0577-6619/2012/70(2)-0202-12 *Acta Meteorologica Sinica* 气象学报

降尺度方法在中国不同区域夏季降水预测中的应用*

顾伟宗[1,2,3,4] 陈丽娟[3] 李维京[3] 陈德亮[5]

GU Weizong[1,2,3,4] CHEN Lijuan[3] LI Weijing[3] CHEN Deliang[5]

1. 中国气象科学研究院,北京,100081
2. 南京信息工程大学,南京,210044
3. 国家气候中心,中国气象局气候研究开放实验室,北京,100081
4. 山东省气候中心,济南, 250031
5. 哥德堡大学地球科学系,瑞典 哥德堡, 40530
1. *Chinese Academy of Meteorological Sciences*, *Beijing* 100081, *China*
2. *Nanjing University of Information Science & Techonology*, *Nanjing* 210044, *China*
3. *Laboratory for Climate Studies*, *National Climate Center*, *Chinese Meteorological Administration*, *Beijing* 100081, *China*
4. *Shandong Climate Center*, *Jinan* 250031, *China*
5. *Department of Earth Sciences*, *University of Gothenburg*, *Gothenburg* 40530, *Sweden*

2010-04-12 收稿,2011-07-06 改回.

Gu Weizong, Chen Lijuan, Li Weijing, Chen Deliang. 2012. Development of a downscaling method in China regional summer precipitation prediction. *Acta Meteorologica Sinica*, 70(2):202-212

Abstract A downscaling method taking into account of precipitation regionalization is developed and used in the regional summer precipitation prediction (RSPP) in China. The downscaling is realized by utilizing the optimal subset regression based on the hindcast data of the Coupled Ocean-Atmosphere General Climate Model of National Climate Center (CGCM/NCC), the historical reanalysis data, and the observations. The data are detrended in order to remove the influence of the interannual variations on the selection of predictors for the RSPP. Optimal predictors are selected through calculation of anomaly correlation coefficients (ACC) twice to ensure that the high-skill areas of the CGCM/NCC are also those of observations, with the ACC value reaching the 0.05 significant level. One-year out cross-validation and independent sample tests indicate that the downscaling method is applicable in the prediction of summer precipitation anomaly across most of China with high and stable accuracy, and is much better than the direct CGCM/NCC prediction. The predictors used in the downscaling method for the RSPP are independent and have strong physical meanings, thus leading to the improvements in the prediction of regional precipitation anomalies.

Key words Coupled Ocean-Atmosphere General Climate Model (CGCM), Downscaling method, Regional precipitation, Prediction

摘 要 在中国降水气候分区的基础上,利用降尺度方法进行区域夏季降水预测(RSPP),预测模型建立的基础是寻找影响区域气候的关键因子。降尺度预测模型中使用的资料有国家气候中心海-气耦合模式(CGCM/NCC)回报资料、NCEP/NCAR 再分析资料和台站观测资料。为了避免年代际变化特征对季节尺度降水预测的影响,首先对 CGCM/NCC 模式输出资料、

* 资助课题:国家科技部科技支撑计划项目(2007BAC29B04、2009BAC51B05)和公益性行业专项(GYHY200906015)。
作者简介:顾伟宗,主要从事气候预测方法研究和应用。E-mail:longmarch529@163.com
通讯作者:陈丽娟,主要从事气候异常诊断和气候预测方法研究和应用。E-mail:chenlj@cma.gov.cn

NCEP/NCAR 再分析资料、区域平均降水资料去除年代际线性变化趋势,即去除所有预报因子场和预报对象场的长期变化趋势。然后分别计算预报对象和模式资料的预报因子场以及再分析资料的预报因子场的相关系数,把相关系数值同时达到 0.05 显著性检验水平的区域平均环流特征作为预测因子,保证挑选出的预测因子既能反映实际大气中预测因子与预报对象的关系,同时又是海-气耦合模式预测的高技巧信息。利用最优子集回归作为转换函数的降尺度方法建立区域夏季降水预测模型。交叉检验和独立样本检验结果表明,文中设计的区域夏季降水预测模型对中国大部分地区的夏季降水趋势预测的准确率较高且比较稳定,其预测效果远高于 CGCM/NCC 直接输出降水结果。进一步对具有较高预测技巧的代表性区域的可预报性来源分析发现,物理意义明确且独立性强的预测因子有助于提高预测准确率。

关键词 海-气耦合模式,降尺度方法,区域降水,预测

中图法分类号 P43

1 引 言

月、季节气候趋势预测一直是短期气候预测的重点和难点,也是政府防汛抗旱工作部署的重要参考。几十年来,中外科学家围绕着如何提高月、季节气候预测准确率做了大量工作,得到了一些有用的成果。其中,基于模式高技巧输出信息的降尺度方法明显改进了气候预测的效果(Fuentes, et al, 1996;Wilby, et al, 1997;李维京等, 1999; Chen, 2000; 陈丽娟等, 2003; Goddard, et al, 2001; Chen, et al, 2003; HellstrÊm, et al, 2003; 张礼平等, 2005;艾尧秀等, 2008;顾伟宗等,2009)。

中国东西跨度大、南北距离长,并且,具有从西部青藏高原到东部平原的复杂地形和多种下垫面条件,气候呈现出复杂的区域特征。因而,在适当的气候分区基础上,以区域气候特征作为预测对象,有利于获取大尺度影响因子,提高区域气候可预报性。关于中国的气候分区已经有不少研究(陈烈庭等,1994;王绍武等,1998;孙林海等,2005;任宏利等,2005;秦爱民等,2006; Chen, et al, 2009)。其中,Chen 等(2009)利用分布均匀的 400 个站逐月降水资料进行旋转经验正交函数分解(REOF)后将全国划分为 13 个区,该划分结果不仅可以对东部地区,而且还可对中西部地区的区域气候特征进行细致识别,分区个数比较适宜且体现了区域气候特征,有利于寻找影响区域气候的预测因子。

传统的短期气候预测,主要是基于统计方法寻找预测因子,建立预测方程,这样挑选出的因子只是统计上的关系,很难解释因子和预报量之间的物理关系,预测效果不稳定。十余年来,随着气候系统模式的发展,相继出现大量动力气候模式产品,但由于模式性能和计算误差等原因,使得直接利用模式产品对季节尺度降水的气候预测准确率并不高,无法满足业务和服务的需要。因而,在现有模式水平下,从大量的动力模式产品中提取高技巧信息,利用动力和统计相结合的降尺度方法是提高短期气候预测准确率的一个有效途径。

国家气候中心第一代全球海-气耦合模式(CGCM/NCC)自 2005 年正式投入业务运行以来,其预测的海温场和大气环流场为季节尺度的短期气候预测及服务提供了大量信息(丁一汇等,2004;李清泉等,2004;李维京等,2005),但模式直接输出的降水、气温预测技巧比较低(陈丽娟,2008),因而进一步挖掘模式对大气环流的高技巧预报信息,利用降尺度方法对降水、气温等要素进行预测,是提高季节尺度的短期气候预测准确率的一个途径。本文利用 Chen 等(2009)对中国降水的气候分区结果,以区域降水异常作为预测对象,针对不同地区的气候特征,利用海-气耦合模式回算和预测资料以及实况场资料相结合,最大限度地提取海-气耦合模式预测的大尺度环流有用信息,挑选不同区域的预测因子,利用最优子集回归作为转换函数的降尺度方法进行区域夏季降水预测(RSPP)。比较降尺度方法对区域夏季降水预测的结果和模式直接输出降水结果,分析代表性区域的预测技巧来源,为进一步提高区域季节降水预测准确率提供依据。

2 资 料

使用 1983—2006 年中国气象局国家气象信息中心整理的 400 个测站(主要为国家基准站和基本站)逐月降水量资料,1983—2006 年各月 NCEP/NCAR 再分析资料(Kalney, et al, 1996),以及国家气候中心海-气耦合模式(CGCM/NCC)以 2 月海洋大气信息作为初值的集合平均夏季环流预报场。NCEP/NCAR 再分析资料和模式预报量有 200、500、700 hPa 位势高度场,200、850 hPa 的纬向和经

向风场。模式输出量和 NCEP/NCAR 再分析资料的分辨率均为 2.5°×2.5°。

3 中国不同区域的划分

Chen 等(2009)对中国区域降水的分区结果(图1)体现了如下特征:(1)选择分布比较均匀的 400 个观测站使得对中西部地区的分区更加清晰和完整;(2)为了便于与格点化数据进行比较,确定区域边界时,以规则化为原则;(3)降水分区中,南方分区的范围比北方小;(4)与过去的分区相比有所不同,将华北北部和河套地区作为一个气候区域看待;长江作为黄淮和江南区域的分界,长江流域尤其是中下游沿江地区没有作为一个独立的区(表1)。

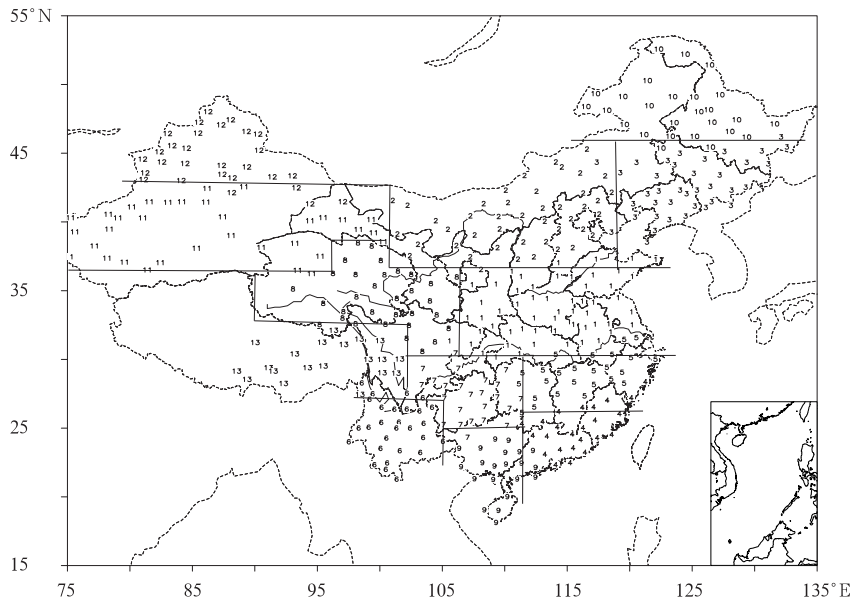


图1 中国降水的区域划分(Chen,et al,2009)

Fig. 1 Precipitation regimes in China (Chen, et al, 2009)

表1 降水分区名称和区域范围(Chen,et al,2009)

Table 1 Details of the precipitation regimes (Chen, et al, 2009)

区号	区域名称	区域范围
1	黄淮地区	30°—36.5°N, 105°—122°E
2	河套华北区	36.5°—46°N, 100°—119°E
3	东北南部区	36.5°—46°N, 119°—133°E
4	东南沿海区	21°—26.5°N, 112°—120°E
5	江南地区	26.5°—30°N, 112°—123°E
6	云南地区	21°—27.5°N, 97.5°—105°E
7	湘贵地区	27.5°—30°N, 102°—105°E 25°—30°N, 105°—112°E
8	青海地区	32.5°—36.5°N, 90°—105°E 36.5°—39°N, 96°—100°E 30°—32.5°N, 102°—105°E
9	广西地区	18°—25°N, 105°—112°E
10	东北北部区	46°—53°N, 116°—133°E
11	新疆南部区	36.5°—43°N, 75°—96°E 39°—43°N, 96°—100°E
12	新疆北部区	43°—48.5°N, 80°—95°E
13	西藏地区	27.5°—32.5°N, 88°—102°E

4 降尺度方法和试验设计

利用最优子集回归(魏凤英,2007)作为转换函数建立区域夏季降水预测方程时,预测因子的选择是预测模型建立过程中一个非常重要的环节,特别是季节预测,跨越时间尺度较长,预测因子选择恰当与否,在很大程度上决定了预测准确率。气候变化既包含季节和年际变化等短时间尺度信息,也包含年代际甚至更长时间尺度的信息,而不同时间尺度的要素,其影响因子也明显不同。对季节尺度降水预测而言,季节-年际尺度的环流系统中关键因子的影响更直接。为了避免全球变暖背景下长期变化趋势对挑选预测因子的影响,在建立区域季节尺度降水预测模型时,首先利用一元线性回归,分别将降水和模式动力产品以及对应的再分析资料的长期变化趋势去掉,用去除趋势后的降水资料分别与去除趋势后的模式产品和再分析资料求相关,将满足既能

反映模式预报大尺度要素的高技巧区,同时也能反映影响该区域降水的实际环流信息这两个条件的公共区域内模式资料代表性格点作为预测因子,确定出因子集,利用最优子集回归建立预测模型,得到初步的结果,然后将相应站点降水的初步结果加上其自身的长期变化趋势,得到最终预测结果。类似资料处理方式已经在月尺度降水预测中被应用,并取得较高的预测技巧(顾伟宗等,2009)。

利用最小二乘法,去除各个区域季节平均降水量、模式资料和 NCEP/NCAR 再分析资料的长期变化趋势,利用去除长期变化趋势后每个区域的降水资料与模式输出相同季节的 200、500、700 hPa 位势高度场,200、850 hPa 的 u、v 风场求相关,再用区域平均夏季降水量与同期 NCEP 再分析资料对应的要素场求相关,将季平均降水与模式输出场相关系数的分布场和季平均降水与 NCEP/NCAR 场相关系数的分布场相结合,寻求预测区域季节平均降水与模式结果和再分析资料的相关系数符号一致且通过 0.05 显著性水平检验的区域,将该区域内模式格点资料作为预测因子,在程序设计过程中保证该区域面积大于 4×4 个网格点,如果区域太小或者是孤立点,则不作为关键因子考虑。将所有满足以上条件的关键区的代表性格点挑选出来形成因子集,利用最优子集回归方法建立预测模型。在建立模型时,如果挑选出的因子太多(大于 10 个因子),则对每个场中挑选出的因子按照相关系数的大小进行排序,选出该场中相关系数中心值最大的一个区域作为预测因子代表,这样使得每个区域的预测因子数控制在 10 个以内。区域夏季降水异常的最终预测值为

$$R_p = R_t + R_v \tag{1}$$

式中,R_p 为降水的预报值,R_t 为降水的线性趋势项,R_v 为根据降水预测模型得到的反映年际变率的预报值。如果 $R_t > R_v$,则表明年代际预测信号占优势;反之,则年际异常预测信号占优势。

5 交叉检验和降尺度预测效果分析

5.1 交叉检验和评估

为了检验上述降尺度方法对区域季节降水的预测能力,文中利用交叉检验方法(Barnston, et al, 1996;吴洪宝等,2005),研究上述降尺度方法对每个区域 1983—2006 年夏季降水预测效果。具体做法是:(1)每次预报方程由所有可用资料中去掉第 M 年的资料后而建立;(2)然后用保留的第 M 年的因子资料代入方程预报区域降水,而保留的第 M 年的降水资料作为实况以进行对比。重复以上过程,使 M 取遍所有可能的取值,可以得到区域降水的预报值序列和实况值序列,通过比较两个序列的正、负趋势的一致率和两个序列的距平相关系数(ACC)作为衡量预报效果的标准,它反映了系统整体的预测技巧。因为保留的资料没有参与任何与模式方程建立有关的过程,可以认为样本检验是相对独立的。

从 1983 年开始,利用去掉被预测年份的资料进行建模,逐年进行预测,并比较各区域降水的预测结果与实况。在选择预测因子时,由于湘贵区域的气候特殊性和模式预测能力的限制,没有挑选出合适的预测因子,所以主要分析其余 12 个区降水的预测结果。从交叉检验结果(图 2)可以发现,大多数年份的各区域降水预测和实况比较接近,预测和实况距平百分率符号一致,显示出该方法对旱涝总体趋势的预测较好。降尺度方法的区域降水预测准确率明显高于 CGCM/NCC 对降水的预测结果。为了定量比较区域降水预测与实况,计算了各区域降水的交叉检验结果和实况的相关系数(表 2),除了云南和河套华北地区预测与实况的相关系数小于 0.3 外,其他地区预测与实况的相关系数都超过 0.3,其中江南地区最高为 0.64。

从距平百分率符号一致率来看,新疆北部、新疆南部、青海、西藏、河套华北、东南沿海、江南和广西 8 个区域,24 a 中有 16 a 以上的预测与实况的距平符号是一致的,旱涝趋势预测正确率达 67%;其中,新疆北部、河套华北地区、江南沿海和广西地区 24 a 中超过 18 a 距平符号一致,预测准确率达 75%;而新疆北部地区有 20 a 距平符号一致,预测准确率达到 83%。从预测的交叉检验效果和实况的比较可以看出,该降尺度方法对区域夏季降水预测有较高的能力,并且,大多数地区预测效果比较稳定,其中江南、广西、东南沿海、黄淮、河套华北地区、新疆北部、新疆南部、青海、西藏等地的夏季降水预测效果明显较好,在实际业务中,该方法预测结果对这些区域有较高的参考价值。

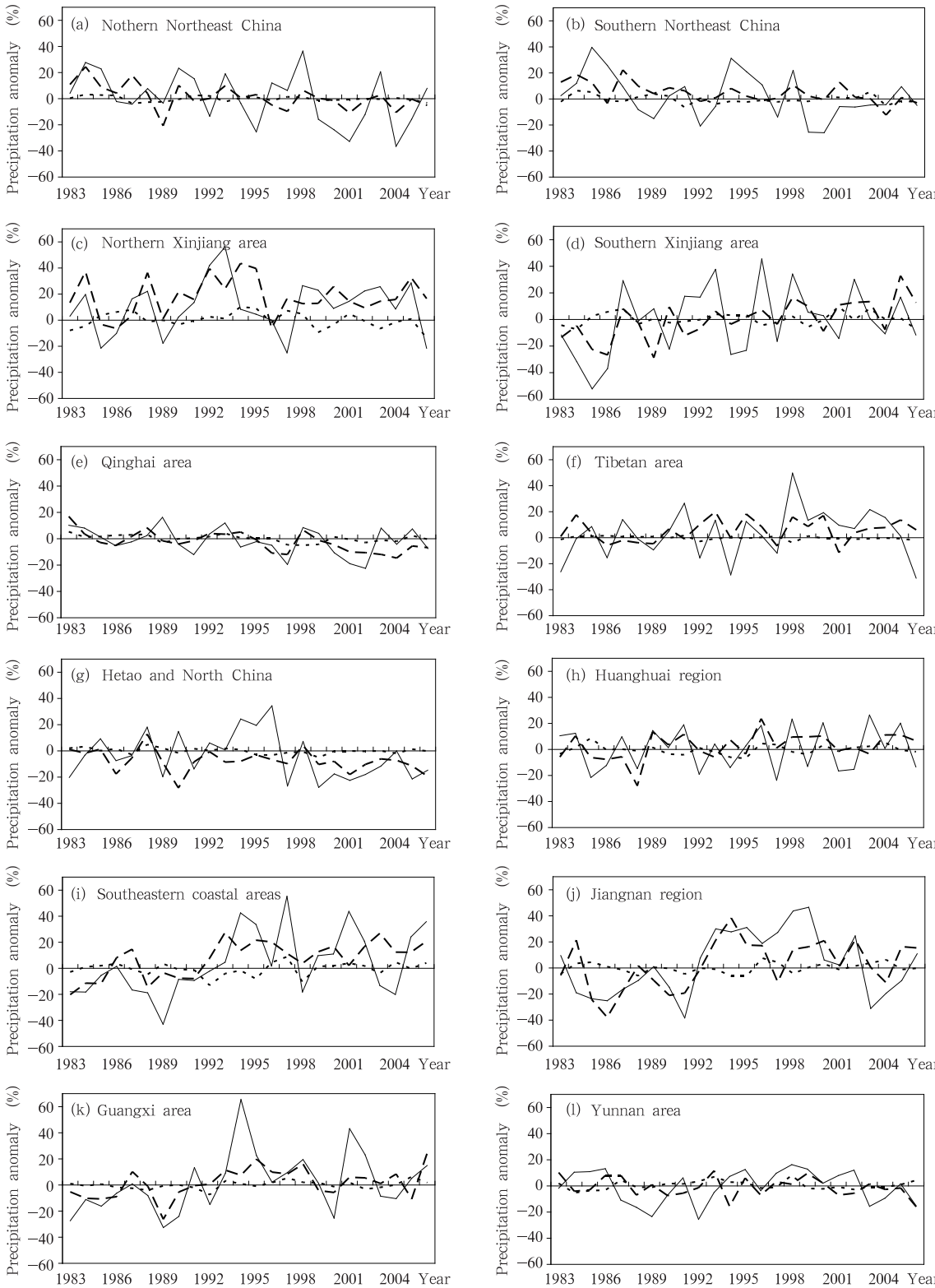


图 2 各区域夏季降水降尺度预测结果(虚线)、CGCM/NCC 模式直接输出结果(点线)和实况(实线)的对比(以距平百分率表示)

Fig. 2 Comparison of downscaled RSPPs (dashed line), CGCM/NCC model outputs (dotted line), and observations (real line) of summer precipitation percentage anomalies (%) in each region

表 2 各区域夏季降水预测和实况的相关系数(样本数:24 a)

Table 2 The correlation coefficient of summer precipitation anomalies between RSPPs and observations in each region based on 24-year sample data

区域名称	东北北部	东北南部	新疆北部	新疆南部	青海	西藏	河套华北	黄淮	东南沿海	江南	云南	广西
相关系数	0.49	0.34	0.45	0.45	0.54	0.36	0.29	0.43	0.45	0.64	0.13	0.60

5.2 区域夏季降水预测技巧

利用距平百分率符号一致率,逐年分析该方法对 12 个区夏季降水预测准确率和模式对 12 个相同区夏季降水预测准确率进行比较(图 3)。模式对各区降水的直接预测结果与该区域降水实况的距平百分率符号一致率维持在 50%左右,个别年份甚至只有 20%,预测效果差而不稳定,而利用降尺度方法预测各区域夏季降水,预测结果与实况的距平百分率符号一致率基本维持在 70%左右,24 a 中有 5 a 距平百分率符号一致率超过 90%,基于降尺度的区域夏季降水预测结果明显优于 CGCM/NCC 直接输出降水结果。

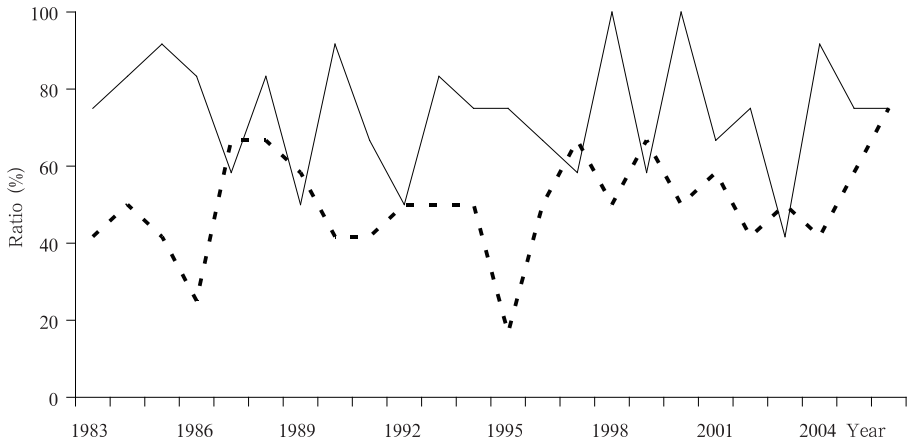


图 3 1983—2006 年基于降尺度方法的区域夏季降水预测结果(实线)与 CGCM/NCC 模式直接输出结果(点线)的比较
(纵坐标表示每年降水预测与实况距平百分率符号一致的区域占 12 个区域的比例(%))

Fig. 3 The skills of downscaled RSPPs (real line) and CGCM/NCC model outputs (dotted line) of precipitation anomalies during 1983 - 2006
(Vertical axis shows the ratio (%) of the consistency of regional precipitation anomaly signs between predictions and observations for all the 12 regions in each year)

为了进一步研究区域夏季降水预测方法的能力,将模式对不同区域夏季降水的直接输出结果与该区降水实况的相关系数、基于降尺度方法的区域夏季降水预测结果和该区域降水实况的相关系数进行了比较(图 4),可以看出,降尺度方法显著提高了对区域夏季降水的预测能力,并且降尺度方法的预测能力与模式直接输出预测能力有直接的关系。除个别区域(江南)外,模式直接输出结果与实况相关系数高的区域,基于降尺度方法的区域预测结果与实况的相关系数也较高。

5.3 区域夏季降水预测的可预报性来源

通过上面的比较,可以发现不同的区域预测能力差别较大,文中从挑选的因子着手,探求预测能力存在差异的原因。选取预测效果较好的江南地区和预测效果较差的云南地区作进一步分析。根据表 1 中各区域范围信息,江南地区是指(26.5°—30°N,112°—123°E)的矩形区域,与陈绍东等(2003)所选的江南区域范围接近并略大一些。根据以往的工作,江南地区的气候特征既有别于长江中下游(王叶红等,1999),也不同于华南地区(邓立平等,2002),

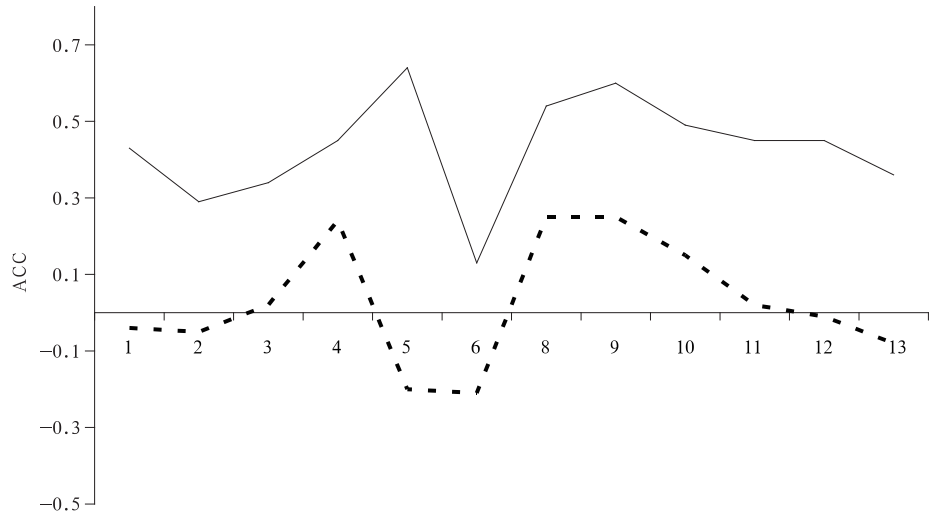


图 4 基于降尺度方法的区域夏季降水预测结果和实况的相关系数(实线)以及 CGCM/NCC 直接输出结果和实况的相关系数(点线)
(横坐标为表 1 中所列其中 12 个区域名称对应的编号)

Fig. 4 ACCs of the observation with downscaled RSPPs (real line), and with CGCM/NCC outputs (dotted line) for 12 regions in summer
(The regions are denoted by numbers (see Table 1) along the x axis)

应进行独立分析。

江南地区的预测因子共有 6 个,主要分布在 200、500 hPa 高度场,200、850 hPa 的经向、纬向风场。在用最优子集回归作为转换函数,建立预测方程时,综合比较各种组合的预测效果,最后采用 200、500 hPa 位势高度场和 850 hPa 经向风场的高影响因子,建立预报方程

$$y = 2.056 + 0.139x_1 + 0.268x_2 + 172.743x_3 \quad (2)$$

式中,x_1、x_2、x_3 分别为选取的 200、500 hPa 高度场和 850 hPa 经向风场预测因子。分析发现,这 3 个因子独立性比较好(表 3),第 1 和第 2 个因子的相关系数为 −0.22,第 1 和第 3 个因子的相关系数为 0.17,第 2 个和第 3 个因子的相关系数为 −0.15。各个因子之间独立性比较好,是建立气候预测模型的一个重要因素。

表 3 江南地区预测因子之间的相关系数

Table 3 The correlation coefficient between every two predictors for the Jiangnan region

相关系数	$x_1(H_{200})$	$x_2(H_{500})$	$x_3(V_{850})$
$x_1(H_{200})$	1	−0.22	0.17
$x_2(H_{500})$		1	−0.15
$x_3(V_{850})$			1

云南地区的预测因子共选到 4 个,分布在 200、500 hPa 位势高度场和 200 hPa 的经向和纬向风场上,在用最优子集回归建立预测方程时,综合比较各种组合的预测效果,最后用第 1 个因子建立预测方程。同样也分析了这 4 个因子之间的关系,发现各因子之间的相关性都比较高,第 1 和第 2 个因子的相关系数为 0.96,第 1 个和第 3 个的相关系数为 0.72,第 1 个和第 4 个因子的相关系数为 −0.7,第 2 个和第 3 个的相关系数为 0.71,第 2 个和第 4 个因子的相关系数为 −0.69,第 3 个和第 4 个因子的相关系数为 −0.5。这 4 个因子的独立性差,所以,在用最优子集回归建立预测模型时,综合比较各因子组合的预测效果,只挑选了第 1 个因子建立预测模型,因子相互之间没有独立性可能是导致预测效果较差的原因之一。

从上面的分析来看,在利用回归方法建立预测模型进行气候预测时,所挑选的因子至关重要,直接影响预测效果。如何找到有代表性的因子,正是本文要着重解决的问题。将实况资料与模式资料相结合,通过两次求相关的方法,寻求到满足既是观测环流要素场影响区域降水的关键区域,又是模式要素场预报的高技巧区域两个条件的因子,那么这样挑选的因子是否有效?预测技巧的可预报性来源是什

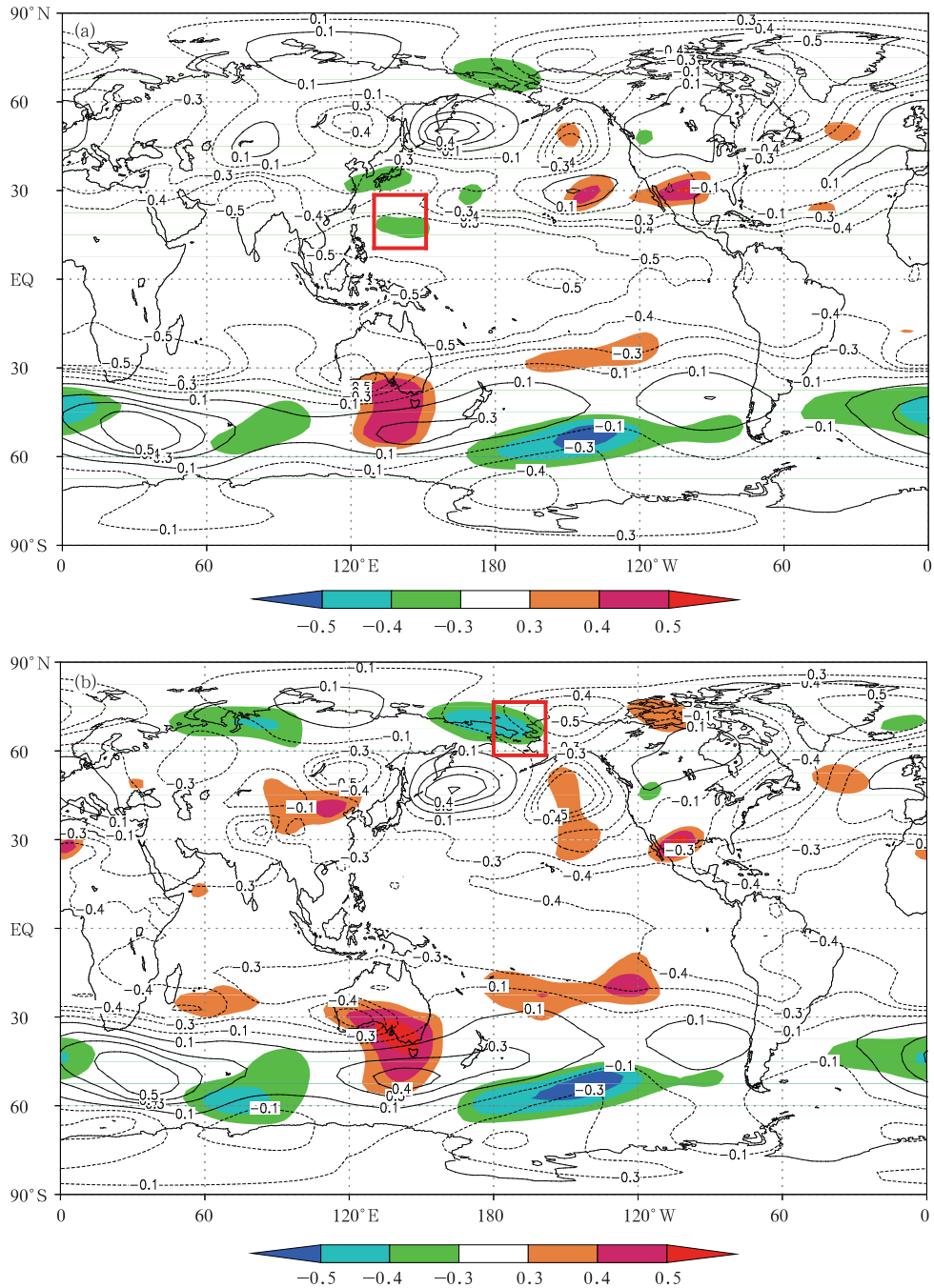
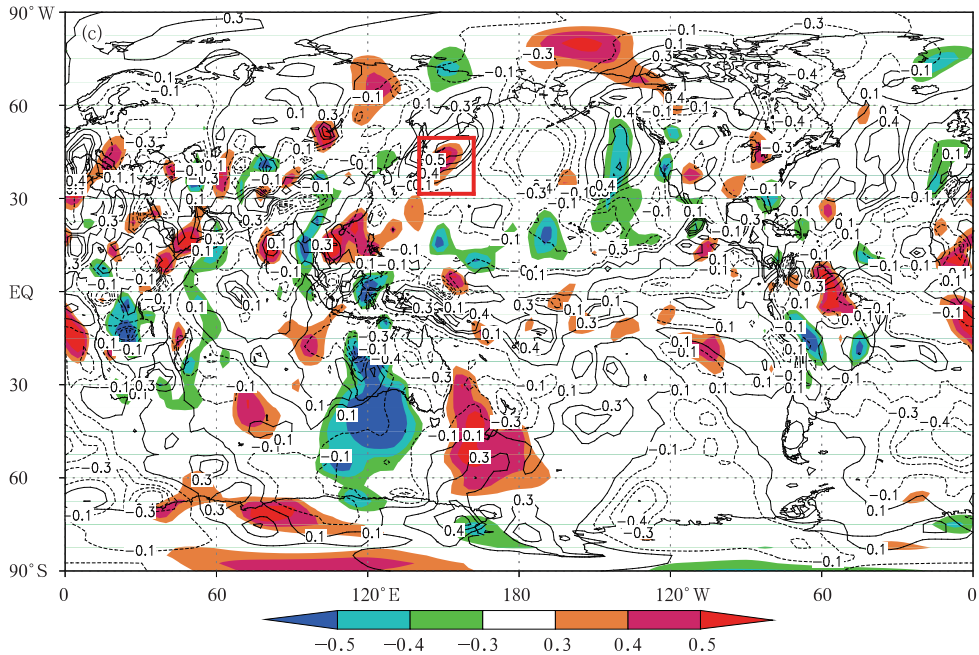


图 5　江南地区夏季降水与 NCEP/NCAR 再分析资料和 CGCM/NCC 输出的(a)200 hPa 高度场、(b)500 hPa 高度场、(c)850 hPa 风场的相关

(实线表示江南地区夏季降水与 NCEP/NCAR 再分析资料的距平相关系数值为正相关,虚线表示负相关;彩色区表示江南地区夏季降水与模式输出资料的距平相关系数绝对值超过 0.3 的区域,暖色表示正相关,冷色表示负相关)

Fig. 5　Correlations between summer precipitation over the Jiangnan region, NCEP/NCAR reanalysis data, and CGCM/NCC outputs of geopotential height at 200 hPa (a) and 500 hPa (b), and 850 hPa wind field (c) over the globe from 1983 to 2006

Contours indicate the ACC between the Jiangnan summer rainfall and NCEP/NCAR reanalysis data, and the solid contours indicate positive correlation while dashed contours mean negative correlation. Shadings depict the area where the ACC between the Jiangnan summer rainfall and the model output reaches 0.3 or −0.3 with the warm color denoting positive correlation and the cool color negative correlation



续图 5

么？仍然以江南地区为例作进一步分析。

200 hPa 高度场选用的预测因子分布在西太平洋上空(15°—20°N,125°—150°E),如图 5a 中红色方框所示。江南地区降水与该区域 200 hPa 高度场呈负相关,该区域位势高度场偏高时,江南地区降水偏少,反之亦然。该预测因子反映了副热带环流对江南降水的影响。

500 hPa 高度场挑选的预测因子分布在中高纬度地区白令海峡上空(图 5b 中红色方框),这反映出中高纬度大气环流异常对江南降水的影响。江南地区降水与该区域 500 hPa 高度场呈负相关,当该区域位势高度场偏高时,江南地区降水偏少,反之降水偏多。在该因子区域以南的日本以东,实况高度场与江南地区实况降水为正相关区,再往南的西北太平洋地区与江南地区降水为负相关区,从而呈“－＋－”的遥相关波列。但是受模式预测性能的限制,预测因子只反映了中高纬度的环流特征。

850 hPa 经向风场挑选的预测因子在日本海东北洋面上(图 5c 中红色方框),江南地区降水与该区域 850 hPa 经向风呈明显的正相关,当该处经向风偏大时,江南地区降水偏多;反之,江南地区降水偏少。

为了详细研究江南降水异常产生的原因,将 1983 年以来江南降水距平百分率超过 20% 的 1993、1994、1995、1998、1999 和 2002 年定义为降水偏多年,降水距平百分率低于－20% 的 1985、1986、1991 和 2003 年定义为降水偏少年。利用 NCEP/NCAR 再分析资料,将降水偏多年和偏少年的合成高度场做差值,研究江南地区降水偏多、偏少时的大气环流特征。

从降水偏多和偏少年夏季 200 hPa 位势高度差值场(图 6a)可以看出,亚洲上空 40°N 以南为大面积的负距平,该区域正是建立预测方程时所选因子的落区,亚洲中高纬度地区为较强正距平,表现为南亚高压偏弱、偏西,中高纬度为高压脊控制,这样的环流形式有利于冷空气南下,导致江南地区降水偏多。这与刘梅等(2008)研究的江苏梅雨和南亚高压的关系一致。

从降水偏多年和降水偏少年夏季同期 500 hPa 位势高度差值场(图 6b)可以看出,白令海峡上空为负距平,从图 5 的相关场来看,江南地区降水与该区域高度场为负相关,合成场与相关场的信息一致,从白令海峡到西北太平洋基本上呈“－＋－”的波列分布,这种波列传播形式可能是白令海峡上空位势高度场异常影响江南地区降水的原因,但其中的机制尚需深入研究。

从江南地区降水偏多和偏少年 850 hPa 风场差值场分布(图 6c)可知,在南海和菲律宾以东地区为

反气旋性环流,该反气旋性环流西侧的南风分量沿西北太平洋近海岸、日本岛以东地区,到达 45°—50°N 转向,与西风带转向南方的气流在东北汇合,然后输送到华北、山东、江淮等地,形成气旋性距平场,北风距平在江南上空附近与来自低纬度的西南气流形成切变,导致江南地区降水偏多。其中,在日本岛东北地区为明显的南风,该处正是区域预测模型选取的 850 hPa 经向风场中的因子落区,江南地区降水与该处经向风呈正相关,日本海以东的经向风越强,日本岛以东的西南风越强,中国东北上空向西南方向南下的气流越强,容易在江南上空附近形成切变,导致江南地区降水偏多。

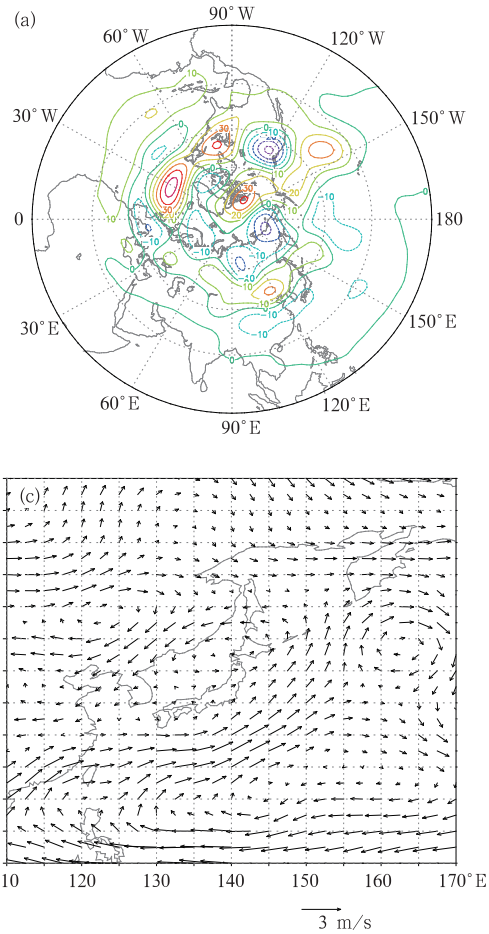


图 6 江南地区夏季降水偏多年和偏少年的同期(a)200 hPa 高度场(单位:gpm)、(b)500 hPa 高度场(单位:gpm)、(c)850 hPa 风场差值场分布

Fig. 6 Distributions of the difference of (a) 200 hPa geopotential height(unit:gpm), (b) 500 hPa geopotential height(unit:gpm), and (c) 850 hPa wind field between the wet and dry summer years in the Jiangnan region

上述分析显示了江南地区降水形成的基本物理图像,即西北太平洋地区低层为反气旋式环流,西太平洋副热带高压偏强,同时,北方冷空气活跃,江南地区低层(850 hPa)为明显的距平辐合区,高层(200 hPa)是明显的距平辐散区,有利于江南地区降水偏多。降尺度方法之所以能够比较准确预测出江南地区降水异常,与所挑选的因子具有一定的物理意义有直接关系。CGCM/NCC 虽然不能对整个环流系统有高技巧的预测,但对环流系统的部分特征预测效果较好,分别在 200、500 hPa 位势高度场和 850 hPa 风场有代表性区域可以作为预测因子,从而为降尺度方法的应用提供了基础。

6 总结与讨论

在气候分区的基础上,利用降尺度方法建立了区域夏季降水异常预测模型。利用 CGCM/NCC 气候模式输出场、NCEP/NCAR 再分析资料和站点降水资料,通过计算两次相关系数(模式资料的预报因子场和再分析资料的预报因子场分别与预报对象求相关系数)的方法,寻求影响区域季节降水的预测因子,并进一步对代表性区域降水的高技巧和低技巧预报原因进行了分析,结果表明:

(1) 去除预报对象和预报因子的线性趋势,避免了气候长期变化趋势对挑选预测因子的影响,有

利于挑选出能真正反映降水年际变化的预测因子，提高降水预测准确率。

（2）区域夏季降水分别与同期模式资料和再分析资料的相关系数达到0.05显著性检验后的区域才可作为预测因子，这样挑选的预测因子既是模式预报的高技巧区，同时又能反映实际大气对区域夏季降水的影响。预测因子具有一定的物理意义，从而有利于提高预测准确率。

（3）短期气候预测因子的独立性在很大程度上影响预测准确率。日常气候预测业务中，要注意挑选有实际物理意义的预测因子，建立区域夏季降水预测模型时使用相互独立的预测因子。

（4）基于模式高技巧信息的降尺度方法能够明显地提高季节降水预测准确率，并且模式的预测能力在很大程度上影响了降尺度预测能力。

通过分析可清楚看到，模式性能本质上决定了区域夏季降水预测的技巧，因而提高动力气候模式系统，对模式进行系统性误差订正都将有利于提高对要素预测的能力。同时还需要加强影响区域季节降水的物理机制分析，将基于历史资料的诊断分析和模式高技巧信息的挖掘有机地结合起来，进一步提高季节气候预测准确率。

参考文献

艾弢秀，董文杰，张培群. 2008. 一种基于EOF分析的迭代方法在业务预报中的应用. 热带气象学报，24(4)：320-326

陈丽娟，李维京，张培群等. 2003. 降尺度技术在月降水预报业务中的应用. 应用气象学报，14(6)：648-655

陈丽娟. 2008. 基于海气耦合模式的季节气候可预报性分析和解释应用[D]. 北京：中国科学院研究生院，372pp

陈烈庭，吴仁广. 1994. 中国东部的降水区划及各区旱涝变化的特征. 大气科学，18：586-595

陈绍东，王谦谦，钱永甫. 2003. 江南汛期降水基本气候特征及其与海温异常关系初探. 热带气象学报，19(3)：260-268

邓立平，王谦谦. 2002. 华南前汛期(4—6月)降水异常特征及其与我国近海海温的关系. 热带气象学报，18(1)：45-55

丁一汇，李清泉，李维京等. 2004. 中国业务动力季节预报的进展. 气象学报，62(5)：598-612

顾伟宗，陈丽娟，张培群等. 2009. 月动力延伸预报最优信息提取和对中国降水的降尺度应用. 气象学报，67(2)：280-287

李清泉，丁一汇，张培群. 2004. 一个全球海-气耦合模式跨季度汛期预测能力的初步检验和评估. 气象学报，62(6)：740-751

李维京，陈丽娟. 1999. 动力延伸预报产品释用方法的研究. 气象学报，57(3)：338-345

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

刘梅，胡洛林，张备等. 2008. 梅汛期100 hPa南亚高压特征与江苏梅雨关系研究. 热带气象学报，24(3)：284-293

秦爱民，钱维宏. 2006. 近41年中国不同季节降水气候分区及趋势. 高原气象，25：495-502

任宏利，张培群，丑纪范等. 2005. 中国夏季大尺度低频雨型及其转换模. 科学通报，50(24)：2790-2799

孙林海，赵振国，许力等. 2005. 中国东部季风区夏季雨型的划分及其环流成因分析. 应用气象学报，16(1)：56-62

王绍武，叶瑾琳，龚道溢等. 1998. 中国东部夏季降水型的研究. 应用气象学报，9(增)：65-74

王叶红，王谦谦，赵玉春. 1999. 长江中下游降水异常特征及其与全国降水和气候异常的关系. 南京气象学院学报，22：685-691

魏凤英. 2007. 现代气候统计诊断与预测技术(第二版). 北京：气象出版社，220-226

吴洪宝，吴蕾. 2005. 气候变率诊断和预测方法. 北京：气象出版社，131-145

张礼平，丁一汇，李清泉等. 2005. 国家气候中心海气耦合模式汛期降水预报的一种订正方案及其试验. 气候与环境研究，10(2)：209-219

Barnston A G, He Y. 1996. Skill of CCA forecasts of 3-month mean surface climate in Hawaii and Alaska. J Climate, 9(10): 2579-2605

Chen D. 2000. A monthly circulation climatology for Sweden and its application to a winter temperature case study. Int J Climatol, 20: 1067-1076

Chen D, Chen Y M. 2003. Association between winter temperature in China and upper air circulation over East Asia revealed by canonical correlation analysis. Global Planet Change, 37: 315-325

Chen L J, Chen D, Wang H J, et al. 2009. Regionalization of precipitation regimes in China. Atmos Ocean Sci Lett, 2: 301-307

Fuentes U, Heimann D. 1996. Verification of statistical dynamical downscaling in the Alpine region. Climate Res, 7: 151-168

Goddard L, Mason S J, Zebiak S E, et al. 2001. Current approaches to seasonal-to-interannual climate predictions. Int J Climatol, 21: 1111-1152

HellstrÊm C, Chen D. 2003. Statistical downscaling based on dynamically downscaled predictors: Application to monthly precipitation in Sweden. Adv Atmos Sci, 20: 951-958

Kalney E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. Bull Amer Meteor Soc, 77: 437-471

Wilby R L, Wigley T M. 1997. Downscaling General Circulation Model Output: A review of methods and limitations. Prog Phys Geog, 21: 530-548