

SWAT模型及SUFI-2算法在秃尾河上游流域 径流模拟中的应用

魏 丹¹, 刘智勇^{2*}, 李小冰³

(1. 广东省林业科学研究院, 广东 广州 510520; 2. 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100;

3. 陕西省地下水管理监测局, 陕西 西安 710003)

摘 要: 通过构建处于干旱和半干旱地区的秃尾河流域(上游)的水文、气象、土地利用土壤等数据库, 利用基于分布式的 SWAT 模型对该流域的水文过程和产流机制进行模拟, 并通过改进的 SUFI-2 算法对模型参数进行不确定分析、率定和验证, 探讨 SWAT 模型在干旱和半干旱流域的适应性。采用 1977—1983 年的月径流实测数据进行模型率定, 用 1984—1989 年的月径流数据进行模型验证。验证结果表明: 该研究流域年径流相关系数(R^2)和模型效应系数(E_{ns})均小于 0.6(通常认为当模拟结果期望值大于 0.6 时, 模型能比较准确地描述了研究流域的水文过程); 月径流相关系数和模型效应系数超过或者接近 0.6 的水平; 汛期(5—10 月)模型径流相关系数和效应系数最高(超过或接近 0.8)。研究表明通过改进的 SWAT-SUFI 模型能较好地模拟研究流域的汛期径流, 而对全年径流和枯水期的径流模拟不够理想。

关键词: SWAT 模型; SUFI-2 模型; 径流; 秃尾河流域

中图分类号: S273.29 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2012)06-0200-07

全球气候变化以及人类活动的加剧, 导致水资源短缺现象日趋严重, 特别是我国西北干旱地区, 水资源短缺已经成为制约当地经济发展的主要因素。故科学合理的利用和管理水资源, 深入了解流域的水循环及水量转化机理具有十分重要的意义。近年来, 由美国农业部(USDA)开发的基于物理和分布式的 SWAT(Soil and Water Assessment Tool)模型在径流、泥沙以及水体污染模拟等方面得到了广泛的应用, 已经成为研究水资源利用和管理的重要工具。集成 GIS 技术的 SWAT 模型计算效率较高, 能适应长时间序列的分布式水文过程模拟, 国内外许多研究课题和学者^[1-6]已经利用该模型做了大量的研究工作, 取得了较好的研究成果。Santhi 等^[7]利用 SWAT 模型对北美地区格兰德流域的水量平衡进行了模拟。Harmel 等^[8]利用 SWAT 模型模拟了美国东南部不同气候条件及水资源变化对径流量的持续影响。张雪松等^[9]利用该模型模拟了卢氏流域的泥沙和径流, 结果表明 SWAT 能较好地模拟长时间持续序列的泥沙和径流。王忠忠等^[10]通过改进 SWAT 模型, 建立了抚河流域的 SWAT-X 模型, 利用该流域四个水文站点的数据进行率定, 结果表明模型能较好地适应该流域的径流模拟。

SWAT 模型在半湿润和湿润地区应用较多, 大

多取得了较好的研究成果, 但在干旱和半干旱地区应用较少且模拟效果不是十分理想^[11]。本研究通过收集地处我国半干旱地区的秃尾河流域的地理、土地利用、土壤、气象及水文数据, 利用 SWAT 模型对该流域的径流进行模拟, 探讨 SWAT 模型在该流域的适应性。为了探索不确定分析新的理论方法和提高 SWAT 模型的模拟精度, 本研究采用 Abbaspour 等^[12]人开发的 SUFI-2 算法对模型参数进行不确定分析、率定和验证。本研究将为 SWAT 模型在干旱地区的研究提供新的思路和方法, 具有一定指导意义。

1 SUFI-2 方法介绍

SUFI-2 算法^[12-13]是利用拉丁超立方随机采样方法取得模拟参数值并代入到 SWAT 模型中, 再计算目标函数值。通过不确定性程度因子 P-factor(通常用 95PPU 表示, 即模拟的数据包括了 95% 的不确定性, 剔除了 5% 的极坏模拟情况)和校准效果因子 R-factor 表示(表示 95PPU 的上下限的平均距离与标准偏差的比值)。P-factor 的范围为 0 到 1, R-factor 的范围为 0 到无穷大, 当 P-factor 和 R-factor 分别为 1 和 0 时表示模拟结果和实测数据一致。SUFI-2 算法中, 模拟结果由一组模型参数决

收稿日期: 2012-06-24

基金项目: 国家重大科技支撑计划项目(2006BAD11B05)

作者简介: 魏 丹(1982—), 女, 辽宁大石桥市人, 工程师, 主要从事森林、生态和水文方面研究。E-mail: weidan2005@163.com。

* 通信作者: 刘智勇(1985—), 男, 湖南华容人, 硕士研究生, 主要从事水文水资源方面研究。E-mail: zhiyonglau@gmail.com。

定而非单一参数,因而能最大化地反映实测数据与最小化参数的不确定性。在SUFI-2算法中,先假设一个大的参数不确定性范围,使得实测的数据包含在95PPU范围内,进而不断模拟减少不确定性的范围,使得模拟结果不断接近实测结果。

SUFI-2算法步骤包括:确定目标函数;参数的初始区间确定;选定最为敏感的参数区间;确定第一轮拉丁方设计;进行拉丁方设计,得到 n 种参数的组合;评价每个参数组合;参数不确定性分析。主要公式有:

灵敏度矩阵计算公式:

$$J_{ij} = \frac{\Delta g_i}{\Delta b_j} \quad i = 1, \dots, C_2^2, j = 1, \dots, m \quad (1)$$

式中, C_2^2 为敏感度矩阵的中行数; j 为列数即参数的数量; i 为组数, Δb_j 表示第 j 个要率定的参数; Δg_i 为参数的敏感度。

Hessian矩阵计算公式:

$$H = J^T J \quad (2)$$

下限参数协方差矩阵 C 计算公式:

$$C = s_g^2 (J^T J) \quad (3)$$

式中, s_g^2 为目标函数模拟 n 次的方差。

参数 b_j 的标准偏差和95%的置信区间计算公式为:

$$s_j = \sqrt{C_{jj}} \quad (4)$$

$$b_{j, lower} = b_j^* - t_{v, 0.025} \cdot S_j \quad (5)$$

$$b_{j, upper} = b_j^* + t_{v, 0.025} \cdot S_j \quad (6)$$

式中, b_j^* 为参数 b 对目标函数的最优解; v 为自由度($n - m$)。

参数敏感度 g 的计算表达式为:

$$g = a + \sum_{i=1}^n \beta_i b_i \quad (7)$$

95PPU平均距离 $\bar{d}$ 的计算:

$$\bar{d}_x = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (X_u - X_l)_i \quad (8)$$

其中,利用每个模拟结果的累积分布的2.5%(X_l)和97.5%(X_u)表示模拟的不确定性, k 为实测值的数量,最好的模拟结果是实测值都在95PPU内且 $\bar{d}$ 接近于0,由此引出 R 因子:

$$R = \frac{\bar{d}_x}{\sigma_x} \quad (9)$$

式中, σ_x 为 $\bar{d}_x$ 实测变量 x 的标准偏差。

2 应用研究

2.1 研究区域概况

秃尾河是黄河的一级支流,河流全长139 km。

秃尾河流域(地理位置:东经109°45'~110°35',北纬38°10'~39°10')位于窟野河流域和佳芦河流域之间,流域总面积为3294 km²。该流域属于中纬度大陆性季风气候区,流域内水热条件较好,全流域年平均日照2871 h,平均气温8.5℃,降水自东南向西北递减,多年平均降水量400 mm左右,多年平均水面蒸发量为1120 mm。该流域海拔1000~1200 m,地势由西部向东南倾斜,土壤类型以风沙土和黄绵土为主,主要的植被类型为沙生植被和沼泽植被,森林覆盖率较低^[14-16]。由于数据收集限制,本文重点模拟秃尾河流域上游(高家堡水文站以上段,集水面积约2095 km²)。

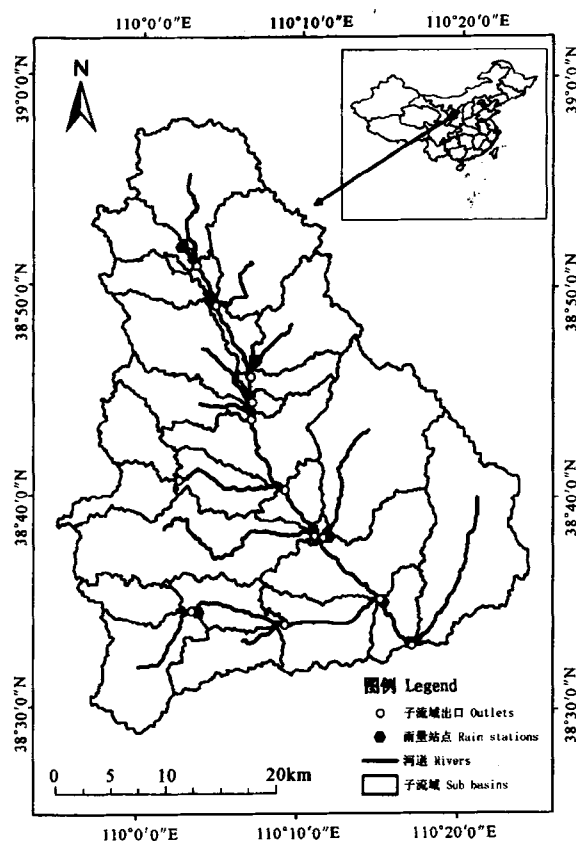


图1 研究流域图、气象站点分布及子流域划分图
Fig.1 Location of Tuweihe (Upper) river watershed, weather stations and subbasins

2.2 模型数据库的建立

2.2.1 DEM数据 地形数据为从中科院数据应用环境中心下载的分辨率为30 m×30 m的DEM数据,地图投影采用Albers等积圆锥投影。在ArcSWAT中,可以通过DEM数据划分子流域、提取河网、计算地形因子以及提取流域水文单元(HRU),也可以通过DEM数据生成坡度、坡向图(见图2a)。

2.2.2 土地利用及土壤数据 土地利用数据为在

中科院西部生态环境数据中心申请的 Arc/Info coverage 格式的矢量数据。采用的数据年份为 1986 年, 利用秃尾河流域(上游)边界对数据进行切割, 根据

USGS 土地利用分类标准进行重分类(该流域土地利用重分类见表 1), 得到模型所需的土地利用类型图(见图 2b)。

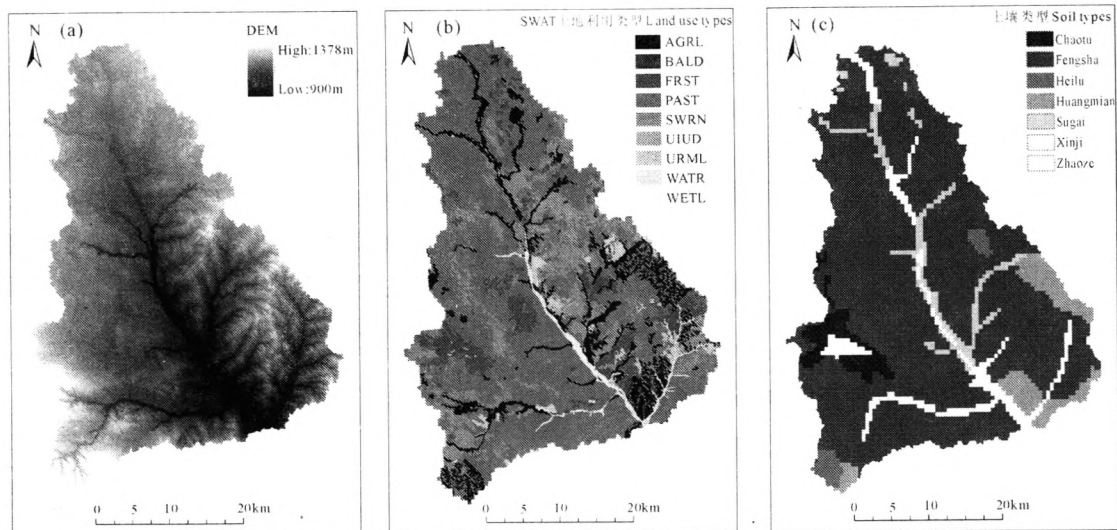


图 2 研究流域 DEM(a), 土地利用(b), 土壤图(c)

Fig.2 Maps of DEM(a), landuse(b), soil(c) in this study watershed

表 1 秃尾河上游土地利用类型重分类图

Table 1 The reclassification (to SWAT code) of landuse in Tuweihe (Upper) watershed

编号 No.	名称 Name	SWAT 代码 Code	编号 No.	名称 Name	SWAT 代码 Code
11/113	水田 Paddy field	RICE	41	河渠 Canal	WATR
12/122/123	旱地 Dryland	AGRL	43	水库坑塘 Reservoir	WATR
21	有林地 Forest land	FRST	46	滩地 Beach	WATR
22	灌木林 Shrub	FRST	52	农村居民点 Rural residential area	URML
23	疏林地 Open forest land	FRST	53	其他建设用地 Other construction land	UIUD
24	其他林地 Other forest land	FRST	61	沙地 Sandy land	SWRN
31	高覆盖度草地 High coverage grassland	PAST	63	盐碱地 Saline land	BALD
32	中覆盖度草地 Moderate coverage grassland	PAST	64	沼泽地 Swamp	WETL
33	低覆盖度草地 Low coverage grassland	PAST	65	裸土地 Bareland	BALD

本研究土壤数据来源于中国科学院水土保持研究所数据中心, Grid 格式。由于土壤物理属性(包括土壤层数、坡面厚度、质地、有机质级化学物质含量等)关系到土壤内部的水和空气的运行, 获取精确的土壤属性数据对整个水循环过程具有重要影响。由于中国的土壤属性特征标准与北美制的土壤物理特征标准不同, 本研究利用 Matlab 软件通过三次样条函数插值方法将国际土壤制的土壤颗粒分类标准转化为 SWAT 模型所需的北美制标准。重分类的土壤类型有 11 类, 分别为: 黑垆土、黄绵土、积钙红粘土、新积土、冲积土、草原风沙土、中性粗骨土、钙质粗骨土、潮土、腐泥沼泽土、淡栗钙土(见表 2)。再利用土壤属性特征计算程序 SPAQ 计算土壤饱和和水力传

导系数、土壤可利用有效水等其他参数, 从而构建完整的土壤的数据库。

2.2.3 水文气象数据 气象数据来源于中国气象局国家气象信息中心榆林、神木 2 个气象站 1975—2000 年连续 26 a 的日观测数据, 包括最高和最低气温、风速、相对湿度、太阳辐射量等。日降雨数据采用流域内 6 个雨量站点(圪丑沟、公草湾、古今滩、小河岔、凉水井、高家堡)1977—1989 年的逐日实测数据。并建立研究区域天气发生器(Weather Generator), 根据研究区域的实际日观测资料计算月统计数值。径流数据为秃尾河上游流域出口处高家堡站点的 1977—1989 年的天然月径流资料。

表 2 研究区域土壤类型转化结果表

Table 2 The result of soil texture conversion in this study watershed

土壤名称 Soil type	剖面厚度 Profile depth/cm	粘粒 Clay (< 0.002 mm)	粉砂 Silt (0.002 ~ 0.05 mm)	粗砂 Sand (0.05 ~ 2 mm)	SWAT 代码 Code
黑垆土	199	14.61	23.04	62.35	Heilu
Dark loessial soil	156	13.26	16.38	70.36	
黄绵土	120	16.68	33.08	50.24	Huangmian
Loessial soil	100	15.01	26.05	58.94	
积钙红粘土	140	24.85	47.33	27.82	Hongtu
Red clay	90	27.27	47.62	25.11	
新积土	150	18.58	33.88	47.55	Xinji
New alluvial soil	140	18.87	41.24	39.89	
冲积土 Alluvial soil	100	9.37	20.09	70.54	Chongji
草原风沙土	110	4.96	12.35	82.69	fengsha
Grassland aeolian sandy soil	150	5.91	15.91	78.18	
中性粗骨土 Neutral regosol	34	25.70	32.72	41.58	Cugu
钙质粗骨土 Calcareous regosol	100	8.44	24.90	66.66	
	40	14.70	36.30	49.00	Chaotu
潮土	105	12.20	36.60	51.20	
Chao soil	150	8.84	19.44	71.72	
	170	14.96	36.61	48.43	
腐泥沼泽土 Swamp soil	88	19.84	32.72	47.44	Zhaoze
淡栗钙土 Light chestnut soil	150	19.84	44.89	35.27	Sugai
	77	11.21	24.67	64.12	

2.2.4 模型适应性评价指标 本文主要选取相关性系数 R^2 以及确定性效率 Nash-Sutcliffe 系数 Ens 这两个指标进行模拟适应性评价。

相关性系统计算公式为:

$$R^2 = \frac{[\sum_i (Q_{sim,i} - \overline{Q_{sim}})(Q_{obs,i} - \overline{Q_{obs}})]^2}{\sum_i (Q_{sim,i} - \overline{Q_{sim}})^2 \sum_i (Q_{obs,i} - \overline{Q_{obs}})^2} \quad (10)$$

式中, Q_{obs} 为观测径流量; Q_{sim} 为模拟径流量; $\overline{Q_{obs}}$ 是平均观测径流量; $\overline{Q_{sim}}$ 为平均模拟径流量; i 为模拟序列长度。 R^2 越接近 1, 说明模拟值越接近观测值, 通常取 $R^2 > 0.6$ 作为模拟值与实测值相关程度的评价标准。

$$Ens = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - \overline{Q_{obs}})^2} \quad (11)$$

式中, Q_{obs} 为观测径流量; Q_{sim} 为模拟径流量; $\overline{Q_{obs}}$ 是平均观测径流量; $\overline{Q_{sim}}$ 为平均模拟径流量; i 为观测的次数。当 $Q_{sim} = Q_{obs}$ 时, $Ens = 1$; 如果 Ens 为负值, 说明模型模拟平均值比直接使用实测平均值的可信度较低。 Ens 的值越接近 1, 说明模型模拟结果越好。

2.3 模拟结果分析

2.3.1 运行模型 在 ArcSWAT 中构建好模型数据库后, 模型的壤中流采用存储模型计算公式, 潜在蒸散量采用 Priestly-Taylor 计算公式, 地表径流模拟采用“日降雨数据/径流曲线/日 (Daily-rain/CN/Daily)”模式, 降雨量的模拟采用偏正态分布法 (Skewed normal distribution), 河道演算采用变动存储系数 (Variable Storage) 法。

2.3.2 SUFI-2 不确定性分析 SWAT 模型运行结束后, 需要对模型进行参数的率定和验证。参数的率定是验证模型适应性的重要的一步, 在获取数据不完整或者数据精度不够时, 参数的率定具有重要的意义。本研究将流域出口处高家堡水文站的 1977—1989 年的月径流数据分为两个部分, 1977—1983 年为模型率定期, 1984—1989 年为验证期。

利用在 SUFI-2 算法进行不确定性分析, 模型的参数敏感性分析和率定过程同时进行, 确定 9 个敏感性参数 (CN₂, ESCO, SOL_AWC, GW_DELAY 等) 用于率定模型。参数的初始值根据模型建立者的经验和 SUFI-2 算法敏感性分析的推荐值确定。同时, SUFI-2 方法每次计算适应性评价指标 (如 Ens 指标) 与各参数之间的相关性, 为下一次运行该算法

提供新的推荐参数范围。本研究将 9 个参数进行组合在模型率定期进行 10 次迭代模拟,每次模拟次数为 2000 次,将最后一次模拟结果作为模型最终输入参数值用于验证期的模拟。

2.3.3 月和年径流的率定和验证 从表 3 可以看出,率定期月径流的相关系数 R^2 为 0.61,模型的效率系数 Ens 为 0.60, P - factor 和 R - factor 分别为 0.76 和 1.28。率定完成后,用 1984—1989 年的数据

径流验证,验证期相关系数 R^2 为 0.66,模型的效率系数 Ens 为 0.52, P - factor 和 R - factor 分别为 0.81 和 1.12,而年径流相关系数在率定期和验证期都小于 0.6。表明模型和参数的选择能较好地模拟秃尾河流域(上游)的月径流(R^2 和 Ens 都大于 0.6),但对年径流的模拟(R^2 和 Ens 都小于 0.6)效果却不佳,表明 SWAT 模型在干旱地区的径流模拟有一定的适应性但也存在较大的局限性。

表 3 径流模拟结果评价表

Table 3 Evaluation of runoff simulation results

径流 Runoff	模拟变量 Simulated variable	R^2	Ens	P - factor	R - factor
月径流 Monthly runoff	率定期(1977—1983) Validation period	0.61	0.60	0.76	1.28
	验证期(1984—1989) Calibration period	0.66	0.52	0.81	1.12
年径流 Annual runoff	率定期(1977—1983) Validation period	0.53	0.46	0.65	1.43
	验证期(1984—1989) Calibration period	0.59	0.02	0.83	1.09
汛期(5—10月) Flood season (May to Oct.)	率定期(1977—1983) Validation period	0.83	0.80	0.91	0.78
	验证期(1984—1989) Calibration period	0.84	0.79	0.97	0.61

由图 3 和图 4 可知,年内汛期月(5—10月)的 95PPU 比枯水期有更好的覆盖,且年际也表现明显的差异,是因为枯水月干旱地区主要以地下水为主导,而 SWAT 的产流机制对土壤水模拟欠佳,所以模型参数反映的模拟结果的不确定性在汛期和枯水期差异较大,也进一步表明了 SWAT 模型对于干旱条件下的产流模拟能力和对壤中流的模拟能力较差。

2.3.4 汛期(5—10月)径流的率定和验证 由于 SWAT 模型在枯水期的径流模拟效果并不是非常理想,本研究进而对汛期月径流进行率定和验证(见图 5 和图 6)。结果表明,汛期月径流在率定期和验证期的相关系数分别为 R^2 为 0.83 和 0.84,模型的效率系数 Ens 分别为 0.80 和 0.79, P - factor 分别为 0.91 和 0.97, R - factor 分别为 0.78 和 0.61。表明对

汛期的径流模拟结果明显要好于全年的模拟结果,这是由于汛期降雨较为丰沛,地表径流量相对较大,更符合 SWAT 模型的地表径流产流机制(SCS 曲线数法),也说明 SWAT 模型能较好地模拟干旱地区丰水期的径流量。

3 结 论

1) 本研究收集秃尾河流域(上游)地形、土地利用、土壤、气象和水文数据,在 GIS 技术支持下构建该流域的空间和属性数据库,利用 SWAT 模型对该流域的径流进行模拟,并采用 SUFI - 2 算法对模拟结果进行不确定性分析并得到 95PPU 的流量界限,分析结果表明,经过 SUFI - 2 算法改进的 SWAT 模型能较好地模拟研究流域的月径流(Nash 效率系数

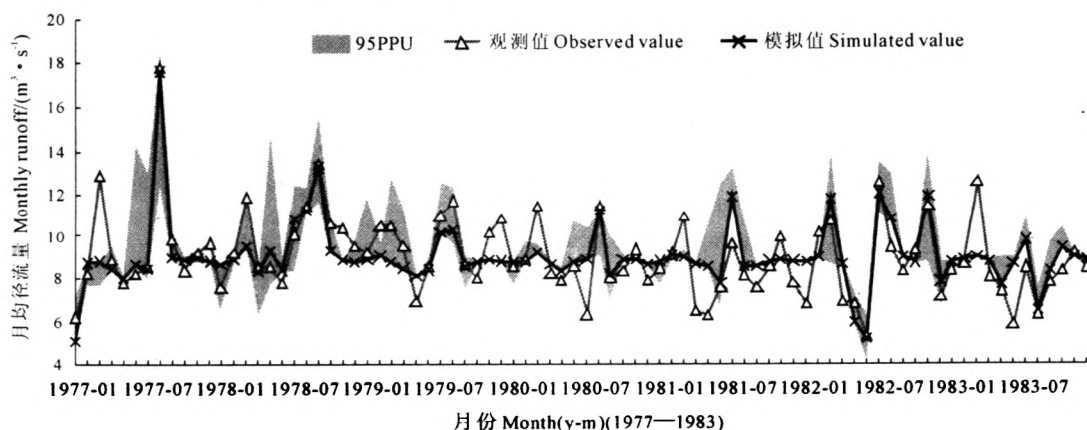


图 3 率定期(1977—1983)月径流的实测值、模拟值和 95PPU 范围

Fig.3 The observed, simulated and 95PPU values of monthly runoff in calibration period (1977—1983)

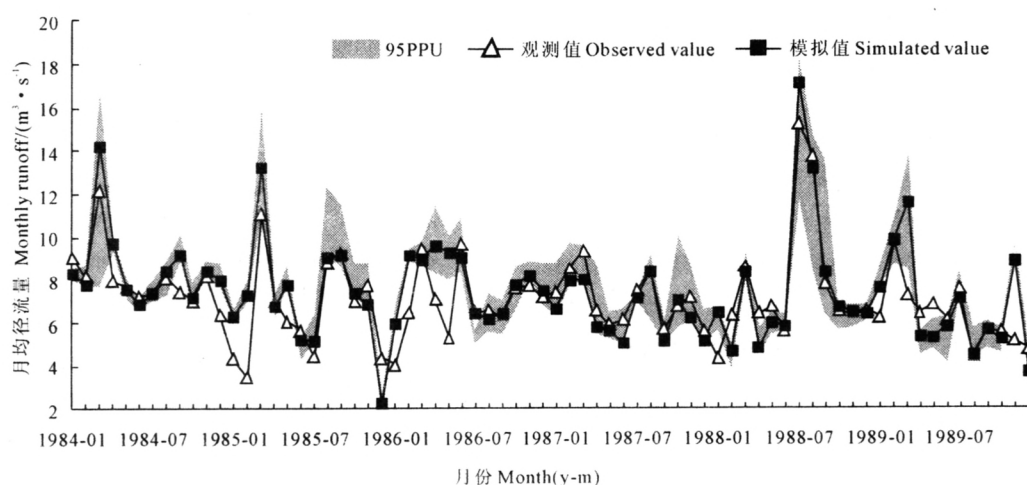


图4 验证期(1984—1989)月经流的实测值、模拟值和 95PPU 范围

Fig.4 The observed, simulated and 95PPU values of monthly runoff in validation period (1984—1989)

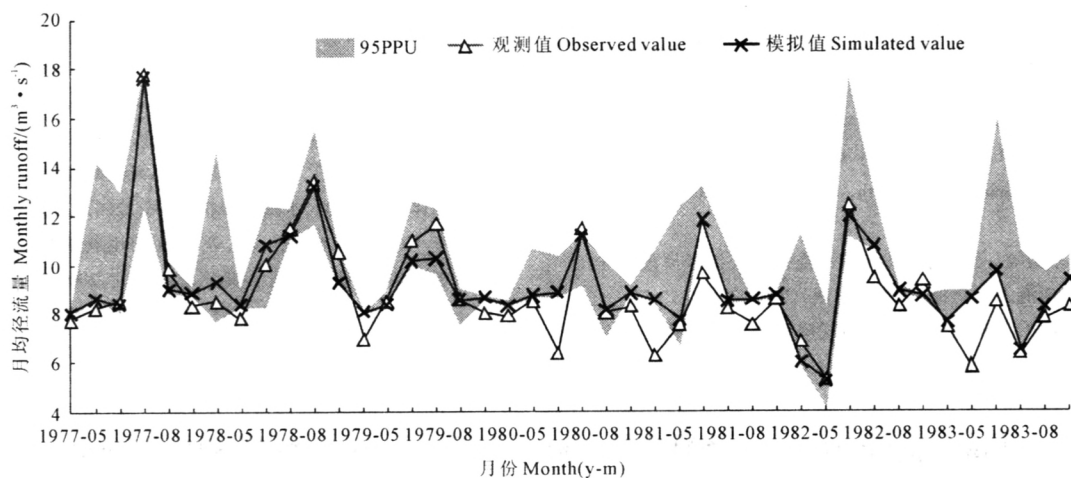


图5 率定期(1977—1983)汛期(5—10月)月经流的实测值、模拟值和 95PPU 范围

Fig.5 The observed, simulated and 95PPU values of monthly runoff (May to Oct) in validation period (1977—1983)

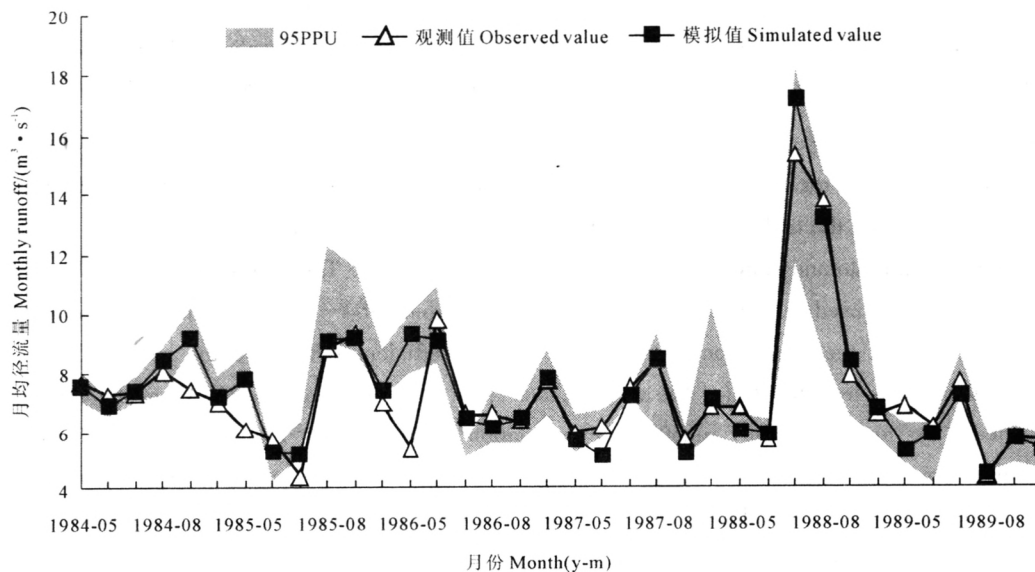


图6 验证期(1984—1989)汛期(5—10月)月经流的实测值、模拟值和 95PPU 范围

Fig.6 The observed, simulated and 95PPU values of monthly runoff (May to Oct) in calibration period (1984—1989)

和相关系数均大于 0.6),对汛期的模拟较佳(Nash 效率系数和相关系数均大于 0.8),但对全年的径流模拟效果较差。

2) SWAT 模型在该流域有一定的适应性,其地表径流产流机制能较好地模拟干旱半干旱流域在汛期的径流量,但是不能有效地模拟干旱半干旱流域(具有降雨偏少、径流量小和超渗产流等特点)的壤中流和地下径流的产流过程,有待进一步改进该模型以便适应我国干旱半干旱流域枯水期的径流模拟。

参考文献:

- [1] Yu Z, Lakhtakia M N, Yarnal B, et al. Simulating the river-basin response to atmospheric forcing by linking a mesoscale meteorological model and hydrologic model system[J]. *Journal of Hydrology*, 1999, 218(1/2):72-91.
- [2] Bingner R L. Runoff simulated from Goodwin Creek Watershed using SWAT[J]. *Transactions of the ASAE*, 1996, 39(1):85-90.
- [3] Holvoet K, Van Griensven A, Seuntjens P, et al. Sensitivity analysis for hydrology and pesticide supply towards the river in SWAT[J]. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 2005, 30(8/10): 518-526.
- [4] 李 晓,李致家,董佳瑞. SWAT 模型在伊河上游径流模拟中的应用[J]. *河海大学学报(自然科学版)*, 2009, 37(1):23-26.
- [5] 都金康,谢顺平,许有鹏,等. 分布式降雨径流物理模型的建立和应用[J]. *水科学进展*, 2006, 17(5):638-644.
- [6] 刘卉芳,曹文洪,张晓明,等. 黄土区小流域水沙对降雨及土地利用变化响应研究[J]. *干旱地区农业研究*, 2010, 28(2):237-242.
- [7] Santhi C, Muttiah R S, Arnold J G, et al. A GIS-based regional planning tool for irrigation demand assessment and saving using SWAT[J]. *American Society of Agricultural Engineers*, 2005, 48(1):137-147.
- [8] Harmel R D, Richardson C W, King K W. Hydrologic response of a small watershed model to generated precipitation[J]. *Transactions of the ASAE*, 2000, 43(6):1483-1488.
- [9] 张雪松,郝芳华,杨志峰,等. 基于 SWAT 模型的中尺度流域产流产沙模拟研究[J]. *水土保持研究*, 2003, 4(12):38-42.
- [10] 王忠忠,罗定贵,周文斌,等. 基于 SWAT-X 模型的抚河流域径流量模拟研究[J]. *地理与地理信息科学*, 2009, 25(4):95-99.
- [11] 程 磊,徐宗学,罗 睿,等. SWAT 在干旱半干旱地区的应用——以窟野河流域为例[J]. *地理研究*, 2009, 28(1):65-74.
- [12] Abbaspour K C, Johnson A M, Van Genuchten T. Estimating uncertain flow and transport parameters using a sequential uncertainty fitting procedure[J]. *Vadose Zone Journal*, 2004, 3:1340-1352.
- [13] Gupta H V, Sorooshian S, Yapo P O. Toward improved calibration of hydrologic models: multiple and noncommensurable measures of information[J]. *Water Resources Research*, 1998, 34:751-763.
- [14] 杨泽元,王文科,王雁林,等. 秃尾河流域表生生态环境评价指标体系研究[J]. *水资源保护*, 2006, 22(5):22-27.
- [15] 李 小冰,蔡焕杰,张 鑫,等. 秃尾河流域降水量马尔可夫链模型预测研究[J]. *干旱地区农业研究*, 2009, 27(6):252-256.
- [16] 孙天青,张 鑫,梁学玉,等. 秃尾河径流特性及人类活动对径流的影响分析[J]. *人民长江*, 2010, 41(8):47-50.

The application of SWAT and SUFI-2 to runoff simulation in Tuweihe (Upper) watershed

WEI Dan¹, LIU Zhi-yong², LI Xiao-bing³

(1. Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou, Guangdong 510520, China;

2. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3. Groundwater Management and Monitoring Bureau of Shaanxi Province, Xi'an, Shaanxi 710003, China)

Abstract: Trough building the hydrology, meteorology, landuse and soil databases of Tuweihe (Upper) watershed in the arid and semiarid climate region, the physically-based distributed hydrological model—SWAT 2005 model was employed in this study to simulate the hydrology process and surface runoff in this watershed. The SUFI-2 method was used to uncertainly analyze, calibrate and validate the results of SWAT simulation. The runoff data from 1977—1983 in Gaojiabao hydrological station was used to calibrate, and the runoff data from 1984—1989 was employed to verdict the results of simulation. The results of the calibration are: the correlation coefficient (R^2) and the model efficiency coefficient (Ens) of the annual runoff is less than 0.6 (The value of more than 0.6 represents the SWAT model can greatly simulate the study watershed). As for the monthly runoffs, the correlation coefficient (R^2) and the model efficiency coefficient (Ens) of the annual runoffs are over 0.6 or similar to 0.6. The correlation coefficient (R^2) and the model efficiency coefficient (Ens) of monthly runoff from May to October cover 0.8 or similar to 0.8. Thus, the improved SWAT-SUFI model can be applied to simulate hydrology process and surface runoff of this arid and semi-arid watershed in flood season.

Keywords: SWAT; SUFI-2; runoff; Tuweihe(Upper) watershed