

# 中国雨季的气候学特征

王遵娅<sup>1, 2, 3</sup> 丁一汇<sup>2</sup>

1 中国气象科学研究院, 北京 100081

2 国家气候中心, 北京 100081

3 中国科学院研究生院, 北京 100049

**摘 要** 利用中国 740 站气候平均逐候降雨量对中国的主雨季进行定义, 并对雨季 (包括主雨季, 春雨和秋雨) 的气候学特征进行了讨论。结果表明: 全国主雨季最早爆发于华南中部, 最晚结束于华西地区。主雨季能持续 4 到 14 候不等, 雨量占年总降水的 30%~60%。主雨季在中国东部为季风雨季, 自南向北推进; 在西部受西风带影响, 北方略早于南方, 且局地性强。中国雨季具有明显的区域性和阶段性特征。中国气候的夏季降水时间序列主要反映了季节循环特征, 但气候季节内振荡 (CISO) 对东部雨季的持续和推进具有明显的调制作用, 其中长江中下游及其以南地区以 30~60 天周期为主。

**关键词** 中国雨季 季风雨带 气候特征 气候季节内振荡

**文章编号** 1006-9895 (2008) 01-0001-13

**中图分类号** P462

**文献标识码** A

## Climatic Characteristics of Rainy Seasons in China

WANG Zun-Ya<sup>1, 2, 3</sup> and DING Yi-Hui<sup>2</sup>

1 *Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing* 100081

2 *National Climate Center, Beijing* 100081

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

**Abstract** The major rainy seasons in whole China are firstly defined using the climatic pentad rainfall amounts datasets of 740 stations, and then the climatic characteristics of the rainy season, including the major rainy season, the spring and autumn rainy seasons, are discussed. It is found that: (1) The major rainy season bursts out earliest in central South China but latest in West China provinces. The major rainy season can last 4 to 14 pentads with the rainfall amounts accounting for 30%-60% of the annual total amounts. In East China, the major rainy season of monsoonal nature advances from south to north. But in West China, the major rainy season commences slightly earlier in its northern part than that in the southern part due to effects of the westerlies with obvious local features. (2) Rainy seasons in China have distinct regional characters. In most area of China including North and Northeast China, Northwest China and the Tibetan Plateau, rainfalls highly concentrate and show single peak mode, with the major rainy season showing the main characters of rainfalls there. However, rainfalls show double peak mode both in South China and West China and triple peak mode in the middle and lower reaches of the Yangtze River. These modes indicate that the intraseasonal cycle of active-break-reactive lies in the rainy season of China, which shows the modulation of the intraseasonal oscillation to annual cycle of rainfalls. (3) The rainy season in China experiences several obvious stages, including the spring rainy season to the south of the Yangtze River, the pre-flooding season in South China, the Meiyu in the Yangtze River and Huaihe River valleys, the rainy season in North and Northeast

China, the latter flooding season in South China and the autumn rainy season in the areas of Sichuan, southern Gansu and Shaanxi. Rainy seasons from the pre-flooding season to the latter flooding season are mainly controlled by the East Asian summer monsoon systems, while the combined effects of the westerlies in mid-high latitudes and the summer monsoon cause the spring and autumn rainy seasons. And rainy seasons in West China are mainly impacted by the westerlies. (4) Seasonal cycle is the most obvious signal in the climatic summer rainfalls in China. But the 10-90-day climatic intraseasonal oscillation has important modulating effect on the advancement and maintenance of main rain belts in East China. Three obvious oscillations and their northward propagation are observed from April through September, with each high value center of oscillations corresponding to a rainy season. And the second one is strongest and propagating farthest northward. The 30-60-day period is an important section of the intraseasonal oscillation and mainly modulates the rainfalls to the south of the Yangtze River.

**Key words** rainy season, monsoonal rain belt, climatic characteristics, climatic intraseasonal oscillation (CISO)

## 1 引言

中国从春到秋主要有三个雨季。首先是春雨雨季,包澄澜<sup>[1]</sup>将华南地区从3月至4月的多雨期称为前汛期雨季; Tian 等<sup>[2]</sup>称其为春季连阴雨; Ding<sup>[3]</sup>将华南4~6月的降水称为前夏雨季。Chen 等<sup>[4]</sup>定义这个雨季为梅雨季,它于5月中旬最早爆发在华南地区。其次是夏季雨季,在东亚地区随季风的季节性推进而从南向北相继出现<sup>[5]</sup>。5月中下旬雨带维持在华南一带,6月中旬北跳到中国长江中下游一带,这时期的雨季称之为梅雨季<sup>[6-8]</sup>。之后北移到华北和东北地区<sup>[6, 9, 10]</sup>,这是华北雨季<sup>[11]</sup>。在不少年份雨季可在两者之间的黄淮地区有短暂的停滞,形成黄淮雨季。最后是秋雨雨季。伴随季风的迅速南退,中国东南沿海一带会在台风的频繁影响下出现降雨的再次活跃。并且,华西一带的秋雨现象也很显著<sup>[12, 13]</sup>。这些研究主要揭示了我国东部雨季的阶段性特征。

最近二三十年来,对雨季的研究有一个从定性到定量的变化过程。过去多数研究采用定性分析,或者根据雨量和雨带位置等要素对雨季的开始和结束日期进行主观判断<sup>[6, 14]</sup>;或者简单的将某几个月划定为雨季,如6~8月,4~9月等<sup>[15-18]</sup>。这样做带有一定的主观性,而中国地域宽广,各地的集中降雨期不尽相同,因此不能确切地反映不同区域的雨季特点。近年来,有学者对东亚季风雨季进行定量化分析,如Lau和Yang等<sup>[19]</sup>以5 mm的气候候平均降雨量作为东亚季风雨季的开始和结束的标准; Wang 等<sup>[20]</sup>采用气候相对候降雨量对亚洲季风雨季进行定义; Samel 等<sup>[21]</sup>用半客观的分析方法讨论了我国东部季风雨带的推进过程; Chen 等<sup>[22]</sup>利

用降水相对系数对中国的雨季进行了定义。

可见,大多数研究都着重于我国东部的季风雨季,缺乏对整个中国雨季特点的综合分析,并且对雨季进行合理和量化的定义还有待深入讨论,雨季的阶段性特点及其与低频振荡的关系还需进一步研究。因此本文的分析就主要围绕这些问题进行。

## 2 资料

本文所用资料为中国气象局国家气象中心资料室整编的1951~2003年中国740站逐日降水资料。由于这些站点的建站时间不同,资料长度不一,且存在很多缺测,因而本文在对数据进行分析之前对资料进行了处理。首先,对单个缺测值进行了插值;然后,将连续缺测8天或全年缺测日数大于30天的年资料算作缺测。从2003年开始往前检验,对资料连续长度短于33年的站点进行剔除,以保证每站的资料都至少包含了从1971到2003年的连续记录。全国共选取了591个资料质量较高的站点,将各站53年的逐日降水通过平均处理成气候逐候降雨量,共包括73个日候。

另外,还使用了同时期的NCEP/NCAR逐日各层风场和比湿网格点资料,水平分辨率为 $2.5^\circ$ (经度) $\times 2.5^\circ$ (纬度)<sup>[23]</sup>,用它计算了整层(地面~300 hPa)垂直积分的水汽输送( $Vq$ ),分析区域是( $10^\circ\text{S}\sim 55^\circ\text{N}$ ,  $30^\circ\text{E}\sim 160^\circ\text{E}$ )。

## 3 雨季的定义

中国的降水自东南向西北逐渐减少。但无论降雨的多寡,各地降水均在夏季出现最大峰值。本文就将包含此峰值降水在内的一段降雨集中期定义为主雨季,因而主雨季主要反映夏季降水特征。气候

逐候降水具有较好的连续性，雨量的大小自然成为定义的关键。为了消除中国雨量明显的地区差别，对各站点的气候逐候降雨量按以下公式进行了标准化：

$$y_i = \frac{2(x_i - x_{\min})}{x_{\max} - x_{\min}} - 1,$$

其中， $x_i$  是第  $i$  候的气候逐候降雨量， $y_i$  是标准化以后的值， $x_{\max}$  和  $x_{\min}$  分别是气候逐候降雨量时间序列中的最大和最小值。因此，所有的标准化值都落到  $[-1, 1]$  区间内，使得不同地区的降雨量可以在同一水平上进行比较。本文将各站第一个标准化值  $\geq 0.5$  的候定义为该站主雨季的开始候，而最后一个  $\geq 0.5$  的候之后一候作为主雨季结束候。虽然取 0.5 作为是否雨季的阈值具有一定的任意性，但从 0.5 在各站所对应的绝对降雨量看（图 1），其在东部季风区能达到  $30 \sim 40 \text{ mm}/5 \text{ d}$ ，该量值与 Lau 等<sup>[5]</sup> 和钱维宏等<sup>[24]</sup> 制订的深对流降水标准  $6 \text{ mm}/\text{d}$  比较一致。而 Wang 等<sup>[20]</sup> 曾采用相对候平均降水率（Relative pentad mean rainfall rate，即逐候降雨量减去 1 月降雨量）超过  $5 \text{ mm}/\text{d}$  的标准来确定季风雨季，也与本文的定义相近。并且从后文的分析还可以看到，依照本文的定义，华南、长江中下游、华北和东北雨季的开始、持续和结束时间都与引言中各学者的研究比较一致。另外，0.5 所对应的雨量值在中国其余地区也能达到年均候降水量的 2~3 倍，比较符合雨季降雨集中且强度大的要求。因此，可以说 0.5 的取值是比较合理的。除主雨季外，分析还发现（详见后文），江南和华南地区的春雨和秋雨的标准化雨量虽然未达到上述标准，但它

们具有明显的降雨峰值，且峰值雨量都比较大，能达到  $25 \text{ mm}$  以上，出现的时段也较稳定，因此，本文也将春雨和秋雨作为独立的雨季进行讨论（取标准化雨量值 0 作为标准）。这样中国的雨季就包括主雨季（夏季雨季）、春雨季和秋雨季，可以全面反映雨季的特征。

### 4 中国主雨季的主要特征

图 2 反映了中国主雨季的主要特征。主雨季在东部和西部先后开始（图 2a）。东部最早于 22 候（4 月 16~20 日）在华南中部爆发，其后范围扩大并向北推。到 32 候（6 月 5~9 日），华南大部进入主雨季。从 33 候到 36 候（6 月 10~29 日），长江中下游主雨季自南向北逐渐爆发，这相应于中国的梅雨季。淮河主雨季在 36~38 候（6 月 25 日~7 月 9 日）之间开始。随后，华北和东北在 38~40 候（7 月 5~19 日）进入主雨季。从黄河河套到华北和东北南部一带主雨季开始最晚，在 40 候以后。西部主雨季首先在新疆西北部开始（28 候左右，即 5 月 16~20 日），然后向东向南推进，到 34 候（6 月 15~19 日），新疆南部、甘肃北部和青海都进入主雨季。但西藏主雨季的开始是东部较早而西部较晚，西藏东部、云南和四川西部在 34 候左右进入雨季，而西藏西部在 38 候（7 月 5~9 日）左右。由此可见，东部主雨季的爆发具有区域一致性，呈带状自南向北相继开始，最后在黄河河套到华北和东北南部一带爆发；而西部主雨季爆发的局地性强，大体上北部比南部略早，且在  $35^\circ\text{N}$  以北地区是西早东晚，而以南是东早西晚。

在主雨季开始后的 4~8 候，各地降水陆续达到峰值，其出现的时间次序与爆发相似（图 2c）。主雨季也是最早在华南中部结束（6 月底），然后在中国东部自南向北相继结束（图 2b）：长江中下游地区为 36 到 40 候（6 月 25 日~7 月 19 日），黄淮流域为 42 到 44 候（7 月 25 日~8 月 8 日），华北和东北地区为 44~46 候（8 月 4~18 日）。中国西部主雨季的结束也是北部早于南部，最早在新疆北部（7 月下旬）。44 候（8 月 4~8 日）以前，新疆、青海和甘肃北部主雨季结束，西南地区在 46 候（8 月 14~18 日）左右，从青藏高原东部到四川北部和黄河河套以南一带雨季结束最晚，在 48 候（8 月 24~28 日）以后。

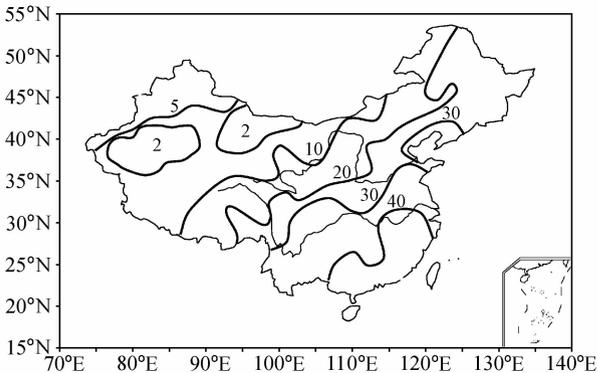


图 1 标准化雨量值 0.5 所对应的各站的雨量值分布（单位： $\text{mm}/5 \text{ d}$ ）

Fig. 1 The rainfall ( $\text{mm}/5 \text{ d}$ ) distribution at each station of China with the standardized anomaly of 0.5

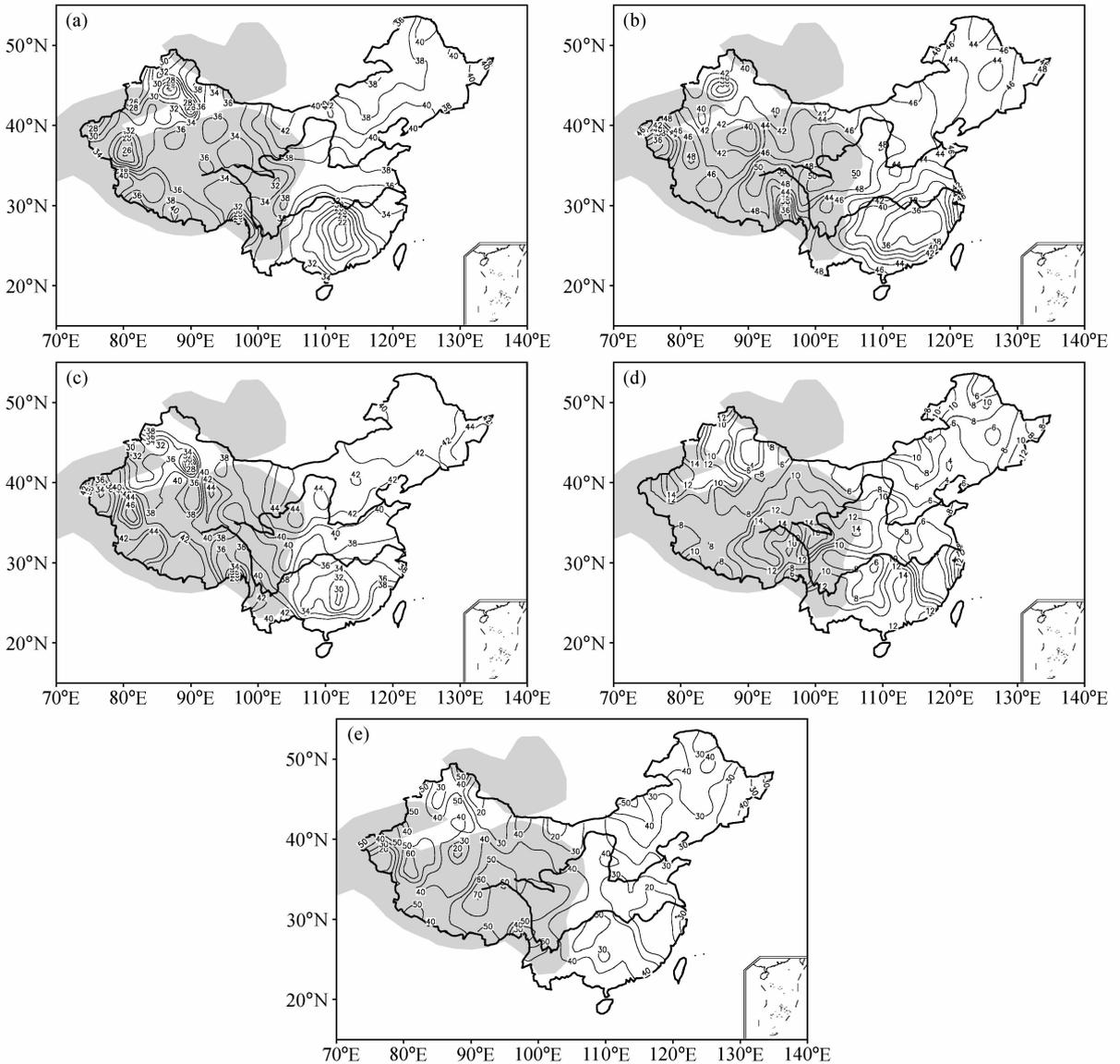


图2 中国主雨季的爆发日期 (a)、结束日期 (b)、峰值日期 (c)、雨季长度 (d) 和雨季雨量占年总雨量的百分比 (e)。阴影区为高于 1500 m 的地形

Fig. 2 (a) The onset dates, (b) ending dates, (c) peak value dates, (d) lengths, and (e) percentage of rainfalls in rainy seasons to annual rainfalls in the major rainy seasons of China. The regions where the altitude exceeds 1500 m are shaded

中国的主雨季可持续 4~14 候, 大约为 20 天到 2 个多月 (图 2d)。三个大值区分布于中国南部沿海, 以及青藏高原东部到四川东部和陕甘南部及新疆西北部。雨季能持续 10 候以上, 局部地区能达到 14 候。东部雨季的持续时间较西部短, 大都在 8 候以下, 其中长江中下游雨季最短, 为 4~6 候。

主雨季雨量能占到年总降水量的 30%~60% (图 2e), 东部值小而西部值大, 青藏高原东部至华西一带值最大。对照图 3d 可知, 雨季持续时间较

短的区域雨季雨量占年总降雨量的比重较小。

主雨季的持续可在一区域内形成雨带。图 3 是雨带的推进形势示意图, 细实线表示逐候标准化雨量值的大致位置。在东部地区有三个季节性大雨带, 或称为东亚夏季风雨带, 分别位于长江以南地区、长江中下游和华北至东北一带, 其维持期分别为 20~34 候 (4 月 6 日~6 月 19 日), 35~39 候 (6 月 20 日~7 月 14 日) 和 40~44 候 (7 月 15 日~8 月 8 日)。从细实线分布的疏密程度还可看出这三个雨带在自南向北的移动过程中具有明显的

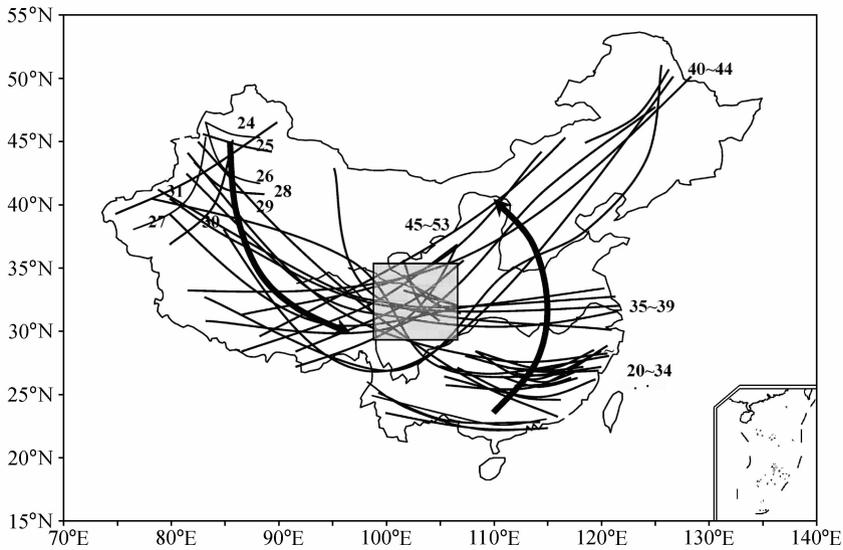


图 3 中国主雨季雨带的推进形势示意图(单位: 5 d)。实线: 逐候标准化雨量大区的大致位置; 粗黑箭头: 雨带推进方向; 方框: 中国东西部雨带以此为中心做逆时针旋转

Fig. 3 A sketch map of rain belts advance in China during the major rainy seasons (5 d). The thin lines denote the rough locations of high value areas of standardized rainfall amounts, while the thick lines denote the route of the rain belts advance. The square denotes the center of anticlockwise rotation of eastern and western rain belts in China

跳跃性。相反, 西部的雨区是自北向南推进, 而且并没有形成阶段性的大雨带。西部雨带在约 44 候以后减弱, 并向自黄河河套至青藏高原东南部一带缩小, 最后在高原东部, 四川东部和甘肃、陕西南部一带减弱直至消失。东西部雨带的推进形势似以黄河和长江上游一带为圆心作逆时针旋转。

## 5 中国雨季的区域和季节性特征

中国各地区气候降雨逐候时间变化的分布大致有两种形态: 单峰型和多峰型(以双峰型为主)。中国大部地区为单峰型降水, 淮河流域(32°N~35°N, 110°E~122°E)、东北(42°N~52°N, 120°E~135°E)、华北(35°N~42°N, 115°E~125°E)、西北(35°N~48°N, 80°E~110°E)和青藏高原(28°N~35°N, 80°E~100°E)降雨的季节性都非常强(图 4), 主雨季能反映出当地降雨的主要特征。而华南(20°N~28°N, 110°E~122°E)(图 4a)、华西(30°N~35°N, 100°E~110°E)(图 4b)和长江中下游(28°N~32°N, 110°E~122°E)(图 4c)降雨呈明显的多峰型分布, 除主雨季外春雨和秋雨也非常明显。因而广义的中国雨季除包括主雨季(夏季雨季)外, 还包括春雨季和秋雨季。

华南地区为典型的双峰型降水(图 4a), 主峰

值出现在 33 候(6 月 10~14 日)左右, 峰值雨量超过 50 mm。随后雨量迅速减小并于 41 候(7 月 20~24 日)降到谷值, 45 候(8 月 9~13 日)左右降雨再次活跃而出现次峰值。次峰值降水能达到 30 mm 以上, 为深对流降水, 按 Lau 和 Yang<sup>[5]</sup>的标准仍属季风雨季。陈隆勋等<sup>[25]</sup>的研究也指出, 这是各年季风雨中断后再次活跃的结果, 主要由台风和热带天气和环流系统造成。华南的春雨也非常显著, 从 19 候(4 月 1~5 日)开始就出现了深对流降水, 其春季降雨量(3~5 月)可占年总雨量的 35%, 与夏季(6~8 月)的 38% 基本持平。春雨和主雨季之间没有明显的中断, 而主雨季峰值与次峰值之间相隔约一个月。

长江中下游呈三峰型降水(图 4c), 峰值分别出现在 26 候(5 月 6~10 日), 35 候(6 月 20~24 日)和 47 候(8 月 19~23 日), 主峰值(35 候)为梅雨雨季; 第三峰值同样由台风或季风雨带南退时在长江流域停滞造成, 平均雨量较小。该时段的降水在长江三角洲尤其明显, 雨量仅略小于主峰值。第一峰值对应长江中下游春雨的盛期, 29 候(5 月 21~25 日)左右春雨雨季中断。第一峰值大于第三峰值, 且长江中下游整个春季的降水能占年总降水的 32%, 表明了春雨的显著。

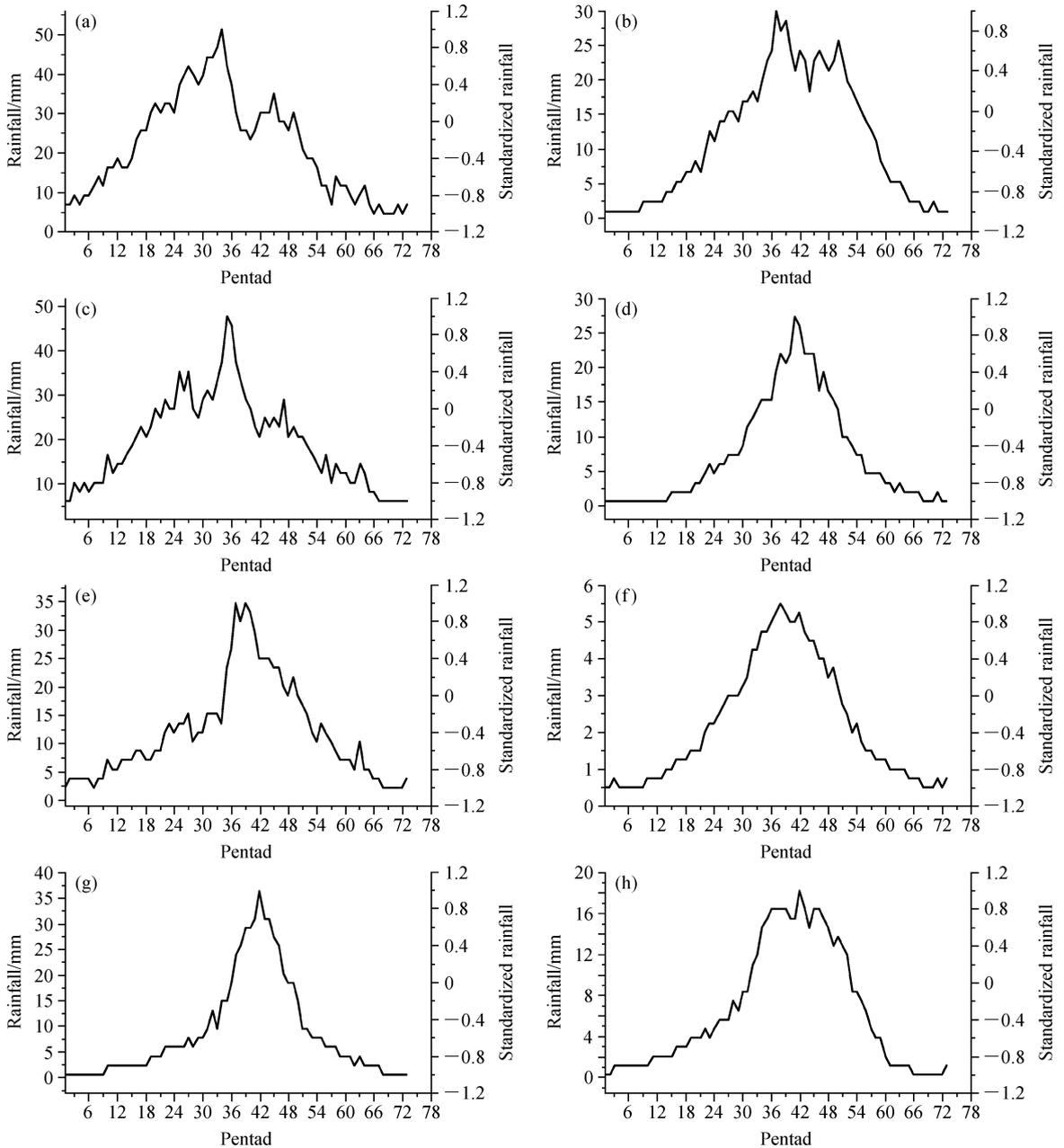


图4 中国各区域逐候降雨量序列: (a) 华南; (b) 华西; (c) 长江中下游; (d) 东北; (e) 淮河流域; (f) 西北; (g) 华北; (h) 青藏高原  
Fig. 4 Time series of the area-averaged climatic pentad rainfalls in each sub-regions of China; (a) South China; (b) West China; (c) the mid-lower reaches of the Yangtze River; (d) Northeast China; (e) the Huaihe River valley; (f) Northwest China; (g) North China; (h) the Tibetan Plateau

华西降水的两峰值分别出现在 37 候 (6 月 30 日~7 月 4 日) 和约 49 候 (8 月 29 日~9 月 2 日) (图 4b)。降雨次峰值与主峰值之间的间隔较短且雨量差别小, 一般认为秋雨由冷空气活动造成<sup>[26~28]</sup>。

雨带的推进和稳定表现出明显的阶段性。也就是说, 雨带的推进是迅速的, 甚至是跳跃性的。推

进到新的位置后, 即进入相对稳定的雨季期。综合图 3 中主雨带稳定和推进的时段以及图 4 中各降水峰值对应的时段, 并考虑到各段雨季的时间衔接, 可将中国雨季划分为 6 个阶段(表 1)。雨季的这种阶段性持续稳定和跳跃是由东亚夏季风的环流特征和热力学性质决定的<sup>[20, 29, 30]</sup>, 是东亚行星锋区和东亚季风相互作用的结果和表现<sup>[7, 31, 32]</sup>。

表 1 中国雨季的阶段划分

Table 1 Stages of rainy seasons in China

| 雨季      | 时段      |
|---------|---------|
| 江南春雨期   | 21~27 候 |
| 华南前汛期   | 27~33 候 |
| 江淮梅雨期   | 33~39 候 |
| 东北和华北雨季 | 39~45 候 |
| 华南后汛期   | 45~50 候 |
| 华西秋雨期   | 50~54 候 |

从各阶段的雨量距平(取 19~54 候, 即 4~9 月的值为平均值)、低层环流场(图 5)和垂直积分(地面~300 hPa)的水汽输送(图 6)可知, 在江南春雨期, 雨带主要位于 23°N~28°N 之间的长江以南地区。东亚夏季风环流尚未建立, 西南暖湿气流偏弱而中高纬西风气流偏强。西太平洋副热带高压脊线的平均位置在 20°N 以南, 江南地区处于西太平洋副热带高压的西北侧(图 5a)。此时, 索马里越赤道气流偏弱, 主要的水汽输送来源有两支(图 6a), 一是 25°N 附近的西风水汽输送, 另一是西太平洋副热带高压西北侧的西南水汽输送。在华南前汛期, 雨带控制整个华南地区, 尤其是东南沿海一带的降水大幅增加。西太平洋副热带高压明显增强, 脊线维持在 20°N 左右(图 5b)。在这一阶段, 索马里越赤道气流显著增强, 与前一阶段的两支气流一起向华南一带输送水汽(图 6b)。江淮梅雨期呈现出典型的东亚夏季风环流型, 越赤道气流强, 西太平洋副热带高压西伸北跳, 脊线位于 23°N 左右, 全国的降水均达到最大值(图 5c); 相应于此, 越赤道和副高西侧的水汽输送强盛, 在长江流域至日本南部地区维持水汽输送高值带(图 6c)。在东北和华北雨季期, 西太平洋副热带高压再次北跳, 脊线移至 28°N 左右(图 5d)。索马里和 105°E 两支越赤道气流通过中国东部将水汽北输到中高纬地区, 与副高西北侧的西南水汽输送一起维持华北至东北南部到朝鲜半岛和日本一带的水汽输送高值带。同时, 强盛的索马里越赤道气流不断为云南、贵州和广西一带输送水汽, 在该地区出现降水大值区(图 6d)。华南后汛期, 西太平洋副热带高压脊线达到 30°N 以北, 但已明显东撤。同时, 在 30°N 以南地区出现了东北-西南走向的季风槽, 其上不断产生的气旋环流系统造成了华南沿海降水的再次活跃(图 5e)。到华西秋雨期, 西太平洋副热带高

压进一步东撤南退, 季风槽位置南移, 东亚夏季风明显减弱南退(图 5f)。但值得注意的是, 此时来自孟加拉湾的西南季风和水汽输送仍然较强。越赤道水汽输送在孟加拉湾分为南北两支, 北支经青藏高原东侧和云南, 南支在南海北部转为东南向与西太平洋副热带高压南侧的偏东水汽输送汇合后, 经广东和广西, 二者汇合于华西地区, 使得秋雨持续(图 6f)。由于北支水汽输送流经的地区海拔高度已超过 1500 m (850 hPa), 因而低层水汽输送几乎为零, 主要依靠中高层的水汽输送。也正因为此, 北支输送略小于南支输送。

由以上分析可知, 从华南前汛期到华南后汛期都是以东亚夏季风的影响为主。伴随西太平洋副热带高压和行星锋区从华南北跳至江淮流域, 再进一步推至华北和东北, 然后南退到东南沿海一带, 中国东部的季风雨带也经历了三次停滞和两次北跳以及南退。而在江南春雨期, 一方面中高纬的西风气流仍然较强, 另一方面虽然东亚夏季风尚未爆发, 但江南地区已开始受到来自南海的西南暖湿气流影响, 因而属于西风带影响较强而季风影响较弱的时期<sup>[33]</sup>。华西秋雨期类似, 来自中高纬的冷空气影响已开始增强; 同时, 印度季风对华西地区仍有影响。因而江南春雨和华西秋雨是冬夏季环流型处于转变期的过渡雨型, 中高纬西风带和夏季风的影响同样重要。

## 6 中国夏季气候降雨时间序列的低频振荡特征

中国的降水主要分布在 4 到 9 月, 为了检验气候降水时间序列的频率分布特征, 多年平均的 4 月 1 日到 9 月 30 日共 183 天的各站气候降雨时间序列被划分为以下三个部分:

$$y = x_{ca} + x_{ciso} + x_{ch},$$

其中,  $x_{ca}$  为气候的季节循环频段, 包括 1 到 2 波, 周期长于 3 个月;  $x_{ciso}$  为气候低频振荡频段, 包括 2 到 18 波, 约 10~91 天周期;  $x_{ch}$  为气候高频振荡频段, 包括 18 波以上, 即 10 天以下周期。通过计算各个部分与全时间序列之间的均方差比值发现(图略): 从东北、华北到黄河中上游, 至青藏高原大部的大范围区域为季节循环分量的高值带, 其方差能占时间序列总方差的 50% 以上, 最大能达到 70% 以上。而淮河流域至华南地区和中国西北地区为两

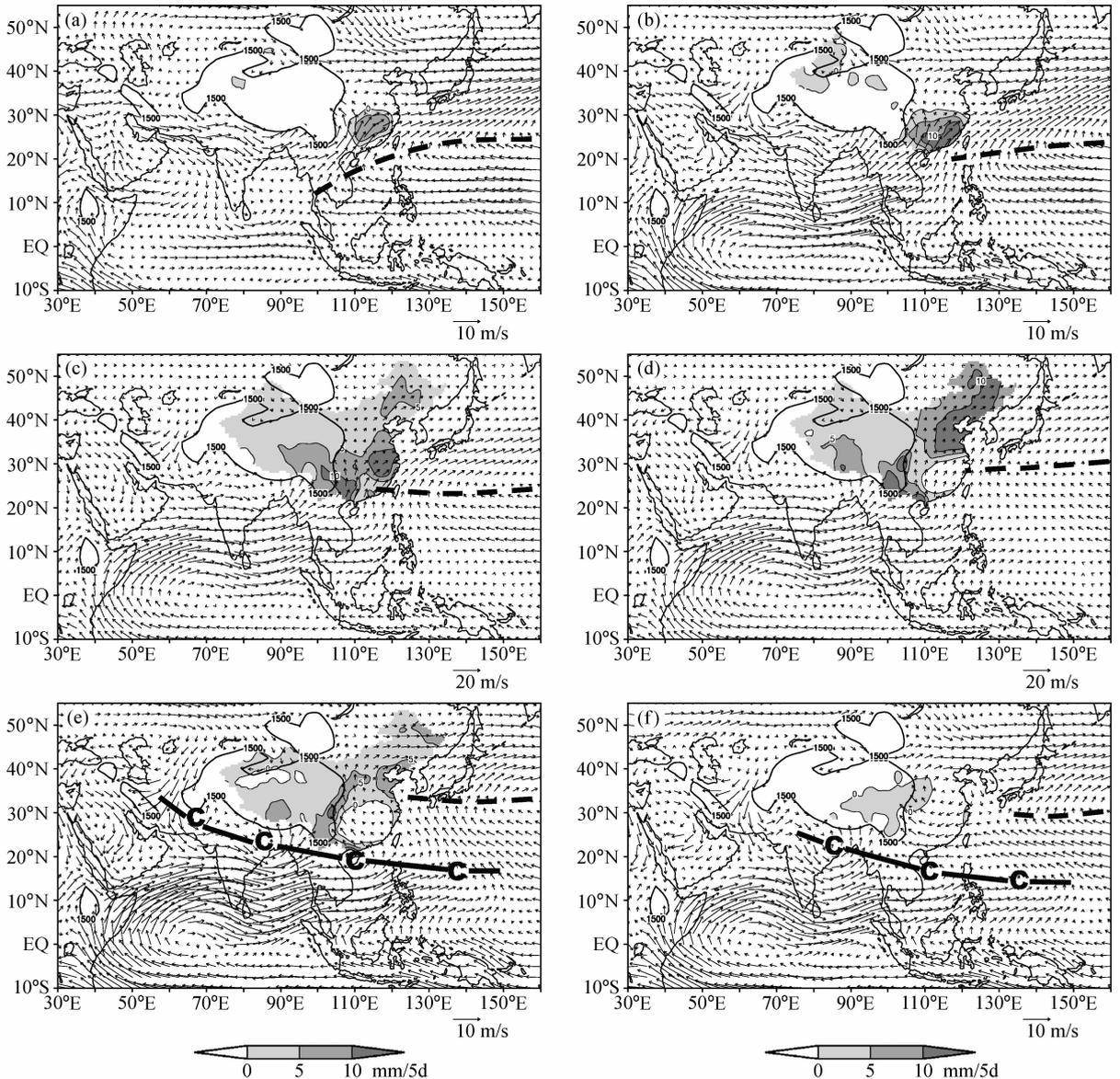


图 5 中国各段雨季气候降雨量距平(阴影)和 850 hPa 风场的分布: (a) 江南春雨期; (b) 华南前汛期; (c) 江淮梅雨期; (d) 东北和华北雨季; (e) 华南后汛期; (f) 华西秋雨期。实线: 季风槽; 虚线: 西太平洋副热带高压脊线; C: 气旋环流中心

Fig. 5 Distributions of the anomalous climatic pentad rainfalls (shaded areas) and the climatic wind fields at 850 hPa during (a) spring rainy season in Jiangnan, (b) pre-flooding season in South China, (c) Meiyu season in the Changjiang River-Huaihe River valley, (d) rainy season in North and Northeast China, (e) latter flood season in South China, (f) autumn rainy season in West China. The solid line; the monsoon trough; the dashed line: the ridgeline of the western Pacific subtropical high; "C": the center of the cyclonic circulation

个低值带, 季节循环分量的方差占时间序列总方差的 40% 以下。高频分量的情况与此相反, 从东北至青藏高原一带为低值区, 而西北地区为高值带, 普遍在 65% 左右。气候低频振荡分量与总方差的比值在淮河流域至华南一带最大, 占 20% 以上, 其余地区都在 10% 左右。整体而言, 在中国的主要降雨季节, 气候雨量时间序列的季节循环分量和高频振

荡分量比低频振荡分量所占比重重要, 因而这两个分量是雨季的最强信号, 但各分量在不同地区具有不同的重要性。从东北到青藏高原一带, 降水最重要的气候特征是季节循环, 即降水从 4 月开始逐渐增加, 在夏季达到最大值以后又逐渐减少的过程。西北地区降水反映出非常显著的高频振荡特征, 这与该地区受西风带活动影响强烈有关, 而从淮河流

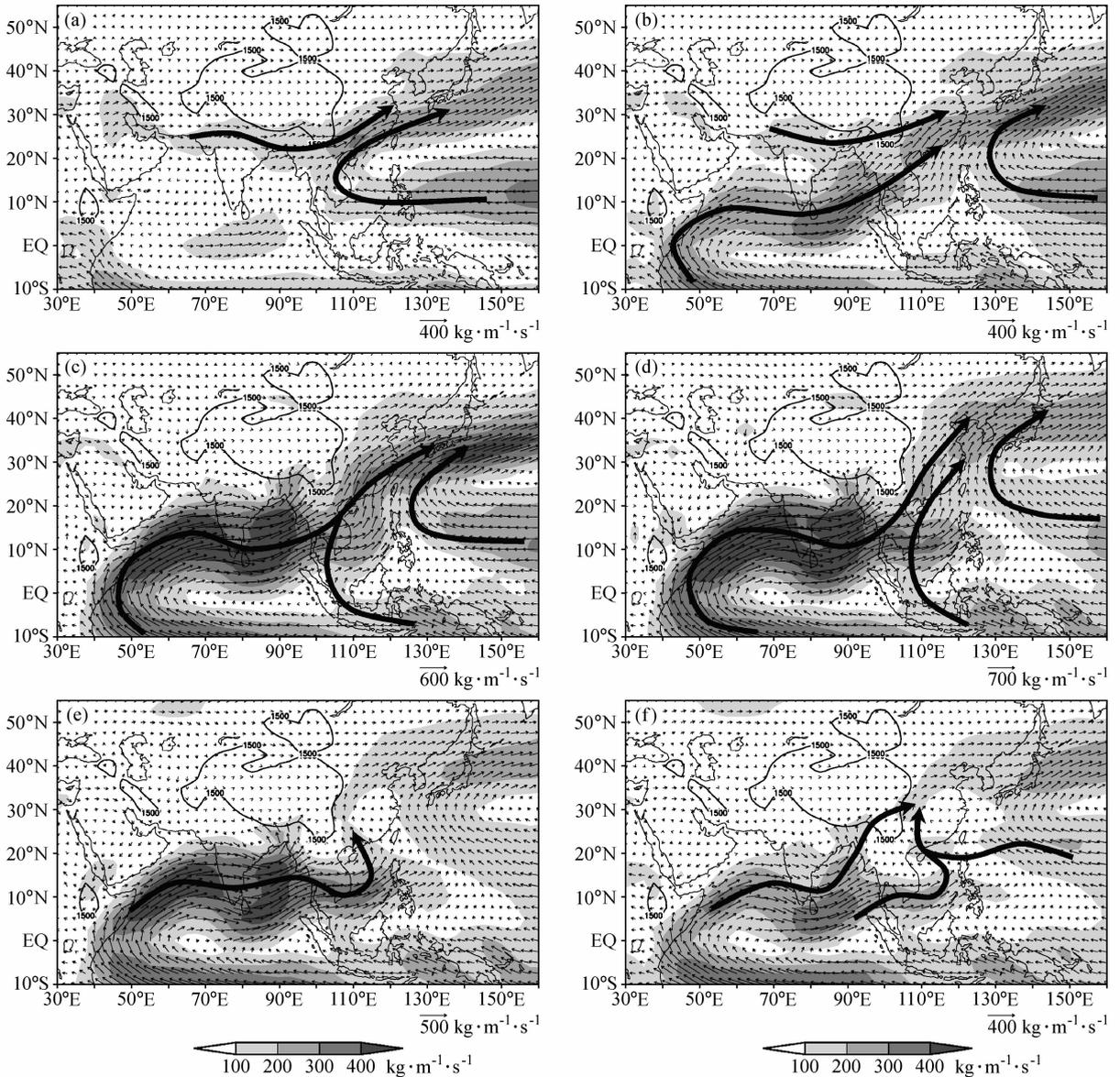


图 6 中国各段雨季气候平均的垂直积分的水汽输送(单位:  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ): (a) 江南春雨期; (b) 华南前汛期; (c) 江淮梅雨期; (d) 东北和华北雨季; (e) 华南后汛期; (f) 华西秋雨期

Fig. 6 Climatic vertically integrated water vapor transport during (a) spring rainy season in Jiangnan, (b) pre-flooding season in South China, (c) Meiyu season in the Changjiang River-Huaihe River valley, (d) rainy season in North and Northeast China, (e) latter flood season in South China, (f) autumn rainy season in West China

域到华南一带气候的低频振荡特征比较明显。图 7 显示了中国各站 4~9 月降水低频分量的主周期分布。由图 7 可见,在气候低频振荡分量最显著的长江中下游至华南一带,以 30~60 天周期为主。这与 Wang 等<sup>[33]</sup>用 OLR 资料对长江入海口地区的分析结果一致。Wang 等<sup>[34]</sup>还指出,该地区 CISO 的峰值和谷值对应于北半球的夏季风奇异点,表现了低频振荡对夏季风的调制作用;而在中国北方及西

部的大范围地区,以 10~30 天周期为主。

为了进一步了解气候季节内振荡(CISO)的分布和传播特点,对气候逐候降水时间序列进行了 10~90 天滤波,以观察低频雨带随时间的推进过程。如图 8a 所示,从 4~9 月,10~90 天气候季节内振荡表现出了三次明显的振荡并北传的特征。其中第二次振荡最为强烈,且北传范围最大,能达到 45°N 左右。在该过程中共出现了 3 个大值中心,其

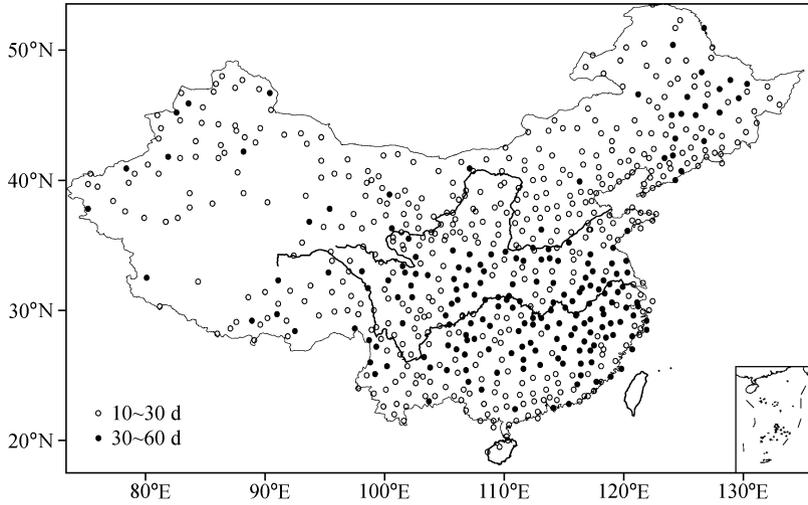


图7 中国各站4~9月气候逐日降水低频分量的主周期分布

Fig. 7 Distribution of the primary periods of the low-frequency component of climatic daily rainfall at each station of China from Apr to Sep

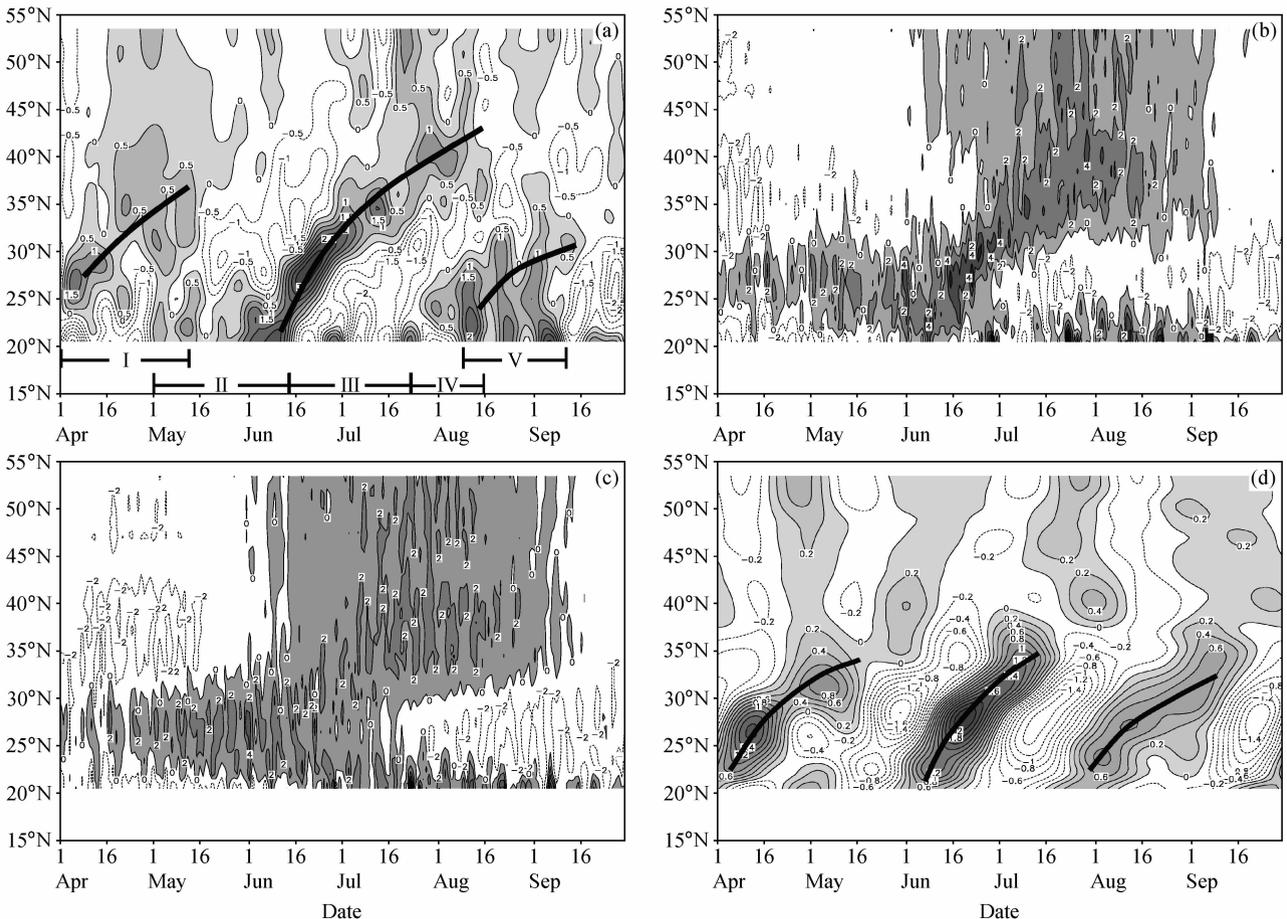


图8 气候逐日降雨量距平的时间-纬度剖面(取110°E~120°E平均): (a) 10~90天滤波(即CISO频段); (b) 未滤波; (c) 滤除CISO频段; (d) 30~60天滤波

Fig. 8 Time-latitude sections of the climatic daily rainfall anomalies (110°E~120°E average); (a) 10-90-day filtered [climatic intraseasonal oscillation (CISO)]; (b) original time series; (c) the CISO is filtered; (d) 30-60-day filtered

持续的时段分别是 II、III 和 IV, 恰好分别对应于华南前汛期、江淮梅雨、东北和华北雨季。而且长江梅雨期的振荡最强, 其与淮河雨季之间的过渡也很清楚。第一次振荡的时段为 4 月初到 5 月中旬 (I 段), 大值中心位于  $27^{\circ}\text{N}$  左右, 与江南春雨相对应。而第三次振荡 (V 段) 对应于华南后汛期, 从 8 月上旬持续到 9 月上旬, 其间还有时间尺度更短的振荡出现。第一和第三次振荡也随时间向北传播, 但仅能达到  $35^{\circ}\text{N}$  附近。很明显, 低频雨带的分布与推进与气候雨带的移动同步一致。通过对比图 8b 和 c 可以发现 CISO 对中国东部雨季的强度有明显的调制作用, 主要表现在三个地区和时段: (1) 4 月初到 5 月中旬的江南到华北地区 ( $25^{\circ}\text{N}\sim 40^{\circ}\text{N}$ ), CISO 的调制使得降雨强度增大。(2) 6 月初到 8 月中旬的整个东部地区, 降雨都在 CISO 的调制下增强。而最明显的是 6 月中旬到 7 月下旬, CISO 的调制使得长江中下游地区出现了一个降水中心。这表明 CISO 对长江中下游梅雨的形成和加强起到了非常重要的作用。(3) CISO 的调制使华南雨季在 6 月中到 7 月中出现中断, 并且使 7 月中旬以后长江以南的秋雨明显增强。另一方面, 在滤除 CISO 分量之后, 将气候的逐候降雨量时间序列进行区域平均 (区域范围如图 4, 图略) 发现, 所有区域的曲线都是形为单峰的年循环, 且其上还叠加了高频振荡。也就是说, 在 CISO 滤除之后, 并不再出现双峰或三峰的降雨分布形态, 则 CISO 对降水除了具有加强振幅的作用外, 还使雨季出现活跃-中断-再活跃的循环变化, 其可能是制约季节性雨带爆发、活跃、减弱及再活跃的一种内部机制。有意思的是, 虽然气候季节内振荡的方差仅占气候降雨时间序列方差的很小一部分, 但其调制作用却非常显著。进一步的分析表明,  $30\sim 60$  天周期是气候季节内振荡的一个主要分量 (图 8b)。从 4 月到 9 月同样有三次明显的振荡过程, 分别出现在 4 月初到 5 月中、6 月初到 7 月中、8 月初到 9 月中, 以梅雨期的振荡最为明显。这三个过程都是从华南向北传播到  $35^{\circ}\text{N}$  附近, 同时中高纬还有弱的振荡向南传播。 $30\sim 60$  天低频雨带主要控制长江以南地区, 尤其是长江中下游一带, 这也证明了长江以南地区雨季的活跃和中断显著地受到了气候  $30\sim 60$  天低频振荡调制的影响, 与图 8 所示一致 (见图 7 中实心圆点)。

## 7 结论

(1) 本文定义的主雨季主要反映了夏季降水的特征。它最早爆发于华南中部, 最晚结束于华西地区, 能持续  $4\sim 14$  候不等, 雨量能占年总降水的  $30\%\sim 60\%$ 。主雨季在东部为季风雨季, 自南向北推进, 主要经历了华南雨季, 江淮梅雨和华北雨季三个阶段; 在西部, 主雨季有较强的局地性, 北方略早于南方, 且  $35^{\circ}\text{N}$  以北地区的雨季西早东晚, 而以南地区东早西晚。

(2) 降雨在中国西部和北部呈单峰型分布, 主雨季反映出了当地降水的年变化特征。而华南和华西地区降雨呈双峰型, 长江中下游呈三峰型分布, 表明这些地区的春雨和秋雨非常显著, 应作为独立的雨季进行讨论。其中华南的春雨和主雨季相连, 主雨季和后汛期雨季之间有约 1 个月的中断; 而长江中下游的春雨, 主雨季和后汛期雨季之间均有中断出现。华西的秋雨雨量与主雨季相差不大, 在两峰值之间有短暂中断。这反映出中国雨季存在着活跃-中断-再活跃的季节内循环, 因而显示了季节内振荡对降水量年循环的调制作用。

(3) 中国雨季具有明显的阶段性特征, 主要经历了江南春雨期、华南前汛期、江淮梅雨期、东北和华北雨季、华南后汛期和华西秋雨期。从华南前汛期到华南后汛期都以东亚夏季风影响为主, 江南春雨和华西秋雨是中高纬西风带和季风共同作用的结果, 而西部雨季以西风带影响为主。

(4) 中国气候的夏季降水时间序列主要反映了季节循环特征, 尤其是从东北、华北到青藏高原东部的东北-西南一带, 其次反映了高频振荡特征。 $10\sim 90$  天的气候季节内振荡对我国主要雨带具有显著的调制作用。在  $4\sim 9$  月期间, 我国东部经历了三次明显的季节内振荡及其北传过程。其中第二次过程强度最强, 能北传我国的中高纬地区, 对应着华南前汛期、江淮梅雨、东北和华北雨季的持续和从南向北的推进。而第一和第三次过程分别对应于江南春雨期和华南后汛期, 这两次振荡略有北传, 但仅能达到  $35^{\circ}\text{N}$  左右。进一步分析还表明,  $30\sim 60$  天周期作为季节内振荡中的一个主要分量, 对长江中下游及其以南地区降水有重要的调制作用。

## 参考文献 (References)

- [1] 包澄澜. 热带天气学. 北京: 科技出版社, 1980. 130~132  
Bao Chenglan. *Tropical Synoptic Meteorology* (in Chinese). Beijing: Science Press, 1980. 130~132
- [2] Tian S F, Yasunari T. Climatological aspects and mechanism of spring persistent rains over central China. *J. Meteor. Soc. Japan*, 1998, **76** (1): 57~71
- [3] Ding Y H. *Monsoons over China*. London: Kluwer Academic Publishers, 1994. 135~136
- [4] Chen G T J. Research on the phenomena of Meiyu during the past quarter century: An overview. *East Asian Monsoon*, Chang P C, Ed. Singapore: World Scientific Publishing, 2004. 561~562
- [5] Lau K M, Yang S. Climatology and interannual variability of the Southeast Asian summer monsoon. *Adv. Atmos. Sci.*, 1997, **14**: 141~162
- [6] Tao S Y, Chen L X. A review of recent research on the East Asian summer monsoon in China. *Monsoon Meteorology*, Chang P C, Krishnamurti T N, Eds. London: Oxford University Press, 1987. 60~92
- [7] Ding Y H. Summer monsoon rainfall in China. *J. Meteor. Soc. Japan*, 1992, **70**: 373~396
- [8] Tanaka M. Intraseasonal oscillation and the onset and retreat dates of the summer monsoon over east, southeast Asia and the western Pacific region using GMS high cloud amount data. *J. Meteor. Soc. Japan*, 1992, **70**: 613~629
- [9] 梁平德. 印度夏季风与我国华北夏季降水量. 气象学报, 1988, **46** (1): 75~81  
Liang Pingde. The Indian summer monsoon and the rainfall in North China in summer. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1988, **46** (1): 75~81
- [10] Matsumoto J. Seasonal transition of summer rainy season over Indo-China and adjacent monsoon region. *Adv. Atmos. Sci.*, 1997, **14**: 231~245
- [11] 赵汉光. 华北的雨季. 气象, 1994, **20** (6): 3~8  
Zhao Hanguang. The rainy season in North China. *Meteorological Monthly* (in Chinese), 1994, **20** (6): 3~8
- [12] 高由禧. 东亚季风的若干问题. 北京: 科技出版社, 1962. 78~88  
Gao Youxi. *Some Problems about the East Asian Summer Monsoon* (in Chinese). Beijing: Science Press, 1962. 78~88
- [13] 何敏. 我国主要秋雨区的分布及长期预报. 气象, 1984, **10** (9): 10~13  
He Min. Distribution and long-term forecast of Chinese autumn rainfalls. *Meteorological Monthly* (in Chinese), 1984, **10** (9): 10~13
- [14] Liu Y, Giorgi F, Washington W M. Simulation of summer monsoon climate over East Asia with an NCAR regional climate model. *Mon. Wea. Rev.*, 1994, **122**: 2331~2348
- [15] Huang J Y, Wang S W. Investigations of variations of the subtropical high in the Western Pacific during historic times. *Climate Changes*, 1985, **7**: 427~440
- [16] Lau K-M, Yang G J, Shen S H. Seasonal and intraseasonal climatology of summer rainfall over East Asia. *Mon. Wea. Rev.*, 1988, **116**: 18~37
- [17] Samel A N, Wang S W, Wang W C. A comparison between observed and GCM simulated summer monsoon characteristics over China. *J. Climate*, 1995, **8**: 1690~1696
- [18] Nitta T, Hu Z Z. Summer climate variability in China and its association with 500 hPa height and tropical convection. *J. Meteor. Soc. Japan*, 1996, **74**: 425~445
- [19] Lau K M, Yang S. Seasonal variation, abrupt transition, and intraseasonal variability associated with the Asian summer monsoon in the GLA GCM. *J. Climate*, 1996, **9**: 965~985
- [20] Wang B, Lin H. Rainy season of the Asian-Pacific summer monsoon. *J. Climate*, 2002, **15**: 386~398
- [21] Samel A N, Wang W-C, Liang X-Z. The monsoon rainband over China and relationships with the Eurasian circulation. *J. Climate*, 1999, **12**: 115~131
- [22] Chen T-C, Wang S-Y, Huang W-R, et al. Variation of the East Asian summer monsoon rainfall. *J. Climate*, 2004, **17** (4): 744~762
- [23] Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. The NCAR/NCEP 40-year reanalysis project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1996, **77**: 437~471
- [24] Qian W H, Kang H-S, Lee D-K. Distribution of seasonal rainfall in the East Asian monsoon region. *Theor. Appl. Climatol.*, 2002, (73): 151~168
- [25] 陈隆勋, 李薇, 赵平, 等. 东亚地区夏季风爆发过程. 气候与环境研究, 2000, **5** (4): 345~355  
Chen Longxun, Li Wei, Zhao Ping, et al. On the process of summer monsoon onset over East Asia. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2000, **5** (4): 345~355
- [26] 高由禧. 东亚的秋高气爽. 气象学报, 1958, **29** (2): 83~92  
Gao Youxi. On the high autumn clear weather in China. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1958, **29** (2): 83~92
- [27] 高由禧, 郭其蕴. 我国的秋雨现象. 气象学报, 1958, **29** (4): 264~273  
Gao Youxi, Guo Qiyun. On the autumn raining area in China. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1958, **29** (4): 264~273
- [28] 白虎志, 董文杰. 华西秋雨的气候特征及成因分析. 高原气象, 2004, **23** (6): 884~889  
Bai Huzhi, Dong Wenjie. Climate features and formation causes of autumn rain over Southwest China. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 2004, **23** (6): 884~889
- [29] 郭其蕴, 王继琴. 近 30 年来我国夏季风盛行期降水的分析. 地理学报, 1981, **36**: 187~195  
Guo Qiyun, Wang Jiqin. Interannual variations of rain spell

- during predominant summer monsoon over China for recent thirty years. *Acta Geographica Sinica* (in Chinese), 1981, **36**: 187~195
- [30] Ninomiya K, Murakami T. The early summer rainy season ( Baiu ) over Japan. *Monsoon Meteorology*. Chang C P, Krishnamurti T N, Eds. London: Oxford University Press, 1987. 93~121
- [31] 丁一汇, 村上胜人. 东亚季风. 北京: 气象出版社, 1994. 74~92  
Ding Yihui, Murakami M. *East Asian Monsoon* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1994. 74~92
- [32] 姚秀萍, 于玉斌. 2003 年梅雨期干冷空气的活动及其对梅雨降水的作用. *大气科学*, 2005, **29** (6): 973~985  
Yao Xiuping, Yu Yubin. Activity of dry cold air and its impacts on Meiyu rain during 2003 Meiyu period. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2005, **29** (6): 973~985
- [33] 郑彬, 梁建茵, 林爱兰, 等. 华南前汛期的锋面降水和夏季风降水 I. 划分日期的确定. *大气科学*, 2006, **30** (6): 1207~1216  
Zheng Bin, Liang Jianyin, Lin Ailan, et al. Frontal rain and summer monsoon rain during pre-rainy season in South China. Part I: Determination of the division dates. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2006, **30** (6): 1207~1216
- [34] Wang B, Xu X H. Northern Hemisphere summer monsoon singularities and climatological intraseasonal oscillation. *J. Climate*, 1997, **10**: 1071~1085