为降水时长的大值区;(2)四季降水时长分布受当季主要降水系统位置的影响,平均降水强度兼受地理条件的影响,偏向山脉的南麓;(3)在日内降水分布上,贵州四季都存在明显的夜雨现象,其中下半夜到凌晨(00—06 时)降水发生概率更大且强度更强,其中心有明显自西向东传播的特征;(4)短时强降水主要出现在春夏季且向东传播明显,主要在夜间到早晨。

关键词:小时降水;降水时长;短时强降水;夜雨;贵州
中图分类号:P426.6　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1002-0799(2023)04-0038-07

研究区域性降水的时空特征,是探寻气候的区域特征的重要一环[1-3]。贵州省位于我国低纬度云贵高原的东部,是中国第一与第三阶梯的过渡地带,受东亚季风与西南季风的共同影响[4]。贵州具有独特的天气、气候特征,其降水时空分布受气候变化引起的季风变化影响明显[5-6]。副热带高压、850 hPa 纬向风、热带气旋、静止锋等是影响贵州降水的主要天气系统[7-10]。

由于境内东西海拔变化大,贵州高原降水空间分布不均,呈现东多西少的特点,存在 3 个多雨中心和 1 个少雨带,降水重心在贵阳市与黔南州交界地带。贵州暴雨及降水主要出现在 5—9 月,且月际变化大[11-12],其地域分布受地形影响显著[13]。贵州年降水日数在 145~213 d,其中小雨日数对总降水日数的贡献最大,暴雨日数与年总降水量关系密切,冬季北部平均冻雨日在 3~9 d[14-15]。姚莉等[16]在分析我国小时雨强的时空分布特征后指出贵州地区百年一遇的小时雨强达 60~80 mm/h。肖蕾等[17]利用 84 个国家观测站数据探讨了贵州短时强降水的时空分布特征,并指出其整体上主要发生在夜间。日内降水方面,夜雨和夜间暴雨现象同样显著,夜雨率均值高达 62%[18-19]。

近年来,随着区域自动观测站的全面布网,小时尺度的高密度降水资料得以获取,更多的细节特征也日益被学者所关注[20-22],但目前研究多集中在短时强降水(小时雨强≥20 mm/h)的时空分布特征[23-24]。在贵州地区,谷晓平等[25]对 2020 年的汛期降水特征分析后指出,高密度区域站数据能更好地反映降水细节特征,而降水数据小时化后暴雨的时间特征被进一步细化。王芬等[26]讨论了黔西南短时强降水的特征,指出短时强降水和暴雨有着同样的空间分布特征,该州 68%暴雨天气中都伴有短时强降水,而且其夜雨现象同样明显。

目前降水的时长特征主要用以分析高风险性降水(暴雨和短时强降水等)持续时间,而熊明明等[27]在分析天津小时降水特征时将总降水时数视为总降水样本数,进而得到小时平均雨强,两者相结合可以

收稿日期:2021-11-29;**修回日期**:2022-04-24
基金项目:国家科技部"科技助力经济2020"重点专项气象行业项目(KJZLJJ202009)
作者简介:罗乃兴(1984—),男,高级工程师,主要从事中短期预报、数值预报释用研究。E-mail:lnxfy2004@126.com

很好地解释短时强降水的分布情况。为此，选取近10年来贵州区域站的小时降水资料,将降水时长和降水量结合起来，通过分析贵州雨量、降水时长特征,以及平均雨量和短时强降水的关系,揭示贵州不同季节降水的精细化特征，以及降水的日内变化和传播特点。

1 研究区域与数据

贵州地处中国地势的第二阶梯、云贵高原的东斜坡地带，位于103°31′~109°30′ E,24°30′~29°13′ N,山地和丘陵占92.5%。贵州地势西高东低,海拔高度为147.8~2 900.6 m,平均海拔约1 100 m。贵州总体可以分为3个阶梯,第一级阶梯为平均海拔1 500 m以上的贵州西部,主要为毕节和六盘水、黔西南西侧地区，以高原和山地为主；第三级阶梯为平均海拔800 m以下,主要包括铜仁和黔东南大部分地区,其中在低山丘陵间屹立着苗岭山脉主峰雷公山和武陵山脉主峰梵净山,两地较周围地区高1 000 m以上;其余地区为第二级阶梯，呈现中部高、南北低的分布。

资料选用经过筛选的2010—2019年贵州省区域自动站的逐小时水量观测资料。所有数据通过贵州省数据中心质量控制及均一性检验和信息化处理(时间均为北京时)。对于小时降水量>60 mm/h的数据，运用周边站点降雨情况及本站降雨序列图等多方对照核实后使用。并对观测站点进行了筛选,步骤如下:(1)站点数据的时间长度应>5 a;(2)连续时段内缺测率在5%以内。按上述质量控制后,实际参与分析的站点共有2 683个(图1)。

降水定义采用中国气象局的业务标准，即1 h降水量≥0.1 mm定义为一次降水事件,达到20 mm称为一次短时强降水事件。区域平均雨强定义为1 h内所有降水事件的累计降水量与总降水站数之比,单位:mm/h。区域性小时降水事件定义为1 h内发生降水站次≥100站次。为了方便讨论贵州降水的日内变化特征,将1 d分为6个时段:上半夜(20—23时)、下半夜(00—03时)、凌晨(04—07时)、上午(08—11时)、下午(12—15时)和傍晚(16—19时)。将全年分为汛期(4—9月)和非汛期(10月—次年3月)。

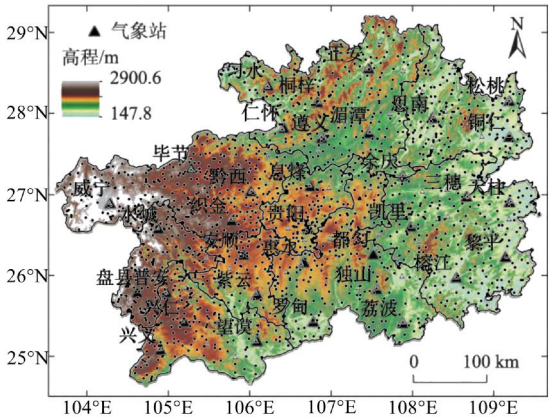

图1 研究区域地形及区域观测站点分布
(△代表国家站的位置,●代表区域自动站的位置)

2 结果与分析

2.1 年平均降水量的总体分布特征

2010—2019年贵州年降水量在800~1 600 mm,呈现西北少东南多(图2a)的分布特点。虽然南部降水普遍比北部多,但同一纬度上,普遍存在着东多西少的特征。多雨区(≥1 200 mm)主要位于贵州海拔最低的第三级阶梯，其中三处峰值分布于该区域的两处高峰(雷公山和梵净山)周围和海拔最低的贵州东南边缘的河谷地带,地形迎风坡效应明显。少雨区主要位于乌蒙山脉的主体及其背风坡，具体为贵州

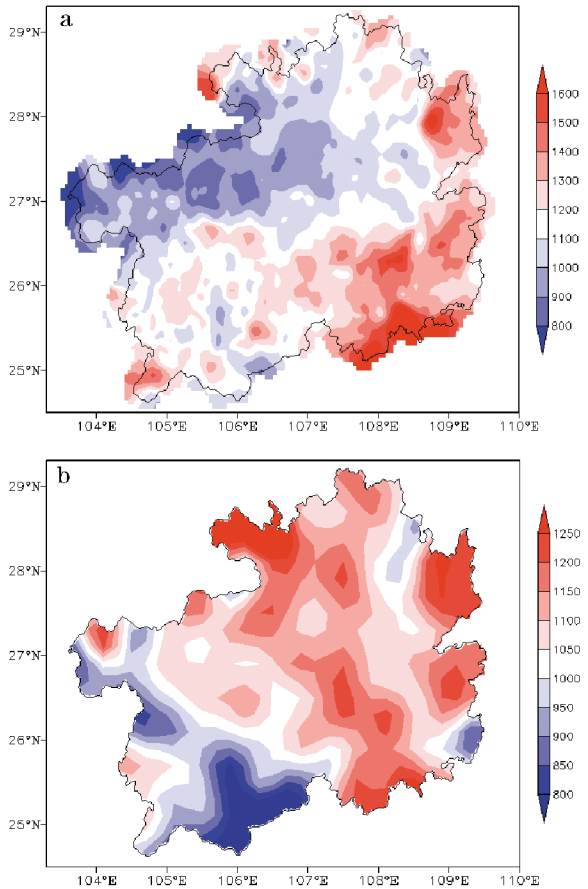

图2 2010—2019年贵州省年平均降水量(a,单位:mm)和年平均降水时长(b,单位:h)

最西部的威宁(贵州海拔最高的区域)至遵义南部,该区域年降水量最小,均值在 900 mm 左右,其中威宁最低。另一处稍弱的少雨带为望谟和紫云以西的北盘江河谷地带,该地带呈西北—东南走向,与春夏盛行于 850 hPa 的西南气流近乎垂直。

年平均降水时长在 1 000 h 左右,分布呈现东多西少的特点(图 2b),东部最多(>1 100 h),西部(毕节、黔西南、六盘水)为 900 h 左右。降水时数最短地区为黔西南,总时长<800 h;而高值区与降水量高值区有所重叠,但贵州北部则仅是降水时长高值区。结合年降水量分布图可以发现,贵州大部分地区两者呈正位相分布,但两个地区呈反位相:黔西南地区年降水量稍多但时长最短,表明当地降水次数偏少但平均强度偏强;遵义地区年降水量偏少,但时长最长,表明降水次数偏多但平均强度偏弱。

2.2 月际降水特征

贵州的降水呈现以 6 月为峰值(227 mm)的近似正态分布(图 3),最小值出现在 2 月(24.3 mm),其中 4—9 月是主要的降水时段,贡献了全年 76.1%的降水,是贵州的汛期。与之相比,月际降水时长变化幅度较小,谷值出现在冬季的 2 月(66.5 h),峰值出现在 6 月(123.5 h),汛期降水时长最短月为夏季副热带高压控制的 8 月(76.5 h)。

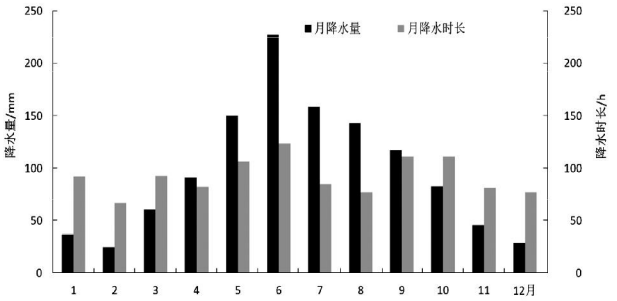

图 3 2010—2019 年贵州平均的月降水量和月降水时长

月际降水强度方面,以月平均雨强 1 mm/h 为界分为两部分,即 10 月—次年 3 月,降水量偏小,降水量明显小于降水时长,平均雨强为 0.47 mm/h,以层状云降水为主;4—9 月,降水量开始超过降水时长(尤其是夏季),平均雨强为 1.61 mm/h,对流降水占主导,其对应的短时强降水发生概率为 0.4%,即为 3.5 次左右,这与贵州全年短时强降水发生次数基本相当,是贵州短时强降水发生的主要时期。

汛期区域性小时降水(降水站数>100 站)事件中,区域平均雨强的累计分布(图 4a)呈近似对数分布,累计比重为前期快速增长,中后期增速逐渐变慢。中位数是 0.8 mm/h,75%概率对应1.7 mm/h,说明一般情况下,降水强度期望为 0.8 mm/h,而大多数情况降水强度<1.7 mm/h,只有 1%的雨强>5.1 mm/h。

短时强降水(小时雨强≥20 mm/h)站点的出现概率(图 4b)呈近似二次函数分布,前期缓慢增长,后期近似线性增长,需要特别指出的 2 个点:1‰对应的 1 mm/h 和 1%对应的 2.1 mm/h,这是因为贵州一次区域性降水多在 10^2~10^3 站次,因此 1‰(对应雨强 1 mm/h)处短时强降水可能出现,而 1%处(对应雨强 2.1 mm/h)短时强降水一般情况下可以出现。

依照这一标准,结合图 2a 可以发现,在区域性降水事件中,即使是在汛期,由于大部分降水事件(59%)的区域平均雨量<1 mm/h 而较难出现短时强降水,22.6%有可能出现短时强降水(1~2.1 mm/h),仅有 18.4%的区域性降水事件中有较大可能出现短时强降水(雨强≥2.1 mm/h)。扩展到月季降水,夏季由于平均雨强>1.8 mm/h,其对应的出现概率(6‰)远超其余月,是汛期短时强降水主要发生时期;而非汛期(10 月—次年 3 月)由于平均雨强仅为0.5 mm/h,对应短时强降水站点的出现概率为 0.2‰,难以出现短时强降水,仅在 3 和10 月零星出现。

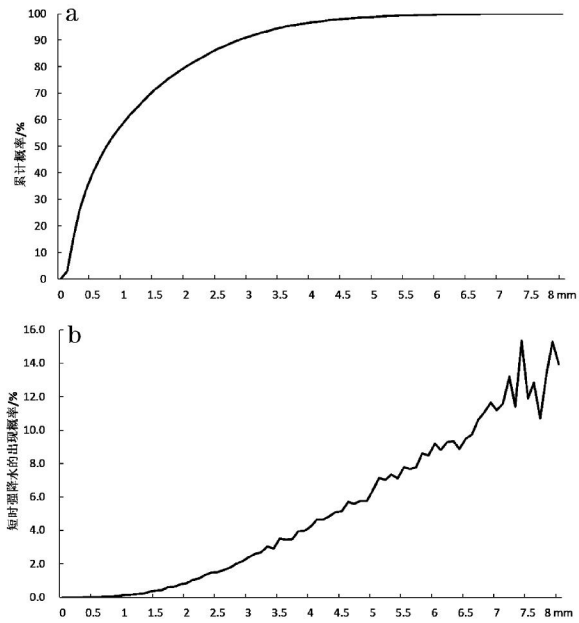

图 4 汛期(4—9 月)区域性小时降水事件中,不同量级的小时平均雨量的累计出现概率(a)及短时强降水(>20 mm/h)的出现概率(b)

3 四季降水的分布特征

贵州四季的平均降水时长相差不大,除冬季为 240 h 左右,其余季节为 260 h 左右,但分布型各季

明显不同。冬季降水时长主要受云贵静止锋影响,由于常出现降水量低于观测阈值(0.1 mm/h)而被忽略的现象,降水时长略低于其他三季。

各季降水时长的大值区(300 h 以上)即降水的多发地区与当季主要降水系统的位置基本一致。春夏两季主要位于副热带高压的西侧;秋季副热带高压南退,贵州的北部地区更易受冷空气影响而进入降水多发区;冬季降水时长主要受云贵静止锋影响,其大值区位于静止锋锚点附近。冬季贵州西侧的黔西南和威宁地区由于群山阻隔而难以影响,降水时长最少,局地<100 h。黔东南州黎平县东部和南侧由于受山脉阻隔,四季降水时长偏短。

与降水时长不同,降水系统和地形作用共同决定了降水量分布,因而海拔较高水汽偏少的毕节地区四季降水皆少,海拔偏低的黔南和黔东南四季降水皆多,年降水量的 3 个峰值地区也皆为四季峰值。黔西南州望谟县以西的北盘江河谷地区的少雨带是由于其轴向与汛期 850 hPa 盛行的西南暖湿气流相垂直而降水偏少,其余季节则由于两侧群山对静止锋等系统的影响有所削弱。

图 5 为四季平均雨强分布。与降水时长和降水量都不同的是,四季的平均雨强表现出和地形的高度相关,四季均呈现从西北向东南增多的分布,仅强度有所不同。夏季地域偏差最大,各地的降水强度达到最大,雨强均在 1.2 mm/h 以上,其中 3 个降水量峰值地区为强中心(2.1 mm/h 以上),局地最大可达 2.3 mm/h,短时强降水的发生几率较大;春季和夏季较为相似,雨强减弱,全省大部分地区降至 0.9~1.5 mm/h,除毕节地区外短时强降水开始出现;秋季降水强度进一步减弱,地域偏差减小,平均强度降至 0.6~1.2 mm/h,短时强降水局限在中部偏南;冬季是一年中降水强度最低,地域偏差最小的季节,南部降至 0.6~0.9 mm/h,西北部和北部降至 0.6 mm/h 以下。

近年来贵州四季纬向平均的小时雨强的日变化特征见图 6,总体呈两种截然不同的类型——冬季型和夏季型。

冬季(12 月—次年 2 月),贵州降水强度一年中最小,呈西弱东强的特征,各地全天雨强均在0.6 mm/h 以下,峰值在中西部,主要出现在下午,东部在下半夜。由于全天降水强度均<1 mm/h,短时强降水在冬季一般不可能出现。夏季,贵州的水汽和能量条件达到最佳,降水强度达全年最大,除西部地区外,其余地区 24 h 降水强度均达到 1 mm/h 以上,中心强度增加到 2.1 mm/h,贵州全天均可能出现短时强降水。强

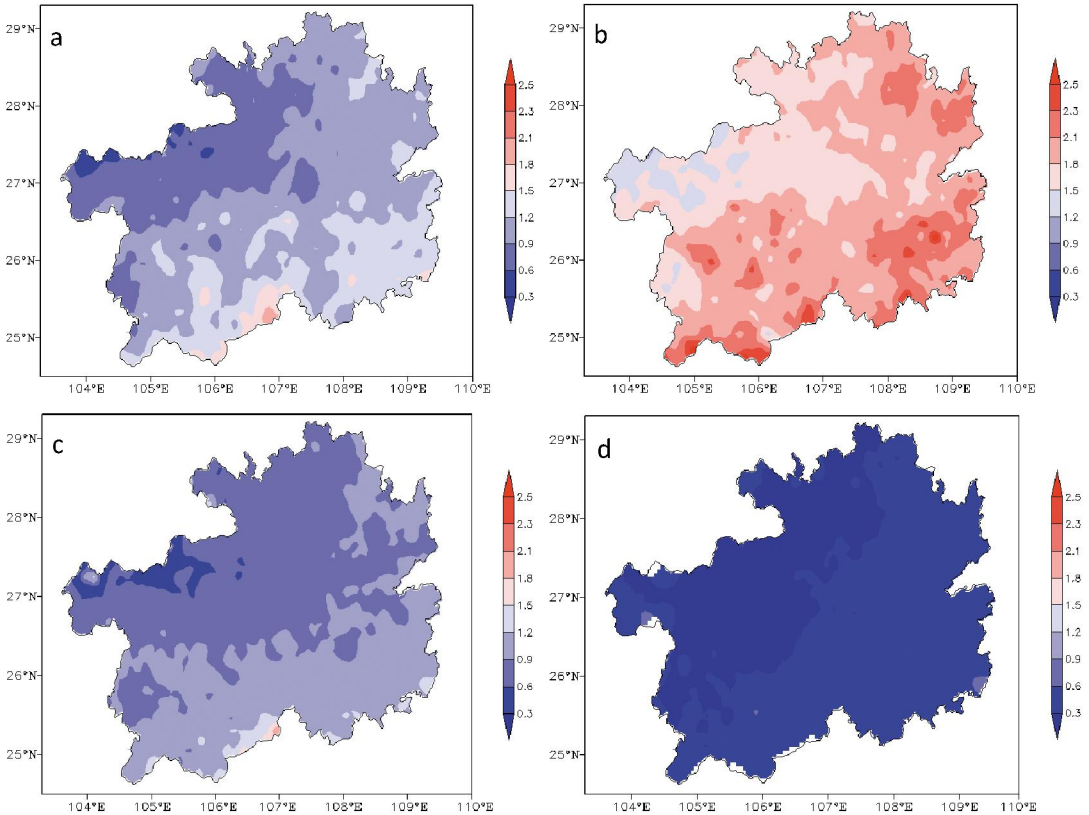

图 5 不同季节的小时平均雨强分布

(a 为春季,b 为夏季,c 为秋季,d 为冬季;单位:mm/h)

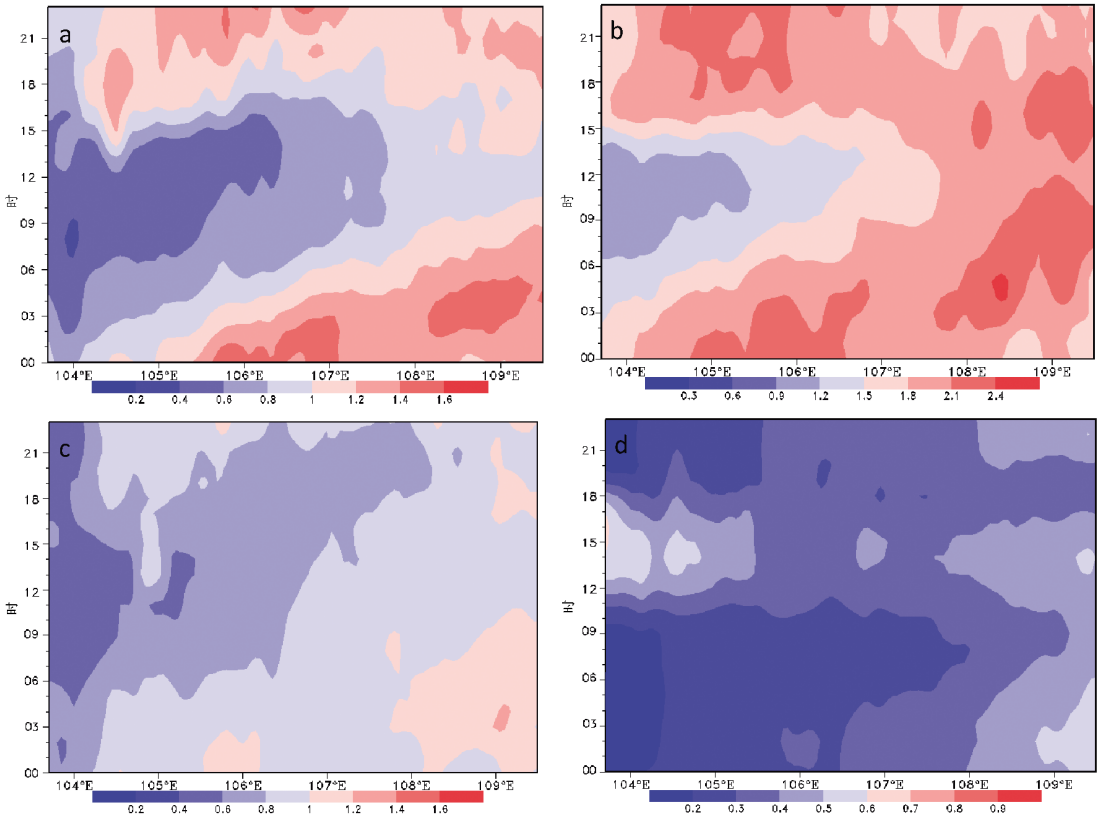

图 6 四季纬向平均小时雨强的日变化特征

（a 为春季，b 为夏季，c 为秋季，d 为冬季；单位：mm/h）

降水中心（1.8 mm/h 以上）自西向东明显存在时间上的滞后——西部地区出现在傍晚到下半夜，中部地区推迟到凌晨，东部则进一步延后至上午，表明了强降水雨团向东传播的特征。

春季降水强度开始增强，开始出现 1 mm/h 以上的降水（除极西的威宁外），且主要出现在夜间，夜间是降水最强的时刻。强降水中心（1.2 mm/h 以上）出现时段与夏季相似，具有明显向东传播的特征。秋季贵州多由大陆气流控制，水汽和能量条件较春季差，平均小时雨强只有东部地区略>1 mm/h，秋季只有东部地区有可能出现短时强降水，出现时间在下半夜到凌晨。

贵州地区四季纬向平均的日内逐时降水概率，在贵州全年均存在着明显的夜雨现象，降水最易发生在下半夜到凌晨（00—06 时），其平均发生概率为 10%左右；午后到傍晚是降水发生概率最低的时段，其平均发生概率为 4%，不到下半夜的一半。

冬季是一年中降水发生概率最低的季节，西部地区全天降水均发生较少，中东部的中心在 00—06 时，中心强度较弱，仅在东部地区达到 10%。这是因为冬季降水主要是由静止锋引起的弱降水，静止锋普遍在夜间增强，其强度普遍较弱难以影响西北部的威宁地区。

春季随着能量和水汽条件转好，降水发生增多，降水概率在 10%以上的大概率区在经向范围和时间范围上均明显增大，中心强度进一步增强到 12%。各地夜雨现象明显，且中心自西向东存在时间上的滞后，这也验证了降水西向传播的特征。需要指出的是极西的威宁地区存在分裂的中心，说明威宁的降水有一部分并不向东传播。

夏季由于能量和水汽达到全年最大，降水的日内集中度下降，全天降水都在 6%以上，中心仅在威宁附近达到 12%。经向分布上，降水自西向东传播的现象仍然存在，但中东部地区的中心推迟到凌晨。

秋季与春季相似，夜雨是最主要的特点，但降水集中度有所增加，降水虽然中心强度为 10%，午后降水概率下降到 4%左右；西部威宁和贵州的降水开始出现断裂的情况，威宁地区出现独立的大值中心（10%），表明威宁和其东部地区的联系减弱。

4 结论

本文通过选用高密度的区域站小时雨量数据，结合地形特征分析贵州降水总体时空特征，进一步从平均雨强和降水概率方面研究了贵州各季日内

(尤其是夜间)降水的精细化特征,主要得出以下结论:

(1)贵州年降水量和年降水时长分布有所不同,贵州第三级阶梯上的两处高峰——梵净山和雷公山的周围和海拔最低的东南部边缘是降水量和降水时长的高值区,而位于大娄山脉北侧的遵义习水地区则仅仅是降水时长的高值区但累计雨量偏少,黔西南北盘江峡谷及其周围则降水量偏多但降水时长偏短。

(2)贵州四季降水时长的高值区与当季主要降水系统的位置基本一致。四季平均雨强分布则兼受地形的影响,偏向于山脉的南麓。在日内分布上,贵州夜雨现象明显,后半夜到凌晨(00—06 时)在四季均为峰值,而午后降水概率最小。夜间是一天中降水强度最大的时段,强降水中心呈现出自西向东时间上逐渐推后的现象,反映了主要降水多自西向东传播的特点。

(3)以区域性降水的平均雨强 1 mm/h(短时强降水发生概率 1‰)为界,全年降水分为两部分:非汛期(10 月—次年 3 月)平均雨强为 0.52 mm/h,以强度偏弱的稳定性降水为主,短时强降水难以出现;汛期(4—9 月)平均雨强为 1.61 mm/h,是对流降水发生的主要时段,全省平均为 3.5 次左右。

(4)短时强降水的日内分布,后半夜到凌晨是短时强降水的主要发生时间,因为该时段降水发生概率多在 10%以上,降水事件多发;该时段降水平均强度最大,短时强降水在总降水事件中的出现概率远高于其他时段。夏季中东部地区其余时段降水强度也可以>1 mm/h,但降水的发生概率较小,不是主要的短时强降水发生时段。

参考文献:

[1] 丁文荣.西南地区极端降水的时空变化特征[J].长江流域资源与环境,2014,23(7):1071-1079.

[2] 申莉莉,张迎新,隆璘雪,等.1981—2016 年京津冀地区极端降水特征研究[J].暴雨灾害,2018,37(5):428-434.

[3] 孙继松,雷蕾,于波,等.近 10 年北京地区极端暴雨事件的基本特征[J].气象学报,2015,73(4):609-623.

[4] 赵恕.季风与贵州的雨季[J].气象学报,1965(1):98-108.

[5] 吴端耀,罗娅,王青,等.2001—2014 年贵州省林草植被覆盖度时空变化及其与气温降水变化的关系[J].贵州师范大学学报:自然科学版,2017,35(1):1-7.

[6] 秦剑.低纬高原天气气候[M].北京:气象出版社,1997:38-50.

[7] 王芬,张娇艳,谷晓平,等.西太平洋副热带高压不同特征指数与贵州夏季降水的关系[J].暴雨灾害,2017,36(4):348-356.

[8] 廖洪敏,何为,武金霖,等.贵州夏季降水特征及其与 Wang and Fan 指数的关系[J].中低纬山地气象,2019,43(2):24-28.

[9] 张娇艳,李扬,张东海,等.贵州省 1965—2015 年热带气旋降水的统计特征[J].贵州气象,2017,41(6):1-7.

[10] 高守亭,张昕,王瑾,等.贵州冻雨形成的环境场条件及其预报方法[J].大气科学,2014,38(4):645-655.

[11] 赵志龙,罗娅,余军林,等.贵州高原 1960—2016 年降水变化特征及重心转移分析[J].地球信息科学学报,2018,20(10):1432-1442.

[12] 王芬,杨若文,唐浩鹏,等.近 48 年贵州暴雨日数及降水总量的变化特征研究[J].云南大学学报:自然科学版,2013(增):236-243.

[13] 卢璐,杨静.贵州夏季大暴雨天气的时空分布特征分析[J].贵州气象,2009,33(3):9-12.

[14] 白淑英,莫婷,史建桥,等.近 50 年贵州不同强度降水日数时空变化分析[J].南水北调与水利科技,2015,13(2):220-224.

[15] 周庶,汪卫平,丁立国,等.贵州省近 36 a 冻雨气候特征及一次冻雨天气分析[J].中低纬山地气象,2020,44(6):60-65.

[16] 姚莉,李小泉,张立梅.我国 1 小时雨强的时空分布特征[J].气象,2009,35(2):80-87.

[17] 肖蕾,杜小玲,武正敏,等.贵州省短时强降水时空分布特征分析[J].暴雨灾害,2021,40(4):383-392.

[18] 虞苏青,白慧,褚丽君,等.安顺区域夜间暴雨时空分布及其影响因子[J].成都信息工程学院学报,2011(4):433-440.

[19] 潘岑,罗俊才,苏静文,等.贵州夜间降水特征与暴雨预警发布现状分析[J].中低纬山地气象,2021,45(5):109-116.

[20] 尉英华,王艳春,朱磊磊,等.基于融合资料的天津短时强降水环境物理量可信度及特征分析[J].沙漠与绿洲气象,2020,14(5):84-91.

[21] 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.

[22] 王莉萍,王铸,连治华,等.基于小时分辨率的降水过程辨识方法研究[J].暴雨灾害,2021,40(1):12-18.

[23] 尹承美,梁永礼,冉桂平,等.济南市区短时强降水特征分析[J].气象科学,2010,30(2):262-267.

[24] 严洌娜,徐集云,陈胜军.短历时强降水的极值分布与统计风险计算[J].科技通报,2005,21(6):657-671.

[25] 谷晓平,廖留峰,段莹,等.贵州 2020 年汛期不同历时强降水雨量特征分析[J].暴雨灾害,2020,39(6):586-592.

[26] 王芬,王文勇,李阳.黔西南短时强降水时空特征分析[J].沙漠与绿洲气象,2018,12(4):45-51.

[27] 熊明明,徐姝,李明财,等.天津地区小时降水特征分析[J].暴雨灾害,2016,35(1):84-90.

沙 漠 与 绿 洲 气 象
Desert and Oasis Meteorology
第 17 卷 第 4 期
2023 年 8 月

Precipitation Distribution in Guizhou Province Based on Hourly Rain-gauge Data

LUO Naixing, ZHOU Lin, LI Yang, NI Lei
(Guiyang Meteorological Bureau, Guiyang 550002, China)

Abstract Based on hourly precipitation observation data from 2 683 automatic weather stations in Guizhou province from 2010 to 2019, the refined annual and seasonal precipitation characteristics in Guizhou were analyzed. It shows that: (1) There are significant differences in the distributions between annual precipitation duration and precipitation. (2) The precipitation duration are dominated by the seasonal main precipitation systems, while the precipitation intensity are jointly affected by both the seasonal main precipitation systems and the terrain conditions, with the maximum precipitation intensity concentrate on the southern slope of mountains in Guizhou province. (3) There is an obvious phenomenon of night rain in all four seasons. The probability and intensity of the rainfall from late midnight to early morning are larger than that in other durations. (4) The short-term heavy rainfall mainly occurs at night in spring and summer.

Key words hourly precipitation; precipitation duration; short-term heavy rainfall; night rain; Guizhou