

史恒斌, 常军, 梁俊平. 2016. 匹配域投影降尺度方法在黄河流域夏季降水预测中的应用. 气象, 42(11): 1364-1371.

匹配域投影降尺度方法在黄河流域 夏季降水预测中的应用^{*1}

史恒斌¹ 常 军¹ 梁俊平²

1 河南省气候中心, 郑州 450003

2 河南省气象局, 郑州 450003

提 要: 文章采用黄河流域夏季降水数据和 BCC-CGCM 模式资料, 利用匹配域投影降尺度方法对黄河流域夏季降水进行预测, 得到以下结论: (1) 交叉验证期, 匹配域投影降尺度方法对黄河流域夏季降水的预测效果要好于原始模式预测, 且较模式直接输出的要素预测稳定; 分月预测比夏季整体预测效果要好。 (2) 匹配域投影降尺度方法对各个区域的预测能力不同, 在夏季 (6—8 月) 预测中, 预测较好区域比较分散, 而分月预测中, 预测较好的区域比较集中。月份不同, 降尺度方法对于不同地区的预测能力也不同。 (3) 2009—2013 年的独立样本检验表明, 匹配域投影降尺度方法对于黄河流域夏季降水的预测效果要明显好于模式直接输出的要素预测。尤其 6 和 7 月的降尺度预测较模式直接输出的要素预测有较大提高。

关键词: 降尺度, 夏季降水预测, 气候模式, 检验

中图分类号: P457

文献标志码: A

doi: 10. 7519/j. issn. 1000-0526. 2016. 11. 008

Application of Pattern Projection Downscaling Method in the Prediction of Summer Precipitation in Yellow River Basin

SHI Hengbin¹ CHANG Jun¹ LIANG Junping²

1 Henan Climate Centre, Zhengzhou 450003

2 Henan Meteorological Service, Zhengzhou 450003

Abstract: Flood and drought caused by summer precipitation anomaly are the most serious disasters in Yellow River Basin, so it is very important to predict the summer precipitation in the Yellow River Basin. Based on summer precipitation observation in the River Basin, and the BCC-CGCM model data, a pattern projection downscaling method is used to predict summer precipitation there. The results show that: (1) The prediction result of pattern projection downscaling method is better and more stable than model output prediction for Yellow River Basin. The monthly prediction is better than seasonal prediction. (2) The pattern projection downscaling method produces different predictions for different areas in the Yellow River Basin. In summer (JJA), the better prediction regions are dispersive. But the better prediction regions are collective in monthly prediction. The prediction capability of the method varies with month. (3) The results of independent sample test on the data from 2009 to 2013 show that the prediction of pattern projection downscaling method for Yellow River Basin is better than model output. Especially in June and July, the prediction of downscaling is greatly superior to the model output.

Key words: downscaling method, summer precipitation prediction, climate model, test

* 中国气象局 2016 年度预报预测核心业务发展专项 (CMAHX20160403) 和河南省气象科学技术研究项目 (Z201606 和 Z201602) 共同资助

2015 年 11 月 30 日收稿; 2016 年 5 月 22 日收修定稿

第一作者: 史恒斌, 主要从事短期气候预测业务和研究. Email: shb1214@163.com

引言

黄河地处我国北方,由于含沙量高,导致下游泥沙淤积严重,历史上,黄河流域曾多次因强降水而导致洪水泛滥,因此做好夏季黄河流域的降水预测是气象工作者每年的重点工作。但是由于黄河流域东西跨度大,气候类型多样,影响不同区域气候的因子也不相同,因此给黄河流域的气候预测带来了较大的难度。

目前,对于季节尺度的预测,很大程度上还是依靠统计方法。而随着数值预报技术的发展,大气环流模式越来越多的被应用于气候预测中。但是由于降水等要素的预报受局地地形、复杂的大气内部动力过程等的影响,现有模式还不能对其精确的描述,因而降水等要素的预报结果与实际观测结果出入较大(Karl et al, 1990; Palutikof et al, 1997; Kang et al, 2007; 张莉等, 2008)。但是研究表明,模式对于环流场还是有一定的预报能力(Storch et al, 1993; 董敏等, 2005; 2009; 汪栩加等, 2015)。因此可以利用统计降尺度方法,建立环流场与局地降水的统计关系,来预测降水或气温等要素(陈丽娟等, 2003; 顾伟宗等, 2012; 刘颖等, 2013; 李维京等, 2013; 刘娜等, 2015; 杜良敏等, 2016; 肖子牛等, 2016)。多数省(区、市)也利用多种降尺度方法,进行了模式产品的解释应用(何慧等, 2007; 王娜等, 2009; 严小冬等, 2009; 曾晓青等, 2009; 罗连升等, 2010; 程智等, 2011; 王冀等, 2011),取得了良好的效果。对于黄河流域夏季降水的研究,研究主要集中在影响夏季黄河流域降水的机理分析。如 Li 等(2005)利用数值模式模拟了黄河流域夏季降水的年际变化,表明地面植被及其反照率等的变化对黄河流域降水有着重要的影响。常军等(2013)的研究表明, Niño3 区海温对黄河流域夏季降水有显著的影响。李进等(2012)认为,黄河流域夏季水汽输送在早年和涝年有明显的不同,这也是导致黄河流域旱涝异常的重要因素。邵鹏程等(2015)的研究表明东亚副热带西风急流中心位置的南北异常对黄河流域夏季降水有显著的影响,并且上、中、下游的响应也不尽相同。王春学等(2012)的研究则表明前冬高原积雪和西太平洋暖池 SST 是影响黄河流域夏季降水的重要因子。黄荣辉等(1994)的研究表明,热带西太平洋暖池的热状态对于黄河流域夏季降水有重

要的影响。暖池的偏冷状态有利于菲律宾地区对流活动偏弱,副热带高压偏南,黄河流域降水偏少,易发生干旱。孙即霖等(2012)研究发现,春季渤海、黄海的海温与黄河流域降水有密切的关系。海温偏低时,黄河流域容易出现干旱。有些学者对黄河流域夏季降水建立了预测模型,并进行了预测。如许力等(2003)对黄河流域夏季降水的时空演变特征进行了分析,并利用客观方法对黄河流域进行了分区,诊断分析了影响各区面雨量的气候因子,建立了客观化的黄河流域面雨量预测系统,并取得了较好的预测技巧。以往的研究对于黄河流域夏季降水的机理进行了较深入的研究,但随着气候模式的发展,气候模式在气候预测中的应用越来越多,客观化气候预测方法将发挥越来越重要的作用。而基于模式产品的统计降尺度方法对黄河流域夏季降水进行预测的研究还较少。由于各地对于降尺度方法的应用取得了较好的效果,因此利用降尺度方法对黄河流域夏季降水进行预测是一项可行并有意义的工作。不仅可以通过降尺度方法提高原有模式的准确率,提高降水预测的空间分辨率,更重要的是对于夏季降水的准确预测可以为各级政府部门提供重要的决策依据,减少人民群众的人身财产损失。

1 数据和方法

1.1 资料

本文所使用的站点数据来自河南省气候中心提供的 1961—2013 年黄河流域 263 站夏季(6—8 月)降水数据,气候值使用 1981—2010 年标准气候值。模式数据采用国家气候中心 MODES 项目组下发的 BCC-CGCM1 季节预测模式产品(李维京等, 2005; 刘长征等, 2013),预测时效为当月起报包含当月的未来 11 个月,空间分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$,预测时间从 1983 年 1 月至 2013 年 12 月。模式成员包括:2 m 气温、月降水量、海平面气压、200 hPa 高度场、500 hPa 高度场、200 hPa U 风场和 V 风场、850 hPa U 风场和 V 风场、850 hPa 温度等 10 个预报场。预报因子选择除降水和气温外的 8 个环流场预测数据进行降尺度预测。模式的气候平均值取 1983—2008 年。实况场采用 NCEP/NCAR 再分析资料进行分析。

1.2 方法

1.2.1 匹配域投影技术

本文所选用的降尺度方法为匹配域投影降尺度方法(Kang, 2009; Kang et al, 2011; 康红文等, 2012)。

匹配域投影技术假设局地降水与大尺度环流场有很好的统计关系,降水可以通过一个转换函数将匹配域信息反演出来。假定预报变量 $Y(t)$ 是局地观测降水, $X(i, j, t)$ 是模式输出的同一时间在格点 (i, j) 上的大尺度变量,即预报因子,则

$$Y(t) = \alpha X_p(t) + \beta \quad (1)$$

式中, $X_p(t)$ 为预报因子在一个优化窗口上的投影。此优化窗口是指预报因子在某一个区域上与目标站点降水在回报期的相关系数绝对值之和达到最大值的区域。

$$X_p(t) = \sum_{i,j} R(i, j) X(i, j, t) \quad (2)$$

式中 $R(i, j)$ 为回报期的相关系数,可以用式(3)计算得到

$$R(i, j) = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i,j} [Y(t) - Y_m][X(i, j, t) - X_m(i, j)]}{\sigma_x(i, j) \sigma_y} \quad (3)$$

式中, N 是回报期的年数,下标 m 是变量在回报期的平均值, σ 为方差。

对于匹配域投影降尺度方法,选择合适的优化窗口非常重要,这里仍然按照 Kang(2009), Kang 等(2011)和康红文等(2012)的方法,设定一个 15×10 的活动窗口。通过这一方法,可以捕捉局地降水与大尺度环流场的相关关系,并可以通过预测方程将大尺度环流场的信息转化为局地的降水。

通过上述优化窗口的选择,我们得到每个站点降水与大尺度环流场的 8 个高相关区,通过计算 8 个高相关区内格点的相关系数绝对值之和,可以确定一个最优因子及对应的相关区,根据式(2)计算该因子在对应区域的投影,作为该站点的预报因子,进行降尺度预测。这样,由于选择的是最优窗口和预报因子,因此对于不同的站点,对应的最优窗口和预报因子是不同的。

降尺度过程采用交叉验证的方式(WMO, 2002)进行。选择 1983—2008 年的 26 年作为交叉验证期,即在交叉验证期的 26 年中,提出 1 年作为预报年份,用其余的 25 年作为培训期,来发展降尺

度模型,用当年的最优窗口因子作为预测因子,进行预测。循环 26 次,得到 26 年的预测结果,并将预测结果与实际观测进行对比。由于在交叉验证期,当年的实况不参与降尺度预测方程的建立,所以每年的预测都是独立的,按照这种方法,预报检验的结果接近实际预报情况(杜良敏等, 2011)。

1.2.2 评分检验

对预测效果检验,将模式原始输出的降水量减去 1983—2008 年平均值,计算降水距平百分率后,与降尺度方法得到的结果进行比较。采用的评分方法是中国气象局预报与网络司颁布的,目前业务中采用的 PS 评分法(中国气象局, 2013),具体公式如下:

$$PS = \frac{aN_0 + bN_1 + cN_2}{(N - N_0) + aN_0 + bN_1 + cN_2 + M} \times 100$$

式中, a 、 b 和 c 为气候趋势项、一级异常项和二级异常项的权重系数,分别取 $a=2$, $b=2$, $c=4$; N_0 为趋势预测正确的总站数, N_1 为一级异常预测正确的总站数, N_2 为二级异常预测正确的总站数, M 为没有预报二级异常而实况出现降水距平百分率 $\geq 100\%$ 或 $= -100\%$ 、气温距平 $\geq 3\text{C}$ 或 $\leq -3\text{C}$ 的站数。

2 交叉验证期检验结果

夏季预测的初值采用 5 月起报的模式资料,对当年夏季(6—8 月)的降水量进行预测。分月预测的初值采用当月模式资料对下月降水量进行预测,即用 5 月起报模式资料预测 6 月,6 月起报模式资料预测 7 月,7 月模式资料预测 8 月。这样的分月起报预测也与实际的业务预报时间一致,便于业务上使用和检验。

对 1983—2008 年共 26 年的模式数据采用交叉验证方法进行验证,表 1 为 BCC-CGCM 模式匹配域投影降尺度方法和模式输出的要素预测在 1983—2008 年夏季(6—8 月)、6、7 和 8 月的 PS 评分。

从表 1 可以看出,在夏季预测中,匹配域投影降尺度方法在交叉验证期的效果要略好于模式输出的要素预测。利用降尺度方法, BCC-CGCM 模式对于夏季降水的预测从原来的 67.6 分提高到了 69.4 分,提高了 1.8 分,提高率为 2.7%。在 26 年的交叉验证期中,有 17 年降尺度预测 PS 评分高于模式输出的要素预测评分。匹配域投影降尺度方法在交

交叉验证期的标准差为 4.0,而模式输出的要素预测的标准差为 12.9,表明降尺度方法的预测结果较模式输出预测要稳定。但是在有些年份,模式输出的要素预测评分要显著高于降尺度方法,这可能是由于在夏季,降水受大尺度环流影响较强,而模式对于当年影响黄河流域的气候系统预测较为准确,使得模式的降水预测效果较好。

分月来看,匹配域投影降尺度方法在每个月份的预测效果也要明显好于模式输出的要素预测。在交叉验证期的 6、7、8 月三个月的分月预测中,匹配域投影降尺度分别将模式输出预测的 PS 评分由

63.4、67.1 和 64.2 提高到了 69.3、70.5 和 71.6,分别比模式输出的要素预测提高了 9.3%、5.1% 和 11.5%。由此可知,匹配域投影降尺度方法对于 8 月的预测效果最好,6 和 7 月次之。

总体看,匹配域投影降尺度方法无论是在夏季预测还是在分月预测中,预测效果和稳定性都要好于模式输出的要素预测。并且降尺度方法对于夏季的分月预测较模式输出预测的提高率,要比夏季(6—8)月的高,说明临近的模式预测中,包含了更多有用的大尺度环流场信息,这是降尺度模式分月预测效果好于夏季预测效果的一个重要原因。

表 1 1983—2008 年匹配域投影降尺度预测与模式输出 PS 评分
Table 1 The output PS score of downscaling method and BCC-CGCM model from 1983 to 2008 for the summer months

年份	夏季		6 月		7 月		8 月	
	降尺度	模式	降尺度	模式	降尺度	模式	降尺度	模式
1983	69.6	76.8	74	60.2	74.5	78.7	75.4	78.2
1984	66.3	70	66	88.4	68.8	75.5	72.1	72.2
1985	72.1	60.1	62.9	80.4	74.4	53.9	72.8	55.4
1986	72.3	46.2	68.2	39.9	76.1	90.7	77.7	34.6
1987	72.4	43.5	66.7	86.3	75.1	57.5	74.9	61.4
1988	64.4	81	70.7	60.7	60.9	79.1	62	52.8
1989	65.5	59.4	69.9	65.5	70.9	63.8	76.9	70.1
1990	74.7	72.6	66.5	62.8	67.3	63.3	71.5	79.6
1991	72.2	94.4	69.4	72.1	76.7	55.2	79.8	72
1992	68.4	83.4	70.8	76.1	74.6	62.4	60.7	40.7
1993	69.5	64.1	69.2	78.7	67.5	75.6	71.8	69
1994	68.9	63.9	68.3	36.2	66.8	73.5	73.9	83.3
1995	68	52.8	70.9	36.9	66.3	52.3	63	72.1
1996	62.3	60.7	68.5	44.6	65	54.9	67.2	55
1997	76.9	78.2	72.6	87	71.8	59.5	72.5	87.3
1998	65.5	60.5	71.9	49.5	67.1	33.4	69.4	58.2
1999	69.6	65.8	70.6	69.9	65.5	61.1	82.9	46.5
2000	68.2	77.8	71.2	51.9	76.9	89.6	74.4	75.2
2001	71.4	87.8	76.7	85	66.5	67.5	75.4	46.6
2002	78.3	66.7	58.6	71	76.7	94.9	76.3	53.9
2003	63.4	56.4	67.3	61	70.5	69.4	60.3	71.2
2004	70.5	65	69	56.2	68.9	68.9	67.3	68.3
2005	67.5	59.7	69.5	38.9	73.5	52.9	71.5	78.1
2006	72.1	71.4	76.2	74.8	67.9	59.1	68.5	70.2
2007	63.5	52.2	65.6	46.8	68.5	66.5	68.5	65.4
2008	71.4	86.2	71.2	68	75.1	84.2	73.9	51
平均	69.4	67.6	69.3	63.4	70.5	67.1	71.6	64.2

为了更好地分析在交叉验证期,降尺度方法对于黄河流域预测的空间分布情况,计算了 1983—2008 年夏季及 6、7、8 月黄河流域各个站点应用匹配域投影降尺度方法的 PS 评分平均值。

图 1 为匹配域降尺度预测在交叉验证期的夏季、6、7 和 8 月平均 PS 评分分布图。从图 1 中可以

看出,在夏季预测中,预测效果较好的区域比较分散,主要集中在上游的湟水流域、中游的汾河流域和渭河流域,平均 PS 评分都超过了 60 分,具有较好的预测能力,而在上游源头区、黄河内蒙古段预测能力较弱,PS 评分都没有超过 60 分。

分月来看,6、7、8 月三个月的 PS 评分超过 60

分的区域都比夏季要大。分月预测中,黄河流域大部分区域的 PS 评分都在 60 分以上,只是每个月的情况不同。6 月黄河源头区、黄河内蒙古段西部及

陕西北部预测能力较弱;7 月黄河源头区、黄河宁夏段、黄河内蒙古段西部预测能力较弱;8 月黄河内蒙古段中部部分地区 PS 评分没有超过 60 分。

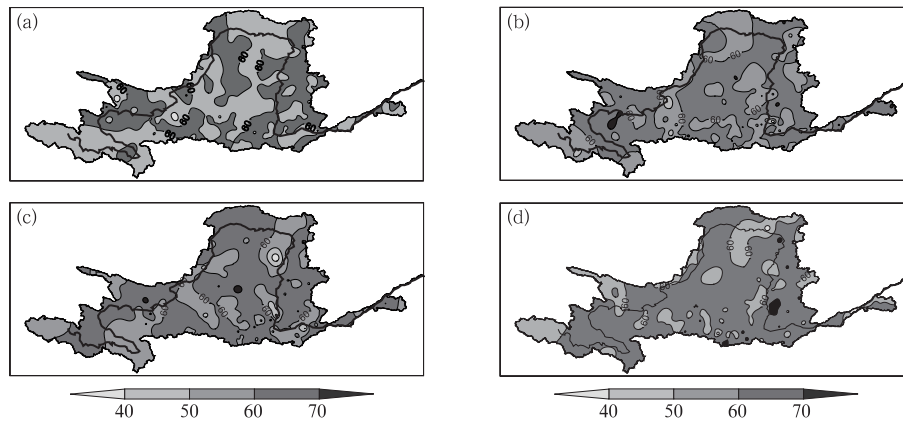


图 1 黄河流域夏季(a)及 6 月(b)、7 月(c)和 8 月(d) 匹配域投影降尺度预测 PS 评分分布图

Fig. 1 PS score distribution of pattern projection downscaling in Yellow River Basin in summer (a), June (b), July (c) and August (d)

整体看,匹配域投影降尺度方法在夏季和各个月份的预测能力不尽相同。夏季由于预报时效较长,不确定性较大,预报能力较好的区域呈现分散的分布,而各个月由于包含了有效的大尺度环流信息,预报能力明显好于夏季预测,但各月之间,各个地区之间的预报能力也存在一定的不同。因此在预报中,应根据交叉验证期的预报检验结果,对降尺度方

法预报能力较弱的地区给与重点分析。

3 独立样本检验

将 1983—2008 年作为降尺度模型的培训期,建立降尺度模型,对 2009—2013 年进行独立样本检验。各独立样本检验年的预测结果如表 2。

表 2 2009—2013 年匹配域投影降尺度预测与模式输出预测 PS 评分
Table 2 The output PS score of downscaling method and BCC-CGCM model from 2009 to 2013 for the summer months

年份	夏季		6 月		7 月		8 月	
	降尺度	模式	降尺度	模式	降尺度	模式	降尺度	模式
2009	71.5	48	71.2	17.9	66.2	59.8	63.6	74.4
2010	69.5	84.6	75.6	68	73.9	57.6	62.6	60.2
2011	70	56.7	74.4	41	68.2	57.9	70.2	69.8
2012	69.4	81.8	70.7	78.5	59.3	56.5	71.3	73.2
2013	69.7	63	63.9	80.8	61.5	24.3	72.9	80.3
平均	70.0	66.8	71.2	57.2	65.8	51.2	68.1	71.2

从 2009—2013 年的独立样本的检验来看,匹配域投影降尺度预测夏季平均 PS 评分为 70.0 分,而模式输出的要素预测为 66.8 分,降尺度预测比模式高 3.2 分。分月来看,降尺度方法在 6 和 7 月均较模式有较大提高,分别提高了 14.0 和 14.6 分,表明在 6 和 7 月,模式输出的预测效果整体弱于降尺度方法,降尺度方法预测对于模式预测有正的预报技

巧。而在 8 月的预测中,降尺度方法 5 年平均 PS 评分略低于模式要素预测 3.1 分,说明模式在 8 月整体的预报效果要好于降尺度方法,这在以后的预测中要加以重视,8 月的模式预报效果整体不错,可以重点参考。

综合来看,匹配域投影降尺度方法在 5 年的独立样本检验中,无论是整体夏季预测还是分月预测,

都取得了不错的效果。尤其是在 6 和 7 月的分月预测中,较原始模式预测有较大提高。

4 个例分析

无论是在交叉检验还是独立样本的检验中,都会发现有些年份降尺度方法能够较大提高模式输出的预测水平,而在有些年份,降尺度方法的预测效果反而不如模式输出的要素预测好。为了更好地分析降尺度方法产生这些问题的原因,以 6 月为代表,选择降尺度方法预测与模式输出的要素预测相比结果最差的 1984 年和降尺度方法提高最多的 1995 年两年,分别分析这两年 6 月的大气环流场与模式预测环流场之间的差异。由于降水通常由大尺度的环流场决定,而在实际的预测中,通常选择 500 hPa 高度场作为环流场的代表,所以此处我们以 500 hPa 高

度场来比较模式的环流预测与实际环流的差异。

从 1984 年 6 月的 500 hPa 距平场中(图 2a),在中高纬度,欧亚大陆呈现“西低东高”的环流形势,低距平区位于乌拉尔山以西,而高值中心在贝加尔湖地区。在副热带地区,西太平洋副热带高压偏强、偏西。模式预测的环流场中(图 2b),基本上较好地把握了“西低东高”的环流形势,对于西太平洋副热带高压偏强、偏西的特点也表现了出来。由于模式的环流预测与实况较为接近,因此 1984 年 6 月的模式的要素预测较好。

在 1995 年 6 月的 500 hPa 距平场(图 3)中,在中高纬,欧亚大陆为“两脊一槽”的形势,在副热带地区,副热带高压偏弱,环流经向度大。而模式预测的环流场中,欧亚大陆为大片的负距平区,东亚地区为明显的纬向环流,模式预测的环流场与实际差距较大。这是 1995 年 6 月模式降水预测较差的主要原因。

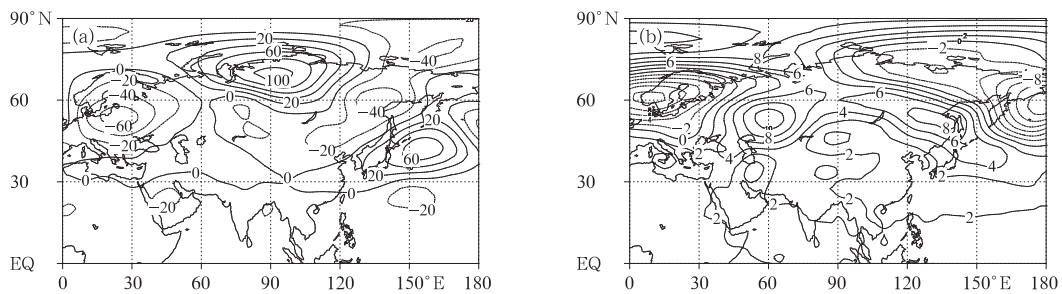


图 2 1984 年 6 月 500 hPa 实况(a)和模式预测(b)的高度距平场
Fig. 2 500 hPa anomaly of observation (a) and model prediction (b) in June 1984

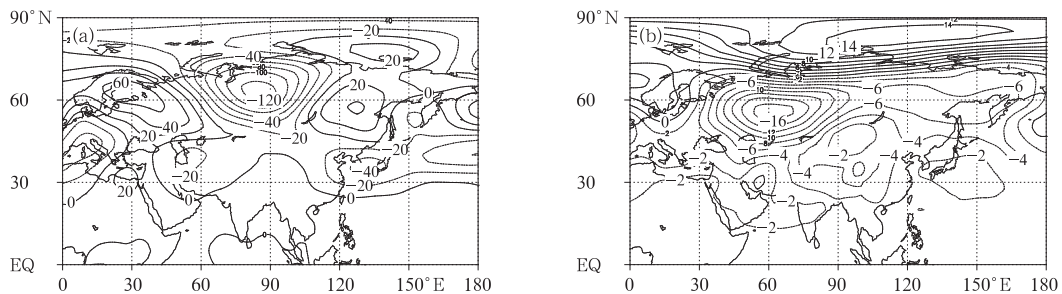


图 3 同图 2,但为 1995 年
Fig. 3 Same as Fig. 2, but for 1995

为了进一步说明 1984 和 1995 年模式输出的 500 hPa 高度场与当年实况的不同,计算了这两年东北半球的距平相关系数(ACC,表 3),发现 1984 年的 ACC 为 0.09,为正值,这表明在 1984 年 6 月,模式对于欧亚地区的环流系统模拟较好;而 1995 年的 ACC 为明显的负值,达到 -0.18,说明模式对于

1995 年 6 月的预测与实况出入较大。这也说明模式在这两年预测能力的差异是导致 1984 年模式输出的要素预测分数较高而 1995 年分数较低的重要原因。而利用降尺度方法,不再单独依赖于 500 hPa 高度场,从而使得 1995 年的降尺度预测评分较模式输出预测有较大提高。而 1984 年,由于投影窗口的

相关性没有模式本身对于影响黄河流域夏季降水的气候系统预测好,所以导致该年的降尺度方法不如模式输出的预测好。这也说明在应用降尺度方法的同时,也应对当年的关键环流系统进行分析,去伪存真,做出准确的预测。

表 3 1984 和 1995 年模式输出的东北半球 500 hPa 高度场与 NCEP 再分析资料的距平相关系数

Table 3 The anomaly correlation coefficient between model output in 1984 and 1995 and the NCEP reanalysis data in Northeastern Hemisphere

年份	1984	1995
距平相关系数	0.09	-0.18

匹配域投影降尺度方法由于是通过寻找多年相关性较好的投影窗口来建立预测方程,不同的站点由于局地气候的差异,导致影响因子的不同,表 4 给出了降尺度模型中最优投影窗口所在环流场的站点比例,较高的站点比例代表有较多的站点夏季降水受该影响因子的作用。从表中可以看出,降尺度模型不是依赖于单一的环流场,而是选择 8 个环流场中最优的因子来建立降尺度模型,提高了预测系统

表 4 降尺度模型中最优投影窗口所在环流场的站点比例

Table 4 Proportion of stations in downscaling model of optimal projection window

环流场	200 hPa 高度场	500 hPa 高度场	海平面 气压场	850 hPa 温度场	200 hPa U 风场	850 hPa U 风场	200 hPa V 风场	850 hPa V 风场
站点比例	17.5%	11.8%	26.2%	14.4%	9.5%	0.8%	15.6%	4.2%

5 结论与讨论

本文介绍了匹配域投影降尺度方法在黄河流域夏季及各月降水中的应用情况,主要有以下结论:

(1)匹配域投影降尺度方法无论是在夏季降水预测中,无论是夏季整体还是分月预测,预测效果和稳定性都要好于模式输出的要素预测,并且分月降尺度预测提高率较夏季整体的高,表明通过匹配域投影降尺度方法,可以显著改善模式在月预测中的预测效果。

(2)从空间分布上看,降尺度方法在夏季预测能力较好的区域比较分散,而各个月份则比较集中。各个月份的预报能力较好的区域也不尽相同。因此在预报中,应根据预报检验结果,对降尺度方法预报能力较弱的地区给与重点分析。

(3)独立样本的检验表明,降尺度方法对于夏季预测和分月预测效果都较好。尤其 6 和 7 月的效果

最好。而降尺度方法对于 8 月的预测结果反而较模式输出的要素预测偏差,这在以后的 8 月预测中需要重点关注。

匹配域投影降尺度方法的优势在于能够通过窗口投影,从多个环流因子场中选取最优因子进行降尺度预测,而多数的降尺度方法仅使用模式输出场中的一个环流因子用于降尺度预测,如动力与统计相结合的降尺度方法和 BP 神经网络法(陈丽娟等, 2003;何慧等, 2007;严小冬等, 2009;罗连升等, 2010)只采用了 500 hPa 高度场来进行降尺度预测,依靠单一的环流因子进行降尺度预测,对该环流因子的依赖性较大,一旦该环流因子预测错误,则可能导致降尺度预测的错误。而匹配域投影降尺度方法能从多个环流因子场中选取最优因子进行预测,能够较好地提高降尺度方法预测的稳定性,这也是该方法相较于其他方法的优点和特色。本文的研究表明匹配域投影降尺度方法较模式直接输出的要素预测有明显提高,这也是本方法的意义所在。由于黄

河流域气候预测起步较晚,作为一个整体利用降尺度方法进行预测的研究较少,因此尚无法将匹配域投影降尺度方法与其他降尺度方法进行比较,不过随着 MODES、FODAS 等客观化气候预测系统的推广应用,可以将匹配域投影降尺度方法与其他方法进行对比,选择合适的集合方法对这些方法进行集成,这也是我们下一步工作的重点。

参考文献

- 常军,王永光,赵宇. 2013. Nino3 区海温的变化对黄河流域夏季降水的影响. 气象, 39(9): 1133-1138.
- 陈菊英,王玉红,王文. 2001. 1998 及 1999 年乌山阻高突变对长江中下游大暴雨过程的影响. 高原气象, 20(4): 388-394.
- 陈丽娟,李维京,张培群,等. 2003. 降尺度技术在月降水预测中的应用. 应用气象学报, 14(6): 648-655.
- 程智,朱保林,罗连升. 2011. 多层次降尺度方法对安徽省月降水量预测的研究. 云南大学学报(自然科学版), 33(5): 563-568.
- 董敏,吴统文,王在志,等. 2009. 北京气候中心大气环流模式对季节内振荡的模拟. 气象学报, 67(6): 912-922.
- 董敏,叶正青. 2005. 国家气候中心大气模式的验证研究——AMIP-II 结果分析. 应用气象学报, 16(S1): 22-29.
- 杜良敏,柯宗建,刘长征,等. 2016. 基于聚类分区的中国夏季降水预测模型. 气象, 42(1): 89-96.
- 杜良敏,张培群,周月华,等. 2011. 基于非负和典型相关的场定量预测方法研究. 高原气象, 30(1): 103-108.
- 顾伟宗,陈丽娟,李维京,等. 2012. 降尺度方法在中国不同区域夏季降水预测中的应用. 气象学报, 70(2): 202-212.
- 何慧,金龙,覃志年,等. 2007. 基于 BP 神经网络模型的广西月降水量降尺度预报. 热带气象学报, 23(1): 72-77.
- 黄荣辉,孙凤英. 1994. 热带西太平洋暖池的热状态及其上空的对流活动对东亚夏季气候异常的影响. 大气科学, 18(2): 141-151.
- 康红文,祝从文,左志燕,等. 2012. 多模式集合预报及其降尺度技术在东亚夏季降水预测中的应用. 气象学报, 70(2): 192-201.
- 李进,李栋梁,张杰. 2012. 黄河流域冬、夏水汽输送及收支特征. 高原气象, 31(2): 342-350.
- 李维京,张培群,李清泉,等. 2005. 动力气候模式预测系统业务化及其应用. 应用气象学报, 16(增刊): 1-11.
- 李维京,郑志海,孙丞虎. 2013. 近年来我国短期气候预测中动力相似预测方法研究与应用进展. 大气科学, 37(2): 341-350.
- 刘长征,杜良敏,柯宗建,等. 2013. 国家气候中心多模式解释应用集成预测. 应用气象学报, 24(6): 677-685.
- 刘娜,李双林. 2015. 基于时间尺度分离的中国东部夏季降水预测. 应用气象学报, 26(3): 328-337.
- 刘颖,范可,张颖. 2013. 基于 CFS 模式的中国站点夏季降水统计降尺度预测. 大气科学, 37(6): 1287-1296.
- 罗连升,江双武,田红. 2010. 降尺度方法在安徽省月降水量预测中的释用. 气象科学, 30(1): 15-20.
- 孙即霖,宝乐尔其木格. 2012. 黄河流域降水异常与渤、黄海水温, 大气环流异常及入海流量关系的研究. 中国海洋大学学报, 42(1/2): 1-7.
- 邵鹏程,李栋梁,王春学. 2015. 近 50 年黄河流域夏季降水的时空变化及其与东亚副热带西风急流的关系. 高原气象, 34(2): 347-356.
- 王春学,李栋梁. 2012. 基于 MTM-SVD 方法的黄河流域夏季降水年际变化及其主要影响因子分析. 大气科学, 36(4): 823-834.
- 王冀,宋瑞艳,郭文利. 2011. 统计降尺度方法在北京月尺度预测中的应用. 气象, 37(6): 693-700.
- 王娜,方建刚. 2009. 月动力延伸预报产品在陕西月降水预测中的应用. 气象科技, 37(5): 520-522.
- 汪翔加,郑志海,封国林,等. 2015. BCC_CSM 模式夏季关键区海温回报评估. 大气科学, 39(2): 271-288.
- 魏维,张人禾,温敏. 2012. 南亚高压的南北偏移与我国夏季降水的关系. 应用气象学报, 23(6): 650-659.
- 肖子牛,石文静,段玮. 2016. 云南夏季降水量在 21 世纪初的突变减少及原因分析. 气象, 42(3): 261-270.
- 许力,刘强. 2003. 黄河流域夏季分区雨量预报研究. 南京气象学院学报, 26(1): 116-123.
- 严小冬,古书鸿,吴站平. 2009. MEDRF 产品在贵州月气候预测中的释用. 气象科学, 29(6): 804-809.
- 曾晓青,王式功,刘还珠,等. 2009. 统计降尺度方法在青海省冬季最低温度预测中的应用. 高原气象, 28(6): 1471-1477.
- 张莉,丁一汇,孙颖. 2008. 全球海气耦合模式对东亚季风降水模拟的检验. 大气科学, 32(2): 261-276.
- 赵俊虎,杨杰,封国林,等. 2013. 2011 年我国夏季降水动力统计预测与异常成因. 应用气象学报, 24(1): 43-54.
- 中国气象局. 2013. 月、季气候预测质量检验业务规定. 气预函[2013] 98 号, 1-2.
- 朱玲,左洪超,李强,等. 2010. 夏季南亚高压的气候变化特征及其对中国东部降水的影响. 高原气象, 29(3): 671-679.
- Li Weiping, Xue Yongkang. 2005. Numerical simulation of the impact of vegetation index on the interannual variation of summer precipitation in the Yellow River Basin. Adv Atmos Sci, 22(6): 865-876.
- Kang Hongwen. 2009. Statistical downscaling of precipitation in Korea using multimodel output variable as predictors. Mon Wea Rev, 137(6): 1928-1938.
- Kang Hongwen, Park Chung-Kyu. 2007. Error analysis of dynamical seasonal predictions of summer precipitation over the East Asian-western Pacific region. Geophys Res Lett, 34(13): 256-260.
- Kang Hongwen, Zhu Congwen, Zuo Zhiyan et al. 2011. Statistical downscaling of pattern projection using Multi-Model Output Variables as predictors. Acta Meteor Sinica, 25(3): 293-302.
- Karl T R, Wang W C, Schlesinger M E, et al. 1990. A method of relating general circulation model simulated climate to observed local climate. Part I: Seasonal statistics. J Climate, 3(10): 1053-1079.
- Palutikof J P, Winkler J A, Goodness C M, et al. 1997. The simulation of daily temperature time series from GCM output. Part I: comparison of model data with observations. J Climate, 10(10): 2497-2513.
- Storch von H, Zorita E, Cubasch U. 1993. Downscaling of global climate change estimates to regional scales: An application to Iberian rainfall in wintertime. J Climate, 6(6): 1161-1171.
- WMO. 2002. Standardized Verification System (SVS) for Long-Range Forecasts (LRF) new attachment II-9 to the manual on the GDPS (WMO-No. 485), 1.