

砚瓦川流域 1981 - 2012 年降水特性及趋势分析

燕明达¹, 宋孝玉¹, 李怀有²

(1. 西安理工大学 陕西省西北旱区生态水利工程重点实验室, 陕西 西安 710048;

2. 黄委会西峰水土保持科学试验站, 甘肃 西峰 745000)

摘要: 我国西北地区流域降水特性及趋势对当地雨养农业及水土流失有重要的影响。选用 1981 - 2012 年马莲河砚瓦川流域的降水量资料, 以集中度、变差系数、逐年距平、M - K 非参数统计检验以及滑动 t 检验等方法分析了降水年内、年际、突变变化特征。结果表明: 砚瓦川流域降水量年内分配不均, 集中度较高, 降水多分布在 7、8 月; 年际变化较小, 流域多年平均降水量为 523.0mm, 变差系数约为 0.2。M - K 非参数统计检验表明, 整体变化趋势并不明显, 与距平和变差系数分析的结果一致; 滑动 t 检验和 M - K 检验的结果显示年降雨量序列没有出现突变值。

关键词: 降水量变化; 集中度; 逐年距平; M - K 突变点检验; 滑动 t 检验

中图分类号: TV121.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2014)03-0116-04

Analysis of rainfall characteristics and its tendency in Yanwachuan basin from 1981 to 2012

YAN Mingda¹, SONG Xiaoyu¹, LI Huaiyou²

(1. State Key Laboratory of Eco-Hydraulic Engineering in Shaanxi, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China;

2. Xifeng Experiment Station of Soil and Water Conservation, Yellow River Conservancy Committee, Xifeng 745000, China)

Abstract: The characteristics and its tendency of rainfall in Northwest of China play an important role in rain-fed agriculture and soil and water erosion. The paper chose the data of rainfall in Yanwachuan basin from 1981 to 2012 and used concentration ratio, variation coefficient, anomaly, M - K non-parametric statistical test and moving t-test technique to analyze the intra annual variation, annual variation and mutation change of rainfall. The result showed that the distribution of monthly precipitation is not even. The concentration ratio is high and precipitation occurred mostly in July and August; the annual variation is small, the average precipitation of long year is 523 mm, variation coefficient of precipitation is about 0.2. M - K mutation test showed that the trend of precipitation change is not obvious and the result is in accordance with that of the analysis of anomaly and variation coefficient. The result of moving t-test technique and M - K test showed that annual precipitation series has no abrupt change point.

Key words: precipitation variation; concentration ratio; anomaly; M - K mutation test; moving t-test

大气降水是陆地水资源的主要补给来源, 地表水资源总量与降水量大小成正相关^[1]。在我国西北地区, 降水量的变化对当地农业以及黄土区的植被覆盖有重要的影响。刘扬等^[2]对近 50 年我国北方地区的降水进行分析, 发现在近几年, 北方东部区、中部区、青海区的降水增加, 而干旱区的降水下降。赵传成等^[3]指出在我国西北地区, 近 50 年来的

气温呈上升趋势, 降水和地表湿润指数为线性减少趋势, 总体趋势为暖干化。但是不同地区、不同尺度上的降水变化受不同的气候条件特征因子的影响^[4-5], 我国北方整体的降水变化特征不能代表具体流域的降水变化趋势, 中小流域的水土保持工作和农业生产受区域内降水的影响要远大于总体的降水影响。

收稿日期: 2013-12-03; 修回日期: 2014-01-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(51239009、41171034); 陕西省自然科学基金项目(2013JZ012)

作者简介: 燕明达(1990-), 男, 湖北恩施人, 硕士研究生, 主要从事水文学及农业水资源方向的研究。

通讯作者: 宋孝玉(1971-), 男, 陕西安康人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事水文学及农业水资源方向的研究。

本文研究的砚瓦川流域,位于甘肃省境内,属于典型的黄土高原沟壑区,地形破碎,沟壑纵横,是我国水土流失最严重的地区之一^[6]。砚瓦川流域的农业生产主要依靠自然降水,属于雨养农业区^[7],降水直接影响该区域土壤水分的变化,进而影响流域内农业生产^[8]。同时降水也是影响黄土高原地区产流产沙的主要因素之一,因此降水量的变化情况对砚瓦川流域的水土保持生态工程建设也有指导意义。

1 研究区概况与资料来源

砚瓦川流域位于甘肃省庆阳市西峰区、宁县境内,系泾河二级支流,位于东经 107°34'34"~107°51'57",北纬 35°32'50"~35°42'33"之间,流域面积 366.95 km²,水土流失面积 345.97 km²,占流域面积的 94.28%,塬面面积 138.55 km²,占流域面积的 37.75%,坡面面积 155.21 km²,占流域面积的 42.3%,沟壑面积 73.19 km²,占流域面积的 19.95%。涉及西峰区、宁县的 8 个乡镇,是典型的黄土高原沟壑区,也是国家和省级水土流失重点治理区。

本文所选资料来源于砚瓦川流域的实测资料,资料时段为 1981-2012 年。考虑到资料的可用性以及系列长度,综合流域降水资料的实际情况和雨量站的分布情况,选取了砚瓦川流域内分布均匀、系列连续的 8 个雨量站,通过算术平均法计算出流域的平均降水量。在降水量年内变化规律分析时,利用 1981-2012 年实测逐月降水量数据以及汛期(5-9 月)的降水量进行分析。鉴于资料时段较短,代表性不足,特选定与砚瓦川流域相邻的南小河口流域的降水分析成果进行佐证。南小河口流域同样位于甘肃省庆阳市境内,能较好的佐证砚瓦川流域 1981-2012 年的降雨资料代表性。

2 研究方法

2.1 降水量年内变化规律研究

降水事件的年内变化特征可以用集中度和集中期来表示^[9],集中度和集中期是用逐月降水量来反映年内降水量集中程度和最大降水出现时段的重要指标。该方法将一年内的降水量作为向量来进行分析,一年 12 个月看作一个圆周 360°,1-12 月的方位角 θ_i 分别为 0°,30°,60°,⋯,330°,即向量的方向;每月降水量的大小为向量的长度,从 1-12 月累加各向量,其新向量的大小表示各分向量之和。新向量的方向即为总效应的方向。计算公式为:

$$N_x = \sum_{i=1}^{12} n_i \sin \theta_i \quad (1)$$

$$N_y = \sum_{i=1}^{12} n_i \cos \theta_i \quad (2)$$

$$N = \sqrt{N_x^2 + N_y^2} \quad (3)$$

$$ECD = N / \sum_{i=1}^{12} n_i \quad (4)$$

$$ECP = \arctan(N_x / N_y) \quad (5)$$

式中: n_i, θ_i 分别为月降水向量的大小和方向; N_x, N_y 分别为 X、Y 方向合成向量以及总向量; ECD 和 ECP 分别为集中度和集中期。

2.2 降水量年际变化规律研究

年降水量变差系数 C_V 是反映降水量年际变化特征的重要参数^[10],变差系数常用来描述各种水文气象变量的离散程度。 C_V 值越大,表明年降水量的年际变化越大; C_V 值越小,表明年降水量的年际变化越平缓。其计算公式如下:

$$C_V = \frac{\sigma}{E(X)} \quad (6)$$

式中: σ 为标准差; $E(X)$ 为样本的数学期望。二者都可以通过 Excel 进行计算,最终求得年降水量变差系数。

年降水量距平是每年年降水量与多年平均年降水量的偏差,有正距平和负距平之分^[11],其计算公式为:

$$\Delta x_i = x_i - \bar{X} \quad (7)$$

式中: Δx_i 为某年降水量距平值,mm; x_i 为第 i 年年平均降水量,mm; \bar{X} 为多年平均年降水量,mm。

2.3 降水量突变分析

Mann-Kendall 法是一种非参数统计检验方法,是由世界气象组织推荐的应用于环境数据时间序列趋势分析的方法,现已广泛应用于气温、降水等序列^[12-13]的研究。其基本原理如下:对于一个具有 n 个样本量的时间序列,构造一秩序列:

$$s_k = \sum_{i=1}^k r_i, k = 2, 3, 4, \dots, n \quad (8)$$

其中,当 $1 \leq j \leq i, x_i > x_j$ 时, $r_i = 1$, 否则 $r_i = 0$ 。

可见,秩序列 s_k 是第 i 时刻数值大于 j 时刻数值个数的累积数。

在时间序列随机独立的假定下,定义统计量:

$$UF_k = \frac{[s_k - E(s_k)]}{\sqrt{\text{Var}(s_k)}}, k = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

式中: $E(s_k), \text{Var}(s_k)$ 分别为累积数的均值和方差,它们可由下式计算:

$$\begin{cases} E(s_k) = \frac{n(n+1)}{4} \\ \text{Var}(s_k) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72} \end{cases} \quad (10)$$

UF_i 为标准正态分布,它是按时间序列 x 顺序计算出的统计量序列。给定显著性水平 α ,若 $|UF_i| > U_\alpha$,则表明序列存在明显的趋势变化。按照时间序列 x 的逆序,再重复上述过程,同时使 $UB_k = -UF_k$,绘制 UF_k 、 UB_k 的曲线,超过临界线的范围确定为出现突变的时间区域。若两条曲线相交且两者的交点在临界线之间,那么交点对应的时刻便是突变开始的时刻^[14]。对于显著水平 $\alpha = 0.05$,其临界检验值为 ± 1.96 。

由于 Mann-Kendall 法的局限性,不是所有的交点均为突变点,故使用滑动 t 检验进行验证。滑动 t 检验是通过考察两组样本平均值的差异是否显著来检验突变。其基本思想是把一气候序列中两段子序列均值有无显著差异看作来自两个总体均值有无显著差异的问题来检验。如果两段子序列的均值差异超过了一定的显著性水平,可以认为均值发生了质变,有突变发生。

3 结果与讨论

3.1 降水量年内变化规律

选取 1981-2012 年硯瓦川流域内区域代表性较好的 8 个测站的逐月降水量资料,利用算术平均法求出流域平均逐月降水量,利用公式(1)~(5)计算了不同时段的中度和集中期,见表 1。

表 1 流域不同时段降水量集中度、集中期计算

时段	集中度	集中期
1981-1989	0.58	186°
1990-1999	0.56	183°
2000-2012	0.57	198°
1981-2012	0.57	191°

通过表 1 可以看出流域多年降水的集中期为 191°,降水量较大时段主要发生在 7 月,最大降水出现在 7 月 10 日左右;集中度较大,达到了 0.57,年内降水分布较为不均。通过不同时段的对比分析,降水集中度的变化幅度很小,在 20 世纪 80 年代为 0.58,90 年代为 0.56,从 2000 年至今集中度为 0.57。集中期变化较大,20 世纪 80 年代和 90 年代的降水多集中在 7 月上旬,集中期分别为 186°和 183°;2000 年以后,降水多集中在 7 月中旬,集中期达到了 198°。

根据逐月降水量资料,可以求出汛期(5-9 月)的降水量占年降水量的比值,由此来分析降水量的年内变化情况,见表 2。

表 2 汛期雨量占全年降水百分比

时段	mm, %		
	年平均 降水量	汛期 降雨量	汛期雨量 占全年百分比
1981-1989	529.4	429.5	81.1
1990-1999	492.0	369.4	75.1
2000-2012	541.7	428.0	79.0
1981-2012	523.0	412.8	78.9

由表 2 分析,1981-2012 年汛期平均降雨量为 412.8 mm,年平均降水量为 523.0 mm,汛期雨量占年降水量比值达到了 78.9%。20 世纪 80 年代汛期雨量占全年降水比例最大,达到了 81.1%;在 20 世纪 90 年代,年降水量有所下降,多年平均降水量为 492.0 mm,汛期雨量所占比例也为最小,但是百分比依然达到了 75.1%;2000 年至今,汛期雨量占全年降水比例较 20 世纪 90 年代有所增加,但仍低于 20 世纪 80 年代,所占百分比为 79.0%,以上数据分析证明流域降水量年内分配十分不均匀。而蒋俊^[15]在分析南小河沟 1989-2004 年降水特性时指出南小河沟流域年降水量为 519.8 mm,降水集中在 5-10 月份,占全年降水的 82.5%。与硯瓦川流域降水特性相似。

3.2 降水量年际变化规律

3.2.1 变差系数 根据 1981-2012 年硯瓦川流域年平均降水量,利用公式(6)计算得出降水量系列的变差系数,见表 3。

表 3 年降水量变差系数

时段	年降水量变差系数		
	年平均 降水量	年降水量 变差系数 C_V	汛期雨量变 差系数 C_V
1981-1989	529.4	0.23	0.27
1990-1999	492.0	0.22	0.29
2000-2012	541.7	0.18	0.17
1981-2012	523.0	0.20	0.24

由表 3 可知,硯瓦川流域 1981-2012 年年降水量序列的变差系数为 0.20。这说明在这段时间内,硯瓦川流域的年降水量年际变化不大。通过对不同年代的年降水以及汛期雨量的变差系数分析还可以发现,年降水量变差系数呈逐年降低趋势,这说明降水量的年际变化幅度越来越小;汛期雨量的变差系数要稍高于年降水量变差系数,说明汛期降雨的变化幅度要大于全年降水的变化幅度。

3.2.2 年降水量距平 根据 1981 - 2012 年年降水量序列,利用公式(7)可做出年降水量距平图以及距平趋势线,见图 1。

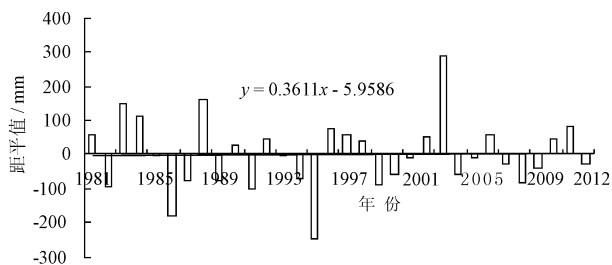


图 1 年降水量距平图

由图 1 可以看出,在 1981 - 2012 年期间,正距平最大出现在 2003 年,负距平最大则出现在 1995 年,无明显的极大值和极小值出现。由线性趋势分析得到,其趋势线几乎为一条水平直线,其线性拟合方程为 $y = 0.3611x - 5.9586$,年降水总体呈上升趋势,且变化幅度很小。而在南小河沟流域 1989 - 2004 年,其年降水量总体上也呈上升趋势。

3.3 年降水量变化趋势及突变分析

利用 M - K 非参数统计检验方法对 1981 - 2012 年的流域年降水量进行了突变分析,见图 2。

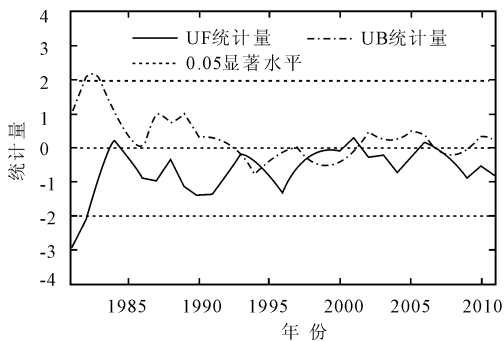


图 2 硯瓦川流域年降水量突变分析

由图 2 分析,1981 - 2012 年硯瓦川流域降水量的正序列曲线 UF 仅在 1981 - 1984 年超过 0.05 显著性水平的信度线,其他时间均在信度线以内,证明年降水变化趋势不明显,与距平分析结果一致。正序列曲线 UF 与反序列曲线 UB 有 5 个交点,因此得硯瓦川流域降水量变化可能存在的突变点为 1993、1994、1998、2001 以及 2007 年,对可能的突变点进行滑动 t 检验,取子序列长度为 3a。由滑动 t 检验的结果可知,在研究时段内硯瓦川流域年降水量没有检验出突变点。图 3 为设定子序列为 3a 时,序列滑动 t 检验的结果。结果显示,在整个研究时段内,统计序列值都没有超过 $\alpha = 0.01$ 显著性水平,证明

在时段内没有出现突变点。

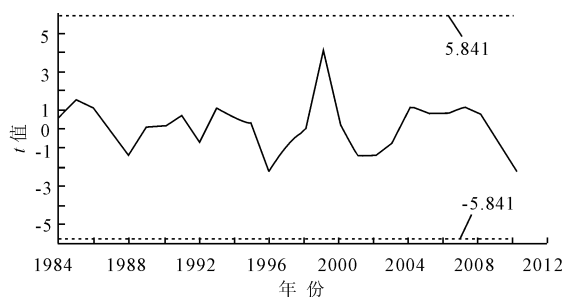


图 3 1981 - 2012 年硯瓦川流域年降水量滑动 t 检验

4 结 语

通过对硯瓦川流域 1981 - 2012 年降水量的分析,可以得出以下几点认识:

(1) 在 1981 - 2012 年期间,硯瓦川流域的年内降水量分布的不均匀性较大,降水主要集中在 7、8 月,最大降水量出现在 7 月中上旬,汛期降雨量占全年的近 80%,这与相邻的南小河沟流域降水量年内分配趋势一致^[15],符合客观规律。

(2) 硯瓦川流域降水量的年际变化呈上升趋势,由年降水量距平值以及其线性趋势可以发现流域降水量的年际变化较小,根据年降水量序列的变差系数可以看出,硯瓦川流域年降水量的上升趋势不明显。

(3) 由 M - K 非参数统计检验方法以及滑动 t 检验法对硯瓦川流域年平均降水量进行的突变分析,结果表明该降水量序列 UF、UB 曲线有多处相交;但滑动 t 检验的结果显示该流域年降水量没有突变点。而 M - K 检验的 UF 和 UB 曲线,没有通过 95% 的置信区间,证明年降雨量的变化趋势较小,与之前利用距平值以及变差系数分析的结果一致。

硯瓦川流域是国家水土流失重点治理区,在流域上中游为雨水径流资源综合利用保塬固沟区,中下游则为庭院径流集蓄利用塬坡兼治区,水土保持建设的不同分区以及建设都离不开对降水特性的分析。其对流域内雨水利用、拦蓄工程 etc 水保措施有重要的指导意义。流域内汛期降水量占全年的近 80%,最大降水主要集中在 7、8 月份,这就要求在这两个月要尤其注意强降雨引发的洪水以及水土流失问题。此外硯瓦川流域的降水趋势呈现上升趋势,但上升幅度非常小,多年平均降水量为 523 mm,如何将汛期多余的降雨储存在土壤中供植物在旱季生长利用也是今后研究的一个重要课题。

参考文献:

- [1] 王俊光,梁冰.降雨要素对黄土边坡渗流及稳定性的影响[J].水资源与水工程学报,2010,21(1):42-45.
- [2] 李家春,田伟平,马保成,等.黄土地区公路边坡降雨灾害预测预警方法研究[J].中国地质灾害与防治学报,2009,20(4):27-30.
- [3] 周玉才,雷万荣,余广文,等.江西省地质灾害-气象预警预报系统研究[J].中国地质灾害与防治学报,2008,19(2):67-70+75.
- [4] 谢洪波,尹振羽,钱壮志.降雨型突发性地质灾害县级气象预警研究——以云南新平县为例[J].安全与环境学报,2008,8(2):72-75.
- [5] 陈记.降雨渗流情况下岩体边坡稳定性分析[J].交通标准化.2010,21(3):183-186.
- [6] 郭月芹.黄土区公路边坡防护植物适应性研究[D].西安:长安大学,2004.
- [7] 李凌姜.黄土公路边坡柔性防护技术试验研究[D].西安:长安大学,2009.
- [8] 李家春.公路边坡降雨灾害评价方法与指标研究[D].西安:长安大学,2005.
- [9] 王万中,张宪奎.中国降雨侵蚀力R值的计算与分布[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1996,2(1):29-39.
- [10] 王福恒,李家春,田伟平.黄土边坡降雨入渗规律试验[J].长安大学学报(自然科学版),2009,29(4):20-24.
- [11] 张莹莹,田国行,杨晓明,等.高速公路边坡降雨侵蚀特征分析[J].中外公路,2010,30(1):78-81.
- [12] 李家春,董卫卫.公路排水系统及对降雨侵蚀链的控制作用[J].公路,2008,(12):13-17.

(上接第119页)

参考文献:

- [1] 黄嘉佑,张贻.黄河流域旱涝与水资源分析[J].大气科学,1996,20(6):673-678.
- [2] 刘扬,韦志刚.近50年中国北方不同地区降水周期趋势的比较分析[J].地球科学进展,2012,27(3):337-346.
- [3] 赵传成,王雁,丁永建,等.西北地区近50年气温及降水的时空变化[J].高原气象,2011,30(2):385-390.
- [4] 钱维宏,刘大庆.中国北方百年四季降水趋势与海平面气压形势[J].地理学报,2003,58(z1):49-60.
- [5] 苗娟,林振山.我国九大气候区降水特性及其物理成因的研究II——我国各区降水与环流因子的关系[J].热带气象学报,2004,20(1):64-72.
- [6] 何福红,黄明斌,党廷辉.黄土高原沟壑区小流域综合治理的生态水文效应[J].水土保持研究,2003,10(2):33-37.
- [7] 高蓉,陈少勇,董安祥,等.西北地区东部耕作层土壤湿度近22年变化分析[J].干旱地区农业研究,2008,26(6):186-190+195.
- [8] 陆登荣,黄斌,王劲松.甘肃河东雨养农业区旬降水变化及其与土壤湿度关系[J].干旱地区农业研究,2011,29(2):230-235.
- [9] 王小军,贺瑞敏,尚曼廷.榆林市降水时空变化规律研究[J].干旱区资源与环境,2011,25(5):103-108.
- [10] 黄振平.水文统计学[M].南京:河海大学出版社,2003.
- [11] 张艳梅,陈海涛,黄太林,等.近50年六盘水市雨季降水特征分析[J].安徽农业科学,2011,39(15):9072+9114.
- [12] 陈操操,谢高地,甄霖.泾河流域降雨量变化特征分析[J].资源科学,2007,29(2):172-177.
- [13] 卢爱刚,王瑛.延安市近60年气温与降水趋势突变分析[J].干旱区资源与环境,2012,26(1):60-62.
- [14] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:气象出版社,2007.
- [15] 蒋俊,宋孝玉,李怀有.南小河流域降水特性及趋势分析[J].水资源与水工程学报,2007,18(4):23-26.