



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2016.03.013

高红艳,唐英敏.基于栅格新安江模型的淮河上游土壤侵蚀预测[J].南水北调与水利科技,2016,14(3):73-77. GAO Hong yan, TANG Ying min, et al. Prediction of the soil erosion in the upper stream of the Huaihe River based on the grid Xinanjiang model[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2016, 14(3): 73-77. (in Chinese)

基于栅格新安江模型的淮河上游土壤侵蚀预测

高红艳,唐英敏

(四川建筑职业技术学院,四川 德阳 618000)

摘要: 将栅格新安江模型与改进通用土壤侵蚀方程进行耦合,建立基于栅格尺度的水沙模拟模型,以淮河上游息县水文站以上为研究区域,基于研究流域DEM数据、土地利用数据、土壤数据以及息县站2000年-2010年水文数据,模拟了淮河上游2000年-2010年输沙过程。并基于构建的水沙模型,结合流域2020年和2030年土地利用远景规划数据设定两种土地利用模式情景,定量分析了不同土地利用模式情景对流域土壤侵蚀的影响。研究结果表明:基于栅格新安江模型的水沙耦合模型在淮河上游具有较好的模拟精度,模拟的输沙量相对误差小于15%,确定性系数0.6以上,满足泥沙模拟精度要求;林地用地面积增加5%,流域土壤侵蚀量减少8.78%,城镇用地面积增加8%,流域土壤侵蚀量减少12.73%。研究成果可为淮河水土保持治理和规划提供参考。

关键词: 栅格新安江模型;改进通用土壤侵蚀方程;水沙模拟;土地利用模式情景;土壤侵蚀响应;淮河上游

中图分类号: P333 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2016)03-0073-05

Prediction of the soil erosion in the upper stream of the Huaihe River based on the grid Xinanjiang model

GAO Hong yan, TANG Ying min

(Sichuan college of Architectural Technology, Deyang 618000, China)

Abstract: The grid based Xinanjiang model was coupled with the Universal Soil Loss Equation to simulate water sediment in the upstream of the Huaihe River. Based on the coupled model and DEM data, land use data, soil data and hydrological data of Xixian station during 2000-2010 years, the soil erosion in the upstream of the Huaihe River was simulated, and by setting two land use patterns scenarios, the effect of different land use scenarios on soil erosion in the study area was quantitative analyzed. The results showed that the grid based water sediment coupled model had a better simulation accuracy in the upstream of the Huaihe River, the relative error of the simulated sediment load was less than 15%, and the uncertainty factor was above 0.6, which could meet the requirements of the sediment simulation accuracy. The woodland area was increased by 5%, then the amount of soil erosion of the basin was decreased by 8.78%, while an increase of 8% to urban, the soil erosion of the basin was decreased by 12.73%. The outputs can provide a reference value to soil and water conservation protecting in the upstream of the Huaihe River.

Key words: grid based Xinanjiang model; improved Universal Soil Loss Equation; water sediment simulation; land use pattern scenarios; soil erosion response; the upstream of the Huaihe River

1 问题的提出

当前,我国水土流失日趋严重,据统计全国水土流失面积367万km²,逐年新增水土流失面积1.5

万km²,每年流失土壤厚度为0.01~2.00cm,土壤侵蚀总量达到近50亿t^[1-2]。如何定量预测流域水土流失是当前国内外学者研究流域水土保持的热点问题。早期,由于土壤侵蚀模拟的复杂性,对于水土

流失预测主要基于数据系列统计学方法进行定性的趋势性预测,而无法做到定量预测。后期,美国研究学者基于大量的土壤侵蚀实验得到土壤侵蚀计算经验模型即通用土壤侵蚀方程^[3],实现了流域土壤侵蚀有效计算,但该方程由于需要大量的下垫面信息并以降雨作为模型输入,无法对水土流失进行定量预测。近期,美国学者研发改进的通用土壤侵蚀方程,该方程以流量作为模型输入,可有效地和水文模型进行耦合,从而进行流域土壤侵蚀的定量预测,美国研发的 SWAT 模型将 SCS 降雨径流模型和改进的通用土壤侵蚀方程耦合进行流域土壤侵蚀预测,在国内水土流失模拟取得一定研究成果^{[4]~[18]}。但 SCS 降雨径流模型是一种径流模拟的经验模型,且需要较多的参数,而我国研制的新安江模型在国内水文模拟精度较高,因此,本文将新安江模型和改进的通用土壤侵蚀方程进行耦合,并考虑流域下垫面特征,构建基于栅格新安江模型的水沙耦合模型。研究成果对于流域水土流失预测模拟提供参考价值。

2 基于栅格新安江模型的水沙模拟模型的构建

考虑流域下垫面特征对流域土壤侵蚀模拟影响,将流域离散成分辨率为 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ 栅格单元,每个栅格单元单独计算土壤侵蚀量,基于新安江模型模拟的流量作为改进通用土壤侵蚀方程流量输入,实现新安江模型和改进的通用土壤侵蚀方程的有效结合,实现基于新安江模型的水沙模拟模型。考虑文章篇幅,新安江模型原理可详见参考文献[19],本文着重介绍改进通用土壤侵蚀方程^[20],方程计算原理如下:

$$Y = 11.8 \times (Q_{\text{surf}} q_{\text{peak}} A)^{0.56} \cdot K \cdot C \cdot P \cdot L \cdot R \quad (1)$$

式中: Y 为土壤侵蚀量(t); Q_{surf} 为地表径流深(mm); q_{peak} 为峰值流量(m^3/s),地表径流量和峰值流量均可由新安江模型模拟得到; A 为栅格单元面积(km^2); K 为土壤侵蚀因子; C 为植物覆盖和作物栽培措施对防止土壤侵蚀的综合效益; P 为保持措施的地表土壤流失与不采取任何措施的地表土壤流失的比值; L 为地形因子; R 为粗糙断面因子: $R = \exp(-0.053 \times S_{AN})$, S_{AN} 是第一层土壤中砾石的百分比($\%$)。此外,河道输沙方程可详见参考文献[16]

3 研究区域概况及模型所需资料

3.1 研究区域概况

淮河是中国七大江河之一,干流流经河南、安徽、江苏三省,淮河干流可以分为上游、中游、下游三

部分,洪河口以上为上游。本文以淮河上游息县水文站以上为研究流域(见图 1),流域集水面积为 $10\,194\text{ km}^2$,流域多年平均降水量为 $800 \sim 1\,000\text{ mm}$,多年平均径流深为 $300 \sim 400\text{ mm}$,降水主要集中在 7 月-8 月之间,淮河上游平均土壤侵蚀量 1.08 亿 t ,属于水土流失较为严重的区域。

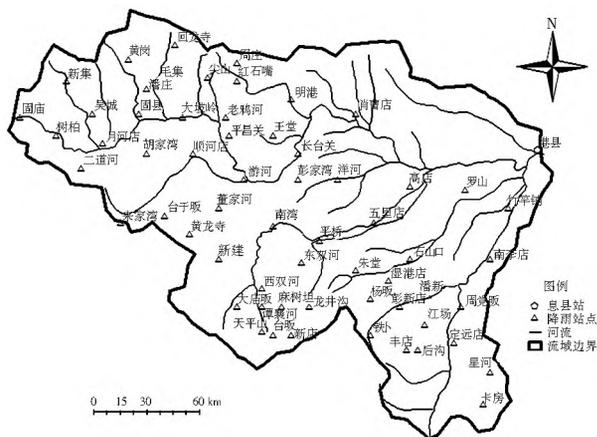


图 1 研究流域水系

Fig. 1 The River watershed

3.2 模型所需资料

模型需要输入的数据有数字高程模型数据、土地利用数据以及水文数据,其中:(1)数字高程数据下载中科院数据共享平台提供的 90S 分辨率 DEM 数据,结合研究流域边界得到流域 DEM 数据;(2)土壤数据采用南京土壤所提供的分辨率为 $1:4\,000\,000$ 土壤类型数据,土壤物理属性数据采用信阳土壤志,运用地理信息软件结合流域边界获取流域土壤类型数据;(3)土地利用数据采用中科院地理所提供的分辨率为 1 km 的 $2\,000\text{S}$ 全国土地利用图,结合流域边界获得研究流域土地利用类型数据;(4)水文数据采用息县水文站 2000 年-2010 年实测流量、含沙量数据以及蒸发数据,降雨数据采用流域内 63 个降雨站点 2000 年-2010 年实测降雨数据。

4 模型运用

4.1 模型参数的率定和验证

基于模型输入数据和息县水文站 2000 年-2010 年水文数据,对构建的水沙模拟模型进行率定和验证,结果见表 1-表 3 以及图 2、图 3。

从表 2 中可以看出,新安江模型在淮河上游径流具有较好的模拟精度,模拟的径流深相对误差均小于 10% ,确定性系数达到 0.8 以上,满足水文模型径流模拟的规范要求。径流作为改进的通用土壤侵蚀方程的输入,模拟精度的高低直接影响水土流失模拟的好坏。从表 3 中可以看出,构建的水沙耦

表 1 模型参数率定结果

Tab. 1 The model parameter calibration results

参数名称	参数意义	率定值	
X	表层自由水蓄水容量曲线方次	1.1	
W_M	流域平均张力水容量	150 mm	
U_M	上层张力水容量	20 mm	
L_M	下层张力水容量	80 mm	
B	张力水蓄水容量曲线方次	0.4	
C	深层蒸散发折算系数	0.16	
F_C	稳定下渗率	35 mm	
B_F	反映下渗能力空间分布特征	1.7	
K_C	蒸发折算系数	0.84	
C_S	河网蓄水消退系数	0.1	
C_I	壤中流消退系数	0.98	
C_G	地下水消退系数	0.975	
S_M	表层自由水蓄水容量	60 mm	
K_E	马斯京根法演算参数	0.8 h	
X_E	马斯京根法演算参数	0.4	
新安江模型参数	C	MUSLE 方程中作物经营管理系数	草地: 0.08 林地: 0.05 旱地: 0.23
	P	MUSLE 方程水土保持系数	草地: 0.35 林地: 0.16 旱地: 0.77
	$SPCON$	河道挟沙能力计算方程中的线性系数	0.000 4
$SPEXP$	河道挟沙能力计算方程中的指数系数	1.4	
$CHEROD$	河道侵蚀系数	0.7	
$CHCOV$	河道覆盖系数	0.8	

表 2 水量模拟结果

Tab. 2 The results of water simulation

年份	实测径流深 / mm	计算径流深 / mm	绝对误差 / mm	相对误差 (%)	确定性系数
2000	580.8	562.5	18.3	3.15	0.80
2001	106.3	114.7	8.4	-7.90	0.815
2002	349.7	325.6	24.1	6.89	0.828
2003	621.1	634.5	13.4	-2.16	0.811
2004	283.4	267.8	15.6	5.50	0.827
2005	610.8	559.4	51.4	8.42	0.814
2006	197.5	203.5	6	-3.04	0.835
2007	532.4	521.7	10.7	2.01	0.801
2008	431.9	412.5	19.4	4.49	0.825
2009	215.7	223.8	8.1	-3.76	0.819
2010	331.1	321.6	9.5	2.87	0.842

合模型在淮河上游水土流失模拟精度较好,模拟的输沙量相对误差小于 15%,确定性系数达到 0.6 以

上,满足水土流失模拟的精度规范要求(模拟的输沙量相对误差小于 20%,确定性系数 0.5 以上)。从代表年份 2006 年和 2009 年的径流和含沙量模拟的过程可以看出,模拟的径流和含沙量过程与实测过程均较为吻合。综上,构建的基于栅格新安江模型的水沙耦合方程在淮河上游的水沙模拟具有较好的精度,适合于淮河上游水沙模拟。

表 3 沙量模拟结果

Tab. 3 The results of sediment simulation

年份	实测沙量 / 万 t	计算沙量 / 万 t	绝对误差 / 万 t	相对误差 (%)	确定性系数
2000	294.5	285.7	8.8	2.99	0.604
2001	0.9	1.03	0.13	-14.44	0.615
2002	266.5	238.5	28	10.51	0.606
2003	218.4	241.8	23.4	-10.71	0.623
2004	49.2	45.2	4	8.13	0.607
2005	322.4	298.5	23.9	7.41	0.608
2006	18.7	21.1	2.4	-12.83	0.613
2007	178.7	168.5	10.2	5.71	0.626
2008	155.6	135.6	20	12.85	0.605
2009	50.6	56.8	6.2	-12.25	0.624
2010	154.9	148.5	6.4	4.13	0.617

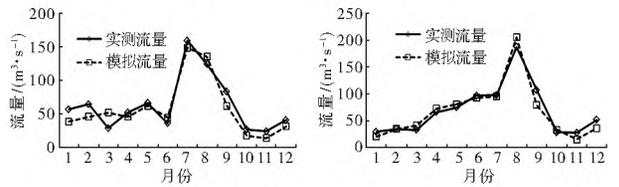


图 2 代表年份模拟流量与实测流量过程对比

Fig. 2 Comparison of the observed runoff with simulated runoff

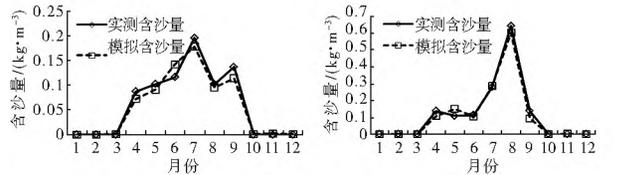


图 3 代表年份模拟含沙量与实测含沙量过程对比

Fig. 3 Comparison of the observed sediment with the simulated sediment

4.2 土壤侵蚀空间分布模拟

构建的基于栅格新安江模型的水沙耦合模型,可实现流域不同栅格土壤侵蚀模数空间分布,由于成果较多,选定 2006 年和 2009 年为代表年份,呈现流域土壤侵蚀模数模拟空间分布成果,见图 4。

从图 4 中可以看出,流域土壤侵蚀模数基本上呈现南大北小的趋势,这主要是受流域降水分布的影响,流域处于湿润气候与半干旱气候过渡带,淮南

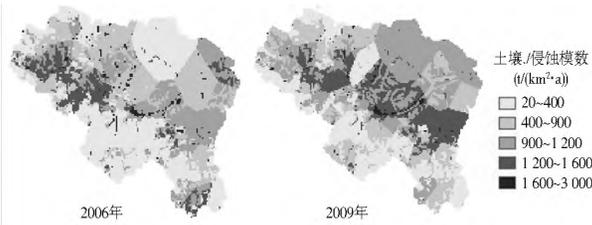


图 4 代表年份土壤侵蚀模数空间分布模拟成果

Fig. 4 The spatial distribution of soil erosion modulus of the represent year

属长江流域气候,一般温暖多雨,淮北属黄河流域型气候,寒冷少雨,因此南部降水多于北部区域,降水量大的区域,流域土壤侵蚀模数较大,降水量小的区域,流域土壤侵蚀模数较小。在土地利用不变的前提下,降水量的大小很大程度上决定了区域土壤侵蚀模数的大小,这一点从图中可看出,研究区南部同一区域在 3 年之内(2006 年和 2009 年)土壤侵蚀模数发生较大变化,土壤侵蚀模数由 2006 年的 900~1200 t/(km²·a) 之间,变化至 2009 年的 1200~1600 t/(km²·a) 之间,这主要因为该区域降水量在 2006 年和 2009 年发生较大的变化,该区域 2006 年年降水量为 600~900 mm 之间,而 2009 年年降水量增加为 1100~1300 mm 之间,年降水量的变化使得同一区域年土壤侵蚀模数发生较大变化。图 4 中部分相邻区域由于土地利用方式的不同,使得在同一年份里土壤侵蚀模数有所差异,研究区域南部区域主要的土地利用方式为林地,而北部区域主要的土地利用方式为耕地,林地具有保水减沙功能,而耕地具有增水增沙的功能,使得土地利用方式为林地的区域,其土壤侵蚀模数小于附近区域土地利用方式为耕地区域的土壤侵蚀模数。

4.3 不同土地利用模式情景下水土流失响应分析

为定量分析不同土地利用模式情景对流域水土流失的影响,利用构建的基于栅格新安江水沙耦合模型,结合流域 2020 年及 2030 年土地利用规划数据设定两种土地利用模式情景,选定降水量较大年份(2005 年)定量模拟该年份土地利用模式改变前后水土流失改变量和改变率,见表 5、表 6。

表 5 不同土地利用模式情景下土地利用改变面积比

Tab. 5 The percentage of the land use in different land use scenarios

土地利用模式情景	土地利用方式改变面积比重(%)
\tilde{N} (2020 年)	林地增加 5%, 耕地减少 5%
$\hat{0}$ (2030 年)	耕地减少 8%, 城镇用地增加 8%

从表 6 中可以看出在土地利用模式情景 \tilde{N} (林地增加 5%, 耕地减少 5%), 2005 年土地利用模式

表 6 不同土地利用模式情景下水土流失变化量

Tab. 6 Changes of the sediment in different land use scenarios

土地利用模式情景	2005 年模拟水土流失量 / 万 t	改变后 2005 年模拟水土流失量 / 万 t	水土流失改变量 / 万 t	水土流失改变率 (%)
\tilde{N} (2020 年)	298.5	272.3	-26.2	-8.78
$\hat{0}$ (2030 年)	298.5	260.5	-38.0	-12.73

改变后,流域水土流失减少 26.2 万 t,改变率为 -9.61%,相比于耕地,林地具有较好的蓄水保土功能,林地面积增加,流域水土流失量相应增加。在第 $\hat{0}$ 种土地利用情景模式中,耕地地面积减少 8%,城镇居民用地面积增加 8%,城镇化是当前土地利用模式变化的趋势所在,从表 6 中可看出,城镇居民用地增加后,水土流失量下降明显,水土流失量减少 38.0 万 t,水土流失改变率为 -12.73%,这是由于城镇居民用地增加后,下垫面被固化,使得水土流失量下降。

5 结论

本文构建了基于栅格新安江模型的水沙耦合模型,模拟了淮河上游的水土流失,并通过设定 3 种土地利用模式情景,运用构建模型定量分析不同土地利用模式情景对淮河上游水土流失的影响,研究取得以下结论。

(1) 构建的基于栅格新安江模型的水沙耦合模型适合于淮河上游的水土流失模拟,模拟的输沙量相对误差小于 20%,确定性系数达到 0.6 以上,水土流失模拟精度符合流域水土模拟的规范要求。

(2) 在降水量不变化前提下,林地面积增加 5%,耕地面积减少 5%,流域水土流失量减少 -8.78%。

(3) 在降水量不变化前提下,耕地面积减少 8%,城镇面积增加 8%,流域水土流失减少 12.73%。

参考文献(References):

- [1] 李智广,曹炜,刘秉正,等.我国水土流失状况与发展趋势研究[J].中国水土保持科学,2010,11(1):57-62. (LI Zhiguang, CAO Wei, LIU Birzheng, et al. The status and trend development of soil erosion in china[J]. Science of Soil and water conservation, 2010, 11(1): 57-62. (in Chinese))
- [2] 王效科,欧阳志云,肖寒,等.中国水土流失敏感性分布规律及其区划研究[J].生态学报,2001(1):14-19. (WANG Xiaoke, OUYANG Zhiyun, XIAO Han, et al. The sensitivity of soil erosion and its distribution[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2001(1): 14-19. (in Chinese))
- [3] 李树利. USLE 模型在川中紫色土区应用研究[D].成都:成都理工大学,2012. (LI Shuli. The application of the USLE model in the purple soil area in the Sichuan[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2012. (in Chinese))

- [4] 杨巍, 汤洁, 李昭阳, 等. 基于 SWAT 模型的大伙房水库汇水区径流与泥沙模拟[J]. 水土保持研究, 2012(2): 77-81. (YANG Wei, TANG Jie, LI Zhaoyang, et al. The application of the SWAT model in the sediment and runoff simulation in the Dahuofang reservoir[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2012(2): 77-81. (in Chinese))
- [5] 李曼曼, 韩会玲, 刘晓英, 等. SWAT 模型最佳子流域划分方案研究-以云南洱海流域为例[J]. 中国农业气象, 2012(2): 185-189. (LI Manman, HAN Huiling, LIU Xiaoying, et al. The division scheme of the best subbasin of SWAT model take the Erhai watershed as case in the Yunan province[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2012(2): 185-189. (in Chinese))
- [6] 汤洁, 杨巍, 李昭阳, 等. 辽河大伙房水库汇水区农业非点源污染入库模拟[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2012(5): 1462-1468, 1476. (TANG Jie, YANG Wei, LI Zhaoyang, et al. The simulation of agricultural non point source pollution in the Liaohedahuofang Reservoir catchment[J]. Journal of Jilin University Engineering and Technology Edition, 2012(5): 1462-1468, 1476. (in Chinese))
- [7] 李家科, 杨静媛, 李怀恩, 等. 基于 SWAT 模型的陕西沔河流域非点源污染模拟[J]. 水资源与水工程学报, 2012(4): 11-17. (LI Jiako, YANG Jingyuan, LI Huaien, et al. The simulation of agricultural non point source pollution on the basis of SWAT model in the Fenghe river basin[J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2012(4): 11-17. (in Chinese))
- [8] 罗运祥, 苏保林, 杨武志, 等. 基于 SWAT 的柴河水库流域非点源污染识别与评价[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2012(5): 510-514. (LUO Yunxiang, SU Baolin, YANG Wuzhi, et al. The identification and evaluation of non point source pollution based on SWAT model in the Chahe Reservoir Watershed[J]. Journal of Beijing Normal University(Natural Science), 2012(5): 510-514. (in Chinese))
- [9] 曾赞, 魏琳. 川中紫色丘陵区径流泥沙 SWAT 模型的模拟应用分析[J]. 地球信息科学学报, 2013(3): 401-407. (ZENG Yun, WEI Lin. Application of the SWAT model in the simulation of runoff and sediment in Purple Hilly Area[J]. Geoinformation Science, 2013(3): 401-407. (in Chinese))
- [10] 曾赞, 魏琳. 土地利用和气候变化对四川省紫色丘陵区径流泥沙变化的影响研究[J]. 水土保持通报, 2013(3): 1-6, 90, 327. (ZENG Yun, WEI Lin. Effect of land use and climate change on the sediment on runoff in the Purple Hilly Area[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2013(3): 1-6, 90, 327. (in Chinese))
- [11] 蔡孟林, 付永胜. SWAT 模型在茫溪河流域非点源污染研究中的应用[J]. 四川环境, 2014(3): 102-107. (CAI Menglin, FU Yongsheng. The application of the SWAT model in non point source pollution research in the Mang River Basin[J]. Sichuan Environment, 2014(3): 102-107. (in Chinese))
- [12] 汤洁, 张爱丽, 侯克怡, 等. 辽河重污染支流招苏台河径流和泥沙模拟研究[J]. 水土保持研究, 2014(2): 111-115. (TANG Jie, ZHANG Aili, HOU Keyi, et al. The simulation of the runoff and sediment in the Liaohedahuofang heavy polluting area[J]. Soil and Water Conservation, 2014(2): 111-115. (in Chinese))
- [13] 李泽利, 吕志峰, 赵越, 等. 新安江上游流域 SWAT 模型的构建及适用性评价[J]. 水资源与水工程学报, 2015, 01: 25-31. (LI Zeli, LYU Zhifeng, ZHAO Yue, et al. Construction and evaluation of the SWAT model in the upper basin Xinanjiang basin[J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2015(1): 25-31. (in Chinese))
- [14] 金婧靓, 王飞儿, 戴露莹, 等. 苕溪流域非点源污染特征及其影响因子[J]. 应用生态学报, 2011(8): 2119-2125. (JING Jingliang, WANG Feier, DAI Luying, et al. Impact factor of the non point source pollution in the Shao River watershed[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011(8): 2119-2125.
- [15] 庞靖鹏, 刘昌明, 徐宗学. 基于 SWAT 模型的径流与土壤侵蚀过程模拟[J]. 水土保持研究, 2007(6): 88-93. (PANG Jingpeng, LIU Changming, XU Zhongxue. The Simulation of the runoff and soil erosion based on the SWAT model[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2007(6): 88-93. (in Chinese))
- [16] 杨巍, 汤洁, 李昭阳, 等. 基于 SWAT 模型的大伙房水库汇水区径流与泥沙模拟[J]. 水土保持研究, 2012(2): 77-81. (YANG Wei, TANG Jie, LI Zhaoyang, et al. The simulation of the runoff and sediment by the SWAT Model In the Dahuofang Reservoir catchment[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2012(2): 77-81. (in Chinese))
- [17] 余丹, 孙丽娜, 于俊峰, 等. 基于 SWAT 的猫跳河流域径流及土壤侵蚀模拟研究[J]. 中国农学通报, 2012(17): 256-261. (YU Dan, SUN Lina, YU Junfeng, et al. The simulation of the runoff and sediment by the SWAT Model in the Maotiao river[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012(17): 256-261. (in Chinese))
- [18] 张晓云. 基于 SWAT 模型的水土保持措施减流减沙效益评价[D]. 福州: 福建师范大学, 2012. (ZHANG Xiaoyun. The assessment of the benefit of the reduction of runoff and sediment based on soil and water conservation measures SWAT model[D]. Fuzhou: Fujian Normal University, 2012. (in Chinese))
- [19] 刘金涛, 宋慧卿, 张行南, 等. 新安江模型理论研究的进展与探讨[J]. 水文, 2014(1): 1-6. (LIU Jintao, SONG Huiqing, ZHANG Xingnan, et al. The Progress and discussion of theoretical research of the Xinanjiang model[J]. Journal of the Hydrology, 2014(1): 1-6. (in Chinese))
- [20] Neitsch S L, Arnold J G, Kiniry J R, et al. Soil and water assessment tool theoretical documentation, Version 2000. <http://www.brc.tamus.edu/swat/>. 2001.