

文章编号:2096 - 5389(2018)06 - 0031 - 08

南亚高压与长江中下游夏季降水异常的关系

马端良, 伯 玥, 姜茹茵, 陈星宇

(山东省烟台经济技术开发区气象局, 山东 烟台 264006)

摘 要:该文利用 1951—2013 年夏季全国 160 站降水资料与 NCEP/NCAR 再分析月平均高度场资料(水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$), 选取 17 个站点代表长江中下游流域, 采用合成分析及相关分析等方法, 研究了夏季降水量异常与同期及前期 5 月南亚高压的关系。结果表明, 降水量异常偏多年夏季南亚高压中心位势高度明显偏大, 位置较为偏西, 前期 5 月南亚高压东西跨度较大, 面积偏大; 降水量异常偏少年份南亚高压中心位势高度偏小, 前期 5 月中心位于中南半岛上空, 面积偏小。夏季南亚高压东伸指数和 5 月份南亚高压脊线位置与长江中下游流域夏季降水相关性较好, 对长江中下游流域夏季降水具有一定的预测作用。

关键词:长江中下游流域; 降水异常; 南亚高压; 特征参数

中图分类号:P434+.4 **文献标识码:**A

Relationship between south Asian high and summer rainfall anomaly in the middle and lower reaches of the Yangtze River

MA Duanliang, BO Yue, JIANG Ruyin, CHEN Xingyu

(The Meteorological Bureau of Yantai Economic and Technological Development Zone,
Shandong Province, Yantan 264006, China)

Abstract: By using the 1951—2013 summer monthly precipitation data in China and the NCEP/NCAR monthly mean meteorological reanalysis data (horizontal resolution $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$), 17 stations were selected as representatives of Middle and Lower reaches of the Yangtze River to analyze the relationship between SAH and Summer rainfall anomaly in Middle and Lower reaches of the Yangtze River by adopting the method of synthetic analysis and correlation analysis. Results indicate that in the rainfall anomaly bullish years, central geopotential of SAH is obviously on the high side, position by west. In May the east - west span is larger, the area is larger. in the rainfall anomaly lower years, central geopotential of SAH is smaller. In May, the Center is located in Indochina Peninsula, the area is smaller. It is found that the east extension index of SAH in summer and the latitude of ridge line index in May have a good correlation with the summer precipitation in the middle and lower reaches of the Yangtze River, which has a certain predictive effect on the summer precipitation in the middle and lower reaches of the Yangtze River.

Key words: The middle and lower reaches of the Yangtze River; rainfall anomaly; SAH; characteristic parameters

1 引言

长江中下游地区是我国人口密集程度最大以

及工农业经济较发达的区域之一。叶笃正等^[1]的研究表明, 长江中下游流域是我国旱涝灾害多发地区之一。长江中下游流域严重的旱涝灾害给当地

收稿日期:2018 - 01 - 31

第一作者简介:马端良(1990—), 男, 助工, 主要从事气象服务工作, E-mail: mdlnuist@126.com。

人民的生命和财产安全造成严重威胁,同时也给我国经济造成了巨大的损失。因而,分析长江中下游流域降水异常成因,提高灾害性天气的预测水平,已成为气象工作者以及相关部门关注的科学问题。

南亚高压,又称为“青藏高原”,是北半球对流层上空最为强大且最为稳定的环流系统^[2],也是夏季北半球高层最强大的高压系统,同时是亚洲夏季风的主要成员之一^[3]。南亚高压的异常移动和发展经常能够引起东亚季风的异常。盛夏期间位于南亚上空的南亚高压与我国大范围旱涝的关系,已有诸多研究^[4-8]。

1964 年陶诗言^[4]等联系我国的实际,最早指出了南亚高压东西振荡的概念。朱福康^[9]等研究指出,南亚高压的位置和强度存在着显著的季节性变化,直接影响着北半球上大气环流的季节变化。罗四维^[6]等进一步以 100°E 为界,将南亚高压分为东部型、西部型和带状型,并将东部和西部型高压之间的相互转换称为南亚高压的东西振荡。90 年代中期以后,随着资料增加和资料时间长度增长,南亚高压的特征已经被人们所熟知。许多学者^[10-15]已经指出南亚高压面积、强度、脊线、东西界位置、中心位置都存在显著的年际变化。张琼^[16]发现我国夏季各月的降水量与同期南亚高压以及 100 hPa 高度场的时间相关系数很高,并得出南亚高压异常对我国夏季降水有着直接影响的结论。

前人对于长江中下游流域降水异常与南亚高压的关系的研究多集中在 100 hPa 等压面^[16-19]。本文在前人的基础上着重分析 1951—2013 年,即 63 a 间长江中下游流域降水异常与南亚高压在 200 hPa 等压面上的关系。之后计算南亚高压各个特征指数,比较对应降水量异常年份特征参数与正常年份的异同,分析各个特征参数与降水异常年份降水量的相关性,并重点分析长江中下游流域降水异常与南亚高压的关系。

2 采用资料及方法

2.1 采用资料

本文主要研究长江中下游流域夏季降水异常与南亚高压的关系,定义每年 6—8 月份为夏季,参考黄燕燕等^[17]的站点选取方式,取南京、合肥、上海、杭州、安庆、宁波、南昌、衢县、长沙、屯溪、宜昌、钟祥、常德、贵溪、汉口、岳阳、九江这 17 个站点代表长江中下游流域。采用的资料为 NCEP/NCAR 再分析月平均高度场资料,水平分辨率为 2.5° × 2.5°。降水资料为 1951—2013 年全国 160 站 6—8 月逐月

降水资料。

2.2 资料处理方法

运用统计学方法处理台站降水资料,分析出长江中下游夏季降水的时间分布序列,并对降水资料进行标准化处理:

$$\text{平均值: } \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$\text{距平: } x_i^0 = x_i - \bar{x}$$

$$\text{标准差: } s_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$$\text{标准化: } x_i^* = \frac{x_i - \bar{x}}{s_x}$$

式中 $i = 1, 2, 3, \dots, n$, 得出降水量随时间的变化特征,以标准差绝对值大于 1 的年份作为夏季降水量异常年,分析自 1951 年以来长江中下游流域夏季区域降水异常年份。差值百分率定义为降水量异常年份特征参数值与特征参数值多年平均的差值占特征参数多年平均值的百分比。利用高度场资料,对 200 hPa 高度场进行合成,将异常年份与平均年份高度场进行对比分析其特征,之后计算分析南亚高压各个特征参数,比较对应降水异常年份特征参数与平均年份的异同,研究各个特征参数与异常年份降水量的相关性,分析比较找出与异常年份夏季降水量相关性较大的特征参数,目的是为了分析长江中下游流域夏季降水异常与南亚高压的关系。

2.3 南亚高压特征参数定义

本文中主要考虑了南亚高压中心位置指数、强度指数、面积指数、东伸指数和脊线位置指数作为南亚高压特征参数。结合王伟等^[15]对南亚高压特征参数的定义方法,选取区域为 0 ~ 50°N, 10 ~ 150°E,对 200 hPa 等压面南亚高压特征参数进行定义:中心位置指数定义为最大位势高度值所在的经度;强度指数定义为大于 12 512.5 gpm 的格点值与 12 512.5 gpm 之差的总和;面积指数定义为区域内大于等于 12 512.5 gpm 的格点数;东伸指数定义为 12 512.5 gpm 等值线东脊点经度;脊线位置指数定义为区域内经线上纬度最大值的平均值。

另外,在计算 5 月南亚高压的特征参数时,由于南亚高压强度以及位置与夏季的不同,所选区域为 20°S ~ 50°N, 10 ~ 180°E 范围,5 月南亚高压特征参数定义:中心位置指数定义为最大位势高度值所在格点经度;强度指数定义为大于 12 440 gpm 的格点值与 12 440 gpm 之差的总和;面积指数定义为区域内大于等于 12 440 gpm 的格点数;东伸指数定义为

12 440 gpm 等值线东脊点经度;脊线位置指数定义为区域内经线上纬度最大值的平均值。

3 结果与分析

3.1 长江中下游流域夏季降水异常分析

本次研究选取长江中下游流域 17 个代表性站点范围在 $28^{\circ} \sim 32^{\circ} \text{N}$, $111^{\circ} \sim 122^{\circ} \text{E}$ 内。利用 1951—2013 年长江中下游流域 17 个站点的夏季降水资料,求得 63 a 间降水量平均值,之后对其进行标准化处理,整理得到图 1,即 1951—2013 年 17 站夏季降水量平均值标准化序列图。由图 1 可以看出,1951—2013 年间长江中下游夏季降水量呈振荡趋势。1954 年为显著的夏季降水量异常偏多年,此后 1956—1968 年间,除 1962 年为降水量偏多年外,其他均为降水量偏少年份,之后在 1969 年又一次出现了较为显著的降水量异常偏多年。1970—1992 年,其中 1978 年为较显著的降水量异常偏少年份,1980 年为较显著的降水量异常偏多年份。80 年代开始,降水情况出现转折,之后长江中下游流域降水偏多年增加,尤其是在 90 年代,1993—1999 年均为降水量偏多年,其中 1998 年与 1999 年连续 2 a 降水量偏多,之后降水情况出现转折。2003—2007 年连续 5 a 夏季降水量偏少,2011 年夏季降水量偏多。

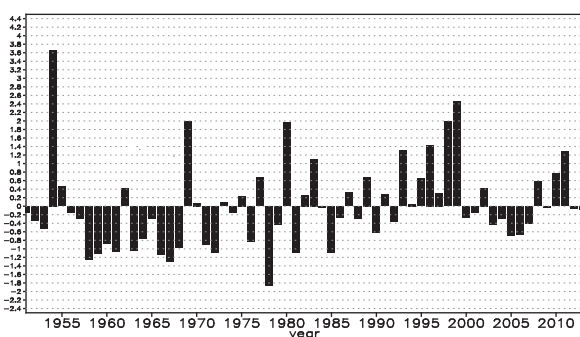


图 1 1951—2013 年长江中下游流域夏季降水量距平标准化序列图

Fig. 1 Standardized sequence diagram of summer precipitation anomaly in the middle and lower reaches of Yangtze River in 1951—2013 years

以标准差绝对值大于 1 的年份作为夏季降水量异常年,从图中分析得到:①降水异常偏多年份有 9 a: 1954、1969、1980、1983、1993、1996、1998、1999、2011 年,②降水异常偏少年份有 10 a: 1958、1959、1961、1963、1966、1967、1972、1978、1981、1985 年。

图 2 给出了长江中下游流域夏季降水量异常偏多年份降水距平分布图。由图 2 可分析出,长江中下游夏季降水量异常偏多年份中,长江中下游区域

内有显著地正距平,相当范围内降水量距平值均在 100 mm 以上,且长江中下游流域降水量距平值相对于我国其他地区也明显偏高,以上均证实上述年份具有显著降水量异常偏多的特点。

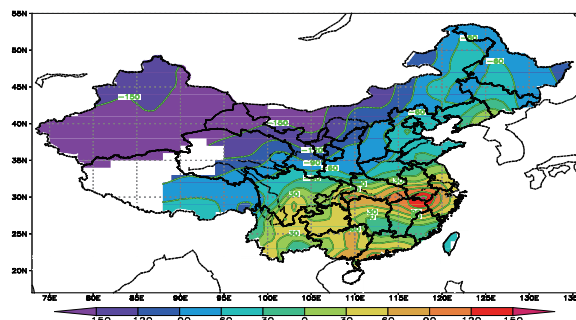


图 2 1951—2013 年间夏季降水量异常偏多年份降水量距平分布图 (单位: mm)

Fig. 2 1951—2013 anomalous distribution of summer precipitation over the years

图 3 给出了长江中下游流域夏季降水量异常偏少年份降水距平分布图,由图 3 可看出,长江中下游夏季降水量异常偏少的年份中,长江中下游区域内有普遍的负距平分布,部分地区距平值 < -50 mm,特别是相对于临近西南地区大范围正距平区域,上述年份中长江中下游流域夏季降水量异常偏少。

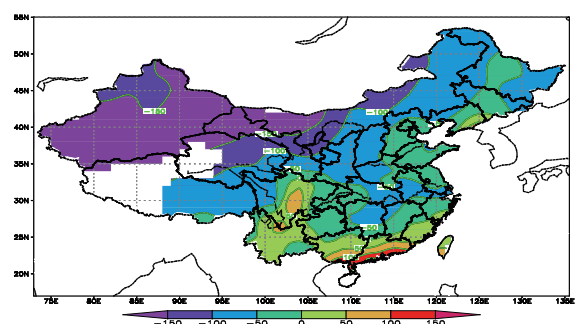


图 3 1951—2013 年间夏季降水量异常偏少年份降水量距平分布图 (单位: mm)

Fig. 3 1951—2013 abnormal distribution of summer rainfall over the past few years

3.2 夏季降水量异常年份同期南亚高压特征分析

图 4 为夏季长江中下游流域降水量异常年份同期 200 hPa 位势高度场合成。图 4a 为同期位势高度场多年平均图,图 4b 与图 4c 分别为中长江中下游流域夏季降水量异常偏多年份同期位势高度场与降水量异常偏少年份同期位势高度场。

分析图 4 南亚高压特征:①长江中下游流域夏季降水量异常偏多年份,南亚高压中心位势高度大于 12 550 gpm,显著大于多年平均中心位势高度;位

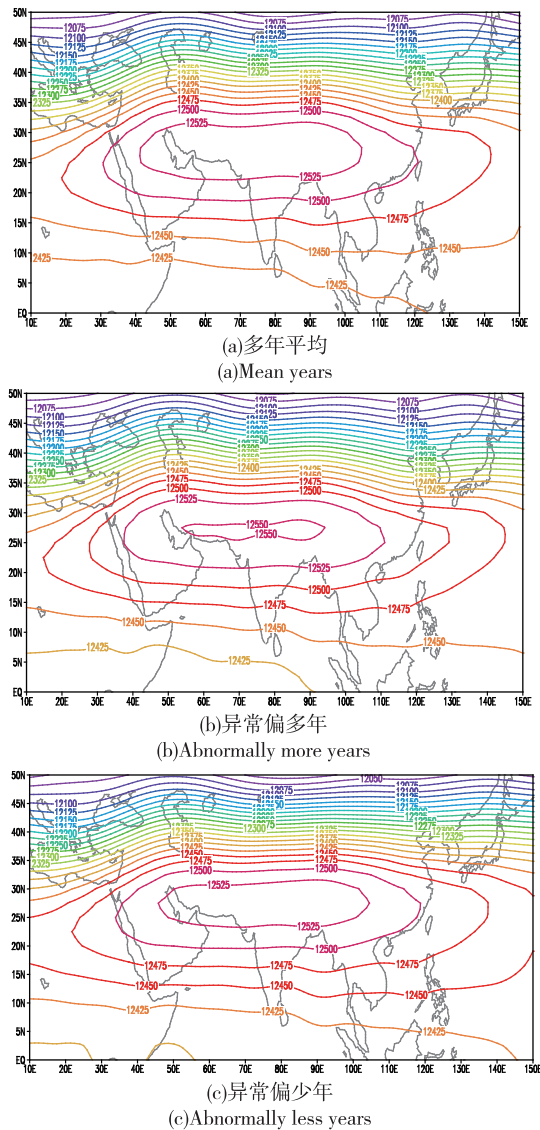


图 4 夏季长江中下游流域降水异常年份的同期
200 hPa 位势高度场合成分布(单位: gpm)

Fig. 4 Distribution of 200 hPa potential height field in the
middle and lower reaches of Yangtze River in summer

势高度等值线 12 525 gpm 所围面积大于多年平均, 12 525 gpm 等值线最东端位置达到 110°E, 南北位置与多年平均无太大差异; ②长江中下游流域夏季降水异常偏少年份, 位势高度等值线 12 500 gpm 所围面积小于多年平均, 东伸范围则并无明显差别; ③降水量异常偏多年南亚高压中心强度比降水量异常偏少年强 25 gpm; 12 525 gpm 位势高度等值线所围面积也明显大于降水量异常偏少年, 12 525 gpm 等值线东脊点位置较于降水量异常偏少年偏东近 10 个经度距离。

总体看来, 长江中下游流域夏季降水量异常偏多年同期南亚高压特征与多年平均特征差异较显

著, 降水量异常偏少年份同期南亚高压特征与多年平均特征差异较小, 且降水量异常偏多年份南亚高压中心强度偏强, 位置偏东, 降水量异常偏少年份南亚高压高度中心强度偏弱, 位置略微偏西。

3.3 夏季降水量异常年份与南亚高压特征参数的关系

3.3.1 夏季南亚高压特征参数分析 图 5 为 1951—2013 年 6—8 月份南亚高压各个特征参数经过标准化处理的序列图。图 5a 和 5b 分别为南亚高压强度指数距平标准化时间序列图以及面积指数距平标准化序列图, 由图可以看出这两个特征参数变化趋势基本一致, 且在 1978 年出现转折。1978 年之前为普遍负距平, 之后转为正距平, 且之后大部分年份均呈较显著的正距平分布。在这一点上与长江中下游流域降水量异常年份也出现了一定的吻合: 降水量异常偏少年份多集中在 1978 年及之前, 降水量异常偏多年份多集中在 1980 年及以后。图 5c 为南亚高压东伸指数距平标准化时间序列图, 其变化规律相比于强度指数和面积指数较不显著, 但在 1977 年也有负距平到正距平的转折出现, 这与上述二指数变化一致。图 5d 和 5e 分别为中心位置经度与脊线位置特征参数距平标准化时间序列图, 由图可看出中心位置经度正负距平振荡明显且幅度较大, 其中 1978—1993 年除 1981 年为负距平, 其他年份均为较大正距平, 在这之中也出现了 3 a 夏季降水异常偏多年份。脊线位置特征参数距平标准化时间序列图中, 正负距平变化差异较大, 规律不明显。

表 1 给出了 1951—2013 年夏季南亚高压各特征参数之间的相关系数。分析表 1 可知, 南亚高压的面积指数、强度指数和东伸指数三者间的相关系数均达到了 $\alpha = 0.01$ 的显著性检验, 这 3 个指数之间存在显著的线性相关性, 这与前人的研究一致。但南亚高压的中心位置经度以及脊线位置与其他的特征参数的相关性较差。

表 2 是 1951—2013 年 63 a 间夏季南亚高压各个特征指数与长江中下游流域 17 个台站夏季降水平均值的相关系数。表 2 可看出, 南亚高压东伸指数与长江中下游夏季平均降水量相关系数达到了 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验; 其余 4 个指数相关系数均没有通过 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验, 其中强度指数和面积指数虽没通过 $\alpha = 0.05$ 检验, 但相关系数相对较高。以上分析表明夏季南亚高压东伸指数特征参数对长江中下游流域夏季降水具有一定的预测作用。

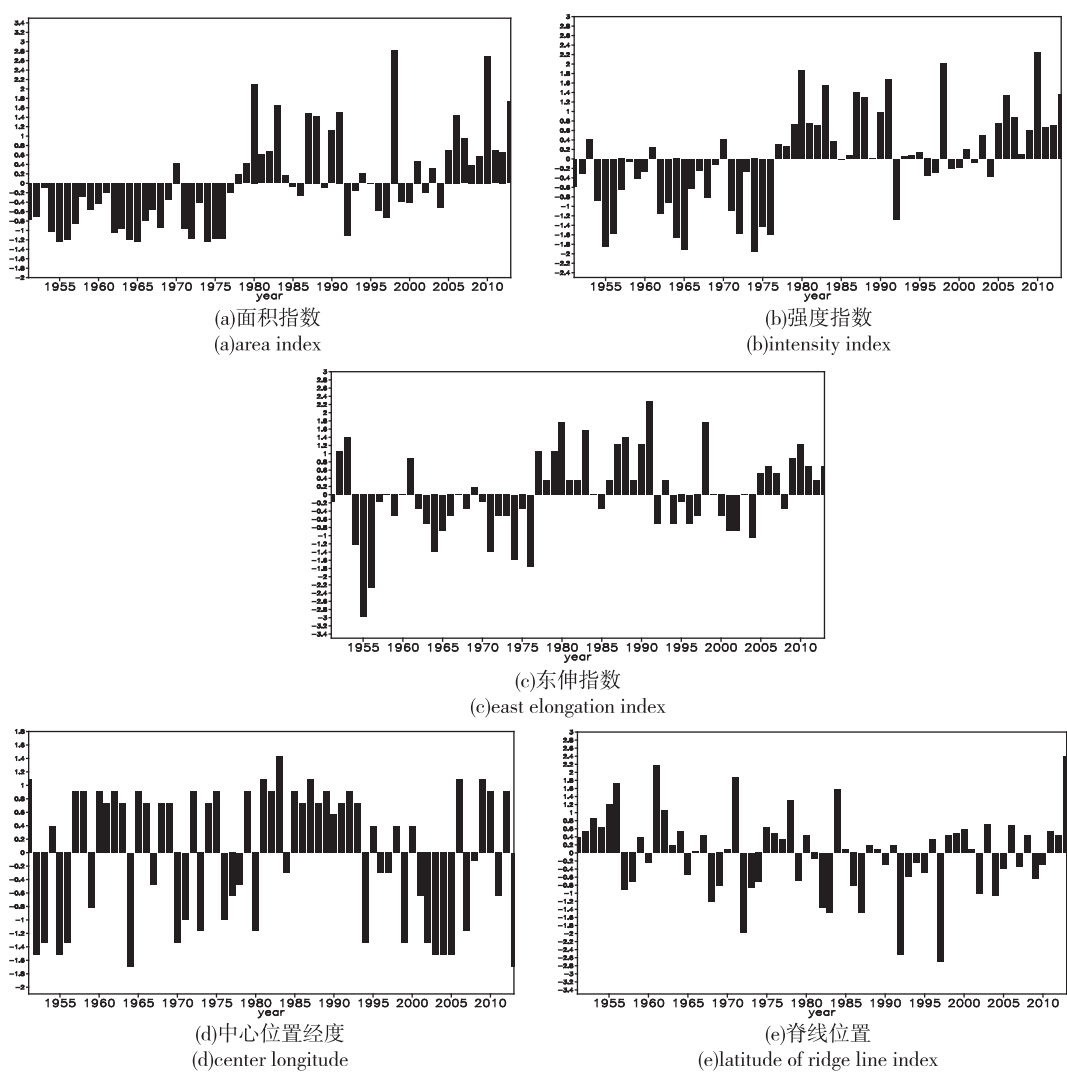


图 5 1951—2013 年 6—8 月南亚高压各个特征参数的标准化序列
Fig. 5 1951—2013 Standardized sequence of various characteristic parameters of South Asia high in 6—8 months

表 1 1951—2013 年南亚高压各个特征参数间的相关系数

Tab. 1 1951—2013 correlation coefficients between various characteristic parameters of SAH

	面积指数	强度指数	东伸指数	中心位置经度	脊线位置
面积指数	1				
强度指数	0.956 05	1			
东伸指数	0.848 45	0.766 04	1		
中心位置经度	0.092 54	0.083 41	0.277 62	1	
脊线位置	0.015 53	0.036 46	-0.055 98	-0.357 89	1

注: $R_{0.05} = 0.250\ 0$ $R_{0.01} = 0.324\ 8$

表 2 1951—2013 年 5 月南亚高压各个特征指数与长江中下游流域夏季降水相关系数

Tab. 2 1951—2013 correlation coefficients of summer South Asian high pressure characteristics and summer precipitation in the middle and lower reaches of the Yangtze River in May

	脊线位置	强度指数	面积指数	东伸指数	中心位置经度
相关系数	-0.031 15	0.228 98	0.203 81	0.279 07	0.015 29

注: $R_{0.05} = 0.250\ 0$ $R_{0.01} = 0.324\ 8$

3.3.2 夏季降水量异常年份南亚高压特征参数分析 表 3 为长江中下游流域夏季降水量异常偏多年

南亚高压特征参数值,表 4 为长江中下游流域夏季降水量异常偏少年南亚高压特征参数值。表 3、表 4

中差值百分率定义为降水量异常年份特征参数值与特征参数值多年平均的差值占特征参数多年平均值的百分比。

由表可以分析出:①降水量偏多年份,中心位置经度的特征参数相较于多年平均值偏小,其他各个特征参数较于多年平均值都偏大,面积指数与强度指数较之于多年平均值差异较大,特别是强度指数与多年平均值的差值百分率达到了 50% 以上,脊线位置特征参数则与多年平均值差异不大;②降水

量偏少年,中心位置经度和脊线位置的特征参数相较于多年平均值偏大,其余各个特征参数相较于多年平均都偏小,其中东伸指数和脊线位置的特征参数相较于多年平均值差异较小,强度指数较之于多年平均差异较大,其差值百分率达到 30% 以上,这一点与降水量异常偏多年份也是一致的;③降水量异常偏多年与降水量异常偏少年南亚高压各个特征参数值与夏季同期位置高度场特征是基本一致的。

表 3 降水量异常偏多年南亚高压特征参数值

Tab. 3 the characteristic parameter values of South Asia high over the past few years

	东伸指数	面积指数	强度指数	中心位置经度	脊线位置
1954	95	76	508.77	82.5	26.54
1969	115	128	2 134.26	87.5	25.22
1980	137.5	263	8 002.54	60	26.36
1983	135	241	6 925.35	97.5	24.61
1993	117.5	139	2 594.8	87.5	25.44
1996	102.5	111	1 607.59	72.5	26.27
1998	137.5	273	9 741.22	82.5	26.36
1999	112.5	122	2 052.33	57.5	26.4
2011	122.5	228	7 119.15	52.5	28.16
偏多平均	119.44	175.67	4 520.67	75.56	26.15
多年平均	112.46	135.51	2 982.56	76.83	25.97
差值百分率	6.21%	29.64%	51.57%	-1.65%	0.69%

表 4 降水量异常偏少年南亚高压特征参数值

Tab. 4 The characteristic parameter values of South Asia high with abnormal precipitation

	东伸指数	面积指数	强度指数	中心位置经度	脊线位置
1958	112.5	132	2 287.87	90	25.31
1959	105	108	1 636.06	65	26.32
1961	125	152	2 475.83	87.5	27.94
1963	102.5	73	656.4	87.5	26.14
1966	105	93	1 071.51	87.5	26.01
1967	112.5	119	1 654.88	70	26.36
1972	105	29	189.07	90	24.17
1978	117.5	154	3 442.9	70	27.15
1981	117.5	187	4 432.82	92.5	25.83
1985	107.5	135	2 784.46	90	26.05
偏少平均	111.00	118.20	2 063.18	83.00	26.13
多年平均	112.46	135.51	2 982.56	76.83	25.97
差值百分率	-1.30%	-12.77%	-30.83%	8.03%	0.62%

3.4 夏季降水量异常年份前期 5 月南亚高压特征分析

图 6 为夏季长江中下游流域降水量异常年份前期 5 月 200 hPa 位势高度场距平场合成。图 6a 与图 6b 分别为表 1 中长江中下游流域夏季降水量异常偏多年份与降水量异常偏少年份前期 5 月位势高度场距平场。

分析图 6 中南亚高压前期 5 月份高度场特征:

①5 月份南亚高压刚刚建立,较之于夏季 6—8 月份南亚高压强度明显偏弱,中心位置位于中南半岛上空。②长江中下游流域夏季降水量异常偏多年份,位势高度等值线 12 475 gpm 所围面积范围显著大于多年平均高度场,呈东西带状分布,经度跨度较大,且中心位置较多年平均偏南。③长江中下游流域夏季降水异常偏少年份,位势高度等值线 12 475 gpm 所围面积较之于多年平均高度场偏小,等值线东伸

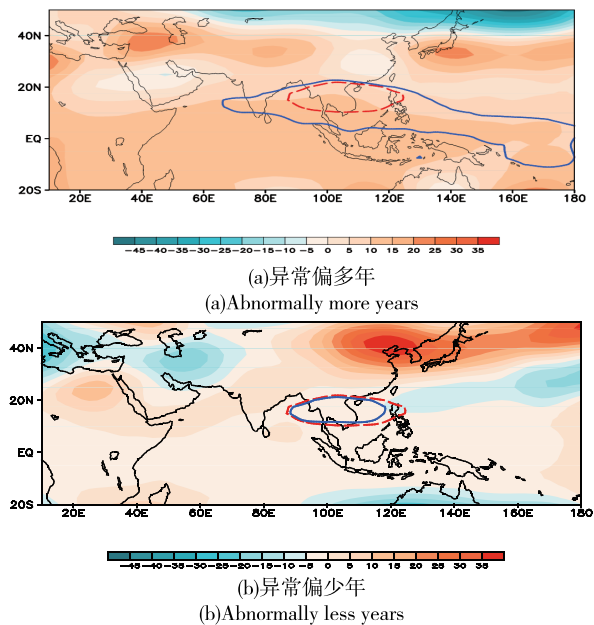


图6 夏季长江中下游流域降水异常年份前期5月南亚高压200 hPa高度场距平场(蓝色实线为异常年份12 475 gpm线,红色虚线为63 a平均12 475 gpm线)

Fig. 6 Summer precipitation anomaly in the middle and lower reaches of the Yangtze River in the summer May, the 200 hPa height field anomaly of the South Asia high in the early stage (The blue solid line is the abnormal year 12 475 gpm line, and the red dashed line is the 63 year average 12 475 gpm line)

表5 1951—2013年5月南亚高压各个特征指数与长江中下游流域夏季降水相关系数

Tab. 5 1951—2013 correlation coefficients of summer South Asian high pressure characteristics and summer precipitation in the middle and lower reaches of the Yangtze River in May

	脊线位置	强度指数	面积指数	东伸指数	中心位置经度
相关系数	-0.357 12	0.180 55	0.059 27	0.037 64	0.015 29

注: $R_{0.05} = 0.250$ $R_{0.01} = 0.324$

4 结论

①长江中下游流域夏季降水异常偏多年份同期南亚高压中心位势高度较之多年平均高度场显著偏大,位置偏东,南北位置与多年平均无太大差异。夏季降水量异常偏多年份前期5月南亚高压面积明显偏大,呈东西带状分布且东西跨度较大,整体位置偏南。

②长江中下游流域夏季降水异常偏少年份同期南亚高压中心位势高度较之多年平均高度场偏小,但差异不明显。前期5月南亚高压面积较之于降水量偏多年份则显著偏小,且位置偏北。

③长江中下游流域夏季降水量异常偏多年,中心位置经度的特征参数相较于多年平均值偏小,其他各个特征参数较于多年平均值都偏大,面积指数

范围较多年平均偏西近5个经度距离。④降水量异常偏多年南亚高压中心强度与降水量异常偏少年相比,12 475 gpm位势高度等值线所围面积也明显大于降水量异常偏少年,强度较降水量异常偏小年大,东伸范围显著大于异常偏少年。

总体看来,长江中下游流域夏季降水量异常偏多年5月份南亚高压特征与多年平均特征差异较显著,降水量异常偏少年份5月份南亚高压特征与多年平均差异较小,且降水量异常偏多年份南亚高压中心强度大,位置偏东,降水量异常偏少年份南亚高压中心强度小。这与夏季6—8月份南亚高压高度场特征一致。

3.5 夏季降水量异常年份与前期5月南亚高压特征参数的关系

表5是1951—2013年63 a间5月南亚高压各个特征指数与长江中下游流域17个台站夏季降水平均值的相关系数。表5可看出,脊线位置与长江中下游夏季平均降水量相关系数 <0 ,呈反相关关系,且相关系数达到了 $\alpha = 0.01$ 的显著性检验;其余4个指数相关系数均没有通过 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验。以上分析表明5月份南亚高压脊线位置特征参数对长江中下游流域夏季降水具有一定的预测作用。

与强度指数较之于多年平均值差异较大,脊线位置特征参数则与多年平均值差异不明显;偏少年,中心位置经度与脊线位置的特征参数相较于多年平均值偏小,其余各个特征参数较于多年平均都偏小,其中东伸指数以及脊线位置的特征参数相较于多年平均值差异较小,强度指数较之于多年平均差异较大。

④5月南亚高压脊线位置与长江中下游夏季降水相关性较好,表明5月份南亚高压脊线位置特征参数对长江中下游流域夏季降水具有一定的预测作用。

总之,长江中下游流域夏季降水异常与南亚高压存在一定的相关性,这些关系可通过南亚高压的特征参数在一定程度上反应出来。但是导致降水量异常的原因是多方面的,在降水量异常年份中,

个别年份的特征参数特点与整体规律并不完全相符, 有关于这一现象的原因还有待于进一步研究。

参考文献

- [1] 叶笃正, 黄荣辉, 等. 黄河长江流域旱涝规律和成因研究[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1996.
- [2] Mason R M, Andson C E. The Development and Decay of the Summertime Anticyclone over Southern Asia [J]. Mon Wea Rev, 1958, 91: 3-12.
- [3] 王伟, 范广州. 南亚高压分布特征与长江流域降水关系的数值模拟[J]. 高原山地气象, 2012, 32(4): 9-13.
- [4] 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, 34(4): 385-396.
- [5] 张琼. 南亚高压的演变规律、机制及其对区域气候的影响[D]. 南京: 南京大学, 1999.
- [6] 罗四维, 钱正安, 王谦谦. 夏季 100 毫巴青藏高原高压与我国东部旱涝关系的天气气候研究[J]. 高原气象, 1982, 1(2): 1-10.
- [7] GAO A C, SHEN P L, LI B W, et al. Relation among Summer Rainfall in South Shandong and High Pressure in South Asia and Atmospheric Circulation[J]. Meteorological and Environmental Research, 2011, 07: 41-46.
- [8] 陈桂英, 廖荃荪. 100 hPa 南亚高压和我国夏季降水[A]. 国家气象局气象科学研究所编. 气象科学技术集刊(6)[C]. 北京: 气象出版社, 1983: 41-51.
- [9] 朱福康, 陆龙骅, 陈咸吉, 等. 南亚高压[M]. 北京: 科学出版社, 1980.
- [10] 陈咸吉, 朱福康, 陆龙骅, 等. 南亚高压准三年振荡周期[J]. 气象科技, 1980, 8(1): 1-3.
- [11] 张琼, 钱永甫, 张学洪. 南亚高压的年际和年代际变化[J]. 大气科学, 2000, 24(1): 67-78.
- [12] 谭晶, 杨辉, 孙淑清, 等. 夏季南亚高压东西振荡特征的研究[J]. 南京气象学报, 2005, 28(4): 452-460.
- [13] 尤卫红, 段长春, 赵宁坤, 等. 夏季南亚高压年际变化的特征时间尺度及其时空演变[J]. 高原气象, 2006, 04: 601-608.
- [14] QIAN Y F, ZHANG Q, YAO Y H, et al. Seasonal variation and heat preference of the South Asia High[J]. Adv Atmos Sci, 2002, 19(5): 821-836.
- [15] YAN R C, BIAN J C, FAN Q J. The Impact of the South Asia High Bimodality on the Chemical Composition of the Upper Troposphere and Lower Stratosphere[J]. Atmospheric and Oceanic Science Letters, 2011, 04: 229-234.
- [16] 张琼. 南亚高压的演变规律机制及其对区域气候的影响[D]. 南京大学博士论文, 南京大学出版社, 1999.
- [17] 黄燕燕, 钱永甫. 长江流域、华北降水特征与南亚高压的关系分析[J]. 高原气象, 2004, 23(1): 602-607.
- [18] 戴卫帮. 南亚高压异常对云南汛期降水的影响[J]. 贵州气象, 2015, 4(39): 27-31.
- [19] 朱静静. 青藏高原的位置、强度与长江流域降水异常的关系[A]. 浙江省气象学会、江苏省气象学会、上海市气象学会. 首届长三角气象科技论坛论文集[C]. 浙江省气象学会、江苏省气象学会、上海市气象学会, 2004: 11.