

黄土丘陵区产流输沙量对地貌因子的响应

汪丽娜^{1, 2, 3}, 穆兴民^{1, 2}, 高鹏^{1, 2}, 栗晓玲²

(1. 中国科学院 水利部水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100; 2. 西北农林科技大学, 陕西 杨陵 712100;
3. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要: 地貌因素与径流泥沙关系分析是建立流域生态水文模型的一项基础工作。本文选取受人类活动影响相对较小的1959~1969年间的黄土丘陵区水文泥沙资料, 分析了黄河中游黄土丘陵区的20余条支流的年均径流量、流域年均输沙量及年均径流系数与集水区面积、河道平均坡降、流域高差和流域干流长等地貌参数的关系。结果表明, 在研究区内, 地貌参数与流域径流量和输沙量之间表现出类似的变化趋势, 即年均输沙量和径流量与集水区面积或河道干流长呈较显著的正相关关系, 与河道平均坡降呈幂函数减少关系, 而与流域高差未表现出某种趋势性变化特征。年均径流系数与地貌参数之间亦没有表现出明显的趋势性变化关系。

关键词: 水文; 地貌; 径流; 泥沙; 黄土高原

中图分类号: P343 **文献标识码:** A

水文学家和地貌学家认为流域水文响应是降雨条件和流域下垫面条件的综合产物, 流域地貌与河流水文有着密切的关系。只有掌握了河流的水文规律, 才能真正地认识流域地貌, 使流域地貌学研究从定性描述走向定量分析。同时, 也只有通过流域地貌的定量研究并将其引入水文学中, 才能使水文学中的产、汇流研究具有坚实的物理基础。因此, 水文学与地貌学的交叉导致了地貌水文学(Geomorphologic Hydrology)的兴起^[1]。作为水文学分支的地貌水文学主要以流域地貌特征为基础, 研究水在流域内的运动过程及其机理^[2]。长期以来, 水文学及地貌学家在地貌水文学方面已开展了大量工作, 其中流域水文对地貌特征的响应研究具有重要的理论和实践意义。在20世纪30~40年代, 水文学家就试图通过分析实测水文气象资料和流域地貌资料, 借助统计方法寻求流域单位线的主要特性(单位线峰值、单位线滞时、单位线历时等)与流域地貌参数和降雨强度之间的经验关系, 以解决无水文气象资料地区流域水文响应问题。Linsley曾建立了洪水退水时间与集水区面积之间的定量关系。Syder则分析确定了单位线峰值和峰值出现的时间及流域出口断面到分水岭和河网重心之间的距离之间的定量关系^[1]。Rodriguez-Iturbe等提出汇流与地貌关系的地貌单位线理论^[3]。芮孝芳完成的“地貌水文学研究”项目亦取得了一些卓有成效的成果。Beven和Kirkby开发的基于地貌指数的TOPMODEL水文模型则在近年来被广泛应用^[4]。随着地貌水文学的发展以及GIS、DEM等新技术的日趋成熟, 各种地貌参数如地表坡度、流量分配系数、单宽集水面积、集水面积以及湿度等指数的提取也成为相关学科的研究热点^[5,6], 从而进一步推动了地貌水文学的发展。在过去的地貌水文学研究中, 重点开展的是地貌参数与地貌单位线特征关系的研究, 而关于流域水文要素与地貌参数关系的定量研究则少见报道。尽管现今人们对某些地貌因素和径流量、泥沙量关系有了一些基本认识, 如径流量

收稿日期: 2004-06-28

基金项目: 中国科学院重要方向“水土保持与生态环境建设的区域环境效应研究”; 中澳合作ACIAR(LWR1/2002/018)

作者简介: 汪丽娜(1981-), 女, 江西景德镇人, 硕士生, 从事生态水文学研究。E-mail: Linawang2004@163.com

随集水区面积增大而增大等,但在黄土高原区,这种增加的数量是多少仍然缺乏具体的分析结果。黄土高原地区地貌复杂,水文气象观测站点稀少,这给流域径流泥沙估算带来较大困难。本文通过黄土高原流域地貌参数与径流泥沙关系分析,建立简单地定量关系式,为无资料地区的水文泥沙量估算提供参考,并为流域水土保持工程规划、建立流域生态水文模型和水土流失模型提供相应的流域地貌学依据。

1 研究区域、资料与方法

研究区域为黄河中游的黄土丘陵区,这是黄河流域水土流失最严重的地区,也是水土保持重点地区。该区间集水面积 11.29 万 km^2 ,黄河干流长 725.1km。严重的水土流失和地质运动使该区水系十分发育,集水区面积逾 1000 km^2 且直接汇入黄河的支流有 21 条之多。黄土丘陵区属于温带大陆性季风气候,年平均气温在 6~14 $^{\circ}\text{C}$ 之间,年降水量 310~580mm 之间,受到地形和东南季风的影响,降水量分布呈现南多北少,季节分配严重不均,年降水量的 60%~70%集中在雨季,且主要以暴雨形式出现。

黄土丘陵区的土壤多是在黄土母质上发育而成的黄绵土,主要有绵土、黑垆土、胶泥土、灰褐土、褐色森林土、褐土等。植被覆盖度小,加之土壤质地较粗,抗蚀性差,故该地区水土流失异常严重。

本文选择的地貌参数有集水区面积、河道平均坡降、流域高差、流域干流长等,流域水文泥沙资料包括径流总量、径流系数及输沙量。各流域径流、降雨、泥沙和地貌参数值等资料来自于文献[7~9]及黄河水利委员会下属的西峰、天水水土保持科学实验站内部报告。穆兴民^[9]、冉大川等^[7]、徐建华等^[10]的研究表明在黄土高原地区,人类活动对径流泥沙影响最显著的时期在上世纪 70 年代以后。因此,为了充分反映地貌因素和径流、泥沙的关系,本文选取 1959~1969 年(共 11 年)的平均径流量和输沙量作为受人类活动影响相对较小情况下的径流量和输沙量。

2 结果分析

2.1 年均径流量与地貌参数的关系

2.1.1 集水区面积与年均径流量 在其它水文地质条件相似的情况之下,年均径流总量总是随集水面积的增加而增加。在研究区内,年均径流量与集水面积关系如图 1 所示,为

$$W=5.30A+2591.7 \quad (1)$$

式中:W 为流域年均径流量($\times 10^4\text{m}^3$),A 为流域集水区面积(km^2)。

式(1)的确定系数 R^2 达 0.916,方差检验的 F 值为 207.1,临界方差的 F 值为 $F_{0.01}(1,19)=8.18$,计算 F 值远远大于临界方差的 F 值,这表明二者之间呈显著的正比关系。从式(1)可以看出在研究区内集水区面积每增加 1km^2 ,年均径流量增加 $5.3 \times 10^4\text{m}^3$ 。

2.1.2 河道平均坡降与年均径流量 在 20 世纪 60 年代美国流域地貌学家 Schumm 提出了河道平均坡降^[11, 12],它是指沿主河方向的河道长度与流域最高点和最低点的高差之比。在黄土丘陵区,河道平均坡降与年均径流量之间关系见图 2 所示,为

$$W=190685I^{-1.5942} \quad (2)$$

式中:W 为流域年均径流总量($\times 10^4\text{m}^3$);I 为河道平均坡降(%)。

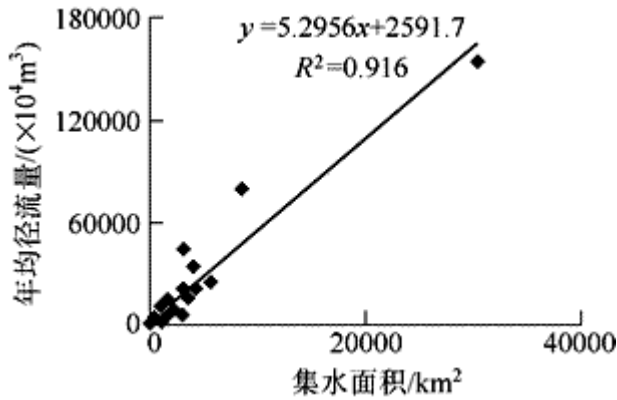


图 1 年均径流量与集水面积关系

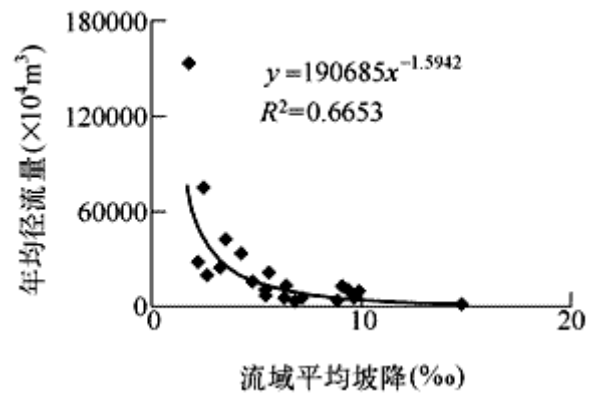


图 2 年均径流量与流域平均坡降关系

式(2)的确定系数 R^2 为 0.665, 方差检验的 F 值为 35.78, 临界方差 F 值为 $F_{0.01}(1,18)=8.29$, 计算 F 值远远大于临界方差的 F 值, 二者关系达极显著水平。这表明, 在研究区内, 随河道平均坡降增大, 流域年均径流量呈幂函数下降趋势。

2.1.3 流域高差与径流量 流域高差是指在某流域中的最高高程与最低高程之间的差值, 有时也叫地形起伏度。在黄土丘陵区, 流域高差与径流量之间没有表现出明显的变化关系, 见图 3。

2.1.4 流域干流长与年均径流量 在黄土丘陵区, 流域年均径流量与流域干流长的关系如图 4, 为

$$W=331.06L-28136 \quad (3)$$

式中: W 为流域年均径流量($\times 10^4 m^3$); L 为流域干流长(km)。

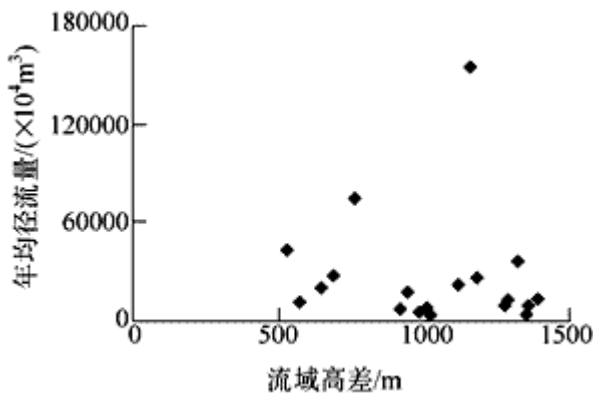


图 3 年均径流量与流域高差关系

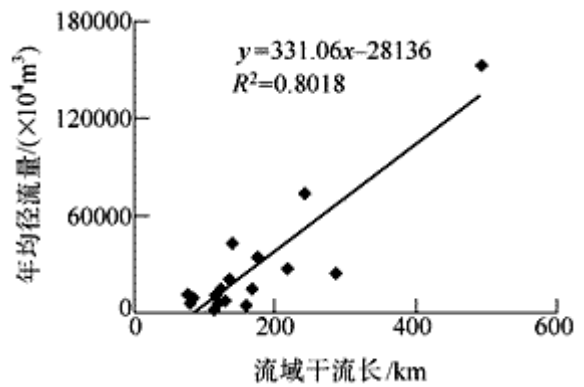


图 4 年均径流量与流域干流长关系

式(3)的确定系数 R^2 达 0.802, 方差检验的 F 值为 68.79, 临界方差 $F_{0.01}(1, 17)=8.40$, 这表明流域干流长与流域年均径流量呈显著的正相关关系, 干流长每增加 1km, 年径流量增加 $3.31 \times 10^6 m^3$ 。

2.2 径流系数与地貌特征因子的关系 年均径流系数 a 是指年径流深 R 与相应时段内流域平均降雨深度 P 之间的比值。年径流深 R 指一年内河道径流量平铺在全流域上所得的水层深度。黄土丘陵区年均径流

系数与集水区面积、河道平均坡降和高差、流域干流长的关系分别见图5、图6、图7和图8。尽管年均径流量与集水区面积等地貌参数具有显著的趋势性变化，但这些地貌参数与年均径流系数之间并未表现出明显的相关关系。

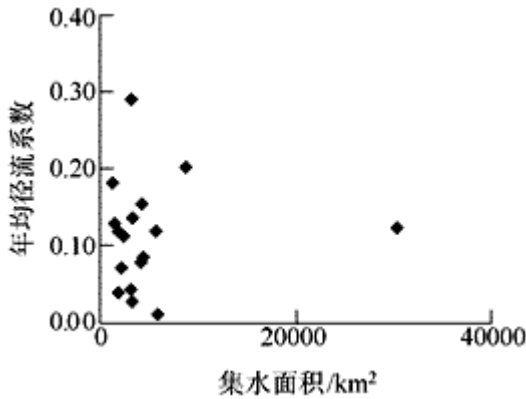


图5 年均径流系数与流域面积关系

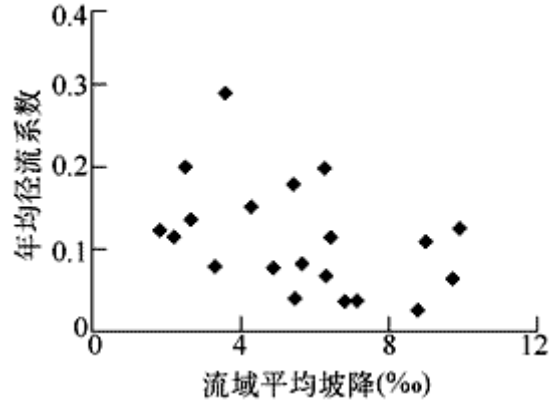


图6 年均径流系数与流域平均坡降关系

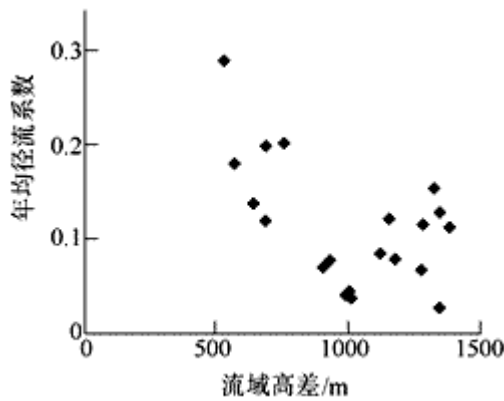


图7 年均径流系数与流域高差关系

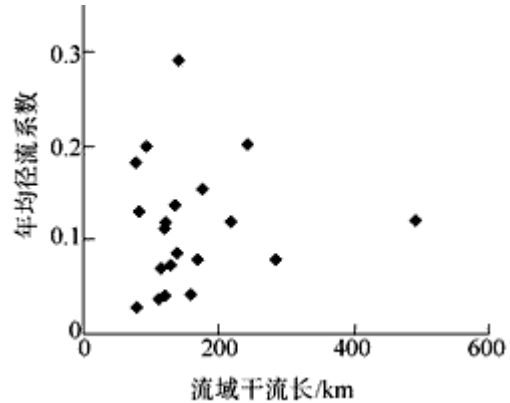


图8 年均径流系数与流域干流长关系

2.3 输沙量与地貌特征因子的关系

2.3.1 集水区面积与年均输沙量 流域年均输沙量随集水面积的变化关系见图9，为

$$S=0.728A+805 \quad (4)$$

式中：S为流域年均输沙量($\times 10^4 t$)；A为流域集水区面积(km^2)。

式(4)的确定系数 R^2 达0.853，方差检验的F值为104.04，临界方差的F值为 $F_{0.01}(1, 18)=8.29$ ，计算F值远远大于临界方差的F值，二者之间的显著性水平超过0.01信度水平。这表明，在本研究区域内，随流域集水区面积每增加 $1km^2$ ，集水区年均输沙量增加0.728t。

2.3.2 河道平均坡降与年均输沙量 流域输沙量不仅与河道平均坡降有关，还受流域的侵蚀切割程度、流域内砂砾的级配粒径、地面坡移物质以及流域降雨的影响。但河道平均坡降对年均输沙量具有重要影响如图10所示。二者之间的关系式如下

$$S=30987I^{-1.5391}$$

(5)

式中：S为流域年均输沙量($\times 10^4$ t)；I为河道平均坡降(%)。

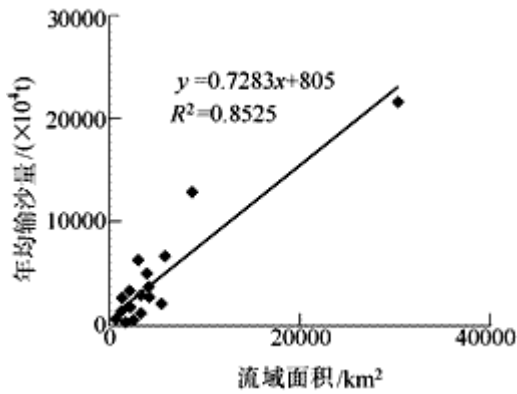


图9 年均输沙量与流域面积关系

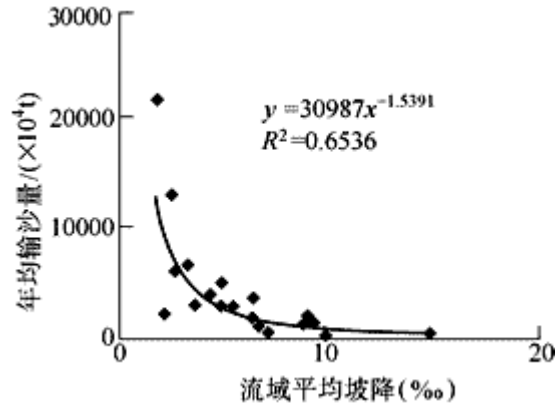


图10 年均输沙量与流域平均坡降关系

式(5)的确定系数 R^2 为 0.654，方差检验的 F 值为 33.96，临界方差的 F 值为 $F_{0.01}(1, 18)=8.29$ ，计算的 F 值远远大于临界方差的 F 值，这表明在本研究区域内，随河道平均坡降增大，年均输沙量呈幂函数关系减少，二者的相关性达到极显著行水平。

2.3.3 流域高差与年均输沙量 在黄土丘陵区 18 个流域里，流域年均输沙量与流域高差未表现出某种趋势性变化关系，见图 11。

2.3.4 流域干流长与年均输沙量 年均输沙量与流域干流长关系如图 12 所示，关系式如下

$$S=47.397L-3405.7$$

(6)

式中：S为流域年均输沙量($\times 10^4$ t)；L为流域干流长(km)。

式(6)的确定系数 R^2 达 0.808，方差检验的 F 值为 71.37，临界方差的 F 值为 $F_{0.01}(1, 17)=8.40$ ，计算的 F 值远远大于临界方差的 F 值。这表明在本研究区域内，流域干流长与年均输沙量之间有着极显著的线性关系，流域干流长每增加 1km，流域年均输沙量增加 47.397t。

3 结论

以黄河中游黄土丘陵区的 20 余条支流为研究对象，选取人类活动对其影响相对较小的 1959~1969 年期间的水文资料，分析了流域年均径流量、年均输沙量及年均径流系数等水文参数与集水区面积、河道平均坡降、流域高差、流域干流长等地貌因子的关系。结论如下：(1)在研究区内，年均径流量与集水区面积及流域干流长呈显著的正相关关系，同时随河道平均坡降增大，流域年均径流量呈幂函数下降趋势。但年均径流量与流域高差关系不显著。(2)年均输沙量与集水区面积及流域干流长呈显著的正相关关系，河道平均坡降增大，年均输沙量则呈幂函数减少。但流域年均输沙量与流域高差未表现出某种趋势性变化特征。

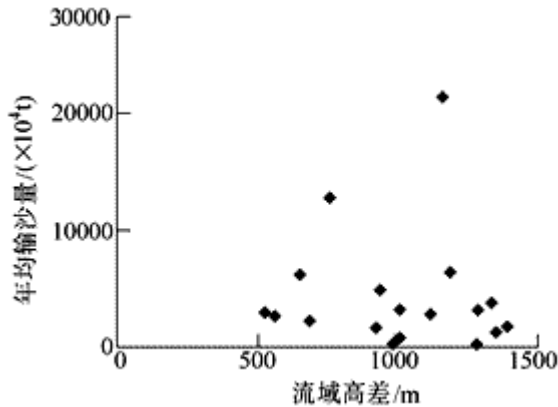


图11 年均输沙量与流域高差关系

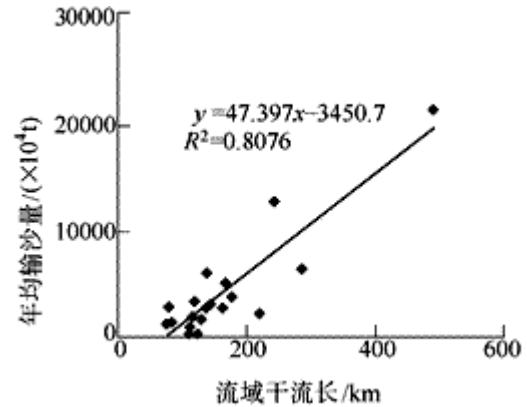


图12 年均输沙量与流域干流长关系

总体而言,流域径流量、输沙量与研究的地貌参数表现出类似的变化趋势。由于径流系数在一定意义上消除了集水区面积的影响,因此尽管集水区面积、河道平均坡降、流域干流长等地貌参数与年均径流量之间具有显著的趋势性变化,但它们与年均径流系数之间均没有表现出明显的相关关系。

参考文献:

- [1] 芮孝芳,朱庆平.分布式流域水文模型研究中的几个问题[J].水利水电科技进展, 2002, 22(3): 56-58.
- [2] 夏岑,卞传恂.地貌学和水文学的交叉研究[J].安徽水利科技, 1995, (2): 10-13, 60.
- [3] Rodriguez-Iturbe I, Valdes J B. The geomorphological structure of hydrologic response [J]. Wat. Resour Res., 1979, 15(5): 1409-1420.
- [4] Beven K J, Kirkby M J. A physically based variable contributing area model of basin hydrology [J]. Hydrol.Sci. Bull., 1979, 24(1): 43-69.
- [5] 任立良,刘新仁.数字高程模型信息提取与数字水文模型研究进展[J].水科学进展, 2000, 11(4): 463-469.
- [6] 任立良.流域数字水文模型研究[J].河海大学学报(自然科学版), 2000, 28(4): 1-7.
- [7] 冉大川,柳林望,赵力仪.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.
- [8] 汪岗,范昭.黄河水沙变化研究[M].郑州:黄河水利出版社, 2002.
- [9] 穆兴民,徐学选,陈霁巍.黄土高原生态水文研究[M].北京:中国林业出版社, 2001.
- [10] 徐建华,牛玉国.水利水保工程对黄河中游多沙粗沙区径流泥沙影响的研究[M].郑州:黄河水利出版社, 2000.
- [11] Schumm S A. Evolution of drainage and slop in bandlands at Perth Ambody [J]. New Jersey. Bulletin of Geological Society of American, 1956. 67: 597-647.
- [12] Hadley B P, Schumm S A. Sediment source drainage basin characteristics in upper cheyenne river basin U. S. geological surve [J]. Water-supply paper1531-B.1961: 169-177.

Response of runoff and sediment yield to geomorphologic factors in loess hilly areaWANG Li-na^{1, 2, 3}, MU Xing-min^{1, 2}, GAO Peng^{1, 2}, SU Xiao-ling²

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Yangling 712100, China;

2. Northwest Sci-Tech University of Agricultural and Forestry, Yangling 712100, China;

3. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: The regressive relationships between hydrological parameters and geomorphologic factors for more than twenty tributaries in the middle reaches of the Yellow River are analyzed based on the observation data obtained in the period from 1959 to 1969. The hydrological parameters are annual average runoff, annual average sediment yield and annual average runoff coefficient. The geomorphologic factors are the water collecting area, average slope of river, elevation difference of watershed, length of main stream. The result shows that the average annual runoff and sediment yield are positively related to the water collecting area and length of main stream, but they decrease with the decrease of river average slope following the exponential law. The response to the elevation difference of water shed is insignificant. No obvious relationship exists between annual average runoff coefficient and geological parameters.

Key words: hydrology parameter; geomorphology factor; runoff; sediment yield; loess plateau; hilly area

(责任编辑: 韩昆)