

华北夏季降水气候场的主分量逐步回归预报模型

黄刚 周文

中国科学院大气物理研究所, 北京 100029

摘要 由于近几十年来华北干旱频繁发生, 给农牧业生产造成很大影响, 因此, 如何寻找影响华北夏季(6~8月)降水的预报因子就显得至关重要。本研究的目的就是提出气候场的主分量回归预测模型, 对1951~2001年华北夏季降水的变化特征进行拟合并预报。研究发现, 所选取的70个预报因子分别为高度场、海温场和海平面气压场不同区的前2个主分量, 所建立的回归预报方程反映出在夏季来临的前2个月, 海平面气压场的变化对华北夏季降水具有一定的影响, 特别是海平面气压场的变化在一定程度上反映出 ENSO 的信号。研究结果也指明 ENSO 对华北夏季降水的影响具有阶段性, 在20世纪70~80年代之间的反相关性较强。

关键词 华北 夏季降水 主分量 逐步回归预报模型

文章编号 1006-9585 (2006) 03-0296-06 **中图分类号** P463 **文献标识码** A

PCA Stepwise Regression Forecasting Model of Climatic Filed of North China Summer Rainfall

HUANG Gang and ZHOU Wen

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

Abstract The high frequency of occurrence of the drought in the North China during recent decades has impacted on the agriculture production. It is of importance to select the predictor affecting the North China summer rainfall (Jun—Aug). The objective of this study is to propose the principal component analysis (PCA) regression forecasting model and to predict the variable characteristics of North China summer rainfall during 1951—2001. It is found that the regression equation, which is established from the 70 predictors of the first 2 PCAs of geopotential height, sea surface temperature and sea level pressure (SLP) fields, reflects the variation of the April—May SLP in association with the following summer rainfall variation in North China. To a certain degree, the SLP variation indicates the ENSO signal. Furthermore, the impact of ENSO on the North China summer rainfall is not persistent, the anti-correlation is higher during 1970s—1980s.

Key words North China, summer rainfall, principal component analysis, stepwise-regression forecasting model

1 引言

华北农牧交错带处于干旱和半干旱地区的过渡地带, 是环境变化的敏感和脆弱地区。华北夏

季充足的阳光和降水对其农牧业生产至关重要, 一般来讲, 降雨明显少于常年的年份, 通常对应农作物歉收; 反之, 降雨明显多于常年的年份, 对应农作物丰收^[1~3]。但是, 降水太多则会引起洪灾, 反而对农业生产不利。历史资料统计发现,

收稿日期 2006-02-21 收到, 2006-04-02 收到修定稿

资助项目 中国科学院知识创新工程重要方向项目 KZCX3-SW-218、国家重点基础研究发展规划项目 2004CB418300、2006CB400500 和国家自然科学基金委青年项目 40305012

作者简介 黄刚, 男, 1971年出生, 博士, 副研究员, 主要从事气候变化的研究。Email: hg@mail.iap.ac.cn

近 50 年来华北气的年代际变化十分明显,尤其是 20 世纪 70 年代后期以来,华北的夏季降水减少,持续干旱,导致华北水资源短缺以及黄河干涸^[4~8]。一些研究发现,我国华北地区夏季降水与夏季风的变化关系比较好,夏季风强时华北地区易出现洪涝,夏季风弱时容易出现干旱。华北地区夏季降水和当年的 El Niño 有较好的相关关系。研究还发现热带太平洋的海表温度 (SST) 距平也出现明显的年代际变化。El Niño 现象导致信风变弱,沿赤道出现西风异常和东亚偏北风异常。因此,孟加拉湾、南海及西太平洋的大量水汽被输送到长江流域;而亚洲季风气流向北输送的水汽减弱,造成华北夏季降水显著减少和长江流域降水增加。El Niño 发生时,华北大部分年份偏旱,但这种对应关系在有些年份也未必存在,如 1953 年和 1963 年是华北的特大涝年,但这两年却是 El Niño 年。因此,仅用一个因子“是否出现 El Niño”来考虑华北地区是否会出现干旱或洪涝是不够的。可以说,作好华北夏季降水的预报与当地人民的生活、社会各种活动及经济的发展息息相关,其意义影响深远^[9~12]。

由于北太平洋海温场能产生被称为 El Niño 现象的气候变化强信号,印度洋海温场反映出很好的偶极子效应,而不同区域的海平面气压场的变化也能反映出南方涛动、南极涛动和北极涛动的变化,北半球 500 hPa 高度场也能反映北半球大气变化的特征。因此,这些气候场备受气候学家们的关注^[13,14],它们对全球气候的变化产生很大的影响,在一定程度上对华北气候也产生影响。一种最有效地从因子场中获取含有高信息量因子的方法,是对不同区域不同月份的气候场进行主分量分析,提取它们的前若干主分量作为预报因子。这些场的主分量不但含有很高的信息量,而且具有明确的关于场分布的物理背景,可以说这些主分量蕴含着关于场变化的极大部分信息,具有很高的应用价值。本文利用气候场主分量因子的逐步回归预报方法来分析华北夏季降水变化,并作趋势预报。

2 资料说明

所用资料分别为实测资料和再分析资料,其

中实测资料为中国 160 站的逐月降水资料 (1951~2002 年),而 NCEP/NCAR 月再分析资料包括 500 hPa 高度场资料、海平面气压场资料以及 Hadley 中心的海温资料 (1951~2001 年)。其中,预报量资料是根据中国 160 个站点月降水资料 (1951~2002 年),将华北区域 19 个站平均的 6~8 月降水总量作为华北夏季降水序列。而预报因子资料是分别对 NCEP/NCAR 月再分析资料的 500 hPa 高度场资料、海平面气压场资料以及 Hadley 中心的海温资料 (1951~2001 年) 分区,并作主分量分析 (又称 EOF 分析)。首先将北太平洋的月平均海温场分 2 个区 (1 区 10°S~15°N, 2 区 20~50°N); 并取印度洋的月平均海温场全区的前 2 个经验正交函数 (EOF); 对全球海平面气压场则分为 3 个区 (1 区 20~50°S, 2 区 15°S~15°N, 3 区 20~50°N); 而 500 hPa 北半球月平均高度场全区的前 2 个主分量也能反映大气环流场的变化。因此共 7 个气候区,并对这 7 个区的 1、2、3、4 和 5 月的气候场 (海温场、海平面气压场或高度场) 分别计算前 2 个主分量,共获 70 (70 = 7×5×2) 个主分量因子。

3 建立华北夏季降水的回归方程

对不同区域不同月份的气候场进行主分量分析,提取它们的前 2 个主分量作为预报因子。我们针对华北夏季降水选取了 70 个可能预报因子,然而,这些主分量因子中有些与预报量的相关性并不十分明显,所以必须通过相关系数的计算和显著性检验,从中挑选出合适数量的因子用于逐步回归。对于华北降水预报量,将所有的因子逐个计算相关系数 r_{xy} ,若 $r_{xy} > r_{\alpha=0.245}$ (95% 的信度),则认为该因子与预报量相关显著,可作为逐步回归待选因子参加逐步回归。通过设定显著性水平 α ,可控制获得所需参加逐步回归的因子数量。

最后,建立预报方程,预报量 y 与预报因子 x_1, x_2, \dots, x_p 的多元预报方程为

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_p x_p,$$

其中, p 为因子个数。为了获得高精度的预报方程,在此采用双重检验逐步回归方法,并用高斯-约当 (G-J) 消去法解正规方程,确定回归方程的

各系数。计算步骤如下:

A 引进因子

(1) 计算未被引入方程各因子的方差贡献;

(2) 选出方差贡献最大的因子, 设为 x_k , 进行显著性检验;

(3) 若 x_k 因子显著, 用高斯-约当法对 x_k 作消去运算, 把 x_k 引入回归方程, 否则逐步计算结束。

以上 (1) ~ (3) 步连作 3 次。

B 剔除因子

(4) 计算已被引入回归方程因子的方差贡献;

(5) 选取方差贡献最小的因子, 设为 x_k , 对设定的显著性水平 α 作显著性检验;

(6) 若 x_k 方差贡献不显著, 用高斯-约当法对 x_k 作消去运算, 把 x_k 从方程中剔除, 否则执行 (1) ~ (3) 步的计算, 继续寻找新因子。

以后每次都是先执行 (4) ~ (6) 步, 再执行 (1) ~ (3) 步, 总是先考虑因子的剔除, 再考虑因子的引进, 直到方程中无因子需剔除, 外部也无因子可引进, 逐步计算结束。最后再计算残差及复相关系数等, 检验方程的效果。利用上述方法, 我们从北太平洋海温场, 印度洋海温场, 北半球 500 hPa 高度场以及全球海平面气压场获取 70 个主分量因子, 选取华北夏季降水量 (1951 ~ 2001 年) 序列作为预报量, 用因子群逐个进行相关分析, 取显著性水平 $\alpha < 0.05$, 找出可能预报因子, 进行双重检验的逐步回归, 取信度为 0.90, 得到华北夏季降水量标准化序列回归方程如下:

$$y = 396.3 - 2.180x_1 + 2.037x_2 + 5.411x_3,$$

其中, x_1 为 4 月海平面气压场第 2 区第 1 个主分量, x_2 为 5 月海平面气压场第 2 区第 1 个主分量, x_3 为 4 月海平面气压场第 1 区第 2 个主分量。

回归方程的复相关系数为 0.55, 残差平方和为 0.822。预测 2002 年夏季降水属于正常, 但实际结果为降水偏少, 说明预测模型还有待于完善。但图 1 中华北夏季降水回归方程的拟合曲线还是可以看出拟合效果基本能够反映夏季降水量变化的实际情况。由组成回归方程的因子粗略可见: 影响华北夏季降水量并非想象的那样以海温场和高度场的影响为主, 而是受海平面气压场的影响。图 2 分别给出了海平面气压场北区 (2 区) 4 月第 1 主分量 (解释方差 17.8%) 与 5 月第 1 主分量 (解释方差 19.3%), 海平面气压场赤道区 (1 区) 4 月的第 2 主分量 (解释方差 17.2%)。海平面气压场赤道区 (1 区) 的第 2 主分量对华北夏季降水的影响是最明显的, 所占的权重系数也大, 它在一定程度上也能反映出 ENSO 信号的变化, 与 Niño 3.4 SST 4 月时间序列的相关系数达 0.67 (图 3)。

4 ENSO 事件对华北夏季降水的影响

前面已经提到华北大部分年份偏旱都发生在 El Niño 年, 但这种反相关的关系在有些年份也未

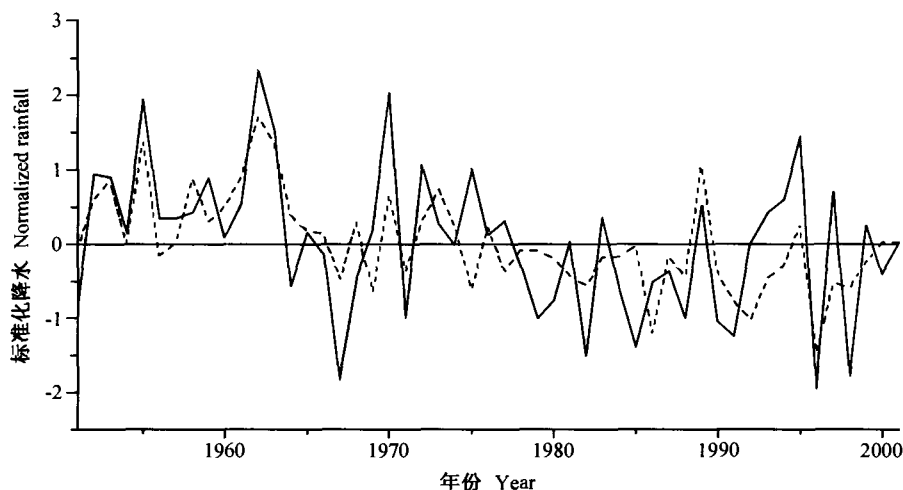


图 1 华北夏季 (6~8 月) 降水的标准化序列 (实线) 及其拟合曲线 (虚线)

Fig. 1 Normalized summer (Jun-Aug) rainfall over North China (solid) and its simulated timeseries (dashed)

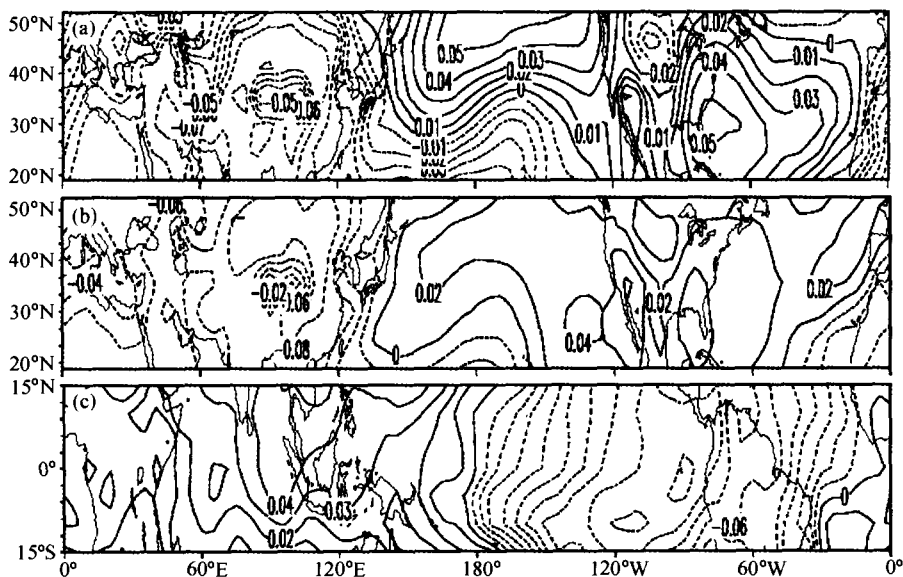


图 2 海平面气压场 2 区 4 月第 1 主分量 (a) 和 5 月第 1 主分量 (b) 以及海平面气压场 1 区 4 月第 2 主分量 (c)
 Fig. 2 First EOF of SLP over area 2 in April (a), in May (b), and the second EOF of SLP over area 1 in April (c)

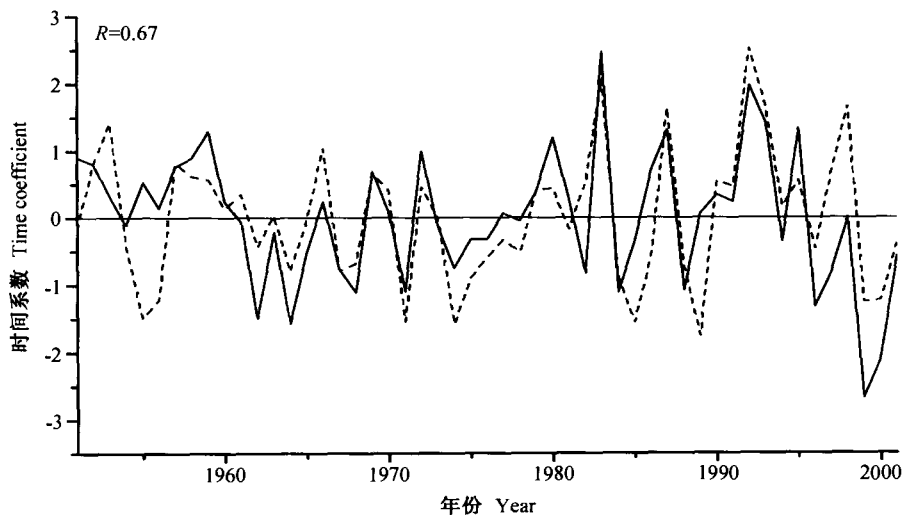


图 3 赤道海平面气压场 (1 区) 4 月第 2 主分量的时间系数标准化序列 (实线) 和 4 月 Niño 3.4 SST 指数标准化序列 (虚线)
 Fig. 3 Time coefficient series of the second EOF of the equatorial SLP in April (solid) and the normalized Niño 3.4 SST time series in April (dashed)

表 1 华北夏季降水的旱涝期的区分

Table 1 Classify of dry/wet period of summer rainfall over North China

类型 Type	时期 Period	旱年 Drought years	正常 Normal years	涝年 Flooding years
持续涝期 Persistent flooding period	1953~1964	0	0	12
偏早期 Normal to drought period	1965~1969	3	2	0
偏涝期 Normal to flooding period	1971~1979	1	5	3
持续旱期 Persistent drought period	1980~1992	13	0	0
偏涝期 Normal to flooding period	1993~1996	0	1	3
偏旱期 Normal to drought period	1997~2002	4	1	1

必存在,而且华北夏季降水的时间序列和冬季 Niño 3.4 SST 指数 (1951~2004 年) 的相关系数为 0.16, 存在弱的正相关。由图 4 可以发现, 若以士 0.5 个标准差为标尺, 则 $>+0.5$ 就定义为涝年, <-0.5 就定义为旱年, 在两者之间为降水正常年, 连续 5 年以上有 4 年 $>+0.5$ 为持续涝年, 连续 5 年以上有 4 年 <-0.5 为持续旱年。我们定义了近 50 年来华北夏季降水的干旱年份, 发现 20 世纪 70 年代以前以持续涝年为主 (1953~1964 年), 70 年代以后以持续旱年为主 (1980~1992 年), 而在中间的过渡期以间隔型的旱涝为主 (见表 1)。

由图 4 可以明显看到, 在 70 年代中后期华北夏季降水的大幅度减弱, 11 年滑动平均曲线显示出在 70 年代中后期的突变特征, 与黄荣辉等^[6] 指出的华北气候年代际变化十分明显的结果是一致的。在持续涝期 10 年里有 3 年是 El Niño 年 (1954、1958 和 1964 年), 有 1 年是 La Niña 年 (1956 年); 而在持续旱期 13 年里有 5 年是 El Niño 年 (1980、1983、1987、1988 和 1992 年), 有 3 年是 La Niña 年 (1984、1985 和 1989 年), 显然在偏旱期 (1965~1969 年) 有 2 年对应 El Niño 年 (1966 和 1969 年), 在偏涝期 (1971~1979 年) 有 4 年对应 La Niña 年 (1971、1972、1974 和 1976 年), 1 年是 El Niño 年 (1973 年)。由此可见, ENSO 对华北降水的影响是存在的, 有一定的预测性, 但也存在阶段性的变化 (如图

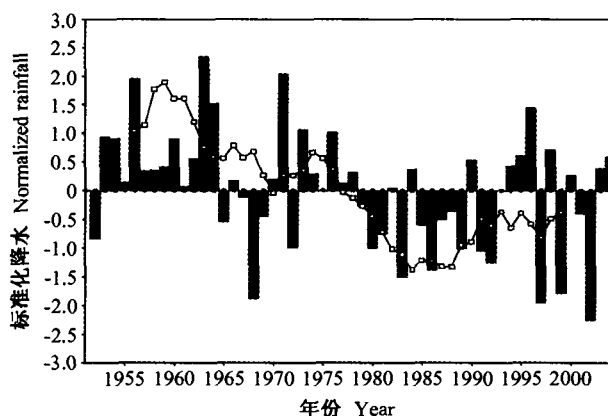


图 4 华北夏季降水标准化序列 (柱图) 和 11 年滑动平均 (实线)

Fig. 4 Normalized summer rainfall over North China (bar) and its 11-year moving timeseries (solid)

5)。在 60 年代中期前后与 ENSO 的关系不好, 但在 70~80 年代与 ENSO 有很强的负相关 (超过 95% 的信度检验), 随后相关性又变差, 这也许是导致用气候场的主分量逐步回归预测 2002 年不是太理想的可能原因, 华北夏季降水不排除由于受 ENSO 信号对华北夏季降水影响的减弱而导致其他因子的影响可能性增强。

5 结果与讨论

华北夏季降水回归方程反映出海平面气压场的不同分布型对华北夏季降水的影响是很明显的, 从对整个华北夏季降水这个气象要素的拟合及预报来讲, 利用气候场的主分量回归预测模型是可行的, 但不理想。我们知道, 对于高度场、海温场和海平面气压场, 取前 2 个主分量一般可占场的方差 30%~50% 或以上。由于气候要素场的主分量是与空间分布型相对应的, 所以海平面气压场或海温场及高度场的每一个主分量序列都分别代表了这些气候场的一定空间分布型, 因此将这些气候场 (高度场、海温场及海平面气压场) 的主分量作为预报因子, 其预报量与预报因子的相关, 变成预报量与各因子场的一定空间分布型的相关, 反映了各因子的不同分布型对预报量的影响, 其物理意义十分明显。但我们必须承认, 对于因子场的分区还是较主观, 而且从北太平洋海温场和北半球 500 hPa 高度场所获取的 70 个主分

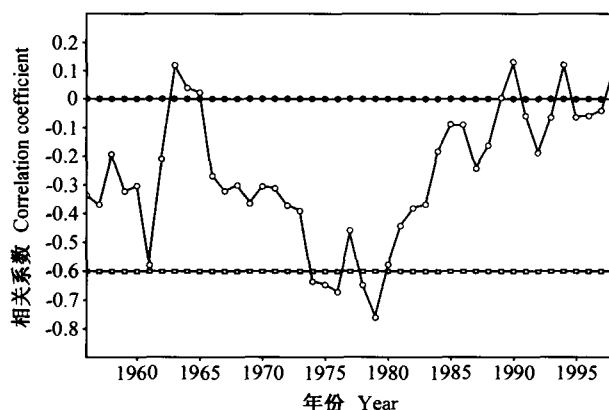


图 5 华北夏季降水与 4 月 Niño 3.4 SST 指数 11 年滑动相关

Fig. 5 The correlation between summer rainfall over North China and the April Niño 3.4 SST index in a 11-year moving window

量因子,挑选出合适数量与预报量的相关性十分明显(通过相关系数的计算和显著性检验)的因子用于逐步回归,这样的工作量很大,因此预报模型还需要进一步完善。而且可能华北夏季降水与潜在的影响因子还具有阶段性的变化,这在我们以后的预测研究工作中还需要密切注意。

参考文献 (References)

- [1] 龚道溢,史培军. 华北农牧交错带夏季降水变率及其与前期下垫面热力状况的关系. 自然资源学报, 2001, **16** (3): 211~215
Gong Daoyi, Shi Peijun. Variability of summer rainfall over northern China and its association with thermal conditions of early stage underlying surface. *Journal of Natural Resources* (in Chinese), 2001, **16** (3): 211~215
- [2] 郭其蕴. 东亚夏季风指数及其变化的分析. 地理学报, 1983, **38** (3): 207~216
Guo Qiyun. Analyses of the East Asian Monsoon Index and Variation. *Acta Geographica Sinica* (in Chinese), 1983, **38** (3): 207~216
- [3] 郭其蕴. 中国华北旱涝与印度夏季风降水的遥相关分析. 地理学报, 1992, **47** (5): 394~402
Guo Qiyun. Teleconnection between the floods/droughts in north China and Indian summer monsoon rainfall. *Acta Geographica Sinica* (in Chinese), 1992, **47** (5): 394~402
- [4] Huang Gang, Yan Zhongwei. The East Asian Summer Monsoon Circulation Anomaly Index and the Interannual Variations of the East Asian Summer Monsoon. *Chinese Science Bulletin*, 1999, **44** (14): 1325~1329
- [5] Huang Gang. An Index Measuring the Interannual Variation of the East Asian Summer Monsoon-The EAP Index. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2004, **21** (1): 41~52
- [6] 黄荣辉,徐予红,周连童. 中国夏季降水的年代际变化及华北干旱化趋势. 高原气象, 1999, **18** (4): 456~476
Huang Ronghui, Xu Yuhong, Zhou Liantong. The Interdecadal Variation of Summer Precipitations in China and the Drought Trend in North China. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 1999, **18** (4): 456~476
- [7] 黄荣辉,张振洲,黄刚,等. 夏季东亚季风区水汽输送特征及其与南亚季风区水汽输送的差别. 大气科学, 1998, **22** (4): 460~469
Huang Ronghui, Zhang Zhenzhou, Huang Gang, et al. Characteristics of the Water Vapor Transport in East Asian Monsoon Region and Its Difference from that in South Asian Monsoon Region in Summer. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 1998, **22** (4): 460~469
- [8] Huang Ronghui, Huang Gang, Wei Zhigang. Climate Variations of the Summer Monsoon over China. In: *East Asian Monsoon. World Scientific Series on Meteorology of East Asia*, Chang C P, Ed. Hackensack, NJ: World Scientific, 2004. **2**: 213~271
- [9] 王绍武,龚道溢,叶瑾琳,等. 1880年以来我国东部四季降水量系列及其变率. 地理学报, 2000, **55** (3): 281~293
Wang Shaowu, Gong Daoyi, Ye Jinlin, et al. Seasonal Precipitation Series of Eastern China Since 1880 and the Variability. *Acta Geographica Sinica* (in Chinese), 2000, **55** (3): 281~293
- [10] 严中伟. 华北降水年代际振荡及其与全球温度变化的联系. 应用气象学报, 1999, **10** (增刊): 16~22
Yan Zhongwei. Interdecadal Oscillations of Precipitation in North China and Its Relation with Global Temperature Change. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (in Chinese), 1999, **10** (Suppl.): 16~22
- [11] 龚道溢. 气候变暖与我国夏季洪涝灾害风险. 自然灾害学报, 1999, **8** (3): 30~37
Gong Daoyi. Global Warming and the Summer Flooding Risk in China. *Journal of Natural Disasters* (in Chinese), 1999, **8** (3): 30~37
- [12] 黄嘉佑. 北京地区季节旱涝长期变化趋势. 水科学进展, 1992, **3** (1): 59~64
Huang Jiayou. Long-term Variations of Seasonal Dryness/Wetness in Beijing. *Advance in Water Science* (in Chinese), 1992, **3** (1): 59~64
- [13] Kumar K K, Rajagopalan B, Cane M. On the weakening relationship between the Indian Monsoon and ENSO. *Science*, 1999, **284**: 2156~2159
- [14] Liang X Z, Samel A N, Wang W C. Observed and GCM simulated decadal variability of monsoon rainfall in east China. *Climate Dynamics*, 1995, **11** (2): 103~114