

嘉陵江李子口小流域侵蚀产沙模型初探

袁再健, 蔡强国, 卜崇峰

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 到目前为止, 国内外对土壤侵蚀产沙模型已经进行了大量的研究, 建立了大量的土壤侵蚀产沙模型, 从嘉陵江流域、李子口小流域的基本情况(尤其是水土流失现状)入手, 结合长江流域侵蚀产沙模型研究情况, 初步探讨了李子口小流域侵蚀产沙模型。

关键词: 土壤侵蚀; 产沙模型; 嘉陵江流域; 李子口小流域; 研究现状

中图分类号: S 157.1 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2004) 04-0094-03

A Primary Discussion of Soil Erosion and Sediment Yield Models of Small Watershed in Lizikou of Jialingjiang River

YUAN Zai-jian, CAI Qiang-guo, BU Chong-feng

(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Beijing 100101, China)

**Abstract:** There are a lot of studies on soil erosion and sediment yield models in China and abroad so far, and many soil erosion and sediment yield models have been built up. Started with some instances about the Jialingjiang River basin and Lizikou little basin, combined the actuality of the study of the soil erosion and sediment yield models of the Yangtse River, the soil erosion and sediment yield models of small watershed in Lizikou are discussed.

**Key words:** soil erosion; sediment yield models; Jialingjiang River basin; Lizikou little basin; development circumstance

1 嘉陵江流域概况

嘉陵江流域位于四川盆地东北部, 东经 103°45' ~ 109°00', 北纬 29°20' ~ 34°25' 之间; 是长江支流中面积最大的河流, 流域集水面积 16 万 km<sup>2</sup>。嘉陵江流域包括干流、渠江、涪江三大水系, 嘉陵江中上游干流的主要支流有西汉水、白龙江、东河、西河等; 中下游地区主要支流有涪江、渠江, 其流域面积分别为 30 000 km<sup>2</sup> 和 38 000 km<sup>2</sup>。嘉陵江流域气候属亚热带季风气候区, 降雨量年内有明显的季节性, 降雨的季节分配极不均匀, 夏秋多雨, 冬春少雨, 5 ~ 9 月雨量占全年雨量的 70% ~ 90%。土壤组成除西汉水流域上中游为黄土地区(有约 2 000 多 km<sup>2</sup>) 外, 其它均为紫色土和土石山区。紫色土成土过程快、土质粗而松散、土层浅薄, 是流域内极易侵蚀的土壤。嘉陵江流域总土地面积为 158 866.75 km<sup>2</sup>, 其中耕地面积 39 101.69 km<sup>2</sup> (包括坡耕地 21 337.45 km<sup>2</sup>, 占耕地面积的 54.57%), 流域内人口密度大。在嘉陵江流域 76 个县(市、区)中, 有贫困县 28 个, 相当一部分群众的温饱问题尚未解决。流域内水土资源的不合理利用, 致使生态环境恶化, 已成为实现区域经济可持续发展的重要障碍, 急需研究和采取对策。嘉陵江流域水土流失一般均以水蚀为主, 局部

地区存在滑坡、泥石流等重力侵蚀及混合侵蚀类型, 是长江各大支流中水土流失最严重的。据 1988 年全国遥感普查, 76 个县(市、区)水土流失面积为 82 830.08 km<sup>2</sup>, 占土地总面积 52.14%, 土壤侵蚀总量为 36 599.5 万 t/a, 占长江上游水土流失地面固体物质的 27.1%, 侵蚀模数 3 471.99 t/(km<sup>2</sup> · a)。按侵蚀级别统计, 见表 1。

表 1 各侵蚀级别所占比例

区域划分	轻度流失区	中强度流失区	强度流失区	极强度流失区	剧烈流失区
平均侵蚀模数/ (t · km <sup>-2</sup> · a <sup>-1</sup> )	500 ~ 2500	2500 ~ 5000	5000 ~ 8000	8000 ~ 13500	13500
面积/km <sup>2</sup>	32962.41	16877.85	24422.63	7689.14	878.04
占水土流失 面积比例/%	39.80	20.38	29.49	9.28	1.20

由表中可以看出轻度流失区、中强度流失区及强度流失区所占面积较大, 剧烈流失区分布面积相对较小, 但流失强度最大, 造成危害最严重<sup>[1]</sup>。

2 李子口小流域概况

李子口小流域位于四川省南部、阆中、剑阁三县市境内,

① 收稿日期: 2004-07-10

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目“水蚀预报模型研究”(KZCX3-SW-422); 国家自然科学基金资助项目(40271075)  
作者简介: 袁再健(1976-), 男, 湖南武冈人, 中国科学院地理科学与资源研究所在读博士, 主要从事 GIS 应用与水蚀模型研究。

控制面积 19.7 km<sup>2</sup>。属嘉陵江西河的一条支沟,主河道长 5.88 km,源头距保城乡 2 km,距双峰乡约 3.5 km。本地区降雨量时空分配不均,多年平均降雨量 957 mm,最高年降雨量为 1 467.6 mm (1981 年),最小年降雨量为 558.3 mm (1979 年),多年平均降雨天数为 142 d,汛期(5~10 月)降雨量占全年降雨量的 73.5%,以 7~9 月最为集中,约占全年总降雨量的 58.2%。该地区的植被以柏木、桉木、马桑、青冈为主,少量经果林,植被覆盖率为 43%。该流域出口高程为 364 m,最高高程 780.5 m,相对高差为 416.5 m,属典型的低山深丘区。地形谷底狭窄,呈“V”字型,支沟发育,沟势峭陡,成树枝状。该流域内土地利用状况为:耕地面积 457.2 hm<sup>2</sup>,其中坡耕地面积 269.9 hm<sup>2</sup>,平地及两用田 187.3 hm<sup>2</sup>;绿地面积 916.7 hm<sup>2</sup>,其中林地 841.5 hm<sup>2</sup>,草地面积 75.2 hm<sup>2</sup>;水域面积 47.5 hm<sup>2</sup>;荒地及岩坎等为利用土地 383.9 hm<sup>2</sup>,其中,裸地面积 250.5 hm<sup>2</sup>,未利用地 133.3 hm<sup>2</sup>;交通用地面积 39.4 hm<sup>2</sup>,宅基地占地 119.7 hm<sup>2</sup>。经实地调查在流域总面积为 19.63 km<sup>2</sup> 中,水土流失面积 8.81 km<sup>2</sup>,占总面积的 44.88%,水土流失很严重。

### 3 长江流域侵蚀产沙模型研究情况

目前国内外侵蚀产沙和水土保持的研究,大体上可概括为三个方面,即侵蚀产沙机理研究,水土保持措施研究和水土保持管理研究。这三个方面研究中,侵蚀产沙机理研究是其它研究的基础,侵蚀机制认识的越深入,防蚀技术的设计和管理方法才会更科学、更有效<sup>[2]</sup>。土壤侵蚀产沙模型的研究是在侵蚀产沙机理研究的基础上进行的,并且它的研究有助于机理研究的深入,是水土保持措施研究和水土保持管理研究的依据。目前国内对土壤侵蚀产沙模型的研究主要分为两类:一类是按经验统计的途径用多元回归方法建立流域产沙模型,即侵蚀产沙经验公式。另一类是按成因分析建立的概念性流域产沙数学模型,即侵蚀产沙的理论模型。但各模型都存在一定的局限性与推广的困难以及引进国外一些模型时的盲目性等问题。国内在黄河流域开展土壤侵蚀研究工作较早,建立了诸多的土壤侵蚀产沙模型。相对来说在长江流域开展的侵蚀产沙研究较少,所建立的侵蚀产沙模型也不多,主要有以下几个:

(1) 杨武德(1999)<sup>[4]</sup>建立了红壤坡地土壤侵蚀预报模型<sup>[4]</sup>,模型中运用不同种植的试验小区分别建立了不同地类的多元回归方程,此模型可以运用在对南方红壤坡地不同土地利用方式条件下的土壤侵蚀进行预报,分别建立了雷竹园、茶园、板栗园的侵蚀产沙经验关系式,由于模型建立的经验关系,使得模型在其它区域推广受到限制。

(2) 牛志明(2001)<sup>[5]</sup>将 ANSWER 模型应用于三峡库区小流域侵蚀产沙、地表径流以及不同土地利用类型不少分布状况的模拟中。通过两个不同小流域模拟结果的对比,采用误差百分比、线性回归及 Nash-Sutcliffe 效率三种方法,分析和评价了模型的模拟效果。结果表明:模型在应用于我国三峡库区小流域土壤侵蚀模拟时,其模拟结果与实测结果具有较高的吻合度,模拟结果。表明模型对于长序列过程的

模拟时,模拟水平优于短序列模拟水平;模型对于雨季土壤过程的模拟误差明显低雨枯雨季节的模拟误差,但对于一些陡坡林地等地类,模型的模拟误差较大,其模拟精度还有待进一步提高。

(3) 张明波等(2003)<sup>[6]</sup>分别运用统计预测模型和 BP 网络预测模型对嘉陵江流域未来的水沙变化趋势进行了初步预测,但鉴于实测资料系列较短,代表性有限,嘉陵江流域水土保持和其它人类活动影响造成的减水减沙效益,还有待进一步深入研究。

### 4 李子口小流域侵蚀产沙模型探讨

研究侵蚀产沙的方法主要有经验相关法、随机理论法和物理成因法。其中随机理论法因受到缺乏长系列实测水沙资料的限制,发展十分缓慢。目前,具有物理基础的分布式水文模型,它是相对于集总式水文模型而言的,它将研究区域离散成小网格,每一个网格作为一个水文响应单元,并与周围的网格之间相互联系。在这些网格单元上,有降雨、截留、入渗、旁侧入流、出流等一系列水文过程;而网格单元的物理特征则由网格大小、坡度、植被、土壤类型、土地利用类型等参数来体现。通过对每一个网格单元的水沙计算,来获得整个流域的产流及产沙的分布情况。这种模型,可以对水文过程的时空变化进行更详细,或者从某种意义上来说是更为准确的描述,能从产汇流和产输沙的物理机理上来理解水文过程<sup>[7]</sup>。国内以研制能模拟水沙在流域中随时间、空间变化的确定性模型为今后发展的趋势。

针对李子口小流域的实际情况,初步设想利用 GIS 技术,模糊数学和人工智能对李子口小流域进行土壤侵蚀模拟计算研究,计算分析该小流域的水土流失量和水土保持效益。该小流域的分布式水文模型包括分布式小流域产汇流模型和分布式产输沙模型,其中,分布式小流域产汇流模型包括从降雨到流域出口产流这整个水文过程中的各个子过程,其子模型有:林冠截留模型,降雨入渗模型,坡面径流模型,地下水径流模型,沟道汇流演进模型。分布式小流域产输沙模型是针对土壤侵蚀问题而开发的,包括了两个子模型:坡面侵蚀模型和沟道泥沙演进模型。坡面侵蚀模型是从侵蚀过程及侵蚀机理出发,建立二维坡面侵蚀方程,求解土壤侵蚀量及产沙量;沟道泥沙演进模型是坡面侵蚀的土壤颗粒在坡面径流的带动下汇入沟道,并通过沟道汇流和泥沙演进,形成流域出口产沙过程,根据质量守恒建立一维水沙平衡方程。根据李子口小流域土地利用与水土流失现状,初步框定研究内容为下几个方面:

#### 4.1 不同水土保持措施的水土保持效益研究

水土保持措施分为生物措施和工程措施,工程措施主要是把生长农作物的地块修成梯田,种树的地块修成水平沟、水平阶、鱼鳞坑,在沟谷修筑淤地坝、谷坊,层层拦蓄从坡面到沟壑产生的泥沙。生物措施主要是种树、种草、封山育林、牧场改良。衡量水土保持的效果首先是看生态环境和生产条件是否改善,生活质量是否提高,水土保持减少进入河道的泥沙也是重要的指标。监测水土保持的减水减沙作用,因地

制宜采取适合李子口小流域的水土保持措施。

4.2 土地利用格局变化对水土流失影响分析

土地利用格局变化对水土流失影响分析研究三个方面的问题:(1)不同土地利用的水土流失规律定量研究;(2)土地利用格局变化对侵蚀产沙的影响分析;(3)水土流失规律研究。

4.3 试验小流域的土壤侵蚀模拟研究

目前,模拟试验方法正被越来越多的研究者所重视,并逐渐构成土壤侵蚀研究的重要支撑技术。结合野外人工模拟降雨试验,在地理信息系统支持平台松散耦合的基础上,利用DEM提供地形特征的功能,运用水文模型进行流域径流水文分析,在此基础上,结合侵蚀泥沙模型及其沿程传递模型,建立分布式小流域土壤侵蚀模拟模型。

4.4 试验小流域的水土流失量和水土保持效益计算

水土流失量的计算关系到水土保持方案的合理性。根据实测采样结果来验证模型计算精度,水土保持效益研究的内容是多方面的,主要包括经济效益、蓄水保土效益、生态效益和社会效益。而每一种效益本身和各种效益之间的界定范围却不十分清楚或准确,往往造成遗漏或重复计算,影响了分析结果的可靠性。这里主要考虑经济效益,在分析计算水土保持参考文献:

[1] 陈月红,汪岗.嘉陵江水土保持与区域可持续发展[J].水土保持研究,2001,8(4):133-135.  
[2] 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.  
[3] 田磊,戴静,祁永刚.流域侵蚀产沙模型述评[J].水土保持研究,2002,9(4):77-79.  
[4] 杨武德,王兆骞,等.红壤坡地不同利用方式下土壤侵蚀模型研究[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1999,5(1):52-58.  
[5] 牛志明,解明曙,孙阁,等.ANSWER2000在小流域土壤侵蚀过程模拟中的应用研究[J].水土保持学报,2001,15(3):56-60.  
[6] 张明波,郭海晋,徐德龙,等.嘉陵江流域水保治理水沙模型研究与应用[J].水土保持学报,2003,17(5):110-113.  
[7] 黄平,召吉国.流域分布型水文数学模型的研究及应用前景展望[J].水文,1997,(5):5-9.  
[8] 张德喜.水土保持效益计算浅议[J].山西水土保持科技,2003,(9):3.

(上接第68页)

厚度区域分布确定相应的 $T$ 值分布,结合土壤侵蚀模型的应用和现在的厚度分布对我国东北黑土资源进行退化预警。参考文献:

[1] 中华人民共和国水利部.SL190-96土壤侵蚀分类分级标准[S].北京:中国水利水电出版社,1997.  
[2] Johnson,Leonard.Soil loss tolerance:Fact or myth[J].Soil and Water Cons,1987,42(3):155-160.  
[3] Smith D D. Interpretation of soil conservation data for field use [J]. Agr.Eng,1941,22:173-175.  
[4] Browning G M,G L Parish,John Glass. A method for determining the use and limitation of rotation and conservation practices in the control of soil erosion in Iowa[J]. Am.Soc. Agro,1947,39:65-73.  
[5] Smith,D D,D M·Whitt. Evaluating soil losses from field areas[J]. Agr. Eng,1948,29:394-396.  
[6] Cook,Ken·Soil loss: a question of values [J]. Soil and Water Cons,1982,37(2):82-89.  
[7] R F Follett,B A. Stewart. Soil erosion and crop production[M]. Madison: Society of Agronomy,1985. 174-176.  
[8] 柴宗新.试论广西岩溶区的土壤侵蚀[J].山地研究,1989,7(4):255-260.  
[9] 阮伏水,吴雄海,等.福建省花岗岩地区土壤允许侵蚀量的确定[J].福建水土保持,1995,(2):26-31.  
[10] 陈奇伯,齐实,孙立达.土壤容许流失量研究的进展与趋势[J].水土保持通报,2000,20(1):9-13.  
[11] 全国土壤普查办公室.中国土壤[M].北京:中国农业出版社,1998.319.  
[12] 中国科学院林业土壤研究所.中国东北土壤[M].北京:科学出版社,1980.124-129.  
[13] 全国土壤普查办公室.中国土种志[M].北京:中国农业出版社,1994.276-286.  
[14] David M K. Determinants of Soil Loss Tolerance[M]. American: Society of Agronomy of America,1982.87-93.  
[15] 岳红光,沈波,刘运河.保护黑土资源,建好东北粮仓[J].吉林水利,1999,(1):42-45.