

# 近59年来贵州省不同地貌类型的降水变化特征

莫跃爽, 索惠英, 赵宗权, 焦树林, 张洁, 赵梦, 刘炜, 李银久

(贵州师范大学地理与环境科学学院, 贵阳 550025)

**摘要:** 为了解和分析贵州省气候变化的特征, 以期为当地的生态旅游发展规划、环境保护和灾害防治提供参考, 根据1960—2018年贵州省17个气象站的月降水数据, 运用线性倾向估计法、滑动平均法及反距离权重插值的方法, 对贵州省59年不同地貌类型降水的时空变化进行研究, 并采用有序聚类法和Mann—Kendall法对降水量进行突变性检验。结果表明: 贵州省59年降水趋势系数为 $-0.102$ , 表明全省降水量总体呈下降趋势。岩溶峡谷和非喀斯特区的年均降水量虽递增, 但增加的趋势并不显著。其他4个地貌区(岩溶槽谷、峰丛洼地、岩溶高原和岩溶盆地)的年降水量均呈下降趋势, 其中下降趋势最显著的是岩溶盆地, 其递减速率为 $-37.57$  mm/10 a, 是其他3个地区的 $1.37\sim 2.25$ 倍。全年降水倾向率为 $-16.50$  mm/10 a, 降水倾向率在空间上呈现由东北向西南逐渐减小的趋势。全省秋季、冬季的降水量呈波动上升, 而春季、夏季的降水量呈下降趋势, 年降水日数和最大日降水量均呈递减趋势, 在20世纪80年代以后, 平均最大日降水量下降至60年代的 $1/10$ 左右。此外, 非喀斯特区和岩溶高原年均降水量在1985—1986年左右发生突变, 岩溶峡谷、岩溶槽谷、峰丛洼地的年平均降水量无突变现象, 岩溶盆地约在2001年发生突变。

**关键词:** 降水量; 地貌特征; 有序聚类; M—K检验; 贵州省

中图分类号: P426.6

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2020)06-0046-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2020.06.007

## Variation Characteristics of Precipitation in Different Geomorphic Types in Guizhou Province in the Recent 59 Years

MO Yueshuang, SUO Huiying, ZHAO Zongquan, JIAO Shulin,

ZHANG Jie, ZHAO Meng, LIU Wei, LI Yinjiu

(School of Geography and Environmental Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550025)

**Abstract:** Analyzing the temporal and spatial trends of climate change in Guizhou Province is of great significance for planning ecotourism development, environmental protection and disaster prevention in the region. Based on the monthly precipitation data from 17 sites in Guizhou Province during 1960 to 2018, methods of linear regression, moving average, ordered clustering, Mann—Kendall mutation test, and inverse distance weight interpolation were applied to analyze spatial and temporal characteristic of precipitation in Guizhou. The study showed that: In the past 59 years, Guizhou had a downward trend in precipitation, with a precipitation coefficient of  $-0.102$ . Although the annual precipitation in Karst valleys and non-karst areas was increasing, the trend was not significant. While other areas (karst troughs, peak-cluster depressions, Karst Plateau, and karst basins) showed all downtrend of precipitation, and the karst basin's deceleration rate was  $-37.57$  mm/10 a, which downtrend was the most significant, and it was  $1.37\sim 2.25$  times of the other three regions. The annual precipitation descended at a rate of  $-16.50$  mm/10 a, and annual precipitation tended to decrease from northeast to southwest in the space. The increase of precipitation in autumn and winter contributed the most to annual precipitation, while in spring and summer the precipitation showed a downtrend. Meanwhile the annual precipitation days and the maximum daily precipitation also showed a decreasing trend, the latter trend was most obvious after the 1980s so that the average maximum daily precipitation decreased to about  $1/10$  of that in the 1960s. In addition, the annual precipitation in non-karst areas and Karst Plateau changed abruptly from 1985 to 1986, and in karst basins the annual precipitation had a change in 2001 abruptly. There was no

收稿日期: 2020-03-27

资助项目: 贵州省国内一流学科建设项目“贵州师范大学地理学”(黔教科研发[2017]85号)黔科合计省合[2012]7005号; 贵州省水利厅科技专项(KT201602)

第一作者: 莫跃爽(1995—), 女, 贵州平塘人, 硕士研究生, 主要从事岩溶水资源与GIS方向研究。E-mail: 1689757556@qq.com

通信作者: 焦树林(1969—), 男, 博士, 教授, 主要从事喀斯特水文水资源与流域地表过程和环境变化研究。E-mail: jiaoshulin@gznu.edu.cn

abrupt change in the annual precipitation in Karst troughs and peak-cluster depressions and Karst valleys.

**Keywords:** precipitation; geomorphic features; orderly clustering; M—K test; Guizhou Province

IPCC 第五次报告指出,全球气候变暖已经成为一种趋势<sup>[1]</sup>,全球气候变化会影响区域降水在时空上重新分配<sup>[2-3]</sup>,促使水循环加速<sup>[4]</sup>,导致极端降水事件频发,造成了众多的自然灾害,对水资源安全、人类的生产生活和社会稳定等产生了严重的影响,引起了国内外众多学者广泛关注<sup>[5-8]</sup>。我国南北地域差异大,在全球气候变化的影响下,各区域降水变化也存在着明显不同<sup>[9-10]</sup>,近半个世纪以来,中国年降水量总体呈下降趋势,但长江中下游的广大地区降水量增加<sup>[11-12]</sup>。贵州省属于中国喀斯特高原山区,中部气候温和,两隅寒暖各异,垂直差异较大,立体气候明显,近年来贵州省降水情况也发生了不同程度的变化。目前相关学者对贵州省气候进行了不少研究,余祝媛等<sup>[13]</sup>选取年降水量数据分析近 55 年贵州省降水量时空分布规律认为,贵州省降水量空间上分布极度不均匀,南多北少,但区域内降水量的变化趋势并不明显;金建德等<sup>[14]</sup>认为,太平洋西北部的海水温度对贵州省夏季的降水有一定影响,预告因子具有实际预报意义的最佳时段是上年的 8—11 月,夏季降水存在 2.8 年的明显周期。降水作为贵州省水资源的主要补给来源,极端降水是诱发地质灾害的主要原因之一<sup>[15]</sup>,西南地区汛期暴雨频发;另一方面,枯水期降水量少导致的干旱气候也时常出现,最大日降雨量在贵州省总体呈南高北低分布,一定程度上造成该区域石漠化及生态环境功能脆弱<sup>[16]</sup>。因此,研究贵州省降水变化特征及其空间差异性规律,对适应和减缓气候变化具有十分重要的科学意义。

贵州省位于我国西南部,是中国喀斯特发育最复杂的省区,是世界喀斯特地貌典型发育的亚洲片区中心,喀斯特地貌广布,贵州省 92.5% 的面积为山地和丘陵,耕地面积少,土层浅薄,土壤贫瘠,流水侵蚀作用强烈,造成石漠化现象频繁发生。在地质、地貌、水文、气候等自然因素和人为因素的多重作用下,山体的稳定结构受到破坏,导致贵州山区水土流失严重,时常诱发泥石流、山体滑坡,造成局地洪涝灾害<sup>[17]</sup>。降水已成为该区域水文生态环境的主导因素,对贵州省不同地貌类型的降水变化趋势及空间分布特征进行研究,能进一步认识各区域的降水情况,了解其生态环境和预测气候灾害,因地制宜制定对防灾减灾各项措施。贵州省地形起伏较大,现有的研究结果对贵州省降水变化的分析不够细致,根据地貌类型<sup>[18]</sup>,对不同地貌区气候时空变化特征的研究仍较少。因此,本文利用贵州省 17 个气象站 1960—2018 年月值观

测数据对贵州省近 59 年来不同地貌区降水的演变规律进行研究<sup>[19]</sup>,以此深入了解贵州省不同地貌区的降水变化特征和规律性。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区为地处副热带的东亚大陆东南部的贵州省(103°36′—109°35′E, 24°37′—29°13′N),东西跨度 5°57′,南北跨度 4°36′,是十分著名的季风区,大部分地区气候暖和,雨量充足,时空分布不均,年平均气温约 15℃,年水量 1 000~1 300 mm,光照适中,雨热同期,雨季显著,多集中于夏季,阴天多,日照少,湿度常年在 70% 以上,无霜期 270 天左右,属亚热带湿润季风气候(图 1)。因为贵州省位于青藏高原东侧,地处云贵高原的东斜坡上,地势西高东低,地形逶迤至中部之后复向南北倾斜,构成中部隆起,加以境内山脉交织,河道纵横,地形地势极其复杂,从而造成贵州省天气具有复杂性和多样性。贵州东南距海洋 400 余千米,暖湿气流北上带来大量水汽,是构成省内雨量丰沛的重要因素,随着季节的不同,造成了区域间的差异。

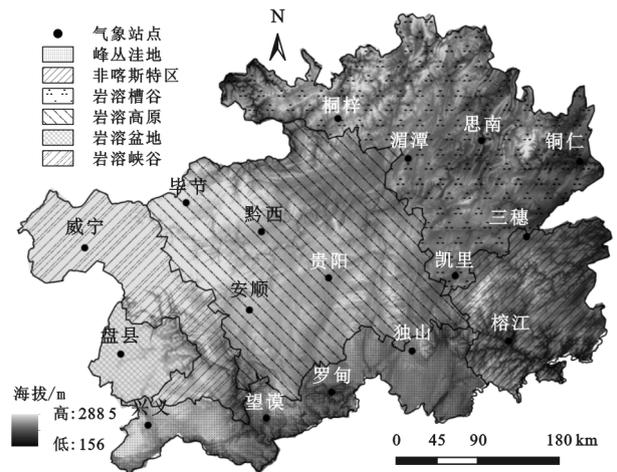


图 1 研究区地貌类型

### 1.2 研究数据与方法

本文所采用的数据来源于中国气象数据网(<http://data.cma.cn>),选取 1960—2018 年贵州省 17 个县、市基本气象站的气象观测数据(表 1),其中,12 月至翌年 2 月为冬季,3—5 月为春季,6—8 月为夏季,9—11 月为秋季<sup>[20]</sup>,将降水量 $\geq 0.1$  mm 日数的总和定义为年降水日。采用逐月平均降水、日降水量 $\geq 0.1$  mm 日数和最大日降水量资料,利用一元线性回归法<sup>[21]</sup>、滑动平均进行年平均降水量、四季平均降水量、最大日降水量、年降水日的趋势估算,并进行皮尔逊(Pearson)相关性分析。贵州省地貌可分为:岩溶槽谷(北部及东北部)、非喀斯特区(东部)、岩溶高原(中部)、峰丛洼地(南

部及西南部)、岩溶峡谷(中西部及西北部)和岩溶盆地(西部)<sup>[18]</sup>。年平均降水趋势的空间变化采用 ArcGIS 的反距离权重法来进行插值分析,若附近站点数据同时缺失,则采用该站多年平均值进行插补<sup>[22]</sup>。采用有序聚类、M—K 非参数检验法<sup>[20]</sup>进行降水突变分析,通过对采用不同方法计算得到的结果进行对比分析,验证方法的有效性及其结果的合理性<sup>[23]</sup>。

表 1 贵州省气象站概况

地貌类型	站点	纬度(N)	经度(E)	高程/m	年均降水量/mm	设站时间/a
岩溶槽谷	桐梓	28.13	106.83	972.0	1008.11	1937
	湄潭	27.77	107.47	791.8	1115.50	1940
	思南	27.03	106.02	416.3	1123.34	1948
	铜仁	27.72	109.18	279.7	1273.41	1944
	凯里	26.60	107.98	720.3	1213.40	1958
	毕节	27.30	105.28	1510.6	891.27	1937
岩溶高原	黔西	27.03	106.02	1251.8	961.15	1956
	贵阳	26.58	106.72	1074.3	1117.49	1920
	安顺	26.25	105.92	1392.9	1314.39	1944
	兴义	25.08	104.90	1299.6	1314.28	1957
峰丛洼地	望谟	25.18	106.08	566.8	1227.23	1959
	罗甸	25.43	106.77	440.3	1149.83	1944
岩溶盆地	独山	25.83	107.55	1013.3	1302.92	1961
岩溶峡谷	盘县	25.78	104.62	1512.2	1358.85	1939
非喀斯特区	威宁	26.87	104.28	2237.5	953.48	1943
	榕江	25.97	108.53	285.7	1203.65	1953
	三穗	26.97	108.67	610.5	1110.87	1958

## 2 结果与分析

### 2.1 各地貌类型年均降水量的时间变化

由表 2 可知,贵州省近 59 年来平均降水量在岩溶峡谷和非喀斯特区呈上升趋势,上升速率分别为 15.83, 4.91 mm/10 年,前者上升速率最高,非喀斯特区在 20 世纪 70 年代降水量比较稳定,2005 年以后降水变化较大,总体呈波动上升。而岩溶高原、岩溶槽谷、峰丛洼地、岩溶盆地的年降水量整体呈波动下降趋势,下降速率分别为 -15.85, -11.11, -11.56, -37.57 mm/10 年,同时,岩溶盆地降水下降速率最显著,其下降速率是其他 3 个地区的 1.37~2.25 倍。岩溶峡谷 59 年来年均降水量极低值和极高值分别出现在 1989 年和 2007 年,雨量值分别为 554.80, 1 313.90 mm;而其他 5 个地貌区在 20 世纪 60, 70 年代出现年均降水极高值,2009 年以后开始出现极低值,2011 年全省各地区的降水普遍偏低,最低降水量仅为 660.20 mm。6 个地貌区近 59 年来,年均降水量变化速率为 -10.97 mm/10 年,呈波动下降趋势,尤其是 20 世纪 80 年代中期以来,全省雨量下降趋势最为显著。全省秋、冬季的降水量值呈波动上升趋势,春、夏季的降水量值呈下降趋势,且春季的降水量值下降幅度最大。

根据 SPSS 中的聚类分析方法,将年均降水量、

降水日数、最大日降水量、降水季节分布指数进行区域分类,结果显示贵州省 17 个气象站的降水情况可分为 6 类:第 1 类包括湄潭、思南、贵阳、三穗和罗甸,主要分布在南部、中偏北地区;第 2 类包括凯里、榕江、独山、铜仁,位于东南部和北部地区;第 3 类和第 4 类均有 3 个站点,分别为安顺、兴义、盘县和黔西、桐梓、毕节,主要分布在西南部和西北部;威宁为第 5 类,望谟为第 6 类。第 5 类的分类情况与岩溶峡谷一致,但其他地貌类型分类情况与聚类结果存在一定差异,17 个站点中有 7 个站点的聚类结果与地貌类型分布一致。总体来看,相似度达到 41% 左右,可以推测,区域降水在一定程度上会影响其地貌类型的划分。

表 2 1960—2018 年不同地貌区年均及四季降水变化趋势

单位: mm/10 a

地貌分类	春季	夏季	秋季	冬季	年均值
岩溶槽谷	-10.03	5.63	-0.34	1.86	-11.11
峰丛洼地	-21.16	-8.93	10.76	4.94	-11.56
岩溶高原	-7.30	-0.28	4.05	0.10	-15.85
岩溶峡谷	31.00	-0.54	-1.96	-1.12	15.83
岩溶盆地	-1.73	-12.79	-24.08	1.03	-37.57
非喀斯特区	-16.34	4.78	12.00	5.82	4.91

### 2.2 气象站点年均降水量变化趋势分析

对 1960—2018 年贵州省 17 个气象站的年均降水量进行趋势分析,由图 2 可知,59 年来站点年均降水量趋势系数值为 -0.279~0.136,其中 76% 的站点的趋势系数  $r$  为负值,趋势系数平均值为 -0.102,表明全省总体降水呈下降趋势。所选的 17 站点中,除威宁、榕江、铜仁和罗甸站点的趋势系数是正值外,其余 13 个站点(兴义、盘县、安顺、桐梓、独山、湄潭、黔西、毕节、贵阳、凯里、三穗、思南、望谟)的趋势系数均为负值,其中前 8 个站点的趋势系数值低于全省  $r$  值平均水平,且桐梓的降水量下降趋势最为显著,而贵阳、凯里、望谟 3 个县市的降水量下降趋势较为平稳。从地貌类型上来看,峰丛洼地、岩溶槽谷、岩溶盆地和岩溶高原的趋势系数均为负值, $r$  值分别为 -0.123, -0.102, -0.270, -0.144,表明各区域内降水量随着时间的变化呈现出明显的下降趋势。

### 2.3 平均降水的空间变化特征

图 3 为 1960—2018 年贵州省年平均降水变化趋势的空间插值图。从图 3 可以看出,降水倾向率的高值中心在西部的威宁附近出现,为 19.79 mm/10 年,表明威宁县的降水量呈上升趋势;17 个站点的降水倾向率除威宁站外,其余站点均为负值,全年降水倾向率为 -16.50 mm/10 年,说明研究区整个区域降水存在普遍的下降趋势,盘县、安顺这 2 个站点成为低值变化率的中心,其中安顺的降水倾向率最低,其值

为  $-48.24 \text{ mm}/10 \text{ 年}$ ,即安顺的降水量下降趋势最显著。总体来看,从东北至西南,降水倾向率在减少,降水变化趋势线在西南部比较密集,而在东部稀疏,即降水变化率在西南部岩溶盆地和岩溶峡谷相差较大,在东部非喀斯特区和东北部岩溶槽谷区相差不大。

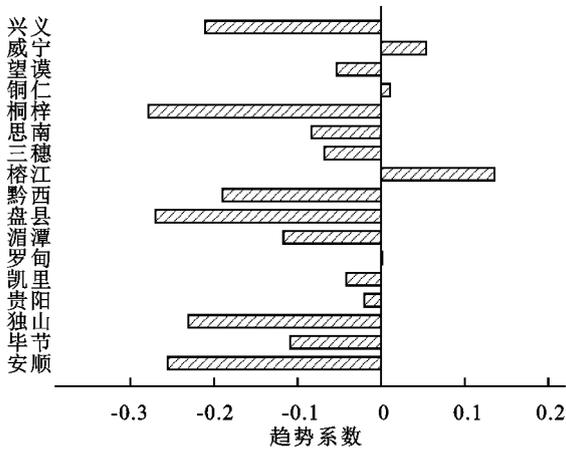


图 2 贵州省 17 个站点平均降水趋势系数

### 2.4 平均日降水量变化分析

从图 4 可以看出,1960—2018 年贵州省年降水日(年平均日降水量  $\geq 0.1 \text{ mm}$  日数)变化比较明显,其年均值为约 17 天,该值基本大于各年均日数,主要

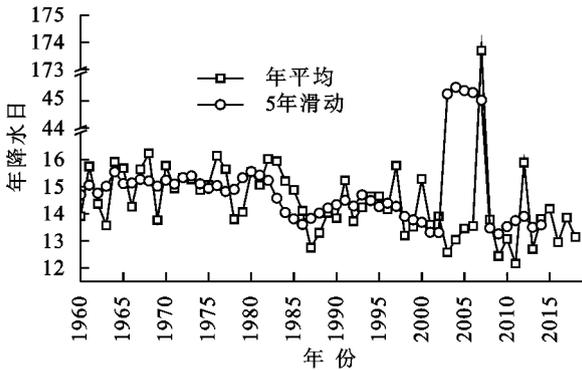


图 4 贵州省 1960—2018 年平均日降水量

通过对 1960—2018 年贵州省平均最大日降水量的分析发现,20 世纪 70 年代后期,最大日降水量显著降低,且在 20 世纪 80 年代出现明显的转折点,1980 年以前,最大日降水量始终维持在一个较高的水平,平均值达到  $339.20 \text{ mm}$ ,1980 年后,年均最大日降水量减至  $31.86 \text{ mm}$ ,约比前期缩减 10 倍,且出现短暂的回升现象,上升速率为  $1.4 \text{ mm}/10 \text{ 年}$ ,但整体波动不大。总体来看,贵州省近 59 年来,年平均最大日降水量为  $136.04 \text{ mm}$ ,总体呈下降趋势,且以  $-69.78/10 \text{ 年}$  的速率下降。

### 2.5 降水相关性分析

1960—2018 年,贵州省降水量与其他气象因子的相关性不明显,其中 39% 呈负相关,61% 呈正相关,且均未达到  $\alpha=0.001$  的显著性水平,仅有 17% 达到  $\alpha=0.05$  显著性水平,6% 达到  $\alpha=0.01$  显著性水

是由于 2007 年降水日数高达 174 天,在很大程度上拉高了年均值,该年份发生持续性降雨天气,造成严重的洪涝灾害,如 2007 年 7 月 26 日平塘县特大洪灾<sup>[24]</sup>,同期省内大多数县市降雨量大幅度增加。除 2007 年的数据,全省年平均日降水日数均值为 14 日,整体情况呈波动下降趋势,特别在 20 世纪 80 年代以后,年降水日数下降最为显著,此结果与相关研究<sup>[25-27]</sup> 结果一致;20 世纪 60,70 年代数值存在波动,但总体较为稳定,2008 年以后,年降水日数开始增加,呈上升趋势。

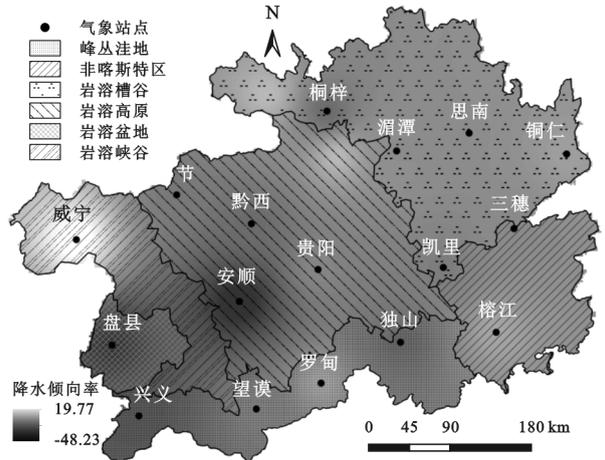
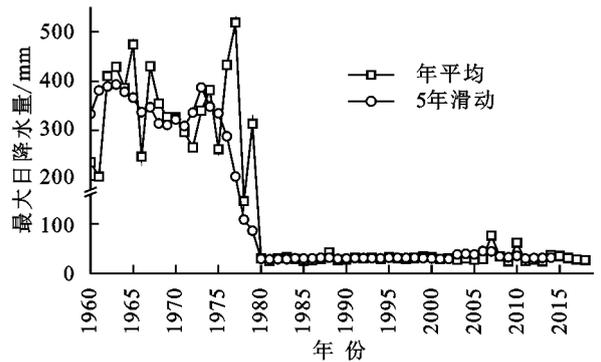


图 3 1960—2018 年贵州省年均降水倾向率



平。从表 3 可以看出,降水量与湿度、站点气压呈正相关关系,在 20 世纪 60,90 年代和 2010—2018 年尤为显著;1960—1990 年,降水量随着气温、日照时间、风速的增大而减少,但趋势不明显;1980 年以后,降水量与水汽压逐渐呈现出正相关关系,且相关性越来越明显,并在 2010 年以后达到  $\alpha=0.01$  的显著性水平。总体来看,2000 年以后,大多数气象因子与降水量呈正相关趋势,此结论与艳艳<sup>[28]</sup> 的强降水对相关气象要素的依赖性研究结果大致相同,暖空气相比冷空气能承载更多的水汽,全球变暖一定程度上会促进极端强降水的增加,极端降水强度随温度的加强过程更依赖于水汽的增加,因为温度增加导致的大气中潜热释放的增加能进一步加强并促进云的发展和降水的产生,降水强度越大,降水量相应变大,在此过程中,风速和湿度亦随之增加。

表 3 不同时间段气象因子相关性检验

气象因子	1960—1969 年	1970—1979 年	1980—1989 年	1990—1999 年	2000—2009 年	2010—2018 年
降水量—气温	-0.589	-0.443	-0.025	-0.373	-0.163	0.395
降水量—湿度	0.684*	0.491	0.580	0.748*	0.217	0.683*
降水量—日照时间	-0.289	-0.590	-0.402	-0.755*	0.016	0.125
降水量—站点气压	0.047	0.411	0.234	0.277	0.161	-0.305
降水量—水汽压	0.649*	-0.108	0.736*	0.193	0.051	0.853**
降水量—风速	-0.109	-0.404	-0.317	0.294	0.821**	0.787*

注: \*\* 表示  $\alpha=0.01$  显著性水平; \* 表示  $\alpha=0.05$  显著性水平。

## 2.6 降水突变性分析

2.6.1 有序聚类法 在气候变化的研究中,往往需要研究降水的突变现象,高强度的降水会导致大范围的洪涝灾害,目前关于降水突变性的研究,众多学者<sup>[29-32]</sup>开展了大量的工作,并取得了丰硕的成果。为提高结果的可靠性,本文对降水的突变性分析采用有序聚类法和 Mann—Kendall 方法同时进行检验。图 5 为 1960—2018 年贵州省不同地貌分区年均降水序列有序聚类法统计量曲线图,图 5 中  $S_n(r)$  曲线为 2 类降水序列的离差平方和。在有序聚类法中,可根据离差平方和最小原则来推求突变点<sup>[19]</sup>。由图 5 可知,大约在 2006 年,岩溶峡谷的  $S_n(r)$  曲线出现了 1 个最低值  $112.7 \times 10^5$ ,则说明该地区的降水量可能在 2006 年发生了突变。岩溶盆地对应的  $S_n(r)$  曲线最小值出现的时间比岩溶峡谷早一些,推测可能在 2001 年发生变异。非喀斯特区的  $S_n(r)$  曲线出现 3 个低峰,对应的年份分别为 1978 年、1986 年、2013 年,则这 3 个年份可能为变异点,但变异程度不明显。岩溶高原对应的  $S_n(r)$  曲线在 1978 年、1986 年出现最小值,但峰值不明显,则不能确定这 2 年是否出现变异点;岩溶槽谷、峰丛洼地的  $S_n(r)$  曲线基本上没有出现较明显的低峰,总体较为平缓,说明 59 年来这 2 个地貌区的降水量没有发生显著突变。

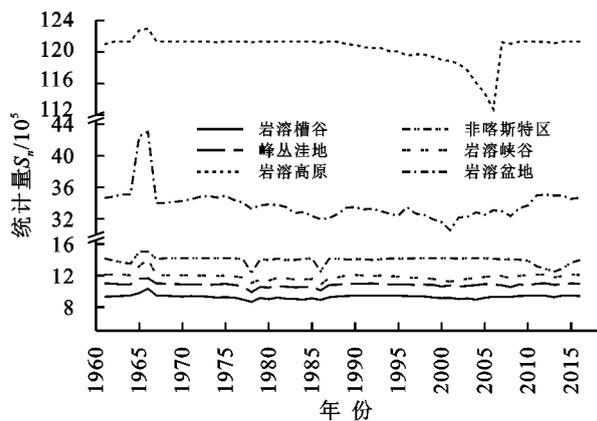
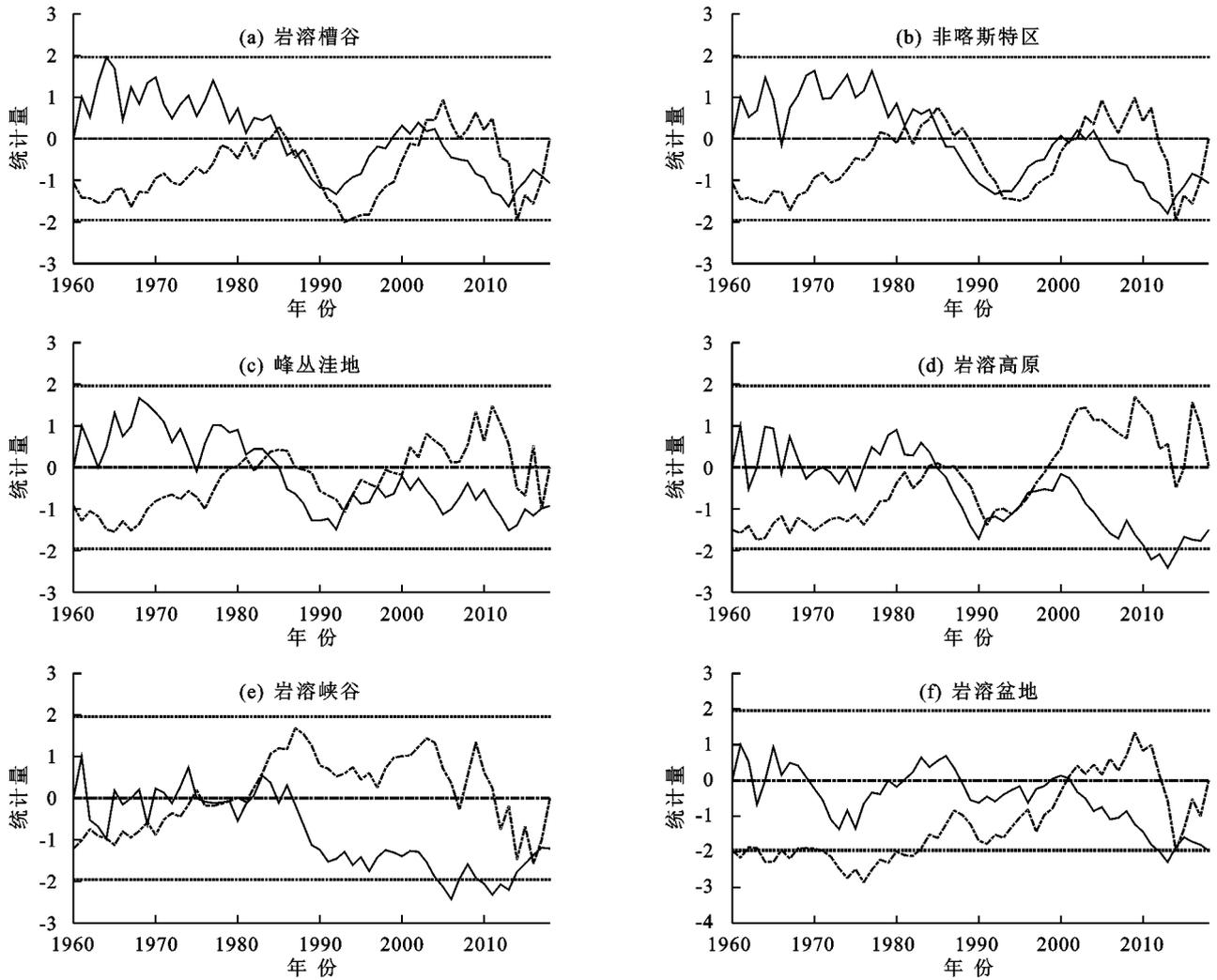


图 5 有序聚类统计量曲线

2.6.2 降水量 M—K 突变性分析 贵州省 1960—2018 年 6 个地貌区降水 M—K 突变检验结果见图 6。图 6 中 UF 为正序列曲线,UB 为反序列曲线。从岩溶槽谷(图 6a)、非喀斯特区(图 6b)降水的 M—K 突变检验来看,1960—1984 年  $UF > 0$ ,说明两者的降

雨量在此期间表现出上升趋势;从 1984 年以后,大部分年份  $UF < 0$ ,即降水量在这一阶段呈下降趋势,图 6a 中 UF 与 UB 曲线在 20 世纪 80 年代有 3 个交点,说明这一阶段岩溶槽谷的降水量存在较大的波动。在图 6 中,由于 UF 与 UB 曲线存在多个交点,故岩溶槽谷的年均降水量未发生明显突变,结合有序聚类结果,非喀斯特区在 1985—1986 年出现了由湿到干的突变。峰丛洼地(图 6c) UF 曲线显示,贵州省 1960—1985 年  $UF > 0$ ,降水量表现出增加趋势,60 年代后期到 70 年代中期,增加趋势有小幅度的下降;1985 年后, $UF < 0$ ,呈下降趋势。UF 与 UB 曲线有多个交点,因此,峰丛洼地降水突变也不明显。图 6a~图 6c 中,UF 曲线处于置信区间内,均未表现出明显的下降或上升趋势。岩溶高原 M—K 突变检验(图 6d)表明,1985 年前绝大多数年份  $UF > 0$ ,降水量呈现递增趋势,1985 年后  $UF < 0$ ,降水量下降,并在 2010 年左右超出  $U_{0.05} = -1.96$  置信水平线,即降水量表现出显著下降的趋势,岩溶高原 2 条曲线也有多个交点,结合有序聚类分析,推测降水量在 1985—1986 年发生突变。由岩溶峡谷突变检验(图 6e)可知,1960—1987 年, $UF > 0$  和  $UF < 0$  的年份相对持平,说明这段时期岩溶峡谷降水量总体变化不大,1987 后  $UF < 0$ ,表明降水呈递减趋势,且在 2004 年左右超出置信水平,即岩溶峡谷降水明显减少。在 1985 年以前 UF 与 UB 曲线有 7 个相交点,在 2015 年后有 2 个交点,说明降水量在此期间很不稳定,结合有序聚类结果,这些交点都不是突变点。由 UF 曲线(图 6f)可见,60 年代年份  $UF > 0$ ,70 年代到 80 年代前期  $UF < 0$ ,说明岩溶盆地降水量在这段时间内呈现递减趋势,1982—1988 年  $UF > 0$ ,则这几年里降水量逐渐增多,1988 年以后降水量又开始下降,并在 2011 年左右低于  $U_{0.05} = -1.96$  置信水平,呈现出显著的递减趋势。岩溶盆地 UF、UB 在 2001 年有 1 个交点,降水量在该年份完成了由湿变干的突变。

综上所述,近 59 年来,岩溶槽谷、峰丛洼地、岩溶峡谷的年均降水量未发生明显突变,降水量主要呈下降趋势,其他地貌区可能完成了由湿变干的突变。非喀斯特区和岩溶高原降水突变时间在 1985—1986 年左右,岩溶盆地在 2001 年发生突变。



注:图中实线为 UF,虚线为 UB,点线为 $\pm 1.96$ 置信区间。

图 6 1960—2018 年贵州省降水的 M—K 检验

### 3 结论与讨论

(1) 贵州省 1960—2018 年的年均降水量在岩溶峡谷和非喀斯特区呈上升趋势,岩溶峡谷的上升速率最高,非喀斯特区次之;其他地区(溶槽谷、峰丛洼地、岩溶高原和岩溶盆地)总体均呈波动下降趋势。其中,降水下降速率最明显的是岩溶盆地,最不明显的是岩溶槽谷,秋季、冬季的降水量波动上升,而春季、夏季的降水量呈下降趋势,且春季的下降幅度最大。

(2) 贵州省 59 年来降水平均趋势系数为 $-0.102$ ,其中 76% 站点的趋势系数  $r$  为负值,表明全省整体降水呈下降的趋势。其中兴义、盘县等 8 个站点低于平均水平。桐梓降水下降趋势最为明显,而贵阳、凯里、望谟 3 个县市降水下降不明显。全年降水倾向率为 $-16.50$  mm/10 年,降水倾向率在空间上呈现出由东北向西南逐渐减小的趋势。

(3) 贵州省 59 年来最大日降水量和年降水日数均呈下降趋势,在 20 世纪 80 年代后,年降水日数下降趋势最为显著,20 世纪 60—70 年代数值存在波动,但总体较为平稳,2008 年以后,年降水日数呈上升趋势。1960—2018 年年均最大日降水量为 136.04

mm,在 20 世纪 70 年代后期,下降幅度最大。

(4) 非喀斯特区和岩溶高原年均降水量在 1985—1986 年左右发生突变,岩溶槽谷、峰丛洼地、岩溶峡谷的年均降水量没有存在突变现象,岩溶盆地的年均降水量可能在 2001 年发生突变。降水量与湿度、站点气压呈正相关关系,与气温、日照时间、风速等呈负相关。

总体而言,1960—2018 年全省降水量整体下降,区域、季节有差异,贵州省气候趋于干暖化,这种趋势在中高海拔地区的岩溶槽谷、峰丛洼地、岩溶高原和岩溶盆地表现尤为突出,这对贵州省的旅游生态发展产生较大影响。首先,冬季降雨量呈上升趋势,尤其在高海拔地区,降雨与降雪间断发生,常形成凌冻天气,给国民经济各个部门的生产和人民的生活带来危害;其次,由于久旱少雨,许多岩溶发育地区地表溪河断流,黔北地区石漠化情况严重加剧;最后,春、夏季降水量下降较为显著,严重地影响春耕播种和小季作物的生长发育,加之省内耕地面积少,春旱和伏旱造成了农业生产大幅度的歉收减产。因此,当地要注意保护脆弱的喀斯特环境,同时加强春、夏季的干旱灾

害预报及秋、冬季的冰雹—凌冻—霜冻天气的防治工作,特别在贵州省的地貌过渡区域。

本研究仅讨论 1960—2018 年贵州省不同地貌类型的降水变化特征和突变情况,以后可对极端降水(降水强度、极端降水量、连续湿润日数)情况进行讨论,还可以结合其他气候指标如气温(平均气温、最高气温、最低气温)、风向、蒸发量、能见度等进行具体研究,再运用其他的突变检验方法,如小波分析、累积距平法(CA)、Pettit 法等,综合分析贵州省的气候变化规律。在空间尺度上,可尝试其他的空间插值方法如克里金插值、样条函数插值等,再选取贵州省邻省周边的站点数据进行插值,进一步提高空间插值精度。另外,由于已有资料有限,站点数据实时更新慢,本文选取气象站点较少,且气候数据存在一定的缺失,故样本量不齐全所带来的分析结果的代表性问题有待后续资料的补充丰富做进一步的考证和研究。同时,对于各个季节降水日变化、不同地貌区空间分布特征成因的研究也不够充分,相关研究工作有待进一步探讨。

#### 参考文献:

- [1] IPCC. Climate Change 2013: The physical science basis contribution of working group one to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change[C]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013:1-1552.
- [2] Fischer T, Menz C, Su B, et al. Simulated and projected climate extremes in the Zhujiang River Basin, South China, using the regional climate model COSMO-CLM[J]. International Journal of Climatology, 2013, 33(14):2988-3001.
- [3] 徐利岗,周宏飞,梁川,等.中国北方荒漠区降水多时间尺度变异性研究[J].水利学报, 2009, 40(8):1002-1011.
- [4] Ji F, Wu Z H, Huang J P, et al. Evolution of land surface air temperature trend[J]. Nature Climate Change, 2014, 4(6):462-466.
- [5] Klein Tank A M G, Konnen G P. Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946—1999[J]. Journal of Climate, 2003, 16(22):3665-3680.
- [6] Liu X M, Zhang M J, Wang S J, et al. Assessment of diurnal variation of summer precipitation over the Qilian Mountains based on an hourly merged dataset from 2008 to 2014[J]. Journal of Geographical Sciences, 2017, 27:326-336.
- [7] 赖成光,陈晓宏,王兆礼,等.珠江流域 1960—2012 年降雨侵蚀力时空变化特征[J].农业工程学报, 2015, 31(8):159-167.
- [8] 杨振华,周秋文,郭跃,等.基于 SPA—MC 模型的岩溶地区水资源安全动态评价:以贵阳市为例[J].中国环境科学, 2017, 37(4):1589-1600.
- [9] 董旭光,顾伟宗,孟祥新,等.山东省近 50 年来降水事件变化特征[J].地理学报, 2014, 69(5):661-671.
- [10] 李加顺,刘丽.1951—2015 年昆明地区降水变化规律分析[J].人民长江, 2017, 48(增刊 1):120-122.
- [11] 叶柏生,李翀,杨大庆,等.我国过去 50 a 来降水变化趋势及其对水资源的影响(I):年系列[J].冰川冻土, 2004, 26(5):587-594.
- [12] 彭睿文,罗娅,余军林,等.中国西南地区 2009—2015 年植被覆盖度变化及其与降雨的关系[J].贵州师范大学学报(自然科学版), 2017, 35(5):15-23.
- [13] 余祝媛,贺中华,梁虹,等.贵州省近 55 年降水量时空变化分析[J].江苏农业科学, 2019, 47(6):208-215.
- [14] 金建德,严小冬,雷云,等.西北太平洋海温变化对贵州夏季降水的影响[J].热带气象学报, 2006, 22(2):192-197.
- [15] 武文博,游庆龙,王岱.基于均一化降水资料的中国极端降水特征分析[J].自然资源学报, 2016, 31(6):1015-1026.
- [16] 张志才,陈喜,王文,等.贵州降雨变化趋势与极值特征分析[J].地球与环境, 2007, 35(4):351-356.
- [17] 张波,谷晓平,古书鸿.贵州省最大日降雨量时空分布及重现期估算[J].水土保持研究, 2017, 24(1):167-172.
- [18] Tong X, Wang K, Yue Y, et al. Quantifying the effectiveness of ecological restoration projects on long-term vegetation dynamics in the karst regions of Southwest China[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geo Information, 2017, 54:105-113.
- [19] 莫跃爽,周秋文.贵州省 1960—2014 年不同地貌类型的气温变化特征[J].水土保持研究, 2019, 26(4):166-170, 176.
- [20] 陆文秀,刘丙军,陈俊凡,等.近 50 a 来珠江流域降水变化趋势分析[J].自然资源学报, 2014, 29(1):80-90.
- [21] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:北京气象出版社, 1999.
- [22] 刘稳,刘国东,夏菁.近 57 年云南降水量时空格局及周期特性研究[J].人民长江, 2018, 49(增刊 2):80-85, 123.
- [23] 李斌,解建仓,胡彦华,等.西安市近 60 年降水量和气温变化趋势及突变分析[J].南水北调与水利科技, 2016, 14(2):55-61.
- [24] 谢亚玲,袁德福,岑剑,等.平塘县 48 a 降水气候特征分析[J].贵州气象, 2012, 36(6):43-44.
- [25] 徐建新,陈学凯,黄鑫,等.贵州省近 50 年降水量时空分布及变化特征[J].水电能源科学, 2015, 33(2):10-14.
- [26] 吴绍洪,潘韬,曹杰,等.西南纵向岭谷地形对季风的“通道—阻隔”作用[J].地理研究, 2012, 31(1):1-13.
- [27] 闫星光,吴琳娜,宋具兰,等.1951—2013 年贵州省降水时空分布研究[J].科技通报, 2019, 35(2):20-25.
- [28] 艳艳.强降水对相关气象要素的依赖性研究[D].北京:中国气象科学研究院, 2019.
- [29] 曹永强,刘佳佳,王学风,等.黄淮海流域旱涝周期、突变点和趋势分析研究[J].干旱区地理, 2016, 39(2):275-284.
- [30] 刘江涛,徐宗学,赵焕,等.1973—2016 年雅鲁藏布江流域极端降水事件时空变化特征[J].山地学报, 2018, 36(5):750-764.
- [31] 王乐,刘德地,李天元,等.基于多变量 M—K 检验的北江流域降水趋势分析[J].水文, 2015, 35(4):85-90.
- [32] 梅静,王建,何亮,等.川西甘孜州 1961—2015 年气温和降水时空变化特征研究[J].山地学报, 2019, 37(2):161-172.