那莹，王冀，张英娟，等，2022. 分段副热带高压位置指数的建立及应用[J]. 气象，48(11)：1439-1448. Na Y，Wang J，Zhang Y J，et al，2022. Establishment and application of the west and east WPSH meridional indices[J]. Meteor Mon，48(11)：1439-1448(in Chinese).

分段副热带高压位置指数的建立及应用*

那 莹[1] 王 冀[1] 张英娟[1] 张培群[2] 陆日宇[3]

1 北京市气候中心，北京 100089

2 国家气候中心，北京 100081

3 中国科学院大气物理研究所 大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室，北京 100029

提 要： 由于西太平洋副热带高压(简称副高)东西部分的经向位置对我国气候有着不同影响，定义了西段、东段副高位置指数：分别为 10°～60°N、110°～130°E 和 10°～60°N、130°～150°E 范围内子午线上 500 hPa 位势高度最大值所在的平均纬度，并将两者平均值定义为副高中心位置指数。这些指数与我国东部夏季降水的相关性较业务副高脊线指数有所提高，尤其是西段副高位置指数与华北平原夏季降水的正相关关系，同时副高位置指数基本维持了业务副高脊线指数与长江流域降水的负相关关系和与华南降水的正相关关系。西段副高位置指数偏北时，对应西北太平洋上 500 hPa 出现反气旋环流，反气旋中心位于 38°N、130°E 附近；而东段副高位置指数偏北对应的反气旋中心位置偏东偏北，位于 40°N、145°E 附近。此外，西段、东段副高位置指数偏南、偏北的不同配置对应我国雨带分布的四种类型。分段副高位置指数与我国夏季降水年际变化较好的相关性将为降水季节预测和季节内雨带移动的研究提供更多的指示意义。

关键词： 分段副高位置指数，脊线指数，雨带类型，年际变化

中图分类号： P456 **文献标志码：** A **DOI：** 10.7519/j.issn.1000-0526.2022.052001

Establishment and Application of the West and East WPSH Meridional Indices

NA Ying[1] WANG Ji[1] ZHANG Yingjuan[1] ZHANG Peiqun[2] LU Riyu[3]

1 Beijing Municipal Climate Center, Beijing 100089

2 National Climate Centre, Beijing 100081

3 State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

Abstract: Since the meridional positions of the east and west part of western Pacific subtropical high (WPSH) affect the climate over China differently, we redefined the meridional index of WPSH in this study. The mean latitude of the location of 500 hPa geopotential height maximum along several meridian in 10°—60°N, 110°—130°E and 10°—60°N, 130°—150°E is defined as new west index (Index_NEW_west) and new east index (Index_NEW_east), respectively. Their average value is defined as new meridional index of WPSH (Index_NEW). The correlation between these indices and summer precipitation over eastern China is more significant than the ridge index defined by National Climate Centre (Index_NCC), specifically for the positive correlation between Index_NEW_west and precipitation over North China Plain. The negative correlation between Index_NEW_east and precipitation over Yangtze River Basin is similar to that of Index_NCC.

* 中国气象局创新发展专项(CXFZ2021J030)和北京市气象局科技项目(BMBKJ202003002)共同资助

2021 年 5 月 25 日收稿； 2022 年 5 月 20 日收修定稿

第一作者：那莹，主要从事气候预测与气候变化研究. E-mail：naying@bj.cma.gov.cn

通讯作者：张培群，主要从事气候预测与气候变化研究. E-mail：zhangpq@cma.gov.cn

Regression of the 500 hPa horizontal wind with respect to Index_NEW_west (Index_NEW_east) presents anticyclonic circulation over western North Pacific and the anticyclone center locates near 38°N, 130°E (40°N, 145°E). The various collocations between north/south anomalies of Index_NEW_west/Index_NEW_east correspond to four types of rainfall patterns. The good relationship between the interannual variation of new indices and summer precipitation over eastern China could provide more valuable references for the study of precipitation prediction and interseasonal movement of rainfall band.

Key words: the west and east meridional index of WPSH, ridge index, rainfall pattern, interannual variation

引 言

西太平洋副热带高压(以下简称副高)作为东亚季风环流系统的主要成员,其边缘输送水汽对我国夏季雨带的形成有重要的作用。前人研究表明,副高位置与我国东部降水的分布有很好的对应关系。我国东部降水异常通常出现在西北太平洋反气旋(气旋)异常的北边缘(Li and Lu,2019;赵思雄等,2018),大约在副高脊线以北5～10个纬度(赵俊虎等,2012)。副高位置偏西偏南,我国降水呈南多北少型;副高位置偏北偏东时,我国降水呈北多南少型(刘芸芸等,2012;赵俊虎等,2012)。夏季副高脊线指数与我国夏季降水在长江流域呈显著负相关(刘芸芸等,2012),与华北区域相关性并不显著,华北夏季降水和副高西伸脊点呈负相关(谭桂容和孙照勃,2004)。此外,一些外强迫因子,如太平洋海温和印度洋海温,都通过影响副高从而影响我国降水(He et al,2001;黄露等,2012)。例如,多数ENSO爆发年副高强度偏弱,位置偏东,次年夏季则有明显的副高强度偏强,位置偏西,从而导致我国不同的旱涝分布(刘屹岷和吴国雄,2000;Wang et al,2000;Lin and Lu,2009;Li et al,2014;Chen et al,2016);印度洋出现暖海温异常时,会激发副高异常发展,从而导致我国南方降水偏多、华北降水偏少(吴国雄等,2000;陈文等,2006)。因此,副高作为连接外强迫因子与我国降水的桥梁,在降水季节预测中起到重要作用(Wang et al,2013)。

鉴于副高对我国降水的重要影响以及降水异常可能造成的自然灾害和社会影响,准确刻画副高的位置特征并研究其对降水的影响一直是我国气象工作者所关心的问题。我国《西太平洋副热带高压监测业务规定》中将500 hPa上588 dagpm(或584 dagpm)等值线包围区域内纬向风切变线的平均纬度定义为副高脊线指数,将588 dagpm最西点所在的经度定义为西伸脊点。副高北界指数被定义为588 dagpm等值线最北端所在纬度的平均值。Lu(2002)将10°～30°N、110°～150°E和30°～40°N、120°～150°E范围内850 hPa位势高度异常用来描述副高在东西方向和南北方向上的偏移。Yang et al(2017)将副高脊线上最大经向风速所在位置定义为西伸脊点。

《西太平洋副热带高压监测业务规定》中的定义方法聚焦在500 hPa上位势高度值大于588 dagpm(或584dagpm)的副高主体上,但实际上,有时副高强度较弱,500 hPa上不存在大于588 dagpm(或584 dagpm)的值,这时需要考虑副热带高压带中相对高值区域的南北位置对我国天气气候的影响。此外,夏季副高主体是否西伸至我国上空也对我国天气气候有不同影响(陶诗言和卫捷,2006),所以有必要对我国上空和西太平洋上空的副热带高压带的位置分别进行讨论。因此,本文根据副热带高压带相对高值区域所在纬度定义了副高位置指数,并分为东、西两段,以探讨副高位置对我国夏季降水的不同影响。

1 数据和方法

1.1 数 据

本文使用1951—2020年美国NCEP/NCAR Reanalysis 1再分析资料中逐月位势高度场和风场(Kalnay et al,1996),其水平格点分辨率为2.5°×2.5°。降水数据来源于1951—2020年中国地面气候资料月值数据集(任芝花等,2012),该数据集涵盖我国2400多个地面观测站的月平均降水量,其中1979—2020年缺测较少,因此本文使用1979—2020年作为研究夏季副高与我国降水关联的时间范围。气候态平均取1981—2010年。此外,本文使用国家

气候中心提供的 1951—2020 年逐月副高脊线指数作为参考(刘芸芸等,2012)。

1.2　副高位置指数定义方法

已有的业务指数所定义的副高脊线位置是将区域设定在 110°～150°E 范围内,由于我国主要位于 130°E 以西,且副高西伸脊点位置是否越过 130°E 以西对我国气候有不同影响(陶诗言和卫捷,2006),因此本文分为 110°～130°E、130°～150°E 东西两段分别研究副高位置的南北移动。将西太平洋副热带高压带相对高值区域的平均纬度位置定义为副高位置指数,计算方法为:在 10°～60°N、110°～130°E(或 130°～150°E)范围内,计算每条子午线上 500 hPa 位势高度最大值及其所在纬度(如出现两个或以上相同的值同时为最大值,则进行二次比较,选取该点和其周围共 9 个点位势高度平均较大的),2.5°的再分析资料在 20 个经度范围内共有 9 个值,取其中最大的半数,即 5 个位势高度值所在纬度的平均记为西段副高位置指数(或东段副高位置指数),简称为 Index_NEW_west(Index_NEW_east)。取西段、东段两个指数的平均值作为副高中心位置指数,简称为 Index_NEW。本文计算方法和副高位置指数请见 https://github.com/YingNa1993/WPSH_index.git。

按照《西太平洋副热带高压监测业务规定》,本文重新计算了业务脊线指数及其东西分段的脊线指数。具体计算方法为:在 10°N 以北、110°～150°E 范围内(或 110°～130°E、130°～150°E 范围内),取 500 hPa 高度场上 588 dagpm 等值线(若不存在 588 dagpm 等值线,则改为 584 dagpm 等值线)所包围的副高体内纬向风切变线(即 $u=0, \partial u/\partial y>0$)所在纬度位置的平均值,定义为业务副高脊线指数(或西段业务副高脊线指数、东段业务副高脊线指数),简称 Index_NCC(或 Index_NCC_west、Index_NCC_east)。若在某月计算范围内不存在 584 dagpm 等值线,则以该月历史最小值代替。计算得到的业务副高脊线指数与国家气候中心提供的参考数据是一致的。

本文副高位置指数的计算仅使用了位势高度场资料,没有使用风场资料,较业务副高脊线指数的计算方法简化了流程。考虑到即使副高强度较弱时,其南北位置移动仍可影响我国气候,因此本文副高位置指数的定义未局限在 588 dagpm 或 584 dagpm 等高线范围内,而是直接刻画了副热带高压带中相对高值区域的平均纬度位置,避免了副高强度较弱时的缺测情况。以往研究中多使用脊线指数和西伸脊点共同刻画副高对我国气候的影响,这样可以对副高强度较强但其中心位置偏东时、副高的南北位置移动对我国气候影响并不明显的情况有一个东西位置指标的补充描述。本文没有引入西伸脊点这一指标,而是将副高位置指数分为东西两段,来直接探讨西段和东段副高南北位置移动对我国气候的影响。

2　逐月副高位置指数及其与业务副高脊线指数的差异

图 1 给出了 1981—2010 年气候态平均的副高指数分布。副高位置指数逐月变化显示,副高自 5 月开始北抬,在 8 月位置达到最北,为 28.7°N,随后逐渐南撤。东、西段位置指数呈现一致的南北移动,但西段位置指数比东段位置指数偏南 2°左右。东、西段位置指数在 6 月差异最大,接近 4°。东段副高北抬较早,在 5—6 月北抬最为明显,为 4.5°,西段副高北抬较晚,在 6—7 月北抬最为明显,为 6°,从而使得东、西段副高位置在 6 月差异最大,在 7 月差异减小,这与以 588 dagpm 等值线定义的副高主体在 6 月、7 月逐渐西伸北抬是一致的。随后,8 月东、西段副高位置差异又增大,是由于东段副高北抬较多导致,这也体现了副高主体在 8 月虽北抬但东撤的特征。

分段脊线指数与副高位置指数呈现一致的逐月变化和东、西段差异,位置指数较脊线指数偏北,气候态平均值存在 0.2°左右的偏差。位置指数与脊

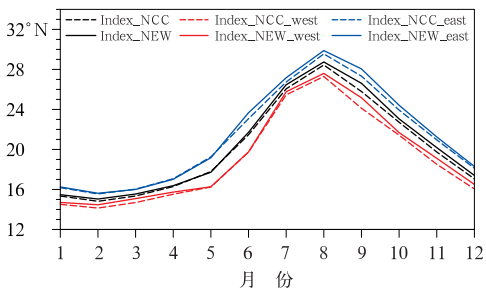


图 1　1981—2010 年 1—12 月平均副高指数分布

Fig. 1　Distribution of monthly WPSH indices averaged from 1981 to 2010

表 1 1951—2020 年 1—12 月副高位置指数与业务副高脊线指数的相关系数(*CC*,CC_W,CC_E 分别为整段、西段、东段的相关系数)

Table 1 Correlation coefficients between Index_NEW and Index_NCC (*CC*), Index_NEW_west and Index_NCC_west (CC_W), Index_NEW_east and Index_NCC_east (CC_E) respectively for January—December of 1951 to 2020

月份	*CC*	CC_W	CC_E
1	0.90	0.87	0.87
2	0.91	0.87	0.87
3	0.88	0.82	0.84
4	0.90	0.85	0.90
5	0.91	0.88	0.93
6	0.80	0.76	0.90
7	0.60	0.70	0.89
8	0.90	0.89	0.92
9	0.64	0.70	0.66
10	0.85	0.86	0.83
11	0.83	0.79	0.83
12	0.81	0.80	0.80

线指数在 1951—2020 年各月的相关系数如表 1 所示。两种方法定义的指数相关性较好,各月均超过 0.01 显著性水平。东段指数的相关性比西段指数的相关性更好。7 月和 9 月副高位置指数和脊线指数相关性较弱,7 月最弱,只有 0.60。

由于夏季 6、7、8 月副高位置对我国气候的影响最显著,本文主要根据夏季情况对副高位置指数和脊线指数的差异进行说明。图 2 给出了 1951—2020 年夏季共 210 个月中西段副高指数差异最大的 6 个月,它们也是整段副高指数差异较大的几个月,其中有 4 个为 7 月,与表 2 中西段副高指数的相关性在 7 月较差一致。2002 年 7 月(图 2a),以 110°~130°E 范围内纬向风切变线定义的西段脊线指数为 27.4°N,较气候态偏北,以位势高度强度中心定义的西段副高位置指数为14.0°N,较气候态偏南。

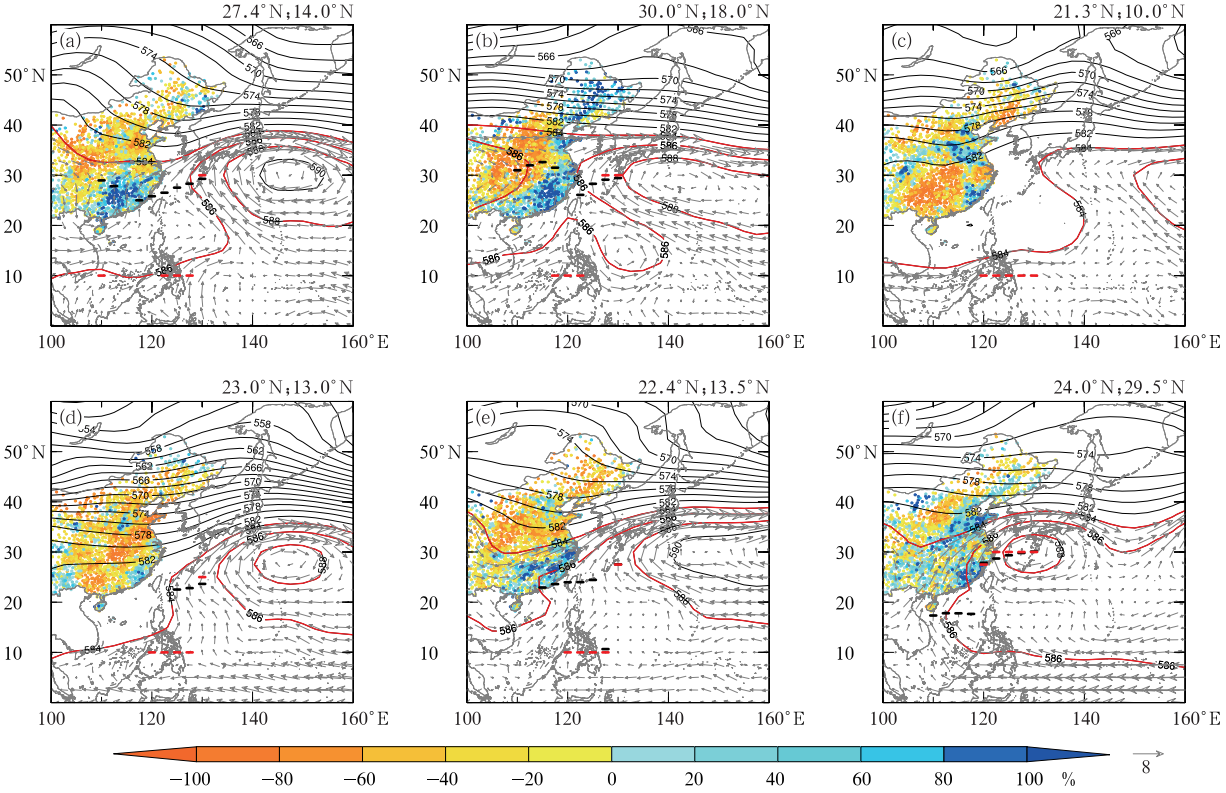


图 2 (a)2002 年 7 月,(b)1997 年 8 月,(c)1972 年 7 月,(d)1963 年 6 月,(e)2015 年 7 月,(f)2008 年 7 月降水距平百分率(填色)、500 hPa 位势高度场(黑色等值线,单位:dagpm)和风场(风矢,单位:m·s^{-1}),[红色线为 584、586 和 588 dagpm 等值线,黑色和红色短划线分别为西段脊线指数和西段位置指数所在位置,右上角标注数字分别为西段脊线指数(左)、西段位置指数(右)值,例如 27.4°N;14.0°N 即西段脊线指数为 27.4°N、西段位置指数为 14.0°N]

Fig. 2 Precipitation anomaly percentage (colored), 500 hPa geopotential height (black contour, unit: dagpm) and wind (vector, unit: m·s^{-1}) in (a) July 2002, (b) August 1997, (c) July 1972, (d) June 1963, (e) July 2015 and (f) July 2008

(Red lines are 584, 586 and 588 dagpm contours; black and red short lines mark the positions of Index_NCC_west and Index_NEW_west, respectively; the numbers in top right corner are Index_NCC_west (left) and Index_NEW_west (right), respectively. For example, 27.4°N; 14.0°N that is: 27.4°N (Index_NCC_West);14.0°N (Index_NEW_West))

实际上该月 110°～130°E 范围内有台风生成,副热带高压带被台风阻断,使得位势高度相对高值区域更为偏南,因此与纬向风切变线定义的西段脊线指数产生较大差异。1997 年 8 月、1963 年 6 月、2015 年 7 月(图 2b,2d,2e)两种方法定义的副高指数产生较大差异的原因与 2002 年 7 月类似,当出现南北两条纬向风切变线时,位置指数定义在了位势高度较强的区域。1972 年 7 月(图 2c),由于 110°～130°E 范围内 584 dagpm 等值线包含区域不存在纬向风切变线,因此西段脊线指数为缺测,以历史最小值 21.3°N 代替,此时,以位势高度最大值所在纬度定义西段副高位置为 10°N。2008 年 7 月(图 2f),由于 115°～120°E 范围内纬向风切变线位置偏南,使得西段脊线指数(24.0°N)也偏南,西段副高位置指数(29.5°N)则刻画了位势高度值较大区域所在的纬度位置。

综上所述,本文定义的副高位置指数与前人定义的副高脊线指数的差异主要体现在:首先,副高脊线指数以风场切变的位置定义,副高位置指数以位势高度相对高值区定义,逐月副高指数都以月平均的风场、位势高度场计算,通常情况下它们差异较小。但当有台风生成时,例如台风频发的 7 月,由于副高被台风阻断,可能出现南北两个位势高度强度中心或南北两条纬向风切变线,因此导致副高脊线指数和副高位置指数的差异。其次,前人定义方法使用脊线指数和西伸脊点指数共同刻画副高体的位置;而本文则分为东、西两段,直接以位势高度相对高值区域刻画副高位置。

3　夏季副高位置指数的年际变化及其与我国降水的关联

图 3 给出了 1951—2020 年夏季平均的副高指数随时间的变化。副高位置指数夏季平均值为 26.0°N,在 22.5°～29.9°N 范围内移动,西段(东段)副高位置指数夏季平均值为 24.9°N(27.1°N),移动范围为 18.6°～29.4°N(22.1°～30.9°N),西段副高位置指数的标准差(2.35)大于东段副高位置指数(1.50),它们可达到的最北纬度相差较小、都在 30.0°N 左右,西段副高位置指数的最小值比东段副高指数最小值偏南。东、西段副高指数差异较大的年份为副高主体位置偏东偏北的年份。副高脊线指数的平均值较副高位置指数略为偏南,西段副高脊线指数的标准差(1.95)小于西段副高位置指数,说明西段副高位置指数的南北移动幅度较大。

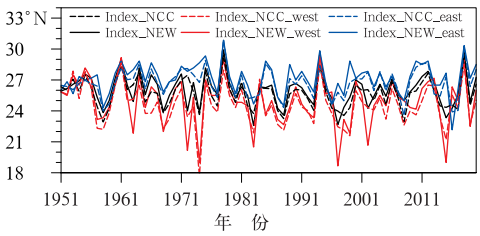


图 3　1951—2020 年夏季 6—8 月平均的副高指数时间序列

Fig. 3　The time series of averaged summer (June－August) WPSH indices from 1951 to 2020

图 4 给出了 1979—2020 年夏季平均副高指数与我国夏季降水的相关系数分布。整段副高指数与我国夏季降水在华北、东北南部和华南地区呈正相关,在西南、长江流域和东北北部呈负相关(图 4a,4d);西段指数与我国降水的相关性分布与整段指数类似,在华北地区的正相关更为显著(图 4b,4e),尤其是太行山以东、淮河以北的区域;东段指数与夏季降水的相关性在我国大部分地区呈负相关,只在东北南部和华北、华南部分地区呈弱的正相关(图 4c,4f)。以上相关系数的空间分布说明夏季副高位置越偏北,华北地区夏季降水越多、长江流域降水越少。从副高位置指数与脊线指数比较来看,位置指数与华北夏季降水的正相关较脊线指数有了明显提高,尤其是西段指数与降水的相关性提高更显著。

本文定义图 4a 中上方黑色虚线方框包含区域 35°～41°N、114°～120°E 为华北平原,该区域内共有 278 个站点。副高位置指数(副高脊线指数)与夏季降水的相关系数在华北平原平均为 0.26(0.15),最大可达 0.52(0.45),有 40%(12%)的站点相关系数通过 0.05 显著性水平检验(即相关系数大于 0.30);西段副高位置指数(西段副高脊线指数)与华北平原降水相关系数平均为 0.40(0.27),最大可达 0.63(0.56),有 84%(37%)的站点相关系数通过 0.05 显著性水平检验;东段副高指数与华北平原降水的相关性非常小,几乎为 0。根据相关系数的公式,即副高指数和降水的协方差除以它们各自的方差,尽管西段位置指数年际变化的方差大于西段脊线指数,不利于对相关系数的贡献,但西段位置指数和华北平均降水的协方差也更大,这有利于对相关系数的贡献。通过比较华北区域平均降水与西段指数的年际变化(图略),在华北降水异常偏少年,如 1997 年、2002 年,西段位置指数较西段脊线指数更为偏

南；在华北降水异常偏多年，如 1996、1998、2008 年，西段位置指数较西段脊线指数也更为偏北，因此西段位置指数与华北夏季降水的相关性明显优于西段脊线指数。

图 4a 中间黑色虚线方框包含区域 28°～32°N、105°～120°E 定义为长江流域，该区域内共有 326 个站点。副高位置指数（副高脊线指数）与夏季降水的相关系数在长江流域平均为－0.20（－0.25），最小可达－0.46（－0.50），有 16%（37%）的站点通过 0.05 显著性水平检验；西段位置指数（西段脊线指数）与长江流域降水相关系数平均为－0.13（－0.27），最小可达－0.47（－0.48），有 10%（24%）的站点通过 0.05 显著性水平检验；东段位置指数（东段脊线指数）与长江流域降水相关系数平均为－0.19（－0.21），最小可达－0.63（－0.55），都有 25%的站点通过 0.05 显著性水平检验。图 4a 中下方黑色虚线方框包含区域 18°～25°N、105°～116°E 定义为华南区域，该区域内共有 176 个站点。副高位置指数（副高脊线指数）与夏季降水的相关系数在华南区域平均为 0.10（0.06），最大可达0.50（0.52），有15%（14%）

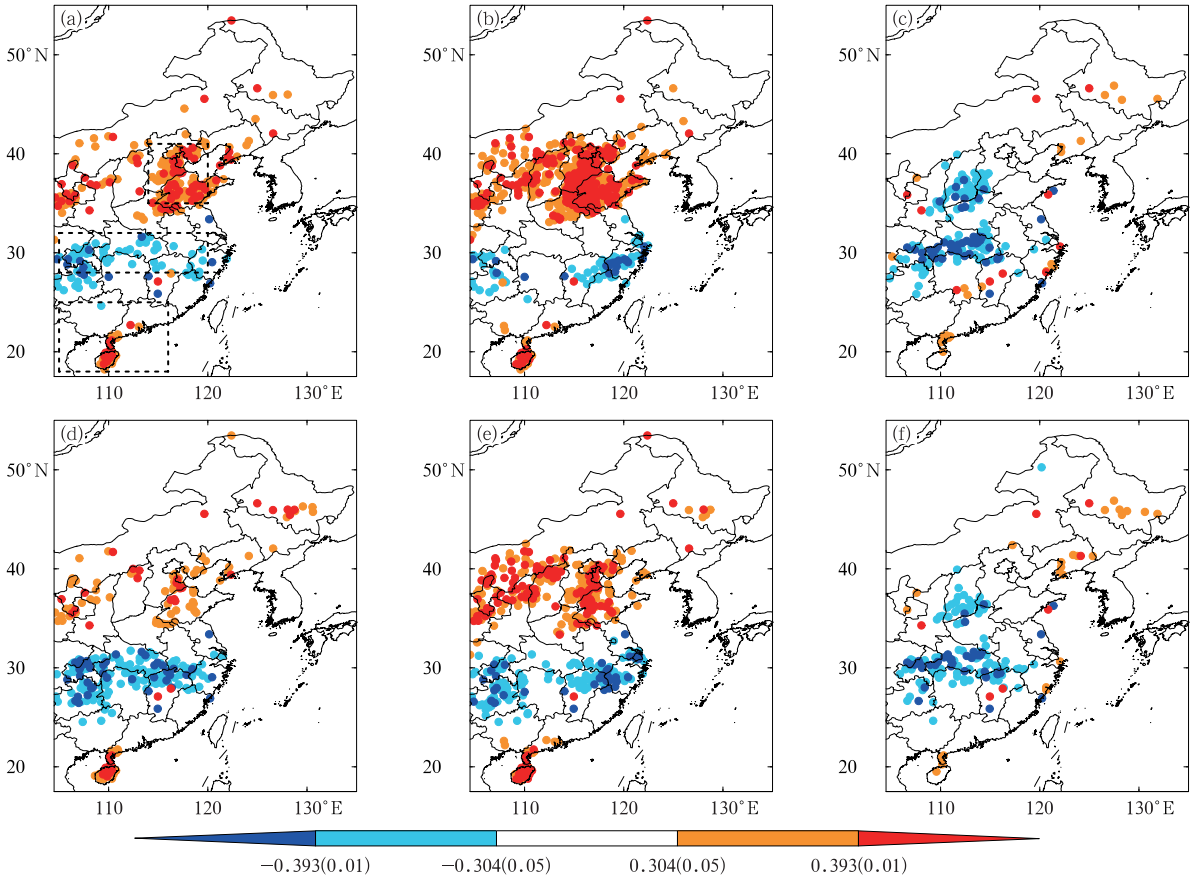


图 4　1979—2020 年夏季平均（a～c）副高位置指数，（d～f）副高脊线指数与夏季降水的相关系数分布

（a，d）整段指数，（b，e）西段指数，（c，f）东段指数

［彩色点区域为相关系数通过 0.05 显著性水平检验的站点；图 4a 中黑色虚线方框分别定义为华北平原（35°～41°N、114°～120°E）、长江流域（28°～32°N、105°～120°E）和华南（18°～25°N、105°～116°E）］

Fig. 4　Correlation distribution between the summer precipitation and (a－f) averaged summer WPSH indices

(a) Index_NEW, (b) Index_NEW_west, (c) Index_NEW_east, (d) Index_NCC, (e) Index_NCC_west, (f) Index_NCC_east

[Colored dots show stations having passed significance test at 0.05 level; black boxes in Fig. 4a show North China plain (35°－41°N, 114°－120°E), Yangtze River Basin (28°－32°N, 105°－120°E) and South China (18°－25°N, 105°－116°E)]

的站点通过 0.05 显著性水平检验;西段位置指数(西段脊线指数)与华南区域降水相关系数平均为 0.10(0.13),最大可达0.55(0.57),有 14%(16%)的站点通过 0.05 显著性水平检验;东段位置指数(东段脊线指数)与华南区域降水相关较弱。

综上,副高指数与我国华北、华南区域夏季降水呈正相关,与长江流域夏季降水呈负相关。西段位置指数与华北降水的正相关较西段脊线指数有了明显提高,尤其是京津冀和山东等地;虽然西段位置指数与长江流域降水的负相关性较西段脊线指数略弱,但东段位置指数基本维持了脊线指数与长江流域降水的负相关;副高位置指数和脊线指数与华南降水的正相关性较为一致,西段指数优于东段指数。

图 5 给出了 1979—2020 年夏季副高位置指数回归的 500 hPa 风场和降水距平百分率。图 5a 显示整段副高位置指数回归的 500 hPa 风场在日本海附近为反气旋环流,反气旋环流中心位于 39°N、135°E 附近。我国华北平原位于反气旋环流西侧,东南和偏南气流有利于水汽输送和风场幅合,副高位置越偏北,华北平原降水越偏多,偏多可达 10%左右。长江流域受偏东气流影响,南北两侧气流有助于风场幅散,副高位置越偏北,长江流域降水越偏少,偏少约为 6%左右。副高位置指数在南海附近回归风场为气旋式环流,气旋式环流中心位于 19°N、115°E 附近,我国华南位于气旋式环流北侧,东南和偏东气流有利于将海洋上的水汽输送至华南区域,副高位置越偏北,华南降水越偏多,偏多为 4%左右。东、西段位置指数回归的风场和降水距平场存在明显差异(图 5b,5c)。西段位置指数的回归场与整段指数类似,但强度稍弱,日本海附近的反气旋环流中心位于 38°N、130°E 附近,西段位置指数回归的降水距平在华北、华南为正,在长江流域为负。东段位置指数回归的风场在西北太平洋为反气旋环流,反气旋中心偏东、偏北,位于 40°N、145°E。我国华北受回归风场影响较小,回归的降水距平也较小。东段指数在长江流域回归的降水负距平较强,可达−8%左右。东段位置指数在南海附近回归的气旋式环流中心也偏东偏北,位于 20°N、123°E 附近,华南区域受偏东和东南气流影响,回归降水距平为 7%左右。

为了探究我国东部夏季降水异常受副高位置南北偏移的影响,图 6 给出了西段、东段位置指数不同配置年份时我国夏季降水异常的分布和 850 hPa 风场异常,西段、东段位置指数的不同配置对应着我国不同的降水类型。首先将 1979—2020 年西段、东段位置指数大于/小于 0.5 倍标准差的年份分别定义为西段、东段副高异常偏北/偏南的年份,其中西段、东段指数都偏北的年份为 1994、2001、2004、2011、2012、2018 和 2020 年,西段、东段指数都偏南的年份为 1983、1987、1988 和 1998 年,西段指数偏北、东

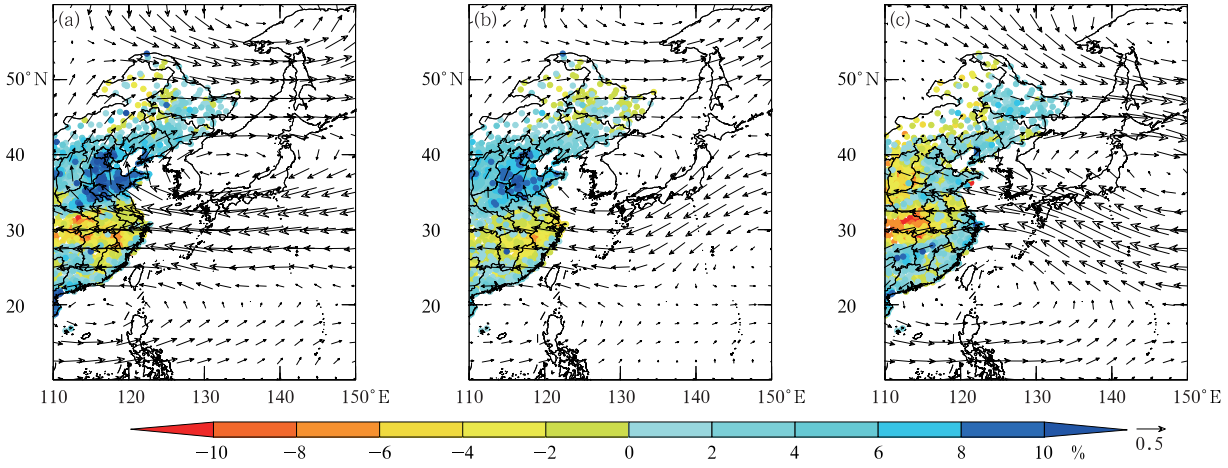


图 5　1979—2020 年夏季副高位置指数回归的 500 hPa 风场(风矢,单位:m·s^{-1})和降水距平百分率(填色)
(a)整段指数,(b)西段指数,(c)东段指数

Fig. 5　Regression of 500 hPa horizontal winds (vector, unit: m·s^{-1}) and precipitation anomaly percentage (colored) with respective to (a) Index_NEW, (b) Index_NEW_west and (c) Index_NEW_east

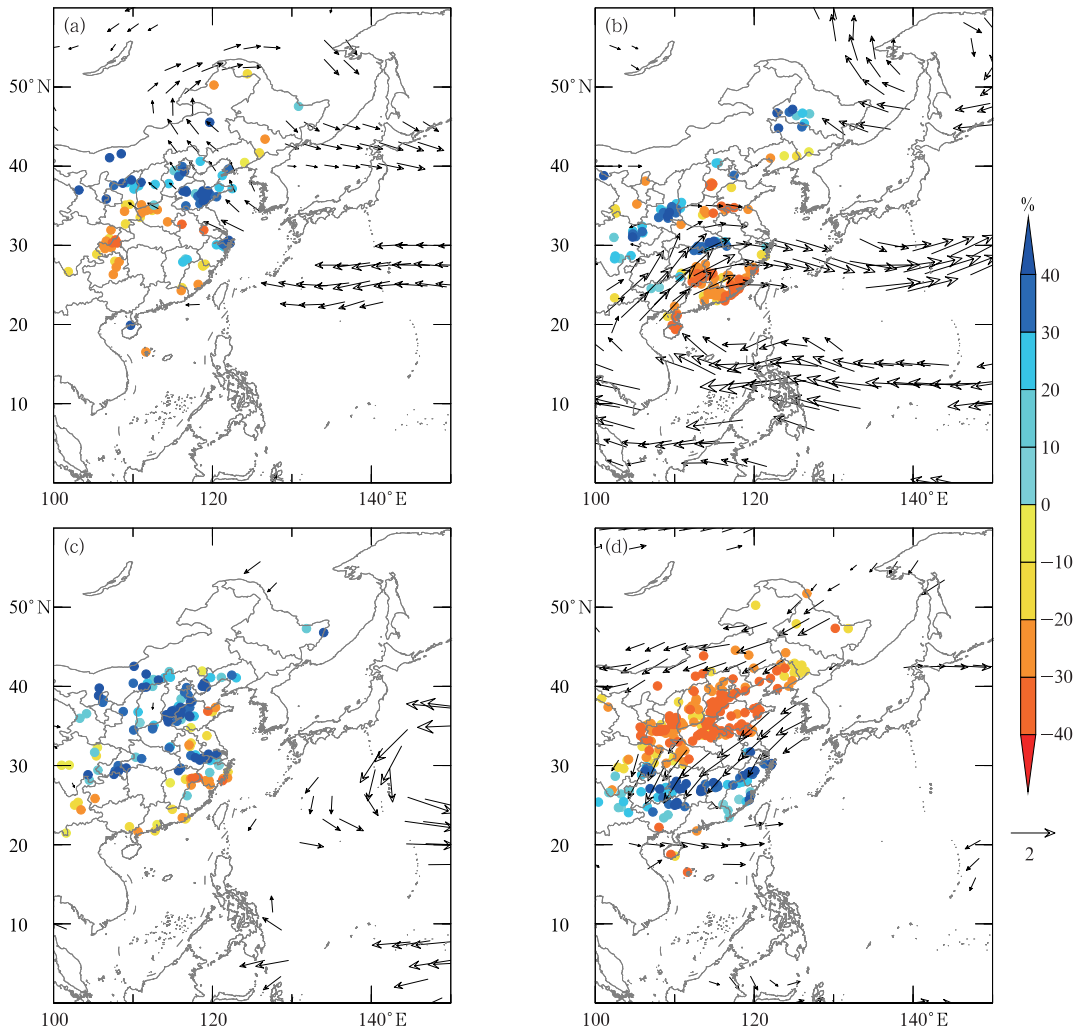


图 6 1979—2020 年中夏季副高位置指数(a)西段、东段都偏北年,(b)西段、东段都偏南年,(c)西段偏北、东段偏南年,(d)西段偏南、东段偏北年合成的降水距平百分率(彩色点)和 850 hPa 风场异常(风矢,单位:m·s^{-1})

(彩色点区域为通过 0.05 显著性水平检验的区域)

Fig. 6 Composite 850 hPa horizontal wind (vector, unit: m·s^{-1}) and precipitation anomaly percentage (colored dot, unit: %) for (a) northward anomaly of both Index_NEW_west and Index_NEW_east, (b) southward anomaly of both Index_NEW_west and Index_NEW_east, (c) northward anomaly of index_NEW_west and southward anomaly of Index_NEW_east, (d) southward anomaly of Index_NEW_west and Index_NEW_east is northward anomaly

(Colored dot regions having passed 0.05 significance test)

段指数偏南的年份为 1984、1996 和 2016 年,西段指数偏南、东段指数偏北的年份为 1999、2002 和 2015 年。当东、西段位置指数都偏北时(图 6a),主雨带在华北附近,在华东有弱的降水正异常。在日本至我国华北、东北存在明显反气旋式环流异常,我国华北地区为东南风异常,有利于水汽输送产生降水。当东、西段位置指数都偏南时(图 6b),长江流域降水偏多,这种配置包括了 1983 年和 1998 年典型的长江流域强降水年份。在南海附近有明显的反气旋式环流异常,长江流域受西南风异常影响。当西段指数偏北、东段指数偏南时(图 6c),两条主雨带分别位于华北和长江流域。我国东部上空低层风场异常较弱,而中高层上我国东部位于蒙古附近的气旋式异常下游(图略),有利于降水偏多。当西段指数偏南、东段指数偏北时(图 6d),我国呈明显的南涝北旱型。北方大部分地区受蒙古反气旋式异常环流

影响,降水异常偏少,我国东南地区和西太平洋上为气旋式环流异常。以上结果表明西段、东段副高位置的不同配置对应着我国主雨带分布的四种类型,基本符合魏凤英等(2012),杨柳等(2018)研究中的我国雨型分布,且相对于赵俊虎等(2012)中副高脊线和西伸脊点的不同配置对应的雨型特征更明显。因此,分别刻画西段、东段副高的南北位置并研究它们的不同配置将更有助于我国夏季降水的研究和预测。

值得注意的是,在夏季西段、东段位置指数都偏北的 2020 年,长江流域夏季降水异常偏多,明显多于所有指数偏北年份的合成结果(图 6a),这是由于副高位置的季节内变化导致的。2020 年 6 月副高北抬偏早、7 月在江淮流域南北波动(刘芸芸和丁一汇,2020),使得西段位置指数 6 月偏北、7 月偏南,导致 6—7 月长江流域降水异常偏多,这有别于其他副高位置指数偏北的年份。7 月底副高明显北抬,8 月西段位置指数异常偏北,对应华北降水偏多,这与其他年份较为一致。因此,尽管 2020 年夏季平均的西段、东段位置指数都偏北,该年长江流域夏季降水异常仍为偏多,与其他副高指数偏北年略有不同。

4　结论与讨论

本文以 10°～60°N、110°～150°E 范围内 500 hPa 位势高度相对高值区域的平均纬度定义为西太平洋副高位置指数,并以 130°E 为界同样定义了西段和东段副高位置指数。对比了副高位置指数与目前业务上所用脊线指数的异同,并利用该指数分析了副高对我国夏季降水的影响,得到结论如下:

(1)副高位置指数较业务脊线指数有诸多优势,在计算时,仅使用了位势高度场资料,不需使用风场资料,定义方法简化了计算流程;指数定义未局限在 588 dagpm 或 584 dagpm 等高线范围内,而是直接刻画了副热带高压带中相对高值区域的纬度位置,避免了副高强度较弱时的缺测情况;利用东段、西段副高位置指数分别来研究副高对我国降水的影响,所揭示的副高位置与降水的对应关系更好,位置指数与我国站点降水的相关性较业务脊线指数有了明显提高。

(2)夏季平均的副高位置指数年际变化与我国夏季降水的年际变化存在很好的相关性,在华北、黄淮区域为正相关,在西南、长江流域为负相关,在华南为正相关,这与以往的研究结论是一致的。西段位置指数与华北平原夏季降水的相关性更好,平均为 0.40,最大可达 0.63,在华北平原有 84%的站点相关系数通过 0.05 显著性水平检验,而使用业务方法定义的西段脊线指数与华北平原降水的相关系数仅为 0.27。这是由于在某些华北降水异常偏多、偏少年,西段位置指数异常偏北、偏南的幅度较西段脊线指数更为明显。此外,东段位置指数保持了脊线指数与长江流域降水的负相关,平均为－0.19,最小可达－0.63;西段位置指数与华南夏季降水的相关系数平均为 0.10,最大为 0.55,与脊线指数基本一致。

(3)西段、东段副高位置偏南、偏北的不同配置对应的我国主雨带位置有明显差异,都偏北年主雨带位于华北;都偏南年主雨带位于长江流域;西段偏北、东段偏南年,通常出现两条主雨带,分别位于华北和长江流域;西段偏南、东段偏北年,我国东部降水呈明显的南多北少型。

以往研究中多使用西伸脊点判断副高东西位置、用脊线位置判断副高南北位置,用两个指数共同研究副高对我国降水的影响。本文直接将副高分为东、西两段,结果表明东段、西段副高位置对我国夏季降水的年际变化的确有不同影响,且它们偏南、偏北的不同配置对应的我国雨带的位置不同。由于副高位置直接受到前期海温和大气环流的影响,这为我国夏季降水的季节预测提供了更多指示意义,也为季节内副高位置和雨带移动关系的研究提供了更好前提。

参考文献

陈文,康丽华,王玎,2006. 我国夏季降水与全球海温的耦合关系分析[J]. 气候与环境研究,11(3):259-269. Chen W,Kang L H,Wang D,2006. The coupling relationship between summer rainfall in China and global sea surface temperature[J]. Climatic Environ Res,11(3):259-269(in Chinese).

国家气候中心,2015. 西太平洋副热带高压监测业务规定[C]. National Climate Centre,2015. Mornitoring regulations of western Pacific subtropical high[C](in Chinese).

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. Huang L,He J H,Lu C H,2012. Review and outlook of researches about western Pacific subtropical high[J]. J Arid Meteor,30(2):255-260(in Chinese).

刘屹岷,吴国雄,2000. 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,58(4):500-512. Liu Y M,Wu G X,2000.

Reviews on the study of the subtropical anticyclone and new insights on some fundamental problems[J]. Acta Meteor Sin,58(4):500-512(in Chinese).

刘芸芸,丁一汇,2020. 2020年超强梅雨特征及其成因分析[J]. 气象,46(11):1393-1404. Liu Y Y,Ding Y H,2020. Characteristics and possible causes for the extreme Meiyu in 2020[J]. Meteor Mon,46(11):1393-1404(in Chinese).

刘芸芸,李维京,艾孜秀,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).

任芝花,余予,邹凤玲,等,2012. 部分地面要素历史基础气象资料质量检测[J]. 应用气象学报,23(6):739-747. Ren Z H,Yu Y,Zou F L,et al,2012. Quality detection of surface historical basic meteorological data[J]. J Appl Meteor Sci,23(6):739-747(in Chinese).

谭桂容,孙照渤,2004. 西太平洋副高与华北旱涝的关系[J]. 热带气象学报,20(2):206-211. Tan G R,Sun Z B,2004. Relationship of the subtropical high and summertime floods/droughts over North China[J]. J Trop Meteor,20(2):206-211(in Chinese).

陶诗言,卫捷,2006. 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,17(5):513-525. Tao S Y,Wei J,2006. The westward,northward advance of the subtropical high over the west Pacific in summer[J]. J Appl Meteor Sci,17(5):513-525(in Chinese).

魏凤英,陈官军,李茜,2012. 中国东部夏季不同雨带类型的海洋和环流特征差异[J]. 气象学报,70(5):1004-1020. Wei F Y,Chen G J,Li Q,2012. Differences of oceanic and atmospheric circulation features among the rainfall-band patterns in summer in eastern China[J]. Acta Meteor Sin,70(5):1004-1020(in Chinese).

吴国雄,刘平,刘屹岷,等,2000. 印度洋海温异常对西太平洋副热带高压的影响——大气中的两级热力适应[J]. 气象学报,58(5):513-522. Wu G X,Liu P,Liu Y M,et al,2000. Impacts of the sea surface temperature anomaly in the Indian Ocean on the subtropical anticyclone over the western Pacific——two-stage thermal adaptation in the atmosphere[J]. Acta Meteor Sin,58(5):513-522(in Chinese).

杨柳,赵俊虎,封国林,2018. 中国东部季风区夏季四类雨型的水汽输送特征及差异[J]. 大气科学,42(1):81-95. Yang L,Zhao J H,Feng G L,2018. Characteristics and differences of summertime moisture transport associated with four rainfall patterns over eastern China monsoon region[J]. Chin J Atmos Sci,42(1):81-95(in Chinese).

赵俊虎,封国林,杨杰,等,2012. 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,70(5):1021-1031. Zhao J H,Feng G L,Yang J,et al,2012. Analysis of the distribution of the large-scale drought/flood of summer in China under different types of the western Pacific subtropical high[J]. Acta Meteor Sin,70(5):1021-1031(in Chinese).

赵思雄,孙建华,鲁蓉,等,2018. "7·20"华北和北京大暴雨过程的分析[J]. 气象,44(3):351-360. Zhao S X,Sun J H,Lu R,et al,2018. Analysis of the 20 July 2016 unusual heavy rainfall in North China and Beijing[J]. Meteor Mon,44(3):351-360(in Chinese).

Chen W,Lee J Y,Ha K J,et al,2016. Intensification of the western north Pacific anticyclone response to the short decaying El Niño event due to greenhouse warming[J]. J Climate,29(10):3607-3627.

He J H,Zhou B,Wen M,et al,2001. Vertical circulation structure,interannual variation features and variation mechanism of western Pacific subtropical high[J]. Adv Atmos Sci,18(4):497-510.

Kalnay E,Kanamitsu M,Kistler R,et al,1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project[J]. Bull Am Meteor Soc,77(3):437-472.

Li X Y,Lu R Y,2019. Seesaw pattern of rainfall anomalies between the tropical western north Pacific and central southern China during late summer[J]. Adv Atmos Sci,36(3):261-270.

Li C F,Lu R Y,Dong B W,2014. Predictability of the western north Pacific summer climate associated with different ENSO phases by ensembles multi-model seasonal forecasts[J]. Climate Dyn,43(7-8):1829-1845.

Lin Z D,Lu R Y,2009. The ENSO's effect on eastern China rainfall in the following early summer[J]. Adv Atmos Sci,26(2):333-342.

Lu R Y,2002. Indices of the summertime western North Pacific subtropical high[J]. Adv Atmos Sci,19(6):1004-1028.

Wang B,Wu R G,Fu X O H,2000. Pacific-east Asian teleconnection:how does ENSO affect East Asian climate?[J]. J Climate,13(9):1517-1536.

Wang B,Xiang B Q,Lee J Y,2013. Subtropical high predictability establishes a promising way for monsoon and tropical storm predictions[J]. Proc Natl Acad Sci USA,110(8):2718-2722.

Yang R W,Xie Z A,Cao J,2017. A dynamic index for the westward ridge point variability of the western Pacific subtropical high during summer[J]. J Climate,30(9):3325-3341.

(本文责编:王蕾)