

集合预报在贵州最低气温中的应用

李 刚 谢清霞 魏 涛

(贵州省气象台, 贵州贵阳 550002)

摘要 基于日常预报业务应用的欧洲中期天气预报中心(ECMWF)、日本气象厅(JMA)和中国气象局(CMA)所提供的地面最低气温预报资料,在贵州境内展开多模式集合预报研究,为使预报效果更优化,进一步将滑动系数应用于预报模型中,并将其结果与简单的多模式集合平均和各业务中心预报进行比较。结果表明,在2013年1月1日—2014年4月30日24—120h预报中,多模式集合预报(SUP)结果明显降低了预报的均方根误差,结果远优于ECMWF和集合平均预报(EMN),在整个贵州区域中,均方根误差 $<1.5^{\circ}\text{C}$ 的区域远高于ECMWF和EMN;EMN在一定程度上相对各中心预报有所改善,效果与SUP一样优于ECMWF,但在48h后效果改善不明显。关键词 最低气温;多模式集合;集合平均;均方根误差;贵州

中图分类号 S165 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2016)14-229-03

为更好地服务地方经济建设,最大限度地减少因气象因素而造成的社会经济损失,政府及公众对气象预报服务不但越来越精细化,同时也要求更高的预报准确率。数值天气预报经过百年的发展虽已取得了巨大的进步,预报准确率有很大提高。但近年来发现只靠提高单一预报模式改进预报准确率不但难度越来越大,且运行成本也日益增加,为此数值预报开始由传统的单一确定性预报向集合数值预报方向发展[1]。随着集合预报概念和理论的形成,集合数值预报经历从最经典的“初值集合预报”发展到多模式集合预报,特别近年来,多初值—多模式集合预报的出现,大幅度地提高了预报准确率[2]。因为多模式集合预报不仅考虑了初值误差的影响,还考虑了模式物理过程中不确定性的影响。无论从概率意义上还是从决定论意义上,多模式集合预报所提供的信息均比单个预报中心所提供的数值预报更准确。这是因为多模式集成不仅能将各个单模式的误差进行相互抵消,且能使预报结果更加稳定和可靠[3],发挥每一个预报模式的优势,从而进一步提高预报准确率。

多模式超级集合预报思想是 shnamurti 等[4]最早提出的,它是将多个模式的预报结果组成一个集合,通过不同的统计方法处理这些模式的结果,最终得到一个最佳结果的过程。近年来,超级集合预报技术在实际应用与研究中不断得到改进[5-7]。陈丽娟等[5]基于超级集合的思想,对我国汛期降水预报的各个结果进行集成,发现超级集合预报结果好于任何一家单位所给出的预报结果。智协飞等[7]基于 TIGGE 资料对北半球地面温度进行超级集合预报,结果表明,采用滑动训练期的超级集合预报有效地改进了预报效果且延长了预报时效。经过大量的预报试验证明,集合预报方法确实能够提高天气、气候以及年际预报技巧,且具有简便实用等优点,在国内外均得到广泛应用[8-10]。为此,笔者利用多模式集合预报思路,把贵州省日常业务应用欧洲中期天气预报中心(ECMWF)、日本气象厅(JMA)和中国气象局(CMA)3个预

报中心的数值预报进行多模式集成,得出更为准确的预报结果,以期为贵州省最低气温预报提供新的参考,更好地服务当地社会。

1 资料与方法

1.1 资料来源 选取 2013 年 1 月 1 日—2014 年 4 月 30 日日常预报业务应用的 ECMWF、JMA 和 CMA 所提供的地面气温预报资料和贵州省各县站所提供的逐日最低气温观测资料。3 个预报中心资料均为每日 20:00 起报,属 Micaps 中第 4 类数据格式,其中 ECMWF 分辨率为 0.25°×0.25°经纬网格,JMA 分辨率为 1.25°×1.25°经纬网格,中国 T639 分辨率为 1.0°×1.0°经纬网格。预报时效为 24—120h,间隔 24h。

1.2 预报方法

1.2.1 多模式集合平均 (EMT' T)。该方法是指集合预报成员的数学平均,是多个数值预报中心集合预报的初步应用。具体算法如下:

$$EMN = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N F_i \tag{1}$$

式中, F_i 为第 i 个预报中心的预报值, N 为参与预报的各中心总数。

1.2.2 多模式超级集合预报 (SUP)。SUP 方法是指使用过去一段时间的预报和观测数据进行统计,计算和分析出不同预报中心的权重系数并应用于当前时刻的预报中。其分析过程可以是线性的,也可以是非线性的。在此每个站点上主要采取多元线性回归进行集合预报方法处理。具体算法如下:

$$S_t = \bar{O} + \sum_{i=1}^n a_i (F_{i,t} - \bar{F}_i) \tag{2}$$

式中, S_t 为多模式超级集合预报值, $\bar{O}$ 为训练期观测值平均, $F_{i,t}$ 为第 i 个预报中心的预报值, $\bar{F}_i$ 为第 i 个预报中心在训练期的预报值平均, a_i 为回归系数(权重), n 为参与多模式超级集合预报的中心总数, t 为时间。

1.2.3 滑动系数的应用。对于以往的预报方程,在方程确定后,向后进行预报的系数是不变的,这就使得预报时效越向后的预报其误差越大。为使每天预报方程的系数均保持最新和最优,便引入滑动系数[7],即在第 1 天预报中,假设应用 $t-n$ 至 $t-1$ 个时间序列的观测值与预报值进行系数的回算,在第 2 天的预报中,引入新的即 t 时刻的观测值和预报值,舍弃最原始($t-n$)的观测和预报值,从 $t-n+1$ 时刻开始,使方程回归系数进行改变而达到最新,依次地一直预报到 n 天,从而减小向后预报的误差(图 1)。

1.3 检验方法 该研究主要采用均方根误差 (RMSE) 对预报效果进行检验评估。其算法如下:

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (F_i - O_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

式中, F_i 为预报值, O_i 为观测值, n 为资料长度。

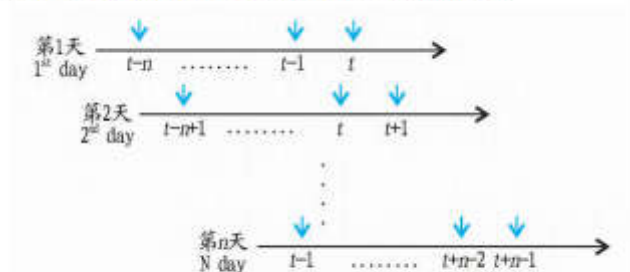
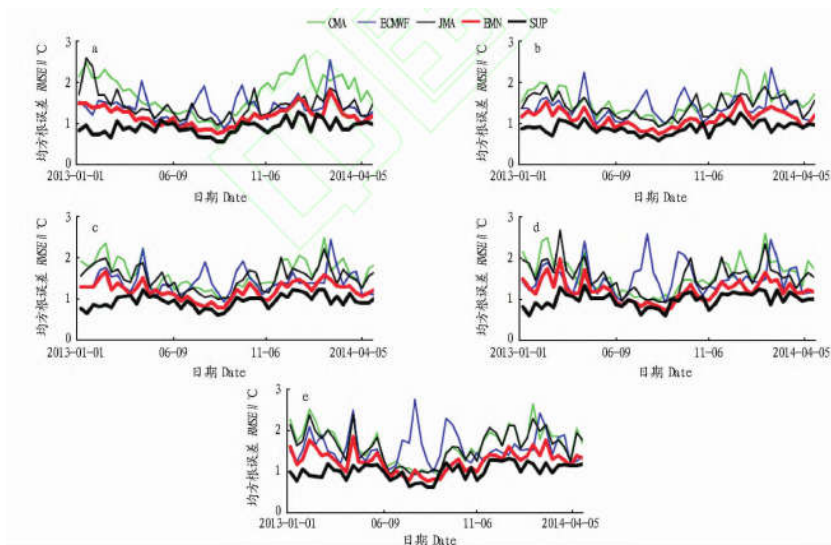


图1 滑动系统示意

Fig. 1 System of slipping coefficient

2 结果与分析

以 RMSE 为衡量预报效果的指标, 对多模式集合预报试验结果进行检验分析。从图 2 可看出, 在 24—120h 预报中, EMN 与 SUP 均降低了预报误差, 且预报效果明显优于各预报中心; 在预报期内, EMN 预报效果较 CMA 与 JMA 的预报有一定的改进, 而与 ECMWF 的预报相当, 差异不太明显。对于 SUP 其预报效果明显优于 EMN 和各中心数值预报, 多数情况均使均方根误差降至 1.5℃ 以下, 在整个预报期内预报效果较好。



注: a. 24 h; b. 48 h; c. 72 h; d. 96 h; e. 120 h。

Note: a. 24 h; b. 48 h; c. 72 h; d. 96 h; e. 120 h.

从整个预报期内贵州日最低气温 24—120h 的平均均方根误差 (图 3)

可看出,各预报中心均方根误差均是随着预报时效的增加而增大,72h 内 JMA 与 CMA 预报效果相当,72h 后 JMA 变得略差,ECMWF 在整个过程中一直是最好的。对于 EMN 和 SUP,EMN 在 48h 内相对 ECMWF 有所改进,48h 后则与 ECMWF 相当;而 SUP 所提供的预报其均方根误差均一直保持最小,优于 3 个预报中心和 EMN,且表现较为稳定。

由 EMN、SUP 和 ECMWF 在 96h 最低气温预报的平均均方根误差分布(图 4)可见,EMN 对降低误差有一定改进,均方根误差 $<1.5^{\circ}\text{C}$ 的区域明显增多。最好的是 SUP 预报,其均方根误差 $<1.5^{\circ}\text{C}$ 的区域几乎占整个贵州境内,明显地改进了预报效果。ECMWF 均方根误差 $<1.5^{\circ}\text{C}$ 的区域占整个区域的 32.9%,略小于 EMN(37.6%),而 SUP 使其增加至 95.3%,明显改善了预报效果;而均方根误差 $<2.0^{\circ}\text{C}$ 的区域 EMN、SUP 和 ECMWF 均在 90%以上,其中 SUP 最好,达 100%(表 1)。

3 总结

该研究通过利用 ECMWF、JMA 和 CMA3 个预报中心 2013 年 1 月 1 日—2014 年 4 月 30 日的 24—120h 日常业务应用数值预报资料,在贵州展开了最低气温的多模式集合预报研究,为得到更好的预报效果将滑动系数应用于模型中,并通过均方根误差对 SUP 和 EMN 与各预报中心结果进行了验证比较,得出以下结论:

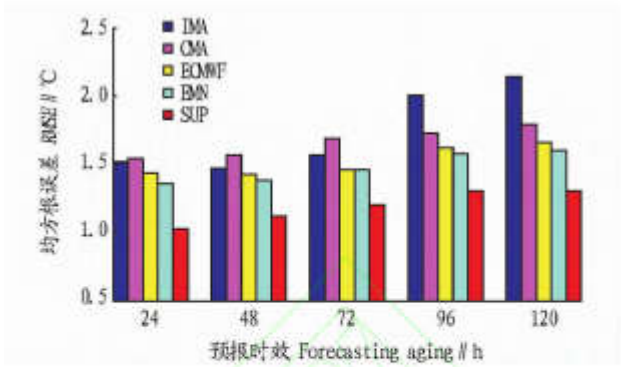


图 3 2013 年 1 月 1 日~2014 年 4 月 30 日各预报模式的最低气温预报均方根误差

Fig 3 RMSE of minimum temperature forecasting of different models from Jan. 1, 2013 – Apr. 30, 2014

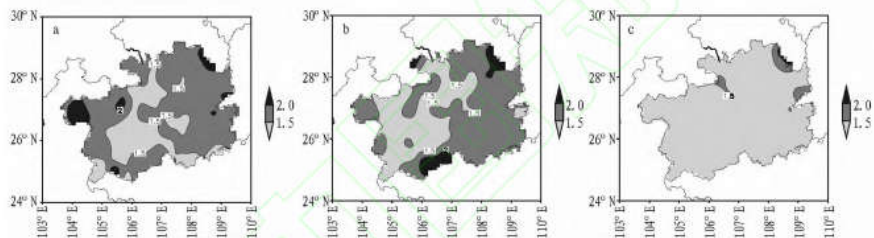


图4 2013年1月1日~2014年4月30日ECMWF(a)、EMN(b)和SUP(c)最低气温96h预报均方根误差地理分布(单位:℃)
Fig 4 Geographical Distribution of RMSE in the Forecast of Minimum Temperature of 96h(d) in ECMWF, EMN and SUP from Jan. 1, 2013 to Apr. 30, 2014

表1 2013年1月1日~2014年4月30日各预报模式的最低气温96h
预报均方根误差所占区域百分比 %

Table 1 Percentage of RMSE in minimum temperature for 96h forecasting in its relative region from Jan. 1, 2013 to Apr. 30, 2014

预报模式 Forecasting model	<1.5℃的区域 Range < 1.5℃	<2.0℃的区域 Range < 2.0℃
ECMWF	32.9	91.7
EMN	37.6	92.9
SUP	95.3	100.0

(1)在 24 — 120h 预报内,各预报中心地面最低气温预报效果不尽相同,ECMWF 在贵州境内预报效果最好且最为稳定。

(2)EMN 在一定程度上相对各中心预报误差明显减小,48h 内比 ECMWF 所提供的最低气温预报效果更优,48h 后改善不明显。

(3)SUP 的效果改进相当明显,在 24 — 120h 预报中其均方根误差显著小于各预报中心和 EMN,且性能较为稳定;在 %h 预报的空间分布上,平均均方根误差 <2℃ 和 <1.5℃, 所占的区域比例大幅度增加,改善效果相当明显。

参考文献

[1]王太微,陈德辉.数值预报发展的新方向:集合数值预报[J].气象研究与应,2007,28(1):6 — 12.

[2]杨学胜. 业务集合预报系统的酬戈及展望[J]. 气象, 2001, 27(6): 3 — 9.

[3]VIJAYAKUMARTSV, SANJAYJ, BASUBK, etal. Experimentalsuper-ensembleforecastsoftropicalcyclonesovertheBayofBengal[J]. NatHazards, 2007, 41(3): 471 — 485.

[4]KRISHNAMURTITN, KISHTAWALCM, LAROWTE, etal. Improved weatherandseasonalclimateforecastsfrommultimodelsuperensemble[J]. Science, 1999, 285(5433): 1548 — 1550.

[5]陈丽娟, 许力, 王永光. 超级集合思想在汛期降水预测集成中的应用[J]. 气象, 2005, 31(5): 52 — 54.

[6]马清, 龚建东, 李莉, 等. 超级集合预报的误差订正与集成研究[J]. 气象, 2008, 34(3): 42 — 48.

[7]智协飞, 林春泽, 白永清, 等. 月嵘书球中纬度地区地面气温的超级集合预报[J]. 气象科学, 2009, 29(5): 569 — 574.

[8]KUMARTV, KRISHNAMURTITN. MultimodelsuperensembleforecastingoftropicalcyclonesinthePacific[J]. MonWeaRev, 2003, 131: 574 — 583.

[9]ROSSRS, KRISHNAMURTITN. Reductionofforecasterrorforglobal numericalweatherpredictionbytheFloridaStateUniversity(FSU)super-ensemble[J]. MeteorolAtmosPhys, 2005, 88: 215 — 235.

[10]CARTWIGHTTJ, KRISHNAMURTITN. Warmseasonmesoscalesuper-ensembleprecipitationforecastsinttheSoutheasternUnitedStates[J]. Weatherandforecasting, 2007, 22: 873 — 886.