

退耕还林(草)对北洛河上游水沙变化的影响

蒋观滔¹, 高鹏^{1,2}, 穆兴民^{1,2}, 柴雪柯¹

(1. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要:为探究黄土高原地区退耕还林(草)政策的水沙响应问题,以植被恢复较好的北洛河上游为研究区域,根据其控制站吴起水文站 1971—2010 年 4—10 月实测水沙资料,定量分析降水量、径流量和输沙量三个水文要素的变化趋势和发生突变的年份。结果表明:1971—2010 年,降水量并未发生显著的趋势性变化,径流量和输沙量呈显著减小趋势;综合四种突变点检验方法结果,并结合水土保持措施资料,确定径流量和输沙量的突变年份为 2002 年;利用双累积曲线定量分析降水和以退耕还林(草)为主的人类活动对径流量与输沙量的影响,相对于 1971—2002 年,2003—2010 年降水和人类活动对径流量的影响程度分别为 70.8% 和 29.2%,对输沙量的影响程度分别为 34.0% 和 66.0%。植被的减沙作用明显大于减水作用,以退耕还林(草)为主的人类活动是北洛河上游流域泥沙减少的主要驱动力。

关键词:退耕还林(草); 水沙变化; 突变点检验; 北洛河上游

中图分类号:P333

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)06-0001-06

Effect of Conversion of Farmland to Forestland or Grassland on the Change in Runoff and Sediment in the Upper Reaches of Beiluo River

JIANG Guantao¹, GAO Peng^{1,2}, MU Xingmin^{1,2}, CHAI Xueke¹

(1. *Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China*; 2. *Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China*)

Abstract: Grain for Green Program launched since 1999 has resulted in a great vegetation restoration in the upper reaches of the Beiluo River on the Loess Plateau, China, which fundamentally influenced hydrological cycle and sediment transportation. The objectives of this work are to quantify the change trend and identify change points of precipitation, runoff and sediment load through April to October from 1971 to 2010. The result showed that a significant downward trend in the runoff and sediment and no significant trend in the precipitation were found during the period of record; combined with the data of the measures of soil and water conservation, the analysis of four kinds of change points revealed that mutations of runoff and sediment emerged in 2002; the double accumulative curve was applied to quantitatively analyze the effect of precipitation and human activities. Taking the period from 1971 to 2002 as the base span, we obtained that the rates of contribution of precipitation and human activities to the reduced runoff accounted for 70.8% and 29.2%, respectively; the rates of contribution of precipitation and human activities to the decreased sediment were 34.0% and 66.0%, respectively, in the period from 2003 to 2010. Compared to former periods, conversion of farmland to forestland or grassland in the study area was expected to be the driven factor to the decrease of sediment transportation.

Keywords: conversion of farmland to forestland or grassland; change in runoff and sediment; change point analysis; the upper reaches of the Beiluo River

黄土高原 20 世纪 70 年代以来开展大规模水土保持工程,1999 年国家实施了退耕还林(草)工程后,生态环境大幅度改善,黄河中游主要泥沙来源区径流量和输沙量均显著减少^[1-2]。据 1919—1960 年资料

统计,黄河三门峡站年均输沙量约为 15.9 亿 t,而 1961—2000 年,年输沙量为 11.2 亿 t,退耕还林(草)工程实施后的近 10 a(2001—2009 年)年均输沙量为 3.6 亿 t^[3]。因此,近年来众多学者对引起黄河水沙

减少的驱动因素开展了广泛的研究。Wang^[4]和Liu^[5]等探讨了黄河干流水沙时空变化特征及其对气候变化和人类活动的响应;张建云等^[6]认为黄河中游气温升高和降水减少是径流减少的重要原因之一;冉大川^[7]和于一鸣^[8]等通过运用水保法和水文法先后确定了河龙区间各项水土保持措施的减水减沙能力。除了对黄河干流的研究,黄河支流泾河^[9]、洛河^[10]、渭河^[11]和汾河^[12]的水沙变化驱动因素分析的研究也多有报道。

区分人类活动和气候变化对水文序列的影响程度,尤其是量化人类活动的影响,普遍使用的研究方法就是对序列进行趋势性检验,找到使得水文序列产生明显变化的突变点^[13-15]。目前国内对水文序列突变点的研究很多,然而,使用的方法不同,水文序列时间年限不同,得到的变异点的结果也不完全一致^[16]。谢平等^[17]认为不同的突变检验方法计算精度不同,检验的结果也并不一致,为此提出了系统的水文变异综合诊断法。北洛河是黄河的二级支流,上游位于黄土丘陵沟壑区,水土流失严重。近年来,随着退耕还林(草)以及山川秀美等生态工程的实施,土地覆被格局发生显著变化,生态环境得到显著改善。本文结合北洛河上游控制站吴起水文站 1971—2010 年水沙数据进行统计分析,对水文序列的突变年份进行检验,比较分析突变年前后水沙变化特征及其驱动因素,并定量估算人类活动和气候变化对水沙的影响程度,为客观评价黄土高原生态建设水土保持效益提供科学的理论依据。

1 资料与方法

1.1 研究区概况

北洛河是黄河的二级支流,渭河的一级支流,是陕西省典型的多泥沙河流之一。北洛河发源于陕西省定边县白于山的魏梁山,流经陕西榆林、延安、铜川、渭南 4 个地(市)的 16 个县(区),于大荔县东南注入渭河,河源海拔高程 1 785 m,河口高程 325 m,总落差 1 460 m;平均比降 1.52‰,河长 680 km,流域面积 26 905 km²。本研究中的北洛河上游指北洛河流域吴起水文站以上的部分,河长 275 km,主河道平均比降 1.60‰,流域总面积 3 424.4 km²,可分为两部分:北洛河源头区,在定边县境内,面积 1 040.6 km²;北洛河上游吴起段,在吴起县境内,面积 2 383.9 km²。区域多年平均降雨量 448.7 mm,4—10 月降水量占全年降雨总量的 93%,年均气温约 7.5℃,无霜期 96~146 d,为暖温带大陆性干旱季风气候。多年平均陆地蒸发量 400~450 mm,是典型干旱半干旱地区。该区域属于典型的黄土高原丘陵沟壑区,地形破碎,沟壑纵横,土层深厚,主要土壤类

型为黄绵土^[18-19],抗蚀性差,湿陷性大,易受流水侵蚀,容易形成洪峰尖瘦、暴涨暴落的突发性高含沙水流,是黄河中游产、输沙模数较高的地区。由于长期对土地超载利用,天然植被已严重破坏,现存植被主要为退耕还林后恢复的次生植被,以沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、柠条(*Caragana microphylla*)等灌木,河北杨(*Populus hopeiensis*)、小叶杨(*Populus simonii*)等阔叶乔木及紫花苜蓿(*Medicago sativa*)等人工牧草为主。

1.2 资料来源

本文选取的是北洛河上游控制站吴起水文站以及吴起气象站 1971—2010 年 4—10 月实测降水,径流和输沙量资料分析水文气象要素变化,由于“94·8”洪水^[20]引起的吴起县城区段洛河支流头道川、二道川、乱石头川上有近 10 座淤地坝发生溃坝,1994 年的水沙资料不用于统计分析。

1.3 研究方法

1.3.1 水文要素趋势和突变分析 雷红富等^[21]对 10 种水文变异检验方法的性能进行了比较研究,认为对于均值发生变异的序列来说,有序聚类,滑动 T 检验的效率较高。本研究采用有序聚类法^[22-23]分析北洛河上游流域控制站吴起水文站 1971—2010 年实测水沙数据的变化趋势,同时采用 Pettitt^[15]、Mann-Kendall^[24]和滑动 T 检验法^[17,21-22]综合分析和识别吴起水文站水沙系列突变点,以避免单一的突变点检验方法的不准确性。

1.3.2 降水与人类活动影响程度估算 双累积曲线法是用于水文气象要素一致性的检验、资料校正及插补的常用方法^[25],通过观察双累积曲线是否发生偏转来判断水文气象要素是否存在趋势性变化。将突变前的实测径流量作为基准值,通过构建的线性回归方程计算不同时段实测径流及理论径流量,不同时段理论值与基准值的差异即为降水对径流变化的影响量;不同时段理论值与实测值之间的差值即为人类活动对径流变化的影响量^[26-27]。

2 结果与分析

2.1 降水量、径流量和输沙量及其变化趋势

北洛河上游不同年代三个水文要素特征值见表 1。多年平均降水量为 416.7 mm,年均径流量为 0.69 亿 m³,年均输沙量为 0.26 亿 t。代际间,降水量变化幅度不大,径流量和输沙量总体呈减小趋势,在减小过程中,1990 年代有小幅增加,2000 年代径流量和输沙量减小显著,相对于多年平均值分别减少了 33%和 62%。1971—2010 年径流量和输沙量大于平均值的年份均为 16 a,多

集中于 1970 年代,分别为 6 a 和 8 a。输沙量极值比达到 348,主要是由于 2007 年年输沙量仅为 20.6 万 t,而最大年输沙量为 7 178.3 万 t(1992 年)。

北洛河上游 1971—2010 年 4—10 月实测降水量,径流量和输沙量见图 1。从图中可以看出降水量波动幅度不大,径流量和输沙量波动显著,且输沙量

波动幅度大于径流量。三个水文要素的相关系数、Kendall 秩次相关系数和 Spearman 秩次相关系数见表 2,三种方法的检验结果均表明径流量和输沙量在相关系数达到 0.01 信度的显著性水平下趋势显著,相关系数为负值说明径流量和输沙量随时间推移呈减小趋势,而降水量没有明显的变化趋势。

表 1 北洛河上游流域不同年代水文要素特征值

系列	降水量			径流量			输沙量		
	平均值/ (mm · a ⁻¹)	极值比	变异系数	平均值/ (10 ⁸ m ³ · a ⁻¹)	极值比	变异系数	平均值/ (10 ⁸ t · a ⁻¹)	极值比	变异系数
多年平均	416.7	2.61	0.22	0.67	5.33	0.43	0.26	348	0.74
1970 年代	427.7	2.19	0.22	0.85	2.43	0.29	0.39	3.91	0.43
1980 年代	414.7	2.61	0.27	0.67	3.70	0.45	0.27	10.2	0.68
1990 年代	401.1	1.55	0.13	0.71	3.49	0.37	0.28	9.61	0.66
2000 年代	423.1	1.72	0.21	0.46	3.56	0.41	0.10	168	0.98

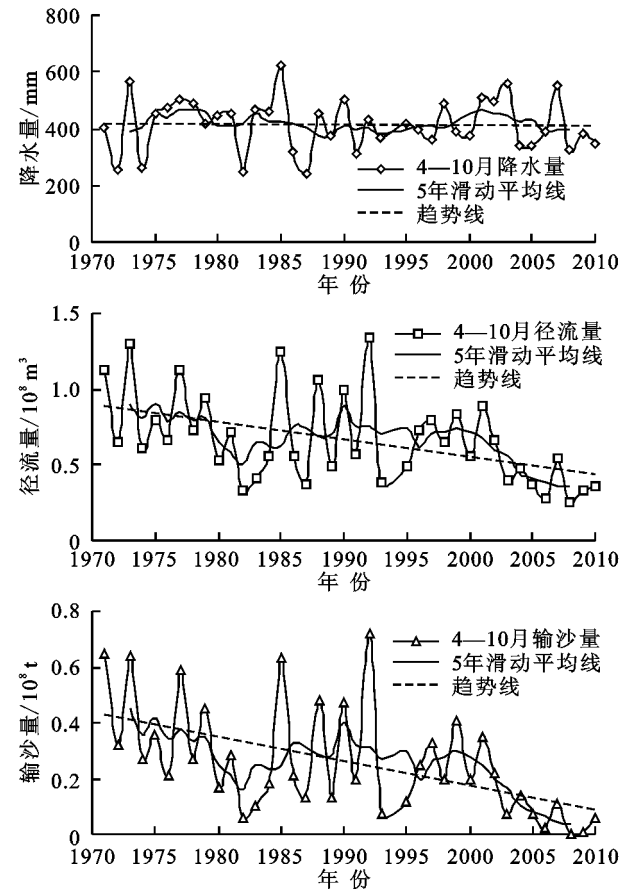


图 1 北洛河上游 1971—2010 年 4—10 月降水量、径流量、输沙量过程线及 5 a 滑动平均线

2.2 径流量和输沙量突变分析及原因调查

采用有序聚类法分析北洛河上游径流量和输沙量发生趋势性跃变的临界年份见图 2,可以看出径流量和输沙量都在 2002 年发生突变,检验统计量分别为-3.72 和-4.03,都达到了 0.05 的显著性水平。为进一步验证径流泥沙突变年份,采用三种方法进行突变检验。Pet-titt 检验法的结果如图 3 所示,在 0.05 的显著性水平检

测到径流输沙的突变年份为 2002 年;非参数 Mann-Kendall 法检验结果见图 4,在 0.05 的显著性水平下,径流量的突变年份为 2003 年,输沙量突变年份为 2002 年。滑动 T 检验结果见表 3,在 0.01 的显著性水平下径流量和输沙量突变年份均为 2002 年。从四种突变检验方法的结果汇总来看(表 4),除 Mann-Kendall 法检测的径流突变年份为 2003 年外,其他方法的检验结果一致,径流量和输沙量发生突变的年份均为 2002 年,突变年份发生在退耕还林(草)工程实施后 3 a。

表 2 北洛河上游水文三要素年际变化趋势的相关分析

参数	相关系数	检验 r	Spearman 秩次相 关检验 T	Kendall 秩次相 关检验 U	$t_{\alpha/2}$	$U_{\alpha/2}$
	系数检 验 r					
降水量	-0.04	0.39	-1.34	2.42	-1.80	2.58
径流量	-0.47	0.39	-5.27	2.42	-4.30	2.58
输沙量	-0.53	0.39	-6.34	2.42	-4.80	2.58

注:显著性水平 $\alpha=0.01$ 。

1999 年国家实施退耕还林(草)工程,区内营造起大面积的人工林地和草地,植被覆盖度增加,水土流失和风沙危害得到了一定的控制和改善,大规模的生态建设成为评价期内流域径流泥沙减少的重要原因。由于植被自然演替速度缓慢,这个时期的人工林草处于生长初期阶段,保育土壤及防风固沙效果还不明显。根据 1986 年和 2003 年 TM 遥感影像^[28]解译可知,耕地面积减少了 75.13%,林地面积增长了 4.34 倍,林地和草地面积分别占区域面积的 36.76% 和 45.30%,其中高覆盖度草地 20.62%。随着退耕还林草和荒山造林等生态建设所营造的林草逐渐成熟,植被的减水减沙作用效果显著,流域下垫面的情况的改善引起了径流量和输沙量的急剧减小,与本文检测的突变点为 2002 年基本相吻合。

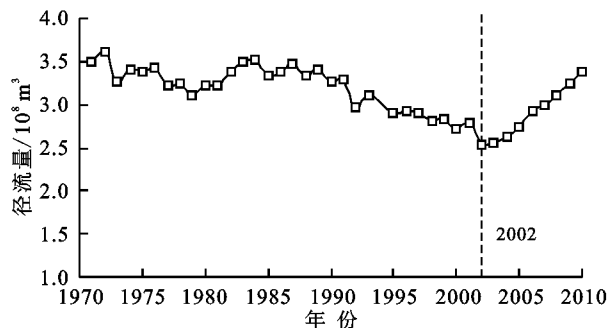
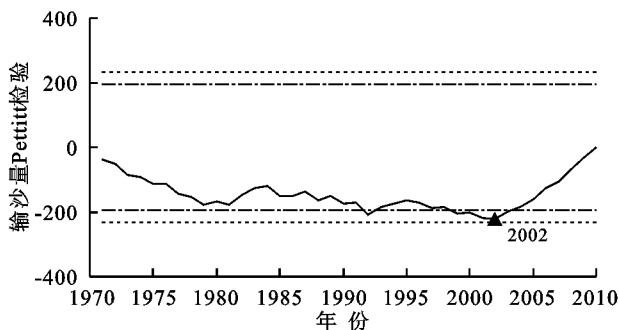
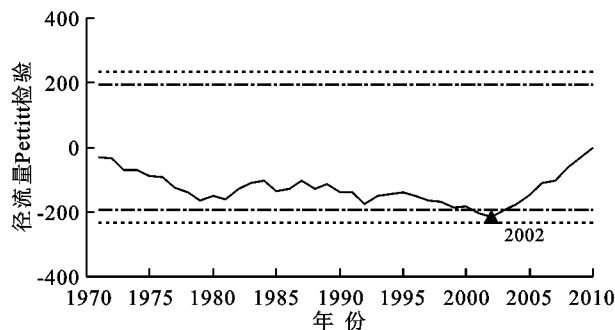
图 2 北洛河上游 1971—2010 年 4—10 月径流量和输沙量 $[Sn(\tau)]$ 变化曲线

图 3 北洛河上游 1971—2010 年 4—10 月径流量和输沙量 Pettitt 检验

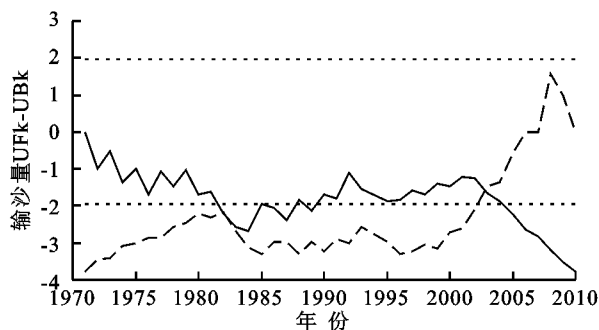
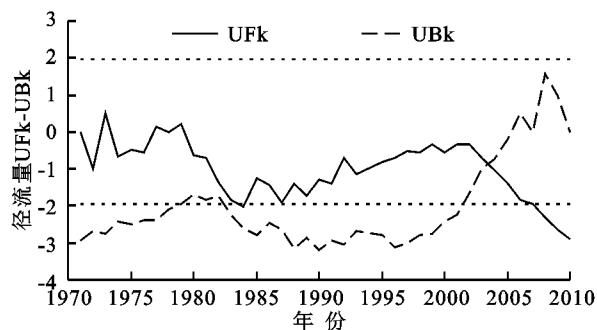


图 4 北洛河上游 1971—2010 年 4—10 月径流量和输沙量 Mann-Kendall 检验

表 3 滑动 T 检验结果

参数	τ_{\max}	$\tau_{\alpha/2}$	年份
径流量	3.63	2.70	2002
输沙量	4.13	2.70	2002

注:显著性水平 $\alpha=0.01$ 。

表 4 径流量、输沙量突变分析汇总

类别	突变年份		显著性水平
	径流量	输沙量	
有序聚类法	2002	2002	*
Pettitt 法	2002	2002	*
Mann-Kendall 法	2003	2002	*
滑动 T 检验法	2002	2002	**

注: * 0.05 显著水平; ** 0.01 显著水平。

2.3 降水及人类活动对北洛河上游流域水沙变化的影响程度

利用双累积曲线对降水量、径流量和输沙量进行累加处理,见图 5,可以看出降雨量与径流量和输沙量构成的双累积曲线都出现了转折点,突变之后的回归曲线斜率小于突变之前的曲线斜率。根据突变年份,

将径流量和输沙量分为突变前期(1971—2002 年)和突变后期(2003—2010 年)。前期的年均降水量、径流量和输沙量分别为 420.0 mm, 0.77 亿 m^3 , 3.15×10^7 t, 后期分别为 403.3 mm, 0.38 亿 m^3 , 7.6×10^6 t。与前期相比,在年平均降水量减少 4% 的情况下,年均径流量和输沙量分别减少了 64% 和 76%。通过拟合的线性回归方程估算由降水引起的径流和输沙的减少量,进而计算出人类活动对径流量和输沙量的贡献率。结果如表 5、6 所示:相对于 1971—2002 年,2003—2010 年降水和人类活动对径流量的影响程度分别为 70.8% 和 29.2%,对输沙量的影响程度分别为 34.0% 和 66.0%。值得注意的是,输沙量的减小幅度大于径流量的减小幅度,可能原因是由于:(1) 河道径流量的减少导致输沙能力的降低,泥沙沉积在河道;(2) 水土保持工程措施及植被的拦沙效率远大于拦水效率。

2.4 人类活动因素

人类活动对水沙变化的影响主要表现为土地利

用方式、植被覆盖度以及水土保持工程措施的实施。20 世纪 80 年代和 90 年代前期,北洛河上游流域土地覆盖变化的总体规律是农民为了增加粮食产量不断扩大耕地面积,到 90 年代后期,随着退耕还林(草)工程的实施,耕地面积大量减少,林地面积大幅度增加^[29],致使径流量和输沙量在 1990 年代有所增加,

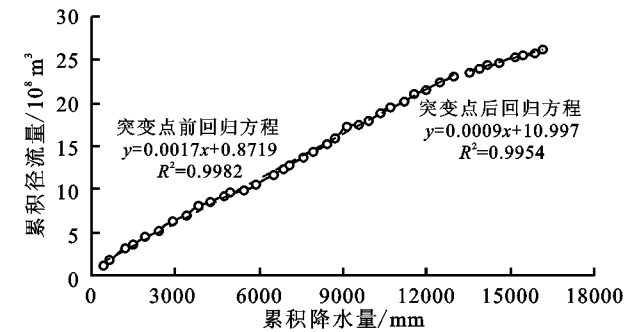


图 5 北洛河上游 1971—2010 年 4—10 月降水量—径流量和降水量—输沙量双累积曲线

表 5 北洛河上游径流量突变原因分析结果

时段	实测年 径流量	计算年 径流量	实测年减水量		降水影响		人类活动影响	
			减少量/ (10 ⁸ m ³ · a ⁻¹)	百分比/%	减少量/ (10 ⁸ m ³ · a ⁻¹)	百分比/%	减少量/ (10 ⁸ m ³ · a ⁻¹)	百分比/%
突变前期	0.75	0.74						
突变后期	0.38	0.69	0.37	49.3	0.26	70.8	0.11	29.2

表 6 北洛河上游输沙量突变原因分析结果

时段	实测年 输沙量	计算年 输沙量	实测年减沙量		降水影响		人类活动影响	
			减少量/ (10 ⁸ t · a ⁻¹)	百分比/%	减少量/ (10 ⁸ t · a ⁻¹)	百分比/%	减少量/ (10 ⁸ t · a ⁻¹)	百分比/%
突变前期	0.31	0.32						
突变后期	0.06	0.28	0.25	80.6	0.09	34.0	0.16	66.0

1999 年,区内涉及的吴起县作为全国试点县开展退耕还林(草)工程,通过制定“封山禁牧,舍饲养畜”政策,一次性退耕 $1.04 \times 10^5 \text{ hm}^2$,取得了明显的生态、经济和社会效益,成为全国退耕还林第一县^[31]。根据 1997 年和 2004 年 TM 遥感影像^[30]的解译可知,区内中、低覆盖度草地大幅减少,而覆盖度大于 60% 的高覆盖度草地则由 1997 年的 49.4 km^2 增加为 2004 年的 578.1 km^2 ,林地(包括灌木)增加幅度达 38.7%。植被通过对降雨的层层拦蓄、吸渗,不仅大大滞后了产流时间,而且影响地表粗糙度,从而使产汇流过程发生改变,减少了径流携沙能力。因此,可以推断,1999 年退耕还林(草)工程实施后,生态植被恢复等人类活动是影响北洛河上游水沙减少的主导因素。

3 结论

(1) 通过对北洛河上游 1971—2010 年 4—10 月降水量、径流量和输沙量的统计分析和趋势检验:降水量无明显的趋势性变化,径流量和输沙量呈显著减

而在 2000 年代显著减小。截至 2004 年流域内共修建淤地坝 95 座,占全区总面积的 7.1%^[30],水土保持工程治理规模较小。坝系工程多建于 20 世纪 80 年代之前,而淤地坝平均拦沙寿命为 10 a,对于 1971—2010 年而言,淤地坝发挥的减沙效益已经十分有限,因此工程措施对流域径流和泥沙变化的贡献很小。

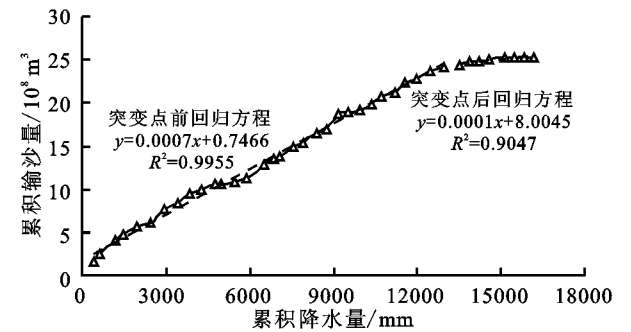


图 5 北洛河上游 1971—2010 年 4—10 月降水量—径流量和降水量—输沙量双累积曲线

表 5 北洛河上游径流量突变原因分析结果

时段	实测年 径流量	计算年 径流量	实测年减水量		降水影响		人类活动影响	
			减少量/ (10 ⁸ m ³ · a ⁻¹)	百分比/%	减少量/ (10 ⁸ m ³ · a ⁻¹)	百分比/%	减少量/ (10 ⁸ m ³ · a ⁻¹)	百分比/%
突变前期	0.75	0.74						
突变后期	0.38	0.69	0.37	49.3	0.26	70.8	0.11	29.2

表 6 北洛河上游输沙量突变原因分析结果

时段	实测年 输沙量	计算年 输沙量	实测年减沙量		降水影响		人类活动影响	
			减少量/ (10 ⁸ t · a ⁻¹)	百分比/%	减少量/ (10 ⁸ t · a ⁻¹)	百分比/%	减少量/ (10 ⁸ t · a ⁻¹)	百分比/%
突变前期	0.31	0.32						
突变后期	0.06	0.28	0.25	80.6	0.09	34.0	0.16	66.0

小趋势。
(2) 采用有序聚类法、Pettitt 检验法、Mann-Kendall 检验法和滑动 T 检验法对径流量和输沙量的突变年份进行检验,并结合水土保持措施资料,得到水沙发生突变的年份均为 2002 年。流域内的退耕还林(草)工程主要于 1999 年实施完成,但径流、输沙在 2002 后才显著变化,说明植被建设的水沙调控效应存在滞后期,需经过一定生长周期才能有效影响流域水沙。
(3) 根据突变年份将径流量和输沙量分为突变前期(1971—2002 年)和突变后期(2003—2010 年)。以突变前期(1971—2002 年)为基准期,利用双累积曲线计算得到突变后期(2003—2010 年)的降水和人类活动对径流量的影响程度分别为 70.8% 和 29.2%,对输沙量的影响程度分别为 34.0% 和 66.0%,结合人类活动因素分析表明:以退耕还林(草)为主的人类活动是北洛河上游泥沙减少的主要驱动力。
参考文献:
[1] 刘昌明,张学成. 黄河干流实际来水量不断减少的成因

- 分析[J]. 地理学报, 2004, 59(3): 323-330.
- [2] 张学成, 王玲, 高贵成. 黄河泥沙动态分析[J]. 泥沙研究, 2002(1): 43-52.
- [3] 赵广举, 穆兴民, 田鹏, 等. 近 60a 黄河中游水沙变化趋势及其影响因素分析[J]. 资源科学, 2012, 34(6): 1070-1078.
- [4] Wang H J, Bi N S, Satio Y, et al. Recent changes in sediment delivery by the Huanghe (Yellow River) to the sea; Causes and environmental implications in its estuary [J]. Journal of Hydrology, 2010, 391(3): 302-313.
- [5] Liu C, Sui J, Wang Z Y. Changes in runoff and sediment yield along the Yellow River during the period from 1950 to 2006[J]. Journal of Environmental Informatics, 2008, 12(2): 129-139.
- [6] 张建云, 王国庆, 贺瑞敏, 等. 黄河中游水文变化趋势及其对气候变化的响应[J]. 水科学进展, 2009, 20(2): 153-158.
- [7] 冉大川, 柳林旺, 赵力仪, 等. 黄河中游河口镇至龙门区间水土保持与水沙变化[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2000.
- [8] 于一鸣, 汪上和. 黄河中游多沙粗沙区水土保持减水减沙效益及水沙变化趋势研究[C]//黄河流域水土保持研究. 郑州: 黄河水利出版社, 1997.
- [9] 王兮之, 索安宁, 洪军, 等. 黄土高原泾河流域水沙特征分析[J]. 水土保持学报, 2006, 20(2): 22-25.
- [10] 康玲玲, 魏长义, 张胜利, 等. 北洛河流域近期水沙变化原因水文分析[J]. 水资源与水工程学报, 2009, 20(5): 41-43.
- [11] 马勇, 秦百顺, 王宏, 等. 渭河水沙变化及其影响因素分析[J]. 中国水土保持, 2002(8): 18-20.
- [12] 刘宇峰, 孙虎, 原志华. 近 60 a 来汾河入黄河水沙演变特征及驱动因素[J]. 山地学报, 2010, 28(6): 668-673.
- [13] 高照良, 付艳玲, 张建军, 等. 近 50 a 黄河中游流域水沙过程及对退耕的响应[J]. 农业工程学报, 2013, 29(6): 99-105.
- [14] 王光谦, 张长春, 刘家宏, 等. 黄河流域多沙粗沙区植被覆盖变化与减水减沙效益分析[J]. 泥沙研究, 2006(2): 10-16.
- [15] 高鹏, 穆兴民, 李锐, 等. 黄河支流无定河水沙变化趋势及其驱动因素[J]. 泥沙研究, 2009(5): 22-28.
- [16] 周园园, 师长兴, 范小黎, 等. 国内水文序列变异点分析方法及在各流域应用研究进展[J]. 地理科学进展, 2011, 30(11): 1361-1369.
- [17] 谢平, 陈广才, 雷红富, 等. 水文变异诊断系统[J]. 水力发电学报, 2010, 29(1): 85-91.
- [18] 吴旗县地方志编纂委员会. 吴旗县县志[M]. 西安: 三秦出版社, 1991.
- [19] 定边县志编撰委员会. 定边县志[M]. 北京: 方志出版社, 2003.
- [20] 张胜利. 从“94·8”暴雨洪水看黄河中游水利水保工程的作用和问题[J]. 中国水土保持, 1995(5): 45-50.
- [21] 雷红富, 谢平, 陈广才, 等. 水文序列变异点检验方法的性能比较分析[J]. 水电能源科学, 2007, 25(4): 36-40.
- [22] 丁晶, 邓育仁. 随机水文学[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1998.
- [23] 李保敏, 张俊芝, 吴旭, 等. 基于 Mann-Kendall 法和有序聚类法的径流变化特征研究[J]. 海河水利, 2012(2): 37-38.
- [24] 周旭, 穆兴民, 张鑫, 等. 秃尾河流域水土保持措施对河流泥沙变化的影响[J]. 水土保持研究, 2010, 17(1): 15-19.
- [25] 穆兴民, 张秀勤, 高鹏, 等. 双累积曲线方法理论及在水文气象领域应用中应注意的问题[J]. 水文, 2010, 30(4): 47-51.
- [26] 穆兴民, 巴桑赤烈, ZHANG Lu, 等. 黄河河口镇至龙门区间来水来沙变化及其对水利水保措施的响应[J]. 泥沙研究, 2007(2): 36-41.
- [27] Gao P, Mu X M, Wang F, et al. Changes in streamflow and sediment discharge and the response to human activities in the middle reaches of the Yellow River[J]. Hydrology and Earth System Sciences, 2011, 15(1): 1-10.
- [28] 薛阿亮, 常庆瑞, 吴琴. 基于遥感影像的吴起县土地利用/覆盖动态监测分析[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(2): 168-172.
- [29] 周文渊, 郭建英, 孙保平, 等. 吴起县退耕还林工程实施前后土地利用/覆盖变化[J]. 中国水土保持, 2010(7): 45-48.
- [30] 秦伟, 朱清科, 刘广全, 等. 北洛河上游生态建设的水沙调控效应[J]. 水利学报, 2010, 41(11): 1325-1332.
- [31] 焦居仁, 蒲朝勇, 王保安, 等. 吴旗县水土保持生态建设调查报告[J]. 中国水土保持, 2001(11): 10-12.