

# 中国东部 2012 年夏季降水及年代际转型的可能信号分析\*

龚志强<sup>†</sup> 赵俊虎 封国林

(中国气象局国家气候中心, 北京 100081)

(2012 年 10 月 17 日收到; 2012 年 12 月 4 日收到修改稿)

针对 2012 年夏季中国东部降水“南旱北涝”的异常特征, 对比分析了近 50 年不同年代中国东部降水的分布型及海洋和环流等影响因素, 并讨论了 2012 年中国东部夏季降水异常作为中国东部降水年代际转型信号的可能性。研究结果表明: 1961—1978 年期间, 北太平洋年代际涛动 (PDO) 处于冷位相, 东亚夏季风偏强, 西太平洋副热带高压(副高)偏弱, 北方地区冷空气活动偏弱, 从而有利于南方水汽北上, 造成中国北方地区夏季降水异常偏多; 1979—1992 年间则呈相反的特征, 造成 1970 年代末期中国东部夏季降水发生了一次年代际尺度的调整。2010 年代后期以来, PDO 由暖位相向冷位相转变, 2012 年北太平洋海温异常偏暖, 西太平洋海温由异常偏暖状态转变为正常略偏冷状态, 东亚夏季风由弱变强, 副高由强变弱, 北方冷系统活动减弱, 这些特征均与 1961—1978 年时段的情况类似, 支持 2012 年作为中国东部夏季降水发生年代际调整的前期信号的可能性。近 10 年 PDO, 东亚夏季风 (EASM), 副高 (WPSH) 和贝湖高压 (BH) 四种指数夏季平均值的演变则进一步说明了 2012 年的这种异常特征不仅是年际尺度的振荡, 更可能是前期演化基础上的一种量变到质变的调整。

**关键词:** 年代际, 降水, 北太平洋年代际涛动, 东亚夏季风

**PACS:** 92.60.Wc

**DOI:** 10.7498/aps.62.099205

## 1 引言

中国地处东亚季风区, 东部夏季雨带分布的多尺度变化是季风气候动力学研究的重要科学问题。雨带随着季风的发展和北推阶段性的从低纬度向中、高纬度移动, 随后季风迅速南撤, 导致东部雨季消失<sup>[1]</sup>。目前, 对中国东部夏季雨型研究主要是基于季节总降水量进行分析研究, 体现了夏季降水对雨型影响的整体效果。由季风活动异常和降水的距平百分率等确定雨型达成共识, 并取得了一系列重要的研究成果。如廖荃荪等<sup>[2]</sup>, 陈菊英等<sup>[3]</sup>, 魏凤英和张先恭<sup>[4]</sup>都指出我国东部地区夏季降水雨带的位置可以分为三种类型。黄荣辉等<sup>[5,6]</sup>进一步揭示了中国东部季风区夏季降水存在两个主要模态, 即从南到北的经向三极子型和偶极子型分布模态,

两种模态的时空变化存在准两年周期振荡和年代际变化等。

近年来, 随着全球气候变化的研究进一步向年代际气候变化检测和预测领域深入, 如关于北太平洋海温年代际振荡对东亚地区夏季气候变化的影响及其可预测性研究<sup>[7,8]</sup>; 北大西洋年代际振荡模态的提出, 亚洲季风区气候对北大西洋年代际振荡的影响存在线性和非线性响应等<sup>[9,10]</sup>。此外, 对东亚夏季风的年代际变化研究也逐渐深入拓展。大量的研究表明: 中国东部夏季降水的雨型存在多次明显的年代际调整过程<sup>[5,11–18]</sup>。例如, 黄荣辉等<sup>[6]</sup>研究指出, 20 世纪 70 年代中后期, 中国东部雨型由北方多雨、长江和江淮少雨、南方多雨的“+−+”型向北方少雨、长江降水多雨、南方少雨的“−+−”型转变; 1993—1998 年, 由于第二主模

\* 国家自然科学基金(批准号: 41205040, 40930952), 国家重大基础研究计划项目(批准号: 2012CB955902, 2012CB955203) 和公益性行业专项(批准号: GYHY201006021)资助的课题。

† 通讯作者。E-mail: gongzq@cma.gov.cn

态的作用增大我国东部夏季降水异常为从南到北经向三极子型与偶极子型模态的结合这使华南夏季降水明显增加,三极子模态和偶极子模态相互作用,从而导致了20世纪90年代初中国东部降水模态由“-+”型向“+-”型转变;90年代后期,21世纪初期则又出现了北方降水异常偏少,长江和江淮降水偏多的降水模态。此外,我国学者也开展了关于中国东部降水年代际调整的可能外部强迫和大气内动力变化过程的研究。例如,Huang等<sup>[19]</sup>指出发生在20世纪70年代中后期及之后的东亚夏季气候年代际变化可能是由于热带东太平洋发生了年代际的“El nino”现象“所引起的。张庆云等<sup>[14]</sup>和邓伟涛等<sup>[15]</sup>指出,中国夏季降水的年代际变化与北太平洋年代际涛动(Pacific Decadal Oscillation, PDO)有关。顾薇等<sup>[20]</sup>则通过对比分析海温、大气环流异常等,就中国东部降水对应的“南涝北旱”向“南旱北涝”转变的可能性进行初步的研讨。

2012年夏季中国东部降水异常特征显著:华北至东北南部地区降水量异常偏多,是1999年以来最多的一年;西北地区平均降水量(155.8 mm)较常年同期(120.8 mm)偏多29%,是1951年以来第二多年;此外,长江和淮河地区降水异常偏少,结束了2003年以来连续偏多的情况;华南地区降水以偏少为主(中国气象局国家气候中心内部材料)。同时,PDO海温自2008年开始转为冷位相,根据朱益民和杨修群<sup>[21]</sup>,李峰和何金海<sup>[22]</sup>的研究表明,PDO是影响中国夏季降水的重要因素。值得注意的是,北太平洋中纬度暖海温的背景下,2012年夏季中国东部降水北方偏多南方偏少的异常特征,是否预示着中国东部夏季降水雨型的又一次年代际尺度的调整。为此,本文分析了2012年夏季的北太平洋海温、贝加尔湖区域为代表中纬度高度场、副高(Western Pacific Subtropical High, WPSH)和东亚夏季风(East Asia Summer Monsoon, EASM)为代表的低纬度系统的异常特征等,并与前一阶段情况进行对比,总结异同性;在此基础上与1970年代末中国东部夏季降水年代际调整前后外部强迫和大力内动力过程的变化情况等进行对比,进而对未来中国东部降水转型的可能信号进行初步的研讨。

## 2 资料和方法

本文所用降水资料来自国家气象信息中心731站点的逐日降水量资料,研究时段为1961—2012

年,并由逐日资料处理得到历年6—8月的夏季降水量数据;考虑到降水资料的缺测问题,我们选取其中资料缺测比例1961—2012年小于10%的站点作为夏季降水的研究站点。美国NCAR/NCEP的1961—2012年 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 位势高度和风场再分析资料。1961—2012年NOAA ERSST的海面温度资料<sup>[23]</sup>,分辨率为 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ ;NCAR/NCEP的PDO<sup>[24]</sup>;施能<sup>[25]</sup>定义的EASM;WPSH来自国家气候中心74项环流指数;贝加尔湖区高度场距平指数(Baikal Height, BH)为( $90^{\circ}\text{E}$ — $110^{\circ}\text{E}$ ,  $50^{\circ}\text{N}$ — $60^{\circ}\text{N}$ )范围的500 hPa高度场距平的区域平均值;这里区域的选择,参考了国家气候中心气候监测公报材料中关于贝加尔湖地区阻塞区域的选取。气候态取1981—2010年,对于高度场受全球增暖的影响,线性趋势较显著,因此采用滤除线性趋势以后计算气候态。滤波采用二阶带通滤波方法。

## 3 中国东部夏季降水年代际变化

Huang等<sup>[5]</sup>的研究指出中国东部夏季降水的模态主要有经向三极子型(即东北南部和华北-长江和淮河流域-华南)和经向偶极子型(即东北南部、华北和黄淮-长江和华南)。图1可以看出,1961年以来中国东部地区( $105^{\circ}\text{E}$ — $120^{\circ}\text{E}$ )的夏季降水异常分布存在明显的年代际变化。大体表现为1961—1977年东北南部和华北降水异常偏多,长江和淮河流域降水异常偏少,华南地区降水偏多,从南到北表现为“+-+”的经向三极子型;1978—1992年华北地区降水偏少,长江和淮河流域降水偏多,华南地区降水偏少,从南到北表现为“-+”的经向三极子型;1993—1998年具有与1961—1977年类似的模态,但长江和淮河流域偏少的特征不如前一时期显著;1999—2009年则表现为东北南部和华北偏少,江淮和黄淮地区偏多,江南北部偏少,华南偏多的“-+-+”的特征。这与黄荣辉等<sup>[6]</sup>关于我国东部季风区夏季降水的年代际变化特征的研究结果基本一致。此外,从图1也可以看出,从20世纪60年代到90年代,降水异常偏多的区域存在一个由华南向华北和东北地区推进的过程,并且在20世纪90年代到21世纪初期,也存在类似雨带由南向北推进的特征,主要表现为华南、长江和淮河、华北和东北南部的三级跳过程(如图1中箭头所示)。2011年以来,北方降水偏多,南方降水偏少的特征初现端倪,这是否意味着中国

东部地区的降水将会出现由北方偏少,南方偏多的“南涝北旱”向北方偏多,南方偏少的“南旱北涝”转变.

图2给出了2012年中国夏季降水的距平百分率空间分布图.从空间分布看,新疆北部、西北地区西南部和中部、内蒙古大部、东北南部、华北东南部及江南等地区降水偏多2—5成,部分地区偏多5成以上;黑龙江东北部、江汉大部及华南东南部等地降水偏少2—5成.在此基础上,分别计算东北南部和华北(A区, $38^{\circ}\text{N}$ — $44^{\circ}\text{N}$ )、长江和淮河流域(B区, $30^{\circ}\text{N}$ — $34^{\circ}\text{N}$ )及华南(C区, $22^{\circ}\text{N}$ — $25^{\circ}\text{N}$ )三个区域夏季降水距平百分率区域平均的年变化值(图3).为了尽量保证南北空间的经度跨度的一致性,所以长江和淮河地区没有考虑到最东点;同时中国东部雨型主要是针对华北-华南的区域,所以经度范围没有将东北囊括,而是仅仅涉及了东北南部.图3(a)中东北南部和华北地区降水的年代际变化特征显著,1977年之前以偏多为主,1978—1992年以偏少为主,但存在一定的波

动,1993—1998年以偏多为主,1999—2011年以偏少为主,2012年出现偏多的特征.图3(b)中长江和淮河流域年代际变化和准两年震荡共同作用.1977年以前为年代际变化为主,降水以偏少为主;1978年之后准两年震荡的作用显著加强,且1978—1992年以偏多为主,1993—1998年以偏少为主,1999—2011年以偏多为主,2012年降水异常偏少;2005年以来年代际变化特征有所加强.图3(c)中华南地区降水的年代际变化特征显著.1977年以前降水以正常略偏多为主,1978—1992年以偏少为主,1993—2008年以偏多为主,2009年以来转为偏少,近两年偏少尤为显著.显然,三个区域自1961年以来,从南到北的年代际旱涝特征大致可以分为四个阶段,存在4次可能的年代际调整过程.我们进一步分析2000—2009年和2012年的海洋和大气环流调整,并与1961—1977年和1978—1992年的海洋和大气环流的调整情况进行对比,对当前是否面临新的旱涝年代际变化进行初步探讨.

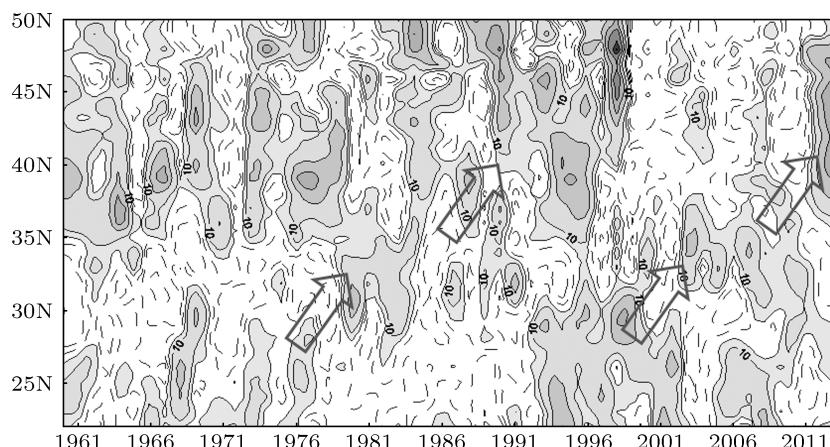


图1 我国东部地区夏季降水距平百分率的纬度-时间剖面图(实线、虚线: 正负距平; 阴影: 正距平; 箭头: 雨带由南到北的年代际变迁)

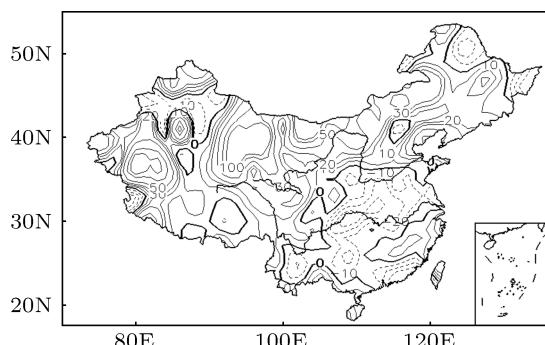


图2 2012年夏季全国降水距平百分率分布图(单位: %)

中国东部夏季降水雨型的年代际变化与北太平洋海温、中纬度和低纬度环流系统异常以及东亚夏季风等有密切的联系.结合已有的研究成果,我们选取这些区域的一些代表性指数(PDO, EASM, WPSH 和 BH),分别与华北和东北北部、长江和淮河流域和华南区域的夏季降水进行相关分析.因为主要分析主要指数与各区域降水年代际尺度的联系,首先采用二阶带通滤波方法对各区降水和四种指数做8—12年的年代际带通滤波处理,然后分别计算指数与各区降水滤波序列的相关系数

(表1). 可以看出, 在年代际尺度上, 除贝湖高度场距平指数相关性相对弱一些, 各个区域的降水与其他类指数均有显著的相关性, 超前1年、同期或滞后1年三种的相关中总一种或以上通过了0.05的信

度检验. 因此, 分别对四类指数相联系的要素场(北太平洋海温场、850 hPa风场、500 hPa高度场等)的不同年代际阶段的合成图的异同性进行对比分析, 并探讨与中国东部雨带年代际变迁的可能联系.

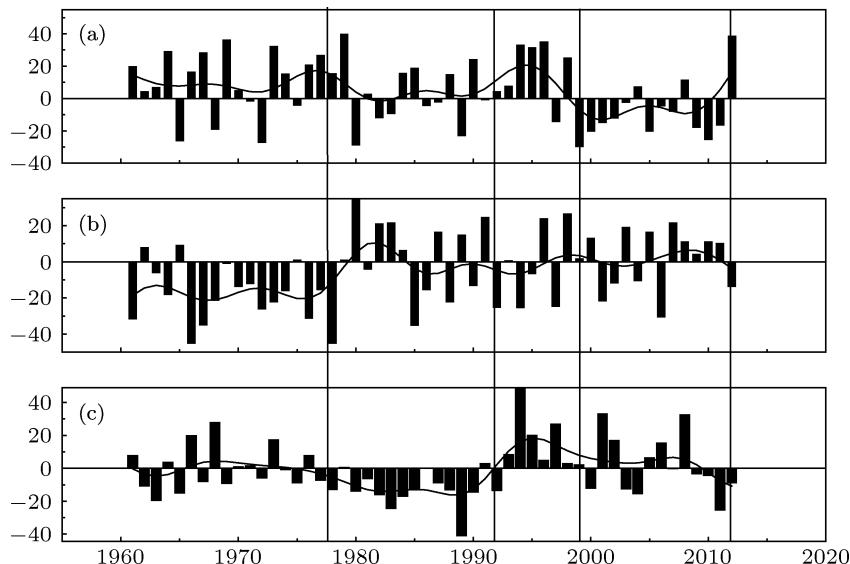


图3 1961—2012年夏季降水距平百分率(柱状图: 年变化, 曲线: 5点滤波) (a) 华北和东北北部; (b) 长江和淮河流域; (c) 华南

表1 四种指数与各区降水8—12年滤波序列的相关系数

	PDO			EASM指数			WPSH指数			BH指数		
	-1年	0年	1年	-1年	0年	1年	-1年	0年	1年	-1年	0年	1年
A区	0.21	0.19	0.12	0.44*	0.45*	0.41*	-0.28*	-0.32*	-0.29*	-0.08	-0.12	-0.11
B区	0.37*	0.41*	0.49*	-0.64*	-0.57*	-0.48*	0.53*	0.62*	0.65*	-0.14	-0.04	0.02
C区	-0.11	0.00	0.04	0.30*	0.38*	0.34*	0.24	0.19	0.25	-0.12	-0.04	-0.01

注: -1年表示超前1年, 0年表示同期, 1年表示滞后1年, \*表示通过0.05的信度检验.

#### 4 不同年代际降水期夏季海温和大气形势对比分析

对几次年代际变化的不同时段夏季北太平洋海温进行合成分析. 由图4可见, 1961—1977年北太平洋中纬度地区海温偏暖, 而赤道中东太平洋海温偏冷, 具有PDO冷位相的特征(图4(a)); 1978—1992年北太平洋中纬度海温大部分区域以冷海温为主, 具有PDO暖位相的特征(图4(b)). 根据黄荣辉等<sup>[11]</sup>的研究, 前后两个时段中国东部的雨型由“+−+”向“−+−”转变; 张庆云等<sup>[16]</sup>也指出中国东部夏季降水型与大气外部强迫因子北太平洋中纬度海温年代际变化(PDO)关系密切; 邓伟涛

等<sup>[15]</sup>指出20世纪70年代中后期, 北太平洋中纬度海温由正距平向负距平转变, PDO由负位相向正位相转变, 通过影响东亚夏季风环流, 使东亚夏季风减弱, 从而导致此次中国东部夏季降水的雨型转变. 1999—2009年北太平洋中纬度北部地区海温偏暖, 赤道中东太平洋地区海温偏冷. 此外, 该时期赤道西太平洋海温以明显偏暖为主, 这是不同于1961—1977年时期的海温特征(图4(c)). 这种特征不同于1961—1977年和1978—1992年两个时段的特征, 在这样的大气外部强迫下, 可能导致中国东部地区的降水呈现出“−+−”的特征. 2012年北太平洋中纬度地区海温偏暖, 赤道中东太平洋偏冷, 具有PDO冷位相的特征, 西太平洋尤其是中国

近海地区海温以偏低为主(图4(d)). 显然, 北太平洋地区的海温而言, 2012年具有与1961—1977年相似的异常分布特征.

同样, 对四个时期的夏季500hPa高度场进行合成分析. 受全球增暖的影响, 北半球高度场线性增强的趋势较显著, 我们对夏季500hPa高度场滤除线性趋势的基础上进行合成分析(图5). 1961—1977年欧亚大陆中高纬高度场异常自西向东呈“+−+”的分布(图5a), 属于“两脊一槽”的分布型, 贝加尔湖(贝湖)至南亚地区为负距平所控制, 这种形势不利于贝湖附近形成阻塞高压, 而有利于该地区出现低压槽较深的形势, 从而有利于低压槽前偏南的气流引导南方的暖湿空气北上, 从而有利于中国北方地区产生降水. 1978—1992年的情况则正好相反, 欧亚大陆中高纬高度场异常自西向东呈“−+−”的分布(图5b), 属于“两槽一脊”的分布型, 贝湖至南亚地区为正距平所控制, 有利于在贝湖地区阻塞高压频发, 高压脊后的偏北气流引导北

方的干冷空气南下影响我国, 不利于中国夏季的雨带偏北. 同时, 高压向南延伸, 有利于低纬度地区的西太平洋副高偏南并控制中国南方地区, 从而不利于该地区的降水偏多. 1999—2009年乌拉尔山(乌山)至鄂霍斯克海一线高度场异常呈“−+−”的分布特征(图5c), 相比1978—1992年的情况偏东. 乌山附近存在一个异常的负距平中心, 并向南扩展至南亚地区, 有利于形成偏西偏深的低压槽, 进而引导暖湿气流北上; 同时, 贝湖附近存在一个弱的高压中心, 弱的高压脊有利于北方的冷空气南下, 从而阻碍南方的暖湿气流北上; 南北系统共同作用而造成中国东部从北至南的“−+−+”的降水空间异常分布型. 2012年的形势则与1961—1977年的情况类似, 欧亚大陆高度场异常自西向东呈“+−+”的分布(图5d), 属于“两脊一槽”的分布型, 贝湖至南亚地区受负距平控制, 有利于形成低压槽并引导南方的暖湿气流北上, 造成北方地区降水偏多.

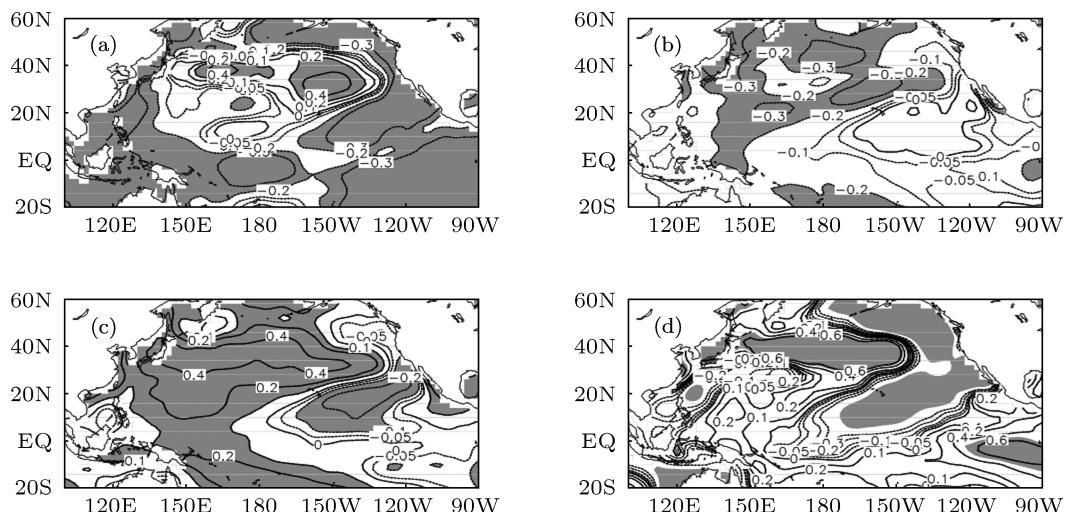


图4 夏季平均的北太平洋海温距平(单位:  $^{\circ}\text{C}$ ) (a) 1961—1977; (b) 1978—1992; (c) 1999—2009; (d) 2012

对四个时期的夏季500 hPa高度场进行合成分析的基础上, 给出了四个时期夏季平均高度场586hPa等值线图(由于1961—1977年时段副高异常弱, 导致夏季平均的588 hPa对应的副高体不存在, 所以改为586 hPa等值线来描述副高的变化), 进而分析对应副高的年代际变化特征. 图6可以看出1961—1977年的夏季平均而言, 副高面积偏小, 西伸脊点偏东, 有利于夏季风偏强<sup>[16,26]</sup>. 1978—1992年出现了显著的调整: 副高的面积明

显增加, 西伸脊点偏西, 有利于夏季风偏弱, 同时副高控制中国华南等地区, 不利于华南降水偏多. 1999—2009年则表现为副高的面积偏大, 西伸脊点偏西, 有利于夏季风偏弱, 不利于北方地区降水偏多, 同时副高控制中国华南等地区, 不利于华南降水偏多. 2012年则又一次出现了调整: 副高面积显著减小, 西伸脊点东移, 有利于夏季风偏强, 低纬度的水汽向北方输送, 从而导致北方地区降水偏多.

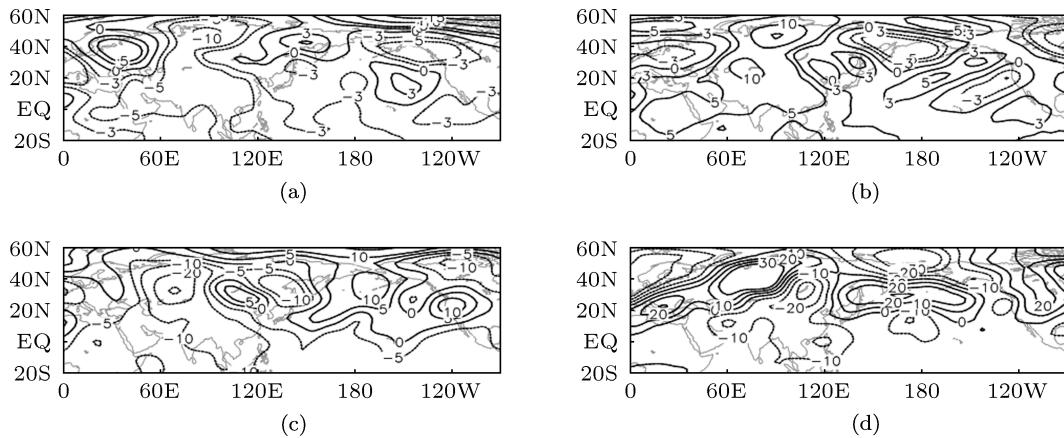


图 5 1961—1977 年 (a), 1978—1992 年 (b), 1999—2009 年 (c) 和 2012 年 (d) 夏季平均 500 hPa 位势高度场距平 (实线, 虚线: 正负距平, 单位: gpm)

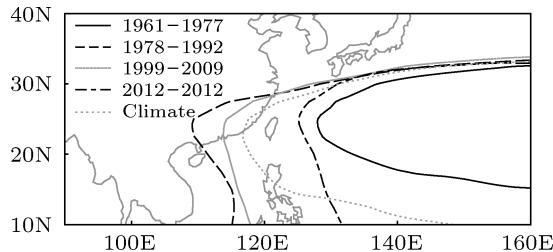


图 6 1961—1977 年, 1978—1992 年, 1999—2009 年和 2012 年夏季平均高度场 586 hPa 等值线

Kwon 等<sup>[27]</sup>的研究表明 20 世纪 90 年代东亚夏季风发生了一次明显的年代际突变, 其直接结果是中国南部地区夏季降水明显增多。Ding 等<sup>[28]</sup>的研究也表明, 中国东部降水的 1978 年和 1992 年前后的年代际变化, 与东亚夏季风降水雨带明显南移有必然联系。故类似高度场, 对四个时期的夏季 850 hPa 风距平场进行合成分析(图 7)。1961—1977 年, 夏季风偏强, 中国东部为南风距平所控制, 有利于水汽向中国北方地区输送, 导致北方地区降水偏多, 使得中国东部雨带位置偏北(图 7(a))<sup>[6]</sup>。1978—1992 年, 中国东部地区存在一个异常的反气旋, 华北地区主要受北风距平控制, 夏季风偏弱, 不利于低纬度的水汽向北方输送, 从而造成华北至东北南部降水偏少; 同时华南地区也受北风距平控制, 也不利于降水偏多; 此外, 异常的南风气流和北风气流在长江和淮河流域等地区交汇, 风场在该地区辐合, 有利于该地区降水偏多(图 7(b))。1999—2009 年, 中国东部地区为异常的北风距平所控制(图 7(c)), 夏季风偏弱, 不利于低纬度地区的水汽向北输送, 从而造成华北至东北南部地区降水偏少; 此外, 华南地区存在一个异常气旋性风场, 造成南风距平和北风在长江和淮河流域的地区交汇, 有利于该地区降水偏多。2012 年, 北太平洋中纬度地区存

在一个异常的反气旋环流, 西太平洋海温偏暖, 形成较强的东风距平(图 7(d)), 容易造成夏季风偏强, 有利于水汽向中国的北方地区输送, 从而形成北方地区降水偏多。同时, 南方地区由于受副高的控制, 水汽从副高边缘北上, 从而造成该地区降水偏少。显然, 2012 年的风场异常有类似 1961—1977 年的情况, 北方地区受异常的反气旋风场控制, 西北地区处于冷暖气流的交汇, 有利于北方地区降水异常偏多。同时, 南方地区受异常的气旋性环流控制, 不利于该地区降水异常偏多, 这可能是由于西太平洋海温异常偏暖的外部强迫引起的。

表 2 给出了四个阶段夏季的 PDO、贝湖( $90^{\circ}\text{E}$ — $110^{\circ}\text{E}$ ,  $50^{\circ}\text{N}$ — $60^{\circ}\text{N}$ )高度场距平指数、东亚夏季风指数<sup>[29,30]</sup>和西太副高强度指数的平均值。前两个时段 PDO 指数由 -1.9 增加为 2.2, 贝湖区高度场距平由 -1.7 增加为 4.4, 夏季风指数由 0.36 减小为 -0.33, 副高强度指数由 -10.1 增强为 1.3。根据已有研究<sup>[15,20]</sup>, PDO 由负位相向正位相转变, 通过影响东亚夏季风环流系统, 使得低纬度暖系统的副高强度增强, 东亚夏季风减弱, 同时中纬度贝湖等地区高度场距平增加, 冷系统作用加强, 中国东部向北方地区的水汽输送减弱, 中国东部夏季降水的分布形态呈现“+ - +”向“- + -”的转变。后两个时段对比来看, PDO 指数由 0.04 转变为 -4.3, 贝湖区高度场由 1.3 减弱为 -2.3, 夏季风指数由 -0.07 增加为 1.43, 副高强度指数由 6.2 减弱为 -20.2。总体而言, 近期的 PDO 由正位相向负位相转变, 伴随副高强度减弱, 夏季风增加, 贝湖地区冷系统作用减弱, 从而有利于水汽向中国北方地区输送。就各个指数而言, 2012 的情况与 1967—1977 较相似。

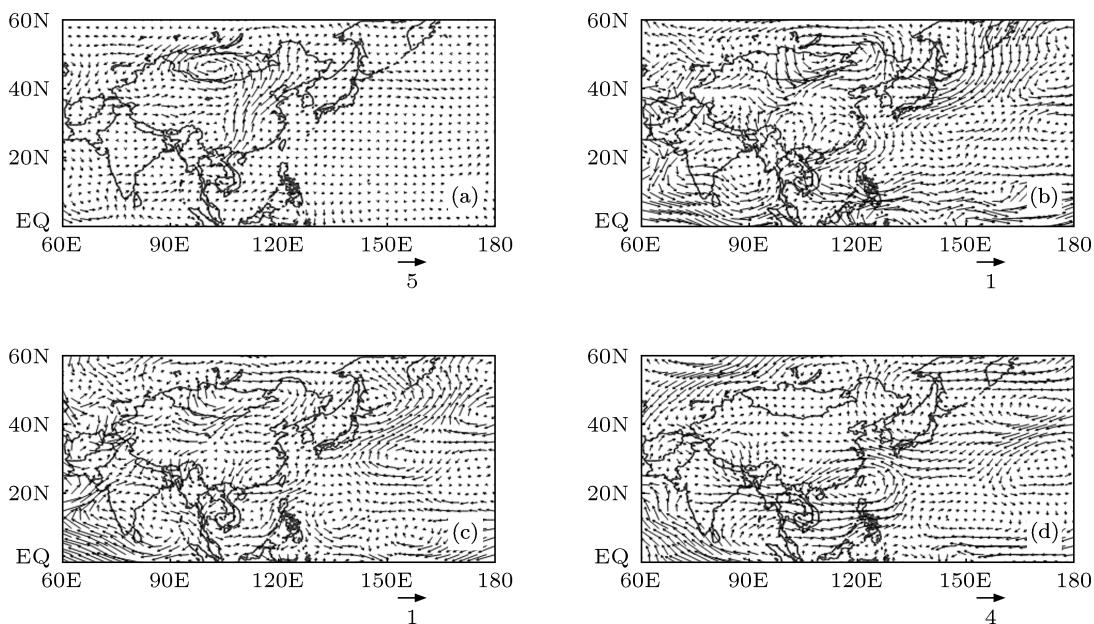


图 7 1961—1977 年 (a), 1978—1992 年 (b), 1999—2009 年 (c) 和 2012 年 (d) 夏季平均风场距平 (单位: m/s)

表 2 四个阶段的夏季 PDO, BH 距平指数, EASM 指数和 WPSH 指数

	降水类型 (由北至南)	PDO	BH 距平/gpm	EASM 指数	WPSH 指数
1967—1977	+ - +	-1.9	-1.7	0.36	-10.1
1978—1992	- + -	2.2	4.4	-0.33	1.3
1999—2009	- + - +	0.04	1.3	-0.07	6.2
2012	+ - +	-4.3	-2.3	1.43	-20.2

## 5 近期海洋和大气的演化特征

在对不同年代的海温场、高度场和风场及相应指数进行分析的基础上, 进一步分析近 10 年 PDO, EASM, WPSH 和 BH 四种指数夏季平均值的变化并与 1978—1992 年时期的情况进行对比, 进一步讨论发生南方降水偏少、北方降水偏多这一年代际转变的可能性. 图 8(a) 中 PDO 指数自 2007 年由正值转变为负值并一直维持. 顾薇等<sup>[20]</sup>的研究也揭示了连续 5 年的北太平洋海温场滑动平均体现了北太平洋北部海温由正逐渐转负的特征, 这种持续的 PDO 负位相形态有利于在东亚地区形成温度偏低, 北方降水偏多、南方偏少的气候特征. 图 8(b) 中 1971—1980 年期间, PDO 指数自 1976 年由负转正, 之后对应维持以正位相为主, 具有与 2012 年之前基本相反的特征. 此外, 图 8(a) 中 EASM 指数在 2012 年之前以负值为主, 2012 年转为正值, 即东亚夏季风由弱转强; 图 8(b) 中则 EASM 在 1975 年前后由正值转为负值为, 并持续

维持, 具有与 2012 年之前相反的特征. 此外, 图 8(a) 中 WPSH 指数在 2003—2012 年期间出现了在 2007 年开始由正值为主转为负值为主, 即副高由强转为弱; BH 指数则呈现逐渐减弱的特征. 于此同时, 图 8(b) 中 WPSH 指数和 BH 指数在 1978 年之前具有相反的变化特征. 总体而言, 2012 年之前, PDO 由正位相向负位相转变, 夏季风增强, 副高减弱, 贝湖附近高度场距平减弱的特征. 根据已有研究, 总体有利于北方多雨、南方少雨的年代际雨带分布特征. 2012 年之前的特征与 1978 年之前的特征基本呈相反的变化, 进一步增加了雨带特征出现与 1978—1992 年时期相反特征的可能性.

## 6 结论和讨论

本文针对 2012 年夏季中国东部降水的北涝南旱异常特征, 分析了海洋、环流等可能的影响, 并对比分析近 50 年不同年代际尺度上中国东部降水的分布特征, 及其相应的影响因素等, 并结合近期

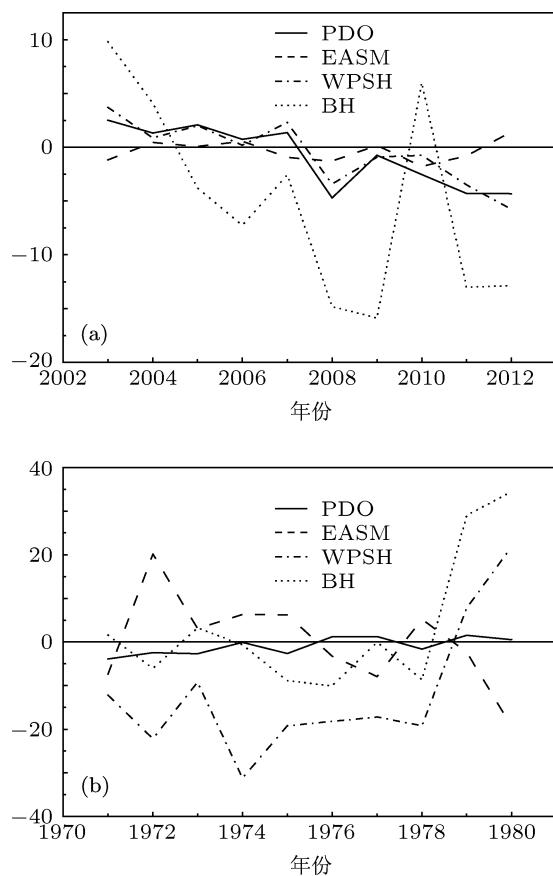


图 8 2003—2012 年四种指数夏季均值的演变曲线(其中 EASM 指数扩大了 10 倍, 以便于比较) (a) 为 2003—2012 年; (b) 为 1971—1980 年;

的研究成果, 讨论了 2012 年中国东部夏季降水的异常作为中国东部降水年代际转型重要信号的可能性。主要结论如下:

1. 1978 年之前, PDO 处于冷位相, 东亚夏季风偏强, 副高偏弱, 北方地区冷空气活动偏弱, 从而有利于南方的水汽北上, 造成中国北方地区夏季降水异常偏多; 1979—1992 年间则呈现出相反的特征, PDO 处于暖位相, 东亚夏季风正常略偏弱, 副高偏强, 北方地区冷空气活动偏强, 不利于南方的水汽北上, 造成中国北方地区夏季降水异常偏少; 基于这样的海洋和大气等因素的影响, 导致了 1970 年代末期中国东部夏季降水发生了一次年代际尺度的转变。关于方面的研究, 顾薇等<sup>[20]</sup>, 邓伟涛等<sup>[15]</sup>均得出了类似的结论。此外, 黄荣辉等<sup>[11]</sup>也讨论了这种年代际变化与东亚和西太平洋上空的东亚/太平洋型遥相关(EAP)波列分布、欧亚上空中高纬度西风带的欧亚型(EU)遥相关和夏季水汽输送通量异常的年代际变化有关。

2. 2010 年代中后期以来, PDO 由暖位相向冷

位向转变, 2012 年北太平洋海温异常偏暖, 同时西太平洋海温由异常偏暖状态转变异常偏冷的状态, 具有类似 1961—1978 年时段的特征。根据于乐江等<sup>[31]</sup>的研究, 中国夏季降水的年代际变化与西太平洋的海温有重要联系, 尤其是 1970 年代之后, 可能西太平洋的海温起到更主要的作用。因此, 2012 年的西太平洋海温有正转负, 也可能是 2012 年降水年代际调整的一个可能的重要外部强迫症源。此外, 2010 年代后期以来, 东亚夏季风由弱变强, 副高则由强变弱, 北方冷系统活动变弱, 这些特征均与 1961—1978 年时段的情况类似, 这在一定程度支持了 2012 年作为中国东部夏季降水发生年代际调整的前期信号的可能性。

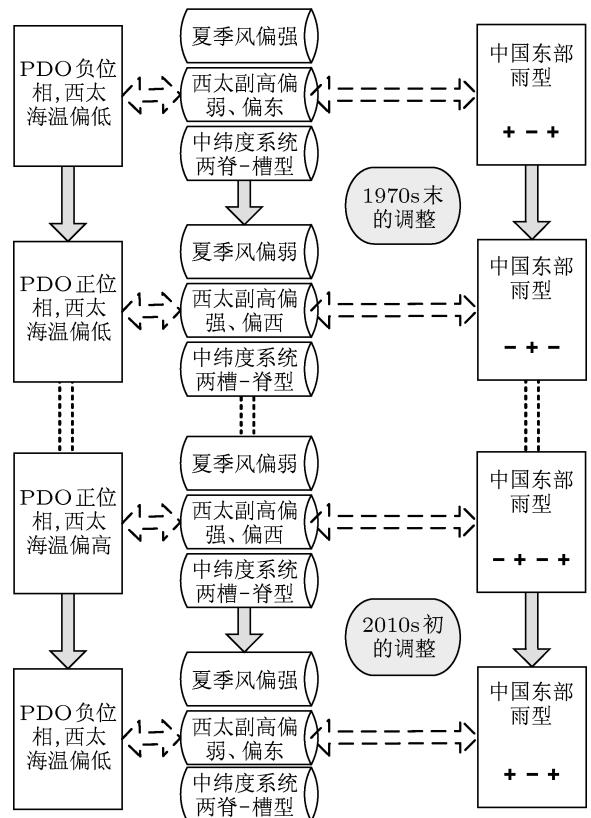


图 9 1970 年代和 2010 年代中国东部夏季降水年代际调整的关系示意图

3. 近 10 年 PDO, EASM, WPSH 和 BH 四种指数夏季平均值的演变与 1978 前期的演变情况基本呈现相反的变化特征, 这也说明了 2012 年海气系统的这种异常特征不仅仅是年际尺度的振荡特征, 是基于前期演化基础上的一种量变到质变的变化, 从而也进一步佐证了中国夏季降水年代际调整的可能性, 即 2012 年夏季中国东部降水的北方异常偏多, 南方异常偏少的特征可能与中国东部降水年

代际尺度变化在年际尺度上的体现。当然,本文的研究所说的2012年之后的年代际调整并不否定在后期几年中国东部降水存在年际尺度的振荡。结合已有的研究和本文的分析,我们给出了1970年代末期和2010年代以来降水年代际变化对应影响因素的示意图(图9)。

顾薇等<sup>[20]</sup>也讨论了中国东部夏季降水型的年代际变化及趋势的可能性,揭示了中国华北和长江流域之间年代际旱涝转变的趋势但没有指出具体

可以作为2000年以来旱涝转变的起始年份。本文不仅给出了2012年中国东部夏季降水异常特征的可能原因,并和历史上中国夏季降水发生年代转变时期的海洋和大气内部的多种指数进行对比分析,并给出了1970年代和2010年代中国东部夏季降水年代际调整的关系示意图,讨论了2012年蕴含的中国东部夏季降水年代际转型信号的可能性。这对于认识2012年气候异常成因和未来几年的汛期预测具有一定的参考价值。

- [1] Ding Y H 2005 *High Meteorologica* (Beijing: Meteorologica Press) 236 (in Chinese) [丁一汇 2005 高等天气学 (北京: 气象出版社) 236]
- [2] Liao Q S, Chen G Y, Chen G Z 1981 *Collection of long time weather forecast.* (Beijing: Meteorological Press) 103 (in Chinese) 廖荃荪, 陈桂英, 陈国珍 1981 长期天气预报文集 (北京: 气象出版社) 103]
- [3] Chen J Y, Luo Y 1990 (in Chinese) [陈菊英, 罗勇 1990 全国减轻自然灾害研讨会论文集 (北京: 中国科学技术出版社) 178–185]
- [4] Wen F Y, Zhang X G 1988 *Meteorologica* **14** 15 (in Chinese) [魏凤英, 张先恭 1988 气象 **14** 15]
- [5] Huang R H, Chen J L, Huang G 2007 *Adv. Atmos. Sci.* **24** 993
- [6] Huang R H, Chen J L, Liu Y 2011 *Chinese J. of Atmospheric Science* **35** 589 (in Chinese) [黄荣辉, 陈际龙, 刘永 2011 大气科学 **35** 589]
- [7] Chikamoto Y, Kimoto M, Ishii M, Watanabe M 2012 *J. Meteor. Soc. Japan*, **90A** 1
- [8] Gong Z Q, Wang X J, Zhi R, Feng G L 2011 *Chin. Phys. B* **20** 79201
- [9] Kerr R 2000 *Science* **288** 1984
- [10] Knight J R, Folland C K, Scaife A A 2006 *Geophys. Res. Lett.* **33** L17706
- [11] Huang R H, Gu L, Chen J L, Huang G 2008 *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* **32** 691 (in Chinese) [黄荣辉, 顾雷, 陈际龙, 黄刚 2008 大气科学 **32** 691]
- [12] Dai X G, Wang P, Chou J F 2004 *Progress Natural Sciences* **14** 73
- [13] Feng G L, Dong W J 2003 *Chin. Phys.* **13** 413
- [14] Zhang Q Y, L J M, Yang L M, Wei J, Peng J B 2007 *Chinese J. of Atmospheric Sciences* **31** 1290 (in Chinese) [张庆云, 吕俊梅, 杨莲梅, 卫捷, 彭京备 2007 大气科学 **31** 1290]
- [15] Deng W T, Sun Z B, Zeng G 2009 *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* **33** 835 (in Chinese) [邓伟涛, 孙照渤, 曾刚 2009 大气科学 **33** 835]
- [16] Gong Z Q, Wang X J, Zhi R, Feng G L 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 4342 (in Chinese) [龚志强, 王晓娟, 封国林 2009 物理学报 **58** 4353]
- [17] Gong Z Q, Zhou L, Zhi R, Feng G L 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 5351 (in Chinese) [龚志强, 周磊, 封国林 2008 物理学报 **57** 5351]
- [18] Wang X J, Gong Z Q, Zhou L, Feng G L 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 6651 (in Chinese) [王晓娟, 龚志强, 周磊, 封国林 2009 物理学报 **58** 6651]
- [19] Huang R H, Huang G, Wei Z G 2004 *Climate variations of the summer monsoon over China // Chang C P East Asian Monsoon.* World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 213–270
- [20] Gu W, Li C Y, Yang H 2005 *Acta Meteorologica Sinica* **63** 728 (in Chinese) [顾薇, 李崇银, 杨辉 2005 气象学报 **63** 728]
- [21] Zhu Y M, Yang X Q 2003 *Acta Meteor. Sinica* **61** 642 (in Chinese) [朱益民, 杨修群 2003 气象学报 **61** 642]
- [22] Li F, He J H 2000 *J. Tropical Meteoro* **16** 261 (in Chinese) [李峰, 何金海 2000 热带气象学报 **16** 261]
- [23] Smith T M, Reynolds R W 2003 *J. Climate* **16** 1495
- [24] Zhang Y, Wallace J M, Battisti D S 1997 *J. Climate* **10** 1004
- [25] Shi N, Zhu Q G, Wu B G 1996 *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* **20** 575 (in Chinese) [施能, 朱乾根, 吴彬贵 大气科学 **20** 575]
- [26] Guo Q Y, Cai J N, Shao X M 2004 *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* **28** 206 (in Chinese) [郭其蕴, 蔡静宁, 邵雪梅 2004 大气科学 **28** 206]
- [27] Kwon M H, Jhun J G, Ha K J 2007 *Geophys. Res. Lett.* **34** L21706
- [28] Ding Y H, Wang Z Y, Sun Y 2008 *Int. J. Climatol.* **28** 1139
- [29] Li J, Zeng Q 2003 *Adv. Atmos. Sci.* **20** 299
- [30] Li J, Zeng Q 2005 *Climatic and Environmental Research* **10** 351
- [31] Yu L J, Hu D X, Feng J Q 2011 *Chinese J. of Atmospheric Science* **35** 1091 (in Chinese) [于乐江, 胡墩欣, 冯俊乔 2011 大气科学 **35** 1091]

# Analysis of the summer precipitation of 2012 in East China and its possibility of decadal shift\*

Gong Zhi-Qiang<sup>†</sup> Zhao Jun-Hu Feng Guo-Lin

(National Climate Research Center CMA, Beijing 100081, China)

(Received 17 October 2012; revised manuscript received 4 December 2012)

## Abstract

Considering the abnormal precipitation in north-west and drought in south China during the summer of 2012, we have analyzed the decadal precipitation distribution and the chief probably-influencing factors in recent 50 years, in order to make a discussion of the possibility of decadal change of summer precipitation in East China since the summer of 2012. Research results show that the north Pacific decadal oscillation (PDO) is in cold phase, and the north cold air active and the west Pacific subtropical high (WPSH) are both in weak phase during the summer of 1961–1978. This situation is beneficial to the strong east Asia summer monsoon (EASM) and the north expansion of the low latitude water vapor, causing the summer precipitation in northern China more than normal in this decadal. While the situation is in quite opposite way during 1979–1992 (which causes the decadal change of summer precipitation in east China) that the precipitation is less than normal in northern China during the late period. Meanwhile, since in the late 2010 PDO changed from the warm phase to cold phase, the sea surface temperature was warmer in north Pacific and colder in west Pacific than normal, while the west Pacific subtropical high and the north region cold air active both changed from strong phase to weak phase, and the EASM became stronger, quite similar to that in 1961–1978. All of the cases showed that there might be once more a decadal change of summer precipitation in East China since the summer of 2012. Furthermore, the yearly variation of indices of PDO, EASM, WPSH and Baikal Height (BH) showed that the abnormal precipitation distribution and the chief influencing factors are not only the yearly variables but also the probable signal of decadal change in the following years.

**Keywords:** decadal variation, precipitation, north Pacific decadal oscillation, east Asia summer monsoon

**PACS:** 92.60.Wc

**DOI:** 10.7498/aps.62.099205

\* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 41205040, 40930952), the State Key development program for Basic Research (Grant Nos. 2012CB955902, 2012CB955203), and the Special Scientific Research Project for Public Interest (Grant No. GYHY201006021).

† Corresponding author. E-mail: gongzq@cma.gov.cn