长江中下游入梅指数及早晚梅年的海气背景特征

竺夏英[1,2] 何金海[1,3] 吴志伟[2,3]

1 南京信息工程大学江苏省气象灾害重点实验室，南京 210044
2 中国科学院大气物理研究所大气科学与地球流体力学数值模拟国家重点实验室，北京 100029
3 中国气象局广州热带海洋气象研究所，广州 510080

摘 要 利用 1957～2001 年全国 160 站逐月降水资料和 116 站入梅日期资料，定义了一个长江中下游入梅指数，以定量描述长江中下游地区平均入梅的早晚，再结合 ERA－40 高分辨率再分析资料和 ERSST 海温资料，利用相关分析和合成分析，分别研究了早、晚梅年同期（6～7 月份）和前期（前一年 12 月份至当年 5 月份）的大尺度大气环流及海温的异常特征。结果表明：早梅年同期，200 hPa 南亚高压偏北，印度北部、孟加拉湾-印度尼西亚-副热带太平洋地区上空的对流偏强，西太平洋副热带高压和赤道辐合带位置偏北，东亚副热带夏季风偏强，晚梅年则相反。前期 1 月份北太平洋涛动及 4 月份西太平洋暖池附近的对流与当年入梅早晚存在显著的相关关系：早梅年，1 月份北太平洋涛动偏弱，4 月份西太平洋暖池附近的对流活跃；晚梅年，1 月份北太平洋涛动偏强，4 月份西太平洋暖池附近的对流偏弱。此外，从前期海温场来看，早梅年，1～4 月份北大西洋中高纬地区海温偏低，低纬地区海温偏高，呈南北偶极子分布状态，2 月份西太平洋暖池附近海域及北半球冬、春季环澳大利亚海域海温明显偏高，晚梅年情况正好相反。以上这些前期信号为长江中下游地区入梅的短期气候预测提供了参考依据。

关键词 入梅 长江中下游地区 海气异常 短期气候预测
文章编号 1006－9895（2008）01－0113－10 **中图分类号** P426 **文献标识码** A

Regional Meiyu Onset Index over the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River and the Associated Ocean－Atmospheric Features for the Early/Late Meiyu Onset Years

ZHU Xia-Ying[1,2], HE Jin-Hai[1], and WU Zhi-Wei[2,3]

1 *Jiangsu Key Laboratory of Meteorological Disaster, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing* 210044
2 *State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100029
3 *Guangzhou Institute of Tropical Oceanic Meteorology, China Meteorological Administration, Guangzhou* 510080

Abstract A large number of previous researches about the Meiyu are chiefly on the precipitation and its influencing factors, but that on the Meiyu onset is as important as on Meiyu rainfall in scientific value and in practice. In view of the regionality of the Meiyu and based on the 1957－2001 monthly precipitation data of 160 stations and the Meiyu onset data of 116 stations over China, a regional Meiyu onset index (RMOI) is defined to describe the early or late Meiyu onset in the middle and lower reaches of the Yangtze River, quantitatively. Then ERA-40 high resolution reanalysis data and extended reconstructed sea surface temperature (SST) data are used, together with simple correlation and composite analysis, to investigate the singularities of large scale atmospheric circulation and SST in the

收稿日期 2006－05－19，2006－07－28 收修定稿
资助项目 上海市气象局“副热带季风研究及预报技术开发”项目，国家自然科学基金资助项目 40605022，热带海洋气象科学研究基金 200508，中国气象局热带季风重点开放实验室资助
作者简介 竺夏英，女，1981 年出生，硕士生，主要从事东亚季风、区域气候研究。E-mail：zhuxiay@126.com

same term of June to July as well as in the previous months from the preceding December through May for early and late Meiyu onset years. Results exhibit that during the simultaneous term of the early Meiyu onset years, the 200-hPa South Asia high lies more northward, and convection tends to strengthen over northern India, the Bay of Bengal, Indonesia, the subtropical western Pacific, associated with the more northward western Pacific subtropical high (WPSH). Meanwhile, cross-equatorial jet flow near Somali in the lower troposphere and the Indian summer monsoon are more intense. The East Asian summer monsoon is stronger in the early Meiyu onset years, which is chiefly contributed by the stronger flow in the southern swing of the WPSH. Previously, the RMOI has anomalous relationship with the North Pacific oscillation (NPO) in January and with convective activities over the western Pacific warm pool in April, that is, weaker NPO and stronger convection over the warm pool in the early Meiyu onset years contrary to stronger NPO and weaker convection over the warm pool in the late ones. In addition, as far as previous SST is concerned for the early Meiyu onset years, lower SST emerges in the mid- and high latitudes of the North Atlantic (NA), associated with higher SST in the low latitudes of the NA from January to April, which shows a south-north dipole pattern. Anomalously higher SST appears in the western Pacific warm pool region in February and over the waters around Oceania in the previous spring. The situations are just opposite for the late Meiyu onset years. All these offer some references for the short-term prediction of the Meiyu onset.

Key words the Meiyu onset, the middle and lower reaches of the Yangtze River, ocean-atmospheric singularities, short-term climate prediction

1 引言

梅雨给长江中下游地区带来了充沛的降水也带来了洪涝灾害，历来受到气象学者的重视。早在20世纪50年代，陶诗言等[1]就对中国梅雨期的气候特点等问题作了较为全面的分析，指出亚洲上空的东西风带向北突然推进标志着梅雨期的开始，它跟印度夏季风在印度加尔各答建立的日期相一致。丁一汇等[2]以1991年江淮梅雨为个例，就梅雨预测问题指出：应在由春夏之交到盛夏这个较长时期内分阶段地考虑梅雨预测；确定雨带的落区，不但应强调副高和东南季风活动对雨带南北进退的作用，也要注意西南季风的活动会导致雨带东西向的摆动。张庆云等[3]认为东亚夏季风环流偏弱是夏季长江流域发生严重暴雨洪涝灾害的气候特征。陆日宇和黄荣辉[4]研究指出江淮流域降水与东北亚阻塞高压的活动有很大的关系。张琼等[5]则认为长江中下游旱涝与中国近海（印度洋、南海）海温关系密切。黄荣辉等[6, 7]分析了春夏季热带西太平洋热状态、菲律宾周围对流强弱与江淮流域夏季风降水的关系。Tao和Chen[8]提出梅雨锋带主要是由副热带季风和北方冷空气组成的中纬度梅雨带。Wu等[9]用新定义的旱涝指数（DFCI）揭示了正常季风年长江中下游地区夏季“旱涝并存，旱涝急转”的观测事实。

以往大量的研究多为梅雨量的多寡及其影响因子的探讨，而对入梅早晚的研究相对较少。梅雨量的多少、梅雨期的长短及出入梅的早晚是梅雨的三个重要表征量。入梅早，梅期长，往往会导致梅雨量偏多，入梅晚，梅期短，梅雨量往往偏少，而且入梅早晚本身也会对当地人们的生活及生产造成很大的影响，所以入梅早晚的研究同样具有重要的科学价值，而且它一直是气象预报和服务工作的重点和难点。符淙斌[10]研究指出南极海冰状况变动所引起的经圈环流的位移可能是影响长江流域出梅日期和梅期长度的一个重要因子。陈凤贵和杨信杰[11]讨论了1991年江淮早梅的形成机制，指出120°E～130°E越赤道气流的重要性。杨义文等[12]分析了近116年长江中下游的梅雨，指出梅雨期的起讫与夏季西太平洋副高活动特征密切联系，梅雨序列的周期性和长期趋势也因此反映了我国东部夏季风活动的时间演变特征。王钟睿和钱永甫[13]认为西南印度洋、南大西洋、台湾以东及中西太平洋的海温异常对江淮流域入梅早晚有较大影响。魏凤英等[14]研究指出20世纪40年代以来入梅有偏晚的趋势。

综观前人对入梅的研究，发现：(1) 大多都是用南京或直接选取上海、南京、芜湖、汉口和九江5个测站资料。我们知道，梅雨是一个区域性的概念，各个地区之间入梅日期有很大差异。比如1965

年，南京入梅较晚，汉口入梅日期接近 45 年平均值，而合肥则几乎是空梅，因此单纯用某个站的入梅日期或不加筛选的直接用五站资料来表征入梅具有很大的主观性。(2) 所用的格点资料都是 NCEP 第一套再分析资料，现在越来越多的研究者发现 NCEP 第一套资料 1968 年以前的部分和观测资料相比存在很大的误差[15]。基于此，本文考虑入梅的区域差异性，提出了一个区域入梅指数，并且利用 ERA-40 再分析资料（ERA-40 再分析资料虽然也存在误差，但是相对来说比 NCEP 资料的误差要小得多[15]），较为全面地讨论长江中下游梅雨同期及前期的全球大气环流和全球海温异常情况，希望对长江中下游入梅有一个更加客观、准确的了解，为入梅短期气候预测提供一些参考依据。

2　资料和方法

为简便起见，选取 6～7 月份的累积降水量来表征梅雨量。参考 Ting 和 Wang[16] 以及吴志伟等[17]划分降水区的方法，先计算全国 160 站1957～2001 年梅雨期降水标准差，得到长江流域降水变率最大的测站为安庆，然后以安庆为基点，计算其与全国 160 站降水单点相关，得到空间相关图(如图 1a 所示)，相关系数在基点处为 1，然后向周围逐渐减小，阴影区域为显著相关的区域（通过 95% 水平的置信度检验），使用该区域内的 10 个测站（东台、南京、合肥、上海、杭州、安庆、屯溪、汉口、钟祥、恩施，这是由于资料限制）作为长江中下游梅雨区的代表测站，根据这些测站的入梅日期定义一个长江中下游区域入梅指数（RMOI）。具体做法是：先将 10 个测站每年的入梅日期减去 6 月 20 日，然后做 10 站平均，得到每年的入梅日期关于 6 月 20 日的偏差时间序列，再对此序列进行标准化，得到的值就定义为 RMOI，其中负值代表入梅较早的年份，正值代表入梅较晚的年份。并且设 RMOI 值小于－1（大于 1）的年份为早（晚）梅年，从图 1b 中可以看到入梅早的年份有 7 年（1961、1971、1980、1984、1989、1991、1999 年），入梅晚的年份有 8 年（1957、1965、1968、1969、1981、1982、1987、1997 年）。这些年份与文献[13，18]的结果相比较，可以发现除 1987 年外，对两者的结果进行了综合优选。事实上，1987 年除东台、南京、杭州 3 个站为正常梅年，其它 7 个站入梅均偏晚。由此可见，本文定义的 RMOI 具优越性。

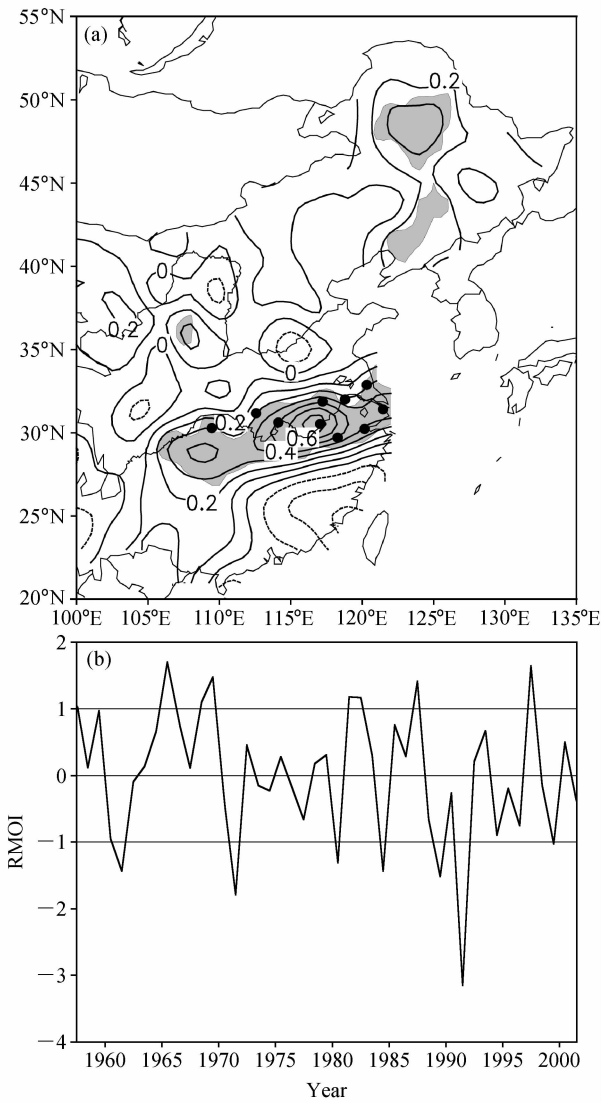

图 1　(a) 以安庆站为基点的 6～7 月累积降水单点相关图（阴影：通过 95%置信度水平的显著性检验，实心点：10 个代表测站，等值线间隔：0.1）；(b) 1957～2001 年 45 年长江中下游入梅指数（RMOI）的年际变化曲线

Fig. 1　(a) One-point correlation map of the precipitation selecting Anqing as the base point (shaded areas: over 95% confidence level; ten solid dots: ten typical stations; contour interval: 0.1); (b) temporal variation of the Regional Meiyu Onset Index (RMOI) in the middle and lower reaches of the Yangtze River from 1957 to 2001

3　早、晚梅年大尺度大气环流异常

长江中下游梅雨是东亚夏季风推进到长江流域的产物，入梅的早晚在一定程度上反映了东亚环流的冬季型向夏季型转换在时间进程上的差异，那么

早、晚梅年大尺度大气环流有何异常？入梅早晚与大气环流异常有怎样的关系？为此，本文首先分析了同期 6、7 月份大气环流的异常特征。

3.1 早、晚梅年同期（6～7 月份）大气环流的异常特征

入梅的早晚与西太平洋副热带高压（西太副高）和赤道辐合带（ITCZ）的活动有直接联系[19]，为研究早、晚梅年同期副高和 ITCZ 的异常特征，本文计算了 RMOI 与同期 TTR 场的相关（图 2）。TTR（即 top thermal radiation，云顶热辐射）是 ERA-40 资料集中一个代表大气对流状况的物理量，其意义与 NCEP/NCAR 资料集中的 OLR 相似，只是两者的符号相反。为便于理解，这里的 TTR 值均已乘以－1。当 TTR 值较大时，表示向外长波辐射多，即对流弱；当 TTR 值较小时，表示向外长波辐射少，也就是说对流强。由图 2 可见，低纬度大部分区域为显著正相关区，中心位于印度大陆北部、孟加拉湾-印度尼西亚-西太平洋地区，30°N 附近为负相关带，中心正好是西北太平洋副热带高压所在的区域，表明早、晚年这些地区上空的对流有显著的异常。早梅年，印度大陆北部、孟加拉湾-印度尼西亚-西太平洋地区上空对流偏强，副热带地区的西北太平洋对流偏弱，西太副高和 ITCZ 位置偏北。晚梅年，印度大陆北部、孟加拉湾-印度尼西亚-西太平洋地区上空对流偏弱，副热带地区的西北太平洋对流加强，也就是说西太副高和 ITCZ 位置偏南。

南亚高压是夏季北半球大尺度大气环流的一个重要系统，也是长江中下游梅雨天气系统的重要组成部分，因此有必要分析早、晚梅年南亚高压的异常特征。图 3 中，几乎整个南亚 200 hPa 为一个高值系统即南亚高压所控制。早梅年（图 3a），20°N 以北区域，其位势高度相对气候态异常偏高，表明早梅年南亚高压位置偏北。晚梅年（图 3b），20°N 以北为位势高度异常负值区，20°N 以南为位势高度异常正值区，表明晚梅年南亚高压位置偏南，这与西太副高的异常变动情况相一致[20]。

为分析早、晚梅年同期对流层低层大气环流的异常特征，本文计算了同期早、晚梅年 850 hPa 合成风场差值场（图 4）。从图 4 可见，从我国东部到日本南部为偏南风差值气流，表明早梅年，入梅同期东亚副热带夏季风偏强，晚梅年，入梅同期东亚副热带夏季风偏弱。东亚夏季风主要由三支气流汇

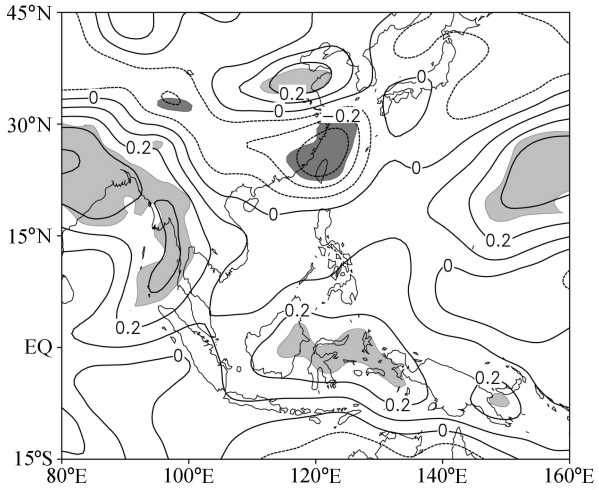

图 2 RMOI 与同期（6～7 月平均）TTR 场相关图。等值线间隔为 0.1；阴影：通过 95%置信度水平的显著性检验，浅灰色为显著正相关，深灰色为显著负相关

Fig. 2 The correlation coefficients between the RMOI and the simultaneous top thermal radiation (TTR). Contour interval is 0.1, the light and dark shaded areas are respectively positive and negative correlation over 95% confidence level

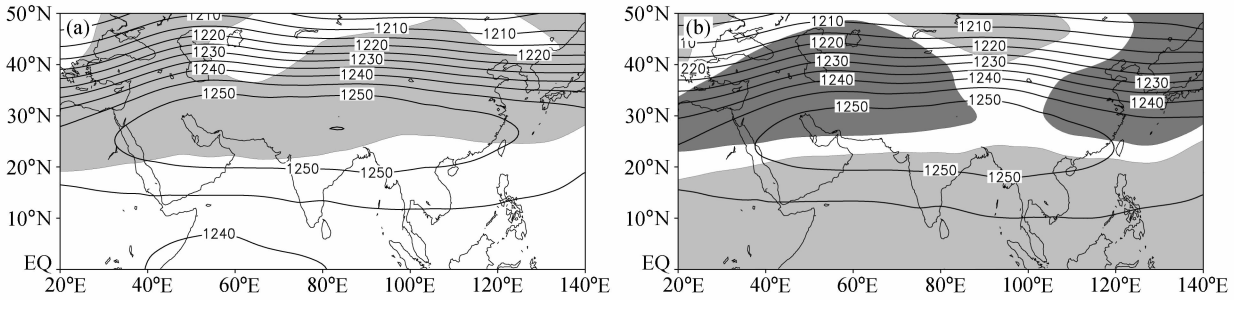

图 3 同期 200 hPa 早梅年(a) 和晚梅年(b) 位势高度场合成图（单位：dagpm）。等值线间隔：5 dagpm；阴影：与气候态相比通过 95%置信度水平的显著性检验区

Fig. 3 The composite 200-hPa geopotential height of the simultaneous Jun to Jul for (a) early Meiyu onset years and (b) late Meiyu onset years. Contour interval is 5 dagpm. Shaded areas exceed 95% confidence level

合而成，分别为印度西南季风经中南半岛转向的气流、苏门答腊越赤道气流和副高南侧转向的偏南气流，这三个组成部分在图 4 中均表现有显著异常，苏门答腊和中南半岛表现为偏北风差值气流，表明早梅年这两支偏南风气流较弱，南海上空为偏东风差值气流，而且它和长江中下游地区的西南风差值气流相连接，因此，早梅年东亚副热带夏季风的增强主要来源于西太副高南侧转向气流的贡献。阿拉伯海-印度次大陆为西南风差值气流，索马里附近为偏南风差值气流，表明早梅年，印度西南季风偏强，并伴随着较强的索马里越赤道气流。此外，在印度尼西亚地区上空为辐合的差值气流，表明早梅年这里的辐合增强，这正好与早梅年印度尼西亚上空对流增强相对应。上述情况在晚梅年正好相反。

综上所述，早、晚梅年大气环流存在显著的异常，即早梅年，南亚高压偏北，伴随着 ITCZ 和西太副高位置偏北，东亚副热带夏季风偏强，晚梅年情况相反。

3.2　早、晚梅年前期（12～5 月份）大气环流的异常特征

为研究早、晚年前期大尺度大气环流的异常特征，本文计算了 RMOI 与前一年 12 月至当年 5 月北太平洋涛动（NPO）指数[21]、北大西洋涛动（NAO）指数[22]、北半球环状模（NAM）指数[23]等大气环流涛动指数的相关，发现 RMOI 与当年 1 月份的 NPO 指数呈显著正相关关系。NPO 是指太平洋高纬度（东西伯利亚到加拿大西部）、低纬度地区（副热带地区到 40°N 附近）海平面气压场呈弱的南北跷跷板，反映了阿留申低压和北太平洋高压（夏威夷高压）这两个大气活动中心的强弱变化。计算得到 RMOI 与当年 1 月份 NPO 指数的相关系数达 0.37，通过 95％置信度水平的显著性检验。这表明早梅年，当年 1 月份 NPO 往往减弱；晚梅年，当年 1 月份 NPO 可能增强。为进一步验证该相关分析的结果，我们计算了 RMOI 与前期 1 月份海平面气压场的相关（图 5a）。从图 5 中可以看到，低纬度太平洋为正相关区，60°N 附近的北太平洋及俄罗斯远东地区为显著负相关区（达到 95％的置信度水平），表明早梅年，前期 1 月份北太平洋高纬度地区海平面气压场很可能偏高；晚梅年，前期 1 月份北太平洋高纬度地区海平面气压场很可能偏低。从前期 1 月份早、晚梅年海平面气压场的合成差值图（图 5b）可见，虽然太平洋低纬度地区近似为 0 差值区，即早、晚梅年该地区的海平面气压场差别很小，但太平洋高纬度地区为正差值区，表明早梅年，前期 1 月份该地区的海平面气压异常增高，而晚梅年该地区的海平面气压异常降低。因此，当前期 1 月份太平洋高纬度地区海平面气压场异常增高，而低纬度地区海平面气压场异常降低或变化很小时，南北向的气压梯度异常减小，即 NPO 异常减弱，当年长江中下游地区入梅很可能偏早，即 RMOI 异常偏低。当前期 1 月份太平洋高纬度地区海平面气压场异常降低，而低纬度地区海平面气压场异常增高或变化很小时，南北向的气压梯度异常增大，即 NPO 异常增强，当年长江中下游地区入梅很可能偏晚，即 RMOI 异常偏高。

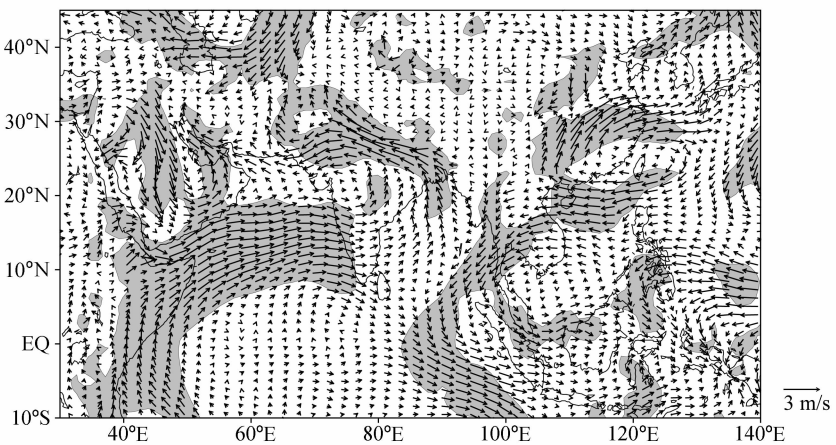

图 4　同期 850 hPa 早、晚梅年合成风场差值图（早梅年减晚梅年）。单位：m/s；阴影：通过 95％置信度水平的显著性检验

Fig. 4　The composite 850-hPa wind difference of the simultaneous Jun to Jul between early and late Meiyu onset years. Shaded areas exceed 95％ confidence level

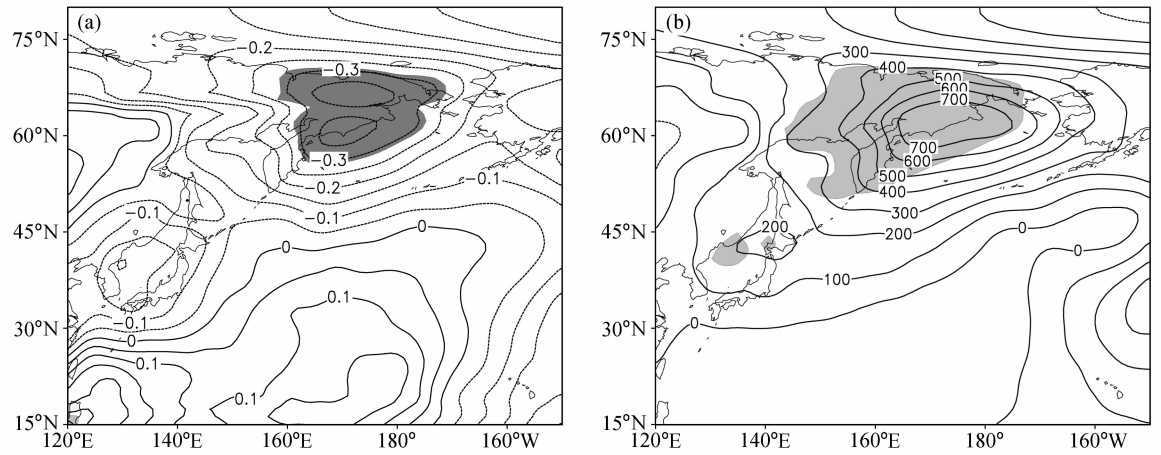

图 5 (a) RMOI 与前期 1 月份海平面气压场相关图（等值线间隔：0.1）；(b) 前期 1 月早、晚梅年海平面气压场的合成差值图（早梅年减晚梅年，等直线间隔：100 hPa）。阴影：通过 95%置信度水平的显著性检验

Fig. 5 (a) The correlation coefficients between the RMOI and the preceding Jan sea-level pressure (contour interval is 0.1); (b) composite sea-level pressure difference in the preceding Jan between early and late Meiyu onset years (contour interval is 100 hPa). Shaded areas exceed 95% confidence level

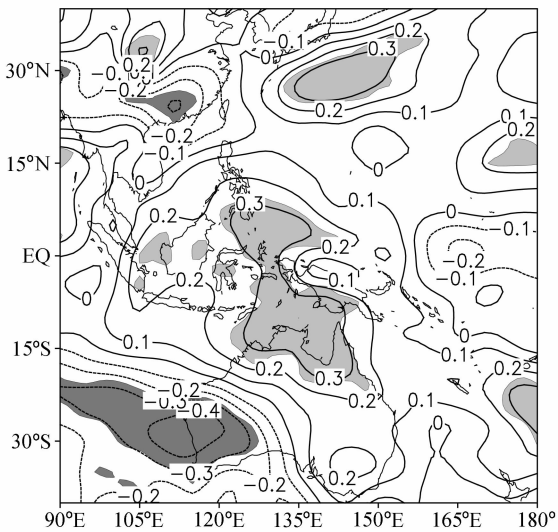

图 6 RMOI 与前期 4 月 TTR 场的相关图。等值线间隔：0.1；阴影：通过 95%置信度水平的显著性检验

Fig. 6 The correlation coefficients between the RMOI and the preceding Apr TTR. Contour interval is 0.1, shaded areas exceed 95% confidence level

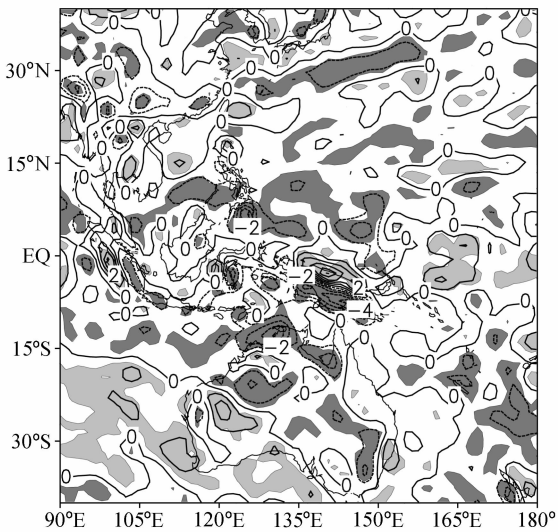

图 7 前期 4 月份早、晚梅年 850 hPa 散度场的合成差值图（早梅年减晚梅年）。等值线间隔：10^{-6} s^{-1}；阴影：通过 90%置信度水平的显著性检验

Fig. 7 Composite 850-hPa divergence difference in the preceding Apr between early and late Meiyu onset years. Contour interval is 0.1, The divergence difference (early Meiyu onset years minus late Meiyu onset years) in the shaded areas exceeds 95% confidence level

黄荣辉等[24]研究表明，前期菲律宾周围对流活动的强弱对西太副高的北跳具有重要影响。因此，本文计算了 RMOI 与前期 12～5 月份 TTR 场的相关。发现前期 4 月份（图 6），西太平洋暖池附近和副热带西太平洋存在大范围的显著正相关区，澳洲西部及其附近的南印度洋海域为显著负相关区，表明早梅年西太平洋暖池及副热带地区的 TTR 值往往偏小，即其上空的对流偏强，而南侧的澳洲西部-西南印度洋地区的 TTR 值往往偏大，即该地区上空的对流偏弱。晚梅年前期 4 月份对流活动强弱情况相反。这些特征在前期 3 月份和 5 月份也均有表现，但是 4 月份最显著。

本文还计算了前期 4 月份早、晚梅年 850 hPa

散度场的合成差值场（图 7）。图 7 中清晰可见，西太平洋大部分地区为负差值区，表明早、晚梅年前期 4 月份这些地区 850 hPa 风场辐合偏强（弱）。澳洲西部-西南印度洋为正差值区，也就是说，早（晚）梅年前期 4 月份该地区的 850 hPa 风场辐散偏强（弱）。根据连续性原理，某个地区上空的对流增强（减弱），往往伴随着该地区对流层低层风场辐合增强（减弱）。因此，由图 7 所得的结果与图 6 的结果相吻合。

通过以上分析，我们发现早、晚梅年前期大气环流存在显著的异常信号，早（晚）梅年，前期 1 月份 NPO 偏弱（强），4 月份西太平洋暖池附近对流偏强（弱）。

4　早、晚梅年前期（12～5 月）海温的异常特征

已有的研究[25, 26, 27]表明，海温异常对东亚夏季风降水具有重要的影响。从 RMOI 与前期 12～5 月份海温相关图（图 8）来看，1～3 月份西太平洋暖池附近存在显著负相关区，相关系数通过 95%置信度水平的显著性检验，尤其在 2 月份相关最为显著，4、5 月份显著负相关区主要在 30°S～30°N 之间的中太平洋，表明上述海区前期海温异常升高（降低），长江中下游地区入梅很可能偏早（晚）。

前期 1～4 月份 30°N 附近的北大西洋为稳定的显著负相关区，其北侧为显著正相关区，两者呈南北偶极子分布型式，这表明当前期 1～4 月份北大西洋海温异常为南高北低时，当年长江中下游地区入梅往往偏早；当前期 1～4 月份北大西洋海温异常为南低北高时，当年长江中下游地区入梅往往偏晚。这与徐海明等[18]的研究结果相一致。

此外，前期冬（12～2 月份）、春季（3～5 月份）环澳洲大陆的海域为显著负相关区（通过 95%置信度水平的显著性检验），冬季主要在大陆东南侧，春季在大陆西侧，并且春季的相关区范围和强度都比冬季要小；4、5 月在非洲大陆南端也存在一

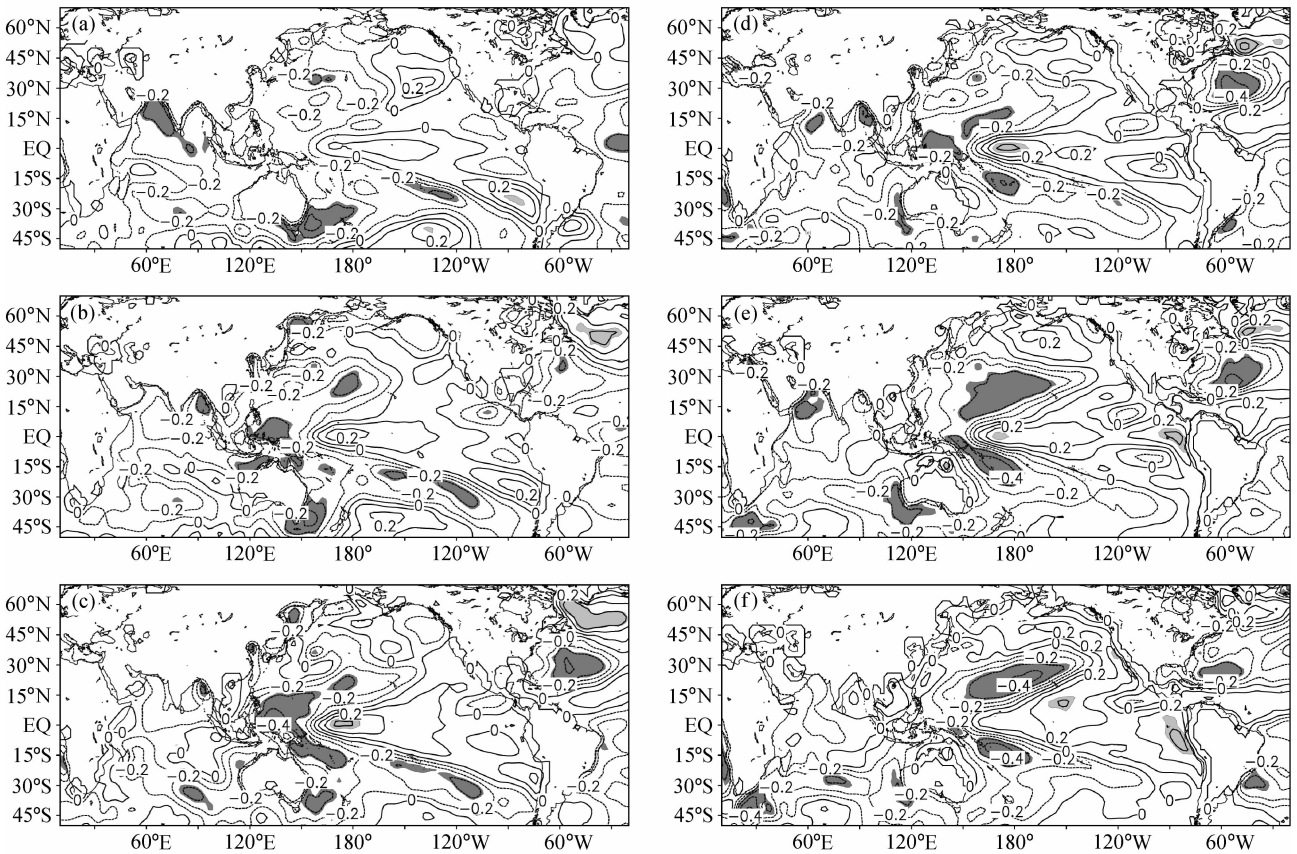

图 8　RMOI 与前期海温相关图：(a) 12 月；(b) 1 月；(c) 2 月；(d) 3 月；(e) 4 月；(f) 5 月。等值线间隔：0.1；阴影：通过 95%置信度水平的显著性检验

Fig. 8　The correlation coefficients between the RMOI and sea surface temperature for (a) the preceding Dec, (b) Jan, (c) Feb, (d) Mar, (e) Apr and (f) May. Contour interval is 0.1, shaded areas exceed 90% confidence level

个显著的负相关区，表明前期上述海区的海温异常升高（降低）时，当年长江中下游地区入梅很可能偏早（晚）。

总的来说，上述海区前期海温异常与入梅早晚具有较好的相关关系，最显著的相关区为 2 月份西太平洋暖池附近，1～4 月份北大西洋，4～5 月份 30°S～30°N 之间的中太平洋及非洲南端海域，12～5 月份的环澳大利亚海域。

5 结论和讨论

入梅一直是短期气候预测的重点和难点，基于入梅日期的区域差异性，本文首先定义了一个长江中下游入梅指数，再利用 ERA-40 高分辨率再分析资料和第二套 ERSST 海温资料，研究了早、晚梅年同期（6～7 月份）和前期（前一年 12 月份至当年 5 月份）的大尺度大气环流及海温的异常特征，主要结论如下：

（1）早梅年同期，200 hPa 南亚高压偏北，印度北部、孟加拉湾-印度尼西亚-副热带太平洋地区上空对流增强，西太平洋副热带高压和赤道辐合带位置偏北，东亚副热带夏季风偏强，晚梅年情况相反。

（2）前期 1 月份北太平洋涛动与当年入梅早晚存在显著的相关关系，1 月份北太平洋涛动偏弱（强），长江中下游地区入梅很可能偏早（晚）。

（3）从前期海温场来看，当 1～4 月份北大西洋海温异常表现为南高北低（南低北高）的南北偶极子分布状态，2 月份西太平洋暖池附近、4～5 月份 30°S～30°N 之间的中太平洋及非洲南端海域和北半球冬、春季环澳洲大陆海区的海温异常增暖（冷却）时，后期长江中下游地区入梅很可能偏早（晚）。

（4）前期 4 月份西太暖池附近的对流异常与当年入梅早晚也具有较好的相关关系：4 月份暖池附近上空对流异常增强（减弱），长江中下游地区入梅很可能偏早（晚）。

以上这些结论为入梅的短期气候预测提供了参考依据，但是，本文所提及的前期先兆信号如何影响后期入梅早晚，其中的物理过程还不是很清楚。从现有的分析结果来看，1 月 NPO 弱（强）年，北半球大气环流的经向度（纬向度）大，这可能有利于（不利于）西太副高等东亚季风环流系统的向北推进，从而使得入梅偏早（晚）。前期北半球冬、春季环澳洲大陆和 4～5 月份非洲南端的海区海温异常增暖（冷却）很可能影响后期北半球夏季的澳大利亚高压和马斯克林高压，进一步影响越赤道气流、西太副高和东亚夏季风，从而造成长江中下游地区入梅偏早（晚）。而前期北半球冬、春季西太平洋暖池海温异常升高（降低）很可能使得暖池区的对流异常增强（减弱），从而使得西太副高北跳早（晚）。春季中太平洋海温异常则很可能直接影响西太副高的北跳。所有这些推测还有待于数值模式的进一步验证。

参考文献（References）

[1] 陶诗言，赵煜佳，陈晓敏. 中国的梅雨. 东亚季风和中国暴雨——庆祝陶诗言院士八十华诞文集. 北京：气象出版社，1998. 3～46
Tao S Y，Zhao Y J，Chen X M. Chinese Meiyu. *East Asian Monsoon and Torrential Rain in China—Paper Collection of Celebrating Academician Tao Shiyan 80 Years Old*（in Chinese）. Beijing：China Meteorological Press，1998. 3～46

[2] 丁一汇，陆尔. 据 1991 年特大洪涝过程的物理分析试论江淮梅雨预测. 气候与环境研究，1997，**2**（1）：32～38
Ding Y H，Lu E. An essay of Meiyu prediction in the light of the syno-dynamical study of summer monsoon behavior during 1991 flood in China. *Climatic and Environmental Research*（in Chinese），1997，**2**（1）：32～38

[3] 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. 大气科学，2003，**27**（6）：1018～1030
Zhang Q Y，Tao S Y，Zhang S L. The persistent heavy rainfall over the Yangtze River valley and its associations with the circulations over East Asia during summer. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*（in Chinese），2003，**27**（6）：1018～1030

[4] 陆日宇，黄荣辉. 东亚-太平洋遥相关型波列对夏季东北亚阻塞高压年际变化的影响. 大气科学，1998，**22**（5）：727～734
Lu R Y，Huang R H. Influence of East Asia/Pacific teleconnection pattern on the interannual variations of the blocking highs over the northeastern Asia in summer. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*（*Scientia Atmospherica Sinica*）（in Chinese），1998，**22**（5）：727～734

[5] 张琼，刘平，吴国雄. 印度洋和南海海温与长江中下游旱涝. 大气科学，2003，**27**（6）：992～1006
Zhang Qiong，Liu Ping，Wu Guoxiong. The relationship between the flood and drought over the lower reach of the Yangtze River valley and the SST over the Indian Ocean and the South China Sea. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*（in Chinese），2003，**27**（6）：992～1006

[6] 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. 大气科学，1994，**18**(2)：141～151
Huang R H，Sun F Y. Impacts of the thermal state and the convective activities in the tropical western warm pool on the summer climate anomalies in East Asia. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (*Scientia Atmospherica Sinica*) (in Chinese)，1994，**18**(2)：141～151

[7] 黄荣辉，顾雷，徐予红，等. 东亚夏季风爆发和北进的年际变化特征及其与热带西太平洋热状态的关系. 大气科学，2005，**29**(1)：20～36
Huang R H，Gu L，Xu Y H，et al. Characteristics of the interannual variations of onset and advance of the East Asian summer monsoon and their associations with thermal states of the tropical western Pacific. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese)，2005，**29**(1)：20～36

[8] Tao S Y，Chen L X. A review of recent research on the East Asian summer monsoon in China. *Monsoon Meteorology*. Oxford University Press，1987. 60～92

[9] Wu Z W，Li J P，He J H，et al. Occurrence of droughts and floods during the normal summer monsoons in the mid- and lower reaches of the Yangtze River. *Geophys. Res. Lett.*，2006，**33**：L05813，doi：10.1029/2005GL024487

[10] 符淙斌. 我国长江流域梅雨变动与南极冰雪状况的可能联系. 科学通报，1981，**8**：484～486
Fu C B. Relationship between the Meiyu variation in the Yangtze River valley and the Antarctic snow cover. *Chinese Science Bulletin* (in Chinese)，1981，**8**：484～486

[11] 陈凤贵，杨信杰. 1991 年江淮早梅及其与过赤道气流异常的关系. 热带气象学报，1993，**9**(3)：283～288
Chen F G，Yang X J. Early Meiyu over the Jiang-Huai area in 1991and its relation with the abnormality of the cross equatorial current. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese)，1993，**9**(3)：283～288

[12] 杨义文，徐群，杨秋明. 近 116 年长江中下游的梅雨(二). 暴雨·灾害，2001，**11**：54～65
Yang Y W，Xu Q，Yang Q M. The Meiyu in middle-lower reaches of Yangtze River during 116 recent years (II). *Rainstorm and Disaster* (in Chinese)，2001，**11**：54～65

[13] 王钟睿，钱永甫. 海温异常对江淮流域入梅的影响. 应用气象学报，2005，**16**(2)：193～204
Wang Z R，Qian Y F. The affection of sea-surface temperature anomaly to Meiyu onset date of Yangtze-Huaihe River valley. *Journal of Applied Meteorological Science* (in Chinese)，2005，**16**(2)：193～204

[14] 魏凤英，张京江. 1885～2000 年长江中下游梅雨特征量的统计分析. 应用气象学报，2004，**15**(3)：313～321
Wei F Y，Zhang J J. Climatic variation of Meiyu in the middle-lower reaches of Changjiang River during 1885－2000. *Journal of Applied Meteorological Science* (in Chinese)，2004，**15**(3)：313～321

[15] Inoue T，Matsumoto J. A comparison of summer sea level pressure over east Eurasia between NCEP-NCAR reanalysis and ERA-40 for the period 1960－99. *J. Meteor. Soc. Japan*，2004，**82**(3)：951～958

[16] Ting M F，Wang H. Summer time U.S. precipitation variability and its relation to Pacific sea surface temperature. *J. Climate*，1997，**10**：1853～1873

[17] 吴志伟，江志红，何金海. 近 50 年华南前汛期降水、江淮梅雨和华北雨季旱涝特征对比分析. 大气科学，2006，**30**(3)：391～401
Wu Z W，Jiang Z H，He J H. The comparison analysis of flood and drought features among the first flood period in South China，Meiyu period in the Yangtze River and the Huaihe River valleys and rainy season in North China in the last 50 years. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese)，2006，**30**(3)：391～401

[18] 徐海明，何金海，董敏. 江淮入梅的年际变化及其与北大西洋涛动和海温异常的联系. 气象学报，2001，**59**(6)：694～706
Xu H M，He J H，Dong M. Interannual variability of the Meiyu onset and its association with North Atlantic oscillation and SSTA over North Atlantic. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese)，2001，**59**(6)：694～706

[19] 朱乾根，林锦瑞，寿绍文，等. 天气学原理与方法(第三版). 北京：气象出版社，2000，343pp
Zhu Q G，Lin J R，Shou S W，et al. *Synoptic Principles and Methods* (the third version) (in Chinese). Beijing：China Meteorological Press，2000. 343pp

[20] 陶诗言，朱福康. 夏季亚洲南部 100mb 流型的变化及其与西太平洋副热带高压进退的关系. 气象学报，1964，**34**：385～395
Tao S Y，Zhu F K. The 100mb flow patterns in southern Asia in summer and its relation to the advance and retreat of the west-Pacific subtropical anticyclone over the Far East. *Acta Meteor. Sinica* (in Chinese)，1964，**34**：385～395

[21] Wallace J M，Gutzler D S. Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Mon. Wea. Rev.*，1981，**109**：784～812

[22] Li J P，Wang J X L. A new North Atlantic Oscillation index and its variability. *Adv. Atmos. Sci.*，2003，**20**(5)：661～676

[23] Li J，Wang J X L. A modified zonal index and its physical sense. *Geophys. Res. Lett.*，2003，**30**(12)：1632，doi：10.1029/2003GL017441

[24] 黄荣辉，孙凤英. 热带西太平洋暖池上空对流活动对东亚夏季风季节内变化的影响. 大气科学，1994，**18**(4)：456～465
Huang R H，Sun F Y. Impact of the convective activities over the western tropical Pacific warm pool on the intraseasonal variability of the East Asian summer monsoon. *Chinese*

Journal of Atmospheric Sciences (*Scientia Atmospherica Sinica*) (in Chinese), 1994, **18** (4): 456～465

[25] 孙淑清，马淑杰. 海温异常对东亚夏季风及长江流域降水影响的分析及数值试验. 大气科学，2003，**27** (1)：36～52
Sun S Q, Ma S J. Analysis and numerical experiment on the relationship between the 1998 summer monsoon activities and SSTA in tropical regions. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2003, **27** (1): 36～52

[26] 杨修群，谢倩，朱益民，等. 华北降水年代际变化特征及相关的海气异常型. 地球物理学报，2005，**48** (4)：789～797
Yang X Q, Xie Q, Zhu Y M, et al. Decadal-to-interdecadal variability of precipitation in North China and associated atmospheric and oceanic anomaly patterns. *Chinese Journal of Geophysics* (in Chinese), 2005, **48** (4): 789～797

[27] 宗海峰，张庆云，陈烈庭. 梅雨期中国东部降水的时空变化及其与大气环流、海温的关系. 大气科学，2006，**30** (6)：1189～1197
Zong H F, Zhang Q Y, Chen L T. Temporal and spatial variation of the precipitation in eastern China during the Meiyu period and their relationships with circulation and sea surface temperature. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2006, **30** (6): 1189～1197