

DOI:10.7522/j.issn.1000-0240.2022.0029

GAO Liming, ZHANG Lele, SHEN Yongping, et al. Evaluation of applicability of ERA-Interim and CMFD meteorological forcing data in the Irtys River basin, Xinjiang [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2022, 44(1):179-187. [高黎明, 张乐乐, 沈永平, 等. ERA-Interim 和 CMFD 气象驱动数据在新疆额尔齐斯河流域的适用性评价[J]. 冰川冻土, 2022, 44(1):179-187.]

ERA-Interim 和 CMFD 气象驱动数据在新疆 额尔齐斯河流域的适用性评价

高黎明^{1,2}, 张乐乐^{1,2}, 沈永平³, 张耀南³, 张伟³

(1. 青海师范大学地理科学学院, 青海 西宁 810008; 2. 青海省地表过程重点实验室, 青海 西宁 810008;
3. 中国科学院西北生态环境资源研究院, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 气象驱动数据质量是影响流域水文过程模拟精度的一个重要因素。基于新疆额尔齐斯河流域及周边区域8个气象站记录的数据,对ERA-Interim再分析资料和中国区域地面气象要素驱动数据集(CMFD)在流域的适用性进行了评价,并对比了ERA-Interim和CMFD气象要素年均值在流域的空间分布。结果表明:ERA-Interim和CMFD记录气温、相对湿度、向下短波辐射和向下长波辐射数据与观测数据具有较高的一致性,但降水和风速数据与观测数据的一致性比较差。小时尺度上ERA-Interim记录的气温、相对湿度、降水量、向下短波辐射准确度略高于CMFD数据,而日尺度上CMFD记录的所有气象要素的准确度均高于ERA-Interim数据,结合Noah-MP模型的模拟结果,认为CMFD数据在新疆额尔齐斯河流域的适用性整体优于ERA-Interim数据。从两种驱动数据获取的流域气象要素空间分布来看,ERA-Interim和CMFD获取的年平均气温、风速、相对湿度、降水量、向下长波辐射在流域空间具有高度一致性,但向下短波辐射空间分布差别较大。

关键词: 气象驱动数据; ERA-Interim; CMFD; 额尔齐斯河流域; 适用性评价

中图分类号: P413 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-0240(2022)01-0179-09

0 引言

全球气候变化已成为不争的事实,现有研究表明,近百年中国增温幅度达到 $0.22\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$,明显高于全球和北半球的增温幅度^[1]。气候变化产生了一系列环境问题,尤其是在高纬度和高海拔的山区流域,冰冻圈退化、水资源短缺、洪涝干旱加剧等生态环境问题日益突出^[2],直接影响人类生存环境与可持续发展。额尔齐斯河是新疆第二大河流,同时也是一条国际河,在国外流经哈萨克斯坦和俄罗斯,对这些国家的社会经济发展有着极其重要的作用^[3]。额尔齐斯河河源区位于我国新疆阿尔泰山区,是重要的稳定积雪区,春季融雪对流域水资源的贡献不容小觑^[4]。在气候变化背景下,积雪作为

冰冻圈的重要组成部分,对气候变化响应极其显著^[5-6],流域积雪变化对水资源的影响开始受到广泛关注。基于流域布设的观测站点,对融雪过程的关键参数及影响因素有了充分的认识^[7-10]。但流域尺度上积雪积累和消融过程还缺乏深入的研究,此外风吹雪作为影响积雪的空间分布的一个重要因素也不容忽视。而对这些过程的准确定量描述依赖于陆面过程模型或分布式水文模型。Zhang等^[11]分析了影响陆面过程模型模拟积雪精度的因素,发现驱动数据的不确定对模拟结果的影响大于模型本身的结构及参数化方案。因此,在流域获取可信的气象驱动数据是对积雪水文过程实现准确模拟的关键。

收稿日期: 2020-07-11; 修订日期: 2021-10-21

基金项目: 国家重点研发计划项目(2019YFC1510502); 国家自然科学基金项目(42001060; 42171467); 青海省自然科学基金项目(2021-ZJ-947Q)资助

作者简介: 高黎明, 副教授, 主要从事积雪水文过程模拟研究. E-mail: gaogaotahj@163.com

通信作者: 张乐乐, 副教授, 主要从事寒区水文研究. E-mail: zhang1986lele@163.com

再分析资料同化了遥感、地面观测和数值模式获取的数据^[12],具有高时空分辨率的特点,是分布式模型的理想驱动数据来源。目前国际上比较常用的再分析资料包括 ERA-interim^[13]、NCEP CFSv2^[14]、MERRA2^[15]、JRA-55^[16]等。在国内,国家气象信息中心开发了覆盖亚洲区域的 CLDAS^[17],清华大学也开发了中国区域高分辨率气象驱动数据集(CMFD)^[18-20]。国内外学者对这些数据在不同区域的适用性进行了评价^[21-24],但是从评价结果来看,不同来源的再分析资料在不同区域的误差存在很大的差异性。因此,在流域尺度进行积雪-植被-水文等过程的模拟,有必要对这些再分析资料的适用性进行评价。

针对以上背景,本研究利用新疆额尔齐斯河流域及周边区域观测场记录的气象数据,对现有再分析资料在流域的适用性进行评价。本研究的主要目标在于找出一套适合于额尔齐斯河流域的高分辨率气象驱动数据集,为下一步深入开展冰冻圈变化和水文过程模拟研究提供基础数据。

1 资料与方法

1.1 数据来源

在新疆额尔齐斯河流域及周边地区,中国气象

布局设了阿勒泰、哈巴河、吉木乃、福海、富蕴和青河6个气象观测站,观测项目包括气温、相对湿度、风速、降水量等,阿勒泰观测站观测项目还包括向下短波辐射。为了系统研究流域积雪水文过程,中国科学院西北生态环境资源研究院在河源区建立了库威和喀依尔2个积雪水文综合观测场。其中库威观测场气象观测项目包括风速、风向、气温、相对湿度、降水量、向下短波辐射、向上短波辐射、向下长波辐射、向上长波辐射。喀依尔观测场除了常规的气象要素外,还布设有风吹雪通量的观测。这8个观测站的地理位置如图1所示,本研究选取的气象观测数据如表1所示。

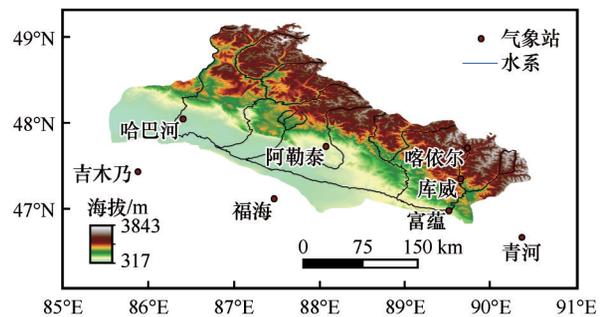


图1 研究区气象观测场地理位置

Fig. 1 Geographical location of meteorological stations in the study area

表1 本研究使用的气象观测数据信息

Table 1 Meteorological observation data used in this study

站点	观测项目	时间间隔	数据时间
阿勒泰	气温、风速、相对湿度、降水量、短波辐射	1天	2011年1月—2017年11月
哈巴河	气温、风速、相对湿度、降水量	1天	2011年1月—2017年11月
吉木乃	气温、风速、相对湿度、降水量	1天	2011年1月—2017年11月
福海	气温、风速、相对湿度、降水量	1天	2011年1月—2017年11月
富蕴	气温、风速、相对湿度、降水量	1天	2011年1月—2017年11月
青河	气温、风速、相对湿度、降水量	1天	2011年1月—2017年11月
库威	气温、风速、相对湿度、降水量、辐射四分量	30分钟	2011年8月—2014年8月
喀依尔	气温、风速、相对湿度、降水量、辐射四分量	10分钟	2017年11月—2018年4月

格点气象数据选取了 ERA-Interim 和 CMFD 再分析资料。ERA-Interim 数据从欧洲中期预报中心下载(<https://apps.ecmwf.int/>),其中气温、露点温度和风速为实时数据,辐射和降水为预报数据,获取的数据时间分辨率为6小时。ERA-Interim 数据空间分辨率共有11种可选择,本研究选取的数据分辨率为 $0.125^{\circ} \times 0.125^{\circ}$ 。CMFD 数据从国家青藏高原科学数据中心下载(<https://data.tpdc.ac.cn/>),时间

分辨率为3小时,空间分辨率为 $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$ 。

1.2 研究方法

1.2.1 湿度转换方法

用于表征空气湿度的物理量比较多,观测数据中的湿度指标是相对湿度(RH),ERA-Interim 是露点温度(t_d),CMFD 是比湿(q),本研究中将露点温度和比湿统一转换成相对湿度。露点温度和相对湿度之间的换算公式如下:

$$RH = \frac{6.112 \exp\left(\frac{17.67t_d}{t_d + 243.5}\right)}{6.112 \exp\left(\frac{17.67t}{t + 243.5}\right)} \quad (1)$$

比湿和相对湿度之间的换算公式如下^[25-26]:

$$q = \frac{0.622e}{p - 0.378e} \quad (2)$$

$$RH = \frac{e}{6.112 \exp\left(\frac{17.67t}{t + 243.5}\right)} \quad (3)$$

式中: e 是实际水汽压(hPa); t 是气温($^{\circ}\text{C}$)。

1.2.2 数据评价方法

分布式水文模型及陆面过程模型的驱动数据一般包括气温、风速、湿度、降水量、向下短波辐射、向下长波辐射,本研究主要基于观测数据评价再分析资料中的这6个要素。在评价时,首先基于观测站点的经纬度找到其在ERA-Interim和CMFD数据上所在的格点,然后提取出该格点所有的数据,即可得到该站点在ERA-Interim和CMFD数据中对应的气象要素时间序列。阿勒泰、哈巴河、吉木乃、福海、富蕴和青河气象站获取的日数据是经过中国气象局专业人员处理之后发布的,除2014年12月数据缺失外,其他时间数据不存在缺测问题。库威观测场获取的30分钟数据在研究期不存在缺测问题。喀依尔观测场风速传感器在研究期存在部分缺测,由于该观测场布设有两层风速观测且观测高度差别较小,通过分析数据发现两层风速的平均偏差小于 $0.26 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,因此当出现缺失数据时可以直接用另外一层的风速替代。如果两层均出现缺测,当缺失数据比较少(少于3个)且前后相邻的时间段内风速变化不大时,可直接使用前后相邻两个时间风速的均值来填补,当连续缺失数据多于3个时,那么缺失时间段的数据将不用于ERA-Interim和CMFD数据精度的评价。库威和喀依尔观测场日数据的获取采用了与中国气象局数据相同的处理方案。

对ERA-Interim和CMFD再分析资料的评价采用了相关系数(R)、平均偏差(BIAS)和均方根误差(RMSE)等常用统计指标。 R 的取值范围在-1和1之间,越接近1,代表再分析资料与观测数据的一致性越好。BIAS值大于0则代表再分析资料对该要素存在高估,小于0则代表低估。RMSE值越接近0,则代表再分析资料的精度越高。

2 结果分析

2.1 ERA-Interim 和 CMFD 小时尺度数据评价

本研究中库威站观测数据的时间间隔为30分

钟,喀依尔站数据的时间间隔为10分钟,ERA-Interim数据的时间间隔为6小时,CMFD数据的时间间隔为3小时。在评价ERA-Interim和CMFD小时尺度数据精度时,为了保持数据时间的一致性,我们将所有的数据间隔全部处理成了6小时。将研究期库威和喀依尔站记录的6小时气温、相对湿度、风速、降水量、向下短波辐射和向下长波辐射作为横轴,将ERA-Interim和CMFD对应格点获取的气象数据作为纵轴,绘制了散点图(图2),并计算得到了观测数据与ERA-Interim和CMFD之间的 R 、BIAS和RMSE值。从图2中可以看出,ERA-Interim和CMFD记录的小时气温、向下短波辐射和向下长波辐射与观测数据之间的 R 值均在0.85以上,且散点主要集中在 $y=x$ 线附近,说明ERA-Interim和CMFD气温、向下短波辐射和向下长波辐射与观测数据具有很好的一致性。ERA-Interim记录的相对湿度与观测数据($R=0.75$)之间的一致性优于CMFD数据。两种再分析资料记录的风速和降水量与观测数据的一致性都比较差。从BIAS值来看,ERA-Interim对气温、降水量、向下长波辐射存在低估,而对相对湿度、风速、向下短波辐射存在高估。CMFD则对气温、风速、降水量、向下短波和向下长波辐射均存在低估,对相对湿度存在高估。RMSE值则表明ERA-Interim记录的小时气温、相对湿度、降水量、向下短波辐射准确度略高于CMFD数据,而记录的风速和向下长波辐射准确度略低于CMFD数据。

2.2 ERA-Interim 和 CMFD 日数据评价

对ERA-Interim和CMFD日数据的评价除了用到库威和喀依尔站的观测数据外,还用到了6个中国气象局观测站点的日数据。国家气象站点的日平均气温、风速、相对湿度通过每天北京时间02:00、08:00、14:00和20:00记录的数据求平均得到,日降水数据则为20:00—次日20:00记录的降水量。将ERA-Interim和CMFD数据处理到与观测数据相同的时间,计算得到了对应格点处的日平均数据。将研究期所有观测站得到的日平均气象要素值作为自变量,将ERA-Interim和CMFD对应格点提取的数据作为因变量,绘制了散点图(图3)。同样也计算了观测数据与ERA-Interim和CMFD之间的 R 、BIAS和RMSE值。从整体上看,ERA-Interim和CMFD的日平均气温、向下短波辐射和向下长波辐射与观测数据的一致性明显优于风速、相对湿度和降水量,这与小时数据得到的结果具有一致性。

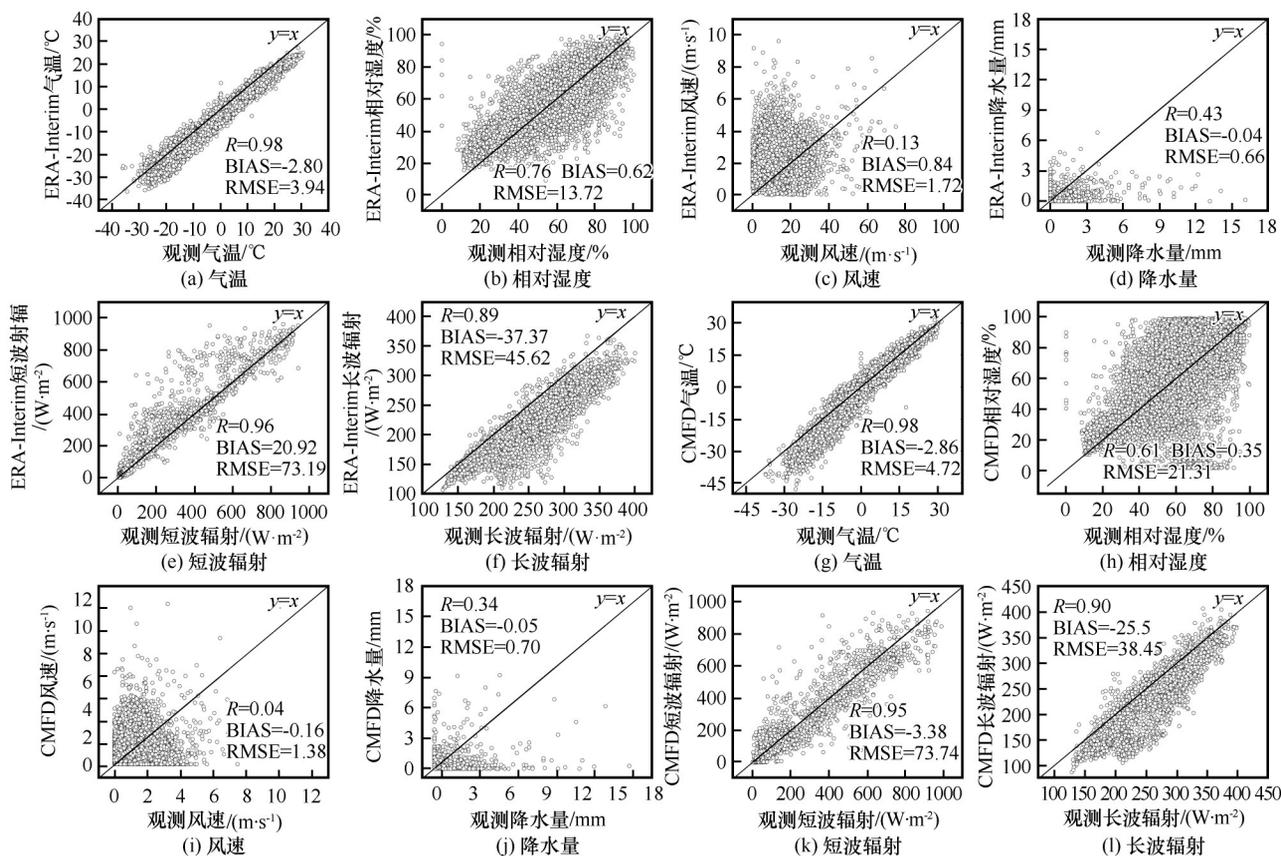


图2 研究期观测的小时气象数据与ERA-Interim和CMFD数据散点图

Fig. 2 Scatter plot based on the observed hourly meteorological data, ERA-Interim and CMFD data during the study period

然而从RMSE值来看,日尺度上CMFD记录的所有气象要素的准确度均高于ERA-Interim数据,这与小时尺度得到的结果不一致。分析原因发现,CMFD数据的制作除了融合再分析资料外,还融合了国家气象站点的观测数据^[20],这就导致了当加入6个国家气象站点的数据对CMFD和ERA-Interim进行评价时,CMFD数据的准确度要明显高于ERA-Interim数据。

2.3 ERA-Interim和CMFD气象参数空间分布对比

为了进一步分析ERA-Interim和CMFD数据在研究区的一致性,基于2011—2018年数据分别统计了两种再分析资料记录的年平均气温、相对湿度、风速、降水量、向下短波辐射、向下长波辐射,并给出了这6个气象要素在空间上的分布(图4)。从图4可以看出,基于两种数据得到年平均气温、风速、降水量、向下长波辐射在空间分布上具有很好的一致性。气温、风速和向下长波辐射在空间分布上均表现为从东北向西南递增的趋势,降水则表现为从北向南递减的趋势。两种数据记录的年平均相对

湿度空间分布整体上也具有不错的一致性,最大值都位于流域的北部,低值位于流域的东南部。但CMFD记录的相对湿度在流域的西部出现了低值中心,但是ERA-Interim数据并未出现该低值中心。两种数据记录的向下短波辐射空间分布差距较大,ERA-Interim记录的向下短波辐射在空间分布上整体表现为从西北向东南递增的趋势,而CMFD记录的向下短波辐射则表现为流域中部高,东西部低。

3 讨论

本研究评价了ERA-Interim和CMFD再分析资料在研究区的适用性。除了这两种资料外,在前期的研究中,吴雪娇等^[27]利用WRF模式制备了额尔齐斯河源区的小时气象驱动数据(WRF数据)。为了进一步评价ERA-Interim和CMFD相对于其他资料的优劣,我们对比了WRF数据与ERA-Interim和CMFD再分析资料在研究区的适用性。表2给出了WRF和观测小时气象数据获取得到的一元线性回归模型的斜率 k 和拟合优度 R^2 以及本研究给出的结果。从表中可以看出,WRF模拟得到的气温、相对

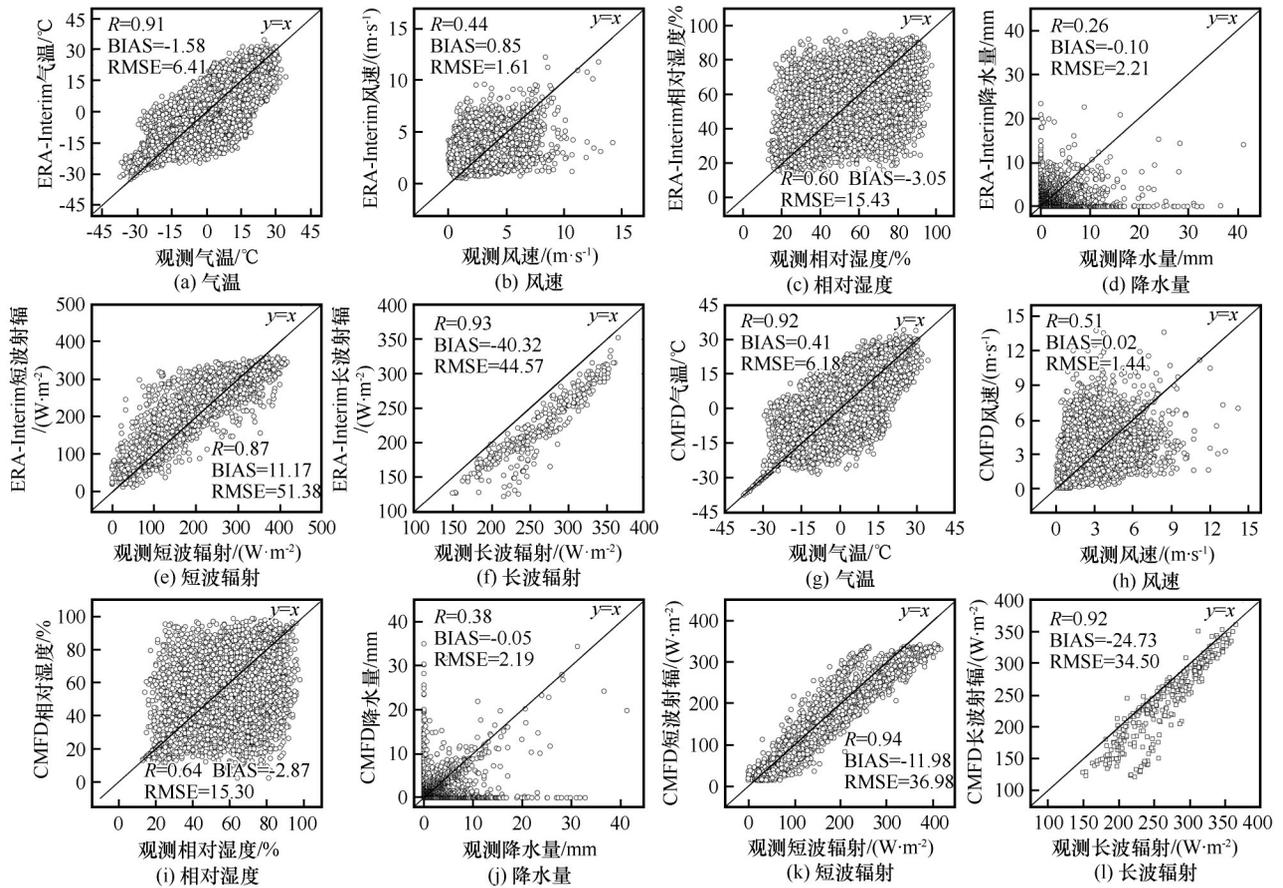


图3 气象要素日值与ERA-Interim和CMFD数据散点图

Fig. 3 Scatter plot based on the observed daily meteorological data, ERA-Interim and CMFD data during the study period

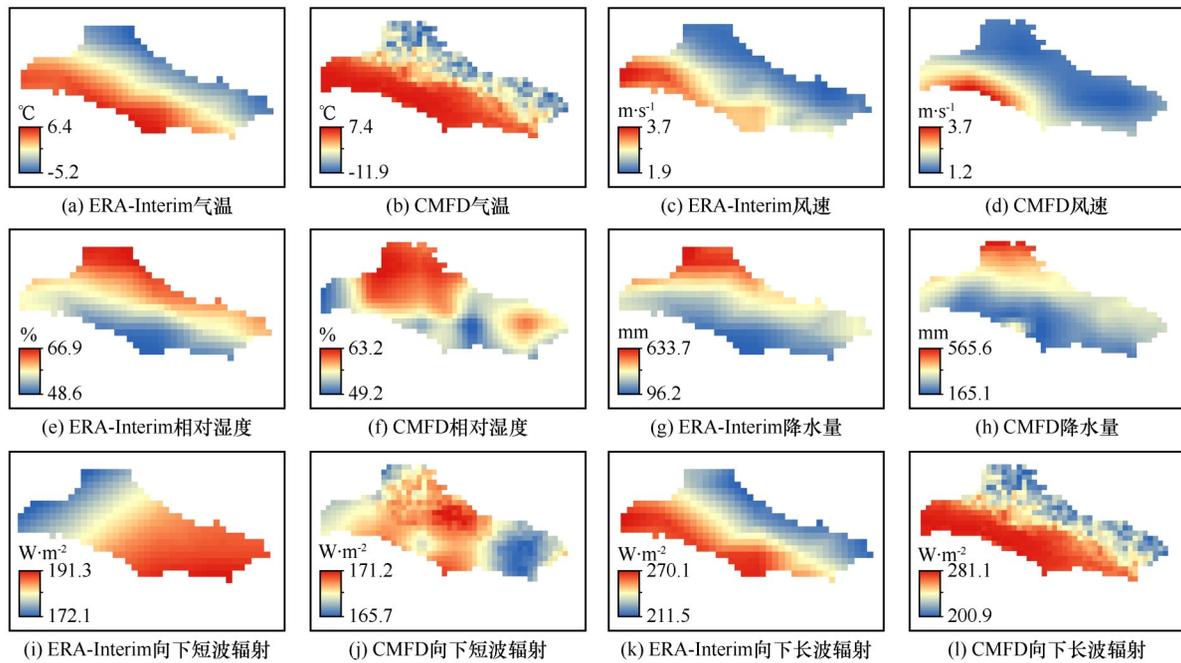


图4 ERA-Interim和CMFD气象要素年平均值空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of annual mean values of meteorological elements based on ERA-Interim and CMFD data

湿度、向下短波辐射与观测数据的一致性较高, 风速一致性比较差, 这与基于ERA-Interim和CMFD

得到的评价结果具有一致性。但从 k 和 R^2 值来看, 基于WRF模拟得到的气温、相对湿度、向下短波辐

表2 WRF、ERA-Interim 和CMFD气象数据与观测数据之间的线性斜率 k 和拟合优度 R^2 Table 2 The k and R^2 values between WRF, ERA-Interim and CMFD meteorological data and the observed data

气象参数	WRF和观测数据		ERA-Interim和观测数据		CMFD和观测数据	
	k	R^2	k	R^2	k	R^2
气温	0.91	0.84	0.96	0.96	1.13	0.96
相对湿度	0.56	0.32	0.75	0.6	0.83	0.42
风速	-0.64	0.03	0.18	0.01	-0.03	0.001
向下短波辐射	0.82	0.70	1.03	0.92	0.94	0.91
向下长波辐射	0.36	0.30	0.84	0.78	1.03	0.78

射和向下长波辐射精度明显低于ERA-Interim 和CMFD数据。

降水是一个重要的气象驱动参数,从对比的结果来看,ERA-Interim 和CMFD小时和日降水数据与观测数据的一致性较差。以往研究表明,降水格点数据在小时尺度和日尺度的一致性普遍比较差,月尺度上有不错的一致性^[28-29]。本研究也尝试计算了ERA-Interim 和CMFD与观测月降水量数据的 R 、BIAS 和RMSE值。由于喀依尔观测数据的时间序列比较短,仅选用其他7个站点的数据,计算结果如表3所示。从表3的计算结果来看,在新疆额尔齐斯河流域ERA-Interim 和CMFD与观测月降水量数据的相关系数相对于小时数据和日数据有了明显的提高,且CMFD月降水精度整体高于ERA-Interim数据。但从 R 值来看,新疆额尔齐斯河流域得到ERA-Interim 和CMFD与观测月降水量数据的 R 明显小于在疏勒河地区得到的结果^[30]。其主要原因在于额尔齐斯河流域冷季固态降水量比较大,加上该区域风速较高,导致降水观测数据本身存在很大的不确定性^[31]。

本研究评价的结果表明,小时尺度上ERA-Interim

表3 ERA-Interim 和CMFD与观测月降水量数据的 R 、BIAS和RMSE值Table 3 The R , BIAS and RMSE values of ERA-Interim and CMFD with observed monthly precipitation data

站点名称	ERA-Interim和观测数据			CMFD和观测数据		
	R	BIAS/ mm	RMSE/ mm	R	BIAS/ mm	RMSE/ mm
阿勒泰	0.36	-7.92	1.83	0.50	-0.70	1.64
哈巴河	0.35	0.50	1.77	0.46	-0.90	1.59
吉木乃	0.38	4.72	2.10	0.28	-1.81	1.98
福海	0.26	-4.24	1.16	0.43	-3.84	1.23
富蕴	0.46	-4.97	1.60	0.64	-1.57	1.38
青河	0.44	-5.72	1.96	0.50	0.82	1.96
库车	0.82	-12.2	3.23	0.75	-10.73	3.36

记录的 R 值明显高于ERA-Interim,其主要原因在于CMFD数据的制作融合了中国气象局气象站的观测数据,导致引入6个国家气象站点评价时CMFD的准确度明显优于ERA-Interim。由于研究区除中国气象局布设的站点外,其他可获取的气象观测数据比较少,仅仅依据库车和喀依尔站观测数据的评价结果缺乏说服力。为了解决该问题,我们进一步参考了基于ERA-Interim 和CMFD作为驱动数据的模型模拟结果。在前期的研究中^[32],我们分别将ERA-Interim 和CMFD作为驱动数据利用Noah-MP模型模拟了新疆额尔齐斯河流域2001—2014年平均雪深的变化,并将中国台站雪深网格化数据集作为标准对模拟结果进行了评价,得到的结果表明基于CMFD驱动模拟的雪深准确度明显优于ERA-Interim。综合本研究基于站点数据的评价结果以及以往模型模拟的验证结果,我们认为在新疆额尔齐斯河流域,CMFD气象数据的准确度优于ERA-Interim,更适合于流域积雪、水文等过程的模拟研究。

4 结论

本研究基于新疆额尔齐斯河流域8个观测站记录的气象数据对ERA-Interim 和CMFD在流域记录气温、风速、相对湿度、降水量、向下短波辐射、向下长波辐射数据准确度进行了评价,并对比了ERA-Interim 和CMFD数据这些气象要素年平均值的空间分布特征。得出的主要结论如下:

(1)ERA-Interim 和CMFD记录气温、向下短波辐射和向下长波辐射数据与观测数据具有很好的-致性,相对湿度数据也有不错的一致性,但降水和风速数据与观测数据的一致性比较差。从计算

的 BIAS 和 RMSE 值可以看出, ERA-Interim 和 CMFD 对 6 个气象要素存在不同程度的高估和低估,但整体上 CMFD 记录的日平均气温、风速、相对湿度、降水量、向下短波辐射和向下长波辐射的精度要高于 ERA-Interim 数据。

(2) 从 ERA-Interim 和 CMFD 记录气象要素年平均值在研究区的空间分布来看,两种数据记录的气温、风速、相对湿度、降水量、向下长波辐射数据在空间分布上具有一致性,但向下短波辐射在空间上的分布一致性较差。

综合以上得出的结论,结合以往研究将 ERA-Interim 和 CMFD 作为驱动在新疆额尔齐斯河流域积雪模拟得到的结果,认为 CMFD 数据在流域的适用性略优于 ERA-Interim 数据。但是需要注意的是,两种气象驱动数据获取的向下短波辐射在流域的空间分布存在较大的差异性,因此在以后的研究中有必要通过加密观测进一步理清向下短波辐射在流域的空间分布特征。此外,降水和风速作为在流域开展积雪水文过程研究的两个关键参数,ERA-Interim 和 CMFD 对降水量存在低估,记录的风速与观测数据的差距也比较大,后期研究中需要通过加密观测以及借助数据同化技术来获取更为精准的驱动数据。

参考文献(References):

- [1] Liu Qiangji, Wu Shengli. Variation characteristics of diurnal temperature and influence factors of Irtysh River in Xinjiang [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2017, 31(4): 351-356. [刘强吉, 武胜利. 新疆额尔齐斯河流域气温日较差变化特征及影响因子分析[J]. *水土保持学报*, 2017, 31(4): 351-356.]
- [2] Kang Shichang, Guo Wanqin, Zhong Xinyue, et al. Changes in the mountain cryosphere and their impacts and adaptation measures [J]. *Climate Change Research*, 2020, 16(2): 143-152. [康世昌, 郭万钦, 钟歆玥, 等. 全球山地冰冻圈变化、影响与适应[J]. *气候变化研究进展*, 2020, 16(2): 143-152.]
- [3] Gao Liming, Zhang Yaonan, Shen Yongping, et al. Analysis of water and heat transfer in snow layer during snowmelt period in Irtysh River basin based on energy balance theory [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2016, 38(2): 323-331. [高黎明, 张耀南, 沈永平, 等. 基于能量平衡对额尔齐斯河流域融雪过程的研究[J]. *冰川冻土*, 2016, 38(2): 323-331.]
- [4] Shen Yongping, Su Hongchao, Wang Guoya, et al. The responses of glaciers and snow cover to climate change in Xinjiang (I): hydrological effects [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2013, 35(3): 513-527. [沈永平, 苏宏超, 王国亚, 等. 新疆冰川、积雪对气候变化的响应(I): 水文效应[J]. *冰川冻土*, 2013, 35(3): 513-527.]
- [5] Ding Yongjian, Xiao Cunde. Challenges in the study of cryospheric changes and their impacts [J]. *Advances in Earth Science*, 2013, 28(10): 1067-1076. [丁永建, 效存德. 冰冻圈变化及其影响研究的主要科学问题概论[J]. *地球科学进展*, 2013, 28(10): 1067-1076.]
- [6] Qin Dahe, Liu Shiyin, Li Peiji. Snow cover distribution, variability, and response to climate change in Western China [J]. *Journal of Climate*, 2006, 19(9): 1820-1833.
- [7] Wu Xuejiao, Wang Ninglian, Shen Yongping, et al. In-situ observations and modeling of spring snowmelt processes in an Altay Mountains River basin [J]. *Journal of Applied Remote Sensing*, 2014, 8: 084697.
- [8] Zhang Wei, Shen Yongping, He Jianqiao, et al. Assessment of the effects of forest on snow ablation in the headwaters of the Irtysh River, Xinjiang [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2014, 36(5): 1260-1270. [张伟, 沈永平, 贺建桥, 等. 额尔齐斯河源区森林对春季融雪过程的影响评估[J]. *冰川冻土*, 2014, 36(5): 1260-1270.]
- [9] Wang Guoya, Mao Weiyi, He Bin, et al. Changes in snow covers during 1961-2011 and its effects on frozen ground in Altay region, Xinjiang [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2012, 34(6): 1293-1300. [王国亚, 毛炜峰, 贺斌, 等. 新疆阿勒泰地区积雪变化特征及其对冻土的影响[J]. *冰川冻土*, 2012, 34(6): 1293-1300.]
- [10] Zhang Wei, Shen Yongping, He Jianqiao, et al. Snow properties on different underlying surfaces during snow-melting period in the Altay Mountains: Observation and analysis [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2014, 36(3): 491-499. [张伟, 沈永平, 贺建桥, 等. 阿尔泰山融雪期不同下垫面积雪特性观测与分析研究[J]. *冰川冻土*, 2014, 36(3): 491-499.]
- [11] Zhang Yongfei. Multivariate land snow data assimilation in the Northern Hemisphere: Development, evaluation and uncertainty quantification of the extensible data assimilation system [D]. Austin, USA: The University of Texas at Austin, 2015.
- [12] Gao Lu, Hao Lu. Verification of ERA-Interim reanalysis data over China [J]. *Journal of Subtropical Resources and Environment*, 2014, 9(2): 75-81. [高路, 郝璐. ERA-Interim 气温数据在中国区域的适用性评估[J]. *亚热带资源与环境学报*, 2014, 9(2): 75-81.]
- [13] Balsamo G, Albergel C, Beljaars A, et al. ERA-Interim/Land: a global land surface reanalysis data set [J]. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2015, 19(1): 389-407.
- [14] Luo Lifeng, Tang Wei, Lin Zhaohui, et al. Evaluation of summer temperature and precipitation predictions from NCEP CFSv2 retrospective forecast over China [J]. *Climate Dynamics*, 2013, 41(7/8): 2213-2230.
- [15] Gelaro R, McCarty W, Suárez M J, et al. The modern-era retrospective analysis for research and applications, version 2 (MERRA-2) [J]. *Journal of Climate*, 2017, Volume 30 (Iss 13): 5419-5454.
- [16] Kobayashi S, Ota Y, Harada Y, et al. The JRA-55 reanalysis: General specifications and basic characteristics [J]. *Journal of the Meteorological Society of Japan Ser II*, 2015, 93(1): 5-48.
- [17] Shi Chunxiang, Zhang Shuai, Sun Shuai, et al. Effect of improved precipitation CLDAS on snow simulation in China [J]. *Meteorological Monthly*, 2018, 44(8): 985-997. [师春香, 张帅, 孙帅, 等. 改进的 CLDAS 降水驱动对中国区域积雪模拟的影响评估[J]. *气象*, 2018, 44(8): 985-997.]
- [18] He Jie, Yang Kun. China meteorological forcing dataset (1979—2018) [DS]. National Tibetan Plateau Data Center, 2019.

- DOI: 10.11888/AtmosphericPhysics.tpe.249369.file. [何杰, 阳坤. 中国区域高时空分辨率地面气象要素驱动数据集(1979—2019)[DS]. 国家青藏高原科学数据中心, 2019. DOI: 10.11888/AtmosphericPhysics.tpe.249369.file.]
- [19] Chen Yingying, Yang Kun, He Jie, et al. Improving land surface temperature modeling for dry land of China[J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2011, 116 (D20) : D20104.
- [20] He Jie, Yang Kun, Tang Wenjun, et al. The first high-resolution meteorological forcing dataset for land process studies over China[J]. *Scientific Data*, 2020, 7: 25.
- [21] Chen Guixing, Iwasaki T, Qin Huiling, et al. Evaluation of the warm-season diurnal variability over east Asia in recent reanalyses JRA-55, ERA-interim, NCEP CFSR, and NASA MERRA[J]. *Journal of Climate*, 2014, 27(14): 5517-5537.
- [22] Bao Xinghua, Zhang Fuqing. Evaluation of NCEP - CFSR, NCEP - NCAR, ERA-interim, and ERA-40 reanalysis datasets against independent sounding observations over the Tibetan Plateau[J]. *Journal of Climate*, 2013, 26(1): 206-214.
- [23] Liu Zhengjia, Liu Yansui, Wang Sisi, et al. Evaluation of spatial and temporal performances of ERA-Interim precipitation and temperature in Mainland of China[J]. *Journal of Climate*, 2018, 31(11): 4347-4365.
- [24] Naud C M, Booth J F, del Genio A D. Evaluation of ERA-interim and MERRA cloudiness in the southern ocean[J]. *Journal of Climate*, 2014, 27(5): 2109-2124.
- [25] Gao Liming, Zhang Lele, Chen Kelong. Microclimate in an alpine wetland in the Qinghai Lake basin [J]. *Arid Zone Research*, 2019, 36(1): 186-192. [高黎明, 张乐乐, 陈克龙. 青海湖流域湿地小气候特征[J]. *干旱区研究*, 2019, 36(1): 186-192.]
- [26] Gu Lianglei, Yao Jimin, Hu Zeyong, et al. A comparison study of the microclimate characteristics between the typical seasonally frozen ground regions and permafrost regions in the northern Tibet Plateau[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2016, 38(6): 1482-1490. [谷良雷, 姚济敏, 胡泽勇, 等. 藏北高原典型季节冻土区和多年冻土区小气候特征对比研究[J]. *冰川冻土*, 2016, 38(6): 1482-1490.]
- [27] Wu Xuejiao, Pan Xiaoduo, Shen Yongping, et al. Validation of WRF model on simulating forcing data for Kayiertes River basin, Xinjiang [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2016, 38(2): 332-340. [吴雪娇, 潘小多, 沈永平, 等. WRF模式制备的气象驱动数据在新疆喀依尔特斯河流域的验证[J]. *冰川冻土*, 2016, 38(2): 332-340.]
- [28] Zhang Lele, Gao Liming, Chen Kelong. Evaluation of high-resolution remote sensing precipitation data in and near Qinghai Lake basin[J]. *Journal of China Hydrology*, 2020, 40(5): 15-21. [张乐乐, 高黎明, 陈克龙. 高分辨率遥感降水资料在青海湖流域及周边区域的适用性评价[J]. *水文*, 2020, 40(5): 15-21.]
- [29] Ma Lu, Zhao Lin, Tian Liming, et al. Evaluation of the integrated multi-satellite retrievals for global precipitation measurement over the Tibetan Plateau [J]. *Journal of Mountain Science*, 2019, 16(7): 1500-1514.
- [30] Wu Qianxin. Evaluation on the performance of various precipitation datasets of precipitation in the upper reach and mid reach-down reach of Shule River basin[D]. Xi'an: Northwest University, 2019. [吴倩鑫. 多种降水产品在疏勒河上游和中下游的适用性对比研究[D]. 西安: 西北大学, 2019.]
- [31] Zhang Lele, Gao Liming, Zhao Lin, et al. Review on correction of errors in precipitation measurement [J]. *Advances in Earth Science*, 2017, 32(7): 723-730. [张乐乐, 高黎明, 赵林, 等. 降水观测误差修正研究进展[J]. *地球科学进展*, 2017, 32(7): 723-730.]
- [32] Gao L M, Zhang L L, Shen Y P, et al. Modeling snow depth and snow water equivalent distribution and variation characteristics in the Irtysh River basin, China [J]. *Applied Sciences*, 2021, 11(18): 8365.

Evaluation of applicability of ERA-Interim and CMFD meteorological forcing data in the Irtysh River basin, Xinjiang

GAO Liming^{1,2}, ZHANG Lele^{1,2}, SHEN Yongping³, ZHANG Yaonan³, ZHANG Wei³

(1. College of Geography Science, Qinghai Normal University, Xining 810008, China; 2. Qinghai Province Key Laboratory of Physical Geography and Environmental Process, Xining 810008, China; 3. Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The quality of meteorological forcing data is an important factor affecting the accuracy of hydrological process simulation. Based on the data recorded by eight meteorological stations in the Irtysh River basin of Xinjiang and surrounding areas, this study evaluated the applicability of the ERA-Interim reanalysis data and the China meteorological forcing dataset (CMFD), and compared the spatial distribution of ERA-Interim and CMFD annual mean meteorological elements in the basin. The results show that: (1) the air temperature, relative humidity, downward short-wave radiation and downward long-wave radiation recorded by ERA-Interim and CMFD have high consistency with the observed data, but the consistency of precipitation and wind speed data with the observed data is poor. (2) The accuracy of temperature, relative humidity, precipitation, and downward shortwave radiation recorded by ERA-Interim on the hourly scale is slightly higher than that of CMFD data, while the accuracy of all meteorological elements recorded by CMFD on the daily scale is higher than that of ERA-Interim. Combined with the simulation results of the Noah-MP model, it is believed that the applicability of the CMFD data in the Irtysh River basin is better than the ERA-Interim data. (3) From the spatial distribution of meteorological elements in the basin obtained by the two forcing data, the annual average temperature, wind speed, relative humidity, precipitation, and downward longwave radiation obtained by ERA-Interim and CMFD are highly consistent in the basin space, but the spatial distribution of downward short-wave radiation is quite different.

Key words: meteorological forcing data; ERA-Interim; CMFD; Irtysh River basin; applicability evaluation

(责任编辑: 游庆龙)