**DOI:**10. 13718/j. cnki. xsxb. 2023. 08. 009

# 中国西南地区暴雨时空变化特征分析。

闫彩霞1, 曾波2, 董元昌2, 铁永波3, 范瑜越4

1. 湖北省襄阳市气象局, 湖北 襄阳 441021;

2. 中国气象局成都高原气象研究所/高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室,成都 610072;

3. 中国地质调查局成都地质调查中心,成都 610081;

4. 浙江省金华市气象局, 浙江 金华 321000

摘要:利用西南地区 136 个地面气象观测站 50 年的逐日降水资料,将贵州、云南、四川、重庆、西藏划分为高原区 和非高原区并对其暴雨时空变化特征进行了分析.结果表明:①西南大部暴雨主要发生在暖季,暴雨量约为 100~ 300 mm,暴雨日数约为 1~4 d,局部达 6 d;暴雨强度在高原区为 30 mm/d 左右,非高原区为 60 mm/d 以上,四川 盆地西部和东北部最强,达 80 mm/d 以上.②西南地区暖季暴雨量占年降水量的比率在非高原区约为 15%~25%, 高原区则在 10%以下;暖季暴雨日数占年降水日数最大值为 4%左右,最小值不足 1%.③50 a 来高原地区暖季和 全年暴雨日数、暴雨量皆呈弱增加趋势,而年降水量在增加的同时降水日数却在减少,表明高原降水的极端性在增 强;非高原地区暖季和全年暴雨日数、暴雨量也呈弱增加趋势但年降水量、降水日数皆减少,表明非高原地区暴雨 降水虽有增加,但其他量级降水减少幅度更大.

关 键 词:西南地区;年降水;暴雨;暖季;时空变化
中图分类号: P466
文献标志码:A
文章编号: 1000 - 5471(2023)08 - 0071 - 12

## Analysis on Spatial-Temporal Variation Characteristics of Heavy Rain over Western China

## YAN Caixia<sup>1</sup>, ZENG Bo<sup>2</sup>, DONG Yuanchang<sup>2</sup>, TIE Yongbo<sup>3</sup>, FAN Yuyue<sup>4</sup>

1. Xiangyang Meteorological Bureau, Xiangyang Hubei 441000, China;

2. Chengdu Institute of Plateau Meteorological, China Meteorological Administration/Heavy Rain and Drought-Flood Disasters in Plateau and Basin Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610072, China;

3. Chengdu Center of China Geological Survey, Chengdu 610081, China;

4. Jinhua Meteorological Bureau, Jinhua Zhejiang 321000, China

Abstract: Based on the 50-year daily precipitation data from 136 surface weather stations in Southwest

① 收稿日期: 2023-03-14

基金项目:国家自然基金重点项目(42030611);国家自然基金重大研究计划集成项目(91937301);四川省科技厅自由探索基础研究 (2020ZYD032);金沙江下游梯级水电站气象预报关键技术研究及系统建设项目(JG/20015B);高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省 重点实验室发展基金项目(省重实验室 2017 -青年-11, SCQXKJQN202114)和研究型重点专项(SCQXKJYJXZD202202);干旱气 象科学研究基金项目(IAM201809).

作者简介: 闫彩霞, 工程师, 硕士, 主要从事灾害天气预报、机理研究.

通信作者:曾波,副研,硕士.

China, the five provinces are divided into plateau and non-plateau areas and this study analyzed the temporal and spatial variation characteristics of rainstorm. The following results are obtained. ① Most of the heavy rain in the Southwest mainly occurs in the warm season, the heavy rain is about  $100 \sim 300$  mm, and the number of heavy rain days is about  $1 \sim 4$  days, locally up to 6 days. The intensity of rainstorm in the plateau area is about 30mm/d and more than 60mm/d in the non-plateau area. In the west and northeast of the Sichuan Basin are the strongest ,reaching more than 80mm/d. ②In Southwest China, the proportion of rainstorm in warm season in annual precipitation is about  $15\% \sim 25\%$  in non-plateau area and less than 10% in plateau area. The maximum number of rainstorm days in the warm season is about 4%, and the minimum is less than 1%. ③In the past 50 years, the number of rainstorm days and rainfall amount in both warm season and annual has shown a weak increasing trend, while the annual precipitation has been increasing. The number of rainstorm days and rainfall amount in the whole year in the non-plateau region also showed a weak increasing trend, but the annual precipitation amount and days decreased, indicating that the rainstorm in the non-plateau region increased, but the precipitation of other orders of magnitude decreased more.

Key words: precipitation; western China; spatial-temporal characteristics; heavy rain

全球变暖已是不争的事实,IPCC 第六次报告指出自 1950 年以来,全球大部分有观测资料的区域极端 降水呈增加趋势,未来随着碳排放量的增加,将会出现更频繁更强烈的极端降水<sup>[1]</sup>.西南地区包括云贵高 原大部、青藏高原主体、横断山区、川西高原及四川盆地,境内地貌类型多样,地势高差大,是典型的气候 脆弱区和气候多变区<sup>[2]</sup>.受东亚、印度季风环流、青藏高原环流和复杂的地形地貌影响,这里极端降水发生 频繁、局部差异大、变化复杂,易发生山体滑坡、泥石流、洪涝等气象灾害<sup>[3-4]</sup>,尤其是近年来,西南地区旱 涝灾害性事件频发,极端降水事件日益增多<sup>[5-8]</sup>,研究西南地区降水气候特征,尤其是暖季暴雨的时空格局 及变化,可加深对于全球变暖背景下西南地区降水及旱涝灾害变化规律的认识,对于有效防范极端降水、 保障社会经济的可持续发展有重要意义,同时可为西南地区气候预测提供线索,并为气象防灾减灾提供决 策服务依据.

关于西南地区降水的研究成果较多,而暴雨研究多为某一省份的暴雨气候特征或者暴雨过程个例分 析,关于西南暴雨气候整体变化特征的研究相对较少.研究表明西南地区降水整体而言东部和南部多、西 北少,四川西部存在一个多雨中心,受地形地貌和山脉走向影响,境内多雨区和少雨区交错分布<sup>[9-11]</sup>.文献 [12-14]指出近 60 年来西南降水呈下降趋势,其中云南下降最明显,西南地区 70.08%区域年均降水量呈 减少趋势,仅有 21.97%区域降水量增加.暴雨研究方面,文献[15]指出西南地区暴雨主要集中在盆地西 部、川东北、滇南和黔西南及黔东北地区,且近年来呈增加趋势;文献[16]等研究表明西藏地区暴雨自东 南向西北逐渐变小;文献[17]等指出川渝暴雨主要发生在四川盆地,盆地暴雨由东向西明显递减;而贵州 短时强降水整体呈东多西少、南多北少的分布特征<sup>[18]</sup>;此外,大量研究表明近年来西南地区降水呈频次减 小、强度增加、降水总量增加的趋势,极端降水增加速率为 0.017/10a<sup>[19-22]</sup>,降水集中度增大的同时旱涝风 险也在增大<sup>[23]</sup>.

综上,虽然关于西南地区降水时空变化的研究成果较多,但研究者基于不同研究目的选择的气象站点 数量不同,大多采用的是年代资料较短的月降水资料,对于贵州、云南、四川、重庆、西藏不同暴雨标准分 区域的研究相对较少;此外,由于西南地区下垫面复杂,降水分布极不均匀<sup>[24-26]</sup>,需要针对不同区域做细 致的分析以便能提供精准的对策及建议;近年来随着高时空分辨率站点数据资料的普及使用,使得西南地 区暴雨更为精细的研究成为可能.鉴于此,本文利用中国地面气候资料日值数据集,从高原区、非高原区两 个角度对贵州、云南、四川、重庆、西藏年均降水、降水日数及暖季暴雨强度、暴雨日数等要素的空间分布 特征与时间演变规律进行了详细分析,以期对西南地区降水的时空变化事实形成清晰完整的认识,为天气 预报服务及气候预测提供参考.

## 1 数据来源和方法

#### 1.1 数据来源

研究采用中国地面气候资料日值数据集(V3.0),该资料包含中国 824 个基准、基本气象站 1951 年 1 月一2017 年 12 月的逐日气象数据,目前该资料已替换为 699 个气象站自建站以来的观测数据.虽然观测年 份未达 2022 年,但是对于研究降水的气候态时空变化特征已足够,且 824 站版本资料的空间分辨率更高, 因此采用前 824 站的版本数据.

## 1.2 数据筛选

研究区为贵州、云南、四川、重庆、西藏,其中西藏西部由于站点极其稀少并未在研究之列.根据研究 需要、站点缺测情况及资料完整性,选取5个地区136个站点1968—2017年逐日降水量分析了50年的年 降水特征以及4—10月(暖季)暴雨气候特征.

### 1.3 相关定义标准

本文中日降水量是指 20—20 时的累计降水量,当日降水量≥0.1 mm 表示有降水,并记为一个降水 日;日降水强度(文中记为降水强度)为总降水量与总降水日数的比值,同样地,暴雨降水强度为暴雨降水 量与暴雨总日数的比值.由于高原降水量级比我国东部地区相对小,即使没有达到暴雨量级(≥50 mm)也 常常会造成当地滑坡泥石流等灾害,因此考虑到高原地形及降水的特殊性,本研究将高原日降水量不低于 25.0 mm 的降水规定为暴雨<sup>[27]</sup>,由此将贵州、云南、四川、重庆、西藏划分为高原地区(1 区,37 个站)非 高原地区(2 区,99 个站),图 1 为研究区的地形及站点分布,其中黑色三角为 1 区,红色三角为 2 区.

### 1.4 统计方法

本文对相关降水空间分布特征分析采用多年平均值统计方法,在降水年代际变化的分析中用到了线性 回归统计方法.



注:底图来源于国家测绘地理信息局标准地图服务网,审图号为GS(2019)1786号 图 1 地形和站点分布

## 2 西南地区暴雨空间分布特征

### 2.1 不同时段降水空间分布特征

西南地区年均降水量及暖季降水空间分布皆不均匀,多年平均年降水量(图 2a)和4—10月(暖季)降水 量(图 2b)分布较为一致,皆自西北向东南增加,这与文献[9]得出的结论一致.年均降水量最大值位于云南 江城为2 100 mm,最小值出现在西藏南部藏南谷地,约为270 mm.云南地区年降水量自东北向西南方向 增大,南部和西部降水量在1000 mm以上,中部、北部及东部降水量约600~900 mm,西北和东北最小约 610~680 mm.贵州地区除西北部年降水量约800~900 mm外,其余皆在1000 mm以上.重庆地区东南部 最大值约1300 mm,其他区域约990~1200 mm.四川地区年降水量整体而言西部小于东部,东部降水量 在800 mm以上,最大值位于盆地和高原过渡地区的雅安和乐山地区,为1600 mm以上;川西高原地区年 降水量约为 500~900 mm,最小值在巴塘为 466 mm.西藏地区年降水量大值区位于东部,约为 610~780 mm,其他地区约为 270~580 mm,其中西藏中部南端的聂拉木,年降水量 637 mm 左右,与邻近站 (约 273 mm)相差较大.



注:底图来源于国家测绘地理信息局标准地图服务网,审图号为 GS(2019)1786 号

图 2 多年平均降水量(单位:mm)

暖季降水日数(图 3b)与年降水日数(图 3a)空间分布较为一致.其中川西高原东北至盆地西部、重庆的 西部、南部及贵州为年降水日数大值区,约 150 d 以上;四川东北部及重庆北部为小值区,约 110~140 d. 西藏地区年降水日数为大小值间隔分布,西藏中部为小值区,约 58~76 d,西藏东南部横断山脉至云南西 缘及南缘一带为大值区,在 150 d 以上,其中最大值为贡山站(约 214 d)和云南屏边(约 205 d),表明一年 中接近 2/3 的时间皆有降水发生.西藏东部与四川西部交界处至云南北部与四川西南部交界处为小值区, 约 90~135 d,最小值为四川巴塘站(98 d)和云南元谋(90 d).由此可见,年降水日数与年降水量在这 5 个 地区分布都极不均匀,地区间差异较大,降水日数和降水量大值或小值区并不完全对应,说明降水量的大 (小)不仅与降水日数多寡有关,还与降水强度有关系.



注:底图来源于国家测绘地理信息局标准地图服务网,审图号为GS(2019)1786号 图 3 多年平均降水日数空间分布(单位:d)

统计显示,贵州、云南、四川、重庆、西藏大部暖季降水量占年降水量 85%以上,其中西藏西部、中部 及东北部、四川大部分地区(除盆地东部和南部部分地区外)暖季降水量占年降水量 90%以上.贵州东部及 横断山脉位于云南和西藏交界附近区域暖季降水量占比约为 70%~80%,聂拉木占比约 69%,而西藏的日 喀则和拉萨站暖季降水量占比近 100%.表明除部分特殊地形外,贵州、云南、四川、重庆、西藏暖季降水 量占全年的 4/5 左右,其中高原地区暖季降水量占比尤其大,为 95%左右.暖季降水日数占年降水日数的 比值空间分布与暖季降水量占比相似,但比值相对较小.贵州、重庆以及四川东北部地区暖季降水日数占 比约为 57%~70%,云南地区主要占比约 70%~85%.盆地西部区域间差异大,有的占比 65%左右,有的 占比 75%左右,川西高原、云南西北部及西藏大部暖季降水日数占比 80%以上,云南东部及中部约为 75%~80%,川西高原约80%~90%.结合前面暖季降水量占比可知,暖季降水强度比其余时间段大,降水效率更高.

#### 2.2 不同时段暴雨空间分布特征

暴雨是极端、小概率事件,是不同尺度地形与大气环流相互作用的结果,具有很强的区域性特征<sup>[28]</sup>. 在全球气候变暖背景下,研究暴雨有助于揭示气候变化对于发生极端降水事件的影响<sup>[29]</sup>.西南地区年暴雨 降水量(图 4a)和暖季暴雨降水量(图 4b)的空间分布极为相似,量值接近,非高原地区几乎完全一致,只有 高原个别地区(聂拉木和横断山脉西段一雅鲁藏布江大峡谷)量值及范围稍有不同.西南地区大部年均暖季 暴雨量约为100~300 mm,有多个大值中心,分别为云南南部江城站(约 499 mm)、贵州南部望谟(约 339 mm)、四川盆地西部雅安站(约 539 mm)和盆地东部万源站(约 432 mm);高原年均暖季暴雨量比非高 原地区小,高原及云南北部、中部暴雨量在 100 mm 以下,其中川西高原西北部、西藏东北部及中部暴雨量 在 50 mm 以下,多年平均暴雨最小值出现在云南德钦,约为 4~5 mm,表明这里偶有暴雨发生.高原地区 聂拉木站附近年暴雨量超过 100 mm,而该站暖季暴雨只占年暴雨量的 50%左右,说明聂拉木站其他时段 也有暴雨发生且不比暖季暴雨弱.此外,西南地区大部暖季暴雨均占年暴雨的 95%以上,四川大部、西藏 中部、贵州西部及重庆北部部分地区暖季暴雨量占比达 100%,说明这些地区暴雨几乎都发生在暖季.



注:底图来源于国家测绘地理信息局标准地图服务网,审图号为GS(2019)1786号 图 4 多年平均暴雨降水量(单位:mm)

年暴雨(图 5a)和暖季暴雨(图 5b)日数空间分布极为一致,且与暴雨量空间分布也一致.年暴雨日数大 值中心在峨眉及雅安一带,有6d左右,次大值区位于盆地东北部至重庆东部、贵州西南部、西藏东南部和 云南南部,为4d左右.统计结果表明,川渝、贵州以及西藏大部分地区暖季暴雨日数占全年暴雨日数 95% 以上,这与暖季暴雨量占比基本相同.由此可见,研究暖季暴雨基本可以代表全年暴雨特征.



注:底图来源于国家测绘地理信息局标准地图服务网,审图号为GS(2019)1786号)



暴雨的强度更能直观体现对流降水强弱特征.从西南地区暴雨强度可以看到,年均暴雨(图 6a)和暖季

暴雨(图 6b)强度的值域范围空间分布一致,年暴雨强度除横断山脉外基本与地形分型一致,即以第一阶梯 和第二阶梯地形为分界.川西高原和西藏大部分地区暴雨强度在 30 mm/d 左右,西藏东南部比中部暴雨强 度大,其中西藏南部个别地区如聂拉木和帕里暴雨强度接近 50 mm/d.第二阶梯地形中,年暴雨强度基本 在 60 mm/d 以上,其中降水强度最强出现在四川盆地西部及东北部,为 80 mm/d 以上,盆地其余地区、重 庆及贵州大部在 70 mm/d 以上,四川攀西及云南地区约 60~70 mm/d;横断山脉地区暴雨强度约为 30~ 60 mm/d,说明横断山脉地区暴雨强度差异较大,这可能与复杂多变的下垫面地形有关.此外,西南地区由 于地形复杂,很多地区降水又体现了其较强的局地性,比如西藏东南部和聂拉木、横断山脉、云南江城、四 川盆地西部及东北部等地区.



注:底图来源于国家测绘地理信息局标准地图服务网,审图号为GS(2019)1786号 图 6 多年平均暴雨降水强度(单位:mm/d)

### 2.3 暖季暴雨占比分布特征

文献[30]指出暴雨占比与暴雨频数的年代际跃变不完全一致,能说明暴雨频数对降水总量变异的重要性.贵州、云南、四川、重庆、西藏暖季暴雨降水量占年降水量(图 7a)和暖季降水量(图 7b)的空间分布比较一致,除了大、小值区域的值和范围稍有不同,其余暴雨量值和范围基本空间分布基本相同.这里仅对暖季暴雨降水量占年降水量具体空间分布做详细分析,暖季暴雨降水量在四川盆地西部及东北部占比25%以上,其中盆地东北部占比最大达36%,盆地西部雅安一带地区占比33%;重庆东北及西北部占比20%~25%,贵州东部占比约为14%~20%,西部占比约为20%~25%,云南地区大小值间隔分布总的来看西南较大约为10%~20%,东部为10%左右,西北部约为5%~10%;川西高原和西藏地区所占比例跨度大,有的占比17%左右,有的占比3%左右且分布不均,局地性强.



注:底图来源于国家测绘地理信息局标准地图服务网,审图号为GS(2019)1786号

图 7 暖季暴雨降水量占年降水量与暖季降水量的比值(单位:%)

暖季暴雨降水日数占年降水日数(图 8a)和暖季降水日数(图 8b)的空间分布也较一致,只是某些大、小 值区域的值和范围稍有不同.暖季暴雨降水日数占年降水日数最大值中心为4%,最小值中心不足1%;重 庆和贵州中南部为2%左右,其余局部区域为1%;云南西南地区约为2%~3%,云南其他区域主要为1% 左右,只有局部地区为2%.由此可以看到,高原大多数地区暴雨降水对年降水贡献相对较小,盆地暴雨降 水占比较大,占年降水的约25%~35%.



上述结果进一步表明研究暖季暴雨基本可以代表西南地区全年暴雨特征.



#### 2.4 暖季暴雨量及日数占比分布特征

为深入了解暖季暴雨特征,对暖季各月暴雨空间分布特征进行研究.暴雨日数占比表示统计时段内暴 雨出现频次的历史概率,暴雨量占比是指统计时段内降水中暴雨的贡献率<sup>[31]</sup>,将两者结合暖季各月暴雨发 生总次数分析,有利于进一步认识不同月份暴雨日数、暴雨量、暴雨强度发生贡献概率的气候规律.

从暴雨量与暴雨日数占比(图 9-10)空间分布变化可见,同月份的暴雨日数及暴雨量占比空间分布相 对一致,只有部分区域的大小值域范围稍有不同;暴雨日数及暴雨量占比整体呈现出随月份增加先增加后 减少的特征,但在青藏高原和云南部分地区则表现为随月份推进暴雨发生和贡献率先增减不一的特征,这 可能与高原地区复杂的下垫面有关.

从暴雨量占月降水量比值(图 9a-g)空间分布可以看到,1 区暴雨贡献相对2 区弱,西藏大部暴雨降水 占比随月份的推进呈现先增加后减少特征,部分地区则有着迥然不同的特征,如西藏察隅和波密附近暴雨 量占比随着月份增加先减少后增加,而聂拉木和帕里4-8月的暴雨量都较小,但9月开始突然大幅增加, 占月降水量的50%以上.2 区大部暴雨贡献随月份先增加后减少,其中四川非高原区域的暴雨占比由东向 西增加,7、8月份占比最大位于盆地区域,局部地区暴雨降水贡献达50%以上;重庆暴雨分布相对均匀, 7-8月暴雨量大值中心主要在北部,9月转移到东北部,月占比最大值约为30%~40%;贵州暴雨占比最 大值出现在6-7月,其中贵州南部6月占比达最大值约为30%~40%;云南地区暖季降水中暴雨贡献量 较其他地区小,4月云南北部区域鲜少有暴雨发生,暴雨主要发生在5-10月,且南部略多于北部,夏季暴 雨量占比最大,主要发生在云南南部及东部地区,9-10月暴雨贡献大值中心为云南东部、西部及南部 地区.

从暴雨日数逐月占比(图 10a-g)和暴雨发生总次数来看,除西藏前述几个地区外,西南大部暴雨日数 占比随着月份增加呈先增加后减少的分布特征.暴雨日数在 7 月达到最大面积,之后开始减弱缩小,到 10 月暴雨日数范围及值域分布与 4 月和 5 月空间分布相似.其中西藏地区暴雨日数比值大值区随月份的增加 表现出自东往西逐渐增加扩大,并在夏季之后逐渐往东退回的特征,这应该与南亚高压和西太平洋副高副 热带高压强度和位置变化有关.四川、重庆、贵州和云南地区的暴雨日数占比基本随着月份的增加也自东 向西逐渐增大扩展,并逐渐在盆地西部和东北部、贵州南部、云南南部及川西高原南部达到最大,其中最 大值中心为 8 月的盆地西部边缘雅安地区,比值为 11%以上,9-10 月暴雨日数占比迅速减小.总而言之, 西南大部分地区暴雨降水主要受大尺度天气环流系统如西太副高、南亚高压的影响,但局部地区同时也会 受地形下垫面影响,呈现出独特的暴雨气候特征,如西藏地区的林芝、波密、察隅、聂拉木等局地区域.



111E

50

50

105E 108E 111E

40 50



30 35 40 0.01 7 10 13 20 25 50 4 16 g. 10月暴雨降水量与10月降水量的比值

> 注:底图来源于国家测绘地理信息局标准地图服务网,审图号为GS(2019)1786号 图 9 暖季各月暴雨降水量占月降水量的比值空间分布(单位:%)

38N

36N

34N

32N

30N

28N

26N

24N

22N

20N

38N

36N

34N

32N

30N 28N

26N

24N

22N

20N 78E 81E

38N

36N

34N

32N

30N

28N

26N

24N

22N 20N L 78E

38N 36N 34N 32N 30N 28N 26N 24N 22N 20N L 78E 81E

78F

81E



g. 10月暴雨日数与10月降水日数的比值

注:底图来源于国家测绘地理信息局标准地图服务网,审图号为GS(2019)1786号 图 10 西南地区暖季各月暴雨日数占月降水日数比值空间分布(单位:%)

## 3.1 高原地区暴雨距平年代际变化

文献[32]研究指出西南地区夏季暴雨有明显的增加趋势,文献[33]利用极端气候指数计算表明我国夏季暴雨日数存在显著的增加趋势,文献[34]研究表明我国夏季暴雨有显著的年代际变化,其中青藏高原暴雨增多.我们分区域研究了贵州、云南、四川、重庆、西藏的暴雨年代际变化和线性回归特征,以探索西南地区不同季节暴雨的变化趋势.

图 11 为高原地区(1区)全年和暖季的总降水和暴雨的降水量、降水日数距平年代际变化,由图可见暖季、 年暴雨日数(图 11a)和暖季、年降水年际变化(图 11b)趋势稍有不同,暴雨日数整体呈增加趋势,偏多偏少年 份变化相对均匀,而年降水日数总体而言呈弱下降趋势,尤其是 2005 年之后基本以偏少为主.暖季、年暴雨降 水量(图 11c)年际变化与年降水量变化趋势较为一致,整体皆呈增加趋势,且与暴雨降水日数偏少偏多年分布 一致,意味着高原上暴雨降水量主要取决于暴雨日数多少,这与文献[35]等研究成果颇为一致.

高原地区降水日数距平月波动较大,除3、4、5月为增加趋势外其余月份皆为减少趋势,而降水量除 了12月为减少趋势外其余月份皆为增加趋势,说明在高原地区降水日数虽然减少,但降水总量却呈增加趋势,表明降水的极端性变强.对于暴雨日数而言,暴雨日数只在10月有微弱减少,其他月份皆为增加趋势, 暴雨量在7月有微弱减少趋势,10月也有所减少,其他月份都是增加趋势,这进一步说明高原地区降水量 的增加有暴雨级别降水增加的贡献.



图 11 1区 1968—2017 年暖季和全年总降水及暴雨降水量、降水日数距平年代际变化

## 3.2 非高原地区暴雨距平年代际变化

图 12 为非高原地区(2 区)全年和暖季的总降水及暴雨的降水量和降水日数的距平年际变化. 由图可见 暖季和年暴雨日数(图 12a)及暴雨降水量(图 12c)变化趋势较为一致,皆为微弱的增加趋势,偏多和偏少相 间分布且较为均匀. 而暖季和全年降水日数(图 12b)与降水量(图 12 d)变化趋势一致,皆为减少趋势,尤其 是降水日数近 50 年整体呈明显下降趋势,2000 年之后几乎都为减少,这和高原地区降水日数年际变化特 征规律差异显著,降水量在 2015 年后呈偏多趋势,这表明非高原地区暴雨降水虽然稍有增加,但不足以弥 补其他量级降水减少引起的降水总量的减少.

此外,非高原地区逐月降水日数皆为减少趋势,但月降水总量除1、3、6、10和12月为增加外,其他 月份皆为减少趋势.暴雨降水日数及暴雨降水量除6月和10月稍有增加外,其他月份皆为减少趋势,说明

3

非高原地区暴雨日数的增减关系着暴雨量的增减.



图 12 2区 1968-2017 年暖季和全年总降水及暴雨降水量、降水日数距平年代际变化

## 4 结论

本文采用中国地面气候资料日值数据集(V3.0)中1968—2017 年逐日降水资料,对西南地区136 个测站的暴雨时空变化特征进行了分析研究,结论如下:

1)西南地区大部年暴雨量和暴雨日数与暖季空间分布极为相似,且量值接近,其中暴雨量约为100~300 mm,总体而言呈东多西少的空间分布.暴雨日数约为1~4 d,局部达6 d以上.除横断山脉外,西南地区年均暴雨和暖季暴雨强度的空间分布基本与地形分型一致,即以第一和第二阶梯地形为界,第一阶梯地形中川西高原和西藏整体暴雨强度在30 mm/d左右,第二阶梯地形年均暴雨强度约60 mm/d以上,其中暴雨强度最大为四川盆地西部及东北部部分地区,在80 mm/d以上;横断山脉由于下垫面复杂多变,暴雨强度差异大、局地特征明显.

2)西南地区暖季暴雨占年降水、暖季降水比值总体上呈东多西少空间分布,有多个大值中心且分布不均,其中非高原区占比约为15%~25%,四川盆地东北部占比最大,达36%;高原区占比大多在10%以下且跨度大,分布极不均匀.暖季暴雨日数占年降水日数最大值中心为4%,最小值中心不足1%,表明暴雨虽然发生较少,但降水效率高.西南大部暖季暴雨量及日数占年暴雨的95%以上,部分地区能达100%左右,因此研究暖季暴雨基本能代表全年暴雨特征.

3) 西南地区暴雨日数及暴雨量占比整体呈现出随月份增加先增加后减少的特征,但在青藏高原和云 南的部分地区则表现为随月份推进暴雨发生和贡献率增减不一的特征.西南大部分地区暴雨占月降水比值 随月份推进先增加后减少,而在西藏的察隅和波密占比值随月份推进却先减少后增加,聂拉木和帕里则基 本呈现递进增加.

4)时间变化上55a来高原地区暖季和全年暴雨日数和暴雨降水量呈弱的增加趋势,而降水总量呈增多趋势的同时降水日数却在减少,表明高原地区暴雨降水量主要取决于暴雨日数多少,且降水的极端性增强.非高原地区与高原地区有明显的差异,暖季和全年暴雨日数和暴雨降水量均呈微弱的增加趋势而年降水总量和降水日数呈减少趋势,说明非高原地区暴雨降水虽然有所增加,但是不足以弥补其他量级降水减少引起的降水总量的减少.

参考文献:

- [1] 周波涛. 全球气候变暖: 浅谈从 AR5 到 AR6 的认知进展 [J]. 大气科学学报, 2021, 44(5): 667-671.
- [2] 齐冬梅,李跃清. 高原季风研究主要进展及其科学意义 [J]. 干旱气象, 2007, 25(4): 74-79.
- [3] 李永华,徐海明,白莹莹,等.我国西南地区东部夏季降水的时空特征 [J]. 高原气象, 2010, 29(2): 523-530.
- [4] 韩林君,白爱娟. 2004—2017年夏半年西南涡在四川盆地形成降水的特征分析 [J]. 高原气象, 2019, 38(3): 552-562.
- [5] 杨金虎,张强,王劲松,等.近60a来中国西南春季持续性干旱异常特征分析 [J]. 干旱区地理,2015,38(2):215-222.
- [6] 王瑞英,肖天贵.西南地区雨季降水的时空分布及预报试验 [J]. 气象科学, 2020, 40(3): 354-362.
- [7] 卢珊,胡泽勇,王百朋,等.近56年中国极端降水事件的时空变化格局 [J].高原气象,2020,39(4):683-693.
- [8] 孔锋,吕丽莉,方建,等.基于日值和小时降水数据诊断中国暴雨时空变化差异的研究(1991-2010)[J].灾害学, 2017, 32(1):72-79.
- [9] 杨春艳, 严小冬, 夏阳, 等. 近 56 a 西南区域降水分布及持续性干旱的研究 [J]. 中低纬山地气象, 2021, 45(2): 15-22.
- [10] 刘晓冉,李国平,范广洲,等. 我国西南地区近 40 年降水异常的时空特征 [M]. 中国气象学会 2006 年年会"首届研究 生年会"分会场论文集, 2006, 503-510.
- [11] 王夫常, 宇如聪, 陈昊明, 等. 我国西南部降水日变化特征分析 [J]. 暴雨灾害, 2011, 30(2): 117-121.
- [12] 高焕昕, 毛文书, 师春香, 等. 近 60 a 西南雨季降水变化特征 [J]. 成都信息工程大学学报, 2022, 37(1): 88-95.
- [13] 周李磊,杨华,刘睿,等.基于 TRMM 数据的西南地区年降水时空特征研究 [J].重庆师范大学学报(自然科学版), 2017,34(1):114-122,142.
- [14] 胡豪然,梁玲.近50年西南地区降水的气候特征及区划[J].西南大学学报(自然科学版),2015,37(7):146-154.
- [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] 杨勇,罗骕翾,尼玛吉,等. 西藏地区暴雨指标及暴雨事件的时空变化 [J]. 暴雨灾害, 2013, 32(4): 369-373.
- [17] 陈丹,周长艳,熊光明,等.近53年四川盆地夏季暴雨变化特征分析 [J]. 高原气象, 2018, 37(1): 197-206.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 赖欣,范广洲,董一平,等.近47年中国夏季日降水变化特征分析 [J]. 长江流域资源与环境,2010,19(11):1277-1282.
- [21] 符传博, 吴涧, 丹利. 近 50 年云南省雨日及降水量的气候变化 [J]. 高原气象, 2011, 30(4): 1027-1033.
- [22] 李金建, 缪启龙. 西南地区夏半年降水的多时空尺度特征 [J]. 气象与减灾研究, 2007, 30(4): 14-19.
- [23] 曹永兴,蔡宏珂,向卫国,等.我国西南地区 1963 年-2012 年降水集中指数的变化特征 [J].西南大学学报(自然科学版), 2016, 38(10): 117-124.
- [24] 肖潺, 宇如聪, 原韦华, 等. 横断山脉中西部降水的季节演变特征 [J]. 气象学报, 2013, 71(4): 643-651.
- [25] 鲁亚斌, 解明恩, 范菠, 等. 春季高原东南角多雨中心的气候特征及水汽输送分析 [J]. 高原气象, 2008, 27(6): 1189-1194.
- [26] 李妮娜,李建.中国西南复杂地形区降水观测年际变化代表性问题初步分析 [J]. 高原气象, 2017, 36(1): 119-128.
- [27] 赵雪雁, 王亚茹, 张钦, 等. 近 50a 青藏高原东部夏半年强降水事件的气候特征 [J]. 干旱区地理, 2015, 38(4): 675-682.
- [28] 黄荣辉, 蔡榕硕, 陈际龙, 等. 我国旱涝气候灾害的年代际变化及其与东亚气候系统变化的关系 [J]. 大气科学, 2006, 30(5): 730-743.
- [29] 陈栋,黄荣辉,陈际龙.我国夏季暴雨气候学的研究进展与科学问题 [J]. 气候与环境研究, 2015, 20(4): 477-490.
- [30] 陈栋,陈际龙,黄荣辉,等.中国东部夏季暴雨的年代际跃变及其大尺度环流背景 [J]. 大气科学, 2016, 40(3): 581-590.
- [31] 杨春,张勇,张亚萍,等.近 25a 重庆地区小时降水时空分布特征分析 [J]. 暴雨灾害, 2020, 39(1): 71-80.
- [32] ZHAI P M, ZHANG X B, WAN H, et al. Trends in Total Precipitation and Frequency of Daily Precipitation Extremes over China [J]. Journal of Climate, 2005, 18(7): 1096-1108.
- [33] YOU Q L, KANG S C, AGUILAR E, et al. Changes in Daily Climate Extremes in China and Their Connection to the Large Scale Atmospheric Circulation during 1961-2003 [J]. Climate Dynamics, 2011, 36(11): 2399-2417.
- [34] FU G B, YU J J, YU X B, et al. Temporal Variation of Extreme Rainfall Events in China, 1961-2009 [J]. Journal of Hydrology, 2013, 487: 48-59.
- [35] 王展,申双和,刘荣花.近40a中国不同量级降水对年降水量变化的影响性分析 [J]. 气象与环境科学,2011,34(4): 7-13.