

文章编号: 1007-7588(2012)06-1070-09

近60年黄河中游水沙变化趋势及其影响因素分析

赵广举^{1,2}, 穆兴民^{1,2}, 田 鹏³, 王 飞^{1,2}, 高 鹏^{1,2}

(1. 西北农林科技大学, 水土保持研究所, 杨凌 712100;

2. 中国科学院-水利部水土保持研究所, 杨凌 712100;

3. 西北农林科技大学水建学院, 杨凌 712100)

摘要: 采用线性回归、Mann-Kendall检验、双累积曲线及小波变换等方法系统分析了黄河中游干流及支流渭河、汾河和无定河的6个主要水文站(头道拐、龙门、花园口、华县、河津、白家川)1950s-2009年的水沙序列。在系统搜集流域基本信息的基础上, 深入探讨流域水沙变化的特征及其驱动力。研究表明: 黄河中游流量和输沙量呈现急剧减少趋势, 尤其在20世纪70年代之后, 减少更加显著, 其中, 汾河的水沙减少幅度最为显著, 2000年-2009年的年均流量与输沙量相当于1950年-1959年约20%。干流龙门站流量和输沙量的小波变换在1980年代前表现出0.5~1.0a显著周期, 且达到95%的置信度水平, 之后周期特征减弱甚至消失。气候变化、降雨、水土保持措施(如退耕还林、草, 梯田建设, 水库淤地坝等工程)等人类活动是水沙变化的主要影响因素, 其中, 干流的头道拐和花园口水沙变化受干流水库影响较为显著。

关键词: 黄河中游; 流量; 输沙量; 影响因素

1 引言

近几十年, 受气候变化和人类活动的影响, 河川流量与输沙量发生了显著的变化, 直接影响了流域水资源的配置、开发与利用, 同时对流域地貌演变、海洋海岸生态系统及全球生物地球化学循环产生重要影响^[1-2]。目前, 国际上许多河流受自然因素及人类活动影响(如水坝建设、调水、采沙、植被修复等), 流量和输沙量发生了显著变化, 从而导致河流地貌、河口、三角洲及其近岸环境发生重大变化, 如埃及尼罗河^[3]、美国科罗拉多河^[4]、中国长江^[5]与黄河^[6]等。因此, 自然要素变化和人类活动影响下的水沙变化已成为水科学研究的热点问题之一^[2-7]。

黄河是世界上最著名的多沙河流, 据1919年-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年-2000年, 年输沙量为11.2亿t, 近10a(2001年-2009年)年均输沙量为3.6亿t。

自1950年代以来, 受降水和人类活动的影响, 黄河水沙急剧减少, 流域水资源、河流地貌及生态环境发生了巨大变化。因此, 我国许多学者对此开展了大量的研究工作, 如高鹏等研究了黄河中游河龙区间的干流水沙变化及其驱动力^[8]; 王侯杰等分析了黄河干流水沙时空演变特征及与气候变化、水利工程及水土保持措施的响应机制^[7]; 刘成等采用黄河干流9个水文站1950年-2006年的水沙资料分析了黄河上、中、下游水沙变化特征, 探讨了人类活动对流域水沙变化的潜在影响^[9]。这些研究详细的阐述了黄河干流的水沙变化, 并分析了潜在因素(包括降雨, 退耕还林(草)及淤地坝等水土保持措施, 水库及灌区等水利工程)的影响, 但大多数研究集中在黄河干流水沙变化, 而对支流尤其是中游泥沙主要来源区的水沙变化研究有限。本文采用线性趋势法、Mann-Kendall检验、双累积曲线法和小波变

收稿日期: 2011-10-29; 修订日期: 2012-04-08

基金项目: 中国科学院重点部署项目(编号: KZZD-EW-04-03); 中国科学院陆地水循环及地表过程重点实验室开放基金(编号: WL2011004); 西北农林科技大学博士科研启动基金(编号: Z109021110)。

作者简介: 赵广举, 男, 河南驻马店人, 博士, 助理研究员, 主要从事流域水文过程与土壤侵蚀模拟研究。E-mail: guangjuzhao@yahoo.com

通讯作者: 穆兴民, E-mail: xmmuiswc@gmail.com

2012年6月

换分析黄河中游近60a来径流量和输沙量的时空演变特征,探讨流域水沙变化的主要影响因素。

2 研究区概况

本研究的黄河中游指头道拐至花园口区间(图1),地处北纬32°-40°和东经104°-113°之间,区间干流长1234 km,流域面积约36.3万km²,流量约占黄河水量的44.3%,来沙量约占黄河输沙量的88.2%^[8],是黄河泥沙的主要来源地区。该区域降水少,植被覆盖度相对较差,土质疏松,水土流失严重,因此河流具有水少沙多、水沙异源的特点。黄河中游上段(头道拐-潼关河段)1950年-2009年年均来水量仅为130.45亿m³,占花园口站径流量的34%,而年均沙量则高达9.45亿t,比花园口年均输沙量9.12亿t还高。黄河中游下段(潼关-花园口河段)汇水流量约34.14亿m³,但由于该河段汇入泥沙少,且修建三门峡和小浪底水库,使得该河段以泥沙淤积为主。

3 数据收集、整理与研究方法

3.1 数据收集与整理

根据流域内水文站点的分布,兼顾不同区域特点,考虑资料的精确性、监测的完整性和连续性,本文选择了黄河干流的头道拐、龙门和花园口,中游支流渭河的华县,汾河的河津和无定河的白家川,6个站点的径流和泥沙数据研究黄河中游地区

1950s-2009年的水沙变化特征并分析其影响因素。本文所采用的水文站点资料见表1,1950s-2001年的水沙资料由黄河水利委员提供,2002年-2009年资料由<http://www.yellowriver.gov.cn>获取。

3.2 研究方法

本文主要采用线性趋势法,非参数Mann-Kendall(MK法)趋势检验法、双累积曲线及小波变换分析方法。由于线性趋势回归及双累积曲线法计算简单,本文不再赘述。MK法具有适用范围广,定量化程度高,理论意义明确的特点,是目前水文气象研究中常用的一种时间序列检验方法^[10-11]。该方法以序列平稳为前提,要求序列随机独立,其概率分布等同。设一时间序列 $X(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 长度为 n ,其统计量 S 为:

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sgn}(x_i - x_j) \quad (1)$$

式中 $\text{sgn}()$ 为符号函数,当 $x_i - x_j$ 小于、等于或者大于零时, $\text{sgn}(x_i - x_j)$ 分别为-1,0和1,则MK统计结果为:

$$Z = \begin{cases} (S-1)/\sqrt{n(n-1)(2n+5)/18} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ (S+1)/\sqrt{n(n-1)(2n+5)/18} & S < 0 \end{cases} \quad (2)$$

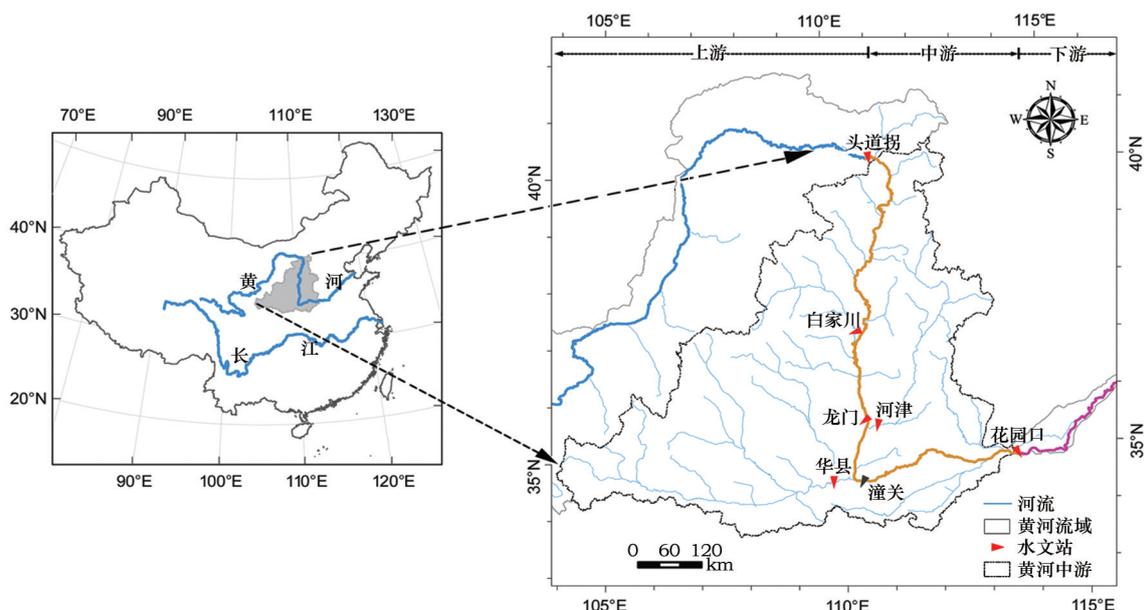


图1 研究区地理位置、水系及水文站点分布

Fig 1 Location of the study area and monitoring sites

表1 流域站点一览

Table 1 Hydrological stations in the middle reaches of the Yellow River (MRYSR)

河流	站名	控制面积 (万 km ²)	年均降雨量 (mm)	年均流量 (亿 m ³)	年均输沙量 (亿 t)	时期 (年)
渭河	华县	10.65	602.4	68.13	3.23	1950-2009
汾河	河津	3.87	461.0	10.17	0.22	1950-2009
无定河	白家川	2.97	405.1	11.51	1.16	1954-2009
黄河干流	龙门	49.76	422.7	264.50	7.24	1950-2009
黄河干流	头道拐	36.79	431.4	213.94	1.05	1950-2009
黄河干流	花园口	73.00	448.8	378.53	9.12	1950-2009

若 Z 为正值则表示序列有增加趋势,负值则为减少趋势。当 Z 的绝对值大于等于1.28,1.96,2.32时,序列趋势通过90%,95%,99%的显著检验。

本文采用复小波函数Morlet小波作为基函数研究黄河中游水沙变化的周期特征^[12],小波函数为:

$$\psi(t) = \pi^{-1/4} e^{iw_0 t} e^{-t^2/2} \quad (3)$$

式中 t 为自变量; w_0 为无量纲频率,其值常取6。

对于时间序列 $X(x_1, x_2, \dots, x_n)$,小波变换为:

$$W(a, b) = \sum_{b=0}^{n-1} X\psi^* \left[\frac{(b-b)\delta_t}{a} \right] \quad (4)$$

式中 $W(a, b)$ 为小波变换系数; ψ^* 表示其共轭复函数; a 为尺度因子; b 为时间平移因子; δ_t 为采样时间间隔,计算结果的显著性采用红噪声谱进行检验^[13]。

4 黄河中游水沙变化特征分析

4.1 水沙变化线性趋势

根据黄河中游6个水文站点的年径流线性变化趋势(图2)可知:河川径流量整体呈显著减少趋势,尤以1970年代初开始较为明显。多数水文站点径流实测值显示1950年-1970年的径流量相对稳定,而在1970年之后径流减少剧烈,特别是近10a,部分站点的径流量减少至1950年-1970年平均流量的20%,这与黄河中游地区近60a降雨逐渐减少有直接的关系。比较而言,汾河的河津站流量减少更加明显,已从1950年-1970年均径流量17.42亿m³减少至年均3.49亿m³(2000年-2009年),每10a约减少15%。干流和支流径流量的锐减一方面是由于气候变化导致的,另一方面,随着人口的增加、经济

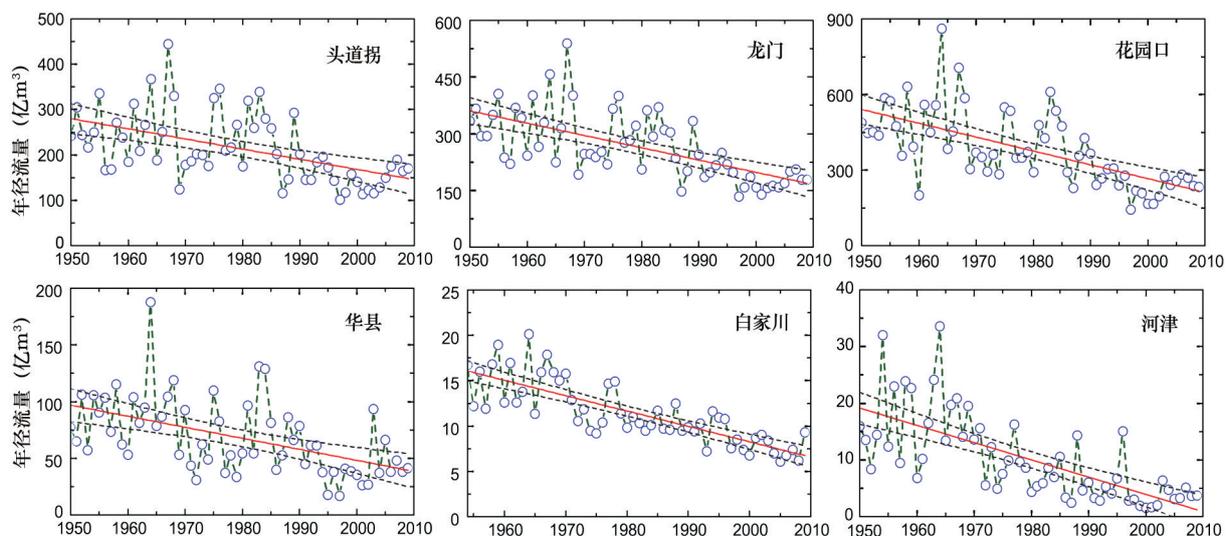


图2 黄河中游年径流量线性趋势

Fig.2 Linear trends of streamflow in the MRYSR

2012年6月

的发展,城市化进程加快,工业、生活和农业用水需求的增加使地表水资源量不断减少,以农业用水为例,农业灌溉用水已从年均123亿 m^3 (1950年-1959年)增加到了285亿 m^3 (1990年-2000年)^[14],大大超过了近年黄河入海流量。

图3反映了黄河中游6个水文站年均输沙量的线性变化趋势,同径流量变化一致,所有站点均显著减少。干流的头道拐、龙门与花园口受水库影响较大,输沙量分别在1969年及1960年发生了跳跃性减少,这主要是由于刘家峡(1969年)及三门峡(1960年)水库的运行。支流中,汾河变化相对明显,其输沙量由1950年-1959年年均输沙量的0.7亿t,减少至2000年-2009年的0.001亿t,相当于1950年代的0.14%,而其它流域的输沙量呈逐渐减少趋势,渭河的华县与无定河的白家川分别由1950年-1959年的4.29亿t/a和2.68亿t/a,减少至2000年-2009年的1.37亿t/a与0.34亿t/a。输沙量的减少主要是由于20世纪70年代末80年代初的水保措施导致的,大面积的退耕还林(草),水库及淤地坝等水利工程等改变了流域的坡面及河道中土壤侵蚀发生及输送过程,大大减少了坡面侵蚀到达河流的泥沙。自20世纪70年代,黄土高原的侵蚀量已经减少了7.6亿kg/a,大约相当于50年代的60%,至2000年-2009年该区域年产均沙量已减少为3.6亿kg^[14]。据统计,自70年代以来,中游地区大约修建了20000 km^2 梯

田,大规模的水土保持措施有效的减少了土壤侵蚀量。

4.2 黄河中游水沙Mann-Kendall检验

图4显示了黄河中游干流及支流6个水文站点1950s-2009年水沙时间序列的MK统计检验,结果显示所有水文站的径流量和泥沙量均呈显著递减,显著性超过了99%。其中,白家川的流量减少幅度最为显著(Z 值为-7.21),而花园口和河津流量减少趋势也较为显著,其 Z 值均小于-5。比较而言,河津站的输沙量减少最为显著(Z 值为-7.44),花园口、龙门和白家川输沙量减少也比较显著。

4.3 水沙变化的双累积曲线分析

双累积曲线法是进行气象水文时间序列分析较为常用的一种方法。它的计算是基于两个变量按同一时间步长逐渐累加,令一个变量为横坐标,一个变量为纵坐标,其拐点可作为分析变量阶段性变化的依据^[15]。图5显示黄河中游6个水文站点的径流-降雨、输沙量-降雨的双累积曲线。由图可知,黄河干流的头道拐、龙门和花园口站的径流-降水累积曲线在1985年出现了明显的偏移,这是由于干流的龙羊峡水电站1985年建设、运行,水库的蓄水拦沙有效的减少了其下游干流站点的径流和输沙量,而花园口站的输沙-降水曲线分别在1979年和2000年发生了偏移,1979年的偏移是由于中游地区70年代大规模的水土保持措施引起的泥沙

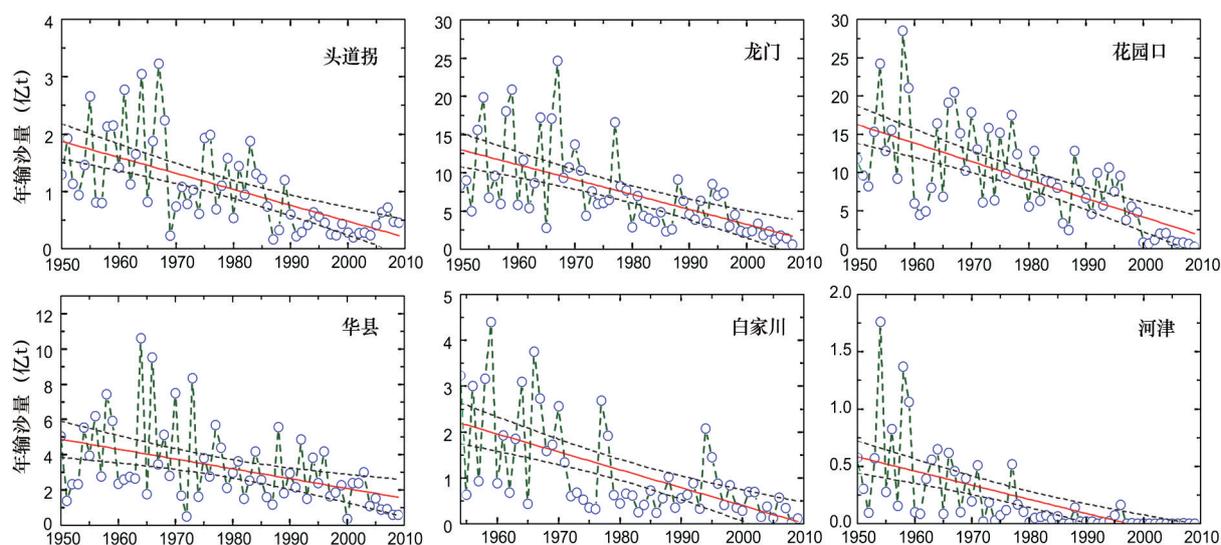


图3 黄河中游年输沙量变化线性趋势

Fig.3 Linear trends analysis for annual sediment flux in the MRYS

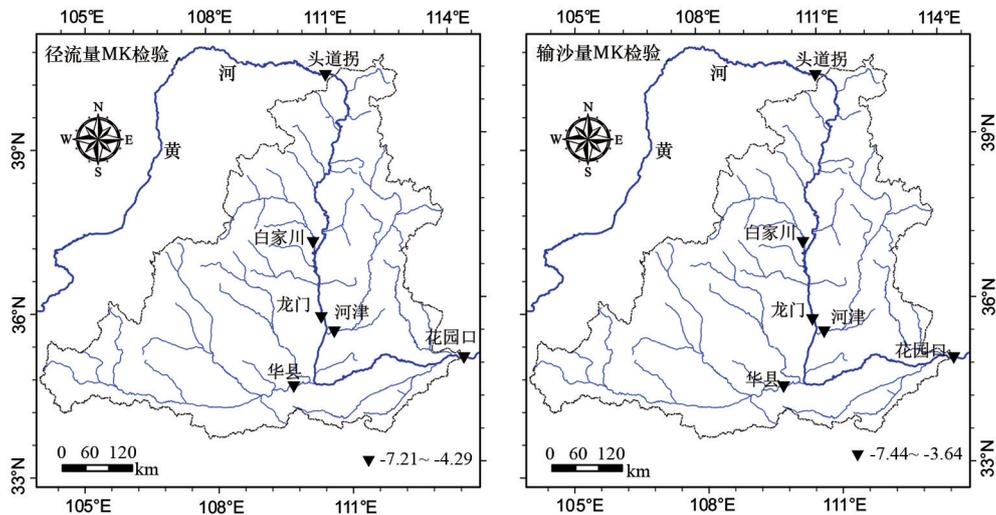


图4 黄河中游水沙变化的MK检验

Fig.4 MK test for annual streamflow and sediment flux in the MRYS

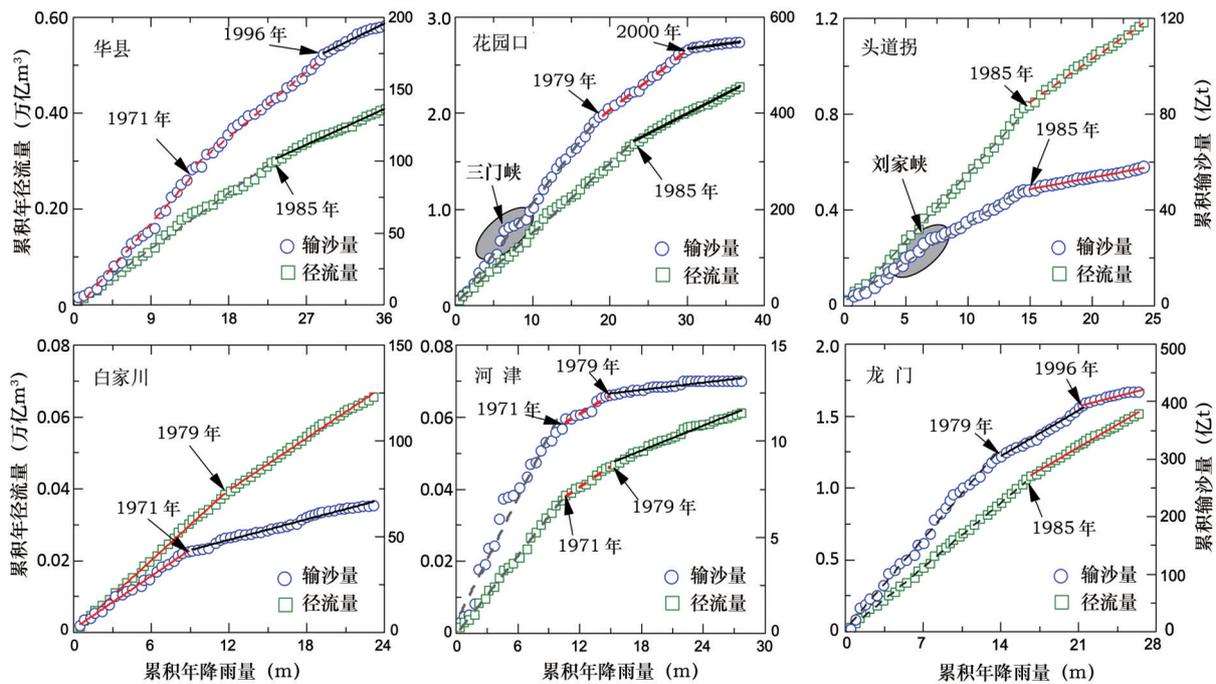


图5 黄河中游水沙双累积曲线分析

Fig.5 Double mass curve analysis for streamflow and sediment flux in the MRYS

减少,而2000年的偏移则是由于小浪底水库的蓄水拦沙作用导致,小浪底水库1999年开始运行,花园口站泥沙量减少至110亿kg/a,大约为20世纪50年代的10%。

4.4 黄河中游水沙的周期性

图6为黄河中游干流龙门站月流量和输沙量的小波变换结果,显示了流量和输沙量在不同时间尺

度的强弱分布状况。龙门站流量与输沙量小波变换图表现出较为相似的周期特征,二者均在1980年以前具有显著的0.5~1.0a振荡周期,且达到95%的置信度水平,而其后的时间尺度上周期特征逐渐减弱。水沙变化小波功率谱的1a变化主要是降水的季节和年际变化结果,流量受降水影响显著,而输沙与流量变化又密切相关。同时,月流量3~4a的变

2012年6月

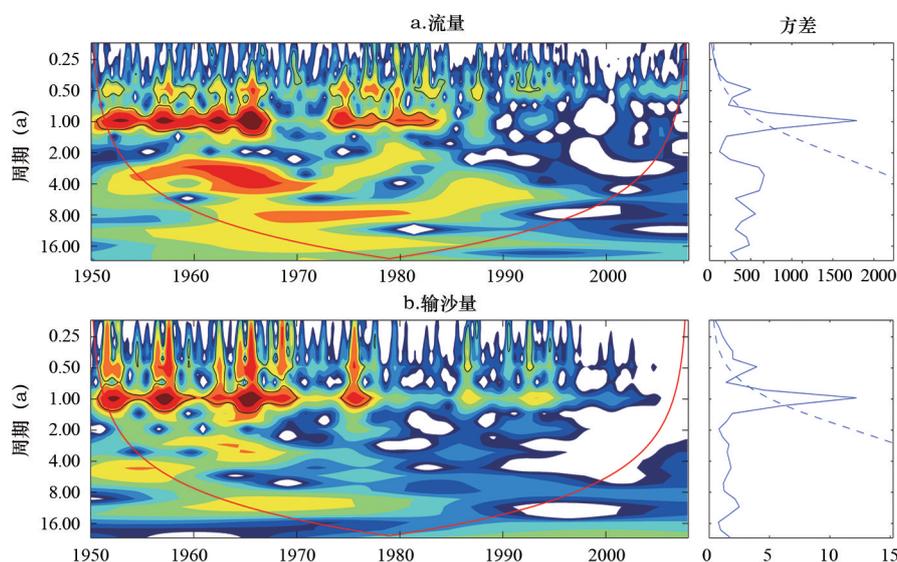


图6 黄河中游龙门站流量(a)与输沙量(b)小波变换

Fig.6 Wavelet analysis for (a) annual streamflow and (b) sediment flux at Longmen station in the MRYS

化周期与副高脊线位置的准3a周期具有一致性,它是影响我国西部广大地区降水的重要系统;此外,在1956年-1972年出现了7~9a的振荡中心,这一结果与地极移动振幅变化的7a左右的周期及El Niño/La Niña-Southern Oscillation(ENSO)的周期特征一致^[16]。对比流量与输沙量的小波变化结果不难发现,自1970年代中期开始,径流及输沙量的显著周期出现了间断性的变化,在1980年后不断减弱,尤其是输沙量,至2000年后基本消失,这表明龙门站的水沙此阶段受水库及退耕还林还草等水土保持措施影响较大。

5 水沙变化影响因素

5.1 气候变化

黄河中游支流径流补给主要来源是降水,受降雨影响,径流的季节性变化显著,流域径流主要集中在5月-10月份,约占年径流的70%以上,其余月份降雨较少,为河川的枯季。作为季节性河流,黄河中游受东南亚季风环流影响较大,且影响方式、强度和范围呈现一定的区域性特征。ENSO事件正是通过影响季风环流进而影响该地区的气候^[17]。图7显示了1950年以来不同强度的ENSO事件(圆点大小代表ENSO事件强度)、南方涛动指数(SOI)、花园口站的年均径流量和输沙量;并显示ENSO规模显著的年份:1982年-1983年、1997年、2008年,花

园口站的流量和输沙量均较低,1957年-1958年、1987年、1993年-1994年、2002年-2007年其规律基本相同,尤其是流量较小的年份,对应的ENSO事件强度均较高。研究表明,ENSO发生时,赤道太平洋对流活跃区东移,造成多雨区东移至中、东太平洋上的岛屿及南美沿岸国家,使该区域发生洪涝,而西太平洋地区海温下降,大气对流减弱,降雨减少。

5.2 降雨变化

由于干流的头道拐、龙门和花园口控制着上游和中游的流域,因此本文选择了黄河中游的3个支流的渭河流域、汾河流域和无定河流域,对比其10a流域面平均降雨量与径流深变化及对应关系。表2显示:降雨与径流的年际变化一致,因此,降雨的减少是导致径流锐减的原因之一。同时,年均降雨和

表2 流域年均降雨量变化趋势

Table 2 Changes of average annual precipitation in the MRYS

(mm)

年代	渭河流域		汾河流域		无定河流域	
	降雨	径流深	降雨	径流深	降雨	径流深
1950-1959	607.1	80.3	459.3	45.3	453.6	52.0
1960-1969	689.1	90.3	507.6	46.1	455.7	51.3
1970-1979	583.2	55.8	484.0	26.8	390.3	40.8
1980-1989	637.6	74.3	461.5	17.2	402.8	34.9
1990-1999	526.9	40.8	409.1	13.1	349.6	31.5
2000-2009	547.8	42.3	444.5	9.0	397.4	25.4

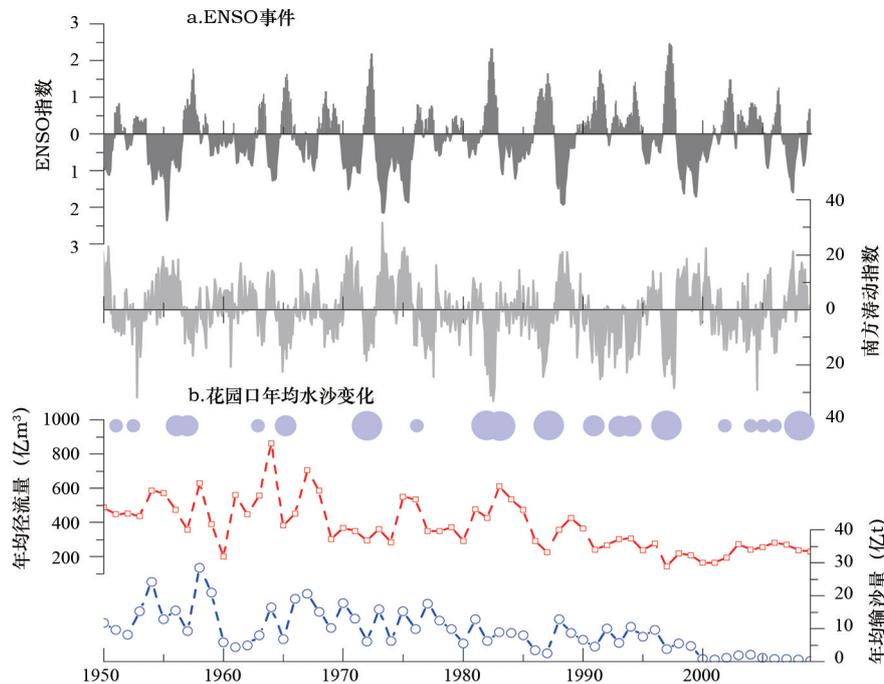


图7 ENSO事件与水沙变化的对应关系

Fig.7 Response of ENSO to the variation of streamflow and sediment flux in the MRYSR

径流表明黄河中游地区在1960年-1969年处于湿润期,而1970年-1979年出现了明显的减少,自此以后,年径流量随着降雨的减少逐渐降低。径流减少最为显著的是汾河的河津,年均径流量(2000年-2009年)已减少至1950年-1959年的约20%。尽管3个流域的年均降雨量减少幅度不大,约为10%,但径流减少量均接近或超过50%。

5.3 人类活动影响

黄河中游地区水沙变化与流域内强烈的人类活动密切相关。影响黄河中游水沙变化的人类活动主要包括工农业引水耗水、水土保持及水库、淤地坝等水利工程措施建设。研究显示,1960年以前黄河水沙处于自然变化状态,受人类活动影响较小。20世纪70年代末,大规模的水土保持措施,如退耕还林、草,淤地坝等工程很大程度上改变了地表汇水输沙过程(图5),黄土高原地区大量泥沙被拦蓄,造成入黄河水沙锐减。以汾河流域为例,自1970年代至1998年,流域内共建设淤地坝14645座,修建梯田27071hm²,这些水土保持措施有效的改善了流域的生态环境及下垫面状况,使地表侵蚀量发生了较大的变化。

黄河中上游干支流上建造的大量水库都存在着泥沙淤积、有效库容减少的情况,这些在一定程度上改变了黄河的水沙状况。至2009年黄河流域修建了一系列大、中性水库184座,其中25座大型水库,年末蓄水量约为348.18亿m³,这些水库在其运行中拦蓄了大量的泥沙。1960年三门峡水库的建成,大量水沙被拦截在库内,造成花园口站水沙急剧减少(图5);1986年龙羊峡水库建成后与刘家峡水电站联合运行,头道拐站径流与输沙受其影响较大;1999年开始蓄水的小浪底水库对其下游的花园口站影响显著,使其输沙量锐减。因此,1980年代以来,大批水利工程建设,水土保持措施的实施及工农业生产生活用水等人类活动对水沙的影响日趋显著,是导致水沙锐减的主要原因。

6 结论

针对黄河中游6个控制性水文站1950s-2009年的水沙序列变化特征进行了详细的分析,并根据前人研究成果与本研究搜集到的资料,对黄河中游近60a水沙变化特征及其影响因素做了深入的探讨。

黄河中游干流和支流的年均流量和输沙量呈显

2012年6月

著减少趋势。汾河的河津站流量和输沙量减少趋势最为显著,2000年-2009年的平均流量约为1950年代的20%;其年均输沙量(2000年-2009年)为0.001亿t,相当于1950年-1959年均输沙量0.70亿t的0.14%。对比而言,干流的输沙量受水库影响较大,而支流的输沙变化则由1970年代后的大规模水保措施引起。径流—降雨和输沙—降雨的双累积曲线显示干流的头道拐和花园口受龙羊峡和小浪底水库影响,水沙变化比较明显;支流的华县、白家川及河津受水保措施影响显著,均在1970年代发生了明显的偏移。流量和输沙量的小波变换在1980年以前表现出0.5~1.0a的显著周期,主要是年内季节性降水和影响我国西部降水的气候系统引起的。研究表明导致黄河中游水沙变化的主要因素包括水利工程建设、水土保持措施及工农业生产生活用水等人类活动及气候变化(如ENSO事件的强弱及降水量的变化)。

本文分析了引起流域水沙变化的影响因素,考虑了降水和人类活动的耦合作用,但未定量考虑其它影响因子的贡献率,如蒸发量、流域的土地利用及地表覆被变化等等。

参考文献 (References):

- [1] Walling D E. Human impact on land-ocean sediment transfer by the world's rivers [J]. *Geomorphology*, 2006, 79(3-4):192-216.
- [2] Milliman J D, Farnsworth K L, Jones P D, et al. Climatic and anthropogenic factors affecting river discharge to the global ocean, 1951-2000 [J]. *Global and Planetary Change*, 2008, 62: 187-194.
- [3] Fanos A M. The impact of human activities on the erosion and accretion of the Nile Delta coast [J]. *Journal of Coastal Research*, 1995, 11(3): 821-833.
- [4] Carriquiry J D, Sanchez A. Sedimentation in the Colorado River delta and upper gulf of California after nearly a century of discharge loss[J]. *Marine Geology*, 1999, 158:125-145.
- [5] Xu J X. Plausible causes of temporal variation in suspended sediment concentration in the upper Changjiang River and major tributaries during the second half of the 20th century[J]. *Quaternary International*, 2009, 208:85-92.
- [6] 赵芳芳, 徐宗学. 黄河源区未来气候变化的水文响应[J]. *资源科学*, 2009, 31(5):722-730.
- [7] 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(3-4):302-313.
- [8] 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, 15:1-10.
- [9] 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.
- [10] 刘峰, 陈沈良, 彭俊, 等. 近60年黄河入海水沙多尺度变化及其对河口的影响[J]. *地理学报*, 2011, 66(3):313-323.
- [11] Zhao G J, Hormann G, Fohrer N, et al. Streamflow trends and climate variability impacts in Poyang Lake Basin, China[J]. *Water Resources Management*, 2010, 24:689-706.
- [12] 张强, 陈桂亚, 许崇育, 等. 长江流域水沙周期特征及可能影响因素[J]. *水科学进展*, 2009, 20(1):80-85.
- [13] Torrence C, Compo G P. A practical guide to wavelet analysis [J]. *Bullet of American Meteorological Society*, 1998, 79: 61-78.
- [14] Wang H J, Saito Y, Zhang Y, et al. Recent changes of sediment flux to the western Pacific Ocean from major rivers in East and Southeast Asia[J]. *Earth Science Reviews*, 2011, 108(1-2): 80-100.
- [15] Mu X M, Zhang L, Movicar T R, et al. Analysis of the impact of conservation measures on stream flow regime in catchments of the Loess Plateau, China [J]. *Hydrological Processes*, 2007, 21: 2124-2134.
- [16] Gaucherel C. Analysis of ENSO interannual oscillations using non-stationary quasi-periodic statistics: a study of ENSO memory [J]. *International Journal of Climatology*, 2010, 30(6): 926-934.
- [17] 张冲, 赵景波. 厄尔尼诺/拉尼娜事件对陕西气候的影响[J]. *陕西师范大学学报(自然科学版)*, 2010, 38(5):98-104.

The Variation Trend of Streamflow and Sediment Flux in the Middle Reaches of Yellow River over the Past 60 Years and the Influencing Factors

ZHAO Guangju^{1,2}, MU Xingmin^{1,2}, TIAN Peng³, WANG Fei^{1,2}, GAO Peng^{1,2}

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A & F University, Yangling 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China;

3. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

Abstract: The hydrological processes and sediment fluxes have been dramatically altered by large amount of dams' construction as well as reforestation in the Yellow River basin during the past several decades. Better understanding of the variations of streamflow and sediment flux in the Yellow River is greatly helpful for soil and water conservation, water resources planning and river basin management. This study has systematically analyzed the variations of streamflow and sediment flux in the Middle Reaches of Yellow River from 1950s to 2009 based on the observed data from 6 hydrological stations (Toudaoguai, Longmen, Huayuankou, Huaxian, Hejin and Baijiachuan) with linear regression, Mann-Kendall test, double mass curve method and wavelet transform. The results indicate that both runoff and sediment flux show significant decreasing trends, which are more evident after 1970s. Average annual streamflow and sediment flux during 2000 and 2009 are extremely low at Hejin station in Fen River, accounting for only 20% of those from 1950 to 1959. Being detected by double mass curve function, the abrupt changes of streamflow and sediment flux at Toudaoguai, Longmen and Huayuankou appeared in 1985 due to the operation of Longyangxia Dam. The significant wavelet spectrum of streamflow and sediment flux was mainly detected during 1950s and 1970s with a period of 0.5-1 year at confidence level of 95%, but later the periodicity features become more and more insignificant and even disappear. In summary, the reduction of streamflow and sediment flux is mainly caused by climate change, rainfall, soil and water conservation measures (such as afforestation, terraces, reservoirs and dams) and other human activities. Among these, reservoirs operation in the mainstream has great impacts on variations of water and sediment at the Toudaoguai and Huayuankou hydrological stations.

Key words: Middle Reaches of Yellow River; Streamflow; Sediment flux; Influencing factors