

川北紫色土深丘区径流及土壤侵蚀研究

吴 玫, 何丙辉, 王锐亮

(西南大学 资源环境学院, 重庆 400716)

摘 要:研究川北紫色土深丘区径流及土壤侵蚀规律可为土壤侵蚀模型提供参数和依据,对试验区长期定位观测获取的 11 a 的降雨、径流及泥沙数据,年内及年际的分布特征进行分析,并对径流和泥沙进行曲线回归分析。结果表明:试验区径流及土壤流失主要集中在 6—8 月;相关性分析显示径流与降雨达到了显著水平,土壤流失与径流达到显著或极显著水平,与降雨量未达到显著水平。径流对降雨变化的响应程度更为剧烈,并表现出一定的滞后性。土壤流失量对径流的变化响应则较为复杂,但其总体变化趋势一致。回归分析表明径流月/年回归模型分别以指数/幂函数模型为最佳,且月回归模型优于年回归模型;泥沙月/年回归模型均以幂函数模型最佳,年回归模型估算较月回归模型准确。

关键词:土壤侵蚀;相关性;回归分析;径流

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2013)01-0009-05

Study on Runoff and Soil Erosion in Purple Soil Deep Hilly Region in Northern Sichuan

WU Mei, HE Bing-hui, WANG Rui-liang

(College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China)

Abstract: In order to study runoff and soil erosion rule and provid parameters for the model and the basis for rule of soil erosion in purple soil deep hilly region in northern of Sichuan Province, based on the long-term positioning observation, the rainfall, runoff and sediment data of 11 years in experimental area were analyzed, mainly included the annual and inter-annual distribution characteristics, and did the curve regression analysis on the runoff and sediment. The results showed that runoff and soil erosion mainly occurred in June, July and August. The correlation analysis showed that rainfall and runoff had significant relation. Soil erosion and runoff had significant or very significant correlation, and these two parameters have no significant correlation with rainfall. The responses of runoff to change in rainfall was more extreme, and showed some of the lag. The response of soil loss to change of runoff was more complex, but the general trend was consistent. Regression analysis showed that monthly or yearly regression models for runoff in the form of index model and power model were the best, and monthly regression model was better than the yearly one. Sediment monthly or yearly regression models in the form of power model were the best, it was more accurate that yearly regression model estimated regression model.

Key words: soil erosion; correlation; regression analysis; runoff

降雨径流的形成过程是降雨经植物截留、填洼和下渗等损失后,剩余的雨水(即净雨水)在流域形成地表和地下径流,再经过河槽汇聚,形成出口断面的流量过程^[1]。径流可分为:地面径流、壤中流和地下径流,降雨产流后,径流顺坡向下运动,分别形成坡面

流、细沟、浅沟流及沟道流等多种水流类型,在其作用下相应形成了片蚀、坡面细沟侵蚀及沟道侵蚀等土壤侵蚀方式和类型^[2]。黄秉维^[3]认为,坡面上的降雨径流侵蚀首先是土粒与土体分离,其次是与土体分离的土粒被搬运走,并指出细沟径流剪切力是最大的侵蚀

力。各月径流的主要影响因子各不相同,5月、6月、9月主要受当月降雨影响,1月、3月、11月、12月主要受前期径流影响,其余月份径流同时受当月降雨及前期径流的影响^[4]。且径流流速与坡度及时间呈正相关且流速与径流量呈幂函数关系,坡度越大,径流量受流速的影响越明显^[5]。

目前存在的产沙模型中以多年平均产沙模型为主。Restrepo等^[6]根据不同流域类型归纳总结了8种产沙模型,这些模型中分别考虑了最大排水量、平均高度、排水面积、最大月降雨、多年平均年径流、地形起伏比等因素。Rompaey等^[7]根据USLE-2D程序提出了泥沙年度运力模型: $TC = KTCRK(LS - 5.3S_g^{0.8})$,这些模型在实际应用中需要获取的数据难度大。戴明英根据无定河流域径流与泥沙形成过程将泥沙分割成坡面与河道挟沙等部分分别计算并综合建立了水—沙关系: $W_s = 0.0306W_{年表}^{1.27}$,式中: W_s 为年沙量, $W_{年表}$ 为地表年径流量^[8]。王瑄等^[9]认为降雨量、坡度、最大瞬时雨强对产沙量影响显著,郑明国等^[10]研究了次暴雨径流和产沙的关系,黄土高原水沙关系的研究已取得大量成果^[11-14],但紫色土丘陵区这方面的研究还比较少。本研究旨在为深入研究川北紫色土区土壤侵蚀规律提供模型参数和依据。

1 试验材料与方法

1.1 研究区概况

试验小流域位于东经 $105^{\circ}44'$,北纬 $31^{\circ}31'$,地处南充市南部县升水乡升钟水库大坝右侧 350 m 处。本研究选择Ⅱ号支沟为试验沟,其形状为羽毛形,海拔高程为 494~680 m,流域面积为 0.419 km^2 ,干流长度为 0.35 km ,干流平均比降为 310%;林木栽植面积 0.079 km^2 ,林草栽植面积 0.105 km^2 ,林草覆盖率为 21.95%,水土流失面积 0.243 km^2 ,主要为 25° 以上的基坡地,白垩纪砂岩及砂质黏土层,土壤为遂宁组紫色土,显弱碱性,以黏土及黏壤土为主,土壤侵蚀均为中、强度侵蚀。

研究区气候温和,雨量充沛,属亚热带季风气候。多年平均降雨量为 975 mm,最高年雨量为 1 476.6 mm(1981年),最小年雨量为 558.3 mm(1979年),多年平均降雨日数为 142 d,汛期(5—10月)降雨量占全年降雨量的 73.5%,以 7—9 月份最为集中,约占全年总降雨量的 58.2%。

由于降雨分布不均,旱、涝灾害频繁。盛夏 7 月、8 月气温剧增,日照、辐射量达最大值,往往形成旱灾,同时降雨在此时高度集中,地表径流量大,常形成洪涝。1987—1989 年在试验小流域进行了水土保持

前期治理,初步改变了以往的落后面貌。Ⅱ号沟采取以林草措施为主的生物工程治理,植桉木 5.33 万株,柏树 3.74 万株,桑树 3.14 万株,柑橘树 800 株,发展家庭小果园 4 处,种植马桑、黄荆等 10.33 hm^2 。新开沿山沟、水平沟 1.66 km ,扩建塘堰两座,新增蓄水量 800 m^3 ,治理面积达 49.2%。试验小流域土地总面积 41.90 hm^2 ,其中农耕地 10.07 hm^2 、林地 25.80 hm^2 、荒地 2.27 hm^2 、其它用地 3.76 hm^2 。

1.2 研究方法

(1) 降雨资料的测定:在升钟水土保持试验站Ⅱ号小流域中部开阔地设置 DSJ-2 型虹吸式自记雨量计(记录纸分度范围 $0.1 \sim 10 \text{ mm}$,记录误差 $\pm 0.05 \text{ mm}$,降水强度记录范围 $0.01 \sim 4 \text{ mm/min}$,承水口内径 $\Phi 200 \pm 0.6 \text{ mm}$,自记纸上雨量最小分度 0.1 mm ,全程记录时间 26 h,时间最小分度 10 min),并辅以人工雨量计,记录和测定降雨资料,其中雨量资料的摘录以每日早上 8:00 到次日 8:00 为时间段记录。

(2) 径流量的测定:在升钟水土保持试验站Ⅱ号小流域出口处设置矩形堰,并辅以重庆水文仪器厂生产的 SW40 机械型日记水位计。基本水位的观测,当水位变化缓慢时,每日 8:00 和 20:00 各观测 1 次;洪水过程中进行加测。最后根据矩形堰过水断面及水位计的记录数据计算径流量,并根据集水面积换算成径流深,用径流深来表征径流量的大小。

(3) 土壤流失量的测定:在升钟水土保持试验站Ⅱ号小流域出口处设置量水建筑物(量水堰与沉沙池),用横式泥沙采样器从量水建筑物中采集含有泥沙的水样,倒入水样瓶中,经过量积、沉淀、烘干、称重等程序,最后根据径流量计算出土壤流失总量。

数据通过 Excel 2010 和 SPSS 19.0 进行分析和处理。在 Excel 中分析径流及土壤流失量的年内、年际分布特征;在 SPSS 中用相关分析法分析年降雨量、径流量、土壤流失量之间的相关关系,并用回归分析方法分别模拟降雨量与径流量、径流量与土壤流失量间的回归方程。

2 结果与分析

2.1 降雨与径流

(1) 汛期月降雨与月径流。汛期多年月均降雨量与径流量均为先升后降的变化趋势,且在八月达到峰值;并且径流量占降雨量的比例也呈现出相同的变化规律(图 1)。径流量的变化较降雨量剧烈,这是因为径流量不仅受降雨影响,同时也受下垫面状况影响,如土壤质地影响水分渗透,植被又对降雨进行截留等。径流量占降雨量比例最小的月份为 10 月,最

大为 8 月。6 月、7 月、8 月份由降雨所形成的径流比例显著大于其他月份。分析其原因有两个:一是前期降雨使土壤含水率维持在一个较高的水平,致使 6—8 月份的降雨减少了向土壤渗透的比例而形成了更多的地表径流;二是 8 月底至 9 月西南地区会出现伏旱,此时植物生长又处于大量需水的阶段,蒸发损耗及生物用水的增加也使得土壤水分减少,使得这一时段的土壤较为干燥,地表径流量减少。对径流量与降雨量的相关性分析显示两者呈显著相关,相关系数为 0.878。对径流量与降雨侵蚀力的相关性分析显示两者呈极显著相关,相关系数达到 0.948。

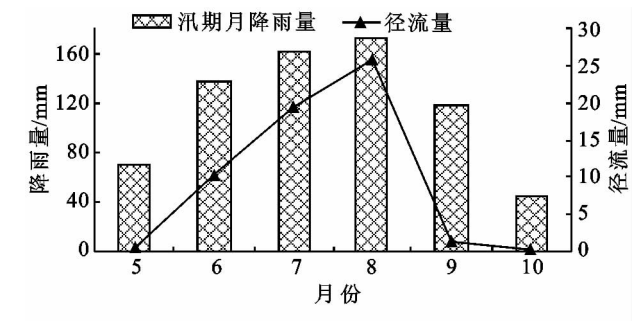


图 1 汛期月降雨量与径流量关系

对汛期月降雨量与径流量进行曲线回归分析,11 种模型中,二次项模型 F 值最大、指数模型标准误估值最小、Cubic 模型决定系数最大。二次项模型回归方程为: $R_m=15.1243-0.4459P_m+0.0029P_m^2$;指数模型回归方程为: $R_m=0.0274\exp(0.0397P_m)$;Cubic 模型回归方程为: $R_m=2.3492-0.0007P_m-0.0015P_m^2+1.3440E-005P_m^3$ 。

3 种模型决定系数 R^2 分别为 0.981, 0.949, 0.986;标准误估值分别为 1.959, 0.526, 2.063; F 值分别为 77.406, 73.931, 46.749; Sig 系数分别为 0.003, 0.001, 0.021。指数模型综合最优。指数模型与实际数值回归见图 2。

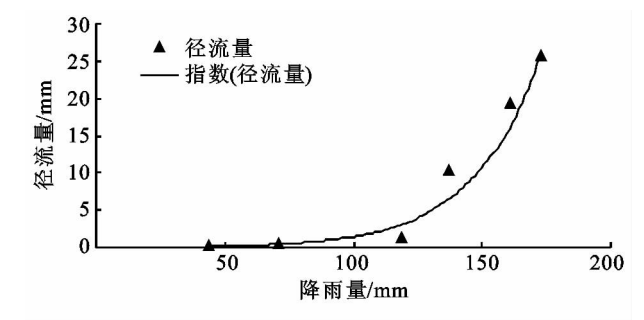


图 2 月降雨量与月径流量指数回归关系

(2) 年降雨量与径流量。年径流量变化较为复杂(图 3),最小值 2.43 mm(1996 年),最大值 117.05 mm(1991 年),相差近 48 倍。降雨量变化较平缓,最大值 934.4 mm(2000 年)与最小值 339.1 mm(1997

年)仅相差 2.8 倍。年降雨量与年径流量的极值出现的时间并不一致。1994—1998 年其年径流量低于年均径流量,为枯水年;与之相对应的是 1994—1997 年其年降雨量低于年均降雨量,这表明径流量的变化总体上伴随着降雨量的变化。径流量与降雨量的比值最大值为 16.39(1991 年),最小值为 0.63(1996 年),差距为 26 倍。土壤、植被等因素对径流的影响非常大。1994—1998 年径流量占降雨量的比例特别小,这可能是因为 1994—1997 年降雨量偏少,导致土壤含水率低,降雨基本被土壤吸收了。值得注意的是:1998 年降雨量不少但其形成的地表径流却很少,这可能是前 5 a 土壤干燥导致的延迟效应。不同类型植被坡面的研究显示,在同样的降雨条件下,地表产流量与土层厚度的灰关联度最大,其次为枯落物量、林分郁闭度、最后为坡度^[15]。以上结果说明,虽然降雨量与径流量息息相关,但径流量还受气温、植被、土壤前期土壤含水率、地形等影响,故二者的变化规律并不完全一致。

对年径流量与降雨量的相关性分析表明两者达到显著水平,相关系数为 0.716;对年径流量与降雨侵蚀力的相关性分析亦表明两者达到显著水平,相关系数为 0.660。

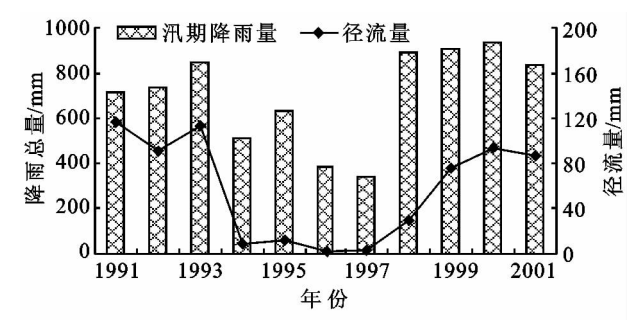


图 3 汛期降雨总量与径流量关系

对年降雨量与年径流量进行曲线回归分析,11 种模型中,幂函数模型在各个方面均最优。幂函数模型回归方程: $R_y=7.1633E-010P_y^{3.7599}$,决定系数 R^2 为 0.808,标准误估值为 0.680, F 值为 37.942, Sig 系数为 0.000。幂函数模型与实际数值回归见图 4。

(3) 产流次数。从年际来看(表 1),1991—2001 共计产流 35 次,年均产流 3.18 次。其中 1991 年、1992 年、1993 年、1995 年产流次数超过平均产流次数,依次为 9 次、4 次、5 次、4 次。产流次数主要集中在 11 a 中的前半段,但前半段的降雨量普遍少于后半段。其原因之一为 1994—1997 年间降雨量偏少致使土壤含水率小,从而使得后几年降雨入渗量大,产流减少。1998—2000 年 3 a 的降雨量与 1993 年的降雨量相当或超过,但前者产流次数明显小于后者。造成

这一现象的原因可能是该试验流域植被状况逐渐好转或流域坡度变缓。

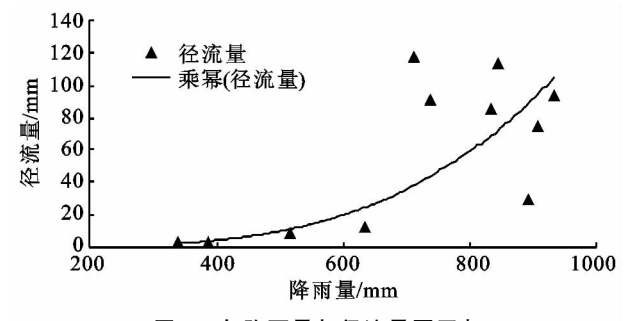


图 4 年降雨量与径流量幂回归

从年来看,产流主要集中在 6—8 月,特别是 7 月、8 月份,这两个月 11 a 产流总次数均超过 10 次,这与降雨量情况一致。而 9 月、10 月份产流次数急剧减小,11 a 中仅有 1 a 产流,说明这两个月期间植被需水量大,土壤处于较缺水的状态。除了植被生长生理特性之外,导致这一现象的另一原因可能是气温高,试验流域出现伏旱。

表 1 汛期产流次数月、年分布

年份	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	总计
1991	1	3	2	3			9
1992	1	1	1	1			4
1993		1	1	3			5
1994		1					1
1995			2	1		1	4
1996			1				1
1997			1				1
1998	1	1		1			3
1999			2				2
2000			1	1			2
2001				2	1		3
总数	3	7	11	12	1	1	35
平均	0.27	0.64	1	1.09	0.09	0.09	3.18

综上,汛期月降雨量与径流量呈现出相同的变化趋势,年降雨量与年径流总量的变化趋势大致相同,但降雨量的变化幅度小于径流量的变化幅度。汛期月产流次数与月径流量呈相同的变化趋势,年产流次数与年径流量的变化不同。月径流量与降雨量显著相关,与降雨侵蚀力极显著相关,月径流量与降雨侵蚀力相关性高于降雨量。年径流量与降雨量显著相关,与降雨侵蚀力显著相关,年径流量与降雨量相关性高于降雨侵蚀力。且月回归模型决定系数、标准误估值及 F 值均好于年回归模型。在只有降雨量数据的情况下,先由月降雨量估算月径流量,然后将月径流量累加得到的年径流量较直接由年降雨量估算得到的结果更优。

2.2 径流与土壤流失

(1) 汛期月径流与土壤流失。土壤流失量与径

流量情况(图 5)显示,土壤流失集中在 6—8 月,其中 8 月份的土壤流失量最大,达到 30.852 t,10 月的土壤流失量最小,为 0.008 t。一般来说,土壤流失量与降雨量、径流量及产流次数成正比。7 月份径流量增加,但土壤流失量反而较前一月减少,这一方面是因为 6 月份的径流将土壤中较易流失的物质大部分已经带走了,土壤可蚀性有所降低,造成 7 月份的土壤流失量减少。另一方面原因可能是植被条件的改变。而 7 月到 8 月份土壤流失量的剧增则是由于前几个月的降雨雨滴及径流的动能将土壤表层变得松散以及土壤中水分含量大,再加之 8 月份径流的冲刷等因素的综合作用使得土壤流失出现一个爆发期。

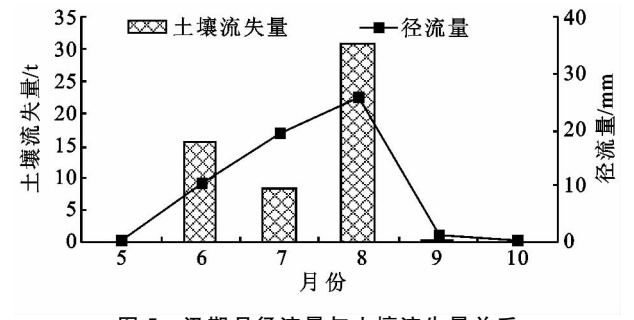


图 5 汛期月径流量与土壤流失量关系

分别对土壤流失量与径流量、降雨量、降雨侵蚀力进行相关性分析,结果显示:土壤流失量与径流量达到显著水平,相关系数为 0.871;与降雨侵蚀力也显著相关,相关系数为 0.843。土壤流失量与降雨量相关性未达到显著水平,相关系数仅为 0.758。故在估算月土壤流失量时,使用径流量优于降雨量及降雨侵蚀力。

对月土壤流失量与月径流量进行曲线回归,11 种模型中幂模型得出的结果最好,幂模型回归方程为 $S_m=0.3956R_m^{1.2545}$,决定系数 R^2 为 0.952,标准误估值为 0.656, F 值为 78.866,Sig 系数为 0.001。最佳回归曲线与实际值如图 6 所示。

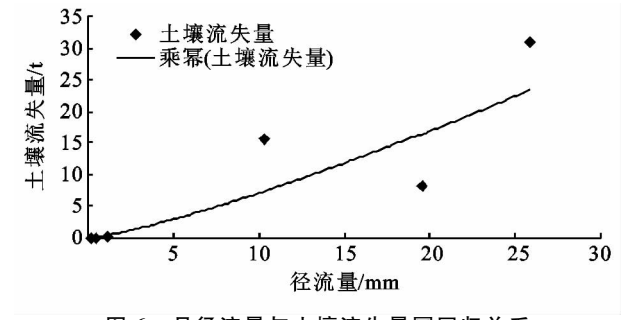


图 6 月径流量与土壤流失量幂回归关系

(2) 年径流与土壤流失。年径流与土壤流失变化较为复杂。土壤流失量与径流量并不完全成正比。但从 11 a 的整体情况看,径流量大,土壤流失量也较大。11 a 中,最大土壤流失量发生在 1993 年,达

165.73 t;其对应的径流量为 113.47 mm,为 11 a 来的次大值。最小土壤流失量发生在 1996 年,为 0.407 t;其对应的径流量为最小 2.43 mm(图 7)。

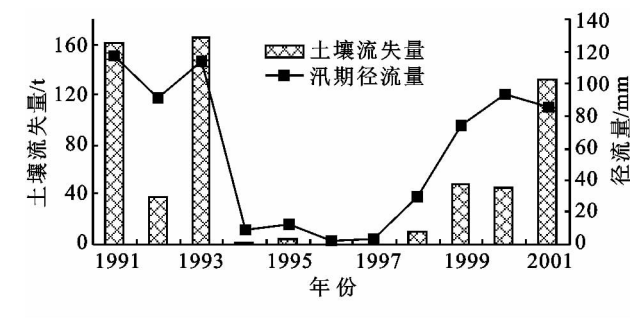


图 7 汛期径流量与土壤流失量关系

分别对年土壤流失量与径流量、降雨量、降雨侵蚀力进行相关性分析,结果表明土壤流失量与径流量极显著相关,相关系数为 0.846;与降雨侵蚀力及降雨量未达到显著相关水平,相关系数分别为 0.424 及 0.470。故在估算年土壤流失量时也宜采用径流量。

对年土壤流失量与年径流量进行曲线回归分析,11 种模型中幂模型结果最好,幂模型回归方程为 $S_y = 0.0883R_y^{1.4922}$,决定系数 R^2 为 0.959,标准误估值为 0.480, F 值为 210.236,Sig 系数为 0.000。最佳回归曲线与实际值如图 8 所示。

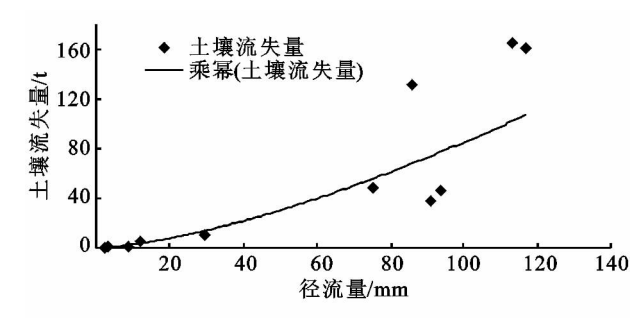


图 8 年土壤流失量幂回归关系

综合来看,月土壤流失量与径流量的相关性高于年土壤流失量与径流量。从相关性上来看月模型较年模型可靠。但从曲线回归上来看,年模型的决定系数、标准误估值好于月模型。

3 结论

(1) 径流主要取决于降雨量,但其与前期降雨量、地表植被情况、地形条件以及土壤质地等也息息相关。

(2) 土壤流失量与径流量关系最为密切。月土壤流失量与降雨量、降雨侵蚀力及径流量三者之间的

相关性大小为:径流量>降雨侵蚀力>降雨量(未达到显著水平)。年土壤流失量与降雨量、降雨侵蚀力及径流量三者之间的相关性大小为:径流量>降雨量(未达到显著水平)>降雨侵蚀力(未达到显著水平)。

(3) 根据降雨量对径流量进行估算时,月回归模型优于年回归模型。而根据径流量对土壤流失量进行估算时,年回归模型较月回归模型更优,误差更小。

参考文献:

- [1] 刘南成. 自然地理学[M]. 北京:科学出版社,2000.
- [2] 傅涛. 坡耕地土壤侵蚀研究进展[J]. 水土保持学报, 2001,15(3):125-128.
- [3] 黄秉维. 谈黄河中游水土保持问题[J]. 中国水土保持, 1988(1):12-15.
- [4] 杨会龙,王双银,王建莹. 月径流影响因子的识别[J]. 水土保持研究,2011,18(5):108-111.
- [5] 张志玲,范昊明,郭成久,等. 模拟降雨条件下坡面水流流速与径流输出特征研究[J]. 水土保持研究,2008,15(6):32-34.
- [6] Restrepo J D, Kjerfve B, Hermelin M, et al. Factors controlling sediment yield in a major South American drain age basin: the Magdalena River, Colombia[J]. Journal of Hydrology,2006,316(1/4):213-232.
- [7] Rompaey A V, Bazzoffi P, Jones R J A, et al. Modeling sediment yields in Italian catchments[J]. Geomorphology,2005,65(1/2):157-169.
- [8] 景可. 黄河泥沙与环境[M]. 北京:科学出版社,1993.
- [9] 王瑄,徐璐,陈雯静,等. 天然降雨条件下裸坡产沙量的逐步回归分析[J]. 水土保持研究,2012,19(1):117-119.
- [10] 郑明国,蔡强国,程琴娟. 一种新的水沙关系模型及其在年际时间尺度的应用[J]. 地理研究,2007,26(4):745-754.
- [11] 王兴奎,钱宁,胡维德. 黄土丘陵沟壑区高含沙水流的形成及汇流过程[J]. 水利学报,1982(7):26-35.
- [12] 许炯心. 黄河中游支流悬移质粒度与含沙量流量间的复杂关系[J]. 地理研究,2003,22(1):877-886.
- [13] 陈浩,王开章. 黄河中游小流域坡沟侵蚀关系研究[J]. 地理研究,1999,18(4):363-372.
- [14] 贾莲莲,李占斌,李鹏,等. 黄土区野外模拟降雨条件下坡面径流—产沙实验研究[J]. 水土保持研究,2010,17(1):1-4.
- [15] 王晓东,张洪江,程金花,等. 三峡库区森林植被坡面产流特性[J]. 水土保持研究,2008,15(1):1-3.