

文章编号: 2096-1618(2022)01-0103-08

江淮梅雨季副高特征及降水特征分析

魏 薇¹, 金荣花², 肖天贵¹, 孙晓晴³

(1. 成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225; 2. 中国气象局, 北京 100081; 3. 中国气象局气象探测中心, 北京 100081)

摘要:针对梅雨季节江淮地区降水和副高活动特征,结合副高指数定义,对长时间序列的副高指数及北跳时间进行量化统计。通过分析 1979–2018 年 6–7 月 NCEP/NCAR 逐日再分析资料和国家气象站日降水资料,统计 40 年副高 3 项指数的逐年逐日变化,并分析指数异常年的大气环流特征。同时,研究江淮地区梅雨季节的降水特征,对副高北跳与高度场、降水量的关系进行系统分析,研究结果表明: 6–7 月,副高脊线随时间逐渐向北移动,西伸脊点逐渐西移,副高面积逐渐扩大,副高强度增强;1979–2018 年江淮地区梅雨季期间,副高 3 项指数均为异常的年份有 5 年,负异常年,中纬度槽脊的波动平缓,经向运动微弱,正异常年,西风带上气流的经向运动加强,40 年气候态上表现为长波两槽两脊形势;梅雨季节副高的两次北跳过程中,第一次北跳出现在 6 月第三候,第二次北跳在 7 月第三候,气候态表现为第二次北跳在第一次北跳后约 7 候出现;降水的空间分布存在着明显的南北、东西差异,江淮地区 500 hPa 高度场与副高的第一次北跳呈明显负相关,与副高第二次北跳呈正相关。

关 键 词:大气科学;大尺度系统动力学特征研究;副热带高压;江淮梅雨季;副高指数

中图分类号:P426.6

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2022.01.017

0 引言

西太平洋副热带高压简称西太副高(Western Pacific subtropical high, WPSH),是一个在副热带太平洋上空的永久性高压环流系统,是位于副热带西太平洋上空的暖性气压。西太副高对中国的天气和气候有着重要的影响,其高压脊线的位置和强度随季节的变化而变化^[1]。副热带高压及其动力学一直是大气科学研究的主要内容,夏季西太副高是影响中国夏季天气的一个重要的系统,中国的许多灾害性天气都与西太副高有关。20 世纪 60 年代,陶诗言等^[2–5]研究了副高随季节的变化,发现西太平洋副热带高压对东亚天气有着比较重要的影响,西太副高在夏季的季节内变化,决定了东部地区雨带向北推移的时间,而西太副高的年际变化,则决定了东部地区南、北方的旱涝情况^[6–7]。熊安元^[8]对与长江中游地区夏季降水密切相关的西太副高进行时间变化的尺度分离,通过对时间和空间尺度变化的分析发现,20 世纪 90 年代长江中游夏季降水量异常增多与夏季西太平洋副热带高压等气象要素异常增强有密切关系。例如,研究发现 1998 年夏季长江流域的洪水和 2003 年 7 月江南地区高温酷暑,都与西太副高的活动有着很大的关系^[9–10]。

西太副高是东亚季风系统的重要成员之一^[11],其

所处的地理位置,使它成为连接中高纬和低纬环流的重要纽带,是影响中国天气的重要和主要系统^[12];同时,在梅汛期,副高是决定长江流域入梅、出梅时间以及降水强度的重要因素^[13]。早在 20 世纪 60 年代,中国学者就对西太副高的活动规律开始进行相应的研究^[14–18]。朱乾根等^[19–20]强调西太副高是东亚季风系统的重要成员之一。廖荃荪等^[21]发现,除副高脊线外,副高的强度和位置也存在着明显的年际和年代际变化特征。除此之外,副高指数与 Nino 3 指数的年变化存在较好的相关性^[22],副高强度大时,副高北界偏南,同时西伸明显^[23]。研究指出,降水期间,外围雨带与副高的西伸之间存在着明显的相互影响关系^[24],相较于冬季,夏季西太副高的强度更强,西伸脊点偏西,面积、范围更大^[25],在全球变暖的过程中,亚-澳季风区与 ENSO 整体耦合程度加大,西太副高出现明显的年代际变化^[26]。副热带高压北跳后的一周内,有热带气旋生成的可能性接近 2/3,在副高北跳后,副高脊线和副高 588 线都存在较为明显的北抬趋势^[27]。SU TongHua 等^[28]研究发现,副高的两次北跳之间无显著关系。西太平洋发生强烈的对流活动时,会导致暖池增温,激发静止 Rossby 波的能量传播,从而副高加强并北抬^[29–30],东太平洋海温升高时,西太副高偏北。海温的变化超前副高变化约 3–4 月^[31–32],海表面温度的变化对西太副高的强度、位置等特征的年代际变化有重要的影响^[33]。除对江淮地区降水产生影响外,当脊线偏北,西伸脊点偏西,强度偏小时,黄淮海区域东部、北部和中部降水偏多,而西部、南部降水偏少^[34]。

收稿日期:2021-03-05

基金项目:第二次青藏高原综合科学考察研究资助项目(2019QZKK010408);灾害天气国家重点实验室资助项目(2019LASW-B02);气象预报业务关键技术发展专项资助项目(YBGJXM2020-04-01)

江淮梅雨是每年6、7月亚洲夏季风北上过程中,中国东部江淮地区持续阴雨的天气现象,东亚季风区较强的对流凝结潜热在垂直方向上的梯度变化也会决定副高的位置、强度的变化^[35-37]。以往的研究多是基于降水偏多年的个例分析,或单纯分析北跳特征,针对长时间序列的副高指数和副高北跳的定量化统计,副高指数异常年、副高北跳异常年份的降水特征分析较少。文中通过统计1979–2018年6–7月逐日副高指数,分析副高指数异常年500 hPa环流形势的特征,并分析梅雨季节江淮地区降水特征,以便定量认识梅雨季副高的活动特征及其对江淮梅雨的影响。同时,也为江淮梅雨季降水的统计和预报提供有价值的参考。

1 资料和方法

利用1979–2018年NCEP/NCAR逐日再分析资料,分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。降水量资料为国家气象信息中心提供的中国国家气象站2424站日降水资料(前日20时–当日20时)。

为定量描述副高的显著变化,根据国家气候中心定义的500 hPa等高面上位势高度场表示副高指数,以下为各指数定义。

脊线指数: 纬度 $10^{\circ}\text{N} \sim 90^{\circ}\text{N}$, 经度 $110^{\circ}\text{E} \sim 150^{\circ}\text{E}$, 588位势什米等值线内的副热带高压体范围内的纬向风 $u=0$, 且 $\partial u/\partial t > 0$ 特征线所处纬度的平均值, 如若不存在588位势什米等值线, 则定义584位势什米等值线内纬向风 $u=0$, 且 $\partial u/\partial t > 0$ 特征线所处纬度的平均值; 若不存在584位势什米等值线, 则以多年历史中该月的最小值代替。

西伸脊点: 在 $10^{\circ}\text{N} \sim 90^{\circ}\text{N}$, $90^{\circ}\text{E} \sim 180^{\circ}\text{E}$, 588位势什米最西位置所处的经度, 若处于 90°E 以西, 则统一计为 90°E ; 若不存在588位势什米等值线, 则以多年历史中该月的最小值代替。

面积指数: 在 10°N 以北, $110^{\circ}\text{E} \sim 180^{\circ}\text{E}$, 500 hPa位势高度场上, 位势高度不小于588位势什米的格点所围成的面积总和。

利用上述定义, 对亚洲东部地区($10^{\circ}\text{N} \sim 50^{\circ}\text{N}$, $90^{\circ}\text{E} \sim 180^{\circ}\text{E}$)的副高特征线(588线)的3项指数进行统计, 为了保证统计结果的正确性与可靠性, 对照1979–2018年6–7月逐日500 hPa位势高度场进行人工校正, 由此得到副高3项指数的历史序列统计数据。

由于历年江淮地区的梅雨期各有差异, 一般在6、7月, 最早始于5月底, 最晚在8月初结束^[38], 李勇等^[39]对1960–2015年江淮梅雨季节中强降水特征进行分析, 从而将江淮地区梅雨期降水过程主要出现的时段(6–7月)作为江淮梅雨季, 选取6–7月作为主要的研究时段。同时, 参照国家气候中心所制定的中国梅雨监测业务标准, 位于长江中下游地区和江淮地区的277个指标站, 由于其覆盖面广、观测站多, 因此作为统计江淮地区梅雨季节降水累积量的代表站。

2 江淮梅雨季节副热带高压活动特征分析

2.1 副高指数统计分析

一般来说, 观察和度量西太副高都是以5880位势米为标准的^[40], 基于上述对副高指数的定义, 对副高3项指数进行计算。

图1为1979年–2018年逐年平均副高3项指数, 图1(a)为脊线指数, 多年平均值为 23.7°N , 取 $\Delta=1^{\circ}$, 通过对比得出, 脊线偏南年有1982、1983、1987、1993、1998、2003、2005、2007、2010、2014、2016、2017年, 共12 a, 脊线偏北年有1981、1984、1985、1989、1994、1999、2000、2001、2004、2011、2012、2018年, 共12 a; 图1(b)为西伸脊点, 多年平均值为 116.5°E , 取 $\Delta=10^{\circ}$, 对比得出, 脊点偏西年有2010、2016、2017年, 共3 a, 脊点偏东年有1984、1985、1986年, 共3 a; 图1(c)为面积指数, 多年平均值为 134°E , 取 $\Delta=30^{\circ}$, 通过对比可以看出, 面积偏大年有1979、1980、1983、1998、2010、2015、2016、2017年, 共8 a, 而面积偏小年有1984、1985、1986、1994、1999、2000、2001、2012年, 共8 a。

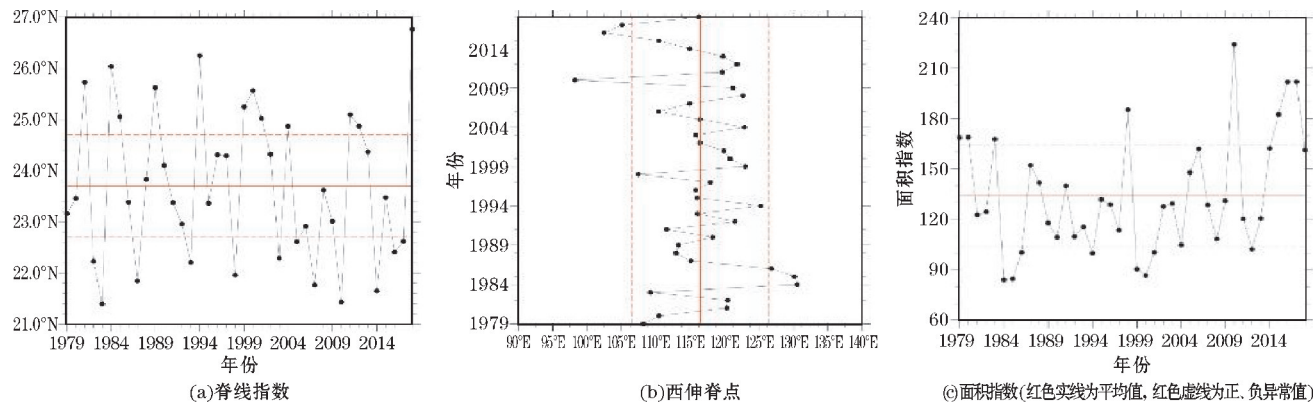


图1 1979–2018年逐年副高3项指数

图 2 为 1979 年–2018 年 6–7 月逐日平均副高 3 项指数,从 3 项指数的逐日变化的折线和趋势线(红色点线)可以看出,脊线指数随时间逐渐增大,即脊线

向北推进;西伸脊点虽波动较为剧烈,但从趋势线也可以明显看出脊点随时间向西不断推进;副高面积指数在 6–7 月呈逐渐增大的趋势。

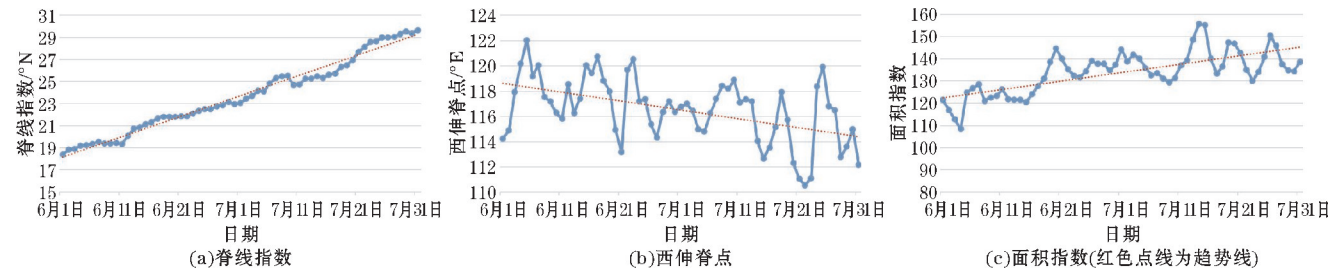


图 2 副高各项指数 1979–2018 年多年 6–7 月逐日平均

2.2 副高指数异常年特征分析

根据上述分析可以看出,3 项副高指数均异常的年份为 1984、1985、2010、2016、2017 年,共 5 a,如表 1。3 项指数能明显地表示副高的南北、西伸以及强度特征,脊线偏北时,西伸脊点偏东,同时副高面积较小;反之,脊线偏南时,西伸脊点偏西,副高面积较大。将异常年各项指数与气候态平均相对比,正异常年为 2010、2016、2017 年,而负异常年为 1984、1985 年,正异常年较负异常年脊线偏南,西伸脊点偏西,面积偏大,副高强度更强。

表 1 副高 3 项指数异常年份

年份	副高指数		
	脊线指数/°N	西伸脊点/°E	面积指数
1984	26.0	130.6	84
1985	25.0	130.2	85
2010	21.4	98.2	224
2016	22.4	102.5	202
2017	22.6	105.1	202

将 1984、1985 年和 2010、2016、2017 年分别作为负异常年和正异常年进行合成分析,图 3 为副高指数正负异常年对比,红线为正异常年 5880 gpm 等位势高度线合成,蓝线为负异常年 5880 gpm 等位势高度线合成,黑线为 40 年气候态合成,从正负异常年与气候态等高线的对比能明显看出,负异常年副高整体呈现明显的偏弱特征,位置偏东,主体位于太平洋洋面上;而正异常年副高明显偏强,面积扩大,主体位于中国南部,向西和向赤道的伸展非常突出,40 年气候态等高线处于正、负二者之中。

图 4 为正、负异常年 500 hPa 高度场与 1979–2018 年 500 hPa 气候态位势高度场对比。为更好地分析 6–7 月副高特征,利用 500 hPa 中纬度 (30°N ~ 60°N) 平

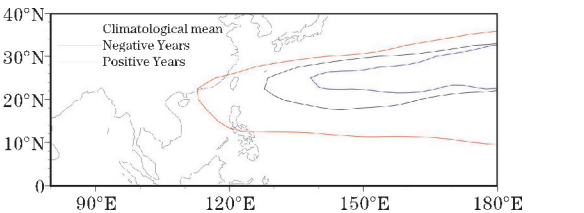


图 3 气候态及正、负异常年副高 588 线
(黑线为气候态,红线为正异常年,蓝线为负异常年)

均位势高度的纬向剖面对正、负异常年以及气候态 500 hPa 西风带环流差异进行分析。图 5 为正、负异常年与气候态 6–7 月中纬度 (30°N ~ 60°N) 500 hPa 平均位势高度纬向分布的对比,其中红线为正异常年,黑线为气候态,蓝线为负异常年。综合图 4、5 对环流形势进行分析,能明显看出 6–7 月无论正异常、负异常年,中纬度西风带都表现为长波两槽两脊形势,两个槽位于欧洲西部 (30°E) 附近和亚洲东岸 (120°E) 附近,而两个脊分别位于欧洲以西的海域 (0°)、乌拉尔山脉 (60°E) 附近。气候态高度场 (图 4a) 中,在中纬度地区,巴尔喀什湖以及中国东北地区上空为宽槽,下游稳定的形势使冷空气沿东北地区的槽线南下,中国东岸有一浅槽,受槽前西北气流控制,冷空气不断南下与南部暖空气相遇,影响中国东部大部地区。江淮地区处于浅槽槽前,受槽前西南气流影响,江淮地区 6–7 月盛行西南风,与南下的偏北气流在此交汇,有利于锋生,冷锋在夏季到达江淮地区后会转为梅雨准静止锋,加之西南气流带来的丰沛水汽,有利于降水的生成。负异常年 (图 4b) 中,588 线并不明显,欧亚大陆上空中纬度槽脊的波动平缓,经向运动微弱,不利于冷空气输送;而在正异常年 (图 4c),东亚大槽扰动加强,西风带平均槽脊的振幅较强,经向运动的加强为冷暖空气的交汇提供了较好的动力条件,江淮地区受槽前暖湿气流影响,冷暖空气在此形成稳定的对峙局面,形成稳定的降水过程。

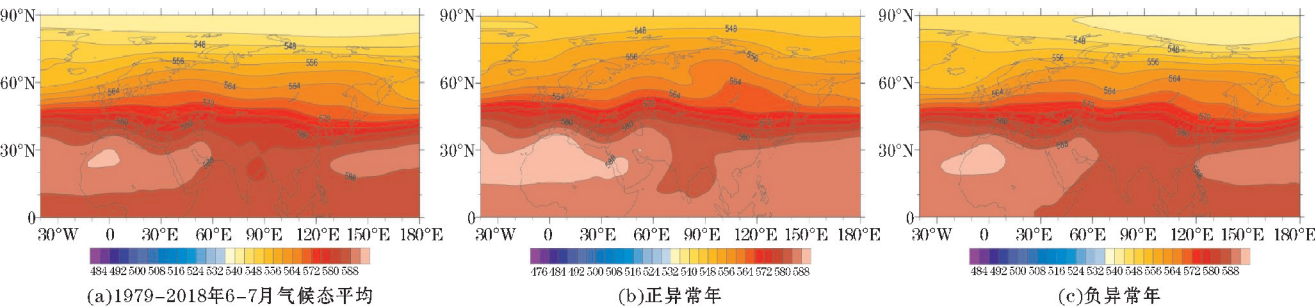


图4 气候态及正、负异常年500 hPa 位势高度场形势对比

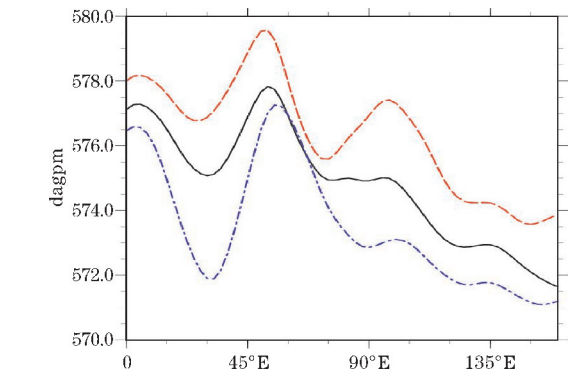


图5 正、负异常年与气候态6-7月中纬度(30°N~60°N) 500 hPa 平均位势高度纬向分布

2.3 副高北跳特征分析

副高的季节性变化对中国东部气候有重要的影响,同时,副高的阶段性北跳也对雨带位置和中国东部不同地区的雨季始末有着重要影响。在6-7月,副高存在两次明显季节性北跳,第一次北跳在6月中旬,东亚夏季风影响长江流域,江淮地区入梅;第二次北跳在7月中旬,东亚夏季风北推至华北地区,江淮地区的梅雨季结束,进入伏旱,而华北雨季开始。因此,对副高的两次北跳时间的系统性统计分析对于研究江淮地区的降水有非常重要的意义。基于前人研究进展,对副高北跳的时间进行定义:副高脊线第一次越过20°N(25°N)后,接下来两候都位于20°N(25°N)以北,则定义第一次越过20°N(25°N)的时间为第一(二)次北跳时间;另一种情况为:若前两候位于20°N(25°N)以北,第三候不位于20°N(25°N)以北,但位于19°N(24°N)以北,那么也将第一次越过20°N(25°N)的时间为第一(二)次北跳时间。

根据上述定义,表2为1979-2018年逐年副高两次北跳时间。通过统计,40年中,第一次北跳时间平均值为33.3候,为6月第三候;第二次北跳时间平均值为40.3候,为7月第三候。取 $\Delta=1(2)$ 候,即对于第一次北跳来说,北跳早于32.3候为第一次北跳偏早年,北跳晚于34.3候为第一次北跳偏晚年;而对于第二次北跳,早于38.3候为第二次北跳偏早年,北跳晚于42.3候

为第二次北跳偏晚年,基于此定义,第一次北跳偏早年为1980、1981、1984、1988、1989、1990、1991、1996、1999、2008、2011、2013年,共12 a,第一次北跳偏晚年为1982、1987、1992、1993、1995、2005、2009、2010、2014、2018年,共10 a,第二次北跳偏早年为1981、1984、1989、1994、2000、2001、2009、2011、2013、2015、2018年,共11 a,第二次北跳偏晚年为1980、1987、1993、1997、1998、2003年,共6 a。

表2 1979-2018年副高两次北跳时间						单位:候
年份	第一次北跳	第二次北跳	年份	第一次北跳	第二次北跳	
1979	33	40	1999	29	40	
1980	31	50	2000	33	38	
1981	32	37	2001	33	36	
1982	37	41	2002	33	40	
1983	34	39	2003	33	46	
1984	31	35	2004	34	39	
1985	33	40	2005	36	39	
1986	34	41	2006	33	42	
1987	35	44	2007	33	41	
1988	31	41	2008	31	40	
1989	31	38	2009	35	38	
1990	32	40	2010	37	39	
1991	31	39	2011	32	38	
1992	38	40	2012	34	40	
1993	35	47	2013	32	37	
1994	33	36	2014	36	40	
1995	35	41	2015	33	37	
1996	31	39	2016	34	41	
1997	33	46	2017	34	39	
1998	34	51	2018	35	35	
平均				33.3	40.3	

图6为两次副高北跳折线图,两次北跳过程在气候态上的表现为,第二次北跳在第一次北跳之后约7候出现。两次副高北跳的时间前后大致呈现相同的趋势,即第一次北跳时间早,第二次北跳时间也会提前,但也出现了特例,如1980年,出现第一次北跳偏早,而第二次偏晚的情况,两次北跳相关系数为0.07,呈微弱正相关。

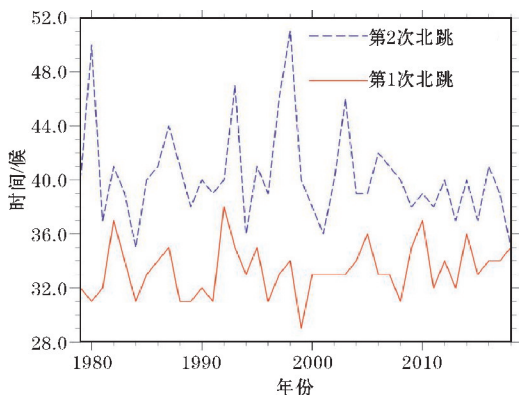


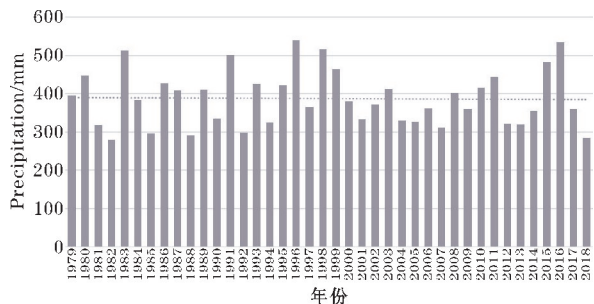
图 6 副高两次北跳时间

3 江淮地区梅雨季降水特征

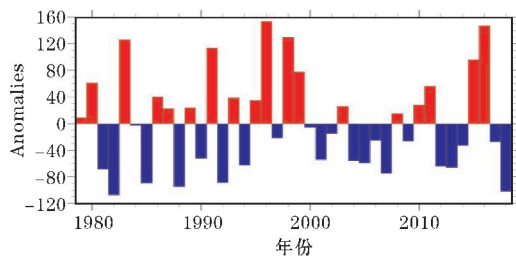
3.1 梅雨季江淮地区降水量特征分析

副高的季节性北进南退与中国东部地区雨季的始末有着密切的关系,西太平洋副热带高压对江淮地区控制面积很大,且在对流层中层以下对近地面的气候影响更为直接和显著。一般来说,中国夏季东部地区的雨带随着副高的不断北进,从华南经江淮地区向华北推进。为更好地研究副高与降水的相关关系,对江淮地区梅雨季的降水进行研究。

从气候态平均来看,江淮地区梅雨季的降水主要集中在 6-7 月,南方地区年均 6-7 月降水在 400 ~ 600 mm,江淮地区降水在 400 ~ 500 mm,而北方降水相对较少,降水集中在东北、华北地区,西北地区降水较少。100 mm 降水带呈东北-西南分布,其走向基本与 400 mm 年等降水量线一致。中国降水受季风影响明显,6-8 月为汛期,降水较为集中。选取 1979-2018 年 6-7 月江淮流域 277 个代表站点所处经纬度区域 (28°N ~ 34°N, 111°E ~ 123°E) 平均累积降雨量进行分析,取区域内累计降水量进行计算,如图 7(a) 为 1979-2018 年江淮地区累计降水量柱状图,6-7 月年平均累计降雨量为 386.1 mm,其中降水量最大值出现在 1996 年,为 540.62 mm,最小值出现在 1982 年,为 279.6 mm;此外,40 年以来年均累计降水量的线性趋势系数为 -0.128 mm/a,呈微弱减少趋势。另外,从图中的多项式拟合变化趋势线中也可以看出,累计降水量从 20 世纪 80 年代初期至 90 年代中期呈逐渐增长趋势,90 年代降水量较大,从降水距平图中(图 7b)可以看出,降水偏多年为 1983、1991、1996、1998、2016 年,共 5 a,降水偏少年为 1982、1985、1988、1992、2018 年,共 5 a。



(a) 累计降水量



(b) 降水距平

图 7 1979-2018 年江淮地区 6-7 月累计降水及降水距平

3.2 副热带高压对江淮地区降水影响

为进一步分析江淮梅雨与副高的关系,将江淮地区 6-7 月累计降水量与副高北跳趋势相对比可以发现,与 20 世纪相比,进入 21 世纪后,副高两次北跳的逐年趋势趋于平稳,波动较小,计算副高的两次北跳时间(候)与累计雨量的相关系数,累计雨量与第一次副高北跳的相关系数为 -0.28,呈负相关,而与第二次北跳相关系数为 0.3,即第一次北跳时间越早,降水量越大,第二次北跳时间越晚,降水量越大,副高的第一次北跳对应江淮梅雨期开始,第二次北跳对应江淮梅雨结束,两次北跳时间之差大致对应着江淮地区梅雨的时间,因此第一次北跳越早,第二次北跳越晚,两次北跳间隔时间越长,意味着副高对江淮地区影响时间越久,梅雨季时间越长,降水量越大,反之亦然。

为分析 500 hPa 高度场与北跳时间之间的联系,选取 1979-2018 年 40 年逐年 6-7 月高度场平均与每年第一次、第二次北跳时间进行区域相关分析,如图 8 所示,第一次北跳与江淮地区呈明显的负相关,即副高北跳越早,高度场位势高度越低,588 线偏南,而第二次北跳与江淮地区呈正相关,即副高第二次北跳越晚,高度场位势高度越高,588 线偏北,意味着两次北跳时间间隔时间越长,副高对江淮地区的影响越大,梅雨季时间越长,反之亦然。两次北跳与高度场的相关性在中国东部地区均呈北负南正的分布,在印度等低纬度地区,两次北跳均呈正相关,两次北跳均受夏季风影响,低纬在夏季受夏季风影响更甚。

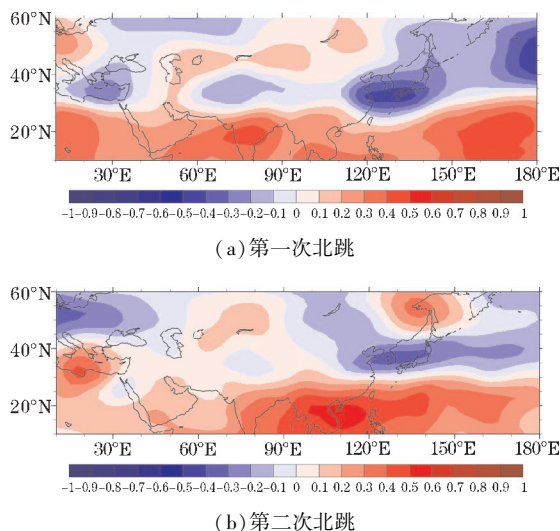


图8 副高第一次北跳、第二次北跳与500 hPa高度场相关系数

由于 $20^{\circ}\text{N} \sim 25^{\circ}\text{N}$, $125^{\circ}\text{E} \sim 140^{\circ}\text{E}$ 区域内处于副高气候态的西边界位置,对副高的南北、东西位置变化以及强度的变化较为敏感,且此区域与西太平洋整个地区的500 hPa高度相关系数都呈较高的正相关关系,能够清楚明了地表现副高的西伸和强度变化,因此选取此区域作为关键区,500 hPa平均高度作为副高指数进行计算分析。为更好展现副高和江淮地区降水量的关系,对副高指数与累计降水量进行标准化后,绘制柱状图和折线图,如图9所示,副高指数与江淮地区的累计降水量有很好的对应关系,相关性为0.488,通过95%的显著性检验,呈现较强的正相关性,即副高指数高的年份,对应的降水量一般较大,而在副高指数较低的年份,降水量较少。

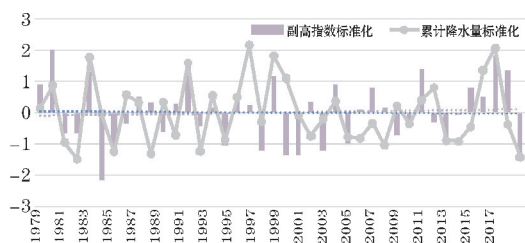


图9 副高指数及累计降水标准化

在副高活动强的年份,江淮地区降水量较多;反之,副高活动弱,江淮地区降水较少。从动力方面分析其成因,副高活动强年,副高脊线偏南,副高强度大,高压系统较为深厚,高压中心为强辐散,脊线附近表现为中低层下沉气流强盛而中高层为上升运动的特征。江淮地区地处高压系统北侧,强烈的上升气流将近地面的水汽送入高空,为降水的发生提供了较好的热力条件。同时,副高的维持也是降水持续的主要条件,而持续的降水,也使低层南风发展,促进对流潜热的释放,反过来又有利于副高的加强西伸,因此副高和降水呈

现相互作用、相互影响的特征。

4 结论和讨论

通过1979–2018年6–7月NCEP/NCAR $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 逐日再分析资料和国家气象站日降水资料,统计了40年副高3项指数的逐年逐日变化,并分析指数异常年的大气环流特征。同时,研究了江淮地区梅雨季的降水特征,分析副高北跳与高度场、降水量的关系,得出以下结论。

(1)1979–2018年40年江淮地区梅雨季期间,副高3项指数中,脊线指数平均值为 23.7°N ,西伸脊点平均值为 116.5°E ,副高面积指数平均值为134,6–7月,副高脊线逐渐向北移动,西伸脊点逐渐西移,副高面积逐渐扩大,对中国东部地区的影响逐渐加深。

(2)江淮地区梅雨季期间,副高三项指数均为异常的年份有5年,正异常年副高呈现整体偏强的特征,588线面积较大,西伸明显,脊线偏北,而负异常年与之相反,

(3)副高在6–7月的两次北跳过程中,第一次北跳在6月第三候,第二次北跳在7月第三候,气候态表现为第二次北跳在第一次北跳后7候出现,副高的北跳标志着不同地区雨季的始末。

(4)6–7月江淮地区梅雨期间,累计降水400~500 mm,40年来江淮地区梅雨季的累计雨量呈微弱减少的趋势,累计雨量与第一次副高北跳呈负相关,与第二次副高北跳呈正相关,即两次北跳间隔时间越长,副高对江淮地区影响越明显,降水量越大。

(5)在梅雨季,江淮地区500 hPa高度场与副高的第一次北跳呈明显负相关,而与副高第二次北跳呈正相关,高度场与副高两次北跳的相关系数区域分布均呈现北负南正的分布。

参考文献:

- [1] 刘屹岷,吴国雄.副热带高压研究回顾及对几个基本问题的再认识[J].气象学报,2000(4):500–512.
- [2] 陶诗言,徐淑英.夏季江淮流域持久性旱涝现象的环流特征[J].气象学报,1962(1):1–10.
- [3] 陶诗言,徐淑英,郭其蕴.夏季东亚热带和副热带地区经向和纬向环流型的特征[J].气象学报,1962(2):91–103.
- [4] 陶诗言.中国夏季副热带天气系统若干问题的研究[D].北京:科学出版社,1963:1–146.

- [5] 陶诗言,朱福康. 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,1964(4):385-396.
- [6] 黄士松,余志豪. 副热带高压结构及其同大气环流有关若干问题的研究[J]. 气象学报,1962(S1):339-359.
- [7] 黄士松. 副热带高压的东西向移动及其预报的研究[J]. 气象学报,1963(3):320-332.
- [8] 熊安元. 90 年代长江中游异常多雨的气候变化背景分析[J]. 应用气象学报,2001(1):113-117.
- [9] 陶诗言,卫捷. 再论夏季西太平洋副热带高压的西伸北跳[J]. 应用气象学报,2006(5):513-525.
- [10] 陶诗言,张庆云,张顺利. 1998 年长江流域洪涝灾害的气候背景和大尺度环流条件[J]. 气候与环境研究,1998(4):3-12.
- [11] 黄士松,汤明敏. 论东亚季风体系的结构[J]. 气象科学,1987,7(3):1-16.
- [12] 叶天舒. 全球变暖背景下西太平洋副热带高压的北跳及与我国东部夏季降水的关系[D]. 兰州:兰州大学,2015.
- [13] 李慧,周顺武,王亚非. 西太平洋副热带高压异常与中国长江中下游夏季降水关系研究综述[J]. 气象与环境学报,2013,29(1):93-102.
- [14] 陶诗言,徐淑英. 夏季江淮流域持久性旱涝现象的环流特征[J]. 气象学报,1962(1):1-10.
- [15] 沙万英,郭其蕴. 西太平洋副热带高压脊线变化与我国汛期降水的关系[J]. 应用气象学报,1998(S1):32-39.
- [16] 张庆云,陶诗言. 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,2003(3):369-380.
- [17] 杨杰,封国林,赵俊虎,等. 夏季西太平洋副热带高压的客观量化预测及其对汛期降水的指示[J]. 气象学报,2012,70(5):1032-1044.
- [18] 赵俊虎,封国林,杨杰,等. 夏季西太平洋副热带高压的不同类型与中国汛期大尺度旱涝的分布[J]. 气象学报,2012,70(5):1021-1031.
- [19] 朱乾根,何金海. 亚洲季风建立及其中期振荡的高空环流特征[J]. 热带气象,1985(1):9-18.
- [20] ZHU Qiangen, HE Jinhai, WANG Panxing. A study of circulation differences between East Asian and Indian summer monsoon with their interaction[J]. Adv Atmos Sci,1986,3(4):466-477.
- [21] 廖荃荪,赵振国. 7-8 月西太平洋副热带高压的南北位置异常变化及其对我国天气的影响[A]. 长期天气预报和日地关系研究[C]. 章基嘉,黄荣辉. 北京:海洋出版社,1992:131-139.
- [22] 王成林,邹力. 西太平洋副热带高压的年际变率及其与 ENSO 的相关性[J]. 热带气象学报,2004(2):137-144.
- [23] 慕巧珍,王绍武,朱锦江,等. 近百年夏季西太平洋副热带高压的变化[J]. 大气科学,2001,25(6):787-797.
- [24] 温敏,何金海. 夏季季风降水凝结潜热释放效应对西太平洋副高形成和变异的影响[J]. 南京气象学院学报,2000,23(4):536-541.
- [25] 许云凡,陈权亮,郑飞. 夏季西太平洋副高的年际变化及异常特征分析[J]. 海洋预报,2018,35(6):24-33.
- [26] Gong D, Ho C. Shift in the summer rainfall over the Yangtze River valley in the late 1970s[J]. Geophysical Research Letters,2002,29(10):781-784.
- [27] 刘玉国,马应生,刘怡然. 西太副高第一次北跳与其后热带气旋的关系[J]. 解放军理工大学学报,2017,18(2):156-162.
- [28] SU Tonghua, XUE Feng. Two Northward Jumps of the Summertime Western Pacific Subtropical High and Their Associations with the Tropical SST Anomalies[J]. ATMOSPHERIC AND OCEANIC SCIENCE LETTERS,2011,4,(2):98-102.
- [29] Nitta T. Convective activities in the tropic western Pacific and their impact on the northern hemisphere summer circulation[J]. J. Meteor. Soc. Japan,1987,65:373-390.
- [30] 黄荣辉,孙凤英. 热带西太平洋暖池的热状态及其上空的对流活动对东亚夏季气候异常的影响[J]. 大气科学,1994(2):141-151.
- [31] 龚道溢,王绍武. 南北半球副热带高压对赤道东太平洋海温变化的响应[J]. 海洋学报(中文版),1998(5):44-54.
- [32] 张先恭. 西太平洋副热带高压的气候振动[J]. 气象科学研究院院刊,1988,3(1):1-9.
- [33] Hu Z. Interdecadal Variability Of Summer Climate Over East Asia And Its Association With 500 h Pa Height And Global Sea Surface Temperature[J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres,2012,102(D16):19.
- [34] 张宇,李耀辉,刘抗. 西太平洋副热带高压对江淮海夏季区域降水异常的影响[J]. 干旱区研究. 2015,32(3):518-525.

[35] 吴国雄,刘屹岷,刘平. 空间非均匀加热对副热带高压带形成和变异的影响 I:尺度分析[J]. 气象学报,1999(3):2-8.

[36] 刘屹岷,刘辉,刘平,等. 空间非均匀加热对副热带高压形成和变异的影响 II:陆面感热与东太平洋副高[J]. 气象学报,1999(4):385-396.

[37] 刘屹岷,吴国雄,刘辉,等. 空间非均匀加热对副热带高压形成和变异的影响——III:凝结潜热加热与南亚高压及西太平洋副高[J]. 气象学报,1999(5):525-538.

[38] 丁一汇,柳俊杰,孙颖,等. 东亚梅雨系统的天气-气候学研究[J]. 大气科学,2007(6):1082-1101.

[39] 李勇,金荣花,周宁芳,等. 江淮梅雨季节强降雨过程特征分析[J]. 气象学报,2017,75(5):717-728.

[40] 龚道溢,何学兆. 西太平洋副热带高压的年代际变化及其气候影响[J]. 地理学报,2002(2):185-193.

Analysis on Characteristics of Subtropical High and Precipitation in Jianghuai Meiyu Season

WEI Wei, JIN Ronghua, XIAO Tianguai, SUN Xiaoqing

(1. College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. China Meteorological Administration, Beijing 100081, China; 3. Meteorological Observation Center of CMA, Beijing 100081, China)

Abstract: According to the characteristics of precipitation and activity of subtropical high in the Jianghuai region during the Meiyu season, the subtropical high index and northward jump time of the long time series were quantitatively counted in combination with the definition of subtropical high index. By analyzing the daily reanalysis data of NCEP/NCAR and the daily precipitation data of national meteorological stations in June and July from 1979 to 2018. the daily variation of the three subtropical high indexes in the 40 years were statistically analyzed, and the characteristics of atmospheric circulation in the index abnormal years were analyzed. At the same time, the thesis analyzes the precipitation characteristics of the Meiyu season in the Jianghuai region, and the relationship between the north jump of subtropical high and the height field and precipitation is analyzed systematically. The results show that, during June and July, the ridgeline of the subtropical high moved northward, the ridge point of the western extension moved westward, the area of the subtropical high expanded gradually, and the intensity of the subtropical high increased. During the Meiyu season in the Jianghuai region from 1979 to 2018, there were 5 years in which all three indices of subtropical high were abnormal. In negative anomaly years, the fluctuation of trough ridge in mid-latitude was gentle, and the meridional motion was weak. In positive anomaly years, the meridional movement of the airflow over the westerlies is strengthened. The climate state of 40 years shows the situation of the long wave, two troughs, and two ridges. During the two northward jumps of the subtropical high in the Meiyu season, the first northward jump occurred in the 3 hou of June, the second northward jump occurred in the 3 hou of July. And the climatic state showed that the second northern jump appeared about 7 hou after the first one. The spatial distribution of precipitation has obvious north-south and east-west differences. The 500hPa height field in the Jianghuai region is significantly negatively correlated with the first northward jump of subtropical high and positively correlated with the second northward jump of subtropical high.

Keywords: atmospheric sciences; study on dynamic characteristics of large scale system; subtropical high; Jianghuai meiyu season; subtropical high index