

北京地区夏季降水概率 预报业务应用研究

周 兵 陆 晨 周小平

(北京市气象局, 100081)

提 要

作者分析了降水概率预报的基本特征,在北京中尺度数值预报模式(BMNFM)的基础上应用事件概率回归估计(REEP)方法,建立北京地区夏季两个量级($\geq 0.1\text{mm}$ 和 $\geq 10.0\text{mm}$)的降水概率预报方程,并结合最新天气观测资料和预报员知识订正客观预报结果。应用 B 评分, B_s 评分和 Bias 方法对主观降水概率预报和客观降水概率预报进行评估。

关键词: 降水概率预报 布莱尔评分 事件概率回归估计

引 言

早在本世纪 20 年代, Hellenbeck 提出了天气概率预报的初步设想, Anders 在此领域作出了卓越的贡献。Brier(1950)提出了评估概率预报准确率评分方法。美国国家气象局最先把概率预报用于日常气象业务,并于 1965 年开始进行降水概率预报的业务试验, 1972 年雷雨和强风暴概率预报投入业务运行, 1984 年每天发布两次客观降水概率预报。1976 年日本开始传送降水概率预报,并于 1980 年正式对外发布东京都降水概率预报。80 年代欧洲中心、澳大利亚、加拿大等国和地区相继建立降水概率预报业务系统,发布的概率值从 0.0 到 1.0 以十个百分点间隔定量地给出天气事件出现的可能性大小。Saffle^[1]提出强天气概率算法的修正方案, Huffman^[2]提出用最新观测资料订正降水概率, Clemen(1986)分析了降水主观概率预报和客观概率预报的统计关系, Murphy^{[3][4]}比较评估分级降水概率预报,进一步论证了两者间的充分关系,并对 Brier 评分提出了修正方案。周兵^[5]回顾了国内外降水概率预报

研究及业务应用情况,丁金才^[6]提出我国天气概率预报的评估方法。

目前,我国向公众发布的天气预报都采用传统的定性预报形式。这种预报直观、明了。但未能描述天气现象出现可能性的大小,不能充分体现天气预报潜在的优越性。北京市气象局在中国气象局的领导和支持下,为使天气预报的发布形式与国际接轨,于 1995 年汛期开展了降水概率预报业务,并正式对外发布。

本文简要地介绍降水概率预报的基本特点,总结北京地区分片分级降水概率预报的方法,分析 1995 年汛期的应用结果。

1 降水概率预报基本特点

降水是大气中不同尺度天气系统相互作用的结果,它具有小尺度易变性等特点,在发生的时空分布上具有随机性,因此发布绝对准确的降水预报是十分困难的,也是不可能的。降水概率预报是传统降水预报发布形式的一种发展,它具有以下几个基本特点:

1.1 充分反映降水的不确定性

随着 90 年代常规天气观测资料和非常

规天气观测资料的迅速增长,出现了气象信息爆炸现象。在计算机技术和通讯技术日益完备的条件下如何有机地、协调地、合理地使用这些信息,作出正确的或比较正确的降水预报是当前首先需要解决的问题。预报员在分析未来天气是否发生降水时,总能发现在某种天气系统作用下存在一些有利于降水发生的条件,同时也存在一些不利于降水发生的条件,这些有利因素和不利因素构成了降水的不确定性。传统预报是根据综合分析,把上述的不确定性主观地变成确定的预报,也即简单地用“有”或“无”降水发生来描述,人为地增大了预报误差,掩盖了不确定性这一事实,因此在很大程度上影响降水预报的信用。

降水概率预报是数值预报、统计预报、主观预报的有机结合,它用概率值的大小比较真实地反映降水的不确定性。这种预报方式更加科学,预报结果更加客观,预报内涵更加丰富,因此更具参考价值,也是我国今后天气预报发布形式的主要发展方向。

1.2 引导用户定量使用降水预报结果

用户可根据概率值的大小定量地使用降水预报。例如用户获得有雨概率30%,在安排活动时应以无雨为主,适当做有雨准备;有雨概率为60%,则要以有雨为主,无雨为辅;有雨概率为80%,则需做好防雨准备。这有利于克服使用定性预报时存在的盲目性和被动性,对下雨或不下雨有充分的思想准备。

1.3 发挥天气预报潜在的经济效益

概率预报的最大优点是能够有效地发挥天气预报潜在的经济效益,为科学决策提供客观依据。定量评价概率预报可使用 Cost-loss 模式, Loss (以下简称 L) 是采取对策减少的损失额, Cost (以下简称 C) 是对降水采取对策的费用。若 $P\%$ 的概率预报发布 100 次且分别采取对策,可期待的收益 G 为:

$$G = \text{Loss} \times P - \text{Cost} \times 100$$

因此,只是在发布比 C/L 大的概率预报时,

采取对策可以得到所期待的效益。通常称 C/L 为损失费用比。随着市场经济的发展,人们将会逐步认识到降水概率的经济价值。同时降水概率预报可以为中央和首都经济发展及社会政治活动提供更好的气象服务,使天气预报发布形式与国际接轨。

2 降水概率预报方法

制作概率预报的基本方法大致可分为两类。第一类是 Hammarstrand (1980) 等发展的数值模式提供网格点对流性降水出现的概率;第二类是 Miller (1964), Wilson (1985), Hoffman (1984), Seijo (1983) 等根据模式产品计算降水概率。北京地区降水概率预报是在北京中尺度数值预报模式 (BMNFM) 的基础上,应用概率逐步回归方法建立概率方程,根据其它数值预报产品、最新天气资料、卫星云图和预报员主观经验知识等订正概率值。

降水与预报因子间的关系是通过统计方程建立的。根据输入资料的不同,一般有下列几种潜在预报因子:①地面观测和探空观测的实时客观分析变量;②数值模式提供的模式输出产品及诊断量;③天气雷达和卫星云图资料建立的变量;④相对率、气候变量和分析参数。

实际应用中预报因子的格点位置选择是一个关键的问题,通过组合预报因子有效的提前或后延预报时间来解槽脊位置的系统预报误差。因此在选取预报因子时需考虑该因子在预报区域里最佳位置,也即与预报是有最大线性相关的格点。预报因子不能简单地 0、1 化,需作标准化处理,即 $x = (x - \bar{x}) / \sigma$ 。有些因子尤其是稳定度指数等与预报量有非线性关系,要通过变量转换的方式,求得新的变量与预报量呈线性关系。同时对动力学变量必须进行平滑,通常采用五点平均、九点平均或二十五点平均来消除气象“噪音”,而热力学变量一般具有连续性,梯度变化较小,因此可以不进行任何平滑。

对预报量降水事件可分为出现或不出现

两类。通过回归方程对预报量作出概率回归估计。

$$P(Y = 1 | X_1, X_2, \dots, X_m)$$

$$= a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_m X_m \quad (1)$$

这里有 m 个预报因子 $(x_1, x_2, \dots, x_m)$, $P(y=1 | x_1, x_2, \dots, x_m)$ 表示 $x_1, x_2, \dots, x_m$ 条件下有降水发生, 其概率为 1。若 $y=0$, 则没有降水发生, 其概率为 0。 $a_0, a_1, a_2, \dots, a_m$ 为概率回归系数。如果出现概率超出 0 到 1 的范围, 则要进行归一化处理。

北京地区降水概率预报方程潜在因子有: ①模式产品(对流层中低层东西风分量 u , 南北风分量 v , 温度, 涡度, 水汽通量散度, 温度平流, 假相当位温, 地面降水等)36 个; ②实时因子(地面温压湿要素, 稳定度指数, 对流不稳定等)65 个。

预报因子/预报量样本选自 1980—1987 年, 1992—1994 年夏季资料共 145 个个例。把北京分成西北部山区、西南部山区、城区、东北部山区和东南部平原区共 5 个区域, 降水量分成 $\geq 0.1\text{mm}$ 和 $\geq 10.0\text{mm}$ 两档, 预报时效 12—24 小时和 24—36 小时。

3 降水概率预报及评估

概率预报的评分最早是由美国的 Brier 在 1950 年提出的 (Brier score), 简称 B 评分。

$$B = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i)^2 \quad (2)$$

式中, F_i 为某次预报的百分率, O_i 为该次实况百分率, 事件出现为 1, 不出现为 0, N 为预报总次数。 $B=0$ 表示预报完全正确, $B=1$ 表示预报完全不正确。1963 年 Sander 又提出了技巧评分方法, 简称 B_s 评分。

$$B_s = (1 - B/B_c) \times 100\% \quad (3)$$

式中, B 为式(2)求得的实际预报布莱尔评分, B_c 为气候概率布莱尔评分。 $B_s > 0$, 表示有预报技巧; $B_s < 0$, 表示无预报技巧。1980 年 Hughers 又提出了偏离方法来衡量预报偏多或偏少的倾向, 简称 Bias 法。

$$\text{Bias} = (R_f/R_0 - 1) \times 100\% \quad (4)$$

式中, R_0 为气候概率, R_f 为平均预报概率。 $\text{Bias} > 0$ 表示有过多预报倾向; $\text{Bias} < 0$ 表示有过少预报倾向。现给出 1995 年汛期每天下午提供的 12—24h(夜间)和 24—36h(第二天白天)两个级别分片降水概率预报结果(见附表)。

附表 北京夏季降水概率预报评估

		$\geq 0.1\text{mm}$			$\geq 10.0\text{mm}$		
		R_0	B	$B_s/\%$	R_0	$B_s/\%$	$\text{Bias}/\%$
城区	12—24h	0.251	0.119	36.7	0.102	29.6	90.2
	24—36h	0.247	0.147	20.5	0.093	16.3	121.5
西北	12—24h	0.224	0.141	19.0	0.091	21.9	93.4
	24—36h	0.220	0.156	9.3	0.077	-19.7	79.2
东北	12—24h	0.289	0.145	29.3	0.131	30.7	68.7
	24—36h	0.247	0.140	25.1	0.102	12.1	83.3
西南	12—24h	0.242	0.121	33.9	0.102	40.7	86.3
	24—36h	0.233	0.133	25.7	0.088	12.5	151.1
东南	12—24h	0.235	0.136	24.4	0.108	25.0	104.6
	24—36h	0.194	0.132	24.1	0.083	9.6	106.5

0.1mm 以上降水事件气候概率在 0.2—0.26 之间, 而 10.0mm 以上降水事件气候概率在 0.07—0.1 之间, 属小概率事件。从降水的特点可以发现, 在时间分布上, 夜间比白天多 5%—10%; 空间分布上, 城区比西部山区和东部平原区多 5%—15%。

对 0.1mm 降水布莱尔评分结果表明: 预报时段 12—24 小时的结果优于 24—36 小时的结果。 B 值在 0.119—0.156 之间。其准确率为 61%—65%。国外工作提供的结论是: Portland 的 B 值为 0.107, San Antonio 的为 0.109, 其准确率为 67% 左右。技巧评分表明, 城区和西南部山区、东北部山区的 B_s 在 0.3—0.4 之间, 而西北部山区较差, B_s 低于 0.2。同时预报时效 12—24 小时的技术评分优于 24—36 小时。

由于北京出现中雨以上降水次数较少, 中雨以上降水属小概率事件, 因此布莱尔评分方法失去意义, 需采用偏差率 (Bias) 法和技巧评分 B_s 相结合来综合评价其概率预报的性能。技巧评分结果与 0.1mm 以上降水

相似,西南部山区、东北部山区和城区技巧评分最高,且12—24小时预报明显优于24—36小时。西北部山区出现 B_1 负值。由Bias表明,中雨以上降水概率预报有明显偏多倾向,也即实际预报概率偏大。中雨的气候概率为0.084—0.107,而平均预报概率为0.194—0.201。因此需对预报方程作必要的改进,特别是对预报因子进行物理意义分析。

客观降水概率预报与主观降水概率预报的比较发现:总体情况是0.1mm以上降水,前者 B 值在0.174,正确率为58%比后者低3—7%。但西北部山区客观降水概率预报($B = 0.131$)优于主观降水概率预报($B = 0.141$)。24—36小时10.0mm以上降水,东部地区(东北部山区和东南部平原)的结果也是客观预报优于主观预报。由于主观降水概率预报是在客观概率预报的基础上订正的,因此客观概率预报有一定指导作用,当5个预报区域降水概率预报值基本一致时,更具参考价值。

4 结论

降水概率预报具有3个突出的优点:充分反映降水的不确定性;引导用户定量使用降水概率预报结果;能充分发挥天气预报潜在经济效益,因此这是今后天气预报发布形式的主要发展方向。北京中尺度数值预报模式(BMNFM)能提供较好的预报结果,对降

水概率预报方程的建立有较好的指示意义。同时潜在因子要做适当处理,提高概率预报方程稳定性。1995年汛期实际使用结果表明:概率预报方程是有一定的预报能力的。在客观降水概率预报基础上做出的主观降水概率预报的准确率在65%左右。

北京开展降水概率预报只是刚起步,在实际业务工作中还存在不少问题,包括更好地建立客观概率预报方程,合理地订正客观结果等。客观预报一开始低于预报员主观经验预报这是预料之中的。随着数值预报能力的提高和统计处理的改善,预报质量会较快的提高,当达到或超过主观预报水平时,预报员更应发挥作用,对客观预报进行合理订正,两者相互结合,才能使预报质量有进一步提高。

参考文献

- 1 Saffie, R. E. 美国国家气象局强天气概率算法的修正. 23rd Rad. Met. Cloud Phy., 1976. P22—23, JD70—72.
- 2 Huffman, G. J. 用最新观测资料订正降水概率预报. National Wea. Dig., 1984, P(3): 11—14.
- 3 Murphy, A. H. 分级降水概率预报比较评估. Mon. Wea. Res., 1986, 114(1): 245—249.
- 4 Murphy, A. H. 主观降水概率预报和客观降水概率预报的比较. Mon. Wea. Rev., 1990, 118(4): 874—882.
- 5 周兵. 国内外降水概率预报研究及业务应用概况. 北京气象, 1995, (3).
- 6 丁金才. 天气预报评分方法评述. 南京气象学院学报, 1995, 18(1).

The Application Studies of Summer Precipitation Probability Forecasts in Beijing

Zhou Bing Lu Chen Zhou Xiaoping

(Beijing Meteorological Bureau, 100081)

Abstract

The basic characteristics of precipitation probability forecasts (PPS) are analysed. The probabilistic quantitative precipitation forecast equation is given by the use of REEP method based on the BMNFM. Moreover, the objective results are verified by new weather data and forecaster's knowledge, and the objective PPF and subjective PPF are estimated by B score.

Key Words: precipitation probability forecasts Brier score regression estimation of extent probability