

仕望河流域水土保持措施的减水减沙效益研究

徐家隆¹, 张云³, 张雪兵³, 何欢³, 申卫博^{2,3}, 王国栋³, 胡波⁴

(1. 陕西省水土保持勘测规划研究所, 西安 710004; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业重点实验室, 陕西杨凌 712100; 3. 西北农林科技大学, 陕西杨凌 712100; 4. 长江科学院水土保持研究所, 武汉 430010)

摘要:黄河河口镇至龙门区间是黄河流域的主要产沙区,该区间河道全长 725.1 km,落差 607.3 m,比降 0.084%,流域面积 11.2 万 km²。而仕望河流域地处黄土丘陵沟壑区与高原沟壑区的过渡地带,是黄河中游吴堡—龙门段西岸的 1 条 1 级支流。本文旨在通过对仕望河流域的水沙变化的综合分析探讨而为黄河的综合治理提供一个切实可行的依据。本文根据 1970—1989 年水文站的实测资料,分析了该流域的水沙来源和降雨产流产沙关系,并结合 2006—2010 年的实测资料,对比分析了不同时期该流域降雨、产流、产沙的变化情况。采用水文法分析计算了该流域水土保持、水利措施的减水减沙效益。通过实测资料分析计算,认为仕望河流域水量变化采用双累计曲线法分析结果比较合理,基本反映了降雨和产流产沙的内在联系。对比影响流域产流产沙的自然因素(降雨)和人为因素(水土保持措施),仕望河流域水土保持措施减水减沙量在总减水减沙量的占比呈逐年增加的趋势,而降雨因素的影响在逐步递减。近 30 a 来国家越来越重视水土保持工作,黄土高原地区的水土保持治理工程陆续的实施对流域产流产沙的减少有显著的影响。

关键词:仕望河; 水土保持; 减水减沙

中图分类号: S157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2014)06-0140-04

Research on Soil and Water Conservation Achievements of Benefits of Runoff & Sedimentation Reduction of the Shiwang River

XU Jia-long¹, ZHANG Yun³, ZHANG Xue-bing³,

HE Huan³, SHEN Wei-bo^{2,3}, WANG Guo-dong³, HU Bo⁴

(1. Shaanxi Institute of Soil and Water Conservation, Xi'an 710004, China;

2. State key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Institute of Soil and Water

Conservation, MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100,

China; 4. Department of Soil and Water Conservation, Changjiang River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China)

Abstract: The predominate 11.2 km² sedimentation area of the Yellow River lies between Hekou and Longmen, where the river runs through 725.1 km in length, with a drop of 607.3 m and a water surface slope of 0.084%. The Shiwang River is one of the first level tributaries of the Yellow River west to the area from Wubu to Longmen, with a drainage area located at the transition zone of the loess hilly gully region and the plateau gully region. This paper has provided a solid basis for the comprehensive control of the Yellow River through deep analysis and discussion on the variation of the runoff and sediment of Shiwang River Basin. This paper has analyzed the water and sediment sources and their relation with the rainfall based on the data from 1970 to 1989, and compared the changes in the amount of rainfall, runoff and sediment during different periods based on the data from 2006 to 2010. The results from the hydrology method have shown the beneficial results of runoff and sediment reduction from soil and water conservation. The double cumulative curve method has been proved reasonable for the water variation analysis of the Shiwang River Basin, which has indicated the relations among rainfall, runoff and sediment. The ratio of runoff and sediment reduction benefits from soil and water conservation measures to the reduction overall has increased year by year, compared to

收稿日期: 2014-03-02

修回日期: 2014-07-04

资助项目: 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点室基金资助(K318009902-1320); 国家自然科学基金(41101521)

作者简介: 徐家隆(1982—), 男, 陕西山阳人, 工程师, 硕士, 主要从事水土保持、小流域非点源污染等方面的工作。E-mail: 38146163@qq.com

通信作者: 申卫博(1979—), 男, 陕西泾阳人, 助理研究员, 博士, 主要从事水环境、土壤侵蚀方面的研究工作。E-mail: shenweibo@ms.iswc.ac.cn

the ratio of benefits from the rainfall factor. In the recent 30 years, soil and water conservation has been taken more and more seriously by the government. Conservation works carried out on the Loess Plateau Region have the significant influences on runoff and sediment reduction of this drainage area.

Key words: Shiwang River; soil and water conservation; sediment and runoff reduction

黄河干流暴雨洪水主要来自五个地区:黄河上游兰州以上地区;黄河中游河口镇至龙门区间(简称河龙间);黄河中游龙门至三门峡区间(简称龙三间);黄河中游三门峡至花园口区间(简称三花间)和黄河下游的大汶河流域。兰州以上地区的洪水主要威胁在兰州河段和宁蒙河段,洪水经过长距离演进和水库调蓄,形成相对平缓的基流,对黄河下游防洪影响不大^[1];黄河下游仅有金堤河和大汶河入汇,其洪量不大,对黄河干流洪水影响也不大。因此,黄河中游三个区间的暴雨洪水对黄河下游防洪安全威胁较大。黄河中游洪水的特点是洪峰高、历时短、含沙量大,过程线多为尖瘦型。黄河中游支流一次洪峰一般为 3~5 d,连续洪水一般为 10~15 d;干流一次洪峰一般为 5~8 d,连续洪水可达 30~40 d,最长达 45 d。以三门峡以上的河龙间和龙三间来水为主形成的大洪水(简称上大型洪水)占花园口站洪峰流量的 70%~80%,其特点是洪峰高,洪量大,含沙量高,产生的较大洪水洪峰流量一般为 15 000~22 000 m³/s^[2],日平均含沙量可达 800~900 kg/m³。该区间洪水对黄河下游和三门峡库区防洪威胁严重。

仕望河流域地处黄土丘陵沟壑区与高原沟壑区的过渡地带。为黄河中游吴堡—龙门段西岸的一条一级支流,流域总面积为 2 356 km²。该流域水文特性的是:洪水过程平缓,历时长,枯水流量大,这在流域上中游明显^[3]。该流域与黄河中游的多沙河流相似,泥沙主要集中在汛期,据大村站、英旺站 1959—1969 年(天然状态下)资料统计,其平均 6—9 月的输沙量能占到全年输沙量的 95%~98%,而 7 月,8 月输沙量又占汛期输沙量的 71.6%~83.5%。

采用水文法,根据水文站资料,对降雨资料进行系列化处理 and 代表性分析,研究仕望河流域建站至 1999 年的水文和 2006—2010 年的降雨以及径流泥沙,特别是 20 世纪 90 年代以来的水沙变化趋势,可以正确认识黄河流域的水土保持工作的地位和作用,减轻河道淤泥堆积等,具有重要的研究价值。本文旨在通过对仕望河流域的水沙变化的综合分析探讨而为黄河的综合治理提供一个切实可行的依据。

1 基本资料

1.1 自然地理特征

仕望河流域地处黄土丘陵沟壑区与高原沟壑区

的过渡地带,为黄河中游吴堡—龙门段西岸相邻的 1 级支流,流域总面积 2 356 km²,仕望河大村水文站控制面积 2 141 km²,占流域总面积的 90.9%, (以下所称流域仅指水文站控制区)。

仕望河发源于黄龙北部低山林区,流经黄龙、宜川入黄河(其中黄龙县在流域内面积 921.6 km²,宜川县在流域内面积 1 219.4 km²),河道长 112.8 km,主要支流有大南川、蔡家川、西川、交里河等,支流与干流成树枝状水系^[4],沟壑密度 1.0~1.8 km/km²。仕望河地貌形态与汾川河相似,其上游为山林丘陵沟壑区,面积 1 551 km²,占流域面积的 72.4%。区内山大、沟深坡陡、梁茆起伏、沟壑纵横,林草覆盖度 73.8%~93%。下游为残原沟壑区,占流域面积的 27.6%。

仕望河流域的土壤上中游主要为森林褐土、黑垆土和黄绵土,土壤肥力较高,结构好,涵蓄水分能力强,下游主要为黄土性土类的黄善土、黄绵土。

1.2 水沙特征

仕望河流域地处半干旱半湿润地区,1970—1989 年水文站的实测资料显示平均年降水量在 500~600 mm 之间,最大年降水量 750 mm,最小年降水量仅 289 mm。降雨多集中在 6—9 月,占年降雨量的 70%以上。而 2006—2010 年的资料显示该地区的降雨有所减少。

仕望河多年平均径流量 8 655 万 m³,汛期占 42.3%。该流域水文特性是:洪水过程平缓,历时长,枯水流量大,这在流域上中游明显。流域产流在面上分布有较大差异,上中游丘陵林区,径流年内分配相对均匀,平均年产流模数较小,为 2.32 万 m³/km²;下游残原区,径流年内分配相对集中,平均年产流模数大于上中游,为 3.08 万 m³/km²,但是由于下游残原区面积小(约占流域面积的 27.6%~29.1%),因而上中游仍是径流的主要来源区,约占流域年径流量的 65.2%。

从输沙情况看,由于上中游与下游下垫面条件的差异,因而产沙量也有较大差别。上中游植被好,输沙模数也小,只有 108~450 t/km²。两流域的下游由于地形、土壤、植被条件差,其输沙模数要比上中游大得多,约为 5 000~6 890 t/km²。因而下游残原区虽然面积所占比例小(27.6%~29.1%),但却是沙

量的主要来源区,来沙量约占流域输沙量的87.0%以上。

1.3 计算方法

计算年径流、年输沙量,并与实测值比较,其差值 ΔR 、 ΔW_s 即为人类活动的减水减沙量。计算式为^[7]:

$$\Delta R = P \cdot \alpha - R_2 \cdot \eta_1 = \frac{\Delta R}{R_1} \times 100\% \quad (1)$$

$$\Delta W_s = P \cdot E - W_{s2} \cdot \eta_2 = \frac{\Delta W_s}{W_{s1}} \times 100\% \quad (2)$$

式中: P ——降雨量(mm),减水效益计算用年雨量,减沙效益计算用汛期雨量; R_2 、 W_{s2} ——治理后实测年径流、输沙量; R_1 、 W_{s1} ——治理前年径流、输沙量; η_1 、 η_2 ——分别为减水、减沙效益; α ——流域治理前

产流率; E ——流域治理前产沙率。分析计算得出:仕望河: $\alpha=17.434$ 万 m^3/mm , $E=0.915$ 万 t/mm 。

2 结果与分析

2.1 仕望河实测水沙过程变化分析

图1为仕望河大村站实测年径流、输沙量过程线($R-t$, W_s-t)。历年径流量过程线显示,在1959—1989年,年径流量大于平均值的年份共13a,其中时段Ⅰ有6a(1961,1963,1964,1966,1967,1968年)。时段Ⅱ有4a(1971,1975,1976,1978年),时段Ⅲ有3a(1983,1985,1988年)。年径流量累计曲线显示,与时段Ⅰ相比,时段Ⅱ、Ⅲ曲线斜率是减小的,时段Ⅱ与时段Ⅲ相比,曲线斜率略为增大。

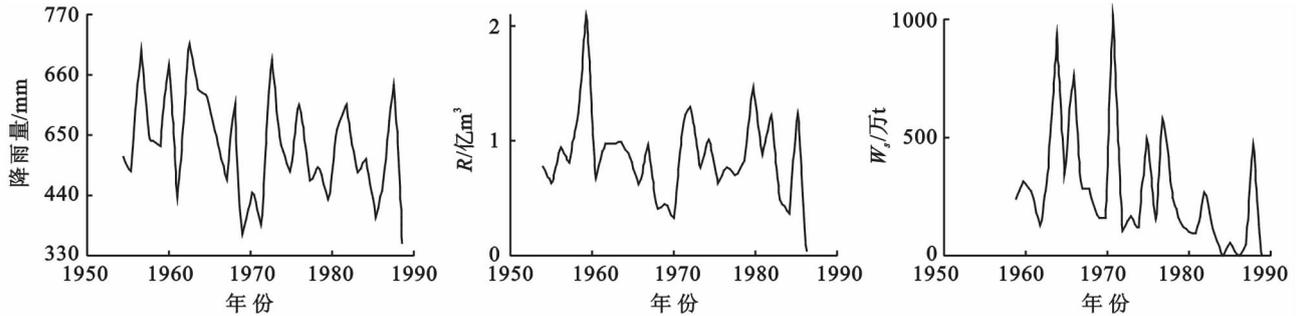


图1 仕望河大村镇 $P-t$ 、 $R-t$ 、 W_s-t 过程线

历年输沙量过程线显示,在1959—1989年,年输沙量大于平均值的年份共有11a,其中时段Ⅰ有6a(1960,1963,1964,1965,1966,1967年),时段Ⅱ有3a(1971,1975,1977年),时段Ⅲ有2a(1982,1988年),最大值出现在1971年。年输沙量累计曲线转折点较多,曲线斜率是逐时段减小的。

表1为仕望河大村站年径流量、输沙量、平均含沙量统计成果,可以看出,时段Ⅱ、Ⅲ与时段Ⅰ相比,年径流量、年输沙量都是减小的,不同的是沙量连续

减小,而水量时段Ⅲ比时段Ⅱ略有增加。

综合表1分析可见,仕望河流域1970年以后两个时段(Ⅱ、Ⅲ)实测水、沙量都比1970年以前(时段Ⅰ)有所减少,在同时段内比较看,两流域时段Ⅱ沙量减少的百分数都略低于水量减少的百分数,时段Ⅲ沙量减少的百分数都显著的高于水量减少的百分数。Ⅱ、Ⅲ两个时段比较看,时段Ⅲ水量减少的百分数都略低于时段Ⅱ,而沙量减少的百分数却显著的高于时段Ⅱ。

表1 仕望河不同系列对比法结果

| 时段 | 平均年 | | | 比时段Ⅰ(1959—1969年)减少 | | | | | |
|-----------|----------------|-----------|-------------------------------|--------------------|------|-------|------|------------------------|------|
| | 径流/ 万 m^3 | 输沙/ 万t | 含沙量/ ($kg \cdot m^{-3}$) | 径流 | 输沙 | | 含沙量 | | |
| | | | | /万 m^3 | /% | /万t | /% | /($kg \cdot m^{-3}$) | /% |
| 1959—1969 | 10082 | 378.0 | 37.5 | | | | | | |
| 1970—1979 | 7790 | 318.5 | 40.9 | 2292 | 22.7 | 59.5 | 15.7 | -3.4 | -9.1 |
| 1980—1989 | 7950 | 124.2 | 15.6 | 2132 | 21.1 | 253.8 | 67.1 | 21.9 | 58.4 |
| 1970—1989 | 7870 | 221.4 | 28.1 | 2212 | 21.9 | 156.4 | 41.5 | 9.4 | 25.1 |

注:表中的“-”号表示增加

表2给出了仕望河流域2006—2010年的径流量、输沙量统计成果。就全流域而言,2007至2010年的径流量都小于2006年,2009年输沙量更是大幅度小于2006年。只是2010年的输沙量大幅度增加。

综合表2分析可见,仕望河两流域2006—2010年的实测水、沙量都比1959—1989年减少很多,在同时段内比较看,两流域时段沙量减少的百分数反而略高于水量减少的百分数,尤其2010年,高出了很多。

表 2 仕望河 2006—2010 年不同系列对比法结果

| 区间 | 年份 | 平均年 | | 比 2006 年减少 | | | |
|----|------|-------------------------|------------|----------------------|-------|---------|-------|
| | | 径流/ 万 m ³ | 输沙/ 万 t | 径流 | | 输沙 | |
| | | | | 径流量/万 m ³ | 百分比/% | 输沙量/万 t | 百分比/% |
| 大村 | 2006 | 6027 | 1 | | | | |
| | 2007 | 4504 | 2 | 1523 | 25.27 | -1 | -100 |
| | 2008 | 3327 | 0 | 2700 | 44.8 | 1 | 100 |
| | 2009 | 2707 | 0.306 | 3320 | 55.09 | 0.694 | 69.4 |
| | 2010 | 4521 | 11.7 | 1506 | 25 | -10.7 | -1070 |

注:表中的“-”号表示增加

2.2 双累计曲线法减水减沙效益计算

双累计曲线法是利用累计雨量和累计径流量($\sum P - \sum R$)、累计沙量($\sum P - \sum W_s$)曲线的斜率变化来分析人类活动—水保水利措施的减水减沙效益的。在双累计曲线上,若其斜率发生变化,则意味着降雨—径流关系、降雨—输沙关系发生了变化,这一改变来源于流域下垫面的变化,及人类活动改变了流域下垫面的产流产沙水平^[5]。

图 2 为仕望河流域的降雨—径流、降雨—输沙双累计曲线。可以看出,流域的降雨—径流双累计曲线($\sum P - \sum R$)治理后(1970 年以后)两个时段的斜率都略小于治理前(1959—1969 年),且曲线都比较顺直,无明显的起伏和转折,说明人类活动的影响对水量变化总趋势呈平稳状态;两流域降雨—输沙双累计曲线($\sum P - \sum W_s$)都存在明显的起伏和转折,曲线的斜率是逐时段趋于减缓,说明人类活动的减沙效益是逐时段增大的。流域降雨—径流、降雨—输沙双累计曲线斜率的这一变化特点可以理解为:流域的水土保持措施主要分布在下游的残原区^[6],这一区域是流域的主要来沙区,但不是径流的主要来源区,因而流域治理程度逐时段提高,对流域输沙量变化的影响较大,而对径流量变化的影响比较平稳。

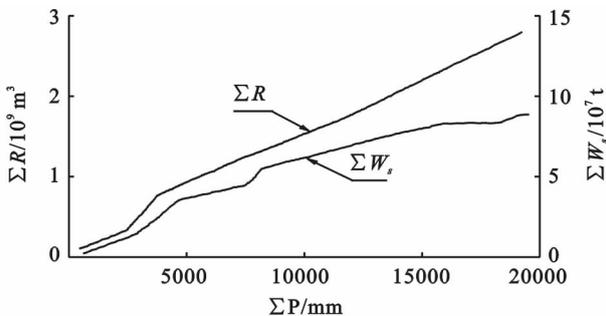


图 2 仕望河大村站 $\sum P - \sum R$ 、 $\sum p - \sum w_s$ 曲线

3 结论和建议

3.1 结论

通过双累积曲线法,经验公式法和水土保持法^[9]的分

析计算结果,对二者进行比较,可以看出,几种方法计算治理措施减水、减沙的趋势是基本一致的,但量值大小存在差异,分析其原因为:双累计曲线法只是考虑雨量变化,没有考虑到雨强变化;经验公式法虽考虑到雨量、雨强的变化影响,但仍存在模拟误差,水保法计算采用的参数较多,难免出现误差,且对人类活动中对水沙变化的消极影响因无准确资料而未计入分析计算。因此,三种方法分析计算结果都不同程度的存在误差,综合多因素分析,本文认为仕望河流域水量变化采用双累计曲线法分析结果比较合理,其余的采用三种方法计算结果的平均值作为结论比较合理。

本文通过水文法研究了仕望河的近些年的泥沙变化情况,得出结论如下:

(1) 通过实测资料分析计算,根据水文法计算结果,认为仕望河流域水量变化采用双累计曲线法分析结果比较合理,基本反映了降雨和产流产沙的内在联系。

(2) 对比影响流域产流产沙的自然因素(降雨)和人为因素(水土保持措施),20 世纪 80 年代,仕望河流域水土保持措施减水减沙量在总减水减沙量的占比较 70 年代有所增加,而降雨因素的减水减沙量在总减水减沙量的占比较 70 年代在逐步递减。

(3) 近 30 a 来国家越来越重视水土保持工作,法律法规趋于完善,职能部门监督与治理并举,黄土高原地区的水土保持治理工程陆续的实施对流域产流产沙的减少有显著的影响。以 2006—2010 年为例,仕望河流域年均降雨量比 70—90 年代增加了 10% 的情况下,而水、沙量却分别减少了 46.41%,98.64%。

3.2 建议

本次研究只是探究仕望河组成的小流域面积,而且时间较短,资料又比较庞杂而且 2006—2010 年的资料严重数据不足,很多分析只能依靠以前的资料。对该区域水土保持治理提几点简单的期望:

(下转第 147 页)

水的无效蒸发量。可见调整地下水开采布局使地下水位埋深至适宜范围内,不仅可以促进表生生态向良性方向发展,还提高了水资源利用效率,能够实现水资源的可持续利用与表生生态的协调发展。

4 结论

(1) 天山北麓地下水位埋深与地表生态关系密切,地下水位埋深直接影响着植被演替、土壤盐渍化及荒漠化程度。

(2) 天山北麓现状水资源开发方式存在不合理性,易诱发表生生态负效应和水资源浪费。通过调控地下水位至适宜埋深能够实现水资源可持续利用与表生生态的协调发展,此时山前戈壁带、细土平原区和沙漠边缘地下水开采阈值分别为 7.3 亿 m^3/a , 16.4 亿 m^3/a 和 2.4 亿 m^3/a , 开采总量比现状年开采量增加了 4.3 亿 m^3/a , 提高了水资源利用率。

参考文献:

- [1] Su Y Z, Zhao W Z, Su P X, et al. Ecological effects of desertification control and desertified land reclamation in an oasis-desert ecotone in an arid region: a case study in Hexi Corridor, northwest China[J]. *Ecological Engineering*, 2007, 29(2): 117-124.
- [2] 柴政, 玉米提, 哈力克, 等. 新疆柴窝堡水源地地下水超采引发的环境问题[J]. *水土保持研究*, 2008, 15(5): 132-135.
- [3] Jeevarathinam C, Rajasekar S, Sanjuan M A F. Vibrational resonance in groundwater-dependent plant ecosystems[J]. *Ecological Complexity*, 2013, 15: 33-42.
- [4] Chui T F M, Low S Y, Liong S Y. An ecohydrological model for studying groundwater-vegetation interactions

(上接第 143 页)

(1) 仕望河流域地处黄土丘陵沟壑区与高原沟壑区的过渡地带。为黄河中游吴堡—龙门段西岸相邻的两条一级支流, 流域内的经济发展水平不是很高, 人民群众的生活水平相比比较低, 这需要国家大力的财政投入支持, 如此才能有效把经济发展与黄河的治理开发结合好, 才能有效保护黄河资源。

(2) 经济开发将带来一系列环境问题和社会问题, 将极大影响黄河水沙的变化, 应完善水土保持监测网络的建设, 加强水文站的水文监测、统计和分析, 加强环境监管, 为该地区的开发与治理提供客观详实的科学依据。

参考文献:

- [1] 冉大川. 黄河中游河龙区间水沙变化研究综述[J]. *泥沙研究*, 2000(3): 72-81.
- [2] 左大康, 叶青超. 黄河流域环境演变与水沙运行规律

in wetlands[J]. *Journal of Hydrology*, 2011, 409(1): 291-304.

- [5] Song G, Chen Y, Tian M, et al. The ecological vulnerability evaluation in southwestern mountain region of China based on GIS and AHP method[J]. *Procedia Environmental Sciences*, 2010(2): 465-475.
- [6] 杨泽元, 王文科. 干旱半干旱区地下水引起的生态效应的研究现状与发展趋势[J]. *干旱区地理*, 2009, 32(5): 739-745.
- [7] Zhao C, Wang Y, Chen X I, et al. Simulation of the effects of groundwater level on vegetation change by combining FEFLOW software[J]. *Ecological Modelling*, 2005, 187(2): 341-351.
- [8] 孙才志, 刘玉兰, 杨俊. 下辽河平原地下水生态水位与可持续开发调控研究[J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2007, 37(2): 249-254.
- [9] 张惠昌. 干旱区地下水生态平衡埋深[J]. *勘察科学技术*, 1992(6): 9-13.
- [10] 周绪, 刘志辉, 戴维, 等. 干旱区地下水位降幅对天然植被衰退过程的影响分析: 以新疆鄯善南部绿洲群为例[J]. *水土保持研究*, 2006, 13(3): 143-145.
- [11] Wang W, Yang Z, Kong J, et al. Ecological impacts induced by groundwater and their thresholds in the arid areas in Northwest China[J]. *Environmental Engineering and Management Journal*, 2013, 12(7): 1497-1507.
- [12] 程东会, 王文科, 侯光才, 等. 毛乌素沙地植被与地下水关系[J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2012, 42(1): 184-189.
- [13] 王文科, 杨泽元, 程东会, 等. 面向生态的干旱半干旱地区区域地下水资源评价的方法体系[J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2011, 41(1): 159-167.
- [14] Bear J. *Dynamics of Fluids in Porous Media*[M]. New York: Courier Dover Publications, 2013.

[J]. *中国科学基金*, 1991(4): 6.

- [3] 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): 33-36.
- [4] 张宏鸣. 基于 GIS 的区域水土流失模型的优化与改进[D]. 陕西 杨凌: 西北农林科技大学, 2008.
- [5] 常丹东. 黄河流域水土保持用水研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2006.
- [6] 姚允龙, 王蕾, 吕宪国, 等. 挠力河流域河流径流量对气候变化的敏感性分析[J]. *地理研究*, 2012, 31(3): 409-416.
- [7] 徐学选, 据彤军, 郑世清. 延安燕沟流域次降雨泥沙来源分析[J]. *中国水土保持科学*, 2008, 6(3): 38-42.
- [8] 张晓明, 余新晓, 武思宏, 等. 黄土区森林植被对坡面径流和侵蚀产沙的影响[J]. *应用生态学报*, 2005, 16(9): 1613-1617.
- [9] 张孝中, 张经济, 冀文慧. 无定河延河流域水沙变化现状, 成因及发展趋势的研究[R]. 陕西省水土保持勘测规划研究所, 1998.