

基于NMME对海南岛降水可预报性及预报技巧评估

姚梦娜¹, 汪家楠²

¹国家海洋局海口海洋环境监测中心站, 海南 海口

²海南省儋州市气象局, 海南 儋州

Email: 1049337464@qq.com

收稿日期: 2021年4月25日; 录用日期: 2021年5月21日; 发布日期: 2021年5月28日

摘要

本文采用北美多模式集合(NMME) 1982年至2010年5个模式的月平均降水回报数据, ERA5再分析月平均降水数据进行验证, 评估了单个模式及简单多模式集合对海南岛区域降水的预报技巧和潜在可预报性, 并研究两者之间的关系。受台风、暴雨等强对流影响, 夏季是海南岛降水最集中的季节, 对当地农业影响巨大, 造成经济损失, 因此特别对NMME模式在海南岛夏季降水的预报技巧进行了分析。发现各模式的潜在可预报性均明显高于模式预报技巧, 说明对降水预测仍有较好提高空间, CFSv2预报技巧优于其他单个模式, 距平相关系数为0.52, CM2.2和CanCM4的预报技巧较差, 距平相关系数分别为0.25、0.20, 随着预见期的增加, 各模式的预报技巧均有所下降。简单集合平均的预报技巧处于最优模型和最差模型之间, 距平相关系数为0.48。此外, 进一步研究潜在可预报性和预报技巧之间的关系, 发现存在一定的线性关系, 潜在可预报性较高的模式其预报技巧也相对较高, 比如CFSv2、CESM1、CCSM4, 两者之间存在正相关关系。针对海南岛夏季降水的预报技巧研究, 发现所有模式对海南岛北部及中部地区具有较好的预报技巧, 而南部地区均较差, 同时均方根误差也较大。具有较低预报技巧的CM2.2, 其均方根误差也是所有模式中最大的, CFSv2对海南岛北部及中部地区具有较高的预报技巧, 仍然高于其他模式, 均方根误差也具有类似的空间分布, 简单集合平均介于中间。

关键词

预报技巧, 降水, 潜在可预报性, NMME

Evaluation of Precipitation Prediction and Forecast Skills in Hainan Island Based on NMME

Mengna Yao¹, Jianan Wang²

¹State Oceanic Administration Haikou Marine Environment Monitoring Center Station, Haikou Hainan

²Danzhou Meteorological Bureau, Danzhou Hainan

Email: 1049337464@qq.com

Received: Apr. 25th, 2021; accepted: May 21st, 2021; published: May 28th, 2021

Abstract

In this paper, five models, the hindcast monthly Precipitation from North American Multimodel Ensemble (NMME) during 1982 to 2010. and compared with ERA5 reanalysis monthly mean precipitation data to verify the prediction ability of each model and multimodel ensemble mean for regional precipitation in Hainan Island, evaluate their potential predictability. Affected by typhoons and rainstorms, precipitation in Hainan Island is most concentrated in summer, which has a great impact on local agriculture and causes economic losses. The forecast skill is lower than the potential predictability, indicates significant room for improvement Precipitation forecasting. CFSv2 forecast skill is higher to other single models. The AC is 0.52. The forecast skill of CM2.2 and CanCM4 is lower than other models, with the AC of 0.25 and 0.20 respectively. With the increase of the lead time, the forecast skill of each model is decreased. The ensemble mean forecast skill is between the best model and the worst model, the AC is 0.48. Here are statistically significant linear relationships between forecast skill and predictability for NMME models, where models with higher predictability also have higher forecast skill, such as CFSv2, CESM1, CCSM4. According to the research on the forecasting skills of summer precipitation in Hainan Island, it is found that all single model have better forecasting skills for the northern and central parts of Hainan Island, while the southern part is poor, the RMSE is larger in the south and northwest of Hainan Island, but smaller in the middle of Hainan Island. The CFSv2 has a high forecasting skill for the northern and central parts of Hainan Island, which is still higher than other models. The RMSE of CFSv2 also has a similar spatial distribution, and the Ensemble mean is in the middle.

Keywords

Predictability, Forecast Skill, Precipitation, NMME

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着全球变暖,暴雨等降水极端事件频发,造成农作物损失,严重制约当地经济发展。海南岛地处我国最南端,作为我国唯一的热带岛屿,属于热带海洋性季风气候,降水具有明显的季节变化[1]。其中夏季多为台风暴雨过程,陆桂荣等[2]研究发现1966~2013年海南产生的台风暴雨概率达到92.3%。就2019年,海南省气候评价报告统计,受1912号台风“杨柳”(强热带风暴级)影响,海南岛出现一次强降水过程,全省受灾人数2.38万人,房屋倒塌1间,农作物受灾面积16.73公顷,直接经济损失470.2万元。而海南岛年均受热带风暴、台风影响年均可达8~9次,最多可达11次[3]。作为农业大省,极端降水直接影响当地农作物生产,造成城市内涝和洪灾,导致交通瘫痪,带来严重的经济损失,甚至威胁人们的生命安全。因此,深入认识降水的可预报性不仅有助于提高降水预测能力,且预测产品用于早期预警,

对当地政府决策和防灾减灾具有重要意义。潜在可预报性基于“完美”模型假设, 在气候模型中降一个成员模型作为“观测”, 验证剩余模型(被作为预测)相关性来定义[4]。赵晓川[5]等发现我国冬季降水潜在可预报性相对高于夏季。Ma [6]等对中国区域气象干旱潜在可预报性及预报技巧研究发现两者之间存在正相关关系, Yao [7]等对中国土壤湿度潜在可预报性研究中也发现同样的相关关系。本文针对海南岛地区降水可预报性进行研究, 并探讨两者之间的关系。

2. 资料及方法

2.1. 模式资料

由美国、加拿大等众多部门支持, 包括美国国家海洋和大气管理局(NOAA)、美国国家航空航天局(NASA)等启动了北美多模式集合(North American Multi model Ensemble)季节到年际尺度预报计划[8], 并相继得到了发展。NMME 是多个海陆气耦合模式组成的季节预测系统, 分为 Phase-I 和 Phase-II 两个阶段, Phase-I 主要为季节到年际尺度预报, Phase-II 主要为季节内尺度预报发展。本文选用 NMME5 个耦合模式的月平均降水回报数据, 分别为 CMC/CanCM4, NCAR/CCSM4, NCAR/CESM1, GFDL/CM2.2, NCEP/CFSv2 (表 1 所示)。时间范围是 1982 至 2010 年, 分辨率为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$, 为了方便与验证资料做对比, 对所有数据双线性插值成 $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$, 为了进一步研究季节变化, 又进行了季节平均处理。

Table 1. NMME Phase-I model is selected in this paper

表 1. 本文选用的 NMME Phase-I 模式

| 模式名称 | 单位机构 | 空间分辨率 | 时间(月) | 集合成员 | 预见期(月) |
|--------|-----------|-------------|-----------|------|---------|
| CanCM4 | CMC | 1° | 1982~2010 | 10 | 0.5~5.5 |
| CCSM4 | NCAR | 1° | 1982~2010 | 10 | 0.5~5.5 |
| CESM1 | NCAR | 1° | 1982~2010 | 10 | 0.5~5.5 |
| CM2.2 | NOAA/GFDL | 1° | 1982~2010 | 10 | 0.5~5.5 |
| CFSv2 | NOAA/NCEP | 1° | 1982~2010 | 24 | 0.5~5.5 |

2.2. 验证资料

本文选用欧洲中期天气预报中心(ECMWF)在 2017 年最新发布的第五代再分析数据(ERA5)作为模式验证数据。ERA5 在降水资料处理方面的最大特色在于其 4VARD 同化系统。再分析资料有效弥补了观测台站数据时空分布不均匀的不足之处, 目前已有众多学者研究了 ERA5 在中国的适用性, 比如朱景[9]等评估了 ERA5 再分析气温数据在浙江省的适用性, 发现 ERA5 再分析资料与观测值较为接近, 可以较好的重现气温的时空分布特征, 孟宪贵[10]利用山东省及周边 10 个站点地面及高空观测资料, 发现 ERA5 再分析数据在该地区也有较好的适用性。叶梦姝[11]对 ERA5、CRA-interim、JAR-55 三种再分析逐 3 小时降水资料与中国地面气象站逐小时观测资料对比, 对其在中国区域的适用性进行了对比分析, 发现 ERA5 从降水技巧评分、真实技巧评分、漏报率和空报率表现最优, 在华南、西南、东南沿海地区, 三套再分析资料模拟的降水强度和观测资料相近。目前 ERA5 降水数据也得到了一些实际应用, 如韩东丽等[12]利用 ERA5 再分析降水数据分析了大渡河流域降水时空变化特征, 刘星辉[13]利用 ERA5 再分析降水数据分析了重庆市北碚区的两次暴雨过程。本文选取 1982 至 2011 年 ERA5 月平均降水数据, 分辨率为 $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$, 同样进行了季节平均处理。

2.3. 研究方法

距平相关系数(Anomaly correlation, AC)可度量两组数据之间空间相位差[14], 能较好的反应预报场与观测场的相关程度, 已被广泛应用于评估模式的潜在可预报性及预报技巧。

$$AC(m,l) = \frac{\sum_s \sum_j X(s, j, m, l) Y(s, j, m, l)}{\left[\sum_s \sum_j X(s, j, m, l)^2 * \sum_s \sum_j Y(s, j, m, l)^2 \right]^{1/2}} \quad (2.1)$$

公式(2.1)中 $X(s, j, m, l)$ 表示模式降水预测值, $Y(s, j, m, l)$ 为验证值。S 表示空间格点数, j 表示时间, m 是目标季节, 本文共计算了 12 个季节, l 表示预报时长。本文采用 t 检验[14], 提出原假设 $H_0: \rho = 0$, 确定 0.05 的显著性:

$$t = \frac{(r - \rho) \sqrt{n - 2}}{\sqrt{1 - r^2}} \quad (2.2)$$

其次, 对五个模式进行了简单集合平均, 公式如下:

$$NMME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i) \quad (2.3)$$

公式 2.3 中, N 表示集合的模式个数, F_i 是第 i 个模式的预测值。

3. 结果分析

表 2 是 1982 年至 2010 年 NMME 的 5 个模式在海南岛 12 个季节平均预见期为 0 (既从当前季节开始, 往后三个月预测) 的季节平均降水潜在可预报性及预报技巧。由于样本量较大(共 51972 个), 因此表中所有 AC 值均通过了 0.05 的显著性检验。表中黑色加粗的数值即是各模式自身验证的潜在可预报性, 范围在 0.49~0.62 之间, 其中 CanCM4 潜在可预报性表现最优, 各模式潜在可预报性均高于单个模式(表中未加黑的数值), 表明其对降水的可预测性仍有较大的改进空间。最右列斜体加粗的数值表示各模式成员模型集合平均的预报技巧, CFSv2 的预报技巧最高, 底部 NMMEens 表示 5 个模式简单集合平均的预报技巧为 0.48, 发现处于最优模型 CFSv2 与最差模型 CanCM4 之间, 说明简单集合平均对提高季节预报技巧并没有很大的贡献, 应寻求更优的多模式集合方法。另外除 CanCM4 和 CM2.2 模式外, 发现其余潜在性较好的模式其预报技巧也较好, 两者之间是否存在某种关系有待进一步研究。

Table 2. Seasonal Precipitation Predictability and Forecast Skill Over Hainan island at Lead0 Seasons during 1982~2010
表 2. 海南岛 Lead0 Season 平均降水潜在可预报性和预报技巧(1982~2010 年)

| Lead0-Season | CanCM4 | CCSM4 | CESM1 | CM2.2 | CFSv2 | ERI |
|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| CanCM4 Ens | 0.62 | 0.24 | 0.30 | 0.32 | 0.15 | 0.20 |
| CCSM4Ens | 0.46 | 0.49 | 0.41 | 0.35 | 0.36 | 0.45 |
| CESM1 Ens | 0.37 | 0.33 | 0.56 | 0.30 | 0.31 | 0.42 |
| CM2.2Ens | 0.40 | 0.31 | 0.36 | 0.61 | 0.16 | 0.25 |
| CFSv2 Ens | 0.37 | 0.31 | 0.34 | 0.20 | 0.48 | 0.55 |
| NMMEens & ERI = 0.48 | | | | | | |

与表 2 相比较, 表 3 是 1982 年至 2010 年预见期为 1 (既从当前季节的前一个月开始, 往后三个月预测) 的季节平均降水的潜在可预报性及预报技巧。随着预报时长的增加, 各模式的潜在可预报性和预报技巧

均有所下降, 预报技巧表现最好的 CFSv2, 较 Lead0 season 预报技巧下降了 5%, 但简单集合平均并未有显著下降, 说明简单集合平均对于更长预见期的预报技巧提高或许更有用。

针对前两个表的结果, 进一步探讨了研究潜在可预报性和预报技巧之间的关系, 图 1 展示了 NMME5 个模式在四个预见期季节平均降水预报技巧和潜在可预报性的关系。图中数值表示所有模式可预报性和预报技巧的相关关系, 在四个不同的季节预见期内, 相关系数分别为 0.40, 0.43, 0.41, 0.39, 均通过了 0.05 的显著性检验, 具有统计学意义, 表明两者之间整体上是存在一定的正相关关系。随着预见期增加, 相关性随之下降, 且发现尤其在 Lead2-Season 的季节预测中相关性表现最好。

Table 3. Seasonal precipitation predictability and forecast skill over Hainan island at Lead1 Season saduring 1982~2010
表 3. 海南岛 Lead1 Season 平均降水潜在可预报性和预报技巧(1982~2010 年)

| Lead1-Season | CanCM4 | CCSM4 | CESM1 | CM2.2 | CFSv2 | ERI |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| CanCM4 Ens | 0.54 | 0.22 | 0.15 | 0.27 | 0.22 | 0.18 |
| CCSM4 Ens | 0.39 | 0.42 | 0.32 | 0.26 | 0.39 | 0.44 |
| CESM1 Ens | 0.34 | 0.32 | 0.47 | 0.26 | 0.35 | 0.44 |
| CM2.2 Ens | 0.40 | 0.29 | 0.24 | 0.51 | 0.19 | 0.25 |
| CFSv2 Ens | 0.36 | 0.26 | 0.27 | 0.15 | 0.47 | 0.52 |

NMMEens & ERI = **0.48**

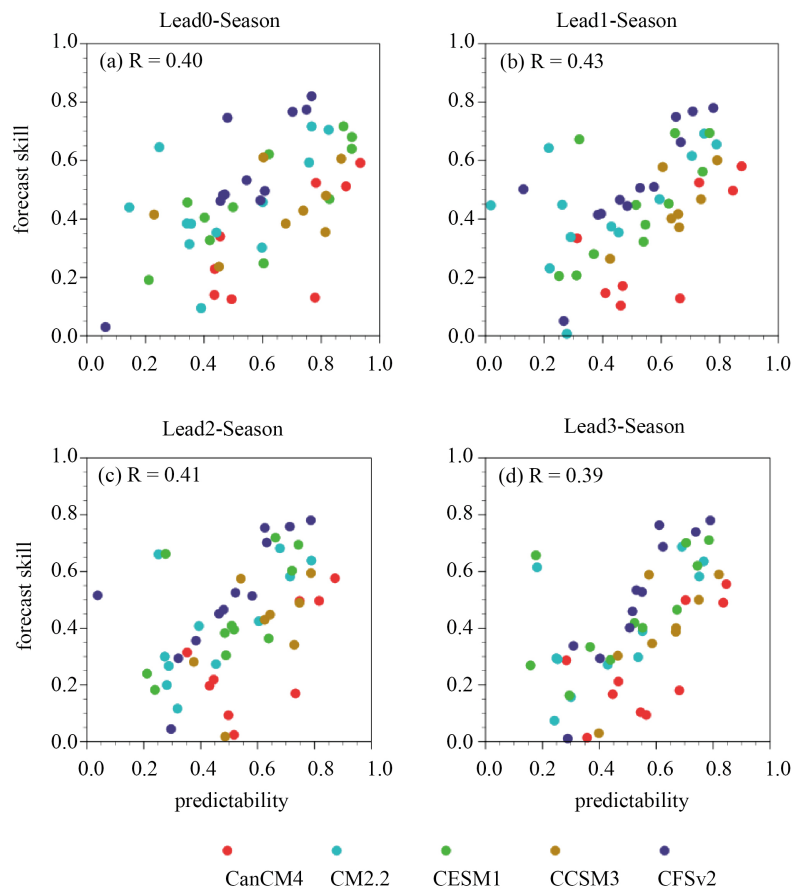


Figure 1. Seasonal mean precipitation predictability (x-axis) versus forecast skill (y-axis) in terms of AC at different lead time

图 1. 海南岛不同预见期季节平均降水潜在可预报性及预报技巧关系

夏季作为海南岛的降水最多的季节, 因此对海南岛夏季各模式的预报技巧进行评估, 从空间分布图上来看(图 2 所示), 发现所有模式对海南岛北部的预报技巧明显高于南部地区, CFSv2 对海南岛中部及北部地区的预报技巧较好, 也是所有单个模式中预报技巧最优的, 与表 1 结果类似。所有模式对海南岛南部地区的预报技巧均表现较差, 简单集合平均 NMME 仍介于最优模型与最差模型之间。

除了相关性分析, 进一步计算了各模式的均方根误差。图 3 展示了海南岛夏季预见期为 0 的季节平均降水的均方根误差, 从整体空间分布来看, 均方根误差均较大, 或许是因为气候模式和再分析资料本身的系统偏差影响了降水精度, 或者模式对海南岛夏季台风等极端天气影响导致的局地短时强降水过程

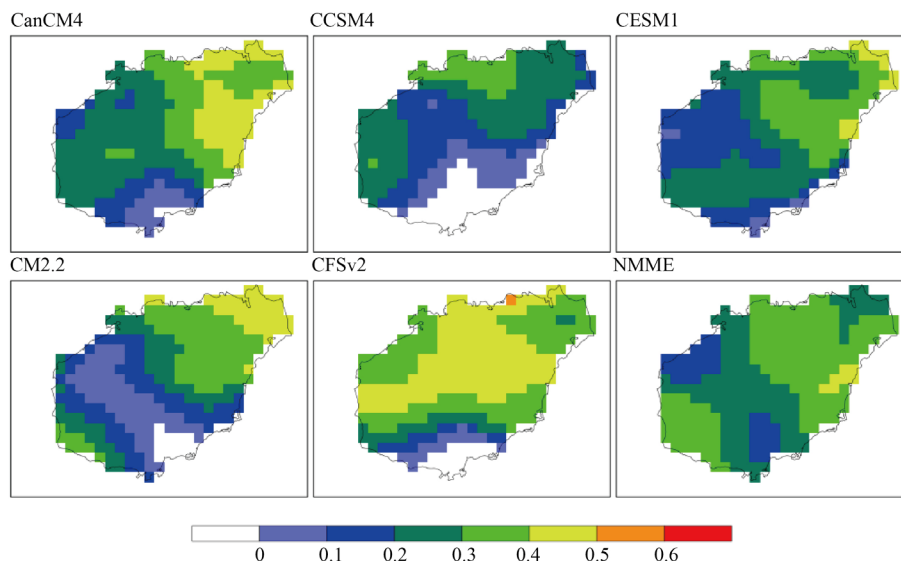


Figure 2. Seasonal mean precipitation forecast skill verified against ERA5 over Hainan island during JJA at lead0 season

图 2. 海南岛夏季 Lead0-Season 季节平均降水预报技巧

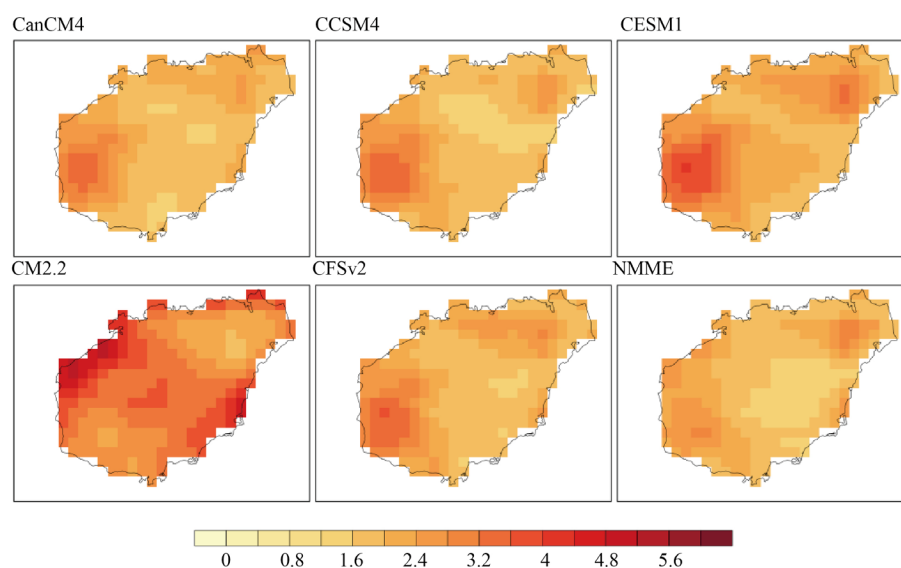


Figure 3. Seasonal mean precipitation RMSE verified against ERA5 over Hainan island during JJA at lead0 season

图 3. 海南岛夏季 Lead0-Season 季节平均降水与 ERA5 的均方根误差

变率较大, 导致模拟性能较差等。图中所有模式在海南岛东南地区的均方根大于东北地区, CM2.2 模式的均方根误差较其他模式最大, 西北到东南地区均方根误差均较大, 其相关性也差, 与图 2 相对应。对于预报技巧表现相对较好的 CFSv2 模式, 其中部地区均方根较低, 该区域的相关性也较高一点(图 2)。简单集合平均由于几个模式在空间上的互补性, 其均方根误差介于最优和最差模式之间, 若采用其他优化的集合方法(非等权重), 有望能进一步降低均方根误差。

4. 总结与讨论

本文基于 NMME 中 5 个海陆气耦合模式, 利用 1982~2010 年月平均降水回报数据, 评估其对海南岛季节降水的潜在可预报性及预报技巧, 并针对夏季进行研究, 发现:

1) 各模式的潜在可预报性均明显高于模式预报技巧, 说明对降水预测仍有较好提高空间, CFSv2 预报技巧优于其他单个模式, 简单集合平均由于每个模式具有相同的权重, 故其预报技巧处于最优模型和最差模型之间。

2) 进一步研究潜在可预报性和预报技巧之间的关系, 发现存在线性关系, 潜在可预报性较高的模式其预报技巧也相对较高, 比如 CFSv2、CESM1、CCSM4, 因此两者之间是具有一定的正相关关系。

3) 针对海南岛夏季降水的预报技巧研究, 发现所有模式对海南岛北部及中部地区具有较好的预报技巧, 而南部、西南地区较差, 其中 CFSv2 对海南岛北部及中部地区具有较高的预报技巧, 仍然高于其他模式, 同时 CFSv2 在中部地区也具有较低的均方根误差, CM2.2 整体预报技巧最低, 其均方根误差较其他模式最大, 尤其是西南偏西和南部地区。简单集合平均无论是预报技巧还是均方根误差均介于最优及最差模型之间。

多模式集合能减少模式的不确定性, 因此得到广泛应用。为进一步提高预报技巧, 有众多学者不断探索多模式集合预测方法, 目前常用的通过多元线性回归计算每个模式权重从而进行多模式集合, 以及优化模式权重方法等集合等方法值得进一步尝试。此外, 再分析资料对局地极端降水模拟存在一定的误差, 模拟能力有限, 存在一定的局限性, 这也是气象学术领域无数学者努力突破的难点。未来将结合气象站点数据及 GPCP、CRU 等资料进一步全面准确的对 NMME 海陆气耦合模式的预报技巧和潜在可预报性进行探讨。

参考文献

- [1] 吕梅, 姚瑶, 刘爽. 海南持续性暴雨过程的特征分析[C]// 中国气象学会年会. 2011.
- [2] 陆桂荣, 王文, 郑美琴, 等. 海南台风暴雨的时空分布特征[J]. 大气科学学报, 2015, 38(5): 710-715.
- [3] 陈君, 陈秋波. 海南岛主要气象灾害分析及防灾减灾对策[J]. 热带生物学报, 2007, 13(2): 24-28.
- [4] Becker, E., Dool, H.V.D. and Zhang, Q. (2014) Predictability and Forecast Skill in NMME. *Journal of Climate*, **27**, 5891-5906. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00597.1>
- [5] 赵晓川. 中国月、季平均温度和降水量的潜在可预报性估计[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京信息工程大学, 2008.
- [6] Ma, F., Yuan, X. and Ye, A.Z. (2015) Seasonal Drought Predictability and Forecast Skill over China. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, **120**, 8264-8275. <https://doi.org/10.1002/2015JD023185>.
- [7] Yao, M.N., Yuan, X., et al. (2018) Superensemble Seasonal Forecasting of Soil Moisture by NMME. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, **38**, 2565-2574. <https://doi.org/10.1002/joc.5436>
- [8] Kirtman, B.P., Min, D., Infanti, J.M., et al. (2014) The North American Multimodel Ensemble: Phase-1 Seasonal-to-Interannual Prediction; Phase-2 toward Developing Intraseasonal Prediction. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **95**, 585-601. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-12-00050.1>
- [9] 朱景, 袁慧珍. ERA 再分析陆面温度资料在浙江省的适用性[J]. 气象科技, 2019, 47(2): 289-298.

- [10] 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.
- [11] 叶梦姝. 中国大气再分析资料降水产品在天气和气候中的适用性研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州大学, 2018.
- [12] 韩东丽, 蔡宏珂. 大渡河流域降水的时空变化特征分析[J]. 地球科学前沿, 2020, 10(9): 18.
- [13] 刘星辉. 重庆市北碚区两次暴雨天气过程对比分析[J]. 自然科学, 2020, 8(5): 15.
- [14] Wilks, D.S. (1995) *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences: An Introduction*. Academic Press, Cambridge, 467 pp.