

江淮地区梅雨的新定义及其气候特征

胡娅敏^{1, 2, 3} 丁一汇³ 廖菲⁴

1 南京信息工程大学大气科学系, 南京 210044

2 广东省气候中心, 广州 510080

3 中国气象局国家气候中心, 北京 100081

4 中国气象局广州热带海洋气象研究所, 广州 510080

摘 要 用 Cressman 客观分析方法得到我国 1954~2005 年 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 的逐日降水格点资料, 并定义了一个新的江淮地区的“广义梅雨评定标准”, 研究了包括长江中下游地区和淮河流域地区的整个江淮地区 ($28^\circ\text{N} \sim 34^\circ\text{N}$, $110^\circ\text{E} \sim 122^\circ\text{E}$) 梅雨期降水的气候特征。结果表明: 江淮梅雨有显著的年际和年代际变化特征, 主要存在 2~3 年、6~8 年、12~15 年和 18~20 年的周期变化, 2~3 年的显著周期主要集中在 20 世纪 70 年代末以后。江淮地区梅雨在 1965 年前后、70 年代末~80 年代初和 90 年代初发生了三次显著的气候跃变。最后, 从季风气流的水汽输送和副热带高压及阻塞高压的稳定维持三个方面讨论了江淮梅雨丰梅年和弱梅年时大气环流的异常特征。

关键词 江淮地区梅雨 广义梅雨评定标准 气候特征

文章编号 1006-9895 (2008) 01-0101-12

中图分类号 P426.6

文献标识码 A

A Study of Updated Definition and Climatological Characters of Meiyu Season in the Yangtze-Huaihe Region

HU Ya-Min^{1, 2, 3}, DING Yi-Hui³, and LIAO Fei^{4, 5}

1 *Department of Atmospheric Science, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044*

2 *Guangdong Climate Center, Guangzhou 510080*

3 *National Climate Center, China Meteorological Administration (CMA), Beijing 100081*

4 *Institute of Tropical and Marine Meteorology, CMA, Guangzhou 510080*

Abstract In the previous researches, the onset date and ending date of Meiyu are always defined by 5 representative stations (Shanghai, Nanjing, Wuhu, Jiujiang and Hankou) in the middle and lower reaches of the Yangtze River valley. However, the precipitation of 5 representative stations during Meiyu duration cannot well depict the precipitation pattern happening in the Huaihe River basin and other regions. By means of Cressman's objective analysis method, a $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ grid point daily precipitation dataset of China for 1954-2005 has been obtained. Then, a generalized Meiyu criterion has been defined for investigating the Meiyu precipitation features over the whole Yangtze-Huaihe region ($28^\circ\text{N} \sim 34^\circ\text{N}$, $110^\circ\text{E} \sim 122^\circ\text{E}$), including the Yangtze River and the Huaihe River valleys. The updated criterion is used to analyze the precipitation characteristics during the Meiyu period in the Yangtze-Huaihe region. The results show that there is a prominent interannual and interdecadal variation of Meiyu rainfall in this region since 1954. According to the power spectrum, the maximum entropy spectrum and the Morlet wavelet analysis method, the 52-year Meiyu precipitation period features are analyzed. The Meiyu parameters have 2-3-year, 6-8-year, 12-15-year and 18-20-year dominating periods, while the 2-3-year significant period almost concentrates

after the late 1970s. The approximate 2–3-year significant period of Meiyu parameters (including the onset date, the ending date, the Meiyu duration, the Meiyu precipitation and the intensity index) may reflect the effects of Tropospheric Quasi-Biennial Oscillation (TBO). The climatic jumps of Meiyu parameters over the Yangtze-Huaihe region are detected in terms of the moving t test technique, Yamamoto signal noise ratio method and Mann-Kendall (M-K) test method. Three obvious abrupt climatic changes have happened in the middle 1960s, the late 1970s through the early 1980s and the early 1990s. Furthermore, the atmospheric circulation characters, including the water vapor transport of the summer monsoon and the permanent maintenances of the western North Pacific subtropical high and the mid-high latitude blocking high, are discussed for rich and poor Meiyu years, respectively.

Key words Meiyu in the Yangtze-Huaihe region, generalized Meiyu criteria, climatological characters

1 引言

梅雨期的划分一直是我国天气学和气候学关注的重要问题,因地域和侧重点的不同存在多种划分方法^[1, 2]。徐群^[3]根据长江中下游 5 站(上海、南京、芜湖、九江和汉口)日降水资料结合历史地面天气图、单站天气要素及逐候 500 hPa 西太平洋副高脊线位置,划分出 1885 年以来的逐年长江中下游梅雨期。张德二^[4]用这种划分方法划定了 18 世纪长江下游的逐年梅雨期。从 1970 年开始,这种梅雨期划分方法应用于中央气象台的中长期预报工作中,从多年的预报服务情况和资料分析^[5, 6]来看,长江中下游沿江 5 站梅雨量及强度指数能较好地反映发生于我国中东部($30^{\circ}\text{N}\sim 32^{\circ}\text{N}$, 114°E 以东)的夏涝程度,但对于主要发生在淮河流域地区($32^{\circ}\text{N}\sim 34^{\circ}\text{N}$, $114^{\circ}\text{E}\sim 121^{\circ}\text{E}$)的降水却不具有代表性。如 1965 年长江中下游降水较少,而同年 7~8 月淮河流域地区($33^{\circ}\text{N}\sim 34^{\circ}\text{N}$)却发生大涝;1999 年长江以南地区发生大洪水,而淮河流域大部分地区降水偏少 5~8 成。徐群^[2]在进一步划分 1951 年以来逐年江苏省南北两区梅雨期时,认为长江下游的苏南区和淮河下游的江苏江淮区梅雨期有相当的差别。徐群和张艳霞^[7]最近选取了淮阴、东台、蚌埠、阜阳和信阳 5 个代表站,对淮河流域地区的梅雨期进行了专门划分。

这两种不同流域地区的梅雨期都仅依据沿江(河)的 5 个代表台站(简称 5 站)进行划分。这种划分方法存在以下局限性:(1)具有很强的地域性特点,容易导致发生在 5 站以外的强降水天气过程被漏掉,甚至有的年份划定的梅雨期对应的雨量不一定能表征长江中下游或淮河流域地区大范围雨期的降水^[2]。(2)长江中下游 5 站中的龙华、芜湖和九江分别在 1991 年、1986 年和 1954 年迁移到上

海、芜湖县和庐山,因此,台站的迁移造成了资料的不连续。正因为如此,在实际业务预报中,对梅雨的预报显得十分困难^[1, 2],加上梅雨的分布、发生和结束具有很大的年际异常变化特点,因而如何正确合理地划分梅雨在当前是十分迫切的现实问题^[2]。

对近 52 年 5~8 月、6~7 月和 6~8 月江淮地区站点降水资料采用 EOF 进行分析,结果得到在整个江淮地区呈现一致正号的第一模态分别解释了总方差的 73%、51%和 56%,而长江中下游地区和淮河流域地区呈现相反符号的第二模态仅解释总方差的 11%、33%和 35%,这反映了江淮地区降水变化具有显著的全域性特征。从而,首先统一考虑长江中下游地区和淮河流域地区的夏季降水,对于大多数江淮梅雨是合适的。

为了避免 5 站划分方法的局限,更全面地了解整个江淮地区梅雨期的气候变化特点,本文用 Cressman 客观分析方法得到我国 1954~2005 年 $0.5^{\circ}\times 0.5^{\circ}$ 的逐日降水格点资料,并定义了一个新的江淮地区的“广义梅雨评定标准”,分析了近 52 年江淮梅雨演变的气候特征。进而分别从季风气流的水汽输送和副热带高压及阻塞高压的稳定维持三个方面讨论了江淮流域地区丰梅年和弱梅年时大气环流的异常特征。最后进行了简单总结和讨论。

2 资料、分析方法及江淮地区梅雨的划分标准

2.1 资料

本文所用降水和温度数据是由中国气象局国家气象信息中心提供的中国 753 个台站的逐日观测资料。Cressman 方案^[8, 9]是目前常采用的将台站降水资料转换为格点资料的有效客观分析方法之一,

我们用它将站点资料插值到 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 的网格点上, 重点研究包括长江中下游地区和淮河流域地区的江淮地区 ($28^{\circ}\text{N} \sim 34^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\text{E} \sim 122^{\circ}\text{E}$), 这样得到江淮地区的 325 个格点、从 1954 年 5 月 1 日到 2005 年 8 月 31 日的近 52 年逐日降水资料, 插值方法的使用起到空间平滑作用, 滤掉了中小尺度扰动。南海夏季风爆发日期和长江中下游地区梅雨各指标取自文献[10, 11], 而淮河流域地区梅雨的各指标取自文献[7]。西太平洋副热带高压脊线位置由美国 NCEP/NCAR Reanalysis 1 计算得到。分析环流特征的资料均取自 1954 年 5 月 1 日~2005 年 8 月 31 日美国 NCEP/NCAR Reanalysis 1 的水平分辨率为 2.5° 的逐日常规气象要素再分析资料。

需要说明的是, Cressman 客观分析方法对降水的插值是存在一些问题的, 它可能使一些无降水的格点由于附近台站有较大降水而产生虚假降水, 从而使不连续的降水分布变成连续分布, 这是目前插值方法(包括 Cressman 插值方法)对逐日降水插值存在的普遍问题。现今绝大部分降水客观分析方法均是以 Cressman 分析为基础, 在它上面进行完善和改进发展起来的, 即便是同一种方法对不同区域、不用地形、不同降水特征的插值都存在很大差别。目前, 如何把台站资料精确插值到格点上仍是一个难题, 当今许多研究机构正在进行研究^[9, 12]。另外, Delaware 大学在把极值站点降水资料插值到格点上时改进了平滑方法, 得到了更为真实的 1950~1999 年 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 逐月降水格点资料。目前, 加拿大也在进行试验研究, 但这些资料均仍然没有投入业务使用。

冯锦明等^[9]利用中国区域 160 个常用台站 10 年降水观测资料为例, 分别采用 Kriging 插值、反距离加权、Delaunay 三角剖分线性插值, 双谱样条插值和 Cressman 客观分析等 5 种常见的空间内插方法, 较为系统地分析和比较了几种内插方法插值结果之间的异同。结果表明: 与原始台站的观测资料相比, Cressman 客观分析方法的插值结果与原始台站最为接近, 即最“尊重”原始观测数据。因此, 就目前而言, 采用 Cressman 客观分析方法对中国台站降水资料进行逐日插值不失为研究问题的一种可行方法。我们选取 Cressman 客观分析方法对中国境内的 753 个台站进行逐日插值, 并比较

取站半径的选取, 结果发现自动调节影响半径具有相对好的效果(取值半径从小到大分别为: 50 km、100 km、200 km、350 km 和 500 km)。

2.2 江淮地区梅雨的划分标准

江淮地区梅雨的划分标准是: (1) 以南海夏季风爆发日作为江淮地区梅雨季的最早可能开始期限, 同一天中有 $1/3$ 以上的格点出现降水 ($>0.1 \text{ mm}$), 且日降水总量大于等于气候平均 6~7 月的日平均降水量的 $1/2$, 则称一个雨日。(2) 梅雨期内可以有 1 个以上的雨期, 但一个雨期内的雨日必须 ≥ 6 天, 且雨期中降水总量的日平均值必须高于气候平均的 6~7 月的日降水量。(3) 从开始日往后的 10 天的雨日天数和从结束日向前 10 天的雨日天数, 占相应时段内天数的比例均 $\geq 50\%$ 。(4) 一个雨期中任何 10 天的雨日比例均 $\geq 40\%$, 且没有连续 5 天以上的非雨日。(5) 梅雨期内西太平洋副高脊线位置在 $19^{\circ}\text{N} \sim 26^{\circ}\text{N}$ 之间。(6) 若西太平洋副热带高压脊线位置连续 5 天以上 $\geq 26^{\circ}\text{N}$, 且江淮地区有 $1/3$ 以上的格点连续 5 天以上出现 35°C 以上的高温干热天气, 则江淮梅雨季结束。若满足以上条件, 则称梅雨期内第一个雨期的开始日为入梅日, 最后一个雨期结束日的后 1 天为出梅日。若雨期内雨日数 < 6 天、且 ≥ 1 天, 但其他条件满足, 则为枯梅年。若不满足这 6 个条件, 取最后一个雨期结束日当天作为出梅日, 前一天作为入梅日, 称为空梅年。

新的划分标准以中国气象局国家气象中心提供的“长江中下游梅雨的评定标准”^[10]为基础, 在以往对雨日、雨强、雨量、降水连续性等要素考虑的基础上, 不仅考虑了东亚环流的季节性调整, 而且增加了对江淮地区梅雨期降水气候特征的考虑, 用来定义梅雨入梅日和出梅日所采用的江淮区域内 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 的格点资料也比长江中下游地区的原 5 个代表站的资料更广泛, 这样不仅可以反映长江中下游的降水, 而且可以反映淮河流域地区的降水。

为了分析江淮地区与分区梅雨的关系, 同时, 采用格点方法定义长江中下游梅雨和淮河流域梅雨, 划分标准除了选取研究区域 ($28^{\circ}\text{N} \sim 32^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\text{E} \sim 122^{\circ}\text{E}$) 和 ($32^{\circ}\text{N} \sim 34^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\text{E} \sim 122^{\circ}\text{E}$) 以外, 淮河流域地区气候参考值选取气候平均 7 月的日降水量, 其他标准均与江淮地区梅雨相同。

文中采用上述的“广义梅雨评定标准”，计算出江淮地区近 52 年梅雨期中各种梅雨参数的历年值及气候值（图 1），研究的梅雨参数包括：入梅日、出梅日、梅雨期、梅雨量指数^[6]和梅雨强度指数^[10]。这里梅雨期是指相对梅雨期，指从入梅日到出梅日江淮地区出现集中雨期的总长度（天数），如出现二段以上的梅雨集中期，则二段间的非雨期日数不包括在内。而梅雨量指数是统计了各年梅雨期总雨量与近 52 年平均值的比值（ $\times 100$ ），简称梅雨量。梅雨强度指数的计算公式为

$$M = \frac{L}{\bar{L}} + \frac{\left[\frac{S}{\bar{S}} \right]}{2} + \frac{R}{\bar{R}}, \quad (1)$$

式中， L 和 R 分别表示某一年梅雨期长度和总降水量， $\bar{L}$ 和 $\bar{R}$ 则分别为历年梅期长度和总降水量的平均值， S 为 R/L ， $\bar{S}$ 为 S 的历年平均值。

2.3 分析方法

本文主要使用的分析方法有：（1）采用 Pearson 相关法分析两个变量的相关性，并进行相关系数的显著性检验；（2）运用线性倾向估计法分析梅雨各参数序列的变化趋势，并采用低通滤波得到江淮梅雨参数的年代际变化；（3）运用功率谱、最大熵谱分析江淮梅雨参数的周期，同时采用 Morlet

小波^[13]来分析各梅雨参数不同局部频率的变化特征，并通过对资料双向对称延伸来减弱边界效应的影响^[14]；（4）根据滑动 t 检验、Yamamoto 信噪比和 Mann-Kendall (M-K) 分析近 52 年中江淮梅雨的突变过程。滑动 t 检验和 Yamamoto 信噪比法是考察两组样本平均值的差异是否显著来检验突变，根据 t 统计量曲线和信噪比曲线上的点是否超过一定的显著性水平来判断序列是否出现突变，并确定出发生突变的时间。M-K 法是一种非参数统计检验方法，分别按时间顺序和逆序对所研究的时间序列构造两个统计量 UF 和 UB ，当 UF 和 UB 两条曲线出现交点，交点对应的时刻便是突变开始的时间。详细了解各分析方法可参阅文献^[15]。

3 近 52 年江淮梅雨演变的气候特征

3.1 江淮梅雨与长江中下游梅雨及淮河流域地区梅雨的比较

本文研究的江淮地区包括长江中下游地区和淮河流域地区，这两个地区的降水各有特点，同时也密切相关。采用 Pearson 相关法分别计算江淮梅雨与长江中下游梅雨^[10]、淮河流域地区梅雨^[7]的相关系数，得到江淮梅雨和长江中下游地区的入梅日、出梅日、梅雨期、梅雨量和强度指数的相关系

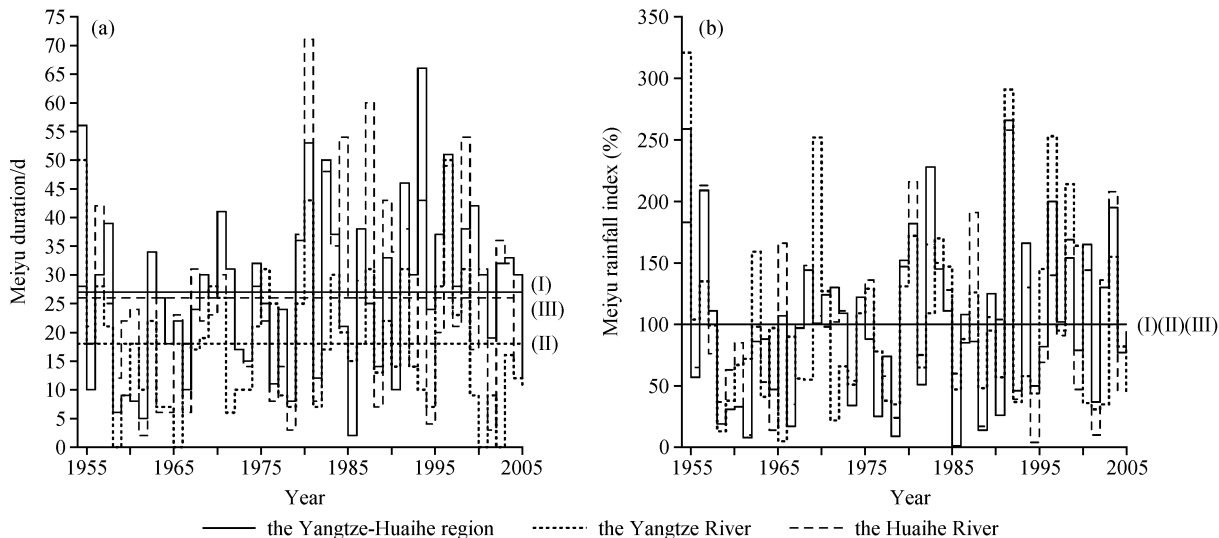


图 1 梅雨参数的时间序列：(a) 梅雨期；(b) 梅雨量指数。直线 (I) (II) (III) 分别表示江淮梅雨、长江中下游梅雨和淮河流域地区梅雨的近 52 年气候平均值

Fig. 1 The time series of Meiyu parameters: (a) Meiyu duration; (b) Meiyu rainfall index. The lines (I) (II) (III) depict the 52-year climatologic value of Meiyu parameters in the Yangtze-Huaihe region, the middle and lower reaches of the Yangtze River and the Huaihe River valley, respectively

表 1 江淮梅雨与长江中下游梅雨、淮河流域地区梅雨的气候特征

Table 1 The climatologic characters of Meiyu in the Yangtze-Huaihe region, the middle and lower reaches of the Yangtze River and the Huaihe River valley

梅雨参数	52 年平均			最早、短、小			最晚、长、大		
	江淮	长江	淮河	江淮	长江	淮河	江淮	长江	淮河
入梅日	6 月 19 日	6 月 18 日	6 月 25 日	5 月 26 日 (1962)	6 月 2 日 (1991)	6 月 3 日 (1996)	8 月 24 日 (1985)	7 月 9 日 (1982)	7 月 14 日 (1993)
出梅日	7 月 23 日	7 月 8 日	7 月 21 日	6 月 11 日 (1961)	6 月 14 日 (1994)	6 月 18 日 (1961)	8 月 26 日 (1982)	8 月 3 日 (1998)	8 月 31 日 (1987)
梅雨期/d	27	18	26	2 (1985)	0 (空梅)	2 (1961)	66 (1993)	50 (1954)	71 (1980)
梅雨量指数 (%)	100	100	100	1 (1985)	5 (1965)	4 (1994)	266 (1991)	321 (1954)	258 (1991)
强度指数	2.48	2.37	2.53	0.14 (1985)	0 (空梅)	0.32 (1994)	5.28 (1954)	6.31 (1954)	5.30 (1980)

注：“最早、短、小”：最早指入梅日、出梅日，最短指梅雨期长度，最小指降水总量、强度指数；“最晚、长、大”：最晚指入梅日、出梅日，最长指梅雨期长度，最大指降水总量、强度指数；括号内数值表示出现的年份。

数分别达：0.46、0.37、0.51、0.63 和 0.55（均通过 0.01 的显著性检验）。由于淮河地处我国南北气候过渡带地区，其北边是温带季风气候，南边是副热带湿润性季风气候，因此具有很大的年际变率，这会影响代表气候态平均的相关系数，因此江淮梅雨与淮河流域地区梅雨入梅日的相关系数 0.34（通过 0.02 的显著性检验）较长江中下游地区小，但出梅日、梅雨期、梅雨量和强度指数的相关系数高达 0.54、0.59、0.85 和 0.79（均通过 0.01 的显著性检验）。因此，新的标准不仅能够反映出长江中下游地区的梅雨特征，而且也能反映出淮河流域地区的梅雨降水特征。进一步计算江淮梅雨与夏季 5~8 月、6~7 月和 6~8 月所有台站降水的相关，相关系数分别达 0.66、0.69、0.69（均通过 0.01 的显著性检验）。可见，新标准定义的江淮梅雨也能较好地反映整个江淮地区的夏季降水。

从江淮地区与长江中下游地区、淮河流域地区各梅雨参数的时间序列（图 1）及气候特征（表 1）可以看出，新的标准由于考虑到梅雨区由沿长江中下游地区和沿淮河流域地区扩展到江淮地区，从而梅雨参数在空间尺度和时间尺度上都有所扩展。具体表现在：（1）入梅日除 1955、1958、1960、1966、1974、1976 和 1985 年等降水偏少或偏北的年份有一定的推迟，其他年份的入梅日较长江中下游地区和淮河流域地区相当或有所提前（图略），其平均入梅日（6 月 19 日）与长江中下游地区（6 月 18 日）相差 1 天，比淮河流域地区的平均入梅日（6 月 25 日）提前约 1 周。（2）绝大部分年份的出梅日

较长江中下游地区偏晚，20 世纪 60 年代初期和 80 年代初到 90 年代末，淮河流域地区有些年份出梅偏晚，但其他年份相当或提前（图略），江淮地区的平均出梅日为 7 月 23 日，比长江中下游地区（7 月 8 日）推后约 2 周，与淮河流域地区的相当（7 月 21 日）。（3）江淮地区的梅雨期较长江中下游地区有所增长（图 1a），80 年代以前与淮河流域地区梅雨期相当，但 80 年代以后淮河流域地区梅雨期较江淮地区偏长，这可能与两种不同方法定义的副热带高压脊线的标准有关。江淮地区的平均相对梅雨期为 27 天，比长江中下游地区（18 天）延长了一周，与淮河流域地区的平均梅雨期（26 天）相当。（4）江淮地区的梅雨量指数（图 1b）和强度指数（图略）的分布特征相似，在 60 年代和 80 年代中期到 90 年代末采用 5 个代表站定义的长江中下游地区和淮河流域地区的梅雨量指数偏大、梅雨强度偏强，其他年份三者的分布特征相似。就平均状态而言，三者的梅雨量指数相同（100%），淮河流域地区的梅雨强度最强为 2.53，江淮梅雨的强度稍弱为 2.48，长江中下游的梅雨强度为 2.37。

为了反映江淮梅雨与分区梅雨的相互关系，以及格点定义和站点定义的两区梅雨的异同，以梅雨量标准差大于 1 表征丰梅年、小于-1 表征弱梅年，表 2 给出了分别采用格点定义的江淮梅雨、长江中下游梅雨和淮河流域梅雨以及 5 个台站定义的长江中下游梅雨和淮河流域梅雨的丰梅年和弱梅年。从表 2 中得到，江淮地区丰梅年、弱梅年和正常梅雨年分别占近 52 年的 15%、21% 和 64%。近 52 年

表 2 1954~2005 年不同地区的丰梅年和弱梅年
Table 2 The rich and poor Meiyu years in different regions for 1954 – 2005

	丰梅	弱梅
格点定义的江淮流域地区	<u>1954</u> 、 <u>1956</u> 、 <u>1980</u> 、 <u>1982</u> 、 <u>1991</u> 、 <u>1993</u> 、 <u>1996</u> 、 <u>2003</u>	<u>1958</u> 、 <u>1959</u> 、 <u>1960</u> 、 <u>1961</u> 、 <u>1966</u> 、 <u>1973</u> 、 <u>1976</u> 、 <u>1978</u> 、 <u>1985</u> 、 <u>1988</u> 、 <u>1990</u>
格点定义的长江中下游地区	<u>1954</u> 、 <u>1980</u> 、 <u>1982</u> 、 <u>1991</u> 、 <u>1996</u> 、 <u>1998</u> 、 <u>2003</u>	<u>1955</u> 、 <u>1958</u> 、 <u>1961</u> 、 <u>1965</u> 、 <u>1966</u> 、 <u>1978</u> 、 <u>1985</u> 、 <u>1988</u> 、 <u>1990</u>
站点定义的长江中下游地区	<u>1954</u> 、 <u>1969</u> 、 <u>1980</u> 、 <u>1991</u> 、 <u>1996</u> 、 <u>1998</u>	<u>1958</u> 、 <u>1965</u> 、 <u>1971</u>
格点定义的淮河流域地区	<u>1954</u> 、 <u>1956</u> 、 <u>1968</u> 、 <u>1979</u> 、 <u>1982</u> 、 <u>1991</u> 、 <u>1993</u> 、 <u>1996</u> 、 <u>2003</u>	<u>1964</u> 、 <u>1966</u> 、 <u>1978</u> 、 <u>1985</u> 、 <u>1992</u> 、 <u>1994</u> 、 <u>1999</u> 、 <u>2001</u> 、 <u>2004</u>
站点定义的淮河流域地区	<u>1954</u> 、 <u>1956</u> 、 <u>1965</u> 、 <u>1980</u> 、 <u>1982</u> 、 <u>1987</u> 、 <u>1991</u> 、 <u>1998</u> 、 <u>2003</u>	<u>1958</u> 、 <u>1961</u> 、 <u>1964</u> 、 <u>1966</u> 、 <u>1976</u> 、 <u>1978</u> 、 <u>1988</u> 、 <u>1994</u> 、 <u>2001</u>

注：___：长江中下游地区格点定义和站点定义相同的年份，以及格点定义的江淮地区与格点定义的长江中下游地区相同的年份；□：淮河流域地区格点定义和站点定义相同的年份，以及格点定义的江淮地区与格点定义的淮河流域地区相同的年份

有约 2/5 的异常梅雨年，约 3/5 的正常梅雨年。我们曾根据 5 站定义の入梅日和出梅日，选取江淮地区不同的台站计算每年的梅雨量，得到的丰梅年和弱梅年的年份不尽相同，从而可见仅选取 5 个代表站来表征整个江淮流域地区的旱涝并不完全，应该尽可能选取多的台站来表征整个地区的降水，选取江淮地区所有的台站进行插值，不失为一种方法。

从表 2 中可以看出：不论是长江中下游地区，还是淮河流域地区，格点资料定义的降水能够包含站点资料定义的绝大部分的丰梅年和弱梅年，其中两种不同方法定义的长江中下游地区丰梅年和弱梅年分别有 5 年和 2 年相同（约占站点资料定义的 83% 和 67%），淮河流域地区的丰梅年和弱梅年均 有 5 年相同（约占站点资料定义的 56%），可见格点方法能确定出本区的主要强、弱梅雨年份，并克服了 5 站方法漏定的部分强、弱梅雨年的缺点（图 2）。对于格点与站点定义の入梅日和出梅日计算出的丰梅和弱梅的不同年份，这是由于两种方法不同的定义导致的，但两者都抓住了江淮地区梅雨期的主要旱涝年。另外，采用格点定义的 8 年江淮丰梅年能抓住长江中下游地区 7 年丰梅年中的 6 年（约占 86%）和淮河流域地区 9 年丰梅年中的 7 年（约占 78%），弱梅年的对应较丰梅年稍差，11 年江淮弱梅年可以抓住长江中下游地区 9 年弱梅年中的 7 年（约占 78%）和淮河流域地区 9 年弱梅年中的 3

年（约占 33%）。从而可见，采用新标准定义的江淮梅雨能较好地反映发生在长江中下游地区和淮河流域地区的降水，而且可以协调各省定义入梅日和出梅日的分歧^[1, 2]，有利于国家气象中心和国家气候中心统筹指导和发布预报，同时采用格点定义的方法能更方便地用于数值模式预报中。

应该指出，由于季风与副高随时间的季节北推，江淮地区的降水会存在一定的区域性差异，虽然入梅日和出梅日在地区上有一定的差异性，但从整个江淮地区看，它们都处在中国中东部地区梅雨期（6 月中下旬~7 月上中旬）中，这是一个明显的雨期。

3.2 江淮梅雨的年际及年代际变化

由表 1 可以知道，江淮地区的梅雨参数存在很大的年际变化，入梅最早的是 1962 年 5 月 26 日，最晚的是 1985 年 8 月 24 日，两者前后相差 91 天。出梅最早的是 1961 年 6 月 11 日，最晚的是 1982 年 8 月 26 日，早晚相差 77 天。而梅雨期、梅雨量和梅雨强度也都显示出近 52 年江淮地区降水有异常剧烈的年际振荡。

运用线性倾向估计分析梅雨各参数序列的变化趋势，并采用低通滤波法得到梅雨参数的年代际变化，分析江淮梅雨参数的年际和年代际变化曲线，得出参数具有以下特点：（1）入梅日（图 3a）存在明显的年际变化，正距平的变化幅度比负距平大。

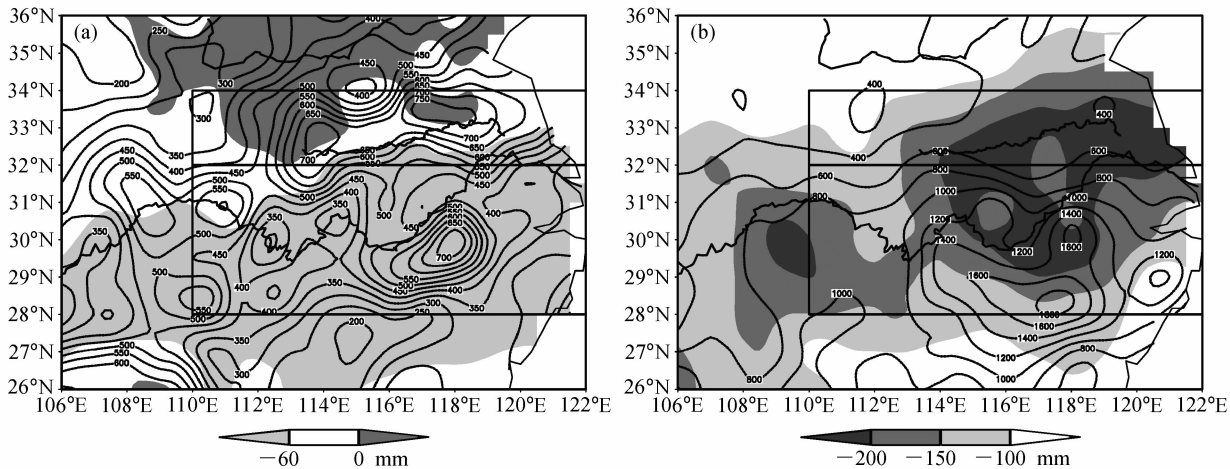


图2 弱梅雨年梅雨期雨量(等值线,单位:mm)及其与近52年气候平均的梅雨期雨量的差值(阴影)的合成图:(a)采用长江中下游5站定义;(b)采用江淮地区格点定义

Fig. 2 The composite precipitation during the Meiyu period for weak Meiyu years (contour, units: mm) and its departure from climatological rainfall in the Meiyu duration during 1954-2005 (shading): (a) Defined by 5 stations in the mid-lower reaches of the Yangtze River; (b) defined by grid data in the Yangtze-Huaihe region

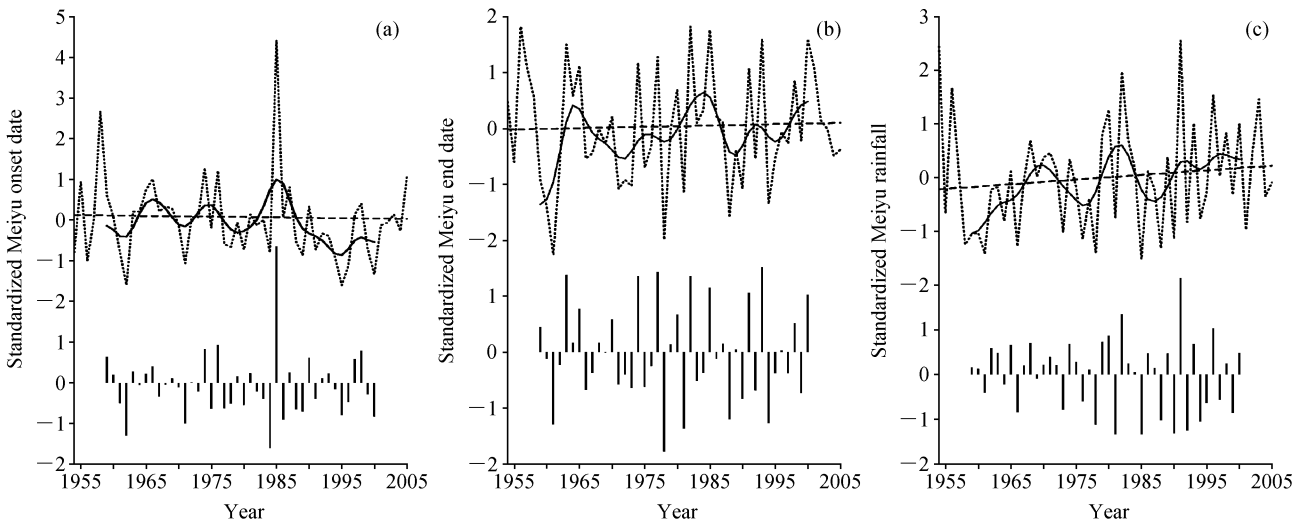


图3 江淮梅雨参数的年际变化和年代际变化:(a)入梅日;(b)出梅日;(c)梅雨量。点线:原始时间序列;虚线:时间序列的线性趋势;柱状图:年际变化;实线:年代际变化

Fig. 3 The interannual and interdecadal variations of Meiyu parameters in the Yangtze-Huaihe region: (a) Onset date; (b) end date; (c) Meiyu rainfall. The dotted lines are the time series of original Meiyu parameters, the dashed lines are their linear trends, the bar charts are their interannual variations and the solid lines are their interdecadal variations

入梅日有偏早趋势。年代际变化近似一个3波变化,20世纪80年代中至今呈现显著的提前趋势。(2)出梅日(图3b)同样存在明显的年际变化,其线性变化有偏晚趋势。年代际变化近似一个不规则的2波半变化,表现在60年代中期以前出梅日偏晚,之后呈现提前趋势,70年代初降至低点,之后直到80年代中为推后趋势,80年代中后期~90年

代中又呈现提前趋势,90年代中至今表现为推后趋势。(3)梅雨期(图略)、梅雨量(图3c)和强度指数(图略)这三者的时间序列变化、年际变化和年代际变化都有相似的分布,它们的年际变化均较大,尤其是70年代中期以后,年际变化非常剧烈,其线性趋势上升较明显。年代际变化与出梅日的变化较相似,90年代初以后呈现出波动的上升趋势。

3.3 江淮梅雨的周期分析

为了揭露近 52 年江淮地区梅雨参数的主要周期,采用功率谱和最大熵谱法对梅雨各参数分析(图略),得出梅雨参数的主要周期为 2~3 年、6~9 年和 13~14 年。Morlet 小波分析表明:入梅日在 80 年代中以前的 8~10 年和之后的 18~20 年的时间尺度具有明显的周期变化,6~7 年的周期在 80 年代以后有较强的信号,2000 年之后缩减为 4~5 年左右的周期,而 2~3 年的周期变化在时域中具有明显的局部化特征。出梅日的 9 年和 16 年时间尺度的周期变化在 70 年代以后都有较强的信号,70 年代中期以前的 6~7 年的时间尺度具有较强的信号,8~10 年的周期在 70 年代中有明显的周期变化,而 2~3 年的周期变化在时域中具有明显的局部化特征,入梅日和出梅日的 6~7 年周期与西太平洋热带气旋年频数的周期是一致的^[16]。

梅雨期(图 4a)的 Morlet 小波分析表明,它的 12~14 年和 18~20 年周期在近 52 年的演变进程中非常显著,而 2~4 年的周期具有明显的局部化特征,6~8 的周期仅在 70 年代以前较显著。而梅雨量(图 4b)的小波分析表明,它和强度指数(图略)的周期分布非常相似,12~15 年时间尺度的周期变化在 90 年代以前有较强的信号,70 年代中以后的 2~3 年的时间尺度具有较强的周期信号,这种周期振荡与东亚上空夏季风水汽输送通量的准两

年振荡密切相关,热带西太平洋海温的准两年周期振荡对它们有很大影响^[17]。

杨义文等^[6]和魏凤英等^[16]分别采用非整数波法和最大熵谱法分析,得出 1885~2000 年长江中下游梅雨各参数普遍存在 2~3 年、6 年、8 年、15 年左右周期。徐群和张艳霞^[7]采用非整数波法分析了淮河流域地区梅雨,指出 1979~2004 年梅雨量和出梅日均有显著的 2~3 年短波振荡。可见,江淮梅雨和长江中下游梅雨、淮河梅雨均有一致的 2~3 年左右的短周期,且江淮梅雨的这种显著周期主要集中在 70 年代中期以后。这个结果与黄荣辉等^[17]对中国东部夏季风降水的分析结果一致。

3.4 江淮梅雨的突变现象

采用滑动 t 检验、Yamamoto 信噪比和 M-K 分析了 1954~2005 年梅雨参数序列的突变特征,结果显示梅雨参数分别在 60 年代中期和 70 年代末~80 年代初发生了突变(图 5),这正好也对应于我国夏季降水发生的两次气候跃变^[18, 19]。除此以外,江淮地区梅雨参数在 90 年代初也发生了一次突变,这可能由于 90 年代初赤道东、中太平洋海表温度明显增加而引起的^[19]。具体表现在:(1)入梅日(图略)在 90 年代初期由入梅较晚转变为提早。(2)出梅日(图略)在 60 年代中期和 70 年代末均发生了突变,60 年代中期出梅日由偏晚转变为提前,70 年代末以后转变为推后,这正好对应

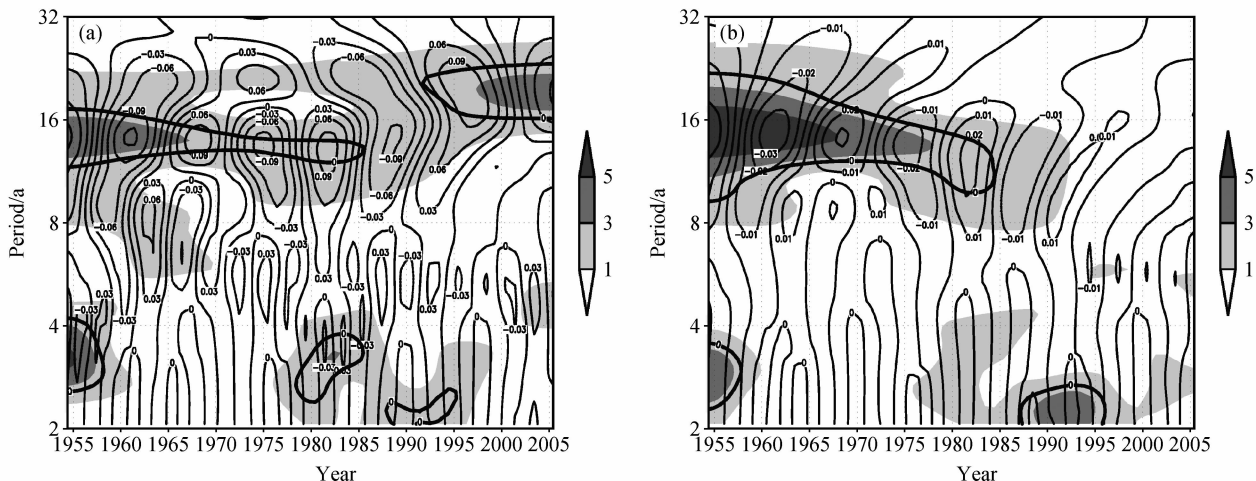


图 4 江淮地区梅雨期(a)和梅雨量(b)的 Morlet 小波分析变换系数实部的时频分布。阴影表示标准化小波功率谱 >1 的区域;粗等值线包括的区域表示通过 90% 的信度检验

Fig. 4 Time-frequency diagrams for the real part of the Morlet wavelet transform coefficients of Meiyu duration (a) and Meiyu rainfall (b) in the Yangtze-Huaihe region. The areas with normalized wavelet power spectrum greater than 1 are shaded; the regions enclosed by the thick contour are statistically significant at 90% confidence level

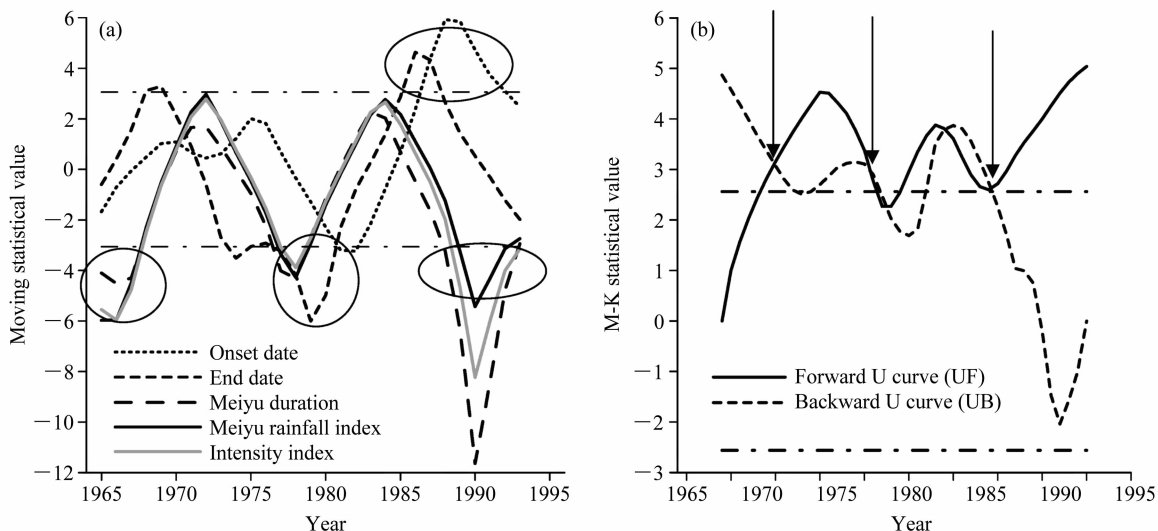


图5 (a) 梅雨参数的滑动 t 检验; (b) 梅雨强度指数的 M-K 检验。点划线: $\alpha=0.01$ 显著性水平临界线; (a) 中圆圈内为突变区域, (b) 中箭头指示处为突变点

Fig. 5 (a) The moving t -test of Meiyu parameters and (b) the M-K test of Meiyu intensity index. The dot-dashed lines are the critical lines of the 0.01% significance level, the years corresponding to the circles in (a) indicate the possible jump transition extent and the years denoted by the arrows in (b) are the jump-beginning years

于江淮流域地区 60~70 年代的干旱期和 80~90 年代的多雨期。(3) 梅雨期(图略)在 60 年代中期和 70 年代末均有一次突变, 70 年代之后梅雨长度呈现显著的增加趋势, 超过了 0.01 的显著性水平。(4) 梅雨量指数(图略)和梅雨量强度指数(图 5b)的变化趋势非常一致, 均在 60 年代中期、70 年代末和 90 年代初期发生了突变, 60 年代末降水量和降水强度减少, 70 年代末降水和降水强度转变为增加, 90 年代初以后降水和降水强度的增加趋势十分显著, 甚至超过了 0.01 的显著性水平。而且从表 2 分析得到, 江淮地区约有 46% 的弱梅年集中于 60 年代中期以前, 而约 75% 的丰梅年集中于 70 年代末以后, 这都对应江淮梅雨从旱到涝的两次突变。

4 江淮梅雨异常的大气环流特征

丰梅年和弱梅年作为两类异常的梅雨而言, 其各层环流形势差异明显^[20~22]。对表 2 中的江淮梅雨的丰梅年和弱梅年进行合成分析, 从图 6 可以看出, 丰梅年具有如下特征: (1) 在高纬度 $50^{\circ}\text{N}\sim 70^{\circ}\text{N}$ 的对流层中层, 雅库茨克-鄂霍次克海地区阻塞高压明显且稳定(或更迭维持), 易导致梅雨期冷空气更为偏南, 西风扰动也位于更南的纬度带, 它们使西伸的副热带高压不易北抬。(2) 在 $35^{\circ}\text{N}\sim$

45°N 的中纬度地区, 西风锋区呈西西北-东东南走向, 巴尔喀什湖及我国东北建立了两个稳定的宽槽, 东北低槽正好与高纬的阻塞形势形成一稳定的偶极型, 这种下游稳定的形势, 使冷空气主要沿东北低压后部南下, 由于冷空气在大陆上很快变性, 冷锋大多只能到达长江沿岸, 逐步转化为稳定的梅雨准静止锋。(3) 在对流层高层 100 hPa 等压面上(图略), 暖性高压从青藏高原的东部移出, 并维持在江淮流域地区, 有利于高层气流的辐散。(4) 西太平洋副热带高压有一次明显的西伸北跳, 高压脊线摆动在 $22^{\circ}\text{N}\sim 23^{\circ}\text{N}$ 附近, 从而东南季风暖湿气流易沿副高的西南部源源不断输送至江淮地区, 但作为气候平均状态, 水汽主要来自孟加拉湾和南海地区的热带季风暖湿气流(图略)。(5) 同时, 在对流层低层, 850 hPa 上有一江淮切变线, 切变线之南有一与之近乎平行的低空西南风急流, 把热带西南暖湿气流携带到江淮地区, 季风在此活跃, 并与来自东北方向异常强的冷空气在此强烈交汇, 从而导致梅雨雨带持续位于江淮地区。

而弱梅年的大气环流特征与丰梅年显著不同, 从图 7 可以看出, 其特征主要是, (1) 中高纬阻塞高压不明显, 即使有阻塞高压, 其位置也偏北、偏东。(2) 亚洲中、高纬处于较深的极涡底部, $40^{\circ}\text{N}\sim 60^{\circ}\text{N}$ 为平直的风带, 西风很强, 大陆东岸的东亚

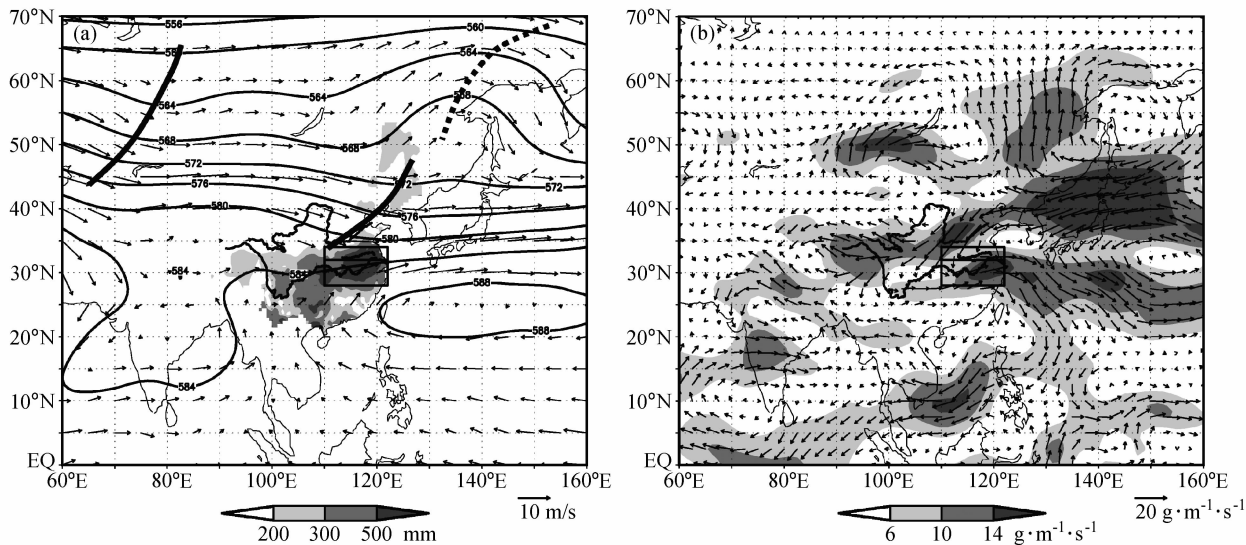


图 6 丰梅年梅雨期间的合成图: (a) 500 hPa 位势高度场 (单位: dagpm) 和风场 (阴影区的降水量大于 200 mm); (b) 850 hPa 水汽输送矢量与近 52 年气候平均的差值 (阴影区的差值大于 $6 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig. 6 Composites during Meiyu duration for rich Meiyu years: (a) 500-hPa geopotential height (dagpm) and wind field (shading; rainfall $>200 \text{ mm}$); (b) the difference of 850 hPa water vapor transport vector between the composite and the 52-year climatologically mean value (shading; $>200 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

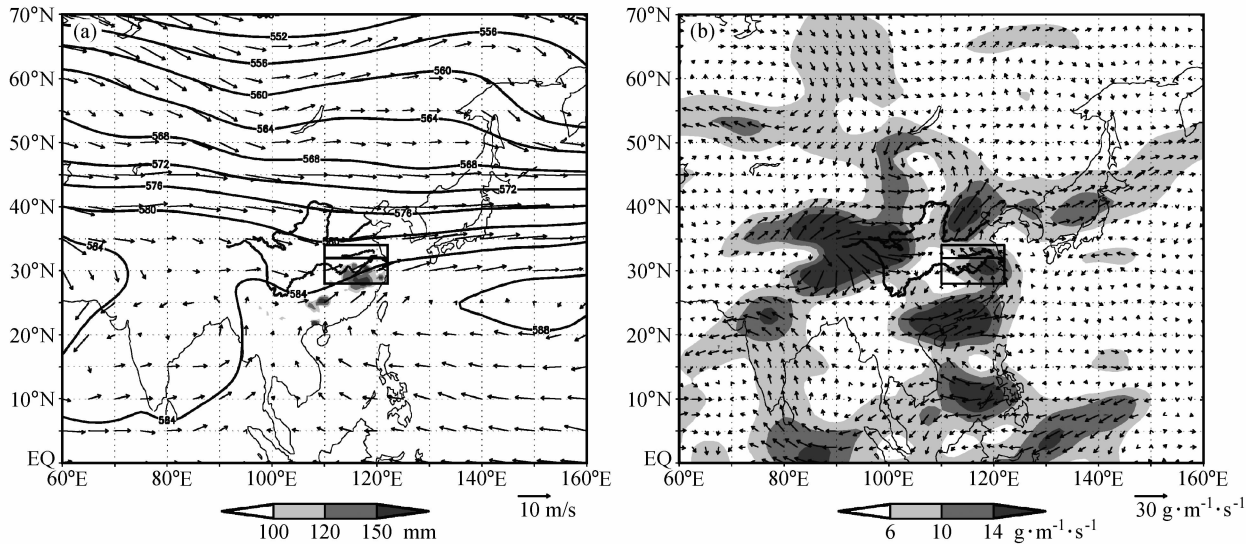


图 7 同图 6, 但为弱梅年

Fig. 7 Same as Fig. 6, but for poor Meiyu years

槽平浅, 且活动偏北 (40°N 以北), 40°N 以南无明显小槽。(3) 在对流层高层 100 hPa 等压面上, 暖性高压仍维持在高原东部 (图略), 相对丰梅年位置偏北。(4) 副热带高压明显地减弱东退, 高压脊线偏北。(5) 来自孟加拉湾、中印半岛和南海的西南暖湿季风气流偏强, 导致水汽输送较强, 其前锋到达华北, 不利于与中高纬的扰动和冷空气在江淮地区相互作用, 从而使江淮地区梅雨期降水偏少。

5 结论与讨论

(1) 用本文定义的“广义梅雨评定标准”确定的江淮梅雨, 可以反映出包括长江中下游地区和淮河流域地区在内的江淮地区的梅雨特征。

(2) 江淮梅雨存在明显的年际和年代际变化, 梅雨参数的主要周期为 2~3、6~8、12~15 和 18~20 年。梅雨参数 2~3 年的显著周期主要集中在

20 世纪 70 年代末以后。对江淮梅雨的突变进行检验表明, 江淮地区梅雨在 1965 年前后、70 年代末~80 年代初和 90 年代初发生了三次显著的气候跃变。

(3) 丰梅年和弱梅年的大气环流形势存在显著差异, 尤其在季风气流的水汽输送和副热带高压及阻塞高压的维持三个方面的配置截然不同。

新定义的格点标准在表征区域性强暴雨方面还有些不足。在梅雨异常成因方面, 是什么原因导致梅雨雨区位置和强度的异常变化, 是外强迫起主导, 还是海-气相互作用起主导, 还是它们相互作用? 都有待于进一步深入地研究^[23~24]。其中如: 20 世纪 80 年代以来梅雨偏丰和中国雨带偏南, 是否是由于全球变暖引起; 70 年代末以后, 江淮梅雨参数有 2~3 年的显著周期是否是对流层准 2 年振荡(TBO)的影响, 以及 90 年代初的突变是否是赤道东、中太平洋海表温度明显增暖而引起的, 这些均有待更多的证据确认。

致谢 非常感谢两位审稿专家对本工作提出的建议与修改意见。本文在写作过程中得到杨秋明研究员、杨义文研究员、张秀芝研究员和赵振国研究员的有益指导, 谨致谢。

参考文献 (References)

[1] 徐群. 近 46 年江淮下游梅雨期的划分和演变特征. 气象科学, 1998, **18** (4): 316~329
Xun Qun. The delimitation of Meiyu period in the lower reaches of Yangtze-Huaihe River and their evolving characters for 46 recent years. *Scientia Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1998, **18** (4): 316~329

[2] 周曾奎. 江淮梅雨的分析 and 预报. 北京: 气象出版社, 2006. 9~10
Zhou Zengkui. *The Analysis and Forecast of Meiyu on the Yangtze-Huaihe Region* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2006. 9~10

[3] 徐群. 近八十年代长江中、下游的梅雨. 气象学报, 1965, **35** (4): 507~518
Hsu Chun. An analysis of Mei-yu in the middle and lower Yangtze valley of recent eighty years. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1965, **35** (4): 507~518

[4] 张德二, 王宝贯. 18 世纪长江下游梅雨期活动的复原研究. 中国科学 (B), 1990, **12**: 1333~1339
Zhang De'er, Wang Baoguan. The recovery research on the Meiyu activities of the lower reach of Yangtze River of 18th century. *Science in Chinese (Series B)* (in Chinese), 1990, **12**: 1333~1339

[5] 徐群, 杨义文, 杨秋明. 近 116 年长江中下游的梅雨 (一). 暴雨·灾害, 2001, **11**: 44~53
Xu Qun, Yang Yiwen, Yang Qiuming. The Meiyu of the mid-lower reaches for recent 116yrs Part I. *Torrential Rain and Disaster* (in Chinese), 2001, **11**: 44~53

[6] 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**: 54~61
Yang Yiwen, Xu Qun, Yang Qiuming. The Meiyu of the mid-lower reaches for recent 116yrs Part II. *Torrential Rain and Disaster* (in Chinese), 2001, **11**: 54~61

[7] 徐群, 张艳霞. 近 52 年淮河流域的梅雨. 应用气象学报, 2007, **18** (2): 147~157
Xun Qun, Zhang Yanxia. Meiyu of the Huaihe basin in recent 52 years. *Journal of Applied Meteorological Science* (in Chinese), 2007, **18** (2): 147~157

[8] Cressman G P. An operational objective analysis system. *Mon. Wea. Rev.*, 1959, **87** (10): 367~374

[9] 冯锦明, 赵天保, 张英娟. 基于台站降水资料对不同空间内插方法的比较. 气候与环境研究, 2004, **9** (2): 261~277
Feng Jinming, Zhao Tianbao, Zhang Yingjuan. Intercomparison of spatial interpolatin based on observed precipitation data. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2004, **9** (2): 261~277

[10] 赵振国. 中国夏季旱涝及环境场. 北京: 气象出版社, 1999. 10~11
Zhao Zhenguo. *Drought/Flood and Environmental Field of Summer in China* (in Chinese). Beijing: China Meterological Press, 1999. 10~11

[11] 朱艳峰. 近 55 年南海夏季风爆发时间的确定及 2005 年南海夏季风爆发早晚的预测. 气候预测评论, 2005, (11): 99~104
Zhu Yanfeng. The determination of onset date of SCS summer monsoon since 1951a and its prediction for 2005a. Review on Climate Prediction (in Chinese), 2005, (11): 99~104

[12] 何红艳, 郭志华, 肖文发. 降水空间插值技术的研究进展. 生态学杂志, 2005, **24** (10): 1187~1191
He Hongyan, Guo Zhihua, Xiao Wenfa. Review on spatial interpolation techniques of rainfall. *Chinese Journal of Ecology* (in Chinese), 2005, **24** (10): 1187~1191

[13] Torrence C, Compo G P. A practical guide to wavelet analysis. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1998, **79** (1): 61~78.

[14] 林振山, 邓自旺. 子波气候诊断技术的研究. 北京: 气象出版社, 1999. 50pp
Lin Zhenshan, Deng Ziwang. *Research of Wavelet Climatic Diagnosis Technology* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1999. 50pp

[15] 魏风英. 现代气候统计诊断与预测技术. 北京: 气象出版社, 1999. 62pp
Wei Fengying. *Modern Climatic Statistical Diagnosis and*

- Predication* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1999. 62pp
- [16] 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 Fengying, Zhang Jingjiang. Climatic variation of Meiyu in the middle-lower reaches of Changjiang River during 1885-2000. *Quarterly Journal of Applied Meteorological Science* (in Chinese), 2004, **15** (3): 313~321
- [17] 黄荣辉, 陈际龙, 黄刚, 等. 中国东部夏季降水的准两年周期振荡及其成因. 大气科学, 2006, **30** (4): 545~560
Huang Ronghui, Chen Jilong, Huang Gang, et al. The quasi-biennial oscillation of summer monsoon rainfall in China and its cause. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2006, **30** (4): 545~560
- [18] 严中伟, 季劲钧, 叶笃正. 60 年代北半球夏季气候跃变 I. 降水和温度变化. 中国科学 (B 辑), 1990, **1**: 97~103
Yan Zhongwei, Ji Jinjun, Ye Duzheng. The summer climatic jump over the Northern Hemisphere in 1960s Part I: The variation of precipitation and temperature. *Science in China* (Series B) (in Chinese), 1990, **1**: 97~103
- [19] 黄荣辉, 徐予红, 周连童. 我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): 465~476
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): 465~476
- [20] 陶诗言, 朱文妹, 赵卫. 论梅雨的年际变化. 大气科学, 1988, **12** (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, **12** (Special Issue): 13~21
- [21] 吕君宁, 徐景芳. 近 30 年长江中下游地区梅雨降水的气候分析. 南京气象学院学报, 1990, **13** (2): 229~237
Lü Junning, Xu Jingfang. Climatic analysis of the 1954-1983 Meiyu rainfall over the middle and lower basin of the Changjiang River. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology* (in Chinese), 1990, **13** (2): 229~237
- [22] 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
- [23] 巩远发, 段廷扬, 张蓓. 夏季亚洲大气热源汇的变化特征及其与江淮流域旱涝的关系. 大气科学, 2007, **31** (1): 89~98
Gong Yuanfa, Duan Tingyang, Zhang Han. Characteristics of the Atmospheric heating source/sink over Asia and its relationship with drought/flood in the Yangtze River-Huaihe River valley. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2007, **31** (1): 89~98
- [24] 赵勇, 钱永甫. 青藏高原地表热力异常与我国江淮地区夏季降水的关系. 大气科学, 2007, **31** (1): 145~154
Zhao Yong, Qian Yongfu. Relationships between the surface thermal anomalies in the Tibetan Plateau and the rainfall in the Jianghuai area in summer. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2007, **31** (1): 145~154