文章编号: 1672 - 3317 (2022) 12 - 0139 - 08

CMADS 数据集用于开都河上游水文模拟的适用性评估

陈世雪1,玉素甫江,如素力1,2*

(1.新疆师范大学 地理科学与旅游学院, 乌鲁木齐 830054;

2.新疆干旱区环境与资源重点实验室, 乌鲁木齐 830054)

摘 要:【目的】为数据缺乏地区的生态环境演变、水文与水资源研究寻找可靠的数据来源。【方法】以开都河上 游为例,定量评估 CMADS 数据集多时间尺度精度及其在 SWAT 模型中的适用性,从 2 个角度进行精度评估:一是 评估 CMADS 数据集降水量、最高气温和最低气温在开都河上游的表现;二是使用 CMADS 数据集和地面观测气象 数据分别驱动 SWAT 模型进行模拟精度比较,探究再分析气象数据在数据缺乏地形复杂地区的可替代性。【结果】 ①CMADS 数据集在气温探测上表现优秀,相关性均在 0.9 以上;逐日降水量的探测表现较差,相关性为 0.59,月尺 度降水相关性显著提高 (CC=0.84),季节尺度降水探测存在波动,夏季表现最好。②CMADS 数据集驱动 SWAT 模型径流模拟结果总体优于地面观测数据径流模拟结果,表明 CMADS 数据集在水文模型中比传统气象站数据更具 优势。③CMADS 数据在率定期存在基流高估,对较高的峰值出现低估,较低峰值出现高估的现象;验证期低估峰 值、略高估基流。CMADS 数据径流模拟存在部分精度不高的情况,但总体符合实际径流量变化。【结论】CMADS 数据集在气象数据缺乏地区可以替代地面气象数据用于水文气象研究。

关键词: CMADS; SWAT; 径流模拟; 精度评价; 开都河

中图分类号: K903 文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2022125

OSID:

陈世雪, 玉素甫江 如素力. CMADS数据集用于开都河上游水文模拟的适用性评估[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(12): 139-146.

CHEN Shixue, YUSUFUJIANG Rusuli. Application of CMADS Dataset for Simulating Hydrological Processes in Upper Reach of the Kaidu River[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2022, 41(12): 139-146.

0 引 言

【研究意义】水资源是干旱区人类生存、生态环 境保护、经济可持续发展的物理基础与瓶颈,其有效 利用已成为国际社会关注的热点问题^[1-3]。随着气候 变化和人类活动的加剧,深刻影响水循环过程,导致 水资源的时空变化,因此,正确模拟水循环的重要组 成部分一地表径流的变化,对流域水资源的合理、有 效利用具有重要意义^[4]。且准确测量降水时空分布有 助于掌握水文水分状况,对水资源管理、干旱洪水灾 害预测以及水文生态模拟具有重要意义。

【研究进展】我国西北地区下垫面及其地理分异 规律复杂,气象站点空间分布不均、站点稀少,气象 要素观测资料的缺乏制约了人类对该地区水资源过 程的认识和理解,为数据缺乏地区进行水文气象研究 寻找高精度、高时空分辨率的气象数据至关重要。基 于卫星和再分析的气象数据成为数据缺乏地区的重 要数据来源,再分析数据集采用数据同化技术对各种 来源的观测资料进行质量控制和同化处理^[5],不仅包 含的要素多、范围广,而且具有长时间序列已经成为 水文气象研究的重要数据源。目前,全球主要的再分 析数据集包括:欧洲中期天气预报中心的 ERA 系列^[6]、 美国 NASA 的 MERRA 数据集^[7]、美国国家环境预报 中心的 NCEP 系列^[8]、日本气象中心的 JRA 系列^[9] 等。中国大气同化驱动数据集 CMADS (The China Meteorological Assimilation Driving Datasets for the SWAT model)引入中国气象局大气同化系统 CLDAS (CMALand Data Assimilation System)同化技术,利

(CMALand Data Assimilation System) 阿花技术,利 用数据循环嵌套、模式推算等多种科学手段而建立, 具有多来源、多尺度和多分辨率的特点^[10],在数据缺 乏地区具有很大的应用潜力。SWAT 分布式水文模型 由于其具有较强的物理机制,在流域地表径流评估和 地下水评价等方面得到广泛应用^[11-13]。目前,对多源 气象数据精度评估主要以地面气象站数据为基准采 用数学统计方法进行验证^[14-16],已有研究人员利用分 布式水文模型融合验证,进一步验证多源气象数据的 精度及适用性^[17-19]。近年来,CMADS 数据集在东亚 地区得到广泛应用,在马来西亚穆达河流域^[20]、越南

收稿日期: 2022-03-11

基金项目:新疆维吾尔自治区重点实验室开放课题(2020D04039);国家 自然科学基金 NSFC 联合基金项目(U1703341)

作者简介: 陈世雪(1996-),女。硕士研究生,主要从事空间信息分析与应用研究。E-mail: 2533716537@qq.com

通信作者: 玉素甫江 如素力(1975-),男。教授,硕士生导师,博士,主要从事流域水文与生态系统、3S 技术及其应用研究。

Cau 河流域^[21]、朝鲜半岛汉江流域^[22]精度评估和水文 模拟研究中取得满意结果。目前对 CMADS 数据集的 评估国内主要集中在中国东北^[10,23]、中国南部^[24-26]。 西北干旱地区在玛纳斯河^[27]、黑河^[28]、精博河^[29]等 流域有相关的研究。【切入点】现有研究对土地面积 辽阔、地形地貌复杂、地面气象观测站点稀少、区域 气候差异较大的我国西部地区的 CMADS 数据集的 精度及适用性评估较少,而且对再分析数据在干旱地 区的适应性国内外学者有不同的看法。【拟解决的关 键问题】故本文选择干旱区内陆河流开都河上游作为 研究区,评估 CMADS 数据集的精度及其在流域水文 模拟中的适用性,从而验证 CMADS 数据在大气观测 数据缺乏地区的可用性及优势,对该区域的生态环境 演变、水文与水资源研究具有重要意义。研究结果可 验证 CMADS 在开都河上游流域的精度及在径流模 拟中的适用性,为站点稀少的内陆干旱区开展水文研 究寻找替代数据提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

开都河是我国西北地区典型的干旱区内陆河流, 源起天山中部,流经大、小尤尔都斯盆地后穿过峡谷, 经焉耆盆地自大河口注入博斯腾湖,流域内包括和 静、焉耆、和硕、博湖4县以及8个团场^[30]。开都河 是焉耆盆地和孔雀河流域社会经济发展的重要资源, 也是塔里木河下游的重要补给水源,对塔河生态恢复 和重建起了关键作用^[31]。大山口(85°44′E,42°13′N) 是开都河流域的唯一出山口,将开都河流域分为上游 山区和下游平原区,本文以开都河上游为研究区域, 地处 82°56'-86°10'E, 42°12'-43°20'N 之间, 流域 集水面积 18 586 km²。研究区示意图如图 1 所示,开 都河上游气象站点稀少,仅巴音布鲁克1个气象站点, 限制了该地区的水文气象研究。开都河上游位于新疆 天山中段的山间盆地, 地形复杂, 主要由周围山区围 绕的小尤尔都斯盆地、大尤尔都斯盆地和峡谷组成, 平均高程 2 998 m。地势西北高,东南低,由西北向 东南倾斜。开都河是典型的干旱区内陆河,由于距海 远和山脉的阻挡,研究区降水少蒸发大,流域内多年 年均降水量 165 mm,多年平均气温 5~8 ℃。降水的 时空异质性导致流域内降水时空分布不均,时间上看 降水主要集中在 6-9 月, 空间上看降水西多东少, 呈自东向西递增趋势。

1.2 数据来源

1.2.1 DEM 数据

数字高程数据取自地理空间数据云 (http://www.gscloud.cn/) SRTM (30 m) DEM, SWAT 模型可根据 DEM 数据划分子流域,生成数字河网。 为保证模型输入数据的一致性,将 DEM、土地利用、 土壤数据统一投影为: WGS_1984_UTM_Zone_45N, 数据为 GIRD 格式。





1.2.2 土地利用数据

土地利用数据来自于中国多时期土地利用土地覆 被遥感监测数据集(CNLUCC),空间分辨率 30 m, 该数据集包括 6 个一级分类,25 个二级分类,结合 SWAT 模型土地利用分类标准将研究区土地重分类为 6 类(图 2)。其中主要土地利用类型草地占总面积的 74.73%,其次未利用土地占 17.42%、湿地占 5.38%、 水域占 1.99%、林地占 0.47%、建设用地占 0.01%。



图 2 开都河上游土地利用类型分布 Fig.2 Distribution of land use types in the upper reaches of the Kaidu River

1.2.3 土壤数据

土壤数据自世界土壤数据库 HWSD 土壤数据库 下载,不需要进行粒径转换。根据土壤分组将土壤数 据重分类为:简育灰色土、钙积栗钙土、黏化钙积 土、石化石膏土、松软潜育土、永冻薄层土、松软 薄层土、饱和薄层土、冰川9种类型(图3)。

1.2.4 气象与水文数据

本研究地面实测气象输入数据由研究区及周围 气象站点组成,利用天气发生器弥补缺失数据,输入 SWAT 模型进行径流模拟。地面气象数据包括:逐日 降水量、日最高/最低气温、平均相对湿度、平均风 速、日照时间,辐射数据由日照时间计算得到。本文 使用开都河出山口大山口水文站 1990—2018 年逐月 径流数据用于模型率定与验证。



Fig.3 Distribution of soil types in the upper reaches of the Kaidu River

1.2.5 CMADS 数据集

由于研究区内地面气象观测站稀少,制约该地区 进行水文气象研究。本文采用高分辨率 CMADS1.1 数据集(时间分辨率:逐日;空间分辨率:1/4,时 间尺度: 2008—2018 年) 驱动 SWAT 模型进行水文 模拟。该数据集按照 SWAT 模型输入驱动数据格式进 行了格式整理与修正,使 SWAT 模型可直接使用该数 据集而不需要任何格式转换^[32]。SWAT 模型在开都河 上游自动读取 CMADS 数据集 35 个格网点,相比传 统气象站点具有数量优势。传统气象站还存在部分数 据缺测现象,构建 SWAT 模型需要调用天气发生器弥 补缺测数据进行水文模拟, CMADS 数据集不存在缺 测数据,这是该数据集相较传统气象站的另一个优点。 CMADS 数据集提供了 SWAT 模型运行所需的 5 种气 象数据(降水量、气温、相对湿度、太阳辐射和风速), 给水文模拟研究提供了便利。因此,评估 CMADS 数 据精度及其在水文模拟中的适用性对数据缺乏地区 开展水文研究意义重大。

1.3 研究方法

1.3.1 SWAT 模型

SWAT (Soil and water assessment tool)分布式水 文模型是由美国农业部开发的基于长时间序列的大 尺度分布式水文模型。基于 DEM 数据,生成流域边 界和 33 个子流域,进一步划分为具有均匀土地利用、 土壤和坡度的水文响应单元 (HRU) 247 个,在 HRU 尺度上进行水文模拟。设置 2008—2009 年为预热期, 2010—2014 年为率定期, 2015—2017 为验证期。

对模型率定有2种方法,一是利用历史观测数据 率定出最佳参数,将多源降水数据输入率定好的模型 进行模拟;二是用不同参数分别率定不同气象数据驱 动的模型^[33]。由于水文模型校准过程中存在参数不确 定性,无法保证用实测数据率定得到的参数适合移植 到再分析数据驱动的模型中,因此,本文选择对地面 气象数据和 CMADS 驱动水文模型分别率定,利用 SWAT-cup 软件的 SUFI-2 算法,选择 26 个与径流有 关的参数,基于参数敏感性水平 *t* 值和参数显著性水 平 *p* 值筛选保留 13 个敏感参数,经过多次迭代调整 参数范围,寻找参数最佳值。选取线性回归方程决定 系数 *R*²、纳什效率系数 *NSE* 作为评价指标。*NSE* 计 算式为:

$$NBS = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^{n} (Q_0 - Q_S)^2}{\sum_{i=1}^{n} (Q_0 - \overline{Q_0})^2} \right], \tag{1}$$

式中: n 为模拟时间数; Q_0 为径流观测值; Q_s 为径 流模拟值; $\overline{Q_0}$ 为观测降水数据平均值。当 $R^2 > 0.6$, NSE > 0.5 时,表示结果可接受。

1.3.2 精度评估指标

气温和降水是影响水文模型模拟精度的重要输入数据,为了评估 CMADS 数据集在开都河上游的精度,本文选择距巴音布鲁克气象站最近格网点的逐日降水、日最高/最低气温数据评估该数据集的精度^[34]。选择皮尔逊相关系数 R、平均绝对误差 MAE、均方根误差 RMSE 等 3 个统计指标。

利用 3 个分类评价指标反映多源降水数据对日降 水的探测能力,包括探测率(Probability of Detection, *POD*)、误报率(FalseAlarm Ratio, *FAR*)和临界成功 指数(Critical Success Index, *CSI*)3种指标,并将日 降水量 0.1 mm/d 作为降水事件的阈值,具体计算式为:

$$POD = \frac{H}{H+M},$$
 (2)

$$FAR = \frac{F}{H+F},$$
 (3)

$$CSI = \frac{H}{H + M + F}$$
, (4)

式中: H为 CMADS 数据集正确探测到降水事件的次数; M为 CMADS 未探测到而实际发生降水的次数; F为 CMADS 探测到而实际没有发生降水事件的次数。

降水探测率 POD 表示 CMADS 对降水事件是否 发生的探测命中率,POD 值越高,降水产品对降水 事件的漏报率越低,对日降水的探测能力越强;误报 率 FAR 指对降水产品探测降水事件错误估计的概率, FAR 值越低表示对降水事件的估计越准确;CSI 关键 成功指数反映了降水产品检测降水事件的能力,该指 数能够很好地区分不同的降水事件。POD、FAR 和 CSI 取值从 0 到 1, POD 和 CSI 越大, FAR 越小,表 明 CMADS 对降水的探测能力越好。

2 结果与分析

2.1 CMADS 数据精度评价

2.1.1 日尺度精度评价 对比分析 2008 年 1 月—2017 年 12 月开都河上 游 CMADS 和传统气象站的降水量、最高/最低气温 在日尺度的探测能力(图 4)。从图 4 可以看出, CMADS 数据在温度估计方面有较好表现,日最高/ 最低气温的相关系数分别为 0.95 和 0.92。对日尺度 降水探测表现较差,CMADS 逐日降水数据与实测降 水数据的 Pearson 相关系数为 0.59, 主要是由于降水 的空间异质性更加显著, 更难准确预测。在误差表现 上,降水的表现优于气温。总的来说, CMADS 数据 集和地面观测数据较吻合,表明 CMADS 数据集在开 都河上游水文气象研究中具有较好的潜力。





Fig.4 Scatter plots of daily precipitation, daily maximum temperature and daily minimum temperature for the CMADS dataset

表1是CMADS降水量数据在日尺度降水量探测中分类评价指标评估结果。从表1可以看出,CMADS捕捉实际降水事件的能力表现较好,探测率 POD=0.69,临界成功指数CSI=0.43,但同时出现了较大的空报率FAR=0.45,总的来说,CMADS对日降水量的探测命中率较高但同时存在较多空报的情况。

表1 CMADS日降水量分类评价指标评估结果

Table 1 Evaluation results of CMADS daily precipitation

classification evaluation index

逐日降水量	探测率 POD	空报率 FAR	临界成功指数 CSI
CMADS	0.69	0.45	0.43

2.1.2 月尺度精度评价

表 2 是 CMADS 数据集对降水量、气温的月尺 度探测水平。分析发现, CMADS 数据集在月尺度降 水探测中相关性的表现显著优于日尺度相关性, 月 尺度气温的表现能力也较日尺度有所改善, 但同时 月尺度降水量和气温探测也出现了更大的平均绝对 误差和均方根误差。因此 CMADS 数据集对月尺度 气温和降水量的探测总体比较符合实际气象数据, 但是存在一定的偏差。

表 2 CMADS 数据集和实测降水量、气温月尺度统计指标 Table 2 CMADS dataset and monthly scale statistical

CIMINDO	uataset	anu	monuny	scale	statistical

ind	icators	of	measured	preci	pitation	and	air	temperature
				1 .	1			1

气象要素	Pearson 相关系数	RMSE	MAE
降水量	0.84	3.81	2.29*
日最高气温	0.96	3.56*	2.54
日最低气温	0.97*	6.52	5.34

注 表中*表示各指标的最优值。

2.1.3 季节尺度精度评价

开都河流域是典型的干旱区内陆河,降水季节 分配不均。按照春(3—5月)、夏(6—8月)、秋 (9—11月)、冬(12—次年2月)4个季节进行统计 分析,进一步评估 CMADS 数据集在开都河上游季节 尺度的表现。图 5 是开都河上游季节尺度降水量和气 温的探测精度评估结果。从图 5 可以看出,CMADS 降水量数据在季节尺度误差较小;相关性在夏季表现 最好,冬季较差,可能是 CMADS 数据集对积雪的探 测能力较差。气温在冬季相关性低于春、夏、秋季, 同时冬季出现最大误差,说明 CMADS 对冬季气温探 测误差较大。总的来说,CMADS 数据集对夏季气温 和降水量探测较准确,对冬季气温和降水量的探测能 力较差,气温和降水量均出现较大的均方根误差和平 均绝对误差。

2.1.4 多时间尺度精度评估结果分析

基于巴音布鲁克气象站数据,分别在日、月、季 节尺度上评估了 CMADS 降水量数据和气温数据精 度与误差,结果表明,CMADS 降水量数据在月尺度 表现较好,主要是由于 CMADS 数据对月降水量的探 测存在较小误差;在日尺度表现不佳,主要原因是 CMADS 降水量数据存在较多空报降水事件的情况; 在季节尺度对夏季探测较好,在冬季由于对降雪事件 的探测能力较差导致误差较大。从对气温的多时间尺 度精度评估发现,CMADS 数据对气温的探测能力较 强,只在冬季表现出较大的误差。



图 5 CMADS 数据集降水量、气温在不同季节的精度评价

Fig.5 Accuracy evaluation of CMADS dataset for precipitation and air temperature in different seasons

2.2 模型率定与验证

对地面气象数据和 CMADS 数据集驱动的 SWAT 模型分别进行率定。经过多次迭代,确定 13 个敏感参数及其敏感性排序(表 3),不同气象数 据的敏感参数排序及参数最佳值不同, 地面气象数 据驱动的模型最敏感的3个参数分别是:各土壤层 底层到土壤表层的深度 SOL_Z、融雪温度 SFTMP、 SCS 曲线系数 CN₂; CMADS 数据集驱动模型最敏 感参数是: 浅层地下水再蒸发阈值深度 REVAPMN、 融雪基温 SMTMP、SCS 曲线系数 CN2, 其中共同 的敏感参数是径流参数 CN2 和融雪参数,说明地表 径流和融雪是开都河径流模拟中的重要影响参数。 从表 4 可以看出, CMADS 数据集驱动的 SWAT 模 型其率定期、验证期模拟效果均优于地面气象数据 模拟结果,且 R^2 和NSE均在0.7以上,表明CMADS 数据集驱动的 SWAT 模型在开都河流域具有较好适 用性。总的来说,地面气象数据在率定期模拟结果 没有达到满意标准,不适用于开都河径流模拟研究, CMADS 数据在率定期和验证期均表现较好的模拟 结果,表明 CMADS 数据集模拟效果比地面气象数 据好,与实测径流量的相关性更高。说明 CMADS 数据集可以替代地面观测气象数据进行水文模拟 研究。

2.3 模拟结果分析

图6是地面气象站驱动SWAT模型径流模拟结果, 从图6可知,率定期模拟径流量与实际径流量吻合度 较差,对径流的高估较多,且存在波动。验证期模拟 结果有所改善,对径流峰值出现的时间再现较为准确, 且对出现2个峰值的径流模拟出2个峰值,但是存在 径流高估。总的来说,用巴音布鲁克及周围气象站数 据驱动SWAT模型模拟2008—2018年径流量,对率 定期径流模拟表现较差。

图 7 是 CMADS 数据集驱动 SWAT 模型的径流模 拟结果,在率定期和验证期都能达到满意效果,表明 CMADS 数据集可以作为地面气象数据的替代数据应 用于水文模拟研究。从时间上看,CMADS 数据集对 径流的洪峰捕捉较为准确,模拟径流和实际径流时间 变化基本一致,但是对一些高值和低值的捕捉不够准 确,存在波动。对于径流存在2个峰值的模拟效果较 差,仅模拟出1个峰值。在率定期,存在基流高估事 件;对于较高的峰值出现低估,较低峰值出现高估。 验证期表现为低估峰值、略高估基流。总的来看, CMADS 数据集驱动的 SWAT 模型模拟结果虽然存在 部分模拟不够精确的情况,但总体符合实际径流量变 化情况。

表 3 开都河流域大山口水文站径流敏感性参数

Table 3 Runoff sensitivity parameters of oyamaguchi

hydrological station in Kaiduhe River Basin

地面气象站 参数	实测数据 参数 最佳值	参数敏感性 排序	CMADS 数据集参数	CMADS 数据 参数最佳值
SOL_Z	-0.26	1	REVAPMN	35.43
SFTMP	9.65	2	SMTMP	10.84
CN_2	76.27	3	CN_2	40.61
HRU_SLP	0.83	4	ALPHA_BF	0.87
SMTMP	7.83	5	SOL_Z	-0.81
GW_DELAY	418.24	6	HRU_SLP	0.9
CO_2	742.03	7	SOL_AWC	-0.68
SLSOIL	19.55	8	SLSOIL	36.84
SOL_AWC	-0.94	9	SFTMP	15.11
GWQMN	0.57	10	GWQMN	1.35
SOL_K	0.11	11	GW_DELAY	299.04
REVAPMN	37.13	12	CO_2	607.97
ALPHA_BF	0.96	13	SOL_K	0.48

表 4 开都河流域大山口水文站月径流模拟结果

Table 4 Simulation results of monthly runoff at Dashankou

hydrological station in Kaidu River basin

气象数据	率定期			验证期		
	决定系数 纳什系数		决定系数	纳什系数		
	R^2	NSE		R^2	NSE	
地面站点	0.61	0.41		0.77	0.62	
CMADS 数据集	0.79	0.78		0.82	0.75	



图 7 CMADS 数据集驱动 SWAT 模型径流模拟结果

Fig.7 CMADS dataset driven SWAT model runoff simulation results

3 讨论

基于卫星和再分析的气象数据成为数据缺乏地 区的重要数据来源, CFSR 和 CMADS 再分析数据具 备 SWAT 模型所需的气象要素, 被广泛应用于径流模 拟等领域。田霖等^[35]评估了 CFSR 再分析数据集在开 都河水文模型中的适用性,结果发现,未经校正的 CFSR 数据集在该地区日径流模拟中表现较差 (NSE<0.34)。本文评估 CMADS 再分析数据集在开 都河上游径流模拟中的表现,模拟结果较好,说明 CMADS 比 CFSR 更适合该地区径流模拟研究,这也 与 Meng 等^[28]在黑河地区以及 Zhang 等^[10]在东北地区 的研究结果一致: CMADS 径流模拟结果总体优于 CFSR。由于气象插值会引入误差和不确定性,本文 放弃将 CMADS 数据插值到研究区内站点,选择距站 点最近的网格点数据进行精度评估和误差分析,利用 地面站点数据对 CMADS 数据集的降水量和气温数 据进行精度评估,结果发现气温在多时间尺度上均呈 显著相关性,降水相关性略低,这与 Zhang 等^[20]、 Dao 等^[21]、Vu 等^[22]在东亚地区的评估结果一致。

开都河上游仅有巴音布鲁克1个气象站,气象站 点稀少、气象观测数据缺乏,用单站点地面观测数据 评估降水产品精度存在不确定性,且1个站点的精度 也不能代表整个开都河上游,因此,使用巴音布鲁克 气象站评估 CMADS 数据网格点的精度仅表明该网格点的精度,对 CMADS 数据集在开都河上游的精度评估具有参考性不具有代表性。SWAT 水文模型需要输入整个上游网格气象数据,使用 CMADS 网格点数据输入 SWAT 模型模拟径流可以进一步评估 CMADS 在流域的精度及适用性。CMADS 驱动 SWAT 模型径流模拟结果较好,说明 CMADS 在西北地区具有较好的适用性,这与谷新晨等^[27]、孟现勇等^[32]、刘俊等^[36]的研究结果相似。

CMADS 数据集输入 SWAT 模型径流模拟取得较 好结果,说明 CMADS 数据集在开都河上游适用,但 是 CMADS 数据集仅提供 2008—2018 年的气象数据, 不能满足长时间序列需求的水文气象研究,因此,后 续研究会进一步为数据缺乏地区寻找长时间序列、高 精度、高时空分辨率的数据源。

4 结 论

1) CMADS 数据集对气温的探测能力较好,除 冬季气温探测较差以外,其余时间尺度相关性均在 0.9 以上。对日降水探测表现较差,相关性为 0.59, 但误差较小;在月尺度上,对降水量和气温的探测相 关性显著提高但同时出现更大的误差;季节尺度上对 降水的探测精度较低,尤其对冬季降水量的探测存在 较大偏差, CMADS 数据集对降雪的探测不敏感。 2) CMADS 径流模拟结果在率定期与验证期均 优于地面气象数据径流模拟结果, CMADS 数据集适 用于开都河上游径流模拟研究,可以替代地面观测数 据用于该地区水文研究。

3) CMADS 数据集驱动的 SWAT 模型径流模拟 结果虽然存在部分模拟不够精确的情况,但总体符合 实际径流量变化情况,在气象站点缺乏的干旱内陆地 区 CMADS 数据集可以作为地面站点替代数据开展 水文模拟研究。

参考文献:

- [1] 田晶,郭生练,刘德地,等. 气候与土地利用变化对汉江流域径流的影响[J]. 地理学报,2020,75(11):2307-2318.
 TIAN Jing, GUO Shenglian, LIU Dedi, et al. Impacts of climate and land use/cover changes on runoff in the Hanjiang River Basin[J]. Acta Geographica Sinica, 2020, 75(11):2307-2318.
- [2] 祖拜代•木依布拉,师庆东,普拉提•莫合塔尔,等.基于 SWAT 模型的乌鲁木齐河上游土地利用和气候变化对径流的影响[J]. 生态学报, 2018, 38(14): 5 149-5 157.

ZUBAIDA Muyibul, SHI Qingdong, POLAT Muhtar, et al. Land use and climate change effects on runoff in the upper Urumqi River watershed: A SWAT model based analysis[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(14): 5 149-5 157.

- [3] 许林晓,林声. 2001—2020 年全国水资源变化趋势分析[J]. 灌溉排水学报, 2021, 40(S2): 1-5.
 XU Linxiao, LIN Sheng. Analysis on the change trend of national water resources from 2001 to 2020[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2021, 40(S2): 1-5.
- [4] 郭军庭,张志强,王盛萍,等.应用 SWAT 模型研究潮河流域土地利 用和气候变化对径流的影响[J].生态学报, 2014, 34(6): 1 559-1 567. GUO Junting, ZHANG Zhiqiang, WANG Shengping, et al. Appling SWAT model to explore the impact of changes in land use and climate on the streamflow in a Watershed of Northern China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(6): 1 559-1 567.
- [5] BENGTSSON L, SHUKLA J. Integration of space and in situ observations to study global climate change[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1988, 69(10): 1 130-1 143.
- [6] DEE D P, UPPALA S M, SIMMONS A J, et al. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system[J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2011, 137(656): 553-597.
- [7] RIENECKER M M, SUAREZ M J, GELARO R, et al. MERRA: NASA's modern-era retrospective analysis for research and applications[J]. Journal of Climate, 2011, 24(14): 3 624-36 48.
- [8] 胡增运, 倪勇勇, 邵华, 等. CFSR、ERA-Interim 和 MERRA 降水资料在中亚地区的适用性[J]. 干旱区地理, 2013, 36(4): 700-708.
 HU Zengyun, NI Yongyong, SHAO Hua, et al. Applicability study of CFSR, ERA-Interim and MERRA precipitation estimates in Central Asia[J]. Arid Land Geography, 2013, 36(4): 700-708.
- [9] ONOGI K, KOIDE H, SAKAMOTO M, et al. JRA-25: Japanese 25-year re-analysis project-progress and status[J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2005, 131(613): 3 259-3 268.
- [10] ZHANG L M, MENG X Y, WANG H, et al. Investigate the applicability of CMADS and CFSR reanalysis in northeast China[J]. Water, 2020, 12(4): 996.
- [11] 陈沛源,李金文,俞巧,等. 基于 SWAT 模型的泾河流域地下水分布 特征与水资源评价[J]. 灌溉排水学报,2021,40(12):102-109,126.
 CHEN Peiyuan, LI Jinwen, YU Qiao, et al. Evaluating groundwater

resource and its distribution in Jinghe Basin using the SWAT model[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2021, 40(12): 102-109, 126.

- [12] 罗映雪, 徐长春, 杨秋萍, 等. 基于 SWAT 模型的开都河上游未来土 地利用变化对径流的影响[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(11): 100-108.
 LUO Yingxue, XU Changchun, YANG Qiuping, et al. Influence of future land use change on runoff in the upper reaches of Kaidu river based on SWAT model[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2019, 38(11): 100-108.
- [13] 赵良杰, 王莹, 周妍, 等. 基于 SWAT 模型的珠江流域地下水资源评价研究[J]. 地球科学, 2022(1): 1-19.
- [14] WANG H, YUAN Y X, ZENG S K, et al. Evaluation of satellite-based precipitation products from GPM IMERG and GSMaP over the three-river headwaters region, China[J]. Hydrology Research, 2021, 52(6): 1 328-1 343.
- [15] 卫林勇, 江善虎, 任立良, 等. 多源卫星降水产品在不同省份的精度评估与比较分析[J]. 中国农村水利水电, 2019(11): 38-44.
 WEI Linyong, JIANG Shanhu, REN Liliang, et al. Evaluation and comparison of multi-source satellite precipitation products in different climate regions over China's mainland[J]. China Rural Water and Hydropower, 2019(11): 38-44.
- [16] 沈彬, 李新功. 塔里木河流域 TRMM 降水数据精度评估[J]. 干旱区 地理, 2015, 38(4): 703-712.
 SHEN Bin, LI Xingong. Accuracy assessment of TRMM3B43 data in

Tarim River Basin[J]. Arid Land Geography, 2015, 38(4): 703-712.

- [17] 孙赫,苏凤阁. 雅鲁藏布江流域多源降水产品评估及其在水文模拟中的应用[J]. 地理科学进展, 2020, 39(7): 1 126-1 139.
 SUN He, SU Fengge. Evaluation of multiple precipitation datasets and their potential utilities in hydrologic modeling over the Yarlung Zangbo River Basin[J]. Progress in Geography, 2020, 39(7): 1 126-1 139.
- [18] GUUG S S, ABDUL-GANIYU S, KASEI R A Application of SWAT hydrological model for assessing water availability at the Sherigu catchment of Ghana and Southern Burkina Faso[J]. Hydrology Research, 2020, 3: 124-133.
- [19] TUO Y, DUAN Z, DISSE M, et al. Evaluation of precipitation input for SWAT modeling in Alpine catchment: A case study in the Adige River Basin (Italy)[J]. Science of the Total Environment, 2016, 573: 66-82.
- [20] ZHANG D D, TAN M L, DAWOOD S R S, et al. Comparison of NCEP-CFSR and CMADS for hydrological modelling using SWAT in the muda river basin, Malaysia[J]. Water, 2020, 12(11): 3 288.
- [21] DAO D M, LU J Z, CHEN X L, et al. Predicting tropical monsoon hydrology using CFSR and CMADS data over the cau river basin in Vietnam[J]. Water, 2021, 13(9): 1 314.
- [22] VU T, LI L, JUN K. Evaluation of multi-satellite precipitation products for streamflow simulations: A case study for the Han River Basin in the Korean peninsula, east Asia[J]. Water, 2018, 10(5): 642.
- [23] QIN G S, LIU J W, WANG T X, et al. An integrated methodology to analyze the total nitrogen accumulation in a drinking water reservoir based on the SWAT model driven by CMADS: A case study of the Biliuhe reservoir in northeast China[J]. Water, 2018, 10(11): 1 535.
- [24] WANG Q, XIA J, ZHANG X, et al. Multi-scenario integration comparison of CMADS and TMPA datasets for hydro-climatic simulation over Ganjiang River Basin, China[J]. Water, 2020, 12(11): 3 243.
- [25] CAO Y, ZHANG J, YANG M X, et al. Application of SWAT model with CMADS data to estimate hydrological elements and parameter uncertainty based on SUFI-2 algorithm in the Lijiang River Basin, China[J]. Water, 2018, 10(6): 742.
- [26] 骆月珍,顾婷婷,潘娅英,等. 基于 CMADS 驱动 SWAT 模型的富春 江水库控制流域水量平衡模拟[J]. 气象与环境学报, 2019, 35(4): 106-112.

LUO Yuezhen, GU Tingting, PAN Yaying, et al. Simulation of basin water balance controlled by Fuchunjiang Reservoir watershed based on

SWAT model driven by CMADS[J]. Journal of Meteorology and Environment, 2019, 35(4): 106-112.

- [27] 谷新晨,肖森元,杨广,等. 基于 CMADS 和 SWAT 模型的玛纳斯河 流域水文过程模拟[J]. 水资源与水工程学报, 2021, 32(2): 116-123. GU Xinchen, XIAO Senyuan, YANG Guang, et al. Hydrological process simulation of Manas River Basin based on CMADS and SWAT model[J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2021, 32(2): 116-123.
- [28] MENG X Y, ZHANG X S, YANG M X, et al. Application and evaluation of the China meteorological assimilation driving datasets for the SWAT model (CMADS) in poorly gauged regions in Western China[J]. Water, 2019, 11(10): 2 171.
- [29] 孟现勇, 王浩, 雷晓辉, 等. 基于 CMDAS 驱动 SWAT 模式的精博 河流域水文相关分量模拟、验证及分析[J]. 生态学报, 2017, 37(21): 7 114-7 127.

MENG Xianyong, WANG Hao, LEI Xiaohui, et al. Simulation, validation, and analysis of the Hydrological components of Jing and Bo River Basin based on the SWAT model driven by CMADS[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(21): 7 114-7 127.

- [30] 巴乌龙. 基于气候变化和人类活动情景的开都河水文和水环境研究[D]. 北京:清华大学, 2019.
 BA Wulong. Hydrology and water environment research based on climate change and human activity scenarios in Kaidu river[D]. Beijing: Tsinghua University, 2019.
- [31] 石光義. 基于 SWAT 模型的新疆开都-孔雀河流域径流时空变化研究[D]. 长春: 长春工程学院, 2020.
 SHI Guangyi. Study on runoff spatiotemporal variation of Xinjiang

Kaidu-kongqi river basin based on SWAT model[D]. Changchun:

Changchun Institute of Technology, 2020.

- [32] 孟现勇,师春香,刘时银,等. CMADS 数据集及其在流域水文模型中的驱动作用:以黑河流域为例[J].人民珠江,2016,37(7):1-19. MENG Xianyong, SHI Chunxiang, LIU Shiyin, et al. CMADS datasets and its application in watershed hydrological simulation: A case study of the Heihe River Basin[J]. Pearl River, 2016, 37(7): 1-19.
- [33] GAO X C, ZHU Q, YANG Z Y, et al. Evaluation and hydrological application of CMADS against TRMM 3B42V7, PERSIANN-CDR, NCEP-CFSR, and gauge-based datasets in Xiang River Basin of China[J]. Water, 2018, 10(9): 1 225.
- [34] 刘君龙,许继军,袁喆,等. CMADS 驱动 SWAT 模型在水循环模拟 中的应用:以洱海流域为例[J].人民长江,2020,51(3):65-72.
 LIU Junlong, XU Jijun, YUAN Zhe, et al. Application of SWAT model driven by CMADS in water cycle simulation of Erhai Basin, Yunnan Province[J]. Yangtze River, 2020, 51(3): 65-72.
- [35] 田霖,刘铁,包安明,等. CFSR 降水数据在干旱山区水文模型中的应用:以新疆开都河流域为例[J].干旱区研究,2017,34(4):755-761. TIAN Lin, LIU Tie, BAO Anming, et al. Application of CFSR precipitation dataset in hydrological model for arid mountainous area: A case study in the Kaidu river basin[J]. Arid Zone Research, 2017, 34(4): 755-761.
- [36] 刘俊,刘时银,上官冬辉,等. CMADS、ITPCAS和TRMM 3B42 3 套降水数据集在玉龙喀什河流域的适用性评价[J]. 华北水利水电大 学学报(自然科学版), 2017, 38(5): 28-37.

LIU Jun, LIU Shiyin, SHANGGUAN Donghui, et al. Applicability evaluation of precipitation datasets from CMADS, ITPCAS and TRMM 3B42 in Yurungkax river basin[J]. Journal of North China University of Water Resources and Electric Power (Natural Science Edition), 2017, 38(5): 28-37.

Application of CMADS Dataset for Simulating Hydrological Processes in Upper Reach of the Kaidu River

CHEN Shixue¹, YUSUFUJIANG Rusuli^{1,2*}

(1. College of Geography and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi 8300054, China;

2. Key Laboratory of Lake Environment and Resources in Arid Areas of Xinjiang, Urumqi 830054, China)

Abstract: [Objective] The China meteorological assimilation driving datasets is a database built up over the past decades specifically for application to the SWAT model (CMADS) in data-poor regions. This paper studies its application in upper reach of the Kaidu river in Northwestern China. [Method] We assessed two aspects. The first one is to assess the performance of the CMADS dataset in terms of estimating precipitation, maximum and minimum temperatures. The second is to compare the simulated results using the CMADS dataset and ground-true meteorological data. [Result] ①The CMADS dataset is accurate for estimating temperature with its correlation with ground-true data being more than 0.9, but is less accurate for estimating daily precipitation, with its correlation with ground-truth data being 0.59. However, the correlation between calculated and measured monthly precipitations was high, reaching 0.84. 2) The simulated runoff using SWAT combined with CMADS dataset was in general more accurate than the results simulated using SWAT combined with the ground-truth data, indicating that, for regional hydrological modelling, CMADS dataset is more accurate than point-measured data. ③Using the CMADS overestimated the baseflow and the lowest flow and underestimate the peak flow in model calibration stage, while underestimated the peak flow and overestimated baseflow slightly in model validation stage. In general, the runoff calculated using the CMADS was acceptable, except in a few extreme cases. [Conclusion] Testing the CMADS dataset against the upper reach of Kaidu river basin shows it is accurate and reliable. It can be used to simulate hydrological processes in regions short of measured meteorological data.

Key words: CMADS; SWAT; simulation of runoff; accuracy evaluation; Kaidu River