

基于 SWAT 模型的中尺度流域气候变化水文响应研究

于磊^{1,2}, 顾镡¹, 李建新², 朱新军²

(1. 山东理工大学 资源与环境工程学院, 山东 淄博 255049; 2. 水利部 海河水利委员会, 天津 300170)

摘要: 基于 2002—2004 年气象资料, 选择一中尺度流域——漳卫南流域, 采用 SWAT 模型的 ArcView 界面 AVS2000 构建了分布式水文模型, 并以流域现状气象条件为基准, 设置了 24 种不同气候情景, 以流域径流量、腾发量 (E_T) 和产水量 3 个 SWAT 模型输出指标定量分析了气候变化对流域水循环的影响。模拟结果表明气候变化对于流域腾发量 (E_T)、地表径流量和产水量均有显著影响: 流域降水量增加, 流域腾发量 (E_T)、径流量和产水量都随之相应增加; 流域气温增加, 腾发量 (E_T) 随之相应增加, 但径流量和产水量随气温增加而相应降低。研究结果对于变化环境下的流域水资源管理具有一定的意义。

关键词: SWAT 模型; 气候变化; 水文响应; 中尺度

文献标识码: B

文章编号: 1000—288X(2008)04—0152—03

中图分类号: P467, P334

A Study of Hydrologic Responses to Climate Change in Medium Scale Basin Based on SWAT

YU Lei^{1,2}, GU liu¹, LI Jian-xin², ZHU Xin-jun²

(1. School of Resources and Environment Engineer, Shandong University of Technology, Zibo, Shandong 255049, China; 2. Haihe River Water Conservancy Commission, Tianjin 300170, China)

Abstract: The SWAT model is a distributed hydrologic model with the ability of evaluating the hydrologic responses to climate change. Its ArcView interface version AVS2000 is applied to analyze 2000 - 2004 basic data observed from the Zhangweinan basin on medium scale. Based on the current climate, 24 kinds of climate scenarios are set to simulate the hydrologic responses to climate change. Runoff, evapotranspiration, and water yield are selected to quantitatively analyze climate change impacts on hydrologic responses. Result from the research shows that runoff, evapotranspiration, and water yield of the basin are affected greatly by climate change. Runoff, evapotranspiration, and water yield also increase with increasing precipitation. When temperature rises, evapotranspiration increases, but runoff and water yield decrease. The research may be helpful to water resource management under climate change.

Keywords: SWAT; climate change; hydrologic response; medium scale

SWAT (soil and water assessment tool) 模型主要用于模拟预测各种管理措施及气候变化对水资源供给的影响, 评价流域非点源污染现象^[1-3]。在国外, 美国学者 Cruise 等^[4]、Stone 等^[5-6]、Eckhardt 和 Ulbrich^[7]应用 SWAT 模型研究了气候变化的水文效应。还有一些学者分析了区域气候变化对地下水补给的影响^[8], 气候变化对高海拔山区流域产水量的影响^[9], 水库运作与供水的影响^[10]以及气候变化对地表水灌溉与河岸管理的影响^[11]等。近些年我国也有一些机构和学者应用 SWAT 模型对一些流域进

行了模拟研究, 但大多集中在水量模拟方面, 关于利用 SWAT 模型进行中尺度流域气候变化水文响应模拟的研究^[12-14]比较少。

本文选择漳卫南流域, 采用 SWAT 模型的 ArcView 界面——AVS2000 构建了分布式水文模型, 利用 SWAT 模型进行气候变化水文响应研究。

1 SWAT 模型简介

SWAT 是由美国农业部的农业研究中心 (USDA—ARS) 组织开发的一个具有很强物理机制的, 长

收稿日期: 2007-10-21

修回日期: 2007-12-24

资助项目: 世行 GEF 项目“KM 重点县及示范项目区水资源与水环境综合管理工具”(HW7-18-3)。

作者简介: 于磊 (1976—), 男 (汉族), 山东省胶州市人, 讲师, 博士, 主要从事水资源与水环境, 环境遥感和 GIS 应用研究。E-mail: yuleicust@163.com。

时段分布式模型,能够利用 GIS 和 RS 提供的空间信息,模拟研究区多种不同的水文物理过程,包括水、沙和化学物质的输移与转化过程。SWAT 模型自开发以来在美国、欧洲、亚洲和澳洲等地区有许多应用实例,并在应用中得到了不断发展^[15-18]。该模型得到广泛使用的另外一个重要原因是它的原代码是公开的,而且每次修改后就会公布新的源代码,可以方便用户根据实际需要改进模型。

2 研究区概况

漳卫南流域地处海河流域南部,位于东经 112°—118°,北纬 35°—39° 之间。主要河流自西向东分漳河、卫河、卫运河、南运河及漳卫新河共 5 条,流经山西、河北、河南、山东及天津 5 省(市)。流域面积 37 700 km²,流域总的地势是西南高东北低,大致分山地、平原两种地貌。属暖温带大陆性季风气候,多年平均降水量 608 mm,降水量年际、年内变化大^[19]。同时漳卫南流域是人为干扰因素严重的流域,流域内渠系水库众多,对流域自然水文过程影响很大。这给流域分布式水文模型的建立带来了一定的困难。

3 漳卫南流域 SWAT 模型的构建

本研究应用 SWAT 模型的 ArcView 界面——AVS2000 来构建漳卫南流域 SWAT 模型。构建 SWAT 模型需要研究区大量的基础资料和观测资料,SWAT 模型需要输入的数据主要有流域数字高程模型、土壤类型图、土地利用图、河系等空间数据。另外,模型模拟计算也使用研究区内气象站点的信息以及实测的气象数据如降雨、气温、风速、相对湿度、太阳辐射等。本次研究漳卫南流域 SWAT 模型建设中使用了 2000—2004 年共 5 a 的实测日均数据:降水量、最高和最低气温、太阳辐射、平均风速和相对湿

度。数据在输入模型前需要统一数学基础(坐标系统)。本次研究采用 Albers Equal—Area Conic 投影系统,参考椭球体为 Krasovsky。漳卫南流域 SWAT 模型共划分了 74 个子流域。附图 2—4 为本次漳卫南流域 SWAT 模型划分的子流域以及模型模拟的降雨量、蒸腾蒸发量(E_T)和地表径流空间分布图。

4 气候变化情景下流域水文响应模拟

4.1 气候变化情景设置

关于气候变化情景的设置比较复杂,本次研究建立的漳卫南流域未来气候变化情景具体设置为:降水量()变化为原来的 +20%, -20%, 0%, +10%, -10%; 气温()分别在原来的基础上变化 2, 1, 0, -1, -2 的情况。土地利用数据均采用 2002 年的土地利用数据。本研究模拟的漳卫南流域气候情景共有 24 种组合,如表 1 所示(其中 S_{33} 为现状气候条件)。

表 1 漳卫南流域气候变化情景设置

气温变化 $T/$	降水量 变化				
	$P \times$ (1+20%)	\times (1+10%)	\times (1-10%)	\times (1-20%)	\times (1-20%)
+2	S_{11}	S_{12}	S_{13}	S_{14}	S_{15}
+1	S_{21}	S_{22}	S_{23}	S_{24}	S_{25}
	S_{31}	S_{32}	S_{33}	S_{34}	S_{35}
-1	S_{41}	S_{42}	S_{43}	S_{44}	S_{45}
-2	S_{51}	S_{52}	S_{53}	S_{54}	S_{55}

4.2 结果与分析

将 24 种气候情景输入 SWAT 模型进行模拟计算,统计分析 24 组不同的气温和降水情景的蒸腾蒸发量 E_T 、径流、产水等的模拟计算,计算得出的蒸腾蒸发量、径流量、产水量及蒸腾蒸发变化率、径流变化率、产水变化率等见表 2。

表 2 不同气温和降水条件下的模拟结果

项目		降水量 变化				mm
		$\times(1-20\%)$	$\times(1-10\%)$	$\times(1+10\%)$	$\times(1+20\%)$	
腾 发 量	+2	422.06	457.07	477.95	492.83	488.34
	+1	419.80	454.62	475.39	490.19	485.73
		417.88	452.54	473.21	487.95	483.50
	-1	416.12	450.64	471.23	485.90	481.47
	-2	413.83	448.15	468.62	483.22	478.81
地 表 径 流	+2	37.36	47.48	60.14	74.37	95.54
	+1	37.92	48.19	61.03	75.48	96.96
		38.47	48.89	61.92	76.58	98.38
	-1	39.01	49.58	62.79	77.65	99.76
	-2	39.63	50.36	63.78	78.88	101.33

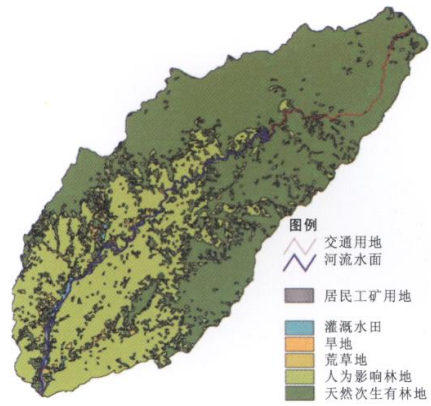
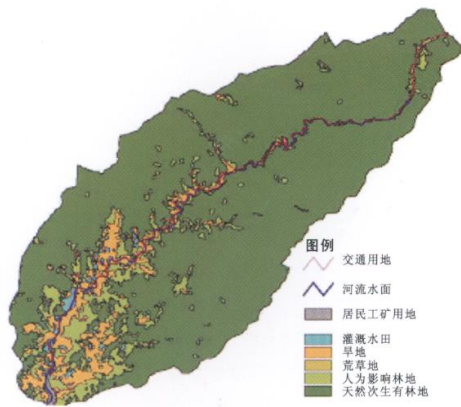
续表 2

项目	降水量 变化					
		$\times(1 - 20\%)$	$\times(1 - 10\%)$	$\times(1 + 10\%)$	$\times(1 + 20\%)$	
产 水 量	+2	78.82	95.00	117.27	142.13	176.22
	+1	79.84	96.23	118.78	143.97	178.50
		80.97	97.59	120.47	146.01	181.03
	-1	82.24	99.13	122.36	148.31	183.87
	-2	83.56	100.72	124.33	150.69	186.83

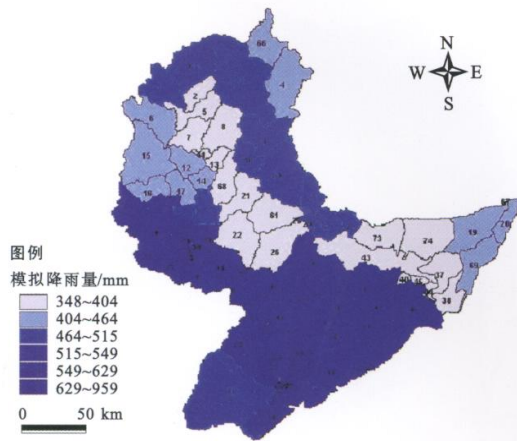
可以看出,漳卫南流域径流量、产水量与流域的气候条件关系十分密切。降水量的变化对腾发量、径流量、产水量影响显著,腾发量 E_T 、径流量和产水量都随降水量的增加而增大。这是因为随着漳卫南流域降水量的增大,水循环过程中流域的来水量也增加,从而腾发量、地表径流量及产水量也随之增加。气温变化对腾发量、径流量、产水量也有显著影响。腾发量随气温的增加而增大,但径流量及产水量却随温度的升高而减小。这是因为气温的升高,使流域的腾发量升高,流域的耗水量增加,因而地表径流量及产水量会相应地降低。

[参 考 文 献]

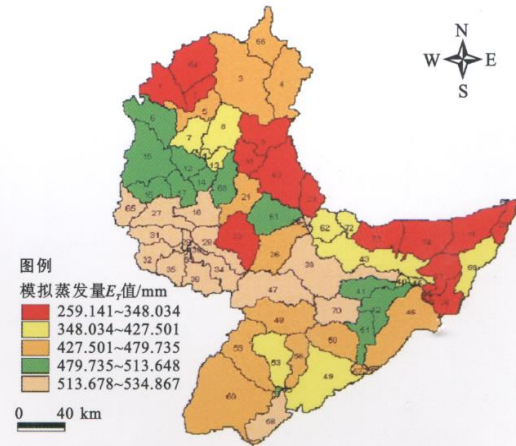
- [1] Arnold J G, Srinivasan R, Mutiah R S, et al. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development[J]. Journal of the American Water Resources Association, 1998, 34(1): 73—89.
- [2] Arnold J G, Fohrer N. SWAT2000: current capabilities and research opportunities in applied watershed modeling[J]. Hydrological Processes, 2005, 19: 563—572.
- [3] 于磊,朱新军. 基于 SWAT 的中尺度流域土地利用变化水文效应研究[J]. 水土保持研究, 2007, 14(4): 53—56.
- [4] Cruise J F, Limaye A S, Al-Abed N. Assessment of impacts of climate change on water quality in the southeastern United States[J]. Journal of the American Water Resources Association, 1999, 35(6): 1539—1550.
- [5] Stonefelt M D, Fontaine T A, Hotchkiss R H. Impacts of climate change on water yield in the upper Wind River basin[J]. Journal of the American Water Resources Association, 2000, 36(2): 321—336.
- [6] Stone M C, Hotchkiss R H, Hubbard C M, et al. Impacts of climate change on Missouri river basin water yield[J]. Journal of the American Water Resources Association, 2001, 37(5): 1119—1129.
- [7] Eckhardt K, Ulbrich U. Potential impacts of climate change on groundwater recharge and streamflow in a central European low mountain range[J]. Journal of Hydrology, 2003, 284: 244—252.
- [8] Rosenberg N J, Epstein D L, Wang D, et al. Possible impacts of global warming on the hydrology of the Ogallala aquifer region[J]. Climatic Change, 1999, 42(4): 677—692.
- [9] Hotchkiss R H, Jorgensen S F, Stone M C, et al. Regulated river modeling for climate change impact assessment: the Missouri river[J]. Journal of the American Water Resources Association, 2000, 36(2): 375—386.
- [10] Wollmuth J C, Eheart J W. Surface water withdrawal allocation and trading systems for traditionally riparian areas[J]. Journal of the American Water Resources Association, 2000, 36(2): 293—303.
- [11] Saleh A, Arnold J G, Gassman P W, et al. Application of SWAT for the Upper North Bosque River Watershed[J]. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 2000, 43(5): 1077—1087.
- [12] 陈军锋,陈秀万. SWAT 模型的水量平衡及其在梭磨河流域的应用[J]. 北京大学学报:自然科学版, 2004, 40(2): 265—270.
- [13] 杨桂莲,郝芳华,刘昌明,等. 基于 SWAT 模型的基流估算及其评价:洛河流域为例[J]. 地理科学进展, 2003, 22(5): 463—471.
- [14] 郝芳华,陈利群,刘昌明,等. 土地利用变化对产流和产沙的影响分析[J]. 水土保持学报, 2004, 18(3): 5—8.
- [15] Hotchkiss R H, Jorgensen S F, Stone M C, et al. Regulated river modeling for climate change impact assessment: the Missouri river[J]. Journal of the American Water Resources Association, 2000, 36(2): 375—386.
- [16] Neitsch S L, Arnold J G, Kiniry J R, et al. Soil and water assessment tool theoretical manual[M]. Texas: Grassland Soil Water Research Laboratory, 2002.
- [17] Kirsch, KJ, Kirsch, A, Arnold J G. Predicting Sediment and Phosphorus Loads in the Rock River Basin Using SWAT[J]. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 2002, 45(6): 1757—1769.
- [18] Neitsch S L, Arnold J G, Kiniry J R, et al. Soil and water assessment tool theoretical manual[M]. Texas: Grassland Soil Water Research Laboratory, 2002.
- [19] 水利部海委漳卫南运河管理局. 漳卫南运河水系水资源保护规划综合报告[R]. 1989.



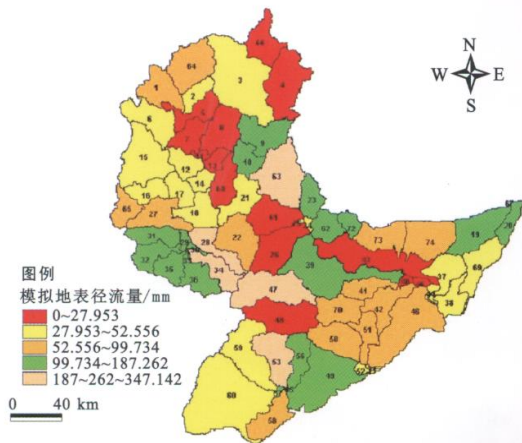
附图1 长安河流域1994, 2003年景观类型图



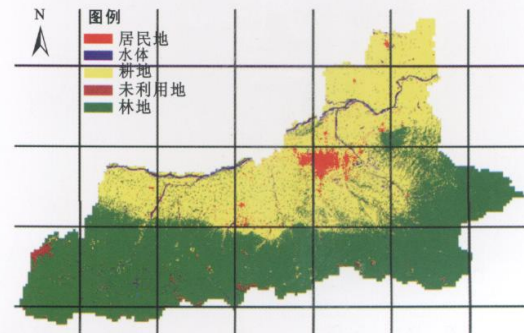
附图2 SWAT模型模拟降雨量空间分布



附图3 SWAT模型模拟蒸发量 E_t 值空间分布



附图4 SWAT模型模拟地表径流空间分布



附图5 西安地区1990年土地利用图