

# 基于气候模式筛选的碧流河水库流域未来期径流预估研究

梁满营, 李 昱, 周惠成

(大连理工大学水利工程学院, 辽宁 大连 116024)

**摘 要:**为评估 IPCC 第四次评估报告中的 15 个全球气候模式对碧流河水库流域气温和降水的模拟效果,通过 LARS-WG 降尺度方法,选取了 HADCM3 等 3 种气候模式,分析其在 A2、A1B 和 B1 三种排放情景下未来期(2011~2040 年)碧流河水库流域气温和降水的变化,进而结合 ABCD 月尺度水文模型,预估未来气候变化下碧流河水库流域的径流变化特征,为流域水资源规划和管理提供依据。结果表明: CNCM3、HADCM3 和 IPCM4 三个模式对碧流河水库流域模拟效果较好;与基准期相比,未来期多年平均降水变幅为-6.4%~3.7%,多年平均温度升高 0.8℃~1.2℃,实际蒸发增幅为 2.4%~4.4%;多年平均年径流量变化范围为 4.8~6.2 ( $10^8 \text{ m}^3$ ),三种排放情景下各模式平均径流量均呈减少趋势,较基准期减幅为-4.7%~-27.1%,未来水资源利用将会面临更大挑战。

**关键词:**全球气候模式;LARS-WG;碧流河水库流域;ABCD 模型;径流预估

**中图分类号:**P333 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-0852(2018)04-0006-06

## 1 引言

随着社会经济的发展,城市需水量日益增加,而另一方面某些流域受气候变化影响,径流呈现明显的下降趋势,给未来城市供水带来较大影响。以大连市为例,碧流河水库为其主要供水水源,该流域 1991~2014 年多年平均年径流量相对于 1961~1990 年期间减少约为 21%,未来大连市的供水情势愈发紧张。因此,未来远景年水资源配置必须考虑气候变化的影响。

目前,气候变化下的径流演变是热点研究问题<sup>[1]</sup>,该领域的研究一般采用气候情景耦合水文模型法。其中气候变化情景的生成则多采用情景设置法<sup>[2]</sup>和全球气候模式法(Global Climate Models, GCM),前者为人为假定,缺乏物理意义,而 GCM 是基于大气、陆地和海洋系统之间的相互作用及物理过程建立的数字模型,因此众多学者一直把其作为预估未来气候要素的重要途径和方法<sup>[3]</sup>。如祝雪萍<sup>[4]</sup>采用 ACCESS1.0、CM-CC-CM 等模式对碧流河水库流域径流量进行了预估,

结果表明,2016~2040 年平均径流量相对于 1980~2004 年变化幅度为-29.13%~+20.55%;类似方法也在长江、珠江等流域进行了研究与应用<sup>[5,6]</sup>。

不同模式对于不同区域的适用性差异较大,其选择将直接影响到水文要素的预测结果。科学合理的 GCM 模式评价标准和方法仍是一个亟待解决的关键问题。

因此,本文通过 LARS-WG 对 IPCC AR4 中的 15 个全球气候模式进行降尺度处理,通过评估各模式对碧流河水库流域气温和降水的模拟效果,筛选出模拟效果较好的模式,再应用 ABCD 月尺度水文模型,分析不同模式及排放情景下该流域未来期径流的变化特征。

## 2 资料与方法

### 2.1 流域与资料概况

#### 2.1.1 流域概况

碧流河发源于辽宁省盖州市棋盘岭山南麓,流域面积为 2 814 km<sup>2</sup>。碧流河水库位于碧流河下游距入海口 55 km 处,总库容 9.34×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>,是一座以城市供水为主,

收稿日期:2017-03-07

基金项目:科技部重点研发计划项目课题 5 城市供水多水源精细化配置与调控(2017YFC0406005);博士后基金“人工引水对天然径流的补偿机理及其不确定性研究”(2017M611226)

作者简介:梁满营(1991-),男,河南南阳人,硕士生,主要从事水资源规划管理研究。E-mail:liangmydlut@qq.com

通讯作者:李昱(1988-),男,山东泰安人,博士,主要从事水库群联合优化调度研究。E-mail:dagongliyu@qq.com

兼有防洪、发电、灌溉等综合效益的多年调节大型水库。流域属于暖温带半湿润气候,6~9月为汛期,坝址以上1961~2010年平均降水量为735.6mm,多年平均年径流量 $5.9 \times 10^8 \text{m}^3$ ,多年平均气温 $10.6^\circ\text{C}$ 。碧流河水库流域图见图1。

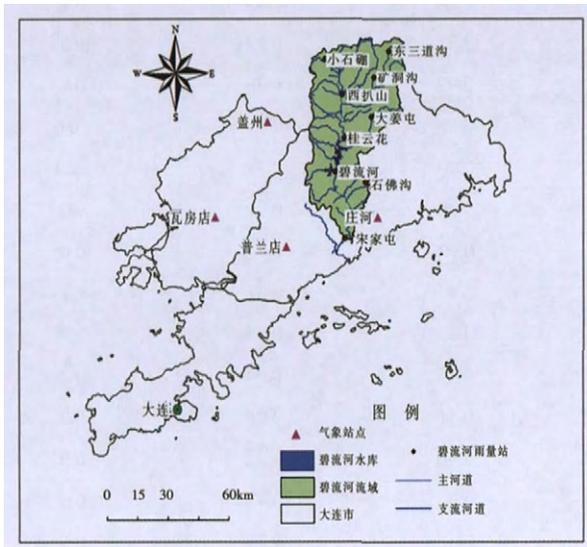


图1 碧流河水库流域图  
Fig.1 Biliuhe Reservoir basin

### 2.1.2 数据来源

所需气象数据资料时段为1961~2010年,其中逐日降水来源于碧流河水库流域雨量站实测数据,日最高气温、最低气温、日平均气温和日照时数等气象数据来自中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>),采用碧流河水库流域附近站点的实测气象资料,站点分布见图1。

## 2.2 研究方法

本文参考国际上研究气候变化普遍采用的基准期和未来期划分方法,同时兼顾水文模型的率定和验证,以1961~1990年为基准期,1991~2010年为验证期,2011~2040年为未来期,首先通过LARS-WG对IPCC AR4的15个全球气候模式进行降尺度处理;然后通过评估各模式对碧流河水库流域的模拟效果和适用性,选择模拟效果较好的模式;最后再应用ABCD月尺度水文模型,分析该流域未来期不同模式和排放情景下径流量的变化特征。

### 2.2.1 降尺度方法

目前,常用的降尺度方法分为动力降尺度和统计降尺度两种。动力降尺度法基于数理方程,结合区域下垫面条件进行模拟,计算量大,计算时间长。统计降尺度法通常基于多年历史实测资料,构建其与大尺度气

候要素之间的统计关系,并基于此预估未来时期区域气候要素的变化情景,该方法简单灵活、计算方便<sup>[7]</sup>。

常用的统计降尺度法可分为三类:天气发生器法、天气分型法和转换函数法<sup>[8]</sup>。其中,天气发生器法应用最为广泛,本文选用LARS-WG<sup>[9]</sup>天气发生器作为降尺度方法。LARS-WG通过一个半经验分布模型(Semi-empirical Distribution, SED)来模拟日降水量、日最高气温、日最低气温和日辐射量等气候要素。对每个气象要素 $\nu$ ,它的值 $\nu_i$ 与发生概率 $P_i$ 之间的对应关系如下:

$$\nu_i = \min\{\nu: P(\nu_{obs} \leq \nu) \geq P_i\} \quad i=0, 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

式中: $P(\ )$ 为基于实际观测数据 $\{\nu_{obs}\}$ 的概率; $n$ 为分布间隔数, $n=23$ 。

LARS-WG通过输入基准期逐日的降水、最高气温、最低气温、辐射量数据,结合GCM输出结果和未来气候情景,生成未来任意长度的随机天气要素序列。

### 2.2.2 模式数据的筛选

IPCC AR4提出了三种气候排放情景:A2、A1B和B1,分别对应高、中、低的排放情景<sup>[10]</sup>。同时,IPCC AR4中还有15个不同的气候模式,各模式基本信息如表1所示。

为评估以上模式对碧流河水库流域的模拟效果及适用情况,以碧流河水库流域基准期逐日最高气温、最低气温、降水量和日照时数作为LARS-WG的输入数据,生成验证期时段的逐日随机气象数据,通过分析验证期各模式的温度、降水模拟值与观测值模拟程度,以相对误差、相关性系数和Nash效率系数作为评价指标,从而筛选出模拟效果较好的模式。

### 2.2.3 水文模型

获得研究区域未来期不同模式及排放情景下的降水、气温等气候要素后,将其输入水文模型,获得未来期的径流序列。本文采用ABCD集总式月尺度水文模型<sup>[11]</sup>,该模型以降水量和蒸散发量为输入,可同时模拟蒸散发、径流以及土壤水、地下水的变化。以相对误差和Nash效率系数作为模型适用性的评价标准,采用遗传算法对模型进行参数率定,将所率定好的模型用于未来期的径流推求。

## 3 全球气候模式筛选及未来气候要素预估

### 3.1 全球气候模式模拟和筛选

选择多年平均降水相对误差、多年月平均降水量的相关性系数和Nash效率系数以及多年平均温度的绝对误差作为筛选指标,结果如表1所示。

表1 模式信息和验证期实测降水、温度与各模式模拟值的对比分析

Table1 The information of GCMs and comparison between observed and simulated rainfall, temperature

全球气候模式	国家	模式分辨率	多年平均降水			温度
			相对误差/%	相关性系数	Nash 效率系数	绝对误差/°C
BCM2	Norway	1.9°×1.9°	8.8	0.90	0.75	-0.2
CGMR	Canada	2.8°×2.8°	31.2	0.94	0.53	0.7
CNCM3	France	1.9°×1.9°	-6.0	0.91	0.82	0.5
CSMK3	Australia	1.9°×1.9°	18.2	0.92	0.73	0.0
FGOALS	China	2.8°×2.8°	-0.4	0.89	0.75	-0.6
GFCM21	USA	2.0°×2.5°	1.6	0.90	0.79	-0.3
GIAOM	USA	3.0°×4.0°	-1.7	0.90	0.79	0.0
HADCM3	UK	2.5°×3.75°	5.3	0.93	0.83	0.6
HADGEM	UK	1.3°×1.9°	-2.2	0.91	0.81	1.1
INCM3	Russia	4.0°×5.0°	-3.6	0.93	0.85	1.3
IPCM4	France	2.5°×3.75°	-6.3	0.92	0.84	0.2
MIHR	Japan	2.8°×2.8°	8.5	0.91	0.78	0.9
MPEH5	Germany	1.9°×1.9°	-5.3	0.90	0.82	0.0
NCCCSM	USA	1.4°×1.4°	22.3	0.90	0.47	0.6
NCPCM	USA	2.8°×2.8°	26.8	0.92	0.27	0.3

注:平均温度由最高温度和最低温度拟合求得,下同。

由表1可知,不同模式验证期对于降水和气温的模拟效果差异较大。只有降水、温度同时模拟较好的模式才能准确的预估径流,因此,以多年平均降水相对误差绝对值小于10%、多年平均温度绝对误差小于1.0°C、多年平均月降水相关性系数大于0.90、Nash效率系数大于0.80作为模式选取的标准<sup>[12]</sup>,可以看出,仅有CNCM3、HADCM3和IPCM4三个模式符合条件。

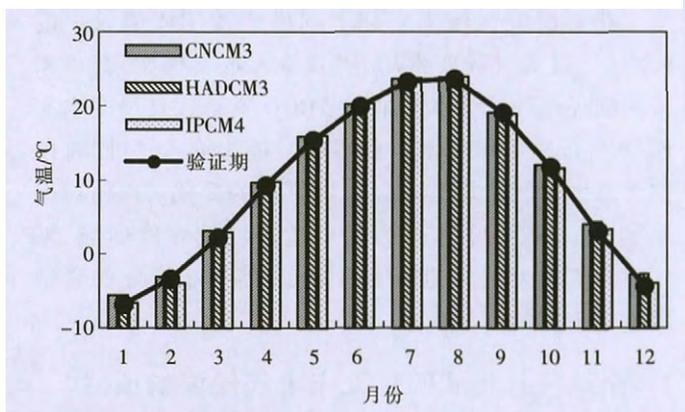


图2 验证期多年月平均温度实测与模拟值对比

Fig.2 The comparison between observed and simulated monthly average temperature of validation period

图2给出了CNCM3、HADCM3和IPCM4三个模

式验证期多年平均温度实测值与模拟值对比情况。图3给出了三个模式验证期多年季平均降水实测与模拟值对比情况。从图中可知,所筛选出的三个模式对于碧流河水库流域温度和降水的模拟效果可信度较高。

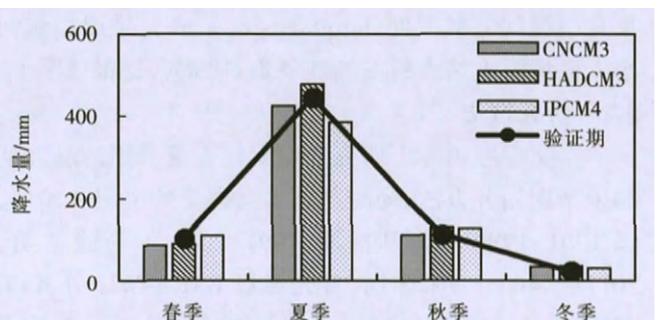


图3 验证期多年季平均降水实测与模拟值对比

Fig.3 The comparison between observed and simulated seasonal average rainfall of validation period

### 3.2 未来降水和气温变化预估

根据模式筛选结果,利用LARS-WG生成CNCM3、HADCM3和IPCM4三个模式未来期A2、A1B和B1三种排放情景下的随机天气要素序列,分析三个模式在不同排放情景下的降水和气温的预测值以及其相对于基准期的变化特征,见表2。

表2 模式预估的未来期降水和温度相对于基准期的变化

Table2 Changes of future annual average rainfall, temperature compared with baseline period based on GCMs

模式	多年平均降水 相对变化/%			多年平均温度 绝对变化/°C			实际蒸发 相对变化/%		
	A2	A1B	B1	A2	A1B	B1	A2	A1B	B1
CNCM3	-5.5	-6.4	/	1.2	1.0	/	4.2	3.7	/
HADCM3	3.8	-7.9	-5.8	1.3	0.9	0.6	4.4	3.4	1.7
IPCM4	12.7	-5.0	4.8	1.2	0.9	0.9	4.5	3.4	3.1
平均	3.7	-6.4	-0.5	1.2	0.9	0.8	4.4	3.5	2.4

图4 给出了三个模式在不同排放情景未来期降水相对于基准期的变化情况,从图中可知,降水在冬季和春季呈增加趋势,这与李峰平<sup>[13]</sup>在对嫩江流域未来期(2020~2049年)降水进行预估时得到的10~4月份降水量增大的结论相似。5月份为农业灌溉季,其需水量大,降水的增加会减少灌溉用水的需求,非常利于农作物的生长。虽然多数模式不同情景下年总降水量呈现减少的趋势,但冬、春两季枯水期降水的增加和夏、秋两季降水的减少会使降水的年内分配更加均匀,枯水期降水增加使其径流有增加的趋势。

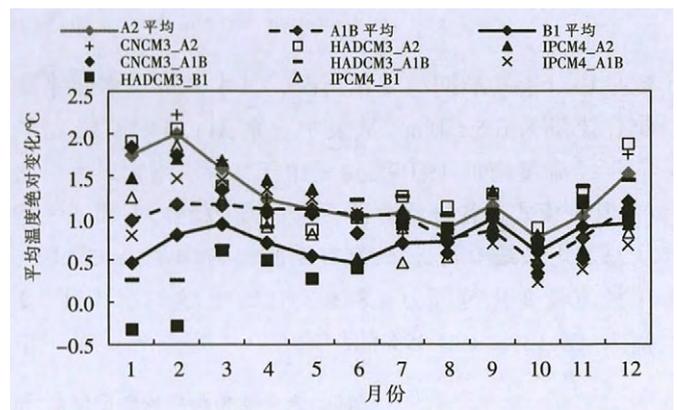


图5 未来期月平均温度相对于基准期的变化  
Fig.5 Change of future monthly average temperature compared with baseline period

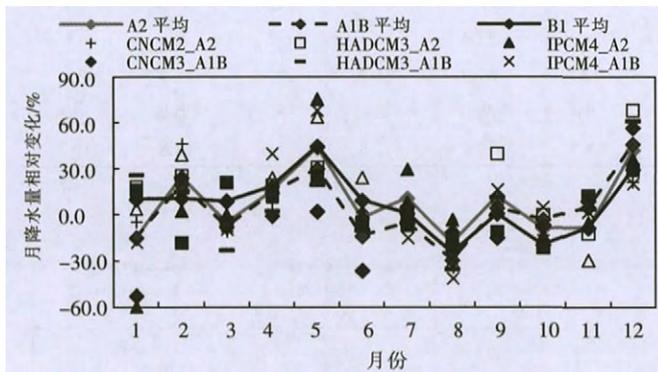


图4 未来期月平均降水相对于基准期的变化  
Fig.4 Relative change of future monthly average rainfall compared with baseline period

图5 给出了三个模式不同排放情景未来期温度相对于基准期的绝对变化量。从图中可知,各模式不同情景下月平均温度均呈升高趋势,其中升温幅度最大的是冬季,秋季升温幅度最小。温度的升高对蒸发有直接的影响,将会引起径流量的减少,虽然冬季降水量呈现增多趋势,但由于其温度增幅也最大,其径流量如何变化则需要通过水文模型的评估来进行。

## 4 未来径流变化分析

### 4.1 ABCD模型的率定、修正与验证

选定1961~1990年为水文模型的率定期,1991~2010年为验证期。图6给出了ABCD模型率定期和验证期逐月径流序列观测数据和模拟数据的对比情况。通过对比发现,1、2和12月份模拟值偏大较多,这是由于冬季多为降雪,而模型中并未考虑积雪,从而致使模拟值比实测值偏大很多,因此采用文献[14]中的方法对其进行修正。在率定期,修正后Nash系数和相对误差分别为0.87、-2.8%;在验证期,两者分别为0.92、3.0%。从图中可知,二者的大小及变化趋势均较为一致,表明该模型能够较好的模拟碧流河水库流域月径流过程,可用于碧流河水库流域未来期的径流预估。

### 4.2 未来径流变化预估

#### 4.2.1 年径流量变化预估

表3 给出了三个模式在不同排放情景未来期径

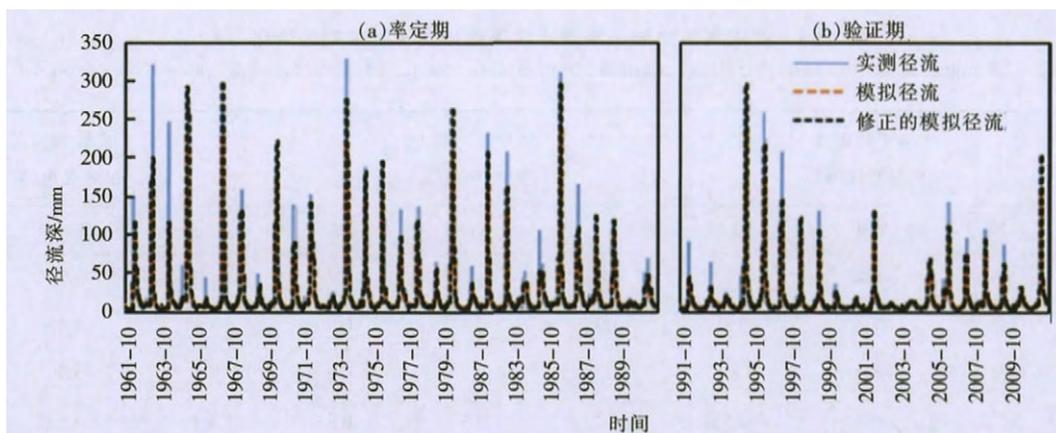


图6 率定期和验证期月径流量实测与模拟值对比

Fig.6 The comparison between observed and simulated monthly runoff in calibration and validation period

流量相对于基准期的变化情况，其中基准期多年平均年径流量为  $6.5 \times 10^8 \text{m}^3$ 。从表中可知，IPCM4 在 A2 情景下年径流量增加 19.0%，这是由于其降水增幅最大引起的，其余模式在各排放情景下均呈减少趋势。各模式平均状态下均呈减少趋势，较基准期减幅为  $-4.7\% \sim -27.1\%$ ，年径流量变化范围为  $4.8 \sim 6.2 (10^8 \text{m}^3)$ ，这与祝雪萍<sup>[4]</sup>变幅为  $-29.13\% \sim 20.55\%$  的结论存在一定差异。对于汛

期和非汛期，汛期径流量呈减少趋势，非汛期则呈增加趋势，但汛期的减幅要大于非汛期的增幅。从降水的预估结果可知，虽然 HADCM3 模式的 A2 情景、IPCM4 模式下的 A2 和 B1 情景降水均呈增加趋势，但是由于温度的升高导致蒸发量的增加，其对径流的削弱作用大于降水的增加作用，故径流量仍出现减少的情况。

表3 未来期多年平均年径流量、汛期和非汛期径流量相对于基准期的变化

Table3 Changes of future annual average runoff compared with baseline period based on GCMs

模式	多年平均年径流量相对变化/%			多年平均年径流量/ $10^8 \text{m}^3$			汛期相对变化/%			非汛期相对变化/%		
	A2	A1B	B1	A2	A1B	B1	A2	A1B	B1	A2	A1B	B1
CNCM3	-25.2	-22.6	/	4.9	5.1	/	-30.8	-27.4	/	6.1	4.0	/
HADCM3	-7.9	-30.5	-23.4	6.0	4.5	5.0	-14.6	-37.9	-28.2	30.1	11.3	3.8
IPCM4	19.0	-28.3	-3.7	7.8	4.7	6.3	19.4	-38.0	-7.4	16.7	26.0	17.6
平均	-4.7	-27.1	-13.5	6.2	4.8	5.6	-8.7	-34.4	-17.8	17.6	13.8	10.7

#### 4.2.2 月径流量变化预估

图7给出了三个模式在不同排放情景下未来期多年月平均径流量相对于基准期的变化情况。从图中可知，径流量在冬季呈增加趋势，春季呈减少趋势，其中1月份增幅最大，约为50%，但由于1月份径流量较小，其对于供水量的增加影响较小；夏季径流量总体呈减少趋势，减幅约为18%，其中6、7月份呈增加趋势，说明汛期有提前的趋势，应提前做好防洪的准备，而8月份减幅最大，约为45%，对于总径流量的减少影响较大；秋季径流总量相对增幅为6.2%，其增加对于汛后期水库的蓄水将会有一定的缓解作用。总体而言，由于温度升高导致蒸发量的增大，未来期径流量呈现减少趋势，势必会加剧大连市水资源供需矛盾，对碧流河水库流域的水资源配置将会带来一定挑战。

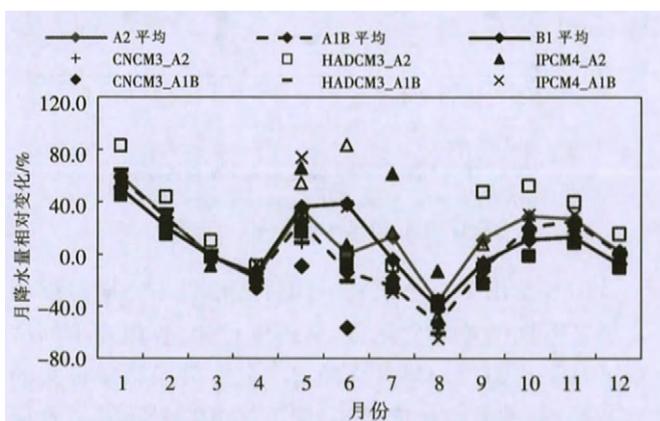


图7 未来期月平均径流量相对于基准期的变化

Fig.7 Relative change of future monthly average runoff compared with baseline period

## 5 结论

本文基于 LARS-WG 的降尺度方法对 IPCC AR4 的 15 个全球气候模式在碧流河水库流域的模拟效果进行了对比,选取模拟效果较好的模式,并采用 ABCD 月尺度水文模型对碧流河水库流域未来期(2010~2040年)的径流量进行了预估,主要得到以下结论:

(1)运用 LARS-WG 降尺度方法,以验证期降水和温度模拟与实测的相对误差、相关性系数和 Nash 效率系数为评价指标,最终选取了对碧流河水库流域模拟效果较好的 CNCM3、HADCM3 和 IPCM4 三个模式。

(2)不同排放情景下三种模式对未来期降水和温度的预估结果表明,未来期多年平均降水相对于基准期的变化幅度为 $-6.4\%$ ~ $3.7\%$ ,其降雨年内分配会更加均匀;温度则均呈增加趋势,增幅为 $0.8^{\circ}\text{C}$ ~ $1.2^{\circ}\text{C}$ ,由其引起的实际蒸发的增加幅度为 $2.4\%$ ~ $4.4\%$ 。

(3)基于预测的未来期降水、气温数据,利用 ABCD 月尺度水文模型对未来期径流量进行预估,结果表明,由于温度升高引起蒸发的增加,未来期多年平均年径流量相对于基准期呈减少趋势,变化范围为 $4.8\sim 6.2\times 10^8\text{m}^3$ ,减幅为 $-4.7\%$ ~ $-27.1\%$ 。

参考文献:

- [1] 张建云, 王国庆. 气候变化对水文水资源影响研究[M]. 北京: 科学出版社, 2007.(ZHANG Jianyun, WANG Guoqing. Research of the Impacts of Climate Change on Hydrology and Water Resources[M]. Beijing: Science Press, 2007. (in Chinese))
- [2] 贾仰文, 高辉, 牛存稳, 等. 气候变化对黄河源区径流过程的影响[J]. 水利学报, 2008(01):52-58. (JIA Yangwen, GAO Hui, NIU Cunwen, et al. Impact of climate change on runoff process in headwater area of the Yellow River[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008 (01):52-58. (in Chinese))
- [3] Taylor K E, Stouffer R J, Meehl G A. An overview of CMIP5 and the experiment design [J]. Bulletin of The American Meteorological Society, 2012,93(4):485-498.
- [4] 祝雪萍. 跨流域引水与水库供水联合调度及变化条件对其影响研究[D]. 大连理工大学, 2013.(ZHU Xueping. Analysis on Joint Operation of Inter-basin Water Diversion and Reservoir Water Supply and Impacts of Change Condition on it [D]. Dalian University of Technology, 2013. (in Chinese))
- [5] 肖恒, 陆桂华, 吴志勇, 等. 珠江流域未来 30 年洪水对气候变化的响应[J]. 水利学报, 2013(12):1409-1419.(XIAO Heng, LU Guihua, WU Zhiyong, et al. Flood response to climate change in the Pearl River basin for the next three decades [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2013(12):1409-1419. (in Chinese))
- [6] 陆桂华, 杨焯, 吴志勇, 等. 未来气候情景下长江上游区域积雪时空变化分析——基于 CMIP5 多模式集合数据 [J]. 水科学进展, 2014(04).(LU Guihua, YANG Ye, WU Zhiyong, et al. Temporal and spatial variations of snow depth in regions of the upper reaches of Yangtze River under future climate change scenarios [J]. Advances in Water Science, 2014(04). (in Chinese))
- [7] 刘昌明, 刘文彬, 傅国斌, 等. 气候影响评价中统计降尺度若干问题的探讨[J]. 水科学进展, 2012(03):427-437.(LIU Changming, LIU Wenbin, FU Guobin, et al. A discussion of some aspects of statistical downscaling in climate impacts assessment [J]. Advances in Water Science, 2012(03):427-437. (in Chinese))
- [8] 张徐杰. 气候变化下基于 SWAT 模型的钱塘江流域水文过程研究[D]. 浙江大学, 2015.(ZHANG Xujie. Impact of Climate Change on Hydrology in Qiantang River Basin Based on the SWAT Model[D]. Zhejiang University, 2015. (in Chinese))
- [9] Semenov M. A. B. E. Use of a stochastic weather generator in the development of climate change scenario [J]. Climatic Change, 1997,35(4):397-414.
- [10] Nakicenovic N. S. R. Special Report on Emissions Scenarios[M]. Cambridge University Press, 2000.
- [11] P C J M S. Inverse flood risk modelling under changing climatic conditions[J]. Hydrological Processes, 2007,21(5):563-577.
- [12] 鞠琴, 郝振纯, 余钟波, 等. IPCC AR4 气候情景下长江流域径流预测[J]. 水科学进展, 2011(04):462-469.(JU Qin, HAO Zhenchun, YU Zhongbo, et al. Runoff prediction in the Yangtze River basin based on IPCC AR4 climate change scenarios [J]. Advances in Water Science, 2011(04):462-469. (in Chinese))
- [13] 李峰平. 变化环境下松花江流域水文与水资源响应研究[D]. 中国科学院研究生院(东北地理与农业生态研究所), 2015.(LI Fengping. Study on Water Cycle and Water Resources in Songhua River Basin and Changing Environment [D]. Northeast Institute of Geography and Agroecology Chinese Academy of Sciences, 2015. (in Chinese))
- [14] 王福兴. 耦合分布式水文模拟及降雨集合预报的水库实时优化调度 [D]. 大连理工大学, 2012.(WANG Fuxing. Reservoir Real-time Operation by Coupling Distributed Hydrological Simulation and Ensemble Precipitation Prediction [D]. Dalian University of Technology, 2012. (in Chinese))

## Future Runoff Prediction of Biliuhe Reservoir Basin Based on Selected GCM

LIANG Manying, LI Yu, ZHOU Huicheng

(Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

**Abstract:** Using LARS-WG downscaling method, CNCM3、HADCM3 and IPCM4 are selected out from 15 GCMs in the IPCC

(下转第 77 页)

- [23] 杨勤科, R.MCVICAR T, 李领涛, 等. ANUDEM—专业化数字高程模型插值算法及其特点[J]. 干旱地区农业研究, 2006,24(3):36-41. (YANG Qingke, R.MCVICAR T, LI Lingtao, et al. The evolvement characteristics and wavelet analysis of spring precipitation of last 40 years in east Qinghai [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2006,24(3):36-41. (in Chinese))
- [24] 周买春, 黎子浩, A.W.JAYAWARDENA. 数值地形图的生成及其水文地貌特征评价[J]. 水利学报, 2002,(2):71-74. (ZHOU Maichun, LI Zihao, A.W.JAYAWARDENA. The generation of digital elevation model and the assessment of its hydrogeomorphological information [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2002,(2):71-74. (in Chinese))
- [25] 徐亚莉, 罗明良, 梁倍瑜, 等. DEM 空间插值方法对土壤侵蚀模拟的影响研究——以 USPED 分析干热河谷典型冲沟为例 [J]. 地理科学进展, 2016,35(7):870-877. (XU Yali, LUO Mingliang, LIANG Beiyu, et al. Effects of different DEM spatial interpolation methods on soil erosion simulation: a case study of a typical gully of dry-hot valley based on USPED [J]. Progress in Geography, 2016,35(7):870-877. (in Chinese))
- [26] 易湘生, 李国胜, 尹衍雨, 等. 土壤厚度的空间插值方法比较——以青海三江源地区为例[J]. 地理研究, 2012,31(10):1793-1805. (YI Xiangsheng, LI Guosheng, YIN Yanyu, et al. Comparison on soil depth prediction among different spatial interpolation methods: a case study in the Three-River headwater region of Qinghai province [J]. Geographical Research, 2012,31(10):1793-1805. (in Chinese))

## Comparison of Spatical Interpolation between Different Rainfall Levels: A Case Study of Rainfall in Nanchong City, Sichuan Province

PU Yang, WANG Rulan, LUO Mingliang, XU Yali, LIN Yebin

(1. Land and Resources School, China West Normal University, Nanchong 637009, China;

2. Institute of Surface Process and Environmental Change, China West Normal University, Nanchong 637009, China)

**Abstract:** For discussing the distinctions of rainfall of different cities under the conditions of heavy, moderate and light rains, the spatial interpolation of different cities were simulated based on the rainfall data of three counties in Nanchong City, Sichuan Province. Four interpolation methods including Inverse Distance Weighting (IDW), Spline with Tension (ST), Local Polynomial Interpolation (LPI) and ANUDEM were used to analyze the mean error (*ME*) and medium error (*RMSE*). Sorted by *ME*: it can be seen from the results that  $LPI < ST < IDW < ANUDEM$  when the rain is heavy or moderate; IDW, ANUDEM, ST are similar and LPI is the highest when the rain is light; *ME* is less than 0.5mm under these three kinds of rainfall conditions. Sorted by *RMSE*: the *RMSE* of the ANUDEM are 1.79mm, 3.07mm and 0.05mm, which is significantly less than that of IDW, LPI and ST; There are few distinctions between these three interpolation methods, that is respectively close to 13mm, 8mm and 0.5mm; the ANUDEM interpolation method is superior to other interpolation methods when the rainfall level is heavy rain and moderate rain, and the differences of the four interpolation methods are small when the rainfall level is light.

**Key words:** precipitation; spatial interpolation; Nanchong City

(上接第 11 页)

Fourth Assessment Report based on the performance in simulating precipitation and temperature in Biliuhe Reservoir basin. Future changes of precipitation and temperature are evaluated under A2, A1B and B1 scenarios, while future change of runoff is evaluated by using ABCD model, the results of which can help provide the basis for water resources planning and management. The result shows that CNCM3, HADCM3 and IPCM4 stand out in simulating precipitation and temperature in Biliuhe Reservoir basin. Compared with baseline period, the relative change of future annual average rainfall will be -6.4%~3.7%; future annual average temperature will increase 0.8°C~1.2°C; the relative change of future potential evaporation will increase 2.4%~4.3%; range of future annual average runoff will be 4.8~6.2 (10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>), decreasing by -4.7%~-27.1%. Greater challenges will be faced in future utilization of water resources.

**Key words:** GCM; LARS-WG; Biliuhe Reservoir basin; ABCD model; runoff prediction