

东亚夏季风指数与 黄淮区域夏季降水变化的关系

竹磊磊

(1.中国气象局·河南省农业气象保障与应用技术重点开放实验室, 河南 郑州 450003; 2.河南省气候中心, 河南 郑州 450003)

摘 要: 利用黄淮区域和长江中下游流域的夏季降水资料、NCEP/NCAR1983-2022年逐月再分析资料, 应用7种具有代表性的东亚夏季风指数, 通过分析季风指数与黄淮区域夏季降水的关系, 选择了张庆云指数(ZQYI)和周兵指数(ZBI)进行分析。结果表明: ZQYI与黄淮区域降水呈一致负相关, 而ZBI与黄淮区域降水呈一致正相关, 但两指数均是靠近长江流域的相关较好。ZQYI和ZBI能相对较好地反映夏季东亚地区经向风EOF分析中第一模态和第四模态的分布特征, ZBI并能反映出第三模态的部分分布特征。降水偏多(少)年中ZQYI偏弱(强)、ZBI偏强(弱)的情况占的比例并不多, ZQYI略偏弱(强)、ZBI略偏强(弱)时, 中高纬度冷空气强(弱)也容易造成黄淮降水异常多(少)。ZQYI和ZBI应用在黄淮区域南部效果较好, 应用在黄淮区域其它大部并不合适。

关键词: 东亚夏季风指数、黄淮区域、夏季降水、EOF分析

引 言

我国处于东亚季风区, 每年的天气气候, 尤其夏季中国东部地区的降水分布、降水带移动以及旱涝灾害在很大程度上受夏季风的控制。夏季亚洲地区存在着两支季风系统: 南亚季风(即印度季风)和东亚季风, 它们既相互联系, 又有各自的特点, 有一定的独立性。印度季风属于热带季风, 而东亚夏季风既有热带季风的部分, 又有副热带季风的部分。为了研究季风强弱年际变化及其对夏季降水和旱涝的影响, 建立一个能表征季风强弱年际变化的指标是十分重要的。不少学者在这方面做了研究, 陈桦(2006)指出, 目前所用的季风指数大致可以归纳为三类: 第一类是选择降水或对流来定量表征夏季风强度, 全印度季风降水指数就是这样的指数, 常被用于衡量南亚夏季风的特征。第二类是基于季风是海陆热力差异的综合产物这个基本成因来定量描述季风强度, 郭其蕴(1983)用海平面气压差来定义季风指数。施能等(1996)在此基础上进行了改进, 定义了一个新的季风指数。赵平和周自江(2005)则认为蒙古低压和西太平洋热带高压是夏季的主要环流系统, 并用这两个系统附近区域的海平面气压差定义了一个东亚夏季风指

投稿日期: 2022-10-31 ; **修订日期:**

基金项目: 中国气象局·河南省农业气象保障与应用技术重点开放研究室开放研究基金(AMF201509)、中国气象局气候变化专项(CCSF201911)

数。孙秀荣等（2002）用东西向和南北向的海陆温差定义了一个东亚海陆热力差指数。第三类是直接季风环流本身出发，选择风场、高度场或散度场等去描述季风的强度（何敏等，2001；张庆云等，2003；黄刚和严中伟，1999；Lau，2000）。

研究表明，目前许多东亚夏季风指数能较好地反映部分区域的降水和环流特征，不少指数与长江流域的夏季降水及环流有较好的对应关系，同时还有一些学者研究了东亚季风指数与其它区域气候的关系（方建刚等，2014；白爱娟和施能，2004；史印山等，2007；李智才等，2010），但是目前没有关于东亚夏季风指数与黄淮区域夏季气候关系的研究，而黄淮区域由于地处我国亚热带向暖温带的气候过渡地带，降水的年际和季节变率大，影响因素复杂，该区域比长江中下游流域高出2~7个纬度，一些适用较广，特别是在长江流域适用性较好的季风指数，能否适用于黄淮区域，需要进行探讨和研究。

1 资料来源

所用的环流资料为NCEP/NCAR逐月再分析资料，资料长度为1983—2022年，共40a，包括风场、高度场和海平面气压场。Chen（2009）把全国夏季降水分为13个规则的区域（Chen et al.，2009），本文选用其定义的黄淮区域为研究区域，具体范围为105~122°E、30~36.5°N，文中夏季定义为6—8月，夏季降水资料取自中国气象局国家气象信息中心提供的黄淮区域和长江中下游流域资料较完整，分布较均匀的气象台站，黄淮区域共31个站，长江中下游流域12个站，长度为1983—2022年。

2 东亚夏季风强度指数的比较分析

本文选用文献中引用较多的7个东亚夏季风指数（表1），7个指数中，有3个是用海平面气压定义（郭其蕴，1983；施能等，1996；赵平和周自江，2005），一个用位势高度定义（黄刚和严中伟，1999），一个用纬向风定义（张庆云等，2003），一个用经向风定义（周兵等，2003），还有一个用纬向风和海平面气压共同定义（祝从文等，2000），各指数均用人名标记。

表1 所用东亚夏季风指数及说明

Table 1 East Asian summer monsoon indices used in this study and their related information		
指数	指数定义	本文简称
郭其蕴（1983）	10~50°N，每隔 10° 纬圈 SLP（海平面气压）之差（110°E 处减去 160°E 处）小于等于负 5hPa 的数值之和	GQYI
施能等（1996）	20~50°N，每隔 5° 纬圈的纬向标准化 SLP 之差（110°E 处减去 160°E 处）的数值之和	SNI
赵平和周自江（2005）	160°E 上 30~40°N 内平均的标准化 SLP 减去 110°E 上 40~50°N 内平均的标准化 SLP	ZPI
黄刚和严中伟（1999）	-0.25Z's（125°E，20°N）+0.50Z's（125°E，40°N）-0.25Z's（125°E，60°N），其中 Z'为 500hPa 位势高度距平，Z's=Z'sin45°/sinφ，φ 为纬度	HGI

张庆云等 (2003)	(100~150°E, 10~20°N) 与 (100~150°E, 25~35°N) 区域内 6—8 月平均的 u_{850hPa} (850hPa 纬向风) 距平差	ZQYI
祝从文等 (2000)	(100~130°E, 0°~10°N) 内 u_{850hPa} 减去 u_{200hPa} 的差和 10~50°N 各纬度上 SLP 之差 (110°E 处减去 160°E 处) 分别标准化, 然后相加	ZCWI
周兵等 (2003)	(100~125°E, 10~25°N) 区域内 6—8 月平均 v_{850hPa} (850hPa 经向风) 减去 v_{200hPa} 的差	ZBI

一个好的东亚夏季风指数既要反映风场的变化, 同时还要反映夏季降水的特征。本文首先研究各季风指数与区域降水整体的关系, 用各季风指数和黄淮区域的夏季降水做相关, 为确保相关关系的稳定和显著性, 分别计算1983—2022年、1983—2012年和1993—2022年三个时段的相关系数 (表2)。三个以海平面气压定义的东亚夏季风指数与黄淮区域降水的相关系数均较低, 其中GQYI和SNI的相关系数又低于ZPI, ZPI指数的相关系数在1993—2022年较高 (能过了0.05信度的显著性检验), 但1983—2012年较低, 说明ZPI与黄淮区域降水的对应关系不稳定。而HGI在1983—2012年和1993—2022年两个时段的相关系数相差不大, 但三个时段均未通过0.05信度的显著性检验。ZCWI在1983—2012年的相关系数较高, 但是1993—2022年的相关系数没有通过0.05信度的显著性检验。而ZQYI和ZBI各个时段的相关系数均较高, ZBI在1993—2022年通过了0.05信度的显著性检验, 其它5个相关系数均通过了0.01信度的显著性检验, 说明两个指数与黄淮区域整体降水的对应关系较好, ZQYI与黄淮区域降水呈显著负相关, 说明ZQYI越大 (小), 黄淮区域降水越少 (多); ZBI与黄淮区域降水呈显著正相关, 说明ZBI越大 (小), 黄淮区域降水越多 (少)。

表2 东亚夏季风指数与黄淮区域降水的相关系数

Table 2 Correlation coefficients between East Asian summer monsoon indices and precipitation of Huang-Huai Region

相关时间段	GQYI	SNI	ZPI	HGI	ZQYI	ZCWI	ZBI
1983—2022 年	0.098	-0.165	0.260	-0.188	-0.494**	-0.279	0.430**
1983—2012 年	-0.030	0.018	0.043	-0.247	-0.570**	-0.471**	0.410**
1993—2022 年	0.191	-0.235	0.357*	-0.254	-0.555**	-0.232	0.382*

注: *表示通过 0.05 信度的显著性检验, **表示通过 0.01 信度的显著性检验

以上分析说明, ZQYI和ZBI与黄淮区域降水的对应关系要明显优于其它几个指数, 以下只分析这两个指数。ZQYI和ZBI的相关系数为-0.479, 呈显著负相关, 表明ZQYI偏强 (弱) 时, ZBI较易偏弱 (强)。ZQYI较大的年份有1984、1985、1986、1994、1997、2002、2004、2012和2018年, ZQYI较小的年份有1983、1995、1998、2003、2013、2020和2022年。ZBI较大的年份有1994、1995、1998、1999、2008、2010、2018和2020年, ZBI较小的年份有1985、1986、1989、1990、1992、2001、2002、2004和2016年。

3 ZQYI 和 ZBI 代表的风场特征

对ZQYI和ZBI高低值年6—8月850hPa风距平场进行合成（图1），ZQYI高值年（图1a）在东亚及西太平洋低纬地区（30°N以南）有明显的气旋距平环流，也既是西太平洋副热带高压（以下简称西太副高）偏弱，气旋南侧的季风槽区（10~20°N）呈西风距平，气旋北侧的梅雨锋区（25~35°N）呈东风距平；在贝加尔湖附近有弱的气旋性距平环流，而在中纬地区的日本岛附近呈明显的反气旋距平环流，说明中高纬度西低东高，不利于冷空气南下，黄淮区域低层辐散，所以降水通常偏少；而ZQYI低值年（图1b）季风槽区呈东风距平，梅雨锋区呈西风距平，黄淮区域低层有风速辐合，降水通常偏多。

ZBI高值年（图1c）在西北太平洋上没有明显的反气旋距平环流，季风槽区的东风距平在中南半岛和南海转向后在100~130°E经度之间呈一致的北风距平，在黄淮地区有气旋性弯曲，这种情况下黄淮区域降水较易偏多；而ZQYI低值年（图1d）西太平洋上有气旋性距平环流，说明西太副高偏弱偏南，黄淮地区有弱的反气旋性弯曲，这种环流形势下黄淮区域降水较易偏少。

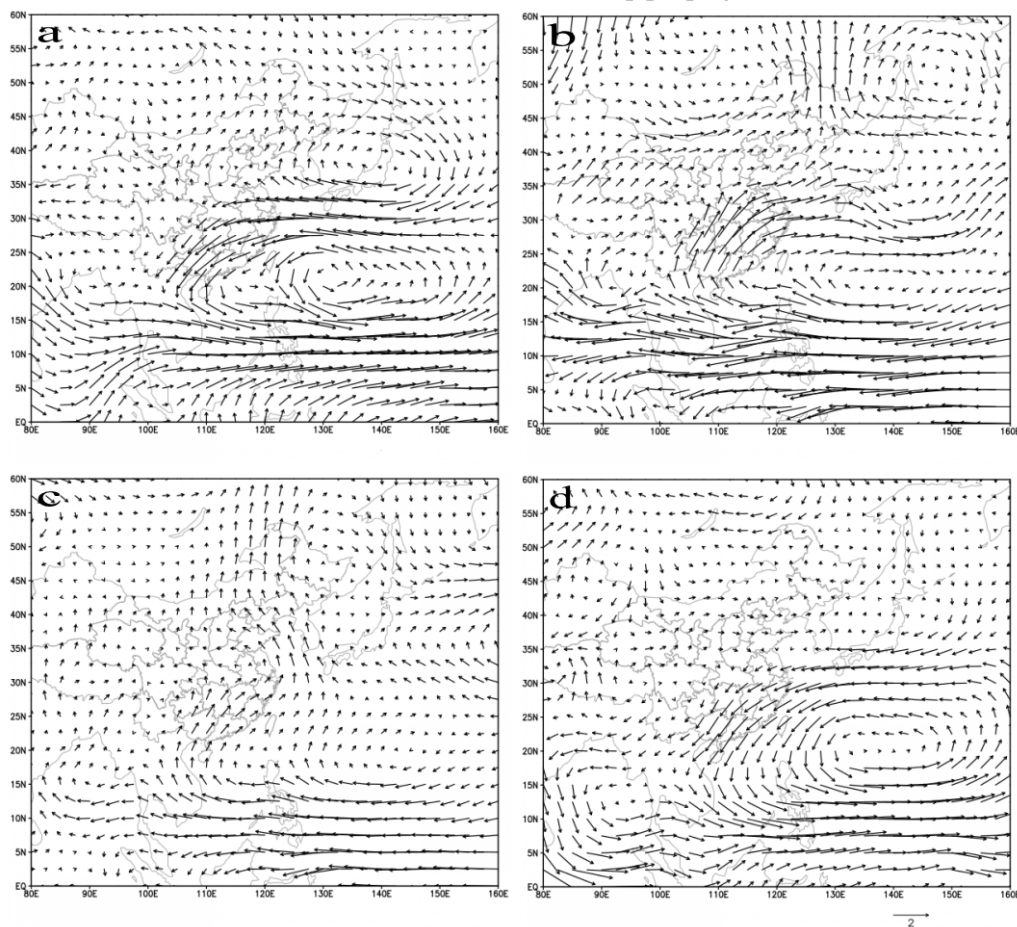


图1 ZBI 高值年（a）、低值年（b）、ZBI 高值年（c）、低值年（d）6—8月850hPa风距平场合成分布（单位：m/s）

Fig.1 Composited 850hPa wind anomalies field from Jun to August (unit: m/s)

为了了解两个指数所代表的6—8月850hPa风场的特征,对1983—2022年夏季东亚地区850hPa经向风进行EOF分析,得到能够反映夏季东亚地区低层风场异常活动的前4个主要模态,计算表明,前4个模态的方差贡献率分别是20.6%、14.1%、10.5%和9.5%,累计方差贡献率为54.7%。

图2a为东亚地区夏季经向风EOF第一模态的空间分布,该模态一方面反映了夏季经向风异常自中南半岛、我国南海、菲律宾海、华南、我国东部沿海及以东海域至华北东部、贝加尔湖以东地区到我国东北地区一致性变化的特征,异常的中心在华南和黑龙江附近,另一方面,也反映了贝加尔湖及以西地区和日本岛及其以南海域为经向风异常的反相变化。本质上,该模态反映了传统东亚夏季风活动的南北一致性且偏西南—东北向的特征。图2e为第一模态对应的时间系数,可以看出该模态在时间演变上有明显的年际和年代际变化特征,在90年代中期到2000年代中期时间系数较高,说明该段时间第一模态的分布较明显。

图2b为东亚地区夏季经向风的EOF第二模态的空间分布,该模态反映了夏季经向风异常在中南半岛中南部、我国东南沿海和贝加尔湖以西一致性变化的特征,而东亚其它大部区域则表现为经向风异常的反相变化。通过第二模态的时间系数(图2f)可以发现,该模态在时间演变上不但具有明显的年际变化特征,同时也表现出显著的年代际变化特征。该模态大致在90年代中期发生了突变,即东南亚出现异常南风分量的位置发生了由东到西的转变,东亚夏季风主体的位置由海上移向大陆,近5年又由大陆移到海上。

图2c为东亚地区夏季经向风的EOF第三模态的空间分布,该模态主要表现为中南半岛、菲律宾海、我国东海、黄渤海至贝加尔湖以东经向风异常的同位相分布特征;而其它少部分地区呈反相分布特征。该模态与第一模态均是近似“南—北”向的位相一致分布,但第一模态偏“西南—东北”向,而第三模态偏“东南—西北”向。图2g为第三模态对应的时间系数,可以看出,该模态在时间演变上存在一定的年际变化,而年代际变化不明显。

图2d为东亚地区夏季经向风的EOF第四模态的空间分布,与前三个模态不同,该模态主要表现为自中南半岛和我国南部至日本岛南部海域经向风异常的近似“东—西”向的同位相分布特征,而华中和华北大部至我国东北为反相分布,该模态本质上反映了东亚夏季风活动南北反向的特征。图2h为第四模态对应的时间系数,可以看出,该模态在时间演变上不仅存在一定的年际变化,还存在着阶段性变化,80年代前中期—90年代前中期、2000年代前中期—2010年代中后期经向风活动异常表现为东亚南部为北风异常,我国华北至东北为南风异常,而其它时段呈现出相反的异常风向。

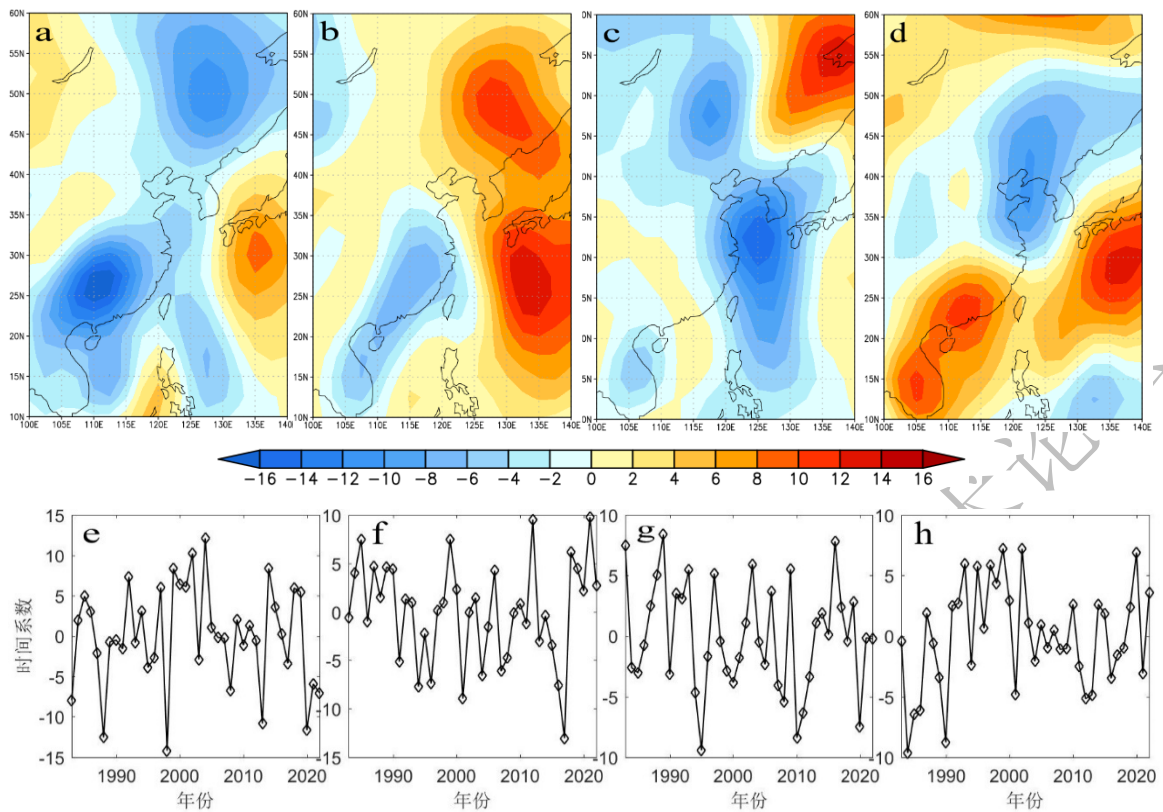


图2 东亚地区6—8月850hPa经向风前四个模态的空间分布(a-d)和时间系数(e-h)

Fig.2 Spatial patterns of the first four EOF modes of summer 850hPa meridional wind over East Asia (a-d) and their time coefficients (e-h)

上述分析表明，东亚夏季风的经向风具有空间多模态特征。为了分析ZQYI和ZBI的经向风分布与各模态的一致性，计算两个指数时间序列与各模态时间系数序列的相关（表3），如果一个指数代表的风场分布与某一模态绝对重合或相反的话，它们之间的相关系数应为1或-1，相关系数越近1（-1），说明指数代表的风场分布与模态越重合（反位相）。从表中可以看出，两个指数与第一模态和第四模态的时间系数均有较好的相关性（均通过了0.01信度的显著性检验），而ZBI与第三模态时间系数的相关也通过了0.05信度的显著性检验。说明ZQYI代表的经向风异常与第一模态和第四模态的分布特征对应关系较好，当ZQYI为高值时，850hPa风距平场上东亚至西太平洋为气旋性环流，我国东南部为异常偏北风，所以在第一模态上表现为该区域的负值；风距平场上在日本岛的东南部海域为异常偏南风，表现在第一模态上该区域为正值，ZQYI主要反映了第一模态中东亚至西太平洋与850hPa风距平场近似的東西反位相分布，且主要异常中心在我国东南部的分布特征。当ZQYI为高值时850hPa风距平场上东南亚和我国沿海的北风异常和我国东北至日本海的偏南风异常同时对应了第四模态在这些区域的反位相分布，所以ZQYI与第四模态的时间相关系数也具有很好的负相关，ZQYI主要反映了第四模态中东南亚至西太平洋与我国东北至日本海近似850hPa风距平场的偏东—西反位相型分布特征。

而ZBI则能相对较好地反映第一模态和第四模态的分布特征，并能反映出第三模态的部分分布特征。当ZBI为高值时，850hPa风距平场上东亚至西太平洋为一致的南风距平，并一直向北延续至内蒙古东部和我国东北，这种分布型与第一模态反位相中的我国东南部沿海至内蒙古东部和我国东北的南风异常近似一致，所以ZBI和第一模态时间系数的反位相相关较好，ZBI主要反映了第一模态中东南亚至内蒙古东部和我国东北近似于850hPa风距平场的偏西南—东北向的同位相分布特征。而ZBI为高值时，我国南部向东至140°N附近均为南风异常，这与第四模态中该区域的南风异常相对应，所以ZBI与第四模态时间系数的相关达到了0.586，ZBI主要反映了第四模态东南亚至西太平洋近似850hPa风距平场的东—西同位相分布特征。而ZBI为高值时，850hPa风距平场上我国东海、黄渤海向北至内蒙古东部和我国东北为南风距平，这与第三模态的反位相的南风异常一致，所以ZBI与第三模态时间系数相关达到了-0.322。以上分析说明了ZQYI和ZBI能部分代表东亚夏季风的分布特征。

表3 ZQYI和ZBI与各模态时间系数的相关

Table 3 Correlation coefficients between ZQYI,ZBI and time coefficients of spatial patterns

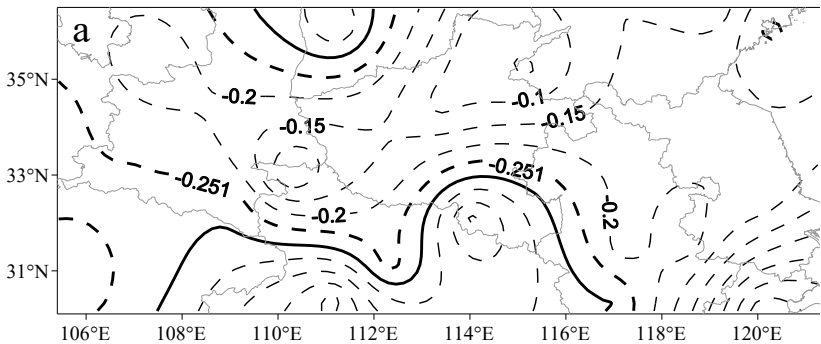
指数	第一模态	第二模态	第三模态	第四模态
ZQYI	0.731**	0.189	0.024	-0.477**
ZBI	-0.402**	0.026	-0.322*	0.586**

注：*表示通过0.05信度的显著性检验，**表示通过0.01信度的显著性检验

4 ZQYI 和 ZBI 与黄淮区域夏季降水的对应关系

4.1 ZQYI 和 ZBI 与黄淮区域夏季降水的分布关系

ZQYI是张庆云等以长江流域降水的多寡为出发点定义的东亚夏季风指数，对长江流域的降水有很好的指示意义；ZBI是周兵等以6—7月OLR为出发点来定义的季风指数，而6—7月的主要对流中心在长江中下游和江淮流域，所以ZBI同样与长江中下游流域降水的对应关系较好，两个在长江流域应用较好的指数能否较好地应用于黄淮区域是我们关注的内容。图4为两个指数与黄淮区域夏季降水的相关分布图，从分布图来看，ZQYI与黄淮区域降水呈一致的负相关，而ZBI与黄淮区域降水呈一致的正相关，但两个指数能通过较高信度的显著性检验的高相关区均偏南，即靠近长江流域的相关较好，这与两个指数被定义的初衷是一致的。



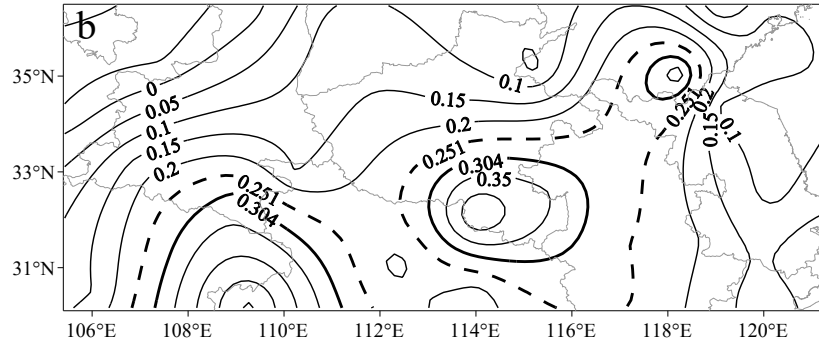


图3 ZQYI (a) 和 ZBI (b) 与夏季降水的相关系数分布

注：虚粗线表示通过 0.1 信度的显著性检验，实粗线表示通过 0.05 信度的显著性检验

Fig.3 Correlation distributions between ZQYI,ZBI and precipitation of Huang-Huai Region in summer

4.2 黄淮区域和长江中下游流域极端降水年份的环流比较

以下首先比较黄淮极端降水年和长江极端年低层风场的不同，分别合成两个区域多雨和少雨年的850hPa风距平场以及长江与黄河区域两个风场的差值(图4)。

从黄淮多雨年的风距平场(图4a)可见，黄淮多雨年季风槽区的东风距平在中南半岛及以东转向北上成为西南风距平时，在125°E以东20°N附近为东南—西南风切变，在菲律宾海有弱的反气旋性距平环流中心，西南风在我国东南部北上可达到32.5°N附近，在32.5°N~35°N的黄淮区域出现了偏北风和西南风的切变，最大降水出现在该区域附近。而长江流域降水偏多年(图4b)，季风槽区的东风距平要大于黄淮降水偏多年(图4c)，但东南风在中南半岛及以东转向时，在我国南海出现了反气旋性距平环流，说明在我国南海东部的南风分量减弱，而菲律宾海西侧至日本岛南端和朝鲜半岛的南风距平异常大，这在我国黄渤海出现了气旋性距平环流，环流西侧的北风加强，这又阻止了西南暖湿气流的北上，西南风距平仅到达30.0°N~32.5°N的长江流域附近，所以长江流域多雨。

黄淮区域降水偏少年(图4d)和长江中下游降水偏少年(图4e)合成的850hPa风距平场表明，在我国东南沿海均有气旋性距平环流，说明西太副高偏弱偏南。黄淮区域降水偏少年(图4d)在贝加尔湖以西有气旋性距平环流，在黑龙江附近有非常弱的反气旋性环流中心，说明中高纬度高度西低东高，冷空气不易南下。黄淮区域有弱的反气旋性环流中心，容易造成降水偏少。长江中下游降水偏少年(图4e)，在贝加尔湖有气旋性距平环流，在日本岛附近有反气旋性距平环流，东亚中高纬度明显西低东高，冷空气不易南下。但偏北的两个环流系统均较黄淮区域多雨年偏南。最大的风速和风向辐散中心在长江中下游，所以长江流域少雨。

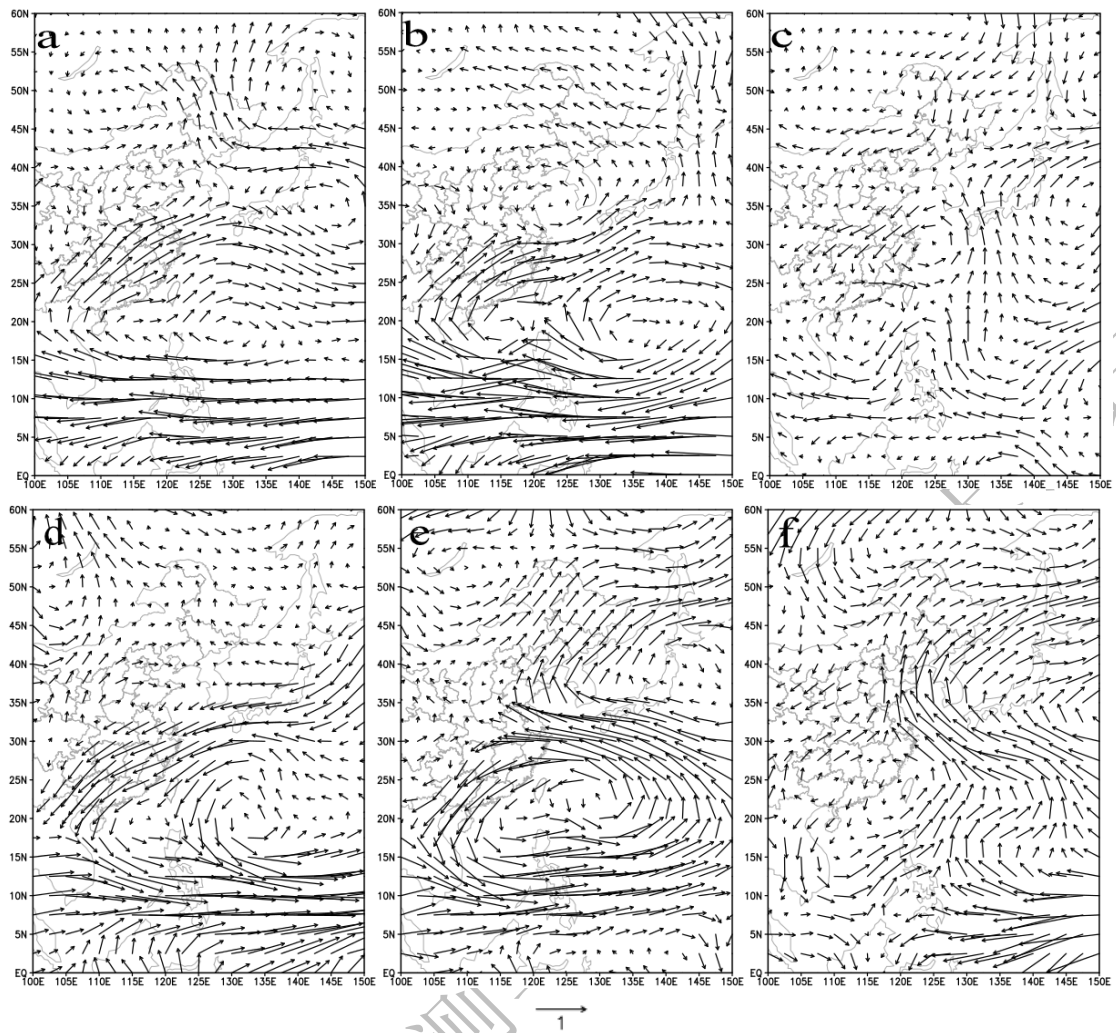


图4 夏季 850hPa 风距平场合成

(a. 黄淮区域降水偏多年、b. 长江中下游降水偏多年、c. 长江中下游与黄淮区域降水偏多年差值、
d. 黄淮区域降水偏少年、e. 长江中下游降水偏少年、f. 长江中下游与黄淮区域降水偏少年差值；
单位：m/s)

Fig.4 Composited summer 850hPa wind anomalies field (unit: m/s)

所以黄淮区域和长江中下游流域多雨年，副高均偏强，偏北，偏西，但是黄淮区域西南风能到达的北界比长江流域高出2~3个纬度。黄淮区域和长江中下游流域少雨年，副高均偏弱，偏南，偏东，中高纬度西低东高，冷空气不易南下，但是黄淮区域北方的2个主要环流系统要比长江流域偏北，偏弱。

4.3 ZQYI 和 ZBI 与黄淮区域夏季极端降水的关系

通过以上分析可知，黄淮区域夏季降水偏多（少）时ZQYI偏弱（强），ZBI偏强（弱）。以下统计黄淮区域降水极端偏多（少）年份ZQYI是否也是极端偏弱（强），ZBI是否也是极端偏强（弱）（表4），表中的偏多（少）表示极端偏多（少），偏强（弱）表示极端偏强（弱）。表4显示，在11个降水偏多年中，ZQYI偏弱，ZBI偏强的年份分别只有3年，仅占3/11，三年中均包括1998和2020年。而在10个降水偏少年中，ZQYI偏强年有5年（占1/2），ZBI偏弱年有6年（占3/5）。

所以黄淮降水极端年份与两指数极端状态的对应关系并不好，特别是降水偏多年的对应情况相对更差。

表 4 黄淮区域降水偏少和偏多年的 ZQYI 和 ZBI 特征

Table 3 Characteristic of ZQYI and ZBI in years with heavy rain and little rain in Huang-Huai Region			
降水偏多		降水偏少	
ZQYI	弱 1998\2003\2020	ZQYI	强 1985\1986\1994\1997\2002
	正常 1991\1996\2000\2005\2007\2008\2016\2021		正常 1988\1986\1992\2001\2006\2014
	强 1998\2008\2020		弱 1985\1992\1997\2001\2002
ZBI	正常 1991\1996\2000\2003\2005\2007\2021	ZBI	正常 1988\2006\2014
	弱 2016		强 1994

那么，为什么黄淮区域降水极端年份与两指数的极端状态对应关系不好呢？以下合成极端降水年份两指数不同状态下的850hPa风距平场（图5和图6）和500hPa位势高度距平场（图略）。

图5将图4a的合成年份分成了ZQYI偏弱年（图5a）和正常年（图5b），并分成ZBI偏强年（图5c）和非偏强年（图5d）进行合成。降水偏多ZQYI偏弱年的850hPa风距平场（图5a）与黄淮降水偏多年（图4a）类似，但季风槽区的东风距平和梅雨锋区的西风距平均大于黄淮降水偏多年，梅雨锋区的南北风的切变位于32.5°N~35°N。500hPa位势高度距平场上西太副高偏北、偏强，偏西（图略）。

而降水偏多ZQYI正常年却又是另一种分布，500hPa位势高度距平场上（图略）40°N以北的东亚呈现一致的高度正距平，125°E以东40°N以南的位势高度偏低，冷空气较易南下，西太副高正常略偏北、略偏强，黄淮区域有弱的低值中心，说明多气旋活动。850hPa风距平场（图5b）上，在我国东南部和附近海域呈现出弱的反气旋性距平环流，虽然125°E以西的季风槽区的东风距平与降水偏多年（图4a）相差不大，但是梅雨锋区的西风距平却小于降水偏多年，同时125°E以东季风槽区的东风距平和梅雨锋区的西风距平均较小，所以ZQYI整体不低。32.5°N以北的偏北风距平要明显大于降水偏多年，所以在黄淮区域的南北风向切变仍较大，该区域降水偏多。

降水偏多ZBI偏强年（图5c）与降水偏多ZQYI偏弱年（图5a）用于合成的年份只差了一年，所以两者的风距平场分布较相似，降水偏多ZBI偏强年在ZBI定义的区域为一致的南风距平，所以ZBI较高。降水偏多ZBI非偏强年（图5d）与降水偏多ZQYI正常年也有相似的风距平场合成分布，但在ZBI定义的区域偏北部有北风距平分量，所以ZBI指数不高。

综上，从黄淮降水偏多年来看，环流场大致分为二种，一种是副高明显偏强，偏北，偏强，有利于暖湿气流北上。另一种情况是副高略偏强、略偏北，但是东亚中高纬度西高东低，有利于冷空气南下，在黄淮北部的北风距平明显，冷暖空气在黄淮地区交汇，有利于形成降水。

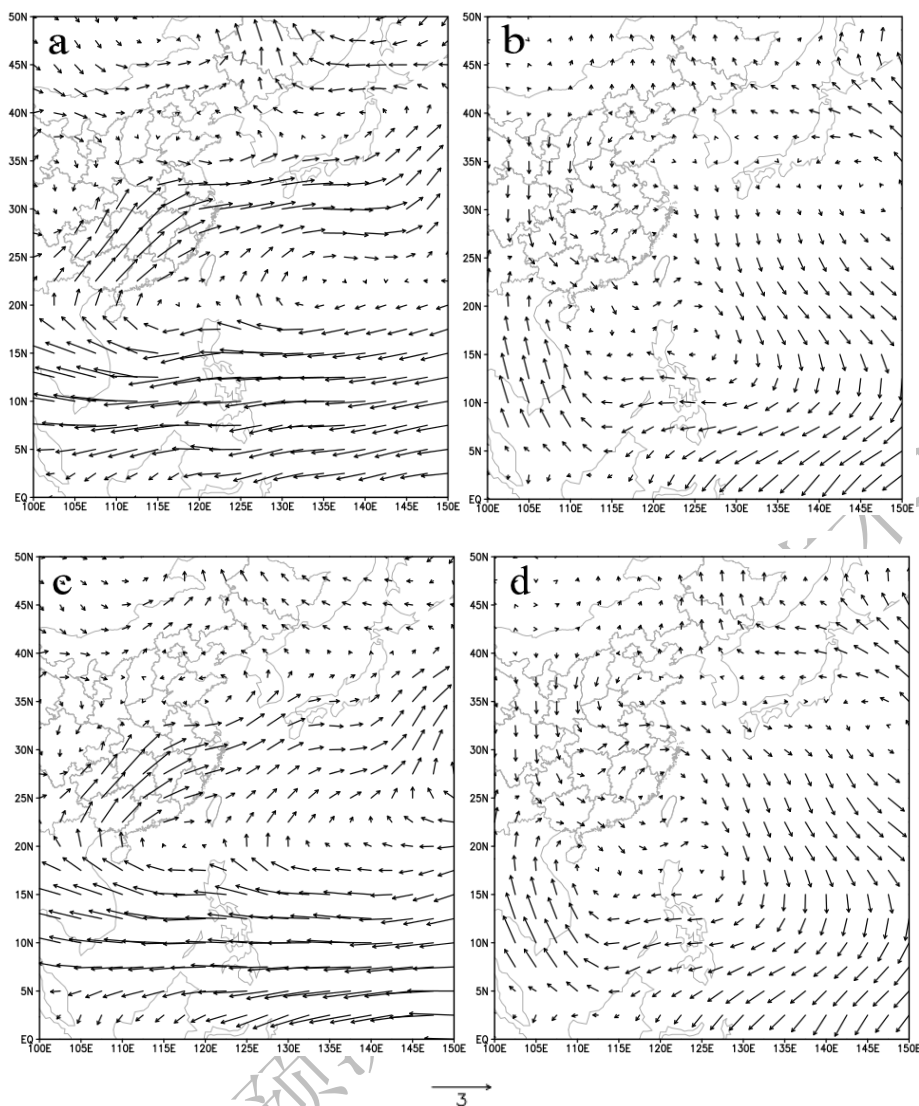


图5 降水偏多年不同夏季风指数状态下的夏季850hPa风距平场合成 (a. ZQYI 偏弱, b. ZQYI 正常, c. ZBI 偏强, d. ZBI 非偏强年; 单位: m/s)

Fig.5 Composited summer 850hPa wind anomalies fields in years with heavy rain(unit: m/s)

将图4d的黄淮降水偏少合成年份分成了ZQYI偏强年(图6a)和正常年(图6b), 并分成ZBI偏弱年(图6c)和非偏弱年(图6d)进行合成。降水偏少ZQYI偏强年的风距平场(图6a)与黄淮降水偏少年(图4d)相似, 500hPa位势高度距平场(图略)上西太副高明显偏南、偏弱, 偏东, 中高纬度西低东高不利于冷空气南下。850hPa风距平场(图6a)上黄淮区域为辐散区, 所以降水偏少。季风槽区的西风距平和梅雨锋区的东风距平均大于黄淮降水偏少年, 所以ZQYI偏强。

而降水偏少ZQYI正常年的500hPa位势高度距平场(图略)上贝加尔湖地区位势高度较低, 我国东北北部至鄂霍次克海和北海道岛位势高度偏高, 中高纬度环流较平直, 冷空气不易南下, 我国东南部和附近海域副高略偏强。在850hPa风距平场(图6b)上季风槽区的西风距平分量和梅雨锋区的东风距平均不明显, 所以ZQYI没有明显偏强, 在黄淮地区有反气旋式距平环流中心, 所以黄淮区域降

水偏少。

黄淮降水偏少ZBI偏弱年（图6c）与降水偏少ZQYI偏强年（图6a）环流分布相似，在ZBI定义区域的北中部北风分量明显，所以ZBI偏弱。降水偏少ZBI非偏弱年（图6d）与降水偏少ZQYI正常年（图6b）相似，在ZBI定义区域虽然乎为一致的偏北风分量，但是分量较小，所以ZBI不低。

综上所述，从黄淮降水偏少年来看，均是中高纬度西低东高，不利于冷空气南下，但是中低纬度环流场也分为二种，一种是副高明显偏弱，偏南、偏东；另一种情况是副高正常。

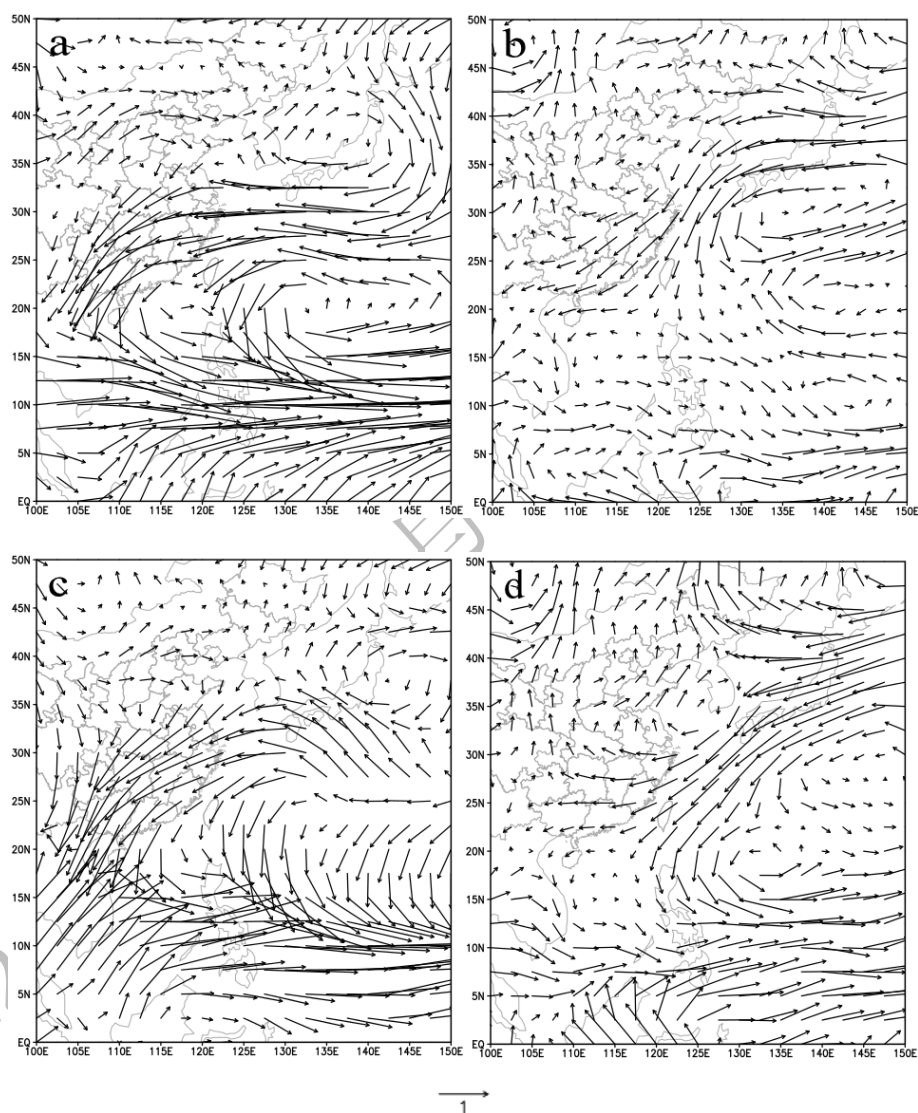


图6 降水偏少年不同夏季风指数状态下的夏季850hPa风距平场合成（a. ZQYI偏强，b. ZQYI正常，c. ZBI偏弱，d. ZBI非偏弱年；单位：m/s）

Fig.5 Composited summer 850hPa wind anomalies fields in years with little rain (unit: m/s)

综合对图5和图6的分析可知，黄淮区域降水偏多年中ZQYI偏弱、ZBI偏强的情况只是占了降水偏多年中的一小部分，ZQYI略偏弱、ZBI略偏强时，中高纬度冷空气配合好也有利于黄淮降水异常多。而降水偏少年中ZQYI强偏、ZBI偏弱

的情况在降水偏少年中占的比率也不大，ZQYI略强偏、ZBI略偏弱时如果没有中高纬度冷空气的配合，也容易造成黄淮区域降水异常少。

所以，较之长江中下游流域，黄淮区域的降水受冷空气的影响更大。而ZQYI是根据850hPa副高南侧季风槽和北侧梅雨锋纬向风之差来定义，ZBI是根据我国南海附近850hPa和200hPa的经向风之差来定义，两个指数均未考虑中高纬度环流的影响，所以两指数只与黄淮区域南部降水的对应关系较好，而应用在黄淮区域其它大部并不合适。

5 结论讨论

分析了7个引用较多的东亚夏季风指数与黄淮区域夏季降水总体和分布的关系，探讨了两个与区域平均降水量相关系数较大的指数与夏季经向风主模态的关系，总结了降水极端年份与两指数的极端状况对应关系不好的原因。主要结果和讨论如下：

(1) 7个指数中ZQYI、ZBI与黄淮区域整体降水的对应关系较好，ZQYI与黄淮区域降水呈显著负相关，与区域分布降水呈一致的负相关；ZBI与整体降水呈显著正相关，与区域分布降水呈一致的正相关，但在分布相关中两个指数能通过较高信度的显著性检验的高相关区均偏南，即靠近长江流域的相关较好。

(2) 夏季ZQYI高（低）指数年850hPa风距平场合成显示季风槽区（10~20°N）呈西（东）风距平，梅雨锋区（25~35°N）呈东（西）风距平，黄淮区域降水较易偏少（多）；ZBI高值年在东亚及西太平洋低纬地区的100~130°E范围内呈一致的偏北风，在黄淮地区呈气旋性弯曲后并一直北上；黄淮区域降水较易偏多；而ZBI低值年西北太平洋上有气旋性距平环流，表明西太副高偏弱偏南偏东，黄淮区域降水较易偏少，ZBI定义范围内为北风距平。

(3) 对1983—2022年夏季东亚地区850hPa经向风进行EOF分析的前4个模态的方差贡献率分别是20.6%、14.1%、10.5%和9.5%，累计方差贡献率为54.7%。第一模态与第三模态均是近似“南—北”向的位相一致分布，但第一模态偏“西南—东北”向，表示了季风偏西南—东北向北上的特征，而第三模态偏“东南—西北”向，表示了季风偏东南—西北向北上的特征。第三模态反映了夏季经向风异常在中南半岛中南部、我国东南沿海和贝加尔湖以西一致性变化，其它地区反位相的特征。第四模态反映了东南亚和西太平洋夏季风活动南北反向的特征。ZQYI代表的经向风异常与第一模态和第四模态的分布特征对应关系较好，而ZBI与第一模态和第四模态的对应较好，并能反映出第三模态的部分分布特征。

(4) 黄淮区域降水偏多年中ZQYI偏弱、ZBI偏强的情况只是占了降水偏多年中的一小部分，ZQYI略偏弱、ZBI略偏强时，中高纬度冷空气配合好也有利于黄淮降水异常多。而降水偏少年中ZQYI强偏、ZBI偏弱的情况在降水偏少年中占的比率也不大，ZQYI略强偏、ZBI略偏弱时如果没有中高纬度冷空气的配合，也

容易造成黄淮区域降水异常少。较之长江中下游流域,黄淮区域的降水受冷空气的影响更大。ZQYI和ZBI两个指数未考虑中高纬度环流系统的影响。虽然应用在黄淮区域的南部效果较好,但是应用在黄淮区域其它大部并不合适。

参考文献

- 白爱娟, 施能, 2004. 东亚冬、夏季风强度指数及其与陕西降水变化的关系[J]. 南京气象学院学报, 27 (4) : 519-526. Bai A J, Shi N, 2004. East-Asian winter /summer monsoon intensity indexes and their relationship with precipitation in Shanxi Province[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 27 (4) : 519-526 (in Chinese) .
- 陈桦, 丁一汇, 何金海, 2006. 亚洲夏季风指数的重新评估与季风的长期变化[J]. 气象学报, 64 (6) : 770-779. Chen H, Ding Y H, He J H, 2006. Reappraisal of Asian Summer monsoon indices and the long-term variation of monsoon[J]. Acta Meteorologica Sinica, 64 (6) : 770-779 (in Chinese) .
- Chen L J, Chen D L, Wang H J, et al, 2009. Regionalization of precipitation regimes in China[J]. Atmos Ocean Sci Lett, 5 (2) : 301-307.
- 方建刚, 肖科丽, 王娜, 等, 2014. 初夏东亚季风强度指数与陕西降水异常关系[J]. 干旱区地理, 37 (1) : 1-8. Fang J G, Xiao K L, Wang N, et al, 2014. East-Asian summer monsoon intensity indexes in early summer and their anomalous relationship with precipitation in Shanxi Province[J]. Arid Land Geography, 37 (1) : 1-8 (in Chinese) .
- 郭其蕴, 1983. 东亚季风强度指数及其变化的分析[J]. 地理学报, 38 (3) : 207-217. Guo Q Y, 1983. The summer monsoon index in East Asia and its variation[J]. Acta Geogr Sin, 38 (3) : 207-217 (in Chinese) .
- 何敏, 许力, 宋文玲, 2001. 南海夏季风爆发日期和强度的短期气候预测方法研究[J]. 气象, 28 (10) : 109-110. He M, Xu L, Song W L, 2001. The research of climate prediction about the onset and intensity of South China Sea monsoon[J]. China Meteor, 28 (10) : 109-110 (in Chinese) .
- 黄刚, 严中伟, 1999. 东亚夏季风环流异常指数及其年际变化[J]. 科学通报, 44 (4) : 421-424. Huang G, Yan Z W, 1999. East Asian summer monsoon circulation index and its interannual variation[J]. Chin Sci Bull, 44 (4) : 421-424 (in Chinese) .
- Lau K M N, 2000. Dynamical and boundary forcing characteristics of regional components of the Asian summer monsoon[J]. J Climate, 13 (14) : 2461-2482.
- 李智才, 宋燕, 武永利, 等, 2010. 东亚夏季风对山西省夏季降水的影响[J]. 气候与环境研究, 15 (6) : 797-807. Li Z C, Song Y, Wu Y L, et al, 2010. Effect of east Asian summer monsoon on summer precipitation in Shanxi Province[J]. Climatic and Environmental Research, 15 (6) : 797-807 (in Chinese) .
- 施能, 朱乾根, 吴彬贵, 1996. 近40年东亚夏季风强度及其与我国夏季大尺度天气气候异常[J]. 大气科学, 20 (5) : 575-583. Shi N, Zhu Q G, Wu B G, 1996. The East Asian summer monsoon in relation to summer large scale weather-climate anomaly in China for last 40 years[J]. Chin Atmos Sci, 20 (5) : 575-583 (in Chinese) .
- 史印山, 池俊成, 孔凡朝, 2007. 东亚季风强度变化对河北省气候的影响[J]. 气象科技, 35 (1) : 49-52. Shi Y S, Chi J C, Kong F C, 2007. Influence of East-Asia monsoon intensity

- change on climate in Hebei Province[J]. Meteorological Science and Technology, 35 (1) : 49-52 (in Chinese) .
- 孙秀荣, 陈隆勋, 何金海, 2002. 东亚海陆热力差指数及其与环流及降水的年际变化关系[J]. 气象学报, 60 (2) : 164-172. Sun X R, Chen L X, He J H, 2002. Index of land-sea thermal difference and its relation to interannual variation of summer circulation and rainfall over East Asia[J]. Acta Meteor Sin, 60 (2) : 164-172 (in Chinese) .
- 张庆云, 陶诗言, 陈烈庭, 2003. 东亚夏季风指数的年际变化与东亚大气环流[J]. 气象学报, 61 (5) : 559-568. Zhang Q Y, Tao S Y, Chen L T, 2003. The interannual variability of East Asian summer monsoon indices and its association with the pattern of general circulation over East Asia[J]. Acta Meteor Sinica, 61 (5) : 559-568 (in Chinese) .
- 赵平, 周自江, 2005. 东亚副热带夏季风指数及其与降水的关系[J]. 气象学报, 63 (6) : 933-941. Zhou P, Zhou Z J, 2005. East Asian subtropical summer monsoon index and its relationships to rainfall[J]. Acta Meteor Sinica, 63 (6) : 933-941 (in Chinese) .
- 祝从文, 何金海, 吴国雄, 2000. 东亚季风指数及其与大尺度热力环流年际变化关系[J]. 气象学报, 58 (4) : 391-402. Zhu C W, He J H, Wu G X, 2000. East Asian monsoon index and its interannual relationship with large-scale thermal dynamic circulation[J]. Acta Meteor Sinica, 58 (4) : 391-402 (in Chinese) .
- 周兵, 何金海, 吴国雄, 等, 2003. 东亚副热带季风特征及其指数的建立[J]. 大气科学, 27(1): 123-135. Zhou B, He J H, Wu G X, et al, 2003. Characteristics of East Asian Subtropical Monsoon Index and Its Definition[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 27 (1) : 123-135 (in Chinese) .

Relationship between East Asian Summer Monsoon Indices and Summer Precipitation Changes in the Huang-Huai Region

Zhu Leilei

(1. CMA•Henan Key Laboratory of Agrometeorological Support and Applied Technique, Zhengzhou 450003, Henan, China; 2. Henan Climate Center, Zhengzhou 450003, Henan, China)

Abstract: Based on the summer precipitation data in the Huang-Huai region and the middle and lower reaches of the Yangtze River, the monthly reanalysis data from NCEP/NCAR during the summer of 1983-2022, seven representative East Asian summer monsoon indices are used to analyze the relationship between monsoon index and summer precipitation in the Huang-Huai region, especially Zhang Qingyun index

(ZQYI) and Zhou Bing index (ZBI). ZQYI is negatively correlated with the precipitation in the Huang-Huai region, while ZBI is positively correlated with the precipitation. However, both indices are high in the region which close to the Yangtze River Basin. ZQYI and ZBI can relatively well reflect the distribution characteristics of the first mode and the fourth mode in the EOF analysis of the meridional wind over East Asia in summer, as well as ZBI can reflect the partial distribution characteristics of the third mode. It's not a large percentage when ZQYI is weak (strong) and ZBI is strong (weak) in the years with more (less) precipitation. When ZQYI is slightly weak (strong) and ZBI is slightly strong (weak), the cold air in the middle and high latitudes is also strong (weak), which is likely to cause abnormal precipitation in the Huang-Huai region. ZQYI and ZBI are effective in the southern part of the Huang-Huai region, but not effective in most other parts of the region.

Key words: East Asian summer monsoon index, Huang-Huai region, summer precipitation, EOF analysis

2022 年气候预测与气候应用技术论坛