

20世纪中期以来不同时段黄河年输沙量对水土保持的响应

李敏¹, 朱清科²

(1. 水利部 黄河水利委员会 黄河上中游管理局, 710021, 西安;
2. 北京林业大学林业生态工程教育部工程研究中心, 100083, 北京)

摘要: 黄河年输沙量作为黄河中游黄土高原地区水土流失的载体, 在水土流失治理薄弱状态下平均约 16 亿 t/a。截止 2015 年黄河中游黄土高原地区水土流失综合治理措施保存面积达到 26 万 km², 治理程度超过 62%。黄河(龙门、华县、河津、状头)4 站年输沙量之和已有 10 余年不到 5 亿 t/a, 最少年份不到 1 亿 t/a。当前国家把黄河流域黄土高原地区的保护与治理作为重大战略举措, 因此, 研究黄河年输沙量对水土保持的响应特性与响应程度具有重要的现实意义。笔者选取 22 个降雨因子和水土流失治理度因子, 采用回归分析方法, 对 1954—2015 年黄河 4 站年输沙量分 3 个时段进行统计分析。计算结果: 1) 1954—1966 年时段, 仅“河吴区间 7—8 月降雨量”1 个因子可以“解释”该时段年输沙量 78% 的变化; 2) 1967—1987 年时段, 逐步回归筛选出了由水土流失治理度和 3 个降雨因子组成的非线性回归模型; 3) 1988—2015 年时段, 仅由“水土流失治理度”1 个因子就能够“解释”黄河年输沙量近 80% 的变化。3 个时段计算结果的变化表明, 随着水土流失治理度的增加, 黄河 4 站年输沙量对水土保持的响应从不明显到显著。其中: 20 世纪 60 年代以前黄河年输沙量对水土保持响应不敏感; 20 世纪 60—80 年代, 水土保持减少黄河年输沙量的作用显现, 黄河年输沙量对水土流失治理程度有所响应, 水土流失治理度是造成黄河年输沙量波动递减的主要因子; 20 世纪 80 年代中期以后, 水土保持减少黄河年输沙量的作用十分显著, 黄河年输沙量对水土流失治理程度响应强烈, 在水土流失治理度超过 60% 时, 以 95% 的置信度, 黄河年输沙量小于 6 亿 t/a; 近期水土保持对黄河年输沙量的减沙量超过 10 亿 t/a。

关键词: 年输沙量; 泥沙; 黄土高原; 水土保持; 减沙; 黄河

中图分类号: S157 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-2673(2019)05-0001-08

DOI: 10.16843/j.sswc.2019.05.001

The response of annual sediment transport in the Yellow River to soil and water conservation in different periods since the middle of the 20th century

LI Min¹, ZHU Qingke²

(1. Upper and Middle Yellow River Bureau, Yellow River Conservancy Commission of the Ministry of Water Resources, 710021, Xi'an, China;
2. Engineering Research Center of Forestry Ecological Engineering Ministry of Education, Beijing Forestry University, 100083, Beijing, China)

Abstract: [Background] The annual sediment transport in the Yellow River is the expression carrier for soil erosion on the Loess Plateau of the middle reaches of the Yellow River, with an average of 1.6×10^9 t/year in weak soil erosion control. As of 2015, the comprehensive management measures of soil and water conservation in the Loess Plateau of the middle reaches of the Yellow River reached 260 000 km², and the degree of governance exceeded 62%. The annual sediment transport volume of the Yellow River has not exceeded 5×10^8 t/year in more than 10 years, and the minimum volume of the annual sediment transport is $< 10^8$ t/year. At present, China takes the protection and management of the Loess Plateau

收稿日期: 2019-09-15 修回日期: 2019-09-23

第一作者简介: 李敏(1952—), 男, 教授级高工。主要研究方向: 水土保持数学模型。E-mail: limin173@sina.com

†通信作者简介: 朱清科(1956—), 男, 博士, 教授。主要研究方向: 林业生态工程与复合农林。E-mail: zhuqingke@sohu.com

area in the Yellow River basin as an important strategic measure, therefore, it is of great practical significance to study the response characteristics and degree of annual sediment transport in the Yellow River to soil and water conservation. [Methods] 22 rainfall factors and soil erosion control factors were selected, and regression analysis was used and the statistical analysis of the annual sediment transport of the Yellow River in 1954 to 2015 was conducted in three periods. [Results] 1) From 1954–1966, only a factor of “July to August rainfall in Hekouzhen-Wubao section” “interpreted” the change of the annual sediment transport of the Yellow River by 78%. 2) During the period from 1967 to 1987, a nonlinear regression model composed of soil erosion control degree and three rainfall factors were selected by stepwise regression. 3) From 1988 to 2015, a factor of “controlled percentage of soil erosion” solely “interpreted” the change of the annual sediment transport of the Yellow River by nearly 80%. The changes of the calculated results in the three periods indicated that the response of annual sediment transport amount to soil and water conservation in the four stations of the Yellow River was from not obvious to significant with the increase of soil erosion control degree. Among them, before 1960s, the annual sediment transport of the Yellow River was insensitive to soil and water conservation. 1960s to 1980s, the effect of soil and water conservation on reducing the annual sediment transport of the Yellow River appeared, the annual sediment transport of the Yellow River responded to the degree of soil erosion control, the degree of soil erosion control was the main factor that causes the fluctuation and decrease of annual sediment transport in the Yellow River. [Conclusions] Since the mid-1980s, soil and water conservation plays a significant role in reducing the annual sediment transport of the Yellow River, The annual sediment transport of the Yellow River has a strong response to the degree of soil erosion control; when the controlled percentage of soil erosion is more than 60%, with a confidence of 95%, the annual sediment transport of the Yellow River is less than 600 million t/year; In recent years, the amount of annual sediment transport reduction by the soil and water conservation has exceeded 10^9 t/year.

Keywords: annual sediment transport; sediment; Loess Plateau; soil and water conservation; sediment reduction; Yellow River

黄土高原是世界上水土流失最严重的地区,流经黄土高原的黄河是世界上年输沙量最大的河流之一。20世纪中期黄土高原地区的水土保持就纳入国家重点治理。经过近70年的大规模治理,水土保持工程对遏制黄土高原水土流失产生了明显的作用,进而对减少黄河年输沙量发挥了巨大的“治本”效果。

近期,国家主要领导人视察黄河,提出:治理黄河,重在保护,要在治理。要坚持山水林田湖草综合治理、系统治理、源头治理。深入研究黄河年输沙量对水土保持的响应特性与效应,对于评判黄河治理效益,确定黄河治理重点具有重要意义。

黄河输沙量的变化与降雨和水土保持紧密相关。以往在研究水土保持与黄河年输沙量的关系中,多采用水文法和水保法、按照年代划分时段进行计算^[1-5]。

理论和实践表明,在自然和人类活动的“干扰”下,河流输沙量对水土保持的响应遵从统计学原理。

笔者在以往分析 50 多年整体系列的基础上^[11],进一步研究了不同时段黄河年输沙量对水土保持的响应特性。

1 研究区域与时段

黄河泥沙基本上来自流经黄土高原地区的河口镇(头道拐)到龙门区间的各支流和渭河、北洛河、汾河,其中主要产沙区域为黄河的河口镇(头道拐)到龙门区间(以下简称“河龙区间”)。本研究区域为渭河(华县站)、北洛河(状头站)、汾河(河津站)控制区域和河龙区间(以下简称“4 站区域”)。4 站区域总面积 30.05 万 km²(图 1)。

黄河自 1919 年设站观测,距今不到 100 年。本研究时段为 1954—2015 年,共 62 年。

1954—2015 年(不计头道拐以上来沙)黄河年输沙量波动变化,进入 21 世纪平均值仅 2.6 亿 t(图 2)^[6-10],其中 2015 年仅 0.55 亿 t。

黄河年输沙量承载了黄土高原生态环境状况、

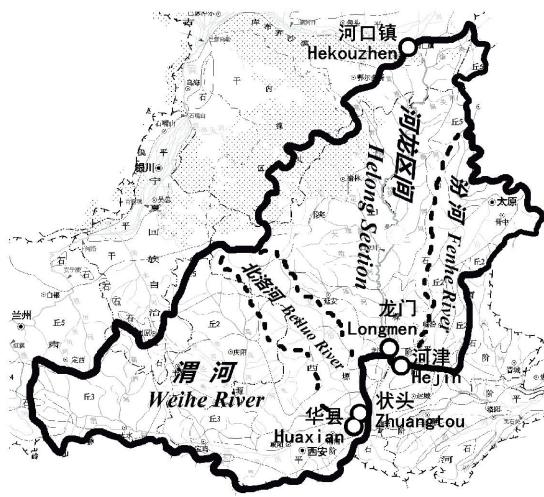


图1 研究区域示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the study area

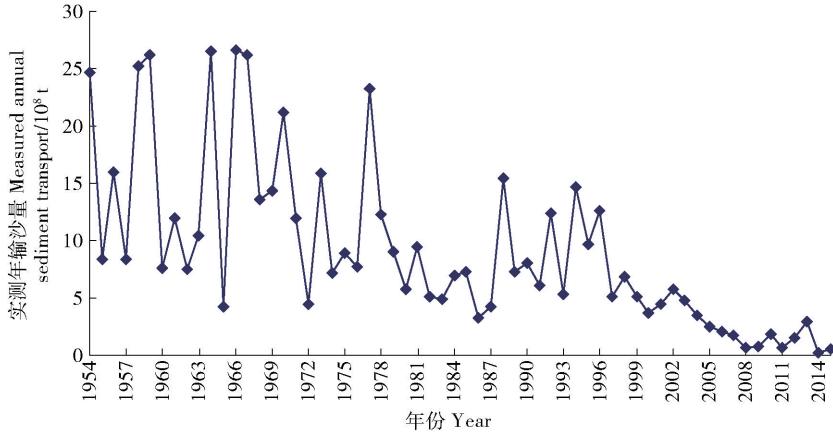


图2 1954—2015年黄河4站区域年输沙量变化图

Fig. 2 Change of annual sediment transport in the area of 4 stations in the Yellow River in 1954 to 2015

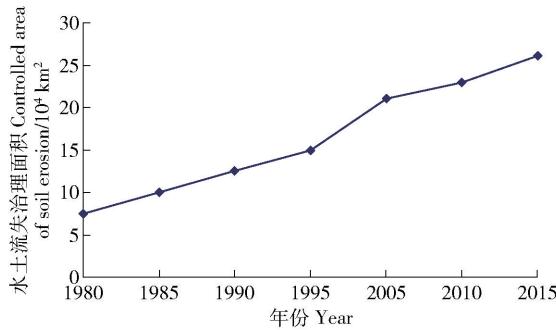


图3 1980—2015年黄河中游黄土高原地区水土流失治理面积变化(资料来源:黄河上中游管理局)

Fig. 3 Change of the controlled area of soil erosion in the Loess Plateau of the middle reaches of the Yellow River in 1980 to 2015 (Source: Upper and Middle Yellow River Bureau)

此,笔者将研究区域黄河年输沙量的产生过程视为一个灰箱或者黑箱,采用逐步回归分析方法,筛选具有物理成因概念和含义的解释因子(自变量),获得

水土流失与水土保持的信息。

从20世纪50年代初期开始,黄河中游黄土高原地区的水土保持就开始了大规模的实施。20世纪70年代以前,由于受技术和资金条件的限制,工程质量普遍较低,水毁严重,期间还经历过毁林开荒等人为破坏,水土保持设施的面积和数量增长缓慢。进入20世纪80年代,黄河中游水土保持工程质量得到提升,资金投入得到保障,法规监督得以落实,水土流失治理面积基本以线性趋势持续增加(图3)。

2 研究方法

2.1 原理与方法

根据水文学和水土保持学基本原理,河流年输沙量对降雨和水土保持的响应遵从统计学规律。因

符合水文学和水土保持学基本原理、仿真模拟效果好的计算结果,以此研究黄河年输沙量对水土保持响应的特性。

2.2 降雨因子选择

已知黄河泥沙主要源自河口镇到龙门区间(以下简称“河龙区间”)、源自汛期降雨(暴雨);因此,对于降雨因子,初步选取4站区域年降雨量,即河龙区间(包括河龙区间5个亚区)年降雨量、7—8月降雨量、最大3日降雨量、最大一日降雨量等。以上共初步选择22个降雨因子。

2.3 水土保持因子选择与预处理

计算中对水土保持坡面措施面积、大型坝(骨干坝)坝控面积进行“耦合”处理^[11-12],以使坡面措施与淤地坝相互协调,既不重复计算,又不产生矛盾。

为了使今后对不同时间和空间尺度的计算结果具有可比性,笔者将“水土流失治理度”作为参选自

变量。水土流失治理度的定义为

$$D = \left(\frac{A_1}{A_2} \right) \times 100\%。$$

式中: D 为水土流失治理度,%; A_1 为水土保持综合治理面积,万km²; A_2 为水土流失面积,万km²^[13-15]。

2.4 研究时段划分

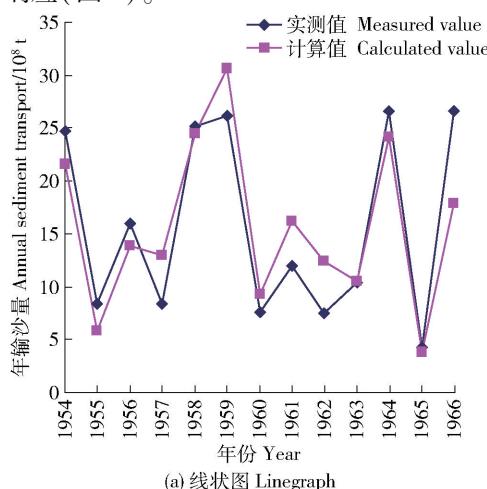
对于黄河年输沙量,一般认为:在20世纪60年代前后为“天然状态”的输沙量,即流域下垫面破坏严重,水土保持等治理工程措施薄弱阶段;在70—80年代为水土保持措施减沙效果显现时期,该时期减沙效果波动变化;80年代后期以来水土保持工程项目持续实施,减沙效果越显著。据此,本文将1954—2015年划分为年输沙量“高位运行,剧烈波动”“波动递减”“低位运行”3个时段分别进行计算分析。

3 结果与分析

3.1 1954—1966年计算结果分析

观察1954—1966年黄河4站年输沙量变化(图2中1954—1966年时段)可以看出:该时段黄河年输沙量均值达到15.7亿t;波动剧烈,年际间波动幅度最大超过20亿t。简单回归分析表明,尽管该时段年输沙量波动幅度很大,但是时段变化趋势微弱,基本没有统计学意义上的增减变化趋势。

统计分析表明,由于1954—1966年研究区域黄河年输沙量较大,年际间的波动剧烈;同时该时段水土保持工程面积较小,治理薄弱,水土流失治理度偏低,黄河4站年输沙量对水土流失治理度没有统计学意义上的响应(图4)。



(a) 线状图 Linegraph

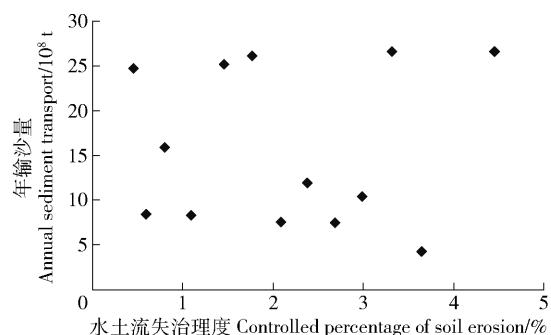


图4 1954—1966年黄河4站年输沙量与水土流失治理度散点图

Fig. 4 Scatter plot of annual sediment load with controlled percentage of soil erosion from 1954 to 1966 in the area of four stations in the Yellow River

经过对22个降雨因子和水土流失治理度因子的逐步回归计算结果表明,仅“河吴区间7—8月降雨量”1个因子可以“解释”该时段年输沙量近78%($R=0.892\ 330$,调整的 $R^2=0.777\ 731$)的变化。线性回归显著性水平 $\alpha=0.001$ 。

比较回归模型计算值与实测值(图5)看出,计算值与实测值拟合较好,反映了黄河年输沙量年际变化来自于对河吴区间7—8月降雨量年际变化的响应。

其中,1966年回归标准化残差为2.1846,该年的计算值明显小于实测值。初步分析,造成这一现象的原因是该年黄河流域发生较大的局部暴雨,冲毁了部分水土保持工程措施,造成以往多年拦淤减少的泥沙在当年被冲入黄河,使“河吴区间7—8月降雨量”不能够“解释”这些输沙量,因而计算年输沙量明显小于实测年输沙量^[16-18]。

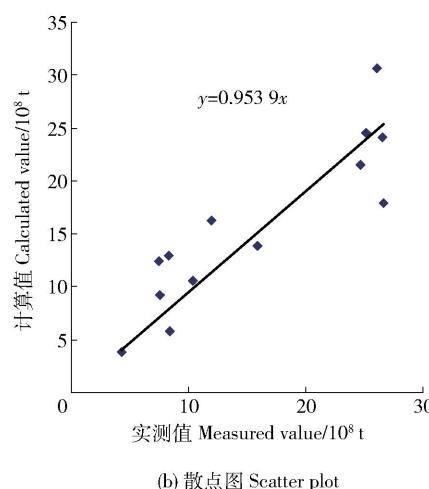


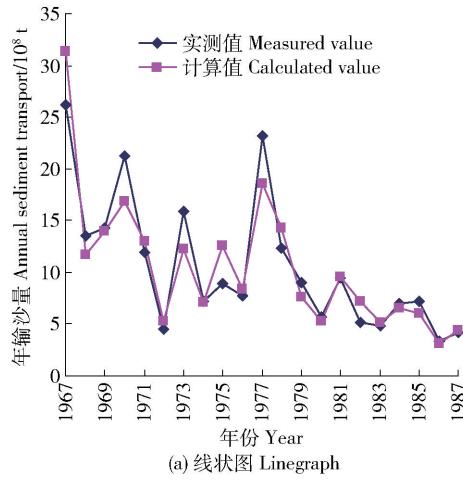
图5 1954—1966年实测年输沙量与计算年输沙量比较

Fig. 5 Comparison of measured annual sediment transport with calculated annual sediment transport in 1954 to 1966

对1954—1966年时段的回归计算结果说明,这一时段黄河年输沙量的变化主要来自汛期降雨的变化,由于该时段水土流失治理措施规模较小,输沙量对其没有响应。

3.2 1967—1987年计算结果分析

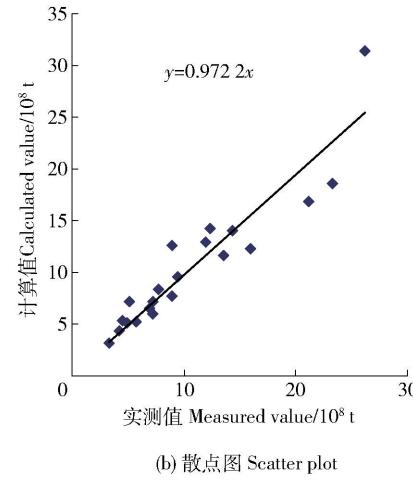
3.2.1 计算结果的总体分析 观察1967—1987年黄河4站年输沙量变化(图2 1967—1987年时段)可以看出:该时段黄河年输沙量波动下降,简单回归分析表明,该时段年输沙量呈指数减少趋势。



(a) 线状图 Linograph

经过对1967—1987年22个降雨因子和水土流失治理度因子的逐步回归筛选计算,建立了由“河吴区间7—8月降雨量”“水土流失治理度”“河龙区间最大一日降雨量”“ln区域年降雨量”等4个自变量组成的非线性回归方程。回归方程 $R = 0.954689$,显著性水平 $\alpha = 0.001$ 。

根据回归方程,对计算年输沙量与实测年输沙量比较(图6)看出,计算值与实测值拟合很好,不但描述了输沙量年际间的波动变化,而且反映了长期递减的趋势。



(b) 散点图 Scatter plot

图6 1967—1987年实测年输沙量与计算年输沙量比较

Fig.6 Comparison of measured annual sediment transport with calculated annual sediment load in 1967 to 1987

回归分析表明,1967—1987时段,黄河年输沙量的主要影响因子仍然是汛期降雨,年际间输沙量的波动变化响应来自汛期降雨,“河吴区间7—8月降雨量”因子“解释”了该时段黄河年输沙量接近63%的变化,其次“水土流失治理度”1个因子可以“解释”黄河年输沙量接近50%的变化,黄河年输沙量波动下降的现象主要是对该因子的响应结果。

3.2.2 回归方程的可视性分析 由于是非线性关系,不同水土流失治理度对年输沙量的影响程度不同,影响的过程(趋势)也不同。根据回归方程做出在相同降雨条件下不同水土流失治理度不同视角的三维曲面图形,直观对比分析不同水土流失治理度对年输沙量的影响程度和影响趋势。为了做出三维图形,对贡献率最小的“ln区域年降雨量”固定为时段的平均值,选择时段起始年(1967年)和时段末尾年(1987年),分别做出该2个年份年输沙量对水土流失治理度的响应曲面进行比较分析(图7)。

从图7总体上看出,1967年和1987年的水土流失治理度对年输沙量影响显著不同。在曲面的最高点,即2个降雨因子均处于最大值时,1987年输

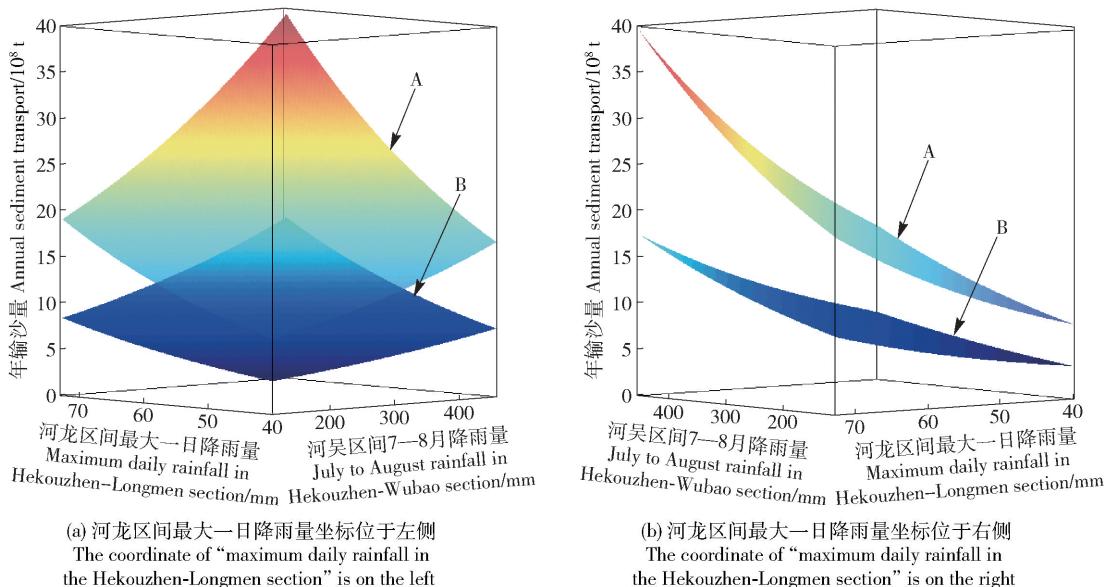
沙量响应曲面比1967年输沙量响应曲面降低超过20亿t;在曲面的最低点,即2个降雨因子均处于最小值时,2个年输沙量响应曲面相差幅度约5亿t。对比分析说明,随着水土流失治理度的增加,一方面,总体上年输沙量显著减少,另一方面,年输沙量响应曲面在高降雨条件下的减少幅度大于低降雨条件^[11]。

这一现象说明水土流失治理不仅大幅度减少了黄河年输沙量,而且使年输沙量对降雨变化响应的“敏感度”降低。

3.3 1988—2015年计算结果分析

3.3.1 回归计算结果分析 在1988—2015年时段,黄河4站年输沙量仍然以指数变化趋势急剧波动下降,显著减少(图2 1988—2015年时段)。进入21世纪,年输沙量在6亿t以下继续波动减少,其中2015年仅0.55亿t。

1988—2015年时段,黄河年输沙量对水土保持的响应十分显著。回归分析表明,仅“水土流失治理度”1个因子就能够“解释”黄河年输沙量接近80%的变化(图8),回归方程的相关系数 R 达到



A 为 1967 年水土流失治理度水平下年输沙量响应曲面, B 为 1987 年水土流失治理度水平下年输沙量响应曲面。A is the annual sediment transport response surface for the controlled percentage of soil erosion in 1967, and B is the annual sediment transport response surface for the controlled percentage of soil erosion in 1987.

图 7 年输沙量对不同水土流失治理度的响应曲面

Fig. 7 Response surface of annual sediment transport with different controlled percentage of soil erosion

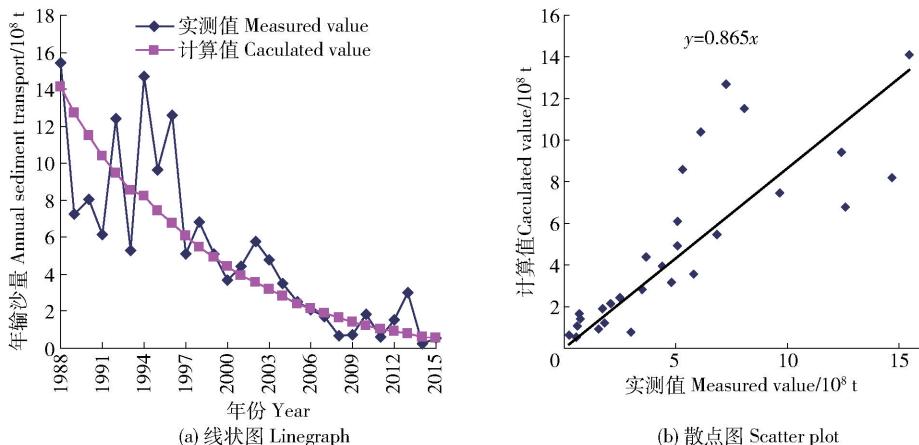


图 8 1988—2015 年实测年输沙量与计算年输沙量比较

Fig. 8 Comparison of measured annual sediment transport and calculated annual sediment transport in 1988 to 2015

0.881389, 显著性水平 $\alpha = 0.001$ 。

如前分析, 黄河年输沙量的年际间波动来自于降雨量的年际变化, 而长期递减趋势则主要来自于对水土流失治理度的响应, 所以“水土流失治理度”的变化特性较好地拟合了黄河 4 站年输沙量的变化趋势。

3.3.2 1988—2015 年时段减沙分析 进一步分析 1988—2015 年回归结果, 计算在 80% 和 95% 置信度时的回归计算值上限和下限, 分析黄河 4 站年输沙量变化趋势(图 9)。2008 年时水土流失治理度超过 50%, 计算年输沙量不到 2 亿 t, 其 80% 置信度上限 5.9 亿 t; 2015 年水土流失治理度超过 60%, 计

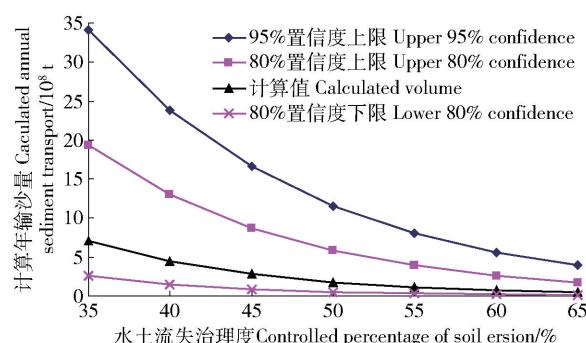


图 9 1988—2015 年回归结果预测分析

Fig. 9 Prediction and analysis of regression results in 1988 to 2015

算年输沙量仅0.7亿t,其80%置信度上限2.7亿t,95%置信度上限5.6亿t。

这一结果表明,根据1988—2015年数据建立的回归模型分析,在当前水土流失治理程度条件下,以95%的置信度预测,黄河年输沙量将小于6亿t。

与研究区域人为破坏严重、水土流失治理薄弱状态下的年输沙量比较,当前黄河中游黄土高原地区的水土保持治理措施年减沙量超过10亿t。

4 结论与讨论

1) 依据水土保持和降雨与黄河年输沙量间的统计学关系,划分3个时段,采用回归分析方法对观测数据进行计算。结果表明:1954—1966时段流域下垫面破坏严重、水土流失治理度偏低,黄河四站年输沙量对水土保持没有响应;1967—1987时段水土流失治理度逐渐增加,黄河四站年输沙量开始对其有所响应;1988—2015时段水土流失治理度持续增加,黄河四站年输沙量对其响应强烈,仅水土流失治理度1个因子就较好地“解释”了20世纪80年代以来黄河年输沙量锐减的趋势。

2) 在计算时段内(以1967—1987年时段为例),相同降雨条件下,水土流失治理度的增加一方面显著减少黄河年输沙量,另一方面,随水土流失治理度的提高,年输沙量对降雨的响应趋于“迟缓”。由此,在1988—2015年时段,仅由水土流失治理度1个因子就能够很好“解释”黄河年输沙量的变化。

3) 根据现有数据分析,在水土流失治理度超过60%(2015年治理度水平)时,以95%置信度预测黄河年输沙量小于6亿t。当前由于实施水土保持治理工程,黄河中游黄土高原地区的年度水土流失量减少了10亿t以上。

5 参考文献

- [1] 熊贵枢. 黄河流域水利水保措施减水减沙分析方法简述[J]. 人民黄河, 1994, 11:33.
XIONG Guishu. A brief introduction to the analysis method of water and sediment reduction in water conservancy and soil and water conservation measures in the Yellow River Basin [J]. Yellow River, 1994, 11:33.
- [2] 汪岗, 范昭. 黄河水沙变化研究: 第二卷[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2002. 9:198.
WANG Gang, FAN Zhao. Research on the variation of water and sediment in the Yellow River: Volume II [M]. Zhengzhou: Yellow River Water Conservancy Press, 2002. 9:198.
- [3] 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. 5:40.
RAN Dachuan, LIU Linwang, ZHAO Liyi, et al. Soil and water conservation and water and sediment change in the middle reaches of the Yellow River from Hekou Town to Longmen [M]. Zhengzhou: Yellow River Water Conservancy Press, 2000. 5: 40.
- [4] 张胜利, 李倬, 赵文林. 黄河中游多沙粗沙区水沙变化原因及发展趋势[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1999. 1:142.
ZHANG Shengli, LI Zhuo, ZHAO Wenlin. Causes and development trends of water and sediment change in the sandy and coarse sand areas of the middle reaches of the Yellow River [M]. Zhengzhou: Yellow River Conservancy Press, 1999. 1:142.
- [5] 刘万铨. 黄河流域水土保持减沙效益计算几项基本原则的探讨[J]. 人民黄河, 1996. 12:41.
LIU Wanqian. Discussion on several basic principles of soil and water conservation and sediment reduction benefits in the Yellow River basin [J]. Yellow River, 1996. 12:41.
- [6] 陈先德. 黄河水文[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1996. 10:80.
CHEN Xiande. Yellow River hydrology [M]. Zhengzhou: Yellow River Water Conservancy Press, 1996. 10: 80.
- [7] 徐建华, 李晓宇, 陈建军, 等. 黄河中游河口镇至龙门区间水利水保工程对暴雨洪水泥沙影响研究[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2009;73.
XU Jianhua, LI Xiaoyu, CHEN Jianjun, et al. Study on the influence of water conservancy and water conservation project from Hekou Town to Longmen section of the middle Yellow River on storm-soil flooding [M]. Zhengzhou: Yellow River Conservancy Press, 2009; 73.
- [8] 胡一三. 中国江河防洪丛书: 黄河卷[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1996. 8:124.
HU Yisan. China river flood control series: Yellow River Volume [M]. Beijing: China Water Resources and Hydropower Press, 1996. 8: 124.
- [9] 赵文林. 黄河泥沙[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1996: 48.
ZHAO Wenlin. Yellow River sediment [M]. Zhengzhou: Yellow River Water Conservancy Press, 1996: 48.
- [10] 水利部, 中国科学院, 中国工程院. 中国水土流失防治与生态安全. 西北黄土高原区卷[M]. 北京: 科学出版社, 2010:63.
Ministry of Water Resources, Chinese Academy of Sci-

- ences, Chinese Academy of Engineering. Soil and water loss prevention and ecological safety in China: Northwest Loess Plateau Volume [M]. Beijing: Science Press, 2010: 63.
- [11] 李敏. 水土保持对黄河输沙量的影响[J]. 中国水土保持科学, 2014, 6;23.
LI Min. Effect of soil and water conservation on sediment discharge in the Yellow River [J]. Science of Soil and Water Conservation, 2014, 6;23.
- [12] 中华人民共和国水利部. 水土保持治沟骨干工程技术规范[M]. 北京:新华出版社, 2003. 12;2.
Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. Technical code of key dam for soil and water conservation [M]. Beijing: Xinhua Press, 2003. 12;2.
- [13] 李敏,王富贵. 黄河河龙区间年输沙量的仿真模拟[J]. 人民黄河, 2013, 4;37.
LI Min, WANG Fugui. Simulation of the annual sediment discharge in Helong Reach of the Yellow River [J]. Yellow River, 2013, 4: 37.
- [14] LI Min, ZHANG Changyin, WANG Haiyan, WANG Sen. Influence of ecological technology measures on the annual sediment load of the Wuding River [J]. Journal of Resources and Ecology, 2017, 8(4): 385.
- [15] 李敏,穆兴民. 黄河河龙区间年输沙量对水土保持的响应机理研究[J]. 泥沙研究, 2016, 3;1.
LI Min, MU Xingmin. Study on response mechanism of annual sediment transport to soil and water conservation in Helong reach of the Yellow River [J]. Journal of Sediment Research, 2016, 3;1.
- [16] 黄河中游水文水资源局. 黄河中游水文(河口镇至龙门区间)[M]. 郑州:黄河水利出版社, 2005. 10;54.
Middle Reaches of the Yellow River Hydrology and Water Resources Bureau. Hydrology in the middle reaches of the Yellow River (Hekou Town to Longmen Section) [M]. Zhengzhou: Yellow River Conservancy Press, 2005. 10: 54.
- [17] 黄河水利委员会,黄河中游治理局. 黄河水土保持志 [M]. 郑州:河南人民出版社, 1993. 12;284.
Yellow River Conservancy Commission, Upper and Middle Yellow River Bureau. Yellow River soil and water conservation [M]. Zhengzhou: Henan People's Publishing House, 1993. 12: 284.
- [18] 黄河上中游管理局. 淤地坝试验研究[M]. 北京:中国计划出版社, 2005;60.
Upper and Middle Yellow River Bureau. Experimental study on silt dam [M]. Beijing: China Planning Press, 2005: 60.