

四川省紫色土地区小流域次降雨泥沙输移比探讨

袁再健¹, 褚英敏²

(1. 中国科学院 遗传与发育生物学研究所 农业资源研究中心, 河北 石家庄 050021;

2. 河北科技大学 经济管理学院, 河北 石家庄 050018; 3. 河北经贸大学 旅游学院, 河北 石家庄 050061)

摘要: 选取四川省南部县鹤鸣观小流域与李子口小流域为研究区, 在分布式侵蚀产沙模型侵蚀量计算值的基础上, 探讨了小流域次降雨泥沙输移比。结果表明, 在这两个流域, 影响次降雨泥沙输移比的主要因素不同。在鹤鸣观小流域降雨量与径流深是影响泥沙输移比的主要因素, 而在李子口流域, 其主要因素为径流深与降雨强度。主要原因是鹤鸣观小流域的面积远小于李子口流域的面积, 并且次降雨泥沙输移比随着流域面积增加而输移比逐渐减小。通过分析鹤鸣观小流域与李子口小流域次降雨泥沙输移比与降雨量、前期含水量、径流系数的关系得到了两个流域次降雨泥沙输移比公式。

关键词: 泥沙输移比; 鹤鸣观小流域; 李子口小流域; 分布式侵蚀产沙模型

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2008)02-0036-05

中图分类号: S157

Sediment Delivery Ratio Under Single Rainfall Events from Small Watershed in the Purple Soil Region of Sichuan Basin

YUAN Zai-jian^{1,2}, CHU Ying-min³

(1. Center for Agricultural Resources Research, Institute of Genetics and

Developmental Biology, CAS, Shijiazhuang, Hebei 050021, China; 2. School of Economics and

Management, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang, Hebei 050018, China;

3. College of Tourism, Hebei University of Economics and Business, Shijiazhuang, Hebei 050061, China)

Abstract: This paper takes Hemingguan watershed and Lizikou watershed in Nanbu County, Sichuan Province as study areas and discusses the sediment delivery ratio (SDR) based on the distributed models of soil erosion and sediment yield from the two watersheds. Results show that the main factors affecting the SDR are different in the two watersheds. Rainfall amount and runoff volume are main factors in Hemingguan watershed but in Lizikou watershed, the main factors are runoff volume and rainfall intensity. The reason is that the size of Hemingguan watershed is much smaller than Lizikou watershed. Moreover, there is a tendency that the SDR for single rainfall gets smaller as the size of study area increases. Finally, the paper analyzes the relations of the SDR to rainfall amount, antecedent soil moisture, and runoff coefficient and constructs two formulas of SDR for the two watersheds.

Keywords: sediment delivery ratio; Hemingguan watershed; Lizikou watershed; distributed model of soil erosion and sediment yield

泥沙输移比 (SDR) 这一概念是 1950 年布朗 (Brown) 为估计美国入河入海的泥沙数量而提出来的。泥沙输移比是指在一定时段内通过沟道河流某一断面的实测输沙量与该断面以上流域总侵蚀量的比值。在流域侵蚀—产沙—输沙系统中, 泥沙输移是研究流域侵蚀与产沙关系的关键。泥沙输移比这一

概念的应用, 使这项研究向定量化方向发展迈进了一步。中小流域综合治理规划、防治土壤侵蚀、合理利用水沙资源, 无不需要掌握流域产沙情况。在上游总侵蚀量可以估算的情况下, 如果知道流域泥沙输移比, 就可以预报下游的输沙量, 从而满足工程规划设计的需求。

收稿日期: 2007-03-26

修回日期: 2007-11-18

资助项目: 博士启动基金资助项目 (0007222); 中国科学院知识创新项目 (KZCX1-YW-08-03-07)

作者简介: 袁再健 (1976—), 男 (汉族), 湖南省武冈县人, 博士, 副教授, 主要从事 GIS、水土保持、生态水文与自然过程模拟方面的研究。

E-mail: selfsurpass@163.com。

我国首创泥沙输移比研究的是龚时旻、熊贵枢^[1],后来陆续开展了这方面的研究^[2-4]。泥沙输移比的研究区域主要集中在黄河中游,其它地区泥沙输移比研究几乎是空白。随着三峡枢纽工程兴建的可行性论证需要,长江流域泥沙输移比研究得到重视^[5]。史德明、张信宝、向安东、吴成基等学者的研究结果表明,长江流域泥沙输移比介于0.15~0.61之间^[6-9]。

泥沙输移比受到诸多自然因素的影响,大部分的泥沙输移比模型都是在几个特殊的区域利用有限的产沙资料建立起来的。由于泥沙输移过程的复杂性,利用某一单独的模型或只考虑某一因素是很难相对精确地估算泥沙输移比值的。正因为泥沙输移比问题是如此复杂,所以目前还没有一个普遍适用各种条件下的泥沙输移比关系式。在我国,研究者所进行的SDR研究,除少数小流域为定量研究外,多数属于定性的或是半定量的研究。求取小流域泥沙输移比的最大困难在于缺乏计算流域侵蚀量的实用公式^[10]。并且在四川紫色土地区基于次降雨的泥沙输移比尚缺乏深入的定量化研究。本文以鹤鸣观小流域与李字口小流域实测水沙资料与分布式模型计算结果为依据,探讨小流域的次降雨泥沙输移比。

1 研究区概况

本文选取的研究区鹤鸣观小流域与李字口小流域都位于四川省南部县境内,属嘉陵江西河流域,两个小流域相邻。鹤鸣观小流域面积1.7 km²,由3条主要小支沟组成,沟谷密度2.37 km/km²。李字口

小流域面积为19.63 km²,主河道长5.88 km。两流域土壤主要为砂壤土和黏土,系白垩纪下统城墙岩群砂泥岩母质上发育的石灰性紫色土,有机质含量低,土壤颗粒易分散与悬浮,抗蚀抗冲性差。两流域气候温和,雨量充沛,属亚热带季风气候。多年平均降雨量957 mm,降雨年内分布不均,汛期(5—10月)降雨量约占全年降雨量的75%,次降雨一般强度不大,历时较长。

2 泥沙输移比的时空变化特征

在流域中,从地面侵蚀至整个泥沙迁移的物理过程是一个复杂的泥沙运移系统。地面侵蚀和沟道输沙是这个系统的两个子系统。地面侵蚀受气候(主要是降雨因素)、地质、地貌、土壤、植被、土地利用现状等诸多因素的影响,同时地面侵蚀的产物有一部分将在坡脚、山前、沙沟、沙凼等位置滞留下来,进入河道的泥沙在输移过程中又将受到沿程河谷地貌、河道比降、工程拦蓄等多种因素影响,产生冲刷、淤积和向系统外耗散,到达流域出口断面的输沙量远小于地面侵蚀量^[11]。该系统的输出,河道出口断面的输沙量与出口断面所控制的流域内地面侵蚀量之比称为输移比,进入河道的泥沙量(即产沙量)与地面侵蚀量之比称为归槽率,因此产沙量既是地面侵蚀子系统的输出,又是河道输沙子系统的输入,由此构成小流域地面侵蚀—产沙—输沙的一个完整的泥沙运移系统^[12],如图1所示。就泥沙输移比区域分布而言,区内自然地理条件的差异决定了不同地区输移比的差异,时间变化主要受降水和水动力条件的影响。

$$\text{泥沙输移比} = Y/E = \eta \times \varepsilon$$

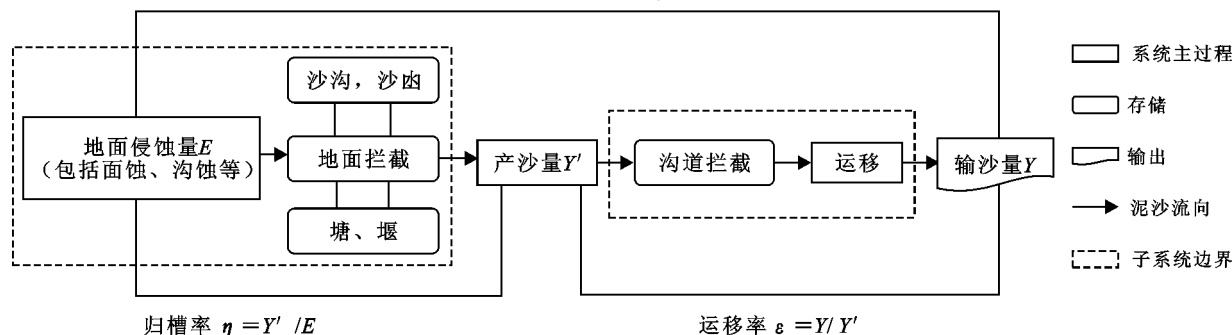


图1 地面侵蚀与沟道输沙系统结构框图

3 次降雨泥沙输移比影响因子分析

3.1 降雨特征的影响

流域的降雨是导致区域水土流失最为直接的因素,一定程度上也决定了流域泥沙输移比。由于缺少降雨过程数据,这里仅分析次降雨量与平均降雨强度

和泥沙输移比的关系。分析所用数据见表1(在1987年至1992年间,鹤鸣观小流域进行了水土保持治理工作,这期间土壤人为扰动剧烈,故剔除这几年的数据)与表2(由于李字口小流域出口观测站是2005年5月建成使用,到目前共记录了9次侵蚀性降雨侵蚀资料,因此这里的样本数较少)。通过回归分析发现,

在鹤鸣观小流域,其次降雨泥沙输移比与次降雨量关系不明显(线性相关系数 $R=0.21$),与次降雨平均降雨强度相关性差(线性相关系数 $R=0.04$);而在李子

口小流域,其次降雨泥沙输移比与次降雨量相关性稍好(线性相关系数 $R=0.52$),与次降雨平均降雨强度相关性较好(线性相关系数 $R=0.78$)。

表 1 鹤鸣观小流域次降雨泥沙输移比

日期	降雨量/ mm	平均降雨强度/ $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$	径流深/mm	径流系数	前期土壤平均 含水量/mm	泥沙输移比
19850627	92.5	6.2	37.93	0.410	63.25	0.680
19850711	93.6	10.2	36.13	0.386	48.54	0.233
19850721	35.8	10.7	9.06	0.253	75.34	0.299
19850807	119.7	12.8	42.49	0.355	29.30	0.214
19850819	60.2	5.4	27.27	0.453	76.99	0.812
19850913	85.2	3.7	31.86	0.374	62.96	0.534
19860723	58.1	23.2	16.27	0.280	40.90	0.449
19860908	37.0	6.2	6.73	0.182	57.69	0.095
19930626	130.7	5.5	20.00	0.153	37.50	0.336
19930710	55.4	8.3	3.93	0.071	37.07	0.252
19930804	50.4	8.9	6.00	0.119	45.04	0.326
19930809	86.6	3.3	20.96	0.242	63.14	0.386
19930815	152.8	7.2	74.41	0.487	74.69	0.597
19950718	43.2	4.8	2.68	0.062	76.69	0.116
19950721	26.2	7.1	3.54	0.135	87.31	0.131
19950815	51.1	5.5	3.78	0.074	67.06	0.226
19951013	37.6	6.1	2.11	0.056	57.30	0.463
19960722	78.2	3.4	3.13	0.040	37.41	0.048
19980520	74.2	7.7	3.19	0.043	41.52	0.177
19980630	49.6	9	2.93	0.059	71.32	0.134
19980820	100	7.1	24.00	0.240	58.53	0.224
20000710	195.4	4.6	46.31	0.237	49.90	0.397
20000816	214.7	11.2	62.05	0.289	65.02	0.226
20010807	43.1	12.9	9.44	0.219	36.83	0.375
20010818	240.8	6.7	63.09	0.262	45.70	0.492
20010902	64.4	3.1	13.20	0.205	71.20	0.438

注:分析所需的原始资料来自升钟水土保持试验站《鹤鸣观小流域历年逐次降雨侵蚀统计资料》。

表 2 李子口小流域次降雨泥沙输移比

日期	降雨量/ mm	平均降雨强度/ $(\text{mm} \cdot \text{h}^{-1})$	径流深/mm	径流系数	前期土壤平均 含水量/mm	泥沙输移比
20040823	53.8	2.2	5.43	0.101	58.90	0.257
20040901	64.9	2.3	8.05	0.124	70.38	0.205
20040918	73.6	6.8	17.22	0.234	23.69	0.473
20050702	56.4	2.2	9.42	0.167	50.72	0.370
20050717	37.8	2.9	3.63	0.096	22.85	0.291
20050724	95.1	5.4	13.69	0.144	57.38	0.439
20050802	38.4	4.3	7.83	0.204	105.24	0.334
20050817	41.7	1.9	12.22	0.293	75.03	0.313
20050930	45.7	2.1	10.47	0.229	90.56	0.338

3.2 洪水特征的影响

一个流域的洪水特征不仅反映了该流域的降雨特征,而且也在一定程度上反映了该流域的地貌特征,径流深和洪峰流量是反映流域洪水特征的两个重要参数。在径流深和洪峰流量较小时,水流挟沙力是决定沟道输沙能力的主要因素,当然,坡降、断面形态以及泥沙特性等诸多因素也能影响水流挟沙力。随着径流深和洪峰流量的加大,沟道输沙能力也呈加大趋势,当增加到某一临界值以后,沟道输沙能力达到几乎不变的最大值,泥沙输移比接近一稳定值。这时沟道的输沙能力取决于泥沙补给的最大值,而与影响挟沙力的因素无关^[13]。

由于缺少流量过程数据,这里分析径流深、径流系数与泥沙输移比的关系。通过回归分析发现,在鹤鸣观小流域,其次降雨泥沙输移比与次降雨径流深关系不太明显(线性相关系数 $R=0.46$),与次降雨径流系数相关性较好(线性相关系数 $R=0.67$);而在李子口小流域,其次降雨泥沙输移比与次降雨径流深相关性较好(线性相关系数 $R=0.78$),与次降雨径流系数相关性较差(线性相关系数 $R=0.40$)。

3.3 土壤前期含水量的影响

土壤前期含水量是影响侵蚀与泥沙输移的重要因素,当暴雨历时短时,往往沟坡与沟道先产流,由于此时侵蚀量相对较小,所以水流具有较大挟沙能力,使前期滞留的泥沙再次被搬运,形成较大的泥沙输移比。当前期降雨丰富或降雨历时较长时,有利于坡面侵蚀。坡面径流与泥沙下坡,会显著加大沟坡的侵蚀量,当然土壤前期含水量对泥沙输移的影响是非常复杂的。分析发现,在鹤鸣观小流域,其次降雨泥沙输移比与次降雨径流深关系不明显(线性相关系数 $R=0.16$);而在李子口小流域,其次降雨泥沙输移比与次降雨径流深相关性同样很差(线性相关系数 $R=0.30$)。

3.4 多因素综合影响

鹤鸣观小流域与李子口小流域气候条件、地形地貌与植物覆被情况类似,两流域差别最大的就是面积,鹤鸣观小流域面积较李子口小流域小很多,由此可见,流域面积也是影响泥沙输移比的重要因素。当然,由于这里只有两个流域面积还不能深入分析定量其与泥沙输移比的关系。除以上因素外,次降雨泥沙输移比还受流域土地利用方式、土壤特性、地形地貌、地质条件与其它环境因素的影响。由于没有相应数据支持,这里还不能定量分析这些因素与次降雨泥沙输移比的关系。

4 次降雨泥沙输移比计算

泥沙输移比是指流域某一断面的输沙量与断面上流域总侵蚀量之比

$$SDR = Y/S \quad (1)$$

式中: SDR——泥沙输移比; Y ——流域出口控制断面的实测产沙量; S ——流域内坡面、沟坡、沟头等总的侵蚀量之和。

确定泥沙输移比,首先要确定流域的侵蚀量,国外的研究方法大多都是以 USLE 或改进的 USLE 来计算分流域或网格的泥沙侵蚀量。牟金泽(1982)等人根据黄土丘陵沟壑区侵蚀产沙的特点,把单元沟道小流域($<1.0 \text{ km}^2$)作为流域系统泥沙的产生源地,将其它中小流域输沙模数与单元小流域侵蚀模数之比定义为泥沙输移比。

在本文中,利用袁再健(2006)构建的分布式侵蚀产沙模型计算出的流域侵蚀总量与流域出口产沙总量观测值求得次降雨泥沙输移比^[14-15]。并通过分析比较得到鹤鸣观流域与李子口流域表征泥沙输移比(SDR)与降雨量(P)、前期含水量(W_0)、径流系数(C)关系的幂指数回归方程。

在鹤鸣观小流域,由于泥沙输移比与降雨量、平均降雨强度、径流深、前期土壤平均含水量相关性差,这里只采用径流系数一个参数,得到鹤鸣观小流域次降雨泥沙输移估算公式

$$SDR = 0.126 C^{0.947} \quad R = 0.674, \quad n = 36 \quad (2)$$

式中: SDR——次降雨泥沙输移比; C ——径流系数; R ——相关系数; n ——样本数。

在李子口小流域,由于泥沙输移比与降雨量、径流系数、前期土壤平均含水量相关性差,这里采用平均降雨强度与径流深两个参数,得到李子口小流域次降雨泥沙输移比公式

$$RSD = 0.165 H^{0.10} I^{0.023} \quad R = 0.865, \quad n = 9 \quad (3)$$

式中: SDR——次降雨泥沙输移比; H ——径流深; I ——次降雨平均降雨强度; R ——相关系数; n ——样本数。

5 讨论

鹤鸣观小流域和李子口小流域地面侵蚀物质先以山前坡积、洼地淤积和沟口洪积扇等形式出现,短距离内就地淤积一定数量的泥沙。小流域的泥沙侵蚀大部分沉积在流域内部,流域内各大小支流河床沿程补给沙量有限,而地面侵蚀物质较粗,不易为河流远距离输移,试验观测表明,在鹤鸣观流域,侵蚀泥沙主要来源于坡面,泥沙主要沉积在坡脚处,沟道边缘

也有一定沉积。在李子口小流域,泥沙主要沉积在坡脚与塘坝。同时随着流域面积的增大,流程的增长,河床比降逐渐减小,河流挟沙力减弱,也会出现淤积现象。因此,流域次降雨泥沙输移比较小,并且存在随着流域面积增加而输移比逐渐减小的趋势。

以上的研究是根据两个流域的实际观测资料得到的,没有考虑流域的重力侵蚀。两个流域的次降雨泥沙输移比在 0.3 左右,这与其他人的研究结果比较接近。降雨与径流是导致流域水土流失的关键外在因素,但由于流域面积的差异,影响两流域次降雨泥沙输移比的主要因素有所不同,在鹤鸣观小流域降雨量与径流深是影响泥沙输移比的主要因素,而在李子口流域,其主要因素为径流深与降雨强度。

[参 考 文 献]

- [1] 龚时旻,熊贵枢.黄河泥沙来源和输移[C].河流泥沙国际学术论文会议论文集.北京:光华出版社,1980:43—52.
- [2] 牟金泽,孟庆枚.论流域产沙量计算中的泥沙输移比[J].泥沙研究,1982(1):23—29.
- [3] 景可.黄河流域输移比研究[C].黄河粗泥沙来源及侵蚀产沙机理研究文集.北京:气象出版社,1989.
- [4] 蔡强国,王贵平,陈永宗.黄土高原小流域侵蚀产沙过程与模拟[M].北京:科学出版社,1998.
- [5] 景可.长江上游泥沙输移比初探[J].泥沙研究,2002(1):53—59.
- [6] 史德明,杨艳生.三峡库周地区土壤侵蚀对库区泥沙来源的影响及其对策[C].长江三峡工程对生态环境影响及其对策研究论文集.北京:科学出版社,1987.
- [7] 张信宝.长江上游水土流失治理的思考[J].水土保持科技情报,1996(4):7—9.
- [8] 向安东,周刚炎.长江泥沙输移特性分析[J].水文,1993(6):8—13.
- [9] 吴成基,甘枝茂.陕南河流泥沙输移比问题[J].地理科学,1998,18(1):39—44.
- [10] 牟金泽,孟庆枚.流域产沙量计算中的泥沙输移比[J].泥沙研究,1982(1):60—65.
- [11] 余剑如,史立人,冯明汉.长江上游的地面侵蚀与河流泥沙[J].水土保持通报,1991(1):9—17.
- [12] 刘毅.重点产沙区及人类活动对三峡水库来水来沙条件的影响研究报告[R].长委会水文测验研究所,1990.
- [13] 费祥俊,邵学军.泥沙源区沟道输沙能力的计算方法[J].泥沙研究,2004(1):1—8.
- [14] 袁再健,蔡强国,褚英敏,等.四川紫色土地区鹤鸣观小流域分布式侵蚀产沙模型[J].地理研究,2006,25(6):967—976.
- [15] YUAN Zaijian, CAI Qiangguo, CHU Yingmin. A GIS-based distributed model of soil erosion and sediment yield: A case study of typical watershed, Sichuan Basin[J]. International Journal of Sediment Research, 2007, 22(2): 120—130.