DOI:10.15928/j.1674-3075.2020.04.005

# 基于SWAT模型的张家口清水河流域径流模拟

王 磊[1,2],杜 欢[3],谢建治[2]

(1.北京市农林科学院 植物营养与资源研究所,北京 100097;
2.河北农业大学 资源与环境学院,河北 保定 071000;
3.四川水利职业技术学院,四川 成都 610000)

**摘要**:水资源问题是制约我国社会经济可持续发展的重要因素。以张家口市清水河流域为研究区域,基于GIS构建流域的SWAT分布式水文模型,对影响径流模型结果的几个重要参数进行敏感性分析,并应用SWAT-CUP软件进行参数率定,利用2013-2016年的实测径流量进行模型验证,分别计算气候和土地利用变化对径流量的贡献率。结果表明,校准期的效率系数(NSE)为0.74,决定系数($R^2$)为0.72;验证期的NSE系数为0.76,($R^2$)为0.78。气温变化对径流量变化的贡献率为36.3%,而土地利用变化对径流量变化的贡献率为10.5%,气温和土地利用变化对径流量的变化均产生一定作用,但就作用大小而言,气候变化的作用相对较大。基于这些评价指标,可知SWAT模型在张家口清水河流域径流模拟中具有很好的可靠性和适用性,可以作为该流域水资源综合管理的支撑模型之一。

**关键词**:SWAT模型;清水河流域;径流模拟;贡献率

**中图分类号**:P343.1 **文献标志码**:A **文章编号**:1674-3075(2020)04-0034-07

随着全球变暖与人口不断增加,各种自然灾害频发,水资源短缺,环境污染严重等问题层出不穷,因此水资源问题已成为制约我国社会经济可持续发展的重要因素(周正青,2012)。SWAT模型(Soil and Water Assessment Tool)是在30年前由美国农业部(USDA)和农业研究中心(ARS)针对较大尺度流域开发的、具有很强物理机制的、长时间的分布式水文模型(李谦等,2015)。该模型综合考虑了自然因素和社会因素,能够较好地模拟地表径流过程。Arnold & Allenb(1996)使用SWAT模型对不同农业管理措施下的3个流域进行了对比模拟研究;Behera & Panda(2006)利用SWAT模型研究了半干旱地区流域土地利用与径流的关系,认为土地利用变化是影响径流变化的重要因素;唐为安等(2015)研究了土地利用变化对淮河干流上中游径流的影响,发现土地利用变化是引起径流变化的主导因素;李勇(2014)基于SWAT模型分析了汾河水库流域不同时期土地利用变化对径流的贡献率,认为土地利用变化对汾河径流有一定的影响,虽然影响程度不大,却是一个不可忽略的影响因素。

自2015年河北张家口崇礼区被确立为2022年冬奥会举办地后,随着政策扶持、经济社会飞速发展和城市化进程加快,土地利用方式必然会随着人类对自然资源的利用和改造发生改变,不当的土地利用方式将导致流域水量失衡,从而引发众多生态环境问题。因此,本文以张家口清水河流域为研究区域,在GIS技术的支持下,应用SWAT模型对清水河流域径流进行模拟,以期为张家口清水河流域周边地区的水土保持及水环境保护提供参考。

## 1 研究区概况

清水河属洋河的重要支流,上游地区位于河北省张家口市崇礼区,主要由东沟、中沟和西沟组成(114°27′~115°30′E,40°46′~41°17′N,图1)。崇礼区总体地势为东北高西南低,东沟发源于河北省张家口市崇礼区桦皮岭,顺流而下到场地与中沟汇合,继续向下到朝天哇大桥与西沟汇合,流经张家口市区,南下汇入洋河。流域海拔高度813~2 174 m,山峰连绵起伏,沟壑交错。河道全长109 km,流域面积2 380 km$^2$。东、中、西3条大沟降雨量差异较大,年际降雨总量为11.3×10$^8$ m$^3$。流域地处东亚大陆性季风气候中温带亚干旱区,冬季较冷,而春季升温较快,年均气温3.3℃(张欣等,2017)。

**收稿日期**:2018-11-02

**基金项目**:国家科技重大专项(2015ZX07203-005);北京市农林科学院植物营养与资源研究所自主立项课题(YZS2019010)。

**作者简介**:王磊,1993年生,男,研究实习员,硕士,研究方向为农业面源污染治理。E-mail:314429112@qq.com

**通信作者**:谢建治,1969年生,男,教授,博士,主要从事农业环境保护研究。E-mail:Xiejianzhi@163.com

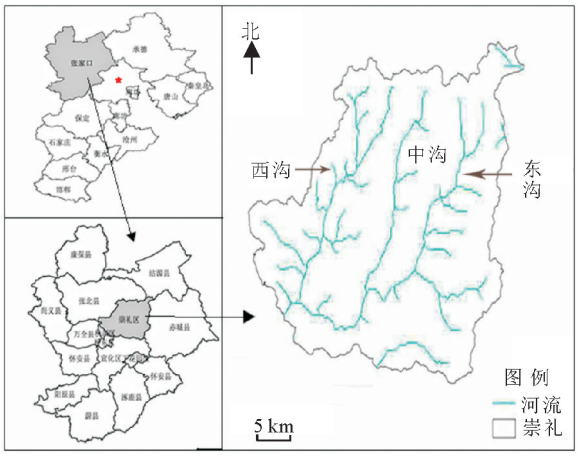


**图 1　研究区域位置**

**Fig.1　Geographic location of the study area**

## 2　基础数据库的建立

SWAT 模型数据库包括空间数据库和属性数据库，收集数据包括流域数字高程模型(Digital Elevation Model，DEM)、土壤、坡向、坡度、土地利用、气象水文数据等，这些数据要求在同一投影和空间坐标系之下。

### 2.1　空间数据库

2.1.1　流域数字高程模型　本文采用地理空间数据云(www.gscloud.cn)平台提供的精度为 90 m 的 DEM 数据，下载后经 ArcGIS 裁剪、转换投影和拼接等步骤得到研究区域的 DEM 图(图 2)。

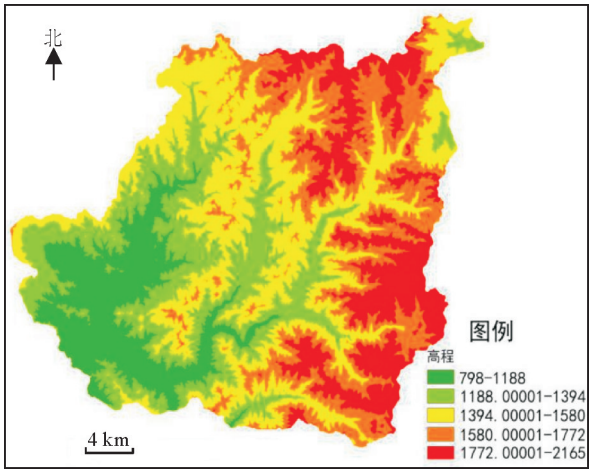


**图 2　张家口清水河流域高程**

**Fig.2　Digital elevation map of Qingshui River basin in Zhangjiakou City**

2.1.2　土壤类型图　土壤数据来源为寒区旱区科学数据中心(http://westdc.westgis.ac.cn/)。土壤类型分布图截取自第二次土壤普查的 1∶100 万中国土壤图，过程中需要考虑剖面与图斑的位置和距离、土壤剖面数量以及土壤分类信息，得到模型所需的流域土壤类型分布图(图 3)。

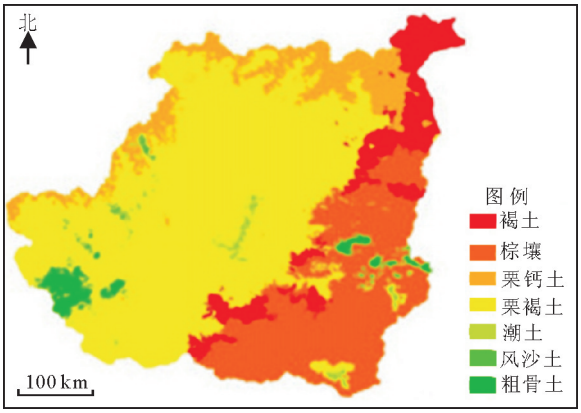


**图 3　张家口清水河流域土壤类型分布**

**Fig.3　Soil map of Qingshui River basin in Zhangjiakou City**

2.1.3　土地利用图　结合野外实测数据，利用 2015 年地理空间数据云 Landsat 影像数据，在 ArcGis 10.2 和 ERDAS IMAGINE 9.3 软件平台下进行人工解译，得到 2015 年张家口清水河流域土地利用图，分辨率为 30 m。研究区的土地利用分类见图 4，分类及代码见表 1。

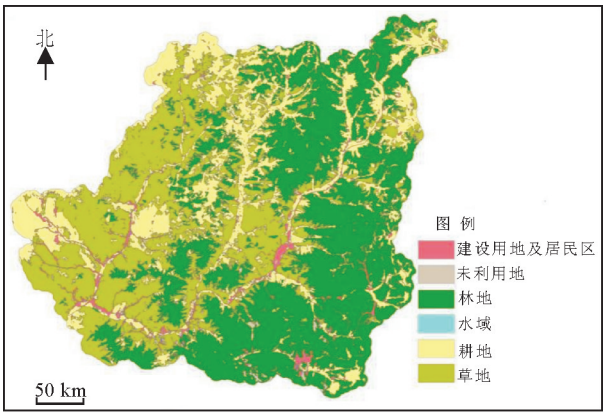


**图 4　2015 年张家口清水河流域土地利用**

**Fig.4　Land use map of Qingshui River basin in Zhangjiakou City (2015)**

**表 1　张家口清水河流域土地利用重分类索引**

**Tab.1　Land use classification index for the Qingshui River basin，Zhangjiakou City**

| SWAT 代码 | 名称 | 值 | SWAT 代码 | 名称 | 值 |
|---|---|---|---|---|---|
| AGRL | 旱地 | 12 | WATR | 河渠 | 41 |
| FRST | 有林地 | 21 | WATR | 湖泊 | 42 |
| FRST | 灌木地 | 22 | WATR | 滩地 | 46 |
| FRST | 疏林地 | 23 | URBA | 城镇用地 | 51 |
| FRST | 其他林地 | 24 | URBA | 农村居民点 | 52 |
| PAST | 高覆盖度草地 | 31 | URBA | 建设用地 | 53 |
| PAST | 中覆盖度草地 | 32 | UNLD | 沙地 | 61 |
| PAST | 低覆盖度草地 | 33 | UNLD | 裸土地 | 65 |

## 2.2　属性数据库的建立

2.2.1　气象水文数据　本文所运用的气象数据来自于寒区旱区科学数据中心的 CMADS V1.1 数据集(孟现勇等,2017),数据集中包含 2008—2016 年的气象数据,包括日平均温度、日最高/低温度、日累计 24 h 降水量等。数据源空间范围为0～60°N,60～160°E,研究区域空间范围为40°46′～41°17′N,114°27′～115°30′E。使用方法是查询该研究区域内的气象站点,并查找选择研究区内记录所有站点名。本次研究区内共有 4 个气象站点,然后进行数据提取,按照规定格式最终建立 SWAT 模型需要的全部索引表(以降水站点为例,见表 2 和图 5),用 SWAT 模型读取以上 FORK 文件即可完成全部站点的加载工作,格式为.dbf 文件。

**表 2　研究区域 CMADS 气象站点分布**

**Tab.2　Distribution of CMADS meteorological stations in the study area**

| ID | NAME | LAT | LONG | ELEVATION |
|---|---|---|---|---|
| 65821 | 1 | 41.031250 | 114.781250 | 1547.000 |
| 65822 | 2 | 41.031250 | 115.031250 | 1122.000 |
| 65823 | 3 | 41.031250 | 115.281250 | 1514.000 |
| 66224 | 4 | 41.281250 | 115.531250 | 1484.000 |

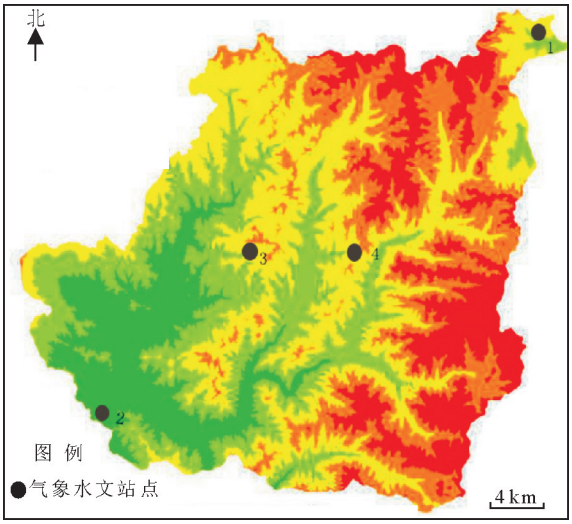


**图 5　研究区域气象水文站点位置**

**Fig.5　Location of the meteorological and hydrological stations in the study area**

2.2.2　土壤属性库　本次研究数据来源于地理空间数据云网站,是我国在 1979－1985 年进行的第二次土壤普查数据,数据使用国际制土壤粒径分类标准,而 SWAT 模型使用 USDA 简化的美制土壤粒径级配标准,这就导致了粒径分类标准存在差异。为了更好地达到模型适用性标准,本文使用双参数修正的经验逻辑生长模型转换土壤粒径。国际制与美国制区别(杨国敏和王晓凤,2013)如表 3 所示。

**表 3　土壤粒径分类原则区别**

**Tab.3　Soil particle size classification criteria**

| 制式 | 国际制/mm | 美国制/mm |
|---|---|---|
| 粘粒 | <0.002 | <0.002 |
| 粉砂 | 0.002～0.02 | 0.002～0.05 |
| 细砂粒 | 0.02～0.2 | 0.05～2.0 |
| 粗砂粒 | 0.2～2.0 | |
| 石砾 | >2.0 | >2.0 |

根据研究区域土壤中砂土、粘土等已知量,利用 SPAW 软件计算得到土壤数据库中所需参数,这些参数均不在我国大部分地区的监测范围。软件打开的界面如图 6 所示。

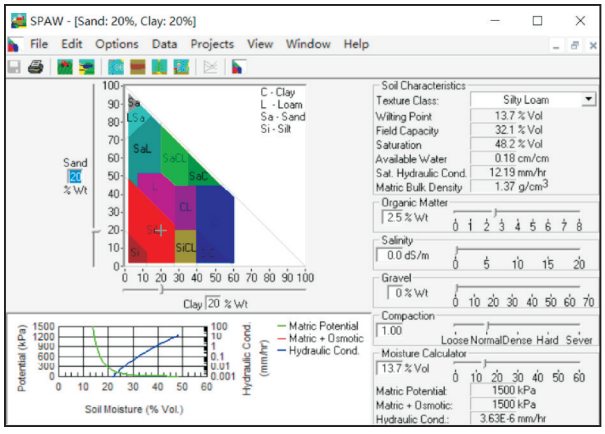


**图 6　SPAW 软件起始界面示意图**

**Fig.6　SPAW software interface diagram**

通过填入已知的土壤参数,如 Sand、Clay 等,就可以计算得到所需要的 3 个参数(王蕾,2017):

SOL_BD(土壤湿密度)＝Bulk Density

SOL_AWC(有效持水量)＝Field Capacity(田间持水量)－Wilting Point(饱和导水率)

SOL_K(饱和导水率)＝Sat Hydraulic Cond

值得注意的是,在 SPAW 软件中需要做的第一步就是要选择单位,使用国际单位制,选择 Metric。

USLE 方程中土壤侵蚀因子 $K$ 值的计算公式如下:

$$K_{\mathrm{USLE}} = f_{\mathrm{csand}} \times f_{\mathrm{cl-si}} \times f_{\mathrm{orgc}} \times f_{\mathrm{hisand}} \tag{1}$$

式中:$f_{\mathrm{csand}}$为粗糙沙土质地土壤侵蚀因子;$f_{\mathrm{cl-si}}$为粘壤土土壤侵蚀因子;$f_{\mathrm{orgc}}$为土壤有机质因子;$f_{\mathrm{hisand}}$为高砂质土壤侵蚀因子(戴露莹等,2012)。

$$F_{\mathrm{csand}} = 0.2 + 0.3 \times \mathrm{e}^{[-0.256 \times s_d (1-\frac{s_i}{100})]} \tag{2}$$

$$f_{\mathrm{cl-si}} = \left(\frac{s_i}{s_i + c_l}\right)^{0.3} \tag{3}$$

$$F_{\mathrm{orgc}} = 1 - \frac{0.25c}{c + \mathrm{e}^{(3.72-2.95c)}} \tag{4}$$

$$F_{\text{hisand}}=1-\frac{0.7\times(1-\frac{s_d}{100})}{(1-\frac{s_d}{100})+e^{[-5.51+22.9\times(1-\frac{s_d}{100})]}} \quad (5)$$

式中：$s_d$ 为砂粒含量百分数；$s_i$ 为粉粒含量百分数；$c_l$ 为粘粒含量百分数；$c$ 为有机碳含量百分数。

### 2.3　子流域划分及水文相应单元生成

使用 SWAT 模块中的自动水系提取功能（Automatic Watershed Delineation）加载研究区域 DEM 图，根据 DEM 数据生成河网，并对研究流域总出口进行界定，以此来划分子流域，并计算其参数。最后采用适度指数法在集水面积阈值 42 $km^2$ 的尺度上，将研究区共划分为 23 个子流域，结果如图 7。

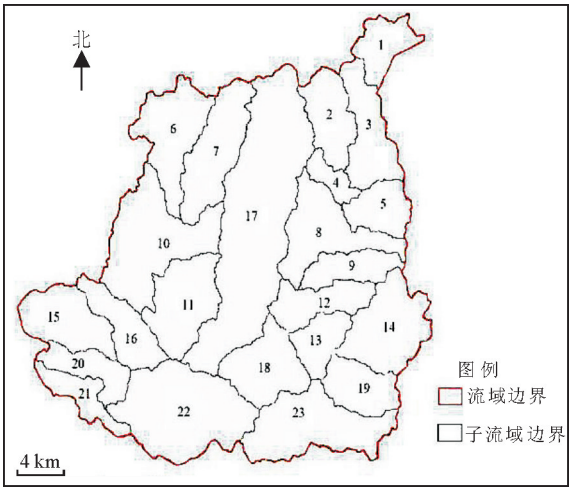


**图 7　子流域划分**

**Fig.7　Sub-basins of the Qingshui River basin**

HRU 是 SWAT 模型所特有的地方。在子流域的基础上，根据土地利用数据、土壤类型和坡度，将流域划分为具有独特的土地利用和土壤组合的区域，使该模型能够反映不同土地利用/覆盖、土壤和其他水文条件的差异。对每个 HRU 分别进行径流预测以获得流域的总径流量，增加预测的准确性，并提供了更好的水平衡的物理描述。如果每个子流域都有一个 HRU，在每个流域内主要土地利用类型、土壤类型和坡度等级决定 HRU；如果每个子流域都有多个 HRU，则由用户决定土壤、坡度和土地利用的阈值，这些数据将用于确定每个流域的 HRU 的数量和种类。本研究依据研究区域的多因子数据，通过运行 ArcGIS 空间叠加功能，对研究区流域进行 HRUs 划分（李忠娟等，2013）。水文响应单元生成选择 HRU Analysis 下拉菜单中 Land Use/Soil/Slope Definition，加载土地利用数据和土壤类型数据。首先必须利用 ARCGIS 分析研究区的坡度，然后进行坡度定义，根据 DEM 数据对研究区域流域按坡度划分为 5 级，最后进入 HRU definition，目的是限制 HRU 生成数目。为确保模型的准确性，子流域内的响应单元一般不多于 6 个。本研究采用的阈值为土壤类型 15%、土地利用 10%、坡度类型 10%，总计划分了 99 个水文响应单元（HRU）。

### 2.4　模型运行

在定义 HRU 之后输入气象数据，打开 Write Input Tables 下拉菜单中的 Weather Data Definition 对话框，此工具允许用户将气象站位置加载到当前项目中，并将天气数据分配给 HRU。对于每种类型的天气数据，每个 HRU 都与一个 HRU 相连。SWAT 为使用模型输出文件和保存模型模拟结果提供了一些基本工具，还可以使用 VIZSWAT 查看和分析 SWAT 模型的输出文件。通过模型的输出文件，后期进行敏感性分析和参数率定。

## 3　结果与分析

### 3.1　参数敏感性及率定

在径流模拟过程中，本文利用 SWAT-CUP（SWAT-Calibration and Uncertainty Programs）软件进行自动率定，然后结合率定结果进行手动调错（张春辉和王炳亮，2018），最终确定了对径流敏感度等级最高的 5 个参数（表 4）进行参数率定，SWAT-CUP 软件结构如图 8，其多元回归模型进行参数敏感性分析方程如下：

$$G=A+\sum_{n=1}^{m}\beta_n B_n \quad (6)$$

式中：$G$ 为功能函数值；$A$ 为待定常数；$\beta_n$ 为参数的待定系数；$B_n$ 为参与敏感性分析的参数。

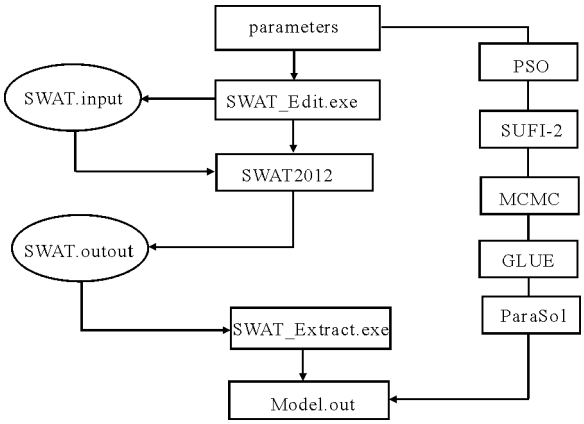


**图 8　SWAT-CUP 结构图**

**Fig.8　SWAT-CUP structure diagram**

**表4 径流率定参数物理意义及最终取值**

**Tab.4 Calibration parameters of runoff and final values**

| 序号 | 参数 | 含义 | 模型提取参数 | 参数最终取值 | 参数储存文件 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | CN2 | 径流曲线 | 35～98 | 61 | .mgt |
| 2 | SOL_AWC | 土层有效含水量 (mm $H_2O$/mm soil) | 0～0.5 | 0.2 | .sol |
| 3 | ESCO | 土壤蒸发补偿因子 | 0～1 | 0.2 | .hru |
| 4 | EPCO | 植物吸收补偿系数 | 0～1 | 0.1 | .sol |
| 5 | REVAP | 地下水再吸收系数 | 0～1 | 0.05 | .hru |

## 3.2 模型评价

根据获取的张家口清水河流域水文站点2008－2016年径流实测数据，将模型预热期设为2008－2009年，校准期设定为2010－2013年，验证期设定为2014－2016年。2010－2015年张家口清水河流域土地利用变化见表5，具体模拟结果见表6和图9～11，气温和土地利用对径流量变化的贡献率分析见表7。本文采用决定系数($R^2$)和效率系数(NSE)评价模型适用性。

决定系数($R^2$)表示模型模拟值与实测值的变化趋势。计算公式如下：

$$R^2=\left[\frac{\sum(M-\overline{M})(S-\overline{S})}{\sqrt{\sum(M-\overline{M})^2(S-\overline{S})^2}}\right]^2 \tag{7}$$

Nash-Sutcliffe效率系数(NSE)表示模型的总体效率，NSE越高，表明模型可信度越高，计算公式如下：

$$\mathrm{NSE}=1-\frac{\sum_{i=1}^{n}(S-M)^2}{\sum_{i=1}^{n}(S-\overline{M})^2} \tag{8}$$

式中：$M$表示模拟值；$S$表示实测值；$\overline{M}$为模拟平均值；$\overline{S}$为实测平均值；$n$为实测值个数。

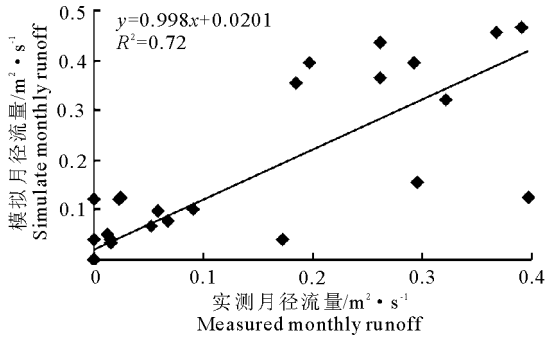


**图9 校准期月径流量实测值与模拟值散点分布**

**Fig.9 Scatter plots of measured and simulated monthly runoff during calibration period**

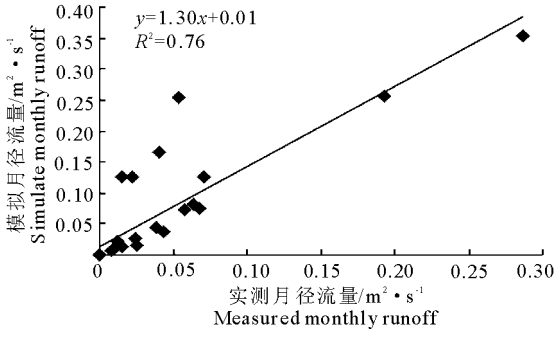


**图10 验证期月径流量实测值与模拟值散点分布**

**Fig.10 Divergence point distribution of monthly runoff during verification period**

由图11可知，校准期和验证期的月均径流量决定系数($R^2$)均大于0.6，Nash-Sutcliffe效率系数均大于0.5，均达到了模型评价要求，因此SWAT模型在张家口清水河流域模拟效果较好、适用性高。

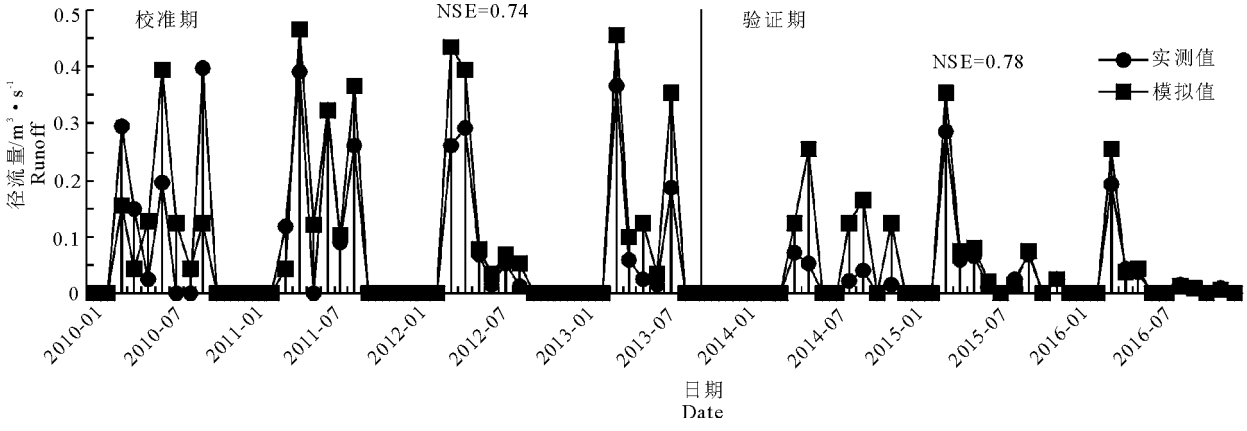


**图11 校准期月径流模拟值和实测值比较**

**Fig.11 Comparison of measured and simulated monthly runoff in the calibration period**

## 3.3 气温和土地利用变化对地表径流的贡献率

由于气象数据的缺失和遥感数据的局限，本文将2010年土地利用作为未经人类影响阶段数据，将2015年作为经过人类活动影响后的数据，将土地利用变化和气温变化影响部分量化后进行对比分析(白淑英等，2013)，计算公式(王学，2012)如下：

$$\eta_l = \frac{\triangle W_l}{\triangle W_T} \times 100\% \tag{9}$$

$$\eta_C = \frac{\triangle W_C}{\triangle W_T} \times 100\% \tag{10}$$

式中：$\Delta W_l$、$\Delta W_C$ 分别表示土地利用变化、气温变化的影响量；$\Delta W_T$ 表示径流量的变化总量。$\eta_l$ 表示土地利用变化对径流量变化的影响率；$\eta_C$ 表示气温变化对径流量变化的贡献率。

**表 5　2010－2015 年张家口清水河流域土地利用变化**

**Tab.5　Land use changes in Qingshui River basin, Zhangjiakou City (2010－2015)**

| 年份 | 项目 | 土地利用类型 | | | | | | 合计 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 林地 | 草地 | 耕地 | 建设与居民区用地 | 未利用地 | 水域 | |
| 2010 | 面积/km² | 1145.85 | 649.22 | 480.61 | 43.07 | 14.90 | 0.46 | 2334.1 |
| | 比例/% | 49.09 | 27.81 | 20.59 | 1.85 | 0.64 | 0.02 | 100 |
| 2015 | 面积/km² | 1029.18 | 702.42 | 512.51 | 70.55 | 19.30 | 0.16 | 2334.1 |
| | 比例/% | 44.09 | 30.09 | 21.96 | 3.02 | 0.83 | 0.01 | 100 |
| 变化速率/% | | －3.05 | 6.58 | 2.92 | 19.31 | 23.22 | －9.48 | |

**表 6　人类活动影响阶段与基础阶段的径流量**

**Tab.6　Runoff at the influence stage and foundation stage of human activities**

| 模型年限设定 | LUCC2010 | | LUCC2015 | |
|---|---|---|---|---|
| | 2008－2010 | 2011－2015 | 2008－2010 | 2011－2015 |
| 年均径流量/$m^3 \cdot h^{-1}$ | 262.44 | 205.2 | 245.88 | 164.88 |

**表 7　气温和土地利用对径流量变化的贡献率分析**

**Tab.7　Analysis of the contribution of air temperature and land use to the change of runoff**

| 类别 | 气温变化 | 土地利用变化 | 气温与土地利用总变化 | 实际变化 |
|---|---|---|---|---|
| 年均径流量/$m^3 \cdot h^{-1}$ | －57.24 | －16.56 | －97.56 | －157.5 |
| 贡献率/% | 36.3 | 10.5 | 61.9 | 100 |

根据表 7 可知，气温变化对径流量变化的贡献率为 36.3%，而土地利用变化对径流量变化的贡献率为 10.5%。这可能是因为张家口清水河流域一年可分为融雪期与汛期两个时期。融雪期流域中的一部分径流主要由随着气温的上升融雪汇聚而成，而在汛期主要由降水产生。

本研究结果表明，在张家口清水河流域，气候和土地利用变化对径流量的变化均产生一定作用，且气候因素的贡献相对较大。需要说明的是，张家口清水河流域气温变化和土地利用变化对于径流量变化的总贡献率为 61.9%；很显然，气温变化和土地利用变化是张家口清水河流域径流量变化的两大主导因素，二者均对流域径流量变化产生重要作用。

**参考文献**


白淑英，王莉，史建桥，等，2013. 基于 SWAT 模型的开都河流域径流模拟[J]. 干旱区资源与环境，27(9)：79－84.

戴露莹，王飞儿，俞洁，2012. 基于 GIS 的东苕溪典型小流域土壤侵蚀风险评估[J]. 农业环境科学学报，31(9)：1777－1784.

李谦，张静，宫辉力，2015. 基于 SUFI－2 算法和 SWAT 模型的妫水河流域水文模拟及参数不确定性分析[J]. 水文，35(3)：43－48.

李勇，2014. 汾河水库流域土地利用变化对径流影响研究[D]. 郑州：郑州大学.

李忠娟，马孝义，李贤波，等，2013. 基于 SWAT 模型的三水河流域径流模拟[J]. 节水灌溉，(4)：22－25，29.

孟现勇，王浩，刘志辉，等，2017. 基于 CLDAS 强迫 CLM3.5 模式的新疆区域土壤温度陆面过程模拟及验证[J]. 生态学报，37(3)：979－995.

唐为安，田红，卢燕宇，等，2015. 1961－2010 年降水和土地利用变化对淮河干流上中游径流的影响[J]. 生态环境学报，24(10)：1647－1653.

王蕾，魏晓妹，降亚楠，等，2017. 关中平原灌区 SWAT 模型基础数据库的构建[J]. 水电能源科学，35(7)：13－17.

王学，2012. 基于 SWAT 模型的白马河流域土地利用/覆被变化的水文效应研究[D]. 济南：山东师范大学.

杨国敏，王晓凤，2013. SWAT 模型数据库的构建——以赵王河流域为例[J]. 环境科学与管理，38(1)：30－33.

张春辉，王炳亮，2018. CMADS 与传统气象站数据驱动下的 SWAT 模型模拟效果评价——以苦水河流域为例[J]. 中国农村水利水电，(6)：52－57.

张欣，梁敬，于铄，等，2017. 清水河流域山区坡面土壤养分分布特征[J]. 河北农业大学学报，40(6)：27－32，38.

周正青，2012. 我国水资源可持续利用面临的问题及对策[J]. 法制与经济，(8)：101－102.

Arnold J G, Allenb P M, 1996. Estimating hydrologic budgets for three Illinois watersheds[J]. Journal of Hydrology, 176：57－77.

Behera S, Panda R K, 2006. Evaluation of management alternatives for an agricultural watershed in a sub-humid subtropical region using a physical process based model [J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 113：62－72.


（责任编辑　万月华）

# SWAT Based Runoff Simulation of Qingshui River Basin in Zhangjiakou City

WANG Lei[1,2], DU Huan[3], XIE Jian-zhi[2]

(1.Institute of Plant Nutrition and Resources, Beijing Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Beijing 100097, P.R.China;
2.College of Resources and Environmental Sciences, Agricultural University of Hebei, Baoding 071000, P.R.China;
3.Sichuan Institute of Water Conservancy Technology, Chengdu 610000, P.R.China)

**Abstract**: Water resource limitations are restricting sustainable development of the social economy in China. In this study, the Qingshui River basin of Jiangjiakou City was selected for research, and runoff from the Qingshui River basin was simulated using the Soil & Water Assessment Tool (SWAT) distributed hydrological model. After calibration, the model was used to analyze the effects of changing land use and air temperature on runoff. The construction, calibration and verification of the SWAT model was based on the DEM, land use, land type and CMADS meteorological and hydrological data. Model sensitivity analysis was carried out on several parameters that have a pronounced effect on runoff, and SWAT-CUP (Calibration Uncertainty Program) software was used to analyze uncertainty. The Nash-Sutcliffe model efficiency (NSE) coefficient and determination coefficient ($R^2$) were used to evaluate the reliability of the SWAT model. The NSE and $R^2$ values were, respectively, 0.74 and 0.72 for the calibration period and 0.76 and 0.78 for the validation period, indicating good model predictive power. Air temperature and land use changes were the primary factors affecting runoff in the Qingshui River basin, with temperature change making the largest contribution. The contribution of temperature change to runoff change was 36.3%, while the contribution of land use to runoff change was 10.5%. The SWAT model has good reliability and applicability for simulating runoff in the Qingshui River basin and can provide technical support for the integrated management of water resources in the basin.

**Key words**: SWAT model; Qingshui River basin; runoff simulation; contribution