

董晓云,余锦华,梁信忠,等. CWRf 模式极端降水模拟误差订正. 应用气象学报,2020,31(4):504-512.  
DOI: 10.11898/1001-7313.20200412

# CWRf 模式极端降水模拟误差订正

董晓云<sup>1)2)</sup> 余锦华<sup>1)\*</sup> 梁信忠<sup>1)3)</sup> 王琛<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>(南京信息工程大学气象灾害教育部重点实验室/气象灾害预报预警与评估协同创新中心,南京 210044)

<sup>2)</sup>(河北省气象台,石家庄 050021)

<sup>3)</sup>(美国马里兰大学地球系统多学科中心,马里兰 20740)

<sup>4)</sup>(河南省许昌市气象局,许昌 461000)

## 摘 要

基于 1980—2015 年 6—8 月 CWRf 模式(Climatc-Weather Research and Forecasting model)14 种方案的模拟结果和全国逐日降水观测资料,对比了 Q-lin, Q-tri, RQ-lin, RQ-tri, SSP-lin 和 CDFt 6 种误差订正方法对 CWRf 模式控制化方案(C1)模拟中国东部夏季日极端降水的订正效果,以 CWRf 模式 14 种方案日极端降水的模拟效果排名为基础,对比了模拟效果较好的 4 种方案集合、模拟较差的 4 种方案集合以及 14 种方案集合的订正效果,选出相对较好的订正方案进一步评估其成员集合后订正和成员分别订正后再集合的订正效果,结果表明:采用 6 种误差订正方法均可明显减少日极端降水模拟误差,其中 RQ-lin 方法订正效果最佳。CWRf 模式对中国东部的极端降水指数均表现出较好的模拟能力,不同参数化集合方案得到 14 种方案成员先订正再集合与观测日极端降水平均值最为接近,研究结果对于改进模拟结果、提高其预测能力有重要应用价值。

关键词: CWRf; 极端降水; 模拟评估; 误差订正

## 引 言

极端降水常伴随洪涝等灾害的发生,对社会生产、经济安全、生态环境系统和人身安全等诸多方面造成巨大影响,受到极大关注<sup>[1-5]</sup>。准确预测极端降水特征,做好灾害的防御工作是当前极端气候变化研究的热点和难点。

气候模式是极端气候变化模拟和预测研究的重要手段,由于区域气候模式具有更高分辨率、物理参数化方案的局地性表现更合适,使模式对区域气候变化具有较好的模拟和预测能力。CWRf 模式是在 WRF 模式基础上改进并丰富了诸多物理参数化过程的区域气候模式<sup>[6-8]</sup>,目前已经用于国家气候中心的业务预报试验中。由于中国复杂的气候环境和

模式固有缺陷,预测与观测之间仍存在误差<sup>[9]</sup>,因此,完善物理过程和参数化方案,并用合适的方法订正模式结果误差,有助于提高模拟的准确性和预报的可信度。

## 1 资料与方法

### 1.1 模式和资料

CWRf 模式以 EIR(ECMWF Interim reanalysis)驱动,输出场采用 30 km 网格距的东西向 232 格点、南北向 172 格点的兰伯特投影。CWRf 为每一个关键的物理过程(包括陆面过程(地面、河流)行星边界层、积云对流过程、微物理过程、辐射过程等)集成全面的交替参数化方案。

本文以 CWRf 控制化方案 C1 为基础<sup>[6]</sup>,C1 方

2020-02-05 收到,2020-04-28 收到再改稿。

资助项目:国家重点研究发展计划“重大自然灾害监测预警与防范”重点专项(2018YFC1507704),国家自然科学基金项目(41575083),国家气候中心中国精细化区域气候预测系统研发项目(NCC2016013),南京大气科学联合研究中心北极阁开放研究基金(NJCAR2016ZD03)

\* 通信作者,邮箱:jhyu@nuist.edu.cn

案中微物理过程采用 GSFCGCE 参数化方案<sup>[10]</sup>, 积云对流过程采用 ECP&UW 参数化方案<sup>[11-13]</sup>, 每次仅置换 C1 方案中积云对流参数化方案 ECP&UW 为 KFeta<sup>[14]</sup>, BMJ<sup>[15]</sup>, Grell<sup>[16]</sup>, NSAS<sup>[17]</sup>, Donner<sup>[18]</sup> 和 Emanuel<sup>[19]</sup> 之一, 或置换 C1 方案中微物理参数化方案 GSFCGCE 为 Lin<sup>[20]</sup>, WSM6<sup>[21]</sup>, Etamp-new<sup>[8]</sup>, Thompson<sup>[22]</sup>, Thompson-aero<sup>[23]</sup>, Morrison<sup>[24]</sup> 和 Morrison-aerosol<sup>[8]</sup> 之一, 其他参数化方案保持与 C1 方案一致从而得到 13 种组合方案(表 1)。选取 C1 方案和 13 种方案模拟 1980—2015 年 6—8 月中国地区逐日降水场, 将中国 2416 个气象台站 1980—2015 年 6—8 月的逐日降水观测资料插值到 CWRf 网格上, 将模拟结果和观测资料统一划分为建模时期(1980—1996 年)和验证时期(1997—2015 年)。此外模式将中国大陆分为 11 个区域<sup>[6]</sup>, 分别为华南、华中、华北、东北、内蒙古、西南、藏东、藏南、藏西、南疆和北疆。由于中国东部降水量大且极端降水出现概率高, 伴随危害大, 因此本文特选华北、华中、华南 3 个东部区域进行模拟评估和误差订正研究。

表 1 CWRf 模式参数化方案组合

Table 1 Parameterization schemes of CWRf

方案	积云对流参数化	微物理过程参数化
C1	ECP&UW	GSFCGCE
C2	KFeta	GSFCGCE
C3	BMJ	GSFCGCE
C4	Grell	GSFCGCE
C5	NSAS	GSFCGCE
C6	Donner	GSFCGCE
C7	Emanuel	GSFCGCE
C8	ECP&UW	Lin
C9	ECP&UW	WSM6
C10	ECP&UW	Etamp-new
C11	ECP&UW	Thompson
C12	ECP&UW	Thompson-aero
C13	ECP&UW	Morrison
C14	ECP&UW	Morrison-aerosol

1.2 方法

1.2.1 极端指数的定义

本文从世界气象组织(WMO)针对气候监测和变化提出的 27 个极端气候核心指标中筛选出 3 种有关降水的指数(表 2), 分别为降水强度、暴雨日数和强降水量。另定义 2 种与极端降水相关的极端指数, 分别是第 95 百分位降水量和极端降水贡献率,

表 2 极端降水指数

Table 2 Extreme rainfall indices

指数名称	缩写	定义	单位
降水强度	SDII	总降水量/有雨日数	mm · d <sup>-1</sup>
暴雨日数	R50	日降水量不低于 50 mm 的日数	d
第 95 百分位降水量	P95	日降水量在第 95 百分位的值	mm
强降水量	R95P	日降水量大于第 95 百分位值的总降水量	mm
极端降水贡献率	R95T	超过第 95 百分位降水量之和占总降水量的百分率	%

用于评估 CWRf 模式模拟极端降水的效果。

1.2.2 评估指标

采用泰勒评分  $S$  定量评估模式极端降水模拟能力<sup>[25]</sup>, 公式如下,

$$S = \frac{4(1+R)^4}{(\hat{\sigma}_t + 1/\hat{\sigma}_t)^2(1+R_0)^4} \quad (1)$$

式(1)中,  $R$  是模拟与观测的相关系数,  $R_0$  是模拟与观测可能取得的最大相关系数, 当模式方差接近观测方差(即  $\hat{\sigma}_t$  趋近于 1), 同时  $R$  无限趋近于  $R_0$ , 表示模式效果与观测接近一致。

$M_2$  指数用于评估模拟气候场每一个格点上时间序列相对于该格点上观测时间序列的年际变率的差值, 主要以标准差衡量, 公式如下:

$$M_2 = \left( \frac{D_m}{D_o} - \frac{D_o}{D_m} \right)^2 \quad (2)$$

式(2)中,  $D_m$  和  $D_o$  分别是模拟和观测的标准差。 $M_2$  越接近于 0, 表示模拟年际变率的能力就越强, 当  $D_m$  和  $D_o$  相同时,  $M_2$  等于 0<sup>[26-27]</sup>。

1.2.3 误差订正方法

国内外学者围绕模式误差订正进行了一系列研究, 包括简单的线性订正到基于概率分布以及空间场的订正<sup>[28-34]</sup>, 目前基于概率分布的订正方法较为常用, 通过对比模拟与观测的累积概率分布函数构建传递函数进行订正(TF 方法), 根据构建概率分布函数和传递函数的不同, TF 方法可以有多种扩展延伸。本文采用多种非参数化传递法对极端降水

的模拟进行订正。

Q-lin 方法是基于经验累积分布函数,该方法认为模式模拟降水  $X_c$  与观测降水  $Y_c$  两者的经验累积概率分布函数相等,即

$$F_m(X_c) = F_o(Y_c), \quad (3)$$

从式(3)得到观测和模拟降水的传递函数:

$$Y_c = F_o^{-1}(F_m(X_c)). \quad (4)$$

其中,  $F_m(X_c)$  是建模时期的模式降水对应的经验累积分布,  $F_o(Y_c)$  为同时期观测降水对应的经验累积分布,拟合传递值之间的插值类型选择线性插值,应用该传递函数可得到验证时期订正后降水。

本文其他 5 种订正方法与 Q-lin 方法类似,区别是 RQ-lin 方法选择局部线性最小二乘回归拟合观测与模拟的经验累积分布函数, SSP-lin 方法使用三次光滑样条拟合模拟和观测的分位数关系, Q-tri 方法和 RQ-tri 方法选择的是单调三次样条插值方法拟合传递值, CDFt 方法则考虑了模拟与观测的累积概率分布随时间的变化<sup>[35]</sup>。

本文的误差订正方法计算基于 R 语言 Qmap 程序包进行。

## 2 不同误差订正方法的比较

针对 CWRf 模式 C1 方案,给出模拟的中国东部夏季日极端降水平均值及经 6 种方法订正后与观测值的空间分布,由图 1 看到,经过 6 种方法订正后的 C1 方案日极端降水平均值误差有所减少,其中 RQ-lin 方法和 Q-lin 方法的订正结果与观测较为接

近, CDFt 方法和 SSP-lin 方法订正结果与观测误差较大,表 3 给出了 C1 方案日极端降水平均值经 6 种方法订正后与观测值的相关系数和均方根误差的区域平均值, C1 方案模拟与观测的相关系数为 0.66, 均方根误差为 13.27, 6 种方法订正结果相比模拟均有改进,其中 RQ-lin 方法订正后与观测的相关系数达到 0.82, 均方根误差减小为 10.03。对 6 种订正方法订正后与观测日极端降水平均值的相关系数和均方根误差进行区域平均排名可以得到,相关系数和均方根误差排名趋势一致,从日极端降水量的平均值的订正看,订正效果好坏依次是 RQ-lin 方法、Q-lin 方法、RQ-tri 方法、Q-tri 方法、CDFt 方法和 SSP-lin 方法。在各种方法均有较好订正效果的同时, RQ-lin 方法表现更为突出,因此, RQ-lin 方法被

表 3 验证时期 CWRf 模式 C1 方案模拟的日极端降水平均值经 6 种方法订正后与观测值的区域相关系数以及均方根误差

Table 3 Regional correlation coefficient and root mean square error of daily extreme precipitation mean from observation to revision of CWRf control scheme(C1) under 6 methods in validation period

订正方法	相关系数	均方根误差
Q-lin	0.81	10.29
Q-tri	0.78	11.64
RQ-lin	0.82	10.03
RQ-tri	0.80	10.75
SSP-lin	0.67	18.76
CDFt	0.73	15.77

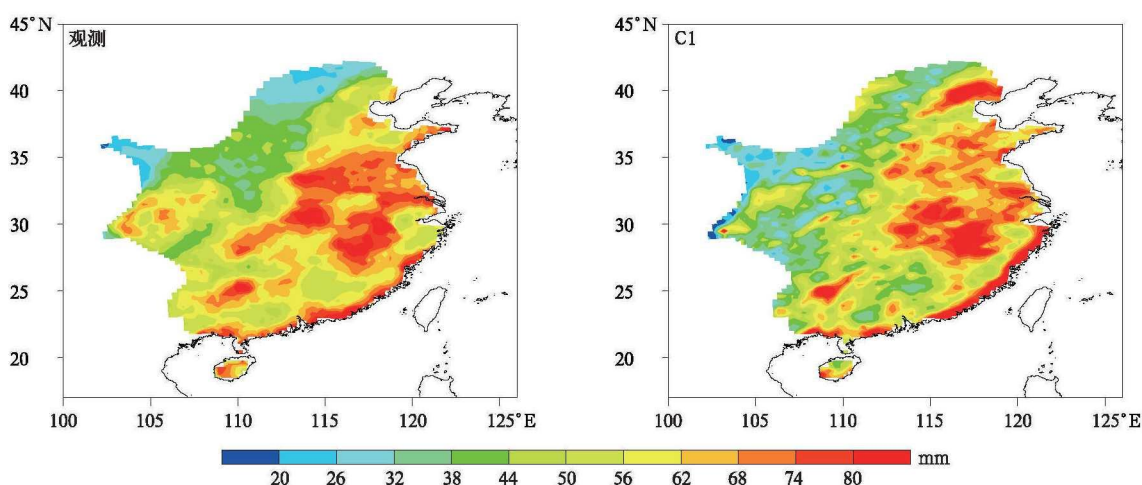
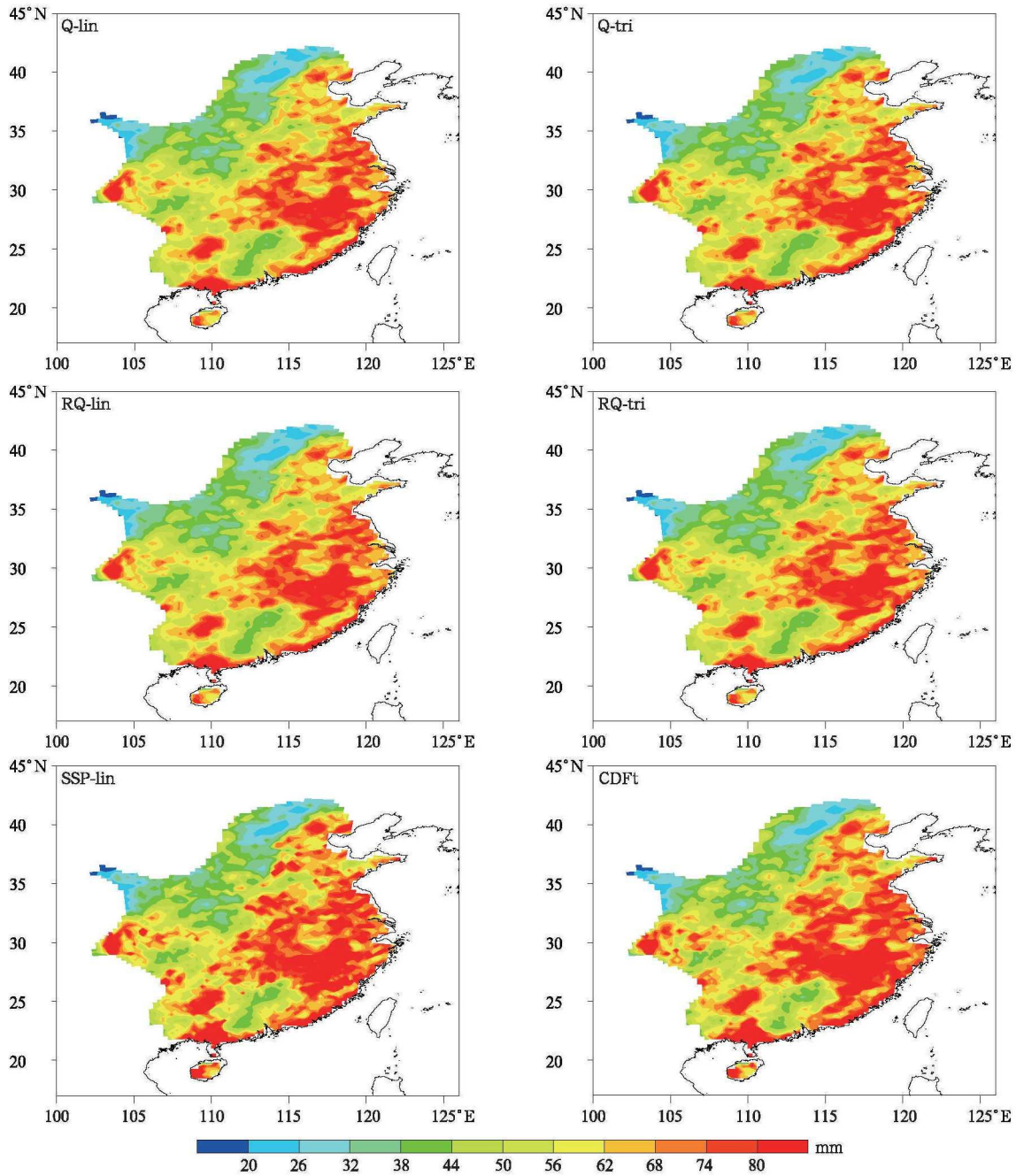


图 1 验证时期 CWRf 模式 C1 方案日极端降水平均值及经 6 种方法的订正值与观测值

Fig. 1 Daily extreme precipitation from observation and simulation by CWRf control scheme(C1) with its revision under 6 methods in validation period



续图 1

选为中国东部地区夏季日极端降水模拟误差订正最佳方法,用于下文订正不同方案集合的研究。

### 3 RQ-lin 方法订正不同方案集合的比较

#### 3.1 订正方案的选取

本文选取 CWRF 模式模拟效果较好的 4 种方案集合、模拟效果较差的 4 种方案集合以及 14 种方案集合作为订正对象进行研究。首先评估 CWRF

模式 14 种方案日极端降水的模拟能力,5 个极端指数在华北、华中和华南 3 个区域的平均泰勒评分如图 2 所示,泰勒评分越接近于 1,说明模拟效果越好。由图 2 可见,不同方案对 5 种极端指数的模拟结果存在显著差异,同一极端指数在 14 种方案间的表现也不一致,总体来说,强降水量 R95P 和极端降水贡献率 R95T 的模拟效果优于其他极端指数,降水强度 SDII 的模拟能力较差,将每种方案 5 种极端指数的泰勒评分进行分析并排名(图略)可以看出,

C13,C14,C1 和 C9 方案对极端指数模拟能力的刻画较为突出,C4,C6,C7 和 C5 方案则相对较差。

为了评估 CWRF 模式对华北、华中和华南 3 个区域日极端降水在时间变率上的模拟能力,不同方案极端指数区域平均的  $M_2$  指数见图 3, $M_2$  指数越接近于 0,则模式模拟极端降水的时间变率效果越好,总体来说,第 95 百分位数降水量 P95、强降水量 R95P、暴雨日数 R50 和降水强度 SDII 的  $M_2$  指数较低,除个别方案以外基本不超过 10,这 4 种极端

指数的时间变率模拟效果相对较好,但极端降水贡献率 R95T 的  $M_2$  指数在不同方案间差距大,C7 方案  $M_2$  指数误差最大,C11,C12,C13 和 C14 方案相对较小,但基本没有对时间变率的模拟能力, $M_2$  指数较低的极端指数在不同方案之间的表现也有差距。综合 5 种极端指数,定性判断,C3 和 C6 方案  $M_2$  指数偏大,对时间变率的模拟能力较差,C13, C14 方案对于 5 种极端指数的时间变率均有不错的模拟效果。

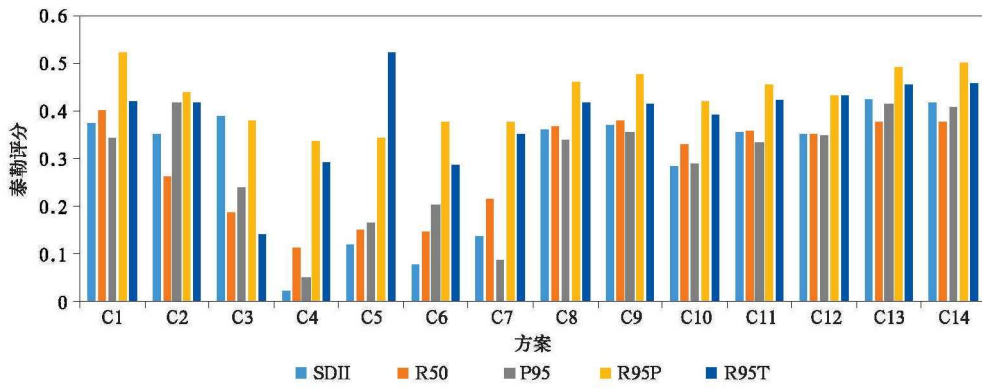


图 2 CWRf 模式 14 种方案下 5 种极端降水指数的泰勒评分

Fig.2 Taylor score for 5 simulated extreme indices of 14 parameterization schemes of CWRF Model

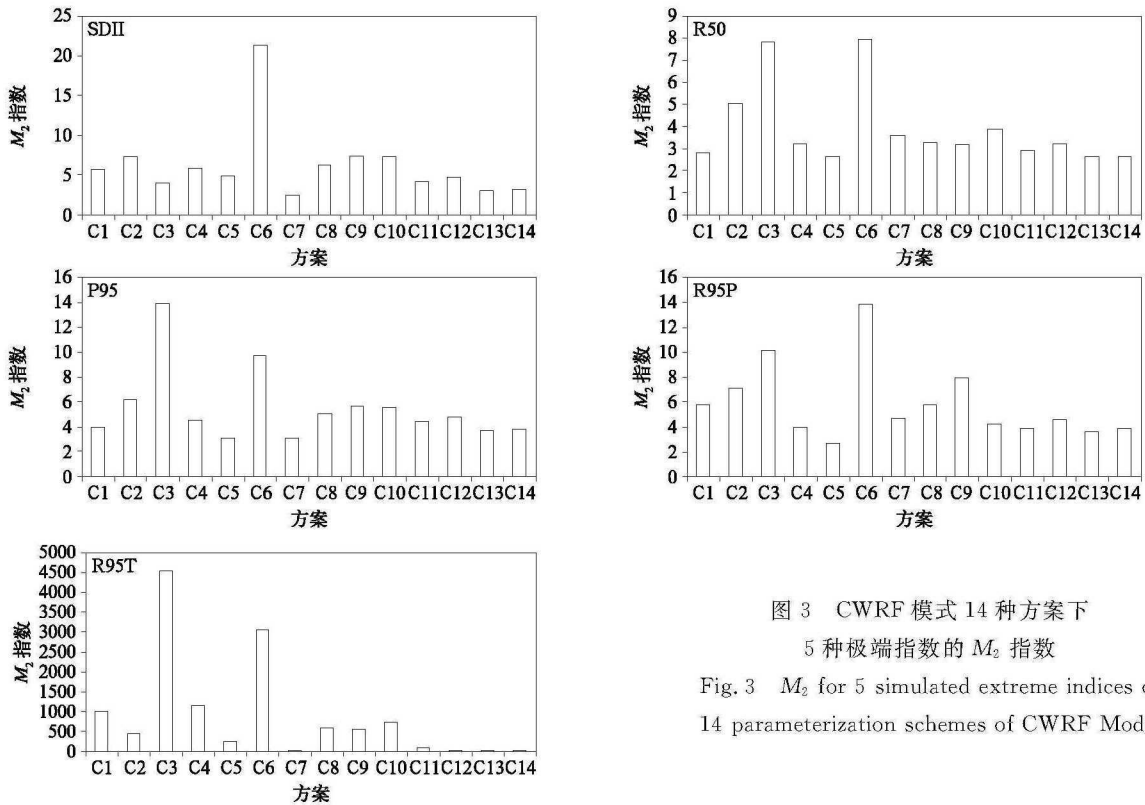


图 3 CWRf 模式 14 种方案下 5 种极端指数的  $M_2$  指数

Fig.3  $M_2$  for 5 simulated extreme indices of 14 parameterization schemes of CWRF Model

为全面考察各方案对3个区域时间变化趋势的模拟能力,计算1980—2015年5种极端指数观测与模拟时间序列的相关系数,综合考虑区域平均时间序列相关系数和  $M_2$  指数对各极端指数模拟的定量评估,得到14种方案对日极端降水时间变率模拟能力的排名。

表4是CWRF模式14种方案极端降水基于泰勒评分和时间变率( $M_2$ 指数和相关系数)的模拟能力排名以及两者的综合排名,对比泰勒评分和时间变率模拟能力排名,发现两者有一定的相似,相关系数达到0.566,达到0.05显著性水平,综合排名模拟较好的4种方案为C13,C14,C12和C1,模拟较差的4种方案为C6,C4,C3和C10。

### 3.2 不同方案集合的订正结果

图4给出经RQ-lin方法订正后4种不同方案

表4 14种方案模拟能力排名

Table 4 Ranking of simulation capabilities of 14 parameterization schemes

方案	泰勒评分	时间变率	综合
C1	3	8	4
C2	8	4	5
C3	10	13	12
C4	14	11	13
C5	11	2	8
C6	13	14	14
C7	12	7	10
C8	5	8	8
C9	4	8	5
C10	9	11	11
C11	6	6	5
C12	6	4	3
C13	1	1	1
C14	2	2	2

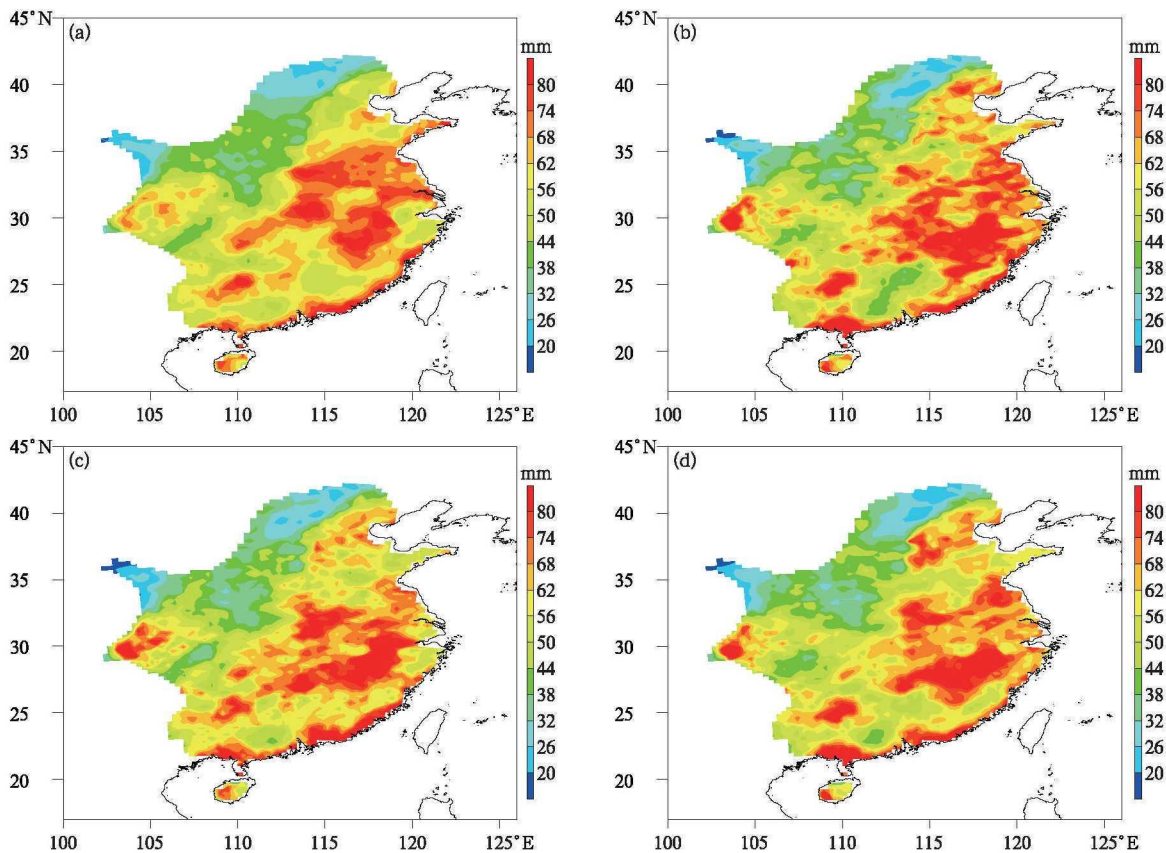
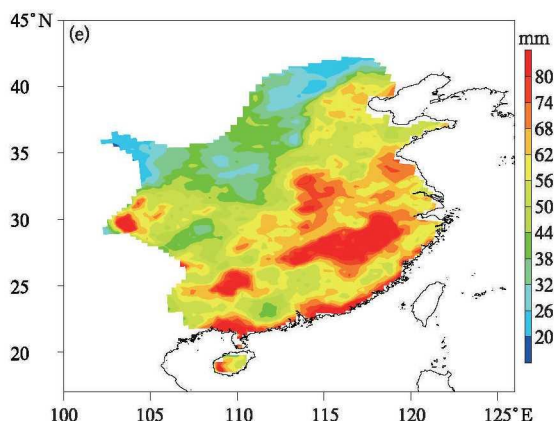


图4 RQ-lin方法订正后不同方案集合的日极端降水平均值和观测值

(a)观测,(b)C1,(c)C1,C12,C13和C14的集合,  
(d)C3,C4,C6和C10的集合,(e)C1~C14的集合

Fig. 4 Daily extreme precipitation mean for different parameterization schemes under RQ-lin revision and observation (a)observation,(b)C1,(c)sets of C1,C12,C13 and C14,(d)sets of C3,C4,C6 and C10,(e)sets of C1-C14



续图 4

集合的夏季日极端降水平均值和观测的空间分布对比,由图 4 可知,只订正 C1 方案的结果在华中南部误差仍较大,华北东部和华南南部也存在一定的误差,对模拟较好的 4 种方案集合、模拟较差的 4 种方案集合和 14 种方案集合的订正相比 C1 方案误差均有所减小。经过 RQ-lin 方法订正过的 C1 方案夏季日极端降水平均值与观测的相关系数为 0.82,均方根误差为 10.03,4 种模拟较好的方案集合订正后相关系数提高到 0.82,均方根误差减小为 9.31,4 种模拟较差的方案集合订正后与观测的相关系数提升为 0.85,均方根误差进一步减小到 8.57,14 种方案集合订正后与观测的相关系数达到最大,为 0.86,均方根误差也降到更低,为 8.36。

进一步研究订正效果最好的 14 种方案集合后订正与各成员先分别订正再集合的效果,14 种方案先订正再集合的夏季日极端降水平均值的空间分布如图 5 所示,分别订正后再集合的夏季日极端降水

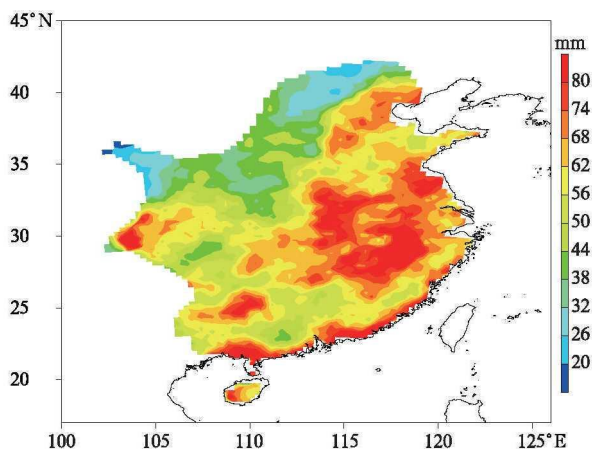


图 5 14 种方案成员分别订正后再集合的日极端降水平均值空间分布

Fig. 5 Daily extreme precipitation mean of 14 parameterization schemes revised and regrouped

平均值与观测夏季日极端降水平均值相关系数达到 0.89,均方根误差减小到 7.31,由此可见,成员分别由 RQ-lin 方法订正后再集合的效果与观测最为接近,该方案为最佳日极端降水订正方案。

#### 4 结论与讨论

本文基于 1980—2015 年 6—8 月逐日降水观测资料和 CWRF 模式 14 种方案的模拟结果,对比 6 种误差订正方法对 C1 方案在华北、华中和华南 3 个区域模拟夏季日极端降水的订正效果,评估 CWRF 模式 14 种方案对日极端降水的模拟能力,并对比不同集合订正方案和最佳订正方案中成员集合后订正以及成员先分别订正再集合的效果,结论如下:

1) 不同误差订正方法均可有效地改进日极端降水模拟误差,其中 RQ-lin 订正方法相比其他订正方法与观测日极端降水平均值的相关系数更高,均方根误差最低。

2) 虽然方案之间对极端降水指数的模拟存在较大差异,但 CWRF 模式对中国东部的极端降水指数均表现出较好的模拟能力,综合评估得到极端降水模拟能力较好的前 4 种方案为 C13, C14, C12 和 C1,较差的后 4 种方案分别为 C6, C4, C3 和 C10。

3) 对比 CWRF 模式模拟效果较好的 4 种方案集合、模拟效果较差的 4 种方案集合、14 种方案集合以及 C1 方案的极端降水经 RQ-lin 方法误差订正后的表现得到,14 种方案成员先订正再集合与观测结果最为接近。

误差订正仅能作为改进极端降水预测的辅助手段,对物理过程的精细化描述,提高模式的分辨率等仍是提高日极端降水预测水平的关键。

#### 参考文献

- [1] 王静,余锦华,何俊琦. 江淮地区极端降水特征及其变化趋势的研究. 气候与环境研究, 2015, 20(1): 80-88.
- [2] 霍治国,范雨娴,杨建莹,等. 中国农业洪涝灾害研究进展. 应用气象学报, 2017, 28(6): 641-653.
- [3] 甘衍军,徐晶,赵平,等. 暴雨致洪预报系统及其评估. 应用气象学报, 2017, 28(4): 385-398.
- [4] 翟盘茂,王萃萃,李威. 极端降水事件变化的观测研究. 气候变化研究进展, 2007, 3(3): 144-148.
- [5] 伍红雨,邹燕,刘尉. 广东区域性暴雨过程的量化评估及气候特征. 应用气象学报, 2019, 30(2): 233-244.
- [6] Liang X Z, Sun C, Zheng X, et al. CWRF performance at down-

- scaling China climate characteristics. *Climate Dyn*, 2018, 12: 1-26.
- [7] 刘冠州,梁信忠. 新一代区域气候模式(CWRF)国内应用进展. *地球科学进展*, 2017, 32(7): 781-787.
- [8] Liang X Z, Xu M, Yuan X, et al. Regional climate-weather research and forecasting model (CWRF). *Bull Amer Meteor Soc*, 2012, 93(9): 1363-1387.
- [9] 董晓云,余锦华,梁信忠,等. CWRF 模式在中国夏季极端降水模拟的误差订正. *应用气象学报*, 2019, 30(2): 223-232.
- [10] Khain A, Lang S, Lynn B, et al. Microphysics, radiation and surface processes in the Goddard Cumulus Ensemble (GCE) model. *Meteor Atmos Phy*, 2003, 82(1): 97-137.
- [11] Qiao F, Liang X Z. Effects of cumulus parameterization closures on simulations of summer precipitation over the United States coastal oceans. *J Adv Model Earth Sys*, 2016, 8(1/2): 1-23.
- [12] Qiao F, Liang X Z. Effects of cumulus parameterization closures on simulations of summer precipitation over the continental United States. *Climate Dyn*, 2017, 49(1/2): 225-247.
- [13] Bretherton C S, Park S S. A new moist turbulence parameterization in the Community Atmosphere Model. *J Climate*, 2009, 22(12): 3422-3448.
- [14] Kain J S. The Kain-Fritsch convective parameterization: An update. *J Appl Meteor*, 2004, 43: 170-181.
- [15] Janjić I J. The step-mountain eta coordinate model: Further developments of the convection, viscous sublayer, and turbulence closure schemes. *Mon Wea Rev*, 1994, 122(5): 927-945.
- [16] Grell G A, Dévényi D. A generalized approach to parameterizing convection combining ensemble and data assimilation techniques. *Geophys Res Lett*, 2002, 29(6): 587-590.
- [17] Han J, Pan H L. Revision of convection and vertical diffusion schemes in the NCEP Global Forecast System. *Wea Forecasting*, 2011, 26(4): 520-533.
- [18] Donner L J. A cumulus parameterization including mass fluxes, convective vertical velocities, and mesoscale effects: Thermodynamic and hydrological aspects in a general circulation model. *J Climate*, 2001, 14(16): 3444-3463.
- [19] Emanuel K A, Ivkovirothman M. Development and evaluation of a convection scheme for use in climate models. *J Atmos Sci*, 1999, 56(11): 1766-1782.
- [20] Lin Y L, Farley R D, Orville H D. Bulk parameterization of the snow field in a cloud model. *J Appl Meteor*, 1983, 22(6): 1065-1092.
- [21] Hong S Y, Lim J O J. The WRF single-moment 6-class microphysics scheme (WSM6). *J Korean Meteor Sci*, 2006, 42: 129-151.
- [22] Thompson G, Rasmussen R M, Manning K, et al. Explicit forecasts of winter precipitation using an improved bulk microphysics scheme. Part I: Description and sensitivity analysis. *Mon Wea Rev*, 2004, 136(12): 5095-5115.
- [23] Thompson G, Eidhammer T. A study of aerosol impacts on clouds and precipitation development in a large winter cyclone. *J Atmos Sci*, 2014, 71(10): 3636-3658.
- [24] Morrison H, Thompson G, Tatarskii V. Impact of cloud microphysics on the development of trailing stratiform precipitation in a simulated squall line: Comparison of one- and two-moment schemes. *Mon Wea Rev*, 2009, 137(3): 991-1007.
- [25] Taylor K E. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *J Geophys Res*, 2001, 106 (D7): 7183-7192.
- [26] Chen W, Jiang Z, Li L. Probabilistic projections of climate change over China under the SRES A1B Scenario using 28 AOGCMs. *J Climate*, 2011, 24(17): 4741-4756.
- [27] 杭月荷. CMIP5 多模式对中国极端降水的模拟评估及未来情景预估. 南京: 南京信息工程大学, 2013.
- [28] 董尧, 高学杰, 韩振宇, 等. 基于 RegCM4 模式的中国区域日尺度降水模拟误差订正. *大气科学*, 2017, 41(6): 1156-1166.
- [29] 曾晓青, 薛峰, 姚莉, 等. 针对模式风场的格点预报订正方案对比. *应用气象学报*, 2019, 30(1): 51-62.
- [30] 郝民, 龚建东, 田伟红, 等. L 波段探空仪湿度资料偏差订正及同化试验. *应用气象学报*, 2018, 29(5): 49-60.
- [31] 卢新玉, 魏鸣, 王秀琴. TRMM 月降水量产品在新疆地区的订正. *应用气象学报*, 2017, 28(3): 379-384.
- [32] 朱连华. 中国地区极端降水的统计建模及其未来概率预估. 南京: 南京信息工程大学, 2017.
- [33] 郭玉娣, 刘彬贤, 梁冬坡. 变分方法在渤海海域 ASCAT 风场订正中的应用. *应用气象学报*, 2019, 30(3): 122-130.
- [34] 刘甲毅, 邓丽姣, 傅国斌, 等. 两种统计降尺度方法在秦岭山地的适用性. *应用气象学报*, 2018, 29(6): 99-109.
- [35] Michelangeli P A, Vrac M, Loukos H. Probabilistic downscaling approaches: Application to wind cumulative distribution functions. *Geophys Res Lett*, 2009, 36(11): 163-182.



## Bias Correction of Summer Extreme Precipitation Simulated by CWRf Model

Dong Xiaoyun<sup>1)2)</sup> Yu Jinhua<sup>1)</sup> Liang Xinzhong<sup>1)3)</sup> Wang Chen<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> (Key Laboratory of Meteorological Disaster, Ministry of Education/ Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044)

<sup>2)</sup> (Hebei Meteorological Observatory, Shijiazhuang 050021)

<sup>3)</sup> (Earth System Science Interdisciplinary Center Department of Atmospheric and Oceanic Science, University of Maryland, MD 20742)

<sup>4)</sup> (Xuchang Meteorological Service of Henan Province, Xuchang 461000)

### Abstract

The accurate forecast of extreme precipitation plays an important role in guiding the national economy and people's livelihood. The newly developed Climate-Weather Research and Forecasting model (CWRf) integrates a comprehensive ensemble of alterable parameterization schemes for each of the key physical processes, including surface (land, ocean), planetary boundary layer, cumulus (deep, shallow), micro-physics, cloud, aerosol, and radiation. This facilitates the use of an optimized physics ensemble approach to improve weather and climate prediction. Evaluating the simulation performance and correcting the error can effectively improve the operational prediction level of extreme precipitation in CWRf model.

Daily rainfall data simulated by CWRf model and observed at 2416 meteorological stations in China from June to August during 1980–2015 are used to compare correcting effects of Q-lin, Q-tri, RQ-lin, RQ-tri, SSP-lin and CDFt on extreme precipitation of control scheme simulated by CWRf in eastern China. Based on the simulation performance ranking of 14 parameterization schemes in CWRf model, effects of the top 4, the latter 4 and the ensemble of 14 parameterization schemes are compared. Correcting effects of two approaches are compared: Revising after the collection of members and revising before the collection of members. Main results show that the error of the extreme precipitation simulation of C1 scheme can be obviously reduced by using six error correction methods, among which the RQ-lin correction method is the best. Although there are great differences between parameterization schemes in the simulation of extreme precipitation index, CWRf model shows good ability for extreme precipitation index in eastern China. The first four parametric schemes with good extreme precipitation simulation ability are C13, C14, C12 and C1, while the C6, C4, C3 and C10 schemes perform worse, respectively. Different parameterization schemes are revised to ensure that it is the closest to the average value of observed extreme precipitation after each of 14 members of the parameterization scheme being revised. Results have important application value for improving outputs of model and improving its prediction ability.

Error correction can only be used as a supplementary means to improve extreme precipitation prediction. The precision of model physical process and the improvement of model resolution are the key to improve extreme precipitation prediction.

**Key words:** CWRf; extreme rainfall; simulation evaluation; error correction