

陈红. 2013. 淮河流域夏季极端降水事件的统计预测模型研究 [J]. 气候与环境研究, 18 (2): 221–231, doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2012.11088. Chen Hong. 2013. Statistical prediction model for summer extreme precipitation events over Huaihe River valley [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 18 (2): 221–231.

淮河流域夏季极端降水事件的统计 预测模型研究

陈 红

中国科学院大气物理研究所, 北京 100029

摘 要 采用年际增量预测方法, 通过考察与淮河流域夏季极端降水事件发生频次 (HRF) 年际增量相关的环流, 确定了 5 个预测因子: 冬季北太平洋涛动、12 月南极涛动、春季 3~4 月南印度洋气压、春季 3~4 月白令海气压、春季 3~4 月印尼—澳洲附近经向风垂直切变; 然后利用这 5 个预测因子, 通过多元线性回归方法建立 HRF 年际增量的预测模型, 进而预测 HRF。交叉检验表明, 在 1962~2005 年的后报中, 这个预测模型对 HRF 显示了较高的预测技巧, 预测结果与实测间的相关系数为 0.67, 表现出较高的预测潜力, 对淮河流域夏季极端降水事件的预测具有较大的应用价值。

关键词 淮河 极端降水事件 预测模型 年际增量

文章编号 1006-9585 (2013) 02-0221-11

中图分类号 P456

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2012.11088

Statistical Prediction Model for Summer Extreme Precipitation Events over Huaihe River Valley

CHEN Hong

Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

Abstract The atmospheric circulation anomalies in winter and spring associated with the year-to-year increments of summer extreme precipitation event frequency over the Huaihe River valley (HRF) were analyzed during 1962–2005 to identify five key HRF predictors by using a year-to-year incremental approach. These indicators include the North Pacific Oscillation (NPO) in winter, the Antarctic Oscillation (AAO) in December, sea level pressure over the region of the south Indian Ocean and Bering Sea in March and April (MA), and the meridional wind shear between 850 hPa and 200 hPa over the Indo-Australian plate region in MA. A prediction model for year-to-year increments of HRF is established by using the multi-linear regression method. The predicted value of each year's increment of HRF is added to the observed value within a particular year to yield the HRF forecast. Cross-validation testing shows that the prediction model has a high skill for HRF with a correlation coefficient of 0.67 during 1962–2005. Thus, this prediction model has a high potential for accurate HRF forecasting.

Keywords Huaihe River valley, Extreme precipitation events, Prediction model, Year-to-year increment

收稿日期 2011-06-20 收到, 2013-01-28 收到修定稿

资助项目 国家重点基础研究发展计划项目 2009CB421407、公益性行业 (气象) 科研专项 GYHY200906018、中国科学院战略性先导科技专项 XDA05110201, 国家科技支撑计划项目 2007BAC29B03

作者简介 陈红, 女, 1972 年出生, 博士, 副研究员, 主要从事气候预测研究。E-mail: chh@mail.iap.ac.cn

1 引言

淮河流域位于东亚季风区内陆,地处我国南北气候过渡带,是我国重要的粮棉基地。由于其特殊地域特征,极易发生旱涝灾害,“大雨大灾,小雨小灾,无雨旱灾”是其一大特点。21 世纪以来,夏季多雨带频繁出现在淮河流域,2003、2005、2007 年淮河流域更是发生了严重的暴雨洪涝灾害,仅 2003 年淮河暴雨就造成了 181.7×10^8 元的直接经济损失,受灾人口高达 4751.8×10^4 人(高辉, 2006)。旱涝灾害制约着淮河流域的经济发展,同时也引起了气象学家的广泛关注。

长期以来,我国气象工作者对淮河流域夏季旱涝进行了许多研究。如,20 世纪 60 年代,陶诗言和徐淑英(1962)的研究表明,当夏季江淮流域出现持久性旱涝时,中纬度和副热带地区流型均很稳定;陈辉等(2000)研究了淮河夏季降水的前期环流异常特征,并建立了有效的预测模型;王慧和王谦谦(2002a)的研究表明,淮河流域夏季降水,20 世纪 70 年代中期以前偏多、70 年代中期以后偏少,淮河流域夏季降水异常与印度西南季风、东亚副热带季风以及冷空气异常有密切关系;王慧和王谦谦(2002b)研究了淮河流域降水异常与北太平洋海温异常的关系,探讨了北太平洋海温异常对淮河流域降水的可能影响机制;高辉(2006)讨论了淮河夏季降水与赤道东太平洋海表温度关系的年代际变化,指出 ENSO 对淮河夏季降水预测的参考意义正在减弱;魏凤英和张婷(2009)分析了淮河夏季降水的年际、年代际特征,并研究东亚夏季风、太平洋海表温度等气候背景与淮河夏季降水的联系;等等。但上述这些研究的关注点是淮河流域夏季平均降水,对淮河流域极端降水及其预测的研究则很少见。极端天气和气候事件是对人类社会危害最严重的自然灾害之一,极端气候事件的频率和强度变化对自然和社会的冲击远大于气候平均变化带来的影响(Plummer et al., 1999),因此,开展淮河流域夏季极端降水事件的预测研究对该区域防灾、减灾有重要意义。

鉴于气候模式对中国区域降水预测技巧较低,对小概率事件的极端降水的预测能力就更弱,所以用统计方法进行极端降水事件的预测也可能不失为一个有效途径。目前国内众多的统计预测模型都

是关于区域降水、气温等(如,陈辉等,2000;彭京备等,2006;Fan et al., 2008),而对极端气候的统计预测模型这方面的研究则很少。所以本文拟从气候学角度出发,采用 Fan et al. (2008)提出的年际增量预测方法,对影响淮河流域夏季极端降水事件(HRF)强弱的前期因子进行气候分析,通过一些可能物理机制的探讨,确定预测因子,建立 HRF 年际增量的统计预测模型,从而探讨利用统计模型进行极端气候预测的可行性,为极端气候事件的预测提供一个思路。

2 资料和方法

利用 1962~2006 年 NCEP/NCAR 再分析 2.5° (纬度) $\times$ 2.5° (经度)分辨率环流资料、NOAA 2° (纬度) $\times$ 2° (经度)长时间序列月平均海温资料和东亚区域高分辨率日降水格点资料(Xie et al., 2007),进行相关研究。文中南极涛动(AAO)指数采用 Thompson and Wallace (2000)的定义,为 $20^\circ\text{S} \sim 90^\circ\text{S}$ 850 hPa 位势高度距平场 EOF(经验正交函数)分解的第一模态的时间系数。此外,本文还用到国家气象局 74 项环流指数资料。

Fan et al. (2008)提出了年际增量预测方法,年际增量(DY)为当年的变量值减去前一年的变量值。该预测方法已被用于我国夏季降水、气温、台风的预测中,其优点是能放大预测对象的预测信号使之更容易预测,且年际增量能反映出年际和年代际信号。本文将此方法用于淮河极端降水事件的统计预测中,首先通过考察与 HRF 年际增量相关的环流,确定关键的预测因子,然后利用这些预测因子,通过多元线性回归方法建立 HRF 年际增量的预测模型,进而预测 HRF,并对模型的性能进行检验。

3 淮河流域夏季极端降水事件的预测强信号

3.1 极端降水事件定义

依据世界气象组织的规定,将大于 90%分位点的降水事件定义为极端降水事件。本文将淮河流域内各格点 1962~2005 年 6~8 月降水序列中日降水量大于 90%百分位的事件定为极端强降水事件。

淮河流域位于 ($31^\circ\text{N} \sim 36^\circ\text{N}$, $112^\circ\text{E} \sim 121^\circ\text{E}$)

的范围内（丁一汇等，1999；宁远等，2003），将该区域内所有点的夏季极端降水事件发生频次进行平均，得到 1962~2005 年淮河流域区域平均的 HRF 序列。该区域平均序列与流域内所有点进行相关计算，发现除北部少数点外，大多数格点相关均通过显著性检验（图略），这表明该序列能基本代表整个流域的极端降水事件变化情况。

3.2 HRF 年际增量与同期环流场关系

图 1a 是 HRF 年际增量与北半球夏季 500 hPa 高度场年际增量在 1963~2000 年间的相关图，可以发现，在我国东部从菲律宾经东海，日本海到鄂霍次克海出现比较明显的“十”字的异常分布，这种分布与太平洋—日本（PJ）遥相关型的负位相

一致，对应着西太平洋副热带高压位置的偏南。由此表明，夏季西太平洋副热带高压位置的偏南是有利于淮河极端降水事件的发生的。西太平洋副热带高压脊线指数（取自气象局 72 项环流指数）年际增量与 HRF 年际增量的相关为 -0.466 ，也证实了这一点。

图 1b 是 HRF 年际增量与 850 hPa 风场年际增量在 1963~2000 年间的相关分布，由图可见，淮河流域夏季极端降水事件频次偏多时，对应着从南海、孟加拉湾至阿拉伯海为东风距平，表明东亚夏季风可能偏弱，HRF 年际增量与东亚夏季风指数年际增量[取自张庆云等（2003）定义]相关为 0.339 ，通过 95% 信度检验，由此也表明 HRF 年际增量与

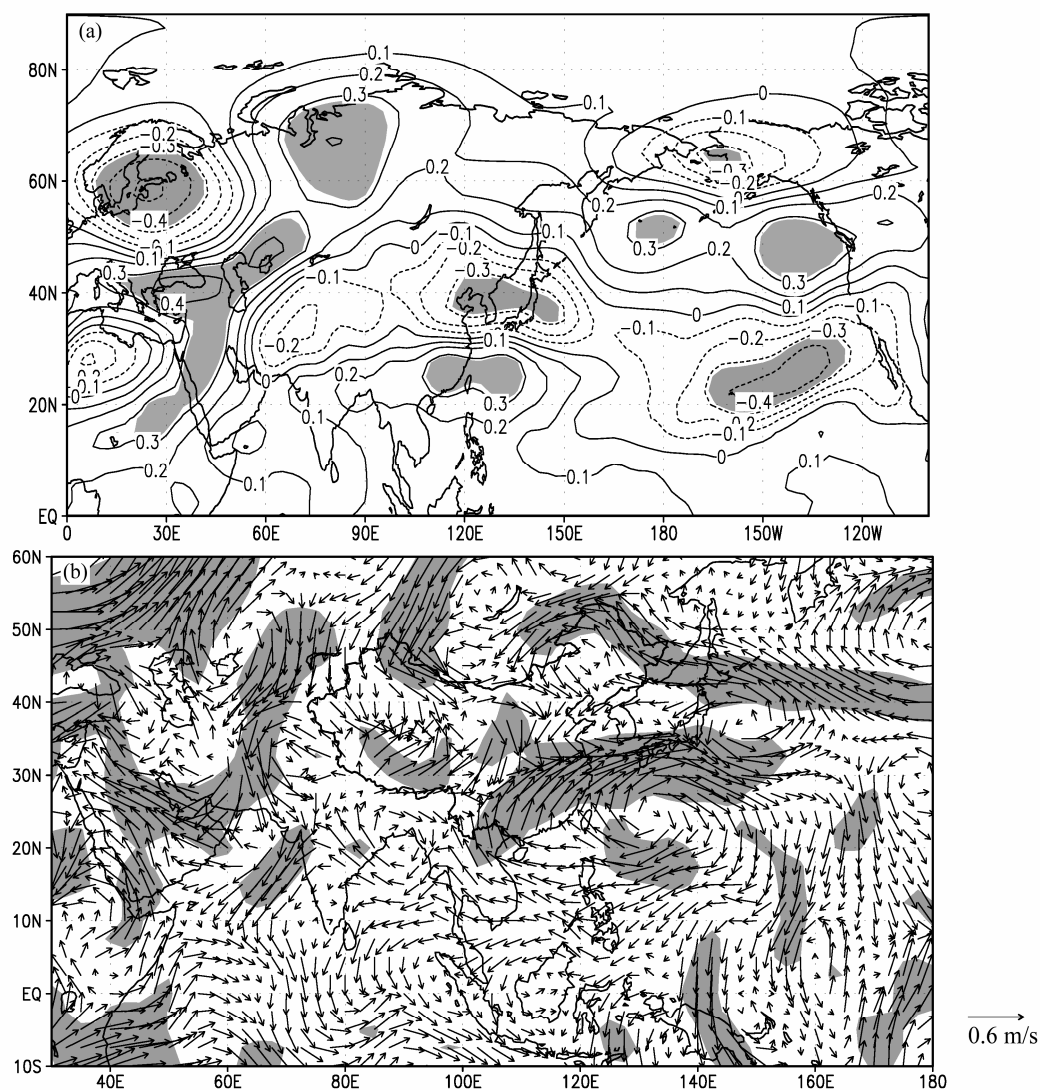


图 1 HRF 年际增量与 (a) 夏季 500 hPa 高度场和 (b) 850 hPa 风场年际增量在 1963~2000 年间的相关，阴影区为通过 95% 信度检验的区域

Fig. 1 Correlation coefficients between DY (the difference of a variable between the current year and the preceding year) of HRF (summer extreme precipitation event frequency over Huaihe River valley) and (a) the DY of 500-hPa geopotential height and (b) the DY of 850-hPa wind in June, July, and August (JJA) during 1963–2000, respectively. Shaded areas indicate significant correlation coefficients at 0.05 level

东亚夏季风强度呈负相关, 极端降水事件频次偏多, 对应东亚夏季风偏弱。此外, 图 1b 也表明极端降水事件频次偏多时, 西太平洋副热带高压偏西、偏南、偏强, 东亚副热带 30°N 夏季风偏强。淮河流域位于副热带高压暖湿气流同偏北气流的交汇处, 有利于极端降水事件的发生。

3.3 HRF 年际增量的前期预测强信号

北太平洋涛动 (NPO) 是北太平洋大气年际变化的主要模态。已有研究表明, 冬季 NPO 是我国夏季淮河流域降水的重要预报因子 (张静等, 2007)。相关分析表明, 冬季 NPO 也是淮河流域夏季极端降水事件的重要预报因子, 它们的年际增量有正 0.43 的强相关。此处, NPO 指数定义为两个点 (65°N, 170°E) 和 (25°N, 165°E) 之间的海平面气压差的标准化值 (Wallace and Gutzler, 1981)。冬季 NPO 与东亚冬季风密切相关, NPO 指数为正时, 东亚沿岸为强偏北风, 东亚冬季风偏强 (图略)。作为隔季相关的前期信号场, NPO 对淮河极端降水的影响是比较复杂的海气相互作用问题, 它与北太平洋区冬、春季海温有显著的正相关, 其对淮河夏季极端降水的影响机制值得做进一步深入研究。在此, 我们选取冬季 NPO 作为 HRF 年际增量的一个预测因子。

南极涛动 (AAO) 是近几年被确认的南半球中高纬一个主要的气候变率模态, 正的 AAO 表示加强的绕南极低压和南半球中高纬西风。近年的研究揭示冬、春季的 AAO 与华北沙尘频次、长江中下游梅雨、华北夏季降水以及西北太平洋台风频次有密切的关系 (Gao et al., 2003; Fan and Wang, 2004; Wang and Fan, 2005), 是影响东亚气候的一个重要系统。从图 2a 上可以看到, 冬季 12 月南半球极区气压与 HRF 年际增量呈显著负相关, 与 40°S 附近气压呈显著正相关, 对应着 AAO 的正位相。冬季 12 月 AAO 指数与 HRF 年际增量在 1963~2000 年间的相关为 0.34, 超过了 95% 的信度检验。图 3 表明, 12 月正的 AAO 指数对应着冬季至夏季赤道西太平洋正的海温异常, 众多研究结果表明 (金祖辉和陈隽, 2002; 简茂球等, 2004; 张立峰等, 2005), 赤道西太平洋正的海温异常可使热带夏季风减弱, 副热带季风增强, 副热带高压脊线偏南, 如上节 3.2 所述, 副热带高压和东亚夏季风的这种异常分布是有利于淮河极端降水事件的发生的。因此, 12 月 AAO 可通过热带西太平洋海温的异常, 来影响东亚

夏季风活动, 最终导致淮河流域夏季极端降水事件的异常。由此, 我们选取 12 月 AAO 作为 HRF 年际增量的一个预测因子。

分析 HRF 年际增量与春季 3~4 月平均的海平面气压场的相关场 (图 2b), 我们注意到, 南半球显著相关区在印度洋南部马斯克林高压附近地区。我国气象学家很早就认识到南半球大气环流包括马斯克林高压是亚洲季风系统的成员之一, 影响东亚夏季风降水。本文定义南印度洋气压指数 SIOI 为 (35°N~55°N, 45°E~85°E) 区域平均的海平面气压。HRF 年际增量与该指数在 1963~2000 年间的相关系数为 0.56, 通过 99% 信度检验。该指数在一定程度上表示了马斯克林高压的变化。而马斯克林高压的变化与西太平洋副热带高压及东亚夏季风密切相关。已有研究 (薛峰, 2005; 陶娜麒和孙照渤, 2007) 指出, 前期马斯克林高压强, 夏季西太平洋副热带高压偏西、偏南、偏强, 东亚夏季风弱, 如上节 3.2 所述, 副热带高压和东亚夏季风的这种异常分布是有利于淮河极端降水事件的。因此, 我们将春季 3~4 月平均的南印度洋气压确定为一个预测因子。

图 2b 也表明, 北半球显著相关区在白令海北部地区, 该区域平均 (160°E~200°E, 60°N~80°N) 的指数 BOI 与 HRF 年际增量相关为 -0.55, 通过 99% 信度检验。BOI 可能与北半球高纬度冷空气活动有关, 其与同期北半球极涡面积指数的相关为 0.37, 与夏季亚洲纬向环流指数的相关为 0.43。这表明, BOI 偏弱时, 北半球极涡面积缩小, 这样会有利于夏季高空西风急流位置的南移, 中高纬环流经向性增加, 有利于中高纬冷空气南侵, 江淮流域夏季降水增多 (王遵娅和丁一汇, 2009)。图 4 是 3~4 月平均白令海海面气压与北半球夏季 500 hPa 高度场的相关, 可以看出, BOI 增强时, 在我国东部沿海从菲律宾海经东海、日本海到鄂霍次克海出现比较明显的“一十”的异常分布, 这种距平分布与 PJ 遥相关型的正位相一致, 对应着西太平洋副热带高压的偏北, 中高纬阻塞减弱, 不利于淮河夏季极端降水事件的发生。因此, 我们将 3~4 月平均的白令海附近的海平面气压确定为一个预测因子。

图 2c 表示了 HRF 年际增量与春季 3~4 月平均的 850 hPa 和 200 hPa 的经向风垂直切变年际增量的相关场, 显著的负相关区位于印尼—澳洲附近。

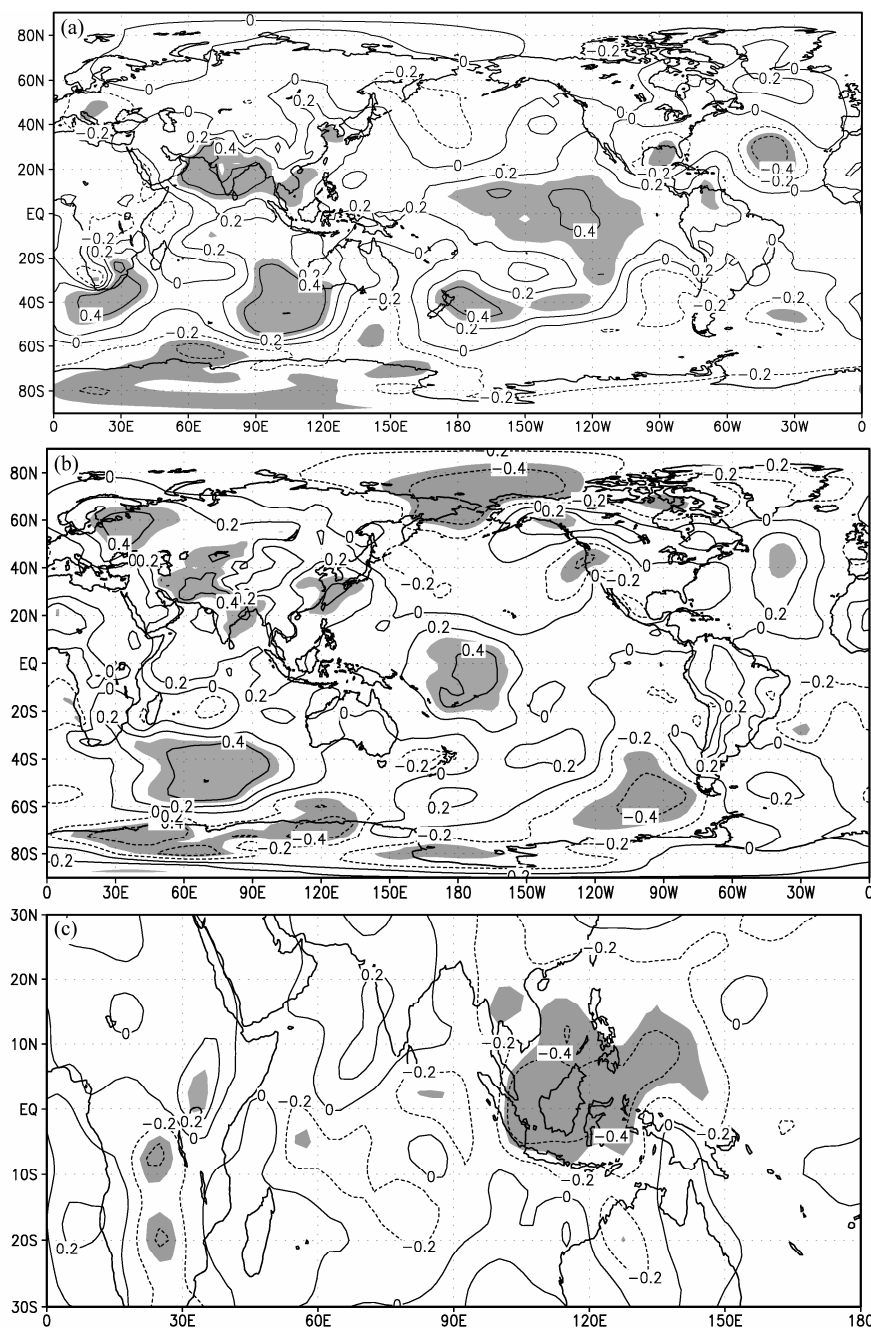


图2 HRF 年际增量与 (a) 前期 12 月海平面气压场、(b) 3~4 月海平面气压场、(c) 3~4 月 850 hPa 与 200 hPa 经向风垂直切变年际增量在 1963~2000 年间的相关。阴影区为通过 95% 信度检验的区域

Fig. 2 The correlation coefficient between the DY of HRF and (a) the DY of sea level pressure in preceding December, (b) the DY of sea level pressure in March and April (MA), and (c) the DY of meridional wind shear between the 850 hPa and 200 hPa in MA during 1963–2000, respectively. Shaded areas indicate significant correlation coefficients at 0.05 level

因此, 定义印尼—澳洲附近的经向风切变指数 (WSI) 为区域 ($120^{\circ}\text{E}\sim 140^{\circ}\text{E}$, $20^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$) 平均 850 hPa 和 200 hPa 的经向风垂直切变。WSI 与 HRF 年际增量在 1963~2000 年间相关为 -0.43 , 通过 99% 信度检验。图 5a 给出了 WSI 年际增量与

夏季 850 hPa 风场的相关, 可见 WSI 与印尼—澳洲的越赤道气流紧密相关, WSI 加强, 对应着澳洲北部越赤道气流的加强。印尼—澳洲越赤道气流的加强, 有利于西太平洋副热带高压的减弱、偏东、偏北 (刘向文等, 2009), 这样不利于夏季淮河极端降

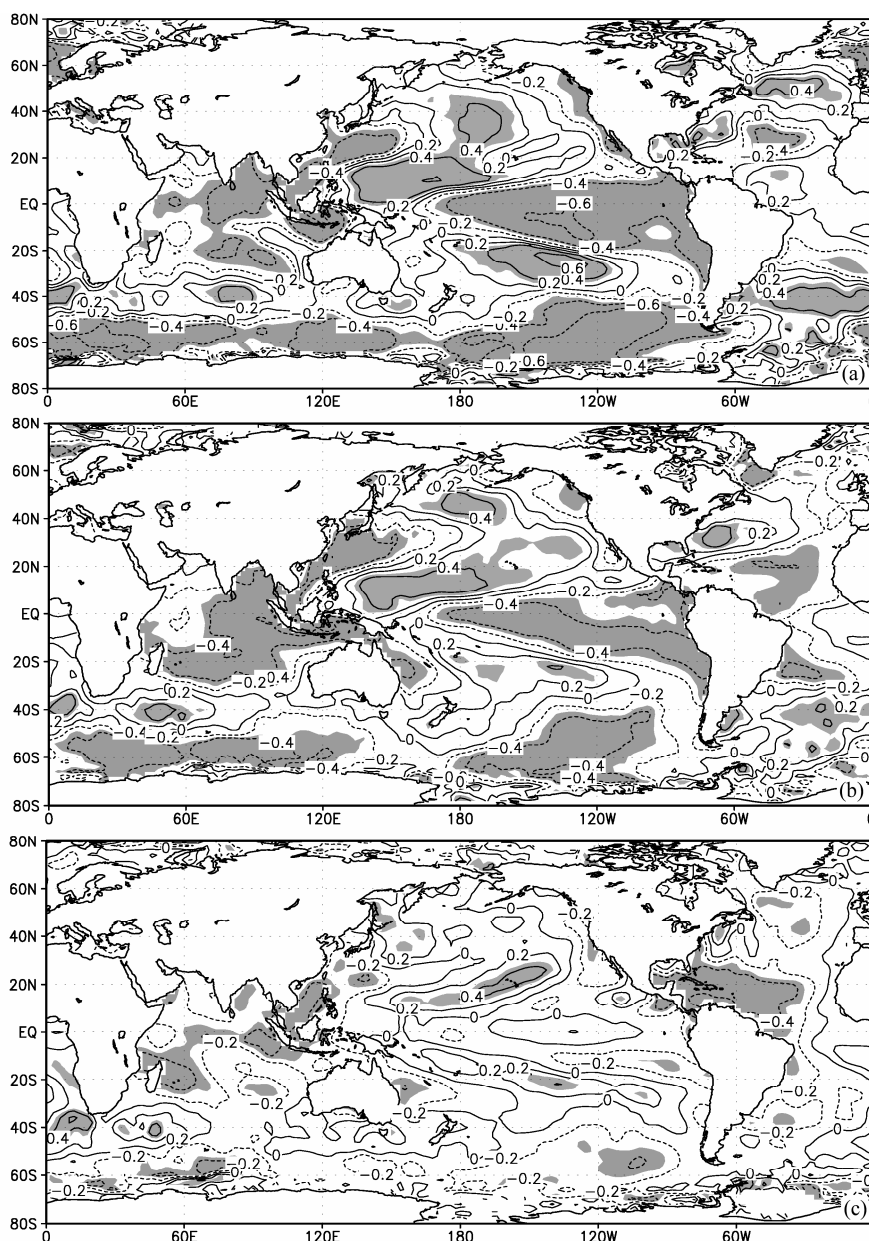


图3 12月AAO指数年际增量与(a)冬季、(b)春季、(c)夏季海温年际增量在1963~2000年间的相关,阴影区为通过95%信度检验的区域
Fig. 3 The correlation coefficient between the DY of AAO (Antarctic Oscillation) index in December and the DY of sea surface temperature in (a) winter, (b) spring, and (c) summer during 1963–2000, respectively. Shaded areas indicate significant correlation coefficients at 0.05 level

水事件的发生(图5b)。

基于以上分析,确定了5个预测因子:冬季NPO(X_1),与北半球冬季冷空气活动有关;12月AAO(X_2),它反映了南半球中高纬环流;春季3~4月南印度洋气压(X_3),与东亚夏季风环流有关;春季3~4月白令海气压(X_4),它与北半球高纬冷空气有关;春季3~4月印尼—澳洲附近经向风垂直切变(X_5),与澳洲南部越赤道气流有密切的关系。以上5个因子都有较好的物理基础并从前期冬、春季环流中选取,对HRF的夏季预测有预测

意义。

4 预测模型及检验

为保证预测时效性,利用前期5个高相关预测因子,通过多元线性回归方程建立HRF年际增量预测模型。回归方程表示为:

$$Y=0.26 X_1+0.32 X_2+0.27 X_3-0.33 X_4-0.47 X_5. (1)$$

图6a显示了淮河夏季极端降水频次年际增量的拟合结果与实况在1963~2000年中变化比较一

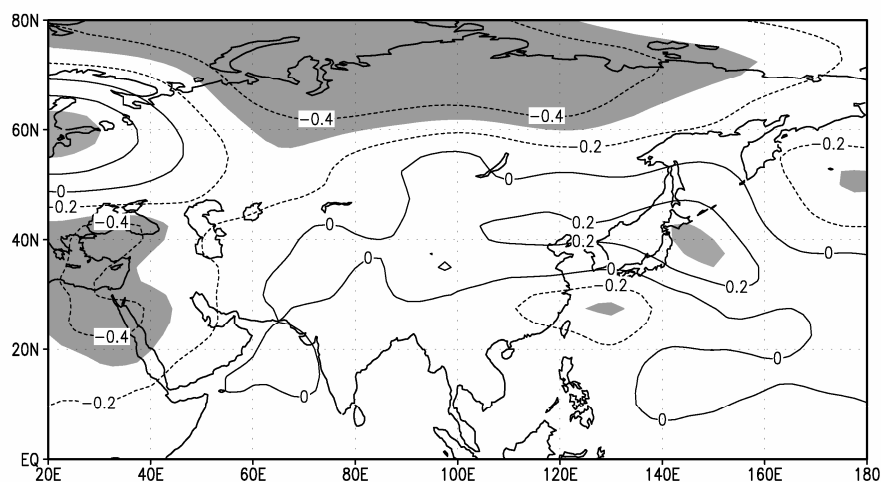


图 4 3~4 月白令海气压年际增量与夏季 500 hPa 高度场年际增量在 1963~2000 年间的相关。阴影区为通过 95%信度检验的区域
Fig. 4 The correlation coefficient between the DY of BOI (the index of the Bering Sea sea level pressure) in MA and the DY of geopotential height at 500 hPa in JJA during 1963–2000. Shaded areas indicate significant correlation coefficients at 0.05 level

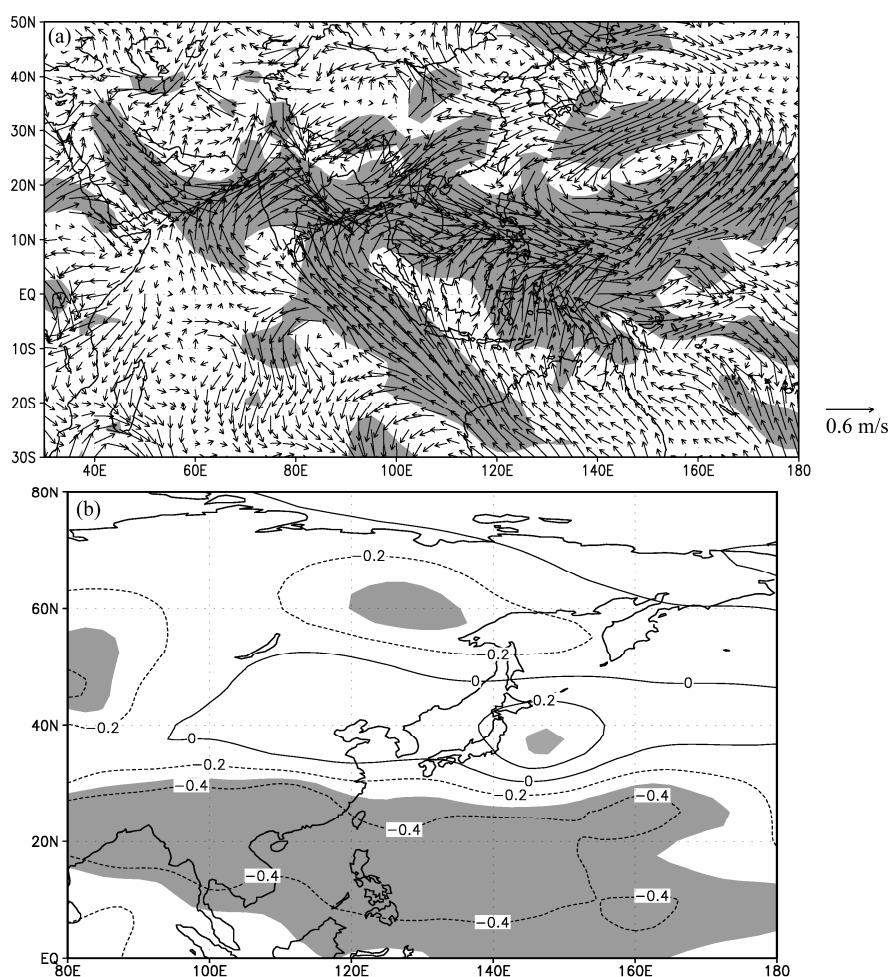


图 5 WSI 年际增量与夏季 (a) 850 hPa 风场和 (b) 500 hPa 高度场年际增量在 1963~2000 年间的相关。阴影区为通过 95%信度检验的区域
Fig. 5 The correlation coefficient between the DY of WSI (the index of meridional wind shear) and (a) the DY of 850-hPa wind, (b) the DY of 500-hPa geopotential height at from June to August during 1963–2000 respectively. Shaded areas indicate significant correlation coefficients at 0.05 level

致, 相关为 0.89, 在许多年份, 观测值和模拟值接近。随后, 我们将 HRF 的年际增量加上前一年的观测 HRF, 得到 HRF 异常。图 6b 表明预测模型能成功地模拟出 HRF 的年际变化, 在许多年份, 预测值和观测值接近, 两者相关在 1963~2000 年拟合阶段为 0.71。

为考察模型对 HRF 年际增量及 HRF 距平的预测能力, 我们利用模型对 2001~2005 年作了后报。这 5 年预测年际增量的同号率为 100%。预测模型能成功地后报出 2001、2004 年年际增量异常偏弱的年份 (标准偏差小于 -1), 其预测值与实际值接近。模型还能成功地预测出 HRF 年际增量较强的年份 2003 年和 2005 年, 因此这个模型能成功地模拟和预测 HRF 年际增量的年际变化。图 6b 表明预测和实际 HRF 异常也有很好的一致性, 在 2001~2005 模型后报的 5 年中, 预测模型能成功地预测出 2001 年的 HRF 异常偏小、2003 年和 2005 年的异常偏多及 2002 年和 2004 年的 HRF 较正常年份。这表明基于前期强信号建立的预测模型对淮河流域夏季极端降水事件具有较好的预测能力。

由于观测资料大约有 40 多年的资料, 而交叉检验方法能够充分利用所有的观测资料, 因此本文采用交叉检验的方法对统计模型性能进行进一步检验。交叉检验具体做法: 首先选择一个观测样本, 用其余 $N-1$ 个样本建立统计模型, 并对选择的一个观测样本进行评估, 这个过程重复 N 次, 直到 N 个样本都被选择, 最后得到相应于观测的 N 个样本的 N 个估计值, 然后对 N 个观测值与 N 个估计值进行分析, 检验统计模型的性能。

图 7a 给出 1963~2005 年标准化后的 HRF 年际增量观测曲线与回归模型交叉检验计算得到的年际增量曲线。可以看出, 它们的年际变化比较一致, 相关系数为 0.87, 通过 99% 信度检验, 同号率为 88%, 回归得到的方差略小。交叉检验方式得到的 HRF 及相应的观测距平间的相关为 0.67 (图 7b), 同号率为 76%, 模型能成功地预报出极端降水事件异常偏多年份, 如 1963、1965、1998、2000、2003 年, 异常偏少年份, 如 1966、1977、1978、1985、1988、1997、1999、2001 年。但有些年份预测效果不理想, 如 1973 年异常偏少没有报出、1970 空报异常偏少等, 所以

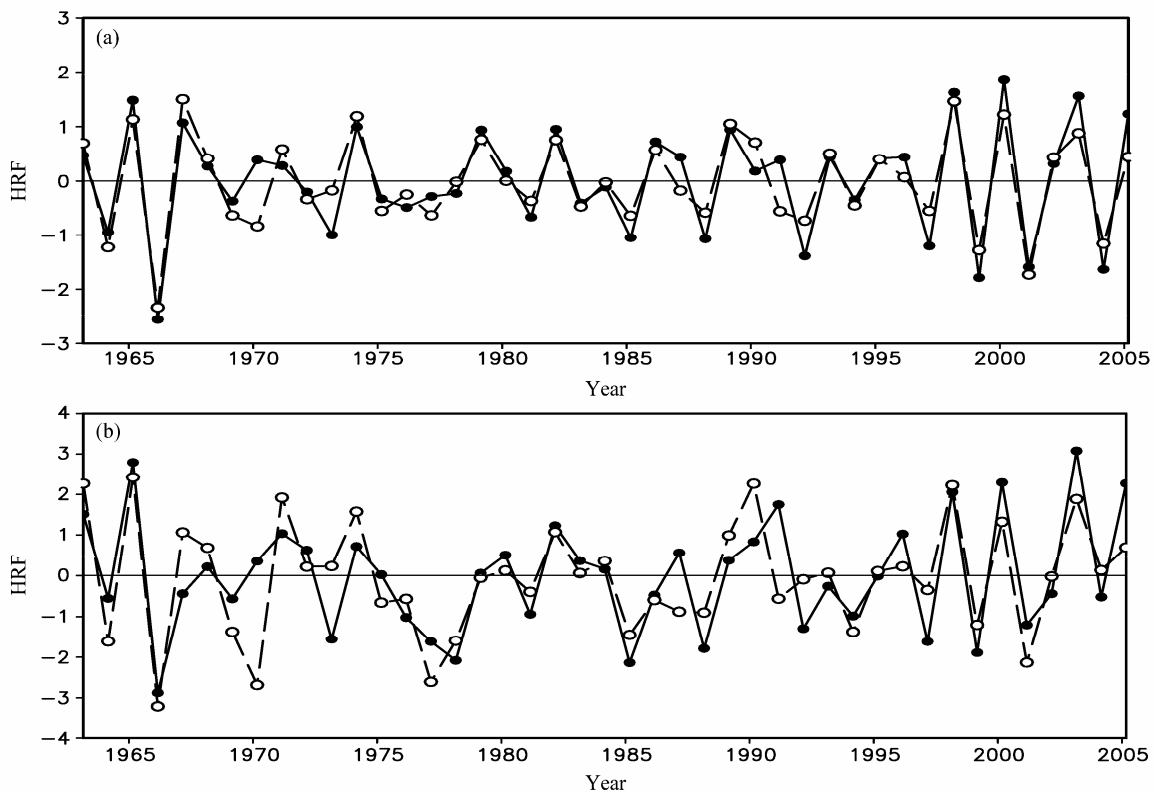


图 6 (a) 标准化后的 HRF 观测 (实线) 和模拟 (虚线) 年际增量的变化曲线; (b) 标准化后的 HRF 观测 (实线) 和模拟 (虚线) 距平的变化曲线。模型拟合时段是 1963~2000 年, 2001~2005 年为后报

Fig. 6 (a) Normalized time series of the observed (solid) and simulated (dashed) DY of HRF; (b) time series of the predicted (dashed) HRF and the observed (solid) HRF anomalies. Calibration period is from 1963 to 2000, hindcast period is from 2001 to 2005

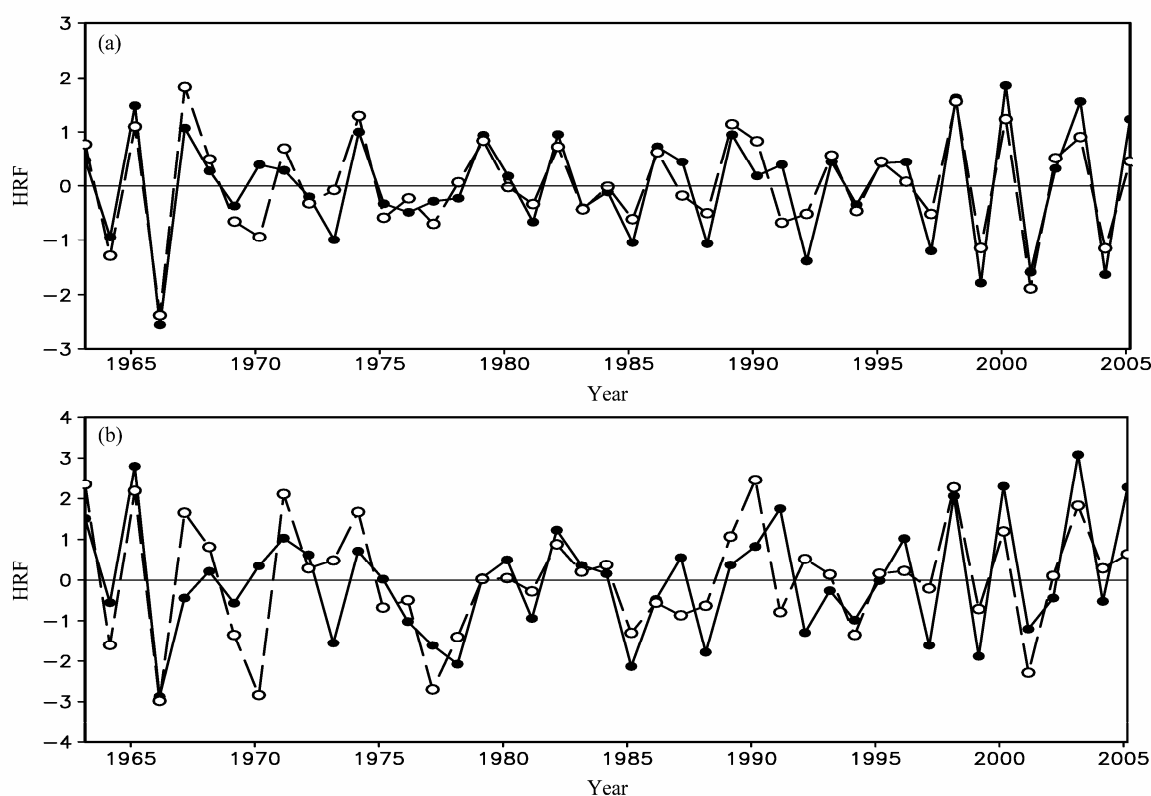


图 7 (a) 交叉检验方式得到的标准化后的 HRF 观测 (实线) 和模拟 (虚线) 年际增量的变化曲线; (b) 交叉检验方式得到的 HRF (虚线) 及相应的观测 (实线) 值的距平变化曲线。

Fig. 7 (a) Normalized time series of the predicted (dashed) DY of HRF using cross validation and observed (solid) DY of HRF; (b) time series of the predicted (dashed) HRF anomalies using cross validation and the observed (solid) HRF anomalies during the period 1963–2005

模型还需要不断探索、研究并改进。

5 结论与讨论

本文利用 1962~2006 年 NCEP/NCAR 再分析资料、NOAA 长时间序列月平均海温资料和东亚区域高分辨率日降水格点资料, 采用 Fan et al. (2008) 提出的年际增量预测方法, 首先通过考察与淮河流域夏季极端降水事件频次 (HRF) 年际增量相关的环流, 确定了 HRF 年际增量与冬季 NPO、12 月 AAO、春季 3~4 月南印度洋气压、白令海气压、印尼—澳洲附近经向风垂直切变的密切关系, 然后利用这 5 个预测因子, 通过多元线性回归方法建立 HRF 年际增量的物理统计预测模型, 进而预测 HRF 异常。检验表明, 在 1962~2000 年的拟合阶段, 预测值和观测值在许多年份很接近, 两者相关为 0.71, 通过 99% 信度检验。在 2001~2005 模型后报的 5 年中, 预测和实际 HRF 异常也有很好的一致性, 预测模型能成功地预测出 2001 年的 HRF 异常偏小、2003 年和 2005 年的异常偏多及 2002 年和

2004 年的 HRF 较正常年份。交叉检验结果也表明, 在 1962~2005 年的后报中, 这个预测模型对 HRF 显示了较高的预测技巧, 预测结果与实测间的相关系数为 0.67, 这表明基于前期强信号建立的预测模型对淮河流域夏季极端降水事件具有较好的预测能力。

本文的研究表明, 利用统计方法进行极端气候的预测不失为一个有效途径。本文建立的 HRF 预测模型使用方便, 对淮河流域夏季极端降水事件的预测具有潜在的应用价值。但需要指出的是, 有些年份预测效果不理想, 如 1973 年异常偏少没有报出、1970 空报异常偏少等, 由于影响淮河夏季极端降水事件的因子是复杂的, 不可能用上述 5 个因子完全描述对极端降水事件的影响作用, 还需要不断探索、研究并改进预测模型。由于极端气候事件既与前期气候因子有关, 又受同期气候因子的影响, 因此, 也有必要采用动力与统计相结合的方法进行预测研究。此外, 本文仅从统计角度获取 HRF 的前期强预测因子, 至于各前期预测因子如何影响 HRF 则需要做更深入的分析。

参考文献 (References)

- 陈辉, 张永强, 施能. 2000. 我国淮河流域夏季降水长期预报的回归模型的初步研究 [J]. 气象科学, 20 (1): 37–43. Chen Hui, Zhang Yongqiang, Shi Neng. 2000. Regression model for long range forecast of summer rainfall over Huaihe River Valley in China [J]. Scientia Meteorologica Sinica (in Chinese), 20 (1): 37–43.
- 丁一汇, 张雁, 马强. 1999. 1998 年夏淮河流域试验加密观测期间主要天气形势特点及其重要观测成果 [C]. // 赵柏林, 丁一汇. 淮河流域能量和水分循环研究 (一). 北京: 气象出版社, 1–11. Ding Yihui, Zhang Yan, Ma Qiang. 1999. Characteristics of weather situation during the HUBEX period in 1998 and important observational results [C]. // Zhao Bolin, Ding Yihui, eds. Study on Energy and Hydrological Cycle in Huaihe River Valley (in Chinese) (Part 1). Beijing: Meteorological Press, 1–11.
- Fang K, Wang H J. 2004. Antarctic oscillation and the dust weather frequency in North China [J]. Geophys. Res. Lett., 31 (10), doi: 10.1029/2004GL019465.
- Fan K, Wang H J, Choi Y J. 2008. A physically-based statistical forecast model for the middle-lower reaches of Yangtze River Valley summer rainfall [J]. Chinese Science Bulletin, 53: 602–609.
- 高辉. 2006. 淮河夏季降水与赤道东太平洋海温对应关系的年代际变化 [J]. 应用气象学报, 17 (1): 1–9. Gao Hui. 2006. Decadal variation of the relationship between summer precipitation along the Huaihe River Valley and SST over the equatorial eastern Pacific [J]. Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese), 17 (1): 1–9.
- Gao H, Xue F, Wang H J. 2003. Influence of interannual variability of Antarctic Oscillation on Meiyu along the Yangtze and Huaihe River Valley and its importance to prediction [J]. Chinese Science Bulletin, 48 (S2): 61–67.
- 简茂球, 罗会邦, 乔云亭. 2004. 青藏高原东部和西太平洋暖池区大气热源与中国夏季降水的关系 [J]. 热带气象学报, 20 (4): 355–364. Jian Maoqiu, Luo Huibang, Qiao Yunting. 2004. On the relationships between the summer rainfall in China and the atmospheric heat sources over the eastern Tibetan Plateau and the western Pacific warm pool [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 20 (4): 355–364.
- 金祖辉, 陈隽. 2002. 西太平洋暖池区海表水温异常对东亚夏季风影响的研究 [J]. 大气科学, 26 (1): 57–68. Jin Zhuhui, Chen Jun. 2002. A composite study of the influence of SST warm anomalies over the western Pacific warm pool on Asian summer monsoon [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 26 (1): 57–68.
- 刘向文, 孙照渤, 李维京, 等. 2009. 澳洲北部强 / 弱越赤道气流对应的环流配置 [J]. 大气科学, 33 (6): 1348–1362. Liu Xiangwen, Sun Zhaobo, Li Weijing, et al. 2009. The circulation configuration of strong/weak cross-equatorial flow to the north of Australia [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 33 (6): 1348–1362.
- 宁远, 钱敏, 王玉太. 2003. 淮河流域水利手册 [M]. 北京: 科学出版社, 1–26. Ningyuan, Qian Min, Wang Yutai. 2003. Booklet for Water Conservancy in Huaihe River Valley (in Chinese) [M]. Beijing: Scientific Press, 1–26.
- 彭京备, 陈烈庭, 张庆云. 2006. 多因子和多尺度合成中国夏季降水预测模型及预报试验 [J]. 大气科学, 30 (4): 596–608. Peng Jingbei, Chen Lieting, Zhang Qingyun. 2006. The Statistic prediction model and prediction experiments of the summer rain over China by multiple factors and multi-scale variations [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 30 (4): 596–608.
- Plummer N, Salinger M J, Nicholis N, et al. 1999. Changes in climate extremes over the Australian region and New Zealand during the twentieth century [J]. Climatic Change, 42: 183–202.
- 陶娜麒, 孙照渤. 2007. 马斯克林高压对江淮地区梅汛期降水的影响 [J]. 南京气象学院学报, 30 (6): 786–791. Tao Naqi, Sun Zhaobo. 2007. Influence of Mascarene High on Meiyu precipitation in Changjiang-Huaihe basin [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese), 30 (6): 786–791.
- 陶诗言, 徐淑英. 1962. 夏季江淮流域持久性旱涝现象的环流特征 [J]. 气象学报, 32 (1): 1–10. Tao Shiyang, Xu Shuying. 1962. Some aspects of the circulation during the periods of the persistent drought and flood in Yantze and Hwai-Ho valleys in summer [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 32 (1): 1–10.
- Thompson D W J, Wallace J M. 2000. Annular modes in the extratropical circulation. Part I: month-to-month variability [J]. J. Climate, 13: 1000–1016.
- Wang H J, Fan K. 2005. Central-north China precipitation as reconstructed from the Qing dynasty: Signal of the Antarctic Atmospheric Oscillation [J]. Geophys. Res. Lett., 32 (24), doi:10.1029/2005GL024562.
- 王慧, 王谦谦. 2002a. 近 49 年来淮河流域降水异常及其环流特征 [J]. 气象科学, 22 (2): 149–158. Wang Hui, Wang Qianqian. 2002a. Precipitation anomalies and the features of atmospheric circulation in the Huaihe River Basin [J]. Scientia Meteorologica Sinica (in Chinese), 22 (2): 149–158.
- 王慧, 王谦谦. 2002b. 淮河流域夏季降水异常与北太平洋海温异常的关系 [J]. 南京气象学院学报, 25 (1): 45–54. Wang Hui, Wang Qianqian. 2002b. Relationship between summer precipitation anomalies in the Huaihe Basin and SSTA over the North Pacific [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese), 25 (1): 45–54.
- 王遵亲, 丁一汇. 2009. 夏季亚洲极涡的长期变化对东亚环流和水汽收支的影响 [J]. 地球物理学报, 52 (1): 20–29. Wang Zhunyan, Ding Yihui. 2009. Impacts of the long-term change of summer Asian polar vortex on the circulation system and the water vapor transport in East Asia [J]. Chinese J. Geophys. (in Chinese), 52 (1): 20–29.
- Wallace J M, Gutzler D S. 1981. Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter [J]. Mon. Wea. Rev., 109 (4): 791–805.
- 魏凤英, 张婷. 2009. 淮河流域夏季降水的振荡特征及其与气候背景的联系 [J]. 中国科学 (D 辑: 地球科学), 39 (10): 1360–1374. Wei Fengying, Zhang Ting. 2010. Oscillation characteristics of summer precipitation in the Huaihe River valley and relevant climate background [J]. Science in China (Series D: Earth Sciences), 53 (2): 301–316.
- Xie P, Yatagai A, Chen M Y, et al. 2007. A gauge-based analysis of daily precipitation over East Asia [J]. J. Hydrometeor., 8 (3): 607–626.
- 薛峰. 2005. 南半球环流变化对东亚夏季风的影响 [J]. 气候与环境研究, 10 (3): 401–408. Xue Feng. 2005. Influence of the southern circulation on

- East Asian summer monsoon [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 10 (3): 401–408.
- 张立峰, 何金海, 许建平, 等. 2005. 西太平洋暖池海温异常年夏季东亚大气环流特征 [J]. 东海海洋, 23 (1): 1–12. Zhang Lifeng, He Jinhai, Xu Jianping, et al. 2005. Characteristic analysis of East Asia atmospheric circulation in summers of abnormal years of the western Pacific warm pool [J]. Donghai Marine Science (in Chinese), 23 (1): 1–12.
- 张静, 朱伟军, 李忠贤. 2007. 北太平洋涛动与淮河流域夏季降水异常的关系 [J]. 南京气象学院学报, 30 (4): 546–550. Zhang Jing, Zhu Weijun, Li Zhongxian. 2007. Relationship between winter North Pacific Oscillations and summer precipitation anomalies in the Huaihe River Basin [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese), 30 (4): 546–550.
- 张庆云, 陶诗言, 陈烈庭. 2003. 东亚夏季风指数的年际变化与东亚大气环流 [J]. 气象学报, 61 (4): 559–568. Zhang Qingyun, Tao Shiyan, Chen Lieting. 2003. Interannual variation of East Asian Monsoon index and atmospheric circulation over East Asia [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 61 (4): 559–568.