

# 黄土高原吕二沟流域土地利用/覆被和 气候变化对径流泥沙的影响

邓文平<sup>1</sup>, 李海光<sup>1</sup>, 余新晓<sup>1</sup>, 赵阳<sup>1</sup>, 王贺年<sup>1</sup>, 徐峰<sup>2</sup>

(1. 北京林业大学 水土保持学院 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083;

2. 黄河委员会天水水保站, 甘肃 天水 741000)

**摘要:** 为了研究气候变化和土地利用/覆被变化对流域生态水文的影响, 以吕二沟流域为研究对象, 采用非参数统计秩检验法的分析方法, 根据研究区 1982–2010 年的气象数据, 对其中的径流量和输沙量进行了突变点检验, 分析了不同时期的径流量和输沙量的变化, 以及不同时期土地利用和气候变化对流域径流泥沙的贡献。结果表明: (1) 径流泥沙在非显著变化期内的减少量和幅度均小于其在显著变化期。(2) 在非显著变化期内, 径流的减少, 气候因素的贡献率为 40.98%, 而土地利用的贡献率为 59.01%, 即流域土地利用变化是导致流域径流量减少的主要原因; 人类活动使泥沙量减少 1.38 万 t, 而气候变化使泥沙量减少 0.81 万 t。(3) 在显著变化期内, 径流的减少气候因素的贡献率为 65.57%, 而土地利用的贡献率为 34.43%; 人类活动使泥沙量减少 4.80 万 t, 而气候变化使泥沙量减少 4.37 万 t。(4) 在研究期内, 人类活动对生态水文影响作用逐渐减小, 而气候变化对其影响逐渐加剧。

**关键词:** 土地利用/覆被; 气候变化; 径流; 输沙

中图分类号: P332.5; F301.24

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2011)04-0226-06

## Influence of the Change of Land Use/ Land Cover and Precipitation Variation on Runoff and Sediment Transport in Lüergou River Watershed on the Loess Plateau

DENG Wen-ping<sup>1</sup>, LI Hai-guang<sup>1</sup>, YU Xin-xiao<sup>1</sup>, ZHAO Yang<sup>1</sup>, WANG He-nian<sup>1</sup>, XU Feng<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Soil and Water Conservation & Combating Desertification of Ministry of Education, School of Water and Soil Conservation, BFU, Beijing, 100083, China; 2. Tianshui Soil and Water Conservation Science Experiment Station, Yellow River Conservancy Commission, Tianshui, Gansu 741000, China)

**Abstract:** In order to study the coupling effects of land use/land cover and climate variability on runoff and sediment transport, Lüergou watershed was taken as an example and the trend of annual streamflow and sediment transport in period of 1982–2010 were examined. By using the nonparametric Mann-Kendall test and the change of annual streamflow and sediment discharge in different period were analyzed. In addition, the contributions of landuse and climate variability period to runoff and sediment yield were assessed. The results showed that: (1) The reduction of streamflow and sediment transport in unremarkable variation period was less than in remarkable period; (2) In unremarkable variation period, the estimated streamflow reduction from 1987–1991 was attributable to landuse change (59.01%) and climate change (40.98%), so, the streamflow reduction was mainly due to the change of landuse; the reduction of mean annual sediment yield by 13.80 thousand ton, the climate variability caused the reduction of mean annual sediment yield by 8.10 thousand ton; (3) In remarkable variation period, we estimated that streamflow reduction from 1991–2010 was attributable to landuse change (34.43%) and climate change (65.57%), the landuse caused the reduction of mean annual sediment yield by 48.00 thousand ton, the climate variability caused the reduction of mean annual sediment yield by 43.70 thousand ton; (4) The effects of landuse on runoff and sediment transport gradually decreased, while the effects of climate variability gradually increased.

**Key words:** land use/land cover; climate variability; runoff; sediment transport

收稿日期: 2011-01-15

修回日期: 2011-02-28

资助项目: 国家自然科学基金项目(40871136)

作者简介: 邓文平(1987–), 男, 湖北随州人, 硕士研究生, 主要研究方向: 水土保持。E-mail: deng\_wen\_ping@126.com

通信作者: 余新晓(1961–), 男, 甘肃平凉人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 森林水文、水土保持等。E-mail: yuxinxiao111@126.com

流域径流和侵蚀产沙是气候变化与下垫面综合作用的产物<sup>[1]</sup>。大量的事实证明,气候正在发生不可逆的变化<sup>[2]</sup>。气候变化从多方面影响流域径流和侵蚀产沙的过程,其中降雨变化是影响流域径流和侵蚀产沙过程最为直接的因素之一<sup>[3]</sup>。人类活动如水土保持措施建设等改变流域下垫面,影响流域的产汇流和侵蚀产沙机制<sup>[4]</sup>。如何区分气候变化和人类活动对流域径流和侵蚀产沙变化贡献率大小一直是人们关注的热点问题<sup>[5]</sup>。

水土流失问题是当今世界上普遍受到关注的重大生态问题,已经成为我国首要的和重大的环境问题<sup>[6]</sup>,而半干旱的黄土高原丘陵沟壑区是我国水土流失的重灾区<sup>[7]</sup>。大量的研究表明黄土高原水土流失是自然和人为因素共同作用的结果<sup>[8]</sup>。在众多的影响因素中,气候中的降水因素是水土流失的原动力<sup>[9]</sup>,气温的变化影响着径流的水量,人类活动对下垫面的改变影响着土壤的可蚀性及土壤的水稳定性,以及保水能力,有研究表明:小流域水土保持措施能够有效地拦蓄降雨,增大流域的蓄水能力,有效减少土壤侵蚀<sup>[10]</sup>;从土地利用变化来看,植被增多,流域产沙减少<sup>[11]</sup>;王盛萍<sup>[12]</sup>、陈月红<sup>[13]</sup>等研究了不同土地利用模式对径流泥沙的影响。这些因素共同决定着径流泥沙发生的规律和发展的方向。但是各种因素在径流泥沙的变化中到底起多大作用难以确定。

本文采用吕二沟流域 1982—2010 年径流泥沙数据,对径流泥沙发生的规律进行研究,并在人类活动和气候变化基础上,对径流泥沙的影响因素进行分析,探求径流泥沙变化规律以及人类活动和气候变化对径流泥沙变化的贡献率,以期为该流域的土地规划管理和水分分配提供依据。

## 1 研究区概况

研究区设在天水市秦州区吕二沟流域。该流域走向自南至北,地势南高北低,呈现狭长带状,流域南北长 6.94 km,东西宽 1.73 km,总面积 12.01 km<sup>2</sup>。吕二沟流域最高海拔 1 707 m,最低点海拔高度 1 175 m,相对高差 532 m,共有大小支沟 51 条,沟壑密度 3.82 km/km<sup>2</sup>,平均比降 7.24%。流域形状系数 0.25<sup>[14]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 径流泥沙序列划分及定量分析

2.1.1 径流泥沙序列划分 Mann-Kendall 方法在时间序列中应用较为广泛的非参数突变检验方法<sup>[15,16]</sup>,本研究以 Mann-Kendall 非参数突变检验为基准,将径流泥沙序列按照时间寻找突变点,将其划分

为基准期和变化期;在变化期中,区分出非明显变化区段和明显变化区段,进而研究径流泥沙的变化。

2.1.2 径流泥沙的定量分析 在划分基准期和变化期后,为了研究其数量行的关系,将基准期和变化期年径流泥沙序列分别取其平均值,进而按照下式计算其变化量。

$$\eta_a = \frac{\Delta_{21}}{R_1} \times 100\% \quad (1)$$

$$\eta_b = \frac{\Delta_{31}}{R_1} \times 100\% \quad (2)$$

$$\Delta_{21} = R_2 - R_1 \quad (3)$$

$$\Delta_{31} = R_3 - R_1 \quad (4)$$

式中:  $\eta_a$  ——非明显变化年均变化率;  $\eta_b$  ——明显变化年均变化率;  $\Delta_{21}$  ——非明显变化期和基准期平均年径流的差、年输沙变化量(万 m<sup>3</sup>, 万 t);  $\Delta_{31}$  ——明显变化期和基准期平均年径流的差、年输沙变化量(万 m<sup>3</sup>, 万 t);  $R_1$  ——基准期平均年径流、年输沙量(万 m<sup>3</sup>, 万 t);  $R_2$  ——非明显变化期平均年径流、年输沙量(万 m<sup>3</sup>, 万 t);  $R_3$  ——明显变化期平均年径流、年输沙量(万 m<sup>3</sup>, 万 t)。

### 2.2 气候变化和土地利用对径流泥沙贡献分析方法

2.2.1 气候变化和土地利用变化对径流的贡献分析方法 用水量平衡原理结合实际蒸散量的估算公式,分析气候及土地利用变化(植被变化)对径流的影响及各自的贡献率大小。

径流的变化是自然因素和人类活动因素共同作用的结果,为了区分气候变化和人类活动对径流的影响,径流年均变化  $\Delta Q_{tot}$  可以看作是由气候原因引起的年均径流变化  $\Delta \bar{Q}_{clim}$  和由人类活动引起的年均径流变化  $\Delta \bar{Q}_{LUCC}$  两部分构成<sup>[17]</sup>,用式(5)计算。

$$\Delta Q_{tot} = \Delta \bar{Q}_{clim} + \Delta \bar{Q}_{LUCC} \quad (5)$$

式中:  $\Delta Q_{tot}$  对于一个研究流域可认为是由径流突变点前后两个阶段的年均径流之差<sup>[18]</sup>,可用式(6)计算。

$$\Delta Q_{tot} = \bar{Q}_2 - \bar{Q}_1 \quad (6)$$

式中:  $\bar{Q}_2$  ——突变后年均径流量;  $\bar{Q}_1$  ——突变前的年均径流量。

$\Delta \bar{Q}_{clim}$  是假定土地利用不发生变化由气候变化引起的年均径流变化量,其可用式(7)计算<sup>[19]</sup>。

$$\Delta \bar{Q}_{clim} = \beta \Delta P + \gamma \Delta E_0 \quad (7)$$

式中:  $\Delta P$ ,  $\Delta E_0$  ——降水和潜在蒸发散的变化;  $\beta$ ,  $\gamma$  ——径流响应于降水和潜在蒸发散变化的灵敏系数。其计算公式为

$$\beta = \frac{1 + 2x + 3\omega x^2}{(1 + x + \omega x^2)^2} \quad (8)$$

$$\gamma = -\frac{1 + 2\omega x}{(1 + x + \omega x^2)^2} \quad (9)$$

式中:  $x$  ——干旱指数,  $x = E_0/P$ ;  $\omega$  ——与下垫面条件有关的一个综合参数, 与地形、植被和土壤等因素有关<sup>[20]</sup>, 考虑到在研究的 29 a 时间范围内, 地形和土壤都不会发生大的变化, 故植被变化是影响  $\omega$  的主要因素<sup>[20]</sup>, 在本研究中  $\omega$  是各地类  $\omega$  的面积加权和。

### 2.2.2 气候变化和土地利用对泥沙贡献的分析方法

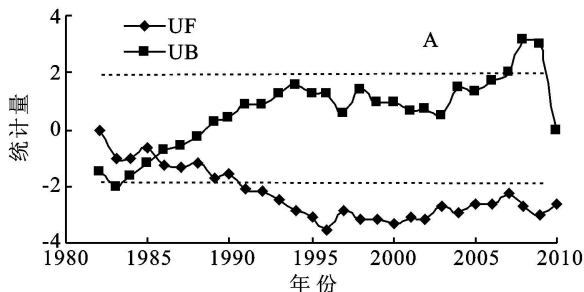
泥沙变化是通过输沙量的变化来反映的, 因此用输沙量来表示泥沙。流域输沙变化总量  $\Delta S$  是变化期实测输沙量  $Q_{S2}$  与基准期输沙量  $Q_{S1}$  之差, 它包括人类活动的影响量  $\Delta S_1$  和降水变化的影响量  $\Delta S_2$ <sup>[22]</sup>。人类活动对流域输沙的影响量  $\Delta S_1$  是实测变化期输沙量  $Q_{S2}$  与基于降水-输沙关系模拟的变化期输沙量  $Q'_{S2}$  之差, 而降水变化对输沙的影响量  $\Delta S_2$  是变化期模拟输沙量  $Q'_{S2}$  与基准期实测输沙量  $Q_{S1}$  之差<sup>[23]</sup>:

$$\Delta S = Q_{S2} - Q_{S1} = \Delta S_1 + \Delta S_2 \quad (10)$$

$$\Delta S_1 = Q_{S2} - Q'_{S2} \quad (11)$$

$$\Delta S_2 = Q'_{S2} - Q_{S1} \quad (12)$$

2.2.3 土地利用数据获取 利用吕二沟流域 1986 年、1995 年、2001 年和 2008 年的 4 期遥感影像图, 运用 GIS 的空间分析功能, 同时结合流域实测资料, 对吕二沟流域土地利用结构变化进行分析。根据全国土地利用现状分类系统, 并结合吕二沟流域土地利用的特点, 将流域土地利用类型划分为建筑用地、林地、梯田、草地、坡耕地和果园。



## 3 结果与分析

### 3.1 径流泥沙变化过程分析

3.1.1 径流泥沙年际变化特征 黄土高原吕二沟流域年径流量和输沙量随时间变化而变化, 通过统计黄土高原吕二沟流域 1982-2010 年径流泥沙日数据, 应用年径流泥沙数据对其年际变化规律进行研究, 见图 1。

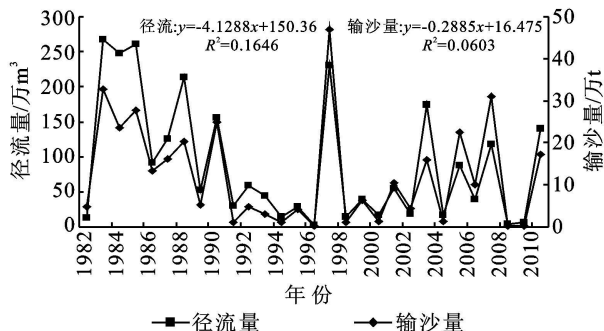


图 1 吕二沟流域径流泥沙年际变化

吕二沟流域的输沙量和径流量呈现基本一致的变化规律, 即大水大沙, 且径流泥沙都有下降的趋势, 但由于年际间变化波动较大, 从中并不能很好的看出其变化规律, 为了更清楚的分析流域径流和输沙量的趋势性变化, 采用 M-K 法进行趋势性分析。

应用 Mann-Kendall 非参数检方法, 对吕二沟流域径流泥沙的年际变化及突变进行研究, 见图 2。

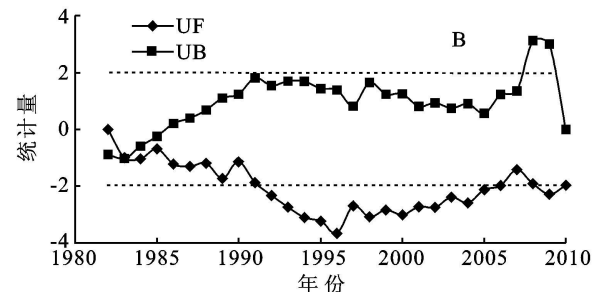


图 2 吕二沟流域年径流、泥沙量 Mann-Kendall 统计量变化情况

对 1982-2010 年径流序列采用 M-K 趋势分析, 从图 2A 中可见, 径流 M-K 趋势曲线 UF 从 1982-1985 年没有明显的变化, 从 1986 年开始有减小的趋势。M-K 趋势曲线 UF 和 UB 的交点表明径流序列在 1986 年存在突变点。以 1986 年为突变的分界点, 将 1982-2010 年的径流年际变化分为两期, 1982-1986 年为基准期, 1987-2010 为变化期, 并以 1991 年为非显著变化期和显著变化期的分界点划分为 1988-1991 年的非显著变化期和 1992-2010 年的显著变化期。

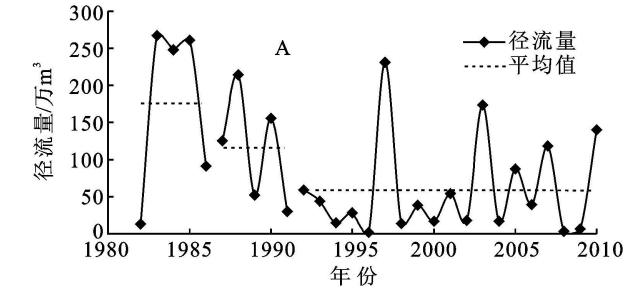
对 1982-2010 年输沙量序列同样采用 M-K 趋

势分析, 流域输沙量显著减少, 并在 1983 年存在突变点。另外发现, 径流和输沙量在 1991 年之前, 虽然有减少的趋势, 但减少的趋势并不显著。以 1983 年为突变分界点, 将吕二沟流域泥沙变化划分为 2 期, 即 1982 年、1983 年的基准期和 1984-2010 年的变化期; 以 1991 年为非显著和显著变化的分界点划分为 1984-1991 年的非显著变化期和 1992-2010 年的显著变化期。

径流减少主要原因是自然的变化, 即由于受到全球气候变化, 降雨减少和温度升高所导致的蒸散发强烈作用的结果; 泥沙的减少变化是自然和人类活动共

同作用的结果, 它一方面受到动力因素, 即径流变小的影响, 另外一方面还受到人类活动所导致的下垫面变化的影响, 如退耕还林、水土保持、坡耕地变梯田等工程的实施。

径流泥沙发生突变的时间存在差异, 主要是由于泥沙的形成一方面受径流的变化影响, 另一方受地



表覆盖(土地利用)变化的影响, 在此期间土地利用变化对泥沙的形成具有重要影响, 因此径流和泥沙的突变年份存在差异。

3.1.2 径流泥沙定量变化研究 对 3 期(基准期、非显著变化期和显著变化期) 径流和输沙量序列取其平均值, 进行定量变化研究, 见图 3。

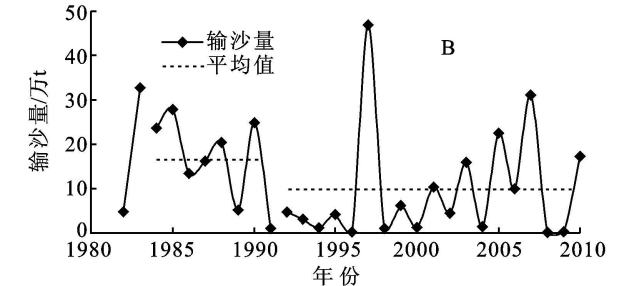


图 3 吕二沟流域年径流、泥沙变化

吕二沟流域径流泥沙平均值均表现出在基准期为最高, 显著变化期最低, 其不同时段的数量特征见表 1。

表 1 吕二沟流域径流泥沙不同时段划分及数量变化特征			
指标	径流量		输沙量
时段划分	$R_1$	1982— 1986	1982— 1983
	$R_2$	1987— 1991	1984— 1991
	$R_3$	1991— 2010	1991— 2010
均值/( 万 $m^3$ , 万 t)	$R_1$	176. 02	18. 76
	$R_2$	115. 42	16. 57
	$R_3$	58. 27	9. 59
变化量/( 万 $m^3$ , 万 t)	$\Delta_{21}$	- 60. 60	- 2. 19
	$\Delta_{31}$	- 117. 76	- 9. 17
平均年变化率/%	$\eta_a$	- 34. 43	- 11. 67
	$\eta_b$	- 66. 90	- 48. 89

黄土高原吕二沟流域径流泥沙在变化期内体现出减少的变化, 但是在不同的变化期内, 变化程度不同: 径流泥沙均表现出非显著变化期内的减少的量和幅度均小于其在显著变化期。这些变化与降雨的变化和人类活动有关。

3.2 气候和土地利用变化分析

3.2.1 气候变化分析 气候与流域水文和流域径流关系密切, 其中降雨和气温是影响流域水文的重要因素。因此对不同年份的降水和气温进行分析。在研究时段(1982— 2010 年) 内, 按照时间顺序分别对降水和气温进行统计分析, 见图 4。

在 1982— 2010 年内降水减少 209 mm, 减少了 34. 60%, 气温增高 1. 38  $^{\circ}C$ , 增高了 13. 09%。降水和气温与时间的关系为:

$$Y_1 = - 11. 139X + 676. 71 \quad R^2 = 0. 3723 \quad (13)$$
$$Y_2 = 0. 0667X + 10. 473 \quad R^2 = 0. 6332 \quad (14)$$

式中:  $Y_1$  ——降水量( mm);  $Y_2$  ——气温(  $^{\circ}C$ );  $X$  ——

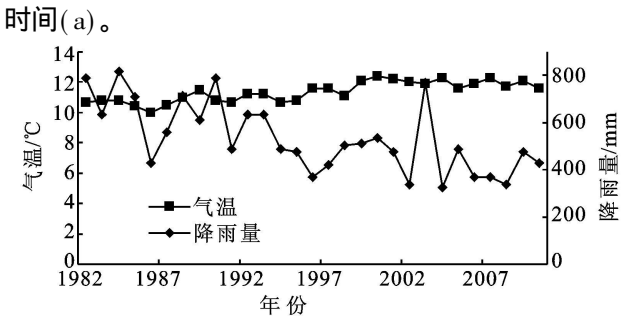
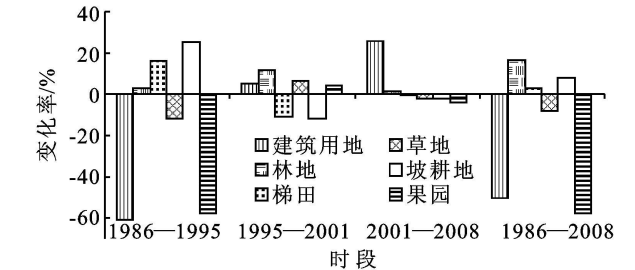


图 4 气温和降水随时间变化

虽然相关系数均很小, 但是从平均角度上是可以说明降水以平均每年 11. 139 mm 速度减少, 气温以每年 0. 066 7  $^{\circ}C$  速度增加。

3.2.2 土地利用变化分析 土地利用的变化可以改变土壤抗蚀力的大小, 从而对土壤的侵蚀产沙量有极大的影响, 而且, 结合气候因素变化, 能更好的解释流域径流产沙的变化。在研究期内虽然土地利用类型变化不同, 但是总体上来讲, 无论时间的变化, 林地所占比重最大, 其次为坡耕地和草地, 而果园和建筑用地所占比重较小。为了研究土地利用变化的相对大小, 对各研究阶段以研究前期的不同土地利用类型为本底, 研究其变化率, 见图 5。



变化率的计算是以研究开始阶段为基础, 对研究期间结束的变化率, 不同时段其研究参照对象不同。

图 5 不同时间段土地利用变化百分比

在所有研究阶段, 1986– 1995 年土地利用变化率较大: 建筑用地和果园面积较小, 但是变化最大, 1995 年建筑用地和果园面积分别减少了 61% 和 57%, 而坡耕地和梯田增加了 25% 和 16%; 2001– 2008 年除了建筑用地面积增加了 25% 以外, 其余土地利用类型变化幅度均不大; 在整个研究期林地面积一直是以不同速度增加着, 1995– 2001 年增加速度最快, 到研究期结束林地增加了 16%, 而建筑用地和

表 2 吕二沟流域气候及土地利用变化对径流的影响

变化期	起止时间	径流/ 万 m <sup>3</sup>	变化量/ 万 m <sup>3</sup>	土地利用		气候变化	
				变化量/ 万 m <sup>3</sup>	贡献率/ %	变化量/ 万 m <sup>3</sup>	贡献率/ %
基准期	1982– 1986	176. 02					
非显著变化期	1987– 1991	115. 42	– 60. 60	– 35. 76	59. 01	– 24. 84	40. 98
显著变化期	1992– 2010	58. 27	– 117. 75	– 40. 54	34. 43	– 77. 21	65. 57

表 2 反映的是不同时段土地利用和气候变化对径流贡献的大小, 在非显著变化和显著变化期, 径流量分别比基准期减少了 60. 60 万 m<sup>3</sup> 和 117. 75 万 m<sup>3</sup>, 气候变化和土地利用变化都引起了径流的变化。在非显著变化期, 由于人类活动引起净流量减少 35. 76 万 m<sup>3</sup>, 对流域径流减少的贡献率为 59. 01%, 由于气候变化引起净流量减少 24. 84 万 m<sup>3</sup>, 对流域径流减少的贡献率为 40. 98%。

在显著变化期间, 由于人类活动引起径流量减少 40. 54 万 m<sup>3</sup>, 对流域径流的贡献率为 34. 43%, 由于气候变化引起径流量减少 77. 21 万 m<sup>3</sup>, 对流域径流量的贡献率为 65. 57%。可见, 在非显著变化期间, 人类活动的影响程度大于降雨等气候因素, 这与流域的水土保持综合治理有关, 在 1987 年以前吕二沟流

表 3 吕二沟流域气候和土地利用变化对输沙量的影响

变化期	起止时间	输沙量/ 万 t	变化量/ 万 t	土地利用		气候变化	
				变化量/ 万 t	贡献率/ %	变化量/ 万 t	贡献率/ %
基准期	1982– 1983	18. 76					
非显著变化期	1984– 1991	16. 57	– 2. 19	– 1. 38	63. 17	– 0. 81	36. 83
显著变化期	1992– 2010	9. 59	– 9. 17	– 4. 80	52. 36	– 4. 37	47. 64

由表 3 可以看出, 在非显著变化期和显著变化期间输沙量分别为 16. 57 万 t 和 9. 59 万 t, 与基准期相比分别减少 2. 19 万 t 和 9. 17 万 t。输沙量的减少受气候变化和人类活动的影响, 通过分析得出, 在非显著变化期间, 人类活动使泥沙量减少 1. 38 万 t, 对泥沙减少的贡献率为 63. 17%, 这主要是与土地利用变化( 植物措施, 工程措施) 引起入渗增加, 降雨截留以及拦蓄泥沙等功能有关, 起到减轻侵蚀的作用, 而气候变化使泥沙量减少 0. 81 万 t, 可见人类活动对泥沙的贡献率要大于气候变化, 水土保持综合治理措施的功能得到充分的发挥, 这与张琳玲<sup>[24]</sup> 等对黄土丘陵沟壑区吕二沟流域水土流失特征分析中得出的结论

果园分别减少 50% 和 57%。建筑用地和果园的变化主要是在 1986– 1995 年。流域中的建筑用地实际指村庄、厂矿占地, 以及非农业生产用地, 由于矿址搬迁等原因使建筑用地面积减少。

3. 3 气候变化和人类活动对径流泥沙的贡献分析  
3. 3. 1 气候变化和人类活动对径流的贡献分析 利用公式( 5) – ( 12) 介绍的方法分析降雨变化和人类活动对径流的贡献率, 见表 2。

域中以坡耕地为主, 梯田林地的面积还很小, 水土保持措施( 植物措施, 工程措施) 还不能发挥其涵养水源的作用, 而在 1987 年以后随着水土保持工作的展开, 梯田、林地面积大大增加以及淤地坝工程的建设, 这些措施涵养水源的功能得到充分的发挥, 径流量逐渐减少, 从而使降雨对径流的影响不那么明显; 在显著变化期间, 降雨等气候因素的变化对径流的减少起主导作用, 一方面降雨量减少, 另一方面是由于温度的升高, 使蒸散量增加, 减少了径流。另外在后期一些水土保持工程措施由于年久失修, 基本丧失了保持水土的功能。

3. 3. 2 气候变化和人类活动对输沙量的贡献分析 利用公式( 5) – ( 12) 介绍的方法分析降雨变化和人类活动对输沙量的贡献率见表 3。

相符; 显著变化期间, 人类活动使泥沙量减少 4. 8 万 t, 而气候变化使泥沙量减少 4. 37 万 t, 可见人类活动对泥沙的贡献率稍大于气候变化, 主要是由于温度的升高使土壤持水量变小, 而黄土高原土壤渗透强度不大, 遇到大雨时易发生较大的地表径流和土壤流失, 同时一些工程措施超过使用年限, 基本丧失了固定沟床、拦蓄泥沙的水土保持功能。

4 结 论

本研究对黄土高原吕二沟流域气候变化、土地利用变化以及其共同作用而产生的径流泥沙变化规律进行研究, 并在此基础上探讨气候和土地利用变化对

径流泥沙变化贡献,结果如下:

吕二沟流域径流泥沙在1982–2010年的年际变化差异较大,应用Mann–Kendall非参数检验的方法对径流泥沙进行突变检验得出,年径流量在1986年发生突变,年输沙量的突变发生在1983年。经计算得出,年均径流量在非显著变化期内减少了60.6万 $\text{m}^3$ ,年均变化率为–34.43%,其中由于人类活动对流域径流减少的贡献率为59.01%,由于气候变化对流域径流减少的贡献率为40.98%。在显著变化期内由于人类活动对流域径流的贡献率为34.43%,由于气候变化对流域径流量的贡献率为65.57%;而输沙量在非显著变化期内由人类活动使泥沙量减少1.38万t,而气候变化使泥沙量减少0.81万t;显著变化期间,人类活动使泥沙量减少4.8万t而气候变化使泥沙量增加4.37万t。

在非显著变化期内,人类活动对径流和泥沙的贡献率都大于气候变化,这主要是土地利用方式的转变和水土保持治理工作的开展,充分发挥了保持水土和涵养水源的作用;在显著变化期内,人类活动对径流的影响小于气候变化,而人类活动对泥沙的影响也有下降,这主要是由于黄土高原降雨减少、温度升高、气候干旱化导致,同时一些工程措施也因为年久失修而丧失了拦蓄泥沙的功能。

#### 参考文献:

- [1] 唐克丽,史立人,史德明,等.中国水土保持[M].北京:科学出版社,2004:30–76.
- [2] Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2007: The scientific basis[R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [3] Nearing M A, Jetten V, Baffaut C, et al. Modeling response of soil erosion and runoff to changes in precipitation and cover[J]. Catena, 2005, 61: 13–154.
- [4] Defries R, Eshleman K N. Land use change and hydrologic processes: A major focus for the future[J]. Hydrological Processes, 2004, 18: 2183–2186.
- [5] 张守红,刘苏峡,莫兴国,等.降雨和水保措施对无定河流域径流和产沙量影响[J].北京林业大学学报,2010, 32(4): 16–168.
- [6] 郑粉莉,王占礼,杨勤科.我国土壤侵蚀科学研究回顾与展望[J].自然杂志,2008, 30(1): 12–17.
- [7] Shi Hui, Shao Mingan. Soil and water loss from the Loess Plateau in China[J]. Journal of Arid Environments, 2000, 45: 9–20.
- [8] 傅伯杰.陕北黄土地区合理利用的途径与措施[J].水土保持学报,1989, 3(5): 1009–2242.

- [9] 卢金发,刘爱霞.黄河中游降雨特性对泥沙粒径的影响[J].地理科学,2002, 22(5): 552–556.
- [10] 陈月红,余新晓,秦富仓,等.吕二沟小流域水土保持措施对径流和侵蚀产沙的影响[J].水利水电技术,2007, 38(8): 30–34.
- [11] 张志强,王盛萍,孙阁.黄土高原吕二沟流域侵蚀产沙对土地利用变化的响应[J].应用生态学报,2005, 16(9): 1607–1602.
- [12] 王盛萍,张志强,孙阁,等.黄土高原流域土地利用变化水文动态响应:以甘肃天水吕二沟流域为例[J].北京林业大学学报,2006, 28(1): 48–53.
- [13] 陈月红,余新晓,谢崇宝.黄土高原吕二沟流域土地利用及降雨强度对径流泥沙影响初探[J].中国水土保持科学,2009, 7(1): 8–12.
- [14] 李海光,余新晓,张满良,等.黄土高原丘陵沟壑第三副区小流域土壤渗透特性研究[J].水土保持研究,2010, 17(2): 75–79.
- [15] Mann H B. Non-parametric test against trend[J]. Econometrika, 1945, 13: 245–259.
- [16] Kendall M G. Rank Correlation Methods [M]. London: Charles Griffin, 1955.
- [17] Jones R N, Chiew F H S, Boughton W C. Estimating the sensitivity of mean annual runoff to climate change using selected hydrological models[J]. Advances in Water Resources, 2006, 29: 1419–1429.
- [18] Dooze J C I, Bruen M, Parmentier B. A simple model for estimating the sensitivity of runoff to long-term changes in precipitation without a change in vegetation[J]. Advances in Water Resources, 1999, 23: 153–163.
- [19] Milly P C D, Dunne K A. Macroscale water fluxes: 2. Water and energy supply control of their interannual variability[J]. Water Resources Research, 2002, 38: 1206.
- [20] Li L J, Zhang L, Wang H. Assessing the impact of climate variability and human activities on streamflow from the Wuding River basin in China[J]. Hydrological Processes, 2007, 25: 3485–3491.
- [21] 唐丽霞,张志强,王新杰,等.晋西黄土高原丘陵沟壑区清水河流域径流对土地利用与气候变化的响应[J].植物生态学报,2010, 34(7): 800–810.
- [22] 信忠保,许炯心,马元旭.近50年黄土高原侵蚀性降水的时空变化特征[J].地理科学,2009, 29(1): 98–104.
- [23] 唐丽霞,张志强,王新杰,等.黄土高原清水河流域土地利用/覆盖和降雨变化对侵蚀产沙的影响[J].自然资源学报,2010, 25(8): 1340–1349.
- [24] 张琳玲,王盛萍,王建军,等.黄土丘陵沟壑区吕二沟流域水土流失特征分析[J].人民黄河,2006, 28(12): 49–51.