

黄土丘陵沟壑区径流输沙相关性的尺度效应分析^{*}

朱 婧², 赵文武^{1,2}, 徐海燕²

(1. 国土资源部土地利用重点实验室, 北京 100035; 2. 北京师范大学 资源学院, 北京 100875)

摘 要:以陕北黄土丘陵沟壑区延河、清涧河、汾川河 3 条流域作为研究区域, 针对该区 9 个水文站点的 6 - 9 月径流量、输沙量的数据, 探讨了时空尺度变化对径流与输沙相关性的影响。结果表明二者在不同的时间尺度和空间尺度上其相关程度差异明显。基于径流因子与输沙因子的关系所拟合的曲线模型中, 7、8 月份的模型拟合优度在整体上高于 6 月、9 月, 汛期的模型拟合优度一般低于 7、8 月份的模型拟合优度。汛期清涧河流域的模型拟合优度高于延河和汾川河流域, 区域的模型拟合优度高于延河和汾川河流域, 但略低于清涧河流域。

关键词:黄土丘陵沟壑区; 径流量; 输沙量; 相关关系; 模型

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2008)03-0004-03

The Scale Effects of Runoff-Sediment Correlations in the Hilly and Gully Area of the Loess Plateau

ZHU Jing², ZHAO Wen-wu^{1,2}, HU Hai-yan²

(1. Key Laboratory of Land Use, Ministry of Land and Resources, Beijing 100035, China; 2. College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: In order to explore the scale effects of correlations between runoff and sediment in the hilly and gully area of the loess plateau, this paper took the Yanhe watershed, Qingjianhe watershed and Fenchuanhe watershed in northern of Shaanxi province as a case study, and analyzed the relationship between the monthly runoff volume and sediment discharge rate from 15 years in 9 hydrological stations. It is implied from the analysis result that the correlation coefficient of runoff and sediment varies for different time scales and spatial scales. And the goodness of fitting models for runoff and sediment changes with scale alteration. At for time scale, the fitting goodness of models in July and August are higher than that in June and September, and the flood seasons are better than that of July and August. As for the spatial scale, the fitting goodness of model for Qingjianhe watershed is better than that for Yanhe watershed and Fenchuanhe watershed; the regional models is better than that for Yanhe watershed and Fenchuanhe watershed, and worse than that for Qingjianhe watershed.

Key words: hilly and gully area of the Loess Plateau; runoff; sediment; correlations; model

陕北黄土丘陵沟壑区地形破碎, 植被稀少, 沟壑纵横, 流域山高坡陡、河流含沙量高, 汇流条件复杂多变, 属黄土高原严重水土流失区^[1-2]。该区针对水土流失的研究, 尤其是对于降雨、径流及输沙相关关系的研究, 已经有了众多的成果, 从小流域到流域等不同尺度上, 探讨降水变化与输沙、径流因子与输沙等的相互关系^[3-8]。然而, 在已有研究中, 往往忽视了尺度变化对径流泥沙相互关系的影响, 很少探讨径流输沙相互关系中的尺度效应。为此, 该文基于黄土丘陵沟壑区延河、清涧河、汾川河三条流域水文站点的径流泥沙数据, 应用 SPSS 技术, 在不同时空尺度上分析径流量与输沙量的关系, 并在此基础上拟合两者的关系模型, 旨在揭示黄土丘陵区因时间或空间尺度变异径流与输沙关系的变化, 从而为进

一步研究水沙作用机理服务。

1 研究区概况

根据陕北水文站的设置和数据获取的可能性, 研究选择延河、清涧河、汾川河三条流域作为研究区域。在该区域共有延安、安塞、枣园、杏河、甘谷驿、子长、延川、临镇、新市共 9 个水文站点(图 1)。该区域位于 108°45' - 110°25' E, 36°10' - 37°20' N, 总面积为 13 584 km²。区内地表切割破碎、沟壑纵横、植被覆盖率低、水土流失严重, 属于典型的黄土丘陵沟壑区。

2 研究方法

根据《中华人民共和国水文年鉴 - 黄河流域水文资料》, 选择输入延安、安塞等 9 个水文站点 6 - 9 月的径流量和输

^{*} 收稿日期: 2007-08-09

基金项目: 国土资源部土地利用重点实验室开放基金(07-05); 国家自然科学基金项目(40501002); “973”计划项目(2007CB106806)

作者简介: 朱婧(1984 -), 女, 河北威县人, 硕士研究生, 主要从事土地资源管理、土地利用与生态过程的研究。E-mail: zhujing @ires.cn

通信作者: 赵文武(1976 -), 男, 山东省曹县人, 博士, 讲师, 主要从事土地管理、土地利用与生态过程、GIS 与 RS 应用方面的研究。E-mail: zhaowww @bnu.edu.cn

沙量。由于陕北 20 世纪七、八十年代土地利用变化较少,故在水文数据时间段的选择上,以 1971 - 1985 年共 15 a 的月径流输沙数据作为研究对象。

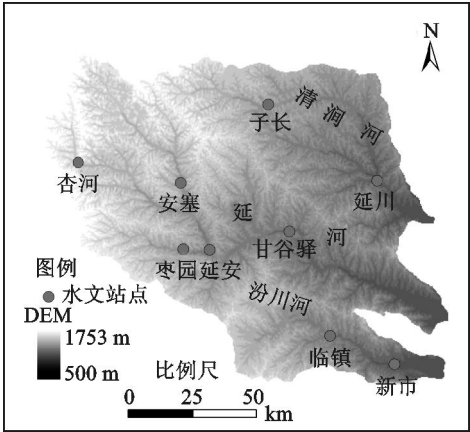


图 1 研究区域范围

基于 SPSS 10.0 ,首先以流域为单位分析不同月份和整个汛期(4 个月份放在一起分析)径流量和输沙量的相关性;在此基础上以整个区域(3 条流域放在一起分析)为单位分析单个月份和汛期径流输沙的关系。对比时空尺度变化条件下的径流量和输沙量的关系,分析径流量和输沙量关系的尺度效应。

通过 SPSS 10.0 的回归分析模块,应用直线方程、二次方程、三次方程、乘幂曲线等 10 种曲线模型(表 1),拟合径流泥沙的关系模型。根据模型拟合优度选择适宜模型,分析时空尺度变化对模型拟合类型和拟合优度的影响。

3 结果分析

基于 SPSS,计算不同流域不同月份径流量和输沙量的相关性,结果见表 2。根据计算结果可以看出,径流量和输沙量的关系密切,不同月份和不同流域单元上,径流泥沙的相关性均为显著性水平。

表 1 所选用的曲线模型类型

名称	表示符号	模型	名称	表示符号	模型
直线方程	LIN	$y = b_0 + b_1 x$	复合曲线	COM	$y = b_0 \times bf$
对数方程	LOG	$y = b_0 + b_1 \ln x$	乘幂曲线	POW	$y = b_0 x^{b_1}$
方程变换	INV	$y = b_0 + b_1 / x$	S 形曲线	S	$y = e^{(b_0 + b_1 / x)}$
二次方程	QUA	$y = b_0 + b_1 x + b_2 x^2$	等比级数曲线	GRO	$y = e^{(b_0 + b_1 x)}$
三次方程	CUB	$y = b_0 + b_1 x + b_2 x^2 + b_3 x^3$	指数方程	EXP	$y = b_0 e^{b_1 x}$

3.1 时间尺度对径流输沙关系的影响

在不同月份之间,径流量和输沙量的相关性具有明显的差异。其中,7 月径流泥沙的相关性明显高于其它月份。这可能是由于 7 月降雨量普遍较多,该时期的下垫面对水土流失比较敏感所引起的。6 月和 9 月径流泥沙的相关系数相对较低,这可能是这两个月份降雨量相对较少,超渗产流也比较少的缘故。

表 2 不同时空尺度径流量与输沙量的相关性分析

不同流域	输沙量	径流量				
		6 月	7 月	8 月	9 月	汛期
延河 流域	6 月	0.864 **	-	-	-	-
	7 月	-	0.952 **	-	-	-
	8 月	-	-	0.837 **	-	-
	9 月	-	-	-	0.832 **	-
	汛期	-	-	-	-	0.865 **
清涧河 流域	6 月	0.827 **	-	-	-	-
	7 月	-	0.974 **	-	-	-
	8 月	-	-	0.968 **	-	-
	9 月	-	-	-	0.859 **	-
	汛期	-	-	-	-	0.951 **
汾川河 流域	6 月	0.669 **	-	-	-	-
	7 月	-	0.955 **	-	-	-
	8 月	-	-	0.862 **	-	-
	9 月	-	-	-	0.726 **	-
	汛期	-	-	-	-	0.843 **
区域 (3 条 流域)	6 月	0.851 **	-	-	-	-
	7 月	-	0.977 **	-	-	-
	8 月	-	-	0.907 **	-	-
	9 月	-	-	-	0.842 **	-
	汛期	-	-	-	-	0.928 **

注: ** 显著性水平为 0.01。

当时间尺度从单个月份变化到整个汛期时,可以发现汛期径流量和输沙量的相关性低于 7 月径流量与输沙量的相关性;但是高于 6 月和 9 月的径流量与输沙量的相关性。这种变化说明,大尺度径流输沙的关系特征实际上是小尺度径流输沙关系特征的复合反映。

3.2 空间尺度对径流输沙关系的影响

对于不同流域而言,在所有时间段内,清涧河径流泥沙的相关性高于汾川河流域径流泥沙的相关性;在 7 - 9 月和整个汛期清涧河径流泥沙的相关性高于延河径流泥沙的相关性。不同流域径流泥沙的相关性差异,可能是由于随着研究区域从南到北(汾川河 清涧河)的推移,降雨强度逐渐降低,降雨量在空间的变异逐渐减少的缘故。对于特殊月份(6 月),清涧河径流泥沙的相关性低于延河径流泥沙的相关性,其原因可能和水文站点的多少有关。

随着空间尺度从单个流域上升到整个区域,区域径流泥沙的相关性低于清涧河径流泥沙的相关性,而高于其他 2 条流域径流泥沙的相关性。这同样说明了大尺度径流输沙的关系特征实际上是对小尺度径流输沙关系的综合。

3.3 径流量和输沙量的关系模型

以径流量为自变量,以输沙量为因变量,基于 SPSS 采用表 1 中的模型类型进行曲线拟合。根据各个模型的拟合优度和显著性水平选择不同流域和不同月份的径流泥沙关系模型。考虑模型的简洁性,当二次方程和三次方程拟合优度相差不大,且拟合优度较高时,选择二次方程作为最终的关系模型(表 3)。

由表 3 可以看出,径流输沙的关系在整体上满足二次方

程的关系,在个别月份(延河流域 8 月),径流泥沙的关系为乘幂曲线。由于径流量、输沙量的相关性在大多数情况下都比较高,所拟合方程的拟合优度也比较高,其中最高的达到 0.978。但是由于径流输沙关系的时空变异特征较大,个别条件下的模型拟合优度也并不高,如汾川河流域 6 月的径流量、输沙量关系模型的拟合优度仅为 0.511。

在时间尺度上,7 月、8 月的模型拟合优度在整体上高于

6 月、9 月,汛期的模型拟合优度一般低于 7 月、8 月的模型拟合优度,不同月份间模型拟合优度的差异主要与 7 月、8 月份降雨集中、强度大的降雨特征有关。在空间尺度上,汛期清涧河流域的模型拟合优度高于延河和汾川河流域,区域的模型拟合优度高于延河流域和汾川河流域,但略低于清涧河流域的拟合优度。径流量、输沙量关系模型与模型拟合优度的变化也是尺度效应的一种表现特征。

表 3 径流量与输沙量的关系模型

流域/区域	因变量	自变量	拟合模型	拟合优度	显著性水平
延河流域	6 月输沙量	6 月径流量	$y = 4.7733 + 41.7330x + 2.7149x^2$	0.753	0.000
	7 月输沙量	7 月径流量	$y = -73.906 + 98.5369x + 0.3876x^2$	0.907	0.000
	8 月输沙量	8 月径流量	$y = 37.3314x + 1.2354$	0.829	0.000
	9 月输沙量	9 月径流量	$y = 7.5039 + 9.1937x + 2.4101x^2$	0.744	0.000
	汛期输沙量	汛期径流量	$y = -6.3821 + 46.9053x + 2.0081x^2$	0.779	0.000
清涧河流域	6 月输沙量	6 月径流量	$y = 18.0903 + 14.5419x + 14.9271x^2$	0.760	0.000
	7 月输沙量	7 月径流量	$y = -144.15 + 142.546x + 0.0400x^2$	0.949	0.000
	8 月输沙量	8 月径流量	$y = 29.2233 + 50.3617x + 1.9219x^2$	0.978	0.000
	9 月输沙量	9 月径流量	$y = -29.317 + 38.7423x - 0.4583x^2$	0.740	0.000
	汛期输沙量	汛期径流量	$y = -76.113 + 87.3660x + 1.3152x^2$	0.921	0.000
汾川河流域	6 月输沙量	6 月径流量	$y = 23.9194 - 129.95x + 193.261x^2 - 59.682x^3$	0.511	0.001
	7 月输沙量	7 月径流量	$y = -34.438 + 43.3003x + 5.2530x^2$	0.928	0.000
	8 月输沙量	8 月径流量	$y = -14.673 + 21.3849x + 3.9793x^2$	0.759	0.000
	9 月输沙量	9 月径流量	$y = 2.9035 - 8.4430x + 6.5126x^2$	0.609	0.000
	汛期输沙量	汛期径流量	$y = -10.133 + 15.8903x + 7.0146x^2$	0.755	0.000
区域 (3 条流域)	6 月输沙量	6 月径流量	$y = -9.2922 + 52.2952x + 1.9627x^2$	0.728	0.000
	7 月输沙量	7 月径流量	$y = -102.82 + 108.187x + 0.7391x^2$	0.969	0.000
	8 月输沙量	8 月径流量	$y = -7.4789 + 48.6128x + 2.0067x^2$	0.883	0.000
	9 月输沙量	9 月径流量	$y = -2.7275 + 14.6232x + 2.0329x^2$	0.750	0.000
	汛期输沙量	汛期径流量	$y = -60.689 + 70.6057x + 1.3617x^2$	0.920	0.000

4 结 论

对单个流域(延河、清涧河、汾川河)和区域(3 条流域)径流量和输沙量的相关关系分析发现时空尺度变化对径流输沙的关系具有明显的影响,不同流域不同月份的径流输沙关系模型的拟合也有差别,具体表现如下。

(1)时间尺度对径流输沙相关关系的影响:7 月份径流量和输沙量的相关性明显高于其它月份;汛期径流量和输沙量的相关性低于 7 月份径流量与输沙量的相关性,但是高于 6 月和 9 月的径流量与输沙量的相关性。

(2)空间尺度对径流输沙相关关系的影响:在空间尺度上,清涧河径流泥沙的相关性整体上高于汾川河、延河流域径流泥沙的相关性;整个区域的径流泥沙的相关性低于清涧河径流泥沙,而高于其他两条流域径流泥沙的相关性。

(3)径流输沙的关系:在整体上符合二次方程的关系,但在部分月份为乘幂曲线,相应的拟合方程均为显著性水平。时空尺度变化也改变着模型的拟合优度。

参考文献:

[1] 李怀恩,何娟娟,秦毅,等. 延河流域雨洪特性及洪水预报[J]. 水文,2005(5):35-39.
[2] 赵文武,傅伯杰,陈利顶. 陕北黄土丘陵沟壑区地形因

子与水土流失的相关性分析[J]. 水土保持学报,2003,17(3):66-69.
[3] 张建春,查良松,史志刚,等. 大沙河流域降水变化与输沙关系的研究[J]. 水土保持学报,2004,18(4):166-169.
[4] 卫伟,陈利顶,傅伯杰,等. 半干旱黄土丘陵沟壑区降水特征值和下垫面因子影响下的水土流失规律[J]. 生态学报,2006,26(11):3847-3853.
[5] 肖学年,崔灵周,李占斌. 黄土高原小流域水沙关系空间变异研究[J]. 水土保持研究,2004,11(2):140-142.
[6] 程复,赵廷宁,梁伟,等. 黄土丘陵沟壑区降水侵蚀影响研究:以陕西吴旗县柴沟流域为例[J]. 水土保持研究,2007,14(5):113-115.
[7] Zheng M G,Cai Q G,Cheng Q J. Modeling the runoff-sediment 8 yield relationship using a proportional function in hilly areas of the Loess Plateau,North China[J]. Geomorphology,2008,93:288-301.
[8] Wei W,Chen L D,Fu B J,et al. The effect of land uses and rainfall regimes on runoff and soil erosion in the semi-arid loess hilly area,China[J]. Journal of Hydrology,2007,335:247-258.