

RCP 情景下淮河上游气候及径流量变化

杨青青¹, 高超^{2*}, 查芊郁¹, 张平究¹

(1. 安徽师范大学地理源与旅游学院, 安徽芜湖 241000; 2. 宁波大学地理与空间信息技术系, 浙江宁波 315211)

摘要 基于 ISI-MIP(the inter-sectoral impact model inter-comparison project)推荐的5套“典型浓度路径”情景下的全球气候模式数据, 驱动分布式水文模型 SWIM 模拟淮河上游王家坝水文站以上地区未来(2020—2050年)径流量, 分析淮河上游气候要素及径流量变化。结果表明, 未来 RCP 情景下, 淮河上游王家坝水文站以上地区温度和降水与基准期(1986—2005年)相比均有增长, 温度在 RCP8.5 情景下增长幅度最大, 空间分布从西北到东南呈现出增加趋势; 降水在 RCP4.5 情景下涨幅最明显, 空间分布自北向南呈递减趋势。5个气候模式模拟淮河上游干流径流量和趋势时各有优劣, 其中 HadGEM2 模式效果最优; 到21世纪中期, RCP 情景下淮河上游干流径流量与基准期相比呈现出上升趋势, 涨幅均超过10%, RCP4.5 情景下模拟径流量的年变化率及汛期径流涨幅最大。研究区未来枯水期水资源短缺现象将得到缓解但发生洪水尤其是极端洪水的可能性将加大。

关键词 RCP 情景; 全球气候模式; 气象要素; SWIM 水文模型; 径流量; 变化特征; 淮河上游

中图分类号 P 339 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2020)03-0209-06

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.03.061



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Changes of Climate and Runoff under the Representative Concentration Pathways Scenarios in the Upper Reaches of the Huaihe River

YANG Qing-qing¹, GAO Chao², ZHA Qian-yu¹ et al (1. School of Geography and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui 241000; 2. Department of Geography & Spatial Information Techniques, Ningbo University, Ningbo, Zhejiang 315211)

Abstract Based on five global climate model data recommended by the inter-sectoral impact model inter-comparison project (ISI-MIP) under the representative concentration pathways scenarios, soil and water integrated model (SWIM) simulate the future runoff (2020–2050) in main stream of upper reaches of the Huaihe River. Also, an analysis was made on climatic factors and runoff changes. The result showed that in the future RCP scenario, the temperature and precipitation would increase compared with the reference period(1986–2005) in Wangjiaba hydrological station of the upper reaches of the Huaihe River. The temperature increased the most under the RCP8.5 scenario, and the spatial distribution showed an increasing trend from northwest to southeast. Precipitation increased most in RCP4.5 scenario, and the spatial distribution showed a decreasing trend from north to south. The five climate models had different advantages and disadvantages for simulating the runoff and trend of the upper reaches of the Huaihe River, and the HadGEM2 model had the best effect; By the middle of the 21st century, the runoff under RCP scenarios would show an upward trend compared with the reference period, with an increase of more than 10%. Among them, the annual rate of change of runoff under the RCP4.5 scenario and the change rate of runoff in flood season increase the most. Water shortages in the dry season of the study area would be alleviated, but the possibility of floods would increase, especially extreme floods.

Key words RCP scenario; Global climate model; Meteorological element; SWIM hydrological model; Runoff; Change characteristics; Upstream of Huaihe River

近一个世纪以来,全球气候变暖是毋庸置疑的事实^[1]。气候的急剧变化导致水文序列稳定性的破坏,全球水循环发生改变,极端水文事件频发^[2]。淮河上游地区受气候变化影响最为显著,是我国年径流量变幅最大的地区之一^[3],极端降水活动频发且强度较大^[4]。淮河流域径流量的研究受广泛关注:①内容上,围绕淮河流域径流量的时空变化特征^[5]、径流对气候变化的响应^[6]、径流量情景预估^[7]等方面开展研究;②方法上,有应用统计方法,如年最大值法和超门限峰值法抽取径流序列样本,采用 Mann-Kendall 趋势检验、概率分布函数、小波分析等方法研究淮河流域径流强度、频率和周期^[8-10];有应用水文模型的方法,如应用 SWAT 模型和可变下渗容量模型研究淮河流域径流量变化^[11-12];③数据上,多选择观测数据,或是气候模式数据,如 IPCC 第四次发布的排放情景及全球气候模式数据、德国马普气象研究所的海气耦合模式 ECHAM5/MPI-OM^[13]等数据。

全球气候模式被广泛应用于气候变化的研究中,是开展未来气候模拟的重要工具。多领域间影响模型比较计划 ISI-MIP(the inter-sectoral impact model inter-comparison project)推荐的5套“典型浓度路径”(representative concentration pathways, RCP)情景下的全球气候模式数据及其降尺度的结果,被应用到全球和区域尺度上气温、降水和径流等要素的模拟评估与预估中,取得良好效果^[14-15]。王胜等^[11]选择 RCP4.5、RCP6.0 和 RCP8.5 在全球增温 1.5 和 2.0 °C 下的预估结果,分析了淮河中上游地区未来的气候变化特征;查芊郁等^[16]选择 RCP2.6、RCP4.5 研究全球升温 1.5 和 2.0 °C 情景下淮河上游干流径流量变化。以上研究多是选择部分情景进行全球升温在 1.5 和 2.0 °C 下的淮河径流研究,但各模式升温幅度不一致,研究时间段不确定性大,多为离散性或时间跨度大。该研究使用多领域间影响模型比较计划 ISI-MIP 推荐的5套“典型浓度路径”情景下的全球气候模式数据,驱动分布式水文模型 SWIM,研究未来(2020—2050年)淮河上游干流径流量变化趋势,为近阶段淮河上游防洪抗旱提供决策依据。

1 资料与方法

1.1 研究区域概况 淮河流域地处南北气候过渡带,是我

基金项目 国家自然科学基金项目(41571018,41871024)。

作者简介 杨青青(1994—),女,安徽合肥人,硕士研究生,研究方向:气候变化与水文水资源。*通信作者,教授,博士,硕士生导师,从事气候变化与水文水资源方面的研究。

收稿日期 2019-08-28; **修回日期** 2019-09-07

国南北方的自然分界线^[17]。流域内冷暖气团活动频繁,降水量时空分布不均,受梅雨和台风的影响,暴雨集中于6—9月。淮河径流主要由降水补给,洪水多由暴雨产生。径流量年际变化大且年内分配高度集中于汛期,洪涝灾害频繁发

生,特别是淮河上游地区为极端降水的高风险区。选取淮河上游王家坝水文站以上区域为研究区(图1),以王家坝水文站为出口断面划分子流域,面积约20 505 km²,多年平均气温约14.5℃,多年平均降水量约1 005 mm。

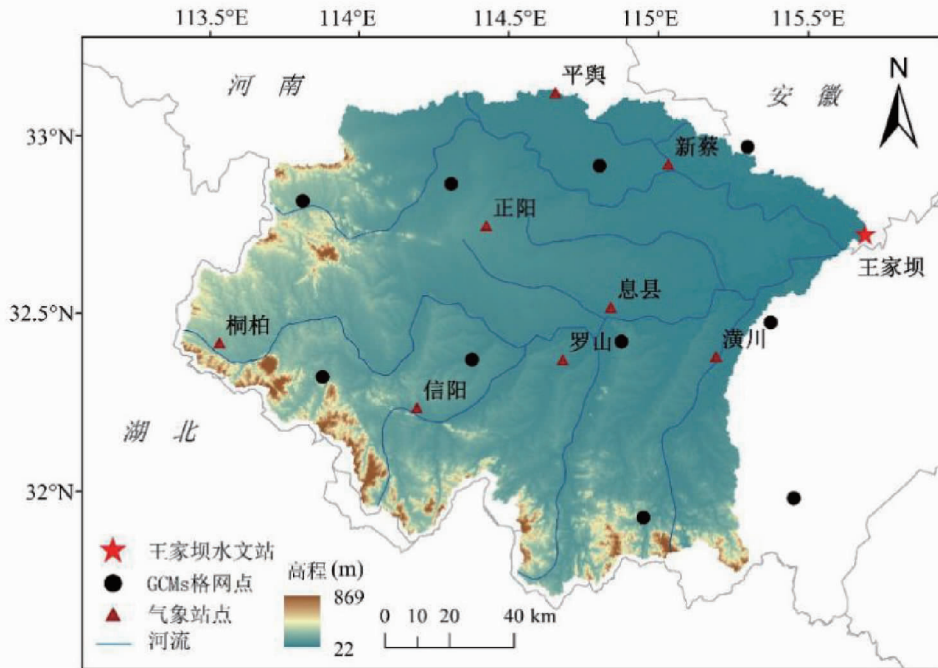


图1 研究区地理位置

Fig. 1 Geographical location map of the study area

1.2 研究数据与方法

1.2.1 气候模式数据。该研究使用的气候变化情景数据是从多领域间影响模型比较计划 ISI-MIP 获取的经空间降尺度、偏差校正后的 5 套“典型浓度路径”(RCP)情景下的全球气候模式(global climate model, GCM)逐日模拟结果。这 5 套全球气候模式数据均来自 CMIP5,在气温和降水预估方面的 FRC 指数(fractional range coverage)分别为 0.75 和 0.59,能较合理地代表区域平均气温和降水的变化^[18]。数据包括 HadGEM2-ES、GFDL-ESM2M、MIROC-ESM-CHEM、NorESM1-M 和 IPSL-CM5A-LR(以下称为 HadGEM2、GFDL、MIROC、NorESM1、IPSL)。“典型浓度路径”是 IPCC 发展的新一代温室气体排放路径,包括 4 种排放情景^[19]。RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0 和 RCP8.5 的温室气体排放情景不断增高,到 2100 年后 CO₂ 当量浓度分别稳定在 490、650、850 和 1 370 mL/m³。

5 个 GCM 数据模拟时间为 1961—2099 年,其中历史时期数据为 1961—2005 年,4 个典型浓度路径下的模拟数据为 2006—2099 年。选取 2020—2050 年为未来时间段,1986—2005 年为基准期,研究区及其周边共 10 个格网点进行气象插值运算。

1.2.2 实测数据。气象数据为 1959—2016 年研究区内 8 个全国气象站点的逐日降水、气温、气压、风速、相对湿度、日照时数等观测数据,由中国气象局国家气候中心提供。径流数据为 1959—2008 年王家坝水文站逐日观测数据,由淮河水

利委员会提供。

1.2.3 地理数据。淮河上游 DEM 数据来源于中国科学院地理空间数据云网站(<http://www.gscloud.cn/>)的 SRTM 数据,空间分辨率 90 m×90 m。土地利用数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心,比例尺为 1:10 万。土壤数据来源于联合国粮食及农业组织(food and agriculture organization of the United Nations, FAO)全球土壤数据库,比例尺为 1:400 万。将所有地理数据的像元大小重采样到 400 m×400 m。

1.2.4 SWIM 水文模型。SWIM(soil and water integrated model)是德国波兹坦气象研究所(PIK)基于 SWAT 模型和 MATSALU 模型基础上改进开发而成的可将气候变化与水文学定量化研究相结合的一种分布式水文模型。使用 Nash 等^[20]提出的纳西效率系数 E_{ns} 及相对误差 R 来判断模型的适应性,该方法可以用来解释模型的误差,当 $E_{ns}=1$ 且 $R=0$ 时模型完美拟合,公式如下:

$$E_{ns} = 1 - \frac{\sum (Q_{OBS} - Q_{SIM})^2}{\sum (Q_{OBS} - \bar{Q}_{OBS})^2} \quad (1)$$

式中, Q_{OBS} 、 Q_{SIM} 和 \bar{Q}_{OBS} 分别为实测径流量、模拟径流量和实测径流量时间序列平均值。 E_{ns} 的取值范围是 $-\infty \sim 1$, 当 E_{ns} 的值愈接近 1, R 愈接近 0 时,模型的误差愈小,模拟精度愈高,拟合程度愈好。

将模型的模拟验证分为率定期(1959—1978 年)和验证期(1979—2008 年),利用气象站点的逐日观测气象数据驱动

SWIM 模型进行参数率定及模拟验证,日径流量模拟结果如图 2 所示。率定期 Ens 和 R 分别为 0.79 和 22%,验证期分别为 0.81 和 7.8%。与实测径流量相比,SWIM 模型模拟的

日径流量模拟结果在率定期和验证期均有较好的拟合效果,模拟精度较高。因此,对于淮河上游的日径流量模拟 SWIM 模型具有较好的适用性^[21],可应用于该研究。

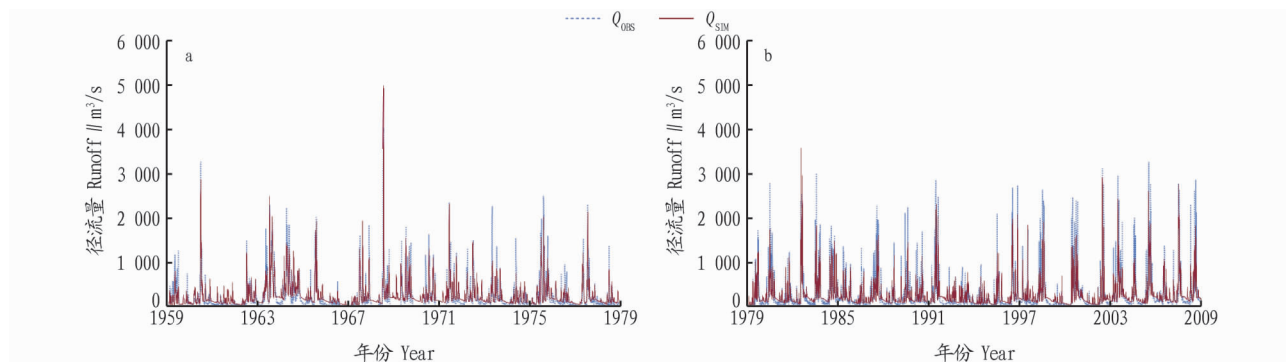


图 2 率定期(a)与验证期(b)日径流量模拟结果

Fig. 2 Daily runoff simulation results of calibration period(a) and validation period(b)

2 结果与分析

2.1 未来淮河上游气候要素变化 在气候要素中,选择与径流相关性较大的温度和降水分析淮河上游未来气象变化趋势。利用研究区及其周边的 10 个气候模式的格网点数据,分析未来平均温度较基准期的绝对变化和降水较基准期的相对变化率。与基准期相比,RCP 情景下的温度和降水均呈现出增加趋势。与基准期相比(图 3a),研究区域内 4 个

RCP 情景平均增温约 1.34 °C,RCP8.5 增温幅度最大而 RCP6.0 增幅最小,分别约为 1.66 和 1.08 °C,空间分布从西北到东南增温幅度呈现出增加趋势。降水与基准期相比(图 3b),研究区域内 4 个 RCP 情景平均约有 5.33% 的增长,RCP2.6 和 RCP4.5 涨幅明显均达 6% 以上,降水的相对变化率在空间分布由北到南呈现出递减趋势。

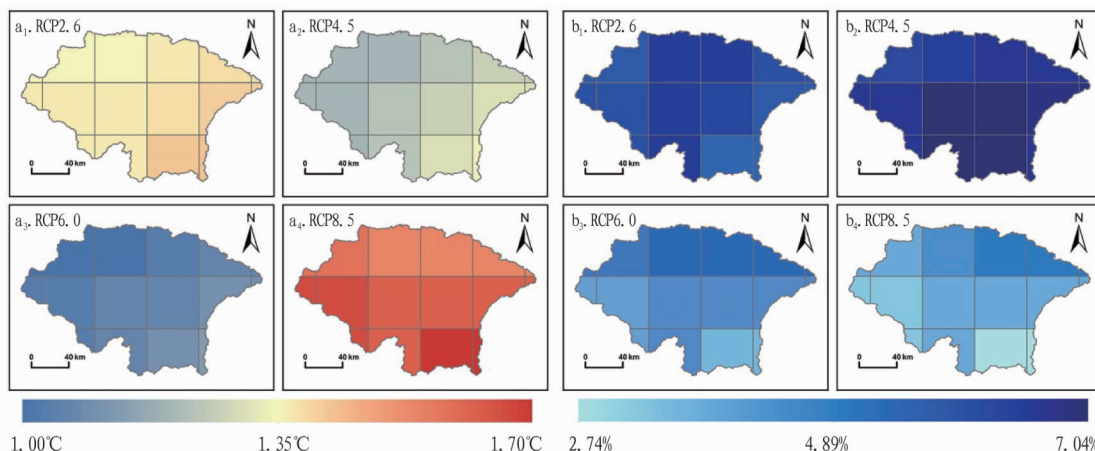


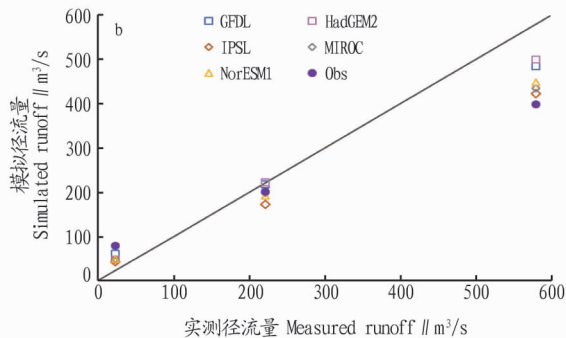
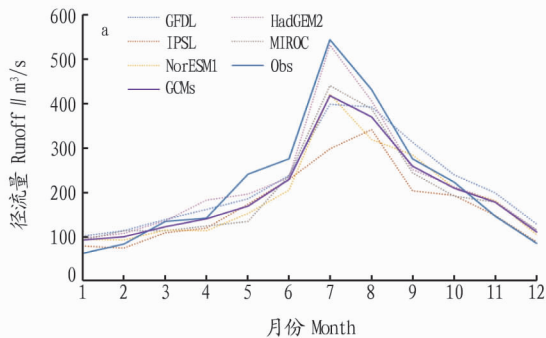
图 3 2020—2050 年温度较基准期的绝对变化(a)和降水较基准期的相对变化(b)的空间分布

Fig. 3 Spatial change of absolute changes in temperature compared to reference period(a) and relative changes in precipitation compared to reference period(b) from 2020 to 2050

2.2 径流量模拟验证 气候模式历史时期数据与实测径流量重叠时期为 1961—2005 年,利用该时段气候模式数据驱动 SWIM 模型,得到淮河上游干流的日模拟径流量。将模拟结果与实测径流量对比,从月变化趋势和极值变化 2 个方面分析不同气候模式的模拟效果(图 4)。从淮河上游干流月平均径流量(图 4a)可以看出,5 个气候模式模拟效果各有优劣。其中,HadGEM2 模式的模拟效果最优,能很好地描述径流总量及趋势;NorESM1、MIROC 模式与 GCMs 输出径流总量虽整体偏低,但峰值的相对位置与实测值较接近,能很好地模拟径流量变化趋势;GFDL 与 IPSL 模式不管在峰值的相对位置还是模拟径流总量来看均表现一般;5 个气候模式及 GCMs 均在冬季(12 月—次年 2 月)、春季(3—5 月)的模拟

效果优于夏季(6—8 月)、秋季(9—11 月),冬春季径流量较低时偏差较小而夏秋季径流量较大时偏差较大。图 4b 显示气候模式输出的日平均流量模拟优于极值径流模拟。GFDL、HadGEM2 模式以及 GCMs 输出的日平均流量与实测相似。在极值径流(Q_{10} 和 Q_{90})模拟上,IPSL 和 NorESM1 模式极小值径流量(Q_{90})模拟效果较好,HadGEM2 和 GFDL 模式极大值径流量(Q_{10})模拟效果较好,总体上,极小值径流量的模拟效果优于极大值径流量的模拟。

考虑到 5 个气候模式在模拟研究区径流量时各有优劣,该研究将利用这 5 个气候模式驱动 SWIM 水文模型,对 2020—2050 年淮河上游干流径流量进行研究,探索未来研究区径流量变化趋势。



注:GCMs 代表 5 个气候模式集合平均,Obs 表示实测径流量

Note:GCMs represent the average of five climate models,and Obs represents the measured runoff

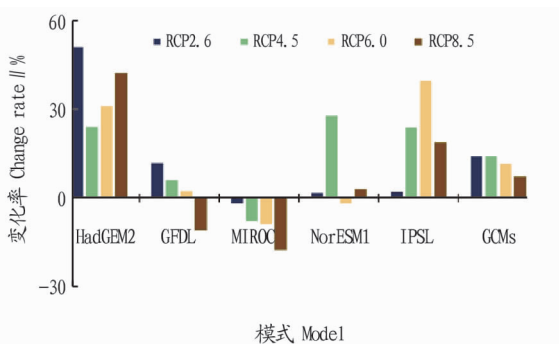
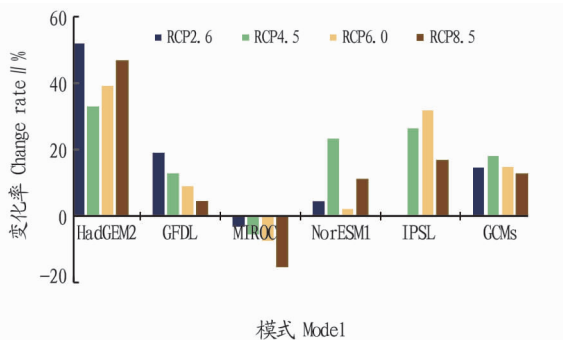
图 4 不同气候模式模拟的 1961—2005 年月平均径流量 (a) 以及模拟值与实测值的极值径流量和日平均径流量 (b)

Fig. 4 Monthly mean runoff (a) from 1961 to 2005 simulated by different climatic models, and extreme runoff and daily mean runoff of simulated and measured values (b)

2.3 未来淮河上游径流量变化

2.3.1 径流量的年变化。利用 2020—2050 年气候模式数据驱动 SWIM 模型模拟得到的未来淮河上游干流径流量数据,分析 RCP 情景下径流量相较于基准期的年相对变化率。从图 5 可以看出,4 个 RCP 情景下,淮河上游干流径流量较基准期呈上升趋势,涨幅均超过 10%。与基准期相比,5 个气候模式径流量年变化率增减各异, HadGEM2 模式径流量年变化率增长幅度最大, 约为 42.5%, 其次为 IPSL、GFDL 和 NorESM1 模式, 涨幅分别约为 18.7%、11.3% 和 10.1%; 而 MIROC 模式径流量年变化率在 RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0 和 RCP8.5 情景下均有所减少, 且减幅依次增大。对比 5 个气候模式, IPSL 模式径流量年变化在 4 个 RCP 情景下相对变化率最大, MIROC 模式相对变化率最小。综合比较 4 个 RCP 情景, 在 RCP4.5 情景下研究区径流量增长最为明显。GCMs 在 RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0 和 RCP8.5 情景下, 与基准期相比增长率分别约为 15.4%、17.4%、14.5% 和 12.7%。气候模式径流量年变化集合平均序列中位数在 RCP4.5 情景下涨幅最为明显, 约 13.1%, 其他情景涨幅相近。

干流汛期径流量较基准期的变化率(图 6)和 5 个气候模式输出汛期径流量集合平均序列中位数较基准期变化的箱线图(图 7)可以看出,4 个 RCP 情景下,淮河上游干流汛期径流量与基准期相比呈上升趋势。对比不同气候模式, HadGEM2 和 IPSL 模式输出的汛期径流量与基准期相比均呈现出增长趋势。HadGEM2 模式的增幅更大, 在 4 个 RCP 情景下涨幅均超过 20%; IPSL 模式除在 RCP2.6 情景下汛期径流量与基准期相比无明显增长, 其他情景下均呈现出较大的涨幅; MIROC 模式模拟的汛期径流量与基准期相比均减少, 且随着温室气体的排放情景不断增高, 减少幅度不断增大, 分别约为 1.8%、7.8%、8.9% 和 17.5%; GFDL 模式与 MIROC 模式呈现出了相似的变化趋势, 汛期径流量的增长率随着 RCP 情景的增高而不断减小, 到 RCP8.5 情景出现了负增长; NorESM1 模式的汛期径流量在 4 个 RCP 情景下与基准期相比增减各异, 无明显规律; GCMs 汛期径流量在 RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0 和 RCP8.5 情景下与基准期相比增长率分别约为 13.9%、14.0%、11.5% 和 7.0%。



注:GCMs 代表 5 个气候模式集合平均

Note:GCMs represent the average of five climate models

图 5 2020—2050 年径流量相较于基准期的年相对变化率

注:GCMs 代表 5 个气候模式集合平均

Note:GCMs represent the average of five climate models

图 6 2020—2050 年汛期径流量相较于基准期的变化率

Fig. 6 Change rate of runoff in flood season from 2020 to 2050 compared to reference period

Fig. 5 Annual relative change rate of change of runoff from 2020 to 2050 compared to reference period

2.3.2 汛期径流量的变化。淮河上游径流量年内分配不均,高度集中于汛期(6—9月)。从 2020—2050 年淮河上游

气候模式汛期径流量集合平均序列中位数在不同 RCP 情景下与基准期相比均有增长(图 7), RCP2.6 情景增长最为明显, 涨幅约为 12.7%, RCP8.5 涨幅最小, 约为 4.1%。4

个 RCP 情景的中位数相近,但 RCP4.5 情景下波动幅度较大,同时汛期径流量在 RCP4.5 情景下增长幅度也最大,表明在 RCP4.5 情景下淮河上游发生洪水灾害的概率更大。

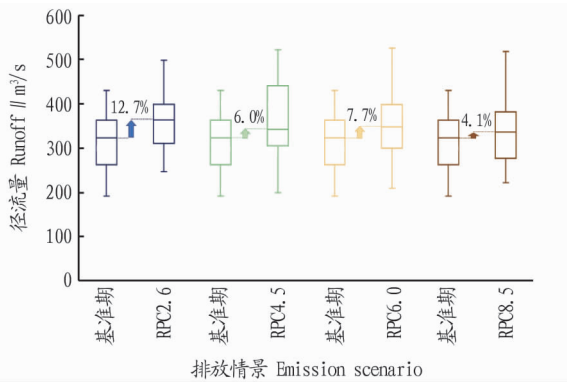


图7 2020—2050年汛期径流量相较于基准期变化的箱线图

Fig. 7 Boxplot of change rate of GCMs runoff in flood season from 2020 to 2050 compared to reference period

2.3.3 极端径流量的变化。利用5个气候模式集合平均输出的2020—2050年淮河上游干流日径流量序列,计算不同RCP情景下反映极大值(峰值)径流的 Q_1 、 Q_5 、 Q_{10} 和极小值(枯水)径流的 Q_{90} 、 Q_{95} 、 Q_{99} 分位数径流量^[22]; Q_{99} 、 Q_{95} 、 Q_{90} 、 Q_{10} 、 Q_5 和 Q_1 分别代表日径流量序列中有1%、5%、10%、90%、95%和99%的径流量超过该值。将计算出的分位数径流量与基准期相比得到极端径流的相对变化率(表1)。

从淮河上游干流模拟径流量的极端值较基准期的变化(表1)可以看出,4个RCP情景 Q_{99} 、 Q_{95} 、 Q_{90} 、 Q_{10} 、 Q_5 和 Q_1 分位数径流量均呈现出增长趋势,表明至21世纪中期,淮河上游干流峰值流量和枯水流量均将有所增长,涨幅分别为7.6%~31.7%和1.4%~20.2%;峰值径流的增长幅度大于枯水径流,表明研究区未来淮河上游发生洪水灾害的可能性将增加,同时枯水期水资源短缺现象将得到缓解。 Q_{10} 、 Q_5 和 Q_1 分位数径流量增长幅度在4个RCP情景下均呈现出依次增大趋势,增幅分别为7.6%~13.6%、8.4%~14.7%和13.9%~31.7%。与基准期相比, Q_1 分位数径流量的变化率远大于 Q_5 和 Q_{10} 约2倍,表明淮河上游干流发生洪水灾害尤其是极端洪水灾害的概率将增加。反映枯水径流的 Q_{99} 分位数径流量在4个RCP情景下涨幅不及 Q_{90} 和 Q_{95} ,增长幅度分别为1.4%~15.4%和14.5%~20.2%。

表1 2020—2050年极端径流量相较于基准期的变化率

Table 1 Change rate of extreme runoff from 2020 to 2050 compared to reference period %

排放情景 Emission scenario	Q_1	Q_5	Q_{10}	Q_{90}	Q_{95}	Q_{99}
RCP2.6	31.7	14.7	9.5	14.5	16.0	7.3
RCP4.5	21.8	14.5	13.6	20.2	18.4	10.0
RCP6.0	18.6	12.1	9.8	19.6	18.3	1.4
RCP8.5	13.9	8.4	7.6	15.3	17.3	15.4

综合比较4个RCP情景,峰值径流的分位数径流量与基准期相比在RCP2.6情景下涨幅最大,且枯水径流的分位

数径流量增加幅度最小,表明研究区径流量在RCP2.6情景下峰值极端径流将增多。而RCP8.5情景下极端径流增幅变化情况恰与之相反,表明淮河上游干流径流量在RCP8.5情景下枯水极端径流量增加明显。

3 结论与讨论

该研究基于ISI-MIP推荐使用的5个全球气候模式,分析其气候要素在淮河上游王家坝以上地区的变化,并用气候模式数据驱动SWIM模型,模拟未来RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0和RCP8.5情景下淮河上游干流2020—2050年日径流量,在年变化率、汛期径流以及极端径流3个方面比较未来4个RCP情景下径流量的变化,得出以下结论:

(1)未来4个RCP情景下,淮河上游王家坝以上地区平均温度及降水较基准期(1986—2005年)均呈现出增长趋势。在RCP8.5情景下温度增加幅度最大而RCP6.0最小,分别约为1.66、1.08℃,空间分布从西北到东南增温幅度呈现出增加趋势。降水则在RCP4.5情景下涨幅最明显,约为6.81%,RCP8.5情景下涨幅最小,约为3.99%,相对变化率在空间分布由北到南呈现出递减趋势。

(2)5个气候模式模拟淮河上游干流径流量在不同方面各有优劣。从描述径流总量及变化趋势看,HadGEM2模式模拟效果最优,不仅能较好地模拟径流总量,也能很好地描述径流量变化趋势,而NorESM1模式、MIROC模式与5个气候模式集合平均(GCMs)虽整体模拟径流总量偏低,但峰值的位置与实测值较接近,可以很好地模拟径流变化趋势;从不同季节模拟效果看,5个气候模式均在夏、秋两季模拟结果偏差较大,冬、春两季模拟效果较好;从日径流量模拟效果来看,GFDL模式、HadGEM2模式以及5个气候模式集合平均(GCMs)输出的日平均流量模拟效果较好,输出极值径流中,极小值径流量的模拟效果优于极大值径流量的模拟。

(3)至21世纪中期,4个RCP情景下淮河上游干流径流量较基准期呈上升趋势,涨幅均超过10%。5个气候模式集合平均的径流量与基准期相比年变化率在RCP4.5情景增长最明显,约为17.4%,其次为RCP2.6、RCP6.0和RCP8.5情景,增长率分别约为15.4%、14.5%和12.7%。未来淮河上游汛期(6—9月)径流量较基准期均呈上升趋势,其中RCP4.5情景下的径流量较基准期涨幅最大。淮河上游极端径流与基准期均有增长,峰值径流的增长幅度相较于枯水径流更大。 Q_1 分位数径流量较基准期的变化率远大于 Q_5 和 Q_{10} 约2倍,表明研究区未来淮河上游发生洪水灾害尤其是极端洪水灾害的可能性将增加,但枯水期水资源短缺现象将得到缓解。

该研究发现气候要素相对历史时期有小幅上升趋势,未来径流则是呈较明显上升趋势,发生更大洪水的可能性增加,这与王胜等^[11]的研究结果一致。

在研究的过程中仍存在一些问題,如由于淮河上游未来水资源的变化存在很大不确定性,人类活动等其他因素可能会对径流造成影响;全球气候模式数据作为驱动因子也需要进一步评估其对气候要素的模拟能力等,在今后的研究中这

些问题需要进一步分析。

参考文献

- [1] IPCC. Climate change 2013: The physical science basis; Working group I contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.
- [2] ZHONG S, YANG X Q. Ensemble simulations of the urban effect on a summer rainfall event in the Great Beijing Metropolitan Area [J]. Atmospheric research, 2015, 153(3): 318-334.
- [3] 刘春葵. 气候变化对我国水文水资源的可能影响 [J]. 水科学进展, 1997, 8(3): 220-225.
- [4] 陆苗, 高超, 苏布达, 等. 淮河流域极端降水空间分布及概率特征 [J]. 自然灾害学报, 2015, 24(5): 160-168.
- [5] 杜鸿, 夏军, 曾思栋, 等. 淮河流域极端径流的时空变化规律及统计模拟 [J]. 地理学报, 2012, 67(3): 398-409.
- [6] 薛颖, 高超, 张勋, 等. 淮河上游干流径流量对不同气候要素变化的响应研究 [J]. 水文, 2017, 37(3): 22-28.
- [7] 郝振纯, 鞠琴, 王璐, 等. 气候变化下淮河流域极端洪水情景预估 [J]. 水科学进展, 2011, 22(5): 605-614.
- [8] 姚梦婷, 高超, 陆苗, 等. 1959-2008年淮河流域极端径流的强度和频率特征 [J]. 地理研究, 2015, 34(8): 1535-1546.
- [9] 陈士桐, 陈和春, 王继保, 等. 淮河上中游年径流变化特性分析 [J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2019, 41(3): 16-20.
- [10] 刘永婷, 徐光来, 李鹏, 等. 淮河上游径流年内分配均匀度及变化规律 [J]. 水土保持研究, 2017, 24(5): 99-104.
- [11] 王胜, 许红梅, 刘绿柳, 等. 全球增温 1.5°C 和 2.0°C 对淮河中上游径流影响预估 [J]. 自然资源学报, 2018, 33(11): 1966-1978.
- [12] 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.
- [13] 高超, 姜彤, 翟建青. 过去 (1958-2007) 和未来 (2011-2060) 50 年淮河流域气候变化趋势分析 [J]. 中国农业气象, 2012, 33(1): 8-17.
- [14] 祁晓凡, 李文鹏, 李海涛, 等. 基于 CMIP5 模式的干旱内陆河流域未来气候变化预估 [J]. 干旱区地理, 2017, 40(5): 987-996.
- [15] TIAN H, LAN Y C, WEN J, et al. Evidence for a recent warming and wetting in the source area of the Yellow River (SAYR) and its hydrological impacts [J]. Journal of geographical sciences, 2015, 25(6): 643-668.
- [16] 查芊郁, 高超, 杨茹, 等. 全球升温 1.5 °C 和 2.0 °C 情景下淮河上游干流径流量研究 [J]. 气候变化研究进展, 2018, 14(6): 583-592.
- [17] 杨秀芹, 孙恒, 王燕, 等. 基于 EOF 的淮河流域地表蒸发时空格局变化分析 [J]. 安徽农业科学, 2017, 45(2): 197-199.
- [18] MCSWEENEY C F, JONES R G. How representative is the spread of climate projections from the 5 CMIP5 GCMs used in ISI-MIP? [J]. Climate services, 2016, 1: 24-29.
- [19] MOSS R H, EDMONDS J A, HIBBARD K A, et al. The next generation of scenarios for climate change research and assessment [J]. Nature, 2010, 463(7282): 747-756.
- [20] NASH J E, SUTCLIFFE J V. River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles [J]. Journal of hydrology, 1970, 10(3): 282-290.
- [21] 高超, 陆苗, 姚梦婷, 等. SWIM 水文模型在王家坝地区的适用性评估 [J]. 水土保持通报, 2018, 38(1): 152-159.
- [22] 曹丽娟, 董文杰, 张勇. 未来气候变化对黄河和长江流域极端径流影响的预估研究 [J]. 大气科学, 2013, 37(3): 634-644.

(上接第 199 页)

相较好分层,并使农药由水相进入有机相,取出一部分有机相浓缩净化,溶液分配并不需要在分液漏斗中实施,能使提取次数减少。此次试验简化了净化与提取的操作,使损失得以减小,且提高了效率。

GC-MS 在农药残留的定性定量分析方面具有较强的优越性,尤其是在样品中干扰杂质较多的情况下,利用质谱检测可准确鉴定化合物结构的特点,真正实现了中药材中多种类农药的同时测定,效率高。该方法简单、灵敏、稳定、可靠、效率高,可用于人参中 17 种有机氯类农药残留量的检测。

参考文献

- [1] 张晓东. 人参功效的研究进展 [J]. 中外健康文摘, 2014(26): 278-279.
- [2] 刘小余, 李振宝. 人参功效及作用浅识 [J]. 食品界, 2017(4): 84-85.
- [3] 朱丽平, 孙常磊, 李子安. 人参抗衰老面膜临床功效测试与分析 [J]. 中国美容医学, 2016, 25(2): 33-36.
- [4] HWANG Y P, CHOI J H, KIM H G, et al. Cultivated ginseng suppresses ultraviolet B-induced collagenase activation via mitogen-activated protein kinases and nuclear factor κ B/activator protein-1-dependent signaling in human dermal fibroblasts [J]. Nutr Res, 2012, 32(6): 428-438.
- [5] JUNG J S, AHN J H, LE T K, et al. Protoganaxatriol ginsenoside Rh1 inhibits the expression of matrix metalloproteinases and the in vitro invasion/migration of human astrogloma cells [J]. Neurochemistry international, 2013, 63(2): 80-86.
- [6] YOON J H, CHOI Y J, LEE S G. Ginsenoside Rh1 suppresses matrix metalloproteinase-1 expression through inhibition of activator protein-1 and mitogen-activated protein kinase signaling pathway in human hepatocellular carcinoma cells [J]. European journal of pharmacology, 2012, 697: 24-33.
- [7] 李子安, 孙常磊, 朱丽平. 人参抗衰老系列产品临床功效测试与分析 [J]. 日用化学品科学, 2015, 38(12): 48-51.
- [8] 王艳萍. 人参药效的研究进展 [J]. 医学美学美容, 2014(10): 785-786.
- [9] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[S]. 北京:中国医药科技出版社, 2015: 8-9.
- [10] 苗水, 陆继伟, 郑征伟, 等. 气相色谱-质谱联用法同时测定中药材中 53 种农药残留方法 [J]. 中国药理学杂志, 2010, 45(16): 1263-1270.
- [11] 侯智韬, 周敏, 李莹, 等. 气相色谱-质谱法测定人参中 21 种农药的残留量 [J]. 中国药师, 2013, 16(10): 1507-1509.
- [12] 刘虹涛, 曹志强. 人参中农药残留量检测技术研究现状与进展 [J]. 人参研究, 2014, 26(2): 56-58.
- [13] 侯彩霞, 全灿, 樊丽华, 等. 毛细管气相色谱法测定人参须中有机氯农药残留 [J]. 化学试剂, 2010, 32(11): 997-999.
- [14] 王士杰, 韩凤波, 侯万鹏, 等. 人参有机氯农药残留研究 [J]. 农业科学与技术: 英文版, 2016, 17(6): 1395-1399.