

# RCP 情景下内蒙古黄河流域径流预估及其对水资源的影响

孟玉婧<sup>1</sup> 李喜仓<sup>1\*</sup> 白美兰<sup>1</sup> 杨晶<sup>1</sup> 徐静<sup>2</sup>

(1 内蒙古自治区气候中心, 呼和浩特 010051; 2 河北省秦皇岛市气象局, 秦皇岛 066000)

**摘要** 根据内蒙古黄河流域内 72 个国家气象站观测的 1961—2005 年和区域气候模式 CCLM 模拟的 1961—2100 年的气温和降水数据, 采用 BP 神经网络模型, 预估分析 3 种 RCP 情景下头道拐水文站 2011—2100 年流量变化, 评估未来气候变化对流域水资源的可能影响。结果表明: ①2011—2100 年内蒙古黄河流域气温升高, 降水变化不明显, 年平均流量呈减少趋势, RCP2.6、RCP4.5 和 RCP8.5 情景分别减少 3.6%、2.7% 和 23.4%。②未来春季流量以增加为主; 夏季在不同情景的变化趋势不一致; 秋季在 21 世纪 50 年代前以增加为主, 之后以减少为主; 冬季则以减少为主。③未来流域可利用水资源呈减少趋势, 尤其夏季水资源的供需矛盾加剧, 以及径流季节分配发生变化, 可能产生更大的春季径流。

**关键词** CCLM 模式; BP 神经网络模型; 内蒙古黄河流域; 径流预估; 水资源

**中图分类号:** P467, P333 **DOI:** 10.19517/j.1671-6345.20200065 **文献标识码:** A

## 引言

水是大气环流和水文循环中的重要因子, 也是受气候变化影响最直接和最重要的因子之一<sup>[1]</sup>。内蒙古是中国北方重要的生态屏障, 全区水资源本底差, 随着气候变化和人类不合理开发利用, 加剧了水资源短缺, 引发了一系列生态问题<sup>[2]</sup>, 尤其是生态环境较为脆弱的内蒙古黄河流域, 水资源问题已成为制约该区域发展的瓶颈之一<sup>[3]</sup>。

一些学者<sup>[4-5]</sup>根据典型断面的水文和气象历史观测资料, 分析不同流域气候变化趋势及其对径流量的影响, 预估未来气候变化对流域水资源影响的主要研究方法是将气候模式预估结果或设置的未来气候情景输入到 SWAT<sup>[6-8]</sup>、HBV<sup>[9]</sup>、SWIM<sup>[10]</sup>、VIC<sup>[11-12]</sup> 和新安江<sup>[13-14]</sup> 等水文模型中, 建立流域降水—径流关系来模拟未来不同气候情景下的径流量变化。IPCC 第五次评估报告后开始采用新情景“典型浓度路径”<sup>[15]</sup> (Representative Concentration Pathways, RCPs) 预估流域未来径流变化情况<sup>[16-18]</sup>。

目前, 有关黄河流域水资源的研究主要聚焦于历史数据分析, 对气候变化背景下预估未来流域径流可能变化的研究仍然不足<sup>[19]</sup>, 且多为 SRES 情景, 而对 RCPs 新情景下的研究更少。预估未来气候变化主要依赖于空间分辨率较低的全球气候模式, 不能很好地详细预估区域或流域尺度的气候变化。黄金龙等<sup>[20]</sup>利用区域气候模式 CCLM 开展了 RCP4.5 情景下长江上游流域未来气候变化对径流的影响研究, 但在内蒙古黄河流域尚未开展应用, 因此, 本文基于高分辨率区域气候模式 CCLM 预估的气候变化数据, 采用 BP 神经网络模型, 以 1971—2000 年为基准期, 预估分析 RCP2.6、RCP4.5 和 RCP8.5 情景下内蒙古黄河流域 2011—2100 年径流的可能变化及其对水资源的可能影响, 为流域水资源管理提供科学依据, 对水资源管理、开发利用和社会经济可持续发展具有重要意义。

## 1 研究区概况

由于研究的是流域径流变化, 在计算汇水区域

<http://www.qxkj.net.cn> 气象科技

内蒙古自治区科学技术厅科技计划项目“气候变化对内蒙古黄河流域水资源影响评估研究”、内蒙古自治区科学技术厅科技计划项目“内蒙古地区强降水诱发的山洪灾害预警技术研究及应用——以赤峰市为例”(20130431)和内蒙古气候服务创新团队共同资助

作者简介: 孟玉婧, 女, 1987 年生, 工程师, 硕士, 主要从事气候变化及其影响评估研究, Email: mengnan198704@163.com

收稿日期: 2020 年 3 月 4 日; 定稿日期: 2020 年 8 月 10 日

\* 通信作者, Email: qkslxc@163.com

和面雨量时,不仅要考虑内蒙古地区,同时还涉及到内蒙古上游的汇水区,因此本文提取了以头道拐水文站为出口断面的流域范围,以下简称头道拐以上流域(图 1),重点分析头道拐水文站未来径流变化,以此研究内蒙古黄河流域未来气候变化对水资源的可能影响。

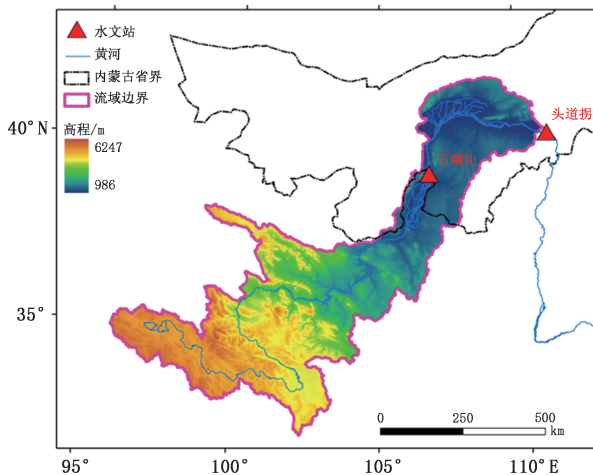


图 1 研究区地形高度和头道拐水文站的地理位置

## 2 数据和方法

### 2.1 数据与来源

气象数据来源于中国气象局国家气象信息中心,剔除流域内缺测较多、观测年限较短的站点,经整理后,最终选取了流域内 72 个国家气象站 1961—2019 年平均气温和降水的逐月观测数据,其中内蒙古区内 16 个气象站,区外 56 个气象站(图 2)。

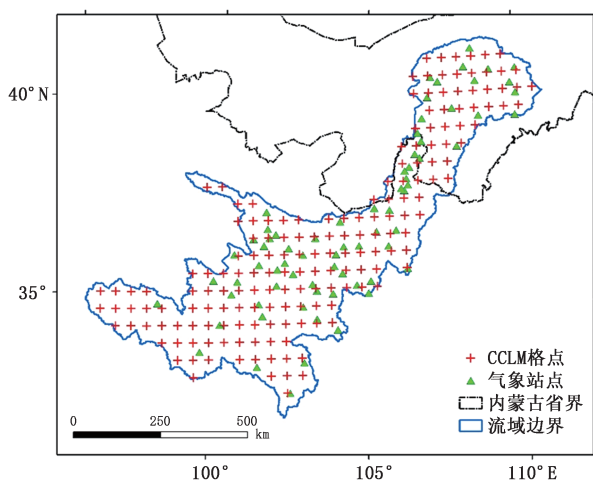


图 2 内蒙古黄河流域内气象站点和 CCLM 格点的空间分布

模式数据来源于德国波兹坦气候影响研究所的

区域气候模式 CCLM (COSMO model in Climate Mode, COSMO-CLM),空间分辨率为  $0.46^{\circ} \times 0.46^{\circ}$ ,包括 RCP2.6、RCP4.5 和 RCP8.5 共 3 种排放情景。选取流域内 175 个 CCLM 格点 1961—2100 年平均气温和降水的逐日数据(图 2),其中 1961—2005 年为模拟期,2006—2100 年为预估期。

径流数据选择位于黄河流域内蒙古段干流的头道拐水文控制站 1961—2005 年逐月实测流量数据,它是黄河流域重要的水文控制站之一,位于黄河流域上游,控制流域面积约为  $3.9 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。

### 2.2 方法

本文采用皮尔森空间相关系数(PCOR)来评价 CCLM 模式与观测在空间分布特征上是否一致,它是观测和模拟 2 个序列的协方差除以其标准差的乘积,可通过 ArcGIS 的空间分析功能计算,用于衡量 2 个栅格图层的相关性。

$$P_{ij} = \frac{C_{ij}}{\delta_i \delta_j} \quad (1)$$

式中,  $P_{ij}$  为 PCOR 系数,  $C_{ij}$  为两序列间的协方差,  $\delta_i$  和  $\delta_j$  分别为  $i$  序列和  $j$  序列的标准差。  $P_{ij}$  值越接近 1,说明观测值与模拟值的空间相关性越强,大于 0.5 则表明相关性较强。

本文采用人工神经网络模型(Artificial Neural Network, ANN)中的 BP(Back Propagation)神经网络,它是一种反向传递并能修正误差的多层映射神经网络,由输入层、输出层和一个或多个隐含层构成,具有结构简单、易于实现的特点。当参数适当时,该网络能收敛到较小的均方差,是目前应用最广的人工神经网络模型之一<sup>[21]</sup>。相关学者<sup>[22-23]</sup>研究认为 BP 神经网络为一些复杂水文水资源问题的研究提供了一条有效途径,它不需要流域内大量基础数据和参数,使用简便,在解决资料缺乏地区的径流模拟方面优势明显,在大流域或小流域中均具有适用性。目前,已有学者<sup>[24-25]</sup>将其用来预估不同气候变化对流域径流的影响。

## 3 结果与分析

### 3.1 CCLM 模式的模拟能力

#### 3.1.1 月平均气温和降水

CCLM 模式对各月平均气温的模拟值均低于观测值,存在冷偏差,其中 10 月平均气温最接近观测值;而各月降水量的模拟值则均高于观测值,模拟

的降水量偏多,其中 12 月降水最接近观测;CCLM 模拟与观测值的偏差均呈波动式变化特征。从季节

上看,CCLM 模式对平均气温模拟夏、秋两季较好,冬季次之;对降水模拟冬季较好,夏季次之(图 3)。

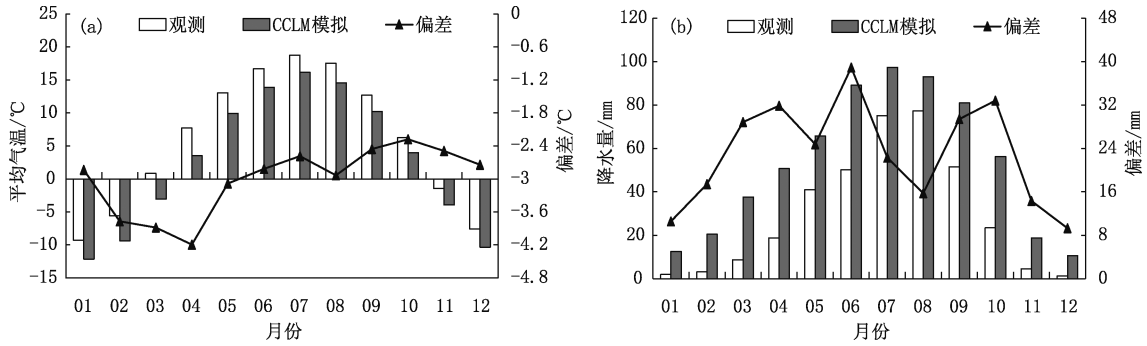


图 3 1961—2005 年头道拐以上流域月平均气温(a)和降水量(b)观测、CCLM 模拟及两者差值的变化

### 3.1.2 年平均气温和降水

与观测相比,CCLM 模式能模拟出流域年平均气温由东北向西南逐渐递减以及年降水由西北向东

南逐渐递增的空间分布特征,特别是对内蒙古区内流域的模拟与观测数据在数值上也基本一致(图 4),年平均气温和降水的 PCOR 值分别达到 0.96 和 0.88,

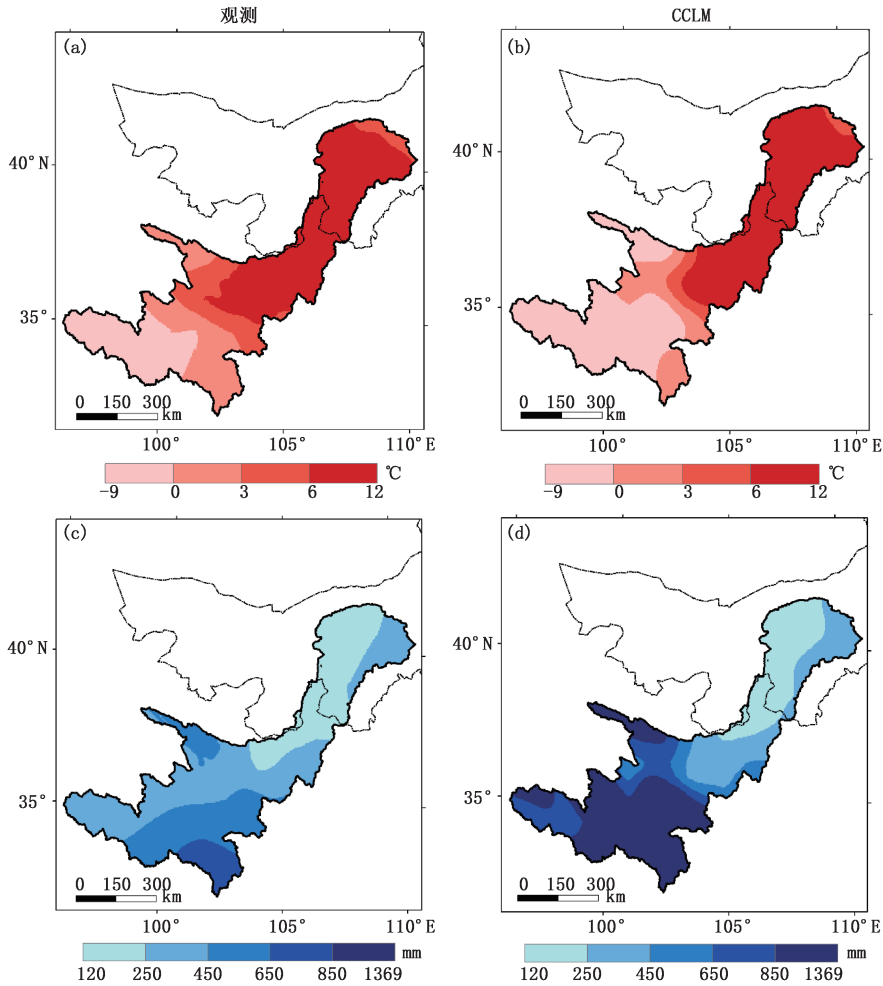


图 4 1961—2005 年头道拐以上流域观测与 CCLM 模拟的年平均气温(a,b)和年降水量(c,d)的空间分布

说明 CCLM 模式模拟的该流域年平均气温和降水的空间分布特征基本符合实际情况,尤其是内蒙古黄河流域。在数值上,CCLM 模式对降水模拟的系统偏差要大于平均气温,主要集中在流域西部及西南部的高原地区,这可能与降水和气温对地形都有较强的依赖有关,一些由地形引起的降水空间分布差异和气温梯度变化无法得到敏感反映。

### 3.2 预估未来流域气候变化

#### 3.2.1 年平均气温和降水变化

相对基准期,在 3 种 RCPs 情景下,2011—2100 年内蒙古黄河流域年平均气温均呈升高趋势,升温范围在 0.1~6.6 °C 之间。其中 RCP4.5 和 RCP8.5 情景下升温趋势显著( $P < 0.01$ ),且 RCP8.5 情景下增幅最大,90 年间升高 5.4 °C,RCP4.5 情景次之,90 年间升高 1.8 °C,而 RCP2.6 情景下升温不明显。流域年降水距平百分率的整体变化趋势均不明显,变化范围在 -25.1%~38.7% 之间,其中 RCP2.6 和 RCP8.5 情景下均呈略减少趋势,90 年间仅分别减少 2.3% 和 3.5%,而 RCP4.5 情景下则呈略增加趋势,90 年间仅增加 2.3%。对比 2011—2019 年观测数据可知,RCP2.6 情景的变化趋势特征与观测较为接近(图 5)。

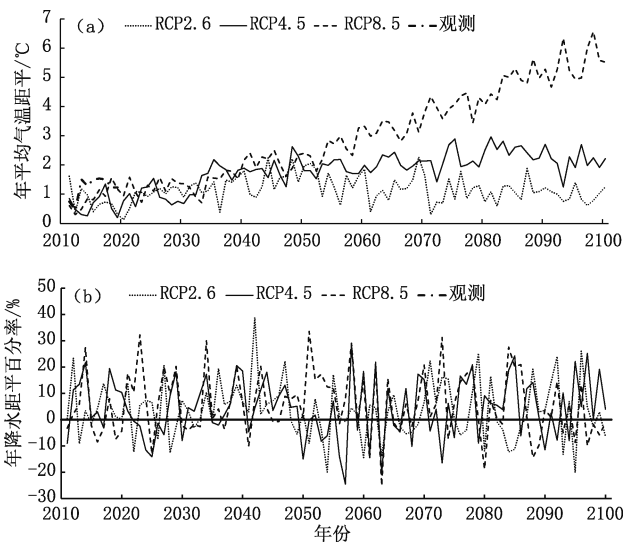


图 5 2011—2100 年内蒙古黄河流域年平均气温距平(a)和年降水距平百分率(b)变化  
(距平是相对 1971—2000 年,下同)

#### 3.2.2 四季平均气温和降水变化

从季节上看(表 1),相对基准期,在 3 种 RCPs 情景下,2011—2100 年内蒙古黄河流域四季平均气

温均有明显上升趋势,其中 RCP8.5 情景下增幅最显著;季节分配上,冬季增幅均为最大,最大增幅可达 3.2 °C。流域春、秋和冬季降水均呈增加趋势,其中 RCP8.5 情景下增幅均为最大,分别可达 18.6%、6.7% 和 15.4%;夏季降水在不同情景的变化趋势不一致,其中在 RCP2.6 情景下呈增加趋势,增幅为 1.1%,在 RCP4.5 情景下基本无变化,而在 RCP8.5 情景下则呈减少趋势,减幅为 3.3%;在季节分配上,春季降水的增幅最大,冬季次之。

表 1 2011—2100 年内蒙古黄河流域四季平均气温距平和降水距平百分率(相对 1971—2000 年)

	平均气温距平/°C			降水距平百分率/%		
	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
春季	1.1	1.6	2.6	9.6	12.1	18.6
夏季	1.1	1.8	3.0	1.1	0.0	-3.3
秋季	1.1	1.8	3.0	2.7	2.9	6.7
冬季	1.3	2.0	3.2	2.8	11.3	15.4

### 3.3 建立流域气温-降水-径流关系

#### 3.3.1 确定模型输入因子

采用算术平均法,计算流域 1961 年 3 月至 2005 年 12 月的月平均气温和降水,通过计算头道拐站的月平均流量与流域月平均气温和降水的相关系数可知流域月平均气温和降水对月平均流量约存在 1~2 月的滞后影响,当月平均流量与前 2 个月的月平均气温和降水的相关系数分别为 0.60 和 0.54,与前 1 个月的相关系数分别为 0.68 和 0.6,同月的相关系数分别为 0.58 和 0.5,而与前 3 个月的相关系数则减小为 0.28 和 0.30。因此选择当月降水、前 1 个月降水、前 2 个月降水、当月平均气温、前 1 个月平均气温和前 2 个月平均气温作为 BP 神经网络模型的输入因子。

#### 3.3.2 构建 BP 神经网络模型

设定输入层  $i$  与隐含层  $K$  之间,以及隐含层  $K$  与输出层  $j$  之间的初始权值相同,其他参数为:基本学习速率为 0.1;输入层与隐含层之间调用 transig 算法,隐含层与输出层之间调用 purelin 算法;最大训练 5000 次,最大训练误差 0.01。通过公式  $K = \sqrt{i+j} + a$  ( $a$  为 [1,10] 之间的常数)计算隐含层数的范围,然后根据多次试验确定合适的隐含层数。结果表明,头道拐站的节点数为 4 时模型输出值与实测过程拟合最佳,因此隐含层节点数为 4。

### 3.3.3 训练最佳 BP 神经网络模型

根据平均气温和降水的逐月数据,实测样本总数为 538 个,其中 1961 年 3 月至 2002 年 12 月为训练期(共 502 个训练样本),2003—2005 年为验证期(共 36 个验证样本)。

在训练期,头道拐站月平均流量与模型输出值的确定性系数为 0.7,验证期的确定性系数为 0.6,由图 6 可见,训练后的 BP 神经网络模型能较好地模拟流域月平均气温和降水与头道拐站月平均流量的关系,对流域径流量的模拟能力较强。

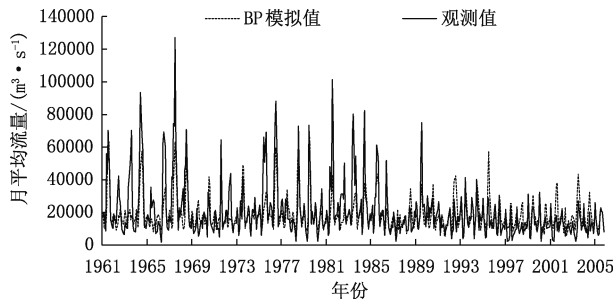


图 6 1961 年 3 月至 2005 年 12 月头道拐站月平均流量实测值与 BP 模拟值变化

## 3.4 预估流域未来径流变化

### 3.4.1 年平均流量变化

3 种 RCPs 情景下,2011—2100 年流域年平均流量整体均呈波动减少趋势,变化范围在 -47.2%~30.6%之间。其中 RCP8.5 情景减少趋势最明显

( $P < 0.01$ ),90 年间减少 23.4%,而 RCP2.6 和 RCP4.5 情景下均呈略减少趋势,90 年间仅分别减少 3.6%和 2.7%(图 7)。

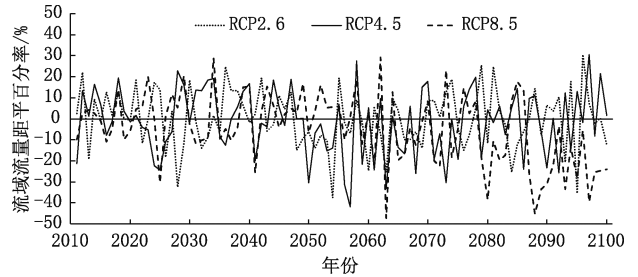


图 7 2011—2100 年头道拐站年平均流量的距平百分率

### 3.4.2 季节平均流量变化

3 种 RCPs 情景下,2011—2100 年流域春季平均流量以增加趋势为主,增幅最大为 RCP8.5 情景在 21 世纪 50 年代增加 14.6%;夏季平均流量在不同情景的变化趋势不一致,其中 RCP2.6 情景以增加趋势为主,RCP4.5 情景在 21 世纪 70 年代前以减少趋势为主,之后均呈增加趋势,而 RCP8.5 情景以减少趋势为主;秋季平均流量在 21 世纪 50 年代前以增加趋势为主,之后以减少趋势为主,其中 RCP4.5 情景在 21 世纪 30 年代增加了 27.8%,为 3 种情景下各季节流量增幅之最,而 RCP8.5 情景在 21 世纪 90 年代减幅达到 38.4%,亦为减少幅度之最;冬季平均流量以减少趋势为主,其中 RCP8.5 情景下减少幅度较大(图 8)。

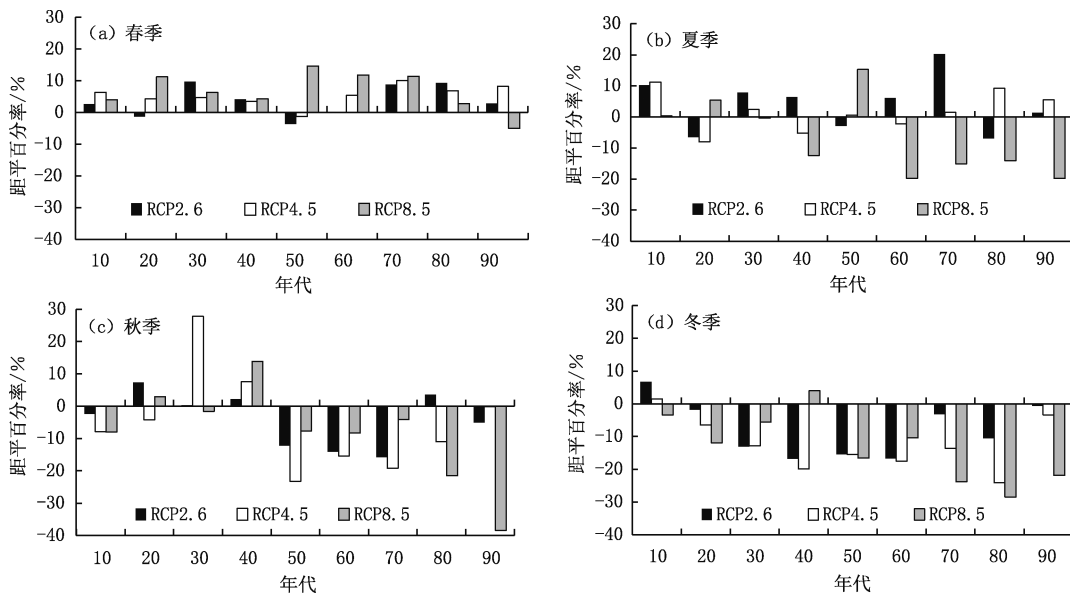


图 8 2011—2100 年各年代头道拐站春(a)、夏(b)、秋(c)、冬(d)平均流量的距平百分率

### 3.5 未来气候变化对流域水资源的可能影响

未来气候变化会影响内蒙古黄河流域水资源年内的季节分配。流域春季增温会引起黄河凌汛的开河期提前,加之春季降水呈增加趋势,造成春季流量以增加趋势为主,可能导致更大的春季径流;虽然夏季增温增加了径流的蒸散发损耗,但由于夏季径流量主要受降水补给的影响,使得流域夏季径流量变化与降水变化基本保持一致;由于秋、冬季的增温幅度较大,加剧了蒸散发的损耗,虽然秋、冬季的降水呈增加趋势,但无法抵消增温对径流的影响,因此流域秋、冬季的平均流量以减少趋势为主。

2011—2100 年内蒙古黄河流域年平均气温呈持续升高态势,不仅会带来用水需求增加,而且流域径流蒸散发损耗也会随之增大,加之 RCP2.6 和 RCP8.5 情景下年降水呈减少趋势,虽然 RCP4.5 情景下呈略增加趋势,但用水需求和径流蒸散发的增加超过了降水量的补给,造成未来内蒙古黄河流域年径流量呈减少趋势,其中 RCP8.5 情景减少最显著,90 年间减少 23.4%,导致可利用水资源呈减少趋势。尤其夏季高温使社会经济用水量不断增加,加之夏季径流减少,可能加剧水资源短缺,对当地的生态环境和社会经济的可持续发展产生不利影响。

## 4 结论与讨论

基于 CCLM 模式预估的气候变化,利用 BP 人工神经网络模型,预估分析了未来不同 RCPs 情景下,2011—2100 年内蒙古黄河流域年和四季平均流量的可能变化特征,以及对流域水资源的可能影响,主要结论如下:

(1)区域气候模式 CCLM 对内蒙古黄河流域平均气温和降水在年和月尺度上均具有良好的模拟能力,尤其对空间分布格局,该模式在内蒙古黄河流域具有适用性。

(2)RCPs 情景下,2011—2100 年内蒙古黄河流域年平均气温升高,年降水变化不明显,年平均流量呈减少趋势,其中 RCP8.5 情景减少最显著,90 年间减少 23.4%,而 RCP2.6 和 RCP4.5 情景分别减少 3.6%和 2.7%。

(3)未来 90 年,流域春季流量以增加为主;夏季在不同情景的变化趋势不一致,RCP2.6 情景以增加为主,RCP4.5 情景在 21 世纪 70 年代前以减少

趋势为主,之后均呈增加趋势,而 RCP8.5 情景以减少趋势为主;秋季在 21 世纪 50 年代前以增加为主,之后以减少为主;冬季则以减少为主。

(4)未来内蒙古黄河流域水资源季节分配发生变化,可能产生更大的春季径流。同时,可利用的水资源呈减少趋势,尤其是夏季径流减少和用水量加大,可能导致当地水资源供需矛盾加剧。

本文只选用了全球模式驱动下的一种区域气候模式,预估值存在系统偏差,具有一定的不确定性,但这是目前气候模式模拟普遍存在的一个问题,在未来研究中应考虑多种模式集成的结果,尽量降低模式本身的系统不确定性。同时,由于获取水文资料的限制,本文选用的头道拐水文站位于内蒙古黄河流域河套灌区的下游,它的观测流量会受到农业灌溉和生活用水的引水消耗,以及水库、水渠调控因素的影响,从而影响 BP 神经网络模型对头道拐站流量的模拟精度。因此,在下一步的研究中应考虑河套灌区等人类活动对自然径流的影响,以便得到更适合内蒙古黄河流域的 BP 神经网络模型参数,提高模拟精度。

致谢:感谢德国波兹坦气候影响研究所提供的 CCLM 模式气候情景数据。

## 参考文献

- [1] 李峰平,章光新,董李勤. 气候变化对水循环与水资源的影响研究综述[J]. 地理科学,2013,33(4):457-464.
- [2] 杨贵羽,王浩,李烁阳,等. 内蒙古水资源形势及开发利用对策[J]. 中国水利,2017(23):32-35.
- [3] 刘钢,王慧敏,徐立中. 内蒙古黄河流域水权交易制度建设实践[J]. 中国水利,2018(19):39-42.
- [4] 杨春利,蓝永超,王宁练,等. 1978—2015 年疏勒河上游出山径流变化及其气候因素分析[J]. 地理科学,2017,37(12):1894-1899.
- [5] 颜明,李夫星,贺莉,等. 夏季风等环流因子对黄河中游径流量周期变化的影响[J]. 地理科学,2016,36(6):917-925.
- [6] 陈亮,董晓华,李英海,等. 基于 SWAT 模型的黑河上游东支流域气候变化的水文相应研究[J]. 三峡大学学报(自然科学版),2019,41(2):1-5.
- [7] 王怀志,高玉琴,袁玉,等. 基于 SWAT 模型的秦淮河流域气候变化水文响应研究[J]. 水资源与水工程学报,2017,28(1):81-87.
- [8] 降亚楠,王蕾,魏晓妹,等. 基于 SWAT 模型的气候变化对泾河径流量的影响[J]. 农业水土工程,2017,48(2):262-270.
- [9] 赵娜,曾小凡,刘寒. 基于 HBV 的黑河流域径流对气候变化的响应[J]. 人民长江,2018,49(12):34-37.

- [10] 周一飞,陈慧颖,张淑兰,等. 基于 SWIM 模型模拟气候变化对青海湖布哈河流域水文过程的影响[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2017, 53(2): 208-214.
- [11] 金君良,何健,贺瑞敏,等. 气候变化对淮河流域水资源及极端洪水事件的影响[J]. 地理科学, 2017, 37(8): 1226-1233.
- [12] 黄亚,肖伟华,陈立华,等. 基于 VIC 模型的气候变化对红水河上游流域径流影响研究[J]. 广西大学学报(自然科学版), 2018, 43(1): 406-415.
- [13] 郑燕妮,闻昕,方国华. 新安江流域气候变化及径流响应研究[J]. 水资源与水工程学报, 2015, 26(1): 106-110.
- [14] 林榕杰,方国华,郭玉雪,等. RCP 情景下都柳江上游气候变化及径流响应分析[J]. 水资源与水工程学报, 2017, 28(1): 74-80.
- [15] Moss R, Edmonds J, Hibbard K, et al. The next generation of scenarios for climate change research and assessment [J]. Nature, 2009, 463: 747-756.
- [16] Su B D, Huang J L, Zeng X F, et al. Impacts of climate change on streamflow in the upper Yangtze River basin [J]. Climatic Change, 2016, 141(3): 1-14.
- [17] 阮甜,查芊郁,杨茹,等. 全球升温 1.5℃ 和 2.0℃ 对长江寸滩站以上流域径流的影响[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(2): 407-415.
- [18] 王胜,许红梅,刘绿柳,等. 全球增温 1.5℃ 和 2.0℃ 对淮河中上游径流影响预估[J]. 自然资源学报, 2018, 33(11): 1966-1978.
- [19] 魏洁,畅建霞,陈磊. 基于 VIC 模型的黄河上游未来径流变化分析[J]. 水力发电学报, 2016, 35(5): 65-74.
- [20] 黄金龙,王艳君,苏布达,等. RCP4.5 情景下长江上游流域未来气候变化及其对径流的影响[J]. 气象, 2016, 42(5): 614-620.
- [21] 王其虎,钱新,张玉超,等. BP 神经网络在流溪河水库径流量预测中的应用[J]. 环境保护科学, 2010, 36(3): 19-21, 49.
- [22] Li F P, Zhang Y Q, Xu Z X, et al. Runoff predictions in ungauged catchments in southeast Tibetan Plateau [J]. Journal of Hydrology, 2014, 511(11): 28-38.
- [23] 何映颖,陈晓宏,张云,等. BP 神经网络在小流域径流模拟中的应用[J]. 水文, 2015, 35(5): 35-40, 96.
- [24] 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, 22(4): 462-469.
- [25] 赵琳林,孙美平,孙皓,等. 天山北坡奎屯河流域径流模拟及对气候变化的敏感性分析[J]. 山地学报, 2018, 36(5): 722-730.

## Runoff Estimate and Its Impact on Water Resources in Yellow River Basin of Inner Mongolia under RCP scenarios

MENG Yujing<sup>1</sup> LI Xicang<sup>1</sup> BAI Meilan<sup>1</sup> YANG Jing<sup>1</sup> XU Jing<sup>2</sup>

(1 Climate Center of Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot 010051; 2 Qinhuangdao Meteorological Service, Hebei, Qinhuangdao 066000)

**Abstract:** According to the temperature and precipitation data observed by 72 national meteorological stations from 1961 to 2005 and simulated by the regional climate model CCLM from 1961 to 2005 in the Yellow River Basin of Inner Mongolia, the BP neural network model is used to predict and analyze the runoff changes in the Toudaoguai hydrological station under three RCP scenarios from 2011 to 2100, so to evaluate the possible impact of future climate change on water resources in the basin. The results show that: (1) From 2011 to 2100, the temperature in the Yellow River Basin of Inner Mongolia would increase, but the precipitation would not change significantly, and the annual average runoff show a decreasing trend. Corresponding to the scenarios of RCP2.6, RCP4.5, and RCP8.5, the decrease would be by 3.6%, 2.7% and 23.4%, respectively. (2) In the future, the spring runoff would mainly increase; in summer, the trends of runoff change in different scenarios would be inconsistent; in autumn, the runoff would mainly increase before the 2050s and then decrease mainly; in winter, the runoff would mainly decrease. (3) In the future, the available water resources in the basin would decrease, and especially the contradiction between supply and demand of water resources would intensify in summer. The seasonal distribution of runoff would change, which might result in greater spring runoff.

**Keywords:** CCLM model; BP neural network model; Yellow River Basin; runoff estimate; water resources