

HRCLDAS 和 ERA5 再分析资料的相对湿度产品在重庆地区的适用性分析^①

朱君, 赵美艳, 王新, 廖伟, 李奇临

重庆市气象信息与技术保障中心, 重庆 401147

摘要: 选取重庆 520 个地面气象观测站在 2021 年 10 月 1 日至 2022 年 9 月 30 日的相对湿度数据, 对多源融合实况分析产品(HRCLDAS)($0.01^{\circ} \times 0.01^{\circ}$)和 ERA5($0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$)再分析资料的相对湿度产品在重庆地区的适用性进行评估。结果表明: 2 种相对湿度产品在重庆地区具有较高的相关性, HRCLDAS 的相对湿度产品质量更优; 随着海拔高度的抬升, 2 种产品的平均误差和平均绝对误差值增大, 数据质量降低; 相对湿度越小或越大时, 2 种产品的质量与相对湿度观测数据成反比, 当相对湿度在 70%~90% 区间时, 2 种产品的质量最优; 2 种产品具有一定的小时变化和逐日变化趋势, HRCLDAS 的相对湿度产品随小时时间呈现两头低、中间高的特点; ERA5 再分析资料有明显的昼夜区分, 白天的数据质量要优于夜间, 午后数据质量最优; 逐月变化趋势与月平均相对湿度变化基本一致。2 种产品呈现明显的季节特点, 春夏季优于秋冬季, 夏季数据质量最优。

关键词: HRCLDAS; ERA5; 相对湿度; 适用性分析

中图分类号: P468

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2023)05-0070-07

Applicability of Relative Humidity Data of HRCLDAS and ERA5 Reanalysis Data in Chongqing

ZHU Jun, ZHAO Meiyan, WANG Xin, LIAO Wei, LI Qilin

Chongqing Meteorological Information and Technical Support Center, Chongqing 401147, China

Abstract: The meteorological observation data of 520 surface meteorological observation stations from October 1, 2021 to September 30, 2022 were selected to evaluate the applicability of the relative humidity data of HRCLDAS and ERA5 reanalysis data in Chongqing. The results showed that the two relative humidity products had a high correlation in Chongqing, and the relative humidity product of HRCLDAS was of better quality. With the rise of altitude, the average error and average absolute error of the two products increased, and the data quality decreased. When the relative humidity get smaller or larger, the quality of the two products was inversely proportional to the relative humidity observation data. When the relative humidity was between 70% and 90%, the quality of the two products reached the best. The two products had a certain trend of hourly and daily change, and the relative humidity of HRCLDAS products showed

^① 收稿日期: 2023-02-08

基金项目: 重庆市自然科学基金面上项目(cstc2020jcyj-msxmX1026); 重庆市气象局业务技术攻关项目(YWJSGG-202308); 重庆市气象局软科学研究项目(一般(02)).

作者简介: 朱君, 工程师, 主要从事气象数据处理、分析与应用的研究。

通信作者: 赵美艳, 高级工程师。

the characteristics of “low at both ends and high in the middle” with the time; ERA5 reanalysis data had an obvious difference between day and night. The data quality in the daytime was better than that at night, and the data quality in the afternoon was the best; The monthly change trend was basically consistent with the monthly average relative humidity change. The two products had obvious seasonal characteristics. Spring and summer were better than autumn and winter, and the data quality in summer was the best.

Key words: HRCLDAS; ERA5; relative humidity; applicability analysis

水蒸气是大气能量的重要载体,在极端天气过程中占据重要作用,可对天气和气候、动植物生长、气溶胶光学特性、太阳增温率、能见度等产生较大影响^[1-2]. 相对湿度作为基本的常规气象观测要素,是大气水汽含量的物理参数之一^[3-4],因此,准确可靠的相对湿度数据对研究了解环境变化具有重要的现实意义^[5]. 随着资料同化技术的快速发展,中国气象局自 2014 年以来,通过对产品时效的优化、数据网络的调整,使一系列多源融合实况产品应用于智能网格预报业务,HRCLDAS 是中国区域多源融合实况分析 1 km 分辨率产品之一,产品包括 2 m 相对湿度等数据^[6-7]. 再分析资料是气象观测资料和数值预报产品融合的产品,具有数据产品分辨率高、时间序列长的特点^[8-10],目前,全世界的再分析资料主要有欧洲中心的 ERA5、日本的 JRA55、美国的 NCEP/NCAR R1 等,其中最常用的是 ERA5 再分析资料^[11-13].

近年来,渠鸿宇等^[14]对 HRCLDAS 和 ERA5 再分析资料的海面风场数据进行对比评估分析,研究表明,两者在我国近海均具有较高的可信度;耿姗姗等^[15]对 ERA5 海面气压和风速的再分析资料在渤海和北黄海域的适用性进行了分析,研究表明再分析资料与观测资料具有良好的相关性,不同时间尺度的统计结果具有一定差异性;宇婧婧等^[16]、刘婷婷等^[17]、史岚等^[18]对降水融合实况产品在中国相关地区的应用进行了大量的适用性评估和分析,为融合实况产品和 ERA5 再分析资料的本地化应用提供了参考. 本文利用地面站点观测的相对湿度数据分析 HRCLDAS 和 ERA5 再分析资料的相对湿度产品在重庆地区的适用性,对比分析 2 种相对湿度数据产品在重庆的准确度和差异性,为 2 种相对湿度产品在本地应用提供科学依据和参考.

1 资料与方法

1.1 资料

1) HRCLDAS 中国区域多源融合实况分析产品由国家气象信息中心提供,2021 年 9 月 26 日 20 时空间分辨率为 $0.01^{\circ} \times 0.01^{\circ}$ 逐小时的 2 m 相对湿度.

2) ERA5 再分析资料来源于欧洲中期天气预报中心(ECMWF)2021 年 10 月 1 日—2022 年 9 月 30 日的 $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$ 的逐小时 2 m 温度和 2 m 露点温度,结合马格纳斯经验公式,计算出 2 m 相对湿度.

$$RH = \left(E_0 \times 10^{\frac{7.45Td}{235 + Td}} \right) / \left(E_0 \times 10^{\frac{7.45T}{235 + T}} \right) \times 100\% \quad (1)$$

其中: RH 为相对湿度; E_0 为水面或冰面温度为 0°C 时的饱和水汽压, $E_0 = 6.11$ 百帕; Td 为 2 m 露点温度; T 为 2 m 温度.

3) 观测站点: 重庆现有地面气象观测站点 2 097 个,其中开展相对湿度观测的站点有 520 个,因此检验源数据选用重庆地区的 520 个地面气象观测站(图 1)2021 年 10 月 1 日至 2022 年 9 月 30 日的逐小时相对湿度观测数据,数据经过了气象资料业务系统的质量控制,数据质量可靠.

运用双线性插值方法,对 HRCLDAS 多源融合实况分析产品和 ERA5 再分析资料的网格数据进行处理,实现对 HRCLDAS 和 ERA5 再分析资料的相对湿度产品与站点观测数据的时空匹配.

1.2 评估指标

利用误差(E)、平均误差(ME)、绝对误差(AE)、平均绝对误差(MAE)、相关系数(COR)等参数对 HRCLDAS 和 ERA5 再分析资料的相对湿度产品进行质量评估.

$$E = G_i - O_i \quad (2)$$

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (G_i - O_i) \quad (3)$$

$$AE = | G_i - O_i | \tag{4}$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N | G_i - O_i | \tag{5}$$

$$COR = \frac{\sum_{i=1}^N (G_i - \bar{G})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (G_i - \bar{G})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2}} \tag{6}$$

其中： O_i 为地面气象站点观测值； G_i 为 2 种相对湿度产品插值到检验站点得到的数值； $\bar{O}$ 为地面气象观测站点观测值的平均值； $\bar{G}$ 为 2 种相对湿度产品插值到检验站点得到的数值的平均值； N 为参与检验的总样本数(站次数)。

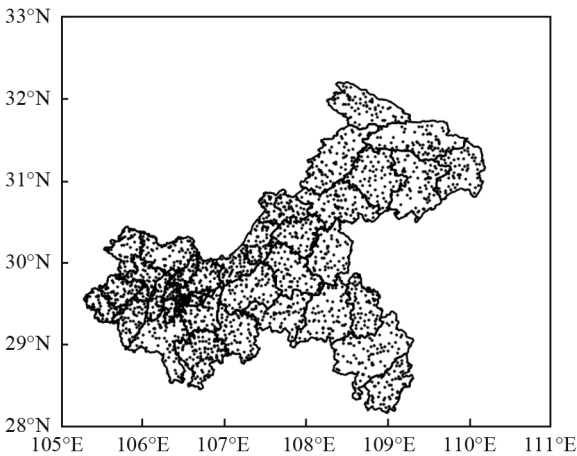
2 结果与分析

2.1 年度对比

利用观测站点 2021 年 10 月 1 日至 2022 年 9 月 30 日的逐小时相对湿度观测数据对 HRCLDAS 和 ERA5 再分析资料进行评估分析,结果显示,HRCLDAS 的相对湿度产品年平均误差为-0.06%、平均绝对误差为 0.91%、相关性系数为 0.993; ERA5 再分析资料的相对湿度产品年平均误差为-3.14%、平均绝对误差为 10.02%、相关性系数为 0.742,表明 2 种相对湿度产品相关性系数都在 0.7 以上,表明 2 种相对湿度产品在重庆均具有较好的适用性,但 HRCLDAS 的相对湿度准确率更高; 2 种产品较站点观测数据偏小, ERA5 再分析资料相对湿度产品误差偏大,说明 ERA5 再分析资料相对湿度产品误差波动较大。

2.1.1 不同数值相对湿度对比

重庆地处亚热带湿润季风气候区,属于高湿区,年平均相对湿度多在 70%~80%之间,通过计算得到 2021 年 10 月至 2022 年 9 月的年平均相对湿度为 76.39%。结合 2 种相对湿度产品的误差(图 2)和绝对误差在重庆地区的散点分布图(图 3),将站点观测的相对湿度数据按照 5 个等级分别对 2 种相对湿度产品的质量进行评估(表 1),可以看出,2 种相对湿度产品的误差和相对湿度观测数据呈相反关系。ERA5 再分析资料的相对湿度产品的平均绝对误差整体偏大,当相对湿度观测数据小于 30%时,产品数值明显偏大,平均误差和平均绝对误差均为 37.76%;当相对湿度观测数据在 30%~70%的区间时,产品数值整体偏大,而相对湿度在 50%~70%时,产品准确率更高;当相对湿度观测数据在 70%~90%的区间时,产品准确率最高;当相对湿度观测数据大于 90%以后,产品数值偏低趋势逐渐增大。HRCLDAS 的相对湿度产品整体质量更优,当相对湿度观测数据小于 30%时,产品数值整体偏大;当相对湿度观测数据在 30%~70%的区间时,产品数值整体略偏大,且准备率最高;当相对湿度观测数据大于 70%以后,产品数值整体略偏低;当相对湿度观测数据大于 90%以后,产品数值偏低趋势逐渐增大。



注：底图来源于重庆市规划和自然资源局
“重庆市标准地图服务”，审图号：渝 S(2020)071 号
图 1 重庆市地面空气湿度站点分布图

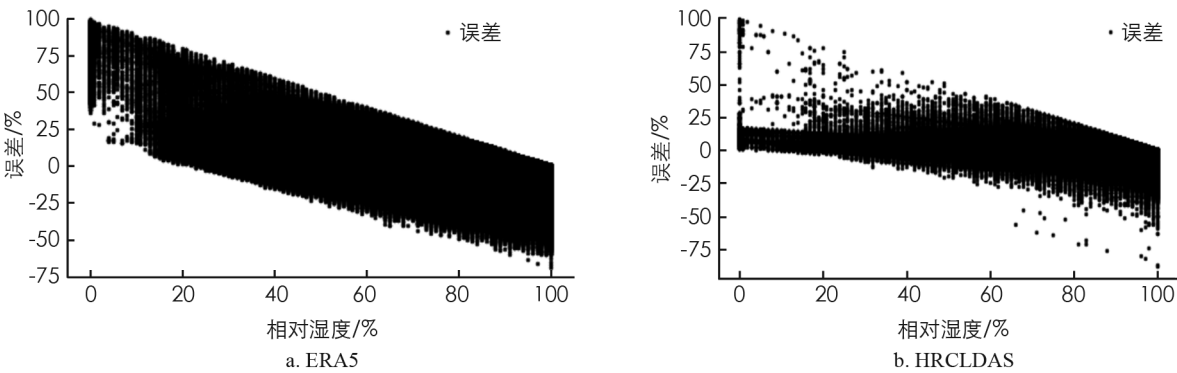


图 2 2 种相对湿度产品的误差在重庆地区的散点分布图

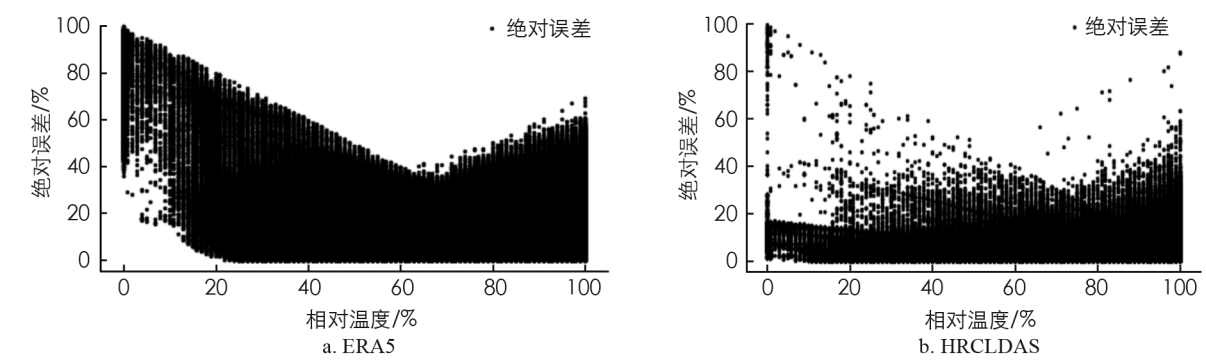


图 3 2 种相对湿度产品的绝对误差在重庆地区的散点分布图

表 1 2 种相对湿度产品在重庆地区不同相对湿度观测数据区间的质量对比评估结果

相对湿度	ERA5		HRCLDAS	
	ME/%	MAE/%	ME/%	MAE/%
$RH<30$	37.76	37.76	3.37	3.48
$30<RH<50$	12.49	12.88	0.49	0.90
$50<RH<70$	5.68	8.99	0.32	1.03
$70<RH<90$	-2.90	8.30	-0.10	1.01
$RH\geq 90$	-9.37	9.72	-0.51	0.72

2.1.2 不同海拔高度对比

重庆复杂多变的地形, 海拔落差大(73.1~2796.8 m), 同时兼有山地、丘陵、盆地和河谷等不同的地形地貌特征^[19], 因此在对比分析时将海拔高度分为: 小于 500 m、500~1 000 m、1 000~1 500 m、1 500 m 以上 4 级, 分别对 2 种相对湿度产品的质量进行对比评估. 结果表明: HRCLDAS 和 ERA5 再分析资料的相对湿度产品随着海拔的升高, 平均误差和平均绝对误差呈增大趋势. ERA5 再分析资料的相对湿度产品整体偏小; HRCLDAS 的相对湿度产品在低海拔地区偏大, 海拔高度大于等于 500 m 以后, 数据偏小(表 2).

表 2 2 种相对湿度产品在重庆地区不同海拔高度的质量对比评估结果

海拔高度/m	台站数量	ERA5		HRCLDAS	
		ME/%	MAE/%	ME/%	MAE/%
$h<500$	290	-2.26	9.76	0.02	0.85
$500<h<1\,000$	170	-2.69	9.37	-0.15	0.93
$1\,000<h<1\,500$	48	-4.12	9.92	-0.14	0.91
$h\geq 1\,500$	12	-6.08	11.62	-0.18	1.04

2.2 季际对比

针对不同季节, 分别对 2 种相对湿度产品进行评估分析发现, 2 种相对湿度产品均呈现明显的季节变化, ERA5 再分析资料的相对湿度产品质量总体表现为春季最优, 夏季次之, 冬季相对最差; 数据质量在秋冬季有一个明显的降低, 误差在-5%以上, 绝对误差在 10%以上; 冬季质量最差相关性系数为 0.628, 平均误差为-5.62%, 平均绝对误差为 11.03%. HRCLDAS 的相对湿度产品与 ERA5 略有不同, 总体表现为夏季最优, 春季次之, 冬季最差; 在夏季的时候质量最优, 平均误差为-0.04%, 平均绝对误差为 0.84%, 相关性系数为 0.995(表 3).

表 3 2 种相对湿度产品在重庆地区不同季节的质量对比评估结果

季节	ERA5		HRCLDAS		相关性系数	
	ME/%	MAE/%	ME/%	MAE/%	ERA5	HRCLDAS
春季	-0.72	9.78	-0.06	0.90	0.774	0.994
夏季	-0.83	9.12	-0.04	0.84	0.800	0.995
秋季	-5.37	10.14	-0.08	0.93	0.767	0.992
冬季	-5.62	11.03	-0.08	0.95	0.628	0.991

2.3 月际对比

对比分析 2 种相对湿度产品的逐月平均误差、平均绝对误差、全年月平均相对湿度的特点发现(图 4)，2 种相对湿度产品在重庆地区的逐月变化趋势与全年月平均相对湿度变化的情况基本一致，当月平均相对湿度升高，则 2 种相对湿度产品的质量同步提高；月平均相对湿度降低，2 种相对湿度产品的质量同步降低。2022 年 7 月至 2022 年 8 月，重庆遭受了自 1961 年有完整气象观测记录以来综合强度最强的高温天气过程，可以看出，7 月至 8 月的月平均相对湿度有一个明显的降低趋势，ERA5 再分析资料的相对湿度产品的平均偏差出现了偏大的情况；HRCLDAS 的相对湿度产品随着月平均相对湿度的降低其产品质量降低，随着月平均相对湿度的升高产品质量升高。

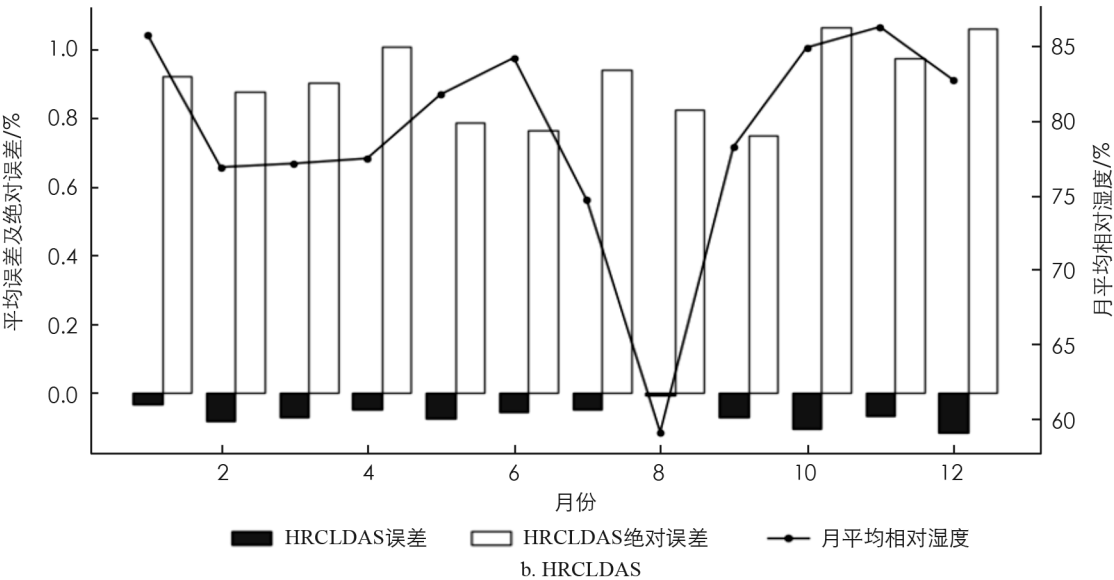
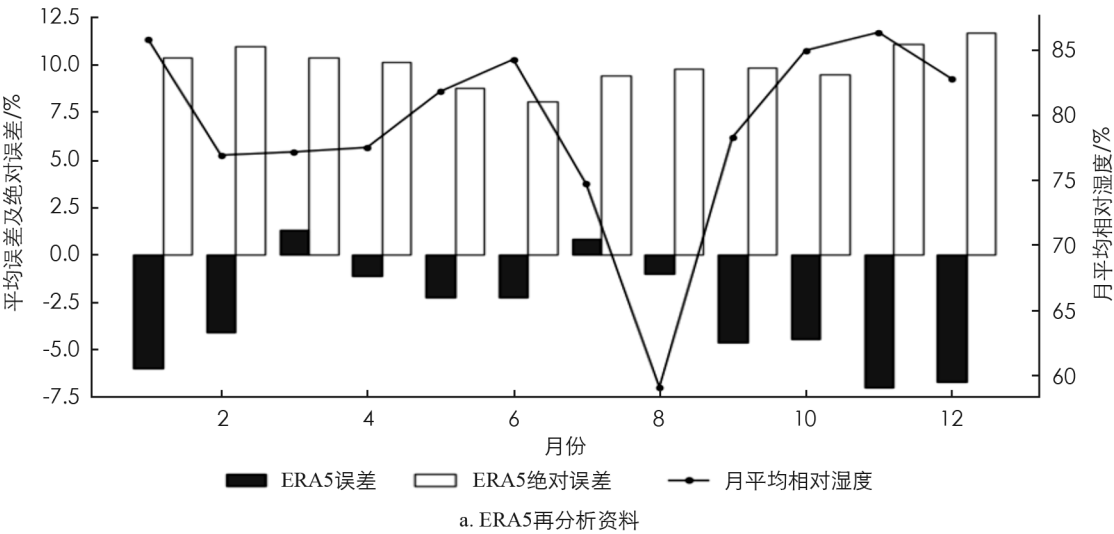


图 4 2 种相对湿度产品在重庆地区逐月平均误差、绝对误差和相对湿度分布图

2.4 日对比

分析 2 种相对湿度产品在重庆地区逐小时平均误差和平均绝对误差分布发现(图 5), ERA5 再分析资料的相对湿度产品的逐小时平均误差均为负值, HRCLDAS 的相对湿度产品的逐小时平均误差除 16 时以外均为负数, 16 时的平均绝对误差为 0.01%, 说明 2 种相对湿度产品的整体数值偏小. HRCLDAS 的相对湿度产品误差随时间的变化呈两头低、中间高的特点, 13 时和 17 时的绝对偏差在 1% 以上, 产品无明显的昼夜差别. ERA5 再分析资料的相对湿度产品误差随时间变化呈现两头高、中间低的特点, 且有较为明显的昼夜区分; 白天数据产品的质量要优于晚上, 下午数据产品质量为最优, 其中以 14 时至 16 时的数据产品质量最优.

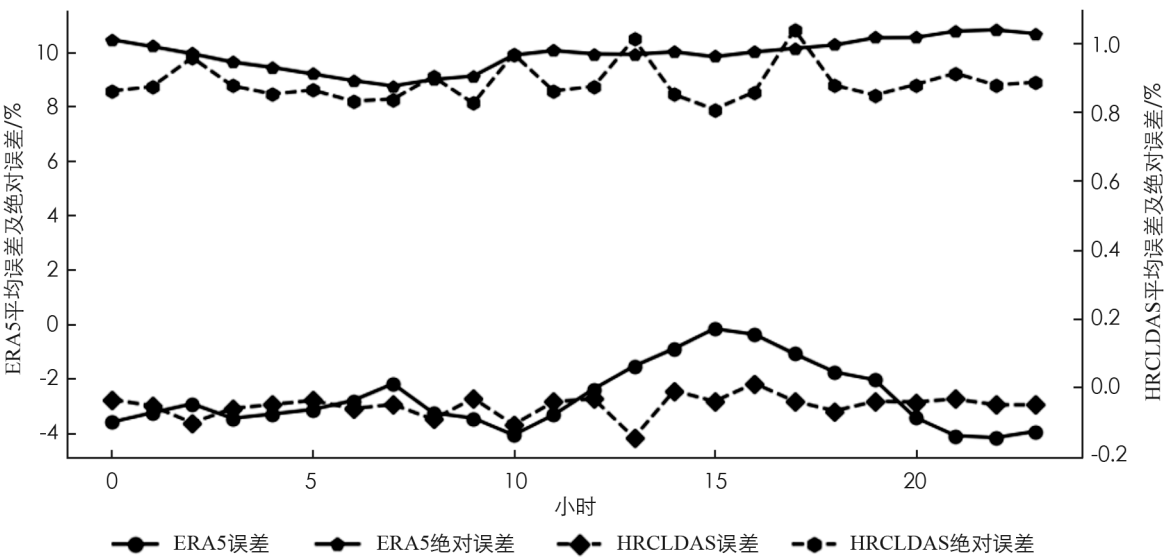


图 5 2 种相对湿度产品在重庆地区日逐小时平均误差和平均绝对误差分布图

3 结论与讨论

利用重庆 520 个地面气象观测站的相对湿度观测数据, 对 HRCLDAS 和 ERA5 再分析资料的相对湿度产品在重庆地区的适用性进行分析评估, 结论如下.

- 1) 2 种相对湿度产品在重庆地区具有较高的相关性, HRCLDAS 的相对湿度产品质量更优; 海拔高度的变化对 2 种相对湿度产品都具有较大的影响, 相对湿度产品随着海拔的升高, 数据质量降低.
 - 2) 针对不同相对湿度观测数值, 2 种相对湿度产品在重庆地区的质量有明显差异, 相对湿度越小或越大时, 2 种相对湿度产品的误差较大; 当相对湿度观测数据在 70%~90% 区间时, 2 种相对湿度产品的质量最优.
 - 3) HRCLDAS 的相对湿度产品随小时时间呈两头低、中间高的特点; ERA5 再分析资料的相对湿度产品质量随小时时间呈两头高、中间低的特点, 有较为明显的昼夜区分; 2 种相对湿度产品在重庆地区的逐月变化趋势与月平均相对湿度变化基本一致, 月平均相对湿度越高, 2 种相对湿度产品的质量越好.
- 总体来看, 2 种相对湿度产品空间分辨率存在差异, 但 HRCLDAS 相对湿度产品的空间分辨率、可信度更高; 用户在对产品进行使用时, 须根据个性需求进行选择. 但针对不同海拔、时次、月份、季节等条件, 2 种相对湿度产品都需进一步研究分析和优化, 只有不断提升质量才能更好地为产品的本地化应用提供保障和依据.

参考文献:

[1] 张克非, 李浩博, 王晓明, 等. 地基 GNSS 大气水汽探测遥感研究进展和展望 [J]. 测绘学报, 2022, 51(7): 1172-1191.
[2] WILLIAM D. GOSLING. Glacial-Interglacial Changes in Moisture Balance and the Impact on Vegetation in the Southern

- Hemisphere Tropical Andes (Bolivia/Peru) [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2008, 259(1): 35-50.
- [3] 杨会兵, 王晓蕾, 赵世军, 等. 露点测湿技术优势探究 [J]. *气象科技*, 2019, 47(4): 546-551.
- [4] 刘一玮, 王彦, 王庆元. 降水与相对湿度协同算法研究 [J]. *沙漠与绿洲气象*, 2021, 15(5): 49-54.
- [5] 卢爱刚. 全球变暖对中国区域相对湿度变化的影响 [J]. *生态环境学报*, 2013, 22(8): 1378-1380.
- [6] 韩帅, 师春香, 姜志伟, 等. CMA 高分辨率陆面数据同化系统(HRCLDAS-V_{1.0})研发及进展 [J]. *气象科技进展*, 2018, 8(1): 102-108, 116.
- [7] 师春香, 潘畅, 谷军霞, 等. 多源气象数据融合格点实况产品研制进展 [J]. *气象学报*, 2019, 77(4): 774-783.
- [8] 韦芬芬, 汤剑平, 王淑瑜. 中国区域夏季再分析资料高空变量可信度的检验 [J]. *地球物理学报*, 2015, 58(2): 383-397.
- [9] 马绎皓, 毛睿, 杨阳, 等. ERA5 再分析资料对甘肃省近地面风速气候特征及变化趋势再现能力的评估 [J]. *高原气象*, 2023, 42(1): 210-220.
- [10] 刘鸿波, 董理, 严若婧, 等. ERA5 再分析资料对中国大陆区域近地层风速气候特征及变化趋势再现能力的评估 [J]. *气候与环境研究*, 2021, 26(3): 299-311.
- [11] OSES N, AZPIROZ I, MARCHI S, et al. Analysis of Copernicus' ERA5 Climate Reanalysis Data as a Replacement for Weather Station Temperature Measurements in Machine Learning Models for Olive Phenology Phase Prediction [J]. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 2020, 20(21): 6381.
- [12] KOBAYASHI C, ENDO H, OTA Y, et al. Preliminary results of the JRA-55C, an atmospheric reanalysis assimilating conventional observations only [J]. *Scientific Online Letters on the Atmosphere: SOLA*, 2014, 10(1): 2014-2016.
- [13] KANAMITSU M, KISTLER R, REYNOLDS R. NCEP/NCAR Reanalysis and the Use of Satellite Data [J]. *Advances in Space Research*, 1997, 19(3): 481-489.
- [14] 渠鸿宇, 黄彬, 赵伟, 等. HRCLDAS-V_{1.0} 和 ERA5 海面风场对比评估分析 [J]. *热带气象学报*, 2022, 38(4): 569-579.
- [15] 耿姗姗, 韩春花, 徐珊珊, 等. ERA5 海面气压和风速再分析资料在渤海和北黄海适用性分析 [J]. *海洋通报*, 2023, 42(2): 159-168.
- [16] 宇婧婧, 沈艳, 潘畅, 等. 中国区域逐日融合降水数据集与国际降水产品的对比评估 [J]. *气象学报*, 2015, 73(2): 394-410.
- [17] 刘婷婷, 朱秀芳, 郭锐, 等. ERA5 再分析降水数据在中国的适用性分析 [J]. *干旱区地理*, 2022, 45(1): 66-79.
- [18] 史岚, 万逸波, 张狄, 等. CMPA 降水资料在中国地区不同地形下的精度评价研究 [J]. *气象科学*, 2018, 38(5): 616-624.
- [19] 张新科, 何跃, 程译萱, 等. 重庆地区复杂地形影响下地闪活动特征分析 [J]. *热带气象学报*, 2022, 38(5): 694-703.

责任编辑 胡杨