

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

宗海锋^{1, 2} 张庆云¹ 陈烈庭¹

1 中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029

2 中国科学院研究生院, 北京 100049

摘 要 利用 1961~2000 年中国台站降水资料、NCEP/NCAR 再分析资料以及扩展重建海平面温度 (Extended Reconstructed Sea Surface Temperatures, ERSST) 资料, 采用 EOF、小波变换、合成及相关方法探讨中国东部梅雨期降水的时空变化及其环流、水汽输送和海温异常特征。分析指出中国东部梅雨期 (6 月 11 日~7 月 10 日) 降水存在三种主要空间型: 江南北部多雨型、长江流域多雨型和江淮平原多雨型。三种降水型都存在多时间尺度特征, 由于年际和年代际振荡的周期和强度随时间的变化有不同表现, 三种雨型旱涝年出现的年份有所不同。三种雨型对应的东亚夏季风环流各子系统的强度、位置、水汽输送等也存在明显差异。梅雨期三种雨型与冬季海温的研究表明: 赤道东太平洋海温偏高有利于出现江南北部降水型; 赤道印度洋、南海和西太平洋黑潮海温偏高有利于出现长江流域降水型; 北太平洋中纬度海温偏高则有利于出现江淮平原降水型。

关键词 梅雨期降水 时空变化 环流 海温

文章编号 1006-9895 (2006) 06-1189-09

中图分类号 P426.6

文献标识码 A

Temporal and Spatial Variations of Precipitation in Eastern China During the Meiyu Period and Their Relationships with Circulation and Sea Surface Temperature

ZONG Hai-Feng^{1, 2}, ZHANG Qing-Yun¹, and CHEN Lie-Ting¹

1 *State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*

2 *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049*

Abstract The observation shows that the main rain belt during the Meiyu period which may lead to flood is located in different areas in different years. But fewer works have been studied on such phenomena than on summer rainfall. However the rainfall during the Meiyu period often takes up half or more of total rainfall in summer of the year. So it is necessary to study the characteristics of rainfall during the Meiyu period. Based on the station rainfall in China, NCEP/NCAR reanalysis dataset and Extended Reconstructed Sea Surface Temperatures (ERSST) during 1961 - 2000, the temporal-spatial variations of precipitation in eastern China during the Meiyu period (11 June - 10 July) and accompanying circulation as well as pre-winter global sea surface temperature (SST) are studied by using the methods of empirical orthogonal function (EOF), wavelet transform, composite and correlation analysis. It has been found that there are three main rain patterns in eastern China during the Meiyu period: the northern South China

收稿日期 2005-05-31, 2005-09-07 收修定稿

资助项目 中国科学院知识创新工程重要方向性项目 KZCX3-SW-221, 国家重点基础研究发展规划项目 2004CB418303 和国家自然科学基金资助项目 40135020

作者简介 宗海锋, 男, 1975 年出生, 博士生, 主要从事异常长期天气过程及短期气候诊断研究。E-mail: zhf@mail.iap.ac.cn

pattern, the Yangtze River pattern and the Yangtze - Huaihe plain pattern. They are all multi-scale phenomena and have three predominant oscillations; the quasi-biennial oscillation, the 3 - 5 year oscillation and the 10 year oscillation. But they are different from each other on amplitude and phase in the studying period. Furthermore their inter-decadal variation trends are different; for the Yangtze River pattern it is linearly increasing during the whole studying period and the sign varies from negative to positive around the end of the 1970s; while, for the other two, it is like a saddle back with the sign positive in the early and late studying period and negative in the mid studying period. It shows that the rainfall along the Yangtze River are increasing while rainfall over the northern South China and the Yangtze - Huaihe plain first decreased before the 1980s and then turned to increase after. Because these interannual and decadal oscillations differ in period and intensity, the time of drought and flood occurring is different for the three rain patterns.

It has been found that the East Asian monsoon circulation plays an important role in different rain patterns. Especially the western Pacific subtropical high, the Meiyu trough and the Okhotsk high are three most important circulation systems which have great influences on the precipitation in eastern China during the Meiyu period. The western Pacific subtropical high is more westward and southward than normal for the Yangtze River pattern while more northward and eastward than normal for the Yangtze - Huaihe plain pattern, and for the northern South China pattern it is similar to that for the Yangtze River pattern but somewhat more eastward than the latter. And the characters of water vapor transport for the three rain patterns are distinctly different too. The three rain patterns have a good correlation with pre-winter SST; the northern South China pattern has a high positive correlation with the tropical SST in the eastern Pacific, the Yangtze River pattern has a positive correlation with the tropical SST in the eastern Pacific and the eastern Indian Ocean and the subtropical SST in the northwestern Pacific, while the Yangtze - Huaihe plain pattern has a higher positive correlation with the subtropical SST in the North Pacific. It suggests that the rain pattern may be linked to the northward and eastward movement of the western Pacific subtropical high with the seasonal change and the different stages of ENSO cycle.

Key words precipitation during Meiyu period, temporal-spatial variation, circulation, SST

1 引言

梅雨期是东亚夏季风随季节由南向北推进过程中的一个重要阶段。这个时期主要雨带徘徊在长江流域附近地区。梅雨期降水年际变异很大,往往导致长江流域旱涝频发,严重影响了社会经济的发展,所以梅雨问题一直是我国和日本气象工作者研究的一个中心课题。我国气象学家在梅雨期降水的气候特征、大气环流变化与海-陆-气相互作用的关系及其预测等问题作了大量工作^[1~3]。近年来,随着观测资料长度的不断增加,人们发现江淮流域降水不仅年际变异大,而且年代际变化也非常明显。陈烈庭等^[4]指出,在 20 世纪 70 年代末存在由少雨期转为多雨期的年代际气候跃变现象。许多研究表明江淮流域降水是多时间尺度现象,存在准两年、准 3~5 年、准 10 年和准 30 年左右的振荡^[5~8]。这些研究增进了人们对梅雨期降水变化规律和成因的认识,然而到目前为止,大部分工作都是把长江

流域和淮河流域降水作为同一型降水来研究。廖荃荪等^[9]对夏季降水的分型是把在长江及其以南地区的主要雨带归为同一型。王绍武等^[10]的研究指出,把长江和江南雨带划分为同类雨型则范围太大,建议将其分为长江中下游雨型和江南雨型,全国共 6 种雨型。实际上,20 世纪 90 年代以来,1991 年和 2003 年为淮河流域洪水,1995 年和 1998 年洪水主要集中在两湖地区,而 1996 年和 1999 年洪水出现在长江中下游和太湖流域,地域差别很大。本文的主要目的就是想细分长江流域降水型的基础上,分析各型的年际和年代际变化、大气环流和水汽输送的特征以及与太平洋海温的关系的差异,探讨把长江流域降水分成各种型的可行性和合理性。

迄今为止,有关江淮流域降水时空分布特征及其成因研究的多数工作主要是讨论整个夏季降水情况。为了避免由于过度平均模糊长江流域梅雨期降水和大气环流的特征,我们取 6 月中旬~7 月上旬作为研究时段。

2 资料与分析方法

本文所用资料为中国科学院大气物理研究所提供的 1961~2000 年 730 站旬降水资料, NCEP/NCAR 再分析资料以及扩展重建海平面温度场 (Extended Reconstructed Sea Surface Temperatures, ERSST) 资料。由于长江流域梅雨期一般在 6 月中旬后期开始, 7 月中旬初结束, 因此本文将每年 6 月 11 日至 7 月 10 日的总降水量作为梅雨期降水量, 并取这一时段总降水量的距平来研究梅雨期降水变异的多尺度特征及其与东亚大气环流、水汽通量和全球海温的关系。

本文所用方法主要有经验正交函数 (EOF) 分解、小波分析 (Wavelet analysis)、合成分析和线性相关分析。首先, 对梅雨期降水距平场进行 EOF 分析。在作分解时考虑到中国东部与西部地区降水性质不同, 我们仅利用 100°E 以东均匀分布的 80 个台站的资料。根据 EOF 结果, 探讨梅雨期降水的 3 种主要空间分布型, 对这 3 种空间分布型主分量作小波变换, 研究它们的周期变化特征, 并用合成及线性相关分析方法分析它们的大气环流、水汽通量及前冬海温的异常特征。

3 梅雨期降水的时空变化

3.1 空间分布型

图 1 给出的是中国东部梅雨期降水 EOF 分析得到的前 3 个特征向量空间分布型。3 个主模态特征向量的方差贡献分别为 21.1%、12.6%、9.0% (其他模态的方差贡献均小于 7%)。第一特征向量的空间分布型显示, 梅雨期降水中心位于长江以南地区 (30°N 以南), 即长江以南多雨, 长江以北到黄河以南地区少雨 (图 1a); 第二特征向量空间分布型表明, 梅雨期降水中心位于长江中下游地区 (沿 30°N), 即长江中下游地区多雨、华南地区少雨 (图 1b); 第三特征向量空间分布型显示, 梅雨期降水中心位于长江以北地区 (30°N 以北), 即江淮平原多雨、江南北部地区少雨 (图 1c)。与王绍武等^[10]长江流域的分型比较, 我们多分出了一个江淮平原雨型。这是梅雨期降水最主要的 3 种空间分布型, 基本代表了中国梅雨期降水地理分布特征。这 3 种分布型的降水分布差别很大, 无论把长江与江南合并为一类或是把长江与江淮平原合并为一类

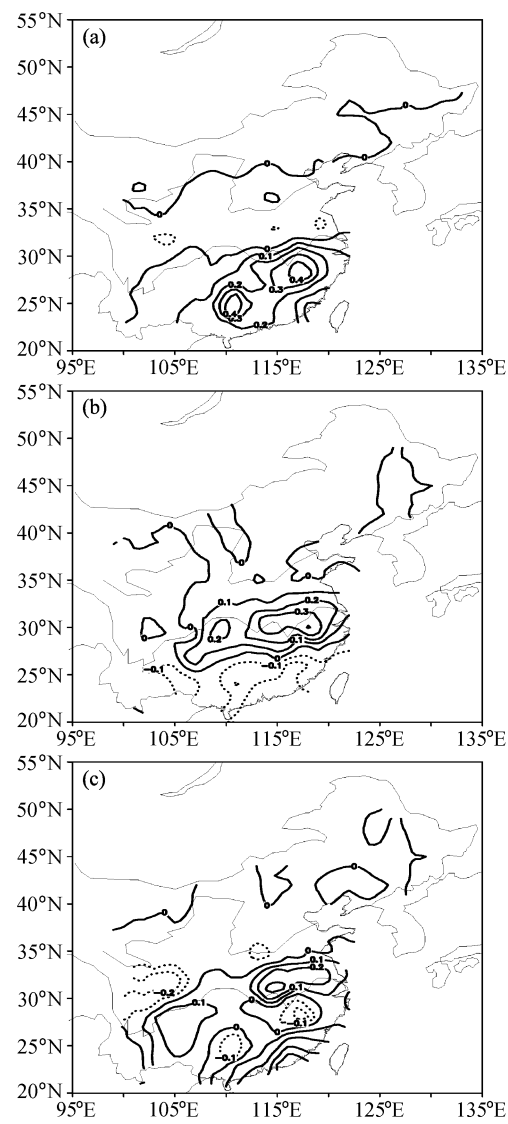


图 1 1961~2000 年中国东部梅雨期降水前 3 个特征向量空间分布型式: (a) EOF1; (b) EOF2; (c) EOF3

Fig. 1 Spatial patterns of the first three eigenvecteors for precipitation EOF (empirical orthogonal function) analysis over eastern China during the Meiyu period during 1961 - 2000: (a) EOF1; (b) EOF2; (c) EOF3

都不是十分合适。下面, 我们将看到梅雨期这 3 种雨型不仅其环流特征和水汽来源有很大不同, 而且与前期海温的关系也有明显差异。

3.2 各雨型时间变化特征

图 2 为梅雨期降水 EOF1~3 对应的时间系数 (pc1~3), 为了后面讨论环流特征的需要, 将这 3 个时间序列经过标准化处理。可以看出, 它们的变化存在一定的差异, 年际变化的极大值和极小值出现的年份不尽相同, 有的年份江南北部多雨, 有的

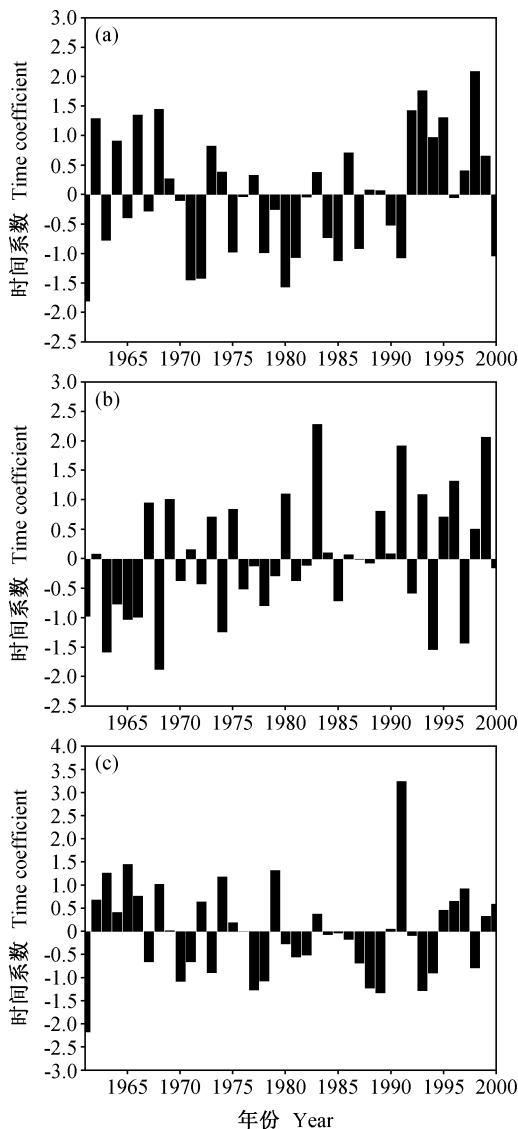


图2 1961~2000年梅雨期降水 EOF1~3 对应的时间系数：
(a) pc1; (b) pc2; (c) pc3

Fig. 2 Time coefficients of EOF 1-3 during the Meiyu period during 1961-2000; (a) pc1; (b) pc2; (c) pc3

年份长江流域多雨，而有的年份江淮平原多雨。年代际变化趋势表明，长江流域多雨型呈显著线性上升趋势，而江南北部多雨型和江淮平原多雨型则呈两头高、中间低的马鞍型变化趋势。

为了解梅雨期降水各种时间尺度变化特征，我们对 EOF1~3 对应的时间系数 (pc1~3) 进行小波分析。图 3 分别给出梅雨期降水 EOF1~3 对应的时间系数 (pc1~3) 的小波系数。

江南北部多雨型 (图 3a)：年际变化表现为 20 世纪 60 年代的准两年周期振荡和 20 世纪 70 年代

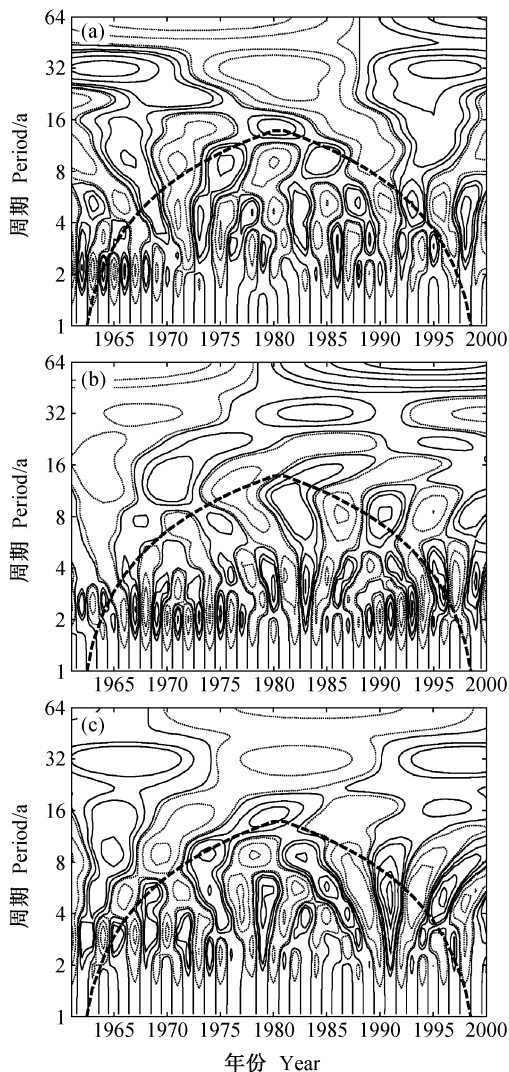


图3 1961~2000年梅雨期降水 EOF1~3 对应时间系数的小波系数：(a) pc1; (b) pc2; (c) pc3。粗虚曲线表示在其上方边界影响比较重要

Fig. 3 The wavelet coefficients of EOF 1-3 during the Meiyu period during 1961-2000; (a) pc1; (b) pc2; (c) pc3. Thick dashed curve depicts the cone of influence beyond which the edge effects become important

的准 4 年振荡；年代际振荡表现为准 10 年振荡；准 30 年周期振荡表现为 20 世纪 60、90 年代的正位相和 70~80 年代的负位相。由于所用资料时间长度较短，受左右边界的影响，10 年以上的周期振荡还有待用更长时间尺度的资料作进一步验证。江南北部梅雨期降水的年代际变化 (图 2a) 与这种周期振荡密切相关。分析发现，20 世纪 60 年代江南北部多雨型主要是准 30 年、准 10 年和准两年周期振荡叠加的结果，而 90 年代降水异常偏多则是准 30

年、准 10 年和准 4 年振荡周期叠加的结果。

长江流域多雨型 (图 3b): 显著的年际变化表现为 20 世纪 60~70 年代的准两年周期振荡和 20 世纪 80 年代以来的 3~5 年周期振荡; 显著的年代际变化表现为准 10 年周期的振荡则主要出现在 20 世纪 80 年代以后; 线性趋势在 20 世纪 80 年代由负位相转为正位相。由此可见, 长江流域梅雨期降水在 20 世纪 80 年代由少雨期转为多雨期 (图 2b), 与年代际振荡和线性变化趋势都在 20 世纪 80 年代前后出现显著变化有关。长江流域多雨型主要是年代际气候态变化的贡献, 即线性趋势在 20 世纪 80 年代由负位相转为正位相。

江淮平原多雨型 (图 3c): 显著的年际变化表现为 20 世纪 60~70 年代的准 3 年左右周期振荡变到 80 年代以来的准 5 年左右周期振荡。显著的年代际变化表现为准 10 年周期振荡始终较显著。准 30 年振荡与江南北部多雨型一致, 20 世纪 60 年代和 90 年代表现为正位相, 70~80 年代为负位相, 反映了江淮平原梅雨期降水长期变化背景的特征 (图 2c)。1979 年和 1991 年江淮平原降水异常主要是年际变化准 3~6 年振荡贡献。

综上所述, 梅雨期 3 种降水型的变化都是多时间尺度结构, 都存在准两年和 3~5 年的年际变化以及准 10 年的年代际变化。这与过去的分析结果^[5~8]一致。但是, 我们发现不同降水型之间各种振荡的强度和周期随时间的变化存在明显差异, 致使不同降水型极值出现年份不同。特别需要注意的是, 不同降水型极值年还与气候背景变化有关。长江流域多雨型与过去的结果^[4]一致, 呈线性上升趋势。但其他两型有明显差异, 呈两头高、中间低的马鞍型变化趋势。

4 梅雨期不同降水型的环流差异

研究表明, 中国东部夏季降水与副热带高压^[11, 12]、中高纬环流^[13]的变化密切相关。为了探讨梅雨期 3 种雨型的环流特征差异, 我们根据图 2 的时间系数, 并结合实际降水情况, 将大于一个标准差的年份定义为降水偏多年, 江南北部多雨型为 1962、1966、1968、1992、1993、1995 和 1998 年, 长江流域多雨型为 1969、1983、1996 和 1999 年, 江淮平原多雨型为 1965、1979 和 1991 年, 并分析了 3 种型降水异常偏多年 850 hPa 风场、500 hPa

位势高度场和 200 hPa 纬向风场的特征。由于篇幅关系, 这里我们只给出 500 hPa 位势高度场的分析结果。

图 4 为 3 种雨型对应的降水偏多年平均 500 hPa 位势高度场和标准化距平场。它反映了各型对流层中层东亚夏季环流系统强度和位置的差异与梅雨期降水的关系。

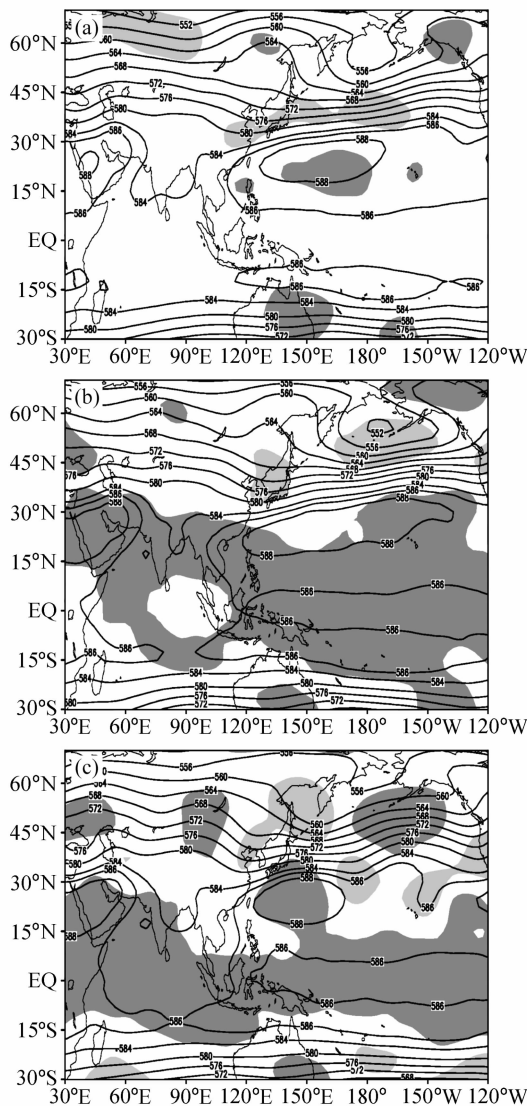


图 4 梅雨期 3 种雨型对应的降水偏多年平均 500 hPa 位势高度场 (单位: dagpm) 和标准化距平场: (a) EOF1; (b) EOF2; (c) EOF3。等值线为平均位势高度, 浅阴影表示标准化距平 ≤ -0.5 , 深阴影 ≥ 0.5

Fig. 4 Composite 500 hPa geopotential height (contour, units: dagpm) and normalized geopotential height anomaly (dark shading: ≥ 0.5 ; light shading: ≤ -0.5) for each rain style corresponding to more rainfall years during the Meiyu period: (a) EOF1; (b) EOF2; (c) EOF3

江南北部多雨型(图 4a), 东亚从低纬副热带高压经中纬梅雨槽到高纬鄂霍次克海阻塞高压所在地区高度距平呈正、负、正波列分布。西太平洋副热带高压强度偏强, 脊线位置偏南, 5860 gpm 线西伸脊点位于 100°E 附近。鄂霍次克海阻塞高压稳定, 其南侧中纬地区为宽广低压区。在低压区南面是强西风带, 位置也偏南。江南北部正好位于西风带南缘与西太平洋副热带高压之间, 这里也是梅雨锋所在地区。

长江流域多雨型(图 4b), 东亚各主要环流系统的配置与江南北部型非常相似。但该型由于西太平洋副热带高压偏南西伸和北挺, 5860 gpm 线西伸脊点位于 105°E 附近, 强西风带稍向北移。梅雨锋主要维持在长江中下游附近。

江淮平原多雨型(图 4c), 上述与西太平洋副热带高压、梅雨槽和鄂霍次克海阻塞高压对应的正、负、正 3 个高度距平整体向北偏东方向移动, 但西太平洋副热带高压脊线仍在长江以南, 中纬度西风带位于 $35^{\circ}\text{N}\sim 45^{\circ}\text{N}$ 之间, 江淮平原正是梅雨锋活动所在位置。

综上所述, 西太平洋副热带高压、梅雨槽和鄂霍次克海阻塞高压等环流系统对梅雨期降水具有决定性的作用。这与过去的结果^[2]是一致的, 然而, 不同雨型对流层各层东亚季风系统各成员的强度和位置的配置有明显差异。这说明各雨型的形成与我国夏季风随季节强度和进退活动的变异有密切关系。此外, 后面第 6 节的分析表明, 它可能还与 ENSO 循环位相的变化有关。关于不同降水型对应的东亚沿海西太平洋副热带高压、梅雨槽、鄂霍次克海阻塞高的异常分布的动力学成因以及物理过程非常复杂, 我们将在另文讨论。

5 梅雨期各雨型的水汽通量差异

下面, 我们对各雨型的水汽输送和水汽辐合辐散状况进行分析。图 5 是梅雨期 3 种雨型对应的降水偏多年平均水汽通量距平垂直积分的矢量的水平分布。

江南北部多雨型(图 5a), 从中南半岛经南海到菲律宾以东地区有一反气旋式水汽通量距平矢量存在, 说明这里有大量的暖湿空气向它四周辐散和输送; 在华南、东海和日本以南地区的水汽输送很强; 而在江南北部至日本南部地区有较强的水汽辐

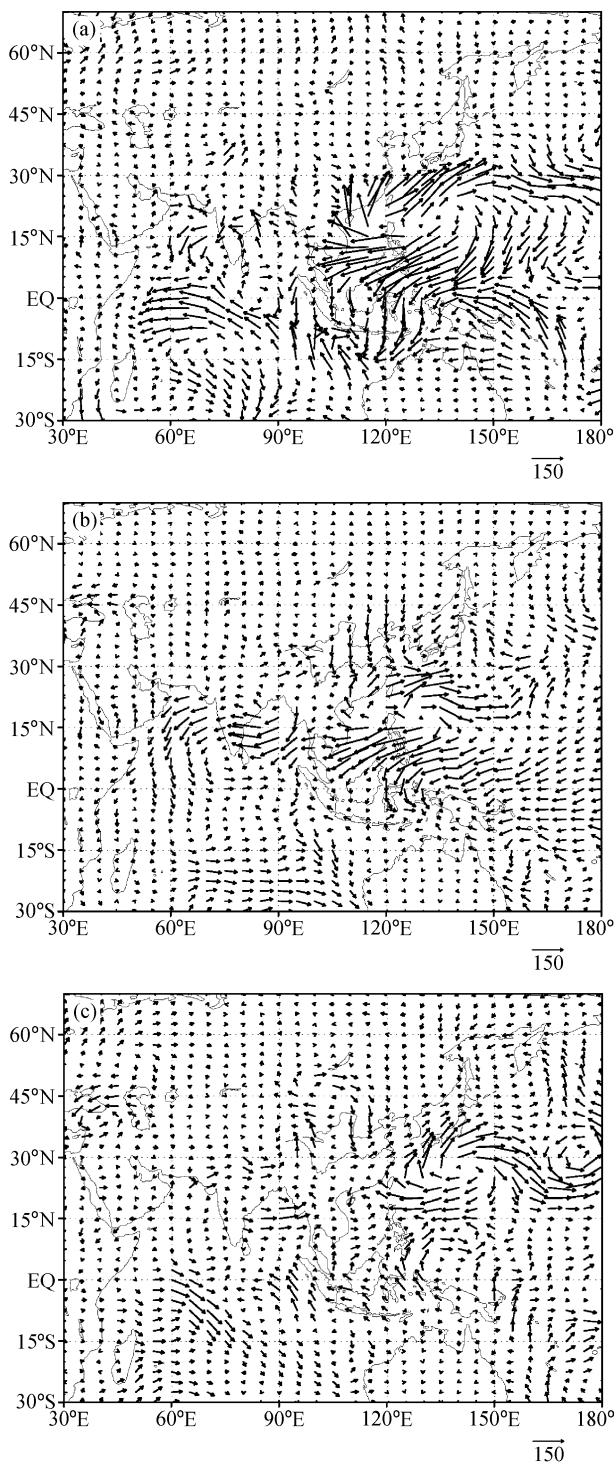


图 5 梅雨期 3 种雨型对应的降水偏多年平均水汽通量距平垂直积分矢量水平分布(单位: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$): (a) EOF1; (b) EOF2; (c) EOF3

Fig. 5 The horizontal distribution of vertical integral vapor flux anomaly ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) for each rainfall style corresponding to more rainfall years during the Meiyu period: (a) EOF1; (b) EOF2; (c) EOF3

合。因此，该型水汽主要来自我国南海和西太平洋地区，这股暖湿气流在长江以南地区与来自我国中西部地区的偏北气流在长江以南汇合，导致我国江南北部多雨。来自印度洋和孟加拉湾的西南季风输送的水汽相对较弱。

长江流域多雨型（图 5b），其水汽输送主要来自于西太平洋副热带高压西北侧的西南气流和从孟加拉湾经云南伸向长江流域的西南气流，它们与来自中纬度的偏北气流在长江流域汇合导致长江流域降水偏多。

江淮平原多雨型（图 5c），其水汽输送主要来自于西太平洋副热带高压西北侧的西南气流和印度西南季风，它们与河套及其以东地区的偏北风在长江以北地区交汇，导致江淮平原地区降水偏多。

由上述分析可见，3 种雨型水汽输送随着季风系统的强弱和进退的变化也有一定差异。

6 梅雨期各雨型与前期冬季海温联系的差异

有研究表明，不同的海温距平分布型式可以导致不同的环流异常，进而造成不同降水空间分布形式^[14]。那么梅雨期各雨型前期海温距平的分布是否有差异？为此，我们分别将前 3 个主分量与前冬海温求相关，得到 3 种雨型与前冬海温的相关分布（图 6）。

江南北部多雨型（图 6a），其相关分布与 El Niño 盛期冬季的海温距平分布很相似。主要正相关区首先是赤道中东太平洋，其次是黑潮区；主要负相关区位于热带西太平洋和澳大利亚东南地区；其中面积最大的相关区是赤道东太平洋。

长江流域多雨型（图 6b），其正相关大值区分布区域比较多，首先是赤道东印度洋、南海和黑潮区，其次是赤道东太平洋地区。大西洋一些地区相关也非常显著。

江淮平原多雨型（图 6c），最明显的正相关区位于北太平洋中纬度地区和低纬 150°E~150°W 地区，赤道东太平洋和南海至菲律宾以东海域为负相关区。

因此，不同雨型与海温相关最显著的海区明显不同，其中江南北部多雨型与过去结果^[15]一致，太平洋冬季海温处于 El Niño 盛期。但其他两型有所不同，长江流域多雨型赤道中东太平洋海温正距平

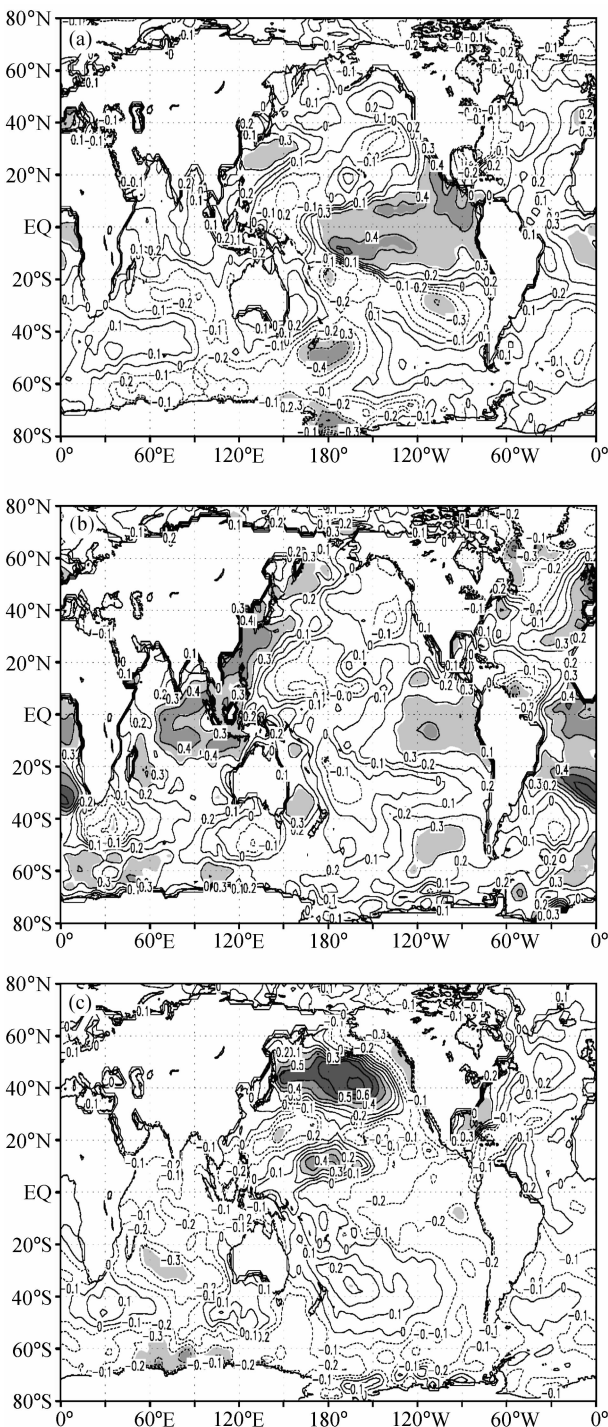


图 6 梅雨期降水 EOF1~3 对应的时间系数与全球冬季海温的相关分布：(a) pc1；(b) pc2；(c) pc3。实线为正相关，虚线为负相关；由浅到深的 3 种阴影区分别表示信度水平超过 0.05、0.01、0.001 的区域

Fig. 6 Correlation coefficients between time series of EOF1-3 during the Meiyu period and global SST in winter: (a) pc1; (b) pc2; (c) pc3. Solid line is for positive correlation, dashed line for negative correlation; light, moderate, dark shadings denote regions with confidence levels of 0.05, 0.01, 0.001, respectively

已减弱,而江淮平原多雨型已转为负距平。因此,相关场的演变是有规律的,它可能反映了 ENSO 减弱位相不同时期引起西太平洋副热带高压位置变化的差异。

7 结论与讨论

通过以上分析,我们得到以下结论:

(1) 梅雨期降水的空间分布具有明显差异,主要存在 3 种空间分布型式:江南北部多雨型、长江流域多雨型和江淮平原多雨型。

(2) 3 种雨型降水的变化都是多时间尺度结构,年际变化主要有准两年、准 4 年和准 6 年振荡;年代际变化主要有准 10 年、准 16 年、准 20 年、准 30 年振荡和线性趋势。不同雨型之间各种振荡强度和周期随时间的变化有明显差异,它使各雨型降水异常极大值和极小值出现年份不太一致。另外,各雨型异常降水的形成,不仅年际变化而且作为时代背景的长期变化也起着十分重要的作用。

(3) 3 种雨型对流层各层东亚季风系统各成员的强度和位置的配置也有很大不同,其中尤以西太平洋副热带高压、梅雨槽和鄂霍次克海高压的不同配置对各雨型降水异常的形成具有决定性的作用。当西太平洋副热带高压位置偏南和偏东时,梅雨槽后冷空气势力能到达较低纬度地区,鄂霍次克海阻塞高压的存在也使西风带位置偏南和稳定,有利于江南北部多雨型的形成。当西太平洋副热带高压偏南西伸和北挺时,梅雨槽和鄂霍次克海阻塞高压也稍向北移,有利于长江流域多雨型的形成,而当它们进一步北移时,有利于江淮平原多雨型的形成。因此,梅雨期各雨型的形成与我国夏季风随季节向北推及其强度差异有密切关系。

(4) 3 种雨型的水汽来源和水汽通量辐合辐散区位置也有所不同。江南北部多雨型的水汽主要来自我国南海地区和西太平洋地区,主要水汽辐合区在江南北部地区。长江流域多雨型的水汽主要来自西太平洋副热带高压西北侧的西南气流和孟加拉湾经云南伸向长江流域上游的西南风气流,长江流域地区为主要水汽辐合区。江淮平原多雨型水汽主要来自西太平洋副热带高压西北侧的西南气流和印度西南季风,江淮平原地区为主要水汽辐合区。

(5) 江南北部多雨型主要关键海区在赤道中东太平洋,长江流域多雨型的主要海温关键区是赤道

东印度洋、南海和黑潮区以及南大西洋低纬地区,而江淮平原多雨型的主要海温关键区是北太平洋中纬度地区。

本文分析表明,梅雨期,不仅我国东部 3 种雨型的周期振荡、环流特征和水汽来源有所不同,而且其前期海温关键区分布上也存在很明显的差异。这说明把长江流域梅雨期降水细分为 3 种雨型不仅有实际需要而且也是合理的。但是,关于它们形成的物理过程还不清楚,仍有待于今后进一步研究讨论。

参考文献 (References)

- [1] 陶诗言,朱文妹,赵卫. 论梅雨的年际变异. 大气科学, 1988 (特刊): 13~21
Tao Shiyan, Zhu Wenmei, Zhao Wei. On the Interannual Variation of Meiyu. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica)* (in Chinese), 1988 (Special Issue): 13~21
- [2] Song Z S, Zhu B Z, Yang H, et al. Summer subtropical anomaly circulation regimes over western Pacific and its relation to the rainfall anomalies over China. *Climate Variability*. Ye D Z et al., Eds. Beijing: China Meteorological Press, 1992. 104~113
- [3] 吴仁广,陈烈庭. 长江中下游地区梅雨期降水与全球 500 hPa 环流的关系. 大气科学, 1994, **18** (6): 691~700
Wu Renguang, Chen Lieting. Relationship between the global circulation at 500 hPa and Meiyu in mid- and low- reaches of the Yangtze River. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica)* (in Chinese), 1994, **18** (6): 691~700
- [4] 陈烈庭,吴仁广. 青藏高原雪盖与中国季风雨年际和年代际变化的关系. 见:中国科学院大气物理研究所编. 东亚季风和中国暴雨. 北京:气象出版社, 1998. 230~239
Chen Lieting, Wu Renguang. Interannual and decadal variations of snow cover over Qinghai-Xizang Plateau and their relationships to summer monsoon rainfall in China. *East Asian Monsoon and Torrential Rain in China* (in Chinese), Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Ed. Beijing: China Meteorological Press, 1998. 230~239
- [5] 黄嘉佑. 准两年周期振荡在我国月降水量中的表现. 大气科学, 1988, **12** (3): 267~273
Huang Jiayou. The representations of the quasi-biennial periodic oscillation in precipitation over China. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica)* (in Chinese), 1988, **12** (3): 267~273
- [6] Lau K-M, Shen Suhung. Biennial oscillation associated with

- the East Asian Summer monsoon and tropical sea surface temperature. *Climate Variability*, Ye D Z et al., Eds. Beijing: China Meteorological Press, 1993. 53~58
- [7] 张瑞雪, 朱抱真. 东亚梅雨旱涝和热带大气环流 3-5 年低频振荡的关联. 见: 黄荣辉编. 灾害性气候的过程及诊断. 北京: 气象出版社, 1996. 100~105
Zhang Ruixue, Zhu Baozhen. Flood-drought of the East Asian Meiyu associated with the tropical 3-5 year low frequency oscillation. *Study on the Formation Processes of Disastrous Climate and Its Diagnostics* (in Chinese), Huang Ronghui, Ed. Beijing: China Meteorological Press, 1996. 100~105
- [8] 宗海锋, 张庆云, 彭京备. 长江流域梅雨的多尺度特征及其与全球海温的关系. 气候与环境研究, 2005, **10** (1): 101~114
Zong Haifeng, Zhang Qingyun, Peng Jingbei. Multiple scale characteristics for precipitation over the Yangtze River valley during the Meiyu period and their relationships with the global sea surface temperature. *Climate and Environmental Research* (in Chinese), 2005, **10** (1): 101~114
- [9] 廖荃荪, 赵振国. 我国东部夏季降水的季节预报方法. 应用气象学报, 1992, **3** (增刊): 1~9
Liao Quansun, Zhao Zhenguo. A seasonal forecasting scheme on precipitation distribution in summer in China. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (in Chinese), 1992, **3** (Supplement): 1~9
- [10] 王绍武, 叶瑾琳, 龚道溢, 等. 中国东部夏季降水型的研究. 应用气象学报, 1998, **9** (增刊): 65~74
Wang Shaowu, Ye Jinlin, Gong Daoyi, et al. Study on the patterns of summer rainfall in eastern China. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (in Chinese), 1998, **9** (Supplement): 65~74
- [11] 张庆云, 陶诗言. 夏季东亚热带和副热带季风与中国东部汛期降水. 应用气象学报, 1998, **9** (增刊): 16~23
Zhang Qingyun, Tao Shiyan. Tropical and subtropical monsoon over East Asia and its influence on the rainfall over eastern China in summer. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (in Chinese), 1998, **9** (Supplement): 16~23
- [12] 孙淑清, 马淑杰. 西太平洋副热带高压异常及其与 1998 年长江流域洪涝过程关系的研究. 气象学报, 2001, **59** (6): 719~729
Sun Shuqing, Ma Shujie. A study on the relationship between the anomaly of subtropical high over the western Pacific and the heavy flooding in Yangtze River valley in 1998. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2001, **59** (6): 719~729
- [13] 张庆云, 陶诗言. 亚洲中高纬度环流对东亚夏季降水的影响. 气象学报, 1998, **56** (2): 199~211
Zhang Qingyun, Tao Shiyan. Influence of Asian mid-high latitude circulation on East Asian summer rainfall. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1998, **56** (2): 199~211
- [14] 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
- [15] Huang Ronghui, Wu Yifang. The influence of ENSO on the summer climate change in China and its mechanism. *Advances in Atmospheric Sciences*, 1989, **6** (1): 21~32