

蓝玉峰,侯君杏,黄嘉宏.三套再分析降水资料在华南地区的适用性评估[J].气象研究与应用,2020,41(2):14–20.

Lan Yufeng, Hou Junxing, Huang Jiahong. Applicability evaluation of three sets of reanalysis precipitation data in South China[J].

Journal of Meteorological Research and Application, 2020, 41(2): 14–20.

三套再分析降水资料在华南地区的适用性评估

蓝玉峰, 侯君杏, 黄嘉宏

(广西壮族自治区气象培训中心, 南宁 530022)

摘要: 利用 1980–2017 年观测站降水数据(OBS)为参照标准,对目前广泛应用的三套再分析资料,即 ERAI 资料、JRA-55 资料和 CFSR 资料在华南地区降水空间分布和年际变化的再现能力进行分析与评估。结果表明,不同资料对不同季节降水的再现能力存在显著差异,三者对降水年际变化的刻画都较为优秀,但对降水空间分布描述偏差较大,且在夏季最为明显;三者之间对比,ERA1 对春季和冬季降水时空变化表现能力较为优秀,但在秋季表现一般;CFSR 降水与实测时空相关性较好,但都存在降水系统性高估,在夏季最为严重,偏差达到 $5\text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$;JRA-55 对夏季和秋季降水刻画相对最佳,但对冬季降水存在高估。

关键词: 华南区域;再分析资料;降水评估

中图分类号: P459.9

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2020.2.03

OSID:



引言

传统台站观测资料具有时空分布不均匀、非长期连续、且在复杂地形区域(例如高山和荒漠)稀少等特性,因此难以满足天气和气候研究的需要。自上世纪 90 年代,数值预报产品通过资料同化技术与观测资料进行融合得到高质量、高时空分辨率、且长期连续的再分析资料。再分析资料的问世与发展,提高了气象工作者对大气运动规律的理解,推动了对气候变化和变率的诊断分析,为大气科学各类研究提供了强有力的数据支撑。与此同时,再分析资料作为区域数值预报模式的初始和边界资料,促进了模式的验证和发展,提高了对短期气象预报以及长期气候模拟能力。目前,全球主要国家和地区的研究机构,例如美国国家环境预测中心(National Centers for Environmental Prediction,简称 NCEP)和大气研究中心(National Center for Atmospheric Research,简称 NCAR)联合组织、美国国家航空航天局(National Aeronautics and Space Administration,简称 NASA)、欧洲中期天气预报中心(European

Centre for Medium-Range Weather Forecasts,简称 ECMWF)以及日本气象厅(Japan Meteorological Agency,简称 JMA),均提出了全球再分析资料计划并发布了相对应的数值产品。

再分析资料对地表变量(气温、降水、海平面气压等)还原能力的可信度检验,国内外已开展了较多评估与分析。许多研究已表明再分析资料能够描述区域乃至全球地表基本分布特征,但与实测相比仍存在一定局限性,并且不同再分析资料在不同区域对不同气象要素的不同方面表现呈现明显差异。例如,Mooney 等^[1]对几套再分析资料气温再现能力进行评估,发现每套资料均低估(高估)了海洋(陆地)上冬季气温。其中,ERA1 对冬季气温的描述效果优于 ECMWF 第二代 40a 再分析资料(ERA-40)和 NCEP/NCAR 第一代再分析资料(NCEP-1)。Decker 等^[2]指出具有更高时空分辨率且同化了卫星瞬时降水率的 NASA 现代回顾性再分析资料(MERRA),对近地表气温、风速、降水的描述虽优于 ERA-40、NCEP/NCAR 第二代再分析资料(NCEP-2)和 CFSR,却仍不及 ERA1。赵天保和符淙斌^[3]分析 ERA-40、

收稿日期: 2020-02-23

基金项目: 广西近十年强对流天气历史个例资料库(桂气科 2019TG03)、广西区气象局科研项目(桂气科 2020M20)

作者简介: 蓝玉峰(1990-),女,广西来宾人,硕士,助理工程师,主要从事台风预报研究、教育培训工作。

NCEP-2 两套再分析资料发现, 它们对中国区域地表温度的适用性显著优于降水。Liu 等^[4]指出再分析资料中海平面气压场的可信度也同样高于降水场。李建等^[5]研究表明: NCEP/美国能源部再分析资料(NCEP/DOE)、ECMWF 再分析资料(ERA)、日本气象厅再分析资料(JRA)均能再现中国大陆夏季降水量分布的主要特征, 但对暴雨的预报评分都非常低, 同时也存在高估弱降水, 低估强降水的问题。此外, Higgins 等^[6]指出, CFSR 相较于 NCEP-1 和 NCEP-2, 对美国区域大尺度降水模态的描述能力存在明显的提升, 但对降水强度和频率的评估却存在较大的偏差。

中国华南地区紧邻南海以及太平洋且有着较为复杂的下垫面, 因此伴随着强烈的海-陆-气交换。并且, 其位于气候变化敏感的南海季风区, 是全国雨量最充沛和气象灾害频发的地区之一。在全球变暖背景下, 华南地区极端降水发生频率明显增加, 其引发的洪涝灾害对社会造成巨大的经济损失^[7-9]。但是目前对不同降水资料在华南地区适用性的系统评估还较为缺乏。因此本文主要选取 ERAI(Dee 等^[10])、CFSR(Sara 等^[11])和 JRA-55(Ebita 等^[12])三套广泛使用的再分析资料, 通过与台站观测数据相对比, 探讨其对华南地区降水时空分布和年际变化的再现能

力, 探讨它们的异同点, 对其质量和可信度进行分析与评估。该研究有望对再分析资料在华南乃至中国降水再现能力的提高与改进提供参考, 并对今后研究时空演变规律再分析资料选择提供可靠的科学依据。

1 资料和方法

根据中国气候区划分方案并参考气候变化国家评估报告的区域划分方案, 确定华南区域主要包括广西、广东、海南 3 省和香港、澳门 2 个地区。对于观测数据, 从国家气象信息中心中国地面气候资料日值数据集中提取出华南地区 64 个地面气象站日降水数据(图 1, 香港和澳门地区无资料)。时间段为 1980 年 1 月到 2017 年 12 月, 总共 38a。对于再分析数据, 分别选取对应时间段的 NCEP 高精度再分析资料 CFSR、ECMWF 较为先进的 ERAI 数据, 以及 JMA 推出的第二代的再分析数据 JRA-55。三套再分析资料均下载于 NCAR Research Data Archive 网站。表 1 列出了以上三套再分析数据的主要参数信息。最后, 利用双线性插值将三套再分析数据以及站点观测数据均插值到水平分辨率为 0.1°的格点上, 进行对比计算与分析。

表 1 三套再分析数据的主要参数

数据名称	大气模式	同化方案	资料选取长度	水平分辨率
CFSR	T382, L64	3D Var	1980–2017	0.313° × 0.313°
JRA-55	T319, L60	4D Var	1980–2017	0.562° × 0.562°
ERA1	T255, L60	4D Var	1980–2017	0.703° × 0.702°

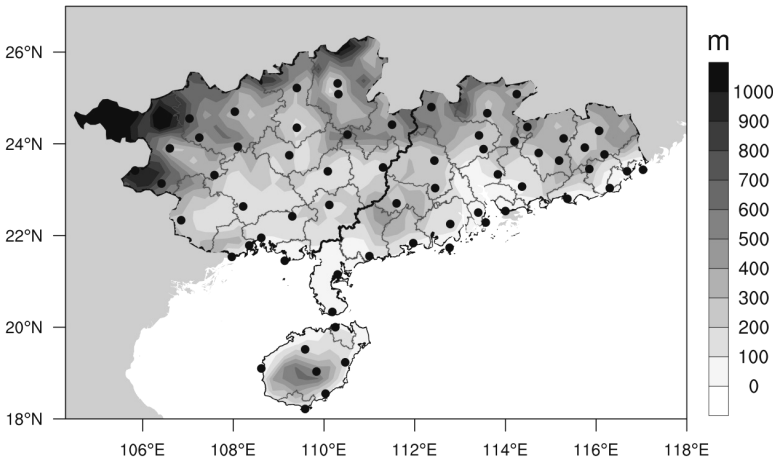


图 1 华南区域的台站分布(黑点标示)和海拔高度(单位:m)

泰勒图是一种可以表现标准差、均方根误差和相关系数三个指标的图，它能够将更多模式的相关信息集中表示，是应用于模式评估与检验的有效方法，能够将多个变量的标准差、与参考值的相关系数以及均方根偏差综合显示在一张二维图上，可以全面清晰反映多模式的模拟能力。下文将利用标准化的泰勒图来定量评估三类降水资料在华南地区的适用性。

2 空间分布

图 2 给出各套再分析资料华南地区春季平均降水空间分布与观测对比。华南春季降水主要呈东多西少的整体趋势，大值区位于广西东北部、广东中部及南部沿海地区，低值区位于华南西部。JRA-55 能有效表现出广东中部及南部沿海的降水大值中心，但在大值中心的范围和强度上存在明显高估（图

2b）。ERA-Interim 能再现广西东北部的降水大值区，但范围及强度都相较于观测值偏大。CFSR 的降水资料虽能反映出广西东北部以及广东中部的大值区，但存在一些分散的虚假大值中心，且降水量存在系统性高估。这可能与模式预报系统中降水物理过程的缺陷有关。需要指出的是，CFSR 资料对降水系统性高估已在全球多地被确认^[13-15]。例如，胡增运等^[13]对 CFSR 降水资料在中亚地区的适用性评估中也得出相同结论。通过空间泰勒图（图 3）进一步定量分析也可以看出，ERA-Interim 和 JRA-55 降水空间变化幅度与观测资料比较接近（平均标准差比值 σ 分别为 1.05、1.07），CFSR 则偏大（ σ 为 1.43）。三套资料与观测值的相关性也存在差异，其中 CFSR 相关性最高（0.83），ERA-Interim 次之（0.67），JRA-55 则最低（0.52）。总体而言，ERA-Interim 表现最为优秀。

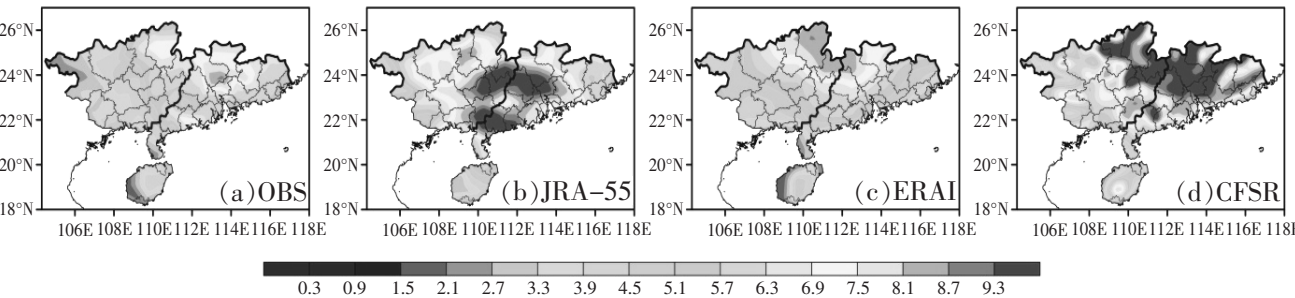


图 2 华南地区 1980–2017 春季平均降水空间分布
(a)观测资料；(b)JRA-55 资料；(c)ERA-Interim 资料；(d)CFSR 资料；单位： $\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$

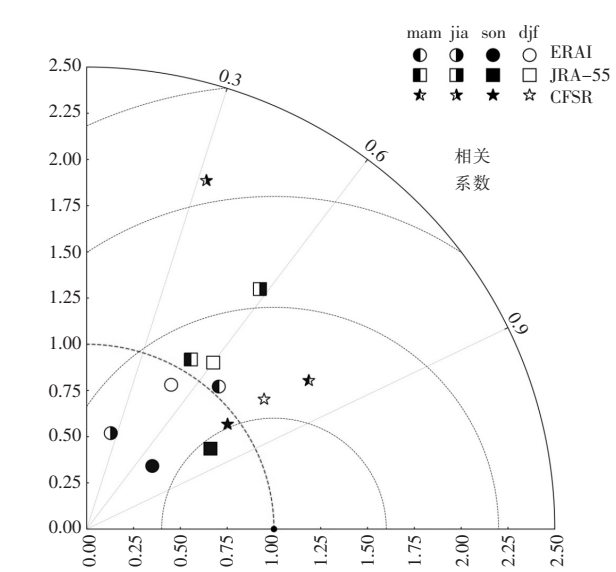


图 3 华南区域不同季节三套再分析资料
与观测资料降水量的空间泰勒图

对于华南区域夏季降水，其强度较春季有着明显的增强，降水中心主要分布在广西和广东南部沿海地区（图 4a）。通过图 4b–d 可以看出，JRA-55 能描述出广西、广东南部沿海地区的强降水中心，但范围偏大，同时在广西西部和海南西南部存在虚假大值中心。ERA-Interim 则在广西北部及海南南部呈现出不真实的大值区。而 CFSR 在两广（广东和广西）地区的降水量依旧存在整体高估的情况，其平均日降水量较实况偏大 5mm 左右，并在海南西南部存在虚假强降水中心。相较于春季，三套资料空间相关性明显降低，CFSR 和 ERA-Interim 与观测值的相关系数在 0.3 左右，从图 3 可得 JRA-55 相关性最高，也仅为 0.58。此外，ERA-Interim（CFSR 和 JRA-55）资料的空间离散度明显小（大）于实测。总的来说，三套再分析资料对华南夏季降水空间分布描述效果都不太理想，存在较大改进空间。

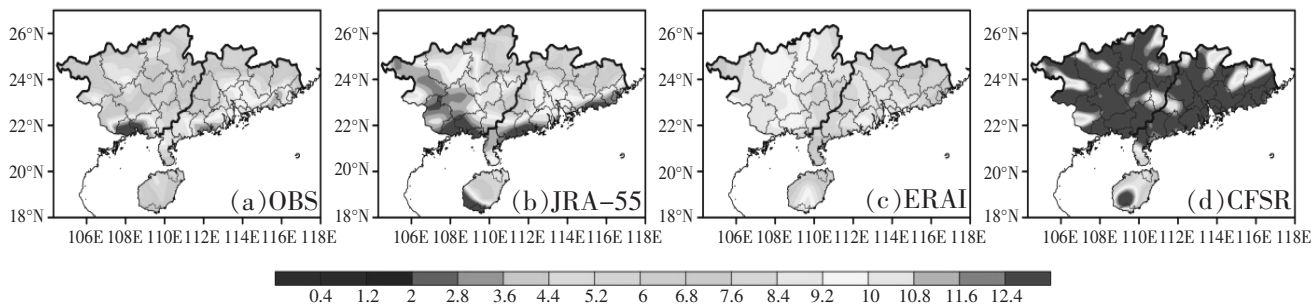


图4 华南地区 1980–2017 年夏季平均降水空间分布

(a)观测资料;(b)JRA-55 资料;(c)ERAI 资料;(d)CFSR 资料;单位: $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$

华南地区秋季降水呈现出自北向南逐渐增多的分布特征,强降水中心主要分布在海南省和广西、广东的沿海部分地区(图 5a)。三套资料可以基本再现秋季降水北少南多空间分布特征,其中 JRA-55 能较好地再现两广沿海地区以及海南省强降水中心,但对海南强降水区存在低估(图 5b)。而 ERAI 对整体降水表现较为平均,同时存在强降水中心偏弱的情况(图 5c)。CFSR 与观测值在海南省的降水具有很好的一致性,但对广东、广西两省的降水量仍然存在整体性高估(图 5d)。对于降水空间相关性,ERAI、JRA-55 和 CFSR 都与实测取得较好相关性,其相关系数分别为:0.72、0.84、0.8。此外,JRA-55 和 CFSR 资料与实况的标准差十分接近。相较于 CFSR,JRA-55 与参考点(横坐标上值为 1)距离更近,则体现出

其对华南降水更好的再现能力(图 3)。

对于华南区域冬季降水,其降水大值中心存在于华南北部(图 6a)。三套资料均能大致呈现出冬季降水整体分布特点。JRA-55 与 CFSR 资料在大值区范围和强度上均存在高估(图 6b、d),其中 CFSR 更为明显,且其空报了海南东部强降水中心。ERAI 资料可以反映出广西东北部的强降水中心,但遗漏了广东东北部的强降水大值区(图 6c)。从空间泰勒图(图 3)可知,三套资料降水空间离散度都与观测值接近,标准差比值分别为:0.9、1.13、1.18。CFSR 资料与实测空间相关性最好,相关系数达到 0.8。ERAI 和 JRA-55 相关性则较低,相关系数均为 0.5 左右。但 ERAI 均方根误差(RMSE)为三者最低(0.41)。

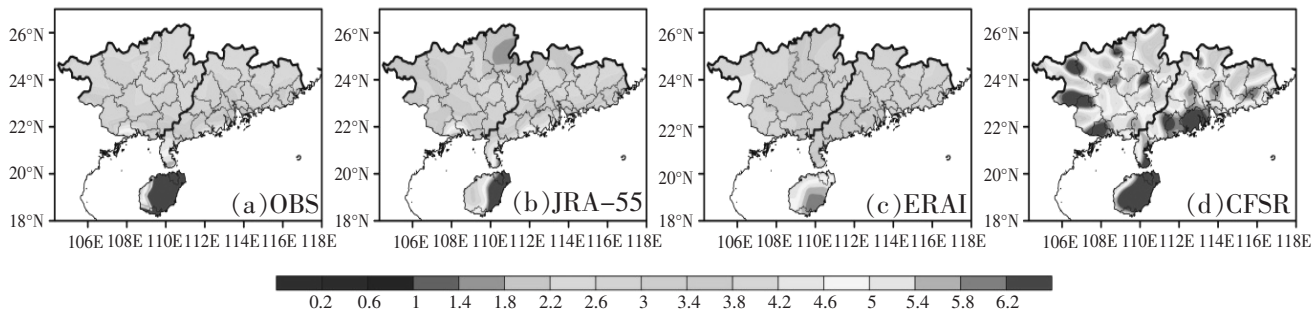


图5 华南地区 1980–2017 年秋季平均降水空间分布

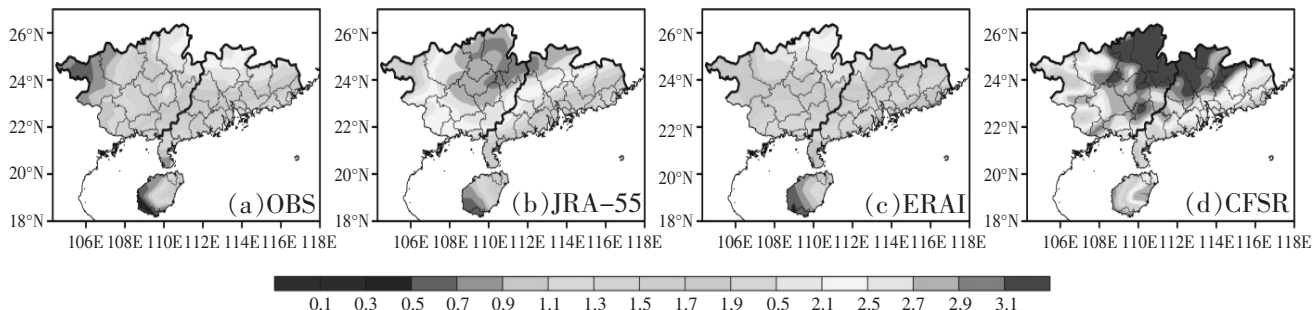
(a)观测资料;(b)JRA-55 资料;(c)ERAI 资料;(d)CFSR 资料;单位: $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 

图6 华南地区 1980–2017 年冬季平均降水空间分布

(a)观测资料;(b)JRA-55 资料;(c)ERAI 资料;(d)CFSR 资料;单位: $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$

3 年际变化

对于再分析资料再现华南地区降水能力的检验分析,除了降水空间分布,对其降水年际变化再现能力的评估也十分重要。图 7 给出了不同季节华南地区平均降水的年际变化再分析资料与观测对比的时间序列,其中黑色实线为观测值,从上至下分别对应春季、夏季、秋季和冬季。图 8 则通过泰勒图给出其定量化结果。

对于春季降水, ERAI、JRA-55 和 CFSR 降水量与观测值相比明显偏高,其中 CFSR 偏差最为明显。总体而言, ERAI 对降水年际变化描述结果最为优秀。与实测相比,其相关系数最高(0.83)且均方根误差最低 (RMSE,0.67), 标准差比率也较为接近 1 (1.14)。JRA-55 和 CFSR 则表现一般,相关系数分别为 0.75 和 0.79, RMSE 都大于 2, 标准差比率均在 1.5 左右。因此, ERAI 可以很好刻画华南春季降水年际变化。

在夏季, 三套资料均能表现出夏季降水的年际变化, 例如 1994 年的强降水于与 1989 年的弱降水

能得到良好体现。JRA-55 整体表现最为优秀, 与实测相关系数最高, 达到 0.91, RMSE 表现略差于 ERAI(1.1)为 1.4。 ERAI 整体表现也基本满意, 相关系数为 0.75。 CFSR 与实测相比, 虽然相关性还可以, 但是 RMSE 高达 5.6。再次说明了 CFSR 对华南降水存在系统性高估误差, 其中在夏季表现最为明显。

在秋季, 华南降水在 2004 年之后呈现明显的上升趋势。这点三套再分析都准确地捕捉到, 且很好地反映了降水的年际变化。 JRA-55 依旧表现最佳, 相关系数(0.94)与 RMSE(0.31)均得分最高。 ERAI 相关系数最低但也达到 0.83, RMSE 表现良好为 0.55。 CFSR 虽然相关性较高 (0.89), 但由于系统偏差, RMSE 仍旧最高(2.08)。整体而言, 三套资料对秋季降水的年际变化都有较好的描述能力。

冬季, 再分析数据降水量与观测值的年际变化趋势有很好的-一致性, 冬季降水年际变化整体平稳性与 1983 年的异常高值都得到很好体现。三套资料与观测相关系数都达到 0.9 以上。其中 ERAI 表现最为优秀, 与实测均方根误差仅为 0.28。 JRA-55 表

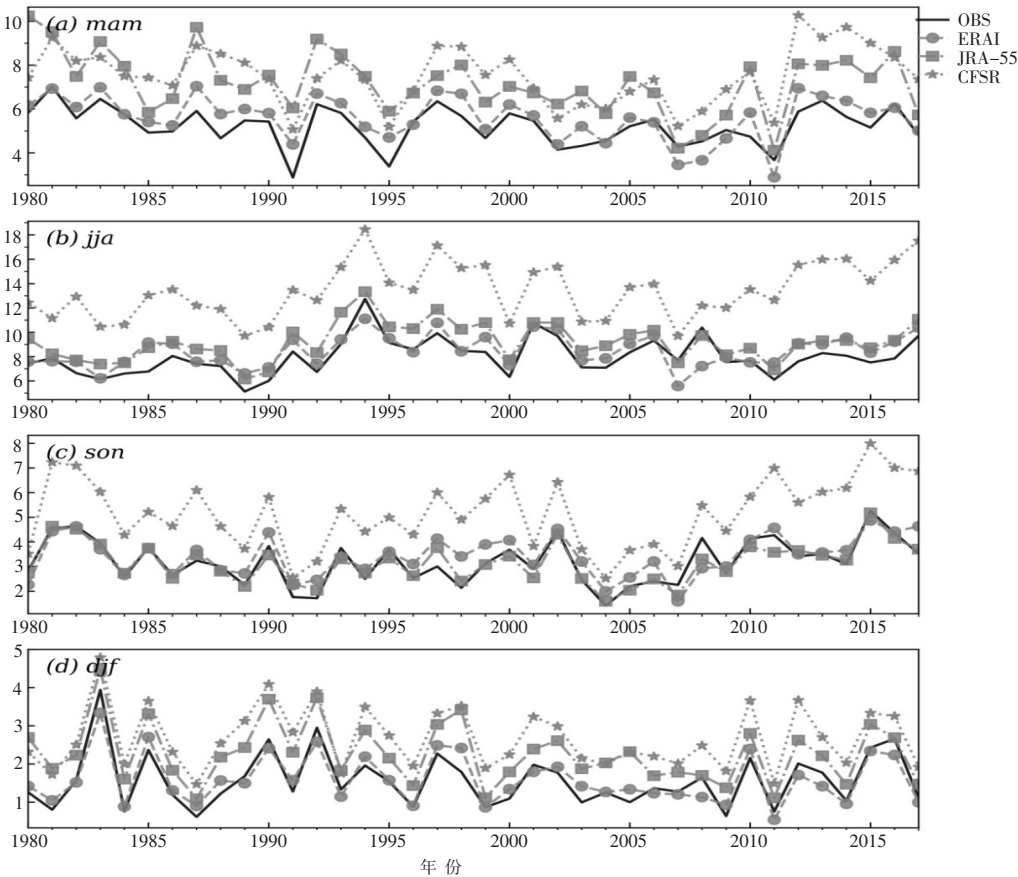


图 7 再分析资料与观测资料在华南地区不同季节平均日降水量年际变化
(横坐标:年份;纵坐标:降水量;单位:mm·d⁻¹;a-d:春、夏、秋、冬季)

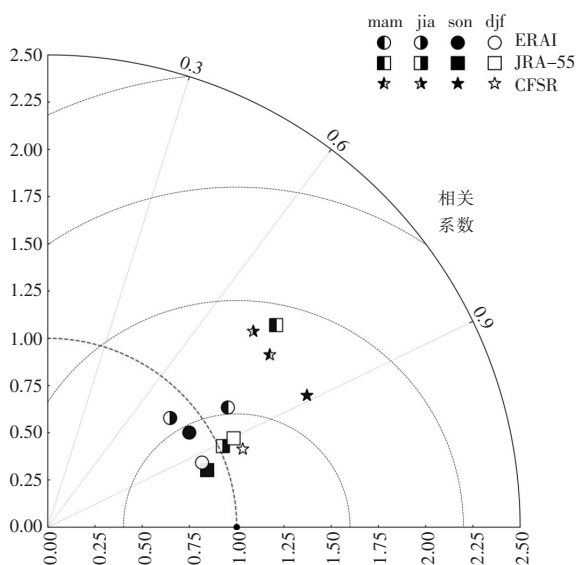


图8 华南区域不同季节三套再分析资料与观测资料降水量的时间泰勒图

现次之, 存在高估冬季降水的情况, RMSE 为 0.77。CFSR 虽然与实测相关性最佳(0.92), 但依旧存在整体高估。

4 结论与讨论

通过与 1980–2017 年台站降水资料比较, 对 ERAI、JRA-55 和 CFSR 等三套再分析资料对华南地区降水空间分布和年际变化的再现能力进行分析与评估。其中主要结论如下:

对于春季降水, ERAI 描述效果最为优秀, 其呈现降水的空间变化与年际变化都与实测最为接近。CFSR 对春季降水反映与实测相比, 虽时空相关性较高但存在明显系统性高估, 且该问题存在于所有季节。JRA-55 则整体表现一般, 对春季降水量和大值区存在高估。

对于夏季降水, 三套资料表现对降水空间分布描述都有所下降。相对而言, JRA-55 适用性最高, 其降水年际变化与实测相关性最佳, 为 0.91, 虽其与实测空间相关性也最高, 但也仅为 0.58。ERAI 对降水的时空呈现整体水平一般, 其空间相关性仅为 0.24。CFSR 对华南降水的系统性偏高在夏季最为明显, 与实测平均差值达到 $5\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ 左右。这可能与夏季极端降水事件更多以及夏季降水过程更复杂有关。

对于秋季降水, 三套资料表现均有所提升。JRA-55 整体表现与实测最为接近, 其时空相关系数最高且均方根误差最低。ERAI 表现较为平均, 与实

测相关性为三者最低。CFSR 虽与实测时空相关性较为优秀, 但整体表现受到系统性偏差影响。

对于冬季降水, 三套资料都有不错表现。CFSR 降水空间分布和年际变化与实测相关性都为最高, 其系统性偏差也稍微有所降低, 但仍无法忽略。ERAI 整体表现最优, 虽其空间相关性不够优秀, 但其年际变化与实测十分接近, 均方根误差低至 0.28。JRA-55 表现较为平均, 对冬季降水描述存在高估问题。

总体而言, 不同模式对华南降水不同季节的描述存在明显差异, 三套资料对降水年际变化再现能力明显优于对其空间分布的再现, 但总体仍存在明显不足(如 CFSR 整体系统性偏差), 这也体现出对应数值模式在降水相关的物理过程和数据资料同化处理方面仍存在改进空间。

参考文献:

- [1] Mooney P A, Mulligan F J, Fealy R. Comparison of ERA-40, ERA-Interim and NCEP/NCAR reanalysis data with observed surface air temperature over Ireland [J]. International Journal of Climatology, 2010, 31:487–632.
- [2] Decker M, Brunke M A, Wang Z, et al. Evaluation of the Reanalysis Products from GSFC, NCEP, and ECMWF Using Flux Tower Observations [J]. Journal of Climate, 2011, 25(6):1916–1944.
- [3] 赵天保, 符淙斌. 中国区域 ERA-40、NCEP-2 再分析资料与观测资料的初步比较与分析[J]. 气候与环境研究, 2006, 11(1):14–32.
- [4] Liu Z F, Xu Z X, Yao Z J, et al. Comparison of surface variables from ERA and NCEP reanalysis with station data over eastern China[J]. Theoretical & Applied Climatology, 2011, 107(3–4):611–621.
- [5] 李建, 宇如聪, 陈昊明, 等. 对三套再分析资料中国大陆地区夏季降水量的评估分析[J]. 气象, 2010, 36(12):1–9.
- [6] Higgins R W, Kousky V E, Silva V B S, et al. Intercomparison of Daily Precipitation Statistics over the United States in Observations and in NCEP Reanalysis Products [J]. Journal of Climate, 2010, 23(17):4637–4650.
- [7] 吴林, 覃峥嵘, 黄大贞, 等. 华南区域季节性降水的差异分析[J]. 气象研究与应用, 2009, 30(3):5–11.
- [8] 肖伟军, 陈炳洪, 刘云香. 近 45a 华南夏季降水时空演变特征[J]. 气象研究与应用, 2009, 30(1):12–14.
- [9] 黄永新. 华南汛期降水趋势的特征及预报方法的初步研究[J]. 气象研究与应用, 2000, 21(S1):43–47.
- [10] Dee D, Uppala S, 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.
- [11] Sara S, Moorthi S, Pan H L, et al. The NCEP climate forecast system reanalysis[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2010, 91(8):1015–1057.
- [12] Ebata A, Kobayashi S, Ota Y, et al. The Japanese 55-year Reanalysis “JRA-55”: An Interim Report [J]. SOLA, 2011(7):149–152.
- [13] 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(4):132–140.
- [14] Blacutt L A, Herdies D L, De G L G G, et al. Precipitation comparison for the CFSR, MERRA, TRMM3B42 and Combined Scheme datasets in Bolivia[J]. Atmospheric research, 2015(163):117–131.
- [15] Tan M L, Gassman P W, Cracknell A P. Assessment of three long-term gridded climate products for hydro-climatic simulations in tropical river basins [J]. Water, 2017, 9(3):229.

Applicability evaluation of three sets of reanalysis precipitation data in South China

Lan Yufeng, Hou Junxing, Huang Jiahong

(Guangxi Meteorological Training Center, Nanning 530022)

Abstract: Using the 1980–2017 observation station precipitation data (OBS) as a reference standard, the reproducibility in the spatial distribution and interannual variation of precipitation of the three sets of reanalysis data, which are currently widely used (ERA-Interim data, JRA-55 data and CFSR data), was analyzed and evaluated. The results showed that there were significant differences in the ability of different data to reappear precipitation in different seasons. All of them have excellent descriptions of the interannual variation of precipitation, but the spatial distribution of precipitation deviate greatly, especially in summer. ERA-Interim has a better performance on the spatial-temporal variation of spring and winter precipitation, but in autumn the performance is general; the correlation between CFSR and the measured spatial-temporal results is high, but there is systematic overestimation of precipitation, which is the most serious in summer, with a deviation of $5 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$; JRA-55 has the best description of summer and autumn precipitation, but overestimates winter precipitation.

Key words: South China; reanalysis data; precipitation evaluation