

东亚地区汛期 OLR 季节内振荡型的年际变化特征

杨秋明

江苏省气象科学研究所, 南京 210008

摘要 分析了 1979—2005 年 5—8 月东亚地区向外长波辐射 (OLR) 主要的空间模态和季节内振荡 (ISO) 强度的年际变化特征, 并研究了各个模态主要 ISO 型之间的联系。结果表明, 5—8 月东亚地区 OLR 存在 3 种主要的空间模态: 西太平洋偶极型 (WPD), 西太平洋经向型 (MWP) 和东亚中纬太平洋波列 (MEAP), 其时间变化表现为 10~20, 20~30 和 30~70d 的周期振荡, 其强度均存在极显著的年际变化, 由东亚夏季风区加热强迫和大气内部非线性相互作用引起。WPD 的主要 ISO 型之间相互独立, MWP 和 MEAP 的不同 ISO 型之间存在强的相互作用。深入研究这 3 个模态的 20~30 和 10~20d 振荡变化特征, 对于东亚地区夏季 10~30d 延伸期预报具有重要意义。

关键词 OLR; 季节内振荡; 东亚地区; 年际变化; 相互作用

中图分类号 P732

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)06-0083-05

Interannual Variations of Intraseasonal Oscillation Pattern of OLR in Rainy Seasons in East Asia

YANG Qiuming

Jiangsu Meteorological Institute, Nanjing 210008, China

Abstract Observational data of the Outgoing Longwave Radiation (OLR) from May to August during the period of 1979—2005 were analyzed to investigate the spatial and temporal characteristics of principal Intraseasonal Oscillation (ISO) patterns and their interannual variations over East Asia. The relationships between these ISO patterns were also discussed. Results indicate that there are three kinds of the notable spatial patterns: Western Pacific Dipole (WPD) pattern, Meridional Western Pacific (MWP) pattern and Middle Latitude East/Pacific (MEAP) pattern. It is found that these patterns are mainly of periodic oscillations of 10~20, 20~30 and 30~70 days, and the interannual variations of the intensity are predominant, which are associated with the heating forcing over East Asia monsoon region and nonlinear atmospheric interaction. For different time scales, the variations between the principal ISO modes of WPD pattern are independent processes, but the interactions between the principal ISO modes of MWP and MEAP patterns are dominant. These findings may have implications in improving extended-range weather forecasting for 10~30 days in East Asia summer.

Keywords outgoing longwave radiation; intraseasonal oscillation; East Asia; interannual variation; interaction

0 引言

持续暴雨和高温等极端天气异常变化过程的分析 and 预测是高影响天气的发生、发展和可预报性及其对全球、区域影响研究的重要内容, 也是世界气象组织/世界天气研究计划全球观测系统研究与可预报性试验计划 (THORPEX) 中的核心研究目标之一, 改进高影响天气的 3~10d 中期和 10~30d

延伸期预报技巧是 21 世纪重大的科学挑战之一。当前全球天气气候预报业务的理念——无缝隙预报包括临近预报—短期预报—中期预报—季节内预报—季节预报—年度预报—准两年预报—年际预报—年代预报—年代际预报—长期气候预测—气候变化预测及其按各种时间尺度划分的预报, 而其中重要部分就是 10~30d 延伸期预报。与 10~30d 延

收稿日期: 2009-12-30

基金项目: 中国气象局基础研究预研基金项目 (200726)

作者简介: 杨秋明, 高级工程师, 研究方向为中长期天气预报和气候变化, 电子邮箱: yqm0305@263.net

伸期预报密切相关的是季节内振荡(10~90d)的变化,针对不同考虑的季节内振荡(Intraseasonal Oscillation, ISO),即 10~20, 20~30, 30~60d 以及 60~90d 低频振荡,都应该根据不同的物理基础,采取不同侧重点的机制研究和预报方法。

自大气 ISO 在 20 世纪 70 年代被发现以来^[1-2],国际上对其进行了一系列研究,有关热带 ISO(也称为 MJO)的结构特征和基本活动规律已被揭示得较为清楚^[3-4]。进入 21 世纪以来,ISO 仍然是大气科学研究的国际前沿之一^[5-11],不少科学问题尚未完全搞清楚。中国学者的研究^[12-19]不仅进一步揭示了热带大气季节内振荡的一些新事实,还系统地回答了中高纬度大气季节内振荡的存在、特征以及与热带大气 ISO 及 ENSO 的关系等一系列重要问题。同时,也较详细地研究了这些热带和东亚中高纬度地区特有的 ISO 季节、年际和年代际变化特征,以及它们的传播过程和强度的变化对华北地区、江淮和长江中下游地区以及华南地区汛期旱涝和暴雨等极端天气的影响,并发现大气 ISO 对天气波和热带气旋活动存在明显的调制作用。作者最近研究发现,对于影响长江下游夏季降水最主要的大气 20~30d 振荡,在其演变过程中受南半球中纬度绕球遥相关波列(SCGT)影响较大,SCGT 对夏季东亚地区 ISO 的变化也起重要作用^[20]。因此,东亚地区 ISO 活动和传播是季风活动的有机组成部分,并与两半球热带外环流的 ISO 存在强的相互作用,是影响东亚地区 10~30d 延伸期天气变化和夏季气候变化的最重要因子之一。

从已有研究工作中可以看出,东亚地区的大气 ISO 变化具有多时间尺度的特征。在 10~30d 延伸期预测模型的研究中,考虑这种不同时间尺度的 ISO 之间的相互关系对于提高预测精度非常重要,但这种不同周期的 ISO 之间的关系尚未系统研究。事实上,不同时间尺度(如 10~20d, 20~30d 等)的 ISO 变化的物理机制不同,它们之间也可能存在相互作用,从而形成不同极端天气的复杂变化过程。因此,为了提高 10~30d 延伸期预报精度,本文将用较长时间(1979—2005 年)的 5—8 月东亚地区逐日向外长波辐射(Outgoing Longwave Radiation, OLR)资料(反映对流性降水云团活动的强弱和大尺度垂直运动的信息),分析东亚地区夏季主要 ISO 模态及其年际变化特征,并研究各个模态不同周期的 ISO 之间的相互作用。

1 资料和方法

采用 1979—2005 年美国国家海洋和大气局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)的 OLR 资料(2.5°×2.5°)^[21],所取资料时间是 1979—2005 年每年 5 月 1 日—8 月 31 日(共 27a),每年序列的长度为 123d(共 3321d),所有资料均取逐日距平序列。首先用主成分分析(Principal Components Analysis, PCA)得到东亚地区 OLR 主要的空间模态和时间系数;然后,对 5—8 月逐日时间系数做逐年非整数波功率谱分析(该方法能精确识别主要周期的变化)^[22],研究主要空间模态不同时间尺度的 ISO 年际变化特征。同时,计算了 10, 11, 12, …, 69, 70d 周期的振荡强度(非整数周期对

应的 F 统计量)年际变化序列之间的相关系数,研究不同时间尺度(10~70d)的 ISO 型之间的联系。

2 结果分析

2.1 东亚地区汛期 OLR 主要模态

1979—2005 年每年 5 月 1 日—8 月 31 日(共 27a)的东亚地区的 OLR 格点资料,经过标准化处理后,用 PCA 得到主要的前 3 个空间分布型(图 1),其解释方差分别是 5.1%,

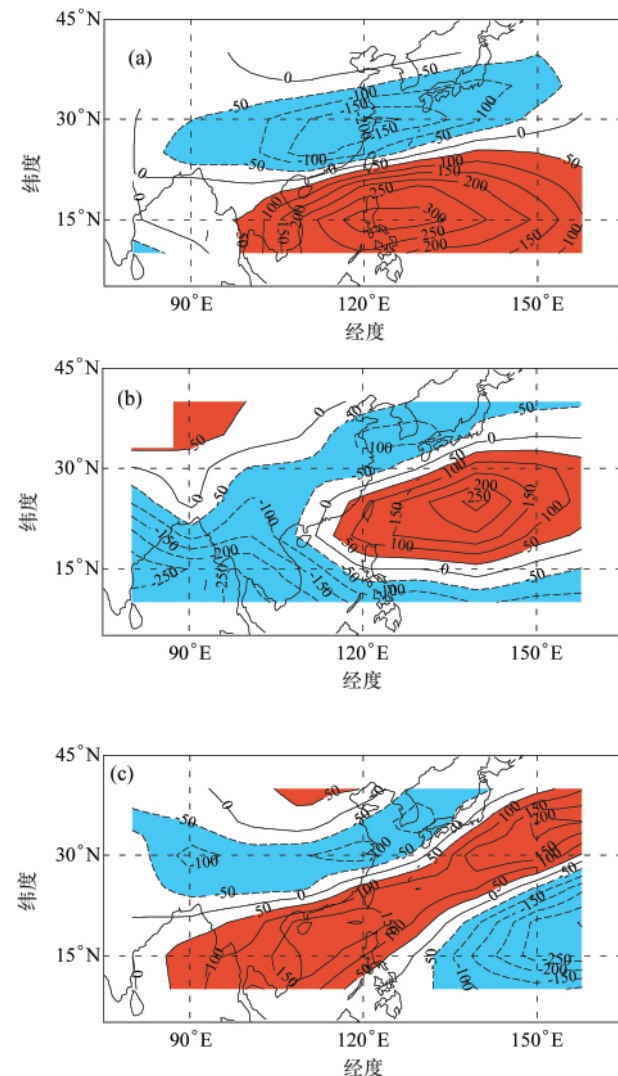


图 1 1979—2005 年 5—8 月东亚地区逐日 OLR 变化的主要空间模态

Fig. 1 Spatial distribution of the principal patterns for the daily OLR anomalies over East Asia in May to August during the period of 1979–2005

注:图 1(a)、1(b)、1(c)分别为第 1、2、3 空间分布型,图中数值已×1000,红(蓝)阴影区分别表示>50(<-50)的区域

Notes: The figures 1(a), 1(b) and 1(c) are corresponding to the first, second and third patterns, respectively, and the values are multiplied by 1000 and red (blue) shaded areas represent the regions with values greater than 50 (less than -50)

4.7%和 4.1%，它们是夏季东亚地区 OLR 时空变化中最重要的 3 个模态。对于第 1 模态，呈现极显著的南北反向变化的偶极结构(图 1(a))，正负中心分别位于菲律宾附近和中国长江以南到日本南部洋面，定义为西太平洋偶极型(WPD)，与文献[19]中西太平洋地区 OLR 的 20~50d 振荡的峰值位相的空间分布类似。当热带西太平洋对流减弱(OLR 为正值)，下沉运动加强时，西太平洋副热带高压位置偏南，中国长江以南地区对流增强(OLR 为负值)，上升运动加强，多暴雨过程，容易发生洪涝；反之，中国东部降水减少，容易形成高温干旱天气。这个空间分布型的形成与青藏高原的动力和热力作用以及受其影响的东亚急流的变化有关。第 2 模态表现为副热带西太平洋地区和印度洋东北部到中南半岛地区反向变化的空间结构(图 1(b))，OLR 的这种纬向分布与热带西太平洋地区到南亚地区纬向加热梯度有关，称为西太平洋经向型(MWP)，与西太平洋副热带的东西向振荡有关。第 3 模态则是一支从东亚中纬度大陆向热带西太平洋传播的波列(图 1(c))，定义为东亚中纬太平洋型(MEAP)，反映了东亚地区热带内外地区大气相互作用激发的 Rossby 传播的能量频散途径。因此，东亚和南亚地区纬向和经向不均匀加热分布和热带内外大气内部相互作用激发了上述 3 种 OLR 空间模态的时

空变化，明显影响东亚夏季气候的季节内变化和年际变化。

2.2 OLR 主要模态季节内振荡强度的年际变化

为了精确分析 5—8 月东亚地区各种 OLR 模态逐日变化的低频振荡特征，对 1979—2005 年逐年 5 月 1 日—8 月 31 日各种模态对应的时间系数的逐日变化序列做非整数波功率谱分析^[22]，并将每年各个周期(非整数)上的功率谱对应的回归方程的统计量 F 值以各周期为横坐标，年份为纵坐标，作二维 F 值的年份-周期图(图 2，当 $F>3.50$ 时，其显著性为 0.05)。从图 2(a)可以看出，WPD 型的 10~20、20~30 和 30~70d 振荡均很显著，但 10~20 和 20~30d 振荡强度的年际变化更明显，1987—1990 年和 1999—2002 年期间，20~30d 振荡周期变长，在 25~30d 之间；对于 MWP 型，20~30 和 30~70d 振荡显著，但 10~20d 振荡较弱(图 2(b))；MEAP 型的 10~20 和 20~30d 振荡十分显著，30~70d 振荡却比前两个 ISO 模态弱(图 2(c))，这意味着与东亚热带外环流相关的 ISO 的 10~30d 振荡占主导地位，与热带地区 MJO(主要周期是 30~60d)有明显差异。以上结果表明，夏季东亚地区 ISO 的多时空尺度的变化特征，是引起西太平洋副热带高压活动、中国东部夏季暴雨和高温天气形成的复杂性的主要原因。下面研究这种不同时间尺度的 ISO 之间的相互作用特性。

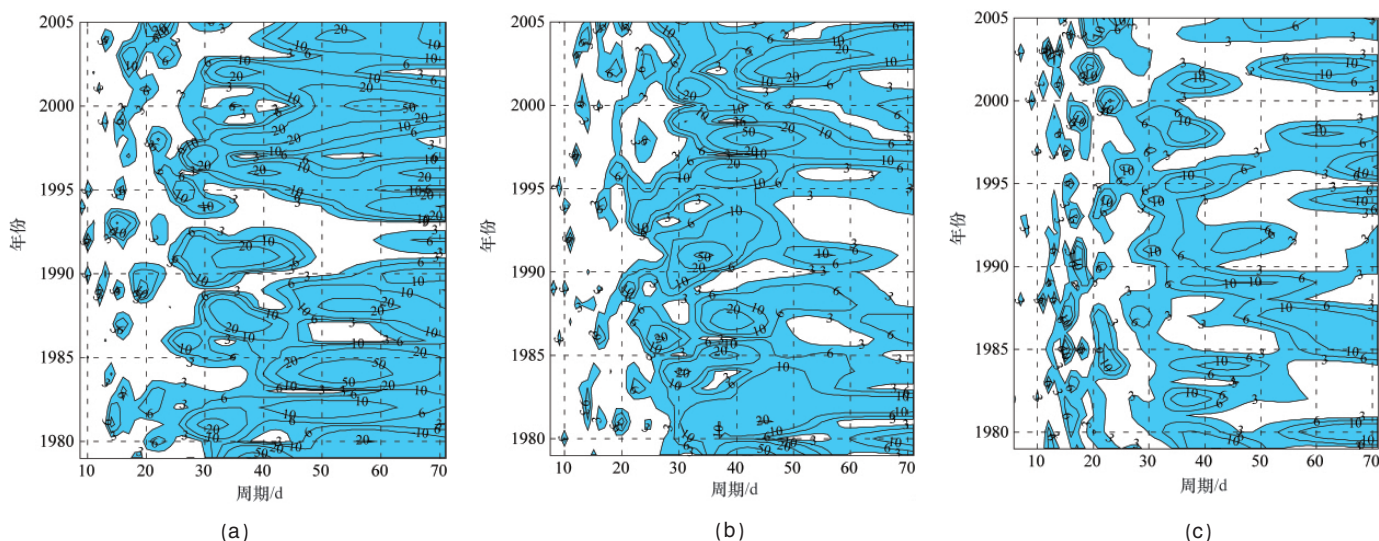


图 2 1979—2005 年期间 5—8 月 OLR 主要模态主要周期的变化

Fig. 2 Interannual variations of the periods of OLR over East Asia in May to August during the period of 1979—2005

注：图 2(a)、2(b)、2(c)分别为第 1、2、3 空间分布型，阴影区表示通过 0.05 显著性检验

Notes: The figures 2(a), 2(b) and 2(c) are corresponding to the first, second and third pattern, respectively, and the shaded values are significant at 95% confidence level

对于给定的 OLR 型的时间系数二维 F 值(每年各个周期(非整数)上的功率谱对应的回归方程的 F 统计量)构成的矩阵 $A(i, j)$, $i=10, 11, \dots, 69, 70d$, $j=1, 2, \dots, 27$, 对应于 1979, 1980, $\dots$, 2005 年；计算任意两行 $a_{k1, j}$, $a_{k2, j}$ (表示给定非整数周期的 ISO 强度的年际变化序列)之间的所有相关 ($k_1, k_2=1, 2, \dots, 61$)，可得到相关阵 R_{non} , $n=61$ ，其中相关系数不等于 1 的且通过 0.05 显著性检验的相关系数对应的两个非整数周期

的 ISO 型存在显著关系。计算结果表明，WPD 型的 R_{non} 中(非对角线)相关系数均未通过 0.05 显著性检验，所以它的主要 ISO 型之间相互独立；MWP 的 26d 振荡和 16d 振荡强度之间具有强的正相关，相关系数为 0.644，通过 0.01 显著性检验(图 3(a))；40 和 29d 振荡强度之间负相关较显著，相关系数为 -0.452，通过 0.05 显著性检验(图 3(b))；而 MEAP 的 56 和 19d 振荡之间的正相关十分明显，相关系数达 0.492，也通过

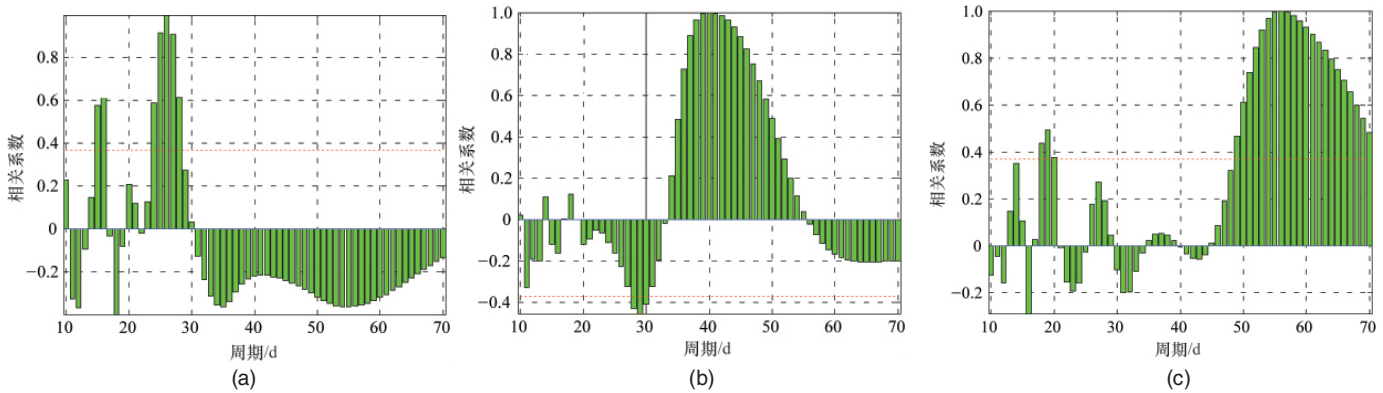


图3 不同周期的ISO型之间的相关

Fig. 3 Correlations between the different ISO modes

注:图(a)和(b)分别是MWP的26d和16d振荡之间和40d和29d振荡之间,图(c)是MEAP的56d和19d之间,图中水平虚线通过0.05显著性检验

Notes: The figures (a) and (b) are those between 26-day and 16-day, 40-day and 29-day oscillation for MWP, respectively, and the figure (c) is those between 56-day and 19-day oscillations for MEAP, in which the significant level of 95% is represented by horizontal dashed line

0.05 显著性检验(图3(c))。这表明MWP的26和16d振荡,40和29d振荡之间存在强相互作用,MEAP的56和19d振荡之间也存在显著的相互作用。值得注意的是,MEAP的10~20和30~60d振荡强度之间是正相关,与南海夏季风ISO的准双周振荡和30~50d振荡强度负相关明显不同^[17],其机制有待进一步研究。

以上分析表明,汛期东亚地区ISO存在不同的空间模式,而且其年际变化是多时间尺度的ISO型共同作用的结果。这种不同时间尺度的ISO型之间的相互作用及其演变过程对东亚夏季极端天气(如暴雨、高温等)的产生关系十分密切,因此这些ISO变化(特别是20~30d和10~20d时间尺度)为极端天气过程的10~30d延伸期预测提供了十分有用的预报信号。

3 结论

本文用主成分分析、非整数波功率谱分析和相关分析研究了1979—2005年5—8月东亚地区OLR主要的空间模式和ISO强度的年际变化特征以及各个模式主要ISO型之间的联系,得出以下结论。

1) 5—8月东亚地区逐日OLR变化存在3种主要的空间模式:WPD,MWP和MEAP,其方差贡献分别是5.1%,4.7%和4.1%,前两种模式体现了南亚和东亚热带地区不同热源强迫异常的作用,而第3种反映了东亚地区热带内外地区大气相互作用激发的Rossby传播。

2) WPD和MWP型的30~70d周期很强,MEAP型相对较弱;WPD型还具有强的10~20和20~30d周期振荡,而MWP型以20~30d振荡为主,10~20d振荡较弱,但MEAP型的10~20d振荡占主导地位,20~30d振荡较弱。以上30~70,20~30和10~20d周期振荡强度均存在显著的年际变化,

由东亚夏季风区加热强迫和大气内部非线性相互作用引起。

3) WPD的主要ISO型之间相互独立,MWP的26d振荡和16d振荡强度之间具有强的正相关,40和29d振荡强度之间负相关较显著,而MEAP的56和19d振荡之间的正相关十分明显。因此,这两种模式的不同时间尺度的ISO型之间存在强的相互作用。

参考文献 (References)

- [1] Madden R A, Julian P R. Detection of a 40—50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific[J]. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 1971, 28: 702—708.
- [2] Madden R A, Julian P R. Description of global-scale circulation cells in the tropics with a 40—50-day period [J]. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 1972, 29: 1109—1123.
- [3] Madden R A, Julian P R. Observation of the 40—50-day tropical oscillation—A review[J]. *Monthly Weather Review*, 1994, 122: 814—837.
- [4] Waliser D E, Lau K M, Stern W, et al. Potential predictability of the Madden-Julian Oscillation [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2003, 84(1): 33—50.
- [5] Webster P J, Hoyos C. Prediction of monsoon rainfall and river discharge on 15—30 day time scales [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2004, 85: 1745—1765.
- [6] Miura H, Satoh M, Nasuno T, et al. A Madden-Julian Oscillation event realistically simulated by a global cloud-resolving model [J]. *Science*, 2007, 318: 1763—1765.
- [7] Krishnamurthy V, Shukla J. Seasonal persistence and propagation of intraseasonal patterns over the Indian monsoon region [J]. *Climate Dynamics*, 2008, 30(4): 353—369.
- [8] 王斌. 认识和预报亚洲季风气候: 前沿突破点和展望 [J]. *气象学报*, 2008, 66(5): 653—669.
Wang Bin. *Acta Meteorologica Sinica*, 2008, 66(5): 653—669.
- [9] Matthews J A. Primary and successive events in the Madden-Julian Oscillation [J]. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 2008, 134: 439—453.

- [10] Jiang X N, Lau N C. Intraseasonal teleconnection between North American and Western North Pacific monsoons with 20-day time scale [J]. *Journal of Climate*, 2008, 21: 2664–2679.
- [11] Fujinami H, Yasunari T. The effects of midlatitude waves over and around the Tibetan Plateau on submonthly variability of the East Asian summer monsoon[J]. *Monthly Weather Review*, 2009, 137(7): 2286–2304.
- [12] 李崇银. 大气季节内振荡研究的新进展 [J]. 自然科学进展, 2004, 14 (7): 734–741.
Li Chongyin. *Progress in Natural Science*, 2004, 14(7): 734–741.
- [13] 黄荣辉, 孙凤英. 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[J]. 大气科学, 1994, 18(2): 141–151.
Huang Ronghui, Sun Fengying. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 1994, 18(2): 141–151.
- [14] 毛江玉, 吴国雄. 1991 年江淮梅雨与副热带高压的低频振荡[J]. 气象学报, 2005, 63(5): 762–770.
Mao Jiangyu, Wu Guoxiong. *Acta Meteorologica Sinica*, 2005, 63 (5): 762–770.
- [15] 张庆云, 陶诗言, 张顺利. 夏季长江流域暴雨洪涝灾害的天气气候条件[J]. 大气科学, 2003, 27(6): 1018–1030.
Zhang Qingyun, Tao Shiyun, Zhang Shunli. *Chinese Journal of Atmospheric Science*, 2003, 27(6): 1018–1030.
- [16] 韩荣青, 李维京, 董敏. 北半球副热带-中纬度太平洋大气季节内振荡的纬向传播与东亚夏季旱涝[J]. 气象学报, 2006, 64(2): 149–163.

- Han Rongqing, Li Weijing, Dong Min. *Acta Meteorologica Sinica*, 2006, 64(2): 149–163.
- [17] Yang J, Wang B, Wang B. Anticorrelated intensity change of the quasi-biweekly and 30–50-day oscillations over the South China Sea [J]. *Geophysical Research Letters*, 2008, 35: 16702, doi: 10.1029/2008GL034449.
- [18] Zhang L, Wang B, Zeng Q. Impact of the Madden – Julian Oscillation on summer rainfall in Southeast China [J]. *Journal of Climate*, 2009, 22 (2): 201–216.
- [19] Mao J, Sun Z, Wu G. 20–50-day oscillation of summer Yangtze rainfall in response to intraseasonal variations in the subtropical high over the western North Pacific and South China Sea [J]. *Climate Dynamics*, 2010, doi: 10.1007/s00382–009–0628–2.
- [20] 杨秋明. 全球环流 20–30d 振荡与长江下游强降水 [J]. 中国科学 D 辑, 2009, 39(11): 1515–1529.
Yang Qiuming. *Science China, Ser D*, 2009, 39(11): 1515–1529.
- [21] Liebmann B, Smith C A. Description of a complete (interpolated) outgoing longwave radiation dataset [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1996, 77: 1275–1277.
- [22] Schickedanz P T, Bowen E G. The computation of climatological power spectra [J]. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 1977, 16: 359–367.

(责任编辑 朱宇)



**首届森林科学论坛
——应对森林自然灾害国际学术研讨会**

时 间: 2010年4月12–14日
地 点: 北京

主办单位: 中国林学会
中国生态学学会
中国水土保持学会
中国气象学会

电话: 62889817, 62849113
传真: 62889817, 62849113
电子信箱: Csf_org@caf.ac.cn, Xueshu210@126.com