

1961—2010 年怒江流域降雨时空变化

洪美玲, 何士华

(昆明理工大学 电力工程学院, 昆明 650500)

摘要:在全球变暖的背景下,为探讨高原水系水资源的重分配利用,选取怒江流域作为研究对象,研究怒江流域的降雨时空变化。基于怒江流域 13 个雨量站点中 6 个站点的 50 a 降雨数据,采用反距离权重插值法、Kendall 非参数检验、线性回归法对流域内年际降雨特征、年内强度特征和极端降雨事件进行了分析。结果表明:怒江流域上游(青藏高原东南区)降雨量小,年内降雨集中性总体趋势减弱;流域中游(青藏高原与云贵高原过渡区)降雨量较为丰富,年内降雨强度趋势上升;流域下游(云南泸水县六库以南区)降雨量最为丰沛,降雨集中性趋势平稳;流域内 3 片区极端降雨事件均呈上升趋势。综上所述,西藏地区应当注意保水、节水,西藏云南交界过渡区注意预防水土流失与水土综合治理,流域内云南剩余地区应当注意防洪与泥石流治理。

关键词:年际降雨;年内降雨集中性;极端降雨;M-K 突变检验

中图分类号:TV21

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2019)03-0248-05

Spatial and Temporal Change of Rainfall in Nujiang Basin in Recent 50 Years

HONG Meiling, HE Shihua

(Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China)

Abstract: In order to investigate the spatiotemporal changes of rainfall in the Nujiang River Basin, based on the 50-year rainfall data of 6 stations of 13 rainfall stations in the Nujiang River basin, the interannual rainfall characteristics, intra-annual intensity characteristics, and extreme rainfall events were analyzed using inverse distance weight interpolation, Kendall non-parametric test, and linear regression analysis. The results showed that the rainfall in the upper reaches (northwest) of the Nujiang River Basin was small, and the overall trend of rainfall concentration decreased during the years; rainfall was rich in the middle and lower reaches (central) of the basin, and the intensity of rainfall increased during the years; the rainfall in the lower reaches (southeast) of the river basin was the most abundant, and the trend of rainfall concentration was stable; extreme rainfall events in the three areas in the basin all showed the rising trend. In summary, the attentions should be paid to water conservation in the Tibet region, to the prevention of soil erosion and the comprehensive management of water and soil in the Tibet-Yunnan border and the Gongshan region and to flood control and mudslide control in the rest basin of Yunnan.

Keywords: annual rainfall; rainfall concentration; extreme rainfall; M-K mutation test

基于全球气候变暖的影响,水文循环改变了水资源的时空重分配。虽然怒江流域人口与经济体稀疏,但怒江流域作为我国西南重要水系之一,降雨变化特征复杂,了解该流域降雨时空变化特征,对当地制定防洪与排涝等策略具有重要意义。

目前,对怒江流域的研究成果较多,大部分集中在按区段划分研究,在整个流域多尺度综合时空方面的降雨变化研究较少。刘新有等^[1]利用泰森多边形

法、小波分析法、R/S 分析法研究怒江流域云南区段降雨时空变化;刘春录^[2]对怒江州怒江流域的降雨特性从年内降雨、垂直方向分布、地形影响分布特性进行研究;樊辉等^[3]运用 TFPW-MK 检验和重复迭代变化诊断等方法,分析了近几十年来怒江流域气候要素空间格局和变化特征;姚治君等^[4]利用非参数统计检验方法对怒江流域降水、平均气温及径流等要素单调变化趋势进行显著性检验,并基于各要素时空变化

特点,分析降水和气温的变化对径流变化可能存在的影响;罗贤等^[5]对怒江流域近50 a来中上游枯季径流变化及其对气候变化的响应进行研究分析。本文利用流域内6个站点的降雨资料,通过反距离权重插值法、Kendall非参数检验、线性回归分析法分析怒江流域的降雨时空变化特征。

1 资料与方法

1.1 研究区概况

怒江流域位于我国西南部位,发源于西藏自治区北部唐古拉山南麓的安多县境内,呈北西—东南向流经西藏自治区、云南省,出境后流经缅甸汇入印度洋,属于国际河流。怒江干流上至今没有一座水电站、拦河坝,保持着高度的自然性。

怒江从河源至河口全长3 240 km²,中国部分2 013 km²,整体上多年平均降雨量为896 mm。怒江流域总地势西北高、东南低,高原、高山、峡谷、盆地交错,地形多变复杂。上游地处青藏高原东南部,除海拔5 500~6 000 m的高大雪峰外山势平缓,河谷平浅,湖沼广布,属于高原地貌;中游处于青藏高原向云贵高原过渡的横断山区,地势海拔在3 000 m以上,山高谷深,河道纵比降大,水流湍急;下游怒江州泸水县六库镇以南为云贵高原区,地势多为山丘、盆谷、坝子,海拔在1 700~2 000 m。怒江流域狭长,支流众多,两岸支流大多垂直入江,干支流构成羽状水系。上游河流补给以冰雪融水为主,进入云南境内,水量以雨水补给为主,大部分集中在夏季,干湿两季分明,时空分布不均,水力资源较为丰富。

流域气候类型多样且复杂多变,气温总体上由北向南递增。怒江上游属于高原气候区,气温较低,常年降雨较少;怒江中游立体气候突出,降雨量增加;怒江下游地区主要受西南海洋季风气候和东南季风气候影响,气温上升,多雨,流域中下游区属于季风气候区^[6]。怒江流域独特的峡谷地形和气候条件形成我国西南与东南亚重要的生态廊道。

1.2 研究区资料

怒江流域共有13个雨量站点,但由于较多站点缺测时间较长,插补精度差,本次研究选用流域内分布较均匀的6个站点,数据采用全国气象数据共享网提供的怒江流域那曲、索县、丁青、贡山、保山、临沧6个雨量站点1961—2010年24 h降雨资料,其中缺失数据由周围站点降雨序列插补得到。研究区内站点分布如图1所示。

1.3 研究方法

流域的年际降雨变化主要从年降雨量的分布、降雨

的季节分配、全年降雨日数、降雨的年际变化(最大年降水量与最小年降水量的比值)方面来分析,指标参考于水利部黄河水利委员会发布的关于黄河流域降水特征分析一文。唐亦汉等^[7]在近50 a珠江流域降雨多尺度时空变化特征及其影响一文中也采用了年均降雨量和年降雨日率两个指标来分析珠江流域的年际变化。

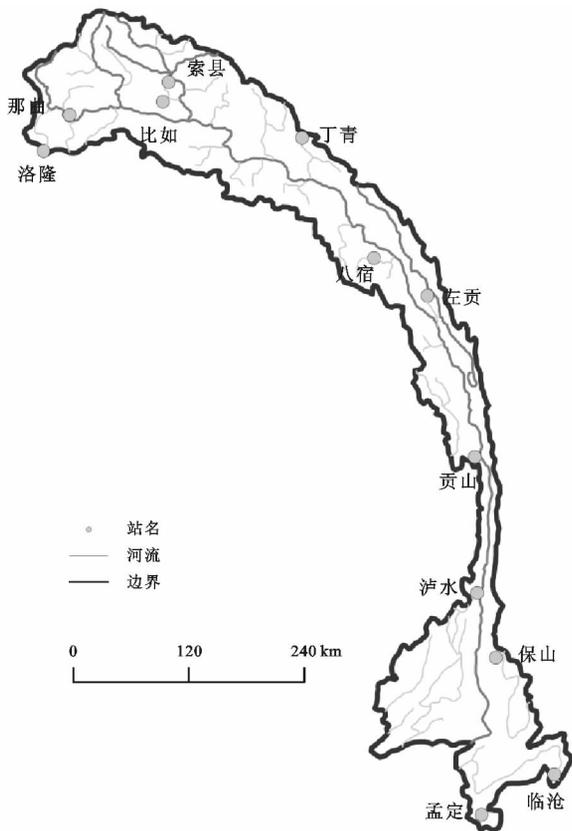


图1 怒江流域站点分布

对于流域极端降雨事件,本文以世界气象组织气象委员会及气候变率和可预报性研究计划推荐的50种极端气候为基础,选取2种极端降水指数分析怒江流域年极端降水的变化趋势^[8]。

因此,针对怒江流域降雨时空分布变化,本文采用年均降雨量和年降雨日率两个指数分析年际降雨变化,季度降雨集中性(PCI)和月降雨集中性(FI₆)表示流域内的降雨集中性^[7],采用年极端降水量(R99p)和年极端降水日数(R99%)分析流域内极端降雨变化。降雨指数详见表1。

2 结果与分析

2.1 怒江流域年际降雨变化

2.1.1 年均降雨量分析 怒江流域降雨均值量在400~1 700 mm(图2),从年际降雨的空间分布规律看,整个区域降雨量呈现出由流域上游向中游逐渐递增,贡山附近(即西藏与云南交界处)达到最大值,再

逐渐向下游减少的趋势,总体上表现为南多北少,空间分布复杂不均。流域最上游(即流域内西藏中东部)海拔较高,降雨量相对较少,主要以融雪补给为主,降雨量分布在 400~650 mm,流域中游(青藏高

原与云贵高原过渡区)海拔稍有降低,地形逐渐变成深山峡谷,山河切割,降水量逐渐增加,流域下游(即泸水县六库以南地区)平均海拔在 2 000 m 以下,降雨量在 1 000~1 700 mm,降雨量相对较为丰沛。

表 1 降雨指数

类型	指数	单位	定义
年际降雨	年均降雨量	mm	年平均降雨量
	年降雨日率	%	年降雨日数占全年日数的百分比
降雨集中度	季度降雨集中性(PCI)	—	$PCI = \frac{\sum_{i=1}^{12} p_i^2}{(\sum_{i=1}^{12} p_i)^2}$ 其中, $i = 1, 2, \dots, 12$, 为月份; P_i 为 i 月降雨总量(mm); $PCI < 15\%$, 轻微季度集中性; $15\% \sim 20\%$, 季度集中性; $20\% \sim 50\%$, 高度季度集中性; $PCI > 50\%$, 非常高度季度集中性
	月降雨集中性(FI_6)	—	$FI_6 = \frac{p}{p_a}$ 其中, p 为全年最大降雨月的月降雨量(mm); p_a 为当年降雨总量(mm)。 $FI_6 < 50\%$, 月份集中度低; $50\% \sim 100\%$, 月份集中度较高; $FI_6 > 100\%$, 月份集中度高
极端降雨	年极端降水量(R99p)	mm	日降水量 > 第 99 百分位值的总降水量
	年极端降雨日数(R99%)	d	日降水量 \geq 第 99 百分位值的日数

2.1.2 年降雨日率分析 怒江流域降雨日率分布在 29%~60%,降雨量变化趋势和降雨日率基本一致,流域上游降雨日率最低,向流域中下游逐渐增加,在贡山附近达到最大值,然后向下游减少。在流域的 6 个站点中,有 50% 的站点的降雨日率存在显著上升趋势($\alpha = 0.05$),集中在流域上游,即西藏部分地区(图 3A)。

从年降雨量和年降雨日率两个指标的变化分析,年际降雨量和年降雨日率均变化明显,年际均降雨量和年降雨日率成正比,变化较一致。这样的变化趋势主要受制于不同的气候作用,怒江流域南北狭长,气候变化显著,怒江上游属于高原气候,多受高原气流影响;中下游属于典型的季风气候区,处于印度洋、太平洋水汽交汇区,主要受西南季风控制和东南季风影响,怒江流域的海拔差和气候条件是影响降雨分布的主要因素^[4]。

2.2 怒江流域年内降雨集中性

2.2.1 季度降雨集中性分析 如图 3B 所示,怒江流域的 PCI 分布在 12%~24%,多年均值为 18%,流域内季度降雨集中性表现为由流域上游向中游减小,再向下游稍有增加,整体上呈现由北向南逐渐减少。流域中下游的降雨季度集中性为流域内最弱,PCI 小于 15%,存在轻微季度集中性;流域最上游(那曲、索县、洛隆、比如地区)为流域最高,其次为丁青地区,即八宿以上流域 PCI 均大于 20%,存在高度季度集中性;流域内其他地区 PCI 介于 15%~20%,存在季度集中性。

相对于多年 PCI 均值比较,以八宿地区为界限,

流域内八宿以北地区,降雨季度集中性增加,八宿以南地区低于均值。由 50 a 降雨量的变化趋势分析,PCI 高区存在降低趋势,PCI 低区趋势基本不变,总体上流域内的降雨季度集中性程度区域均匀化^[9]。

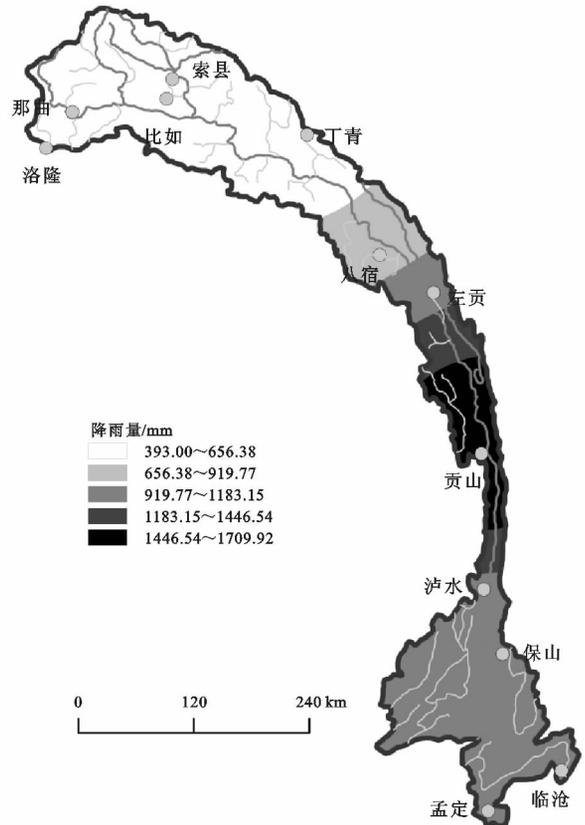


图 2 年均降雨量分布

2.2.2 月降雨集中性 怒江流域 FI_6 集中在 40%~70%，多年均值为 55% (大于 50%)。如图 3C 所示，流域内 FI_6 分布复杂，总体趋势呈现由南东向北西逐渐降低。除流域上游部分的月降雨集中性低于 50% 外，流域其他地区降雨在最大降雨月的集中度较高。1961—2010 年共 50 a 的数据分析，季度降雨集中性和月份降雨集中性总体上呈现相反的趋势， FI_6 低区呈现下降趋势， FI_6 高区呈上升趋势，月份降雨集中性表现为区域极端化。

2.3 怒江流域极端降雨

我国通常把日降水量超过 50 mm 的降水事件称之为暴雨，把日降水量超过 25 mm 的称为大雨^[8]。但是，对于不同的地区，由于地域差异，极端强降雨事件是不能完全用全国统一的固定的日降水量定义的。本文引用翟盘茂^[10]等对极端降雨事件的阈值。把研

究时间段 (1961—2010 年) 雨日 (日降水量 ≥ 0.1 mm) 降水量分布在第 99 个百分位值的 50 a 平均值定义为极端降水事件的阈值，当该地区某日降水量超过阈值，就为极端降水事件。

通过 SPSS 分析处理怒江流域 1961—2010 年的雨日数值，将第 99 个百分位值作为该流域的极端降水阈值，见表 2。

2.3.1 极端降水量分析 由图 4 可知，1967—1979 年为波谷，1979 年之后年际极端降水量变化差值较大，但 50 a 来怒江流域极端降水量整体呈波动上升趋势，其中极端降水量最大值出现在 2010 年，为 153.82 mm。本文采用怒江流域的 6 个站点中，除索县变化趋势略微下降外，其余 5 个站点的极端降雨量变化整体都为波动上升，且丁青的上升趋势最为平缓。

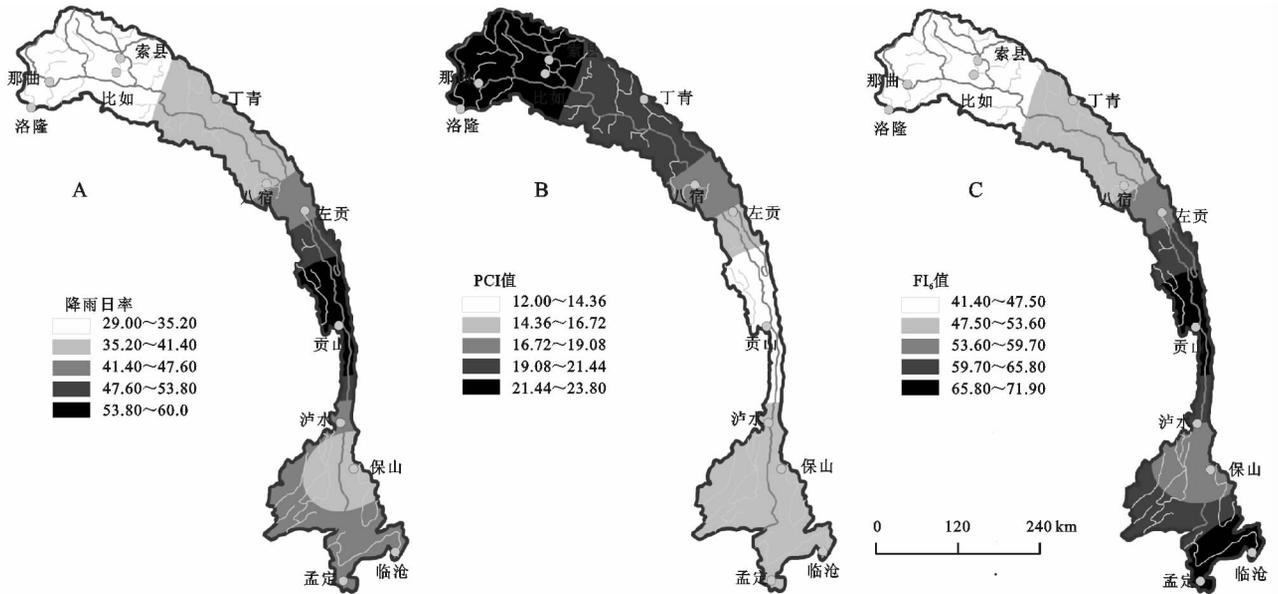


图 3 年降雨日率、PCI、 FI_6 空间分布

表 2 1961—2010 年怒江流域降水量阈值 mm

百分位/%	保山	丁青	贡山	临沧	那曲	索县
95	28.20	16	28.70	26.80	13.50	15
99	48.80	24.90	51.60	45.10	21.40	23.40

从图 5 的 M-K 检验结果看，UF 曲线未超过临界值，表明极端降水量减少或增加未达到显著水平，但是，在 1978 年极端降水量减少，将至 -1.96 临界值，在 2005 年极端降水量增多，将至 +1.96 临界值；1983—1984 年前后，UF, UB 曲线在 ± 1.96 范围内相交，极端降水量由低值向高值转变，但未发生明显的突变现象。2007—2009 年前后，两条曲线再次相交，UF 曲线未超过 1.96 临界线，综上说明 1984 年之后没有明显的突变现象。

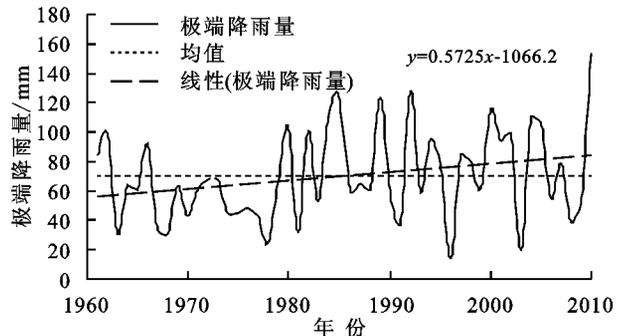


图 4 怒江流域极端降水量

2.3.2 极端降水日数分析 图 4 和图 6 比较，从时间变化序列看，年极端降水日数与年极端降水量变化趋势基本一致，1967—1979 年为一大波谷，之后呈现上升趋势。极端降水日数最多的年份为 1985 年，其

次为2010年。在6个雨量站点中,索县的极端降水日数趋势略微下降,其余5个雨量站点均呈波动上升趋势,其中,丁青的上升趋势最为平缓。

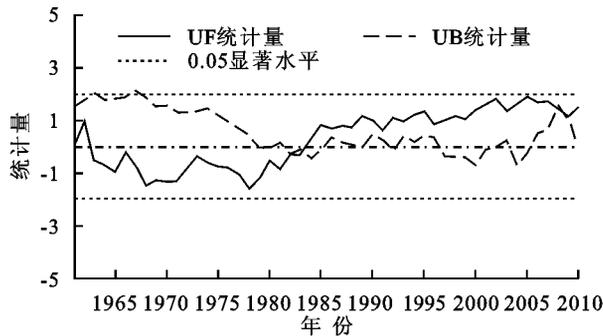


图5 M-K突变检验

从图7可以看出,M-K突变检验看,1967—1982年极端降水日数减少超过显著水平,1982—1988年 $UF < 0$,呈下降趋势,但减小趋势缓慢。在1998年 UF 和 UB 曲线相交,说明在1998年极端降雨量突变开始,之后两条曲线又有多次相交,但均未超过临界线,则表示1998—2010年没有发生明显的突变现象。

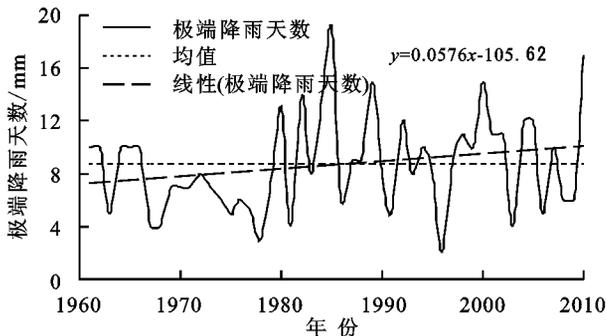


图6 怒江流域极端降水日数

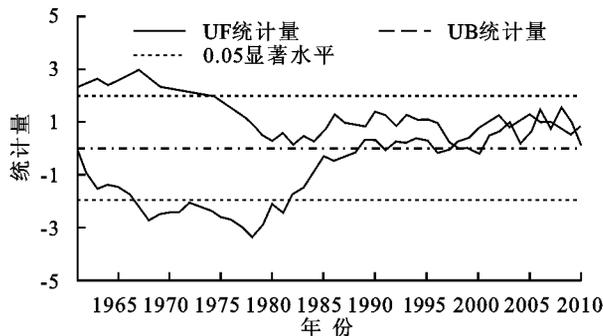


图7 M-K突变检验

3 结论

结合年际降雨、年内降雨和极端降雨分析,将怒江流域大致上分为3个区域:a区流域上游(青藏高原东南部);b区流域中游(青藏高原与云贵高原过渡区);c区流域下游(云南泸水县六库以南区)。

a区降雨量最少,季度性降雨较强但趋势逐渐降低,月份降雨集中性最弱且极端降雨阈值最低,极端降雨有

上升趋势但趋势较缓。不利于水资源的分配与利用,应该加强该地区的节水、保水设施与区域性供水^[11]。

b区降雨量丰富,年内季度降雨集中性最低,月份降雨集中性最强且强度逐渐上升,极端降雨阈值相对a区较大。该地区降水利于区域内的水资源分配,但是年内降雨强度呈明显上升趋势,应当注意侵蚀性降雨同时加强水土流失的预防与治理。

c区全年降雨量较为丰沛,年降雨日趋势平稳,年内降雨集中性趋势平稳,利于该地区水资源年内分配,但极端降雨阈值最高且有上升的趋势,应当注意当地防洪与加强泥石流治理^[12]。

怒江流域50a来的极端降雨量和极端降雨日数的变化趋势基本一致,总体上呈波动上升趋势^[13],20世纪80年代以前呈减少趋势,1980年之后,极端降雨量和极端降水日数波动性增强,但未发生明显的突变。按照50a来怒江流域极端降水事件的分析,2010年之后极端降水日数和极端降雨量增加,造成怒江流域水土加速流失。

参考文献:

- [1] 刘新有,李自顺,刘永兴,等.怒江流域云南区段降雨时空变化分析[J].人民长江,2017,48(18):39-44.
- [2] 刘春录.怒江州怒江流域降雨特性分析[J].珠江现代建设,2015,8(4):22-25.
- [3] 樊辉,何大明.怒江流域气候特征及其变化趋势[J].地理学报,2012,67(5):621-630.
- [4] 姚治君,段瑞,刘兆飞.怒江流域降水与气温变化及其对跨境径流的影响分析[J].资源科学,2012,34(2):202-210.
- [5] 罗贤,何大明,季璇,陆颖,李运刚.近50年怒江流域中上游枯季径流变化及其对气候变化的响应[J].地理科学,2016,36(1):107-113.
- [6] 刘冬英,沈燕舟,王政祥.怒江流域水资源特性分析[J].人民长江,2008,39(17):64-66.
- [7] 唐亦汉,陈晓宏.近50年珠江流域降雨多尺度时空变化特征及其影响[J].地理科学,2015,35(4):476-482.
- [8] 靳俊芳,殷淑燕,庞奖励.近60a来汉江上游极端降水变化研究:以安康地区为例[J].干旱区研究,2014,31(6):1061-1067.
- [9] 莫崇勋,阮俞理,林怡彤,等.月、季尺度降雨变化特征及未来变化情况[J].节水灌溉,2018(1):52-57.
- [10] 翟盘茂,潘晓华.中国北方近50年温度和降水极端事件变化[J].地理学报,2003,58(S):1-10.
- [11] 蔡新玲,蔡依恒,叶殿秀,等.渭河流域降雨结构时空演变特征[J].水土保持研究,2017,24(6):370-375.
- [12] 曹言,王杰,张雷,等.滇中地区降水事件的时空变化特征分析[J].人民长江,2017,48(21):50-55.
- [13] 正果,张明军,王圣杰,等.1961—2011年中国南方地区极端降雨事件变化[J].地理学报,2014,69(5):640-649.