

俞剑蔚,李聪,蔡凝昊,等,2019. 国家级格点实况分析产品在江苏地区的适用性评估分析[J]. 气象,45(9):1288-1298. Yu J W, Li C, Cai N H, et al, 2019. Applicability evaluation of the national gridded real-time observation datasets in Jiangsu Province[J]. Meteor Mon, 45(9):1288-1298(in Chinese).

## 国家级格点实况分析产品在江苏地区的 适用性评估分析\*

俞剑蔚<sup>1</sup> 李 聪<sup>2</sup> 蔡凝昊<sup>1</sup> 刘 梅<sup>1</sup> 赵启航<sup>3</sup>

1 江苏省气象台,南京 210008

2 南京市气象台,南京 210019

3 江苏省气象局,南京 210008

**提 要:** 利用国家级格点实况分析资料与地面气象站实况数据,采用误差分析、技巧评分等方法评估了 2017 年 7 月至 2018 年 6 月逐时的格点实况产品在江苏地区的地面 2 m 气温、2 m 相对湿度、10 m 风和降水要素的一致性和准确性,同时采用 MODE 检验方法对格点降水产品空间分布偏差进行了分析。结果表明:2 m 气温格点实况与自动站观测基本一致,平均绝对误差在 0.5~0.8℃,均方根误差在 0.8℃左右,其中日最高气温误差较小。格点实况和自动站 2 m 相对湿度之间的平均绝对误差在 5%左右,均方根误差在 6%~7%,表现出较高的准确性和稳定性。格点实况 10 m 风向准确率达到 70%左右,而风速准确率仅为 56%,与气象站观测相比有明显差异。格点降水产品的全年有无降水准确率为 90%~98%,对于晴雨检验存在带来较大影响的可能。格点实况产品对小雨级别降水的准确率最高,随着降水量级增大,格点实况降水场相比站点观测存在较多的降水漏报,因此,对于降水分量级检验还不适合用格点实况场来替代气象站观测。设计了一种基于空间形态的降水准确率评分方法对降水空间落区进行检验,格点实况降水场的空间形态准确率评分在 0.9 左右,较准确地反映了实际降水空间分布。因而,格点实况数据在江苏平原地区都有较高的精度,误差在可接受的范围内,基本可以代替自动站观测作为预报和模式检验的真实实况场,但也存在以下几个方面的问题:(1)格点 2 m 气温、2 m 相对湿度产品在江苏的丘陵地带误差较大,降水产品在海岛气象站准确性较低;(2)格点降水产品一定程度地弱化了大雨以上量级降水强度;(3)格点实况风速产品误差较大,与业务服务需求有一定差距。

**关键词:** 格点实况产品,准确性检验,技巧评分

中图分类号: P456, P413

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2019.09.009

## Applicability Evaluation of the National Gridded Real-Time Observation Datasets in Jiangsu Province

YU Jianwei<sup>1</sup> LI Cong<sup>2</sup> CAI Ninghao<sup>1</sup> LIU Mei<sup>1</sup> ZHAO Qihang<sup>3</sup>

1 Jiangsu Meteorological Observatory, Nanjing 210008

2 Nanjing Meteorological Observatory, Nanjing 210019

3 Jiangsu Meteorological Service, Nanjing 210008

**Abstract:** Based on the National Gridded Real-time Observation Datasets covering Jiangsu Province released by the National Meteorological Information Centre of CMA and observations of automatic stations, the consistency and accuracy of hourly 2 m temperature, 2 m relative humidity, 10 m wind and precipitation from July 2017 to June 2018 were evaluated in details by the error statistical analysis, skill score and other

\* 江苏省气象局预报员专项(JSYBY201802)资助

2018 年 11 月 16 日收稿; 2019 年 5 月 6 日收修定稿

第一作者:俞剑蔚,主要从事精细化预报技术与方法研究. Email: radargroup@foxmail.com

methods. The MODE method was applied to reveal the spatial deviation of precipitation between gridded products and observed rainfall records. The results indicate that the mean absolute error of 2 m temperature is between 0.5 and 0.8°C, the root mean square error is around 0.8°C and the 2 m maximum temperature exhibits a better accuracy than the minimum temperature. The root mean square error range of 2 m relative humidity is 6%–7%, which means that the gridded 2 m temperature and 2 m relative humidity data are well consistent with observation. The accuracy of gridded 10 m wind direction is about 70% while that of wind speed is only 56%, showing a big difference from observation. The verification results of precipitation show that the gridded data with accuracy 90%–98% performs well in forecasting rain or no-rain. Nonetheless, it may still have a great impact on the precipitation frequency evaluation. TS score of light rain is higher than those in other classes, but it declines sharply when rainfall magnitude increases. Moderate rain or above has a relatively higher probability of detection, which means that the precipitation event is less detected than observed. Therefore, for the quantitative precipitation verification, it is not suitable to replace the observation data by the gridded data. Further study on 24 h accumulated rainfall bias between gridded data and observation indicates that the spatial structure of precipitation can be well described by gridded data. The spatial scores of precipitation designed in this article is above 0.9, which reflects the spatial distribution of actual precipitation. Generally, the gridded data in Jiangsu Plain Region can basically replace the automatic stations as the real-time meteorological field for forecast and model verification. However, there are still some problems as follows: (1) the 2 m temperature and 2 m relative humidity have large errors in the hilly areas of Jiangsu Province, and precipitation product from island stations has a lower accuracy; (2) the intensity of precipitation above heavy rain is weakened by the gridded data; (3) the wind speed value is lower than the observation, leaving a gap with the requirement of forecasting operation.

**Key words:** gridded real-time datasets, accuracy verification, skill score

## 引 言

长久以来,气象数据主要存在两种记录形式:站(离散)点和格点。以地面气象站观测为代表的数据库一般采用离散站点为记录形式,而以天气预报数值模式为代表的产品则以格点场为记录形式。格点和站点数据分别有着各自的优势,格点资料规范整齐、分布均匀、处理简单,而站点资料则在某种程度上是对人类活动区气象条件的真实反映。在科研或业务中,气象站点实况数据和格点实况产品的应用非常广泛,例如格点实况数据被用来做诊断分析场和模式驱动的初值场(马雷鸣和鲍旭炜,2017),将格点数据转换成站点来与实况观测数据进行对比检验等(熊秋芬,2011)。

目前,在国内外都大力发展无缝隙精细化预报的背景下,格点实况分析场的研究非常受到重视(Chen et al, 2007; Jacobs et al, 2010)。格点实况产品是精细化网格预报发展的基础,如果格点实况

数据能反映大气的实际状态,从而代替气象站点观测,则能够为精细化格点预报和模式评估检验提供可靠的基础数据。近年来,我国精细化天气预报业务迅猛发展,地面观测站网密度不断增加,国家气象信息中心、公共气象服务中心等单位先后研发了高分辨率的地面格点实况产品(宇婧婧等,2015;赵煜飞和朱江,2015;潘旻等,2018b)。2017年6月至今,国家气象信息中心实时业务下发了新型、高时空分辨率的国家级格点实况分析产品,目前对其准确性和真实性的了解相对有限。格点数据代表着某个区域气象要素的平均值,站点观测是单点观测,两者在空间上必然存在一定的差异,随着格点实况产品的丰富及应用领域的不断扩展,迫切需要对其进行全面的检验评估,才能对下一步的应用提供科学依据。

目前,国内外有许多针对预报与观测差异的检验方法,业务中主流采用评估降水预报准确率的TS评分、漏报率、空报率等指标,对气温、相对湿度、风等预报变量通常进行各类误差分析、相关系数检验

等(符娇兰等,2014;唐文苑等,2017;宫宇等,2018)。近年来,国外学者提出了针对高分辨率模式误差评估的空间诊断检验方法(Ebert and McBride, 2000; Gilleland et al, 2010),能够反映模式降水预报的空间结构、位置误差和尺度变化等,是对传统检验方法的补充。其中,MODE 方法是检验降水预报的最具代表性的空间诊断分析技术之一(Davis et al, 2009),国内科研人员利用该方法已经开展了一些研究工作,刘凑华和牛若芸(2013)对 MODE 检验方法中目标识别、目标配对算法进行了改进,并应用到 T639 模式降水预报的检验中,尤凤春等(2011)基于 MODE 方法对 BJ-RUC 模式的降水预报效果进行了客观评估,MODE 方法也被应用到雷达回波、模式风场的形态学检验中(李佳等,2016;陈笑等,2018)。

本文主要通过误差分析、TS 评分等传统检验方法,并初步运用基于目标对象诊断的空间检验方法(MODE),对国家气象信息中心发布的国家级格点实况分析产品进行了检验评估,分析讨论该产品在江苏区域内的真实性和可用性,为进一步在精细化智能网格预报业务中合理、科学应用该产品奠定基础。

## 1 资料与方法

### 1.1 格点实况资料

本文研究分析的数据资料为 2017 年 7 月至 2018 年 6 月江苏省国家级格点实况分析产品(即“CLDASV2.0”产品),分辨率为  $5\text{ km}\times 5\text{ km}$ ,时间间隔为 1 h。该数据集利用地面、卫星等实况观测资料,也同化了数值模式等产品,采用多重网格变分同化(STMAS)、最优插值(OI)、概率密度函数匹配(CDF)等技术融合而成(谷军霞,2017;潘旻等,2018a;师春香等,2018),主要包括大气驱动场产品、地表温度分析产品、土壤湿度产品、土壤温度分析产品和土壤相对湿度分析产品等五种产品。

其中,大气驱动场数据集中的 2 m 气温、2 m 相对湿度、10 m 风和降水产品融合了 2400 余个国家级自动站以及业务考核的近 4 万区域自动气象站实况观测数据,降水产品还融合了多种卫星降水资料,本文主要对大气驱动场产品中的上述四种格点化要素进行了检验。

### 1.2 站点实况资料

在研究中,将格点实况产品作为某种意义上的预报场跟自动气象站实况观测进行对比,将站点观测作为大气状态的“真值”,来检验评估格点实况产品的表现。本文所采用的站点观测资料来源于同期的江苏省 1408 个地面自动气象站(包括 3 个基准站、21 个基本站、46 个一般站和 1338 个区域自动站)数据,包括逐时的 2 m 气温、2 m 相对湿度、10 m 风(2 min 平均)、降水量等四种要素。由于地面气象站测定的是距地面 1.5 m 高度处的气温和湿度,在检验中为了与格点实况 2 m 高度数据匹配,近似地认为地面气象站的温、湿观测数据也即 2 m 高度观测。

### 1.3 检验方法

由于国家级格点实况分析产品中融合了江苏省 1408 个地面气象站资料,因此本文采用非独立样本检验方法,通过与这 1408 个气象台站资料对比,评估格点实况产品的准确性。

#### (1) 站点连续检验

采用气象业务中常用的双线性插值方法,按照气象站点所在经纬度,提取与站点观测数据时空匹配的格点实况数据对比序列。对逐时 2 m 气温、2 m 相对湿度、降水量不仅检验平均绝对误差(MAE)、均方根误差(RMSE)及准确率,还考察了各检验指标的空间差异。

按 8 方位划分对风向定量评价准确率,当格点实况风向中心角度与气象站点实况风向角度差在  $\pm 22.5^\circ$  以内时,则为预报正确,否则记为错误。按蒲氏风力等级对风速分别检验准确率、偏强率、偏弱率,当格点实况风速和站点观测风速在同一等级,表示格点实况风速正确,若格点实况风速等级大于(小于)站点实况风速等级,记为格点实况风速偏强(偏弱)。使用上述方法,对评估时段内的所有被检验站点依次计算风向(风速)准确率。

#### (2) 定量降水分级检验

由于考虑到江苏境内只有国家级地面气象观测站(共 70 站)在冬季对固态降水(雪)进行观测校准,其余自动站观测的冬季雨雪量数据有较大误差,因此在对近一年格点实况降水产品评估时,剔除了冬季的观测资料,选取 2017 年 7—11 月、2018 年 3—6 月自动气象站降水数据及同期的格点实况降水数据

(共 9 个月)进行分析。

除了对降雨进行晴雨检验外,将逐时降水量按小雨(0.1~1.5 mm)、中雨(1.6~6.9 mm)、大雨(7.0~14.9 mm)、暴雨(15.0~29.9 mm)、大暴雨( $\geq 30.0$  mm)5 个量级,检验各级降水 TS 评分、漏报率(PO)、空报率(FAR)和降水偏差(BIAS)。

(3) 基于对象诊断的空间检验方法(MODE)

Davis et al(2006a;2006b)最早提出了基于目标的诊断评估方法,主要针对所研究区域某一时段内累计降水量的强度和空间分布进行检验评估。该方法除了能给出传统的检验指标外,还可以对预报和观测降水对象的相关属性(如降水对象的位置、形状、面积等)进行对比,得到两个降水场本次检验的综合相似度(MMI),从而判断预报的整体表现,本文设定当  $MMI > 0.7$  时,预报是相对准确的。

本文在对格点降水产品进行空间检验时,根据自动气象站 24 h 累计降水量,对检验时段内(9 个月,共 270 d)逐日站点降水数据,采用双线性插值方

法将站点观测降水资料插值为与格点实况数据空间分辨率一致的网格上,对雨区分布进行分析。

## 2 2 m 气温格点实况检验

首先,对 2017 年 7 月至 2018 年 6 月江苏区域内格点实况 2 m 气温、2 m 日最高及最低气温的逐月 MAE、RMSE 和准确率进行分析(图 1)。一年来,格点实况 2 m 气温场对比站点观测的逐月 MAE 在 0.5~0.8℃,RMSE 在 0.8℃左右,平均相关系数达 0.99;误差在 1℃以内的准确率为 75.8%~87.9%,平均为 82.5%;误差在 2℃以内的准确率在 91.8%~97.9%,平均超过 95%,格点实况 2 m 气温总体表现可以接受,但在 2017 年 7、12 月和 2018 年 4、6 月误差稍大。6、7 月是江苏梅雨期,冬季冷空气活动频繁,降雨及冷空气易对气温造成较大波动,格点实况气温数据在技术上还有待改进。

由于格点实况逐日最高、最低气温数据在 2017

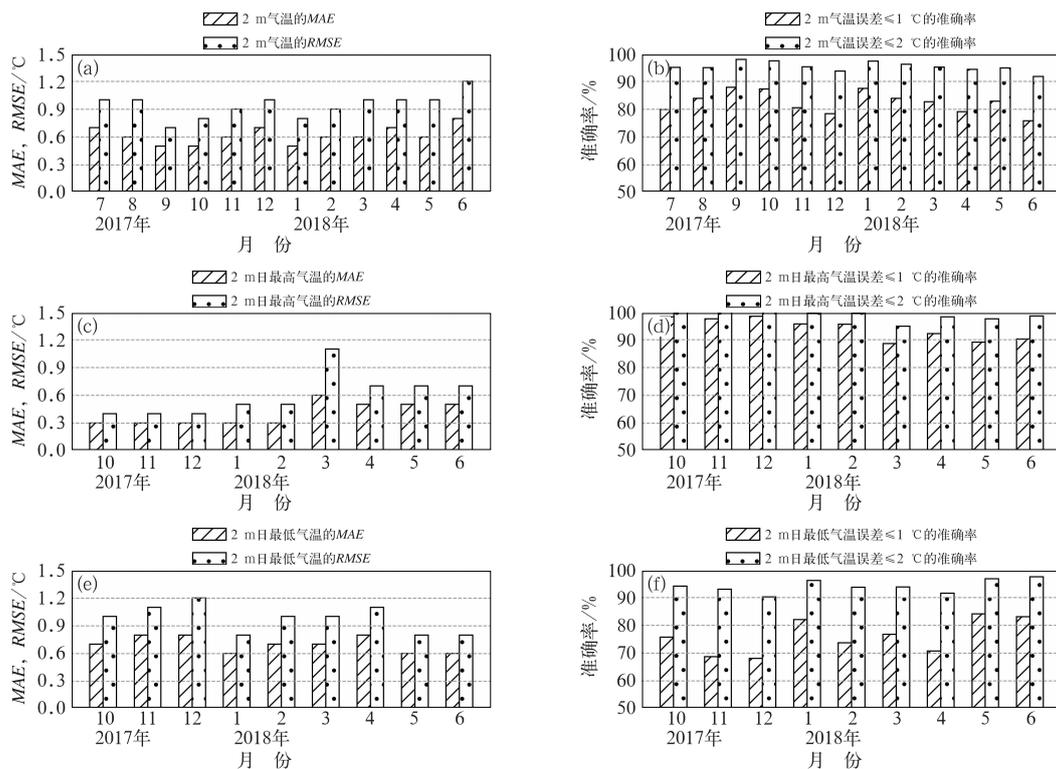


图 1 2017 年 7 月至 2018 年 6 月江苏省 2 m 气温误差(a,c,e)、准确率(b,d,f)的逐月变化

(a,b) 2 m 气温,(c,d) 2 m 日最高气温,(e,f) 2 m 日最低气温

Fig. 1 Monthly variation of deviation (a, c, e) and accuracy rate (b, d, f) of 2 m temperature in Jiangsu Province from July 2017 to June 2018

(a, b) 2 m temperature, (c, d) 2 m daily maximum temperature, (e, f) 2 m daily minimum temperature

年7—9月有缺失,故只检验2017年10月至2018年6月的逐日最高、最低气温准确率,由图1c~图1f可见,2 m日最高气温相比其他两个气温要素误差最小,逐月平均RMSE为 $0.6^{\circ}\text{C}$ ,气温误差在 $1^{\circ}\text{C}$ 以内的准确率平均达到94%,格点场2 m日最高气温与站点气温数据的相关性很高,2018年春季起误差略增大。2 m日最低气温误差 $\leq 1^{\circ}\text{C}$ 的准确率平均仅为76%,平均RMSE为 $1^{\circ}\text{C}$ ,相比2 m气温、2 m日最高气温产品,2 m日最低气温格点产品的误差较大。总体上,格点实况气温与站点气温观测非常接近,而且每个月的表现比较稳定,没有明显季节变化,能够较准确地反应大气的真实状态。

进一步分析格点实况气温产品误差在空间上的差异,图2为江苏省格点实况逐时2 m气温MAE、误差 $\leq 1^{\circ}\text{C}$ 准确率的空间分布。根据统计,江苏省有95%的站点气温MAE在 $1^{\circ}\text{C}$ 以内,RMSE $\leq 1^{\circ}\text{C}$ 的比例为83%,同时71%的站2 m气温误差 $\leq 1^{\circ}\text{C}$ 的准确率超过80%。

江苏省地形以平原为主,河湖较多,低山丘陵集中在南部,东部临海,由图2可以看到,气温误差分布跟地形和下垫面有一定的关系。在江苏省平原地区,格点气温实况场与气象站点监测的结果比较接近,优于其他地区。2 m气温误差较大的区域集中在两处,分别在连云港及宜兴一带,MAE和RMSE都超过 $1^{\circ}\text{C}$ ,气温误差 $\leq 1^{\circ}\text{C}$ 的准确率低于70%,从地理分布来看,连云港、宜兴属于丘陵地带,格点实况气温产品反演时应更多注重地形差异。

2 m日最高气温误差空间分布(图略)江苏省比较一致,其中在靠海的连云港和启东地区MAE和RMSE超过 $1^{\circ}\text{C}$ ,误差 $\leq 1^{\circ}\text{C}$ 的准确率不足70%。2 m日最低气温误差空间分布与2 m气温接近,连云港、宜兴一带最低气温MAE高于 $1^{\circ}\text{C}$ ,误差 $\leq 1^{\circ}\text{C}$ 的准确率低于50%。

### 3 2 m相对湿度格点实况检验

格点实况2 m相对湿度各月MAE在5%左右(图3),RMSE在6%~7%,说明格点实况2 m相对湿度产品和自动站观测的2 m相对湿度基本吻合。2 m相对湿度误差 $\leq 10\%$ 的准确率大都在90%以上,同时误差 $\leq 20\%$ 的准确率高达99%,和站点资

料相比,格点2 m相对湿度资料具有较高的一致性和稳定性。

由2 m相对湿度误差落区来看(图4),江苏省有83%的站点MAE在10%以内,1/2的站点MAE低于5%,RMSE $\leq 10\%$ 的比例占到82%。同时79%的站相对湿度误差 $\leq 10\%$ 的准确率超过80%,连云港地区相比全省其他区域而言误差较大。

### 4 10 m风格点实况检验

对2017年7月至2018年6月江苏省区域内逐月格点实况风速、风向的准确率进行分析,由图5可以看到,格点实况风速对比站点观测的准确率为52%~60%,平均仅为56%,同时格点风速偏弱的比例超过了30%。逐月风向准确率在64%~76%,平均达到71%。

分别对江苏省各站风向、风速误差进行统计(表略),有44%(90%)的站点风速(风向)准确率超过60%,风速准确率低于40%的站点比例为10%。由于风向、风速在时空变化上有不连续性,同时自动气象站周围环境易对风的观测造成较大影响,因此在将气象站点的风向、风速融合成格点产品时,失真比较严重。

### 5 降水格点实况检验

首先采用传统定量降水TS评分等指标对格点实况逐时降水资料进行检验,然后利用降水空间检验方法,对逐日累积降水量通过不同降水阈值进行筛选,从降水形态上分析格点实况降水产品与站点降水场的空间差异。

#### 5.1 降水误差分析

为了评估格点实况降水产品的精度,分析了2017年7月至2018年6月(不包括冬季)江苏省格点降水产品与全省各站地面逐时观测降水的MAE、RMSE的空间分布(图6)。全省各站降水MAE在0.2 mm以下,RMSE大都不足1 mm,其中MAE在0.1 mm以下的台站数百分比为96%,RMSE $< 1\text{ mm}$ 的比例达到87%。

进一步统计了2017年7月至2018年6月逐月

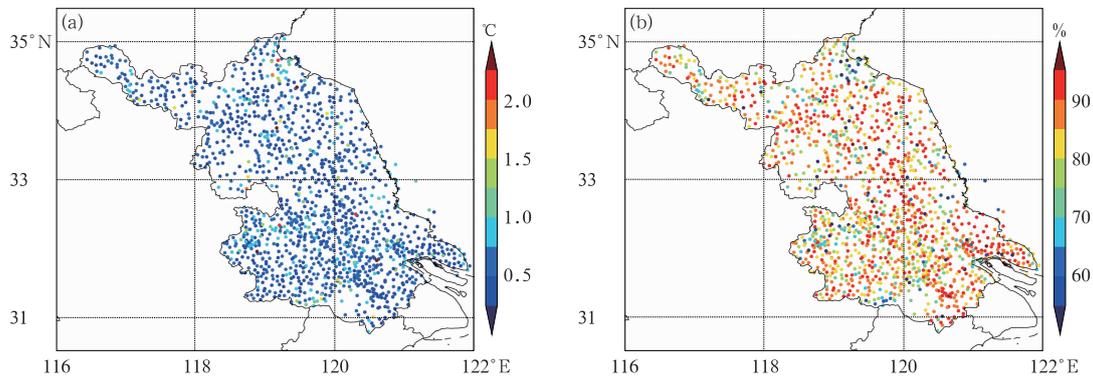


图 2 2017 年 7 月至 2018 年 6 月江苏省 2 m 气温 MAE(a)和误差 $\leq 1^{\circ}\text{C}$ 准确率(b)的空间分布  
 Fig. 2 Spatial distributions of 2 m temperature MAE (a) and accuracy rate of deviation  $\leq 1^{\circ}\text{C}$  (b) in Jiangsu Province from July 2017 to June 2018

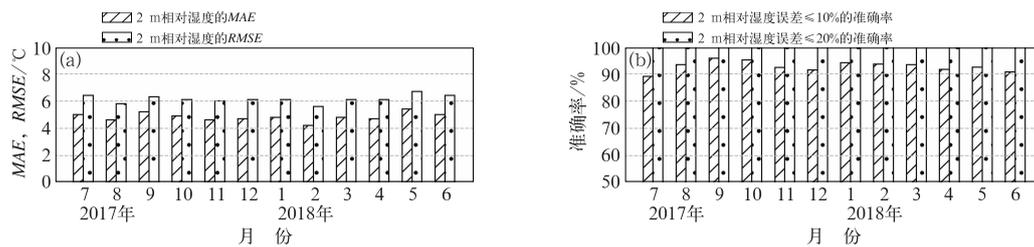


图 3 2017 年 7 月至 2018 年 6 月江苏省 2 m 相对湿度误差(a)和准确率(b)的逐月变化  
 Fig. 3 Monthly variation of deviation (a) and accuracy rate (b) of 2 m relative humidity in Jiangsu Province from July 2017 to June 2018

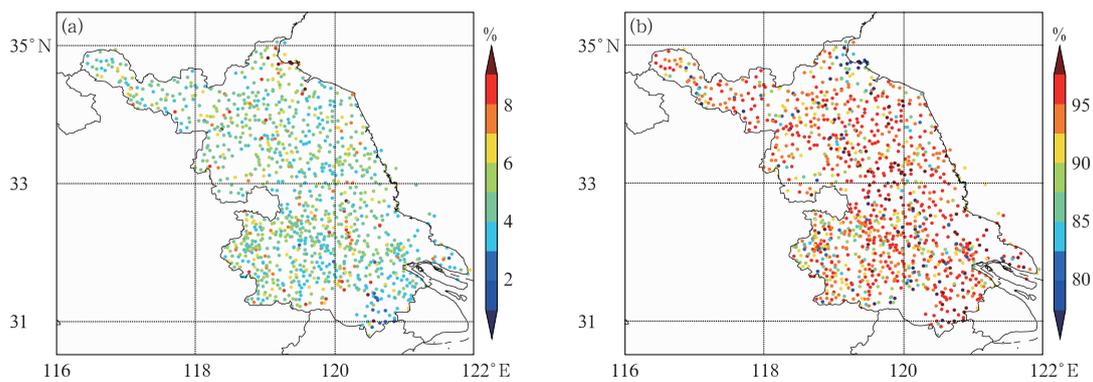


图 4 2017 年 7 月至 2018 年 6 月江苏省 2 m 相对湿度 MAE(a)和误差 $\leq 10\%$ 准确率(b)的空间分布  
 Fig. 4 Spatial distributions of 2 m relative humidity MAE (a) and accuracy rate of deviation  $\leq 10\%$  (b) in Jiangsu Province from July 2017 to June 2018

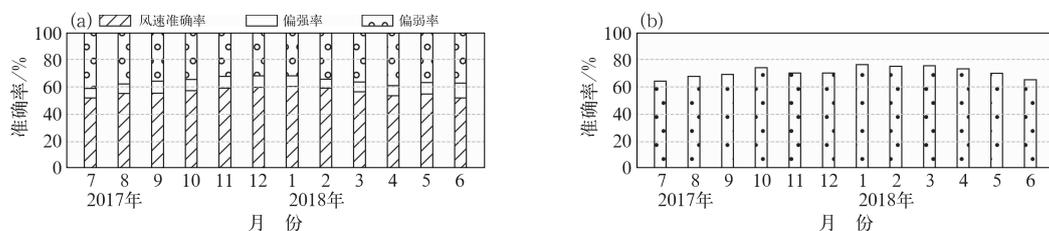


图 5 2017 年 7 月至 2018 年 6 月江苏省 10 m 风速(a)和风向(b)准确率的逐月变化  
 Fig. 5 Monthly accuracy rates of 10 m wind speed (a) and wind direction (b) in Jiangsu Province from July 2017 to June 2018

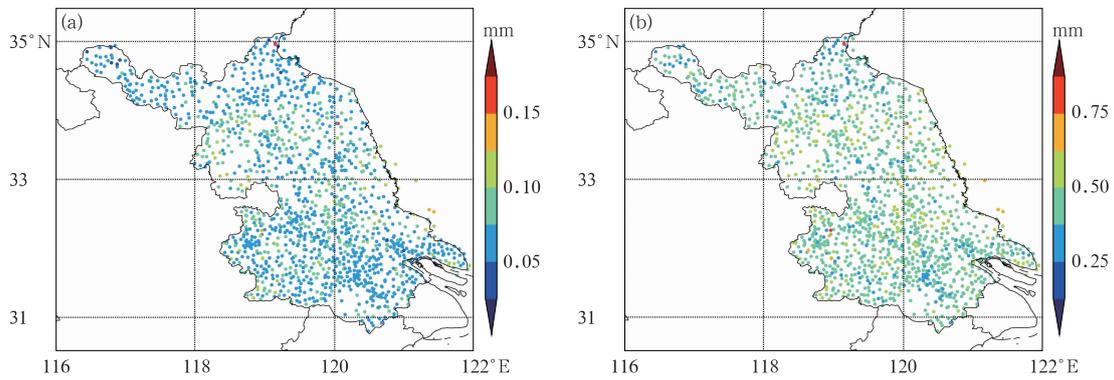


图 6 2017 年 7 月至 2018 年 6 月(不包括冬季)江苏省降水 MAE(a)和 RMSE(b)空间分布

Fig. 6 Spatial distributions of precipitation MAE (a) and RMSE (b) in Jiangsu Province from July 2017 to June 2018 (Winter is not included)

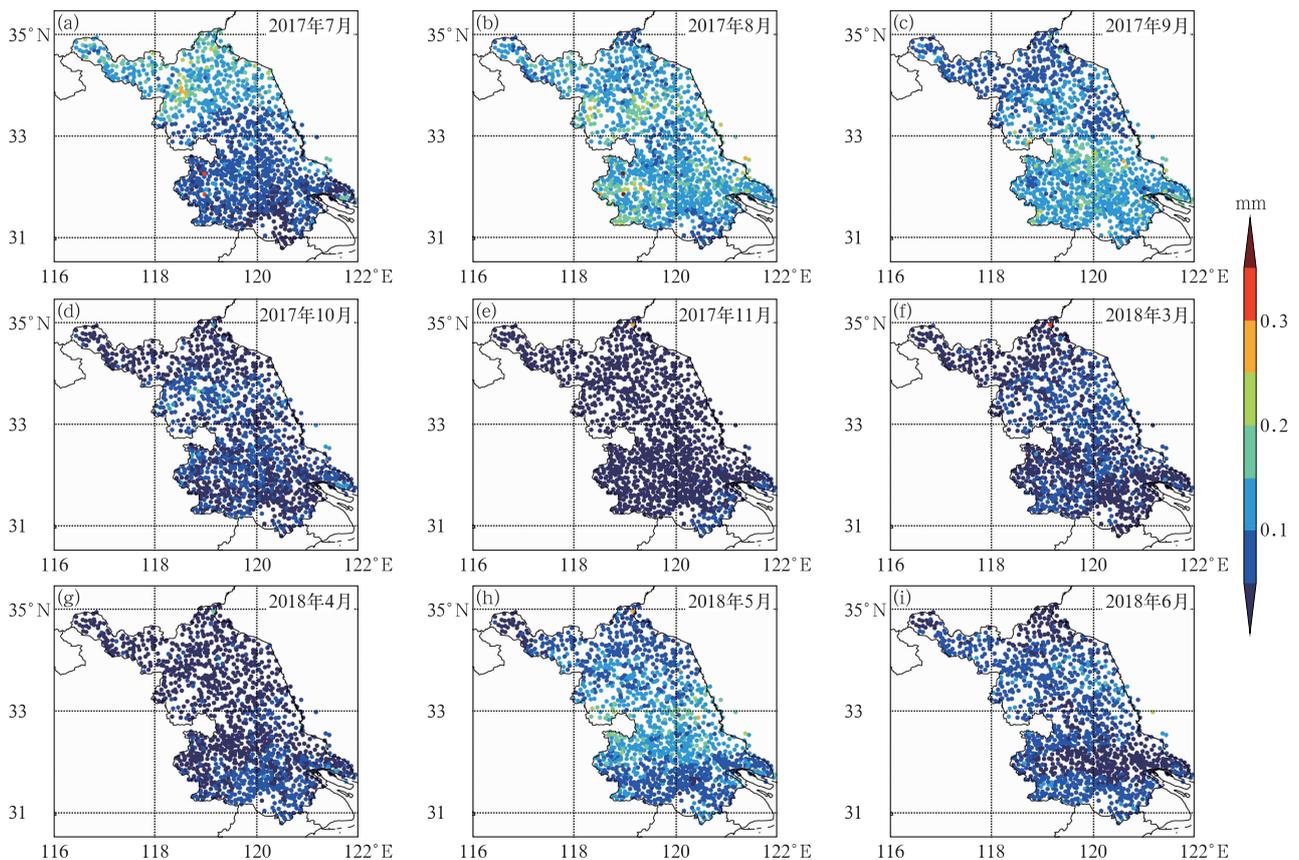


图 7 2017 年 7 月至 2018 年 6 月(不包括冬季)江苏省逐月降水 MAE 空间分布

Fig. 7 Monthly spatial distribution of precipitation MAE in Jiangsu Province from July 2017 to June 2018 (Winter is not included)

格点降水产品 MAE 的空间变化(图 7),可以看到误差分布与季节内雨量有一定关系。10 月至次年 4 月是江苏降水较少的时期,在这些时段格点实况降水产品最小,MAE 大都在 0.2 mm 以下,和自动站观测非常接近,区域差异不明显。而在雨季,存在明

显的空间差异。例如在 2017 年 7、9 月及 2018 年 5 月,根据自动站雨量监测,江苏省降水异常偏多的区域分别位于江苏北部、南部和中部,相比其他地区而言,在降水频次增多和强度增大时,格点实况降水产品相比自动站监测的误差达到一年中最大。

### 5.2 降水分量级检验

从江苏省格点实况降水产品的晴雨准确率分布(图 8)可以看到,全省晴雨准确率都在 90%以上,最大达到 98%,统计表明,约 77%站点的晴雨准确率超过 95%。对于气象站点有无降水,格点实况降水场与自动站监测的结果非常接近。从气候平均态来看,在江苏沿淮及其以北地区降水较少,晴雨准确率较高,而在西南部地区准确率稍低。值得注意的是,在南通附近的长江入海口及盐城东侧海岛测站,可能是由于周边自动站稀疏,同时降雨属于非连续性气象要素,造成以上地区的格点实况降水产品晴雨准确率稍差。

晴雨准确率能说明模式对降水有无的表现,而分量级检验体现了误差的来源及大小。根据降水强弱,将逐时降水量分为 5 个量级,通过分析不同量级下降水检验统计指标,来检验格点实况产品的准确性。图 9 表明,格点实况降水的晴雨 TS 评分最高,超过了 0.9,TS 评分从小雨量级的 0.5 逐步下降到暴雨级别的 0.3。比较漏报率(PO)和空报率(FAR)可以看到,小雨漏报率、空报率均为 0.3 左右,随着量级增大,漏报误差显著增大,空报率变化平稳,说明格点实况降水场捕捉到的降水频率较低。从各量级降水漏报率和空报率的差别也可以看出这一点,随着降水量增大,漏报率增加幅度明显大于空报率,同时各量级漏报率均大于空报率,可见 TS 评分偏低主要是由于过多漏报造成。综合降水检验各指标

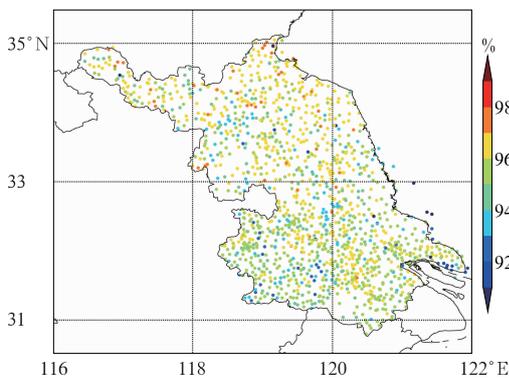


图 8 2017 年 7 月至 2018 年 6 月(不包括冬季)江苏省晴雨准确率空间分布

Fig. 8 Spatial distribution of precipitation accuracy for raining and not raining in Jiangsu Province from July 2017 to June 2018 (Winter is not included)

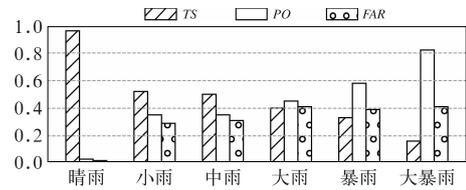


图 9 降水分量级检验结果

Fig. 9 Verification results for different classifications of precipitation in Jiangsu Province

结果,格点实况降水产品对小量级降水表征较为准确,随着量级的增大,漏报率和空报率误差均增大,同时相比站点降水而言,格点实况场对于大量级降水明显漏报。

上述讨论侧重于格点实况降水数据在江苏区域的平均准确性,那么该产品在江苏省哪些区域的效果更优呢?下文进一步利用 TS 评分等评估指标,通过分析江苏省降水误差的空间分布来回答上述问题。

小雨量级降水评分的空间分布如图 10 所示,江苏省 TS 评分平均为 0.5,只有 16%的站点 TS 评分超过了 0.6,江苏中部的盐城、泰州地区 TS 评分较低。全省漏报率大都在 0.2~0.5,区域差异不明显,近 1/5 的站点漏报率超过了 0.4。全省空报率低于 0.3 的比例达到 67%,江苏南部的常州、无锡及苏州一带空报率最低,大都在 0.2 以下,以上地区的 TS 评分相比全省其他地区要高,说明格点实况降水产品在上述地区较准确。BIAS 评分结果表明,有 54%的站点 BIAS 评分在 0.9~1.1,40%的站 BIAS 评分低于 0.9,说明格点实况降水场漏报所占比例较大,同时偏差呈现明显的区域变化特征,江苏省内陆地区小雨漏报偏多。

中雨量级降水的各个评分指标空间分布(图略)与小雨相近,TS 评分较高的地区主要在沿江及以南地区,江苏中北部的中雨级别降水漏报率和空报率相比小雨而言误差明显增加。大雨及以上量级降水的 BIAS 评分表明(图略),全省范围的降水误差都显著增大,主要是由格点实况降水资料对大量级降水的漏报造成的,说明格点产品在一定程度上削弱了大量级降水的强度。

由以上分析可见,虽然格点实况降水数据相比站点观测的 MAE、RMSE 很小,误差大都在 1 mm 以下,但是用更加严格的 TS 评分等指标对各量级

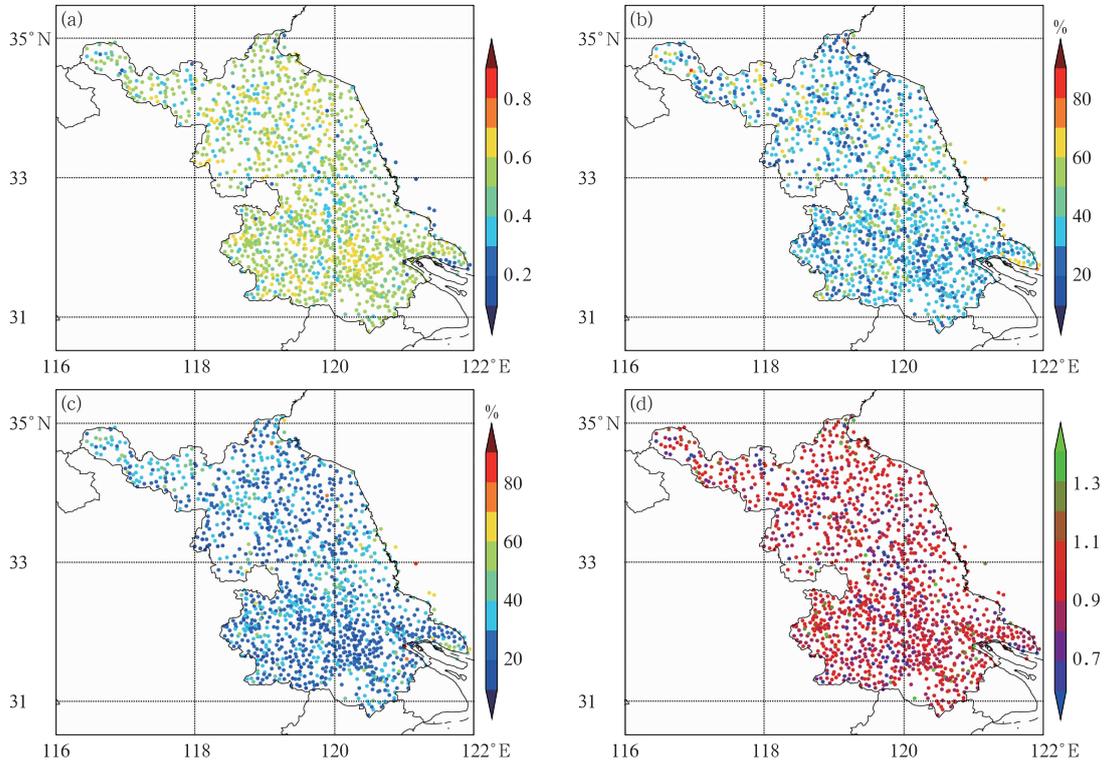


图 10 2017 年 7 月至 2018 年 6 月(不包括冬季)江苏省小雨量级降水检验指标空间分布  
(a) TS, (b) PO, (c) FAR, (d) BIAS

Fig. 10 Spatial distributions of precipitation weather skill scores for light rain in Jiangsu Province from July 2017 to June 2018 (Winter is not included)  
(a) TS, (b) PO, (c) FAR, (d) BIAS

降水误差评估时,格点降水产品与站点观测的差异明显增大。

### 5.3 降水空间检验

为了进一步评估格点实况降水产品整体表现,特别是降水空间落区的准确性,本节采用 MODE 检验方法,对格点实况降水场的雨区空间分布偏差进行讨论。对雨区进行空间检验时,选取卷积平滑半径为 4 倍格距,降水量阈值分别设定为 5、10、15、20 和 25 mm,共 5 个等级,对从逐日降水场中提取出的降水区进行分析。

基于 MODE 检验结果,同时参考了分量级降水检验中晴雨准确率计算方法,尝试设计了一种基于空间的降水评分方法,统计检验时段内逐月、不同降水阈值等级下的降水空间分布准确率。具体实现方法为:对同一时次的一对降水样本,根据利用 MODE 方法分别从格点实况降水场、站点实况场中识别出的降水对象,计算其综合相似度,当  $MMI \geq 0.7$  时,记为两个场的降水空间形态正确,  $MMI <$

0.7 记为错误降水,即降水空间形态偏差较大;当格点实况降水场漏报或空报实际降水时,也算记作一个错误降水;两个场均未识别出降水对象,记为降水预报正确,即无降水。通过对多样本统计,最终得到检验时段内的空间降水准确率评分。检验结果表明(图 11),格点实况降水资料与站点实况场整体匹配性较好,5、10、15、20 和 25 mm 阈值下的空间降水准确率评分依次为 0.86、0.87、0.91、0.91 和 0.92,

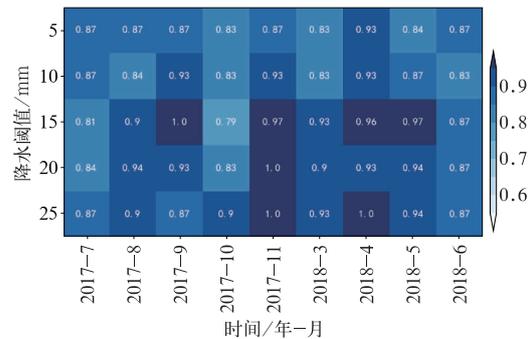


图 11 空间降水评分结果  
Fig. 11 Scores of spatial precipitation by using MODE method

说明两个降水场的空间差异程度非常小。

## 6 结 论

本文通过与1408个站点观测资料对比,对高时空分辨率的国家级格点实况分析产品在江苏省近一年逐时的2 m气温、2 m日最高(低)气温、10 m风向(风速)、2 m相对湿度、降水等要素的准确性和一致性进行了检验评估,为该产品的合理应用和改进提供依据。主要结论如下:

(1) 格点实况产品2 m气温、2 m相对湿度与自动站观测基本一致,其中逐月2 m气温MAE在0.5~0.8℃,RMSE在0.8℃左右,气温误差 $\leq 1^\circ\text{C}$ 准确率为82.5%。2 m日最高气温准确率最高, RMSE平均为0.6℃,2 m日最高气温误差在1℃以内的准确率平均达到94%。2 m日最低气温误差 $\leq 1^\circ\text{C}$ 的准确率仅为76%,RMSE接近1℃,相比2 m气温、2 m日最高气温,格点实况2 m日最低气温产品误差较大。2 m相对湿度MAE在5%左右, RMSE在6%~7%,误差 $\leq 10\%$ 的准确率为92%,在业务中具有较高的可用性。误差空间分布特征表明,2 m气温、2 m相对湿度平均空间相关系数可达0.9,说明格点实况产品与站点观测有很高的相似性。

(2) 格点实况10 m风向产品的准确率约为70%,有90%的站点准确率超过60%,风向产品具有一定的参考价值。风速产品比气象站实况风速明显偏弱,准确率仅为56%,准确率低于40%的站点比例达到10%。

(3) 格点实况逐时降水产品在江苏省各站的MAE在0.2 mm以下, RMSE $< 1$  mm,与气象站观测结果接近。分量级TS评分等检验指标表明,随着降水量级的提高,格点实况降水资料的TS评分呈现出下降趋势,小雨TS评分为0.5,暴雨仅为0.3左右,同时漏报率、空报率明显增大,各量级下格点实况降水场相比站点场漏报大于空报,中雨以下级别降水比较接近实测降水。

(4) 利用MODE检验方法得到的针对降水形态的综合相似度MMI结果,设计了一种简单的评判降水空间分布准确率的评分方法,结果表明格点实况降水场在空间形态上和站点观测非常接近,选取不同降水阈值时,各月的空间降水评分大都超过了0.8,最大达到1,格点降水产品在形态上能很好

地反映降水真实情况。

综上所述,江苏地区格点实况分析产品有较高的准确性,能较好地反映气象要素的空间分布情况,但也存在以下几个方面的问题:1)格点2 m气温、2 m相对湿度在连云港、宜兴误差较大,上述地区为江苏的丘陵地带,同时,降水产品在盐城东侧的海岛站准确性较低,说明地形、下垫面等因素可能对格点数据的准确性产生一定影响;2)格点降水产品一定程度地弱化了大雨以上量级降水强度;3)与气象站监测相比,格点实况风速产品偏差较大,与业务服务需求有一定差距。今后在改进格点实况分析产品性能时,针对以上方面可能要进一步开展工作,需要根据研究区的地理特征,选择最优的气象要素空间融合方案,提高格点实况产品的精度。

## 参考文献

- 陈笑,赵东,何晓凤,等,2018. 基于MODE对模式预报强风风场的检验分析[J]. 气象,44(8):1009-1019. Chen X, Zhao D, He X F, et al, 2018. Evaluation and analysis of model forecast performance of high wind based on MODE method[J]. Meteor Mon, 44(8):1009-1019(in Chinese).
- 符娇兰,宗志平,代刊,等,2014. 一种定量降水预报误差检验技术及其应用[J]. 气象,40(7):796-805. Fu J L, Zong Z P, Dai K, et al, 2014. Application of a verification method on bias analysis of quantitative precipitation forecasts[J]. Meteor Mon, 40(7):796-805(in Chinese).
- 宫宇,代刊,徐珺,等,2018. GRAPES-GFS模式暴雨预报天气学检验特征[J]. 气象,44(9):1148-1159. Gong Y, Dai K, Xu J, et al, 2018. Synoptic verification characteristics of operational GRAPES-GFS model heavy rain event forecast [J]. Meteor Mon, 44(9):1148-1159(in Chinese).
- 谷军霞,2017. 多源融合实况分析产品在智能网格预报业务中的应用[R]. 郑州:第34届中国气象学会年会. Gu J X, 2017. Application of multi-source fusion real-time analysis products in gridded weather forecast and service[R]. Zhengzhou: The 34th Annual Meeting of Chinese Meteorological Society(in Chinese).
- 李佳,陈葆德,徐同,2016. 目标检验方法在高分辨率数值天气预报检验中的应用[J]. 沙漠与绿洲气象,10(5):1-9. Li J, Chen B D, Xu T, 2016. Application of the object-based verification method for high resolution NWP[J]. Desert Oasis Meteor, 10(5):1-9(in Chinese).
- 刘凑华,牛若芸,2013. 基于目标的降水检验方法及应用[J]. 气象,39(6):681-690. Liu C H, Niu R Y, 2013. Object-based precipitation verification method and its application[J]. Meteor Mon, 39(6):681-690(in Chinese).
- 马雷鸣,鲍旭炜,2017. 数值天气预报模式物理过程参数化方案的研究进展[J]. 地球科学进展,32(7):679-687. Ma L M, Bao X W, 2017. Research progress on physical parameterization schemes in

- numerical weather prediction models[J]. *Adv Earth Sci*, 32(7): 679-687(in Chinese).
- 潘旸,谷军霞,徐宾,等,2018a. 多源降水数据融合研究及应用进展[J]. *气象科技进展*, 8(1):143-152. Pan Y, Gu J X, Xu B, et al, 2018a. Advances in multi-source precipitation merging research[J]. *Adv Meteor Sci Technol*, 8(1):143-152(in Chinese).
- 潘旸,谷军霞,宇婧婧,等,2018b. 中国区域高分辨率多源降水观测产品的融合方法试验[J]. *气象学报*, 76(5):755-766. Pan Y, Gu J X, Yu J J, et al, 2018b. Test of merging methods for multi-source observed precipitation products at high resolution over China[J]. *Acta Meteor Sin*, 76(5):755-766(in Chinese).
- 师春香,姜立鹏,朱智,等,2018. 基于 CLDAS2.0 驱动数据的中国区域土壤湿度模拟与评估[J]. *江苏农业科学*, 46(4):231-236. Shi C X, Jiang L P, Zhu Z, et al, 2018. Simulation and assessment of China's regional soil moisture based on CLDAS2.0 forcing data[J]. *Jiangsu Agric Sci*, 46(4):231-236(in Chinese).
- 唐文苑,周庆亮,刘鑫华,等,2017. 国家级强对流天气分类预报检验分析[J]. *气象*, 43(1):67-76. Tang W Y, Zhou Q L, Liu X H, et al, 2017. Analysis on verification of national severe convective weather categorical forecasts[J]. *Meteor Mon*, 43(1):67-76(in Chinese).
- 熊秋芬,2011. GRAPES\_Meso 模式的降水格点检验和站点检验分析[J]. *气象*, 37(2):185-193. Xiong Q F, 2011. Verification of GRAPES\_Meso precipitation forecasts based on fine-mesh and station datasets[J]. *Meteor Mon*, 37(2):185-193(in Chinese).
- 尤凤春,王国荣,郭锐,等,2011. MODE 方法在降水预报检验中的应用分析[J]. *气象*, 37(12):1498-1503. You F C, Wang G R, Guo R, et al, 2011. The application analysis of MODE method to the rainfall forecast test[J]. *Meteor Mon*, 37(12):1498-1503(in Chinese).
- 宇婧婧,沈艳,潘旸,等,2015. 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*, 73(2):394-410. Yu J J, Shen Y, Pan Y, et al, 2015. Comparative assessment between the daily merged precipitation dataset over China and the world's popular counterparts[J]. *Acta Meteor Sin*, 73(2):394-410(in Chinese).
- 赵煜飞,朱江,2015. 近 50 年中国降水格点日值数据集精度及评估[J]. *高原气象*, 34(1):50-58. Zhao Y F, Zhu J, 2015. Assessing quality of grid daily precipitation datasets in China in recent 50 years[J]. *Plateau Meteor*, 34(1):50-58(in Chinese).
- Chen F, Manning K W, LeMone M A, et al, 2007. Description and evaluation of the characteristics of the NCAR High-resolution land data assimilation system[J]. *J Appl Meteor Climatol*, 46(6):694-713.
- Davis C, Brown B, Bullock R, 2006a. Object-based verification of precipitation forecasts. Part I: methodology and application to mesoscale rain areas[J]. *Mon Wea Rev*, 134(7):1772-1784.
- Davis C, Brown B, Bullock R, 2006b. Object-based verification of precipitation forecasts. Part II: application to convective rain systems[J]. *Mon Wea Rev*, 134(7):1785-1795.
- Davis C A, Brown B G, Bullock B, et al, 2009. The method for object-based diagnostic evaluation (MODE) applied to numerical forecasts from the 2005 NSSL/SPC Spring Program[J]. *Wea Forecasting*, 24(5):1252-1267.
- Ebert E E, McBride J L, 2000. Verification of precipitation in weather systems: determination of systematic errors[J]. *J Hydrol*, 239(1/2/3/4):179-202.
- Gilleland E, Ahijevych D A, Brown B G, et al, 2010. Verifying forecasts spatially[J]. *Bull Amer Meteor Soc*, 91(10):1365-1376.
- Jacobs C M J, Moors E J, Ter Maat H W, et al, 2010. Evaluation of European Land Data Assimilation System (ELDAS) products using in situ observations[J]. *Tellus A*, 60(5):1023-1037.