

雷显辉, 宋敏红, 张少波, 2022. 夏季南亚高压和西太副高活动特征指数与中国东部降水分布的联系[J]. 高原气象, 41(2): 489-501. LEI Xianhui, SONG Minhong, ZHANG Shaobo, 2022. Association between Summer Activity Characteristic Indices of the South Asia High and the West Pacific Subtropical High and Precipitation Distribution in Eastern China[J]. Plateau Meteorology, 41(2): 489-501. DOI: 10. 7522/j. issn. 1000-0534. 2021. 00099.

夏季南亚高压和西太副高活动特征指数与中国东部降水分布的联系

雷显辉, 宋敏红, 张少波

(成都信息工程大学大气科学学院, 高原大气与环境四川省重点实验室, 四川 成都 610225)

摘要: 为了进一步研究夏季南亚高压(South Asia High, SAH)与西太平洋副热带高压(West Pacific Subtropical High, WPSH)活动特征指数变化及其相互作用对我国东部降水的影响, 利用2001—2020年高分辨率ERA5再分析资料分析了南亚高压和西太副高的夏季逐候强度指数、面积指数、脊线位置和东西伸脊点的演变特征, 并针对两者同强同弱和经纬向位置远近情形下对比分析了两者互动作用对我国东部降水的影响。结果表明:(1)南亚高压和西太副高的强度指数与面积指数变化均呈较明显的正相关, 特别是南亚高压的脊线位置、强度指数和面积指数的变化有较好的一致性, 即: 南亚高压脊线越偏北(南), 其强度和面积指数均越大(小)。(2)夏季南亚高压东伸脊点和西太副高西伸脊点的逐候平均位置变化具有“相向而行、相背而去”的互动趋势, 南亚高压纬向位置的突变晚于经向位置的突变, 间隔时间约4候。(3)两者同强同弱年与我国东部降水有较好的相关性, 即当两者同时偏强(弱)时, 长江中下游地区降水偏多(少), 华南地区降水偏少(多)。两者经纬向相对位置的异常对我国东部降水有一定的影响, 即: 当两者经纬向异常靠近时, 黄河下游至出海口区域降水偏多, 江南、西南地区降水偏少; 而当两者经纬向异常远离时, 西南地区降水偏多, 长江中下游地区降水偏少。

关键词: 南亚高压; 西太副高; 降水; 特征指数; 逐候变化

文章编号: 1000-0534(2022)02-0489-13 **中图分类号:** P466 **文献标识码:** A

DOI: 10. 7522/j. issn. 1000-0534. 2021. 00099

1 引言

南亚高压(South Asia High, SAH)与西太平洋副热带高压(West Pacific Subtropical High, WPSH; 以下简称西太副高)是东亚地区夏季对流层高层(100 hPa)和中低层(500 hPa)最为显著的高压单体, 对夏季东亚大气环流系统和天气气候都有着重要的影响, 一方面体现在南亚高压和西太副高本身, 另一方面体现在两者与其周围天气系统间的相互作用, 这种相互作用不仅有东西(纬向)摆动, 还有南北(经向)推移。

作为不同高度层的环流系统, 南亚高压和西太

副高本身的强度、位置变化所引起降水变化也不同, 如南亚高压与中国东部地区夏季异常降水之间存在显著关系(张琼等, 2000; 黄燕燕和钱永甫, 2004; 胡景高等, 2010; 张莹等, 2019; 朱玲等, 2010)。许多研究利用观测资料和再分析资料分析了南亚高压的时空演变特征(罗米娜, 2019), 通过估算大气热源研究夏季青藏高原的准双周振荡的特征(钟珊珊等, 2020), 总结了南亚高压的特征变化及其对青藏高原夏季降水的影响(姚秀萍等, 2021), 并探讨了南亚高压与极涡的作用规律(陈永仁和李跃清, 2008), 以有南亚高压与我国夏季早

收稿日期: 2021-05-31; 定稿日期: 2021-11-25

资助项目: 第二次青藏高原综合科学考察研究(2019QZKK0103); 国家重点研发计划项目(2018YFC1505700); 成都信息工程大学科研基金项目(KYTZ201721)

作者简介: 雷显辉(1998—), 男, 广东肇庆人, 学士, 主要从事气候变化的研究. E-mail: 925396325@qq.com

通信作者: 宋敏红(1973—), 女, 陕西宝鸡人, 副教授, 主要从事气候变化与数值模拟研究. E-mail: songmh@cuit.edu.cn

涝的关系(王斌和李跃清, 2011), 特别是对我国西南地区夏季降水的影响(罗米娜, 2019)。西太副高与我国夏季雨带有着密切关系, 黄露等(2012)从周边天气系统、海洋热状况和与我国夏季旱涝的关系三个方面综述了西太副高的作用与影响; 吴姗姗和郭大勇(2019)指出西太副高偏北(南), 东亚夏季风较强(弱), 华北地区降水偏多(少); 冯婉和徐婷(2016)指出夏季西太副高脊线的两次明显北跳均伴随西伸脊点的东退和强度指数的降低; 任丽等(2021)诊断分析了两次西太副高北侧暖锋暴雨过程的动力与热力机制; 张雅乐和俞小鼎(2021)指出西太副高是黄河气旋暴雨过程的直接影响系统之一。甚至可以利用流函数重新定义西太副高的强度、面积、脊线和西伸脊点指数, 有利于研究西太副高异常的演变(王庆万等, 2020), 或利用大气环流指数与海温指数等对青藏高原南部汛期降水建立了预测模型(邓少格等, 2021)。

南亚高压和西太副高不仅具有各自的变化特征, 同时也存在相互作用。在我国, 陶诗言和朱福康(1964)首先研究了季节尺度下的夏季亚洲南部南亚高压和西太副高的互动关系, 得出两者常“相向而行, 相背而去”的结论。在两者普遍同强同弱的基础上, 作为两者的连接纽带西风急流也与两者的强度呈正相关(范广洲等, 2014), 而且两者在纬向上有明显的反相关系, 在经向上有明显的正相关系(金爱浩等, 2018)。夏季南亚高压和西太副高的平均脊线位置变化基本一致(李永华等, 2012), 当两者纬向位置异常重叠(分离)时, 长江中下游地区异常上升(下沉)运动, 江南地区异常下沉(上升)运动(张玲和智协飞, 2010), 并且在3~6年尺度和10~15年尺度上两者纬向进退关系明显, 特别是在10~15年尺度上南亚高压与长江地区的降水关系为正相关(陈永仁等, 2011); 同时, 两者的东西振荡对西南地区夏季降水异常有影响, 在31候、36~37候以及45~46候两者脊点之间的经距有明显异常特征(张宇等, 2013)。许多研究还关注再分析资料对南亚高压和西太副高特征的表现, 如: 陈雯和智协飞(2008)得出NCEP/NCAR再分析资料所反映的南亚高压和西太副高的变化在幅度和强度上都大于ECMWF再分析资料的结果; 张莹等(2018)利用1960—2015年NCEP再分析资料和1960—2002年ERA-40再分析资料对比分析了南亚高压的年代际变化特征, 指出两种资料存在一定的差异。

纵观对南亚高压和西太副高两者位置关系的研究, 多采用分辨率较粗的再分析, 而且时间尺度

多为逐日、逐月、逐年以及年代际, 对逐候的分析甚少。考虑到在中期预报上, 重点关注的时间是未来3~7天, 而逐候的研究正好符合中期预报要求的时间尺度, 相比逐日变化的不确定和逐年变化的不明显更能有效地代表一定区域内的中期预报。因此, 本文旨在利用高分辨率的ERA5再分析资料通过分析南亚高压和西太副高的东西、南北移动的时空特征和经向、纬向配置, 进一步研究两者的互动作用, 从而初步探讨两者的互动作用对我国东部夏季降水的影响, 以期在一定程度上丰富以候为时间尺度的研究, 从而为我国东部夏季降水的预报提供一定的指示意义。

2 资料来源与方法介绍

2.1 资料来源

所用资料如下: (1)欧洲中期天气预报中心(ECMWF)提供的2001—2020年ERA5月平均和逐时再分析资料。ERA5再分析资料是第五代ECMWF大气再分析全球气候数据, 通过先进的建模和数据同化系统将大量历史观测结果同化到高分辨率格点上, 其中包括逐时大气、陆地和海洋气候变量的估计值, 数据精确到30 km网格, 包括了137层的大气数据, 在时空分辨率上都优于NCEP/NCAR和ERA-Interim再分析资料。本文主要使用ERA5再分析数据中重力位势、经向风、纬向风、水汽通量散度、垂直速度等物理量, 水平分辨率均为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$, 其中逐时资料选取00:00(北京时, 下同)、06:00、12:00和18:00共4个时次平均成逐日数据。(2)国家气象信息中心提供的1961年至今全国范围日值、月值降水格点资料, 水平分辨率为 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$, 主要是通过薄盘样条差值法将2472个国家级地面气象观测站插值得到, 经过质量控制, 数据具有较好的适用性。

2.2 研究方法

参考了国家气候中心对环流指数的定义, 采用强度指数、面积指数、脊线位置和东西伸脊点来描述南亚高压和西太副高的特征。其中, 强度指数和面积指数都是严格按照定义计算的, 但当计算脊线位置时, 100 hPa高度场上($0^{\circ} - 80^{\circ} \text{N}$, $40^{\circ} \text{E} - 180^{\circ}$)区域内在16750 gpm等值线范围内(若没有16750 gpm, 则用16740 gpm代替, 以此类推直到16710 gpm)位势高度最大值的平均纬度值定义为南亚高压脊线位置; 500 hPa高度场上($10^{\circ} \text{N} - 50^{\circ} \text{N}$, $110^{\circ} \text{E} - 150^{\circ} \text{E}$)区域内在5880 gpm等值线范围内(若没有5880 gpm, 则用5870 gpm代替, 以此类推

直到 5840 gpm)位势高度最大值的平均纬度值定义为西太副高脊线位置。

在计算两者东西伸脊点时,考虑到主要突出两者的互动关系,因此,对南亚高压仅计算东伸脊点,西太副高仅计算西伸脊点。当计算南亚高压东伸脊点时,100 hPa 高度场上(0°—80°N, 0°—180°)区域内在 16750 gpm 等值线范围内(若没有 16750 gpm,则用 16740 gpm 代替,以此类推直到 16710 gpm)最东端点所在位置的经度定义为南亚高压东伸脊点;当计算西太副高西伸脊点时,500 hPa 高度场上(10°N—50°N, 90°E—180°)区域内在 5880 gpm 等值线范围内(若没有 5880 gpm,则用 5870 gpm 代替,以此类推直到 5840 gpm)最西端点所在位置的经度定义为西太副高西伸脊点。

本文主要关注夏季逐候南亚高压与西太副高的特征指数及其互动作用对我国东部降水的影响,夏季取 6—8 月平均。

3 南亚高压与西太副高特征指数的关系

3.1 强度指数和面积指数

从 2001—2020 年夏季南亚高压与西太副高的强度指数演变(图 1)不难看出,夏季受太阳辐射季

节变化的影响,南亚高压强度指数呈先增强后减弱的变化趋势,其中最大强度普遍出现在 7 月第 4~5 候,平均可达到 16980 gpm,6 月第 1 候强度最弱,仅有 16740 gpm,且强度指数变化具有明显的年际差异,如图 1(a)中 2004 年和图 1(c)中 2012 年南亚高压强度明显低于 20 年的气候平均值,而图 1(b)中 2010 年和图 1(d)中 2020 年则明显高于 20 年的气候平均值;夏季西太副高的强度指数呈波动变化,平均达到 5920 gpm,强度指数由 6 月第 1 候增强到第 5 候达到小峰值,随后有所减弱,在 7 月第 3~5 候出现第二个峰值,之后波动变化,到 8 月第 5 候达到第三个峰值,这三个强度峰值分别对应长江中下游梅雨期、黄河下游雨季和华北北部、东北地区雨季。值得注意的是,2004 年和 2012 年西太副高强度也明显偏弱,而 2010 年和 2020 年则明显偏强,可见,两者具有明显的同强同弱性。同时,南亚高压强度指数具有年代际变化差异,如 2016—2020 年南亚高压和西太副高强度普遍高于 20 年的气候平均值[图 1(d)],而 2001—2005 年南亚高压的强度则普遍低于 20 年的气候平均值[图 1(a)],其他年份的变化均围绕气候平均值上下波动。由此推断 2016—2020 年南亚高压与西太副高的强度变强可能与全球变暖有关。

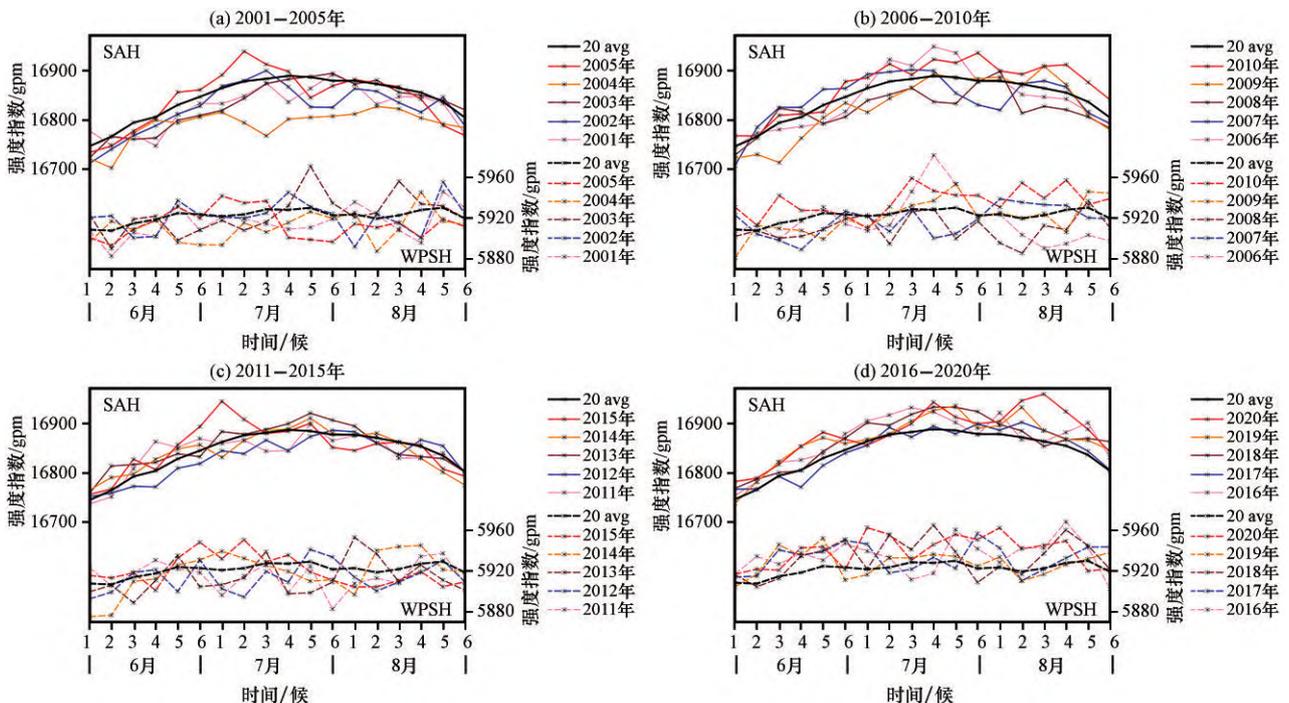


图 1 2001—2020 年夏季南亚高压(实线)和西太副高(虚线)强度指数的逐候变化曲线
加粗黑色线代表 20 年气候平均值

Fig. 1 Pentad variation of intensity index of the South Asia High (SAH, solid line) and the West Pacific Subtropical High (WPSH, dash line) in summer from 2001 to 2020. The thickened black lines represent the 20-year mean climate values

图2中夏季南亚高压的面积变化趋势也为先增大后减小,其中最大面积指数普遍出现在7月第1~6候;夏季西太副高的面积变化趋势并不大,较大面积指数由7月第1~2候持续到8月第1~2候。同

样,南亚高压和西太副高在2016—2020年面积指数普遍大于20年的气候平均值[图2(d)],而2001—2005年南亚高压面积指数则普遍低于20年的气候平均值[图2(a)]。

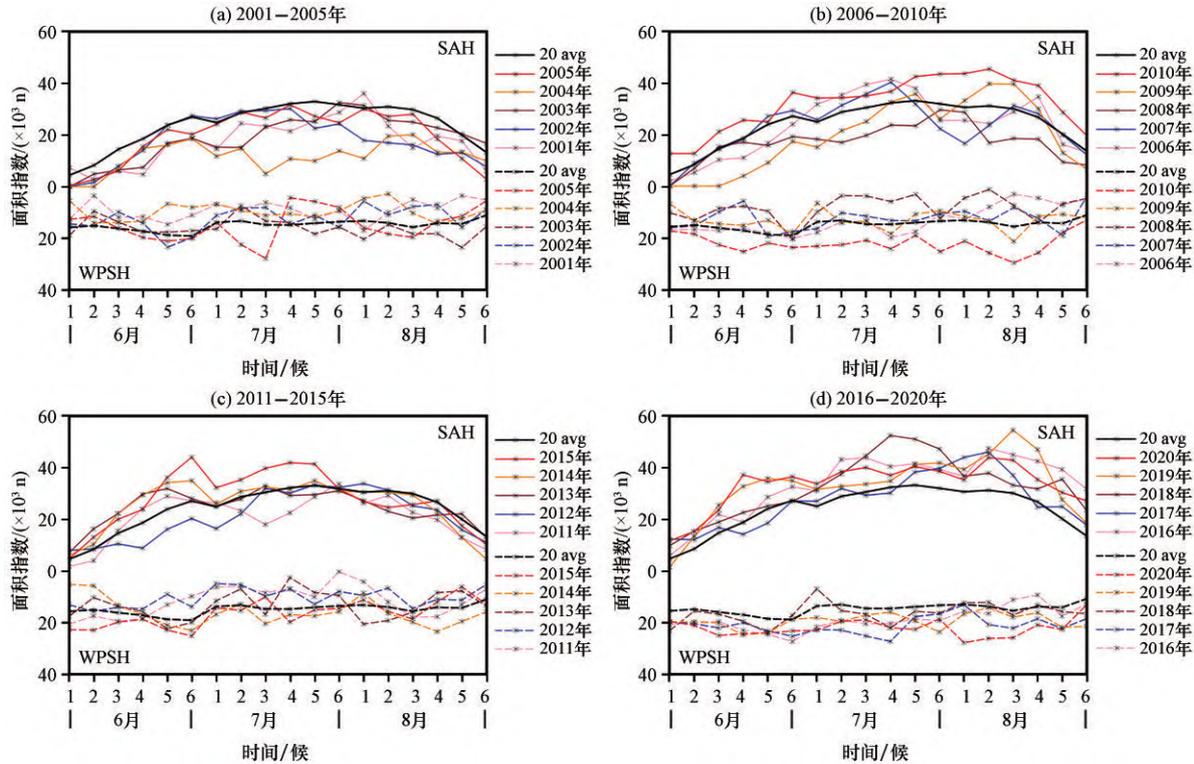


图2 2001—2020年夏季南亚高压(实线)和西太副高(虚线)面积指数的逐候变化曲线
加粗黑色线代表20年气候平均值

Fig. 2 Area index of the South Asia High (SAH, solid line) and the West Pacific Subtropical High (WPSH, dash line) in summer during 2001—2020. The thickened black lines represent the 20-year mean climate values

综上所述,2001—2020年夏季南亚高压和西太副高的强度指数、面积指数变化有明显的一致性,配合表1和表2南亚高压和西太副高各自的强度指数和面积指数之间的相关性达到0.897和0.544,均通过0.01的显著性检验,即强度越强,面积越大;强度越弱,面积越小。这与张琼等(2000)研究指出夏季南亚高压的强度和面积同时增强和增大的结论相一致。并且夏季南亚高压与西太副高的强度

表2 2001—2020年夏季逐候西太副高特征指数之间的
相关系数

Table 2 Correlation between characteristic indices of WPSH at pentad in summer from 2001 to 2020

特征指数	强度指数	面积指数	脊线位置	东西伸脊点
强度指数	1			
面积指数	0.544	1		
脊线位置	-0.080	-0.522	1	
东西伸脊点	-0.354	-0.574	0.098	1

加粗字体表示通过0.01显著性水平检验

表1 2001—2020年夏季逐候南亚高压特征指数之间的
相关系数

Table 1 Correlation between characteristic indices of SAH at pentad in summer from 2001 to 2020

特征指数	强度指数	面积指数	脊线位置	东西伸脊点
强度指数	1			
面积指数	0.897	1		
脊线位置	0.520	0.455	1	
东西伸脊点	0.680	0.750	0.502	1

加粗字体表示通过0.01显著性水平检验

变化表现出较为明显的同强同弱,此结论也可从表3南亚高压和西太副高之间的强度指数的相关性达到0.433,并通过0.01显著性水平检验中得到印证。

3.2 脊线平均位置

由2001—2020年夏季南亚高压与西太副高脊线平均位置的逐候变化曲线(图3)可看出,南亚高压脊线从6月第1候起一直向北移动,直到7月第6

表3 2001—2020年夏季逐候南亚高压和西太副高特征指数之间的相关系数

Table 3 Correlation between characteristic indices of SAH and WPSH at pentad in summer from 2001 to 2020

西太副高	南亚高压			
	强度指数	面积指数	脊线位置	东西伸脊点
强度指数	0.433	0.454	0.090	0.327
面积指数	0.204	0.321	-0.230	0.111
脊线位置	0.190	0.130	0.509	0.272
东西伸脊点	-0.270	-0.333	-0.050	-0.255

加粗字体表示通过0.01显著性水平检验

候达到最北,变化幅度约7个纬度,进入8月末则开始南移,同时,西太副高脊线也有6月第1候波

动北移,在8月第1候达到最北后开始波动南撤,可见,两者的脊线变化具有较好的南北互动性,配合表3南亚高压和西太副高之间的脊线位置相关性为0.509,通过0.01显著性水平检验,即在经向上也有同向而行的趋势。另外,2011年和2016年,这两年南亚高压脊线最北位置出现在7月第6候,达到41°N。参考图1和图2的强度指数和面积指数不难看出,南亚高压脊线位置的变化与其强度和面积变化有较好的一致性,配合表1南亚高压脊线位置与强度指数和面积指数的相关性为0.520和0.455,均通过0.01显著性水平检验。即:南亚高压越往北(南)移,强度及面积越大(小),表明南亚高压变化更稳定,其特征指数一致性变化较好。

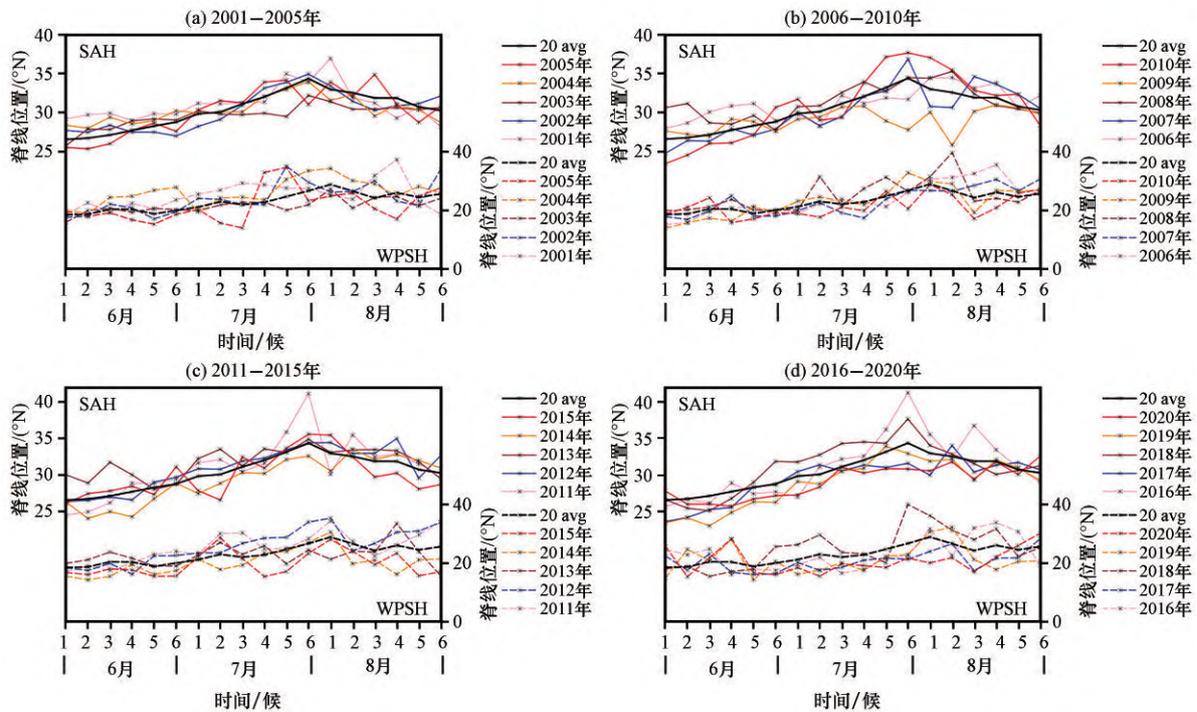


图3 2001—2020年夏季南亚高压(实线)和西太副高(虚线)脊线位置的逐候变化曲线

加粗黑色线代表20年气候平均值

Fig. 3 Ridge position of the South Asia High (SAH, solid line) and the West Pacific Subtropical High (WPSH, dash line) in summer from 2001 to 2020. The thickened black lines represent the 20-year mean climate values

而西太副高的脊线变化从6—8月先北挺后南撤,其中8月第1候脊线位置普遍达到最北位置,变化幅度约为4个纬度。如2008年和2018年[图3(b), (d)],西太副高的脊线最北位置出现在8月第2候和7月第6候,达到40°N。图3中西太副高脊线变化体现出了夏季的两次北跳,特别是对7月下旬到8月初脊线的第二次北跳表现明显。

3.3 东西伸脊点

为了研究南亚高压和西太副高的纬向位置相互影响,下面将探讨南亚高压的东伸脊点和西太副

高的西伸脊点的位置变化规律(图4)。从图4可以看出,夏季南亚高压东伸脊点与西太副高西伸脊点的变化有“相向而行、相背而去”的趋势,在表3南亚高压与西太副高之间的东西伸脊点相关性为-0.255中也有较好体现。从6月初开始,两者的纬向位置开始靠近,进入7月后两者纬向位置出现重叠区域,东西伸脊点基本稳定在115°E—125°E,直到8月第4候两者的纬向位置才开始远离。参考图3两者的脊线位置可以看出,南亚高压北移的同时伴随着东伸,但在7月第6候开始南撤时仍在东

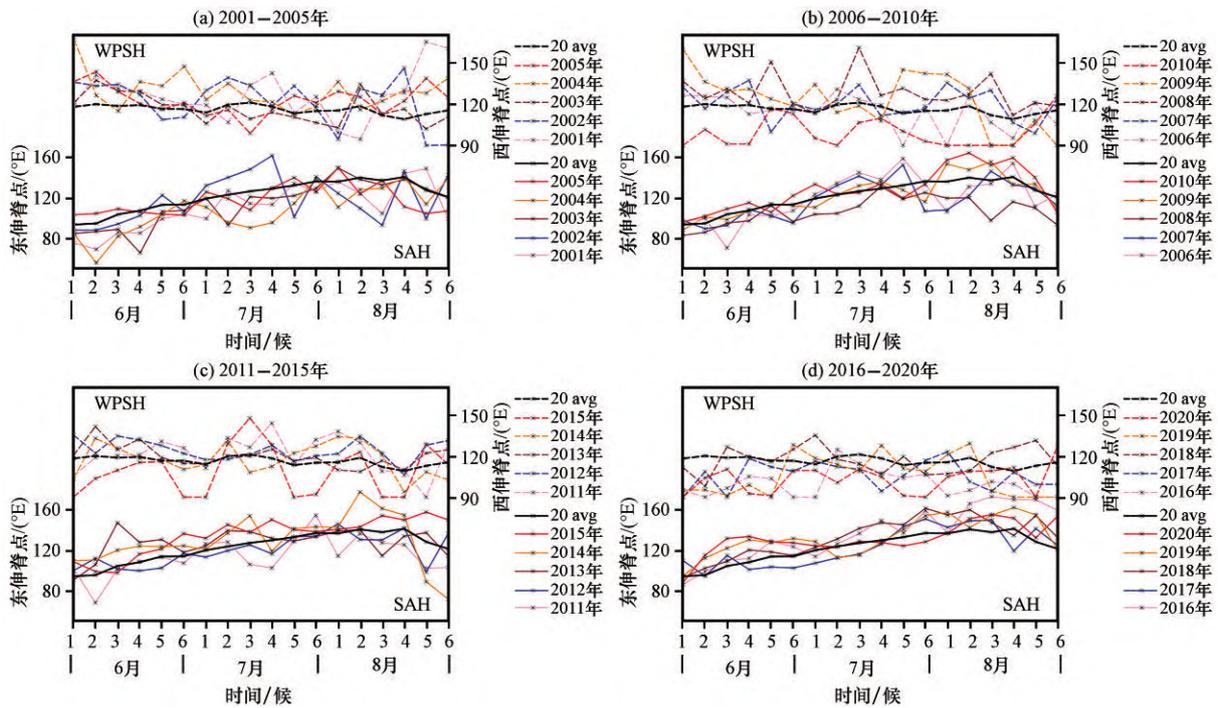


图4 2001—2020年夏季南亚高压(实线)和西太副高(虚线)东、西伸脊点的逐候变化曲线
加粗黑色线代表20年气候平均值

Fig. 4 East and west ridge point of the South Asia High (SAH, solid line) and the West Pacific Subtropical High (WPSH, dash line) in summer from 2001 to 2020. The thickened black lines represent the 20-year mean climate values

伸,直至8月第4候才开始西撤,说明南亚高压纬向位置的突变晚于经向位置的突变,间隔时间约为4候。而西太副高6月下旬到7月初的西伸脊点发生了一次东退,符合西太副高脊线第一次北跳伴随东退,但西太副高西伸脊点的第二次东退则出现在7月第5候,与其脊线第二次北跳的时间稍有出入。总体来看,夏季南亚高压和西太副高的脊线位置、东西伸脊点的变化符合南北移动、东西振荡的规律。

通过强度指数、面积指数、脊线位置和东西伸脊点研究了夏季南亚高压与西太副高两者之间的互动关系可知:(1)夏季南亚高压和西太副高的强度指数与面积指数的逐候变化有明显的正相关性,且两者的强度变化有较为明显的同强同弱表现。(2)夏季南亚高压和西太副高脊线位置变化具有较好的一致性,即在经向上有同向而行的趋势;夏季南亚高压脊线位置变化与其强度、面积指数存在较好的一致性,即南亚高压越往北(南)偏,强度及面积越大(小)。(3)夏季南亚高压和西太副高的东西伸脊点变化具有“相向而行,相背而去”的趋势;南亚高压纬向位置的突变晚于经向位置的突变,间隔时间大约4候。(4)南亚高压与西太副高的强度变强或许与全球变暖有关。

3.4 选取异常情况的规则

同强同弱年的选取规则:夏季逐候变化的南亚高压与西太副高的强度指数和面积指数均普遍高于或低于各自的20年气候平均值,变化趋势不作要求。参考图1和图2选出典型的同强年为2010年和2020年;同弱年为2004年和2012年。

逐候经纬向异常的选取规则:(1)经向上取南亚高压的脊线位置减去西太副高的脊线位置所得出的差值,两者经向上相对位置远(近)的差值需大于(小于)两者20年气候平均值的差值,或者某月某候的南亚高压脊线位置较20年气候平均值偏北(偏南),同时西太副高脊线位置也较20年气候平均值偏南(偏北),则视为两者经向相对位置为远(近)。(2)纬向上取西太副高的西伸脊点减去南亚高压的东伸脊点所得出的差值,两者纬向上相对位置远(近)的差值需大于(小于)两者20年气候平均值的差值,或者某月某候的南亚高压东伸脊点较20年气候平均值偏西(偏东),同时西太副高西伸脊点较20年气候平均值偏东(偏西),则视为两者纬向相对位置远(近)。(3)时间选取区间在7月第3候至8月第3候之间。

参考图3和图4且需同时满足上述规则(1)~(3)要求,选出最为典型的逐候经纬向异常远离为2013年8月第3候;异常靠近为2009年7月第3候。

4 同强同弱年分析

4.1 环流形势

为了进一步了解同强同弱年夏季南亚高压与西太副高影响我国东部地区降水的机制,选取同强年(2010年和2020年)与同弱年(2004年和2012年)位势高度场和风场进行对比分析。

对照图5(a)和(c)100 hPa高度可以看出,同强年的南亚高压控制我国南方大部分地区,16750 gpm等值线移出青藏高原,中高纬地区为纬向型环流,中纬地区西风急流偏强,南亚高压南侧的东风急流

偏强且偏南,长江中下游地区高层气压梯度偏大。对比图5(b)和(d)500 hPa高度,中高纬整体环流形势与100 hPa高度相似,同强年的西太副高更靠近我国东部地区,西伸脊点位于110°E左右,脊线位置稳定在25°N附近,意味着西太副高西北侧的西南暖湿气流更易到达长江中下游地区,为该区域的降水带来充沛的水汽,同时中纬地区有小槽向东移动,为该区域输送冷空气,也有利于产生降水。而华南地区普遍处于西太副高西南侧边缘附近,部分地区还受西太副高内部控制,盛行下沉气流,不利于降水。

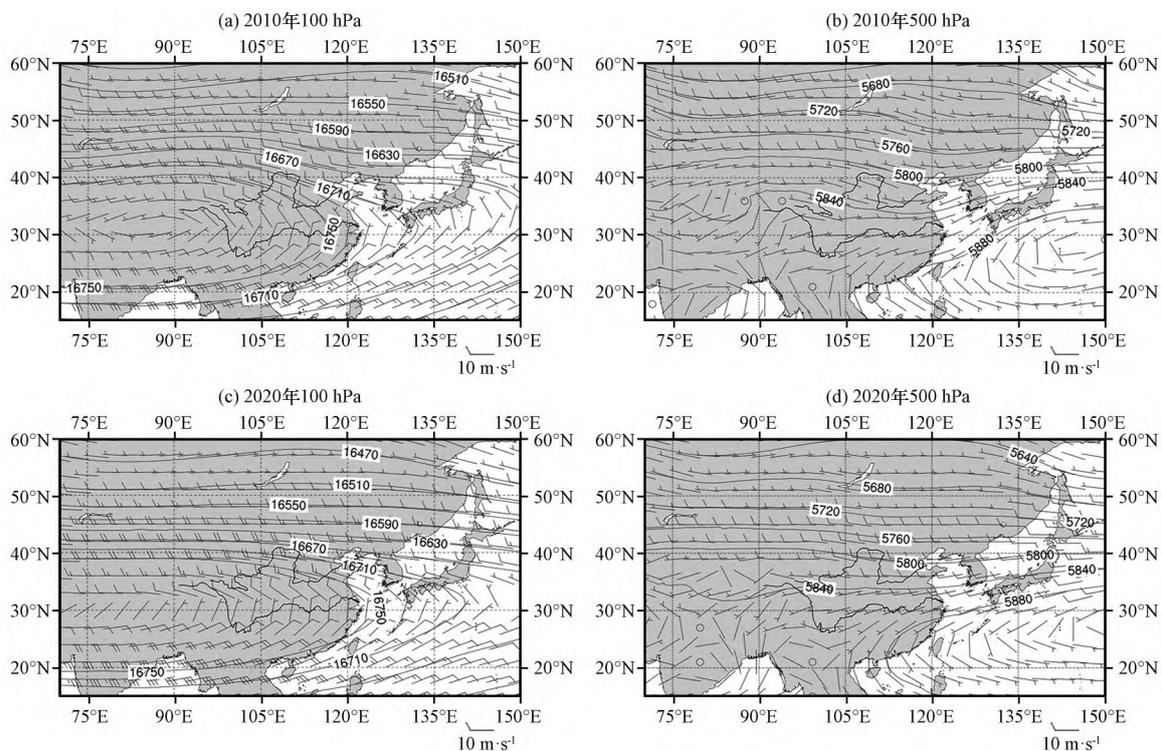


图5 同强年夏季东亚地区100 hPa(a, c)和500 hPa(b, d)位势高度(等值线,单位:gpm)和风场(风羽,单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)的空间分布

Fig. 5 Distribution of potential height (contour, unit: gpm) and wind (barb, unit: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) on 100 hPa (a, c) and 500 hPa (c, d) in the East Asia in summer of 2010 (a, b) and 2020 (c, d)

从图6(a)和(c)可以看出,同弱年南亚高压覆盖我国的范围较小,16750 gpm等高线基本停留在青藏高原,中高纬地区为纬向型环流,中纬地区西风急流偏弱,南亚高压南侧的东风急流偏弱、偏北,其中2004年尤为明显。对比图6(b)和(d)中500 hPa高度,中高纬整体环流形势与100 hPa相似,同弱年的西太副高远离我国东部地区,使得长江中下游地区基本处于平直西风气流,而华南地区普遍处于西南风与东南风的交汇处,多异常气旋活动,为东亚季风输送水汽打开了通道。

4.2 整层水汽通量散度

对比同强同弱年东亚地区夏季平均整层水汽通量散度(图略)可以看出,同强年2020年长江中下游地区普遍为辐合气流,且形状为带状分布,大值中心分布在长江中下游一带;华南地区则普遍为辐散气流;同样,2010年长江中下游地区基本为气流辐合,其中下游地区有少量明显气流辐合;华南地区气流辐合和辐散分布相当。同弱年2004年和2012年长江下游地区气流辐合弱,基本为辐散气流,而中游地区有少量明显气流辐合;2004年华南地区偏西处气流辐合明显,2012年华南地区南侧南

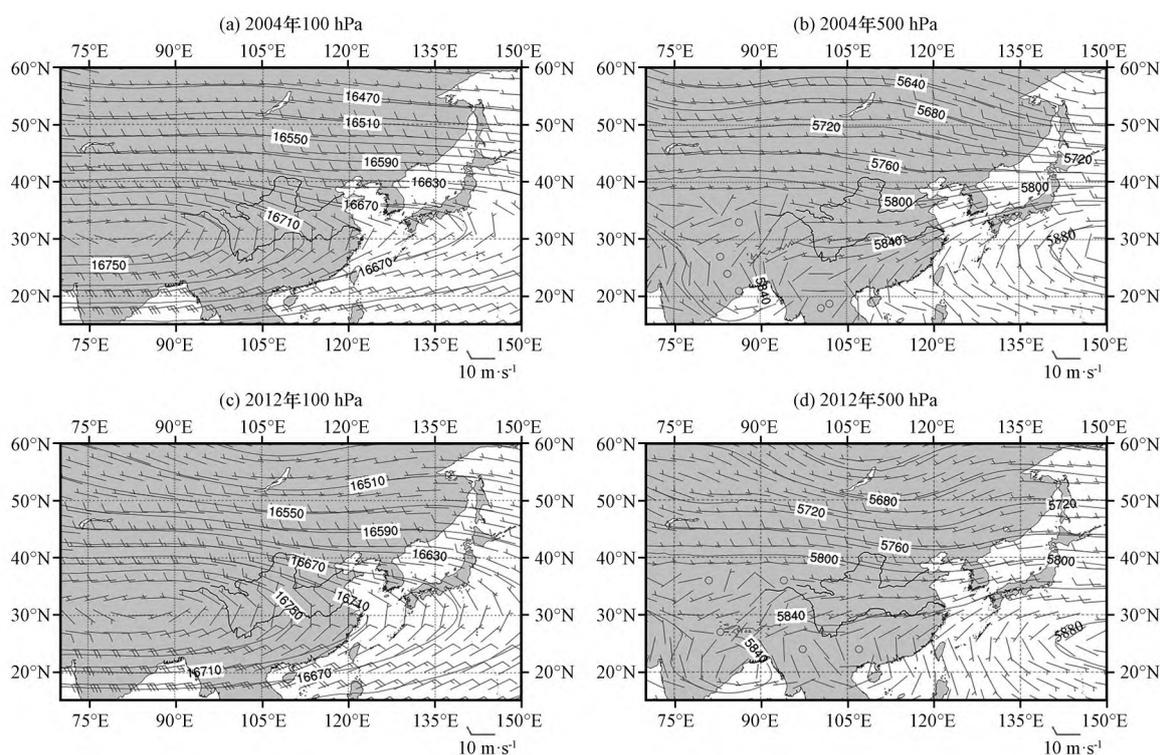


图6 同弱年夏季东亚地区100 hPa(a, c)和500 hPa(b, d)位势高度(等值线, 单位: gpm)和风场(风羽, 单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)的空间分布

Fig. 6 Distribution of potential height (contour, unit: gpm) and wind (barb, unit: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) on 100 hPa (a, c) and 500 hPa (c, d) in the East Asia in summer of 2004 (a, b) and 2012 (c, d)

海近海处气流辐合明显, 其余地区气流辐合辐散分布相当。

4.3 实况降水场

同弱年2004年[图7(a)]华南地区降水较长江中下游地区偏多且分布集中, 除了长江中游地区有少量大值降水中心; 2012年[图7(c)]长江中下游地区虽有降水, 但强度与华南地区降水相比差异不大, 且降水分布零散, 而华南地区南部沿海一带降水分布较为集中, 对应地该区域整层水汽通量散度也为负值, 水汽辐合。而同强年2010年和2020年[图7(b), (d)]可看出、长江中下游一带降水连片分布, 相较于华南地区降水偏多, 降水大值中心在长江下游地区江浙皖一带, 正是由于长江中下游地区位于西太副高西北侧, 西南暖湿气流与来自北方的冷空气在该区域交绥, 加上对应同强年的整层水汽通量散度, 在该区域普遍为带状型分布的辐合气流, 有利于降水的形成, 使得夏季累积降水量普遍在1000 mm以上。

结合图5、图7(b)和(d)可以看出, 同强年100 hPa高度的中高纬西风急流呈纬向气流, 高空气流辐散区域主要集中在长江中下游一带, 高层辐散有利于低层辐合, 而长江中下游地区在500 hPa高度

正好处在西太副高外围西北侧, 西太副高可以引导来自孟加拉湾的西南暖湿气流进入此地区, 与来自西伯利亚的干冷空气相遇, 加上有充足的水汽条件以及气流辐合上升背景, 使得长江中下游地区降水偏多; 华南大部分地区受西太副高影响, 为反气旋性环流, 来自北方的冷空气南下受阻, 因此降水偏少。

结合图6、图7(a)和(c)可以看出, 同弱年100 hPa高度的中高纬西风急流偏弱, 长江中下游地区基本受反气旋性气流控制, 500 hPa高度西太副高距离我国东部地区较远, 长江中下游地区基本为平直西风气流, 因此受气流辐散影响, 降水偏少; 而此时华南地区处于西太副高西南侧输送东南风的通道出口处, 多异常气旋活动, 较同强年份更容易受台风的入侵, 且气流辐合区多在南海近海一带, 多对流性天气发生, 进而使华南地区的降水偏多且集中。

5 经纬向配置异常分析

5.1 环流形势

通过前面的研究分析, 分别选取2009年7月第3候和2013年8月第3候作为夏季南亚高压与西太

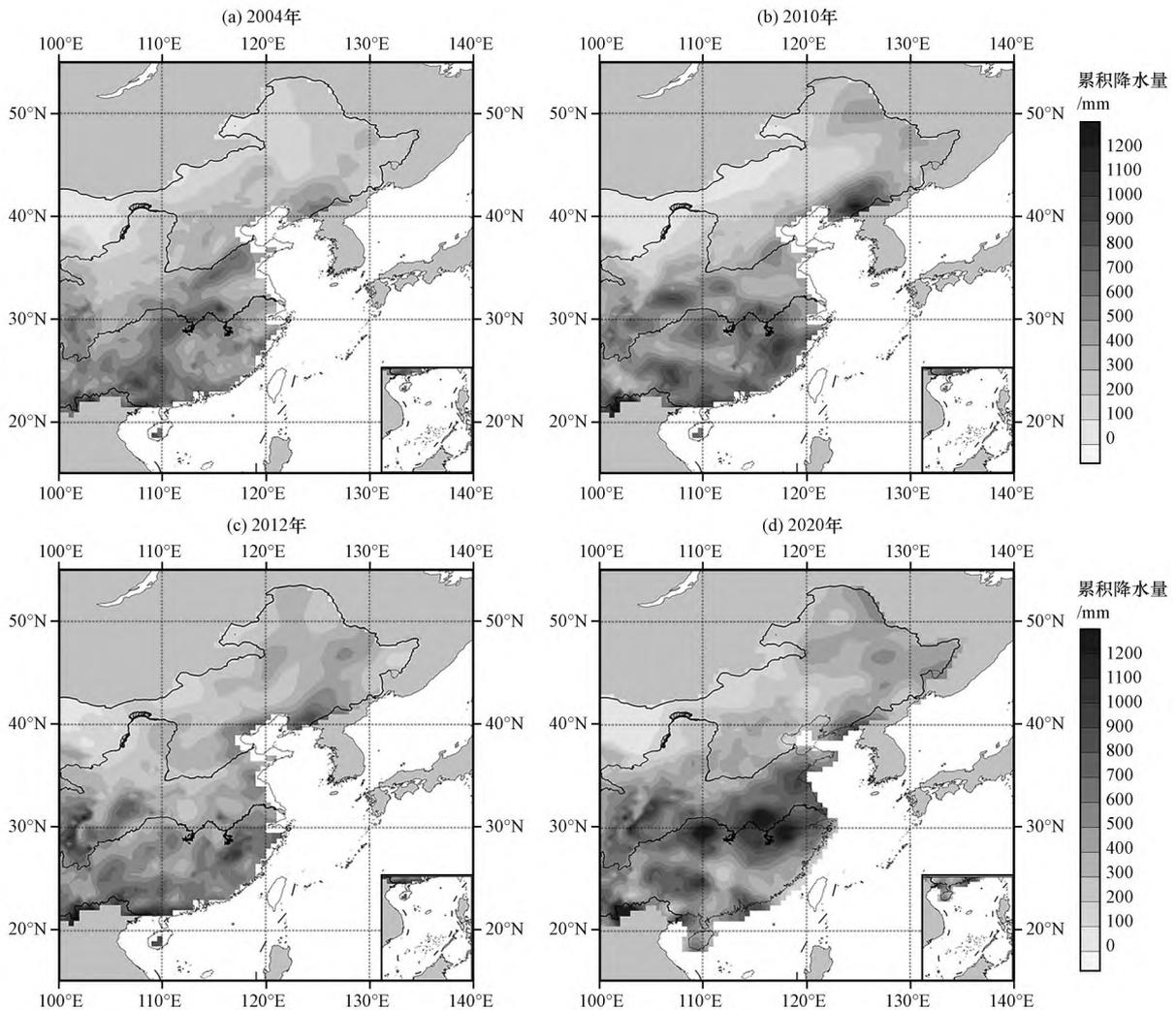


图7 同强同弱年我国中东部地区夏季累积降水量分布(单位: mm)

Fig. 7 Distribution of accumulated summer precipitation in the central and eastern China in 2004 (a), 2010 (b), 2012 (c) and 2020 (d). Unit: mm

副高经纬向配置异常靠近和异常远离的研究对象。

当南亚高压与西太副高经纬向配置异常靠近时,两者脊线的位置在 28°N — 32°N ,南亚高压的东伸脊点达到 130°E ,属南亚高压东部型,同时西太副高的西伸脊点达到 118°E ,因此两者共同控制区域(即重叠区域)在黄海与东海之间,且南亚高压覆盖了我国大部分地区。而两者异常远离时,南亚高压与西太副高的相对位置无重叠区域。

从 100 hPa 和 500 hPa 高度场(图8)可以看出,两者异常靠近时(2009年7月第3候),由于南亚高压属东部型,其东伸可控制我国东部地区,使得南亚高压北侧的西风急流整体位置偏北,总体呈纬向型环流,长江中下游地区位于高层南亚高压控制下,对流层高层气流呈反气旋,气流辐散;华南地区位于南亚高压的东南侧,高层整体受东北风的影响, 500 hPa 中高纬环流形势有利于西太副高的维

持,黄河下游至出海口区域位于西太副高西北侧,有利于水汽输送,暖湿气流与来自北方的冷空气在此交汇,形成较好的降水条件;而华南地区整体受西太副高南侧的东南风影响。而两者异常远离时(2013年8月第3候), 100 hPa 南亚高压位置偏西,相应地高空西风急流中心也偏西,长江下游地区位于急流的出口处,上升气流受阻,同时南亚高压北侧的西风急流呈纬向型,长江中下游地区位于南亚高压的东南侧,位于急流的右侧辐散区; 500 hPa 在长江下游部分地区受西太副高控制,长江中游地区有异常反气旋活动,华南地区有异常气旋活动,中高纬是平直西风气流,无明显小槽运动。

5.2 整层水汽通量散度

图9给出了南亚高压与西太副高经纬向配置异常靠近和远离时东亚地区整层水汽通量散度的空间分布。从图9(a)可以看出,黄河下游至出海口区域

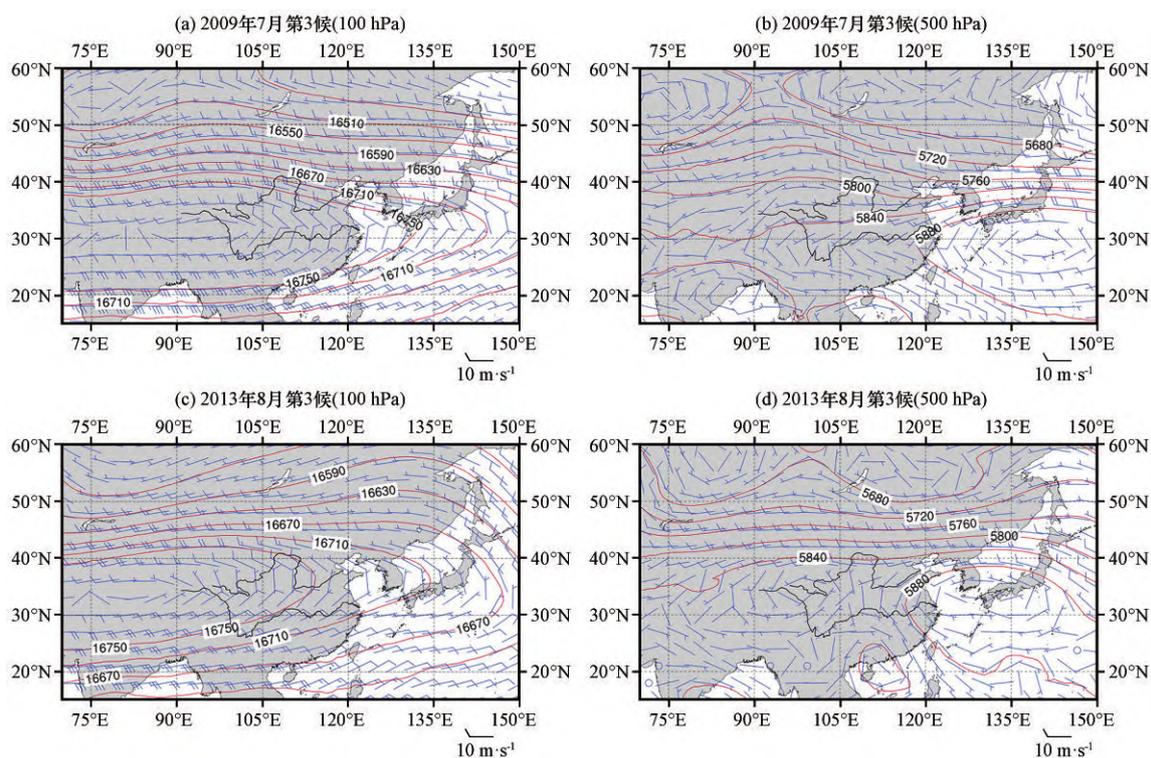


图8 夏季东亚地区100 hPa(a, c)和500 hPa(b, d)位势高度(等值线, 单位: gpm)和风场(风羽, 单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)的空间分布
Fig. 8 Distribution of potential height (isoline, unit: gpm) and wind (barb, unit: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) on 100 hPa (a, c) and 500 hPa (c, d) in the East Asia in summer at the third pentad of July 2009 (a, b) and the third pentad of August 2013 (c, d)

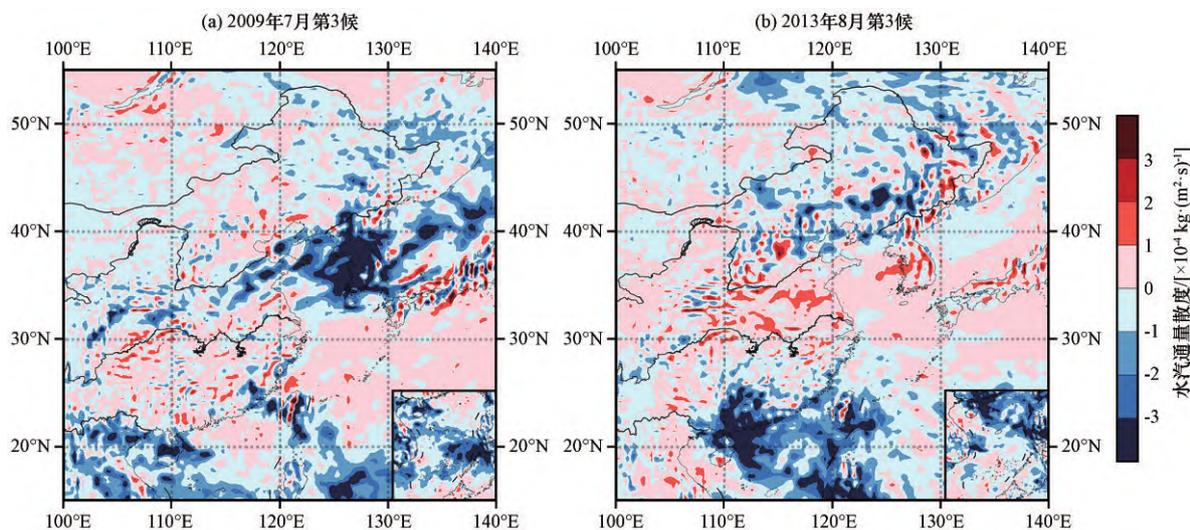


图9 2009年7月第3候(a)和2013年8月第3候(b)东亚地区整层水汽通量散度的空间分布[单位: $\times 10^{-4} \text{kg}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$]
Fig. 9 Vertical integral of divergence of moisture flux across East Asia at the third pentad of July 2009 (a) and the third pentad of August 2013 (b). Unit: $\times 10^{-4} \text{kg}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$

有纬向型的水汽辐合,水汽通量最大辐合中心出现在朝鲜半岛区域,强度普遍达到 $-3\times 10^{-4} \text{kg}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$ 以上,而华南地区总体水汽辐散,其中部分地区位于西太副高的西南侧,是东南季风引导台风的出口处,有水汽辐合产生。而图9(b)中长江中下游地区受西太副高控制,普遍为明显的水汽辐散,只有华南地区位于西太副高的西南侧,容易受来

自东南暖湿气流的影响,有大片的水汽辐合,强度普遍大于 $-3\times 10^{-4} \text{kg}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$,与降水中心大值区相对应。

5.3 垂直速度

由于夏季南亚高压与西太副高经纬向配置异常靠近时,黄河下游至出海口区域和朝鲜半岛区域的整层水汽通量散度明显辐合,因此,黄河下游至出海口

区域在中高层普遍气流上升,其中朝鲜半岛区域的500 hPa高度气流上升有大值出现,达到 $5 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上;而华南地区的整层水汽通量散度为气流辐散,整体看500 hPa高度盛行气流下沉运动,只有东南部分地区有少量气流上升运动。但当两者异常远离时,100 hPa我国内陆地区无异常的上升或下沉运动,在南海近海区域有明显经向型上升运动;500 hPa长江中下游地区受西太副高主体控制,普遍为辐散下沉运动;而华南地区受东南季风的影响,多气旋活动,普遍为上升运动,其中西南部分地区的上升运动尤为强烈,达到 $5 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上(图略)。

5.4 降水场

从上面的分析可知,南亚高压与西太副高经纬向配置异常无论是靠近还是分离,降水中心多半在海上,而观测资料仅在我国陆地范围内,因此,用ERA5逐日总降水量再分析资料来分析两者配置异

常下的降水分布情况。

从图10(a)不难看出,降水普遍集中在黄河下游至出海口区域;华南地区降水无明显异常;受西太副高主体控制的影响,在南亚高压和西太副高重叠区域的黄海和东海区域盛行下沉气流,降水偏少,而在重叠区域偏北侧的朝鲜半岛位于西太副高的西北侧,盛行西南暖湿气流,加上中高纬的小槽东移不断带来冷空气,配合气流辐合上升,该区域有大值降水中心,1候最大累计降水量在200 mm以上。而在图10(b)中,华南地区西南沿海位于西太副高西南侧,易受东南暖湿气流的影响,多气旋活动,该区域附近出现降水大值中心,最大累计降水量在250 mm以上;而长江中下游地区无明显异常降水,主要是南亚高压与西太副高均位于该区域上空,中高层均受高压控制,盛行辐散下沉气流,天气以晴好为主。

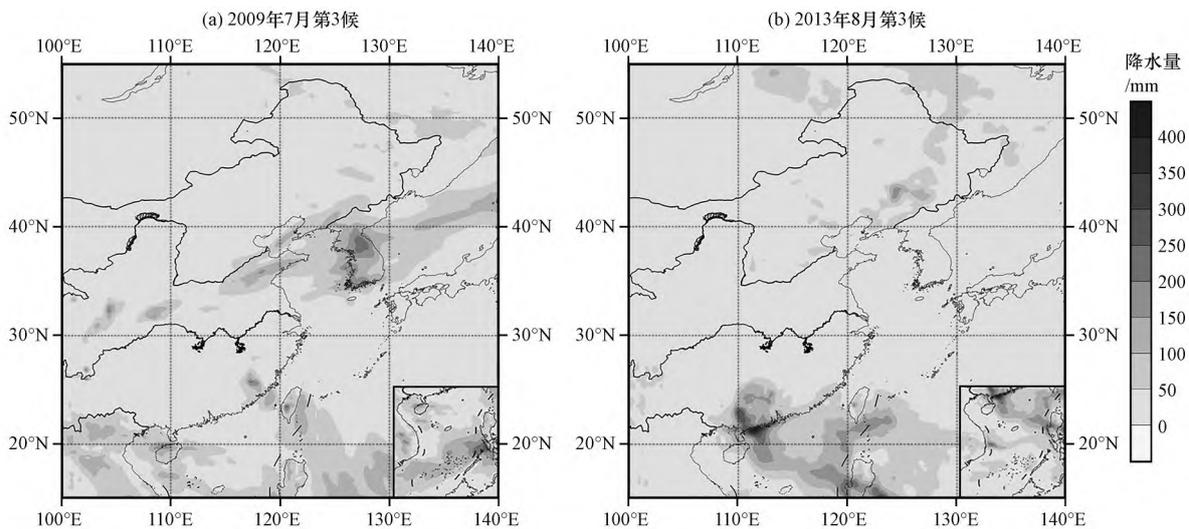


图10 2009年7月第3候(a)和2013年8月第3候(b)东亚地区累积降水量的空间分布(单位: mm)

Fig. 10 Total precipitation across East Asia at the third pentad of July 2009 (a) and the third pentad of August 2013 (b). Unit: mm

当南亚高压与西太副高经纬向配置异常靠近时,如有重叠区域,则在深厚的高压系统控制下,整层水汽通量散度和垂直速度均显示该区域盛行气流辐散下沉,不利于降水的产生,同时在重叠区域的偏北侧往往是西太副高的西北侧,有利于水汽沿西太副高外围向此区域输送,形成较好的水汽条件,再配合辐合上升气流的条件,有利于降水的产生,且降水雨带普遍呈纬向型,黄河下游至出海口区域降水偏多,江南、华南地区降水偏少。

当南亚高压与西太副高经纬向配置异常远离时,华南地区受夏季风影响,有异常的气旋性活动,整层水汽通量散度为辐合气流,垂直速度显示为上升气流,导致华南地区降水偏多;而长江中下

游地区整体受反气旋性活动控制,整层水汽通量散度为负值,盛行辐散气流,垂直速度显示为下沉气流,加上中高纬是平直西风气流,无明显小槽运动,降水偏少。

6 结论与讨论

利用高分辨率的ERA5再分析资料研究了我国东部地区夏季南亚高压与西太副高特征指数的逐候变化,从强度指数、面积指数、脊线位置和东西伸脊点来揭示两者逐候变化下的相互作用,并挑选了两种异常情况来进一步分析两者的互动作用对于夏季我国东部降水的影响,得到如下主要结论:

(1) 夏季南亚高压和西太副高的强度指数与

面积指数存在一定的正相关性。

(2) 夏季南亚高压和西太副高的逐候脊线位置变化具有较好的一致性,即在经向上同向而行。南亚高压脊线位置的逐候变化与其强度和面积变化有较好的一致性,即南亚高压越往北(南)偏,强度及面积越大(小)。

(3) 夏季南亚高压和西太副高东西伸脊点具有“相向而行、相背而去”的逐候变化趋势,南亚高压纬向位置的突变晚于经向位置的突变,间隔时间大约4候。

(4) 南亚高压和西太副高同强同弱的相互作用与我国东部地区降水有较好的相关性,即:当两者同时偏强(弱)时,长江中下游地区降水偏多(少),华南地区降水偏少(多)。

(5) 两者逐候经纬向相对位置的配置对我国东部降水也有一定的影响,即:当两者经纬向异常靠近时,重叠区域降水偏少,重叠区域偏北侧降水偏多,且降水雨带普遍呈纬向型,黄河下游至出海口区域降水偏多,江南、华南地区降水偏少;当两者经纬向异常远离时,华南地区降水偏多,长江中下游地区降水偏少。

由于采用的是2001—2020年ERA5逐日再分析资料,在研究南亚高压与西太副高的特征指数时仅具有一定的指示意义,还需更长时间序列的资料进行验证;未详细分析两者各种指数之间的相关性及其他因子的影响,有待今后进一步准确揭示两者互动关系的动力机制。另外,今后可以采用不同分辨率的再分析资料进行南亚高压和西太副高在经纬向异常靠近和远离情况的研究,以便验证本研究得出相关结论。

致谢:感谢中国科学院大气物理研究所黄永杰博士提供的包含正确中国国界和行政区划的地图数据;感谢中国科学院西北生态环境资源研究院钱正安老师给予的诸多建议和有益的讨论。

参考文献:

陈雯,智协飞,2008.太平洋副热带高压及南亚高压在NCEP/NCAR和ECMWF再分析资料中的对比研究[J].热带气象学报,24(2):189-194.

陈永仁,李跃清,2008.南亚高压活动特征及其天气气候影响研究进展[J].气象科技,36(2):174-179.

陈永仁,李跃清,齐冬梅,2011.南亚高压和西太平洋副热带高压的变化及其与降水的联系[J].高原气象,30(5):1148-1157.

邓少格,胡轶佳,吕廷珍,等,2021.基于年际增量法的青藏高原南部汛期降水预测研究[J].高原气象,40(4):737-746. DOI:

10.7522/j.issn.1000-0534.2020.00047.

范广洲,冯婉,朱丽华,2014.夏季南亚高压与西太平洋副热带高压的相关性分析[J].热带气象学报,30(5):963-970. DOI:10.3969/j.issn.1004-4965.2014.05.016.

冯婉,徐婷,2016.1951-2010年西太平洋副热带高压脊线季节性变化特征分析[J].内蒙古气象,21(4):9-12. DOI:10.14174/j.cnki.nmqx.2016.04.002.

胡景高,陶丽,周兵,2010.南亚高压活动特征及其与我国东部夏季降水的关系[J].高原气象,29(1):128-136.

黄露,何金海,卢楚翰,2012.关于西太平洋副热带高压研究的回顾与展望[J].干旱气象,30(2):255-260.

黄燕燕,钱永甫,2004.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,23(1):68-74.

金爱浩,曾刚,余晔,等,2018.南亚高压与西太平洋副热带高压经纬向位置配置对中国东部夏季降水的影响[J].热带气象学报,34(6):806-818. DOI:10.16032/j.issn.1004-4965.2018.06.009.

李永华,青吉铭,李强,等,2012.夏季南亚高压的年(代)际变化特征及其对西南地区东部旱涝的影响[J].西南大学学报(自然科学版),34(9):71-81.

罗米娜,2019.南亚高压时空演变特征及其对我国西南地区气温和降水的影响[D].成都:成都信息工程大学.

任丽,赵柠,赵美玲,等,2021.两次副热带高压北侧暖锋暴雨动力热力诊断[J].高原气象,40(1):61-73. DOI:10.7522/j.issn.1000-0534.2019.00111.

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,22(4):385-396.

姚秀萍,马嘉理,刘俏华,等,2021.青藏高原夏季降水研究进展[J].气象科技进展,11(3):66-74. DOI:10.3969/j.issn.2095-1973.2021.03.009.

王斌,李跃清,2011.近10多年南亚高压活动特征及其影响的研究进展[J].高原山地气象研究,31(2):75-80. DOI:10.3969/j.issn.1674-2184.2011.02.015.

王庆万,胡淑娟,贾蓓,等,2020.基于全球大气环流三型分解的西太平洋副热带高压指数的新定义[J].气候与环境研究,25(6):625-636. DOI:10.3878/j.issn.1006-9585.2020.19160.

吴姗姗,郭大勇,2019.东亚夏季风和西太副高活动对全国夏季降水的影响[J].科技创新导报,16(16):112-119. DOI:10.16660/j.cnki.1674-098X.2019.16.112.

张玲,智协飞,2010.南亚高压和西太副高位置与中国盛夏降水异常[J].气象科学,30(4):438-444.

张琼,钱永甫,张学洪,2000.南亚高压的年际和年代际变化[J].大气科学,24(1):67-78.

张雅乐,俞小鼎,2021.黄河气旋暴雨过程发展演变成因分析[J].高原气象,40(1):74-84. DOI:10.7522/j.issn.1000-0534.2019.00103.

张莹,王锦杰,曾刚,等,2019.夏季南亚高压年代际变化及其对长江中下游降水的影响[J].长江流域资源与环境,28(7):1663-1674. DOI:10.11870/cjlyzyyhj201907016.

张莹,王锦杰,周航,等,2018.南亚高压年代际变化在NCEP和ERA-40再分析资料中的对比[J].农业与技术,38(24):226-228. DOI:10.11974/myjys.20181233206.

张宇,李耀辉,魏林波,等,2013.南亚高压与西太平洋副热带高压

对我国西南地区夏季降水异常的影响[J]. 干旱气象, 31(3): 464-470. DOI: 10. 11755/j. issn. 1006-7639(2013)-03-0464.
钟珊珊, 贾巧, 王美蓉, 等, 2020. 夏季青藏高原大气热源准双周振

荡及其传播途径[J]. 大气科学学报, 44(3): 495-505.
朱玲, 左洪超, 李强, 等, 2010. 夏季南亚高压的气候变化特征及其对中国东部降水的影响[J]. 高原气象, 29(3): 671-679.

Association between Summer Activity Characteristic Indices of the South Asia High and the West Pacific Subtropical High and Precipitation Distribution in Eastern China

LEI Xianhui, SONG Minhong, ZHANG Shaobo

(School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology/Plateau Atmosphere and Environment Key Laboratory in Sichuan Province, Chengdu 610225, Sichuan, China)

Abstract: In order to further study the characteristic indices and their interactive function based on ERA5 reanalysis data from the European Centre for Medium-term Weather Forecasts (ECMWF) from 2001 to 2020 with the horizontal resolution of $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$, the intensity index, area index, ridge position and east-west extension ridge point of the South Asian High (SAH) and the West Pacific Subtropical High (WPSH) are calculated in summer by statistical methods. And the distance of the relative position of the longitude and latitude and the same strong and weak years in summer are selected. The influence of their cooperation on the summer precipitation in eastern China is studied by the comparative analysis. The results show as follow: (1) There is a good positive correlation between the intensity index and the area index of the SAH and the WPSH in summer. The pentad changes of the ridgeline position of the SAH is very well related to changes in its intensity and area indices. Better consistency, the more north (south) the SAH deviates, the larger (smaller) its intensity and area are. (2) The changes in pentad of the east-west ridge point between the WPSH and the SAH have a trend of "going towards each other and going away from each other". Under the temporal changes, the sudden change of the zonal position of the SAH is later than that of the meridional position. The interval time of the sudden change is about 4 pentads/20 days. (3) When the SAH and the WPSH are both strong (weak), the rainfall in the middle and lower reaches of the Yangtze River is much (less), and the rainfall in South China is less (much). When their latitudes and longitudes are abnormally close, there is less precipitation in the overlapping area, more precipitation on the northern side of the overlapping area, and the precipitation band is generally zonal. The area from the lower reaches of the Yellow River to the sea estuary has more precipitation, and the precipitation in the south of the Yangtze River and South China less. When their latitude and longitude directions are abnormally far apart, there is more precipitation in South China, and less precipitation in the middle and lower reaches of the Yangtze River.

Key words: South Asian High (SAH); West Pacific Subtropical High (WPSH); precipitation; characteristic index; the changes in pentad