

近 60 年来百色地区极端降水事件的时空节律变化特征

卢芹芹¹, 秦年秀^{1,2}, 汪军能^{1,2}, 黄嘉丽¹, 韦玉芳³, 张华玉¹

(1. 南宁师范大学 地理科学与规划学院, 南宁 530001;

2. 北部湾环境演变与资源利用省部共建教育部重点实验室, 南宁 530001; 3. 广西宾阳中学, 广西 宾阳 530400)

摘 要:在极端降水事件不断增多和增强的背景下,研究小尺度区域的极端降水时空格局变化,有利于区域整体性评估异常降水带来的风险。基于百色地区 12 个气象站点 57 年逐日降水资料,通过选取 9 个极端降水指数,使用 Mann-Kendall 趋势检验和 ArcGIS 反距离插值,从持续性指数、绝对指数、阈值指数和强度指数等方面分析了百色地区极端降水的时空节律变化特征。结果表明:1961—2017 年百色地区极端降水年尺度整体呈微弱增加趋势, R_{50} , $RX_{1\text{ day}}$, R_{95p} , SDII 和 CDD 5 个指数年尺度均表现出增加趋势,其他指数微弱下降。说明百色地区弱降水减少,而强降水在增多,干旱日数也在增加,使得降水强烈和集中,更趋于极端化。极端降水年尺度空间差异明显,而且所有指数空间分析结果均以凌云县为极大值中心,大体呈现出东南地区以上升趋势为主,西北地区以下降趋势为主的格局,可能与该地区特殊地形因素有关。降水高频区主要位于有地形抬升、大气辐合上升的山脉周围。研究结果可为百色地区水资源规划和灾害风险管理提供借鉴和支撑,以期降低极端灾害风险。

关键词:百色地区; 极端降水事件; 时空节律变化特征; 降水指标

中图分类号:P426.616

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2021)03-0216-07

Characteristics of Temporal and Spatial Variation of Extreme Precipitation in Baise Area in Recent 60 Years

LU Qinqin¹, QIN Nianxiu^{1,2}, WANG Junneng^{1,2}, HUANG Jiali¹, WEI Yufang³, ZHANG Huayu¹

(1. College of Geographic Sciences and Planning, Nanning Normal University,

Nanning 530001, China; 2. Key Laboratory of Beibu Gulf Environment Change and Resources Use,

Ministry of Education, Nanning 530001, China; 3. Binyang Middle School, Binyang, Guangxi 530400, China)

Abstract: In the context of increasing and intensifying extreme precipitation events, the study of the changes in the spatial and temporal patterns of extreme precipitation in small-scale regions is conducive to the overall regional assessment of the risks brought by abnormal precipitation. Based on daily precipitation data of from 12 general meteorological stations in Baise area in 57 years, we selected 9 extreme precipitation indexes, and used Mann-Kendall trend test and ArcGIS inverse distance interpolation to analyze the characteristics of spatiotemporal changes of extreme precipitation in Baise area from the aspects of sustainability index, absolute index, threshold index and intensity index. The results show that: from 1961 to 2017, the annual scale of extreme precipitation in Baise area as a whole showed a slight increase trend, the R_{50} , $RX_{1\text{ day}}$, R_{95p} , SDII and CDD at annual scale all showed the increasing trend, other indexes fell slightly. Which indicated that the weak precipitation was decreasing and the heavy precipitation was increasing in Baise area, the number of dry days was also increasing, the precipitation tended to be intense and concentrated, precipitation tended to be extreme; the spatial difference of extreme precipitation at annual scale was obvious, and all the exponential spatial analysis results took Lingyun County as the maximum center, showing a pattern that the southeast region was dominated by an upward trend and the northwest region by a downward trend, which might be related to the special topographic factors in this region; the high frequency area of precipitation was mainly located around mountain ranges with topographic uplift and atmospheric convergence. These results can provide reference and support for water resources planning and disaster risk management in Baise area in order

收稿日期:2020-06-20

修回日期:2020-07-20

资助项目:国家自然科学基金“变化环境下西南地区极端干旱天气的形成及应对”(41461007)

第一作者:卢芹芹(1996—),女,广西南宁市隆安县人,硕士,研究生,研究方向:极端灾害风险评估。E-mail:754650784@qq.com

通信作者:秦年秀(1976—),女,广西桂林市灵川县人,博士,副教授,研究方向:资源环境与灾害风险管理。E-mail:qinnianxiu@qq.com

to reduce the impact of extreme disaster risk.

Keywords: Baise area; extreme precipitation event; characteristics of time-space rhythm changes; precipitation index

全球变暖促进地表蒸发能力加强^[1],大气中水分增多^[2],加重全球、区域间水循环^[3],使得降水更加不均匀^[4],导致极端降水事件呈增多和增强趋势。极端降水的突发性和时空分布的复杂性使得洪涝、干旱、崩塌、滑坡、泥石流等灾害事件频发,威胁人类生命生产安全,对外部环境和国民经济造成巨大损失,成为各国学者关注和研究的重点。纵观世界,极端降水呈增加的趋势^[5]。干旱地区和湿润地区的极端降水也在加剧,且干旱区最为强烈^[6]。南美洲东部^[7]、欧洲^[8-9]和澳大利亚等^[10]地区极端降水也在强烈增加。已有研究结果显示,中国极端降水具有复杂的时空分布特征,中国夏季旱涝频发^[11],南方地区更为洪涝重灾区^[12],且持续时间较长^[13]。不仅如此,中国的季节降水量和降水日数也在波动中上升,其中冬季最明显^[14]。中国东北地区、内蒙古、黄淮海平原、北京地区 and 三江平原地区极端降水呈下降趋势^[15-19],而河西走廊、渭河流域、长江流域、松辽流域、吉林省和广西等地有上升趋势^[20-25]。还有学者针对近70 a来中国极端降水事件进行研究,发现极端降水在中国大部分地区均有发生,且次数显著增加^[26-27]。

我国幅员辽阔,不同区域的气候条件、地形地貌等因素也大不相同,极端降水事件的发生深受区域条件影响。因此,结合区域实际环境开展更为详细的极端降水评估工作极有必要。百色地区是我国西南典型的喀斯特生态区,是广西唯一的气候适应型试点城市,水热条件较好,区内产出的芒果质量极佳,被誉为国家地理标志产品,而农作物的灌溉用水主要来源于大气降水^[28]。但百色处于云贵高原向东南丘陵过渡的生态脆弱区,受下垫面性质以及极端降水的影响,该区旱涝频发,增大农作物灌溉用水的不确定性,使得农作物受灾严重,造成较大的经济损失。从前人研究来看,百色地区年降水日数减少,但冬季强降水增加^[29];暴雨受地形影响较大且时空分布不均,是百色产生洪水的主要原因^[30];百色酸雨的产生也与其特殊的地理位置和地形紧密联系^[31]。综上所述,对百色地区极端降水变化进行研究是极有必要的。

本文选取9个极端降水指标,采用Mann-Kendall趋势检验和ArcGIS加权插值法从年尺度分析近60 a百色地区极端降水的时空节律变化特征。研究结果拟为百色地区提供农业气候灾害预估新方式,从整体上对农业进行管理,预防气象灾害,减少灾害

带来的损失,也为百色从红色革命城市向气候适宜型城市转型提供一定的前期基础。

1 研究区域、资料和方法

1.1 研究区域

百色(105°—107°E和23°—25°N)位于中国广西壮族自治区的西部,处在云贵高原向广西盆地的过渡带,属亚热带季风气候,年均温23℃左右,年平均降水量约1 032 mm,降水主要集中在春夏季,光照充足,雨热同期,冬短夏长,适合一年三熟的水稻、玉米等农作物和喜温喜湿的芒果等经济作物的生长。农业作为百色地区的第一产业,其农作物灌溉用水来源成为该地区主要的社会经济问题。

百色地区具有特殊的地理环境和历史意义,是百色起义根据地,独特的喀斯特地貌使得百色地区极易受到极端降水事件影响,其他自然灾害种类也较多、危害大,生态环境脆弱。随着社会的发展,百色逐渐从红色革命城市转型为气候适宜型城市,以适应气候变化和城市减排为目标,把百色打造成为绿色、低碳和更适宜人类居住的美丽新城市。因此,研究百色地区极端降水时空节律变化具有明显的现实意义。

1.2 研究数据序列

本文数据来源于百色地区12个气象站点,为1961—2017年逐日降水实测资料。原始数据资料的时间序列较完整,连续性也较好,每年的缺测天数均不超过10 d。为确保数据的可信度,严保数据质量,本文在数据处理过程中,将逐日降水量实测值严重偏离百色地区气象实际情况的值定义为离界值,并从横向与纵向进行对比,即对比相邻站点该天数或同一站点前后两天数值,合理即保留,不合理则做缺测处理。在本文选取的12个气象站点中没有出现离界值,但是西林站数据时间序列为1965—2017年,乐业站数据为1964—2017年,其他站点均为1961—2017年。站点分布状况见图1。从图1也可以看出,站点空间分布相对均匀。

1.3 研究方法

1.3.1 极端降水指数 为能够定量描述极端气候事件,气候变化检测指数专家组(ETCCDMI)提出27个极端气候指数,在国际社会上得到广泛推广和使用^[32],其中极端降水指数有11个。百色地区处于云贵高原向东南丘陵的过渡地带,气候受地形影响较

大,为准确定义该区的极端降水,本文使用 9 个极端降水指数,且从 3 个角度对 9 个指数进行分类,以期对百色地区极端降水在不同方面的变化上进行全面地研究,具体为:CDD 指数代表在降水较少、相对干燥时的极端降水变化;CWD, R_{10} , R_{20} 和湿日降水量指数代表降水较多、相对湿润时的极端降水变化; R_{50} , R_{95p} , $RX_{1\text{ day}}$ 和 SDII 指数可从降雨的强度上反映极端降水变化。这些指数之间相互联系、相互影响。本文不选择最大 5 d 降水量和年降水总量这两个指标的原因是,在分类中两指标同属于可代表相对湿润时的极端降水变化,因此不再选择。具体指数的定义和表示方式见表 1。以 9 个极端降水指数为标

准,可以对百色地区的极端降水事件进行更为详细的研究,以加深对该地区极端降水变化的认识。

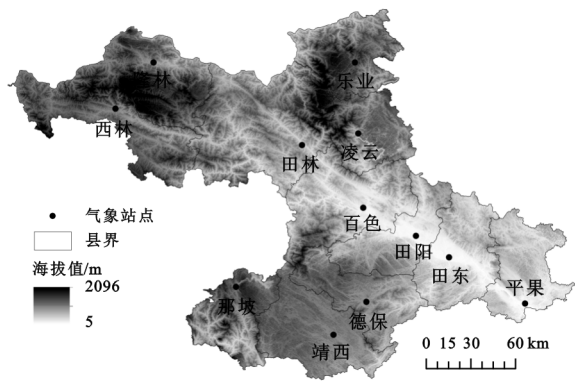


图 1 百色地区气象站点空间分布

表 1 极端降水指数的类型及其定义

指数类型	代码名称	指数名称	指数定义	单位
持续指数	CDD	连续干旱日数	日降水量<1 mm 的最大持续日数	d
	CWD	连续湿润日数	日降水量>1 mm 的最大持续日数	d
绝对指数	R_{10}	中雨日数	10 mm≤日降水量<20 mm	d
	R_{20}	大雨日数	20 mm≤日降水量<50 mm	d
	R_{50}	暴雨日数	日降水量≥50 mm	d
阈值指数	R_{95p}	强降水量	日降水量超过(1961—2017 年)95%分位数的降水总量	mm
	$RX_{1\text{ day}}$	最大 1 d 降水量	年最大 1 d 的降水量	mm
强度指数	SDII	降水强度	年降水量/年降水日数(日降水量≥1 mm)	mm/d
		湿日降水量	一年中降水日的降水量总和(日降水量≥1 mm)	mm

1.3.2 分析方法

(1) 采用降水距平值分析极端降水的时间变化。距平图能直观地看出极端降水波动的具体范围,更准确地判断极端降水的上升和下降趋势。

(2) 采用 Mann-Kendall 检验法进行显著性分析。M-K 法具有计算简单、对样本无特别分布要求等优点,被广泛应用于水文、气象等研究领域。趋势检验公式为:

$$\left\{\begin{array}{l} S=\sum_{i=1}^{n-1} \times \sum_{j=i+1}^n \operatorname{sgn}\left(X_j-X_i\right) \\ \operatorname{sgn}\left(X_j-X_i\right)=\left\{\begin{array}{ll} 1 & X_j-X_i>0 \\ 0 & X_j-X_i=0 \\ -1 & X_j-X_i<0 \end{array}\right. \end{array}\right. \quad(1)$$

式中: X_j 和 X_i 表示时间序列第 j 和 i 个值; n 为时间序列长度。

M-K 统计量 Z 值:

$$Z=\left\{\begin{array}{ll} (S-1) \sqrt{n(n-1)(2 n+5) / 18} & S>0 \\ 0 & S=0 \\ (S+1) \sqrt{n(n-1)(2 n+5) / 18} & S<0 \end{array}\right. \quad(2)$$

式中:当 M-K 统计量 $Z>0$,则表示上升; $Z<0$,则表示下降。具体显著性趋势检验定义为: $1.28 \leq Z<1.64$,则表示通过 90%的显著性上升检验; $1.64 \leq Z<2.32$,则表示通过 95%的显著性上升检验; $Z \geq$

2.32 ,则表示通过 99%的显著性检验。反之: $-1.64 < Z \leq -1.28$,表示通过 90%的显著性下降检验; $-2.32 < Z \leq -1.64$,表示通过 95%的显著性下降检验; $Z \leq -2.32$,表示通过 99%的显著性下降检验。

2 结果与分析

2.1 1961—2017 年百色地区极端降水时间变化

表 2 为 1961—2017 年百色地区各站点 9 个极端降水指标 M-K 统计量情况,图 2 为 1961—2017 年百色地区极端降水距平图。可以看出,对于相对干燥的降水变化而言,CDD 指数能代表百色地区持续干旱的最大天数,从侧面上反映极端降水异常。CDD 指数的距平值基本维持在 ± 15 d 之间,距平值的变化可分为 4 个阶段进行分析。在 1961—1980 年,CDD 指数整体为负距平,在 20 世纪 70 年代中期由“波动下降”转为“波动上升”再转为“波动下降”,且下降趋势持续到 1985 年。对比相同阶段的 CWD 指数,该阶段整体为正距平,与 CDD 指数呈相反趋势。1980—2000 年 CDD 指数整体为正距平,但数值偏小。2000 年之后,正负距平集中年份更为明显,正距平集中分布在 2010 年,且达到最大值。对比 CWD 指数在该阶段的变化,整体以负距平为主,直至 2017 年左右才慢慢转变为上升趋势,说明在 21 世纪初期,干旱日数增

大,百色地区整体偏干。据人民网报道,2009—2012 年广西出现较为严重的干旱,以 2010 年最为严重。百色地区的干旱达到特大等级,旱情乃 60 a 一遇,造成 209.76 万人受旱,农业经济损失 4.66 亿元。由此可见,连续干旱日数的极端变化,使得原本湿润的桂西北地区面临干旱的挑战,可能原因在于百色地区位于云贵高原向华南沿海过渡的地带,多丘陵山地,灌溉水平普遍较

低,且降水相对较少,蒸发量偏大,最易受干旱影响。另一方面,对于相对湿润的降水变化而言,CWD, R_{10} , R_{20} 和湿日降水量指数能代表湿润期极端降水的变化。从整体上看,2000 年之前,极端降水总体为正距平,且变化趋势由“波动上升”转为“波动下降”再转为“波动上升”。2000 年之后,极端降水指数总体为负距平,直至 2017 年才转为正距平。

表 2 1961—2017 年百色地区极端降水指数 M-K 统计量

站点/ 指数	连续干旱 日数	连续湿润 日数	强降 水量	中雨 日数	大雨 日数	暴雨 日数	最大 1 d 降水量	降水 强度	湿日 降水量
隆林	−0.51	−1.18	−0.34	−1.02	−0.66	1.28	−0.43	−0.30	−0.96
西林	1.88	0.51	0.46	−0.03	0.52	0.31	1.99	1.61	0.58
乐业	1.94	1.34	−0.04	−0.68	−0.53	0.37	0.37	0.59	−0.03
凌云	0.11	−0.92	0.51	−2.33	0.03	1.14	0.64	1.01	−0.32
田林	0.82	−2.10	−0.19	−3.24	0.97	−0.22	0.15	1.09	−1.25
那坡	−0.70	0.57	−0.19	−1.54	−0.21	−0.59	1.30	1.25	−1.01
百色	0.75	−0.61	0.22	−1.07	1.21	0.63	−1.42	0.88	−0.28
田阳	−0.46	0.56	1.47	−0.48	0.41	1.75	1.33	1.68	1.06
德保	−0.59	−0.57	0.55	0.76	−0.60	−0.06	1.17	0.92	−0.17
靖西	1.13	0.22	1.28	−1.90	0.40	0.77	1.77	2.99	0.94
田东	−0.30	−0.85	1.27	−0.20	−0.97	1.66	2.27	1.67	0.48
平果	0.17	−1.26	0.99	−1.85	−0.34	0.54	0.60	1.75	−0.10
增加站点数	7	5	8	1	6	9	10	11	4

对于降水强度变化而言, R_{50} , R_{95p} , $RX_{1\text{ day}}$ 和 SDII 指数能从降雨的强度上反映极端降水的变化。从整体上看,这 4 个指数的距平值波动范围更大,说明百色地区的降水趋于强烈。SDII 的距平值波动范围最大,正距平最大值在 1997 年达到 180 mm,负距平最大值在 1988 年达到 190 mm。 R_{50} 指数的正距平变化波动较为明显,负距平变化较为均匀。 $RX_{1\text{ day}}$ 和 SDII 指数距平变化趋势基本一致,以 20 世纪 90 年代为分界点,往前为负距平,往后为正距平。这 3 个指数的变化趋势对比 CDD 指数,发现上升和下降的趋势基本相同,如在 1961—1985 年,CDD 指数呈现下降趋势, R_{50} , $RX_{1\text{ day}}$ 和 SDII 指数也显示出下降趋势;在 20 世纪 90 年代,CDD 指数与 R_{50} , $RX_{1\text{ day}}$ 和 SDII 指数呈现较为一致的上升趋势,说明百色地区的降水在时间变化上更加集中,使得旱涝的发生更为连续且分明。

从极端降水指数 M-K 统计值 Z 来看,隆林县仅有 R_{50} 指数通过 90% 的显著性检验,其他指数未通过,变化较为平稳。西林县有 CDD, $RX_{1\text{ day}}$ 和 SDII 通过 90% 的显著性检验,其他指数变化趋势不显著。乐业县有 CDD 和 CWD 指数通过 90% 的显著性检验,两指数上升趋势明显。凌云县 R_{10} 指数的 Z 值达到 −2.33,通过 99% 的显著性检验,说明该指数下降显著,其他站点未通过检验。田林县的 R_{10} 指数统计值 Z 达到 −3.24,通过 99% 的显著性检验,下降趋势

明显。CWD 指数通过 90% 的显著性,下降趋势同样显著。那坡县 $RX_{1\text{ day}}$ 指数通过 90% 的显著性上升检验, R_{10} 指数通过 90% 的显著性下降检验。百色市的 $RX_{1\text{ day}}$ 指数通过 90% 的显著性下降检验,其他指数变化不明显。田阳县有 4 个指数变化趋势显著,分别是 R_{95p} ,SDII, R_{50} 和 $RX_{1\text{ day}}$,都通过 90% 的显著性上升检验。德保县的极端降水指数未通过检验,说明极端降水变化不显著。靖西的极端降水指数变化较为显著, R_{95p} 和 $RX_{1\text{ day}}$ 通过 90% 的显著性上升检验,SDII 通过 95% 的显著性上升检验, R_{10} 指数通过 90% 的显著性下降检验。田东县有 SDII, R_{50} 和 $RX_{1\text{ day}}$ 通过 90% 显著性上升检验,其他指数变化趋势不显著。平果县的 SDII 通过 90% 的显著性上升检验, R_{10} 通过 90% 显著性下降检验。综上所述,1961—2017 年百色地区 12 个气象站点中,仅有靖西的极端降水指数未通过 90% 的显著性检验,说明其变化平稳,其他 11 市县的极端降水指数均有显著性变化,说明上升或下降的趋势显著。

总的来说,1961—2017 年,百色地区极端降水年尺度只有部分站点通过 90% 的显著性增加趋势,小部分站点通过 95% 显著性检验,整体上微弱增加。另外, R_{50} , $RX_{1\text{ day}}$, R_{95p} ,SDII 和 CDD 共 5 个指数年尺度均表现出增加趋势,其他指数微弱下降。说明百色地区弱降水在减少,强降水在增加,干旱日数也在增加,使得降水趋于强烈和集中,降水趋于极端化。

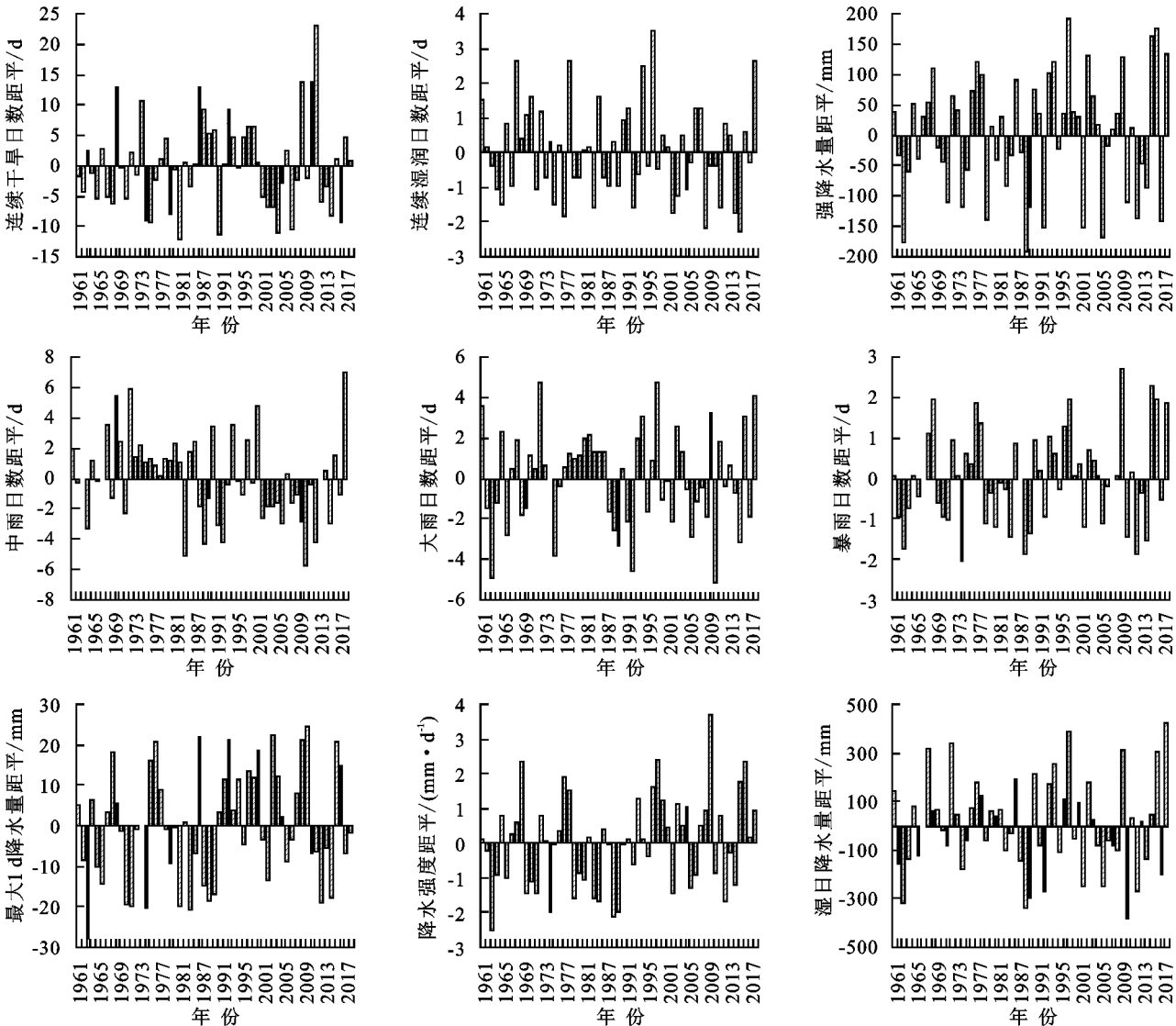


图 2 1961—2017 年百色地区极端降水距平

2.2 1961—2017 年百色地区极端降水空间分布

图 3 表示 1961—2017 年百色地区极端降水和 M-K 统计量 Z 值在空间上的分布。对相对干燥的降水变化而言,1961—2017 年百色地区的 CDD 指数最大值位于中东部的右江河谷地区,以凌云、百色和田阳为主要站点,最高值达到 36 d;最小值分布在北部、西北和南部地区,以乐业、隆林和德保为主要站点。再从相对湿润的降水变化来看,CWD, R_{10} , R_{20} 和湿日降水量在空间上的分布趋势基本一致。降水最高值位于凌云县和靖西县,最低值位于右江河谷地区和西北部的隆林和西林。CWD 指数最高值位于靖西,达到 11 d; R_{20} 和 R_{10} 指数最高值都分布在最北部的乐业县和凌云县,以及南部的靖西、德保和那坡,最低值沿右江河谷分布,主要集中在百色和田阳等地;湿日降水量在凌云和靖西达到最大值,为 1 701.2 mm。将 CWD, R_{10} , R_{20} 和湿日降水量与 CDD 指数对比,发现它们空间分布呈相反趋势,说明 57 a 来百色地区右江

河谷的 CWD, R_{10} , R_{20} 和湿日降水量等四个指数在减少,连续干旱日数增多。百色右江河谷较为干旱的原因,一方面可能由于地形的影响。右江河谷位于云贵高原边缘,形似一条狭长的走廊,不利于天气系统发育。而且多山间盆地,平均海拔 50 m,周围山地平均海拔 1 000 m,西北部最高点与东南角最低点海拔相差达 2 000 m。在日降水量小于 1 mm 的持续日数中,盆地中的蒸发量明显大于周围山地。另一个方面可能是由于其特殊的地理位置,使得焚风效应显著且海上的湿润气流到达该地时已经缺少含水量,以及台风等降水系统的偏移,导致右江河谷干旱日数多,湿润日数较少,这与广西桂西北地区极端连续降水量减少的事实相符^[33],也使得其成为全区降水量最少的地区^[34]。

从极端降水指数 M-K 统计值 Z 在空间上的分布来看,见附图 2,持续性指数中,CDD 指数 Z 值高值区位于乐业县、西林县和靖西县,呈现出北部、西北部地区上升趋势显著,东南地区以下降趋势为主的分布格局。CWD 指数则呈现出南部大部分地区、北部

和西北地区以上升趋势为主,田林县周围地区以下降趋势为主的分布格局。绝对指数中, R_{10} 和 R_{50} 指数的 Z 值在空间上的分布具有相似性,大体呈现出东南部和西北部上升趋势显著,而中西部以下降趋势为主的分布形式。 R_{20} 指数则以中部地区,如田林和百色等站点以上升趋势为主,其他地区以下降趋势为主的分布格局。阈值指数与强度指数的 Z 值在空间上

的分布更为相似,以东南部地区上升为主,以田阳、田东和靖西为主要高值区,西北部下下降趋势明显。综上所述可知,几乎每个站点的极端降水均发生显著性变化,且具有较为相似的趋势,能够反映出各站点极端降水指数的变化规律以及区域极端降水指数的分布情况,在百色地区做到能准确分析降水时间、强度及其分布位置,以期降低极端降水带来的风险。

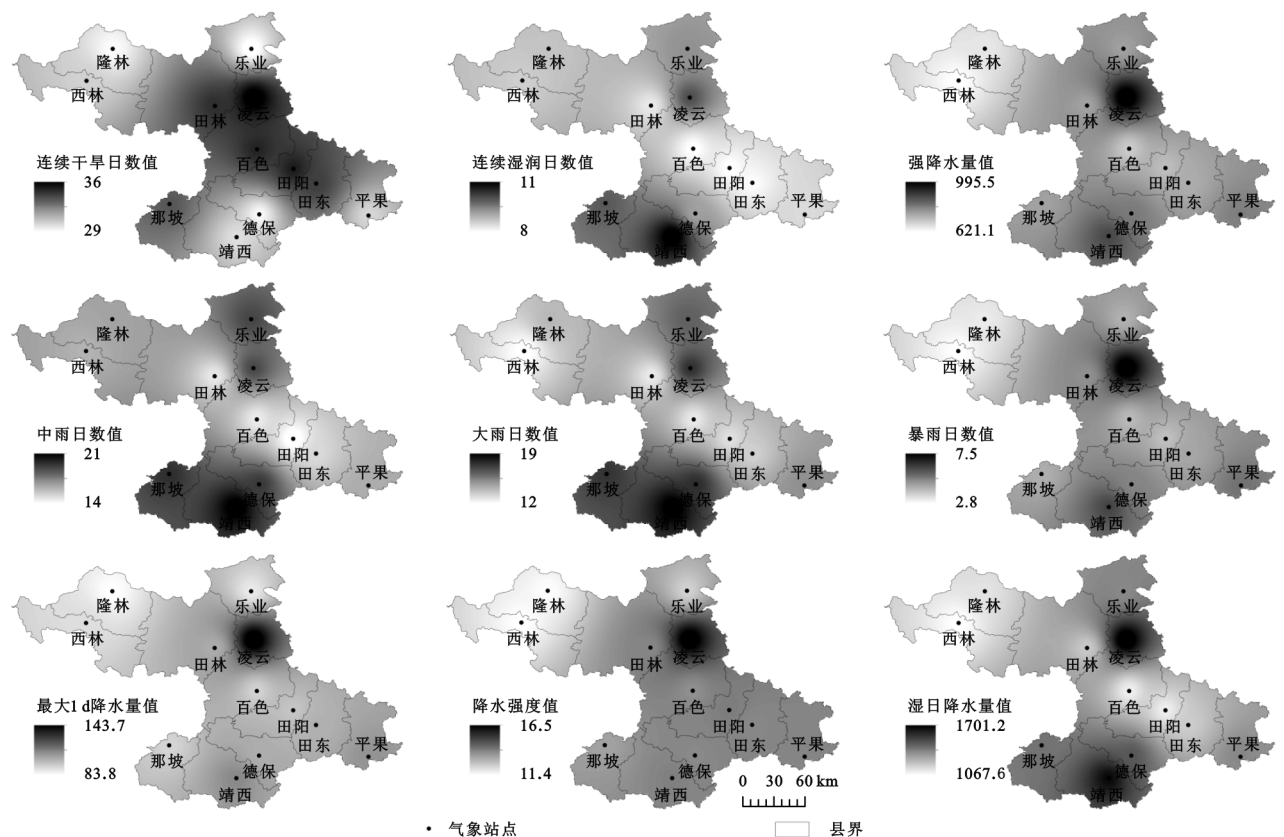


图 3 1961—2017 年百色地区极端降水指数空间分布

极端降水指数空间分布叠加上 M-K 统计值,可以指示百色地区各站点降水的极端变化情况。极端降水年尺度空间差异明显,而且所有指数空间分析结果均以凌云县为极大值中心,大体呈现出东南地区以上升趋势为主,西北地区以下降趋势为主的格局,可能与该地区特殊地形因素有关。降水高频区主要位于有地形抬升、大气辐合上升的山脉周围。

对于降水强度变化而言, R_{50} 指数最高值位于凌云县和靖西县,达到 7.5 d,最低值位于西北部的西林县和隆林县,只有 2.8 d; R_{95p} 指数高值中心位于凌云县和靖西县,降水量达到 995.5 mm,低值中心位于右江河谷和西北部的隆林县和西林县; $RX_{1\text{ day}}$ 和 $SDII$ 的高值中心基本位于凌云县和靖西,降水量从东南向西北递减。总的来说, R_{50} , R_{95p} , $RX_{1\text{ day}}$ 和 $SDII$ 指数在空间上的分布都遵循着以凌云为高值中心,以隆林和西林为低值中心,数值从东南向西北递减的规律。但对比 CDD 指数来看,这 4 个指数与 CDD 指数的高值区都位于凌云,说明 57 a 来凌云不仅是百色地区

的降水强度高值中心也是干旱少雨中心,这进一步揭示了凌云的降水更趋于集中和强烈,使得旱涝更明显,降水趋于极端。综上所述可知,极端降水出现频率高的站点主要位于有地形抬升、大气辐合上升的山脉周围,如凌云和靖西两个站点。因此,百色地区的地形因素是影响极端降水空间分布的主要原因。受到夏季风影响,南海水汽输送至广西境内,成为广西降水的主要条件,百色地区位于广西降水最尾端,降水量在空间上的分布也遵循着东南多西北少的规律。然而,凌云和靖西两县的西北部背靠山地,迎接来自东南部的的水汽,形成迎风坡,水汽辐合上升降水量大,常年形成百色地区暴雨中心^[35]。

3 结论

(1) 1961—2017 年,百色地区极端降水距平年变化总体呈现上升趋势,有 R_{50} , $RX_{1\text{ day}}$, R_{95p} , $SDII$ 和 CDD_5 个指数呈现上升趋势,其他指数呈现出微弱的下降趋势。说明百色地区弱降水在减少,强降水在增

加,干旱日数也在增加,使得降水趋于强烈和集中,降水趋于极端化。

(2) 极端降水年尺度空间差异明显,而且所有指数空间分析结果均以凌云县为极大值中心,大体呈现出东南地区以上升趋势为主,西北地区以下降趋势为主的格局,可能与该地区特殊地形因素有关。降水高频区主要位于有地形抬升、大气辐合上升的山脉周围。研究结果可为百色地区水资源规划和灾害风险管理提供借鉴和支撑,以期降低极端灾害风险。

参考文献:

- [1] Cardona O D, Van Aalst M K, Birkmann J, et al. Determinants of risk: exposure and vulnerability[M] // Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation; Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 2012.
- [2] Oliver J E. Intergovernmental Panel in Climate Change (IPCC) [J]. Encyclopedia of Energy Natural Resource & Environmental Economics, 2013, 26(2): 48-56.
- [3] Zhou J, Zhao J H, He W P, et al. Spatiotemporal characteristics and water budget of water cycle elements in different seasons in northeast China[J]. Chinese Physics B, 2015, 24(4): 563-570.
- [4] Li J, Yu R, Zhou T. Seasonal variation of the diurnal cycle of rainfall in southern contiguous China[J]. Journal of Climate, 2008, 21(22): 6036-6043.
- [5] Song X, Zhang Z, Chen Y, et al. Spatiotemporal changes of global extreme temperature events (ETEs) since 1981 and the meteorological causes[J]. Natural Hazards, 2014, 70(2): 975-994.
- [6] Markus G D, Andrew L, Lisa V A, et al. More extreme precipitation in the world's dry and wet regions [J]. Nature Climate Change, 2016, 6(5): 508-513.
- [7] Skansi M, Brunet M, Sigro J, et al. Warming and wetting signals emerging from analysis of changes in climate extreme indices over South America[J]. Global & Planetary Change, 2013, 100(1): 295-307.
- [8] Boccicari M, Malmusi S. Changes in temperature and precipitation extremes observed in Modena, Italy[J]. Atmospheric Research, 2013, 122(3): 16-31.
- [9] Croitoru A E, Chitoroiu B C, Todorova V I, et al. Changes in precipitation extremes on the Black Seawestern Coast[J]. Global and Planetary Change, 2013, 102(5): 10-19.
- [10] Jiawei B, Steven C S, Lisa V A, et al. Future increases in extreme precipitation exceed observed scaling rates[J]. Nature Climate Change, 2017, 7(2): 20-26.
- [11] 叶敏, 钱忠华, 吴永萍. 中国旱涝时空分布特征分析[J]. 物理学报, 2013, 62(13): 573-585.
- [12] 郭锐, 智协飞. 中国南方旱涝时空分布特征分析[J]. 气象科学, 2009, 29(5): 598-605.
- [13] 王志福, 钱永甫. 中国极端降水事件的频数和强度特征[J]. 水科学进展, 2009, 20(1): 1-9.
- [14] 吕丽莉, 孔锋, 王品. 1961—2016 年中国四季降雨事件的时序演变特征[J]. 人民长江, 2018, 49(S2): 73-79.
- [15] 李非. 东北地区近 52 年极端降水变化分析[J]. 黑龙江水利科技, 2019, 47(7): 16-20.
- [16] 春兰, 秦福莹, 宝鲁, 等. 近 55 a 内蒙古极端降水指数时空变化特征[J]. 干旱区研究, 2019, 36(4): 963-972.
- [17] 房俊晗, 郭斌, 张振克, 等. 1960—2013 年黄淮海平原极端降水时空变化特征[J]. 河南大学学报: 自然科学版, 2018, 48(2): 160-171.
- [18] 刘海涛, 杨洁. 1951—2015 年北京极端降水变化研究[J]. 中国农学通报, 2018, 34(1): 109-117.
- [19] 鲁菁, 张玉虎, 高峰, 等. 近 40 年三江平原极端降水时空变化特征分析[J]. 水土保持研究, 2019, 26(2): 272-282.
- [20] 折远洋, 杨波, 尚清芳, 等. 近 58 年河西地区降水事件的连续性特征[J]. 水土保持研究, 2020, 27(3): 140-145.
- [21] 周旗, 张海宁, 任源鑫. 1961—2016 年渭河流域极端降水事件研究[J]. 地理科学, 2020, 40(5): 834-841.
- [22] 张俊, 高雅琦, 徐卫立, 等. 长江流域极端降雨事件时空分布特征[J]. 人民长江, 2019, 50(8): 81-86.
- [23] 袭祝香, 杨雪艳, 刘玉汐, 等. 松辽流域 1961—2017 年极端降水变化特征[J]. 水土保持研究, 2019, 26(3): 199-203.
- [24] 任景全, 郭春明, 刘玉汐, 等. 1961—2015 年吉林省极端降水指数时空变化特征[J]. 冰川冻土, 2017, 39(5): 1004-1011.
- [25] 高沫. 广西降水与极端降水时空变化特征研究[D]. 南宁: 广西大学, 2017.
- [26] 杨金虎, 江志红, 王鹏祥, 等. 中国年极端降水事件的时空分布特征[J]. 气候与环境研究, 2008, 13(1): 75-83.
- [27] 顾西辉, 张强, 孔冬冬, 等. 中国年和季节极端降水时空特征及极值分布函数上尾部性质[J]. 地理科学, 2017, 37(6): 929-937.
- [28] 黄兰杰. 广西百色市降水变化趋势及其对芒果生产的影响[D]. 南宁: 广西大学, 2019.
- [29] 何洁琳, 陆甲, 李艳兰, 等. 百色气候变化特征及城市适应策略建议[J]. 气象研究与应用, 2019, 40(1): 34-37.
- [30] 区铭香. 百色市暴雨时空分布及环流分析[J]. 云南地理环境研究, 2008, 20(S1): 24-28.
- [31] 黄淑娟, 唐毓勇. 百色酸雨状况及成因分析[J]. 云南地理环境研究, 2008, 20(S1): 20-23.
- [32] 任福民, 高辉, 刘绿柳, 等. 极端天气气候事件监测与预测研究进展及其应用综述[J]. 气象, 2014, 40(7): 860-874.
- [33] 孙桂凯, 余璇, 高沫, 等. 广西极端连续降水变化趋势及周期性研究[J]. 水电能源科学, 2018, 36(2): 6-9.
- [34] 曹宜南, 徐文材. 全区年降水之末: 右江河谷一带[J]. 广西气象, 1985(4): 21-22.
- [35] 戴雨蕊. 百色市 5 月 11-12 日暴雨成因分析[J]. 气象研究与应用, 2011, 32(S2): 44-45.