

淮阴站降雨年内分配指标特征及相关性研究

陆小明¹, 闫中月^{2,3}

(1. 江苏省水文水资源勘测局, 江苏 南京 210029; 2. 南京大学表生地球化学教育部重点实验室, 江苏 南京 210023; 3. 南京大学地球科学与工程学院, 江苏 南京 210023)

摘要: 基于淮阴站 1951 ~ 2015 年的月降雨数据, 应用不均匀系数、信息熵、集中度、集中期、重心等指数表征降雨年内分配不均匀性及集中程度特征, 分别采用 Mann-Kendall 非参数检验方法和 Pearson 相关系数分析降雨年内分配特征年际变化趋势及各指标之间的相关性。结果表明: 从时间上看, 降雨年内分配不均匀性有降低, 集中期有后移趋势, 但幅度均较小, 各指标均无突变趋势; 年内分配不均匀系数、信息熵、集中度之间具有高度相关性, 集中期与重心高度相关, 不均匀系数、信息熵、集中度均与保证率存在显著相关。

关键词: 淮阴; 降雨; 年内分配; Mann-Kendall 检验

中图分类号: TV125 文献标识码: B 文章编号: 1007-7839 (2018) 09-0037-06

Study on characteristics and correlation of annual distribution index of rainfall in Huaiyin Station

LU Xiaoming¹, YAN Zhongyue^{2, 3}

(1. Jiangsu Hydrology and Water Resources Survey Bureau, Nanjing 210029, Jiangsu;
2. Key Laboratory of Surficial Geochemistry, Ministry of Education, Nanjing University, Nanjing 210023, Jiangsu; 3. School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210023, Jiangsu)

Abstract: Based on the monthly rainfall data of Huaiyin Station from 1951 to 2015, the uneven distribution coefficient, information entropy, concentration degree, concentration period, gravity center and other indexes were used to characterize the uneven distribution and concentration characteristics of annual rainfall, and Mann-Kendall nonparametric test method and Pearson correlation coefficient were used to analyze the annual distribution characteristics, inter-annual variation trend and correlation between various indicators. The results showed that the uneven distribution of rainfall during the year had decreased from the time point of view, and the concentration period had a tendency to move backward, but the amplitude was small, and there was no sudden change trend in each index. There was a high correlation between the annual distribution unevenness coefficient, information entropy and concentration degree, and the concentration period was related to the height of gravity center. The uneven distribution coefficient, information entropy, and the concentration degree were significantly related to the concentration degree.

Key words: Huaiyin; rainfall; annual distribution; Mann-Kendall test

收稿日期: 2018-07-04

基金项目: 水利科技项目“江苏省典型河湖总氮构成、通量评估及其控制研究”(2016022)资助项目

作者简介: 陆小明(1968—), 女, 本科, 高级工程师, 主要从事水文水资源工作。

降雨是地表径流的主要来源,直接影响着径流的变化,决定着区域水资源的天然配置,同时对地区植被格局及生态环境有着深刻的影响^[1-2]。因此,降雨年内分配变化规律是研究气象变化、水文循环以及环境演变的基础,一直是水文水资源学研究的主要内容,也是开展水利设计和水环境管理工作必不可少的部分。降雨年内分配特征是“降雨的时间结构”,通常用月降雨量占全年的百分比和距平百分比来表示,但其存在难以准确、全面地反映降雨年内分配的不均匀性的缺点^[3]。近年来,有学者将不均匀系数^[4]、信息熵^[5]、集中度^[6]和集中期^[7]等指标单独或组合使用来开展不同地区降雨年内分配特征的研究,同时采用较常用的趋势检验方法如 Mann-Kendall (M-K) 检验法、距平累积法和线性回归法^[8-11]开展其相应的趋势分析。然而,对于降雨年内分配各指标间相关性的研究较少。因此,本文采用常用的不均匀系数、信息熵、重心、集中度和集中期指标,开展了淮阴站降雨年内分配特征指标特征及相关性研究,以期为降雨年内分配不均匀性评价指标的选择提供参考。

1 数据与方法

1.1 数据

淮阴雨量站位于江苏省淮安市清江浦区,东经 119° 01', 北纬 33° 36', 地处淮河流域四级水文分区——渠北地区。本区域为北温带半湿润季风气候,季风特征明显,夏季炎热多雨,冬季寒冷少雨。淮阴站 1951 ~ 2015 年多年平均降雨量 957.6 mm, 年际变化大,最大年降雨量 1502.3 mm (2003 年),最小年降雨量 492.3 mm (1966 年),变差 1010 mm,变化幅度较大;年内分配不均,多年平均汛期(6 ~ 9 月)降雨量占全年降雨量的 66.0%。

1.2 研究方法

1.2.1 年内分配分析方法

采用年内分配不均匀系数和年内分配熵、集中度、集中期及年内分配重心作为降雨年内分配的指标,从不同角度定量降雨年内分配的变化规律。年内分配不均匀系数,也称变差系数,为区域内年内月降雨量均方差与年内月平均降雨量的比值,其表征年内降雨的不均匀性。其计算公式如下:

$$C_v = \sqrt{\frac{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} (R_i - \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} R_i)^2}{(\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} R_i)}} \quad (1)$$

式中: R_i 为年内各月降雨量。由式(1)可以看出, C_v 值越大,年内各月降雨量相差越大,降雨年内分配越不均匀。分配熵可用于度量年内各月降雨量分配的不均匀性^[5], Shannon 给出的熵计算公式如下:

$$H(P) = - \sum_{i=1}^{12} p_i \ln p_i \quad (2)$$

式中: $H(P)$ 为熵函数, p_i 为年内各月的降雨占比。集中度和集中期是反应年内月降雨集中程度的重要指标^[12-13], 其将各月的降雨量作为向量长度, 1 ~ 12 月的向量角度分别取 0° ~ 330°, 每月间隔为 30°。因此,每月的降雨量可以分解为 x 和 y 两个方向上的分量,其计算公式如下:

$$R_x = \sum_{i=1}^{12} R_i \cos \theta_i \quad (3)$$

$$R_y = \sum_{i=1}^{12} R_i \sin \theta_i \quad (4)$$

$$C_d = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} / \sum_{i=1}^{12} R_i \quad (5)$$

$$D = \arctan(R_y / R_x) \quad (6)$$

式中: C_d 为集中度是经过变换后合成向量长度与年降雨量的比例,其值越大代表降雨越集中,如降雨量集中在某一月份时,其集中度为 1,而降雨量均匀分布时其集中度为 0。 D 为集中期,其是合成向量的角度,即年内降雨加权质心所在月份。重心的概念源于牛顿力学,其为物体在重力场中各部分所受重力合力的作用点。在降雨时间序列中表征降雨年内分配的集中期,其计算公式如下:

$$G = \sum_{i=1}^{12} i R_i / \sum_{i=1}^{12} R_i \quad (7)$$

式中: G 为降雨重心, i 为月份, R_i 为 i 月降雨量。

1.2.2 年际变化分析方法

Mann-Kendall 检验法是一种非参数统计检验方法,其无需样本服从特定分布,也不受少数异常值的影响,在水文、气象领域通常应用于时间序列变化趋势和突变分析^[10, 14-18]。在趋势分析中,其通过统计量 Z 来判断时间序列是否存在显著趋势;在突变分析中,其通过绘制 UF 和 UB 曲线图,判断是否存在显著突变。一般显著水平取 0.05,相应统计量 Z 、 UF 和 UB 的临界值为 $[-1.96,$

1.96]^[19-21]。

$$Z = \begin{cases} (S-1)/\sqrt{n(n-1)(2n+5)/18}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ (S+1)/\sqrt{n(n-1)(2n+5)/18}, & S < 0 \end{cases} \quad (8)$$

式中:

$$S = \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (9)$$

$$\text{sgn}(\theta) = \begin{cases} 1 & \theta > 0 \\ 0 & \theta = 0 \\ -1 & \theta < 0 \end{cases} \quad (10)$$

$$UF_k = \frac{\sum_{i=1}^k r_i - k(k-1)/4}{\sqrt{k(k-1)(2k+5)/72}} \quad (k=2,3,\dots,n) \quad (11)$$

式中:

$$r_i = \begin{cases} 1, & x_i > x_j \\ 0, & x_i \leq x_j \end{cases} \quad (12)$$

其中 $UF_1=0$, 而 UB 的计算方法与 UF 类似, 其为原时间序列逆序列的统计量。

累积距平法是根据曲线直观判断序列变化趋势的方法, 对于序列 X , t 时刻的累积距平可以表达为^[21]:

$$\hat{X}_t = \sum_{i=1}^t (X_i - \bar{X}) \quad (13)$$

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (14)$$

2 结果与讨论

2.1 降雨年内分配特征年际变化分析

淮阴站 1951~2015 年年内降雨分配不均系数、信息熵、集中度、集中期和重心的变化如图 1 所示。从图 1 可以看出, 不均系数、信息熵、集中度、集中期和重心均呈现出较大的波动, 其中不均系数最大值出现在 1965 年, 最小值为 1966 年, 信息熵最大值为 1966 年, 最小值为 1965 年, 两者表

现正好相反; 集中期、集中度、重心最大值出现年份均为 1962 年, 最小出现年份分别为 1966 年、1966 年、1973 年, 三者表现基本一致但略有差别。采用 M-K 方法分析淮阴站降雨年内分配各指标年际变化趋势, 结果如表 1 所示。从表 1 中统计量 Z 可以看出, 各指标均存在不显著变化趋势。不均系数、集中度、信息熵表征的年内分配不均匀性有降低趋势, 重心、集中期表征的降雨集中时期有后移趋势, 但从斜率 β 具体数值来看, 其变化幅度均不大, 表现较一致。采用 M-K 突变分析方法进一步绘制淮阴站降雨年内分配特征各指标 UF 和 UB 曲线如图 2。从图 2 可以看出, 各指标的 UF 、 UB 统计量存在多个交叉点但交叉点均在置信区间 $(-1.96, 1.96)$ 之内, 表明淮阴站年内降雨分配特征各指标存在多个突变点, 但 UF 变化均未突破显著性临界值, 各指标均不存在突变现象。

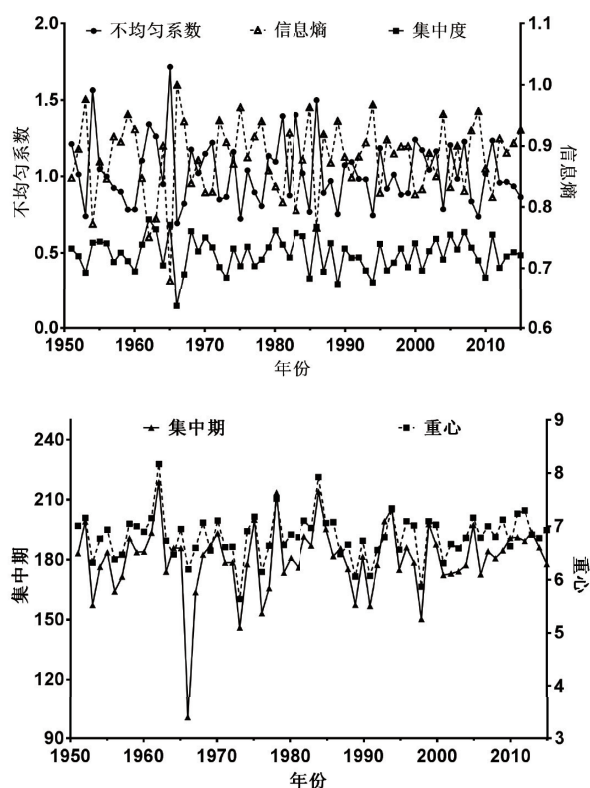
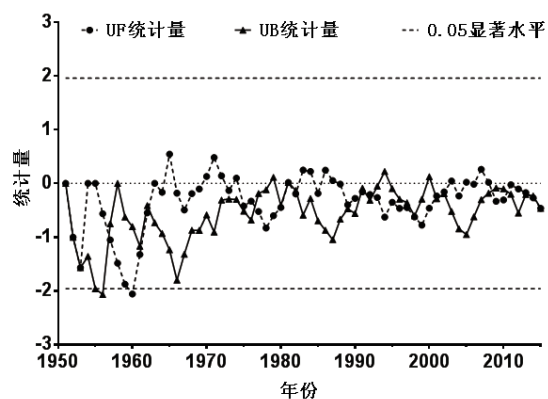


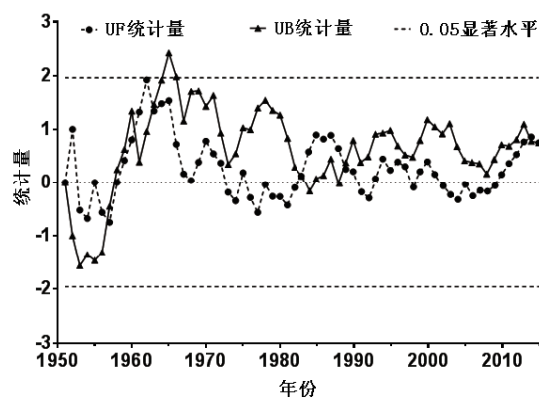
图 1 淮阴站降雨年内分配特征变化

表 1 淮阴站降雨年内分配特征 M-K 趋势检验

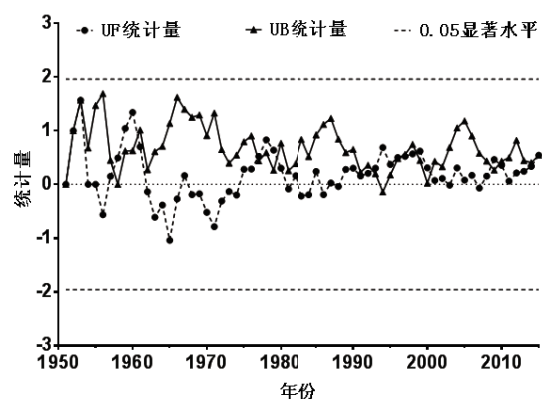
参数	不均系数	信息熵	集中度	重心	集中期
β	-0.001	0.000	-0.000	0.002	0.069
Z	-0.459	0.538	-0.470	0.798	0.742



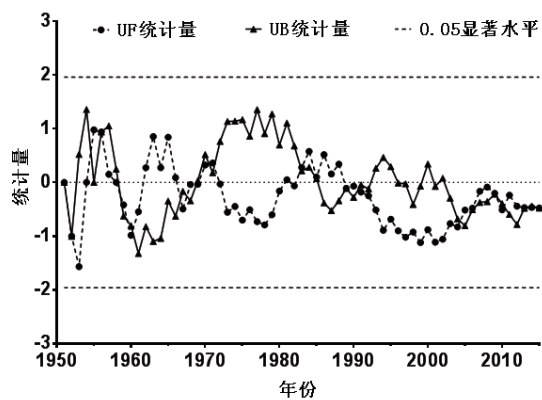
不均匀系数



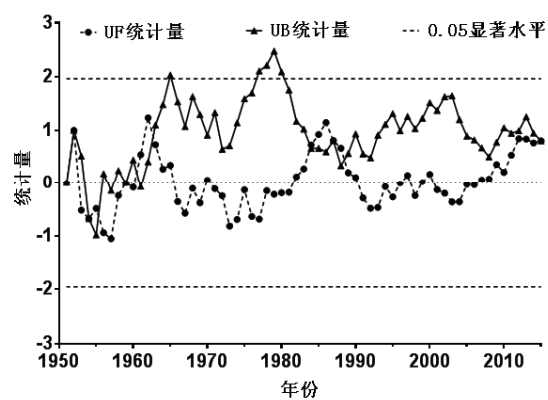
集中期



信息熵



集中度

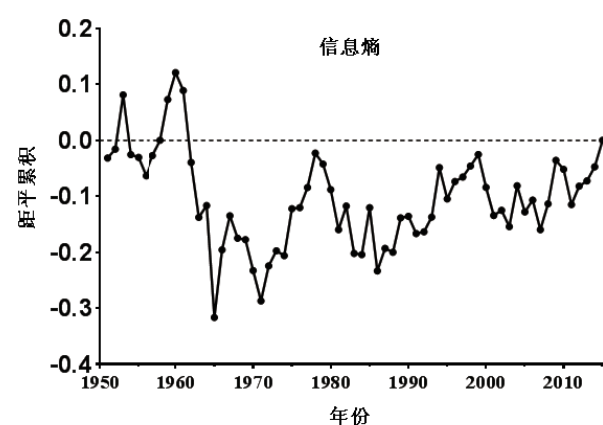
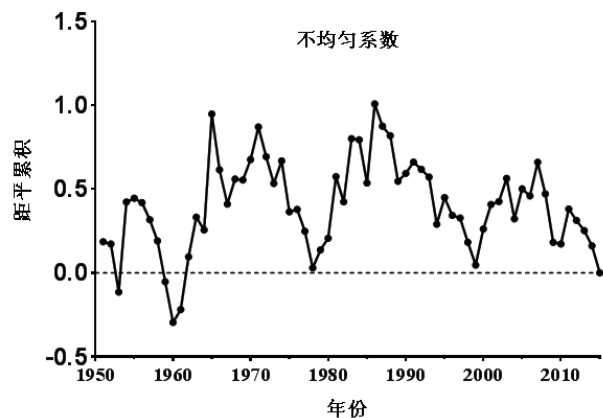


重心

图2 淮阴站降雨年内分配特征 M-K 突变分析

2.2 降雨年内分配指数变化阶段性

为辨析年内降雨分配特征的变化阶段,采用距平累积法绘制淮阴站各指标的距平累积过程线(图3)。如图3所示,淮阴站年内分配不均匀系数、信息熵、集中度总体存在着4个变化阶段:1951~1960年、1961~1978年、1979~1999年、2000~2015年,其中1961~1978年、1979~1999年是2个完整的上升下降或下降上升周期,其历时分别为18年、21年。集中期、重心总体存在3个变化阶段:1951~1962年、1963~1986年、1987~2015



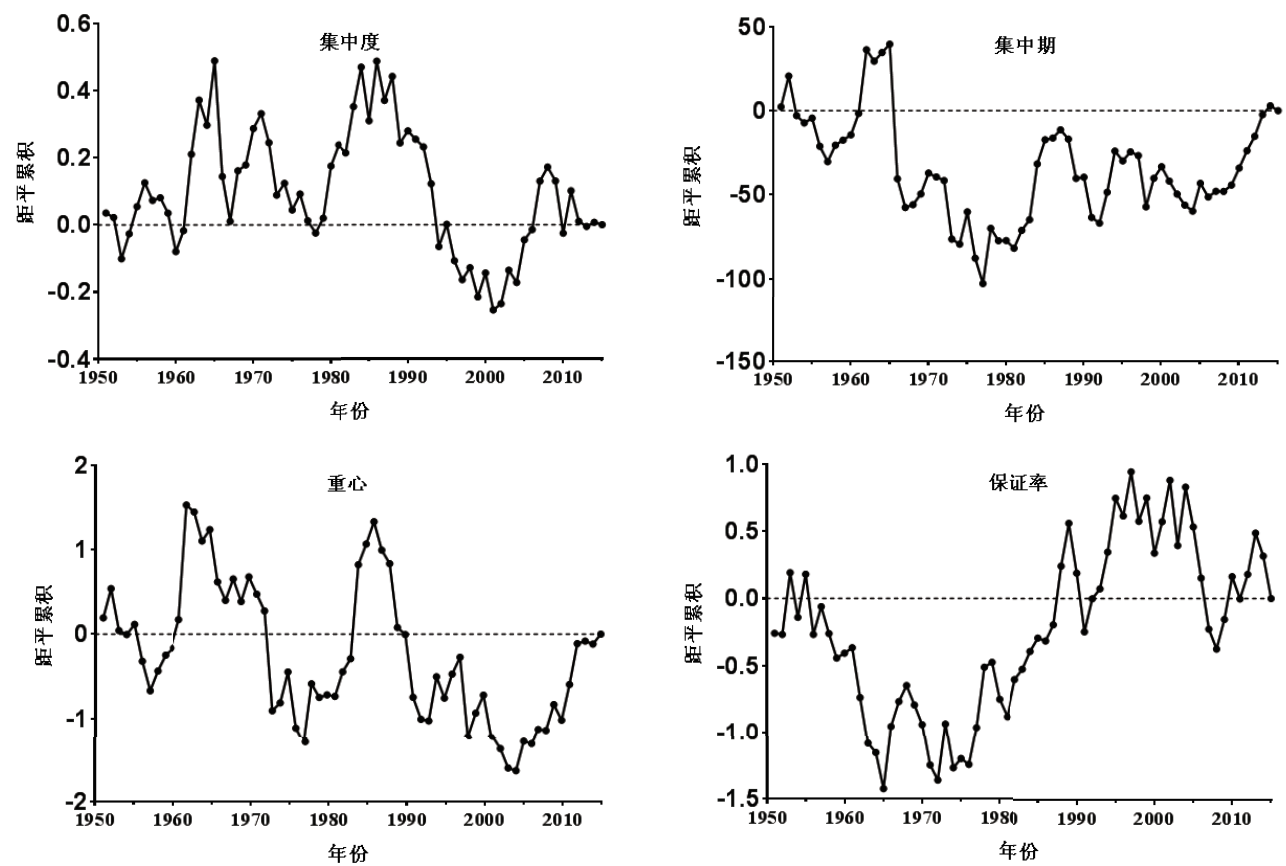


图 3 淮阴站降雨年内分配特征距平累积曲线

年均均为较完整的下降上升周期, 其历时分别为 12 年、24 年、29 年, 其周期历时有所逐渐增大的趋势。年保证率存在 3 个历时 2 年以上较低保证率时段: 1962 ~ 1965 年、1969 ~ 1972 年、2005 ~ 2008 年; 存在 3 个历时 2 年以上的较高保证率时段: 1966 ~ 1968 年、1982 ~ 1989 年(除 1986 年)、1992 ~ 1995 年, 总体呈现出丰枯交替变化。

2.3 降雨年内分配指标相关性分析

淮阴站 1951 ~ 2015 年降雨年内分配特征各指标的 Pearson 相关系数计算结果如表 2 所示。

从表 2 可以看出, 不均匀系数与集中度高度正相关, 与信息熵高度负相关, 与保证率显著负相关; 重心与集中期高度正相关, 与集中度低度相关; 集中度与信息熵高度负相关, 与保证率显著负相关, 与集中期低度正相关; 信息熵与保证率显著正相关。可见, 不均性系数、集中度和信息熵表征基本是一致, 重心与集中期的表征也是一致的, 年内降雨分配的不均匀系数、集中度和信息熵与年降雨保证率具有一定关联, 但重心和集中期与年降雨保证率关联不大。

表 2 相关系数矩阵

	不均匀系数	重心	集中度	集中期	信息熵	保证率
不均匀系数	1.000	0.183	0.752*	0.162	-0.964*	-0.468*
重心	0.183	1.000	0.373*	0.817*	-0.177	-0.096
集中度	0.752*	0.373*	1.000	0.344*	-0.794*	-0.550*
集中期	0.162	0.817*	0.344*	1.000	-0.195	-0.109
信息熵	-0.964*	-0.177	-0.794*	-0.195	1.000	0.479*
保证率	-0.468*	-0.096	-0.550*	-0.109	0.479*	1.000

注: * 显著水平为 0.01。

3 结论

(1) 淮阴站降雨年内分配不均匀性总体表现出逐年递减的趋势, 降雨集中期和重心都有后延的趋势, 未通过显著性检验, 且变化幅度较小, 不均匀系数、信息熵、集中度的趋势变化率不足 0.01/10 年, 年降雨保证率有逐年上升的趋势, 约为 10 年上升一个百分点, 各指标均未出现明显的突变。

(2) 淮阴站年内分配不均性系数、信息熵、集中度总体存在着 4 个变化阶段, 2 个完整的上升下降或下降上升周期; 集中期、重心总体存在 3 个变化阶段, 均为较完整的下降上升周期; 年保证率总体呈现出丰枯交替变化。

(3) 年内分配不均匀系数、集中度、信息熵之间存在着高度相关关系, 具有互通性; 重心与集中期高度正相关, 具有互通性; 不均匀系数、集中度、信息熵均与保证率存在着显著相关关系, 而重心、集中期与保证率相关性不大。

参考文献:

- [1] S Gajbhiye, C Meshram, R Mirabbasi, et al. Trend analysis of rainfall time series for Sindh river basin in India[J]. Theoretical & Applied Climatology, 2015 (3):1-16.
- [2] 李艳, 陈晓宏, 张鹏飞. 北江流域径流年内分配特征的变异性分析[J]. 水文, 2014, 34 (3):80-86.
- [3] 王纪军, 裴铁璠, 顾万龙. 降水年内分配不均匀性指标[J]. 生态学杂志, 2007, 26 (9):1364-1368.
- [4] 马正耀. 黑河流域降水量年内分配格局研究[J]. 地下水, 2012, 34 (1):141-143.
- [5] 董闯, 栗晓玲. 基于信息熵的石羊河流域降雨时空变异性研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2011 (1):222-228.
- [6] 余冲, 刘冀, 董晓华. 基于信息熵的湖北省降雨时空变化规律研究[J]. 水电能源科学, 2011, 29 (1):6-8.
- [7] 张瑞麟. 北京市降水年内分配特征量化研究[J]. 水电能源科学, 2015 (12):9-13.
- [8] A I Pasquini, K L Lecomte, E L Piovano, et al. Recent rainfall and runoff variability in central Argentina[J]. Quaternary International, 2006, 158 (1):127-139.
- [9] A Serrano, V L Mateos, J A Garcia. Trend analysis of monthly precipitation over the Iberian peninsula for the period 1921-1995[J]. Physics & Chemistry of the Earth Part B Hydrology Oceans & Atmosphere, 1999, 24 (1-2):85-90.
- [10] H Tao, M Gemmer, Y Bai, et al. Trends of streamflow in the Tarim River Basin during the past 50 years: Human impact or climate change?[J]. Journal of Hydrology, 2011, 400 (1):1-9.
- [11] Z Xu, Z Liu, G Fu, et al. Trends of major hydroclimatic variables in the Tarim River basin during the past 50 years[J]. Journal of Arid Environments, 2010, 74 (2):256-267.
- [12] 刘贤赵, 李嘉竹, 宿庆. 基于集中度与集中期的径流年内分配研究[J]. 地理科学, 2007, 27 (6):791-795.
- [13] 王金星, 张建云, 李岩. 近 50 年来中国六大流域径流年内分配变化趋势[J]. 水科学进展, 2008, 19 (5):656-661.
- [14] F F Zhao, Z X Xu, J X Huang, et al. Monotonic trend and abrupt changes for major climate variables in the headwater catchment of the Yellow River basin[J]. Hydrological Processes, 2010, 22 (23):4587-4599.
- [15] 潘扎荣, 阮晓红. 淮河流域河道内生态需水保障程度时空特征解析[J]. 水利学报, 2015, 46 (3):280-290.
- [16] 潘扎荣, 阮晓红, 朱愿福. 近 50 年来淮河干流径流演变规律分析[J]. 水土保持学报, 2013 (1):51-55.
- [17] 邱临静, 郑粉莉, 尹润生. 1952 ~ 2008 年延河流域降水与径流的变化趋势分析[J]. 水土保持学报, 2011, 25 (3):49-53.
- [18] 石萍, 张运鑫, 田水娥. 邯郸市观台站年降水序列变化趋势及突变分析[J]. 人民黄河, 2012, 34 (2):66-68.
- [19] 陈亚宁, 徐长春, 杨余辉. 新疆水文水资源变化及对区域气候变化的响应[J]. 地理学报, 2009, 64 (11):1331-1341.
- [20] 刘欢, 左其亭, 马军霞. 河南省降水量年内分配的不均匀性及变化规律[J]. 人民黄河, 2015, 37 (10):29-34.
- [21] 王慧凤, 陆宝宏, 熊丝. 近 65 年合肥市降水变化规律分析[J]. 水电能源科学, 2017 (3):11-14.