

文章编号:1671-6833(2010)06-0035-04

## SWAT 模型在淅川县丹江口库区的应用研究

宋 轩<sup>1</sup>, 魏 冲<sup>1</sup>, 寇长林<sup>2</sup>, 张香凝<sup>2</sup>, 陈 杰<sup>1</sup>

(1. 郑州大学 水利与环境学院, 河南 郑州 450001; 2. 河南省农业科学院 植物营养与资源环境研究所, 河南 郑州 450002)

**摘 要:** 水文模型是水文科学研究中重要的方法和手段之一。在分布式水文模型 SWAT 支持下, 利用研究区 DEM 生成河网和流域边界并划分子流域, 根据在收集资料、实地调查和土壤采样分析的基础上, 通过对模型所需的气象、土壤、地形、土地利用等影响因子进行参数化, 模拟了淅川县丹江口水源区的水文过程与产沙过程。

**关键词:** SWAT 模型; 流域模拟; 参数化; 遥感; 丹江口库区

**中图分类号:** X703.1 **文献标识码:** A

### 0 引言

SWAT (Soil And Water Assessment Tool) 模型是美国农业部开发的基于流域尺度的分布式水文模型<sup>[1]</sup>。它具有较强的物理基础, 能够利用 GIS 和 RS 提供的空间数据信息模拟地表水和地下水的水量与水质, 长期预测土地管理措施对于具有多种土壤类型、土地利用和管理条件的大面积复杂流域径流、泥沙负荷和营养物流失的影响<sup>[2]</sup>, SWAT 模型对径流和泥沙负荷的预测能力在美国已得到广泛的验证<sup>[3-5]</sup>。该模型还能够在资料相对缺乏的情况下进行流域模拟。

河南省淅川县是丹江口水库的渠首所在地, 也是水库主要的水源地。为了解该区域水文过程及其对库区周围土壤侵蚀的影响, 并为制定丹江口库区水土保持管理措施提供理论依据, 笔者利用 SWAT 模型对淅川县丹江口水库水源区的水文过程和土壤侵蚀状况进行了模拟研究。

### 1 研究区概况及数据准备

#### 1.1 研究区概况

淅川县位于河南省西南边陲, 豫、鄂、陕三省的结合部, 位于北纬 32°55'—33°23', 东经 110°58'—111°53' 之间, 面积 2 820 km<sup>2</sup>, 是南水北调中线工程渠首所在地 (见图 1)。属北亚热带向暖温带过渡的季风性气候, 多年平均降水量 804 mm。

其主要河流有丹江、鹤河、淇河、滔河、刁河。丹江及其支流域面积占全县面积的 93.5%。

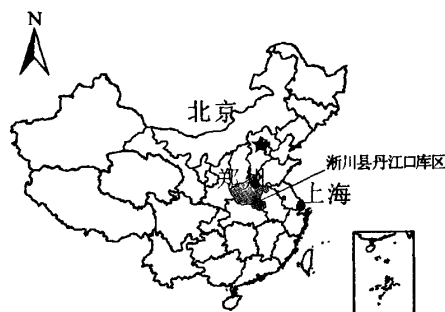


图 1 研究区地理位置

Fig. 1 Geographic location of study area

#### 1.2 数据准备

研究使用的数据主要有: 研究区数字高程模型 (DEM)、土壤分布图及土壤志, 2000 年 5 月的 landsat-TM 影像, 1971—2000 年降水、日照、相对湿度以及风速等气象观测数据。

### 2 SWAT 模型数据参数化处理

#### 2.1 流域离散

研究采用分辨率为 30 m 的数字高程模型, 如图 2 所示。首先对河道上游集水区设定阈值, 该值决定着生成的河网详细程度与子流域生成的数目。因此, 在对比生成河网与实际河网差别的过程

收稿日期: 2010-03-14; 修订日期: 2010-05-13

基金项目: 国家支撑计划重点项目 (2007BAD87B09), 国家自然科学基金资助 (40971128)

作者简介: 宋轩 (1971-), 男, 河南武陟人, 郑州大学副教授, 博士, 主要从事生态环境遥感和地理信息系统教学与研究  
研究工作, E-mail: songxuan@zzu.edu.cn.

中,通过不断地改变所设置阈值的大小,使生成的河网水系尽可能与实际相一致.本研究设定阈值为  $1\ 100\ \text{hm}^2$ ,此时生成的河网和地形图上河网相近,结果见图 3.

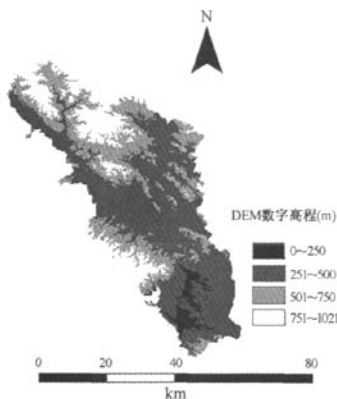


图 2 研究区 DEM

Fig. 2 DEM of study area

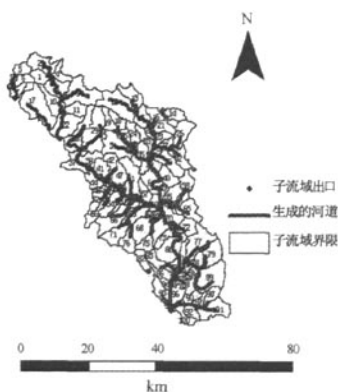


图 3 研究区子流域划分

Fig. 3 The division of sub-basins of study area

## 2.2 土壤空间数据的参数化

土壤数据是 SWAT 模型的主要参数<sup>[6]</sup>,主要包括:①土壤名称;②植被根系深度值,③每类土壤所属的水文单元组(A~D),④土壤表面到最底层深度.另外,还需要土壤各个分层剖面的数据,其中包括:①土壤表面到各土层深度,②有效水容量,③土壤容重,④每层土壤中的黏粒、粉砂、砂粒、砾石含量,⑤土壤饱和导水率,⑥土壤反照率,⑦RUSLE 方程的土壤可蚀性  $K$  值等.

通过对淅川县 1:50 000 土壤图的数字化,并在查阅土壤志、实地调查和补充测定数据的基础上,实现土壤属性数据的参数化.图 4 为研究区土壤类型分布图.

## 2.3 土地利用类型的获取

使用 2000 年 5 月的 Landsat TM 卫星遥感影

像,在 ENVI 软件的支持下,进行辐射校正、几何校正以及投影变换.在实地调查的基础上,采用监督分类方法将研究区分为农田、林地、城镇及交通用地、水体和未利用地 5 种土地利用类型,并将其转换成 Grid 格式,格网大小为  $30\ \text{m} \times 30\ \text{m}$ .2000 年 5 月土地利用类型如图 5 所示.

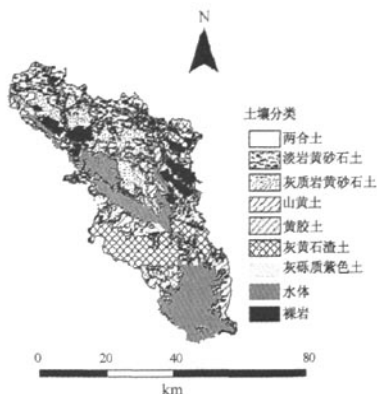


图 4 土壤图分布图

Fig. 4 The distribution of soil map

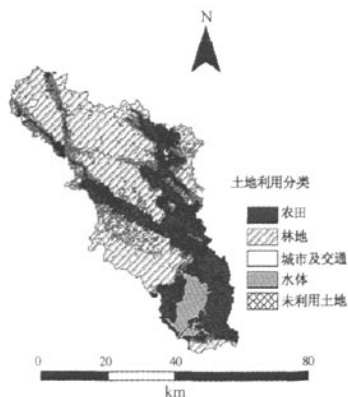


图 5 2000 年研究区土地利用分类

Fig. 5 Land-use of study area in year 2000

## 2.4 气象数据的参数化

气象数据是 SWAT 模型流域内其他模拟过程的驱动力,在模型的数据输入中起到十分重要的作用.研究采用淅川县 1970—2000 年的气象数据,并在子流域尺度上进行参数化.

## 3 SWAT 模型模拟及结果分析

### 3.1 SWAT 模型模拟方法

SWAT 模型运行时,首先生成每个水文响应单元的输入文件.该过程要确定模拟的时间段和模拟方法,主要有径流模拟方法、气象模拟方法、

潜在蒸发量模拟方法、河道演算模拟方法等<sup>[6]</sup>。由于后两种方法对数据要求很高,需要的雨量数据是以小时为单位进行计算;由于降雨资料的限制,研究选择日降雨数据/SCS 径流曲线数方法对径流进行模拟,选择 Priestly - Taylor 方法进行潜在蒸发量的模拟,选择马斯京根法 (Muskingum) 进行河道演算。

3.2 模型验证方法

(1) 相对误差 RE 与平均精度

$$RE = \frac{Q_m - Q_g}{Q_g} \times 100\% \quad (1)$$

式中:  $Q_m$  为模拟值;  $Q_g$  为观测值。若 RE 为正值,说明预测值较实际值偏大;若 RE 为负值,则说明预测值较实际值偏小。

平均精度为  $1 - RE$ , 平均精度越高,表明模拟值与实际值越接近。

(2) Nash - Sutcliffe 效率系数  $E_{ns}$

$$E_{ns} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_g - Q_m)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_g - Q_p)^2} \quad (2)$$

式中:  $Q_m$  为模拟值;  $Q_g$  为观测值;  $Q_p$  为实测平均值;  $n$  为观测的年份。  $E_{ns}$  数值越大,说明模拟值越具有代表性,模拟效果就越好。

3.3 SWAT 模型结果分析

3.3.1 水文过程的模拟与分析。

从图 6 中可以看出,SWAT 模型基本上反映了丹江口库区流域的月径流过程,模拟出来的流量过程与实测的总体趋势一致:夏季的径流达到峰值,冬季出现下降,于 12 月份达到最低点。这与气温、降雨量、下垫面条件等因素相关。通过计算相对误差,其变化范围在 1.05% ~ 20% 之间,其中 6 月份的误差最小,12 月的误差较大。

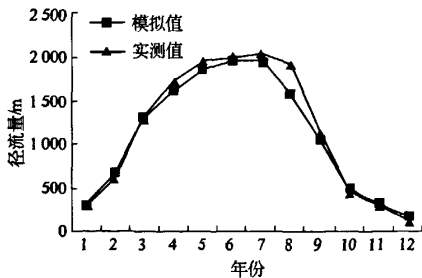


图 6 2002—2007 年月均径流的模拟值与实测值的对比  
Fig. 6 The comparison of monthly runoff between simulation values and measured values from 2002 to 2007

在月径流对比中,对于丰水期径流量普遍低

于实测值,枯水期略高于实测值的问题,对此进行了校正与调节,如对基流的  $\alpha$  因子进行调节;对最大、最小融雪率进行调节;调节气温降低的频率以及调节河流渠道水传导率。其中对前 3 项的调节,并不能使模拟结果有较明显的改变。调节河流渠道水传导率,能够明显影响每月的输出值,但却增大了平均误差。模型开发者也指出,校正目的是能够使模拟精度达到 10% ~ 20% 之内。

采用 Nash 效率系数、径流相对误差和相关系数对模拟精度进行分析,其结果见表 1。

表 1 验证期 2002—2007 年年径流模拟结果

Tab. 1 Result for annual runoff simulation of verification from 2002 to 2007

年份	观测值	模拟值	相对误差/%	平均精度	$E_{ns}$
2002	15 221.58	13 590.70	-8.10		
2003	15 081.25	13 836.42	-8.30		
2004	14 979.58	12 739.60	-15.00	91%	0.88
2005	13 153.60	13 945.90	6.00		
2006	12 759.71	13 343.46	4.50		
2007	13 935.87	13 023.37	-6.60		

通过表 1 对模拟结果与实测值进行比较,可以看出模型预测相对误差控制在 15% 的范围内,平均精度达到 91%,  $E_{ns}$  也高达 0.88,表明年径流的预测值与观测值变化基本一致,说明模型能够较好地模拟丹江口库区年径流的变化。

3.3.2 产沙过程的模拟与分析

在 SWAT 模型的支持下,对 2000—2010 年的淅川土壤侵蚀状况进行模拟研究,得到每个子流域 10 年产沙量均值。参考 SL 190—96《土壤侵蚀分类分级标准》<sup>[7]</sup>,将研究区土壤侵蚀分为 7 个等级,生成淅川县土壤侵蚀强度的空间分布如图 7 所示。



图 7 淅川水土流失空间分布图

Fig. 7 Spatial Distribution of Soil Erosion in Xichuan

从图7可以看出,从微度侵蚀到剧烈侵蚀,均有一定面积的子流域存在,其中,微度侵蚀的面积较大,占流域总面积的一半以上,剧烈侵蚀面积仅占很小一部分。

通过与淅川县土壤图、土地利用图和地形图对比,发现水土流失较严重的区域主要集中在沿丹江口水库区,极强度侵蚀和剧烈侵蚀子流域均分布在丹江口水库周围,主要是这里分布着大量的农田,加之该地区以丘陵为主,大量林地的开垦、农作物的种植、环湖地区道路交通,基础设施的修建,使得该区产沙量较大;侵蚀相对较轻的区域主要分布在淅川县城及附近,该区域地势缓平,光、热、水资源条件良好,主要土种有两合土、浅位厚层黄胶土、山黄土等,土层深厚,肥力较高,是该县主要的粮油生产基地之一。土壤侵蚀最轻的区域位于淅川县城的西部和北部,其主要土属有灰质岩黄砂石土,淡岩黄砂石土等,其原因是植被覆盖度高,且基本没有遭到过多的破坏,因而水土保持效果较好。

#### 4 结束语

目前,分布式水文模型与3S技术相结合,不仅考虑到传统模型对降雨资料的需要,还加入了气象因素及下垫面条件,成为当今水文界研究的重点。研究从3S与水文水资源交叉的角度,利用SWAT模型对淅川县丹江口库区产流与产沙进行模拟研究,以此探讨该模型在该流域内的适用性。模拟结果表明,SWAT模型能够较好地模拟该流域年、月径流过程,模拟的流量过程与实测的总体趋势一致,对泥沙产量的判定也十分稳定。但同时也看出,对于丰水期径流量普遍低于实测值,枯

水期略高于实测值。影响模型精度的原因是多方面的:如气象水文资料空间分布密度低,DEM数据、土地利用数据、土壤图精度不能完全满足需要,模型参数较多,存在一定不确定性等。这些都需要进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] NEITSCH S L, AMOLD J G, SRINIVASAN R. Pesticides fate and transport predicted by the soil and Water Assessment Tool (SWAT) [R]. Grassland, Soil & Water Research Laboratory, USDA - ARS Black land Research Center, TAES, Temple, Texas. 2000.
- [2] NEISCH S L, AMOLD J G, KINIRY JR et. al. Soil and water assessment tool user's manual, version 2000 [R]. GSWRL Report 02 - 02 Temple, Texas. 2000.
- [3] CHAPLOT V. Impact of DEM mesh size and soil map scale on SWAT run off, sediment and  $\text{NO}_3$  - N loads Predictions [J]. Journal of Hydrology, 2005, 312: 207 - 222.
- [4] GRIZZETTI B, BOURAOUI F, GRALILUND K. et al. Modelling diffuse emission and retention of nutrients in the Vantanjoki watershed (Finland) using the SWAT model [J]. Ecological Modelling, 2003, 169: 25 - 38.
- [5] BOURAOUIL F, BENABDALLAH, JRAD A. et al. Application of the SWAT model on the Medjerda river basin (Tunisia) [J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2005, 30: 497 - 507.
- [6] 黄清华, 张万昌. SWAT 分布式水文模型在黑河干流山区流域的改进及应用 [J]. 南京林业大学学报, 2004, 28(2): 22 - 26.
- [7] 曾大林, 李志广. 第二次全国土壤侵蚀遥感调查工作的做法与思考 [J]. 中国水土保持. 2000(1): 28 - 31.

### Application of SWAT Model on Reservoir Area in Danjiangkou

SONG Xuan<sup>1</sup>, WEI Chong<sup>1</sup>, KOU Chang - lin<sup>2</sup>, ZHANG Xiang - ning<sup>2</sup>, CHEN Jie<sup>1</sup>

(1. School of Water conservancy and Environment, Zhengzhou University Zhengzhou 450001, China; 2. Institute of Plant Nutrition, Resources and Environment, Henan Academy of Agricultural Sciences Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** Hydrological model is one of the ways of the hydrology research. With the distributed hydrological modeling (SWAT), the river network and watershed boundaries are generated by use of DEM. Parameterization of SWAT is achieved via meteorology, soil, topography, land use and other affecting factors on basis of collecting data, field investigation and soil sampling and analysis. The hydrological processes and sediment yield were simulated in Danjiangkou reservoir area in xichuan county.

**Key words:** SWAT model; basin simulation; parameterization; RS, Danjiangkou reservoir