

# 变化情景下昆明市松华坝水源区径流变化研究

王 杰<sup>1</sup>, 黄 英<sup>1</sup>, 段琪彩<sup>1</sup>, 刘新有<sup>2</sup>

(1.云南省水利水电科学研究院, 云南 昆明 650228; 2.云南省水文水资源局, 云南 昆明 650228)

**摘 要:** 选用昆明市日气象资料、松华坝水源区降水资料, 结合水源区土壤及土地利用数据, 建立松华坝水源区 SWAT 模型。分别用水源区牧羊河流域中和站及冷水河流域白邑站的月径流资料对模型进行参数率定和验证。结合 IPCC 的 A1F1、B1 气候变化情景以及 15 种假定气候情景, 以 1993~1999 年为基准期, 用率定好的 SWAT 模型预估未来变化情景下松华坝水源区两流域径流变化。结果表明, 在 A1F1 和 B1 情景下牧羊河流域径流相对基准期分别减少 6.7% 和 5.3%, 而冷水河流域径流变化不大; 另外, 水源区温度升高 1℃, 牧羊河和冷水河径流分别减少 9.6% 和 1.53%; 若降水增加 10%, 则牧羊河和冷水河径流分别增加 22.55% 和 13.9%。这一结果为未来变化情景下水源区水资源调度管理提供依据。

**关键词:** 变化情景; 径流变化; 松华坝水源区

中图分类号: P338.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-0852(2013)05-0064-06

## 引言

为解决日益突出的水资源问题, 掌握水文系统各要素的变化规律, 探讨区域环境变化对水资源产生的影响, 已成为水资源研究的热点之一<sup>[1]</sup>。近年来众多的气候变化对水文系统不同时间和空间尺度影响的研究表明, 河流径流量和区域水资源量与气候变化的关系十分密切, 气候变暖将加剧水文循环过程, 增大极端水文事件发生的概率<sup>[2]</sup>。

在全球气候变化大环境下, 我国西南地区气温、降水、降水时段以及极端气候事件已发生一些显著的变化<sup>[3-4]</sup>, 尤其云南 2009~2011 年三年连旱事件已对云南城市水安全造成很大的影响。那么未来气候变化情景下云南城市水源地径流如何变化, 变化的幅度达到多少, 也是非常值得关注和研究的问题。作为云南政治、经济、文化中心, 昆明市是我国 14 个严重缺水城市之一, 水资源的短缺严重限制了城市社会经济的发展。松华坝水源区是昆明市重要的水源地, 松华坝水库更是昆明市人民的“生命线”, 担负着 3/4 以上的供水任务<sup>[5]</sup>。因此探讨变化情景下, 尤其是气

候变化条件下, 松华坝水源地径流变化具有重要的现实意义。

流域水文模型是模拟流域水文过程和认识流域水文规律的重要理论基础, 尤其是基于物理过程的分布式水文模型已经成为水文模拟技术发展的方向, 也是变化情景下预测流域径流变化必不可少的工具。SWAT (Soil and Water Assessment Tool) 是 20 世纪 90 年代早期 Arnold 等人开发的面向大中流域、长时间尺度的分布式水文模型, 它在 SWRRB 模型的基础上结合了 CREAMS、GLEAMS、EPIC、ROTO 等模型的优点发展而来, 是一个具有较强物理机制的分布式水文模型<sup>[6-12]</sup>, 可以对不同土壤条件、土地利用类型、气候状况和人类活动干扰下做出有效的产流、产沙模拟分析, 适用于面向水资源管理的长时段的水文过程模拟, 已在我国不同气候区有较好的应用<sup>[13-14]</sup>。

本文利用 SWAT 模型, 结合 IPCC 气候变化预测情景<sup>[15]</sup>以及不同气候变化情景假设, 以 1993~1999 为基准期, 分析未来气候变化情景下松华坝水源区牧羊河、冷水河流域径流量的变化, 以期水资源管理部门提供参考依据。

收稿日期: 2012-06-11

基金项目: 水利部公益性行业专项经费项目 (201001058, 201101042)

作者简介: 王杰 (1979-), 男, 甘肃静宁人, 理学博士学位, 主要从事水文水资源及遥感水文等相关研究。E-mail: wangjie@lzb.ac.cn

通讯作者: 黄英 (1959-), 女, 云南思茅人, 院长, 二级教高, 主要从事水文水资源方面研究。E-mail: swhhyy@126.com

## 1 研究区概况

松华坝水源区位于昆明市东北面,水源区集水面积 629.8km<sup>2</sup>。松华坝水源区属金沙江水系,冷水河、牧羊河及其支流和龙潭构成了水源区水系的基本形态。牧羊河和冷水河在寺山和狮子山之间汇合注入松华坝水库。牧羊河和冷水河以梁王山为分水岭,牧羊河中和水文站和冷水河白邑水文站集水面积分别为 357km<sup>2</sup>、46.9km<sup>2</sup>。水源区径流补给主要来自大气降水和地下水。水源区土壤类型主要有山原红壤、棕壤、(黄)红棕壤、水稻土等。区域内海拔 2 000m 以上的山区和半山区,占流域总面积的 93.5%。水源区属山地季风气候,年平均气温 12~26℃,年平均降水量大于 1 030.5mm,每年 5~10 月为雨季,降水量达 872.6mm,11~4 月为干季,降水量仅 112mm,降水随海拔高度增加而增加。

## 2 研究区数据及模型构建

### 2.1 气象及径流数据

气象数据用昆明市 1951~2009 年逐日气温(最高、最低)、降水、风速、相对湿度、日照时数。其中驱动模型所需的辐射数据,露点温度参照文献<sup>[16]</sup>方法计算。另选用松华坝水源区内中和站 1997~2009 年和白邑站 1993~2009 年日降水资料。

径流数据选用松华坝水源区牧羊河中和站和冷水河白邑水文站 1993~2009 年日流量资料,以对构建的 SWAT 模型进行参数率定和模型验证。

### 2.2 地理信息数据

#### 2.2.1 DEM 数据

本研究选用 90m 分辨率 SRTM 数字高程模型 (DEM),原数据为地理坐标,为满足模型输入要求,将其转化为 Albers 投影。

#### 2.2.2 土地利用数据

土地利用数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心提供的 2000 年全国土地利用数据,在松华坝水

源区内分布有 9 种类型。根据冯夏清等<sup>[2]</sup>的成果,将国家标准分类与 SWAT 模型中土地利用分类进行对照重新分类,获得松华坝水源区 SWAT 模型所需要的土地利用分类代码(见表 1)。

表 1 松华坝水源区土地利用从分类表

Table 1 The land use reclassification code in the Songhuaba water source area

编码	土地利用类型	SWAT 模型编码
11	水田	AGRL
12	旱地	
21	有林地	FRST
22	灌木林地	
23	疏林地	
31	高覆盖草地	PAST
32	中覆盖草地	
41	水体	WATR
52	居民地	URML

### 2.2.3 土壤数据

土壤数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心,比例尺为 1:100 万,在松华坝水源区内分布有 4 种土壤类型。其土壤粒径分级采用国际制,而 SWAT 模型土壤粒径分级采用美制,因此在建立土壤数据库前,先要将国际标准土壤粒径分级转化为美制分级。应用 MATLAB 软件编程进行三次样条插值计算得到以美制标准为基础的 CLAY、SILT、SAND、ROCK 百分含量,最后应用美国农业部开发的土壤水特性计算程序 SPAW 估算土壤可利用有效水量、饱和水力传导系数等参数<sup>[17]</sup>。另外查阅云南省土壤志资料<sup>[18]</sup>得到 SOL\_ZMX、SOL\_Z、SOL\_CRK 等参数。转换后的松华坝水源区土壤部分属性见表 2

### 2.3 研究区模型构建及模型评价方法

应用 ArcSWAT2009 工具,以集水面积 1 000hm<sup>2</sup> 为阈值,基于 90m DEM 进行研究区子流域划分,中和水文站集水区有 29 个子流域,白邑水文站集水区有 3

表 2 松华坝水源区土壤物理属性表

Table 2 The soil characteristic in the Songhuaba water source area

土壤编码	土壤类型	SWAT 土壤编码	土壤容重 / g·cm <sup>-3</sup>	土壤有效水量 / cm·cm <sup>-1</sup>	土壤饱和导水率 / mm·hr <sup>-1</sup>	土壤最小下渗速率 / mm·hr <sup>-1</sup>	土壤分类
23110121	红棕壤	HZR	1.35	0.15	26.48	7.4	B
23110141	棕壤	ZR	1.27	0.18	15.4	2.9	C
23119101	水稻土	SDT	1.55	0.11	11.75	10.1	A
23121124	山原红壤	SYHR	1.39	0.13	0.68	4.1	B

个子流域(见图1)。结合土地利用以及土壤空间分布图,设定土地利用类型在子流域中的占有比例 20%,土壤类型在土地利用类型中的占有比例 10%,坡度在子流域占有比例 10%为阈值,划分研究区水文响应单元(HRU),结果中和水文站集水区有 166 个 HRU,白邑水文站集水区有 19 个 HRU。模型构建后,地表径流产汇流模拟用 Daily rain/CN/Daily 算法,潜在蒸散量的模拟用 P-M 公式,河道演算用 Variable Storage 法。选择相对误差  $Re$ 、相关系数  $R^2$ 、和 Nash-Sutcliffe 效率系数  $NE$  作为标准,以评价模型在松华坝水源区的适应性<sup>[9]</sup>。

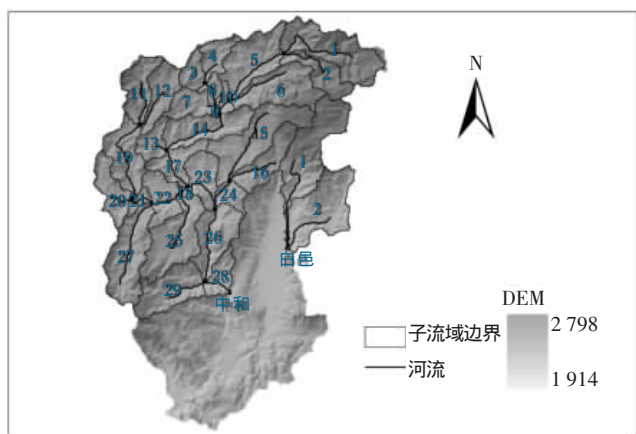


图1 松华坝水源区 SWAT 模型子流域划分图

Fig.1 Description of the subbasins in the Songhuaba water source area using SWAT model

### 3 结果与分析

#### 3.1 松华坝水源区径流模拟与验证

首先对松华坝水源区牧羊河、冷水河流域做参数敏感性分析<sup>[20]</sup>,对敏感性列前 10 位的参数用 SUFI2 方法<sup>[21-22]</sup>和手动调参相结合方法分别用牧羊河中和站、冷水河白邑站 1993~2001 年的月径流数据做参数率定,以 2002~2009 年为验证期,对模型进行验证,结果见图 2。

从图 2a 中可以看出中和站在参数率定期,模拟与实测径流过程变化一致,除 2000 年 9 月模拟的径流值明显偏小实测值外,其他时段模拟与实测偏差不大,总体来说干季的模拟效果好于雨季的模拟效果。就率定期多年平均的结果来看,模拟的径流比实测的径流偏小,偏小为 5.8%,Nash-Sutcliffe 效率系数为 0.77, $R^2$  为 0.83。2002~2009 年验证期结果(图 2b)表明:在干季模拟的径流与实测值较接近,而雨季的模拟的径流偏大于实测值。验证期多年平均来看,模拟的径流偏大于实测的径流,偏大 9.2%,Nash-Sutcliffe 效率系数为 0.79, $R^2$  为 0.80。

冷水河流域白邑站 1995~2001 年率定期的结果(图 2c)表明,模拟的径流比实测的径流偏小,偏小的值为 11%,Nash-Sutcliffe 效率系数为 0.76, $R^2$  为 0.81。2002~2009 年验证期结果(图 2d)表明:模拟与实测的径流变化过程一致,就验证期多年平均的结果来看,模

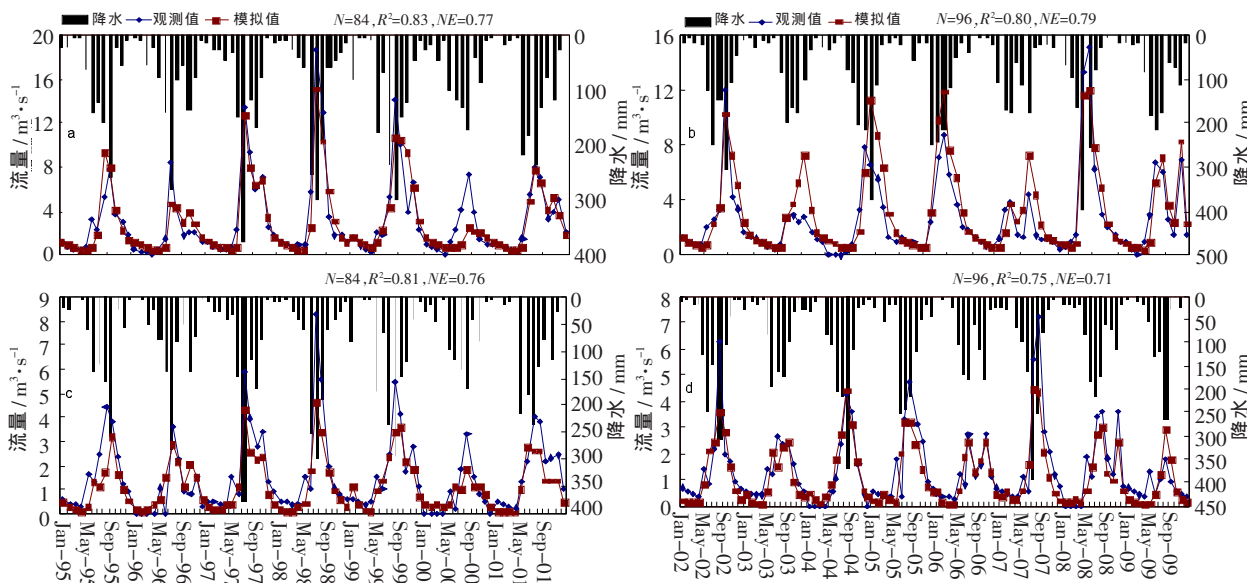


图2 松华坝水源区径流模拟

(a)中和率定(b)中和验证(c)白邑率定(d)白邑验证

Fig.2 Simulation of the runoff in the Songhuaba water source area

(a) Zhonghe calibration; (b) Zhonghe validation; (c) Baiyi calibration; (d) Baiyi validation

拟值比实测径流值偏小 13%, Nash-Sutcliffe 效率系数为 0.71,  $R^2$  为 0.75。

总体来说松华坝水源区两个流域模拟的误差在  $\pm 13\%$  以内, Nash-Sutcliffe 效率系数不论在模型参数率定期还是验证期均大于 0.70, 可见 SWAT 模型在松华坝水源区有较好的适用性, 其模拟效果比较好。

### 3.2 IPCC 气候变化情景下松华坝水源区径流变化

对率定及验证后的模型, 以 1993~1999 年为基准期, 用 IPCC A1F1(高排放)和 B1(低排放)两种情景对东亚地区 2010~2039 年降水和气温变幅预测为依据(见表 3)<sup>[15]</sup>, 对松华坝水源区中和站、白邑站的径流深及实际蒸散发做预估, 结果见图 3、图 4。

表 3 A1F1 和 B1 情境下东亚区域气温和降水变幅  
Table3 The temperature and precipitation change amplitude under A1F1 and B1 scenarios in East Asia

	季节	温度/ $^{\circ}\text{C}$		降水/ $\%$	
		A1F1	B1	A1F1	B1
东亚地区 (20~50°N; 100~150°E)	DJF	1.82	1.50	6	5
	MAM	1.61	1.50	2	2
	JJA	1.35	1.31	2	3
	SON	1.31	1.24	0	1

图 3a 表明在 A1F1 情景下, 牧羊河流域除 2~5 月径流深略高于基准期外, 其他月份 A1F1 情景下径流深均小于基准期。总体来说, 在 A1F1 暖湿气候情景下

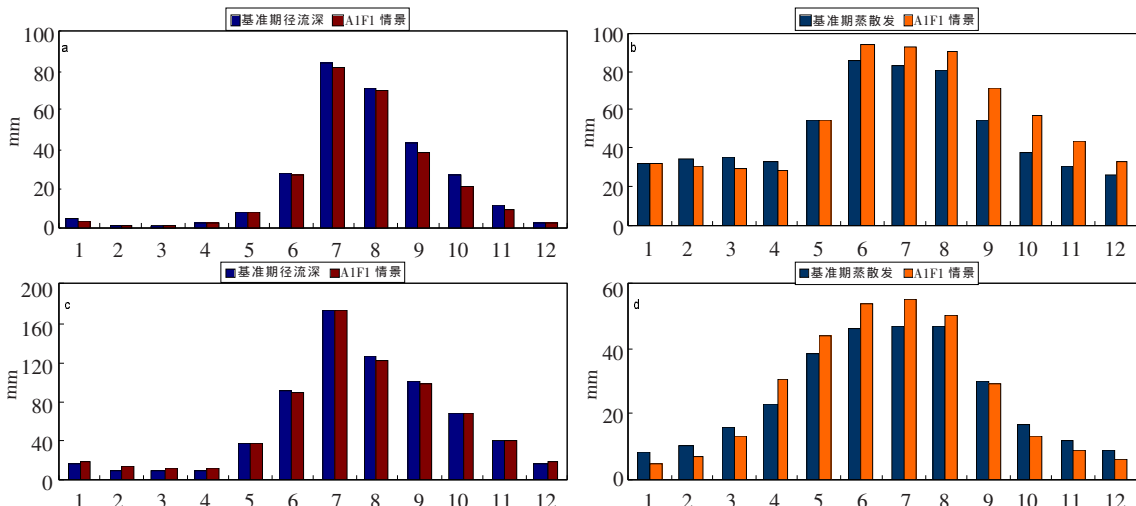


图 3 A1F1 情境下松华坝水源区水资源变化(a)牧羊河径流深 (b) 牧羊河蒸散发(c)冷水河径流深 (d) 冷水河蒸散发  
Fig.3 The water resource change under A1F1 scenario in the Songhuaba water source area  
(a)Muyang river runoff; (b)Muyang river evapotranspiration; (c)Lengshui river runoff; (d) Lengshui river evapotranspiration

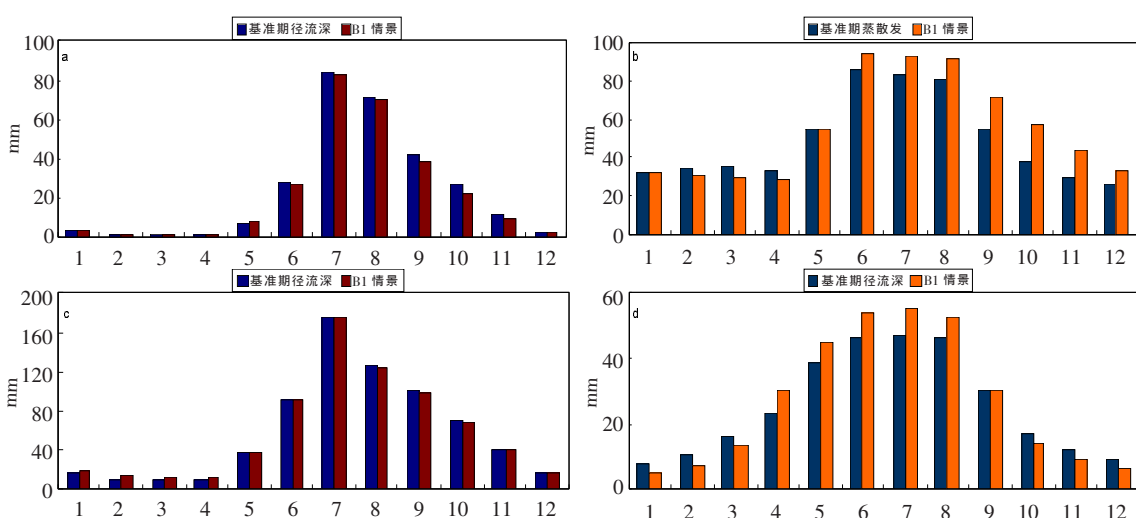


图 4 B1 情境下松华坝水源区水资源变化(a) 牧羊河径流深 (b) 牧羊河蒸散发 (c) 冷水河径流深 (d) 冷水河蒸散发  
Fig.4 The water resource change under B1 scenario in the Songhuaba water source area  
(a) Muyang river runoff; (b) Muyang river evapotranspiration; (c) Lengshui river runoff; (d) Lengshui river evapotranspiration

牧羊河流域年径流深小于基准期径流深,减少达6.7%;而对于牧羊河流域实际蒸散发,在A1F1情景下除2~5月略小于基准期外,其他月份均高于基准期(图3b),在A1F1情景下牧羊河流域年实际蒸散发偏大基准期为11.6%。A1F1情景下冷水河流域年径流深增加了5.16mm,增幅为0.74%(图3c),年实际蒸散发增加了13.06mm,增幅为4.3%(图3d)。

图4a为B1情景下牧羊河流域径流深变化,结果表明:在B1情景下牧羊河年径流深相对基准期减少15.09mm,减少幅度达5.3%;B1情景下牧羊河流域年实际蒸散发相对基准期(图4b)增加了70.94mm,增幅达12.0%。B1情景下冷水河年径流深和年实际蒸散发相对基准期分别增加了8.96mm和17.25mm(图4c,4d),增幅分别为1.3%和5.7%。

可见,在IPCC两种气候情境下,松华坝水源区两流域对气候变化响应具有差异性,牧羊河流域在两种暖湿情景下年径流深均小于基准期年径流深,而年实际蒸散发均大于基准期年实际蒸散发,也就是在A1F1和B1情景下牧羊河流域降水的增加不足以弥补蒸散的增加,从而导致年径流深减小。而在冷水河流域,由于径流主要受地下水补给,在A1F1和B1情景下降水增加超过蒸散的增加,从而年径流深增加。

### 3.3 假定气候变化情景下松华坝水源区径流变化

参考全球模式对未来气候变化预估的结果,在可能的气候变化范围下,假定15种气候变化情景组合,即在基准期(1993~1999年)的基础上温度增加0、1、2℃,降水变化0%、±10%、±20%(正值表示增加,负值表示减少),将气温与降水变化两两组合构成15种气候变化方案(见表4)<sup>[23]</sup>。分别在上述15种气候变化情景下模拟松花坝水源区月径流,得到每种气候变化下的牧羊河、冷水河年径流深以及年实际蒸散量,并与基准期模拟的年径流深和实际蒸散对比,结果见图5。

图5a表明,15种气候情景下牧羊河流域年径流深变幅在-44.63%~47.73%之间,径流减少最多和增加最多分别出现在情景3和情景13。温度升高1℃,径流减少9.6%,降水增加10%,径流增加22.55%,这表明牧羊河流域未来降水的变化是影响水资源变化的主要因素;而年实际蒸散发变幅介于-5.81%~18.36%(图5a),另外温度升高1℃,实际蒸散发增加10.33%,降水增加10%,实际蒸散发增加2.07%。

15种气候情景下冷水河流域径流变化(图5b)表明,冷水河流域径流变幅介于-29.81%~27.91%,另外

温度升高1℃,径流减少1.53%,降水增加10%,径流增加13.9%;实际蒸散发变幅介于-3.85%~9.01%,温度升高1℃,蒸散发增加3.62%,降水增加10%,蒸散发增加1.28%。

可见,在相同的气候变化情景下,牧羊河流域水资源变化要敏感于冷水河流域。

表4 15种假定情境下气温和降水变幅

Table 4 The temperature and precipitation change amplitude under 15 hypothesis scenarios

降水 \ 气温	气温		
	+0℃	+1℃	+2℃
-20%	情景1	情景2	情景3
-10%	情景4	情景5	情景6
0%	情景7	情景8	情景9
10%	情景10	情景11	情景12
20%	情景13	情景14	情景15

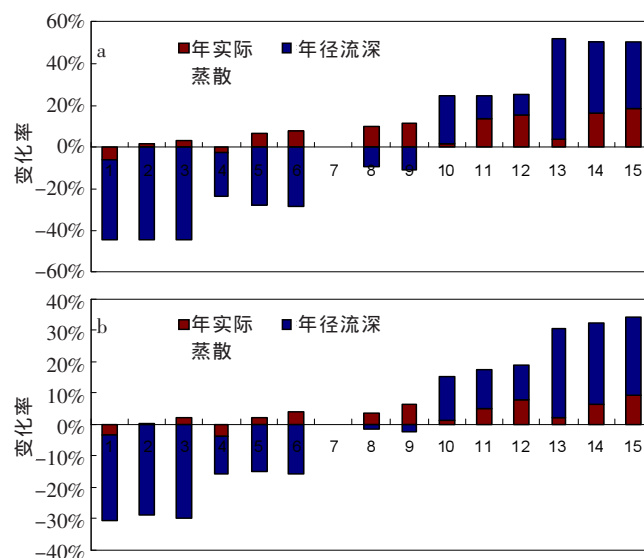


图5 15种气候情境下松华坝水源区水资源变化(a) 牧羊河(b) 冷水河

Fig.5 The water resource change amplitude under 15 scenarios in the

Songhuaba water source area

(a) Muya river; (b) Lengshui river

## 4 结论

用昆明市松花坝水源区植被、地形、土壤以及气象水文气象资料,以IPCC高排放和低排放气候情景以及15种气候变化组合情景为依据,以1993~1999年为基准期,用SWAT水文模型预估未来气候变化情景下松华坝水源区水资源变化,结果如下:

(1)SWAT 模型在昆明市城市水源地松华坝水源区有较好的适用性,模拟值与实测值误差在 $\pm 13\%$ 以内,Nash-Sutcliffe 效率系数大于 0.70。

(2)牧羊河流域在 A1F1 和 B1 两种暖湿情景下年径流分别减少了 6.7%和 5.3%,而实际蒸散分别增加了 11.6%和 12%。由于径流主要受地下水补给,冷水河流域在 A1F1 和 B1 情景下年径流变化不大。

(3)15 种气候情景下牧羊河流域径流变幅介于 $-44.63\% \sim 47.73\%$ ,而冷水河流域径流变幅介于 $-29.81\% \sim 27.91\%$ 。相同气候变化情境下,牧羊河流域水资源变化对要敏感于冷水河流域。

#### 参考文献:

- [1] 张圣微,雷玉平,姚琴,等.土地覆被和气候变化对拉萨河流域径流量的影响[J].水资源保护,2010,6(2):39-44.(ZHANG Shengwei, LEI Yuping, YAO Qin, et al. Runoff response to land cover and climate change in Lhasa River Basin [J]. Water Resources Protection, 2010,6(2):39-44.(in Chinese))
- [2] 冯夏清,章光新,尹雄锐.基于 SWAT 模型的乌裕尔河流域气候变化的水文响应[J].地理科学进展,2010,29(7):827-832.(FENG Xiaqing, ZHANG Guangxin, YIN Xiongrui. Study on the hydrological response to climate change in Wuyur River Basin based on the SWAT model [J].Progress In Geography, 2010,29(7):827-832.(in Chinese))
- [3] 马振锋,彭骏,高文良,等.近 40 年西南地区的气候变化事实[J].高原气象,2006,25(4):633-642.(MA Zhenfeng, PENG Jun, GAO Wenliang, et al. Climate variation for southwest China in recent 40 years[J]. Plateau Meteorology, 2006,25(4):633-642.(in Chinese))
- [4] 贺晋云,张明军,王鹏,等.近 50 年西南地区极端干旱气候变化特征[J].地理学报,2011,66(9):1179-1190.(HE Jinyun, ZHANG Mingjun, WANG Peng, et al. Climate characteristics of the extreme drought events in Southwest China during recent 50 years[J].Acta Geographica Sinica, 2011,66(9):1179-1190.(in Chinese))
- [5] 董铭,史正涛,李滨勇,等.松华坝水源区不用 LUCC 情境下地表径流深变化初步研究[J].遥感技术与应用,2009,24(5):42-47.(DONG Ming, SHI Zhengtao, LI Binyong, et al. The surface runoff depth change research under different situation of landuse/landcover in Songhuaba water source region[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2009,24(5):42-47.(in Chinese))
- [6] Arnold J G, Srinivasan R, Mutiah R S, et al. Large area hydrologic modeling and assessment (Part ): Model development [J]. Journal of American Water Resources Association, 1998, 34(1): 73-89.
- [7] Neitsch S L, Arnold L G, Kiniry J R, et al. Soil and water assessment tool [A]. Theoretical Documentation Version 2000 [C]. College Station: Texas Water Resources Institute, 2002.
- [8] Arnold J G, Williams J R, Nicks A D, et al. SWRRB: Abasin Scale Simulation Model for Soil and Water Resources Management [M]. College Station: Texas A&M Press, 1990.
- [9] Knisel W G. CREAM: A field scale model for chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems [A]. Conservation Research Report (No 26) [C].1980.
- [10] Leonard R A, Knisel W G, Still D A. GLEAMS: Groundwater loading effects of agricultural management systems [J]. Transaction of the American Society of Agricultural Engineers, 1987, 30(5): 1403-1418.
- [11] Williams J R, Jones C A, Dyke P T. A modeling approach to determining the relationship between erosion and soil productivity[J]. Transaction of the American Society of Agricultural Engineers, 1984, 27(1): 129-144.
- [12] Arnold J G, Williams J R, Maidment D R. Continuous -time water and sediment-routing model for large basins [J]. Journal of Hydraulic Engineering -ASCE, 1995, 121(2): 171-183.
- [13] 孙瑞,张雪芹.基于 SWAT 模型的流域径流模拟研究进展[J].水文,2010,30(3):28-32.(SUN Rui, ZHANG Xueqin. Progress in application of watershed runoff simulation based on SWAT[J]. Journal of China Hydrology, 2010,30(3):28-32.(in Chinese))
- [14] 马杏,许建初,董秀颖,等.西庄流域土地覆被变化及其水文响应模拟研究[J].水文,2008,28(4):70-76.(MA Xing, XU Jianchu, DONG Xiuying, et al. Land cover change and its effect on hydrological process in Xizhuang watershed [J]. Journal of China Hydrology, 2008,28(4):70-76.(in Chinese))
- [15] Cruz R V, Harasawa H, Lal M, et al. Asia climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability [A]. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [C]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007:469-506.
- [16] 庞靖鹏,徐宗学,刘昌明.SWAT 模型中天气发生器与数据库构建及其验证[J].水文,2007,27(5):25-30.(PANG Jingpeng, XU Zongxue, LIU Changming. Weather generator and database in SWAT model [J]. Journal of China Hydrology, 2007,27(5):25-30.(in Chinese))
- [17] 魏怀斌,张占庞,杨金鹏.SWAT 模型土壤数据库建立方法[J].水利水电技术,2007,38(6):15-18.(WEI Huaibin, ZHANG Zhanpang, YANG Jinpeng. Established soil database in SWAT model [J]. Technology of Water Conservancy and Hydropower, 2007,38(6):15-18.(in Chinese))
- [18] 云南省土壤肥料工作站.云南土壤[M].北京:中国农业出版社,1996.(Soil and Fertilizer Work Station of Yunnan Province. The Soil in Yunnan Province [M]. Beijing: China Agriculture Press,1996.(in Chinese))
- [19] 陈强,苟思,秦大庸,等.一种高效的 SWAT 模型参数自动率定方法[J].水利学报,2010,41(1):113-119.(CHEN Qiang, GOU Si, QIN Dayong, et al. A high efficiency auto-calibration method for SWAT model[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2010,41(1):113-119.(in Chinese))
- [20] Morris M D. Factorial sampling plans for preliminary computational experiments [J]. Technometrics, 1991, 33(2): 161-174.
- [21] Karim C. Abbaspour, Jing Yang, Ivan Maximov, et al. Modeling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine watershed using SWAT[J]. Journal of Hydrology, 2007,333:413-430. (下转第 80 页)

## 参考文献:

- [1] 张勤, 李家权. GPS 测量原理及应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2005. (ZHANG Qin, LI Jiaquan. GPS Measurement Principle and Application[M]. Beijing: Science Press, 2005. (in Chinese))
- [2] GB/T 18314-2009, 全球定位系统(GPS)测量规范[S]. (GB/T 18314-2009, Specifications for Global Positioning System (GPS) Surveys[S]. (in Chinese))
- [3] CJJ 73-97, 全球定位系统城市测量技术规程[S]. (CJJ 73-97, Technical Specification for Urban Surveying Using Global Positioning System[S]. (in Chinese))
- [4] GB/T 12898-2009, 国家三、四等水准测量规范[S]. (GB/T 12898-2009, Specifications for the Third and Fourth Order Leveling[S]. (in Chinese))
- [5] 拓普康公司. HiPer 使用手册[Z]. (TOPCON. HiPer User Manual[Z]. (in Chinese))
- [6] 拓普康公司. TopSURV 操作手册[Z]. (TOPCON. TopSURV Operation Manual [Z]. (in Chinese))
- [7] 拓普康公司. Pinnacle 软件用户手册 [Z]. (TOPCON. Pinnacle Software User Manual [Z]. (in Chinese))
- [8] 王永乔, 曹赟昀. GPS 跨河水准测量应用探讨[J]. 地矿测绘, 2011, 27(2): 33-35. (WANG Yongqiao, CAO Yunyun. Discussion of application of GPS river-crossing leveling[J]. Surveying and Mapping of Geology and Mineral Resources, 2011, 27(2): 33-35. (in Chinese))
- [9] 李润苗. GPS 在天津市水文测站地形图测量中的应用[A]. 全国水利信息化技术与建设成果交流展示会论文集[C]. 2005. (LI Runmiao. GPS Application of topographic survey of hydrological stations in Tianjin [A]. Proceedings of Water Resources Information Technology and Construction[C]. 2005. (in Chinese))

## Application of GPS Space Geodetic Control Network Technology in Hydrology Departments

HUANG Yan

(Hydrology and Water Resource Bureau of Henan Province, Zhengzhou 450003, China)

**Abstract:** In recent years, GPS space geodetic control network technology has been widely used in more and more areas, but rarely in hydrology departments. This paper discussed the basic principle and workflow of using a satellite navigation system for leveling, and the differences between the GPS space geodetic control network technology and the ordinary leveling. In this study, we found both their own advantages, disadvantages and highly complementary. With the technology advancement and economic development, especially the China's own Beidou satellite navigation system, application of the satellite navigation system in geodesy will enter into more areas including the hydrological departments.

**Key words:** GPS; geodetic control network; leveling; operational process

(上接第 69 页)

- [22] Jing Yang, Peter Reichert, K.C. Abbaspour, et al. Comparing uncertainty analysis techniques for a SWAT application to the Chaohe basin in China[J]. Journal of Hydrology, 2008, 1-22.
- [23] 夏智宏, 周月华, 许红梅. 基于 SWAT 模型的汉江流域水资源对气

候变化的响应[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(2): 158-163. (XIA Zhihong, ZHOU Yuehua, XU Hongmei. Water resources responses to climate change in Hanjiang River basin based on SWAT model[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2010, 19(2): 158-163. (in Chinese))

## Runoff Variation under Change Scenarios in Songhuaba Water Source Area of Kunming City

WANG Jie<sup>1</sup>, HUANG Ying<sup>1</sup>, DUAN Qicai<sup>1</sup>, LIU Xinyou<sup>2</sup>

(1. Yunnan Institute of Water Resources and Hydropower Research, Kunming 650228, China;

2. Hydrology and Water Resources Bureau of Yunnan Province, Kunming 650228, China)

**Abstract:** Combined with the daily meteorological data from the Kunming station, daily precipitation and runoff data from the Songhuaba Water Source Area, and the data of land use, and soil, a SWAT hydrological model was built for the water source area. Calibration and validation of SWAT were performed using the monthly runoff data from the Zhonghe Station in the Muyang Basin and the Baiyi Station in the Lengshui Basin. The calibrated and validated SWAT model was used to predict the runoff variation of the Songhuaba Water Source Area under A1F1, B1 and 15 hypothesis scenarios. The results show that the mean annual flow under A1F1 and B1 scenarios respectively decreased by 9.6% and 5.3% in the Muyang Basin while there was big change of the mean annual flow in the Lengshui Basin. In the Muyang Basin and Lengshui Basin, moreover, the mean annual flow will respectively decrease by 9.6% and 1.53% if the temperature increase by 1 °C, and the mean annual flow will respectively increase by 22.55% and 13.9% when the precipitation increase by 10%.

**Key words:** change scenarios; runoff variation; Songhuaba water source area