

王乙竹,王玮,黄剑钊,等. 利用地形高度差对 ERA5 气温降尺度的方法研究[J]. 气象研究与应用,2023,44(2):33–38.

Wang yizhu,Wang Wei,Huang Jianzhao,et al. A methodological study of Downscaling of ERA5 Temperature Using Terrain Height Difference[J]. Journal of Meteorological Research and Application,2023,44(2):33–38.

利用地形高度差对 ERA5 气温降尺度的方法研究

王乙竹,王 玮,黄剑钊,景 坤,周坤论*

(广西壮族自治区气象技术装备中心, 南宁 530022)

摘要: 基于 ERA5 2m 气温数据(T_{ERA}),考虑地形高度对气温的影响,结合温度垂直递减率,开展了气温降尺度研究。利用广西 91 个国家观测站 2021 年 1 月—12 月逐小时气温数据(T_{st})来验证该方法降尺度后气温(T_{ms})精度,对比探讨降尺度效果,并讨论 T_{ms} 误差时空分布特征。结果表明:(1)全年 T_{st} 与 T_{ms} 有效匹配数据点的相关系数(R)为 0.978,均方根误差(RMSE)为 1.59℃,平均偏差(MB)为 0.441℃。比 T_{ERA} 与 T_{st} 的相关性高($R=0.974$)、均方根误差小(RMSE=1.71℃)。(2) T_{ms} 细化地形对气温的影响,展示了很好的空间分布细节纹理,特别是海拔较高区域。(3) T_{ms} 误差有明显的时空变化特征,桂南精度高(RMSE<1.5℃,|MB|<1℃),桂东北、桂西北精度相对较低(RMSE>1.8℃,|MB|>1℃),秋季的精度(RMSE=1.54℃,MB=0.35℃)优于其他季节(RMSE>1.58℃,MB>0.38℃)。

关键词: 气温降尺度;ERA5;地形高度;温度垂直递减率

中图分类号: P467

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2023.2.06

引言

近地面气温是影响全球辐射平衡、能量收支、水循环研究的关键参数,是气候学、环境生态学、水文研究等多个领域的常用变量^[1]。它表征近地面空气的冷热程度,与人类的生产生活密切相关。

传统获取气温的方法是通过地面 1.5~2m 高的百叶箱进行测量,观测精度高、时间分辨率小,但该方式仅能代表所在位置有限范围内温度信息,并且站点空间分布不均匀,无法很好地反映气温的空间异质性。目前,部分研究通过对站点数据进行空间插值得到气温的空间分布,但其精度往往受制于气象站点的密度、地形和景观条件等,难以获得较高精度的气温信息,实际应用中受到诸多限制^[2-3]。ECMWF 第五代再分析资料(ERA5)提供全球范围内逐小时的天气信息,可有效弥补海洋、高原等偏远地区地面观测站点不足,是获取全球或区域近地面温度分布的有效途径^[4,5]。但 ERA5 空间分辨率仅为 $0.1^\circ\times 0.1^\circ$,将其表示某特定地点温度会存在一定偏差^[6-7]。随着

气候、地学、水文等多模型空间精度需求不断提高,如何获得兼具高空间分辨率和高精度近地面气温是一个热门话题。

复杂的地貌特征、地理条件、高程差异是影响气温的关键因素^[8],广西壮族自治区主要分布有山地、丘陵、平原等类型地貌,北部接壤云贵高原,海拔高于南部沿海区域,全区海拔从-16m 到 2048m,气温空间差异明显。为探求一种精度高、空间分辨率小、简单快速获取该区域内近地面气温的方法,本文使用 SRTM(shuttle radar topography mission,航天飞机雷达地形测绘任务)高程(DEM)数据,考虑 ERA5 地形高度和 SRTM DEM 之间差异,结合气温垂直递减率,首次对广西 ERA5 气温资料开展降尺度研究,希望为农业、气候、预报等分析与研究提供技术支持。

1 数据与方法

1.1 数据来源

本文所需数据类型有 ERA5 2m 气温和地形位势高度数据、SRTM 地形高程数据和广西 91 个国家

收稿日期: 2022-09-15

基金项目: 广西壮族自治区气象技术装备中心自立项目“基于天元系统的地面气象观测业务可用性评估方法研究”

作者简介: 王乙竹(1996—),女,硕士,助理工程师,主要从事装备运行保障、质控算法开发工作。E-mail:617575956@qq.com

* 通讯作者: 周坤论(1994—),男,硕士,助理工程师,主要从事气象探测技术保障等工作。E-mail:980289314@qq.com

地面气象观测站 2m 气温数据,时间区间为 2021 年 1 月 1 日至 12 月 31 日(2021 整年),时间分辨率为逐小时间隔。

ERA5 是 ECMWF 五代再分析资料,同化了大量数值预报、地面观测和卫星遥感等数据^[7,9],提供 1950 年至今全球气候和天气资料。本研究用到 ERA5 2m 气温(T_{ERA})和重力势能数据,位势高度通过重力势能除以重力加速度($g=9.80665\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)计算,网格尺度 $0.1^\circ\times 0.1^\circ$ 。数据下载于欧洲气象中心(<https://cds.climate.copernicus.eu/>)。

地形高程(DEM)数据来源于美国奋进号航天飞机的雷达地形测绘 SRTM,具有探测精度高,空间分辨率小(3 弧秒约 90m)的特征^[10]。本文所使用的数据集为重采样 $250\text{m}\times 250\text{m}$ 中国广西区域高程。以 SRTM DEM 为准确值与插值后的 ERA5 数据空间匹配,进行高度订正,从而实现降尺度,数据下载于美国地质勘探局(<https://lpdaac.usgs.gov/>)。

地面观测资料经过气候学界限值、区域界限值、时空一致性检查等严格质量控制,可用率达 99.82%^[11]。本文将地面观测视为近地面气温真值,用于该降尺度方法结果验证。91 个国家自动观测站约占 66%的台站海拔小于 200m,海拔超过 500m 的台站约 10 个(约占 11%),其大部分集中在桂西北、桂东北区域。数据下载于气象大数据云平台。

1.2 研究方法

由于 ERA5 数据 ($0.1^\circ\times 0.1^\circ$) 和 SRTM 数据 ($250\text{m}\times 250\text{m}$) 空间分辨率不同,采用双线性插值的方法将 ERA5 2m 气温和 ERA5 位势高度插值为 $250\text{m}\times 250\text{m}$ 网格分辨率^[12-13],再与 SRTM DEM 进行空间匹配。插值后的 ERA5 位势高度与 SRTM DEM 的高度差利用气温垂直递减规律对插值后 ERA5 2m 气温进行订正^[14],即海拔每相差 100m,气温平均降低或升高 0.65°C ,公式如下:

$$\begin{cases} T_{\text{air}}=T_{\text{cz}}-0.65\times(H_{\text{cz}}-H_{\text{SRTM}})/100 \\ T_{\text{air}}=T_{\text{cz}}+0.65\times(H_{\text{cz}}-H_{\text{SRTM}})/100 \end{cases} \quad (1)$$

式中 T_{air} 为降尺度后的温度($^\circ\text{C}$), T_{cz} 为双线性插值后 ERA5 2m 气温($^\circ\text{C}$), H_{cz} 为 ERA5 双线性插值后的位势高度(m), H_{SRTM} 为 SRTM 的高程(m)。

1.3 误差评估方法

利用相关系数(R)、均方根误差(RMSE)、偏差(MB)3 个统计指标对降尺度后气温进行评估和误差分析。R 用于评估降尺度后的温度(T_{air})与真实台站气温(T_{sit})之间的相关性, RMSE 反映了 T_{air} 与真实

T_{sit} 之间的差异, MB 评估 T_{air} 是否高估(暖偏差)或低估(冷偏差)。

$$R=\frac{\sum_{i=1}^n (T_{\text{air}}-\overline{T_{\text{air}}})(T_{\text{sit}}-\overline{T_{\text{sit}}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (T_{\text{air}}-\overline{T_{\text{air}}})^2 \sum_{i=1}^n (T_{\text{sit}}-\overline{T_{\text{sit}}})^2}} \quad (2)$$

$$\text{RMSE}=\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (T_{\text{air}}-T_{\text{sit}})^2} \quad (3)$$

$$\text{MB}=\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (T_{\text{air}}-T_{\text{sit}}) \quad (4)$$

式中 T_{sit} 为地面观测资料提供的真实台站气温, N 为样本量。

2 结果与分析

2.1 整体误差分析

2021 年逐小时共匹配 794114 个有效数据点,图 1 为 ERA5 2m 气温(T_{ERA})与台站气温(T_{sit})(图 1a)和降尺度后气温(T_{air})与台站气温(图 1b)的二维散点图。总体而言,研究区域全年气温集中在 $5^\circ\text{C}\sim 38^\circ\text{C}$, T_{air} 和 T_{ERA} 与台站气温对比大部分点重叠于 1:1 线。 T_{ERA} 与 T_{sit} 和 T_{air} 与 T_{sit} 的 R 值分别为 0.974 和 0.978, RMSE 值分别为 1.71°C 和 1.59°C 。全年 MB 值小于 0.5°C , T_{ERA} 倾向于低估($\text{MB}=-0.366^\circ\text{C}$),而 T_{air} 更倾向于高估($\text{MB}=0.441^\circ\text{C}$),特别是当温度小于 10°C 时, T_{air} 高估明显。

为了解误差与 DEM 的关系,表 1 展现了 T_{ERA} 和 T_{air} 的 R、RMSE、MB 值随海拔的变化情况。大部分站点海拔集中在 300m 以下,共 627373 个数据,高于 800m 共 34938 个数据。 T_{ERA} 相关性随海拔的增加而降低, R 从 0.974 到 0.966, T_{air} 随海拔的增加 R 下降相对缓慢($R>0.97$),表现出较好的相关性。RMSE 都随海拔的增加而增加, T_{air} 的 RMSE 均小于 T_{ERA} , 当海拔大于 200m 时, RMSE 有一定程度的增加。 T_{ERA} 多为低估,而 T_{air} 整体表现为高估($\text{MB}>0.254^\circ\text{C}$)。

相关性随海拔降低,误差随海拔增加,说明该方法更适用于低海拔区域。图 2 给出了 ERA5 位势高度和 SRTM DEM 之间绝对高度差 ($|H_{\text{ERA}}-H_{\text{SRTM}}|$) 随海拔的变化情况,海拔小于 100m 时高度相差小(平均约 93.3m),当海拔大于 800m 时相差大,最大高度差可达 1332.2m,随海拔增加高度差异呈增加趋势。本研究利用高度差对 T_{ERA} 进行订正,地形高度准确性和气温垂直递减率精度是影响降尺度的误差主要原因,如采用更高精度的地形高度数据和本地化的垂直递减率,可提高降尺度精度,尤其是高海拔地区。

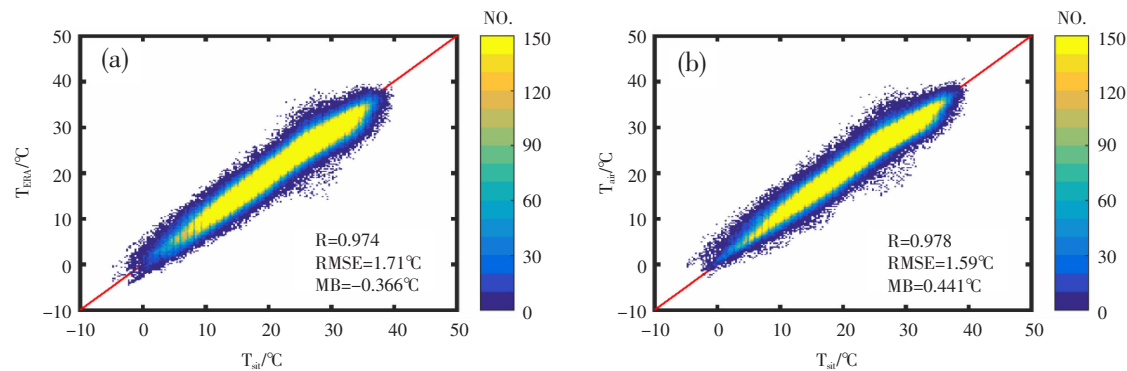


图 1 ERA5 2m 气温(T_{ERA})与台站气温(T_{sit})对比二维散点图(a),利用高度降尺度后气温(T_{air})与台站气温(T_{sit})对比二维散点图(b),红实线为 1:1 线,色柱表示重叠点个数。

表 1 2021 年逐小时 T_{ERA} 和 T_{air} 与 T_{sit} 的 R、RMSE、MB 随海拔的统计数据表

海拔/m	匹配点数	R		RMSE/℃		MB/℃	
		T_{ERA}	T_{air}	T_{ERA}	T_{air}	T_{ERA}	T_{air}
<100	148,471	0.974	0.976	1.511	1.493	-0.020	0.254
100~200	374,906	0.977	0.980	1.645	1.534	-0.477	0.379
200~300	103,996	0.973	0.977	1.915	1.734	-0.775	0.664
300~800	104,803	0.969	0.977	1.820	1.636	-0.239	0.576
>800	34,938	0.966	0.970	1.890	1.851	0.506	0.666

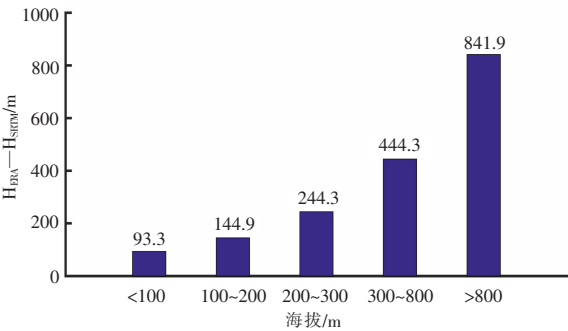


图 2 ERA5 位势高度和 SRTM DEM 之间绝对高度差 ($H_{\text{ERA}}-H_{\text{SRTM}}$)随海拔变化柱形图

总的来说, T_{ERA} 和 T_{air} 均表现为 R 随海拔的增加而降低, RMSE 随海拔的增加而增加, ERA5 对高海拔地区的再现能力较弱, 倾向于低估, 这与 ERA-Interim (ECMWF 三代再分析资料) 相似^[15]。 T_{air} 相比 T_{ERA} 精度有所提高, 但也同样表现为低海拔地区精度优于高海拔地区, 这可能与地形高度差和气温垂直递减率精度有关。

2.2 空间分布对比

利用 2021 年 1 月 15 日、4 月 15 日、7 月 15 日、10 月 15 日 12UTC 的 ERA5 2m 气温(T_{ERA})、双线性插值后的气温(T_{cz})、地形高度降尺度气温(T_{air})空间

分布进行对比。总的来说, T_{ERA} 、 T_{cz} 、 T_{air} 三组数据集显示非常相似的温度梯度, 桂南低海拔地区气温较高, 而桂西北、桂东北高海拔地区气温相对较低。此外, 数据集表现出相似的气温季节变化特征, 夏季(7 月)温度高, 冬季(1 月)温度低, 1 月大部分地区气温小于 14℃, 而 7 月多大于 26℃。

然而, T_{ERA} 、 T_{cz} 、 T_{air} 三组数据仍存在显著差异。 T_{ERA} 的空间分辨率较粗(0.1°×0.1°), 网格化明显。双线性插值后分辨率有所提高, 气温分布效果平滑, 但空间细节少, 对于广西海拔北高南低, 平原、山地等复杂地形, 缺乏空间细节数据不适用于来表示该地区气候和生态特征, 特别是气温空间梯度较大的春秋季节。相比之下, T_{air} 很好展示了空间分布细节特征, 气温梯度变化明显, 特别是海拔较高、地形较复杂的桂西北和桂东北区域, 随海拔增加气温降低。

为了解降尺度后气温(T_{air})误差空间分布情况, 对数据进行了空间精度验证。SRTM 高程(H_{SRTM})与站点海拔之间(H_{sit})的差异($H_{\text{SRTM}}-H_{\text{sit}}$), 表现为 H_{SRTM} 多高于 H_{sit} , 特别是海拔较高的站点, 高度差最大可达 400m 以上, 也使得高度订正后的年平均 T_{air} 表现出较大的暖偏差和均方根误差。相比之下, 低海拔区

域站点年平均偏差小于 1cm, RMSE 小于 1.8cm。与 2.1 节结论相似, SRTM 高程数据与台站海拔之间的高度差异可能是造成误差的主要来源。此外, T_{sit} 和 T_{air} 分别代表所在气象站点气温和 250m×250m 网格内的平均气温, 空间尺度上代表性不同。选用分辨率更小的高程数据进行降尺度研究, 如 SRTM 30mDEM、90mDEM 和资源三号卫星 5m DEM 等, 提高分辨率的同时可一定程度上缩小降尺度后气温与台站气温之间差异。

综上, 通过降尺度, 气温空间分布细化程度得到提高, 细节纹理更加丰富, 特别是海拔起伏较大的桂西北和桂东北区域。该方法细化地形对气温的影响, 可为复杂地形条件下高时空分辨率气温研究提供帮助。此外, 降尺度得到的 T_{air} 更适用与低海拔区域, MB 小于正负 1℃, RMSE 小于 1.8℃。

2.3 时间分布对比

以往的研究表明, T_{EAR} 误差有明显的季节分布特征^[16]。为了解降尺度后误差随时间的变化情况, 表 2 给出了春、夏、秋、冬四季 T_{air} 与 T_{sit} 的 R、RMSE、MB 值的变化情况。夏季相对其他三个季节相关性差(R=0.909), 冬季暖偏差最大(MB=0.520℃), 秋季的 R、RMSE、MB 分别为 0.958、1.539℃、0.351℃, 精度高于其他季节。此外, 四季均表现为高估。

表 2 春、夏、秋、冬四季 T_{air} 与 T_{sit} 的 R、RMSE、MB 的变化情况

季节	R	RMSE/℃	MB/℃
春	0.955	1.582	0.512
夏	0.909	1.630	0.385
秋	0.958	1.539	0.351
冬	0.958	1.608	0.520

为讨论不同站点之间时间变化差异, 随机选取了三个不同经纬度站点的 RMSE 进行时间序列对比(图 3), 分别为资源站(站号 57859)、上林站(站号 59235)、钦州站(站号 59632), 三个站点海拔逐渐降低。与误差空间分布相似, 相比资源和上林站, 海拔较低的钦州站有较小的 RMSE, 且 T_{ERA} 和 T_{air} 之间的 RMSE 差异小, 年平均 RMSE 分别为 0.802℃和 0.762℃。资源和上林站地形高度对气温的订正影响较大, 降尺度前后温差最大可达到 4.1℃。第 200 天到 300 天(秋季), T_{air} 的 RMSE 多在 2℃内, 明显小于 T_{ERA} , 特别是资源站。这可能是因为此期间副热带高压南移, 高影响气候事件发生频率下降^[17], 例如暴

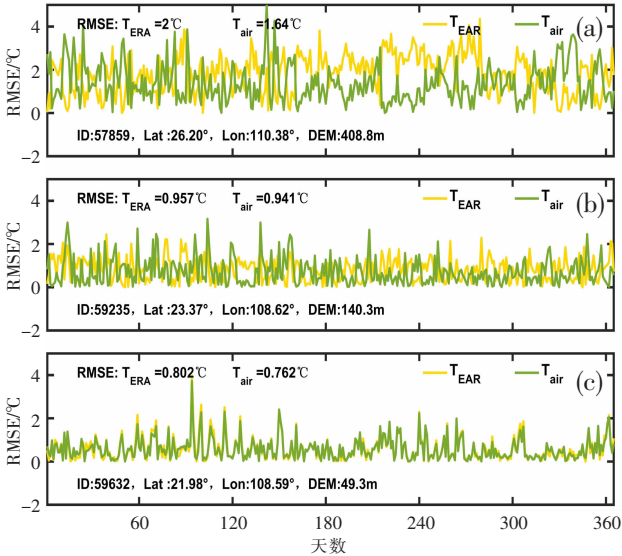


图 3 资源站(57859)、上林站(59235)、钦州站(59632)三站 TERA 和 T_{air} 与 T_{sit} 的 RMSE 时间序列

雨、台风、高温、寒潮等, 使得温度垂直递减率受影响因数减少, 所得到的 T_{air} 更接近台站气温, RMSE 相对较小。

综上分析, 由于秋季高影响气候事件发生频率小, 使得降尺度后气温 T_{air} 精度优于其他季节, R、RMSE、MB 值分别为 0.958、1.539℃、0.351℃。此外, 海拔较低的站点误差随时间变化相对稳定, 全年 RMSE 值多在 0℃到 2℃之间, 而高海拔地区(如资源站)RMSE 值在 0℃到 5℃范围内波动。

3 结论与讨论

本研究考虑地形高度差异, 使用温度垂直递减率对 ERA5 气温开展降尺度研究。利用广西 2021 年 91 个国家气象站逐小时观测气温进行验证, 主要结论如下:

(1)该方法降尺度后的气温(T_{air})与台站的吻合度优于 ERA5 2m 气温(T_{ERA}), 全年 T_{air} 的 R、RMSE、MB 分别为 0.978、1.59℃、0.441℃。

(2)通过空间分布对比分析, T_{air} 比 T_{ERA} 和双线性插值后的气温(T_{cz})更好的展示了空间细节特征, 特别是海拔较高的桂西北和桂东北区域。此外, 该方法更适用于低海拔地区, MB 小于正负 1℃, RMSE 小于 1.8℃, 高海拔地区多为高估。

(3)通过时间分布验证分析, 秋季高影响气候事件发生频率小, 使得降尺度后气温精度优于其他季节, R、RMSE、MB 值分别为 0.958、1.539℃、0.351℃, 低海拔站点误差随时间变化更稳定, RMSE 值多在

0℃到 2℃之间。

本研究仅考虑了地形高度对气温的影响, 在后续的工作中可加入植被指数(NDVI)、风速风向、气流等因数进行多层次研究^[7,18]。此外, 本研究使用的气温高度垂直递减率适用中国区域, 如通过线性回归、神经网络等方法, 计算出本地化的气温垂直递减率^[19-20], 可提升该降尺度方法获得的气温精度。在后续的研究中, 可尝试将该方法使用于全球数值预报(GFS)、中国气象局新一代数值天气预报系统(GRAPES)产品、中国全球大气再分析(CRA-40)等数据中, 为气象预报提供高空间分辨率气温数据, 服务于农业生产、气候变化、水文研究等领域。

参考文献:

- [1] ITAI K, FRANCESCO N, BRENT A C, et al. Predicting spatiotemporal mean air temperature using MODIS satellite surface temperature measurements across the Northeastern USA[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2014, 150(7): 132-139.
- [2] 朱浩楠, 刘晓冉, 李永华, 等. 考虑地形的空间插值算法在复杂下垫面地区气温和降水精细化插值的评估[J]. *气象*, 2020, 46(5): 655-665.
- [3] 游松财, 李军. 海拔误差影响气温空间插值误差的研究[J]. *自然资源学报*, 2005, 20(1): 140-144.
- [4] LOMPAR M, LALIĆ B, DEKIĆ L, et al. Filling gaps in hourly air temperature data using debiased ERA5 data[J]. *Atmosphere*, 2019, 10(1): 13.
- [5] 沈贝蓓, 宋帅峰, 张丽娟, 等. 1981-2019 年全球气温变化特征[J]. *地理学报*, 2021, 76(11): 2660-2672.
- [6] 朱佳恒, 祝善友, 于法川, 等. 面向城区和山区的 ERA5 再分析地表温度降尺度[J]. *遥感学报*, 2021, 25(8): 1778-1791.
- [7] 于法川, 祝善友, 张桂欣, 等. 复杂山区地形条件下 ERA5 再分析地表气温降尺度方法[J]. *地球信息科学学报*, 2022, 24(4): 750-765.
- [8] GERLITZ L. Using fuzzified regression trees for statistical downscaling and regionalization of near surface temperatures in complex terrain[J]. *Theoretical & Applied Climatology*, 2015, 122(1-2): 337-352.
- [9] JOHNSTON B R, RANDEL W J, SJOBERG J P. Evaluation of tropospheric moisture characteristics among COSMIC-2, ERA5 and MERRA-2 in the tropics and subtropics[J]. *Remote Sensing*, 2021, 13(5): 880.
- [10] LAND G, FACILITY C. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Technical Guide [J]. *American Geophysical Union*, 2000, 45(2): 37-55.
- [11] 张志富, 任芝花, 张强, 等. 自动站小时气温数据质量控制系统设计研究[J]. *气象与环境学报*, 2013, 29(4): 64-70.
- [12] 任婧宇, 赵俊侠, 马红斌, 等. 2015—2100 年黄土高原四季气候变化的时空分布趋势预测[J]. *水土保持通报*, 2019, 39(5): 262-271.
- [13] MOSIER T M, HILL D F, SHARP K V. 30 - Arcsecond monthly climate surfaces with global land coverage [J]. *International Journal of Climatology*, 2014, 34(7): 2175-2188.
- [14] FANG J Y, Yoda K. Climate and vegetation in China (I). Changes in the altitudinal lapse rate of temperature and distribution of sea level temperature[J]. *Ecological Research*, 1988, 3(1): 37-51.
- [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.
- [16] 孟宪贵, 郭俊建, 韩永清. ERA5 再分析数据适用性初步评估[J]. *海洋气象学报*, 2018, 38(1): 91-99.
- [17] 秦川, 何洁琳, 李艳兰, 等. 2021 年广西气候概况[J]. *气象研究与应用*, 2022, 43(1): 84-89.
- [18] 任梅芳, 庞博, 徐宗学, 等. 基于随机森林模型的雅鲁藏布江流域气温降尺度研究[J]. *高原气象*, 2018, 37(5): 1241-1253.
- [19] 马新萍, 白红英, 郭帅, 等. 秦岭太白山气温垂直递减率研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2017, 31(7): 139-144.
- [20] 占龙飞, 张传江, 胡菊芳, 等. 基于 DEM 的复杂地形气温空间插值研究[J]. *气象与减灾研究*, 2018, 41(1): 57-62.

A methodological study of Downscaling of ERA5 Temperature Using Terrain Height Difference

Wang yizhu, Wang Wei, Huang Jianzhao, Jing kun, Zhou kunlun*

(Guangxi Meteorological Technical Equipment Center, Nanning 530022, China)

Abstract: Based on the 2m temperature data (T_{ERA}) of ERA5, the temperature downscaling research was carried out by considering the influence of terrain height on temperature and combining it with the temperature lapse rate. The hourly temperature data (T_{sit}) of 91 national observation stations in Guangxi from January to December 2021 were used to verify the accuracy of the method after temperature downscaling (T_{air}), to compare and explore the effects of downscaling, and to discuss the spatiotemporal distribution characteristics of T_{air} errors. The results show that: (1) The correlation coefficient (R) of annual between T_{sit} and T_{air} effectively matched data points was 0.978, the root mean square error (RMSE) was 1.59°C , and the average deviation (MB) was 0.441°C . The correlation was higher ($R=0.974$) and the root mean square error was smaller (RMSE= 1.71°C) than those of TERA with T_{sit} . (2) T_{air} refined the impact of terrain on temperature, showing a good texture of spatial distribution details, especially in higher altitude regions. (3) T_{air} error showed obvious spatiotemporal variation characteristics, with high accuracy in southern Guangxi (RMSE $<1.5^{\circ}\text{C}$, |MB| $<1^{\circ}\text{C}$), relatively low accuracy in northeastern and northwestern Guangxi (RMSE $>1.8^{\circ}\text{C}$, |MB| $>1^{\circ}\text{C}$). The accuracy in autumn (RMSE= 1.54°C , MB= 0.35°C) is better than that in other seasons (RMSE $>1.58^{\circ}\text{C}$, MB $>0.38^{\circ}\text{C}$).

Key words: temperature downscale; ERA5; terrain height; temperature lapse rate