DOI:10.11705/j.issn.1672-643X.2019.06.22

泾河长系列水沙变化规律与归因研究

吴小宏1,刘招2,3,李强4,孙刚峰1,李雯晴4

(1. 泾惠渠灌溉管理局, 陕西 三原 713800; 2. 长安大学 水与发展研究院, 陕西 西安 710054; 3. 长安大学 旱区地下 水文与生态效应教育部重点实验室, 陕西 西安 710054; 4. 长安大学 环境科学与工程学院, 陕西 西安 710054)

摘 要: 近些年泾河径流量及来沙量大幅减少,在一定程度上影响到流域的水资源开发利用,为了厘清水沙减少程度及变化特征,探寻其变化背后的驱动因素,采用联合滑动 t 检验、距平累积曲线法和 Copula 等方法,从不同层面对泾河长系列水沙规律进行了研究。同时,建立分布式水文模型,分情景对泾河流域径流泥沙对气候和土地利用变化的响应进行了模拟。结果表明:气候变化对径流和泥沙减少的贡献率约为21.20%和6.08%;土地利用变化对径流泥沙减少的贡献率约为4.04%和11.08%;泾河流域径流泥沙变化除受气候变化影响外,还与土地利用(覆被)类型、面积比重等有关。研究结论表明:人为拦蓄和引水是河川径流减少的主要原因,而泥沙减少的主因除了退耕还林还草之外,通过淤地坝等水保措施直接拦沙也起到了重要作用。

关键词:径流;泥沙;归因分析;SWAT模拟;泾河流域

中图分类号:TV121.2; P333.4

文章编号: 1672-643X(2019)06-0144-06

Attribution analysis of long series runoff and sediment variation in Jinghe River

文献标识码:A

WU Xiaohong¹, LIU Zhao^{2,3}, LI Qiang⁴, SUN Gangfeng¹, LI Wenqing⁴

 (1. The Administration Bureau of Jinghui Canal Irrigation Area, Sanyuan 713800, China; 2. Institute of Water and Development, Chang'an University, Xi'an 710054, China; 3. Key Laboratory of Subsurface Hydrology and Ecological Effects in Arid Region of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710054, China;
 4. School of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

Abstract: The runoff and sediment of Jinghe River have greatly reduced in recent years, which has affected the utilization of water resources along the bank to some extent. In order to determine the reduction degree and characteristics of runoff and sand, and to explore the driving factors, this paper studied the runoff and sediment series of Jinghe river by combining sliding T test, with Copula, Anomaly Accumulation Curve Method and other methods. Moreover, a SWAT model for Jinghe River basin was constructed based on the geographic information data of Jinghe River basin, and different scenarios were set up to study the response of runoff and sediment to climate and land use change in Jinghe River basin. The results showed that climate change contributes about 21.20% and 6.08% to runoff and sediment reduction. The land use change in Jinghe River basin are not only the effect of climate change, but also land use and other human activities. Conclusions can be drawn that: the increasing water diversion and other water demand along the riverside is mainly count for the runoff reduced. Compared with runoff, sediment change is more sensitive to land use change, the reduction of sediment is mainly attributed to returning farmland to forest and grass, silt dam also plays an important part.

Key words: runoff; sediment; attribution analysis; SWAT model; Jinghe River Basin

收稿日期:2019-07-05; 修回日期:2019-09-16

基金项目:陕西省重点研发计划项目(NO. 2019SF - 237);中央高校基本科研业务费资助项目(NO. 300102299206、NO. 300102269201);西安市建设科技计划项目(SJW2017 - 11)

作者简介:吴小宏(1965-),男,陕西西安人,本科,高级工程师,主要从事水利工程施工、设计、管理工作。

通讯作者:刘招(1975-),男,陕西礼泉人,博士,教授,从事水文学及水资源方向研究。

1 研究背景

泾河作为黄河的二级支流,流经黄土高原高强 度水土侵蚀区^[1],以其径流的高泥沙含量而闻名, 20世纪中期向渭河汇入的多年平均泥沙量约为3× 10⁸t。随着70年代后黄河流域水土保持工作的大 力开展,泾河流域内的水土流失情况在一定程度上 有所缓解,水沙关系也发生了较大变化^[2]。天然径 流量的明显减少必然影响到沿岸水资源的取用,水 沙关系的改变也直接影响到水资源的利用效率^[3], 给泾河流域乃至下游的渭河水资源开发利用带来严 重挑战。

黄土高原水土流失及河道水沙问题不仅是水文 学科的重要问题,还关系到生态、环境和工程等多个 学科领域,在世界范围内备受关注。长期以来,诸多 专家学者对泾河径流水沙进行了大量的研究,并取 得了众多有价值的成果^[4-7]。这其中不乏对泾河水 沙变化特征[8-9]、水沙时间序列变异[10]、水沙丰枯 遭遇[11]等方面问题的探究,采用的方法亦十分多 样,有R/S时间序列分析、Copula函数、滑动 t 检验、 有序聚类和双累积曲线法等等。刘招等^[12]利用滑 动平均、Tenant 等方法分析泾河来水形势,结果表 明:泾河流域的张家山站实测年径流量呈现出明显 递减趋势,多年平均实测径流量从20世纪60年代 的 17.15 × 10⁸ m³ 下降到近 10 年来的 9.95 × 10⁸ m³,实测径流距平最小达到-29.6%^[12]。然而,泾 河以及众多流经黄土高原的河流的水沙减少是一个 复杂的问题,其持续变化背后的相关成因机制仍不 清楚,有关泾河径流的减少与水沙关系的改变机理、 影响因素、水沙时间序列变异及未来趋势等问题仍 亟待深入开展。

本文基于泾河控制站长系列水文泥沙数据,采 用联合趋势分析、突变检验及流域水文模拟等方法, 探讨基于不同土地利用和气候情景下的河道水沙响 应。通过建立 SWAT 水文模型,设定不同情境,定 量评估气候和土地利用变化以及人类直接取水拦沙 活动对于流域径流泥沙变化的贡献,以求为流域的 水土流失治理和水资源规划提供科学依据。

2 数据来源与研究方法

2.1 泾河流域概况

泾河发源于宁夏六盘山东麓,是黄河一级支流
 渭河的最大支流。泾河全长 455.1 km,流域面积为
 4.54 × 10⁴ km²,其中水土流失面积达到 3.32 × 10⁴

km²,占流域总面积的 73.14%。流域内有多种地貌 类型,地形变化明显,由西北到东南地势逐渐降低。 流域北部为黄土丘陵沟壑,中部和南部为黄土塬,西 部为六盘山土石山区,东部为子午岭黄土丘陵区,其 中黄土丘陵沟壑区和黄土高原沟壑区分别占流域总 面积的 41.3% 和 39.7%,这两种类型区的水土流失 最为严重^[8]。

2.2 数据来源和数据库建立

本文数据来源为泾河下游张家山站实测 1970 -2017 年径流泥沙资料。研究分别采用滑动 T 检 验法、Pettit 法、距平累积曲线法和 Copula 等方法, 对泾河径流泥沙的年内、年际的变化规律及其突变 性、周期性及水沙丰枯遭遇进行分析。

为进一步研究泾河流域水沙变化的驱动因素, 研究应用 SWAT 建立分布式水文模型,对流域水沙 情况进行分情境模拟。SWAT 即水土评估工具(Soil and Water Assessment Tool),是美国农业部农业研究 局开发的分布式水文模型,其主要优势就是能够模 拟和预测径流和泥沙负荷等,目前已得到广泛的应 用及认可^[13-17]。本文建立 SWAT 模型所用数据库 的资料为90 m 分辨率数字地形图、1990-2015 年 3 期土地利用图(1990、2000、2015 年土地利用图比例 尺为1:100 万)、HWSD 土壤数据集、1970-2016 年 主要站点的逐日气象数据、1970-2017 年张家山站 径流泥沙数据等(http://www.gscloud.cn/)。

研究从地理空间数据云获取泾河流域 1990、 2000、2015 年土地利用数据图以及土壤数据图,其 中土地利用根据全国土地利用现状一级分类标准 (第二次全国土地调查)进行重新分类。气象数据 库则是基于泾河流域内4个气象站(西峰、崆峒、长 武、环县)的逐日资料进行建立,其中 SWAT 模型中 的天气生成器所需参数通过 pcpSTAT 及 dew2 软件 计算得到。

2.3 泾河水沙长系列变化规律

研究表明,年径流量与年输沙量的多年均值分 别为11.85×10⁸ m³和1.76×10⁸ t,径流泥沙在20 世纪90年代中期同时出现明显的下降趋势,图1为 泾河1970-2017年间水沙情势。

泾河输沙量的年内不均匀系数维持在 0.4 ~ 0.9之间,长系列上不均匀系数表现为不显著上升趋势,表明多年输沙量的年内分配集中且趋势维持。 径流量的不均匀系数在 0.1 ~ 0.5 之间,且长系列上 呈现下降趋势,说明相对于泥沙输移的极端集中,径 流的年内分配相对平均。



图 1 1970-2017 年泾河流域径流量和输沙量数据序列

泾河流域年径流量和输沙量突变检测结果见图 2。图 2 的检验结果表明,在 20 世纪 90 年代中期 (1996 年)水沙同时出现突变,突变前后径流量和输 沙量多年均值分别为 13.38×10⁸ m³、2.34×10⁸ t 和 10.21×10⁸ m³、1.17×10⁸ t。

为探讨泾河长系列来水来沙之间的丰枯遭遇情况,研究选用 Copula 函数来描述两变量间的联合分布。Copula 函数是用来表述多维变量联合概率分布的有效工具,在水资源领域有大量应用。根据水文序列变异分析,以1996 年为界,分别得到1970 -

1995年及1996-2017年水沙联合分布函数如公式 (1)、(2):

$$F_{(X,Y)}(x,y) = C(u,v)$$

= exp{ - [(- ln u)^{1.6582} + (- ln v)^{1.6582}]^{1/1.6582} }
(1)

$$F_{(X,Y)}(x,y) = C(u,v)$$

$$= (u^{-0.686} + v^{-0.686} - 1)^{-1/0.686}$$
(2)

式中: $F_{(X,Y)}(x,y)$ 为水沙联合分布函数; u 为泾河 年径流量(10^8 m³)边缘分布; v 为泾河年输沙量 (10^8 t)边缘分布。

图 3 为泾河水文序列突变前后水沙联合分布概 率等值线。由图 3 可以看出,1970 - 1995 年的概率 分布较为均匀,而 1996 - 2017 年的概率分布出现集 中现象,突变后,水沙丰枯同步概率下降,异步概率 上升至 51.58%。同时,突变后 70% 的以下的等值 线越加密集,说明由于气象变化和人类活动的影响, 水文设计频率所对应的径流泥沙量出现了变化,而 这必然会对按过去工程设计标准建立的水利工程造 成一定的影响。



图 2 泾河流域年径流量和输沙量突变检测结果



图 3 泾河水文序列突变前后水沙联合分布概率等值线

2.4 模型模拟与参数率定、结果验证

地区差异造成 SWAT 模型并不能合理模拟每 一个流域,所以还需对模型进行率定和评判。本文 选取张家山站 1970 - 1979 年为模型预热、参数率定期,然后以 1980 - 1989 年数据用于模型验证。敏感性分析选用 SWAT - CUP 中的 LH - OAT 敏感性分

析方法,模拟结果精度采用决定系数 R^2 、Nash – Suttclife 效率系数 NS、相对偏差百分比 PBIAS 来评 判,评判标准见表 1。

表 1 SWAT 模拟结果评价标准

结果	D ²	NC	PBIAS /%		
评级	K ⁻	NS	径流	泥沙	
极好	>0.85	0.75 ~ 1.00	< ±10	< ±15%	
较好	$0.75 \sim 0.85$	$0.65 \sim 0.75$	$\pm 10 \sim \pm 15$	$\pm 15 \sim \pm 30$	
可信	$0.50 \sim 0.75$	$0.50 \sim 0.65$	$\pm 15 \sim \pm 25$	$\pm 30 \sim \pm 55$	
不可信	< 0.5	< 0.50	> ±25	> ±55	

率定期(1973-1979年)和验证期(1980-1989年) 径流量及输沙量的模拟值与实测值见图4。根据 SWAT-CUP 软件评判结果,率定期的径流量模拟结果的决定系数、Nash-Suttclife 效率系数和相对偏差百分比分别为0.81、0.79及0.5%,而输沙量为0.71、0.68及-14%;验证期则分别为0.78、0.72、15%和0.74、0.64、10%,可以看出评价结果皆在可信范围内。结合图4可以看出,虽然由于DEM的分辨率、土地利用图的分类、数据库叠加带来的误差等因素^[18-20]使得模型对于径流量和输沙量极端年份的模拟有些出入,但总体上可以较好模拟出泾河流域多年径流泥沙变化。



图 4 率定期(1973 – 1979 年)和验证期(1980 – 1989 年) 径流量及输沙量的模拟值与实测值

3 情境模拟结果分析

3.1 流域径流泥沙对土地利用变化的响应

为研究不同土地利用条件下河川径流及泥沙情况,对建立的模型分别输入3个时期的土地利用条件进行模拟。表2为不同土地利用条件下泾河流域的水沙模拟结果,由表2可见,2000年土地利用条件下的径流量、输沙量最大,而2015年土地利用条件下的径流量、输沙量最小。其中在1990-2000年之间,虽然耕地减少43 km²,但同时草地增长了131 km²,且林地减少了161 km²,使得整体上泾河流域

的保水抗蚀的能力减弱,因此导致 2000 年土地利用 条件下径流量增加了 0.009 × 10⁸ m³,输沙量增加了 0.006 × 10⁸ t;在 2000 - 2015 年间,由于耕地继续减 少了 364 km²,而林地大幅增加了 409 km²,草地减 少 136 km²,使得泾河流域的保水抗蚀能力相比 1990 - 2000 年间大幅度提升,2015 年土地利用条件 下径流量减少了 0.141 × 10⁸ m³,输沙量减少了 0.102 × 10⁸ t,二者减少量为同一数量级。

表 2 不同土地利用条件下泾河流域水沙模拟

小沙目	1990 年土	土地利用	2000 年」	上地利用] 2015 年」	上地利用
小沙重	平均值	C_V	平均值	C_V	平均值	C_V
径流量/10 ⁸	m^3 12.10	0.34	12.109	0.35	11.968	0.32
输沙量/10 ⁸	t 1.813	0.55	1.836	0.56	1.734	0.58

3.2 流域径流泥沙对气候变化的响应

同样,设定不同的气候情境,模拟气候条件变化 时径流及泥沙变化的情况。表3为不同气象条件的 模拟结果,由表3可知,在相同土地利用条件下, 1980-2016年间,泾河流域平均年降水量下降了 7.64 mm,气温上升了0.41°,蒸散发上升46.37 mm,这使得在1996-2016年间径流量比1980-1995年的径流量减少了0.74×10⁸m³,输沙量比 1980-1995年的输沙量减少了0.056×10⁸t。结合 土地利用变化下的径流泥沙变化幅度可以看出,在 土地利用变化条件下,输沙量相比径流量变幅更大, 而在气象变化条件下,径流量变幅比输沙量大一个 数量级,说明径流对于气象变化的响应较为敏感,而 泥沙相对并不敏感。在1980-1995年和1996-2016年2个时期,降水、气温、径流量和输沙量的年 际波动变化不大。

表 3 不同气候条件下泾河流域水沙模拟

年份	水沙量	降水量/ mm	气温/ ℃	蒸散发/ mm	径流量/ 10 ⁸ m ³	输沙量/ 10 ⁸ t
1020 1005	平均值	513.5	8.70	868.29	11.968	1.734
1980 - 1995	C_V	0.24	0.06	0.09	0.320	0.580
1006 2016	平均值	505.86	9.11	914.66	11.228	1.678
1990 - 2010	C_V	0.21	0.07	0.06	0.340	0.590

4 归因分析与讨论

4.1 气候与土地利用变化

分析气候和土地利用变化因素对径流泥沙减少的贡献,如表4所示,以1996年为分界点,实测径流与泥沙在1980-2016年间,分别减少了3.49×10⁸

 m^{3} 和 0.92×10⁸ t。仅考虑土地利用变化的条件下, 径流泥沙分别减少 0.141×10⁸ m³和 0.102×10⁸ t, 其贡献率约为 4.04% 和 11.08%;仅考虑气候变化 的条件下,径流和泥沙的减少量为 0.74×10⁸ m³ 和 0.056×10⁸ t,贡献率约为 21.20% 和 6.08%。

这表明气象条件和土地利用变化对径流泥沙减少 有一定影响,但并不是主要因素,其减少的主要驱动因 素很可能是其它人类活动的直接影响,例如人类直接 引水灌溉、工厂傍河用水以及人工淤地坝拦沙等。

表 4 流域径流泥沙变化贡献分析

水沙量	实测 : 差值	土地利用变 化影响量	气候变化 影响量	取水拦沙等直接 人类活动影响量
径流量/10 ⁸ m ³	-3.49	-0.141	-0.740	- 2.609
输沙量/10 ⁸ t	-0.92	-0.102	-0.056	-0.762

4.2 人类活动用水变化

根据《黄河流域水文特征值统计(泾洛渭区)》等 相关资料,统计得 2005 - 2017 年上游甘肃省泾河流 域出入境水量和张家山实测径流对比见图 5。由图 5 可见,较为稳定的多年入境水量以及出境水量和张家 山的实测径流量较为一致。统计不同时期张家山以 上泾河流域人类用水总耗水量,泾河流域内人类活动 所消耗的水量从 20 世纪 50 年代的0.73 × 10⁸ m³ 增 加到目前的 3.87 × 10⁸ m³,并且从 20 世纪 90 年代以 后增长速度加快。由于泾河径流量的减少,耗水量占 据实测径流的比例从 20 世纪 70 年代 7.28% 上升到 2017 年的40.69%。相比 90 年代,张家山以上流域的 总耗水量多年均值又增长了 2.12 × 10⁸ m³,占据径 流减少量的 60.74%, 如表 5 所示。耗水量的持续 增长对于泾河出口径流量的减少有着重要影响。



时间段	张家山以上流域 总耗水量/10 ⁸ m ³	张家山水文站 实测径流/10 ⁸ m ³
1956 – 1959	0.73	
1960 – 1969	0.84	
1970 – 1979	0.91	12.49
1980 - 1989	1.13	13.28
1990 – 1999	1.75	13.18
2000 - 2004	2.78	11.20
2005 - 2017	3.87	9.51

4.3 淤地坝工程

在治理黄河泥沙的措施中,除退耕还林还草外, 淤地坝也占据重要地位。本节根据李景宗等^[21]统 计数据,除去已淤满的淤地坝,对还具有拦沙作用的 淤地坝进行统计,见表6。

表 6 泾河流域内淤地坝多年拦沙情况

淤地坝	数量/ (座)	控制面积/ km ²	总库容/ 10 ⁴ m ³	已淤库容/ 10 ⁴ m ³	平均淤积 年限/a	年均拦沙量/ 10 ⁸ t	拦沙模数/ (t・km ⁻² ・a ⁻¹)
骨干坝	432	2088	33596	8532	15	0.077	
中小型坝	811	649				0.04	6087

截至 2011 年,泾河流域还发挥作用的骨干淤地 坝为 432 座,中小型为 811 座,骨干坝中已淤库容占 据总库容的 25.4%,表明未来泾河流域的大多数淤 地坝还将继续发挥拦沙作用。而淤地坝年均拦沙量 为 0.117 × 10⁸ t,占据减少量的 12.71%,考虑到已 淤满的淤地坝并未计算在内,实际的拦沙量会更多。 并且由于淤地坝对于控制面积内的沟床下切、沟坡 滑塌的现象有一定抑制作用,淤地坝对于泾河泥沙 的减少同样有着重要的影响。

5 结 论

泾河作为流经黄土高原黄河的二级支流,其来 水来沙变化关系到沿岸居民及工农业用水安全,历 来备受关注。论文基于泾河长系列水沙资料,对过 去几十年来泾河水沙过程、人类活动、气候变化等因 素进行探究分析,通过分布式水文模拟,分不同情境 对流域水沙过程进行了模拟分析和研究,主要结论 如下: (1)泾河流域来水来沙在20世纪90年代中期 同时出现突变,突变前后径流量和输沙量多年均值 分别为13.38×10⁸ m³、2.34×10⁸ t和10.21×10⁸ m³、1.17×10⁸ t;径流泥沙序列突变后,水沙丰枯同 步概率下降,异步概率上升至51.58%。

(2) 仅考虑土地利用变化的条件下, 径流泥沙 分别减少 0. 141 × 10⁸ m³ 和 0. 102 × 10⁸ t, 其贡献率 约为 4. 04% 和 11. 08%; 仅考虑气候变化的条件下, 径流和泥沙的减少量为 0. 74 × 10⁸ m³ 和 0. 056 × 10⁸ t, 贡献率约为 21. 20% 和 6. 08%。表明气象条 件和土地利用变化对径流泥沙减少有一定影响, 但 并不是主要因素。

(3) 泾河河道水的取用量从 20 世纪 90 年代以 后快速增长。水资源利用率从 20 世纪 70 年代 7.28%上升到 2017 年的 40.69%,总耗水量又增长 了 2.12×10⁸ m³,研究认为地表水资源取用占到径 流减少量的 60% 以上。

参考文献:

- [1] 颜 明,郑明国,舒 畅,等. 泾河流域径流 泥沙的尺度效应 研究[J]. 水土保持通报,2016,36(6):184 – 188 + 194.
- [2] 穆兴民, 王万忠, 高 鹏,等. 黄河泥沙变化研究现状与 问题[J]. 人民黄河, 2014, 36(12):1-7.
- [3] 胡春宏,陈绪坚,陈建国.黄河水沙空间分布及其变化 过程研究[J].水利学报,2008,39(5):518-527.
- [4] 赵晨宇,王应祥,温珍珠,等. 泾河平凉市区段径流量变 化特征及其影响因素分析[J].水资源与水工程学报, 2017,28(3):36-41.
- [5] 王 青,刘 招,陶望雄. 基于洛伦兹曲线的泾河张家山站 径流及降雨分布不均匀性分析[J].水资源与水工程学 报,2016,27(1):119-122+127.
- [6] 陈 刚,胡素端,王怡璇,等. 基于 GIS 的泾河流域径流过 程分形特征研究[J].水资源与水工程学报,2011,22
 (3):124-127.
- [7] 马川惠,黄强,郭爱军. 泾河流域水沙联合分布特征分析及 其不确定性评估[J]. 水利学报,2019,50(2):273-282.
- [8] 郭爱军,黄强,畅建霞,等.基于 Copula 函数的泾河流域 水沙关系演变特征分析[J].自然资源学报,2015,30
 (4):673-683.

- [9] 杨思雨,姜仁贵,解建仓,等. 泾河流域径流变化趋势及归因分析[J]. 西安理工大学学报,2019,35(2):186-191.
- [10] 王 娇,姜仁贵,解建仓,等. 泾河流域径流量变化特征 研究[J]. 水资源与水工程学报,2018,29(6):88-93.
- [11] 姚曼飞,党素珍,孟美丽,等. 基于 Copula 函数的泾河 流域水沙丰枯遭遇频率分析[J].水土保持研究,2019, 26(1):192-196+202.
- [12] 刘招,李强,李璐路,等. 泾惠渠灌区渠首地表水资源 可利用量长期变化及其潜力研究[J]. 干旱地区农业研 究,2018,36(6):237-242.
- [13] 渠勇建,成向荣,虞木奎,等. 基于 SWAT 模型的衢江 流域土地利用变化径流模拟研究[J].水土保持研究, 2019,26(1):130-134.
- [14] 陈彦平. 气候变化对山西省水文过程影响研究[J]. 水 利技术监督,2019(2):72-74.
- [15] 吕乐婷, 王晓蕊, 孙才志,等. 基于 SWAT 模型的细河 流域蓝水绿水资源量时空分布研究[J]. 长江流域资 源与环境, 2019,28(1):39-47.
- [16] QIAO Pengwei, LEI Mei, YANG Sucai, et al. Development of a model to simulate soil heavy metals lateral migration quantity based on swat in huanjiang watershed, china. Journal of Environmental Sciences, 2019, 77 (3), 118 – 132.
- [17] 王梦园,解宏伟,赵杰,等. 基于 SWAT 模型的黄河源 区径流模拟[J].青海大学学报,2019,37(1):39-46.
- [18] COTTER A S, CHAUBEY I, COSTELLO T A, et al. Water quality model output uncertainty as affected by spatial resolution of input data [J]. Journal of the American Water Resources Association, 2003,39(4), 977 - 986.
- [19] CHAPLOT V. Impact of dem mesh size and soil map scale on swat runoff, sediment, and NO₃—N loads predictions
 [J]. Journal of Hydrology (Amsterdam), 2005, 312(1 -4), 207 - 222.
- [20] DI LUZIO M, ARNOLD J G, SRINIVASAN R. Effect of gis data quality on small watershed stream flow and sediment simulations [J]. Hydrological Processes, 2010, 19 (3), 629-650.
- [21] 李景宗,刘立斌. 近期黄河潼关以上地区淤地坝拦沙量 初步分析[J]. 人民黄河,2018,40(1):1-6.