

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2018.06.020

基于 Mann-kendall 法的嘉陵江 流域降水量时空分布规律^①

符艳红¹, 谢世友^{1,2}, 高洁¹

1. 西南大学地理科学学院, 重庆 400715; 2. 西南大学三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715

摘要: 选取嘉陵江流域 11 个气象站点经过处理的 1961—2015 年月降水量数据资料, 以 Mann-kendall 非参数检验方法为主, 分析嘉陵江流域降水量时空分布特征, 为其水资源检测、评估和防治提供一定理论依据和基础. 结果表明: (1) 嘉陵江流域近 55 年年均降水量为 977.7 mm, 整体上呈现出下降的趋势($Z = -0.56$), 且存在多个突变点; (2) 降水量在春季和秋季均呈减小幅度, 秋季最为明显($Z = -1.35$), 且主要集中在夏季, 约占全年降水量的 48.3%; (3) 年均降水量空间分布总体表现为自东南向西北地区逐渐减少, 遂宁地区降水量春季减小幅度最大($Z = -1.86$), 夏季上升最为明显($Z = 2.49$), 秋季除武都地区增加($Z = 0.21$), 其余地区均呈减小趋势, 冬季巴中地区降水量上升幅度最大($Z = 1.00$). 研究降水量的变化, 预测和防治流域内旱涝和泥石流等气象灾害的发生, 并在一定程度上预测未来气候变化趋势具有重要的意义.

关键词: Mann-kendall 法; 嘉陵江流域; 降水量; 时空分布

中图分类号: P467

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2018)06-0132-08

降水量的变化直接反映着区域气候的变化特征, 其时空变化的不稳定性是引起旱涝等自然灾害的直接原因, 对社会经济发展有重要的影响. 目前, 国内许多学者们对不同区域、不同时间的降水变化进行了不同程度的分析、讨论, 并对不同流域尺度的降水变化做出重要的研究^[1-11]. 刘勤^[12]等对黄河流域近 50 年气温和降水量气象要素变化特征做了研究, 得出在空间变化上黄河流域年降水量差异显著, 总体上呈现出从上游到中游地区降水量逐渐减少的趋势. 曹玲^[13]等研究了黑河流域降水量时空分布特征, 表明黑河流域各区域降水量在时间变化上呈现出增加趋势. 褚艳婷^[14]等对海河流域近 50a 的降水资料及时空变异进行了研究, 指出海河流域的降水量呈现出由南到北、由沿海到内陆逐渐减少的特性, 且总体上表现为减少的趋势, 但春季降水量略有增加.

近年来, 嘉陵江流域由于旱涝、泥石流、水土流失等自然灾害的异常发生, 严重影响了流域地区的经济发展. 目前, 国内学者对嘉陵江流域降水量变化的研究主要表现在嘉陵江流域降雨量的变化受气候变化的影响程度以及流域水沙的变化受人类活动和降雨量控制的强度, 而运用一种具体的方法多方面地对嘉陵江流域降水量的时空变化特征研究较少^[15-17]. 本文选取嘉陵江流域 11 个气象站点经过处理的 1961—2015 年月降水量数据资料, 以 Mann-kendall 非参数检验方法为主, 对流域降水量的时空特征进行较为详细的分析, 对于了解土壤水、地下水补给和河流流量时空变化及流域水文模拟、水资源规划和管理都有重要的理

① 收稿日期: 2017-09-21

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2011BAC09B01, 2006BAC01A16); 重庆市自然科学基金重点项目(CSTC2009BA0002); 中央高校基本业务费专项资金项目(XDJK2015C006, SWU114058).

作者简介: 符艳红(1993-), 女, 硕士研究生, 主要从事地貌环境与应用地理方向的研究.

通信作者: 谢世友, 教授, 博士研究生导师.

论研究和实际应用价值.

1 研究区概况

嘉陵江流域在长江流域中占有重要地位,其面积为长江流域最大,发源地处于陕西省境内的秦岭山脉,流经陕西、甘肃、四川 3 个省区,在重庆市流入长江.将四川广元昭化镇以上划分为嘉陵江流域的上游,昭化到合川为流域中游,合川至入江口为流域下游.流域夏季高温,雨热同期,主要表现为亚热带湿润季风气候.嘉陵江流域地势呈现出由西、北、东向东南面逐渐降低的特点,有嘉陵江、涪江和渠江三大水系,其干流全长 1 120 km,流域面积约 $16 \times 10^5 \text{ km}^2$.三大水系分别由北向南、由西北向东南、由东北向西南流入,汇合于合川区邻近地区,形成巨大的扇形水系^[18].流域内年降水时空分布特征极不均匀,因此洪涝、干旱成为流域内主要的自然灾害^[19],并且流域内严重的水土流失成为长江上游主要的产沙地区.

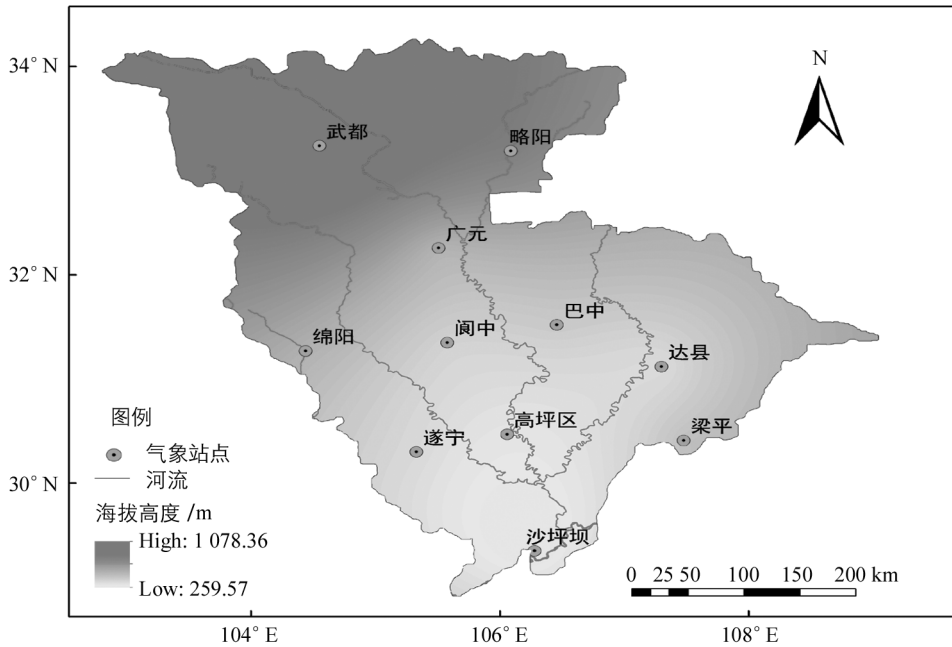


图 1 嘉陵江流域气象站点分布

2 资料与方法

2.1 资料来源与处理

选用嘉陵江流域及其周边建站时间较长的 11 个气象站点(图 1),数据资料来源于中国气象科学数据共享服务网提供的中国地面气候资料月值数据集中的降水量气象要素,数据年份为 1961—2015 年,从统计意义上说,这样长的时间序列对研究区域具有较为可靠的分析结果^[20].

为便于分析,将获得的数据资料处理为年(1—12 月),季节划分冬季为 12—翌年 2 月,春季为 3—5 月,夏季为 6—8 月,秋季为 9—11 月;20 世纪年代划分 60 年代(1961—1970 年),70 年代(1971—1980 年),80 年代(1981—1990 年),90 年代(1991—2000 年),2000 年后(2001—2014 年)^[20];最后求其对应的距平百分率.

2.2 研究方法

Mann-kendall 法作为一种对气温、降水、水文水质各种气象要素时间序列资料的长期变化趋势预测的非参数统计检验方法,变量不一定具有正态分布特征,少数异常值也对其不产生影响,所以能被运用于水文变量、气象要素等非正态分布的趋势分析中,其计算过程简便,检测范围广,干扰度小、定量化程度高^[5,21-22].设 X_1, X_2, \dots, X_n —时间序列变量, n —时间序列的长度,因此统计量 S 被定义为

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{Sgn}(X_i - X_j) \quad (1)$$

其中, $\text{Sgn}()$ 为符号函数.

$$\text{Sgn}(X_i - X_j) = \begin{cases} 1 & X_i - X_j > 0 \\ 0 & X_i - X_j = 0 \\ -1 & X_i - X_j < 0 \end{cases} \quad (2)$$

S 为正态分布, 其均值为 0, 方差

$$\text{Var}(S) = n(n-1)(2n+5)/18$$

M-K 统计量公式 $S > 0$, $S = 0$, $S < 0$ 时 Z 分别为

$$Z = \begin{cases} (S-1)/\sqrt{\text{Var}(S)} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ (S+1)/\sqrt{\text{Var}(S)} & S < 0 \end{cases} \quad (3)$$

据上, 在趋势检验中, 输入置信度水平 α , 若 $|Z| \geq Z_{1-\alpha/2}$, 原假设不成立, 即在置信度水平 α 上, 时间序列数据增加或较大幅度较为明显. 当 $Z > 0$ 时, 表示增加幅度, 当 $Z < 0$ 时, 表示减少幅度. 当 $|Z| \geq 1.28$ 时, 表示通过了 90% 的显著性检验, 当 $|Z| \geq 1.64$ 时, 通过了 95% 的检验, 当 $|Z| \geq 2.32$ 时, 通过 99% 显著性检验.

接着, 运用 Mann-kendall 检验法进行序列突变分析, 其秩序列构造为

$$S_k = \sum_{i=1}^k \sum_{j=i+1}^n a_{ij} \quad k = 2, 3, 4, \dots, n \quad (4)$$

其中,

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & x_i > x_j \\ 0 & x_i < x_j \end{cases} \quad 1 \leq j \leq i$$

统计量的计算公式:

$$U_{Fk} = \frac{|S_k - E(S_k)|}{\sqrt{\text{var}(S_k)}} \quad k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (5)$$

其中, $E(S_k)$ 和 $\text{Var}(S_k)$ 分别为 S_k 均值和方差, 且:

$$E(S_k) = \frac{k(k+1)}{4} \quad \text{Var}(S_k) = \frac{k(k-1)(2k+5)}{72}$$

根据时间序列 x_n, x_{n-1}, \dots, x_1 的逆序排列, 且由上述所述, 使

$$\begin{cases} UB_k = -UF_k \\ k = m+1-k \end{cases} \quad k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (6)$$

然后对 UB_k 和 UF_k 进行曲线绘制, 在置信区间 $|U| \leq 1.96$ 中, 如果两条曲线出现交点, 则这些交点为该序列的突变点, 且输入置信度水平 0.05.

3 降水时间分布规律

3.1 年际降水变化特征

本文通过对嘉陵江流域及其附近 11 个气象站点月降水量数据资料分析, 得出嘉陵江流域近 55 年平均降水量为 977.7 mm, 年降水量在 686.0~1 222.9 mm 之间波动, 1981 年达到最大值, 1997 年出现最小值, 最小降水量约为最大降水量的一半. 受副热带高压本身年代际增强效果, 西南地区降水减少趋势更为显著, 体现为西南地区干旱加剧, 副热带高压势力与西南地区降水的马太效应突出^[23], 因此对流域降水变化也有一定的影响. 如图 2 所示, 嘉陵江流域近 55 年降水量变化波动频繁, 运用 Mann-kendall 检验法得出检验值 Z 为 -0.56, 年降水量整体上呈现出下降的趋势, 且下降趋势不显著, 降水量变化趋势为每 10 年下降 -6.22 mm. 降水量在 1997 年到达一个明显的低谷后又开始增加, 逐步进入平稳期.

而西南地区除川西高原北部年降水量呈现增加趋势外,其他地区年降水量均减少^[24],基本符合西南地区降水量的变化趋势。

如图 3 所示,1961—2015 年期间年降水距平指数有不同程度的负值,通过降水距平百分率的定义可知^[25],降水距平指数为正值表示年降水量偏高于平均降水量,反之,年降水量偏低于平均降水量。图中表明降水偏多和降水偏少交替出现,20 世纪 90 年代年降水减少最明显,70 年代年降水量减少次之,60 年代和 80 年代降水处于丰水阶段。并且根据降水距平百分率干旱等级标准^[25],1997 年、2001 年和 2006 年距平指数分别为 -29.84% 、 -19.16% 、 -22.89% ,其为特旱年份,1969 年、1976 年、1995 年和 1996 年为流域近 55 年的重旱年。

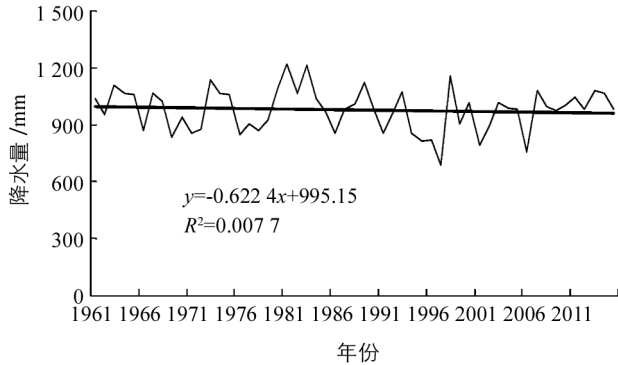


图 2 嘉陵江流域年降水量变化

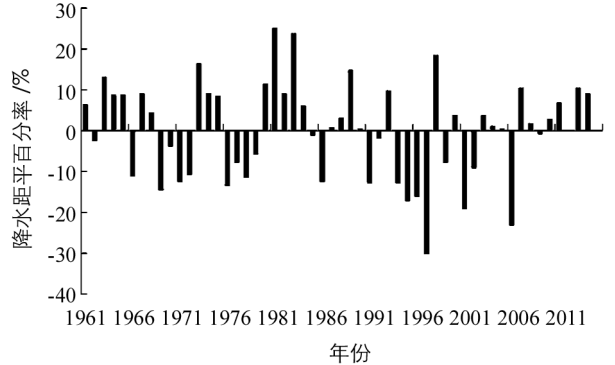


图 3 嘉陵江流域年降水距平百分率

3.2 年内降水变化特征

3.2.1 降水的季节变化特征

由于处于亚热带季风气候区,流域夏季深受来自海洋的暖湿夏季风影响,降水明显增多,从而造成流域内降水季节性变化明显。如表 1 所示,降水量主要集中在夏季,平均降水量为 471.9 mm,约占全年降水量的 48.3%,其次为春季和秋季,降水量均为 214.4 mm,254.1 mm,分别约占全年降水量的 21.9%,26.1%,而冬季降水量仅为 37.4 mm,占全年降水量的 3.8%左右。从降水量下降幅度而言,秋季大于春季,降水量上升幅度,夏季较冬季大。根据 Mann-kendall 趋势检验法得出四季降水量检验值 Z ,流域降水量春季检验值 Z 为 -0.44 ,秋季检验值 Z 为 -1.35 ,可见春、秋季降水量均在减少,而夏季和冬季检验值 Z 都为正值,其变化呈现出增加的趋势,其趋势变化和气候变化与中国水资源中对长江流域分析结论一致^[26]。

表 1 嘉陵江流域各季降水量特征值统计

季节	最大值/mm	最小值/mm	极差/mm	平均值/mm	Z 值/($\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$)
春季	344.8	116.1	228.7	214.4	-0.44
夏季	739.2	247.7	491.5	471.9	1.25
秋季	412.8	135.2	277.6	254.1	-1.35
冬季	60.5	17.9	42.6	37.4	0.23

3.2.2 降水的年代际变化

在全球气候变化大背景下,20 世纪 80 年代以来的中高纬度地区降水量明显增加^[9]。由表 2 得出,流域年代平均降水量较为波动。20 世纪 80 年代降水量最多,高出年平均降水量 64.4 mm,由于 90 年代西太平洋副热带高压的明显增强^[23],90 年代开始,降水量减少明显,且为年代最少,为 913.3 mm。从各季降水量的年代际变化可知,降水量主要集中于夏、秋两季,春季平均降水量呈现出“V”型,其中以 20 世纪 60 年代最多,90 年代降水量最少,且低于年平均降水量 15.2 mm;夏季降水量呈倒“V”型,最多降水量出现在 20 世纪 80 年代,为 548.1 mm,多于年平均降水量 76.2 mm,60 年代降水最少;秋季降水量也呈“V”型,20 世纪 60 年代以来降水量呈现逐渐下降趋势,90 年代达到最低值,为 204.0 mm,到 2000 年后降水量开始

增加; 冬季各年代降水量较稳定, 基本都在 30~40 mm 之间波动, 进入少雨期。

表 2 嘉陵江流域年代平均降水量及季节降水量的年代际变化

年代	春季/mm	夏季/mm	秋季/mm	冬季/mm	年/mm
60 年代	228.9	433.2	296.8	37.3	995.9
70 年代	220.1	440.0	267.8	33.2	962.2
80 年代	210.4	548.1	247.6	39.5	1045.1
90 年代	199.2	469.7	204.0	40.0	913.3
2000 年后	213.7	469.4	254.2	37.2	974.0

3.3 降水突变分析

运用嘉陵江流域 11 个站点近 55 年的降水资料对流域年均降水量进行 M-K 突变检验, 从图 4 中可以看出, 在置信水平 0.05 的基础上, UF 和 UB 两条曲线的交点较多, 分别为 1962 年、1963 年、1965 年、1967 年、1968 年、1980 年、1984 年、2013 年和 2015 年, 所有的交点都在置信区间内, 表明降水存在多个突变点, 震荡剧烈。 UF 和 UB 曲线交点开始交于 1962 年前后, 其中大部分交点出现在 20 世纪 60 年代, 说明在 1962 年突变之后, 降水量呈现出波动式的变化, 到了 1990 年后降水量开始持续下降, 因此对降水量的分布情况有一定的影响。

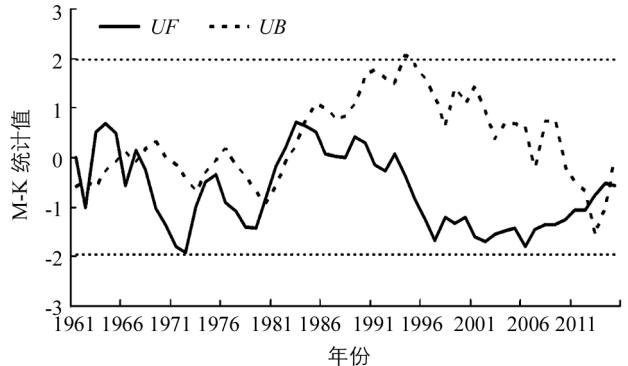


图 4 嘉陵江流域近 55 年降水突变判别曲线

4 降水量空间分布规律

4.1 年降水空间分布特征

嘉陵江流域降水受地势及地形因素的共同影响, 使流域随着海拔高度的增加, 降水量反而减少。流域海拔高差较大, 海拔最高的地区为武都(1 079.1 m), 海拔最低地区为沙坪坝(259.1 m), 且年均降水量最大的地区为梁平(1 260.9 mm), 年均降水量最小地区为武都(464.4 mm), 最大降水量与最小降水量相差 796.5 mm。

图 5 所示, 近 55 年流域降水量在空间分布上总体表现为东南高, 西北低且逐渐减小的态势, 这与段文明等人研究结果一致^[18]。其中沙坪坝、高坪区、巴中沿线以东的地区降水量最大, 年平均降水量在 1 098~1 257 mm 之间, 阆中、遂宁一带地区降水量次之, 略阳、武都及其附近区域降水量最低, 年平均降水量为 465~782 mm, 低于年平均降水量约 200 mm。

运用非参数检验 M-K 法得出各气象站点年降水量变化趋势的 Z 值, 年降水量变化趋势的 Z 值除达县、高坪区、遂宁和沙坪坝为正值之外, 其余站点都为负值, 说明达县、高坪区、

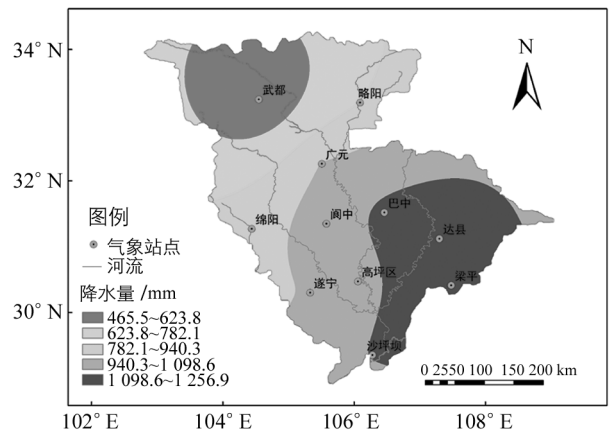


图 5 嘉陵江流域年平均降水量变化空间分布

遂宁和沙坪坝地区年平均降水量呈现增加的趋势, 其他地区降水量均呈下降趋势, 绵阳地区下降最为明显, Z 为 -1.23, 由于其处于山地和丘陵的过渡区, 其复杂的地形地貌、脆弱的生态环境和人类活动的影响, 是造成流域这些地区年平均降水下降幅度最大的原因^[27]。

4.2 季降水空间分布特征

如图 6 所示,嘉陵江流域四季年平均降水量在空间分布上均表现为自东南向西北地区逐渐减少,主要原因是嘉陵江流域东南部与西北部受秦岭、大巴山的影响,令东南部受季风影响大,使得降水量较多,而西北部受季风影响小,降水量较少.春季(图 6-a)、秋季(图 6-c)年均降水量均集中于流域下游,年均降水量约为 290~340 mm;冬季(图 6-d),流域降水量最少,仍呈东南部向西北部逐渐递减的趋势;夏季(图 6-b),中下游地区降水量最为丰沛,为 415~538 mm,上游地区降水量最少,降水在 233~355 mm.因此可以得知,夏季对年降水量的贡献率最大,春、秋次之,冬季最小.夏季降水梯度变化较其他三季明显,主要是由于东南季风为南部丘陵盆地带来西太平洋水汽,造成丰沛的降水,但受秦岭地形阻挡,水汽无法深入西北部,使北部山区降水较少,故区域变化差异明显.

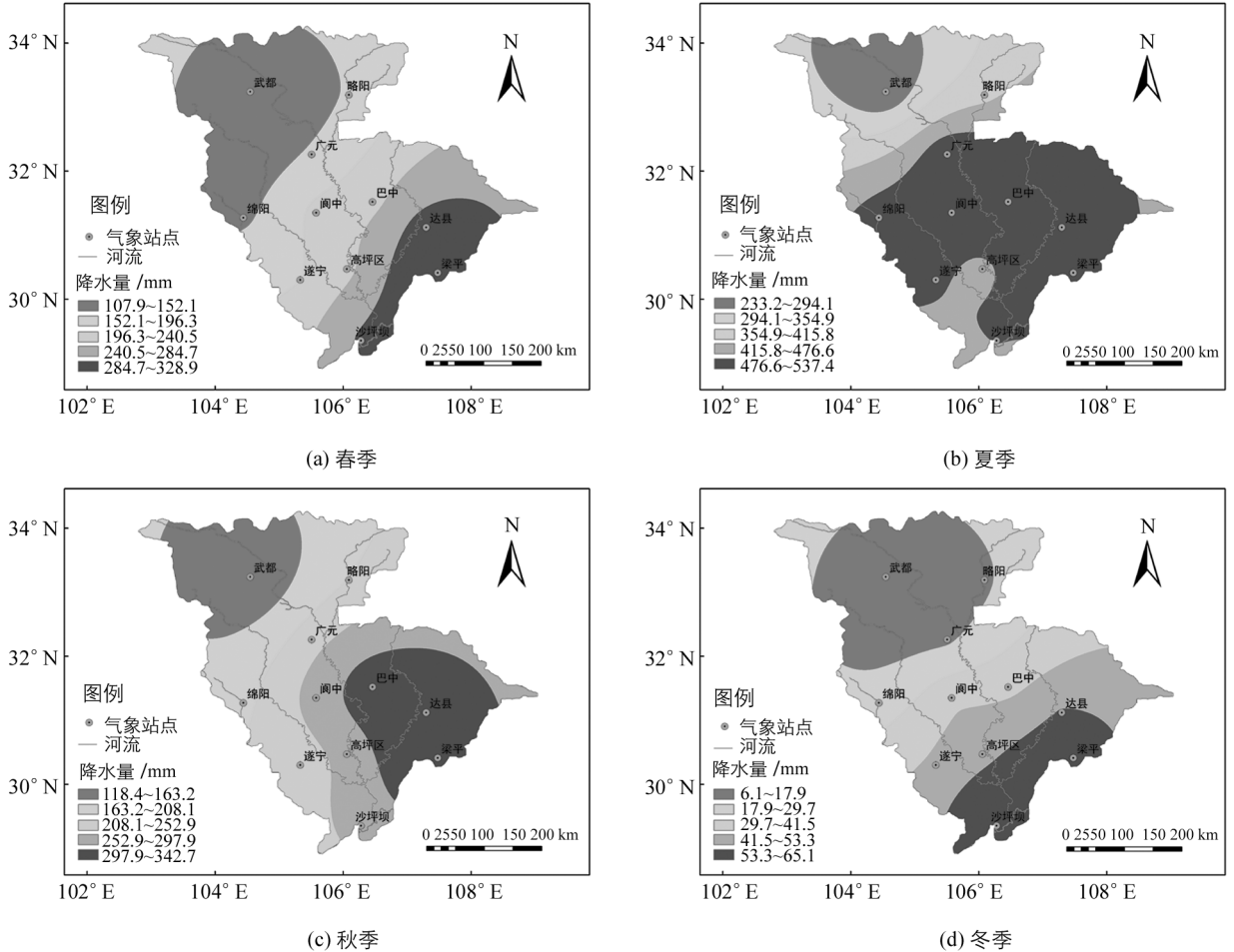


图 6 嘉陵江流域各季年平均降水量变化空间分布

运用非参数检验 Mann-kendall 法得出嘉陵江流域 11 个气象站点的各季年均降水量变化趋势 Z 值. 分析可知:

1) 嘉陵江流域年均降水量在春季趋势 Z 值只有达县、沙坪坝和武都地区为正值, 其他地区都为负值, 表明流域降水量达县、沙坪坝和武都区域呈增加趋势外, 其他地区均呈不同程度的下降, 其中遂宁 ($Z = -1.86$) 下降趋势最为明显, 并通过了 95% 的显著性检验;

2) 夏季流域各区域除梁平、略阳、绵阳和武都地区年均降水量趋势 Z 为负值, 降水量表现为下降的趋势, 其余地区均为正值, 降水量呈现上升的趋势, 其中遂宁年均降水量增加的幅度最为明显, Z 为 2.49, 通过了 99% 的显著性检验;

3) 整个流域秋季降水量呈明显的下降趋势 (Z 为 -1.35). 各地区除武都地区年均降水量为增加趋势, 趋势值 Z 为 0.21, 其他区域年均降水量都表现为下降的趋势, 其中巴中地区年均降水量减少趋势最为明

显, Z 为 -1.87 , 通过了 95% 的显著性检验;

4) 流域降水量冬季与秋季相反, 呈微弱的增加趋势. 巴中、达县、广元、阆中、绵阳及略阳地区降水量增加幅度不明显, 其中巴中 Z 值最大为 1 . 高坪区、梁平、沙坪坝、遂宁和武都地区降水量减小幅度不大, 高坪区减小幅度最大, Z 为 -0.62 .

5 结论与展望

本文主要以非参数 Mann-kendall 统计检验方法分析嘉陵江流域 1961—2015 年近 55 年的降水量时空变化特征, 得出结论主要有:

1) 嘉陵江流域近 55 年年均降水量在 $686.0\sim 1\,222.9$ mm 之间波动, 年降水量变化趋势 Z 为 -0.56 , 整体上呈现出下降的趋势, 90 年代减少最为显著. 降水呈季节性变化, 春季和秋季降水量均为下降趋势, 其中秋季降水量减少更为明显. 受东南季风的影响, 夏季降水量最为集中, 约占全年降水量的 48.3% , 冬季进入少雨期.

2) 嘉陵江流域降水量空间分布不均匀, 自东南向西北地区逐渐减少, 这与海拔、地形等因素有密切的联系, 流域年内降水均集中于下游, 且春、秋两季都为梁平地区降水最多, 武都地区降水最少.

3) 依据 Mann-kendall 检验, 遂宁地区降水在春季减小幅度最明显 ($Z = -1.86$), 夏季上升最显著 ($Z = 2.49$), 而秋季降水变化 Z 除武都地区为正值, 其余均为负值, 表现为下降趋势. 冬季各区域 Z 值有正有负, 变化趋势不明显, 巴中地区上升幅度 ($Z = 1.00$) 较其他地区大.

本文虽对嘉陵江流域近 55 年降水量时空变化特征进行了研究, 但由于数据资料的有限性, 海拔高度、地形地貌、生态环境和人类活动等因素对嘉陵江流域降水量的影响需更进一步分析和讨论.

参考文献:

- [1] 牛存稳, 张利平, 夏 军. 华北地区降水量的小波分析 [J]. 干旱区地理, 2004, 27(1): 66—70.
- [2] 贺 伟, 布仁仓, 熊在平, 等. 1961—2005 年东北地区气温和降水变化趋势 [J]. 生态学报, 2013, 33(2): 0519—0531.
- [3] 晏利斌. 1961—2014 年黄土高原气温和降水变化趋势 [J]. 地球环境学报, 2015, 6(5): 266—282.
- [4] 黄小燕, 李耀辉, 冯建英, 等. 中国西北地区降水量及极端干旱气候变化特征 [J]. 生态学报, 2015, 35(5): 1359—1370.
- [5] 康淑媛, 张 勃, 柳景峰, 等. 基于 Mann-Kendall 法的张掖市降水量的时空分布规律 [J]. 资源科学, 2009, 31(3): 501.
- [6] 董满宇, 吴正方. 近 50 年来吉林省气温和降水变化趋势分析 [J]. 东北师大学报(自然科学版), 2007, 39(3): 114—119.
- [7] 丁 锋, 周顺武. 近 50 年青岛夏季降水变化趋势及其可能原因 [J]. 气象, 2004, 30(5): 3—7.
- [8] 李学勇, 秦大河, 李家洋, 等. 气候变化国家评估报告 [M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [9] 徐宗学, 张 玲, 阮本清. 北京地区降雨量时空分布规律分析 [J]. 干旱区地理, 2006, 4(2): 186—192.
- [10] 赵嘉阳, 文 辉, 全 锋. 基于 EOF 的福建省降水量时空变化特征分析 [J]. 重庆理工大学学报(自然科学版), 2017, 31(2): 73—79.
- [11] 张晓慧, 谢世友, 任 伟. 1951—2014 年重庆市主城区降水变化特征分析—以沙坪坝区为例 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2016, 38(4): 104—109.
- [12] 刘 勤, 严昌荣, 张燕卿, 等. 近 50 年黄河流域气温和降水量变化特征分析 [J]. 中国农业气象, 2012, 33(4): 475—480.
- [13] 曹 玲, 窦永祥. 黑河流域降水的时空特征及预报方法 [J]. 干旱气象, 2005, 23(2): 35—38.
- [14] 褚健婷, 夏 军, 许崇育, 等. 海河流域气象和水文降水资料对比分析及时空变异 [J]. 地理学报, 2009, 64(9): 1083—1092.
- [15] 许炯心. 人类活动和降水变化对嘉陵江流域侵蚀产沙的影响 [J]. 地理科学, 2006, 26(4): 432—437.
- [16] 陈桂亚, CLARKE D. 气候变化对嘉陵江流域水资源量的影响分析 [J]. 长江科学院院报, 2007, 24(4): 14—18.
- [17] 高 鹏, 穆兴民, 王 炜. 长江支流嘉陵江水沙变化趋势及其驱动因素分析 [J]. 水土保持研究, 2010, 17(4): 57—61.
- [18] 段文明, 穆兴民, 高 鹏, 等. 嘉陵江流域近 50 年降水量演变规律分析 [J]. 水土保持研究, 2012, 19(1): 97—101.
- [19] 曾小凡, 叶 磊, 翟建青, 等. 嘉陵江流域极端降水变化及其对水文过程影响的初步探究 [J]. 长江流域资源与环境,

2014, 23(Z1): 159–164.

- [20] 蒋冲, 王飞, 张仁慧. 渭河流域近 52 年日照时数和风速时空变化特征 [J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(5): 228–233.
- [27] 杜华明, 延军平, 杨登兴, 等. 嘉陵江流域降水变化及早涝多时间尺度分析 [J]. 自然资源学报, 2015, 30(5): 836–845.
- [21] 简虹, 骆云中, 谢德体. 基于 Mann-kendall 法和小波分析的降水变化特征研究 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2011, 36(4): 217–222.
- [22] 普发贵. Mann-Kendall 检验法在抚仙湖水质趋势分析中的应用 [J]. 环境科学导刊, 2014, 33(6): 83–86.
- [23] 蒋薇, 张祖强, 刘芸芸. 21 世纪以来西南地区干季降水与西太平洋副热带高压年代际变化的关系 [J]. 气象, 2016, 42(11): 1335–1341.
- [24] 胡浩然, 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.
- [25] 吴建峰, 谭燕, 安佑志, 等. 基于降水距平百分率的重庆市干旱特征分析 [J]. 安徽农学通报, 2016, 22(18): 127–130.
- [26] 任国玉. 气候变化与中国水资源 [M]. 北京: 气象出版社, 2007: 9.

A Mann-Kendall Method-Based Study of the Temporal and Spatial Distribution of Precipitation in the Jialing River Basin

FU Yan-hong¹, XIE Shi-you^{1,2}, GAO Jie¹

1. School of Geography Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Key Laboratory of the Three-Gorges Reservoir Regions Eco-Environment of the Ministry of Education, Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract: In order to provide some theoretical foundation for water resource detection and evaluation and for meteorological disaster prediction and prevention, the monthly precipitation data of 1961–2015 from 11 meteorological stations in the Jialing River Basin were selected and the Mann-Kendall nonparametric test method was used to analyze the temporal and spatial distribution of precipitation in this area. The results showed that the annual mean precipitation in the Jialing River Basin was 977.7 mm in the past 55 years (1961–2015), and it exhibited a decreasing trend ($Z = -0.56$). And there were multiple mutation points in precipitation. The precipitation in summer and winter showed a moderate upward trend, and the precipitation was mainly concentrated in summer, accounting for 48.3% of the annual precipitation; and the precipitation in spring and autumn showed a downward trend, being the most significant in autumn ($Z = -1.35$). The spatial distribution of the annual precipitation in the Jialing River Basin was uneven, increasing gradually from the southeast to the northwest. In Suining, the precipitation showed a decreasing trend in spring ($Z = -1.86$) and a significant rising trend in summer ($Z = 0.249$). In autumn, the precipitation in all areas showed a decreasing trend except in Wudu, where autumn precipitation increased ($Z = 0.21$). In winter, the precipitation in Bazhong area showed the greatest increase ($Z = 1.00$).

Key words: Mann-Kendall method; the Jialing river basin; precipitation; temporal and spatial distribution

