

DOI: 10.19797/j.cnki.1000-0852.20230124

气候变化情景下北江流域骤发干旱特征变化预测

雷勇¹, 王赛赛², 陈蓓³, 武传号^{3,4}

1. 珠江水利委员会 珠江水利科学研究院, 广东 广州 510640;
2. 暨南大学 环境学院, 广东 广州 511443;
3. 暨南大学 生命科学技术学院, 广东 广州 510632
4. 河海大学 水灾害防御全国重点实验室, 江苏 南京 210098)

摘要:以北江流域为研究对象,利用VIC(Variable Infiltration Capacity)模型与CMIP5全球气候模式耦合构建了流域水循环模型,基于模型输出的蒸发和潜在蒸发数据,构建基于SESR指数的骤发干旱(简称骤旱)识别方法,评估2021—2050年三种排放情景下(RCP2.6、RCP4.5、RCP8.5)骤旱特征(频次、历时、强度)相对于基准期(1971—2000)的变化及不确定性。结果表明,在RCP情景下:(1)流域呈持续增暖趋势,且排放情景越高升温幅度越大,降水、蒸发和潜在蒸发呈总体呈减小趋势,但潜在蒸发减小幅度小于蒸发;(2)骤旱频次在流域西部(东部)减少(增加),且增幅随排放情景上升而增大(<80%),流域东北部和南部预计会遭遇强度更高、历时更长的骤旱过程;(3)不同骤旱特征预测的不确定性差异较大,且均呈现出较强的空间异质性。

关键词:骤旱;VIC模型;气候模式;情景预测;不确定性

中图分类号:P339

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2024)02-0096-07

0 引言

骤发干旱(简称骤旱)是一种突发性强、历时短、破坏力强的极端干旱事件,对作物产量和水资源供给造成了严重影响^[1]。我国是干旱频发的国家,随着全球气候变暖和人类活动加剧,骤旱也变得越发频繁。据报道,自1979—2010年间,骤旱发生次数增长了1.09倍,特别是南方湿润地区,已成为骤旱的高风险地区^[1]。如2013年长江中下游的骤旱,珠江流域2011年的夏旱,2012、2015年的春旱,大多是从骤旱爆发开始,然后演变成季节性干旱,造成了严重的经济损失,并直接威胁到当地的水资源供应和生态环境安全。

目前关于骤旱的判定方法主要分为3类。第一类是基于气温、蒸散发、土壤湿度等水文气象要素阈

值的方法,如:热浪和降水短缺型骤旱^[2];但此类方法未考虑骤旱的爆发过程及其严重程度这两个重要特征。第二类是Yuan等提出的基于土壤水快速下降的骤旱识别方法,该方法同时考虑了骤旱爆发和消亡的过程^[2-3]。第三类是基于指数的方法;如:Christian等^[4]利用蒸散发和潜在蒸发,提出的基于标准化蒸发胁迫比(Standardized Evaporative Stress Ratio, SESR)的骤旱识别方法,该方法既可反映骤旱快速发展的过程及严重程度,也可反映气候变化的影响。需要指出的是,目前大部分骤旱研究是基于水文气象变量阈值^[2]或者土壤水下降的识别方法^[3],前者定义存在一定的局限性,后者侧重于对农业的影响。而基于SESR的骤旱识别方法,侧重于气象骤旱,可以更好反映气候变化的影响^[4],且已被证明在珠江流域具有较好的适应性^[5]。

收稿日期:2023-04-12

网络首发日期:2024-02-26

网络首发地址:https://kns.cnki.net/kcms2/detail/11.1814.P.20240223.1812.005.html

基金项目:国家自然科学基金资助项目(52279016, 51909106)

作者简介:雷勇(1983—),男,硕士,高级工程师,主要研究方向为水文与水资源。E-mail:51920278@qq.com

通信作者:武传号(1985—),男,博士,教授,主要研究方向为水文与水资源。E-mail:wuch0907@hotmail.com

基于水文模型和气候模式耦合预测是评估气候变化对水文过程影响最有效的方法之一^[6],这种陆气耦合方法同样适用于骤旱评估。例如Yuan等^[3]利用CMIP5气候模式与陆面模式耦合,模拟预测了中国地区土壤骤旱对未来气候变化的响应特征,并探讨了人为影响导致的温室气体浓度增加对骤旱风险的影响;Ran等^[7]和Li等^[8]通过耦合CMIP5气候模式与VIC模型,分别评估了泾河和珠江流域热浪和降水短缺型骤旱对气候变化的响应特征。

鉴于此,本文以高温热浪骤旱高风险区北江流域为例,采用SESRI指数构建骤旱识别框架,利用CMIP5多模式降尺度结果与VIC模型进行耦合,预测多组气候模式、不同RCP(Representative Concentration Pathway)情景下北江流域骤旱特征(频次、历时、强度)的时空变化及不确定性范围,以期为流域防灾减灾规划和水资源管理提供科学依据。

1 研究区域与数据

1.1 研究区域概况

北江是珠江流域第二大水系,属亚热带季风型气候,流域面积46 710 km²,本文研究的区域为横石水文站上游地区(图1),面积34 097 km²,占北江流域面积的73%。流域内多年平均降水量1 785 mm,多年平均水资源总量477.57亿m³,径流年内分配不均匀,枯水期(10月—次年3月)水量仅占全年的25%左右。受气候变暖影响,近年来北江流域极端高温事件增多,长时间极端降水减少,干旱风险进一步上升,是典型的高温干旱风险区。

1.2 观测数据和模式数据

本研究的日气温(平均、最高和最低气温)观测数据来自中国气象数据共享网提供的5个气象站点,日降水数据来自于24个雨量站点和5个气象站点(图1),雨量站点的日降水数据和横石站的日径流数据来自于广东省水文局,数据长度均为1980—2001年,主要用于驱动和率定VIC模型。为保证数据的可靠性,对上述数据进行了极值、时间一致性及均一化检验。

气候模式数据由北京师范大学全球变化与地球系统科学研究院提供,该数据集是基于13个CMIP5全球气候模式(见表1)针对珠江流域降水和气温进行统计降尺度和校正的结果。数据集的空间分辨率为0.5°×0.5°,主要包括基准期(1971—2000年)和预测期(2021—2050年)RCP2.6、RCP4.5、RCP8.5(2100年的

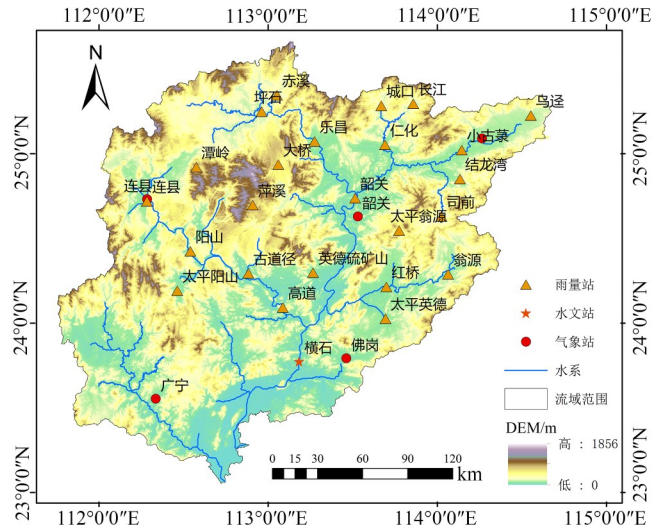


图1 北江流域气象和水文站点分布示意图

Fig.1 Spatial distribution of meteorological and hydrological stations in the Beijiang basin

辐射强迫水平分别为2.6 W/m²、4.5 W/m²、8.5 W/m²)三种情景下日平均气温和降水的多组随机模拟结果^[9]。为了突出预测结果的不确定性,本研究选取每种情景下气温和降水的30组模拟结果用于分析。根据观测日平均气温与日最高和最低气温之间的回归关系,将气候模式模拟的日平均气温换算成日最高和最低气温,最后采用反距离权重插值法将日最高和最低气温和降水数据统一解集为0.25°×0.25°分辨率,作为驱动VIC模型的气候强迫数据。

表1 13个全球气候模式基本信息
Table1 The basic information of 13 global climate models

模式名称	国别	原始分辨率(lon×lat)
BCC-CSM1.1	中国	2.812 5°×2.790 6°
BNU-ESM	中国	2.812 5°×2.790 6°
CNRM-CM5	法国	1.406 3°×1.400 8°
GFDL-CM3	美国	2.5°×2°
GFDL-ESM2G	美国	2.5°×2.022 5°
GISS-E2-R	美国	1.25°×1°
HadGEM2-ES	英国	1.25°×1.875°
MICROC5	日本	1.406 3°×1.400 8°
MIROC-ESM-CHEM	日本	2.812 5°×2.790 6°
MIROC-ESM	日本	2.812 5°×2.790 6°
MPI-ESM-LR	日本	1.875°×1.865 3°
MRI-CGCM3	德国	1.125°×1.121 5°
NorESM1-M	挪威	2.5°×1.894 7°

1.3 地理空间数据

VIC模型输入的植被参数数据来自美国马里兰大学全球土地覆被数据集,分辨率1 km×1 km。DEM数

据来自 SRTM 数字高程数据集,空间分辨率 90 m×90 m。土壤数据来自全球土壤数据库,分辨率约 1 km×1 km^[10]。采用 Saxton 公式^[11]以及 SPAW 软件分析土壤中粘土、砂土、有机质含量、盐度、砂砾等含量,构建 VIC 模型所需土壤参数(如饱和水力传导度、凋萎系数以及水分扩散系数等)。

2 研究方法

本文首先利用 VIC 模型构建北江流域水循环模型,然后与 CMIP5 气候模式降尺度结果耦合,模拟基准期(1971—2000)和预测期(2021—2050)蒸发和潜在蒸发等水文气象变量。在此基础上,基于 *SESR* 指数^[7],在网格尺度上提取北江流域作物生长期(4—11月)的骤旱事件,评估不同 RCP 情景下骤旱特征相对于基准期的变化特征及不确定范围。

2.1 骤旱特征识别

基于 VIC 模型模拟的蒸发和潜在蒸发数据,首先在候尺度上(5天)计算蒸发与潜在蒸发的比值,即蒸发应力比 *ESR*(Evaporative Stress Ratio),然后将 *ESR* 标准化,得到某一经纬度格点(*i, j*)每候(*p*)上的 *SESR*_{*ijp*}(*SESR*)及其变化($\Delta SESR_{ijp}$)_{*z*}:

$$SESR_{ijp} = \frac{ESR_{ijp} - \overline{ESR_{ijp}}}{\sigma_{ESR_{ijp}}} \quad (1)$$

$$\left(\Delta SESR_{ijp}\right)_z = \frac{\Delta SESR_{ijp} - \overline{\Delta SESR_{ijp}}}{\sigma_{\Delta SESR_{ijp}}} \quad (2)$$

式中: $\overline{ESR_{ijp}}$ 、 $\overline{\Delta SESR_{ijp}}$ 为某一网格点 *ESR*、*SESR* 候平均值; $\sigma_{ESR_{ijp}}$ 、 $\sigma_{\Delta SESR_{ijp}}$ 为 *SESR*_{*ijp*}和 $\Delta SESR_{ijp}$ 的标准差。

在此基础上,依据以下条件提取骤旱事件^[7]:

(1)骤旱结束时 *SESR* 小于第 20% 分位数;(2)相邻两候之间的 $\Delta SESR$ 小于第 40% 分位数,且整个骤旱过程大于第 40% 分位数最多不超过一个值;(3)整个骤旱过程 $\Delta SESR$ 的平均变化小于第 25% 分位数。Li 等^[4]研究发现珠江流域热浪型骤旱持续时间通常在 4~6 候,为此本文将骤旱的最低历时定为 4 候。

根据以上条件,提取骤旱频次(即研究时段内骤旱的总候数与研究时段内总候数的比值)。根据游程理论^[12],提取骤旱历时(一场骤旱的持续时间)和骤旱强度(骤旱期间 *SESR* 的累积变化与历时的比值)等特征。

2.2 VIC 模型

VIC 模型是由华盛顿大学、普林斯顿大学、加州大

学伯克利分校学者共同研发的陆地水文模型。Wood 等^[13]于 1992 年基于新安江模型提出了 VIC 模型的最初构思;Stamm 等^[14]把土壤分为两层,构建了 VIC-2L 模型;Liang 等^[15]将两层土壤拓展到三层,形成了现在广泛使用的 VIC-3L 模型。VIC 模型可同时对水循环过程中的能量平衡和水量平衡进行模拟,也可只进行水量平衡的计算,在每个网格上输出径流深、土壤水、蒸发等变量的模拟结果。该模型已被广泛应用于水文、干旱和洪水效应评估^[16-17]。

本研究利用 VIC 模型构建北江流域水循环模型,主要模拟用于识别骤旱的蒸发和潜在蒸发网格数据(0.25°×0.25°),其中潜在蒸发由 VIC 模型耦合的 Penman-Monteith 公式估计得到。采用纳什效率系数(Nash-Sutcliffe efficiency coefficient, *NSE*)、决定系数(Coefficient of Determination, *R*²)和相对误差(Relative Error, *Er*)评估模型模拟结果。利用 Mann-Kendall (M-K)趋势检验^[18-19]和 Sen 趋势估计^[20],分析蒸发和潜在蒸发等水文气象变量的趋势变化,显著性水平 *p* 设为 0.05。

2.3 不确定性分析

气候模式是气候变化影响评估中主要的不确定性源^[21-23],研究常采用多模式模拟结果的范围来度量其不确定性^[23]。本研究基于每种 RCP 情景下的 30 组模拟结果,分别统计每组模拟结果所预测的骤旱特征变化(相对于基准期),在此基础上,采用 30 组预测变化范围的第 95 和 5 百分位数的差值表征骤旱特征变化的不确定性。

3 结果分析

3.1 VIC 模型径流模拟评估

基于 VIC 模型在横石站上游地区构建了水循环模型,根据横石站水文序列长度,将 1980—1990、1991—2001 年分别设为模型率定期和验证期,采用 *NSE*、*R*²和 *Er* 评估 VIC 模型的径流模拟效果。结果表明,月尺度上模型在率定期的 *NSE* 为 0.93, *R*² 为 0.93, *Er* 为 7.32%;验证期的 *NSE*、*R*²和 *Er* 分别为 0.95、0.93 和 3.01%。从时间序列来看(图 2),模型能够较好地再现径流的年内和年际变化特征,可满足研究区域水文气象模拟及预测的需求。

3.2 水文气象要素预测

图 3 为不同 RCP 情景下北江流域 2021—2050 年气温、降水、蒸发和潜在蒸发相对于基准期(1971—

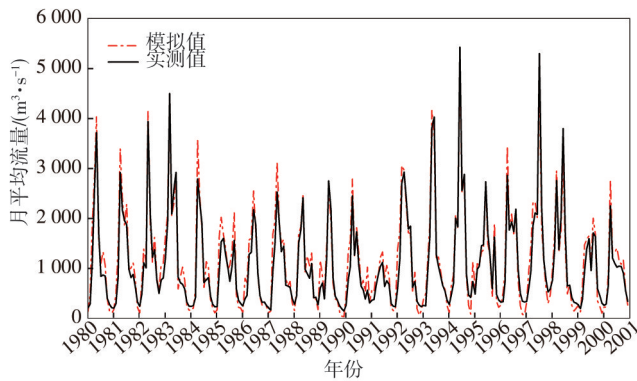


图2 1980—2001年横石站月径流模拟与观测序列对比

Fig.2 Comparison of simulated and observed monthly runoff at Hengshi station from 1980 to 2001

2000年)变化的时间序列(阴影为30个样本的范围)。由图3可知,预测期北江流域呈持续变暖的趋势,且排放情景越高,增温幅度越大。RCP2.6和RCP4.5情景下,流域平均增温分别为0.63°C和0.66°C;RCP8.5情景下平均气温在2035年之前的升温幅度相对较小,之后迅速上升,到2050年增温幅度可达0.82°C。年降水总体呈弱的下降趋势,预计本世纪中叶在RCP2.6、RCP4.5、RCP8.5情景下分别减少2.06%、1.39%和2.59%,但其不确定性范围较大(-19.7%~17.9%)。蒸发变化与降水具有一定的相似性,总体上呈微弱的减小趋势,三种情景下大部分时间段低于

基准期,潜在蒸发在大部分时间段也以减少为主,但减幅小于蒸发。

从M-K趋势检验来看(表2),北江流域在RCP4.5和RCP8.5情景下呈显著升温趋势($P<0.05$),降水在RCP2.6和RCP8.5情景下呈弱的下降趋势,而蒸发与潜在蒸发在RCP2.6情景下呈显著下降趋势($P<0.05$),在其他情景下的下降趋势不显著。总的来看,北江流域将呈现出不同程度的升温趋势,但蒸发和潜在蒸发均有不同程度的下降趋势,其原因一部分可归因于未来降水总体减少,还可能与其他气象因子(如日照和风速)的变化有关。

表2 三种RCP情景下北江流域水文气象的趋势统计结果

Table 2 Trend magnitudes in hydrometeorological variables under three RCP scenarios.

变量情景	气温/(°C/a)	降水/(mm/a)	蒸发/(mm/a)	潜在蒸发/(mm/a)
RCP2.6	0.002 4	-0.163 3	-0.312 8*	-0.044 3*
RCP4.5	0.011 2*	0.000 5	-0.101 4	-0.012 9
RCP8.5	0.018 2*	-0.030 2	-0.144 0	-0.028 9

注:*为通过0.05显著性检验。

3.3 骤旱特征变化预测

图4为2021—2050年三种RCP情景下骤旱频次相对于基准期(1971—2000年)的百分比变化(预测期减去基准期然后除以基准期)及不确定性(预测期减去基准期)的空间分布。由图4可知,骤旱频次整

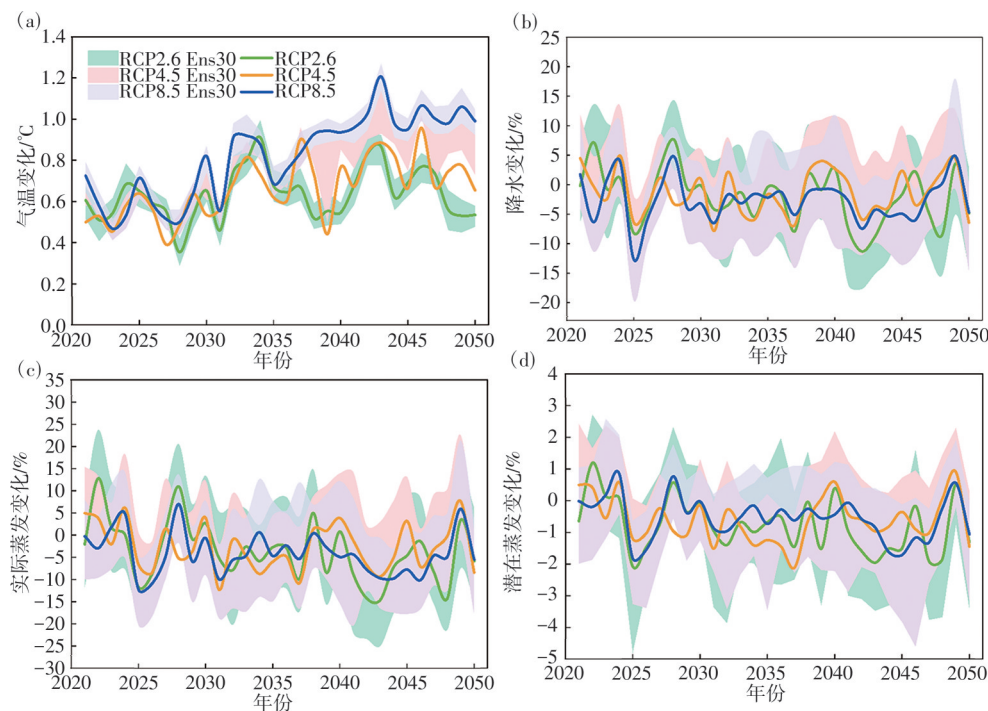


图3 三种RCP情景下北江流域水文气象变量变化的时间序列

Fig.3 Time series of the projected changes in hydrometeorological variables under three RCP scenarios

体呈西部减少、东部增加的空间分布特征,且增幅随着排放情景上升而增加,其中 RCP8.5 情景的上升幅度接近 80%,主要集中在流域东部和南部。从不确定性来看,RCP2.6 和 RCP4.5 情景下骤旱频次变化不确定性较大的地区主要集中在流域边缘地区,流域中部的不确定性较小;RCP8.5 情景下,不确定性较大的区域主要集中在流域西南部、北部和东部部分地区。

由图 5 可知,RCP 情景下骤旱历时主要表现出“东北、南部、西北地区增加,中部地区减少”的空间分布特征,其中流域东北部地区的平均历时增幅可达 3.1d(三种情景),而流域中部下降幅度最大可达 1.06 d (RCP2.6 和 RCP4.5),预示着该地区的骤旱持续时间将变得更短。从模式的不确定性来看,三种排放情景下骤旱历时变化的不确定性均具有较强的空间异质性,且均表现为流域北部、中部和东南部的不确定性较大,而流域西部的不确定性相对较小。对比骤旱历时可以看出,骤旱历时下降区域(如中部)的不确定性通常较其他地区偏大,这表明模型预测骤旱历时下降的可信度相对较低。

从图 6 可知,骤旱强度上升的地区主要集中在流域东北部和南部(<19.6%),且 RCP2.6 情景上升的区域大于其他两种情景,强度减少的区域集中在西北地区,其中 RCP4.5 情景下流域中东部地区呈显著下降态势(接近 100%)。骤旱强度变化(预测期减去基准期)的不确定范围在流域西北地区较大,而在中东部地区较

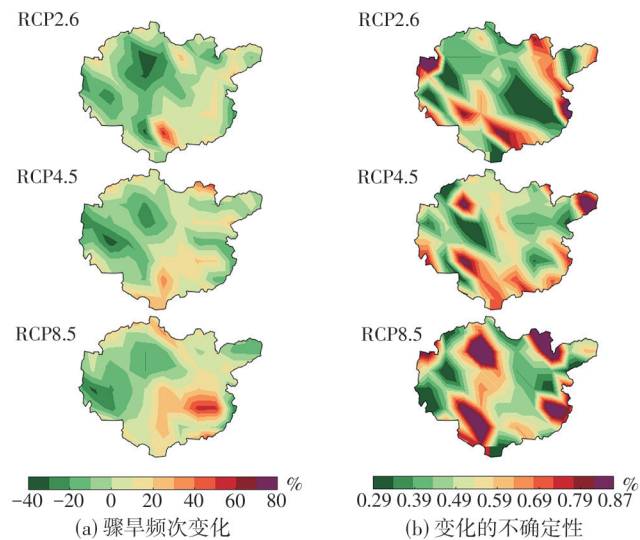


图4 三种RCP情景下骤旱频次变化及不确定性空间分布
Fig.4 Spatial distributions of the projected changes and uncertainties in drought frequency under three RCP scenarios

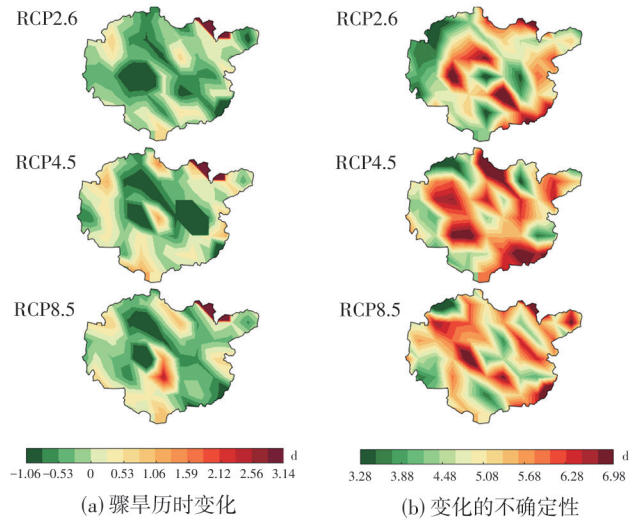


图5 三种RCP情景下骤旱历时变化及不确定性空间分布
Fig.5 Spatial distributions of the projected changes and uncertainties in drought duration under three RCP scenarios.

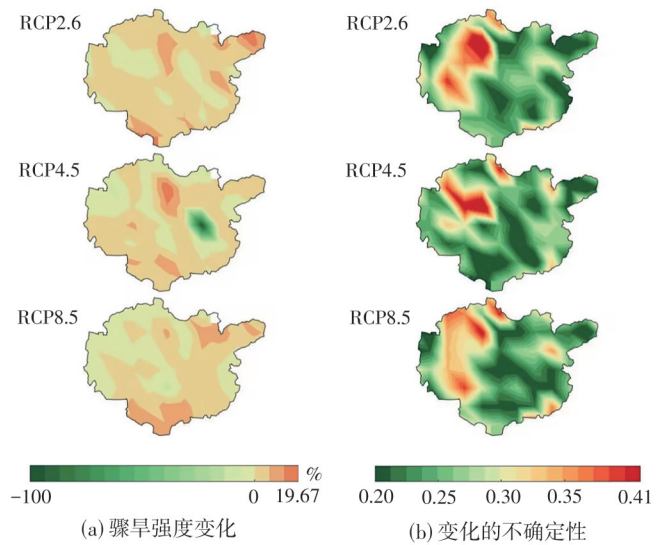


图6 三种情景下骤旱强度变化及不确定性的空间分布
Fig.6 Spatial distributions of the projected changes and uncertainties in drought intensity under three RCP scenarios.

小,这表明模型在流域中东部地区预测的可信度大于西北地区。除此之外,骤旱强度下降区域(如西部)的不确定性明显大于其他地区,而强度上升的地区不确定性通常较低,这表明模型预测骤旱强度下降(上升)的可信度较低(高)。

以上预测结果表明,RCP情景下骤旱特征变化的不确定性具有较强的空间异质性,这与北江流域极端水文事件预测^[22]和全球气象干旱预测^[24]的不确定性评估结果相一致,且这种较强的空间异质性主要与不同气候模式对降水模拟的空间差异相关^[24]。

4 结论

相对于基准期(1971—2000年),预测期(2021—2050年)北江流域:

(1)呈持续增暖趋势,且排放情景越高增温幅度越大,至2050年增温幅度最大可达0.82℃;流域内降水总体呈弱的减少态势,蒸发和潜在蒸发也呈不同程度的减小趋势,且潜在蒸发减小幅度小于蒸发。

(2)骤旱频次整体呈“西部减少、东部增加”的空间分布特征,且增幅随着排放情景上升而增加(<80%);骤旱历时主要表现为“东北、南部、西北地区增加,中部地区减少”的空间分布特征,其中流域东北部的平均增幅可达3.1d;骤旱强度上升的地区主要集中在流域东北部和南部(<19.6%),且RCP2.6情景下上升的区域面积大于其他两种情景。

(3)受气候模式影响,骤旱特征变化的预测结果存在较大的不确定性,且具有较强的空间异质性;骤旱历时和强度下降的不确定性较大,而骤旱强度上升的不确定性通常较小;骤旱频次预测的不确定性在流域西南部和东北部地区更大,历时预测的不确定性表现为流域北部、中部和东南部大于西部地区,而骤旱强度在流域西北部预测的不确定性明显大于其他地区。

参考文献:

- [1] WANG L, YUAN X, XIE Z, et al. Increasing flash droughts over China during the recent global warming hiatus [J]. *Scientific reports*, 2016, 6(1): 30571.
- [2] 袁星,王钰森,张苗,等.关于骤旱研究的一些思考[J].*大气科学学报*, 2020, 43(6): 1086-1095.
- [3] YUAN X, WANG L, WU P, et al. Anthropogenic shift towards higher risk of flash drought over China [J]. *Nature Communications*, 2019, 10(1): 1-8.
- [4] CHRISTIAN J I, BASARA J B, OTKIN J A, et al. A methodology for flash drought identification: application of flash drought frequency across the United States [J]. *Journal of Hydrometeorology*, 2019, 20(5): 833-846.
- [5] ZHONG L, CHEN B, WU C, et al. Identification and risk assessment of flash drought in the Pearl River basin based on the Standardized Evaporative Stress Ratio [J]. *Theoretical And Applied Climatology*, 2022, 150: 1513-1529.
- [6] 郑巍斐,杨肖丽,程雪蓉,等.基于CMIP5和VIC模型的长江上游主要水文过程变化趋势预测[J].*水文*, 2018, 38(6): 48-53.
- [7] RAN H, LI J, ZHOU Z, et al. Predicting the spatiotemporal characteristics of flash droughts with downscaled CMIP5 models in the Jinghe River basin of China [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, 27: 40370-40382.
- [8] LI J, WANG Z, WU X, et al. Flash droughts in the Pearl River Basin, China: Observed characteristics and future changes [J]. *Science of The Total Environment*, 2020, 707: 136074.
- [9] 黄国如,武传号,刘志雨,等.气候变化情景下北江飞来峡水库极端入库洪水情景预估[J].*水科学进展*, 2015, 26(1): 10-19.
- [10] FAO. Harmonized World Soil Database Version 1.1 [R]. 2009.
- [11] SAXTON K E, RAWLS W J, ROMBERGER J S, et al. Estimating generalized soil-water characteristics from Texture [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1986.
- [12] 华悦,叶磊,张海荣,等.嫩江下游多变量水文干旱特征研究[J].*水文*, 2021, 41(4): 88-94.
- [13] WOOD E F, LETTENMAIER D P, ZARTARIAN V G. A land surface hydrology parameterization with sub-grid variability for general circulation models [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 1992, 97(D3): 2717-2728.
- [14] STAMM J F, WOOD E F, LETTENMAIER D P. Sensitivity of a GCM simulation of global climate to the representation of land-surface hydrology [J]. *Journal of Climate*, 1994, 7(8): 1218-1239.
- [15] LIANG X, LETTENMAIER D P, WOOD E, et al. A simple hydrologically based model of land surface water and energy fluxes for general circulation models [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 1994, 99(D7): 14415-14428.
- [16] 韩潇,张亚萍,周国兵,等.基于VIC模型的涪江流域径流模拟[J].*水文*, 2022, 42(5): 76-81.
- [17] XU K, WU C, ZHANG C, et al. Uncertainty assessment of drought characteristics projections in humid subtropical basins in China based on multiple CMIP5 models and different index definitions [J]. *Journal of Hydrology*, 2021, 600: 126502.
- [18] MANN H B. Nonparametric tests against trend [J]. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1945: 245-259.
- [19] KENDALL M G. Rank Correlation Methods [M]. Charles Griffin, London, 1975.
- [20] SEN P K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau [J]. *Journal of the American statistical association*, 1968, 63(324): 1379-1389.
- [21] 张琴,张利平,邓瑶,等.气候模式与水文模拟关键技术研究进展及展望[J].*气象科技进展*, 2021, 11(3): 126-134.
- [22] JU J, DAI H, WU C, et al. Quantifying the uncertainty of the future hydrological impacts of climate change: Comparative analysis of an advanced hierarchical sensitivity in humid and semiarid basins [J]. *Journal of Hydrometeorology*, 2021, 22(3): 601-621.
- [23] WU C, YEH P J F, CHEN Y Y, et al. Future precipitation-driven meteorological drought changes in the CMIP5 multimodel ensembles under 1.5° C and 2° C global warming [J]. *Journal of Hydrometeorology*, 2020, 21(9): 2177-2196.
- [24] WU C, YEH P J F, JU J, et al. Assessing the spatio-temporal uncertainties in future meteorological droughts from CMIP5 models, emission scenarios and bias corrections [J]. *Journal of Climate*, 2021, 34(5): 1903-1922.

Projected Changes in Flash Drought Characteristics in the Beijiang River Basin under Climate Change Scenarios

LEI Yong¹, WANG Saisai², CHEN Bei³, WU Chuanhao^{3,4}

- (1. *The Pearl River Water Conservancy Research Institute, The Pearl River Water Resources Commission, Guangzhou 510640, China;*
 2. *School of Environment, Jinan University, Guangzhou 511443, China;*
 3. *College of Life Science and Technology, Jinan University, Guangzhou 510632, China;*
 4. *The National Key Laboratory of Water Disaster Prevention, Hohai University, Nanjing 210098, China*)

Abstract: Taking the Beijiang River basin (BRB) as the study area, a water cycle model was constructed by coupling the Variable Infiltration Capacity (VIC) model with the CMIP5 global climate models. Based on the evaporation and potential evaporation simulations, the flash drought (FD) events in BRB based on the SESR (Standardized Evolutionary Stress Ratio) were identified. Besides, the project changes in FD characteristics (frequency, duration, and intensity) and uncertainties during 2021–2050 under three RCP scenarios (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5) were evaluated. The results indicate that BRB shows a continuous warming trend, especially under the higher RCP scenarios. Precipitation, evaporation, and potential evaporation are projected to show an overall decreasing trend, but the decrease in potential evaporation is smaller than that of evaporation. Compared with the baseline (1971–2000), the FD frequency in 2021–2050 is generally characterized by a spatial distribution of decreasing in the west and increasing in the east, and the increase in frequency tends to be larger under the higher RCP scenarios (<80%). The northeastern and southern regions of BRB are expected to encounter FD events with higher intensity and longer duration. The projection uncertainty of different FD characteristics varies greatly, and all exhibit strong spatial heterogeneity.

Keywords: flash drought; VIC model; GCM; scenario projection; uncertainty

(上接第95页)

- [25] 陈金月,陈水森,付娆,等.广东省水质现状及驱动因素分析[J].生态学报,2022,42(19):7921–7931.
 [26] 梁佳辉,田琳琳,周钟昱,等.太湖流域上游南苕溪水系夏秋季水体溶存二氧化碳和甲烷浓度特征及影响因素[J].环境科学,2021,42(6):2826–2838.
 [27] 郭晶,王丑明,黄代中,等.洞庭湖水污染特征及水质评价[J].环境化学,2019,38(1):152–160.
 [28] 王昱,孔德星,冯起,等.筑坝蓄水对夏季黑河氮磷营养盐空间分布特征的影响[J].生态与农村环境学报,2021,37(8):1001–1010.
 [29] 张炳臣.黄河小浪底水库主要污染源及其对库区水质的影响[J].水资源保护,1988(4):102–106,88.

Water Quality Analysis Based on Different Evaluation Methods and Source Analysis of Xiaolangdi Reservoir

WU Li¹, YANG Meng¹, LAI Mengyuan¹, WANG Ruijia¹, WANG Liang², SONG Baihui¹

- (1. *Resources and Environment Institute of Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, China;*
 2. *Henan Jiyuan Ecological Environment Testing Center, Jiyuan 454650, China*)

Abstract: Assessing water quality is an important basis for protecting water ecosystems and managing water pollution. In 2021, 15 water quality indicators of three cross-sections were monitored and analyzed to study the water quality characteristics of Xiaolangdi Reservoir during different water periods. Three methods were used to make a comprehensive assessment of the water quality in the area studied. The main environmental factors affecting water quality in different water periods were discussed and their sources analyzed, the pattern of water quality changes was clarified, and the best evaluation method was determined. The results show that total nitrogen concentration in the reservoir exceeds surface water standard V, while all other water quality indicators reach standard III and above. The three methods were influence on the weighting of the indicators and the assessment results are different. A comprehensive comparison and analysis revealed that the method of weighting and ranking the information based on TOPSIS is more suitable for the evaluation of the water quality conditions in the study area. The correlation analysis showed that the environmental factors affecting the water quality and the sources of these factors are different in the different water periods. The dry water season was influenced by human activities, the water quality changes in the shallow water season were related to upstream inputs, and the dry water season was greatly influenced by rainfall and hydrodynamics. This study can provide a scientific basis for the water environment management and provide new ideas for water quality evaluation of Xiaolangdi Reservoir.

Keywords: Xiaolangdi reservoir; water analysis; environmental factor; evaluation method; source analysis