

气候变化对黄河中游河龙区间径流量的影响分析^{*}

张建兴, 马孝义, 屈金娜

(西北农林科技大学 旱区农业水土工程教育部重点实验室, 陕西 杨陵 712100)

摘 要:通过对黄河中游河龙区间的气候变化分析发现, 河龙区间年平均气温和四季气温均呈现上升趋势; 进入 20 世纪 90 年代后河龙区间年平均降水量呈明显减少趋势; 春、冬季降水量呈微弱增加趋势, 夏、秋季降水量呈明显减少趋势。同时计算分析了龙门站径流量对气候变化的敏感性及其对径流量的影响程度。结果表明, 年径流量随降水的增加而增加, 随气温的升高而减少; 径流量对降水变化的响应较其对气温变化的响应更为显著; 20 世纪 90 年代后, 气候变化对径流量的影响幅度为 21%。

关键词: 气候变化; 气温; 降水; 径流量; 影响; 河龙区间

中图分类号: P332. 4; P426. 614

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007) 04-0197-04

Effects of Climatic Variations on Runoff Volume over the He-long Reach of the Middle Yellow River

ZHANG Jian-xing, MA Xiao-yi, QU Jin-na

(Key Laboratory for Agricultural Soil and Water Engineering in Arid Area of Education,
Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The climatic variations over the He-long reach of middle Yellow River were analyzed since 1957. Results showed that: air temperature of annual and seasonal increased obviously, but that of the precipitation showed the opposite tendency from the 1990s. The precipitation in spring and winter increased weakly, but decreased obviously in summer and autumn. At the same time, the sensitivity and effects of climate change on the runoff volume were analyzed. The results also showed that the annual runoff volume of the Yellow River increased with the increasing of precipitation, but decreased with the increasing of temperature. The response of the annual runoff volume to precipitation change was more significant than that of the temperature change. The effect of climatic variations on annual natural runoff volume has been significant since the 1990s, and the affecting scope is 21%.

Key words: climatic variations; temperature; precipitation; runoff volume; influence; the He-long reach

黄河中游河口镇—龙门区间(以下简称区间)水土流失严重, 据统计, 区间来沙量高达 9.18 亿 t, 占黄河中上游(陕县站)多年平均输沙量的 57.4%。黄河的粗颗粒泥沙也主要来自这个地区。区内有流域面积 1 000 km² 以上的支流 19 条, 每年为黄河输水超过 70 亿 m³。万家寨等大型引黄工程也位于此地, 且区间临近中游三门峡、小浪底等大中型水库。

近年来, 区间径流量明显减少, 严重影响了国民经济的发展。很多学者指出区间环境要素和气候变化会对径流产生重要影响^[1, 2], 目前, 对区间径流量的变化及降水分布研究已有很多^[3~5], 但专题探讨区间气候变化对径流量影响的并不多。本文在统计分析区间近 45 a 气温、降水变化特点的基础上, 探讨了龙门站年径流量对气温、降水变化的敏感性, 以及

^{*} 收稿日期: 2007-03-23
基金项目: 国家自然科学基金项目(50479052); 国家“863”计划课题(2006AA100209); 教育部青年教师资助计划课题(2003-108); 西北农林科技大学青年学术骨干计划资助课题
作者简介: 张建兴(1982-), 男, 山西晋城人, 硕士研究生, 主要从事农业水土工程方面研究。

20 世纪 90 年代后气候变化对径流量的影响, 以期
为合理开发区间水资源提供参考意义。

1 资料来源与计算方法

1.1 资料来源

区间主要涉及内蒙古南部、陕北、晋西北区域,
选取区间 17 个具有代表性的气象站(内蒙选取东
胜, 陕北选取神木、安塞、延川、子长、清涧、榆林、延
安、吴起、绥德, 晋西北选取兴县、离石、偏关、隰县、
五寨、右玉、河曲), 对其中缺测或无观测的月平均气
温和降水资料进行了线性插补延长, 径流量资料选
自龙门水文站, 最后统一取 1957~ 2001 年的逐月气
温、降水量和径流量作为本文统计分析的基本资料。

1.2 计算方法

(1) 变化趋势和倾向率。设某要素序列资料为
一个时间序列, $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$, 可以用一多项式来表
示:

$$X(t)=a_0+a_1t+a_2t^2+\dots+a_pt^n \tag{1}$$

式中: t ——时间; a_0, a_1, a_2 可用最小二乘法或正交
多项式确定; a_p ——线性倾向率。

(2) 回归分析。计算分析区间年平均气温和降
水量与龙门站年平均径流量的相关关系, 建立回归
方程, 分析气候变化对龙门站年平均径流量的影响。

2 区间气候变化特征分析

2.1 气温变化特征分析

2.1.1 气温的年际变化特征分析

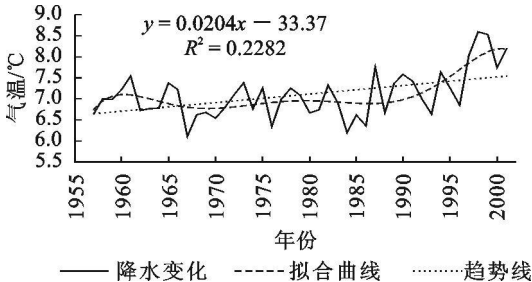


图 1 区间年平均气温的年际变化及趋势

区间多年平均气温为 7.10℃。气温的年际变
化曲线及倾向率如图 1 所示。从图 1 可以看出, 年
平均气温呈明显上升趋势, 90 年代后区间气温增温
更为显著, 1991~ 2001 年区间年平均气温较 1957~
1990 年偏高 0.71℃。6 阶多项式拟合的年平均气
温曲线反映出, 1957~ 1990 年期间气温呈“高一
低—高一低”的变化趋势, 且相对处于低温期, 1991
~ 1996 年气温急剧上升, 90 年代末期出现一定回
落。从计算结果看, 区间年气温变化的倾向率和相关
系数均为正值, 倾向率为 0.20℃/10 a, 相关系数

为 0.478。

2.1.2 气温的季变化特征分析

从图 2 可以看出, 和年平均气温增温比较同步,
四季气温也呈上升状态, 且从 20 世纪 90 年代后增
温非常明显。6 阶多项式拟合的年平均气温曲线也
都反映出四季气温都有上升的趋势, 并且在 20 世纪
80 年代中期以前, 四季都处于相对低温期, 90 年代
初到中期则为相对高温期, 1997 年后气温出现微弱
下降趋势。从计算结果看, 区间四季气温变化的倾
向率和相关系数都为正值, 它们的倾向率分别为
0.22℃/10 a, 0.16℃/10 a, 0.16℃/10 a, 0.41℃/
10 a, 相关系数分别为 0.423, 0.343, 0.316, 0.214。

计算得出四季气温与年平均气温的相关系数分
别为 0.392, 0.694, 0.695, 0.772, 都通过了置信度
水平为 0.01 的相关系数检验表的检验, 说明四季气
温的变化对年气温变化的影响比较显著, 相对来说,
冬季增暖最为明显, 春季增暖最为缓慢。在全球气
候变暖的大背景下, 区间年、季平均气温都呈现上升
趋势, 这种增暖趋势与华北、西北地区变暖的趋势基
本一致^[6,7], 但增暖幅度相对偏小。

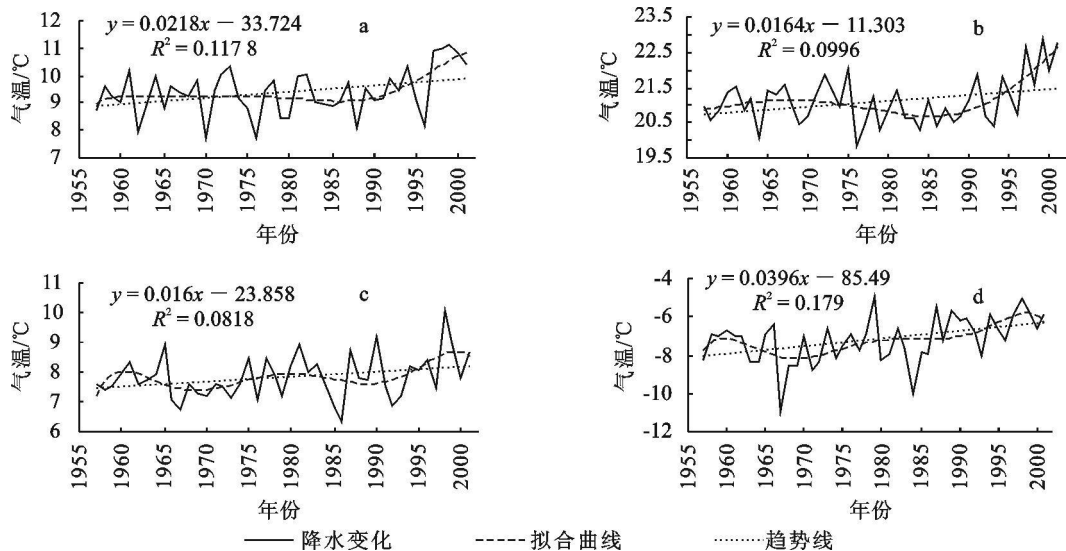
2.2 降水变化特征分析

2.2.1 降水的年际变化特征分析

区间多年平均降水量为 445.5 mm, 降水的年
际变化趋势及倾向率如图 3 所示。从图 3 可以看
出, 年平均降水量总体上呈现减少趋势, 降水量在
60 年代前相对较多, 70 年代后开始减少, 80 年代出
现一定回升, 在 90 年代呈明显减少状态, 1991~
2001 年区间年平均降水量较前期(1957~ 1990 年)
减少 33.67 mm, 减少幅度达 7.56%。6 阶多项式
拟合的年平均降水量曲线反映出, 区间降水量分别
在 60 年代和 70 年代中期出现了两次增加趋势, 90
年代后降水量呈现逐年减少趋势。从计算结果看,
区间年降水量的倾向率为 -11.47 mm/10 a, 相关
系数为 0.265。

2.2.2 降水的季变化特征分析

从图 4 可以看出, 区间夏、秋季节降水量最多出
现在气温较低的 60, 70 年代, 80 年代后呈减少状
态; 而春、冬季降水量最多出现在气温相对较高的
80, 90 年代, 且 80 年代后呈增加状态。从 6 阶多项
式拟合的季平均降水量曲线可以看出, 春、冬季降
水量呈现“多—少—多—少”的阶段变化趋势, 夏季
降水量呈逐年下降趋势, 秋季降水量在 60~ 90 年
代中期呈下降趋势, 90 年代末期后又出现一定回
升。区间四季降水量的倾向率分别为 0.26 mm/10 a, -
10.39 mm/10 a, -9.83 mm/10 a, 0.11 mm/10 a,



(a) 春季 (b) 夏季 (c) 秋季 (d) 冬季

图 2 区间季平均温度的年际变化及趋势

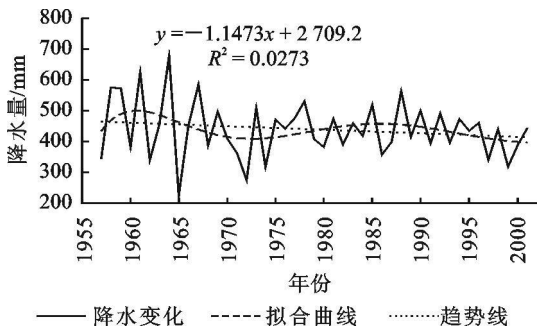


图 3 区间年平均降水量的年际变化及趋势

相关系数分别为 0.037, 0.236, 0.111, 0.076。

从以上分析可知, 区间年和夏、秋季降水量呈减少趋势, 春、冬季降水量呈微弱增加趋势, 变化特点与文献[8~10]研究基本一致, 即基本气候条件有向暖干化的趋势发展。计算得出的四季降水量与年平均降水量的相关系数分别为 0.341, 0.815, 0.518, 0.078, 只有春、夏和秋季的相关系数通过了置信度水平为 0.01 的相关系数检验表的检验, 因此认为春、夏和秋季降水量对年降水量影响显著, 但由于夏、秋季降水量占全年降水量的 80% 以上, 因此认为, 夏、秋季降水量的减少造成了年降水量的减少。

3 径流量对气候变化的敏感性分析

3.1 径流量与气候的相关性分析

对区间年平均径流量来讲, 其被影响的气候因子主要为温度和降水, 温度升高会引起蒸发量的增加, 进而影响地表水资源, 降水则直接对径流量进行补给。当然, 径流量与温度和降水的相关并不一定是同步的, 存在某种滞后性, 考虑到区间处于干旱半干旱区, 这种滞后性较弱, 故只考虑当年气温和降水

对径流量的影响。

对区间出站口龙门站年平均径流量与年平均气温和降水量进行相关分析, 建立回归方程为:

$$W = 796.0362 + 0.5839I - 103.0644P \quad (2)$$

式中: W ——天然年径流量; I ——年平均降水量; P ——为年平均气温, 复相关系数为 0.65, 置信度水平 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验。

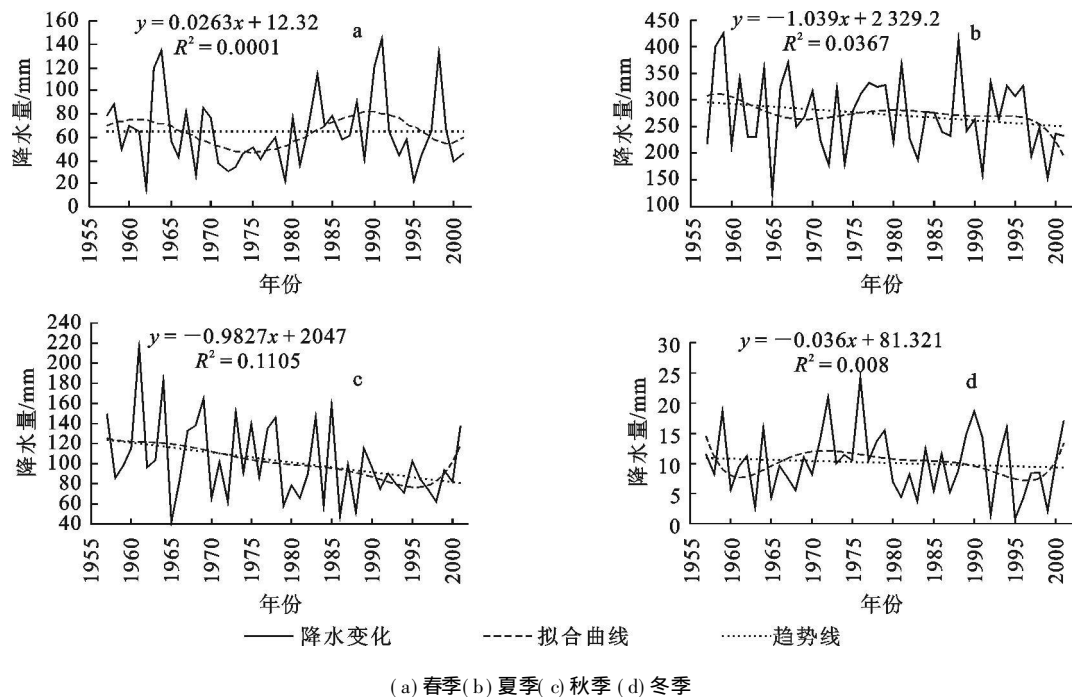
图 5 给出了龙门站径流量的实测值与计算值的拟合曲线。可以看出拟合曲线能较好反映龙门站径流量变化情况。从回归方程可以看出: 年平均径流量与年平均气温存在的显著负相关, 其相关系数为 -0.39; 年平均径流量与年降水量呈较好的正相关关系, 其相关系数为 0.53。根据相关系数检验表, 年平均径流量与年平均气温、降水量的相关系数都通过了置信度水平 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验。因此认为气温升高、降水量减少是区间径流量减少的重要原因之一。

3.2 径流量对气候变化的敏感性分析

表 1 不同气候背景下龙门站径流量的变化率 %

降水变化/%	气温变化/°C		
	2	1	0
20	32.9	-7.2	26.0
10	-41.6	-8.5	17.3
0	-50.3	-5.9	0
-10	-59.0	-24.6	-17.3
-20	-67.7	-33.3	-26.0

根据(2)式和未来气候的可能变化趋势^[11,12], 采用假定气候方案, 分析龙门站径流量对于气候变化的敏感性。假定的气候方案为: 降水变化为 $\pm 20\%$ 、 $\pm 10\%$ 和不变, 同时气温保持不变及升高 1°C



(a) 春季 (b) 夏季 (c) 秋季 (d) 冬季
图 4 区间季平均降水量的年际变化及趋势

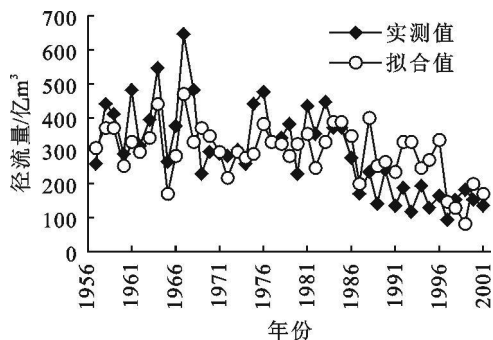


图 5 龙门站径流量与区间气温降水量的回归分析

和 2℃, 共 15 种组合。计算结果列于表 1。从表 1 可以看出, (1) 径流量随降水的增加而增加, 随气温的升高而减小。(2) 径流量对降水变化的响应比气温变化的响应更为显著。在假设范围内, 当气温保持不变, 降水减少 10% 时, 年径流量将减少 17.3%; 当降水保持不变, 气温增加 1℃ 时, 年径流量将减少 5.9%。(3) 在 15 种假定的气候模式中, 径流变化的极值出现在暖干旱气候条件下, 即气温升高 2℃ 同时降水减少 20% 时, 龙门站径流量将减少 67.7% 左右; 而在最有利情况下, 即当气温保持不变, 降水增加 20% 时, 龙门站径流量将增加 26.0%。

3.3 气候变化对径流量影响的计算分析

将 1990 年以后的气温、降水资料带入 (2) 式既可算出龙门站各年径流量, 并且统计出 1990~ 2001 年的平均值, 将其值与前期径流量相比较, 便可得到气候变化对年径流量的影响量, 如表 2 所示。从表 2 可以看出, 90 年代以来, 气候变化已使龙门站径流量减少 71.56 亿 m^3 , 影响幅度为 21%。

4 结 论

在全球气候变暖的大背景下, 河龙区间的年平均气温总的趋势是在变暖, 尤其是进入 90 年代后, 增温更加明显。区间四季气温都呈上升趋势, 春、夏季增温尤其显著。区间年平均降水量呈现微弱减小趋势, 但进入 90 年代后, 减少趋势变得明显。区间春、冬季降水量较少趋势不显著, 夏、秋季降水量呈显著减少趋势, 由于区间夏、秋季降水量占全年降水量的 80% 以上, 且区间水资源的多少对黄河中游水库蓄水有重要影响, 因此夏、秋季降水量的减少应引起重视。龙门站年径流量随降水的增加而增大, 随气温的升高而减小, 且径流量对降水变化的响应要比对气温变化的响应更为显著。90 年代后, 由气候变化引起龙门年径流量已减少 71.56 亿 m^3 , 影响幅度为 21%。

本文只对影响水资源的气候因子 (气温和降水) 进行了初步分析, 实际上影响区间径流量变化的原因比较复杂, 尤其是人类活动, 因此研究结果还有待进一步深化。

参考文献:

[1] 钱云平, 蒋秀华, 金彦彦, 等. 黄河中游黄土高原区河川基流特点及变化分析[J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(2): 88- 91.
[2] 陈浩, 周金星, 陆中臣, 等. 黄河中游流域环境要素对水沙变异的影响[J]. 地理研究, 2002, 21(2): 179- 187.

4 评价结果

将海南岛 2005 年的具体指标值及其在评价要素中的权重代入(3)式进行计算, 得出(2)式隶属度矩阵 R 值为:

$$R = \begin{pmatrix} 0.0555 & 0.9445 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0750 & 0.1500 & 0.4750 & 0.3000 \\ 0.0000 & 0.1875 & 0.3967 & 0.4158 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0400 & 0.3600 & 0.2100 & 0.3900 \\ 0.0000 & 0.1200 & 0.4900 & 0.3900 & 0.0000 \end{pmatrix}$$

海南岛生态系统健康各评价要素的权矩阵设为:
 $W = (0.2000 \quad 0.2000 \quad 0.2000 \quad 0.2000 \quad 0.2000)$
将隶属度矩阵 R 值和权矩阵 W 值代入(1)式计算, 最后得出海南岛生态系统健康评价结果如下:
 $H = (0.0111 \quad 0.2734 \quad 0.2793 \quad 0.2982 \quad 0.1380)$

按最大隶属度原则, 2005 年海南岛生态系统属健康状态, 隶属度为 0.298 2。

5 结 语

生态系统健康给环境管理带来了一种新思维方式, 对促进海南生态省建设的健康发展具有现实而重要的意义。从自然、经济和社会 3 个方面选择海南岛生态系统健康指标, 并依据完整性、实时性、前

瞻性、可操作性、可比性的指标选取原则构建科学可靠的指标体系及分级标准, 采用模糊数学建立评价模型, 经计算得出海南岛生态系统健康评价结果为: “病态” 隶属度 0.011 1、“不健康” 隶属度 0.273 4、“临界值” 隶属度 0.279 3、“健康” 隶属度 0.298 2、“很健康” 隶属度 0.138 。根据最大隶属度原则, 2005 年海南岛生态系统属“健康”状态。

参考文献:

[1] 刘明华, 董贵华. 城市生态系统健康评价指标体系的构建[J]. 中国疗养医学, 2005, 14(3): 161- 164.
[2] 张志诚, 牛海山, 欧阳华. “生态系统健康” 内涵探讨[J]. 资源科学, 2005, 27(1): 136- 145.
[3] 曾晓舵, 丁常荣, 郑习健. 生态系统健康评价及其问题[J]. 生态环境, 2004, 13(2): 287- 289.
[4] 王广成, 闫旭骞. 矿区生态系统健康评价指标体系研究[J]. 煤炭学报, 2005, 30(4): 534- 538.
[5] 宋兰兰, 陆桂华, 刘凌, 等. 区域生态系统健康评价指标体系构架[J]. 水科学进展, 2006, 17(1): 116- 121.
[6] 李建龙. 城市生态绿化工程技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004. 140- 168.
[7] 郑远强. 海南省城镇居民收入分配差异程度测度分析[J]. 海南大学学报(人文社会科学版), 2003, 21(3): 264- 268.
[8] 吴春华, 牛卫华. 论河流生态系统健康[J]. 人民黄河, 2006, 28(2): 10- 12.

(上接第 200 页)

[3] 史辅成. 河口镇- 龙门区间降雨径流关系变化的原因[J]. 人民黄河, 2006, 28(4): 24- 26.
[4] 康玲玲, 王国庆, 王云璋, 等. 黄河中游河龙区间降水分布及其变化特点分析[J]. 人民黄河, 1999, 21(8): 3- 6.
[5] 王云璋, 康玲玲, 王国庆, 等. 河龙区间近 10 年降水特点及其变化趋势分析[J]. 人民黄河, 1999, 21(8): 6- 8.
[6] 施雅风, 沈永平, 李栋梁, 等. 中国西北气候由暖干向暖湿转型问题评估[M]. 北京: 气象出版社, 2003. 17- 44.
[7] 白爱娟, 刘晓东. 从气候标准的改变分析西北地区的气候变化[J]. 干旱区研究, 2005, 22(4): 458- 464.
[8] 王遵娅, 丁一汇, 何金海. 近 50 年来中国气候变化特征的再分析[J]. 气象学报, 2004, 62(2): 228- 236.
[9] 李新周, 刘晓东, 马柱国. 近百年来全球主要干旱区的干旱化特征分析[J]. 干旱区研究, 2004, 21(2): 97- 103.
[10] 周晓红, 赵景波. 黄土高原气候变化与植被恢复[J]. 干旱区研究, 2005, 22(1): 116- 119.
[11] Houghton J T, Jenkins G J, Ephraums J J. Climate Change: The IPCC scientific assessment[M]. Cambridge University Press, 1990.
[12] 刘春葉. 气候变化对水文水资源影响及适应对策研究[R]. 85-913-03-03 专题技术报告. 北京: 水利部信息中心, 1996.