

平凉市纸坊沟小流域近 50 年径流对降水的响应分析

段义字, 白小丽

(平凉市水土保持科学研究所, 甘肃 平凉 744000)

摘 要:根据纸坊沟小流域 1955—2002 年降水、径流观测资料,采用时间序列分析法和统计回归分析法对降雨及径流的响应情况进行了分析,结果表明:降水量在年内分配不均,凸显单一峰值;降水在年际上呈平水年—干旱年—平水年(较丰水年)周期性变化;流域月径流变化基本与月降水量变化趋势相吻合,在同一周期中径流量峰值推后于降水量峰值一个时段,流域径流年变化幅度很大;径流深在季节分配上也有很大差异,主要集中在夏、秋季,占年总值的 86.2%,而春、冬季仅占 13.8%;径流距平值变化无论是季节上还是月度上均呈下降趋势;当年降水量增加或减小 10%,20%,30%时,年径流深表现出分别增加或减少 23.29%,46.59%,69.88%的正响应;随着时间的推移和流域治理程度的提高,流域径流量和径流深相应减小,径流深总体呈下降趋势。

关键词:纸坊沟小流域;降水;径流;响应

中图分类号:P333.3;P333.5;P458.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2013)03-0135-04

Response of Runoff to Precipitation in Zhifanggou Small Watershed of Pingliang City in Recent 50 Years

DUAN Yi-zi, BAI Xiao-li

(Research Institute of Soil and Water Conservation of Pingliang City, Pingliang, Gansu 744000, China)

Abstract: In accordance with the observation information of annual precipitation and runoff during 1955—2002 in the Zhifanggou small watershed, the response of runoff to rainfall was analyzed by the ways of time series analysis and statistical regression analysis. The results indicate that: ① distribution of precipitation is uneven during a year, highlighting the single peak value; ② precipitation in inter-annual-year shows as cyclical changes as flat water years-years of drought-flat water years compared with wet years; ③ monthly runoff change is basically consistent with the monthly change trend of precipitation, the peak value of runoff emerges more later in a short period than the maximum precipitation in the same cycle period and runoff varies widely in years; ④ runoff depth on the seasonal distribution is quite different, mainly concentrating in summer and autumn, accounting for 86.2% of the annual total value, only 13.8% of that in spring and winter; ⑤ average values of runoff show a downward trend whether seasonal or monthly; ⑥ when annual precipitation increases or reduces by 10% or 20% or 30%, annual runoff depth shows positive response of increasing or a decreasing by 23.29%, 46.59%, 69.88%, respectively; ⑦ with the passage of time and the improvement in the level of watershed management, watershed runoff and runoff depth are going to reduce accordingly and runoff depth shows a downward trend overall as well.

Key words: Zhifanggou small watershed; precipitation; runoff; response

降水量多少及其季节分布、极端程度与频率等是一个地区气候特征的重要体现,同时,降雨也是导致径流变化的最主要因素之一,径流的年内变化直接与河川洪涝灾害相关联^[1]。目前,国内已有许多有关气候与径流变化关系的研究,在研究降水量变化的同

时,着重对径流量年内变化进行分析^[2-4]。本文以黄土高原沟壑区纸坊沟小流域 1955—2002 年逐月降水量和径流量为基础^[5-6],对该流域降雨量变化趋势及其对径流的响应、径流变化趋势进行分析,同时,对该时段流域治理程度与流域径流量变化相关性进行分

析,旨在探讨近 50 a 该小流域降水变化及其对径流的响应规律。

1 研究区概况

1.1 自然概况

纸坊沟小流域位于泾河上游右岸的平凉市城南,为渭河一级支流泾河一级支沟。地处北纬 $35^{\circ}26' - 35^{\circ}33'$ 、东经 $106^{\circ}37' - 106^{\circ}39'$,面积 21.87 km^2 ,海拔 $1\,365 \sim 2\,104.8\text{ m}$,相对高差 739.8 m 。流域属半干旱大陆性季风气候区,地貌类型属黄土残塬沟壑区,土壤主要为黑垆土、草甸土、红黏土、黄绵土、新积土五类。多年平均日照时数 $2\,424.8\text{ h}$,多年平均气温 8.6°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 $2\,800^{\circ}\text{C}$,绝对最高气温 37.6°C ,最低气温 -27.5°C ;多年平均降水量 553.9 mm ,主汛期(7—9 月份)多年平均降水量 323.9 mm ,占全年降水总量的 59.03% ,多年平均蒸发量 $1\,512.1\text{ mm}$,无霜期 171 d ,最大冻土深 100 cm 。

1.2 雨量及径流测试站点情况

纸坊沟流域自 1955 年建立水土保持试验示范基地以来,先后设立了纸坊沟水库入库水文站和出库水文站、八里庙水库出库水文站等 5 个水文气象观测站和 5 个雨量观测点。其中纸坊沟水文站是纸坊沟水库 1955 年 6 月建成时设立的,是融气象和水文观测为一体的坝后小型观测站,主要进行降水、蒸发、径流、洪水、泥沙的观测,控制流域面积 18.03 km^2 ;降水采用自记雨量计观测,径流主要通过观测测渠水位或流速测算流量,其中 1955—1986 年采用水面浮标法和流速仪法测算,1987 年以后采用水位流量法测算。

1.3 流域治理情况

流域自 1955 年以来开展了梯田建设、造林、修建治沟工程、种草及沟头防护、土谷坊、道路燕翅坑等小型拦蓄工程,至 1960 年代修筑水平梯田 115.8 hm^2 ,建设淤地坝 1 座;治理期末的 2004 年底,流域梯条田面积为 718.8 hm^2 ,占总耕地面积的 79.4% ,沟坝地面积为 56.28 hm^2 ,占总耕地面积的 6.2% ;林地面积 280.6 hm^2 ,草地 175.1 hm^2 。

2 资料来源及研究方法

根据甘肃省平凉市水土保持科学研究所 1955—2002 年黄河中游泾河纸坊沟流域水土保持径流泥沙整编成果及水文资料,采用时间序列分析法和统计回归分析法对该流域近 50 a 降水量、径流深的年内分配及年际变化趋势进行分析,通过建立年径流深与年降水量的回归关系方程,定量分析径流深年内、年际变化对降雨的响应。

3 结果与分析

3.1 降水量变化特征分析

(1) 降水年内变化。对流域 1955—2002 年月降水量的统计分析(图 1)显示,流域多年平均年降水量为 553.9 mm ,绝大部分分布在 4—10 月份,降水量 507.4 mm ,占全年降水量的 92.6% 。多年平均主汛期(7—9 月份)降水量为 323.9 mm ,占全年降水量的 59.03% ,其中 7 月份降水量占全年的 22% ,占汛期降水量的 37.2% ,降水年内分配不均,凸显单一峰值^[5]。在典型年份中,主汛期降水量最大的是 1966 年,降水量达 544 mm ,占全年降水量的 78.84% ,最小为 1971 年,主汛期降水量仅为 123.1 mm ,占全年降水量的 37.08% ,其中丰水年与干旱年相差近 2 倍^[6],均方差达 120.3 ,平均离差系数为 0.22 ,偏态系数为 0.36 。

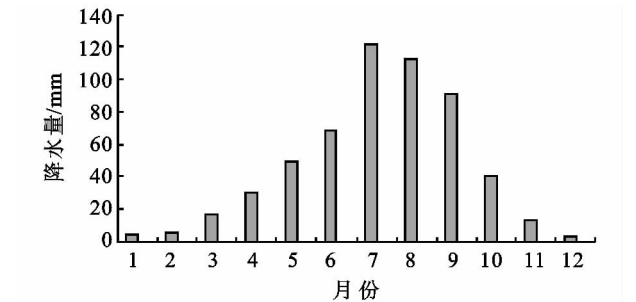


图 1 纸坊沟小流域 1955—2002 年各月平均降水量变化特征

从降水量季节变化情况来看(图 2),春季(3—5 月份)为 96 mm ,占年降水量的 17.33% ,夏季(6—8 月份)为 301 mm ,占年降水量的 54.33% ,秋季(9—11 月份)为 143.4 mm ,占年降水量的 25.89% ,冬季(12 月份至次年 2 月份)为 13 mm ,占年降水量的 2.35% 。夏秋季降水量达 444.4 mm ,占全年降水量的 80.22% ,而春、冬季降水量仅占全年降水量的 19.78% ,反映了纸坊沟小流域所在地区的季风气候特点。

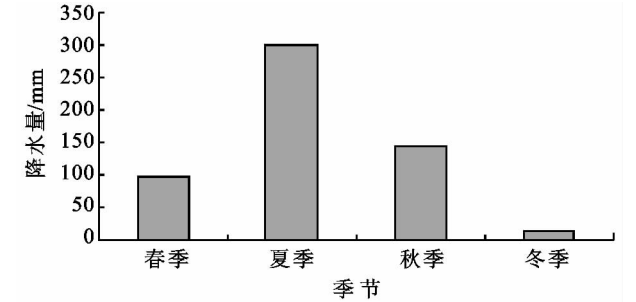


图 2 纸坊沟小流域 1955—2002 年各季节平均降水量变化特征

(2) 降水年际变化。通过对 1955—2002 年降水资料的分析可知,流域降水总体呈平水年—干旱年—平水年(较丰水年)周期性变化,1959 年、1961 年、1967 年和 1974 年降水量分别为 $569.1, 743.5, 619.3$,

503.3 mm,年降水量均超过了 500 mm,1960 年、1969 年、1971 年的降水量均小于 490 mm。从年降水量过程可以看出,流域降水量的年际变化 11 a 为一个周期,4 a 为一个小周期,连续出现干旱年周期为 8 a 左右,连续出现丰水年的周期亦为 8 a 左右,且由图 3 可以看出,流域降水总体呈减小趋势^[7]。

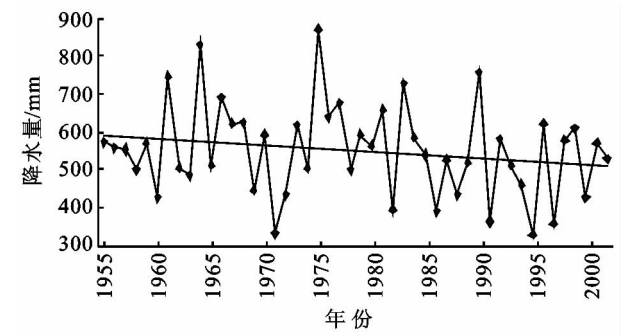


图 3 纸坊沟小流域 1955—2002 年年降水量变化趋势

3.2 径流深变化分析

(1) 径流深年内变化。通过对纸坊沟小流域 1955—2002 年径流资料进行分析(图 4)可知,该小流域多年平均径流深为 44.9 mm,径流深年内各月分布极不均匀,略呈单峰型^[8],7—10 月径流深为 35.3 mm,占多年平均值的 78.45%,各月平均径流深值以 9 月份为最大,其次为 7 月份,1 月份最小,仅为 0.1 mm。同时,由图 5 可以看出,径流深在季节分配上也有很大差异,其中春、夏、秋、冬分别为 4.9、20.8、17.9、1.3 mm,分别占年径流深的 10.9%、46.3%、39.9%、2.9%。由此可知,径流深主要集中在夏秋季,占年总值的 86.2%,而春夏季仅占 13.8%,这就是该区夏秋季沟道、河流发生洪涝灾害的主要原因。

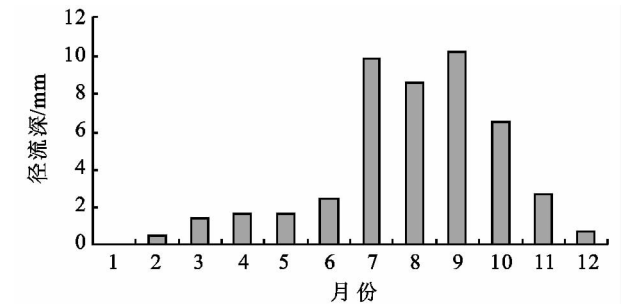


图 4 纸坊沟小流域 1955—2002 年各月平均径流深变化特征

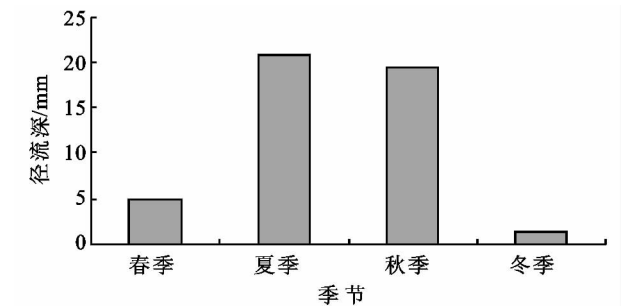


图 5 纸坊沟小流域 1955—2002 年各季节平均径流深变化特征

(2) 径流深年际变化。由图 6 可以看出,纸坊沟小流域 1955—2002 年径流深变化总体呈下降趋势,同时也存在峰值,1964 年为 101.61 mm,1966 年为 108.57 mm,1968 年为 113 mm,1975 年为 130.06 mm,1976 年为 103.66 mm,径流深偏大,其径流深距平值分别为 126.0、141.59、151.44、189.3、130.69;1965 年为 15.9 mm,1982 年为 11.6 mm,1986 年为 8.7 mm,1988 年为 5.5 mm,1991 年为 8.2 mm,1995 年为 6.4 mm,1997 年为 7.6 mm,2000 年为 8.3mm,其径流深距平值分别为 -64.5、-74.21、-80.66、-87.69、-81.83、-85.82、-83.0、-81.54,其中 1980 年代以后径流深距平值下降趋势明显。从总体上看,流域径流距平值变化无论是季节上还是月度上均呈下降趋势,其与流域降水变化趋势基本同步。

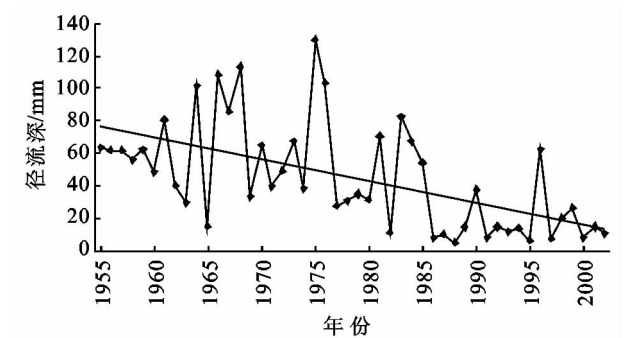


图 6 纸坊沟小流域 1955—2002 年年径流深变化趋势

3.3 径流深变化对降雨变化的响应

利用线性回归分析法建立的纸坊沟小流域 1955—2002 年径流深(y)与年降水量(x)的回归方程为 $y = -60.985 + 0.1929x$,经相关检验计算分析, $R = 0.711 > R_{0.05} = 0.317$, $t = 6.86 > t_{0.05} = 1.68$,表明在 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验水平上,该流域径流深与降水量相关性达到显著水平。

为定量分析该流域径流对降雨的影响程度,以纸坊沟小流域 1955—2002 年平均降水量为基数,以建立的年径流深与年降水量回归方程为依据^[9],计算出降雨量增加或减少 10%、20%、30% 的情况下径流深的变化情况(表 1),当纸坊沟小流域年降水量增加或减小 10%、20%、30% 时,年径流深会表现出分别增加或减少 23.29%、46.59%、69.88% 的正响应。这些均说明影响该流域径流深的主导因子是降水量。

3.4 径流量变化与流域治理程度的关联性分析

纸坊沟流域自 20 世纪 50 年代即开始治理,随着时间的推移,治理程度和植被覆盖度不断提高,使流域径流、泥沙量亦逐年下降。流域治理也经历了 1950 年代的初期治理阶段、1960—1980 年代的稳步推进阶段、1990—2000 年代的快速提高阶段,根据流

域治理各阶段及径流量变化情况,初步将 1955—2002 年根据治理发展阶段划分为 9 个时段(表 2),绘制时段累积治理程度(x)与时段平均径流量(y)相关图(图 7),发现两者存在一定的线性相关关系,经计算得出相关方程为 $y=180.32-2.6494x$,对方程回归关系及回归系数的显著性检验表明,流域径流量

与治理程度线性相关系数为 $r=0.832>r_{0.05}=0.632$,回归关系 F 值为 15.697,大于 $F_{0.05}(1,8)=5.32$,方程回归系数 t 值为 3.96,大于 $t_{0.05}=2.02$,即回归系数达到极显著水平,进一步定量印证了流域治理程度的增加将大大减少地表径流量,因此,该流域径流深总体呈下降趋势。

表 1 纸坊沟小流域径流深对降水量变化的响应分析

项 目	Δx						
	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%
降水量 x/mm	387.76	443.16	498.55	553.95	609.34	664.74	720.13
径流深 y/mm	13.81	24.50	35.19	45.87	56.56	67.24	77.93
$\Delta y/\%$	-69.88	-46.59	-23.29	0.00	23.29	46.59	69.88

图 1 纸坊沟流域年均径流量与治理程度相关性散点

项目	1955—1959	1960—1963	1964—1968	1969—1973	1974—1978	1979—1983	1984—1988	1989—1996	1997—2002
时段累积治理程度/%	17.1	21.6	25.4	28.2	30.4	35.6	41.8	47.3	59.7
时段平均径流量/ 万 m^3	116.071	94.823	161.263	97.193	125.762	88.357	55.832	40.594	26.989

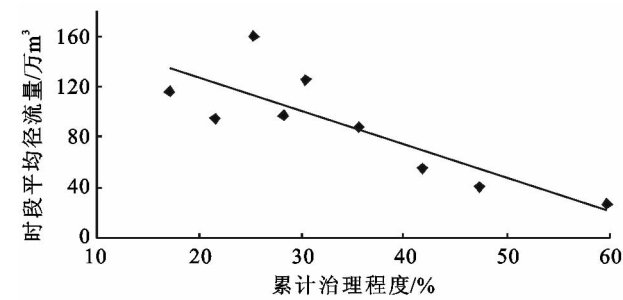


图 7 纸坊沟流域年均径流量与治理程度相关关系

4 结 论

(1) 降水量在年内分配不均,凸显单一峰值,多年平均年降水量绝大部分分布在 4—10 月,降水量 507.4 mm,占全年降水量的 92.6%。

(2) 流域降水在年际上呈平水年—干旱年—平水年(较丰水年)周期性变化,11 a 为一个周期,4 a 有一个小周期,连续出现干旱年周期为 8 a 左右,连续出现丰水年的周期亦为 8 a 左右。

(3) 流域月径流变化基本与月降水量变化趋势相吻合,在同一周期中径流量峰值推后于降水量峰值一个时段,流域径流年变化幅度很大;径流深在季节分配上也有很大差异,主要集中在夏秋季,占年总值的 86.2%,而春冬季仅占 13.8%。

(4) 流域径流距平值变化无论是季节上还是月度上均呈下降趋势,其与流域降水变化趋势基本同步。

(5) 从径流深变化对降雨变化的响应回归分析

可知,年降水量增加或减小 10%,20%,30%时,年径流深会表现出分别增加或减少 23.29%,46.59%,69.88%的正响应。

(6) 随着时间的推移和流域治理程度的提高,流域地表径流量减少,径流深相应减小,流域径流深总体呈下降趋势。

参考文献:

[1] 唐湘玲,魏文寿.玛纳斯河流域气候变化对径流变化的影响[J].石河子大学学报:自然科学版,2005,23(6):730-734.

[2] 刘士余,章俊霞,罗志军,等.近 50 年赣西北大坑小流域径流对降雨的响应[J].水土保持研究,2012,19(1):19-22.

[3] 邹连文,陈干琴,王娟,等.山东省年降水量系列代表性及多年变化的初步分析[J].水文,2005,25(6):58-61.

[4] 李发东,宋献方,张秋英,等.40 年来栾城降水特征分析[J].水文,2006,26(1):80-81.

[5] 段义字,吕慧明.纸坊沟小流域水文特征与降水量关系初步分析[J].水土保持学报,2011,25(5):256-260.

[6] 张鉴,段义字.平凉市纸坊沟流域 45 年降水变化特征初步分析[J].水土保持研究,2007,14(1):257-258.

[7] 毛泽森,王进鑫.平凉纸坊沟流域水土流失影响因素及其相关关系分析[J].水土保持研究,2011,18(1):101-104.

[8] 胡广录,刘鸪,赵文智.童子坝河流域水文特征与降水量的关系研究[J].水土保持研究,2008,15(3):58-60.

[9] 盛骤,谢式千,潘承毅.概率论与数理统计[M].北京:高等教育出版社,2000.