

文章编号: 1008-2786-(2019)4-613-09

DOI:10.16089/j.cnki.1008-2786.000452

ERA-Interim 和 GHCN-CAM 再分析气温数据 在天山山区的适应性分析

海日古丽·纳麦提^{1,2}, 玉素甫江·如素力^{1*}, 玛地尼亚提·地里夏提¹, 肉克亚木·艾克木¹

(1. 新疆师范大学 地理科学与旅游学院/流域信息集成与生态安全实验室, 乌鲁木齐 830054;

2. 新疆干旱区湖泊环境与资源重点实验室, 乌鲁木齐 830054)

摘 要: 天山山区是新疆主要河流的发源地, 对该区域再分析气温数据进行适应性分析具有重要的研究意义, 气温观测数据由于受到太阳辐射、海拔、大气环流和传感器角度等因素的影响, 导致诸多误差; 在其应用之前需要验证, 尤其在海拔差异较大的天山山区。为验证 ERA-Interim 和 GHCN-CAM 两种再分析气温数据在天山山区的适应性, 本文在数据预处理的基础上, 利用 45 个气象站点日平均气温数据分别计算偏差(BIAS)、相关系数(R)、均方根误差(RMSE)等统计指标, 并从不同海拔、偏差的空间分布上对天山山区 1984—2016 年 ERA-Interim 和 GHCN-CAM 逐月平均气温数据进行了适应性分析。结果表明: (1) GHCN-CAM ($R = 0.94$; $BIAS = 0.55$ °C; $RMSE = 4.08$ °C) 气温值在天山山区的适应性强于 ERA ($R = 0.95$; $BIAS = 2.35$ °C; $RMSE = 4.21$ °C)。(2) 在气温的年内变化上, 两种再分析数据值均低于观测值, 表现为低估。(3) 在季节尺度上, 冬季(12 月、1 月和 2 月)表现为冷偏差, 其他季节暖偏差。春秋两季模拟精度比夏冬两季高。(4) 在 1500 ~ 2000 m 地区气温的模拟最好。从偏差的空间分布来看, 天山中部、东部的再分析数据比天山南、北部能更好的反映气温的空间分布特征。山区地形复杂度和气象站点的均匀性是影响再分析数据精度的主要因素。

关键词: 天山山区; 再分析数据; ERA-Interim; CHCN-CAM; 气温

中图分类号: P468

文献标志码: A

IPCC 第五次评估报告指出, 全球在过去 50 年经历了变暖的过程, 20 世纪平均气温升高 (0.6 ± 0.2) °C^[1]。全球变暖引发了一系列问题, 如干旱和洪涝等自然灾害, 从而影响生态、环境, 甚至威胁到人类生存发展^[2]。我国气候变化与全球气候变化趋势总体上基本一致, 但由于区域所在的地理位置、大气环流系统的不同以及地形差异等因素的影响, 区域对全球变化的响应有所不同^[3-4]。天山是亚洲中部最大的山系, 中国境内长度为 1700 km, 占地面积 57 万多平方公里, 占新疆全区面

积的 1/3。天山山区受西风气流控制, 山体平均海拔 4000 m, 由于其特殊的地理位置和地形特征, 形成了大陆性冰川和季节性积雪, 最终成为新疆主要河流的发源地^[5]。山区对气候变化较为敏感, 特别是高海拔地区^[6]。近几十年以来天山山区生态环境发生了显著的变化, 主要表现为湖泊水位下降、源头水量逐年减少、草场退化及水土流失日趋严重等^[7-9], 其中气候变化是不可忽略的重要原因, 气温作为最基本的气候要素, 对生态环境的变迁起着决定性作用^[10]。为解决高山区“没有气象观测站点”

收稿日期(Received date): 2018-7-21; 改回日期(Accepted date): 2019-05-21

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金项目(41764003, U1703341)。[National Nature Science Foundation of China(41764003, U1703341)]

作者简介(Biography): 海日古丽·纳麦提(1995-), 女, 新疆喀什人, 硕士研究生, 主要研究方向: 资源环境遥感。[HAIRIGULI Namaiti(1995-), female, born in Kashi, Xinjiang, M. Sc. candidate, research on resource environment remote sensing] E-mail: 1219930539@qq.com

* 通讯作者(Corresponding author): 玉素甫江·如素力(1975-), 男, 博士, 教授, 主要从事流域水文与生态系统研究。[YUSUFUJIANG Rusuli(1975-), male, Ph. D., professor, research on watershed hydrology and ecological environment] E-mail: Yusupjan@xjnu.edu.cn

的问题,研究人员尝试在高山区架设自动气象站获取气温数据。自动气象站在高山区受到复杂气象条件的影响,所得气温数据在质量上存在差异,且时间序列较短,故这些气象数据很难准确地反映年际尺度的气候变化。高山区气象站点分布不均匀、数量稀少已成为限制相关领域研究的瓶颈。

目前长时间再分析数据有两类:美国国家环境预报中心(National Center for Environmental Prediction, NCEP)系列和欧洲中期天气预报中心(European Medium Term Weather Center, ECMWF)系列,其中 NCEP2 的精度较高^[11-12]。再分析数据必然包含数值模式、同化方案和观测系统变更等所引入的误差,尤其是观测系统的不断变更会引入虚假气候的变化信号^[13]。随着再分析数据应用范围的不断扩大,国内学者对其适应性的分析已开展了一系列的研究^[14-16]。再分析资料的不同要素在不同时间、不同区域的适应性差异显著,已有研究对 4 种再分析数据在中国区域的适应性进行分析得出,它们可信度在东部地区好于西部地区,低纬地区好于高纬地区,这可能与中国气象站东密西疏有关^[17]。在再分析数据精度研究方面,已有研究利用美国环境预报中心 NCEP 系列产品 NCEPI 和 NCEPII 对珠穆朗玛峰再分析数据适应性进行分析,结果表明 NCEPI 估算值比观测值低,而 NCEPII 估算值高于观测值^[18]。关于再分析气温资料在同一研究区的适应性分析具有不同的结论,有关研究对青藏高原东部和中部海拔高于 2000 m 的站点进行分析,研究表明 ERA-40 估算精度优于 NCEP^[19],部分学者利用观测站点数据对青藏高原再分析数据进行评估,结果显示 ERA-Interim 的精度优于 ERA-40^[20-21]。在再分析数据误差来源研究方面,相关

研究利用青藏高原地面观测站对该研究区再分析气温数据的误差来源进行研究,发现地形高度、地面观测站面积和坡度的差异是青藏高原再分析资料误差的主要来源^[22-23]。综上所述,目前国内对再分析数据的精度、误差来源以及适应性分析研究仍需进一步深入,尤其是对地形复杂、实测数据较难获取的高海拔区域,其研究更具紧迫性和必要性。对天山山区而言,目前相关研究甚少。基于此,本文在数据预处理的基础上,利用 45 个气象站点实测数据,计算偏差(BIAS)、相关系数(R)、均方根误差(RMSE)等统计指标从不同海拔、偏差的空间分布上对天山山区 1984—2016 年 ERA-Interim 和 GHCN-CAM 逐月平均气温数据进行了适应性分析,并探讨偏差来源,从而为该区域气候变化研究提供重要的科学资料。

1 数据来源与方法

1.1 数据来源

本文选取中国境内的天山山区(39°28′~44°38′N、76°33′~91°41′E)作为研究区域,由于天山山区各气象站观测资料时间段不一致,存在数据缺失的情况。为减少资料质量不佳对结果的不良影响,本研究综合考虑实测资料连续性、站点空间分布和资料完整性等因素,在天山山区搜集 45 个气象站点 1984 年 1 月~2016 年 6 月的逐日平均气温数据。其中,选用站点最低海拔为 -48.7 m,最高海拔为 3539 m(图 1)。

再分析数据包括欧洲中期数值预报中心(European Medium Term Weather Center, ECMF)的 ERA-Interim 数据(下文简称为 ERA)和 GHCN-CAM 两种再分析月平均气温数据,二者均通过直接下载

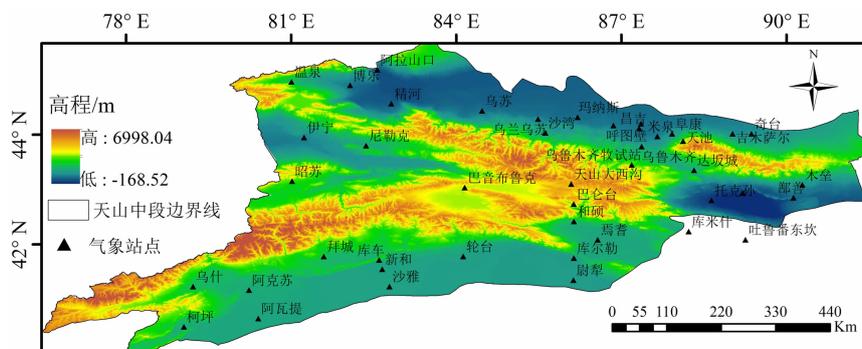


图 1 天山山区 45 个气象站点位置

Fig. 1 Location of 45 meteorological stations in Tianshan Mountains, China

月资料获得, 网格水平空间分辨率分别为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 和 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 。与第2次产品 ERA-40 相比, ERA-Interim 采用了四维变分分析 (4D-Var) 同化模型, 并结合改进的湿度分析和卫星数据误差校正等技术, 实现了再分析资料质量的提升^[15]。GHCN-CAM 是全球历史气候学网络第2版和气候异常监测系统 (GHCN + CAMS) 收集的两个大型观测站数据集的组合, 它可以通过大量站点数据在短时间内获取高精度的气温数据, 并用异常插值法和气温直减率等方法获得气温时空分布数据, 与现有的陆面气温数据集相比具有更好的应用价值^[24]。ERA-Interim 和 GHCN-CAM 数据分别由 <http://apps.ecmwf.int/datasets/> 与 <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ghcncams.html> 网址下载获得。

1.2 研究方法

为了准确地比较两种再分析数据在天山山区的精度及适应性, 根据45个气象站点经纬度信息分别提取气象观测站对应的 ERA-Interim 和 GHCN-CAM 像元值, 利用相关性分析法对1984年1月到2016年6月时间尺度上的再分析月平均气温数据与观测站数据进行对比, 并采用平均偏差 (BIAS)、相关系数 (R) 和均方根误差 (RMSE) 等统计指标评估其精度。为了减小海拔对估算精度的影响, 进一步分析了两种再分析数据在不同月份和不同海拔的精度。计算公式如下:

$$RMSE = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (T_0 - T_{re})^2} \quad (1)$$

$$BIAS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (T_0 - T_{re}) \quad (2)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (T_{re} - \overline{T_{re}})(T_0 - \overline{T_0})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (T_{re} - \overline{T_{re}})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (T_0 - \overline{T_0})^2}} \quad (3)$$

式中, n 为样本数 (1984—2016年), T_0 、 T_{re} 分别为实测观测值和两种再分析数据值。BIAS 为偏差, 最佳值为0, 若 BIAS 为正, 表明模拟结果偏低; BIAS 为负, 表明模拟结果偏高。R 为相关系数, R 越大表明再分析值与观测值之间的相关程度越大, 再分析资料的适应性越强。均方根误差 (RMSE) 用以衡量观测站平均气温值与两套再分析数据中提取气温值之间的偏差。RMSE 越小, 说明再分析资料的数据与观测站实测数据相差越小, 再分析资料的精度越高, 适应性越好。RMSE 越大, 则反之。

2 结果与分析

2.1 两种再分析气温数据精度比较

GHCN-CAM 和 ERA 两种再分析数据与45个气象站点的累计气温数据的相关性均为0.90左右, 总体上它们对天山山区气温均有低估。相对而言, GHCN-CAM ($R = 0.94$; $BIAS = 0.55^{\circ}C$; $RMSE = 4.08^{\circ}C$) 气温值在天山山区的适应性强于 ERA ($R = 0.95$; $BIAS = 2.35^{\circ}C$; $RMSE = 4.21^{\circ}C$) (图2, 其他指标见表1)。GHCN-CAM 和 ERA 两种再分析数据均在500~1000 m 地区表现出最好的精度 (R 分别为0.95和0.96; 偏差分别为 $-0.29^{\circ}C$ 和 $2.39^{\circ}C$), 而2000~2500 m 之间两种数据精度比其他海拔区间低 (R 分别为0.97和0.96; 偏差分别为 $2.15^{\circ}C$ 和 $-2.15^{\circ}C$)。海拔1000 m 以上的地区, 随着海拔的升高表现出气温精度逐渐下降的趋势。

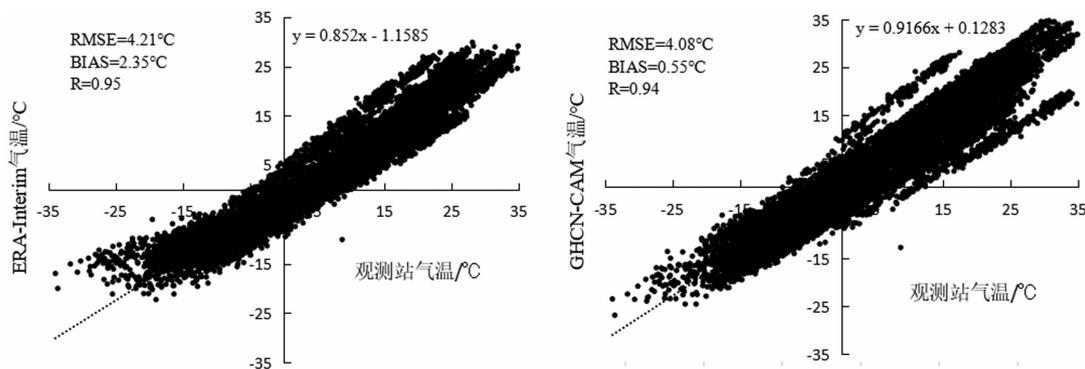


图2 ERA-Interim、GHCN-CAM 和观测站月平均气温散点图

Fig.2 ERA-Interim、GHCN-CAM and observed monthly mean temperature scatter plot

在海拔较高的地区, ERA 表现出高估, 而 GHCN-CAM 表现出低估, 这说明两种再分析数据精度在空间上存在差异。

表 1 ERA-Interim 和 GHCN-CAM 与观测气温在不同海拔的评估结果

Tab.1 Evaluation results of ERA-Interim, GHCN-CAM and observed air temperature with different altitudes

| 再分析数据 | 海拔/m | 站点数/个 | R | BIAS/℃ | RMSE/℃ |
|-------------|--------------|-------|------|--------|--------|
| ERA-Interim | -48.7 ~ 3539 | 45 | 0.95 | 2.35 | 4.21 |
| | < 500 | 10 | 0.96 | 3.16 | 4.83 |
| | 500 ~ 1000 | 15 | 0.96 | 2.39 | 3.85 |
| | 1000 ~ 1500 | 14 | 0.94 | 2.63 | 3.96 |
| | 1500 ~ 2000 | 4 | 0.93 | 1.51 | 4.43 |
| | 2000 ~ 2500 | 1 | 0.96 | -2.15 | 5.82 |
| GHCN-CAM | > 2500 | 1 | 0.98 | -2.29 | 2.78 |
| | -48.7 ~ 3539 | 45 | 0.94 | 0.55 | 4.08 |
| | < 500 | 10 | 0.92 | 0.75 | 4.3 |
| | 500 ~ 1000 | 15 | 0.96 | -0.29 | 3.47 |
| | 1000 ~ 1500 | 14 | 0.93 | 1.12 | 3.9 |
| | 1500 ~ 2000 | 4 | 0.95 | 0.32 | 5.21 |
| | 2000 ~ 2500 | 1 | 0.97 | 2.15 | 5.59 |
| | > 2500 | 1 | 0.96 | 2.22 | 2.81 |

均方根误差能够反映观测值和再分析资料的极端误差。总体上, ERA-Interim 的均方根误差 (4.21 ℃) 高于 GHCN-CAM (4.08 ℃)。GHCN-CAM 的均方根误差范围在 2.81 ℃ ~ 5.59 ℃ 之间, 其中 0 ~ 500 m、500 ~ 1000 m、1000 ~ 1500 m 和大于 2500 m 的均方根误差分别为 4.3 ℃、3.47 ℃、3.90 ℃ 和 2.81 ℃, 均小于 5 ℃; 1500 ~ 2000 m 和 2000 ~ 2500 m 的均方根误差大于 5 ℃, 500 ~ 1500 m 之间 29 个站点均方根误差小于 4 ℃, 说明在 500 ~ 1500 m 海拔的精度更高; ERA-Interim 的均方根误差范围在 2.78 ℃ ~ 5.82 ℃ 之间, 其中 0 ~ 500 m、500 ~ 1000 m、1000 ~ 1500 m 和大于 2500 m 的均方根误差分别为 4.83 ℃、3.85 ℃、3.96 ℃ 和 2.78 ℃, 均小于 5 ℃, 500 ~ 1500 m 的均方根误差小于 3 ℃。总体上, 两种再分析数据表现出地形较复杂的区域精度较低, 而中海拔区域精度较高的精度一致性。

两种再分析数据在天山山区各个站点存在偏差 (表 2), 其中 GHCN-CAM 与观测值的 BIAS (偏差)

范围为 -7.40 ℃ ~ 9.97 ℃, 平均偏差为 0.55 ℃。在 45 个站点中 40% 的站点出现高估, 60% 的站点低估。偏差为 0 ℃ ~ 3 ℃ 的站点达 73%, 3 ℃ ~ 6 ℃ 的站点达到 20%, 大于 6 ℃ 的站点为 7%; 对 ERA 而言, 它与观测值的偏差范围为 -2.83 ℃ ~ 7.60 ℃, 平均偏差为 2.35 ℃。出现高估的站点只有 15.5%, 0 ℃ ~ 3 ℃ 的站点大于 GHCN-CAM 占总数的 68.88%, 3 ℃ ~ 6 ℃ 的站点达到 17.78%, 大于 6 ℃ 的站点数量占站点总数的 13.33%。GHCN-CAM 和 ERA 在天山大西沟、巴音布鲁克的偏差差别不大, 分别为 -2.29 ℃、2.22 ℃ 和 -2.15 ℃、2.15 ℃, 其中 GHCN-CAM 表现为暖偏差, 而 ERA 为冷偏差; GHCN-CAM 在吐鲁番东坎的偏差为 0.93 ℃, ERA 的偏差为 5.20 ℃, 说明两套再分析数据对不同的地形地貌和下垫面表现出不同的反应。

表 2 ERA 和 GHCN-CAM 再分析数据平均偏差统计

Tab.2 ERA and GHCN reanalysis data deviation statistics

| 站点名 | ERA-Interim | | GHCN-CAM | | |
|--------|-------------|-------|----------|-------|-------|
| | /℃ | /℃ | /℃ | /℃ | |
| 阿拉山口 | 3.48 | 1.03 | 阿克苏 | 4.44 | 0.53 |
| 博乐 | 2.23 | -0.43 | 新和 | 1.63 | 0.62 |
| 托里 | 2.07 | -3.41 | 沙雅 | 0.70 | -2.40 |
| 精河 | 1.34 | -1.68 | 库尔勒 | 2.90 | 0.67 |
| 沙湾 | 6.38 | 3.83 | 柯坪 | 2.97 | 5.76 |
| 玛纳斯 | 1.68 | 1.60 | 阿瓦提 | -0.25 | -3.00 |
| 呼图壁 | 1.01 | -0.28 | 温泉 | 2.10 | 2.81 |
| 昌吉 | 2.44 | -1.68 | 乌苏 | 1.59 | 1.28 |
| 米泉 | 3.20 | -2.10 | 乌兰乌苏 | 2.51 | 3.00 |
| 阜康 | 2.31 | -2.25 | 蔡家湖 | -0.59 | -2.97 |
| 吉木萨尔 | 2.90 | -1.54 | 奇台 | 0.71 | -3.72 |
| 天山大西沟 | -2.29 | 2.22 | 伊宁 | 3.34 | 5.88 |
| 乌鲁木齐牧试 | 0.08 | 0.05 | 尼勒克 | 2.29 | 1.01 |
| 天池 | -2.83 | -7.40 | 昭苏 | 1.39 | 1.94 |
| 达坂城 | 1.69 | 0.27 | 乌鲁木齐 | 3.78 | 5.45 |
| 木垒 | -2.79 | -0.84 | 巴仑台 | 7.39 | 6.70 |
| 库米什 | 2.04 | -1.47 | 鄯善 | 2.88 | -3.34 |
| 巴音布鲁克 | -2.15 | 2.15 | 拜城 | 3.13 | -1.83 |
| 焉耆 | 2.37 | 0.60 | 轮台 | 2.11 | 0.11 |
| 托克逊 | 6.39 | -2.27 | 库车 | 3.37 | 0.50 |
| 吐鲁番东坎 | 5.20 | 0.93 | 尉犁 | -0.19 | -4.39 |
| 吐鲁番 | 7.12 | 9.97 | 和硕 | 7.60 | 8.47 |
| 乌什 | 6.26 | 4.23 | | | |

2.2 气温数据随时间和海拔的变化趋势

为了更好地研究 ERA 和 GHCN-CAM 再分析气温数据时空分布的差异性,分别对这两种再分析数据在不同月份和不同海拔的气温精度进行分析。两种再分析数据在不同月份表现出比较一致的变化趋势,呈余弦曲线(图 3);ERA 只在 1 月份的气温值高于观测值,高估月份的平均 BIAS 为 $-0.45\text{ }^{\circ}\text{C}$,其他月份出现低估(平均 BIAS 为 $2.61\text{ }^{\circ}\text{C}$)。GHCN-CAM 分别在 1 月、2 月、11 月和 12 月出现高估(平均 BIAS 为 $-0.62\text{ }^{\circ}\text{C}$),平均偏差比 ERA 高 $0.17\text{ }^{\circ}\text{C}$,其他月份均为低估(平均 BIAS 为 $1.13\text{ }^{\circ}\text{C}$)。通过与观测数据对比得出,两种再分析数据能够描述气温的年内变化趋势,其中在冬季出现高估,春季、夏

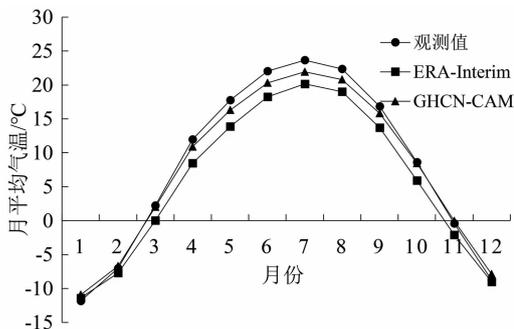


图 3 两种再分析数据以及观测站年内气温变化趋势

Fig. 3 Variation trend of temperature during the year for two reanalysis data

季和秋季均为低估。虽然 ERA 高估值极小,但 GHCN-CAM 能够更准确地反映气温年内变化趋势。

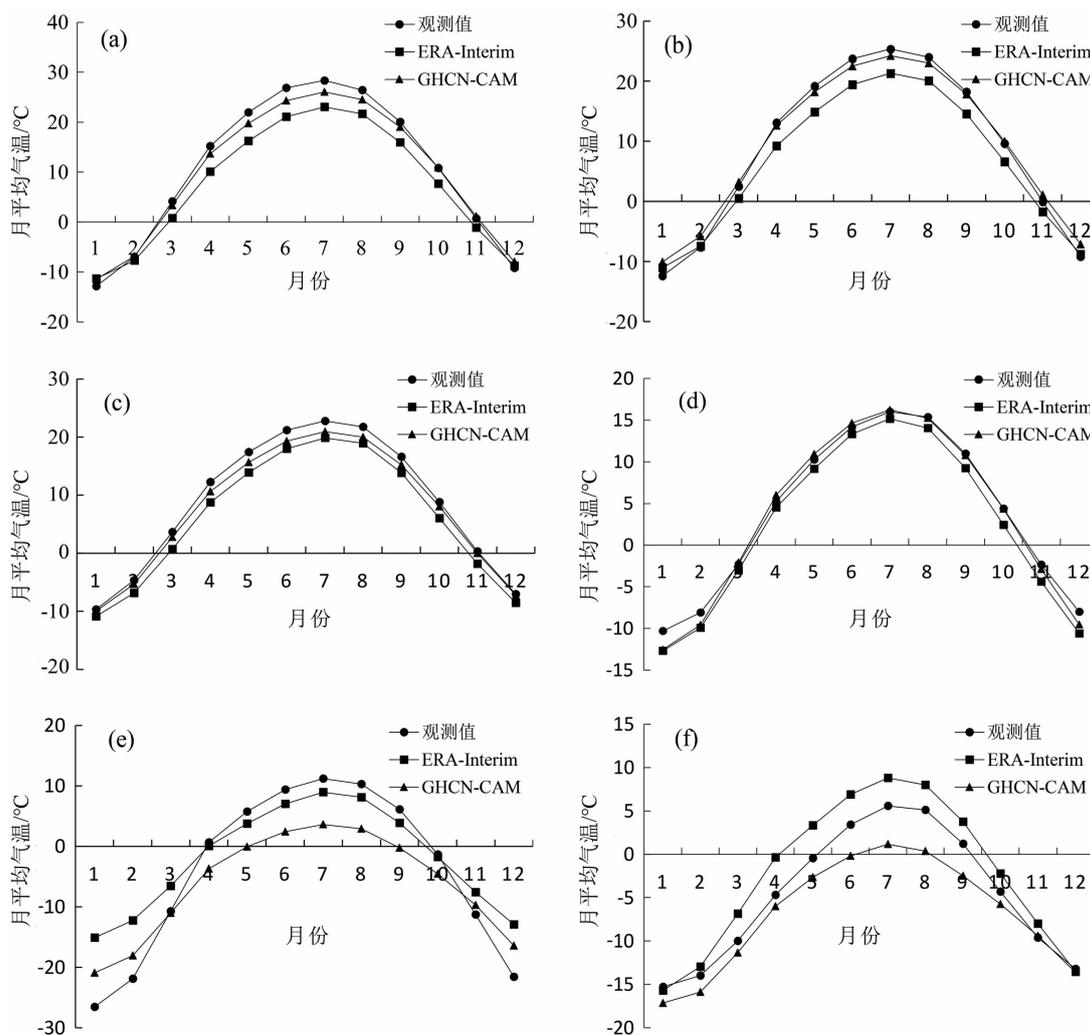


图 4 再分析数据与观测站不同海拔(a、b、c、d、e、f 分别为 0~500 m、500~1000 m、1000~1500 m、1500~2000 m、2000~2500 m 和大于 2500 m 海拔)及不同月份的气温比较

Fig. 4 Reanalysis of data and observation stations at different altitudes, months to temperature comparisons(a, b, c, d, e, and f represent 0~500 m, 500~1000 m, 1000~1500 m, 1500~2000 m, 2000~2500 m and more than 2500 m, respectively)

将两种再分析数据与观测气温值对比发现,它们在不同海拔地区的时间分布存在差异(图4)。其中,500~2000 m地区(4(b),4(c),4(d))两种再分析数据对气温反演的精度最高,适应性最强。0~500 m、500~1000 m、2000~2500 m地区GHCN-CAM估算精度基本一致,在1月、2月、10月、11月和12月份表现高估,其他月份均为低估(4(a),4(b),4(e))。对1000~1500 m地区表现低估,平均偏差为 $1.12\text{ }^{\circ}\text{C}$ (4(c))。1500~2000 m区域3~7月份高估,其他月份均为低估(4(d))。高于2500 m区域仅10月为高估,其他月份低估(4(f));ERA在0~500 m、500~1000 m和2000~2500 m区域1月、2月和12月表现高估,其他月份均为低估(4(a),4(b),4(e))。1500~2000 m年内偏差均为低估(4(d))。大于2500 m地区1月、11月和12月表现低估,其他月份为高估(4(f))。上述分析表明随着海拔的升高,气温模拟精度的变化是非单调的,海拔大于2500 m(天山大西沟3539 m)站点的模拟精度比海拔2000~2500 m站点的精度高,可能是海拔大于2500 m(天山大西沟3539 m)站点地势比较平坦,下垫面类型与海拔2000~2500 m的站点相比较为简单所引起的。在不同的海拔地区,由于各个

站点数量、分布特点、下垫面类型和地形的复杂程度以及每一个再分析数据的数据源用到的同化技术存在一定的差异,导致两种再分析数据气温精度时空格局既存在一致性,又存在差异性。

2.3 偏差空间分布

两种再分析数据与观测站气温的偏差具有一定的差异性。GHCN-CAM的模拟效果(图5(a))明显优于ERA-Interim(图5(b))。其中,出现高估的站点分布在天山北部、南部以及东部等海拔较低的区域,占站点总数的42.22%,平均海拔为776.78 m。偏差 $0\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的站点在天山东、北、西和南部均有分布,平均海拔956.38 m,占总数的31.11%。偏差 $2\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的站点分布在天山北部和中部等地形较复杂的区域。GHCN-CAM偏差范围主要为 $-2\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 2\text{ }^{\circ}\text{C}$;ERA-Interim气温高估的区域主要分布在天山东北部,占总数的15.56%。偏差 $0\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的站点主要分布在天山东北部和南部,占站点总数的22.22%,平均海拔为945.60 m,而偏差 $2\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的站点在天山东、北、西和南部都有分布,占站点总数的44.44%,平均海拔为831.57 m。偏差大于 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的区域主要分布在高海拔区域和低海拔区域;ERA-Interim主要偏差范围在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

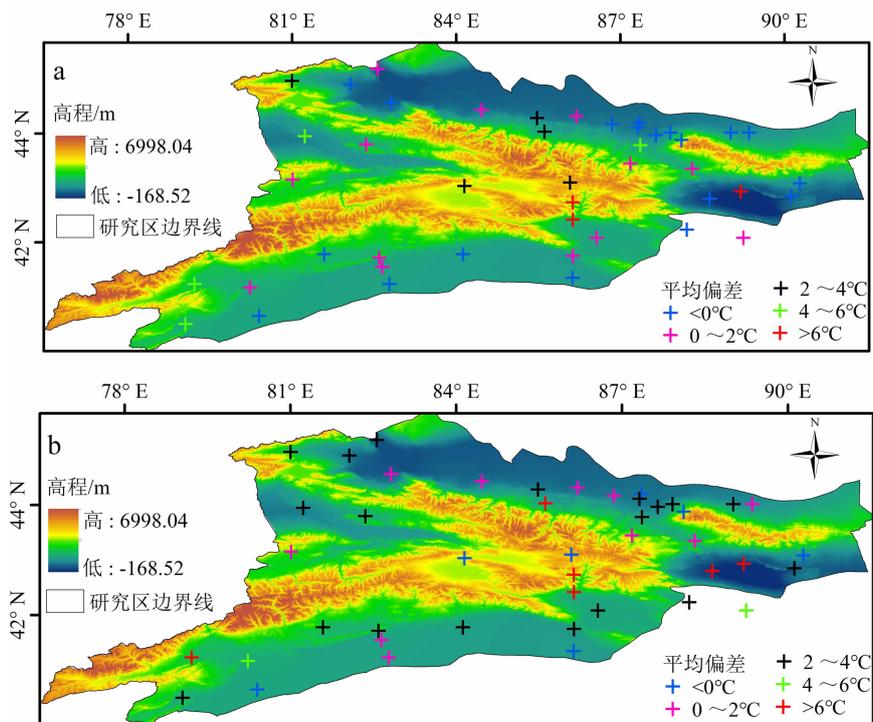


图5 两种再分析数据偏差空间分布(GHCN-CAM(a), ERA-Interim(b))

Fig. 5 The spatial distribution of the two reanalysis data deviations(GHCN-CAM(a), ERA-Interim(b))

天山中部和东部的站点分布比南部、北部更均匀,能够更好地反映气温空间分布状况。一定程度上,天山山区地形的复杂程度和气象站点的不均匀影响到两种再分析数据在该区域的气温模拟精度。

3 结论与讨论

利用 1984—2016 年天山中段 45 个气象站日平均气温分析了 ERA-Interim 和 GHCN-CAM 两种再分析月平均气温数据在天山山区的适应性,并探讨了不同海拔上的精度。最终得出以下结论:

(1) 两种再分析数据在气温模拟方面存在差异。其中, GHCN-CAM 的模拟精度 ($R = 0.94$ 、 $RMSE = 4.08\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $BIAS = 0.55\text{ }^{\circ}\text{C}$) 高于 ERA-Interim ($R = 0.95$ 、 $RMSE = 4.21\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $BIAS = 2.35\text{ }^{\circ}\text{C}$)。总体上,两种再分析数据表现低估。

(2) 在气温年内变化上,两种再分析数据与观测站气温变化趋势基本一致,都呈余弦曲线,即 1 月的平均气温最低,2 月开始升高,到 7 月到达峰值,8 月之后开始逐渐下降,表现为春季高、冬季低的单峰型特征;春秋两季的模拟精度高于夏冬两季,在冬季(12 月,1 月和 2 月)均表现为高估,其他季节为低估。不同海拔气温模拟精度上,1500 ~ 2000 m 气温模拟精度最好,ERA 和 GHCN-CAM 偏差分别为 $1.51\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $0.32\text{ }^{\circ}\text{C}$,海拔 2000 m 以上的站点 ERA 与 GHCN-CAM 表现出相反的冷暖偏差分别为 $-2.13\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $2.16\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。两种再分析数据在吐鲁番、巴仑台以及和硕平均偏差较高。

(3) ERA-Interim 的偏差范围为 $0\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 4\text{ }^{\circ}\text{C}$,偏差较高的区域主要分布在山区东部的吐鲁番盆地、焉耆盆地以及天山西南部。GHCN-CAM 偏差范围为 $-2\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 2\text{ }^{\circ}\text{C}$,偏差较高的区域主要分布在天山西南部。在天山中部、东部站点分布比南、北部更均匀,能更好的反映气温空间分布状况。

两种再分析数据由于研究区地形、地貌、站点分布以及同化技术、水平分辨率的不同,导致它们在天山山区具有不同的适应性。不同海拔对气温精度的模拟中,两种再分析数据在山区与地形比较复杂地区的气温精度低于中海拔地区,两种再分析数据能够更准确地反映气温年内变化。随着海拔的升高,气温模拟精度的变化是非单调的,它们在天山山区

具有较好的气温模拟精度, GHCN-CAM 的适应性优于 ERA-Interim,可用于天山山区气温模拟研究。

本文评价两种再分析数据在天山山区的模拟精度时,不仅考虑季节变化对气温模拟的影响,还考虑到了海拔的影响,进一步提出再分析数据偏差在天山山区的空间分布,从而解释精度差异的根本来源,最终的评价结论可为天山山区气温研究提供重要的科学依据。由于研究中用到的气温观测站地形、地貌以及下垫面类型具有较高的异质性,本身存在误差,而本文以气象观测站资料为基础,也可认为研究中的较少误差来自观测资料本身。本研究主要考虑了季节、海拔高度对气温模拟精度的影响,但未分析局地地形和下垫面等影响,今后需进一步深入该方面的研究。

参考文献 (References)

- [1] CAI Yanpeng, HUANG Gordon, TAN Qian, et al. Identification of optimal strategies for improving eco-resilience to floods in ecologically vulnerable regions of a wetland [J]. *Ecological Modelling*, 2011, **222**(2):360–369.
- [2] BOCCOLARI M, MALMUSI S. Changes in temperature and precipitation extremes observed in Modena, Italy [J]. *Atmospheric Research*, 2013, **122**(3):16–31.
- [3] 丁一汇,任国玉,石广玉,等. 气候变化国家评估报告(1):中国气候变化的历史和未来趋势[J]. *气候变化研究进展*, 2006, **2**(1):3–8+50. [DING Yihui, REN Guoyu, SHI Guangyu, et al. National assessment report of climate change (1): climate change in China and its future trend [J]. *Advances in Climate Change Research*, 2006, **2**(1):3–8+50]
- [4] 卢爱刚,庞德谦,何元庆,等. 全球升温对中国区域温度纬向梯度的影响[J]. *地理科学*, 2006, **26**(3):345–350. [LU Aigang, PANG Deqian, HE Yuanqing, et al. Impact of global warming on altitude effect in China in the past half century [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2006, **26**(3):345–350]
- [5] 胡汝骥. 中国天山自然地理[M]. 北京:中国环境科学出版社, 2004. [HU Ruji. *Physical geography of The Tianshan Mountains in China* [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2004]
- [6] PEPIN N, BRADLEY R S, DIAZ H F, et al. Elevation-dependent warming in mountain regions of the world [J]. *Nature Climate Change*, 2015, **5**(5):424–430.
- [7] 伊丽努尔·阿力甫江,海米提·依米提,麦麦提吐尔逊·艾则孜,等. 1958—2012 年博斯腾湖水位变化驱动力[J]. *中国沙漠*, 2015, **35**(1):240–247. [YILINUR Alifujiang, HAIMITI Yimiti, MAIMAITIUSUN Aizezi, et al. The driving forces of

- the Bosten Lake waterlevelvariations in 1958 – 2012 [J]. *Journal of Desert Research*, 2015, **35**(1):240 – 247]
- [8] 肖笃志,胡玉昆. 天山南坡巴音布鲁克盆地主要退化草场调查 [J]. *中国草地*, 1991, (4):40 – 44. [XIAO Duzhi, HU Yukun. Investigation on main degraded grassland in Bayinbuluke Basin on the southern slope of Tianshan Mountains [J]. *Chinese Journal of Grassland*, 1991, (4):40 – 44]
- [9] 欧阳辉. 新疆天山北坡经济带水土流失现状及防治对策 [J]. *水利科技与经济*, 2014, **20**(3):116 – 117. [OU Yanghui. Present situation of soil and water loss in the economic belt on the north slope of Tianshan Mountains in Xinjiang and its countermeasures [J]. *Water Technology and Economy*, 2014, **20**(3):116 – 117]
- [10] 唐红玉,杨小丹,王希娟,等. 三江源地区近 50 年降水变化分析 [J]. *高原气象*, 2007, **26**(1):47 – 54. [TANG Hongyu, YANG Xiaodan, WANG Xijuan, et al. Analyses of precipitation change in the source regions of Three Rivers during 1956 – 2004 [J]. *Plateau Meteorology*, 2007, **26**(1):47 – 54]
- [11] KISTER R, KALNAY E, COLLINS W, et al. The NCEP-NCAR 50-year reanalysis; monthly means CD-ROM and documentation [J]. *Bulletin American Meteorological Society*, 2001, **82**(2):247 – 268.
- [12] KALNAYE, KANAMITSUM, KISTLERR, et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1996, (3):437 – 471.
- [13] 王田野,吴通华,李韧,等. 两种再分析月平均气温资料在蒙古国的适用性评估 [J]. *高原气象*, 2016, **35**(3):651 – 661. [WANG Tianye, WU Tonghua, LI Ren, et al. Evaluation of monthly air temperature from two reanalysis datasets in Mongolia [J]. *Plateau Meteorology*, 2016, **35**(3):651 – 661]
- [14] 赵天保,艾丽坤,冯锦明. NCEP 再分析资料和中国站点观测资料的分析与比较 [J]. *气候与环境研究*, 2004, **9**(2):278 – 294. [ZHAO Tianbao, AI Likun, FENG Jinming. An intercomparison between NCEP reanalysis and observed data over China [J]. *Climatic and Environmental Research*, 2004, **9**(2):278 – 294]
- [15] 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. [GAO Lu, HAO Lu. Verification of ERA-Interim reanalysis data over China [J]. *Journal of Subtropical Resources and Environment*, 2014, **9**(2):75 – 81]
- [16] 白磊,王维霞,姚亚楠,等. ERA-Interim 和 NCEP/NCAR 再分析数据气温和气压值在天山山区适用性分析 [J]. *沙漠与绿洲气象*, 2013, **7**(3):51 – 56. [BAI Lei, WANG Weixia, YAO Yanan, et al. Reliability of NCEP/NCAR and ERA-Interim reanalysis data on Tianshan Mountainous Area [J]. *Desert and Oasis Meteorology*, 2013, **7**(3):51 – 56]
- [17] 谢潇,何金海,祁莉. 4 种再分析资料在中国区域的适应性研究进展 [J]. *气象与环境学报*, 2011, **27**(5):58 – 65. [XIE Xiao, HE Jinhai, QI Li, A review on applicability evaluation of four reanalysis datasets in China [J]. *Journal of Meteorology and Environment*, 2011, **27**(5):58 – 65.
- [18] XIE Aihong, REN Jiawen, QIN Xiang, et al. Feasibility comparison of reanalysis data from NCEP-I and NCEP-II in the Himalayas [J]. *Journal of Mountain Science*, 2009, **6**(1):56 – 65.
- [19] YOU Qinglong, KANG Shichang, PEPIN Nick, et al. Relationship between temperature trend magnitude, elevation and mean temperature in the Tibetan Plateau from homogenized surface stations and reanalysis data [J]. *Global and Planetary Change*, 2010, **71**(1/2):124 – 133.
- [20] 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.
- [21] GAO Lu, HAO Lu, CHEN Xingwei. Evaluation of ERA-Interim monthly temperature data over the Tibetan Plateau [J]. *Journal of Mountain Science*, 2014, **11**(5):1154 – 1168.
- [22] YOU Qinglong, FRAEDRICH K, REN Guoyu, et al. Variability of temperature in the Tibetan Plateau based on homogenized surface stations and reanalysis data [J]. *International Journal of Climatology*, 2013, **33**(6):1337 – 1347.
- [23] FRAUENFELD OW, ZHANG Tingjun, SERRZE M C. Climate change and variability using European Centre for Medium-Range Weather Forecasts reanalysis (ERA-40) temperatures on the Tibetan Plateau [J]. *Journal of Mountain Science*, 2005, **110**(D2):D02101.
- [24] FAN Yun, DOOL Huug Van Den. A global monthly land surface air temperature analysis for 1948-present [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2008, **113**(D1):D01103

Adaptability Analysis of ERA-Interim and GHCN-CAM Reanalyzed Data Temperature Values in Tianshan Mountains Area, China

HAIRIGULI Namaiti^{1,2}, YUSUFUJIANG Rusuli^{1*},

MADINIYATI Dilixiati¹, ROUKEYAMU Aikemu¹

(1. *College of Geographical Science and Tourism/ Laboratory of Watershed Information Integration and Ecological Security, Xinjiang Normal University, Ürümqi 830054, China;*

2. *Xinjiang Laboratory of Lake Environment and Resources in Arid Zone, Ürümqi 830054, China)*

Abstract: Accuracy evaluation of reanalysis data in Tianshan Mountains has important research significance. In this paper, adaptability evaluation of ERA-Interim and GHCN-CAM air temperature data and its error spatiotemporal distribution characteristics were analyzed by means of calculating bias, correlation coefficient (R) and root mean square error (RMSE) with the observed 45 metrological station data during 1984—2016 in Tianshan Mountains area. Research results showed that: (1) The temperature of GHCN-CAM (R = 0.94; BIAS = 0.55 °C; RMSE = 4.08 °C) was more adaptable than ERA-Interim (R = 0.95; BIAS = 2.35 °C; RMSE = 4.21 °C) in the Tianshan Mountains; (2) ERA-Interim and GHCN-CAM air temperature underestimated air temperature comparing with observed data in the annual variations; (3) At the seasonal scale, air temperature based on reanalysis data highlighted that cold bias occurred in the winter (December, January, February), when other seasons took place warm bias. Estimation accuracy in spring and autumn were higher than summer and winter; (4) The estimation result of reanalyzed data was best between 1500 and 2000 meter in altitude. In terms of estimation error spatiotemporal distribution, the estimated air temperature in middle and east part of could best reflect the spatiotemporal distribution of actual air temperature than southern and northern part Tianshan Mountains. The terrain complexity and heterogeneous distribution of metrological stations were main effecting factors on accuracy of reanalyzed air temperature.

Key words: Tianshan Mountains; reanalysis data; ERA-Interim; CHCN-CAM; temperature