

苗长明, 郭品文, 丁一汇, 等. 2014. 江南南部初夏雨季的降水和环流气候特征 [J]. 大气科学, 38 (2): 285–296, doi:10.3878/j.issn.1006-9895.2013.13140.
Miao Changming, Guo Pinwen, Ding Yihui, et al. 2014. Climatic characteristics of rainfall and atmospheric circulation during the early summer rainy season in the south part of Jiangnan [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 38 (2): 285–296.

江南南部初夏雨季的降水和环流气候特征

苗长明^{1,2} 郭品文¹ 丁一汇³ 刘樱⁴ 沈杭锋²

1 南京信息工程大学, 南京 210044

2 杭州市气象局, 杭州 310051

3 国家气候中心, 北京 100081

4 浙江省气候中心, 杭州 310002

摘 要 基于 1961~2010 年气象台站逐日降水资料、同期美国 NCEP/NCAR 的逐日再分析格点资料, 通过气候平均、EOF 分析、聚类分析等方法, 分析了江南地区初夏降水的地域性和时段性特征, 及西太平洋副高和高、低空急流等大气环流的相应演变过程。结果发现: (1) 江南南部 27.5°~29.5°N 存在一个独立于华南前汛期和江淮梅雨的初夏雨季, 该雨季平均发生时间为 6 月 11~30 日, 比江淮梅雨早约 8 天左右。(2) 西太平洋副高的西伸东退是江南南部初夏雨季发生发展的重要环流背景, 6 月第 2 候副高发生突变性加速西伸之后雨季开始, 雨季期间 850 hPa 副高西伸脊点基本稳定在最西位置即 133°E 附近, 6 月第 6 候副高东退北抬后雨季结束。(3) 低层急流大风带的形成和位置是江南南部初夏雨季阶段的重要动力条件, 印度洋和孟加拉湾向东北延伸的低层急流与西太平洋副高西北侧的气流连通形成低层急流大风带, 并与北侧上空的高空急流耦合, 降水集中区位于低层急流大风带左侧、高空急流入口区右侧。

关键词 江南南部 初夏 雨季 大气环流

文章编号 1006-9895(2014)02-0285-12

中图分类号 P462

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9895.2013.13140

Climatic Characteristics of Rainfall and Atmospheric Circulation during the Early Summer Rainy Season in the South Part of Jiangnan

MIAO Changming^{1,2}, GUO Pinwen¹, DING Yihui³, LIU Ying⁴, and SHEN Hangfeng²

1 *Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044*

2 *Hangzhou Meteorological Bureau, Hangzhou 310051*

3 *National Climate Centre, Beijing 100081*

4 *Zhejiang Climate Centre, Hangzhou 310002*

Abstract Daily surface observation precipitation datasets from 1961 to 2010 and National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) reanalysis datasets were used to perform rotated empirical orthogonal function (EOF) and cluster analyses in determining the climatic characteristics of the early summer rainfall and relevant atmospheric circulation in the southern part of Jiangnan, which is the southern region of the Yangtze River. The results reveal a concentrated rainy period in the region, which is the early summer rainy season independent of the pre-flood season in South China and the Meiyu in the Yangtze-Huaihe River basin. This rainy season has an average duration of 20 days and generally begins on June 11, approximately 8 days before the start of the Meiyu. In addition,

收稿日期 2013-04-01, 2013-07-27 收修定稿

资助项目 浙江省社会发展项目 2009C33053

作者简介 苗长明, 男, 1965 年出生, 博士研究生, 高级工程师, 主要从事天气气候研究。E-mail: mcm0571@139.com

通讯作者 郭品文, E-mail: guo@nuist.edu.cn

movement westward and eastward of the West Pacific subtropical high (WPSH) provide important circulation backgrounds for this rainy season. That occurring after the WPSH extended westward abruptly and rapidly in the pentad of June 5–10. The west ridge points of the WPSH at 850 hPa remained steady near 133°E, which is its westernmost point during the rainy season, then the early summer rainy season ended as the WPSH retreated eastward and shifted northward at the end of June. Moreover, low-level jet (LLJ) patterns are significant dynamic factors during the early summer rainy season. The LLJ at 850 hPa from the Bay of Bengal and Indian Ocean connected with the wind current at the northwest side of the WPSH and coupled with the upper-level westerly jet at the region of concentrated precipitation located to the left of the LLJ and to the right of the upper-level jet inflow boundary precisely in the southern part of Jiangnan.

Keywords South part of Jiangnan, Early summer, Rainy season, Atmospheric circulation

1 引言

江西东部、浙江西部和南部一带（以下称江南南部）常常在江淮梅雨之前迎来一段暴雨多发期。作为初夏防汛重点区之一，江南南部的初夏降水分布特征及其大气环流背景值得深入探讨。

中国东部雨季为季风雨季，具有明显的区域性和阶段性特征（Ding and Chan, 2005; 王遵娅和丁一汇, 2008）。近年来不少研究成果显示，江南地区和江淮地区的梅汛期降水属于不同阶段的雨季。宗海锋等（2006）指出中国东部梅雨期降水存在江南北部多雨型、长江流域多雨型和江淮平原多雨型。竺夏英等（2007）对 1951~2004 年江淮地区 15 站梅汛期（6~7 月）降水进行分析，证明梅雨期降水具有经向非均匀分布特征。牛若芸等（2011）对湖北宜昌以东 28°~34°N 之间的梅雨旱涝进行分析，绘制了江淮流域 6 个南涝北旱和 4 个南旱北涝梅雨期的降雨量合成图，显示在 30°N 附近是主雨带的明显界限。

还有一些研究提出了江南梅雨的概念。江志红等（2006）分析了中国东部 366 站 1957~2000 年逐日降水资料，提出东部雨带经历了 6 月 4 候、7 月 2 候、7 月 5 候等 3 次北跳，相应的雨带停滞阶段分别对应于华南梅雨、江南梅雨、淮河梅雨和华北雨季。但是作者对各雨季阶段的空间范围没有作出进一步的界定。毛文书等（2008）、马音等（2011）都将江淮梅雨分成江南和淮河两区，通过相关检验分析证明两区降水量序列具有显著的独立性。

关于梅雨与西太平洋副高等大气环流的关系已有大量研究（陈兴芳和赵振国, 2000; 张庆云和陶诗言, 2003; 陆日宇, 2004; Ding and Chan, 2005; 宗海锋等, 2006; 丁一汇等, 2007; 胡娅敏等, 2008; 苏同华和薛峰, 2010），揭示了雨带演变与大气环流调整的紧密联系。一些研究还发现有先于江淮流

域梅雨起始时间 8~10 天的西太平洋副高突然增强（徐海明等, 2001）及高空急流的北跳（李崇银等, 2004），并视之为江淮梅雨起始的前期征兆。这些成果基本上都以江淮梅雨为主要研究对象，对江南南部初夏降水及其大气环流背景还很少有系统地关注和讨论，尽管如前所述已经有不少研究认识到了江南南部初夏降水的独特性。

本文首先分析了中国东部地区初夏雨带的演变特征，对江南地区初夏降水的时空分布进行客观分析，从而揭示其区域性、时段性特征；然后分析了初夏阶段西太平洋副高、850 hPa 风场和高空、低空急流等演变过程，讨论了江南南部初夏降水的大气环流背景。

2 资料与方法

选取 5 月 16 日至 7 月 15 日为江南南部初夏雨季的研究时段。因为江南南部初夏降水属于夏季风降水，区别于江南春季雨季（Qian et al., 2002; 何金海等, 2007; 万日金和吴国雄, 2008），最早可能开始期在 5 月中旬南海季风爆发之后（丁一汇和李崇银, 1999; Ding et al., 2004; Zhang et al., 2004; 黄荣辉等, 2005），最晚结束期在江淮梅雨结束前。

采用了两种站点密度的降水量资料。首先在分析中国东部地区初夏降水分布时，从国家气候中心整理的全国台站降水资料库中选取 110°E 以东、22°~35°N 范围内资料完整的 118 个站逐日降水资料，时间序列为 1971~2010 年。为进一步具体分析江南南部地区初夏雨季演变过程，在江南地区（26°~32°N, 114°~122°E）使用了时间序列为 1961~2010 年的 200 个气象站逐日降水资料。大气环流分析采用 NCEP/NCAR 的逐日再分析资料，时段为 1961~2010 年，要素包括位势高度场、水平风场等，水平分辨率为 2.5°（经度）×2.5°（纬度）。

应用旋转经验正交函数（REOF）分析和聚类

分析, 基于站点资料对江南地区初夏降水的地域性特征进行了分析。而在分析逐日降水量时间剖面时进行了格点化处理, 采用 Cressman 方案将站点逐日降水量插值到 0.25° 的经纬度格点上。该方法可能使一些无降水的格点受附近有较大降水站点的影响而产生虚假降水, 降水分布图比较平滑, 但这对降水分布形态的分析结果不会产生原则性影响, 冯锦明等(2004)对 5 种常用插值方法比较研究表明, Cressman 方法的结果与台站降水原始观测资料最为接近。

3 江南南部初夏雨季的降水时空分布

3.1 中国东部地区初夏的雨带时空演变气候特征

为探讨江南南部地区初夏降水的地域性气候特征, 首先沿 $117^\circ\sim 119^\circ\text{E}$ (穿过江南南部) 对中国东部地区逐日平均降水量进行时间剖面分析(图 1)。在没有经过滑动平均处理的情况下, 可以比较清楚地看到 $29^\circ\sim 30^\circ\text{N}$ 附近存在一条降水气候分界线。南海季风爆发后华南前汛期建立, 连续性降水基本上都发生在 26°N 以南, 间有北伸的降水过程。6 月第 3 候开始, 雨量加强、雨带北伸; 6 月第 3~4 候降水中心在 28°N 附近, 8 mm d^{-1} 降水区集中在 29°N 以南; 6 月底雨带北跳到 29°N 以北, 江南南部已经几乎不再出现 8 mm d^{-1} 以上的集中降水; 7 月第 2~3 候降水中心移到了 32°N 附近。

并不是整个江南地区初夏降水都具有上述演变过程。对逐日降水量进行 5 日滑动平均, 对比西部 $111^\circ\sim 113^\circ\text{E}$ 和东部 $117^\circ\sim 119^\circ\text{E}$ 范围内的降雨量时间演变(图 2), 发现雨区演变过程是不同的。

西部主要表现为华南前汛期降水特征(图 2a)。 $111^\circ\sim 113^\circ\text{E}$ 范围的降水集中期发生在 26°N 以南, 8 mm d^{-1} 降水区主要在 6 月中旬前; 6 月中旬华南前汛期结束之后, 雨区没有向北推进, 后期没有明显的集中降水雨季特征。

东部存在显著的初夏雨季特征(图 2b)。 $117^\circ\sim 119^\circ\text{E}$ 范围的降水集中期在江南南部地区, 26°N 以南地区的前汛期降水并不明显, 6 月 10 日以后 $26^\circ\sim 30^\circ\text{N}$ 之间降水突然加强, 并在江南南部 28°N 形成降水中心, 平均最大降水量达 14 mm d^{-1} 以上; 6 月第 6 候, 江南南部降水减弱, 雨带中心北移到了江淮梅雨区。

3.2 江南南部初夏降水量的 REOF 分析及聚类分析

为细化分析江南南部初夏降水特征, 对 1961~

2010 年江南地区初夏(5 月 16 日至 7 月 15 日)降水量(标准化处理后)进行 REOF 分析。前四个模态较好地显示出了初夏降水的地理分布特征(图 3), 江南南部不同于南岭以南、长江流域、太湖流域等地区, 其初夏降水具有落区稳定性和独立性。

第一型模态表现为整个江南地区呈一致性正分布(图 3a), 高荷载值区(大于 0.5)在江南南部, 即 121°E 以西, $27^\circ\sim 30^\circ\text{N}$ 区域内, 呈纬向带状分布, 以 28.5°N 、 117°E 为中心。这种分布是江南南部初夏雨季阶段的典型降水分布。第二型模态高荷载值区(小于 -0.5)主要在 30.5°N 以北(图 3b), 其同位相的南界在 $28^\circ\sim 29^\circ\text{N}$ 之间, 这也是传统梅雨定义的南界。第三型模态高荷载值区(大于 0.5)集中在福建及江西南部小部分地区(图 3c)。闽浙赣交界区的荷载值变化梯度很大, 江南南部与南岭以南地区初夏降水之间也是相互独立的。第四模态高荷载值区(大于 0.5)在长江下游地区(图 3d), 它反映了长江下游特别是长三角地区太湖流域梅雨的独特性。

进一步对江南南部初夏降水的季节内变化独立性作出客观判别分析, 对江南地区 200 个站的初夏降水量建立 50 年平均的逐日(5 月 16 日至 7 月 15 日)降水量 60 天序列, 采用均值联接方法(施能, 2002), 对降水量按季节内时间分布的一致性进行系统聚类分析。

江南地区初夏降水量的季节内演变可分为三类(图 4), 分四类与分三类没有形态和范围的显著改变(图略)。第一类位于湖北、安徽、江苏、上海、浙江北部, 除黄山一带稍偏南以外, 基本上以 29.5°N 为分界; 第二类包括江西北部、东部, 浙江西部、中部, 福建西北部少部分地区, 以 27.5°N 附近为南界, 与图 3a 显示的江南南部初夏降水集中区总体一致; 第三类在江西南部和福建。

江南地区初夏降水量的 REOF 分析和聚类分析结果, 显示了江南南部初夏降水集中期是夏季风雨带在推进过程中的一个雨期阶段, 降水时段集中、强度大、持续性强, 降水集中区位置稳定, 不属于江淮梅雨或华南前汛期。为区别江淮梅雨, 本文称之为江南南部初夏雨季。

综合以上分析, 江南南部初夏雨季平均长度大约 20 天, 平均开始时间在 6 月 11 日, 6 月 30 日结束, 主要发生在 $27.5^\circ\sim 29.5^\circ\text{N}$ 。作为一个雨

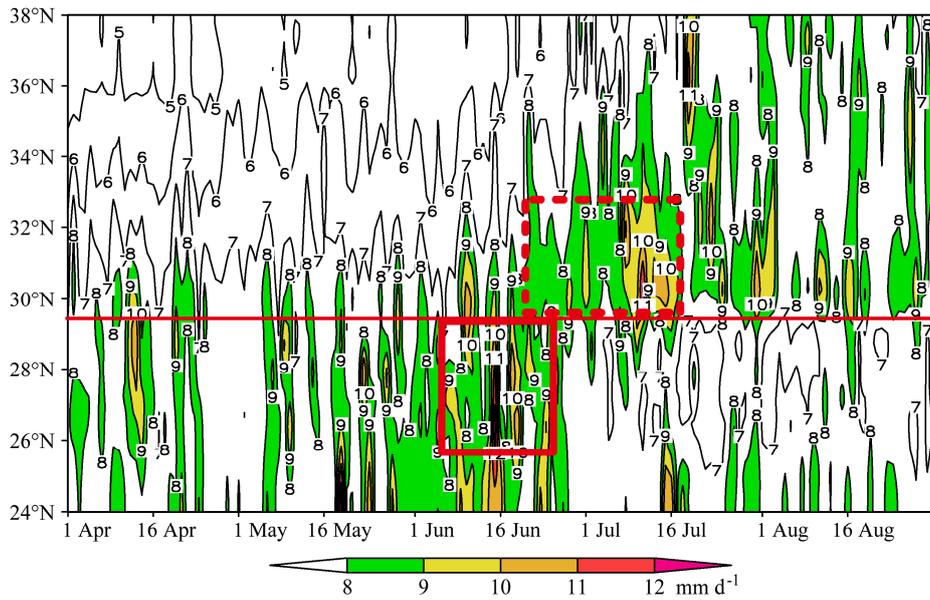


图1 1971~2010年平均逐日降水量(单位: mm d^{-1})沿 $117^\circ\sim 119^\circ\text{E}$ 的纬度—时间剖面图。实框线代表江南南部初夏雨季平均发生时间;虚框线代表江淮梅雨平均发生时间

Fig. 1 Latitude-time section of the 1971-2010 averaged daily precipitation (unit: mm d^{-1}) for $117^\circ\sim 119^\circ\text{E}$. Solid and dashed frames denote the occurrence time of the early summer rainy season in the south part of Jiangnan and the Meiyu in the Yangtze-Huaihe River, respectively

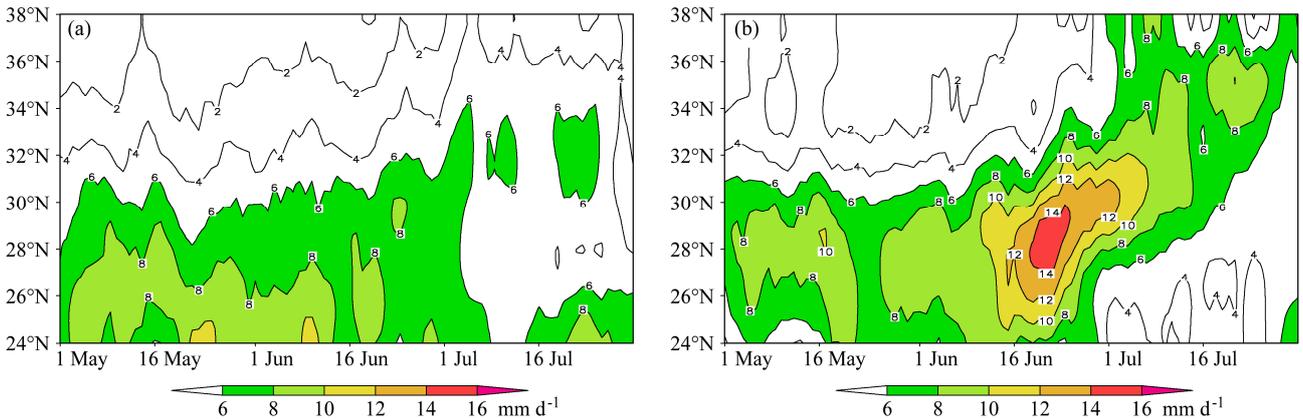


图2 1971~2010年5天滑动平均降水量(单位: mm d^{-1})沿 $111^\circ\sim 113^\circ\text{E}$ (a)和 $117^\circ\sim 119^\circ\text{E}$ (b)的纬度—时间剖面

Fig. 2 Latitude-time sections of the 1971-2010 averaged daily precipitation by 5-day moving average (unit: mm d^{-1}) for (a) $111^\circ\sim 113^\circ\text{E}$ and (b) $117^\circ\sim 119^\circ\text{E}$

季, 如何建立具体的雨季参数, 确定历年雨季起讫时间和强度, 分析其气候特征, 我们将另文研究。

4 江南南部初夏雨季的大气环流特征

4.1 西太平洋副高位置

对 500 hPa 高度的 5880 gpm 等值线和 850 hPa 高度的 1520 gpm 等值线进行逐候平均, 绘制了西太平洋副高西伸脊点的 5 日滑动平均位置演变曲线, 观察到一些细致的动态过程(图 5)。分析西太平洋副高的位置变化, 发现其突变性西伸和阶段性稳定特征与江南南部初夏雨季的发生发展密切相

关。

江南南部初夏雨季的建立与副高西伸脊点位置的突变紧密联系。初夏第 5 候(6 月 6~10 日)西太平洋副高突变性加速西伸北抬(图 5a、b), 500 hPa 高度 5880 gpm 等值线 5 天之内向西推进了 8 个经度(图 5c), 850 hPa 高度 1520 gpm 等值线也西移超过 4 个经度(图 5d), 副高脊线位置到达 20°N 附近。这次突变调整后, 850 hPa 副高西伸脊点到达最西位置 133°E 附近, 随后江南南部进入初夏雨季, 而此时江淮梅雨尚未开始。

江南南部初夏雨季期间, 即初夏第 6~9 候(6 月 11~30 日), 500 hPa 高度副高位置持续性西伸

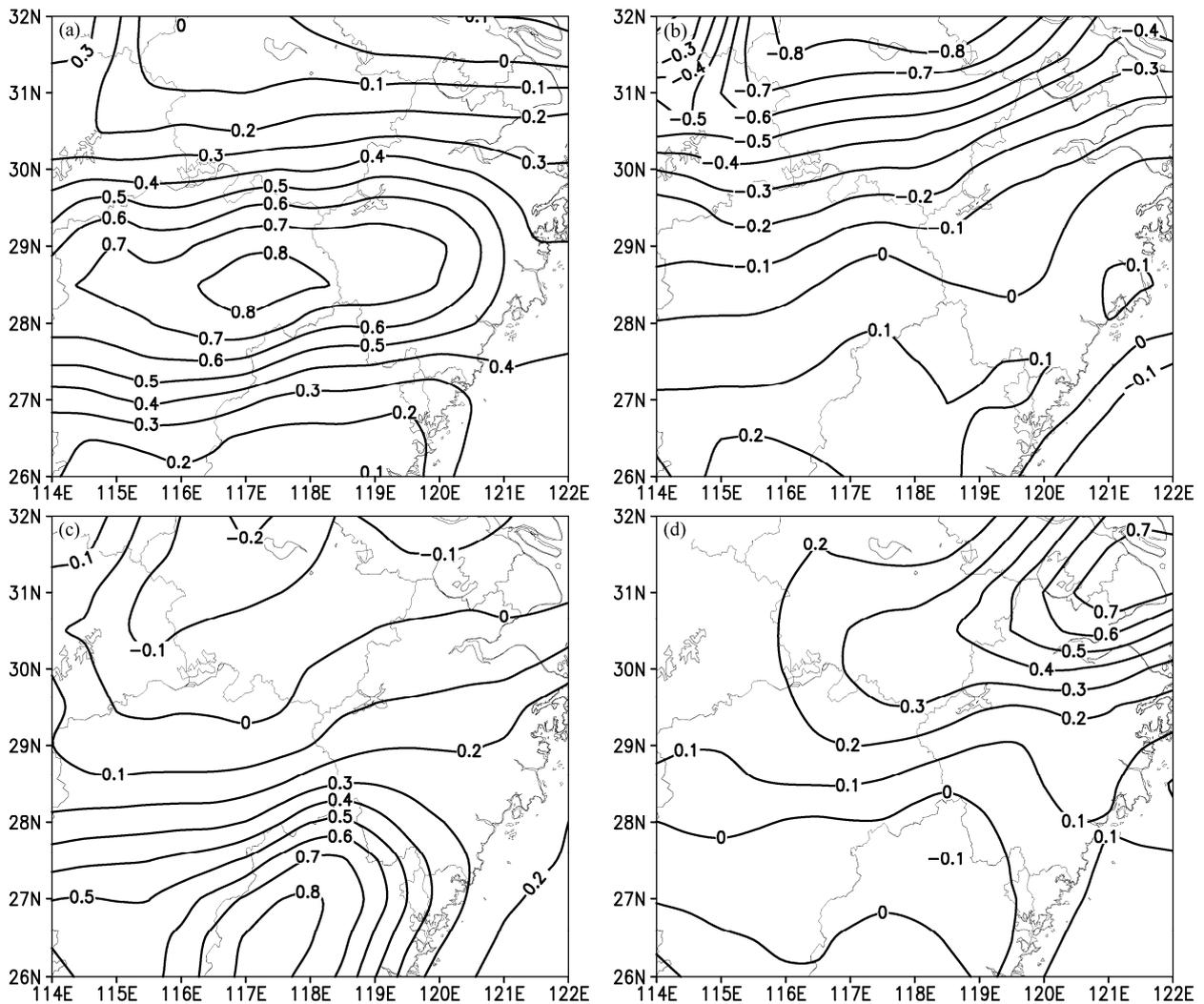


图3 1961~2010年江南地区初夏(5月16日至7月15日)期间降水量REOF分析前四种主要型态的荷载分布。(a)、(b)、(c)、(d)依次为第一至第四模态。

Fig. 3 The first to fourth REOF (rotated empirical orthogonal function) modes (a, b, c, and d) for precipitation field spatial distribution during the early summer (16 June–15 July) of 1961–2010 in Jiangnan

北抬(图5a);但是850 hPa高度副高只有北抬,没有西伸,西脊位置基本稳定在133°E附近(图5b)。在此期间,副高从初夏第6候(6月10~15日)到第7候(6月15~20日)出现一次明显北抬(图5a、b),也就是一般情况下指的副高6月中旬第一次北跳;这次北抬后,500 hPa高度副高西脊再次大幅度西伸(图5c),但850 hPa高度副高西脊经度基本没有变化(图5d),随即雨带向北扩展,江淮梅雨区进入雨季,但江南南部初夏雨季尚未结束。

初夏第9候(6月26~30日)副高位置再一次显著北抬,500 hPa和850 hPa高度的副高脊线位置都比前一候北移了2个纬度以上,到达台湾以东洋

面25°N附近(图5a、b);随着这次北抬,副高西脊向东回撤(图5c、d),江南南部初夏雨季随之结束。

4.2 西太平洋上850 hPa关键区位势高度

一些研究表明,尽管500 hPa天气图上的5880 gpm等值线被广泛用来描述西太平洋副高,但副高在低层比高层更显著,850 hPa副高在它的西侧具有更明显的年际变化,因而850 hPa位势高度更适宜描述西太平洋副高(陆日宇,2004)。Lu(2002)利用特定区域内平均的850 hPa位势高度异常,定义了西太平洋副高的东—西指数(10°~30°N, 110°~150°E)和南—北指数(30°~40°N, 120°~150°E)。本文借鉴其做法,选择850 hPa关键区位势高度进行东西向演变对比,进一步考察西太平洋

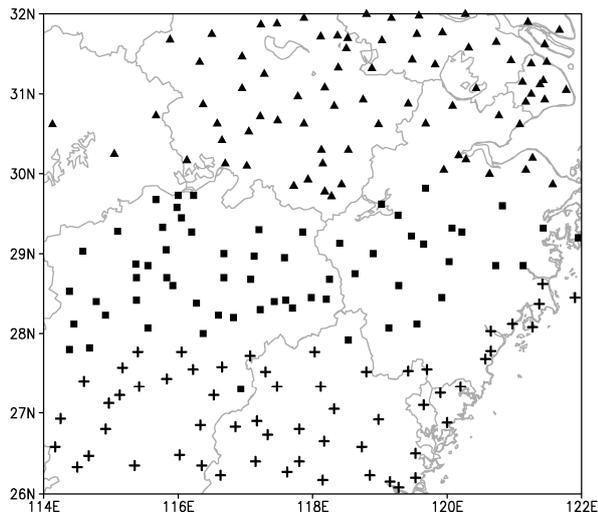


图4 1961~2010年平均江南地区初夏(5月16日至7月15日)逐日降水量聚类分析。每种符号代表一种类型: ▲代表第一类, ■代表第二类, +代表第三类

Fig. 4 The cluster analysis result for the 1961–2010 averaged daily precipitation during early summer (16 June–15 July) in Jiangnan. Each symbol denotes a kind of precipitation mode: ▲ shows the first mode, ■ shows the second mode, + shows the third mode

副高位置调整对江南南部初夏雨季的影响(图6)。

选取(15°~20°N, 120°~150°E, 南区)和(25°~30°N, 120°~150°E, 北区)范围内850 hPa平均高度进行对比(图6a), 考察西太平洋副高北跳的影响过程。6月第2候开始, 北区强度快速加强, 并在6月7~13日形成了一个小的稳定期, 此时南区达到最强峰值, 江南南部初夏雨季开始; 随后南区强度开始缓慢减弱, 北区强度则于6月第3候后期再次突然加强, 在6月16~23日期间南区、北区强度达到平衡, 江南南部初夏雨季处于最盛期, 江淮梅雨也开始建立; 之后, 南区强度呈波动性下降, 北区强度在高位振荡并于7月13日达到最强, 期间出现了2次南、北区强度同步快速下降, 相应地, 江南南部初夏雨季、江淮梅雨先后结束。

再选取15°~30°N范围的120°~127.5°E(西区)、130°~137.5°E(中区)、140°~147.5°E(东区)850 hPa平均高度进行对比(图6b)。6月5日各区开始突然加强, 西区到6月10日达到一个稳定期,

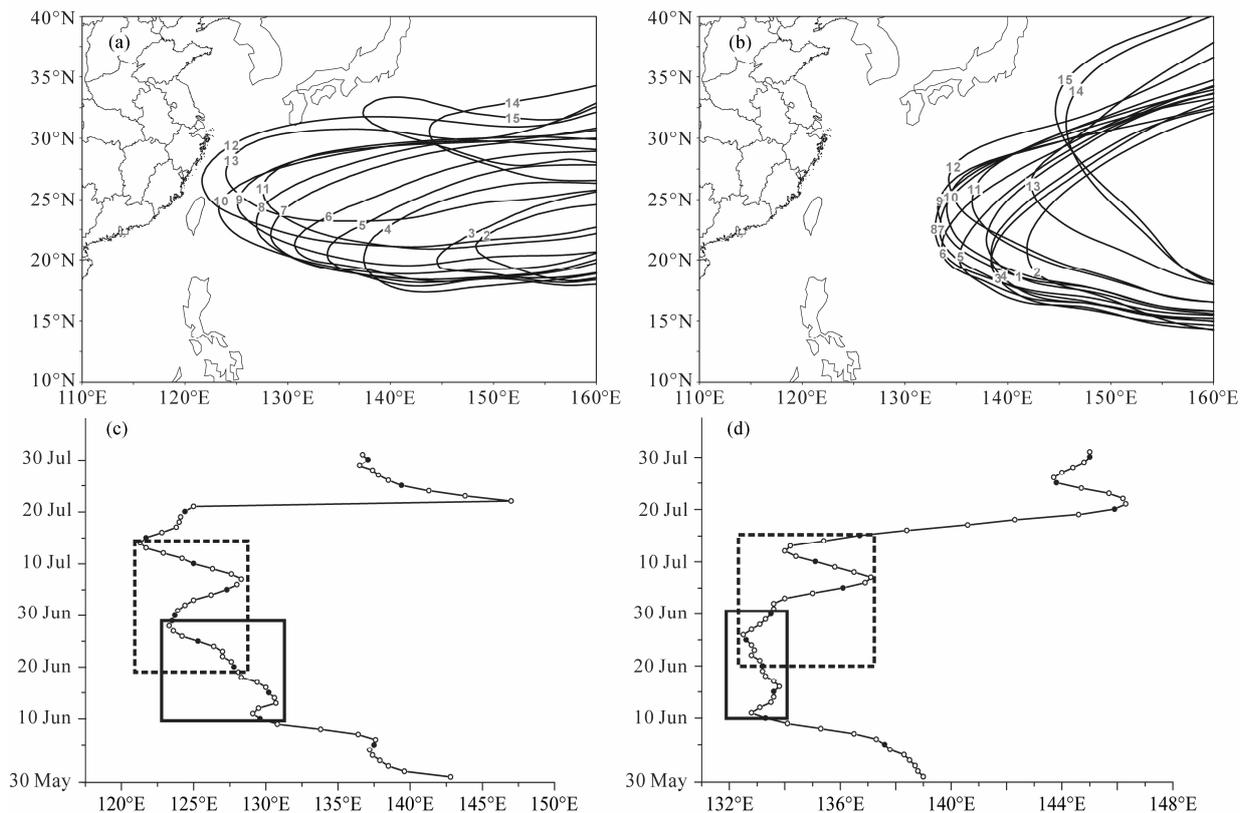


图5 1961~2010年平均初夏阶段副高位置演变图:(a) 500 hPa高度5880 gpm等值线;(b) 850 hPa高度1520 gpm等值线;(c) 5880 gpm西伸脊点5日滑动平均位置;(d) 1520 gpm西伸脊点5日滑动平均位置。(a)和(b)图中, 1代表初夏第1候(5月16~20日), 2代表第2候(5月21~25日), 其余依次类推。(c)和(d)图中, 实框线代表江南南部初夏雨季平均发生时间; 虚框线代表江淮梅雨平均发生时间

Fig.5 The 1961–2010 averaged locations of the West Pacific subtropical high during early summer: (a) Averaged 5880 gpm line at 500 hPa; (b) averaged 1520 gpm line at 850 hPa; (c) westward extending ridge point of 5880 gpm line by 5-day moving average; (d) westward extending ridge point of 1520 gpm line by 5-day moving average. In (a) and (b), 1 denotes the pentad of 16–20 May, 2 denotes the pentad of 21–25 May, and so on. In (c) and (d), solid and dashed frames denot the occurrence time of the early summer rainy season in the south part of Jiangnan and Meiyu in the Yangtze–Huaihe River, respectively

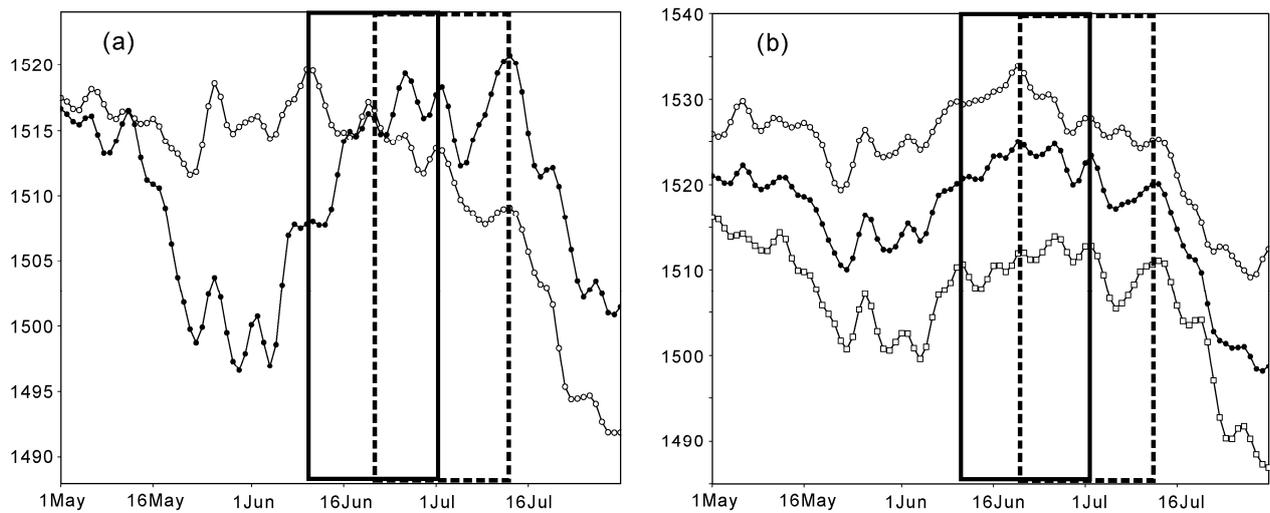


图 6 1961~2010 年西太平洋关键区的平均 850 hPa 位势高度逐日演变: (a) 120°~150°E 的南部与北部对比, 空心圆点线代表南部关键区 (15°~20°N), 实心圆点线代表北部关键区 (25°~30°N); (b) 15°~30°N 的东部、中部和西部对比, 空心圆点线代表东部关键区 (140°~147.5°E), 实心圆点线代表中部关键区 (130°~137.5°E), 方框点线代表西部关键区 (120°~127.5°E)。实框线代表江南南部初夏雨季平均发生时间; 虚框线代表江淮梅雨平均发生时间

Fig. 6 Comparisons for the evolutions of the 1961–2010 averaged daily 850-hPa geopotential height in key areas of the West Pacific: (a) The south area (15°–20°N, 120°–150°E) (line with rings) and the north area (25°–30°N, 120°–150°E) (line with dots); (b) The east area (15°–30°N, 140°–147.5°E) (line with rings), the middle area (15°–30°N, 130°–137.5°E) (line with dots), the west area (15°–30°N, 120°–127.5°E) (line with squares). Solid and dashed frames denote the occurrence time of the early summer rainy season in the south part of Jiangnan and Meiyu in the Yangtze–Huaihe River, respectively

江南南部初夏雨季开始; 7 月 1 日西区强度从最高开始减弱, 江南南部初夏雨季结束; 当各区强度全部出现快速下降时, 江淮梅雨结束。

由此看到, 虽然江南南部初夏雨季和江淮梅雨先后发生在西太平洋副高西伸、东退两次突变之间, 但两个雨季分别对应于副高位置演变的两个阶段, 是相互独立的。江淮梅雨的发生和结束与副高位置的北跳紧密相关, 江南南部初夏雨季的发生和结束与副高位置的西伸东退关系更为密切。也就是说, 江南南部初夏雨季的形成和发展, 关键是副高的西部位置演变过程中有一个相对稳定阶段。

4.3 850 hPa 风场分布

沿 117.5°E 剖面分析 850 hPa 高度纬向风的纬度—时间演变 (图 7), 可以看到在夏季风推进过程中, 风场的阶段性变化有三个相对稳定期, 这三个稳定期与华南前汛期、江南南部初夏雨季、江淮梅雨有同步的对应关系, 三个稳定期之间的过渡是西风突然加强北抬的过程。南海季风爆发后热带西风快速向北传, 25°N 以南的风力同时加强, 风速中心在 22.5°N, 华南前汛期开始。6 月第 3 候副热带西风突然加强并向北推进到达 27.5°N, 风速中心在 25°N, 江南南部处在其左侧, 江南南部初夏雨季开始建立并稳定。6 月下旬副热带西风再次加强北抬,

江淮流域梅雨区开始入梅, 江南南部初夏雨季逐渐结束。显然, 华南前汛期并不是直接“跳”到江淮梅雨期, 江南南部初夏雨季是一个兼具独立性和连续性的过渡阶段。

江南南部初夏雨季平均在 6 月第 3 候开始, 对比 6 月第 3 候与第 2 候的 850 hPa 风场分布 (图 8a, b), 明显的变化是印度洋和孟加拉湾向东北延伸的低层急流与西太平洋副高西北侧的气流连通形成了低层急流大风带 (以 5 m s^{-1} 为代表), 这是印度洋夏季风加强和副热带高压加强北跳西伸共同作用的结果。急流大风带覆盖了华南地区, 北缘达到福建中部和江西南部, 此时, 位于急流大风带左侧的江南南部进入初夏雨季阶段。比较江南南部初夏雨季开始前后的风场变化 (图 8c), 发现西太平洋上存在一个反气旋式风场差。我们比较了江南南部初夏雨季期间的逐候风场变化差 (图略), 发现始终存在这样一个反气旋式风场差, 并且位置逐步西移, 这可能反映了副高演变的气流引导机制, 反气旋式风场差利于副高不断加强并西伸北抬。

江南南部初夏雨季平均在 6 月底结束, 此时低层急流大风带已经覆盖了江南南部地区, 雨带北抬, 并且从 6 月第 6 候到 7 月第 1 候出现了风速减弱 (图 8d, e)。而雨季结束前后的风场变化看到一

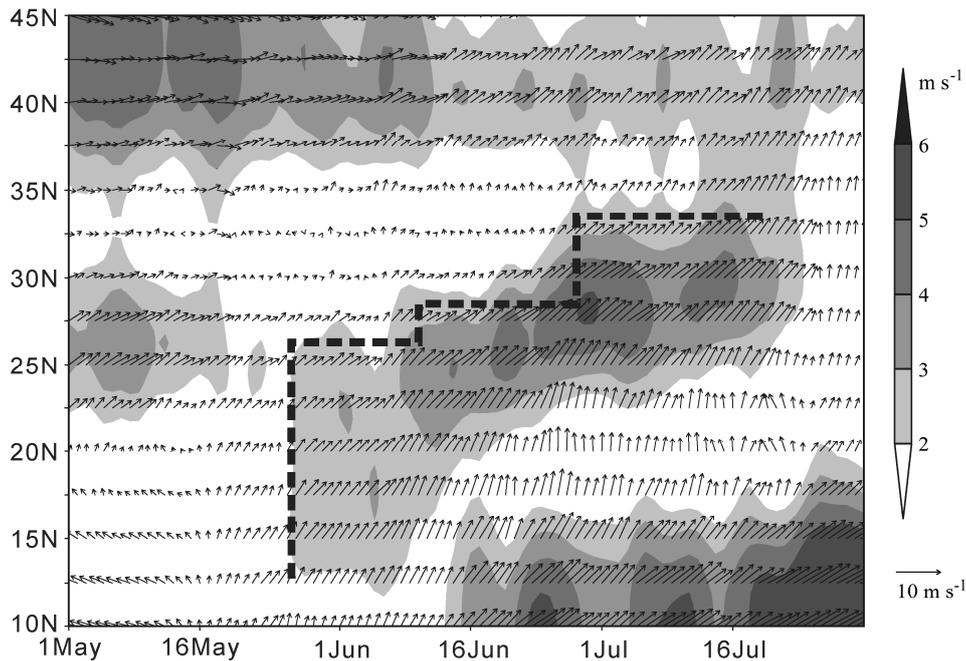


图7 1961~2010年平均沿117.5°E的850 hPa风场纬度—时间演变。矢量表示风速风向；阴影区表示风速大于 2 m s^{-1} ；虚线表示三个相对稳定阶段
Fig.7 Latitude-time section of the 1961-2010 averaged 850-hPa wind field along 117.5°E. Vectors denote wind field; shaded areas denote wind speed are greater than 2 m s^{-1} ; dashed line means the three relative stable stages

个非常有意思的现象，就是与雨季开始和雨季期间截然不同，西太平洋上是一个气旋式风场差（图8f）。我们还发现，6月第6候在中国东部沿海存在一个反气旋式风场差的同时在热带太平洋上出现了气旋式风场差（图略），随后副高开始东退，到7月第1候江南南部初夏雨季结束时西太平洋上只有气旋式风场差了。

4.4 高空和低空急流位置

急流大风带的建立标志着西南风和东南季风会合，其形成、加强、减弱等过程，与江南南部初夏雨季的开始、发展、结束等过程具有很好的对应关系。

沿117.5°E分析高空急流和低空急流的纬度—时间演变（图略）。对流层低层有一个偏东风区，纬向风分量0等值线代表了东西风分界线，也表示低空风场中切变线的轴线（赵思雄等，2004），江南南部初夏雨季就发生在急流带的斜面下方。高空200 hPa有一个强的急流中心向低层伸展，形成一个自上而下、从高纬度向低纬度倾斜的急流带。高空200 hPa急流中心在初夏第5候（6月6~10日）出现第一次北跳，江南南部初夏雨季随即开始。江南南部初夏雨季结束时，高空200 hPa急流中心第二次北跳，初夏第10候（7月1~5日）到达最北

端39°N。

图9为1961~2010年平均的江南南部初夏雨季开始前一候、雨季期间、结束后一候的高空和低空急流演变。江南南部初夏雨季开始前（图9a），低空急流处在西太平洋副高西北侧，远离中国大陆；随着副高加速西伸，印度洋和孟加拉湾向东北延伸的低层急流与西太平洋副高西北侧的气流连通形成了低层急流大风带，与其北侧上空的高空急流耦合，处在低层急流大风带左侧（北缘）、高空急流入口区右侧的江南南部地区就进入了初夏雨季阶段（图9b）；江南南部初夏雨季结束后（图9c），高、低空急流减弱北抬，江南南部被低层大风区覆盖，因而雨带移出江南南部。

5 结论

综上所述，得到以下主要结论：

（1）江南南部初夏降水具有时段和落区的集中性，是独立的江南南部初夏雨季。华南前汛期并不是直接“跳”到江淮梅雨期，而是在江南南部有一条过渡雨带，为区别于江淮梅雨，称之为江南南部初夏雨季。江南南部初夏雨季与江淮梅雨及华南前汛期的分界线在27.5°N和29.5°N附近，近50年江南南部初夏雨季的平均发生时间在6月11~30日，

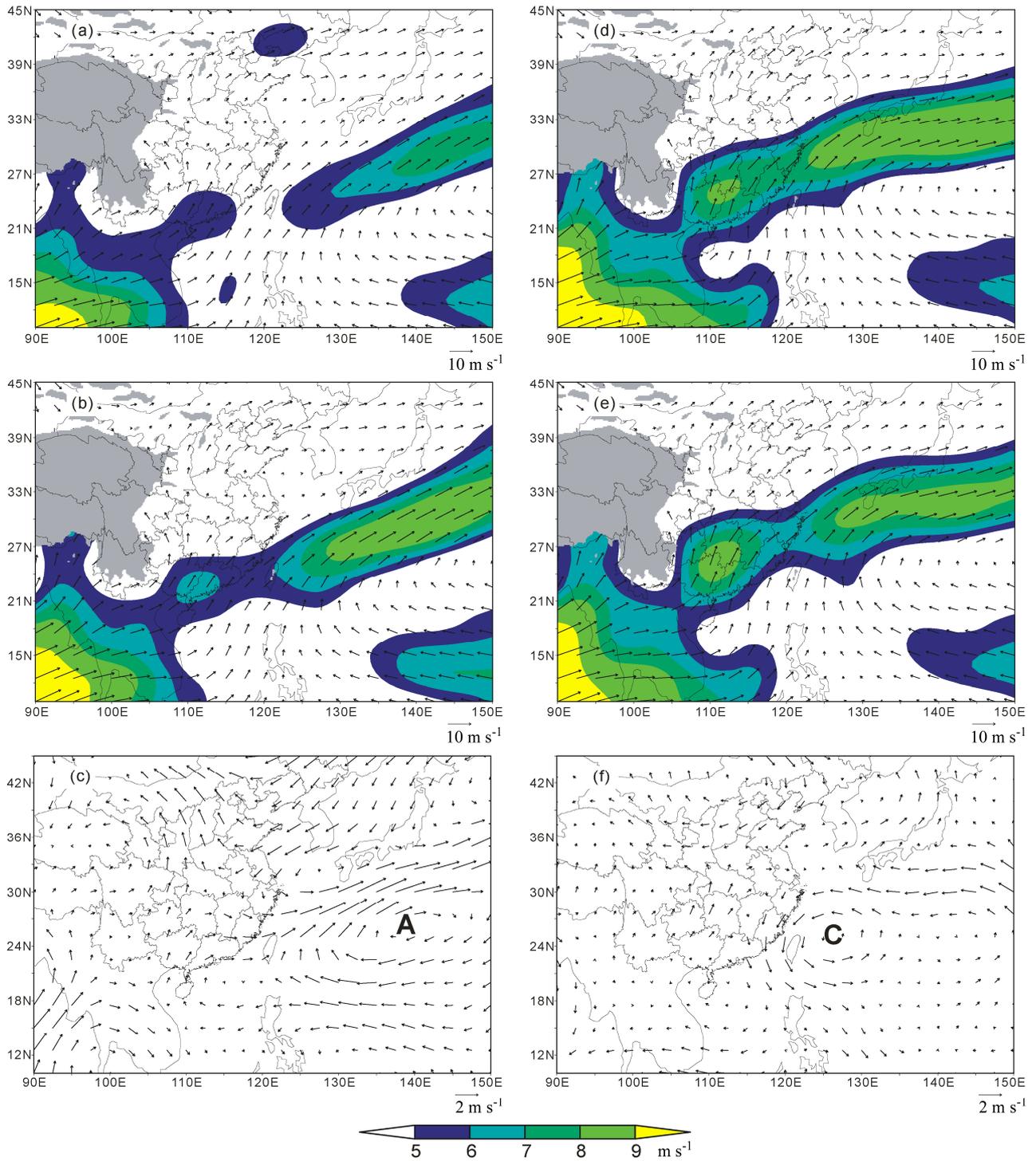


图 8 1961~2010 年平均 850 hPa 风场 (单位: m s^{-1}) 在雨季起讫前后的分布及其变化: (a) 6 月第 2 候; (b) 6 月第 3 候; (c) 6 月第 2 候到第 3 候的变化差; (d) 6 月第 6 候; (e) 7 月第 1 候; (f) 6 月第 6 候到 7 月第 1 候的变化差。矢量表示风速风向; 彩色阴影区表示风速大于 5 m s^{-1} ; 灰色阴影区表示高度大于 1500 m 的青藏高原地形

Fig. 8 The spatial distributions and variations of 1961–2010 averaged 850-hPa wind fields (unit: m s^{-1}) during the beginning and ending of the rainy season: (a) In the pentad of 5–10 June; (b) in the pentad of 11–15 June; (c) the difference between (b) and (a); (d) in the pentad of 26–30 June; (e) in the pentad of 1–5 July; (f) the difference between (e) and (d). Vectors denote wind field, color shadings denote wind speed are greater than 5 m s^{-1} . Gray shading denotes the Tibetan Plateau topography with height over 1500 m

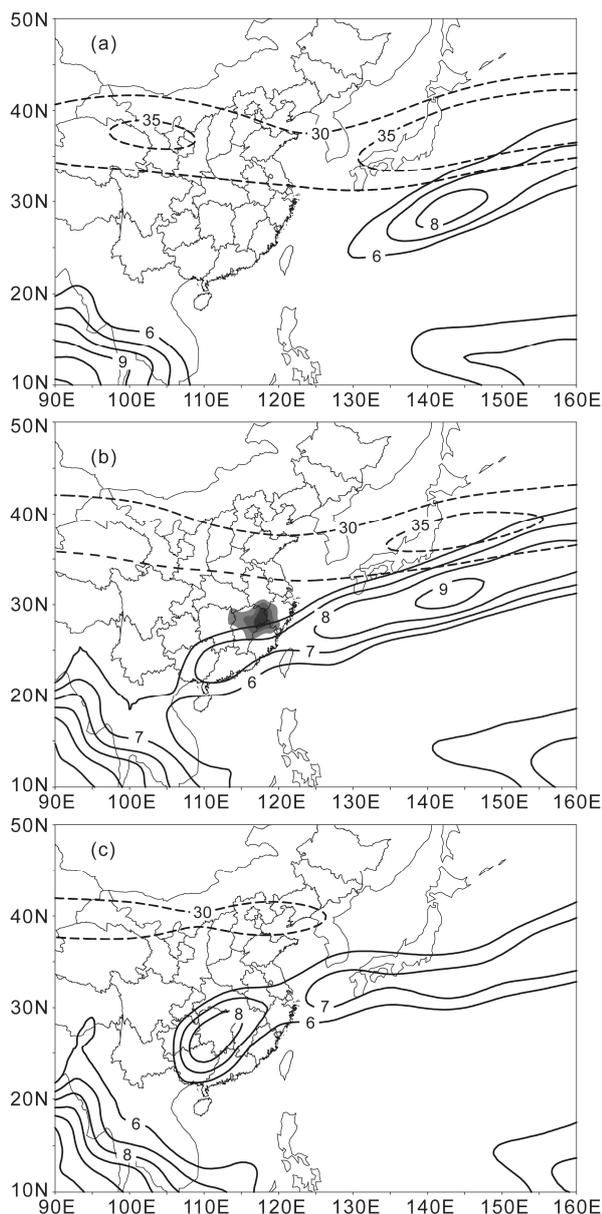


图 9 1961~2010 年平均江南南部初夏雨季前后的高空西风急流及低空急流 (单位: m s^{-1}): (a) 雨季开始前 1 候; (b) 雨季期间 (阴影区由浅至深为雨季期间平均降水量大于 200、250 和 300 mm 的区域); (c) 雨季结束后 1 候。虚线表示 200 hPa 大于等于 30 m s^{-1} 的等风速线; 实线表示 850 hPa 大于等于 6 m s^{-1} 的等风速线

Fig. 9 Patterns of 1961–2010 averaged upper level westerly jet and low level jet (units: m s^{-1}): (a) In the pentad before the early summer rainy season start; (b) during the early summer rainy season (shaded areas from gray to black denote precipitations greater than 200, 250, and 300 mm during the early summer rainy season, respectively); (c) in the pentad after the end of the early summer rainy season. Dashed lines denote 200-hPa wind speed greater than 30 m s^{-1} and solid lines denote 850-hPa wind speed greater than 6 m s^{-1}

比江淮梅雨早 8~10 天。

(2) 西太平洋副高的西伸东退是江南南部初夏雨季发生发展的重要大气环流背景, 副高西伸脊点

位置具有重要意义, 这可能是江南南部初夏雨季和江淮梅雨的重要差别, 通常认为后者与副高北跳紧密联系。6 月上旬西太平洋副高出现了一次突变性加速西伸, 850 hPa 副高西伸脊点到达最西位置 133°E 附近, 江南南部初夏雨季随后开始; 6 月第 6 候副高在 500 hPa 继续西伸北抬, 脊线北跳到台湾以东洋面 25°N 附近, 同时在 850 hPa 高度则从最西位置东退北抬, 江南南部初夏雨季结束。江南南部初夏雨季和江淮梅雨分别对应于西太平洋副高的西伸主导阶段和北抬主导阶段, 江南南部初夏雨季发生在西太平洋上西部关键区 ($15^\circ\sim 30^\circ\text{N}$, $120^\circ\sim 127.5^\circ\text{E}$) 内 850 hPa 平均位势高度相对稳定的强盛期, 而江淮梅雨对应于西太平洋上北部关键区 ($25^\circ\sim 30^\circ\text{N}$, $120^\circ\sim 150^\circ\text{E}$) 内 850 hPa 平均位势高度相对稳定的强盛期。

(3) 低层急流大风带的形成和位置是江南南部初夏雨季发生发展的重要动力条件, 降水集中区位于低层急流大风带左侧、高空急流入口区右侧。850 hPa 高度纬向风的季节内演变具有明显的阶段性特征, 三个相对稳定期与华南前汛期、江南南部初夏雨季、江淮梅雨具有同步对应关系。当 6 月第 3 候副热带西风突然加强并且从 25°N 向北推进到 27.5°N , 印度洋和孟加拉湾向东北延伸的低层急流与西太平洋上副高西北侧的气流连通形成了 850 hPa 低层急流大风带, 并与北侧上空的高空急流垂直偶合形成高一低空急流带斜面, 在其下方, 处在低层急流大风带左侧 (北缘)、高空急流入口区右侧的江南南部进入初夏雨季阶段。6 月第 6 候急流减弱并北抬, 雨带中心也随之移到江淮梅雨区, 此时江南南部处在 850 hPa 急流大风带覆盖下, 江南南部初夏雨季结束。

致谢 感谢审稿专家和编辑提出宝贵意见建议。

参考文献 (References)

- 陈兴芳, 赵振国. 2000. 中国汛期降水预测研究及应用 [M]. 北京: 气象出版社, 76–153. Chen Xingfang, Zhao Zhenguo. 2000. Research and Application of Rainfall Prediction during Rainy Season in China (in Chinese) [M]. Beijing: China Meteorological Press, 76–153.
- 丁一汇, 李崇银. 1999. 南海季风爆发和演变及其与海洋的相互作用 [M]. 北京: 气象出版社, 1–4. Ding Yihui, Li Chongyin. 1999. Onset and Evolution of the South China Sea Monsoon and Its Interaction (in Chinese) [M]. Beijing: China Meteorological Press, 1–4.
- Ding Y H, Li C Y, Liu Y J. 2004. Overview of the South China Sea monsoon experiment [J]. Adv. Atmos. Sci., 21 (3): 343–360.
- Ding Y H, Chan J C L. 2005. The East Asian summer monsoon: An

- overview [J]. *Meteor. Atmos. Phys.*, 89 (1–4): 117–142.
- 丁一汇, 柳俊杰, 孙颖, 等. 2007. 东亚梅雨系统的天气—气候学研究 [J]. *大气科学*, 31 (6): 1082–1101. Ding Yihui, Liu Junjie, Sun Ying, et al. 2007. A study of the synoptic-climatology of the Meiyu system in East Asia [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 31 (6): 1082–1101.
- 冯锦明, 赵天保, 张英娟. 2004. 基于台站降水资料对不同空间内插方法的比较 [J]. *气候与环境研究*, 9 (2): 261–277. Feng Jinming, Zhao Tianbao, Zhang Yingjuan. 2004. Intercomparison of spatial interpolation based on observed precipitation data [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 9 (2): 261–277.
- 何金海, 祁莉, 韦晋, 等. 2007. 关于东亚副热带季风和热带季风的再认识 [J]. *大气科学*, 31 (6): 1257–1265. He Jinhai, Qi Li, Wei Jin, et al. 2007. Reinvestigations on the East Asian subtropical monsoon and tropical monsoon [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 31 (6): 1257–1265.
- 胡娅敏, 丁一汇, 廖菲. 2008. 江淮地区梅雨的新定义及其气候特征 [J]. *大气科学*, 32 (1): 101–112. Hu Yamin, Ding Yihui, Liao Fei. 2008. A study of updated definition and climatological characters of Meiyu season in the Yangtze–Huaihe region [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 32 (1): 101–112.
- 黄荣辉, 顾雷, 徐予红, 等. 2005. 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 [J]. *大气科学*, 29 (1): 20–36. Huang Ronghui, Gu Lei, Xu Yuhong, et al. 2005. 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 [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 29 (1): 20–36.
- 江志红, 何金海, 李建平, 等. 2006. 东亚夏季风推进过程的气候特征及其年代际变化 [J]. *地理学报*, 61 (7): 675–686. Jiang Zhihong, He Jinhai, Li Jianping, et al. 2006. Northerly advancement characteristics of the East Asian summer monsoon with its interdecadal variations [J]. *Acta Geographica Sinica (in Chinese)*, 61 (7): 675–686.
- 李崇银, 王作台, 林士哲, 等. 2004. 东亚夏季风活动与东亚高空西风急流位置北跳关系的研究 [J]. *大气科学*, 28 (5): 641–658. Li Chongyin, Wang Joughtai, Lin Shizhei, et al. 2004. The relationship between East Asian summer monsoon activity and northward jump of the upper westerly jet location [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 28 (5): 641–658.
- 陆日宇. 2004. 夏季西太平洋副热带高压的年际变化 [M]//黄荣辉, 李崇银, 王绍武, 等. 我国旱涝重大气候灾害及其形成机理研究. 北京: 气象出版社, 139–177. Lu Riyu. 2004. Interannual variation of the western Pacific subtropical high in summer [M] //Huang Ronghui, Li Chongyin, Wang Shaowu, et al. *Studies on Formation Mechanism of Severe Climatic Disasters in Drought and Flood (in Chinese)*. Beijing: China Meteorological Press, 139–177.
- Lu R Y. 2002. Indexes of the summertime western North Pacific subtropical high [J]. *Adv. Atmos. Sci.*, 19 (6): 1004–1028.
- 马音, 陈文, 王林. 2011. 中国夏季淮河和江南梅雨期降水异常年际变化的气候背景及其比较 [J]. *气象学报*, 69 (2): 334–343. Ma Yin, Chen Wen, Wang Lin. 2011. A comparative study of the interannual variation of summer rainfall anomalies between the Huaihe Meiyu season and the Jiangnan Meiyu season and their climate background [J]. *Acta Meteorologica Sinica (in Chinese)*, 69 (2): 334–343.
- 毛文书, 王谦谦, 李国平, 等. 2008. 近 50a 江淮梅雨的区域特征 [J]. *气象科学*, 28 (1): 68–73. Mao Wenshu, Wang Qianqian, Li Guoping, et al. 2008. Regional features of the precipitation over the Changjing–Huaihe region during the Meiyu period [J]. *Scientia Meteorologica Sinica (in Chinese)*, 28(1): 68–73.
- 牛若芸, 苏爱芳, 马杰, 等. 2011. 典型南涝(旱)北旱(涝)梅雨大气环流特征差异及动力诊断分析 [J]. *大气科学*, 35 (1): 95–104. Niu Ruoyun, Su Aifang, Ma Jie, et al. 2011. The difference of the atmospheric circulation features and dynamical diagnosis about the typical Meiyu patterns of southern flood (drought) and northern drought (flood) [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 35 (1): 95–104.
- Qian W H, Kang H S, Lee D K. 2002. Distribution of seasonal rainfall in the East Asian monsoon region [J]. *Theor. Appl. Climatol.*, 73 (3): 151–168.
- 施能. 2002. 气象统计预报(第二版) [M]. 北京: 气象出版社, 174–183. Shi Neng. 2002. *Statistic Analysis and Forecast Methods in Meteorology (2nd ed.) (in Chinese)* [M]. Beijing: China Meteorological Press, 174–183.
- 苏同华, 薛峰. 2010. 东亚夏季风环流和雨带的季节内变化 [J]. *大气科学*, 34 (3): 611–628. Su Tonghua, Xue Feng. 2010. The intraseasonal variation of summer monsoon circulation and rainfall in East Asia [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 34 (3): 611–628.
- 万日金, 吴国雄. 2008. 江南春雨的时空分布 [J]. *气象学报*, 66 (3): 310–319. Wan Rijin, Wu Guoxiong. 2008. Temporal and spatial distribution of the spring persistent rains over southeastern China [J]. *Acta Meteorologica Sinica (in Chinese)*, 66 (3): 310–319.
- 王遵娅, 丁一汇. 2008. 中国雨季的气候学特征 [J]. *大气科学*, 32 (1): 1–13. Wang Zunya, Ding Yihui. 2008. Climatic characteristics of rainy seasons in China [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 32 (1): 1–13.
- 徐海明, 何金海, 周兵. 2001. 江淮入梅前后大气环流的演变特征和西太平洋副高北跳西伸的可能机制 [J]. *应用气象学报*, 12 (2): 150–158. Xu Haiming, He Jinhai, Zhou Bing. 2001. The features of atmospheric circulation during Meiyu onset and possible mechanisms for westward extension (northward shift) of Pacific subtropical high [J]. *Quarterly Journal of Applied Meteorology (in Chinese)*, 12 (2): 150–158.
- 张庆云, 陶诗言. 2003. 夏季西太平洋副热带高压异常时的东亚大气环流特征 [J]. *大气科学*, 27 (3): 369–380. Zhang Qingyun, Tao Shiyan. 2003. The anomalous subtropical anticyclone in western Pacific and their association with circulation over East Asia during summer [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 27 (3): 369–380.
- Zhang Z Q, Chan J C L, Ding Y H. 2004. Characteristics, evolution and mechanisms of the summer monsoon onset over Southeast Asia [J]. *Int. J. Climatol.*, 24 (12): 1461–1482.
- 赵思雄, 陶祖钰, 孙建华, 等. 2004. 长江流域梅雨锋暴雨机理的分析研究 [M]. 北京: 气象出版社, 33–40. Zhao Sixiong, Tao Zuyu, Sun Jianhua, et al. 2004. Study on the Mechanism of the Formation and Development of Heavy Rainfall on the Meiyu Front in Yangtze River (in Chinese) [M]. Beijing: China Meteorology Press, 33–40.
- 竺夏英, 何金海, 吴志伟. 2007. 江淮梅雨期降水经向非均匀分布及异

常年特征分析 [J]. 科学通报, 52 (8): 951–957. Zhu Xiaying, He Jinhai, Wu Zhiwei. 2007. Meridional seesaw-like distribution of the Meiyu rainfall over the Changjiang–Huaihe River valley and characteristics in the anomalous climate years [J]. Chinese Science Bulletin, 52 (17): 2420–2428.

宗海锋, 张庆云, 陈烈庭. 2006. 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 [J]. 大气科学, 30 (6): 1189–1197. Zong Haifeng, Zhang Qingyun, Chen Lieting. 2006. Temporal and spatial variations of precipitation in eastern China during the Meiyu period and their relationships with circulation and sea surface temperature [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 30 (6): 1189–1197.