

气候变化和人类活动对渭河流域入黄径流的影响

粟晓玲¹, 康绍忠², 魏晓妹¹, 邢大伟¹, 曹红霞¹

(1 西北农林科技大学 教育部旱区农业水土工程重点实验室, 陕西 杨凌 712100;

2 中国农业大学 中国农业水问题研究中心, 北京 100083)

[摘要] 以渭河流域气温、降水、实测径流量、河川耗水量及流域水土保持措施面积等资料为基础, 应用秩次相关法检验分析了气候要素的变化趋势; 应用回归分析法, 以降雨为气象要素, 以水土保持、河川径流引水、傍河取水为人类活动要素, 定量研究了气候变化和人类活动对渭河入黄径流的影响。结果表明, 不同径流来源区的降雨变化对入黄径流变化的影响不同, 其中关中地区的影响最大; 与多年平均值相比, 20世纪90年代渭河入黄径流减少了29.04亿 m^3 , 其中因降雨量减少10.4%而对应的径流量减少了19.81亿 m^3 , 占径流减少量的68.2%; 水土保持活动、河川耗水、傍河取水激发地表水对地下水的补给以及雨水集蓄等人类活动的变化, 引起径流的变化量分别占径流减少量的8.5%, 10.1%, 9.8%和0.2%。

[关键词] 气候变化; 人类活动; 河川径流耗水; 水土保持; 傍河取水; 渭河流域入黄径流

[中图分类号] TV 121.4

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2007)02-0153-07

Impact of climate change and human activity on the runoff of Wei River basin to the Yellow River

SU Xiao-ling¹, KANG Shao-zhong², WEI Xiao-mei¹, XING Da-wei¹, CAO Hong-xia¹

(1 Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas, MOE, Northwest A & F University, Yangling 712100, Shaanxi, China;

2 Center for Agricultural Water Research in China, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: Based on the data of temperature, precipitation, recorded runoff, water consumption and area of water and soil conservation, the impact of climate change and human activities on the runoff of Wei River basin to the Yellow River was studied according to the use of the regression method. The method of Kendall's rank correlation was applied to test the trend of climate factors. Precipitation was selected as the factor of climate change, and water and soil conservation, surface water consumption, groundwater exploitation around bank side of Wei River which intensify the replenishment of the river water to groundwater, and rainwater collection were selected as the factors of human activity. The results show that the changes of precipitation from different areas of runoff generating have different impacts on the runoff to the Yellow River. Compared with average annual runoff in many years, the average annual runoff in 1990's decreased $29.04 \times 10^8 \text{ m}^3$. The average annual precipitation decreased 10.4%, which resulted in the runoff decreased of 68.2% of total decreased runoff. And the decreased runoff amounts resulting from the human activity, factors of water and soil conservation, surface water consumption, groundwater exploitation and rainwater collection were 11.8%, 10.1, 9.8% and 0.2% of total runoff decreased respectively.

Key words: climate change; human activity; surface water consumption; water and soil conservation;

〔收稿日期〕 2006-01-09

〔基金项目〕 国家自然科学基金委员会、水利部黄河水利委员会黄河联合研究基金项目(50279042); 高等学校博士点基金项目(20030712007)

〔作者简介〕 粟晓玲(1968-), 女, 四川开江人, 副教授, 在职博士, 主要从事水循环及水资源研究。E-mail: suxiaoling17@126.com

〔通讯作者〕 康绍忠(1962-), 男, 湖南桃源人, 教授, 博士生导师, 主要从事农业节水与水资源研究。E-mail: kangshaozhong@tom.com

water draw by riverside; runoff of Wei River basin to the Yellow River

河流是气候等自然地理因素及人类活动影响的产物。在影响河流年径流的气候因子中,由降水和气温所决定的气候湿润或干燥程度,对径流的形成和地域分布起着重要的作用。而水土保持、雨水集蓄、土地利用等人类活动改变了流域下垫面,使产流机制发生了变化;河川引水、水库蓄水、傍河取水等人类活动消耗了径流,也改变了流域天然水循环过程(图1)。

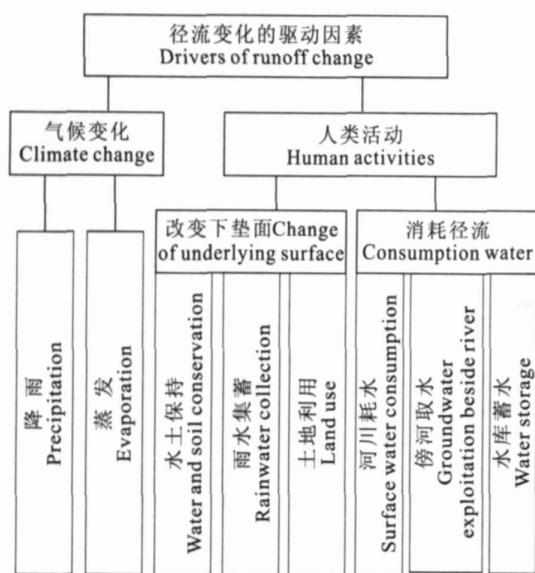


图1 径流变化的驱动因素

Fig. 1 Drivers of runoff change

进入近代以来,人类活动对流域水循环的干预强度越来越大,形成了日益增强的人工侧支水循环^[1-2]。径流对环境变化的响应是世界范围内水文水资源研究的热点,干旱半干旱地区的水文对气候变化更为敏感^[3],加上人类水利水保措施对水循环的影响,使得传统仅考虑水量自然变化的水文学研究已不适应水利计算、水资源规划的需要。现代水文循环研究,需要考虑地球生物圈、全球变化以及人类活动等诸多方面的影响^[4]。开展自然变化和人类活动对流域径流的影响研究对环境变化下的水资源规划、配置与合理利用,具有十分重要的科学意义和应用价值。

渭河发源于甘肃省渭源县鸟鼠山,是黄河流域面积最大、水量最多的第一大支流,于陕西潼关汇入黄河,其北岸较大的支流有泾河、北洛河,分别在陕西高陵县和大荔县汇入渭河。近45年来,人类活动

对渭河流域水循环的干预强度越来越大,特别是1970年以来,流域内开展了大规模的水利水保活动,水利化程度非常高。截止2000年,流域修建大、中及小(1)型水库302座,总库容达27.3亿 m^3 ,兴利库容15.5亿 m^3 ,蓄、引、提工程有效灌溉面积121万 hm^2 ,其中有大型灌区9处^[5]。同时,受全球气候变暖和降水丰枯变化周期性的影响,渭河流域降水也发生了明显的变化,上世纪90年代降水显著减少。在气候变化和人类活动双重驱动因素的作用下,渭河入黄径流显著减少。研究渭河入黄径流减少的原因,不但有助于在人工侧支水循环日益增强的情况下,加深对水循环机理的理解,而且对于黄河水资源分配与渭河水资源管理有非常重要的实际意义。

1 材料与方法

1.1 材料

渭河实测入黄径流量由控制渭河流域面积97.8%的华县站年径流量与控制洛河流域面积93.4%的状头站年径流量之和加上未控制区产流量得到。为了区分河川耗水和水土保持减水的影响,定义实测径流值与河川引水的净耗水量之和为还原径流,还原径流与水土保持减水量之和为天然径流。还原径流序列中1956~1995年数据为“九五”攻关项目数据库成果资料,1996~2000年数据根据甘肃省水资源公报^[6]和陕西省水资源公报^[7]中的实测资料与用水量资料进行估算。

降雨资料根据实测降雨采用面积加权法得到渭河流域降雨序列。气温资料根据陕西省气象局31个关中地区气象站资料计算气温平均值得到。

1.2 方法

气候要素变化趋势的显著性采用Kendall的秩次相关法检验^[8]。其基本原理如下:设时间序列 x_i ($i=1, 2, \dots, n$),其任意对偶值为 (x_i, x_j) ($j>i$),如果 $x_j>x_i$,则序列绝对上升;反之,则绝对下降。如果序列不是单调上升或下降,则统计量 U 由下式计算:

$$U = \frac{T}{\text{var}(\tau)^{0.5}}, \quad (1)$$

$$\tau = \frac{4P}{n(n-1)} - 1, \quad (2)$$

$$\text{var}(\tau) = \frac{2(2n+5)}{9n(n-1)^2} \quad (3)$$

式中: U 为统计量, P 为对偶值呈增长趋势($x_j>x_i$)的对数, n 为序列长度。当 n 增加时, U 很快收敛于标

准化正态分布, 给定显著水平 α , 可在正态分布表中查出临界值 $Z_{\alpha/2}$, 当 $|U| < Z_{\alpha/2}$ 时序列趋势不显著, 若 $|U| > Z_{\alpha/2}$ 则表示序列的趋势显著。当统计量 U 为正值, 说明序列有上升趋势; U 为负值, 则表示有下降趋势。对于显著水平 $\alpha=0.05$, U 的临界检验值为 ± 1.96 , $\alpha=0.01$, U 的临界检验值为 ± 2.58 。

假设气候变化和人类活动是两个相互独立的影响因子, 然后分别分析其对径流的影响。利用人类活动影响前或影响较小时期的降雨径流资料, 建立流域不同区域降雨变化量与入黄还原径流变化量之间的关系; 并利用该模型来分析人类活动期间, 降雨变化量引起的入黄径流变化量, 反映降雨等气候变化对渭河流域入黄径流的影响。人类活动对渭河入黄径流的影响包括水土保持减水量、河川径流耗水量、沿岸傍河水源地激发河水补给量以及雨水集蓄水量等因素。1970 年以前, 流域水土保持活动影响较小,

因此可以认为 1970 年以前降雨与还原径流的关系是天然降雨产流关系, 能用来展延 1970 年以后的天然产流, 则天然产流与还原径流之差即为水土保持活动对流域径流的影响量。

2 渭河入黄径流量与人类活动耗水量的变化趋势

1956~2000 年, 渭河流域多年平均实测入黄径流为 80.48 亿 m^3 , 上世纪 90 年代平均为 51.44 亿 m^3 , 较多年平均值减少了 29.04 亿 m^3 , 减少了 36.1%; 还原后入黄径流多年平均值为 99.75 亿 m^3 , 20 世纪 90 年代仅为 73.65 亿 m^3 , 较多年平均值减少了 26.1 亿 m^3 。流域多年平均耗水量为 19.27 亿 m^3 , 20 世纪 90 年代的平均耗水量为 22.21 亿 m^3 , 较多年平均耗水量增加了 2.94 亿 m^3 。

表1 渭河流域各年代实测入黄径流、还原径流及耗水量的变化

Table 1 Change of recorded runoff, natural runoff and surface water consumption in the Wei River basin 亿 m^3							
项目 Item	1956~ 1959	1960~ 1969	1970~ 1979	1980~ 1989	1990~ 2000(A)	1956~ 2000(B)	A - B
实测径流 Recorded runoff	99.04	108.52	68.08	89.38	51.44	80.48	- 29.04
耗水量 Water consumption	8.15	11.96	23.79	23.28	22.21	19.27	2.94
还原径流 Reductive runoff	107.19	120.48	91.87	112.66	73.65	99.75	- 26.10

渭河流域实测入黄径流呈显著下降趋势, 河川径流耗水量在 1977 年以前呈上升趋势, 1977~1990

年耗水量波动较大, 1991 年后相对稳定, 流域水土保持面积呈显著增加趋势(图 2)。

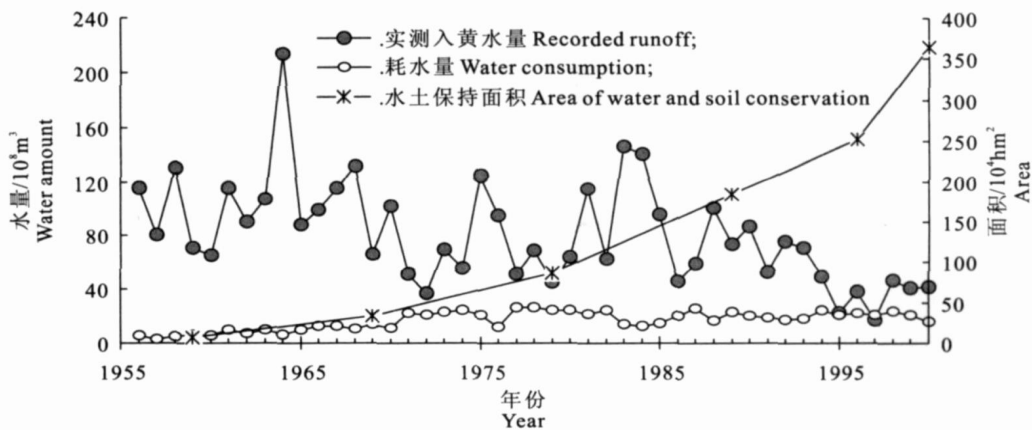


图2 1956~2000 年渭河流域实测径流量、耗水量与水土保持面积的变化

Fig. 2 Changes of annual precipitation, runoff and area of water and soil conservation from 1956 to 2000

3 气候变化对渭河入黄径流的影响

3.1 近45 年气候的变化趋势

近45 年来, 渭河流域中下游关中地区在全球气

候变暖的大背景下, 总体呈现气温升高、降雨减少、蒸发增加的趋势。用 Kendall 秩次相关法检验, 1961~2001 年关中地区气温呈显著上升趋势($U=2.70$) (图 3), 平均每年上升 0.017 8 $^{\circ}C$, 大于全国年

平均增温量(0.004℃/年)^[9]; 1956~2000年渭河全流域平均降水呈不显著减少趋势($U=-1.62$) (图4), 年降水量平均每年减少2.16 mm, 大于全国平均年降水递减量(1.266 mm/年)^[9]。说明渭河流域气

候变化较全国更为剧烈。20世纪90年代年平均气温为12.47℃, 较多年平均气温12.12℃高0.35℃。据文献[6]报道, 在气温升高1℃的情况下, 西安地区的蒸发能力相应增加5%~7%。

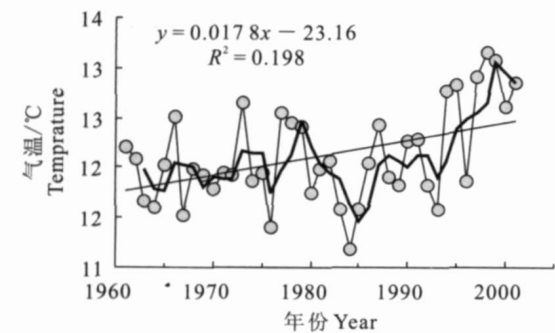


图3 渭河中下游关中地区气温变化趋势

—○— .降雨量; ——— .线性趋势; ——— .3年滑动平均
Fig.3 Temporal variation of the annual average temperature in the Guanzhong region
—○— .Precipitation; ——— .Line trend; ——— .3 years moving average

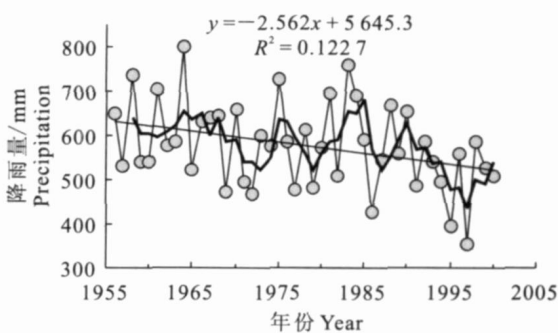


图4 渭河流域降雨变化趋势

—○— .降雨量; ——— .线性趋势; ——— .3年滑动平均
Fig.4 Temporal variation of the annual average precipitation in the Wei River basin
—○— .Precipitation; ——— .Line trend; ——— .3 years moving average

3.2 不同径流来源区降水量对渭河入黄天然径流的影响

降水量的变化以及由气温升高所引起的蒸发量增大, 必将导致区域水文循环和水资源的变化。文献[10]研究了黄河中上游径流量对气候变化的响应, 结果表明, 径流量对降水变化的响应较气温更为显著, 在气温不变而降水增加10%的情况下, 径流量约增加17%; 若降水不变, 气温每升高1℃, 则径流相应减少5%左右, 流域蒸发能力增加5%~7%。

根据现有资料和产汇流情况, 可将渭河产流区分北洛河上中游、泾河上中游、渭河上游以及渭河

大规模的水利水保活动出现在1970年以后。假设1970年前降雨产流条件未发生一致性变化, 则可利用1956~1969年不同产流区的降雨与入黄还原径流资料, 用多元回归分析建立渭河入黄径流与不同产流区降水量的回归关系, 即

$$W = -86\,673 + 0.067\,0 \times P_{lu} + 0.008\,8 \times P_{ju} + 0.104\,3 \times P_{wu} + 0.147\,0 \times P_{wg} \quad (4)$$

式中: W 为渭河入黄径流(亿 m^3), P_{lu} 为北洛河上中游降雨深(mm), P_{ju} 为泾河上中游降雨深(mm), P_{wu} 为渭河上游降雨深(mm), P_{wg} 为陕西关中降雨深(mm)。各参数的相关系数矩阵见表2。

表2 渭河入黄天然径流量与各产流区年降水量的相关系数矩阵

Table 2 Corelative coefficient matrix of runoff and precipitation of different areas of runoff production

项目 Item	W	P_{lu}	P_{ju}	P_{wu}	P_{wg}
W	1	0.740 2	0.774 1	0.726 1	0.815 4
P_{lu}	0.740 2	1	0.820 3	0.671 9	0.571 5
P_{ju}	0.774 1	0.820 3	1	0.820 8	0.638 2
P_{wu}	0.726 1	0.671 9	0.820 8	1	0.533 6
P_{wg}	0.815 4	0.571 5	0.638 2	0.533 6	1

依次设(4)式右端4个变量中的3个不变, 令余下的1个变量变化, 并求出 W 对该变量的偏导数, 即为不同径流来源区降水量对渭河入黄天然径流的贡献。由此可得: $\partial W / \partial P_{lu} = 0.067\,0$, $\partial W / \partial P_{ju} = 0.008\,8$, $\partial W / \partial P_{wu} = 0.104\,3$, $\partial W / \partial P_{wg} = 0.147\,0$ 。由此可以认为, 北洛河上中游、泾河上中游、渭河上游

和陕西关中地区降雨量每减少10 mm, 渭河入黄径流量将分别减少0.67, 0.088, 1.043和1.47亿 m^3 。

3.3 气候变化对渭河入黄径流量的影响

气候变化对径流的主要影响因素是降雨和气温。降雨是产流的来源, 由式(4)可推出渭河入黄天然径流的变化量与不同来源区降水变化量的关系, 即有

$$\Delta W = 0.067 \times \Delta P_{lu} + 0.0088 \times \Delta P_{ju} + 0.1043 \times \Delta P_{wu} + 0.147 \times \Delta P_{wg}$$

(5)

式中: ΔW 表示入黄天然径流的变化量; ΔP_{lu} , ΔP_{ju} , ΔP_{wu} , ΔP_{wg} 分别表示北洛河上中游、泾河上中游、渭河上游和陕西关中地区降雨的变化量。

20 世纪不同年代渭河降雨量的变化情况见表 3。由表 3 可见, 20 世纪 90 年代的降雨量较多年平均值减少 60.0 mm, 减少了 10.4%; 渭河 4 个产流区

中, 陕西关中地区和北洛河上中游的降雨量减少较多。由于降雨的减少, 渭河流域入黄径流减少了 19.81 亿 m^3 。其中北洛河上中游、泾河上中游、渭河上游段以及渭河关中段因降雨减少分别导致入黄径流减少了 5.873, 0.269, 4.892 和 12.02 亿 m^3 。渭河全流域降雨的减少对 20 世纪 90 年代入黄径流减少量 (29.04 亿 m^3) 的贡献率达 68.2%。

表 3 渭河流域各区域降雨量与入黄径流变化的关系

Table 3 Changes of precipitation and its impact on runoff in Wei River basin

区域 Region	平均降雨量/mm A verage anual p recipitation						C- A/mm	C- B/mm	$\Delta W_1 / 10^8 m^3$	$\Delta W_2 / 10^8 m^3$
	1956~ 2000 (A)	1956~ 1959 (B)	1960~ 1969	1970~ 1979	1980~ 1989	1990~ 1999 (C)				
北洛河上中游 Upper and middle reaches of Beiluo River	481.3	533.6	566.0	460.5	490.2	396.0	- 85.3	- 137.6	- 5.783	- 8.737
泾河上中游 Upper and middle reaches of Jing River	496.7	505.0	541.5	499.1	479.8	466.1	- 30.6	- 39.0	- 0.269	- 4.69
渭河上游 Upper reaches of Wei River	505.4	509.5	550.1	513.1	503.0	458.5	- 46.9	- 51.0	- 4.892	- 2.049
渭河关中段 Middle and lower reaches of Wei River	660.7	730.4	687	637.9	719.2	578.9	- 81.8	- 151.5	- 12.02	- 14.20
渭河流域 Whole Wei River Basin	577.6	615.6	614.4	568.7	601.0	517.6	- 60.0	- 98.0	- 19.81	- 23.77

注: ΔW_1 和 ΔW_2 分别表示 20 世纪 90 年代降雨量与多年平均降雨量及 1956~ 1959 年平均降雨量相比引起的产流减少量。
Notes: ΔW_1 and ΔW_2 are decreased annual runoff in 1990's compared with the average annual runoff and annual runoff in 1956- 1969 respectively.

4 人类活动对渭河入黄径流量的影响

人类活动对渭河入黄径流的影响包括四个方面: 一是通过大量引水使河川径流大幅度减少; 二是傍河开采地下水激发的河水补给; 三是雨水集蓄等活动减少了河川径流; 四是大规模水土保持活动通过改变下垫面状况, 影响了流域产流过程。

4.1 河川径流引水量对渭河入黄径流的影响

渭河流域用水量总的趋势是增加的, 1990~ 2000 年流域平均年用水量接近 57 亿 m^3 , 占渭河流域多年平均水资源总量的 48%; 其中地表径流引水量为 27.0 亿 m^3 (陕西关中地区为 19.9 亿 m^3)。流域多年平均河川耗水量为 19.27 亿 m^3 , 20 世纪 90 年代为 22.21 亿 m^3 , 说明该时段河川耗水量较多年平均耗水量增加了 2.94 亿 m^3 , 占 20 世纪 90 年代入黄径流减少量的 10.1%。

4.2 沿岸地下水开采激发的河水补给对河川径流的影响

渭河出宝鸡峡进入关中平原, 地势平坦, 水面宽阔, 河流流速减小, 河床下伏砂砾石, 有利于地表水对地下水的补给。通过在河流岸边建立傍河水源地, 可以更多的激发河水补给量。沿渭两岸具有良好的

地下水开采条件, 已经建成 22 个集中式供水水源地。20 世纪 90 年代渭河上游沿岸地下水年平均开采量为 0.75 亿 m^3 , 渭河中下游沿岸开采量平均为 6.17 亿 m^3 , 合计为 6.92 亿 m^3 。傍河取水的河水补给量占傍河水源地开采量的比率 (河水补给系数) 与河段含水层特点和入渗补给条件有关^[11], 参照水源地水文地质参数, 结合动态监测资料, 估算 20 世纪 90 年代傍河取水河水激发补给地下水量为 4.84 亿 m^3 , 流域多年平均傍河取水河水激发补给地下水量为 2.0 亿 m^3 , 20 世纪 90 年代河水激发补给地下水量与多年平均值相比增加了 2.84 亿 m^3 , 占入黄径流减少量的 9.8%。

4.3 雨水集蓄对渭河入黄径流的影响

雨水集蓄是水源条件差的农村地区解决人畜饮水和进行灌溉的主要措施。渭河流域年降雨量多在 550 mm 以上, 具有雨水积蓄利用的条件。甘肃省从 1996 年开始实施“121”雨水集流工程, 陕西省也实施了“集雨窖灌”的研究与开发。陕、甘两省渭河流域已建成水窖约 200 万眼, 解决了近 500 万人的饮水问题, 发展集雨灌溉面积约 30 万 hm^2 , 年集蓄雨水约 600 万 m^3 , 占入黄径流减少量的 0.21%。

4.4 水土保持措施对渭河入黄径流的影响

渭河流域水土流失面积达10.67万 km^2 (其中泾河流域3.97万 km^2 ,北洛河流域2.154万 km^2),占渭河流域总面积的79%^[12]。经过50年的治理,截至2000年底,累计修建梯田163.7万 hm^2 ,造林147.7万 hm^2 ,种草37.34万 hm^2 ,拦蓄坝地15.86万 hm^2 ,水土保持面积合计达364.6万 hm^2 ^[13],水土流失面积治理程度达到了34%。水土保持措施改变了流域产流的下垫面条件,对产流影响显著。如果还原后的入黄径流只受降雨和河川耗水的影响,则累积径流与累积降雨的双累积曲线应是一条直线,但从累积降

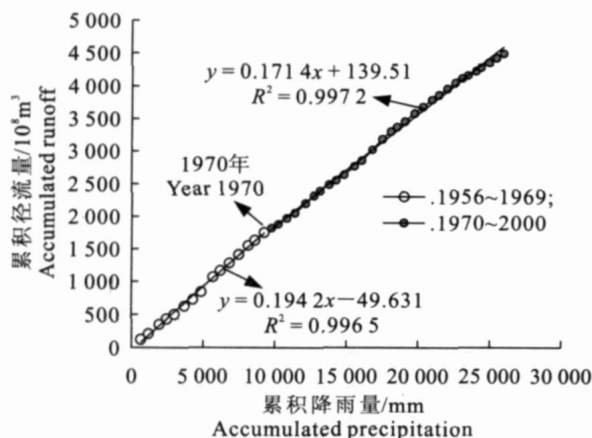


图5 渭河流域累积入黄径流与累积降雨的关系

Fig 5 Correlativity between cumulated precipitation and accumulated natural runoff in Wei River basin

雨与累积还原径流的关系(图5)可见,1970年有明显的转折点。为此,分别拟合1956~1969年和1970~2000年2个时期的累积降雨和累积径流关系线可知,1956~1969年的直线斜率较后者大,说明水土保持活动减少了流域产流。分别点绘1970年前后两个时期降雨与产流的关系,结果(图6)表明,这两个时期的拟合直线不重合,且1970年后的降雨产流关系拟合直线的斜率低于1970前的直线斜率,说明在降水量相同的条件下,由于水土保持措施减水的影响,1970年以后渭河产流略有减少。

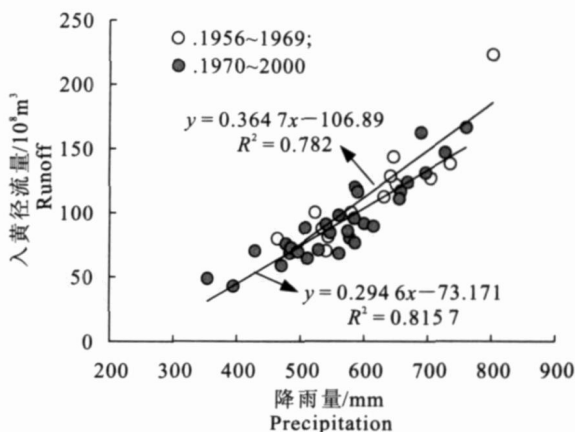


图6 渭河流域径流与降雨的关系

Fig 6 Correlativity between precipitation and natural runoff in Wei River basin

20世纪90年代流域的平均降雨量为517.6 mm,按照图6 1956~1969年的降雨产流关系推算,无人活动影响情况下的天然产流应为81.9亿 m^3 ,与还原径流量加傍河取水激发开采地表水以及雨水集蓄水量之和77.75亿 m^3 相比,差值为4.15亿 m^3 ,这即为水土保持措施减水量。流域多年平均降雨量为577.6 mm,按1956~1969年的降雨产流关系推算,天然产流应为103.85亿 m^3 ,与还原径流量加傍河取水激发开采地表水之和(102.2亿 m^3)相比,差值即水土保持措施减水量为1.65亿 m^3 。因此,20世纪90年代渭河流域水土保持措施减水量较多年平均水土保持措施减水量增加了2.5亿 m^3 ,占上世纪90年代渭河入黄水量减少量的8.5%。

4.5 其他因素对渭河入黄径流的影响

其他因素如水库蓄水变化量、气温升高导致蒸发增加等因素引起的入黄径流减少量约占渭河入黄水量减少量的3.2%。

5 结 论

20世纪90年代以来,与多年平均值相比,实测渭河入黄径流量减少了29.04亿 m^3 ,其中降雨量减少引起的径流减少量为19.81亿 m^3 ,占径流减少量的68.2%;水土保持措施减水量较多年平均值增加了2.5亿 m^3 ,占径流减少量的8.5%;人类河川引水的耗水量较多年平均值增加了2.94亿 m^3 ,占20世纪90年代入黄径流减少量的10.1%;河水激化补给地下水为2.84亿 m^3 ,占入黄径流减少量的9.8%;集蓄雨水约600万 m^3 ,占入黄径流减少量的0.2%。其他因素如气温升高引起蒸发增加等的耗水量占径流减少量的3.2%。

本文仅是初步分析气候变化和人类活动对渭河入黄径流减少的影响,实际上,气候变化也受人类活动的影响,如灌溉农业发展引起灌区农田小气候的变化,工业发展导致 CO_2 排放量增加,温室效应加剧,致使流域气温升高,降雨减少,等等。对其相互间

的影响及其对渭河流域水资源变化的影响机理还有待进一步深入分析。

[参考文献]

- [1] 王 浩, 秦大庸, 王建华. 多尺度水循环过程模拟进展与二元水循环模式的研究[M]//刘昌明, 陈效国. 黄河流域水资源演化规律与可再生性维持机理. 郑州: 黄河水利出版社, 2001: 34-42.
- [2] 许炯心, 孙 季. 近50年来降水变化和人类活动对黄河入海通量的影响[J]. 水科学进展, 2003, 14(6): 690-695.
- [3] Frederick K D, Major D C. Climate change and water resources [J]. Climatic Change, 1997, 37: 7-23.
- [4] 夏 军, 谈 戈. 全球变化与水文科学新的进展与挑战[J]. 资源科学, 2002, 24(3): 1-7.
- [5] 水利部黄河水利委员会勘测规划设计研究院. 渭河流域水资源规划[R]. 郑州: 水利部黄河水利委员会勘测规划设计研究院, 2003: 32-35.

- [6] 甘肃省水利厅. 甘肃省水资源公报[R]. 兰州: 甘肃省水利厅, 1996~2000.
- [7] 陕西省水利厅. 陕西省水资源公报[R]. 西安: 陕西省水利厅, 1996~2000.
- [8] Kottegoda N T. Stochastic water resources technology [M]. London: The Macmillan Press Ltd, 1980: 31-32.
- [9] 李平华, 胡小晖, 程 燕. 陕西关中地区水文气候状况对全球变暖的响应问题探讨[J]. 灾害学, 2002, 17(2): 37-41.
- [10] 王国庆, 王云璋. 黄河上中游径流对气候变化的敏感性分析[J]. 西北水资源与水工程, 2000, 11(3): 1-5.
- [11] 寇宗武. 对沿渭河地下水开发问题的思考[J]. 地下水, 2005, 27(3): 93-95.
- [12] 张学成, 匡 键, 井 涌. 20世纪90年代渭河入黄水量锐减成因初步分析[J]. 水文, 2003, 23(3): 43-45.
- [13] 水利部黄河水利委员会勘测规划设计研究院. 渭河流域水资源评价[R]. 郑州: 水利部黄河水利委员会勘测规划设计研究院, 2003: 57-59.

(上接第152页)

[参考文献]

- [1] 王金水. 表面活性剂在固-液界面上吸附过程的疏水效应研究[J]. 天中学刊, 2000, 15(2): 26-31.
- [2] 程世贤, 龚福忠, 李成海. 微细 Sb_2O_3 粉体对十六烷基三甲基溴化铵的吸附研究[J]. 广西大学学报, 2000, 25(3): 202-205.
- [3] 钱建刚, 顾惕人. 溴化十二烷基吡啶的吸附和表面胶团化对二氧化硅悬浮液稳定性的影响[J]. 应用化学, 1997, 14(2): 40-44.
- [4] 尹宝霖, 魏西莲, 孙得志. 阳离子表面活性剂在活性炭上的吸附研究[J]. 日用化学工业, 2002, 32(5): 1-3.
- [5] 蒋 昊, 胡岳华, 王淀佐, 等. 阳离子表面活性剂在一水硬铝石表面吸附研究[J]. 中国矿业大学学报, 2005, 34(4): 500-503.

- [6] 金一政, 王 晨, 张 伟. 阴、阳离子表面活性剂混合体系在硅胶/水及硅胶/矿化水界面上的吸附[J]. 化学学报, 2005, 63(3): 239-242.
- [7] Tahani A, Van Damme H, Noik C, et al. Adsorption of nonionic surfactants on kaolin[J]. J Coll Inter Sci, 1996, 184: 469-476.
- [8] 朱利中, 王 晴, 陈宝梁. 阴-阳离子有机膨润土吸附水中苯胺苯酚的性能[J]. 环境科学, 2000, 21(4): 42-46.
- [9] 李万山, 高 斌, 冯建坊, 等. TMA 改性粘土矿物对模拟地下水中苯系物的吸附[J]. 环境化学, 1999, 18(5): 404-407.
- [10] 湛英武. 季铵盐阳离子表面活性剂分析方法[J]. 精细化工, 1990, 4(5): 95-99.
- [11] 朱瑛瑶, 顾惕人. 表面活性剂在固液界面上的吸附理论[J]. 化学通报, 1990(9): 1-18.