

贾建颖, 孙照渤, 刘向文, 等. 2009. 中国东部夏季降水准两年周期振荡的长期演变 [J]. 大气科学, 33 (2): 397–407. Jia Jianying, Sun Zhaobo, Liu Xiangwen, et al. 2009. Evolution of summer precipitation quasi-biennial oscillation in eastern China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 33 (2): 397–407.

中国东部夏季降水准两年周期振荡的长期演变

贾建颖¹ 孙照渤¹ 刘向文¹ 谭桂容¹ 徐文明²

¹ 江苏省气象灾害重点实验室, 南京信息工程大学, 南京 210044

² 河南省气象台, 郑州 450003

摘 要 采用中国气象局整编的中国 160 站月降水量资料 (1951 年 1 月~2005 年 12 月), 研究了东部地区夏季降水准两年周期振荡 (TBO) 的长期演变特征。最大熵谱分析和相对最大熵谱分析表明, 中国东部地区夏季降水 TBO 信号显著, 高值区基本呈带状分布, 方差最大值中心分布在江淮流域及南部沿海地区。根据中国东部夏季降水 TBO 分量的旋转经验正交函数展开 (REOF), 将东部地区划分为东北地区、河套地区、淮河流域、长江流域、华南西部、华南中部及华南东部 7 个降水区。对各降水区的研究结果表明: (1) 东部夏季降水振幅变化 TBO 信号明显; (2) 各降水区夏季降水 TBO 有着不同的长期演变特征, 表现出不同的年代际变化。淮河流域、长江流域和华南中部降水 TBO 特征较明显; 华南西部和东北地区降水 TBO 特征较弱; 河套地区在 1990 年代以前表现有较显著的 TBO 特征, 但 1990 年代后, TBO 特征趋于不明显; 华南东部地区在 1970 年代中期以前 TBO 特征明显, 以后 TBO 特征减弱; (3) 淮河流域是中国东部地区由南向北的过渡带, 是夏季降水 TBO 的敏感地区。

关键词 东部降水 降水准两年周期振荡 (TBO) 长期演变 敏感地区

文章编号 1006-9895 (2009) 02-0397-11

中图分类号 P426

文献标识码 A

Evolution of Summer Precipitation Quasi-Biennial Oscillation in Eastern China

JIA Jianying¹, SUN Zhaobo¹, LIU Xiangwen¹, TAN Guirong¹, XU Wenming²

¹ Jiangsu Key Laboratory of Meteorological Disaster, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

² Henan Meteorological Observatory, Zhengzhou 450003

Abstract The evolution of summer rainfall quasi-biennial oscillation (TBO) is studied over eastern China using monthly mean rainfall data of China 160 stations from China Meteorological Administration. The maximum entropy spectral analysis and the relative maximum entropy spectral analysis denote that the summer rainfall in eastern China has a marked TBO signal, the areas with high values distribute basically like a belt, and the variance maximum value centers are located in the Yangtze-Huaihe valley and the south littoral. Based on Rotated EOF analysis (REOF) of summer rainfall TBO, eastern China is divided into 7 sections including Northeast China, the Hetao basin, the Huaihe River basin, the Yangtze River basin, western South China, centre South China and eastern South China. The further study shows: (1) the eastern China summer rainfall amplitude possesses TBO features, (2) The summer rainfall TBO has different evolutions and interdecadal features for different sections. TBO is distinct in the Huaihe

收稿日期 2007-09-25, 2007-11-28 收修定稿

资助项目 国家自然科学基金资助项目 40331010, 江苏省气象灾害重点实验室资助项目 KLME060212, 江苏省气象灾害重点实验室资助项目 KLME050304

作者简介 贾建颖, 女, 1972 年出生, 博士, 主要从事气候及海气相互作用研究。E-mail: aq9807xin@163.com

River basin, the Yangtze River basin and central South China; the TBO signal is weak in western South China and Northeast China; TBO was marked in the Hetao basin before the 1990s, but after the 1990s TBO weakened gradually; TBO was remarkable in eastern South China before the 1970s and it weakened after the 1970s. (3) The Huaihe River basin is the transition zone from south to north over eastern China, and is also the sensitive area to summer rainfall TBO in eastern China.

Key words eastern China rainfall, rainfall quasi-biennial oscillation (TBO), evolution, sensitive area

1 引言

自 Reed et al. (1961) 和 Veryard et al. (1961) 在 20 世纪 60 年代发现了热带平流层下层的纬向平均气流存在周期为 26 个月的东风和西风互相交替出现的年际变化以来, 准两年周期振荡 (QBO) 的研究引起了国内外气象学者的普遍关注。愈来愈多的观测事实也表明在对流层大气环流以及地面气象要素的变化中几乎普遍存在准两年周期振荡现象。为了与平流层纬向风的准两年周期振荡相区别, 人们通常把季风环流、降水、海温等具有 2~3 年周期的年际变化称之为对流层准两年振荡 (Tropospheric biennial oscillation, 简称 TBO)。

早期研究降水年际变化主要局限在印度夏季风降雨上, 例如, Mooley et al. (1983) 研究印度夏季降水时发现其旱涝指数的功率谱具有明显的准两年周期振荡现象。之后不久, Mukherjee et al. (1985) 的研究也发现印度季风降雨有准两年周期振荡现象, 而且同平流层的 QBO 有很好的关系。20 世纪 90 年代以来, 对东亚季风降水的研究也开始加强, 缪锦海等 (1990)、Tian et al. (1992)、殷宝玉等 (1996) 和 Chang et al. (2000) 的研究发现东亚季风区的季风降水具有准两年周期振荡的现象。Lau et al. (1988)、Barnett et al. (1989) 和 Rasmussen et al. (1990) 将亚澳季风环流看成一个系统来进行研究, 结果表明, 亚澳季风环流、降水的准两年振荡是紧密地与 ENSO 的时间尺度相联系的。

Wang et al. (1981) 早在 1981 年就用谱分析方法发现长江流域与黄河北部地区的某些站点具有准两年周期振荡。随后, 赵汉光 (1986) 在对中国降水周期特征的分析中, 发现东部地区 (110°E 以东) 主要周期集中在 21.2~29.2 个月之间, 表现出以准两年振动为主。黄嘉佑 (1988) 的研究也表明, 准两年周期振荡在中国大部分地区的降水变化中表现得十分明显, 尤其是在华北和长江中下游地

区。朱乾根等 (1991) 对中国降水的准两年振荡的时空特征做了进一步的探讨, 说明中国大部分地区降水的准两年振荡明显, 尤其是在华北、东北南部及青藏高原东北侧地区, 长江中下游, 江南及南岭以南地区 and 新疆大部分地区。王建新等 (1995) 的研究说明长江中下游地区存在显著的准两年周期振荡, 并给出了其地理分布特征。陈兴芳等 (1997) 通过对 1986~1995 年中国降水的准两年周期振荡分析发现, 1985~1995 年近 10 年间东部降水分布趋势的年际变化具有准两年周期振荡特征, 且江淮流域较其他地区要明显。况雪源等 (2002) 采用带通滤波法、奇异谱分析和小波分析, 综合研究了 1951~1996 年近 50 年中国降水场的准两年振荡的分布型态及其长期变率特征。杨秋明 (2006) 将中国降水准两年振荡模态和太平洋年代际振荡 (PDO) 联系起来, 其观测分析表明 PDO 冷暖位相期中国降水量准两年振荡型传播特征有明显差异。黄荣辉等 (2006) 对中国东部夏季降水的准两年周期振荡及其成因做了简单的讨论, 他们的研究表明, 中国东部 (特别是华南、长江流域和淮河流域以及华北等地区) 夏季降水的准两年周期振荡与东亚夏季风水汽输送能量的准两年周期振荡密切相关, 并利用东亚/太平洋 (EPA 型) 遥相关理论, 对热带西太平洋热力状态的准两年周期振荡影响中国东部夏季降水准两年周期变化的物理机制进行了初步的探讨。

以上分析表明, 除在赤道平流层低层纬向风有明显的准两年周期振荡现象外, 对流层中各气象要素普遍存在准两年周期振荡现象。近十年间, 越来越多的学者在不同的研究中发现, 自 20 世纪 80 年代以来中国降水准两年振荡有明显的增强趋势, 这种趋势在长江中下游地区表现得尤为突出。本文旨在对中国东部夏季降水准两年周期振荡的长期演变特征做进一步分析和研究, 希望能对中国地区降水的短期气候预测提供有益的帮助。

2 资料和方法

2.1 资料

本文使用的降水资料是由南京信息工程大学南京大气资料中心提供的中国气象局整编的 1951 年 1 月~2005 年 12 月中国 160 站月降水量资料。

2.2 方法

2.2.1 提取准两年振荡 (TBO) 分量

本文根据二阶偏微分 (Second Derivative Method) 原理 (Hung, 2003) 提取时间序列中准两年振荡的信号。对于某个变量在 $t-1$ 、 t 、 $t+1$ 时刻的值可以分别记为 $P(t-1)$ 、 $P(t)$ 、 $P(t+1)$, 则 $P(t)$ 的二阶偏微分的表达式可以表示为

$$\frac{\partial^2 P}{\partial t^2} \approx \frac{\frac{P(t+1) - P(t)}{\Delta t} - \frac{P(t) - P(t-1)}{\Delta t}}{\Delta t} = \frac{-2 \left[P(t) - \frac{P(t-1) + P(t+1)}{2} \right]}{\Delta t \Delta t}. \quad (1)$$

由公式 (1) 定义

$$D(t) = P(t) - \frac{P(t-1) + P(t+1)}{2}. \quad (2)$$

当 t 年为相对强年时, $P(t)$ 与 $P(t-1)$ 和 $P(t+1)$ 相比, $P(t)$ 为局部最大值, $D(t)$ 是正值, $D(t-1)$ 和 $D(t+1)$ 为负值; 反之, $D(t)$ 为负值, $D(t-1)$ 和 $D(t+1)$ 为正值, 其正负和相对大小反映了变量 P 的准两年振荡分量的变化特征。由 (2) 式整理可得

$$P(t) - \frac{P(t-1) + P(t) + P(t+1)}{3} = \frac{2}{3} D(t). \quad (3)$$

即从原始序列中减去三点滑动平均后恰是 D 的三分之二倍, 因此, 本文将从原始序列中移去三点滑动平均后的序列 ($2D/3$) 定义为时间序列的准两年周期振荡分量。

由滤波原理可得准两年振荡分量的响应函数为

$$H(f) = 1 - \frac{\sin 3\pi f}{3\sin \pi f}, \quad f \in [0, \frac{1}{2}], \quad (4)$$

其中, f 为频率。图 1 是准两年周期振荡分量的响应函数图, 由图可知, 这种提取准两年周期振荡分量的方法能够把大部分的准两年周期的分量提取出来, 并对非准两年的周期分量进行一定的抑制。

2.2.2 相对最大熵谱概念

采用朱乾根等 (1991) 提出的相对最大熵谱概

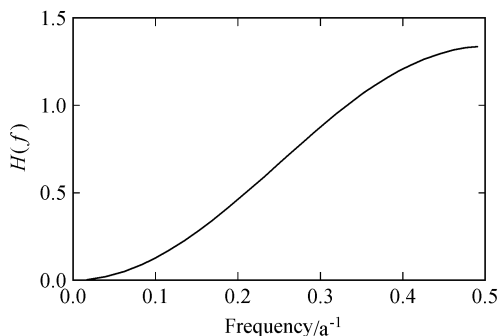


图 1 准两年周期振荡分量响应函数图

Fig. 1 Response function of quasi-biennial oscillation component

念分析全国夏季降水 TBO 的地理分布特征, 准两年振荡相对最大熵谱定义为

$$F_{\text{QBO}} = \frac{S_{\text{QBO}}}{\sum S_i} \times 100\%, \quad (5)$$

式中, F_{QBO} 为准两年振荡相对最大熵谱, S_{QBO} 为准两年周期频段的最大熵谱值之和, $\sum S_i$ 为年际变化频段 (大于 12 个月) 的最大熵谱值之和。

本文还用到了旋转经验正交函数展开 (REOF)、功率谱分析、相关分析和 Morlet 小波分析方法 (魏凤英, 1999; 吴洪宝等, 2005), 这里不再赘述。

3 结果分析

3.1 中国夏季降水 TBO 相对最大熵谱地理分布

为了研究中国降水 TBO 特征, 分别对中国夏季 (6~8 月) 和降水期内 (4~9 月) 的降水 TBO 做相对最大熵谱分析。图 2a 为夏季降水 TBO 相对最大熵谱地理分布图, 从图中可以看出夏季降水普遍存在 TBO 特征, 相对最大熵谱值均超过 24%, 最大值区域基本呈带状分布, 极大值中心分别位于青藏高原东北侧、东北南部、江淮流域、华南至西南一带和新疆北部。这与黄嘉佑 (1988)、朱乾根等 (1991) 和况雪源等 (2002) 的研究结果略有不同, 可能是因为时间序列的长度及所研究的降水时间段不同引起的。图 2b 是降水期降水 TBO 相对最大熵谱地理分布图, 与图 2a 比较, 降水期内降水 TBO 相对最大熵谱值普遍较小, 说明降水期内降水 TBO 特征没有夏季降水 TBO 特征明显。用同样的方法, 研究春、秋和冬季降水 TBO 的地理分布特征 (图略), 发现这几个季节降水 TBO 特征远没有夏季明显。

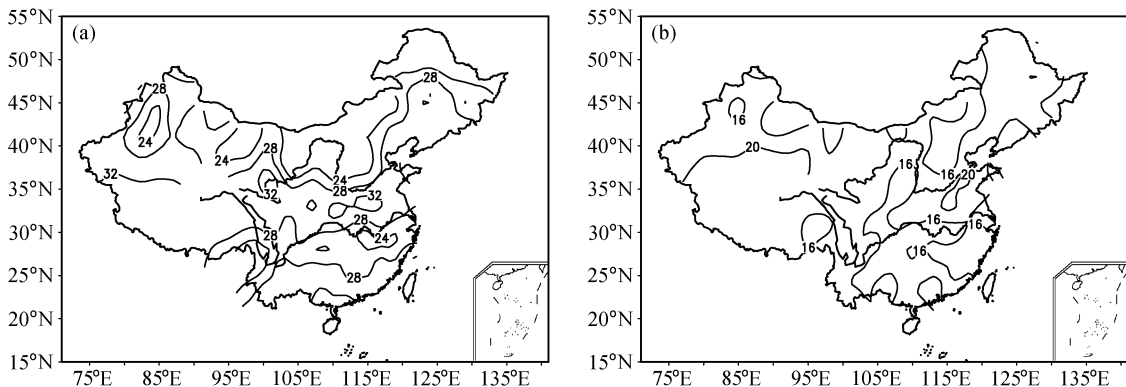


图2 降水 TBO 相对最大熵谱地理分布图(%)：(a) 夏季(6~8月)；(b) 降水期(4~9月)
Fig. 2 Spatial distribution of rainfall TBO relative Maximum Entropy Spectral Analysis (MESA) (%) in (a) summer (Jun–Aug) and (b) the rainfall period (Apr–Sep)

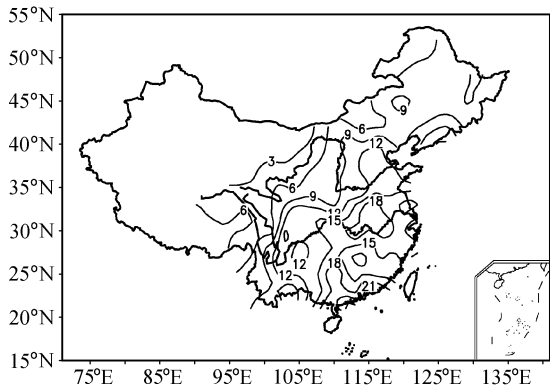


图3 夏季(6~8月)降水准两年振荡(TBO)的方差分布(单位: mm²)
Fig. 3 Spatial distribution of rainfall TBO variance (mm²) in summer

3.2 中国夏季降水 TBO 方差的空间分布特征

图3是夏季降水 TBO 方差分布图,由图可知,长江中下游和南部沿海地区是中国夏季降水 TBO 方差变化的2个大值中心,西部夏季降水 TBO 方差较小,东北及江淮以北降水 TBO 方差较江淮以南地区也明显偏小。

通过比较发现,中国地区秋季(图略)降水 TBO 方差最小,夏季最大,分布范围最广,冬季(图略)降水 TBO 方差中心主要在中国南部沿海地区,春季(图略)降水 TBO 方差分布和冬季有相似之处,但方差的量值要比冬季大。进一步分析表明,中国四季降水 TBO 分量方差变化主要分布在东部地区,从量值上看,夏季降水 TBO 分量方差变化最大,秋季最小。下面将主要就中国东部(47.5°N 以南,105°E 以东)地区降水 TBO 进行分

析研究。

3.3 中国东部夏季降水 TBO 区划

对中国东部夏季降水距平 TBO 的时间序列作 REOF 分解,按 North 判别准则(North et al., 1982),取前5个特征向量做空间旋转。表1给出了前5个主分量旋转前(PC)和旋转后(RPC)的方差贡献。可以看出,前5个特征向量累积解释方差贡献占总方差的58.30%,旋转后各模态解释方差贡献要比旋转前均匀分布,但总的方差贡献没有发生变化。

图4是前5个 REOF 模态荷载向量图和区划图。第1模态(图4a)的中心分别位于淮河流域(30°N~35°N, 105°E~121°E)和华南中部(21°N~27°N, 110°E~116°E),淮河流域的降水主要受梅雨锋和东亚季风的爆发及后退的影响,一年中60%~70%的降雨量集中在盛夏,旋转后该模态的方差贡献占总方差的14.59%。第2模态(图4b)的高荷

表1 前5个 PC 和 RPC 对总方差的方差贡献率
Table 1 The variance contribution of the first 5 Principal Components (PCs) and Rotated Principal Components (RPCs)

	方差贡献	
	旋转前	旋转后
1	16.61%	14.59%
2	13.67%	11.94%
3	12.16%	12.19%
4	9.17%	11.90%
5	6.70%	7.68%
前5个 PC 累积贡献	58.30%	58.30%

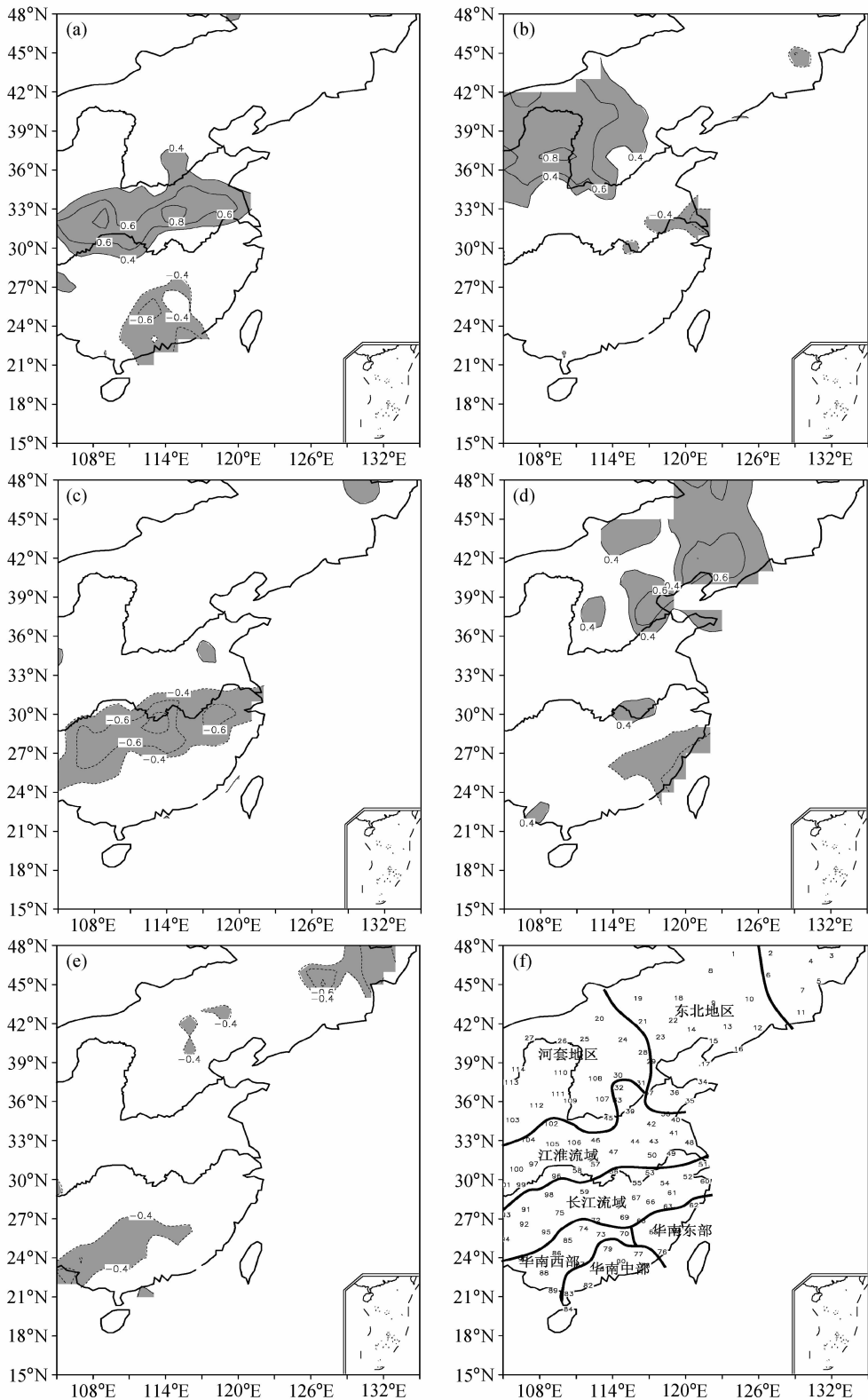


图 4 中国东部夏季降水 TBO 的 REOF 前 5 个模态荷载向量及区划图：(a) 第 1 模态；(b) 第 2 模态；(c) 第 3 模态；(d) 第 4 模态；(e) 第 5 模态；(f) 东部区划

Fig. 4 The first 5 loaded vectors of REOF on summer rainfall TBO and the division of eastern China: (a) The first mode; (b) the second mode; (c) the third mode; (d) the fourth mode; (e) the fifth mode; (f) the division of eastern China

载区位于河套地区 (34°N~42°N, 105°E~113°E), 旋转前后的方差贡献分别是 13. 67%和 11. 94%。第 3 模态上 (图 4c) 高荷载区位于长江流域 (26°N~31°N, 106°E~121°E), 这一地区的降水主要受梅雨前锋的影响, 属湿润气候区, 是中国东部降水频率较高的地区, 旋转后该模态的方差贡献为 12. 19%。第 4 模态 (图 4d) 的活动中心分别位于东北 (35°N~47. 5°N, 114°E~126°E) 和华南南部 (23°N~28°N, 114°E~122°E), 东北地区主要受东亚热带锋区和西太平洋副高活动的影响, 东亚热带锋区偏强偏北, 西太平洋副高偏强且位置偏北偏西, 造成该地区多雨。旋转后该模态的方差贡献占总方差的 11. 90%。第 5 模态 (图 4e) 的活动中心主要位于华南西部 (22°N~27°N, 105°E~117°E), 旋转后的方差贡献占总方差的 7. 68%。

以上分析表明, REOF 分解所得主要模态空间分布结构清晰, 能够较好地反映东部夏季降水 TBO 的区域特征。根据前 5 个旋转空间模上高荷载区分布 (荷载值 $\geq 0. 40$), 将中国东部地区划分为 7 个夏季降水 TBO 气候区 (图 4f), 即: (1) 东北地区, (2) 河套地区, (3) 淮河流域, (4) 长江中下游地区, (5) 华南西部, (6) 华南中部, (7) 华南东部。按照以上标准, 高荷载区覆盖了中国东部绝大部分地区, 且相邻区域几乎没有重叠, 分区方法较为客观。

3. 4 东部各区夏季降水 TBO 分量

图 5 分别是东部 7 个区域夏季降水距平的时间序列、TBO 分量及非 TBO 分量。可以看出, 7 个区域夏季降水距平 TBO 分量振幅较强, 非 TBO 分量振幅没有 TBO 振幅显著, 说明夏季降水 TBO 信号明显。

表 2 是中国东部 7 个降水区夏季降水 TBO 分量和非 TBO 分量的解释方差。从表 2 中可以看出, 降水 TBO 分量的解释方差比例较大。此外, 夏季降水 TBO 解释方差的地区差别也非常明显, 其中东北地区的解释方差为 0. 64, 是 7 个区域中解释方差最大的地区, 淮河流域 (0. 57) 和长江流域 (0. 55) 的解释方差次之, 华南中部地区的解释方差最小 (0. 25)。

通过以上东部夏季 TBO 分量与原始降水时间序列的比较不难发现, 东部夏季降水 TBO 信号明显。下面将用小波分析方法对中国东部夏季降水

表 2 中国东部 7 个降水区夏季降水 TBO 分量和非 TBO 分量解释方差比较

Table 2 Summer rainfall explanation variance (EV) of the TBO and non-TBO components in the seven divisions of eastern China

	解释方差	
	TBO 分量	非 TBO 分量
东北地区	0. 64	0. 36
河套地区	0. 47	0. 53
淮河流域	0. 57	0. 43
长江流域	0. 55	0. 45
华南西部	0. 36	0. 64
华南中部	0. 25	0. 75
华南东部	0. 49	0. 51

TBO 的 7 个降水区的长期演变特征做进一步分析讨论。

3. 5 中国东部夏季降水准两年周期振荡的长期演变特征

小波分析 (wavelet analysis) 亦称多分辨率分析 (multiresolution analysis), 由法国地质学家 Morlet (1981) 首次引入到信号分析中来, 它克服了传统傅里叶分析方法的不足, 同时具有时间和频率两个分辨率, 适合在多时间尺度下研究系统, 在大气科学研究中得到广泛的应用 (Kumar, 1997; Coulibaly et al., 2004; Shanker et al., 2004; Lu et al., 2005)。这里采用 Morlet 小波分析对东部 7 个区域夏季降水 TBO 分量做小波分析, 以揭示其长期演变特征。

图 6 是 7 个降水区夏季降水 TBO 的小波系数模方和实部系数图。小波模方反映了准两年振荡能量在不同年代的强弱变化, 因此它能反映准两年振荡的长期演变特征。由图 6a 可以看出, 东北地区夏季降水 TBO 特征在 1960 年代中期到 1980 年代初期、1990 年代初到本世纪初表现显著。小波实部 (图 6h) 反映了降水 TBO 在长期演变过程中的位相变化, 由图可知, 在 1950 年代末到 1960 年代中期、1980 年代初到 1990 年代初降水 TBO 信号表现的很微弱。河套地区 (图 6b) 在 1980 年代末之前降水 TBO 信号明显, 非常有趣的是降水 TBO 信号在经过一段时期 2 年左右的周期后总有向 3 年周期漂移的趋势, 如: 1950 年代末到 1960 年代初、1960 年代末期到 1970 年代中期以及 1980 年代中

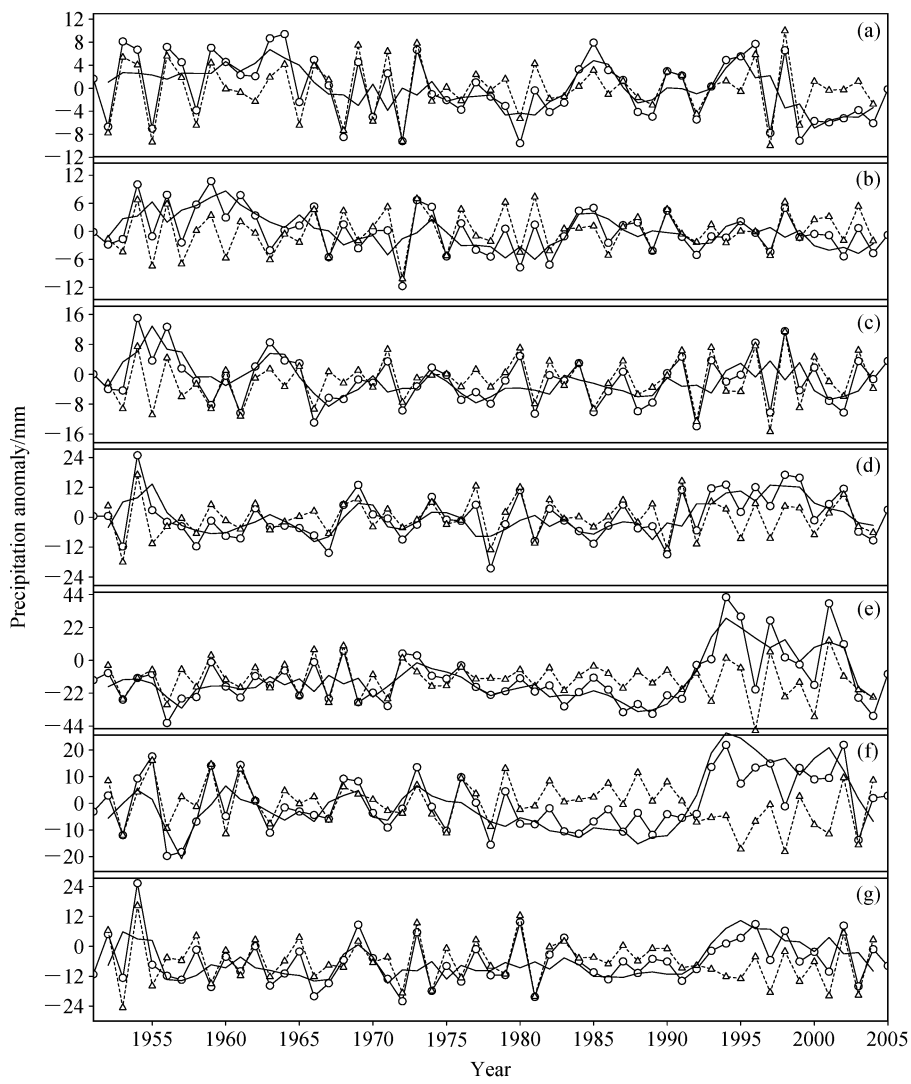


图 5 中国东部夏季降水距平(圆圈实线)、TBO(三角虚线)和非 TBO 分量时间序列(实线): (a) 东北地区; (b) 河套地区; (c) 淮河流域; (d) 长江流域; (e) 华南西部; (f) 华南中部; (g) 华南东部

Fig. 5 Time series of the summer rainfall anomaly (solid line with circles), the TBO (dashed line with triangles) and non-TBO (solid line) components in eastern China: (a) Northeast China; (b) Hetao region; (c) the Huaihe River valley; (d) the Changjiang River valley; (e) western South China; (f) center South China; (g) eastern South China

期到 1990 年代初期均表现了这种周期漂移, 其中尤以 1960 年代末期到 1970 年代中期的漂移信号强。小波实部系数图(图 6i)反映的情况与上面是一致的, 由图 6i 看出, 从 1990 年代初以后河套地区降水 TBO 信号表现得很弱。

淮河流域(图 6c)夏季降水 TBO 信号在 1950 年代初到 1960 年代初、1960 年代中期到 1970 年代中期、1970 年代末到 1980 年代中期、1990 年代中期到 21 世纪初这些时期表现强烈。TBO 信号增强和减弱的周期大约为 10 年, 这与太阳准 11 年的活动周期有很好的对应关系。位相变化(图 6j)也反

映了相同的变化特征。长江流域(图 6d)夏季降水 TBO 在 1950 年代初到中后期和 1980 年代中期到 1990 年代初期表现较强, 在这两个时期后面的一段时期内 TBO 信号是向 3 年周期漂移的, 尤其是在 1950 年代中后期以后这种漂移维持了相当长的时间(近 20 年)。这种漂移在 1990 年代初又开始出现, 但强度较弱, 位相变化(图 6k)特征类似。

华南西部地区(图 6e) TBO 信号主要在 1960 年代初到 1970 年代初和 1990 年代中期到 21 世纪初表现强, 主要表现为 2 年左右的振荡周期。从它的小波实部系数图(图 6l)中不仅反映了 TBO 的

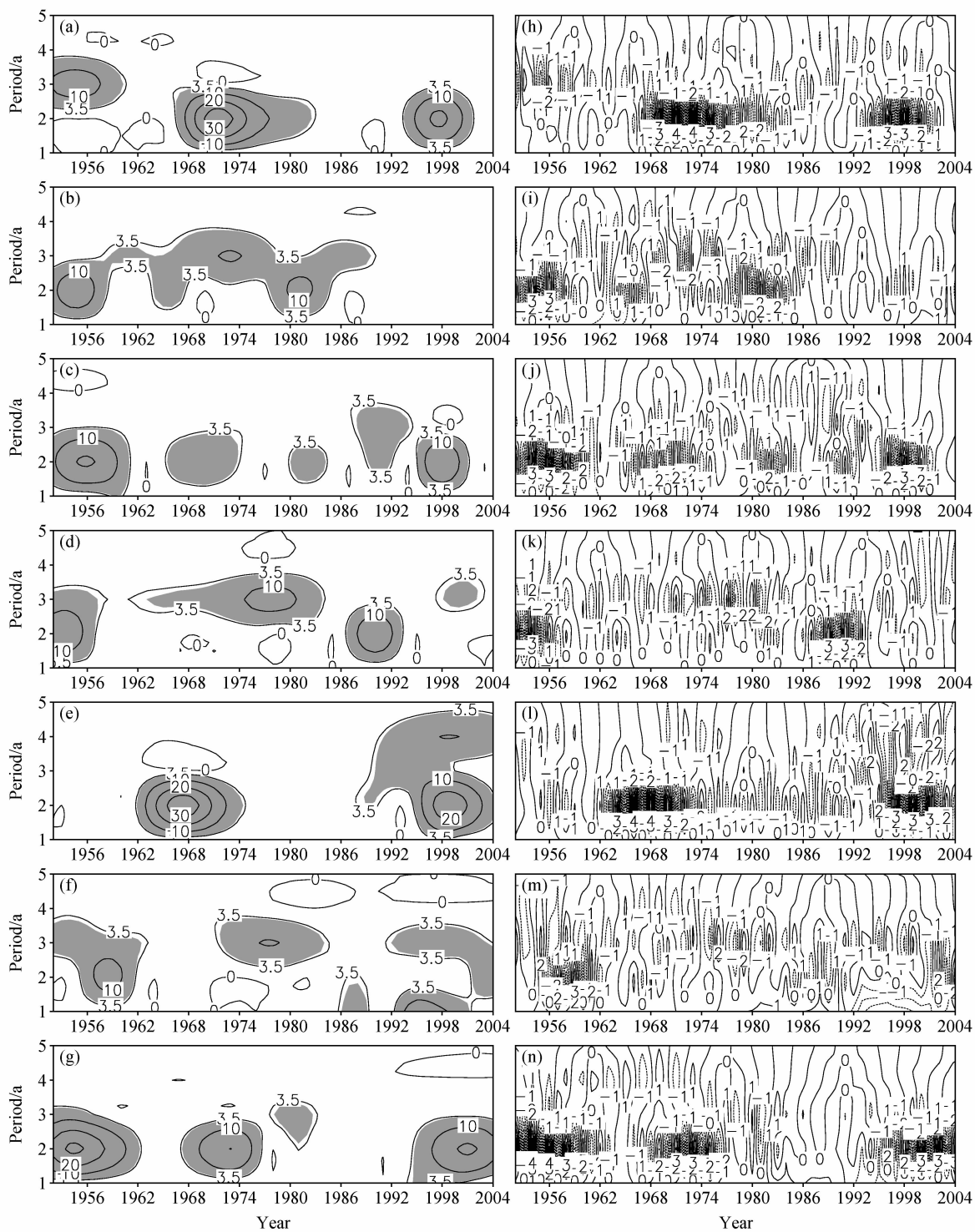


图6 中国东部夏季降水 TBO 的 Morlet 小波系数模方 (左列, 阴影为超过 95% 信度检验) 和实部系数 (右列) 图: (a, h) 东北地区; (b, i) 河套地区; (c, j) 淮河流域; (d, k) 长江流域; (e, l) 华南西部; (f, m) 华南中部; (g, n) 华南东部

Fig. 6 Morlet wavelet coefficients (left, areas above 95% level are shaded) and real coefficients (right) of summer rainfall TAO in eastern China: (a, h) Northeast China; (b, i) Hetao region; (c, j) the Huaihe River valley; (d, k) the Changjiang River valley; (e) western South China; (f, m) center South China; (g, n) eastern South China

位相变化, 而且还能发现在 1970 年代初到 1990 年代初 TBO 的信号虽然微弱但始终没有间断。华南

中部地区 (图 6f, m) TBO 的长期演变主要表现为 3 年左右的振荡周期, 1950 年代中期到 1960 年代

初准两年振荡信号较强,1970 年代初到 1980 年代初 TBO 信号漂向 3 年,1990 年代初到 21 世纪初 TBO 信号分裂成 3 年以上和 2 年以下的周期,到了 21 世纪初 TBO 信号又逐渐加强起来。华南东部(图 6g、n)降水 TBO 主要表现为 2 年左右的振荡周期,在 1950 年代初到 1960 年代初,1960 年代中到 1970 年代中和 1990 年代初至今信号较强,在这些时期 TBO 信号的位相变化(图 6n)也很明显。

通过以上分析表明,东部各区降水虽然同样受东亚夏季风影响,但它们却表现出形态各异的长期演变特征,甚至相邻的两个区域之间也没有统一的规律可遁,是什么造成它们之间这样大的差异,有待于进行更深入的探讨。

3.6 中国东部夏季降水 TBO 相互关系

表 3 给出了东部各区夏季降水 TBO 分量之间的相关系数,由表可知,东北地区降水 TBO 与河套地区相关最好(0.47),与淮河流域(0.41)和华南西部(−0.38)次之。河套地区仅与东北及淮河流域相关较好,与其他地区的相关表现得相当微弱。淮河流域与其他各区均有较好的相关,其中与长江流域和华南西部地区关系最好,相关系数达到了 0.5 以上。淮河流域与华南的西部及中部均呈明显的负相关关系。长江流域与淮河流域及华南东部呈明显的正相关。华南西部与淮河流域及东北地区呈明显的正相关,华南中部与淮河流域呈显著的负相关,华南东部与淮河流域及长江流域呈显著的正相关。

以上分析表明,夏季降水 TBO 淮河流域与其以南以北各区都有很好的相关,是一个很关键的地带,它是我国东部地区由南向北的过渡带,是夏季

降水 TBO 的敏感地区。华南东部与华南西部和中部关系不明显,华南三个地区与其他各区的关系也较复杂,没有统一的相关关系,这进一步说明了分区的客观性。

4 主要结论

(1) 通过对资料的统计分析表明,中国地区夏季降水 TBO 信号显著,全国范围内夏季降水 TBO 有明显的地理分布特征,高值区基本呈带状分布,方差最大值中心分布在长江流域及南部沿海地区。

(2) 根据中国东部夏季降水 TBO 分量 REOF 的前 5 个模态将中国东部地区划分成 7 个降水区,即东北地区、河套地区、江淮流域、长江流域、华南西部、华南中部及华南东部。这 7 个分区基本覆盖了东部大部分地区,能客观反映东部夏季降水 TBO 的气候特征。

(3) 夏季各 TBO 降水区对降水总量的解释方差有较大差异,其中东北地区的解释方差最大(0.64),淮河流域(0.57)和长江流域(0.55)的解释方差次之,华南中部地区的解释方差最小(0.25)。总体来说,东部夏季降水振幅 TBO 信号明显。

(4) 各降水区夏季降水 TBO 有着不同的长期演变特征,表现出不同的年代际变化特征。1950 年代,除华南西部其他各区降水 TBO 信号较强;1960 年代初到 1960 年代末,除华南西部和河套地区在 1960 中后期有 TBO 信号外,其他各区 TBO 信号较弱;1960 年代末到 1970 年代中后期各区均有明显的 TBO 信号;1970 年代中后期到 1980 年代中期,河套地区、淮河流域、长江流域和华南中部 TBO 信号明显;1980 年代中期到 1990 年代初,

表 3 东部各区夏季降水 TBO 相关分析 (1952~2004 年)
Table 3 Summer rainfall TBO correlation analysis in the eastern China divisions (1952 - 2004)

	东北地区	河套地区	淮河流域	长江流域	华南西部	华南中部	华南东部
东北地区	1						
河套地区	0.47 *	1					
淮河流域	0.41 *	0.27 **	1				
长江流域	0.13	0.15	0.50 *	1			
华南西部	−0.38 *	−0.06	−0.51 *	0.04	1		
华南中部	−0.22	0.06	−0.34 *	0.21	0.32 **	1	
华南东部	0.08	0.04	0.44 *	0.47 *	−0.16	0.21	1

注：*：通过 99% 信度检验；**：通过 95% 信度检验。

只有淮河和长江流域的 TBO 信号较明显; 1990 年代初至今, 除河套地区外其他各区 TBO 信号表现出增强的趋势。总体来讲, 淮河流域、长江流域和华南中部降水 TBO 特征显著; 华南西部和东北地区降水 TBO 特征较弱; 河套地区在 1990 年代以前表现出较强的 TBO 信号, 但 1990 年代后, TBO 特征不明显; 华南东部地区在 1970 年代中期以前 TBO 特征明显, 以后特征变弱。

(5) 各降水区夏季降水 TBO 的相互关系表明, 淮河流域是一个很关键的区域, 它是中国东部地区由南向北的过渡带, 是夏季降水 TBO 的敏感地区。

参考文献 (References)

- Barnett T P, Dumenil L, Schlese U, et al. 1989. The effect of Eurasian snow cover on regional and global precipitation [J]. *J. Atmos. Sci.*, 46 (5): 661–685.
- Chang C P, Zhang Y S, Li T. 2000. Interannual and interdecadal variations of the East Asian summer monsoon and tropical Pacific SSTs I, II [J]. *J. Climate*, 13 (24): 4310–4340.
- 陈兴芳, 宋文玲. 1997. 近 10 年我国降水的 QBO 分析 [J]. *应用气象学报*, 8 (4): 469–476. Chen Xingfang, Song Wenling. 1997. QBO analysis of precipitation in China from 1986 to 1995 [J]. *Quarterly Journal of Applied Meteorology (in Chinese)*, 8 (4): 469–476.
- Coulibaly P, Burn D H. 2004. Wavelet analysis of variability in annual Canadian streamflows [J]. *Water Resour. Res.*, 40 (3): 1–14.
- 黄嘉佑. 1988. 准两年周期振荡在我国月降水量中的表现. *大气科学*, 12 (3): 267–273. Huang Jiayou. 1988. Representation of QBO in monthly rainfall of China [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica) (in Chinese)*, 12 (3): 267–273.
- 黄荣辉, 陈际龙, 黄刚, 等. 2006. 中国东部夏季降水的准两年周期振荡及其成因 [J]. *大气科学*, 30 (4): 546–560. Huang Ronghui, Chen Jilong, Huang Gang, et al. 2006. The quasi-biennial oscillation of summer monsoon rainfall in China and its cause [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 30 (4): 546–560.
- Hung C W. 2003. Variabilities of the Asian-Australian monsoon system from annual to interdecadal timescales [D]. Ph. D. dissertation, Los Angeles: University of California.
- 况雪源, 丁裕国, 施能. 2002. 中国降水场 QBO 分布型态及其长期变率特征 [J]. *热带气象学报*, 18 (4): 359–367. Kuang Xueyuan, Ding Yuguo, Shi Neng. 2002. The distribution patterns and long term variability features for QBO over rainfall field of China [J]. *Journal of Tropical Meteorology (in Chinese)*, 18 (4): 359–367.
- Kumar P, Foufoula-Georgiou E. 1997. Wavelet analysis for geophysical applications [J]. *Rev. Geophys.*, 35 (4): 385–412.
- Lau K-M, Shen P J. 1988. Annual cycle, quasi-biennial oscillation and Southern Oscillation in global precipitation [J]. *J. Geophys. Res.*, 93 (D9): 10975–10988.
- Lu C, Koch S, Wang N. 2005. Determination of temporal and spatial characteristics of atmospheric gravity waves combining cross-spectral analysis and wavelet transformation [J]. *J. Geophys. Res.*, 110 (D1): 1–11.
- 缪锦海, Lau K M. 1990. 东亚季风降水的年际变化 [J]. *应用气象学报*, 1 (4): 377–382. Miu J H, Lau K M. 1990. Interannual variability of East Asia monsoon rainfall [J]. *Quarterly Journal of Applied Meteorology (in Chinese)*, 1 (4): 377–382.
- Mooley D A, Parthasarathy B. 1983. Variability of the Indian summer monsoon and tropical circulation features [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 111 (7): 967–978.
- Morlet J. 1981. Sampling theory and wave propagation [C]. *Proc. 51st Annual International Meeting of the Society of Exploration Geophysicists*, Los Angeles.
- Mukherjee B K, Indira K, Reddy R S, et al. 1985. Quasi-biennial oscillation in stratospheric zonal wind and Indian summer monsoon [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 113 (9): 1421–1424.
- North G R, Bell T L, Cahalan R F. 1982. Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal functions [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 110 (7): 699–706.
- Rasmussen E M, Wang X, Ropelewski C F. 1990. The biennial component of ENSO variability [J]. *J. Mar. Syst.*, 1 (1): 71–90.
- Reed R, Cambell W J, Rasmusson L A, et al. 1961. Evidence of a downward propagating, annual wind reversal in the equatorial stratosphere [J]. *J. Geophys. Res.*, 66 (3): 813–818.
- Shanker A P, Nanjundiah R S. 2004. Morlet wavelet analysis of tropical convection over space and time: Study of poleward propagations of Intertropical Convergence Zone (ITCZ) [J]. *Geophys. Res. Lett.*, 31 (2): 1–4.
- Tian S F, Yasunari T. 1992. Time and space structure of interannual variations in summer rainfall over China [J]. *J. Meteor. Soc. Japan*, 70 (1): 585–596.
- Veryard R G, Ebdon R A. 1961. Fluctuations in tropical stratospheric winds [J]. *Meteor. Mag.*, 90 (1066): 125–143.
- 王建新, 吕君宁, 石永贵. 1995. 长江中下游汛期降水的准两年振荡 [J]. *南京气象学院学报*, 18 (2): 229–233. Wang Jianxin, Lü Junning, Shi Yonggui. 1995. Quasi-biennial oscillation of wet season precipitation in the upper and middle reaches of the Yangtze River [J]. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese)*, 18 (2): 229–233.
- Wang S W, Zhao Z C. 1981. Droughts and Floods in China, Climate and History [M]. Cambridge University Press, 1470–1979.
- 魏凤英. 1999. 现代气候统计诊断与预测技术 [M]. 北京: 气象出版社. Wei Fengying. 1999. Modern Statistic Diagnosing and Forecasting Technology of Climate (in Chinese) [M]. Beijing: China Meteorological Press.

吴洪宝, 吴蕾. 2005. 气候变率诊断和预测方法 [M]. 北京: 气象出版社. Wu Hongbao, Wu Lei. 2005. Methods of Diagnosing and Forecasting Climate Variability (in Chinese) [M]. Beijing: China Meteorological Press.

杨秋明. 2006. 中国降水准 2 年主振荡模态与全球 500hPa 环流联系的年代际变化 [J]. 大气科学, 30 (1): 131–145. Yang Qi-uming. 2006. Interdecadal variations of connections between the principal biennial oscillation pattern of rain in China and global 500 hPa circulation [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 30 (1): 131–145.

殷宝玉, 王莲英, 黄荣辉. 1996. 东亚夏季风降水的准两年振荡及其可能的物理机制 [M]. 见: 黄荣辉主编. 灾害性气候的过程及诊断论文集. 北京: 气象出版社, 196–205. Yin Baoyu, Wang

Lianying, Huang Ronghui. 1996. East Asia summer monsoon rainfall quasi-biennial oscillation and its mechanism [M]. Collected Papers on Disaster Climate Process and Diagnosis (in Chinese). Huang R H, Ed. Beijing: China Meteorological Press, 196–205.

赵汉光. 1986. 我国降水振荡周期特征的初步分析 [J]. 大气科学, 10 (4): 426–430. Zhao Hanguang. 1986. Primary analysis of the rainfall period features of China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica) (in Chinese), 10 (4): 426–430.

朱乾根, 智协飞. 1991. 中国降水准两年周期变化 [J]. 南京气象学院学报, 14 (3): 261–268. Zhu Qian'gen, Zhi Xiefei. 1991. Rainfall quasi-biennial variability of China [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese), 14 (3): 261–268.

《大气和海洋科学快报》征稿启事

中国科学院大气物理研究所主办的英文双月刊《大气和海洋科学快报》(英文刊名为 Atmospheric and Oceanic Science Letters, AOSL) 已于 2008 年 11 月创刊。

《快报》主要刊登大气科学和海洋物理学方面的创新研究成果。本刊将充分发挥“快报”(Letters)类期刊“短平快”的特点, 努力把稿件的发表周期限制在半年以内, 以保证专家学者的最新研究成果得到及时发表。AOSL 处于草创阶段, 恳切希望得到广大科学家的支持, 欢迎大大家踊跃投稿。

由于是“快报”类期刊, AOSL 对稿件的长度将有严格的限制: 要求稿件不超过 5000 英文单词(包括插图, 一幅插图按 400 单词计算)。

投稿请登录 <http://www.dqkxqk.ac.cn/aosl/ch/index.aspx> 注册并提交稿件。

联系地址: 北京 9804 信箱

邮政编码: 100029

电话: 010-829995202, 01082995203

传真: 010-82995053

E-mail: aosl@mail.iap.ac.cn

Website: www.dqkxqk.ac.cn, www.iapjournals.ac.cn

《大气和海洋科学快报》编辑部