

2018年南京梅雨异常特征及环流分析

金琼^①,戴竹君^{①②*},李聪^①,李菁^①^① 南京市气象局,江苏 南京 210019;^② 中国气象局 交通气象重点开放实验室,江苏 南京 210009

* 联系人, E-mail: daizhujun99@163.com

2019-12-12 收稿, 2020-03-05 接受

华东区域气象科技协同创新基金合作项目(QYHZ201604);南京市气象局自立课题科研项目(NJ202004;NJ202006)

摘要 利用自动站降水数据和 NCEP/NCAR 再分析资料,结合江苏入、出梅指标对 2018 年南京梅雨进行讨论,分析导致当年南京梅雨异常的环流因子特征。结果表明: 1) 当年入梅偏晚、出梅正常,梅雨分布不均匀,总量偏少,其中南部异常偏少 8 成; 2) 前期南支槽活动频繁,副热带高压相比同期偏南,季节北跳偏迟,且南亚高压主体偏强,位置偏东偏北,导致入梅偏迟; 3) 入梅后,副热带高压大幅度北抬,南亚高压东伸明显,加之东北冷涡活动弱,使得冷暖气流交汇偏北,因此江苏沿江地区梅雨量偏少; 4) 南京地区的梅雨量与 6—7 月副热带高压的南北跨度具有显著的负相关; 5) 东亚夏季风偏强时,南京中北部地区的梅雨量很可能偏少。

关键词梅雨;
副热带高压;
南亚高压;
南北跨度;
强东亚夏季风

梅雨是长江中下游地区的一种气候现象,是东亚夏季风季节性北推的产物(陶诗言和朱福康, 1964; Tao and Chen, 1987; Ding and Chan, 2005; 周曾奎, 2006; Ge et al., 2008)。东亚夏季风属于亚洲夏季风的一个分支,当亚洲夏季风于 5 月初在中印半岛的中部和南部爆发之后,沿两条路径推进,其中之一以北和东北方向推进到东亚地区(中国长江流域、日本等地),预示江淮地区梅雨季节的开始(丁一汇等, 2007; Zhu et al., 2008; Wang et al., 2009)。由于梅雨是江淮流域的降水集中期(郝志新等, 2009),因此对入、出梅的日期以及梅雨总量的准确预测是汛期工作的重要保障,但目前这个科学问题对于业务部门而言仍然具有很大的挑战(沈澄等, 2014)。

许多学者致力于分析对梅雨起关键作用的大尺度环流系统,以及江淮梅雨形成的物理机制(Tao and Chen, 1987; 刘梅等, 2008; Wang et al., 2009; 朱伟军等, 2016; 王志毅等, 2017)。丁一汇等(2007)研究发现当东亚夏季风向北推进至东亚地区时,可监测到梅雨的开始,而与东亚夏季风密切相关的环

流主要是高空西风急流和西北太平洋副热带高压。李崇银等(2004)发现高空西风急流的位置平均于 6 月 7 日左右发生第二次季节北跳(30°~33°N 北跳到 35°N 以北),是江淮梅雨开始的重要前期信号。大量文献表明,西北太平洋副热带高压(简称副高,下同)、南亚高压以及高空西风急流均是东亚夏季风系统的重要环流成员,而江淮梅雨作为东亚夏季风向北推进的产物,与上述环流存在密切联系,另外有研究指出高空槽亦是影响江淮梅雨的关键因子。

副高是梅雨期间环流系统的重要成员之一,其强度、南北向的跳跃以及东西向的进退与梅雨存在密切的关系(陶诗言和朱福康, 1964; Lu, 2002; 丁一汇等, 2007; 余丹丹等, 2014)。牛若芸和金荣花(2009)在分析 2008 年江淮梅雨的特征时,表明东亚大气环流季节性转换的提前导致了当年入梅显著偏早,主要表现为高空西风急流的北跃以及副高季节性北跳均比常年偏早。Lu(2002)的结论是副高东西向指数(或西伸指数)比南北向指数(或北界指数)对应着更显著的降水异常。由于业务中使用的副高指数存在局限性,刘芸芸等(2012)综合 500

引用格式:金琼,戴竹君,李聪,等,2020.2018年南京梅雨异常特征及环流分析[J].大气科学学报,43(3):557-567.

Jin Q, Dai Z J, Li C, et al., 2020. Characteristics and associated circulation analysis of Meiyu anomalies in 2018 in Nanjing[J]. Trans Atmos Sci, 43(3): 557-567. doi: 10.13878/j.cnki.dqkxxb.20191212002. (in Chinese).

hPa 高度场和纬向风切变对副高脊线指数进行重新定义,发现其与我国夏季长江流域降水之间存在显著相关。

南亚高压作为北半球夏季 100 hPa 最强大、最稳定的环流系统,其在东亚的部分是东亚夏季风的主要系统成员,对江淮梅雨的起始、强度有着重要影响(Tao and Chen, 1987)。刘梅等(2008)研究发现南亚高压前期的位置、强度与高空西风槽共同影响江淮梅雨开始的时间以及梅雨总量,当南亚高压强度偏强位置偏东,且中高纬地区受高压脊控制,冷空气活动弱时,当年的梅雨总量偏少。

江淮梅雨属于东亚夏季风阶段性北推的产物,因此东亚夏季风爆发的早晚、强度是影响梅雨的重要因子(Tao and Chen, 1987; 丁一汇等, 2007)。张庆云等(2003)指出江淮流域的降水与热带季风槽、副热带梅雨锋的强度密切相关,当热带季风槽偏弱(即弱季风),梅雨锋偏强时,江淮流域的降水偏多,容易导致夏季长江流域出现暴雨洪涝灾害,但并不是东亚夏季风环流偏弱的所有年份,长江流域都一定会出现暴雨洪涝。

不仅如此,长江中下游梅雨与6—7月的东北冷涡呈显著正相关,即当东北冷涡偏强时,长江中下游梅雨偏多,梅期偏长;反之亦然(何金海等, 2006)。苗春生等(2017)通过 WRF 模式研究梅雨期间,大别山地形对浅薄低涡的强迫机制,结果表明地形对低涡移动有阻挡作用,并且影响低涡的位置,从而进一步影响梅雨强降水雨带的南北移动。

综上所述,影响江淮梅雨的大气环流是复杂的,且每年影响梅雨的主导因素又不尽相同,给梅雨预报带来很大的难度,因此出入梅时间以及梅雨量的预测、梅汛期强降水的落区预报一直是汛期工作的难点。虽然 2018 年南京地区梅雨量偏少,未出现明显的洪涝灾害,但分析当年梅雨的特征以及导致当年梅雨异常的环流因子,对将来梅雨预测有着重要的科学意义。因此本文对 2018 年入出梅的时间进行了讨论,然后分析导致南京入梅偏晚、梅雨量偏少的大气环流因子特征,并且针对南京地区,着重分析副高(脊线位置)以及东亚夏季风的强度与当地梅雨之间的联系,为今后的梅雨预报提供可参考的指示因子。

1 资料和方法

1.1 资料

1) 2018 年 6—7 月江苏自动站逐日降雨量;

2) 2018 年 6—7 月 NCEP/NCAR 再分析资料,包括全球各层逐日高度场、风场、温度场和湿度场,空间分辨率 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$;

3) 国家气候中心提供的 74 项环流指数 (<https://www.ncc-cma.net/cn/>)。

常年平均值采用的是 1981—2010 年气象数据,包括 NCEP/NCAR 再分析资料和南京梅雨资料,计算得到南京常年平均入梅日、出梅日分别为 6 月 18 日、7 月 10 日。

1.2 梅雨强度评估

关于梅雨特征的描述主要分为梅期和梅雨量两方面,引用梅雨强度指数 (M) (周曾奎, 2006) 对梅雨年型进行定量分级,计算公式为:

$$M = \frac{L}{\bar{L}} + \frac{\sum R/L}{2 \sum \bar{R}/\bar{L}} + \frac{\sum R}{\sum \bar{R}} \quad (1)$$

其中: M 为梅雨强度指数; L 为某一年梅雨长度(单位: d), \bar{L} 为历史平均梅期长度(单位: d); $\sum R$ 为苏州、南通、南京和淮安 4 站的某一年梅雨总量平均值(单位: mm), $\sum \bar{R}$ 为 4 站梅雨总量的多年平均值(单位: mm), \bar{R} 取 223 mm 。根据 M 值对梅雨进行等级划分, $M \geq 3.1$, 丰梅年; $M \leq 2.0$, 旱梅年; $M \geq 3.5$, 大涝年; $M \leq 1.5$, 大旱年; $2.0 < M < 3.1$, 正常年。

1.3 各特征指数的定义

采用面积指数、强度指数、脊线位置和西伸脊点来反映副高的特征(国家气候中心),通过南亚高压的脊线和东伸指数来表征南亚高压的特征(刘梅等, 2008)。以下是 6 项特征指数的具体定义:

1) 副高面积指数: 在 $5^{\circ} \times 10^{\circ}$ 网格 500 hPa 位势高度场上, $10^{\circ}N$ 以北, $110^{\circ} \sim 180^{\circ}E$ 范围内, 平均位势高度大于 588 dagpm 网格点数;

2) 副高强度指数: 对平均位势高度大于 588 dagpm 网格点的位势高度平均值与 587 dagpm 之差值进行累计(即 588 dagpm 为 1, 589 dagpm 为 2, 590 dagpm 为 3, 以此类推), 此累计值定义为副高强度指数;

3) 副高脊线位置: 取 $110^{\circ} \sim 150^{\circ}E$ 范围内副高脊线与 9 条经线(每 2 条经线之间相差 5°) 交点的平均纬度值;

4) 副高西伸脊点: 取 $90^{\circ} \sim 180^{\circ}E$ 范围内 588 dagpm 等高线最西位置所在的经度;

5) 南亚高压脊线: 南亚高压中心东西向轴线与 $110^{\circ} \sim 120^{\circ}E$ 经线交点处的纬度;

6) 东伸指数: 100 hPa 上 1 676 dagpm 等高线东

脊点的经度(若南亚高压较强,无闭合的1676 dagpm等高线时,东伸指数用1680 dagpm等高线东脊点的经度代替)。

2 2018年南京梅雨异常分析

2.1 入梅日界定

梅雨是一个气候概念,或认为是一种中期天气过程,是东亚大气环流季节性转换过程中的产物(Tao and Chen, 1987; 周曾奎, 2006; 李建国等, 2012)。研究早期,通常采用加尔各答500 hPa稳定西风的结束,作为入梅的前期信号。气候平均而言,6月16日,加尔各答500 hPa稳定西风结束,出现东、西风相间,一般早于入梅一星期左右。21日,副高北抬、温度线北抬,500 hPa上120°E副高脊线超过20°N,120°E的-8℃等温线越过35°N。随着观测资料的不断完善,研究者不再仅以某个地点的风向转变作为界定梅雨开始或结束的指标,而是将梅雨视为东亚大气环流季节性调整的产物。Tao and Chen(1987)指出当低空盛行偏南风,而高空为北风时,且在110°~120°E形成闭合的季风环流圈,东亚夏季风爆发。本文将从高低空经向风之差、水汽输送以及季风环流圈的建立等方面探讨2018年南京入梅时间。

图1是2018年6月1日—7月15日南京站各气象要素的逐日变化,可以看出上下层经向风之差(850 hPa与200 hPa经向风之差)(图1a)于6月21日在副热带地区存在符号的反转,之后维持正值,并且逐渐增大,于6月24—25日在30°~40°N地区出现极大值中心。虽然6月26日存在0~5 m/s的小值,但维持的时间较短,7月1日起经向风之差再次增强,考虑6月26日—30日为强经向风之差的间歇期,这是由于低层(850 hPa)风场的减弱导致的,预示此期间梅雨偏弱。

水汽方面,图1b显示了西南季风水汽通量(110°~120°E平均的850 hPa水汽通量)的逐日演变,6月21日季风水汽输送突然北抬,至7月9日,水汽通量的大值区维持在25°~35°N,但与6月中旬低纬度(10°~20°N)的水汽通量相比,长江中下游地区的水汽输送明显偏弱。从700 hPa相对湿度的逐日演变(图1c)可以看到,6月18日大湿区北跳至27°N以北,6月21—26日湿度的极大值中心稳定维持在27°~31°N地区,7月9日再次北跳至36°N以北地区。6月26—30日,700 hPa湿度条件较差,预示梅雨的间断,这与之前的分析(上下层经向

风之差较弱)是对应的。

图1d给出了850 hPa假相当位温随时间的演变,假相当位温是包含温度、湿度、气压的一个综合物理量,特别适合表征气团特性。当暖湿的季风气团北上与其他气团形成锋区,其南侧为高温高湿舌,北侧为强假相当位温梯度带,因此假相当位温梯度带可以反映锋面位置。在图1d中可发现,6月18日假相当位温密集带北跳至30°~33°N,说明此时锋面已到达东亚副热带地区,预示江淮地区已具备梅雨的热力特征。

从图1e中可以看出6月12日高低空环流开始发生调整,对流层高层转为北风,而低空盛行南风,达到季风环流圈建立的标准,但是此环流结构维持的时间很短暂,之后冷空气强盛,导致整层对流层均盛行偏北风,直至6月21日南京地区才稳定维持季风环流圈。从上述多项环流指标来看,6月21日入梅形势已经调整到位。但入梅的界定除考虑环流调整外,还需要结合降雨是否出现,由于6月21日南京无雨,22日沿江苏南地区出现了小到中雨(图1f),综合考虑,将6月22日定为入梅日较为合理。

2.2 入梅后5 d无降雨原因分析

6月22日南京宣布入梅后,仅22日当天出现雷阵雨,之后持续5 d无明显降雨。分析该时段的环流形势场,发现23日随着高空槽移出,江苏上空转为西北气流;24—26日持续受副高控制;27日虽然高空存在西风槽东移,受其影响,副高有所东撤,但西风槽的位置偏北,南京依然在副高控制区域内(图2),因此维持晴好天气。

由前文分析得到6月21日东亚副热带地区已经调整为梅雨环流型,但23—27日副高大幅度北抬、西伸,平均脊线维持在26.7°N,甚至比常年7月副高脊线的平均位置略北(表1)。

表1 副高各特征指数的平均值

Table 1 The average of character indexes of the Northwest Pacific subtropical high

时间	特征值			
	面积指数	强度指数	脊线位置	西伸脊点
2018年6月 23—27日	121.4	434.2	26.7	109.3
2018年6月	102.7	267.4	21.8	131.4
2018年7月	70	149.2	33.3	121.1
常年6月	68.4	136.9	21.5	126.4
常年7月	66.6	141.9	26.3	126.6

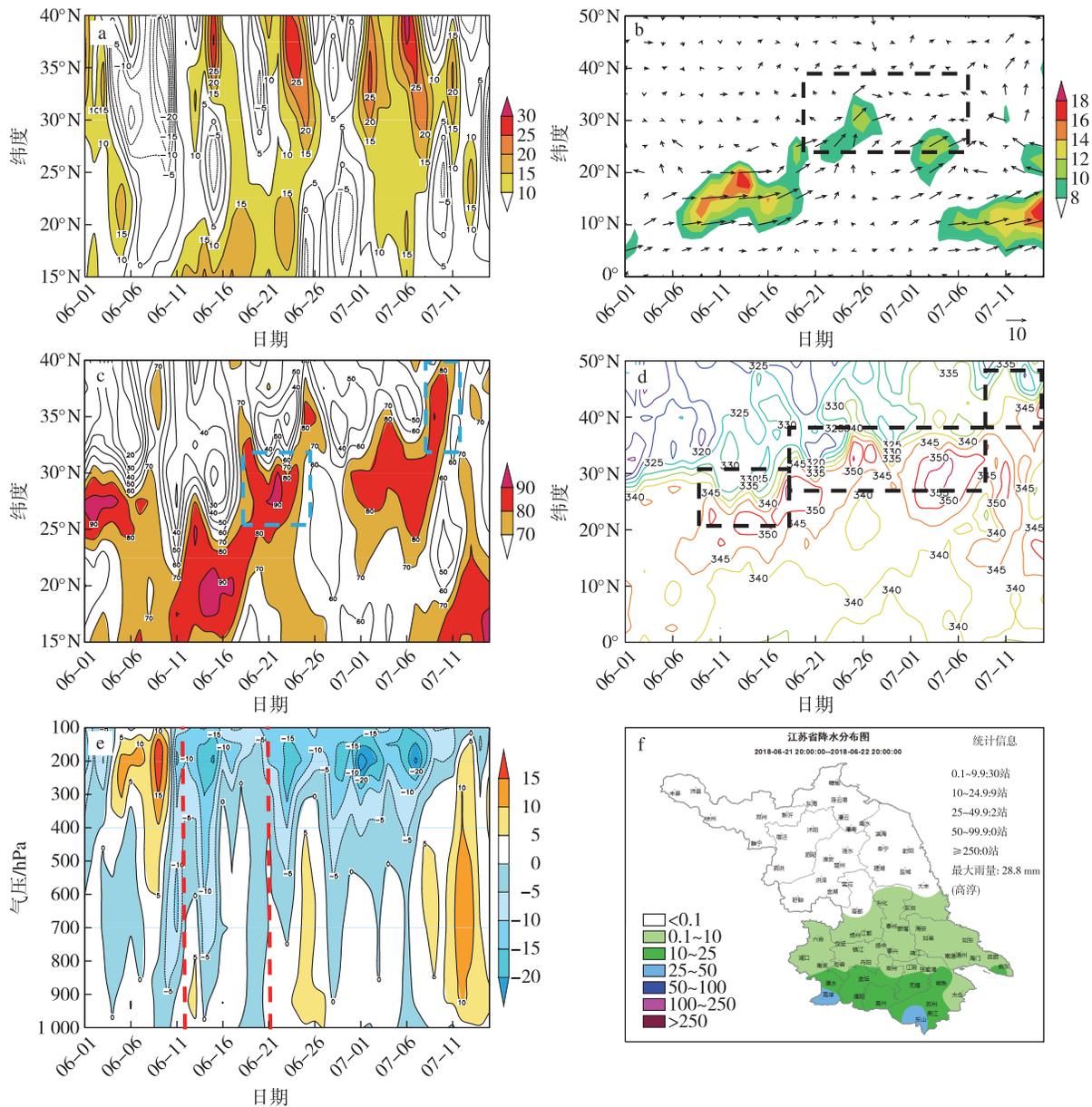


图1 6月1日—7月15日沿110°~120°E平均的850 hPa与200 hPa经向风之差(a;单位:m/s),850 hPa水汽通量(b;单位: $g \cdot cm^{-1} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$),700 hPa相对湿度(c;单位:%),850 hPa假相当位温(d;单位:K),南京站经向风速的垂直剖面(e;单位:m/s)以及6月22日江苏降雨分布(f;单位:mm)

Fig.1 The meridional mean within 110°—120° E of (a) the deviation of meridional wind between 850 hPa and 200 hPa (unit: m/s); (b) the vapor flux on the 850 hPa level (unit: $g \cdot cm^{-1} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$); (c) the relative humidity on the 700 hPa level (unit: %); and (d) pseudo-equivalent potential temperature (unit: K) from June 1 to July 15. The profile of the meridional wind of Nanjing station (e; unit: m/s) and the distribution of precipitation in Jiangsu Province on June 22 (unit: mm)

据国家气候中心数据显示,6月23—27日常年平均的副高面积、强度指数分别未超过100、300,而2018年同期副高面积、强度指数显著高于常年平均值(表1),不利于南京地区产生降水。因此入梅后,副高大幅度北抬西伸是南京地区无降雨的主要原因。

2.3 出梅合理性分析

7月9日开始,东亚地区的大气环流持续3 d 出

现以下特征:1) 500 hPa 副高北抬,120°E 副高脊线达到30°N,588 dagpm 等高线北缘越过32°N,且高空槽位置偏西,副高西进增强,江苏上空完全受高压控制,无冷空气影响;2) 温度线北抬,500 hPa 高空120°E 的-8℃等温线位置跃过40°N(图3a);3) 100 hPa 南亚高压继续东进增强,东伸指数大于130°E,南亚高压主体偏东达到日本一带(图3b);4) 850 hPa 水汽输送北抬,东南水汽成为主要水汽输送途

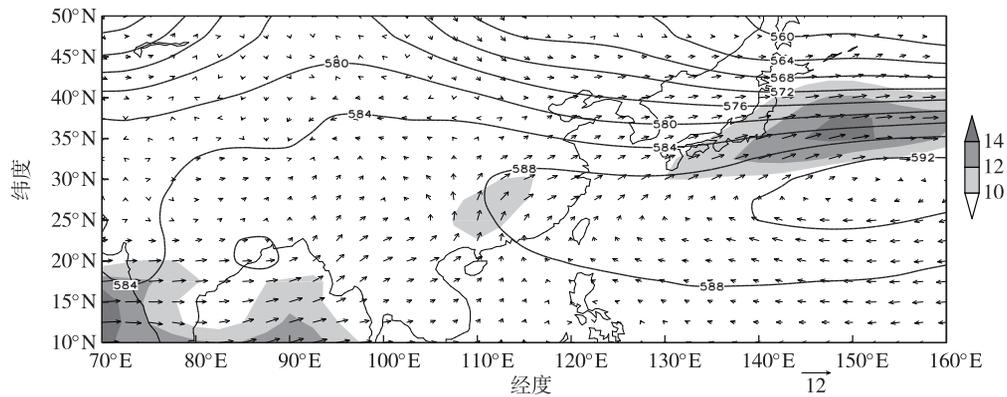


图2 2018年6月23—27日500 hPa平均高度场(等值线,单位:dagpm)和风场(箭矢,单位:m/s;阴影表示风速大于10 m/s的区域)

Fig.2 The average height(contoured,unit:dagpm) and wind(vector,unit:m/s) at 500 hPa from June 23 to 27,2018

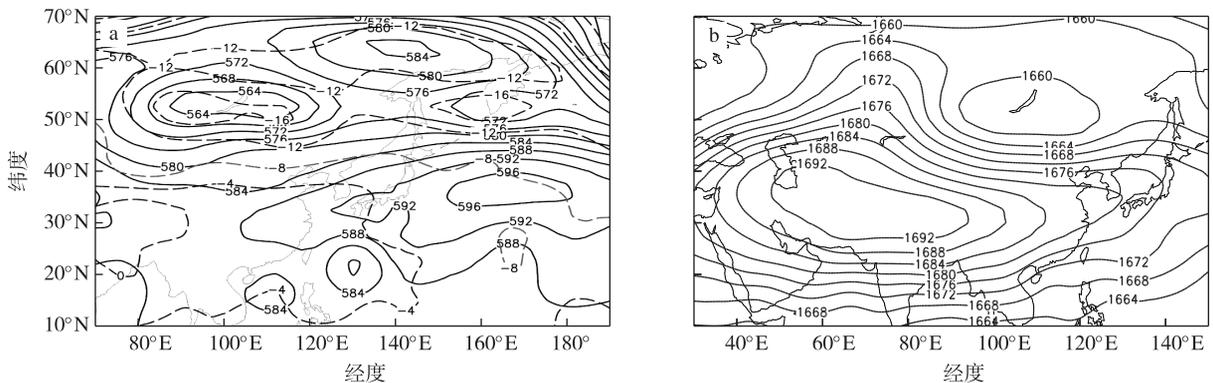


图3 7月9日08时500 hPa(a)、100 hPa(b)高度场和温度场分布(实线:等高线,单位:dagpm;虚线:等温线,单位:°C)

Fig.3 The height contour(solid line,unit:dagpm) and temperature contour(dotted line,unit:°C) at (a)500 hPa and (b)100 hPa at 08:00 BST of July 9

径(梅雨期间以西南水汽输送为主)(图1b),700 hPa大湿区再度北跳至36°N以北(图1c);5)假相当位温梯度带对应的梅雨锋位置,从7月9日开始北跳至40°~45°N(图1d)。综合来看,7月9日出梅形势调整到位,因此将7月9日定为出梅日合理。

2.4 梅雨异常特征

2018年南京地区的梅雨异常特征主要包括以下几个方面:

1)入梅略偏晚,出梅正常,梅雨期偏短。6月22日入梅,比常年平均(6月18日)略偏晚,7月9日出梅,与常年平均(7月10日)相比正常,梅雨期17 d,较常年略偏短。

2)梅雨量偏少,分布不均匀。与常年平均值相比,除溧水、六合梅雨量正常略少外,浦口偏少近4成,江宁偏少3成,高淳异常偏少近8成(图4)。暴雨日数偏少,对于江苏而言,2018年梅雨强度指数为1.5,大早年。

3)区域性暴雨过程少,分散性、局地短时强降

水特征显著。梅雨期共出现4次降水过程,其中7月5日18—21时,江北新区大部分地区3 h雨量超过100 mm。

3 2018年梅雨异常的环流成因

3.1 副高异常活动

南京入梅前(2018年6月22日),高空多南支槽活动,副高脊线位置较常年同期偏南,自6月第4候起,副高脊线才稳定越过20°N(图5a)。根据国家气候中心提供的1981—2010年气候平均值发现,副高脊线通常在6月第2候已经越过20°N,可见2018年6月副高季节性北抬偏迟,是导致入梅偏晚的原因之一。

2018年梅雨期间,副高脊线平均位于28°N附近,西伸脊点达到130°E,而常年同期副高脊线在20°~25°N,西伸脊点为121°E(图5b),可见2018年梅雨期间副高位置显著偏北、偏东,不利于暖湿气流沿着副高西边界向北及东北方向输送至长江下游地

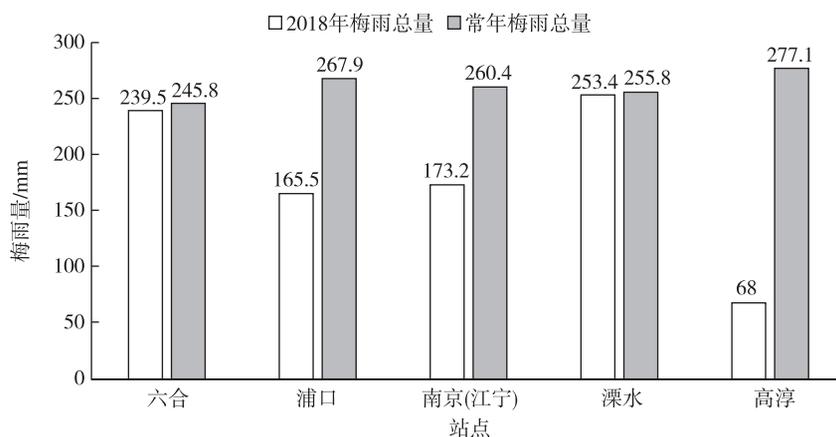


图4 南京地区2018年梅雨量和常年平均梅雨量(单位:mm)
Fig.4 The amount of Meiyu precipitation in 2018 and climatic mean in Nanjing (unit:mm)

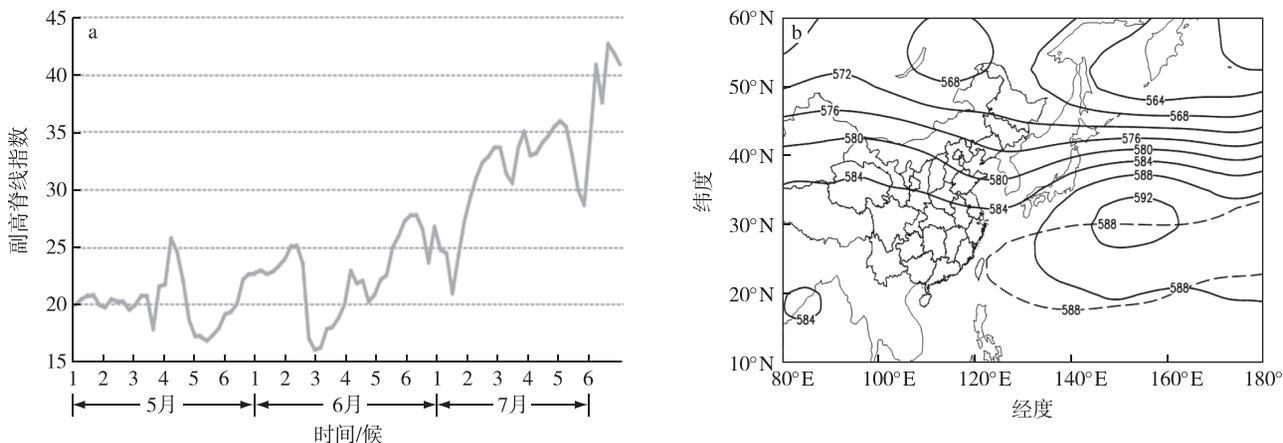


图5 2018年5—7月副高脊线指数时序(a)、2018年梅雨期间500 hPa平均位势高度场(b;实线,单位:dagpm)以及常年同期588 dagpm等高线的平均位置(虚线)

Fig.5 (a) The time series of ridge index of the Northwest Pacific subtropical high from May to July, 2018; (b) the average height at 500 hPa in the Meiyu period of 2018 (solid line; height contour, unit: dagpm; dotted line: climatic 588 dagpm)

区,加之高空槽偏弱,冷空气不活跃且强度偏弱,从而导致沿江苏南地区梅雨量显著偏少。

已有研究表明(丁一汇等,2007;牛若芸和金荣花,2009),长江流域的降水与6、7月副高脊线的位置密切相关。刘芸芸等(2012)指出6月副高脊线偏南时,华南和江南中部降水偏多,江淮地区降水偏少;7月副高脊线与长江流域及江南北部呈现显著负相关,即副高脊线偏南时,长江流域降水偏多。为分析副高脊线与南京地区梅雨量的关系,分别计算了1980—2017年期间南京五个基本站(六合、浦口、江宁、溧水、高淳)的梅雨量与6、7月副高脊线位置的相关系数,发现梅雨量与6月或7月副高脊线的位置均没有显著的相关性,但是南京地区5个基本站的梅雨量与6至7月副高脊线的南北跨度(7月脊线纬度减去6月份脊线纬度)存在显著的负相关。统计发现1980—2017年6—7月副高脊线南北

跨度均值为 4.7° ,6—7月副高脊线跨度与六合、浦口、江宁、溧水、高淳站梅雨量的相关系数分别为 -0.44 、 -0.37 、 -0.40 、 -0.31 、 -0.27 ,均通过90%置信度检验,且中北部地区(六合、浦口、江宁)的相关系数通过了95%的置信度检验。上述分析表明当6—7月副高脊线南北跨度 $<4.7^{\circ}$,南京地区的梅雨量易偏多,且跨度越小,梅雨量越大;反之亦然。这是因为副高脊线的南北跨度小,表明副高少南北摆动,即使存在阶段性的北跳,但北跳幅度小,副高脊线稳定维持在 $21^{\circ}\sim 25^{\circ}\text{N}$ 区域内,有利于低纬度的暖湿气流沿其西侧输送至长江中下游地区,若有冷空气南侵配合,则易导致该地区出现强降水。计算2018年6—7月副高脊线的南北跨度,得到其值大于 5° ,预示南京梅雨量偏少,与实况吻合。

那么副高脊线与南京梅雨的区域分布有怎样的联系呢?按照国家气候中心的标准,将1981—2010

年作为气候平均的统计时段,计算该时段副高脊线的平均位置,得到6月副高脊线的平均位置为 21.5°N ,7月位于 26.3°N (表1)。进一步分析1980—2017年期间副高脊线的异常(与气候平均的差值)与南京梅雨的区域分布的联系,结果表明当副高脊线6月偏南(脊线位置在 21.5°N 以南)、7月偏北(脊线位置在 26.3°N 以北)时,同年南京地区梅雨量的分布以北少南多为主;当6月偏北(脊线位置在 21.5°N 以北)、7月偏北或偏南时,以北多南少为主;6月偏南、7月偏南时,南京梅雨量的区域分布与脊线位置关系不明显。2018年,6月副高脊线平均位置为 22.5°N 、7月为 32.7°N ,与气候平均值(表1)相比,6、7月副高位置均明显偏北,预示当年南京梅雨的区域分布呈现北多南少的特征,与实况基本吻合,说明此结论有一定参考价值。

3.2 南亚高压显著偏北偏东

南亚高压是梅雨天气系统的重要组成部分,其脊线位置、东伸指数、强度与梅雨的关系十分密切。李崇银等(2004)发现由冬至夏的大气环流转换过程中,东亚高空西风急流的位置一般会发生两次北跳,第二次北跳与江淮梅雨的起始有关。刘梅等(2008)指出当南亚高压主体较强,一直处于偏北、偏东的位置,且1680 dagpm等高线东伸覆盖江苏,冷空气难以南下,那么江苏入梅可能会相对较迟,且梅雨量偏少。

图6给出了6月15日至7月15日南亚高压的脊线位置、东伸指数和高空槽的逐日演变。从图6可见,6月22日之前,南亚高压脊线维持在 29°N 以

北,东伸指数在 110°E 以东,虽然存在南北摆动,但幅度较小,整体来看,南亚高压一直处于较强、位置偏东偏北的阶段,且高空无明显的西风槽东移发展,易导致江苏入梅相对较迟,梅期较短;梅雨期间,东伸指数与脊线位置具有较为一致的起伏变化,即东进北抬或西退南撤,且脊线偏北,最北时达到 36°N ,根据刘梅等(2008)的研究,可判断2018年梅雨期间南亚高压的特征不利于江苏出现丰梅;7月9日以后,南亚高压突然快速东伸,东伸指数大于 130°E ,高压主体偏东到达日本一带,江苏梅雨季基本结束。

研究表明(刘梅等,2008),当南亚高压的东伸指数大于 120°E ,脊线处于 30°N 北抬时,暴雨区一般出现在江苏的 33°N 以北地区。2018年7月5日,南亚高压略有北抬(1° 左右),脊线到达 33°N ,东伸指数为 126°E ,此形势场利于江苏沿江及以北地区出现暴雨,实况亦是如此,南京江北新区的大部分地区均出现3h雨量超过100mm的大暴雨。

南亚高压北侧西风急流的南北位置和强度变化与梅雨的关系显著。统计发现,1981—2010年江苏梅雨期合成平均的200hPa纬向风大值区($\geq 30\text{ m/s}$)位于 $33^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$ (图略)。2018年6月22日入梅后,200hPa纬向风大值区北抬至 $37^{\circ}\sim 45^{\circ}\text{N}$ (图7虚线方框),较常年平均位置偏北4至5个纬度,由于强降雨区一般出现在高空急流的右侧,因此200hPa高空急流位置的偏北有利于梅雨期强降雨落区偏北(沿淮地区),导致沿江苏南地区的雨量偏少。

由以上分析得到,南亚高压特征和高空槽位置

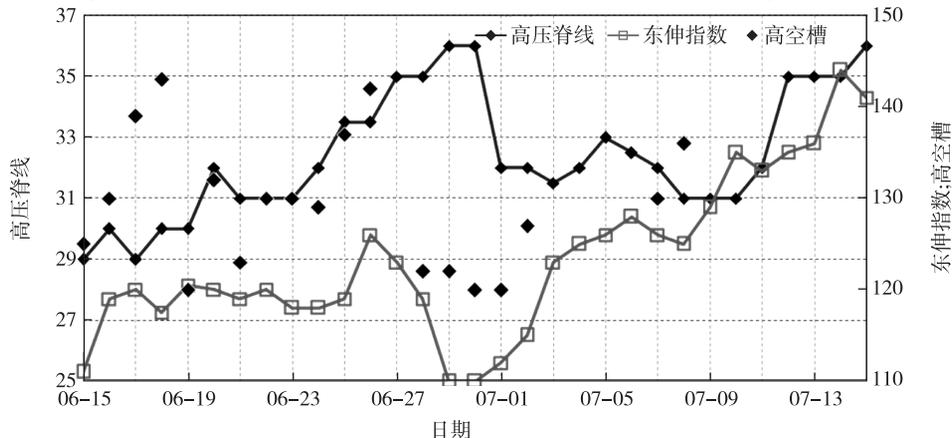


图6 6月15日—7月15日各要素时序(黑色菱形实线:南亚高压脊线;灰色方框实线:南亚高压东伸指数;菱形方块:高空槽位置;左侧纵坐标:纬度;右侧纵坐标:经度)

Fig.6 The time series of the position of South Asia High and upper trough from June 15 to July 15 (black line with diamond; the ridge line of the South Asia high; grey line with square; eastward index of the South Asia high; diamond; the position of upper trough; left ordinate: the latitude; right ordinate: the longitude)

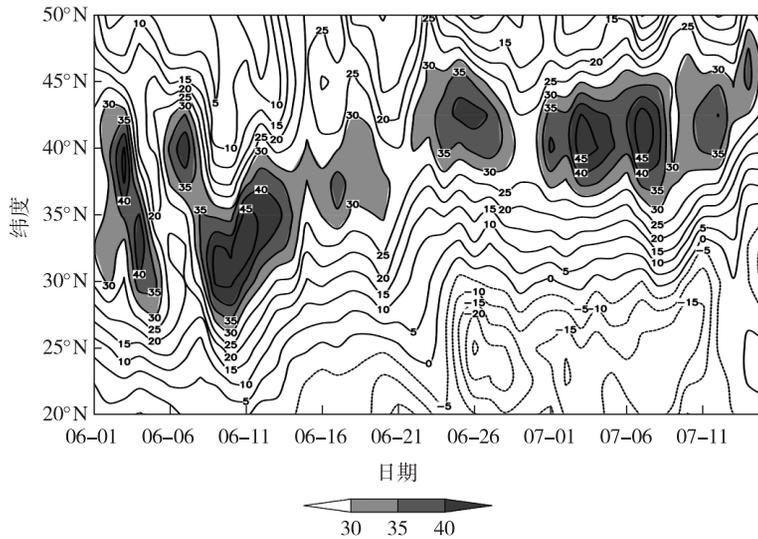


图7 2018年6月1日—7月15日沿110°~120°E平均的200 hPa纬向风逐日演变(单位:m/s)
Fig.7 The daily revolution of the average zonal winds at 200 hPa within 110°—120°E from June 1 to July 15(unit:m/s)

在梅雨预报中是非常重要的因素,这主要是因为南亚高压主体和高空槽的位置变化影响了低层副高的移动,最终决定了冷暖空气交汇位置,从而影响入梅时间、梅雨期间强降水落区。

3.3 东亚夏季风偏强

东亚夏季风爆发之后,向北推进至长江流域时,梅雨雨季开始,可见入梅的早晚与夏季风向北推进的进程密切相关,并且东亚夏季风的水汽输送对梅雨区的降水起着关键作用。夏季长江流域暴雨洪涝灾害都发生在东亚夏季风环流偏弱的气候背景下,但东亚夏季风环流偏弱时,长江流域不一定都出现暴雨洪涝灾害(张庆云等,2003)。

参照张庆云和陶诗言(1998)对东亚夏季风指数的定义,并且在他们研究的基础上,取 $\sigma \geq 1.0$ 为强夏季风, $\sigma \leq -1.0$ 为弱夏季风,为了使强弱夏季风年的个数在数量上具有更广泛的代表性,本文规定 $\sigma \geq 0.6$ 为偏强夏季风, $\sigma \leq -0.6$ 为偏弱夏季风, $-0.6 < \sigma < 0.6$ 为夏季风正常年。统计1980—2017年南京中北部梅雨量与东亚夏季风指数的关系(表2),发现38 a中有13 a梅雨量偏多,分别对应6个东亚夏季风正常年、6个弱和偏弱年、1个强和偏强年;其中1980年、1991年、1996年、2003年、2011年、2016年梅雨量异常偏多8成至2倍,东亚夏季风表现为正常(3次)或弱和偏弱年(3次)。38 a中有5 a梅雨量正常,对应4个东亚夏季风弱和偏弱年、1个正常年。38 a中有18 a梅雨量偏少,对应8个东亚夏季风强和偏强年、5个正常年、5个弱和偏

弱年;其中1994年、2000年、2001年、2005年4年梅雨量异常偏少7~9成,东亚夏季风表现为正常(2次)或偏强年(2次)。

以上研究表明,当东亚夏季风表现为强和偏强时,同年南京中北部地区的梅雨量很可能偏少;东亚夏季风表现为正常年时,南京中北部的梅雨量特征不稳定,易出现极端事件(涝年或旱年),需给予重视。据国家气候中心的诊断,2018年东亚夏季风为偏强年,根据上述结论,这有利于南京中北部地区梅雨量偏少,与实况相符,可见应用东亚夏季风的强弱对南京地区中北部梅雨量的异常进行预报有一定参考价值。

表2 1980—2017年南京中北部梅雨量与东亚夏季风指数的关系

Table 2 The relation between the index of the East Asian summer monsoon and Meiyu precipitation in the central and northern parts of Nanjing from 1980 to 2017

东亚夏季风	中北部梅雨雨量			
	多雨	正常	少雨	其他
强和偏强年	1	0	8	2
正常年	6	1	5	0
弱和偏弱年	6	4	5	0
合计	13	5	18	2

3.4 东北冷涡活动弱

何金海等(2006)定义了梅雨期东北冷涡强度指数(NECVI),并指出梅雨期东北冷涡和降水量存

在显著的相关关系,东北冷涡越强,梅雨量很可能偏多,东北冷涡越弱,梅雨量很可能偏少。通过计算得到2018年NECVI为-0.6,可见东北冷涡活动偏弱,由何金海等(2006)的研究结论判断当年梅雨量易偏少。这是因为东北冷涡弱,副高位置偏北,副高主体控制江淮地区,北方“干冷”空气不易南侵影响至长江下游地区,因此江淮地区的梅雨量偏少;而副高的位置偏北,导致了暖气流的交汇偏北,因此2018年江苏北部梅雨雨量多于南部。

图8给出了6月1日—7月15日,(125°~135°E、40°~50°N)区域500 hPa平均高度的逐日演变,由图8可见,梅雨期间的3次较强降雨过程与东北冷

涡的3次加强(图8实线方框所示)相对应。东北冷涡加强时,引导北方干冷空气南侵,与低层西南暖湿气流在梅雨区北缘交汇,形成“上干下湿”的不稳定层结,在上升运动的触发下,易出现强降水(何金海等,2006)。但在东北冷涡的另外两次加强中(图8虚线方框所示),6月26日、27日南京地区为晴好天气,并没有出现强降水,主要是因为这两次东北冷涡活动引导的冷空气位置偏北,南下有限,江苏沿江及苏南地区仍然受副高控制,与前文的分析一致。由此可见,在今后梅雨预报中,不仅要分析东北冷涡的强弱,还需关注其引导冷空气南侵的位置。

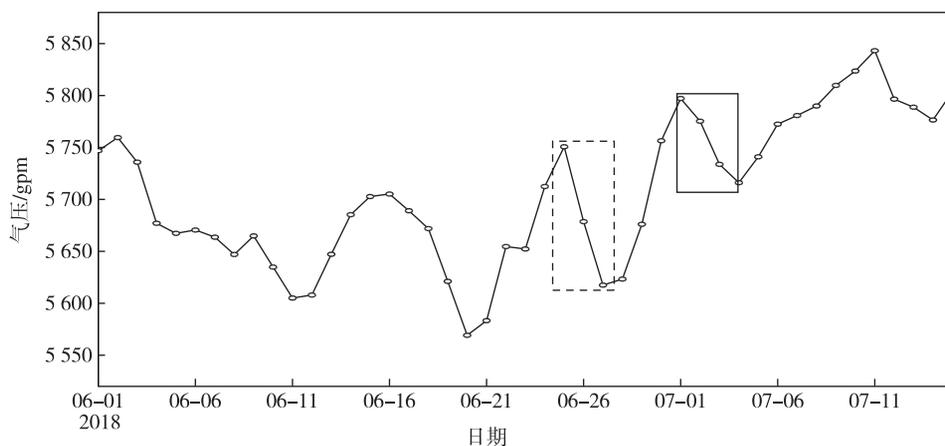


图8 6月1日—7月15日(125°~135°E、40°~50°N)区域500 hPa平均高度的逐日演变(单位:gpm)

Fig.8 The daily revolution of the area average of the height at 500 hPa in (40°—50°N,125°—135°E) from June 1 to July 15 (unit:gpm)

4 结论

2018年南京地区入梅偏晚,梅雨量偏少,尤其是南部地区异常偏少8成左右,通过分析当年梅雨特征以及导致梅雨异常的环流因子,得到以下结论:

1) 结合副高脊线北跳时间、850 hPa水汽输送、上下层经向风之差的季节反转等环流因子和晴雨状况,将2018年6月22日定为南京入梅日,入梅偏迟,于7月9日出梅。

2) 由于前期南支槽活动频繁,副高位置相比同期偏南,其北跳时间偏迟,且南亚高压主体偏强,位置偏东偏北,易导致江苏入梅偏迟;入梅之后,副高大幅度北抬,南亚高压脊线位置最北达36°N,东伸明显,加之东北冷涡活动弱,冷暖气流交汇偏北,导

致江苏沿江地区(含南京地区)梅雨量偏少。

3) 南京地区的梅雨量与6—7月副高脊线的南北跨度具有显著的负相关。当6—7月副高脊线南北跨度越小时,梅雨量越大;反之亦然。副高脊线跨度小,表明6—7月,副高南北摆动轻微,即使存在阶段性的北跳,但北跳幅度小,副高脊线维持在21°~25°N之间,有利于低纬度的暖湿气流沿其西侧输送至长江中下游地区,若有冷空气南侵配合,则易导致该地区出现强降水,梅雨量很可能偏多。

4) 当东亚夏季风表现为强和偏强时,同年南京中北部地区的梅雨量很可能偏少;当东亚夏季风表现为正常年时,南京中北部的梅雨量特征不稳定,易出现极端事件(涝年或旱年),需给予重视。

参考文献(References)

- Ding Y H, Chan J C L, 2005. The East Asian summer monsoon; an overview[J]. Meteorol Atmos Phys, 89(1/2/3/4): 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 Y H, Liu J J, Sun Y, et al., 2007. A

- study of the synoptic-climatology of the Meiyu system in East Asia[J]. *Chin J Atmos Sci*, 31(6):1082-1101. (in Chinese).
- Ge Q S, Guo X F, Zheng J Y, et al., 2008. Meiyu in the middle and lower reaches of the Yangtze River since 1736[J]. *Chin Sci Bull*, 53(1):107-114.
- 郝志新, 李明启, 郑景云, 等, 2009. 长江中下游地区梅雨与旱涝的关系[J]. *自然科学进展*, 19(8):877-882. Hao Z X, Li M Q, Zheng J Y, et al., 2009. The relation between meiyu and drought-flood over the Middle-Lower Yangtze River [J]. *Progress in Natural Science*, 19(8):877-882. (in Chinese).
- 何金海, 吴志伟, 江志红, 等, 2006. 东北冷涡的“气候效应”及其对梅雨的影响[J]. *科学通报*, 51(23):2803-2809. He J H, Wu Z W, Jiang Z H, et al., 2006. The “Climate-Impact” of the cold vortex over northeast China and its influence to the Meiyu [J]. *Chin Sci Bull*, 51(23):2803-2809. (in Chinese).
- 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 C Y, Wang J T, Lin S Z, et al., 2004. The relationship between East Asian summer monsoon activity and northward jump of the upper westerly jet location [J]. *Chin J Atmos Sci*, 28(5):641-658. (in Chinese).
- 李建国, 孔启亮, 姚素香, 等, 2012. 2011年江苏出梅日界定之我见[J]. *气象科学*, 32(5):559-564. Li J G, Kong Q L, Yao S X, et al., 2012. Study on Meiyu period over Jiangsu in 2011 [J]. *J Meteor Sci*, 32(5):559-564. (in Chinese).
- 刘梅, 胡洛林, 张备, 等, 2008. 梅汛期 100hPa 南亚高压特征与江苏梅雨关系研究[J]. *热带气象学报*, 24(3):285-293. Liu M, Hu L L, Zhang B, et al., 2008. Study on connection between south Asia high character of 100 hpa in plum flood season and Jiangsu plum rain [J]. *J Trop Meteor*, 24(3):285-293. (in Chinese).
- 刘芸芸, 李维京, 艾祝秀, 等, 2012. 月尺度西太平洋副热带高压指数的重建与应用[J]. *应用气象学报*, 23(4):414-423. Liu Y Y, Li W J, Ai W X, et al., 2012. Reconstruction and application of the monthly western Pacific subtropical high indices [J]. *J Appl Meteor Sci*, 23(4):414-423. (in Chinese).
- Lu R Y, 2002. Indices of the summertime western North Pacific Subtropical High [J]. *Adv Atmos Sci*, 19(6):1004-1028.
- 苗春生, 吴琼, 王坚红, 等, 2017. 淮河流域大别山地形对梅雨期暴雨低涡影响的模拟研究[J]. *大气科学学报*, 40(4):485-495. Miao C S, Wu Q, Wang J H, et al., 2017. Simulation study on effects of terrain of Dabie Mountains on rainstorm cyclone in Huaihe River Basin during Meiyu period [J]. *Trans Atmos Sci*, 40(4):485-495. (in Chinese).
- 牛若芸, 金荣花, 2009. 2008年梅雨异常大尺度环流成因分析[J]. *高原气象*, 28(6):1326-1334. Niu R Y, Jin R H, 2009. Causes analysis of large scale circulation of abnormal characteristic in Meiyu period of 2008 [J]. *Plateau Meteor*, 28(6):1326-1334. (in Chinese).
- 沈澄, 张蓬勃, 陈曲, 2014. 2013年江苏入、出梅日讨论[C]//第31届中国气象学会年会. 北京. Shen C, Zhang P B, Chen Q, 2014. Comments on the beginning and end date of Jiangsu Meiyu in 2013 [C]//Monitoring, analysis and forecast of disaster weather (S2) at the 31st annual meeting of Chinese Meteorological Society. Beijing. (in Chinese).
- 陶诗言, 朱福康, 1964. 夏季亚洲南部 100 毫巴流型的变化及其与西太平洋副热带高压进退的关系[J]. *气象学报*, 34(4):385-395. Tao S Y, Zhu F K, 1964. Change of flow pattern over 100 mb in South Asia during summer and its relation with the advance and retreat of subtropical western Pacific high [J]. *Acta Meteorol Sin*, 34(4):385-395. (in Chinese).
- Tao S Y, Chen L X, 1987. A review of recent research on the East Asian summer monsoon in China [M]. Oxford: Oxford University Press.
- Wang J, He J H, Liu X F, et al., 2009. Interannual variability of the Meiyu onset over Yangtze-Huaihe River Valley and analyses of its previous strong influence signal [J]. *Chin Sci Bull*, 54(4):687-695.
- 王志毅, 高庆九, 胡邦辉, 等, 2017. 近 50 年江淮地区梅雨期水汽输送特征研究[J]. *大气科学学报*, 40(1):48-60. Wang Z Y, Gao Q J, Hu B H, et al., 2017. Features of moisture transport in the Yangtze-Huaihe River Basin during the Meiyu season in the last 50 years [J]. *Trans Atmos Sci*, 40(1):48-60. (in Chinese).
- 余丹丹, 张彻, 赵越超, 等, 2014. 西太平洋副高的东西进退与东亚夏季风系统的相互影响与关联[J]. *大气科学学报*, 37(3):304-312. Yu D D, Zhang R, Zhao Y C, et al., 2014. Correlation between the subtropical high abnormal longitudinal position and the East Asian summer monsoon system [J]. *Trans Atmos Sci*, 37(3):304-312. (in Chinese).
- 张庆云, 陶诗言, 1998. 夏季东亚热带和副热带季风与中国东部汛期降水[J]. *应用气象学报*, 9(S1):18-23. Zhang Q Y, Tao S Y, 1998. Tropical and subtropical monsoon over east Asia and its influence on the rainfall over Eastern China in summer [J]. *Quart J Appl Meteor*, 9(S1):18-23. (in Chinese).
- 张庆云, 陶诗言, 张顺利, 2003. 夏季长江流域暴雨洪涝灾害的天气气候条件[J]. *大气科学*, 27(6):1018-1030. Zhang Q Y, Tao S Y, Zhang S L, 2003. The persistent heavy rainfall over the Yangtze River valley and its associations with the circulations over East Asian during summer [J]. *Chin J Atmos Sci*, 27(6):1018-1030. (in Chinese).
- 周曾奎, 2006. 江淮梅雨的分析 and 预报 [M]. 北京: 气象出版社. Zhou Z K, 2006. Analysis and forecast of the Meiyu over the Yangtze-Huaihe River [M]. Beijing: China Meteorological Press. (in Chinese).
- 朱伟军, 潘佳, 周兵, 等, 2016. 2011年南海夏季风爆发过程及其与长江中下游梅雨的联系[J]. *大气科学学报*, 39(1):37-45. Zhu W J, Pan J, Zhou B, et al., 2016. Onset process of South China Sea summer monsoon in 2011 and its relationship with Meiyu over the middle and lower reaches of the Yangtze River [J]. *Trans Atmos Sci*, 39(1):37-45. (in Chinese).
- Zhu X, Wu Z, He J, 2008. Anomalous Meiyu onset averaged over the Yangtze River valley [J]. *Theor Appl Climatol*, 94(1/2):81-95.

Characteristics and associated circulation analysis of Meiyu anomalies in 2018 in Nanjing

JIN Qiong¹, DAI Zhujun^{1,2}, LI Cong¹, LI Jing¹

¹Nanjing Meteorological Bureau, Nanjing 210019, China;

²Key Laboratory of Transportation Meteorology of China Meteorological Administration, Nanjing 210009, China

This paper, based on the index of Jiangsu Meiyu, analyzes the characteristics of Meiyu precipitation in Nanjing in 2018, and the associated circulation causing the anomaly Meiyu, by using the daily precipitation data of Nanjing and daily NCEP/NCAR reanalysis data. The results show the following: 1) The Meiyu in Nanjing in 2018 was characterized by the later beginning date, nonuniform distribution of Meiyu precipitation in space, and a significantly lesser amount of Meiyu precipitation (80% less than the climatic mean in the southern Nanjing). 2) The previous trough in westerlies was active, and this caused the Northwest Pacific Subtropical High (NPSH) to occur more southerly than normal. In such a case, the seasonal northward of NPSH occurred late, which in turn resulted in a late beginning date of Meiyu. Meanwhile, the South Asia High (SAH) in 2018, which was stronger and more northeastward than the climatic mean, was conducive to a late beginning of Meiyu. 3) During the Meiyu period, the ridge of NPSH jumped to north sharply and the SAH was stronger and more northeastward than the climatic mean. These circulations, together with the weak activities of the Northeast China cold vortex, led to a northward conglomeration between cold air and warm air, as well as significantly less rainfall during the Meiyu period in the region along the Yangtze River. 4) The amount of Meiyu precipitation in Nanjing shows a negative correlation with the north-south span of the NPSH from June to July. 5) In the years of strong East Asia summer monsoon, the Meiyu precipitation in the central and northern parts of Nanjing was less than the climatic mean. These insights will be useful in the forecast of Nanjing Meiyu.

Meiyu; Northwest Pacific subtropical high; South Asia High; north-south span; strong East Asia summer monsoon

doi:10.13878/j.cnki.dqkxxb.20191212002

(责任编辑:袁东敏)