

何金海,袁良,祁莉.2015.冬季西太平洋暖池与华南降水关系的年代际变化[J].大气科学学报,38(6):721-730.doi:10.13878/j.cnki.dqkxxb.20130427001.

He Jin-hai, Yuan Liang, Qi Li.2015.Interdecadal variation of relationship between the western Pacific warm pool and precipitation over South China in winter[J].Trans Atmos Sci,38(6):721-730.(in Chinese).

冬季西太平洋暖池与华南降水关系的年代际变化

何金海,袁良,祁莉

(南京信息工程大学 大气科学学院,江苏 南京 210044)

摘要:利用 1951—2010 年全国台站冬季降水观测资料、Hadley 环流中心逐月海表温度资料以及 NCEP/NCAR 再分析月平均资料,探讨了西太平洋暖池与我国华南地区冬季降水的关系。结果表明,西太平洋暖池与我国华南冬季降水的年际关系在 1972 年发生了明显的年代际转折,20 世纪 70 年代前两者弱的负相关未通过信度检验,而 70 年代后两者相关系数达到 $-0.5\sim-0.6$ 。回归分析显示,70 年代前,暖池对产生华南冬季降水的水汽条件以及动力条件等的影响不显著,因此其与华南冬季降水的关系不明显。70 年代后,暖池偏暖时,在菲律宾海区域激发出一个显著的气旋性环流,该环流西北侧的偏北风不利于南海地区水汽向我国华南地区输送,华南地区水汽辐散增强,而且南支槽地区对流减弱,南支扰动不活跃且扰动不能向下游地区传播,华南地区扰动活动减弱,此外暖池偏暖使北半球经向环流显著增强,且下沉支位于我国华南地区,加强了华南地区的下沉运动,因而华南地区冬季降水显著偏少;暖池偏冷时,情况相反。

关键词:西太平洋暖池;年代际变化;华南冬季降水

文章编号:1674-7097(2015)06-0721-10 **中图分类号:**P426 **文献标志码:**A

doi:10.13878/j.cnki.dqkxxb.20130427001

Interdecadal variation of relationship between the western Pacific warm pool and precipitation over South China in winter

HE Jin-hai, YUAN Liang, QI Li

(School of Atmospheric Sciences, NUIST, Nanjing 210044, China)

Abstract:Based on the observed station precipitation data over China in winter, the monthly Hadley Center Global Sea Ice and Sea Surface Temperature(HadISST) and the monthly reanalysis data provided by National Centers for Environmental Prediction-National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) from 1951 to 2010, the relationship between the western Pacific warm pool(WPWP) and winter precipitation over South China(SC) has been studied. The results show that the correlation between WPWP and winter precipitation over SC has obvious interdecadal transition in 1972. Before the 1970s, the negative correlation between them is weak and has not passed significance test. But the correlation between them has reached $-0.5\sim-0.6$ after the 1970s. By the regression analysis, it is found that, before the 1970s, the effect of WPWP on water vapor and dynamic conditions that affect winter rainfall over SC is not significant, so its relation with winter rainfall over SC is not obvious. After the 1970s, when WPWP SST is warmer, an obvious cyclonic circulation has been aroused in the Philippine Sea area. The northerly wind over the northwest side of the cyclonic circulation is not favor of water va-

收稿日期:2013-04-27;改回日期:2013-06-28

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2012CB417403;2013CB430202);江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)

通信作者:何金海,教授,博士生导师,研究方向为季风、低频振荡和海陆气相互作用,hejhnew@nuist.edu.cn.

por from South China Sea transported to SC, so the water vapor divergence over SC increases. The convection and perturbation over the southern branch trough region weaken significantly and the perturbation can not spread to the downstream region, which causes the weakened perturbation over SC. In addition, the warming of WPWP leads to remarkable increase of meridional circulation in the Northern Hemisphere, and the sinking branch is located in SC region, which strengthens the sinking movement over SC, so it results in the decreased rainfall over SC in winter, and vice versa.

Key words: the western Pacific warm pool; interdecadal variation; winter rainfall in South China

0 引言

华南位于东亚季风和西北太平洋季风交接带 (Wang et al., 2003), 属于副热带季风气候区。华南地区年降水量充沛, 但降水年际变率较大, 降水主要集中在华南前、后汛期。虽然冬季降水占年降水总量的比例较小, 但是冬季降水的异常变化也会造成重大灾害, 其异常不仅能够直接影响到农作物的生长和产量, 而且冬季降水若以冻雨、降雪等形式出现则会对交通和人民的生命财产安全构成威胁。此外, 由于冬季气温较低, 降水的微弱变化就会带来严重的局地旱涝灾害 (冯佩芝等, 1985), 因此具有重要的研究意义。近年来, 华南地区秋冬春连旱越来越严重, 冬季降水作为其中一个环节, 有必要进一步对华南地区冬季降水进行研究。因此, 对我国华南地区冬季降水进行研究具有十分重要意义。

目前关于我国冬季降水的研究主要是从冬季降水对 ENSO 响应特征出发。陶诗言和张庆云 (1998) 研究了 ENSO 与冬季降水之间的关系, 指出 El Nino (La Nina) 年冬季亚洲上空的环流型不利 (有利于) 寒潮向南爆发, 导致亚洲冬季风弱 (强), 我国华南冬季降水异常偏多 (少)。郭其蕴和王日昇 (1990) 认为 El Nino 年冬季, 东亚大陆冷空气南下路径偏东, 我国南方降水偏多。La Nina 年相反, 冷空气南下路径偏西, 我国南方降水偏少。何溪澄等 (2006) 分析了 1997/1998 和 1998/1999 年冬季中国南方典型多雨年和少雨年的海温和环流特征, 认为南方冬季降水与 ENSO 事件联系密切。南方冬季降水在 El Nino 年异常偏多, 而在 La Nina 年异常偏少。Wu et al. (2003)、Zhou and Wu (2010)、Zhou et al. (2010) 和 Zhang and Sumi (2002) 的研究表明 ENSO 与我国华南地区冬季降水具有正相关关系。此外, 其他一些学者也得出了类似的结论 (张自银等, 2009; Li and Ma, 2012)。陈颖曼等 (2013) 指出中国东南部冬季降水年际差异较大, 降水普遍存在 2~4 a 的年际变化, 且 20 世纪 80 年代至 90 年代中期 7 a 的周期振荡较强。上述研究主要是从年际变化特征出发, 而我国冬季气候表现出年代际变化特

征。Zhi et al. (2010)、智协飞等 (2011) 研究指出我国南方冬季气候变暖的突变发生在 1991 年前后, 且气候变暖后我国南方冬季的极端降水强度普遍有所增加。曹艳艳等 (2007) 研究指出北半球大气环流对 ENSO 事件的响应在 1978/1979 年有一个明显的跃变。

西太平洋暖池是热带太平洋海气相互作用最强的地区, 暖池热状况及其上空的对流活动不仅在维持热带纬圈环流上起重要作用 (Cornejo-Garrido and Stone, 1977), 而且对 Hadley 环流异常也起驱动作用 (Hu, 1997; 李琰和朱伟军, 2010), 并通过遥相关等途径影响我国天气气候 (Huang and Lu, 1989; 黄荣辉和孙凤英, 1994)。因而研究西太平洋暖池对我国气候影响具有重要意义。目前关于暖池对我国降水影响的研究主要以春夏季节为主 (刘银峰等, 2009), 而对冬季降水影响的研究还较少。上述研究表明, 我国冬季气候具有年代际变化特征。那么在全球变暖背景下, 西太平洋暖池与我国华南地区冬季降水之间有没有关系? 如果有, 它们之间的关系在年代际上是否有变化呢? 不同年代之间的关系又是什么呢? 造成这种年代际变化的可能原因又是什么? 本文将对这些问题进行研究, 探讨西太平洋暖池与我国华南冬季降水的关系以及西太平洋暖池影响我国华南冬季降水的可能机制。

1 资料与方法

1) 美国 NCEP/NCAR (the National Centers for Environmental Prediction-the National Center for Atmospheric Research) 中心提供的 1951 年 1 月—2011 年 2 月的再分析月平均资料, 要素包括海平面气压、风速、垂直速度、比湿等, 水平分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$, 其中, 风速为 17 层, 垂直速度为 12 层, 比湿为 8 层, 其他为 1 层。

2) Met Office Hadley Center 提供的逐月海表温度资料 (HadISST), 时间为 1951 年 1 月—2011 年 2 月, 分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$ 。

3) 中国气象局提供的全国台站逐日降水资料, 时间为 1951 年 1 月—2011 年 2 月。

本文主要采用相关分析、滑动相关、回归分析等统计方法。本文中冬季指 12 月一次年 2 月,例如 1951 指的是 1951/1952 年冬季。

2 西太平洋暖池与华南冬季降水关系

以华南区域(110~120°E,22~28°N)17 个站点的冬季平均降水量来代表我国华南地区冬季平均降水。为了消除气候背景差异,除图 4 外本文中所有数据都过去趋势处理。为了分析西太平洋暖池与华南冬季降水的关系,计算了华南冬季降水与海温场的同期相关,以寻找影响我国华南冬季降水的西太平洋暖池关键区。如图 1 所示,华南冬季降水与热带海温相关表现出“正负正”分布型。热带中东太平洋、印度洋以及我国东部沿海为显著正相关区,中心达到 0.4 以上,通过了 0.05 信度的显著性检验。热带西太平洋为显著负相关区,中心达到 -0.4。海温场这种分布表现出传统 El Nino 特征。表明 ENSO 对我国华南冬季降水具有重要影响。此外,热带西太平洋暖池区也具有显著负相关,且暖池离我国更近,对华南冬季降水的影响更为直接。那么西太平洋暖池与华南冬季降水关系如何呢?下面将对西太平洋暖池(the Western Pacific Warm Pool,WPWP)与我国华南冬季降水的关系展开研究。

选取图 1 中方框范围(135~175°E,6°S~20°N)作为影响我国华南冬季降水的暖池关键区。对选取的西太平洋暖池关键区范围内海温作区域平均,得到冬季西太平洋暖池海温变化时间序列。冬季西太平洋暖池与华南降水时间序列(图略)均有明显的年际、年代际变化特征,并且两者呈显著负相关,相

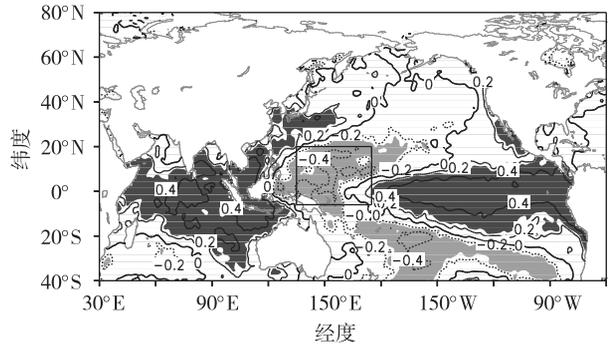
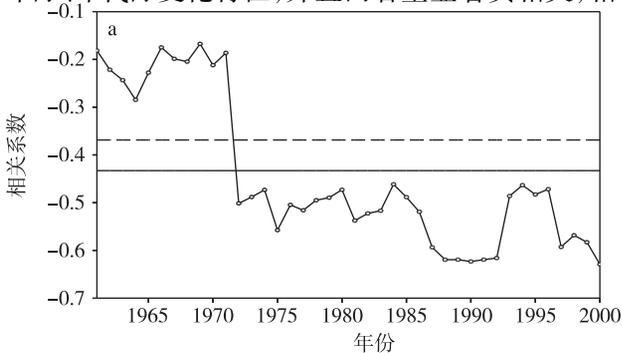


图 1 1951—2010 年冬季华南降水与海温场的相关系数 (阴影表示通过 0.05 信度的显著性检验)

Fig.1 Correlation coefficients between precipitation in South China vs SST in winter during 1951—2010 (Shaded areas passed the significance test at 95% confidence level)

关系系数达到 -0.45,通过了 0.01 信度的显著性检验。这表明,西太平洋暖池与我国华南冬季降水关系密切。

3 西太平洋暖池与华南冬季降水关系的年代际变化

既然西太平洋暖池与我国华南冬季降水关系密切,且两者都有年代际变化特征,那么,两者关系在年代际上是否有变化呢?为了确定我国华南地区冬季降水对西太平洋暖池的响应是否具有年代际变率,计算了两者相关系数随时间的变化。采用滑动相关方法(林学椿,1978),选择滑动窗口长度 $L=21$ a,当显著性水平 $\alpha=0.10$ 时,相关系数 $|r| \geq 0.37$ 时通过显著性检验;当显著性水平 $\alpha=0.05$ 时,相关系数 $|r| \geq 0.43$ 时通过显著性检验。如图 2 所示,西太平洋暖池与华南冬季降水关系在 1972 年

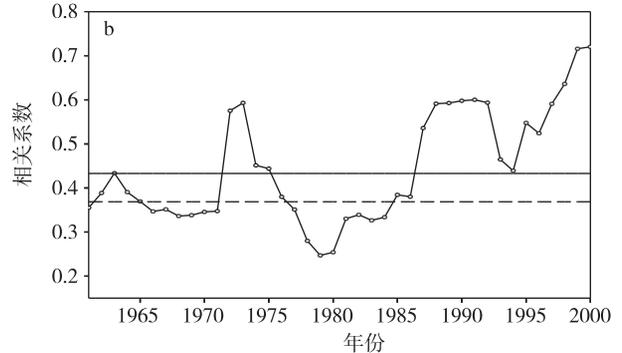


图 2 1951—2010 年冬季西太平洋暖池(a)、Nino3.4 指数(b)与华南降水的 21 a 滑动相关系数(虚、实线分别表示 0.1、0.05 信度水平)

Fig.2 The 21-yr running correlation coefficients between (a)the western Pacific warm pool and (b)the Nino3.4 index vs precipitation in South China in winter during 1951—2010(Dashed and solid lines are the 90% and 95% confidence levels, respectively)

时发生了一次明显的年代际转折。在 1972 年之前,西太平洋暖池与我国华南冬季降水相关较小,未通过显著性检验。而 1972 年以后,西太平洋暖池与我国华南冬季降水相关显著增强,基本都在 $-0.5 \sim -0.6$ 左右,通过了 0.05 信度的显著性检验。

以上分析表明,冬季西太平洋暖池与华南降水关系有一次明显的年代际转折,经历了由弱到强的变化特征。那么在同时段里,冬季降水与西太平洋暖池关系的空间特征有什么变化呢?依据两者关系的年代际变化来划分年代,分别计算了 1951—1970 年以及 1981—2000 年西太平洋暖池与全国冬季降水相关分布。如图 3 所示,我国华南冬季降水与西太平洋暖池关系有明显的年代际变化。1951—1970 年(图 3a),我国华南地区冬季降水与西太平洋暖池海温相关较弱,未通过显著性检验;而 1981—2000 年(图 3b),显著负相关区主要集中在我国南方地区,从我国云南一直向东延伸到华南地区,通过了 0.05 信度的显著性检验。这表明,该时段西太平洋暖池与华南冬季降水关系密切,呈显著负相关。

此外,ENSO 与我国华南冬季降水关系密切。既然西太平洋暖池与华南冬季降水关系具有年代际变化特征,而西太平洋暖池又是与 ENSO 紧密联系的。那么,ENSO 现象与华南冬季降水的关系是否存在类似西太平洋暖池一样的年代际转折特征呢?暖池与华南冬季降水关系的年代际转折特征是否只是 ENSO 现象的一种表现?因此,选取 Nino3.4 指数来表征 ENSO 现象,同样也计算了 Nino3.4 指数与华南冬季降水的 21 a 滑动相关(图 2b)。如图所示,华南冬季降水与 Nino3.4 指数关系

表现出与西太平洋暖池不同的年代际变化,先后经历弱、强、弱、强变化特征。因而,西太平洋暖池与华南冬季降水关系的这种年代际转折,可能拥有不同于 ENSO 的影响机制。

以上分析表明,西太平洋暖池与我国华南冬季降水年际关系在 1972 年时发生了一次明显的年代际转折,经历了由弱到强的变化特征。此外,西太平洋暖池与华南冬季降水关系的这种年代际转折,可能拥有不同于 ENSO 的影响机制。

4 西太平洋暖池与华南冬季降水关系年代际变化的可能原因

由以上分析可知,西太平洋暖池与我国华南冬季降水关系在不同年代存在明显区别,那么这种现象到底是由什么原因引起的呢?首先来看看在全球变暖背景下,西太平洋暖池海温变化特征。由图 4 可知,在全球变暖背景下,大部分地区海温表现出偏暖特征。对暖池范围做区域平均得到两个阶段暖池海温差值为 $0.12\text{ }^{\circ}\text{C}$,通过了 0.1 信度的显著性检验,暖池区海温以偏暖为主。不同年代西太平洋暖池海温的差异会引起大气环流异常,进而对我国降水产生不同影响。下面分析了不同年代西太平洋暖池与大气环流、水汽输送等的关系,以此来寻找引起两者间关系年代际变化的可能原因。

4.1 环流场分析

4.1.1 海平面气压场

由冬季西太平洋暖池海温时间序列回归的海平面气压场空间分布(图 5)可知,1951—1970 年(图 5a),冬季西太平洋暖池异常偏暖时,海平面气压变化并不显著,通过显著性检验区域较少。表明该阶

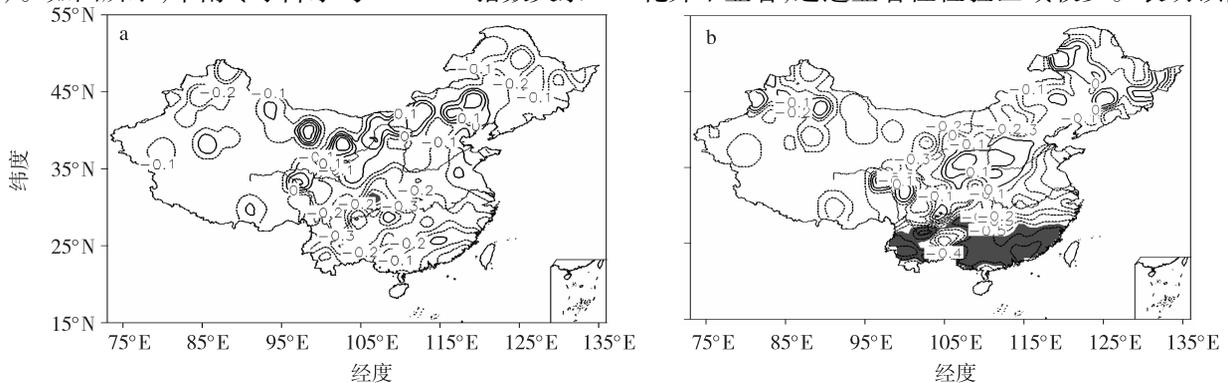


图 3 1951—1970 年(a)、1981—2000 年(b)西太平洋暖池与我国冬季降水的相关分布(阴影表示通过 0.05 信度的显著性检验)

Fig.3 Correlation coefficients between the western Pacific warm pool vs precipitation in China in winter during (a) 1951—1970 and (b) 1981—2000(Shaded areas passed the significance test at 95% confidence level)

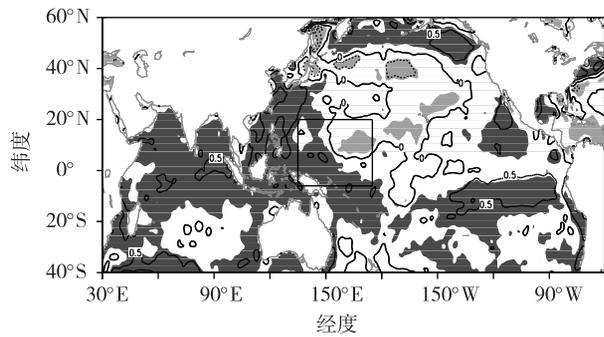


图 4 1981—2000 年与 1951—1970 年的冬季平均 SST 之差(单位:℃;阴影表示通过 0.05 信度的显著性检验;方框表示暖池范围)

Fig.4 Average winter SST differences between 1981—2000 and 1951—1970(units:℃;Shaded areas passed the significance test at 95% confidence level and the rectangle denotes the western Pacific warm pool)

段海平面气压对西太平洋暖池响应较弱。而 1981—2000 年(图 5b),热带中东太平洋地区为显著正异常,西太平洋以及印度洋地区为显著负异常,通过了 0.05 信度的显著性检验。此外,在北美沿岸地区,也存在一个显著的正值区域,阿留申低压减弱。这表明,该阶段海平面气压对西太平洋暖池的响应要比 1951—1970 年强。

4.1.2 风场

如图 6 所示,风场上最显著的差异是不同年代风场对冬季西太平洋暖池的响应不同。1951—1970 年,风场对西太平洋暖池响应较弱,通过显著性检验的区域较少。而 1981—2000 年,风场对西太平洋暖池响应显著加强,通过显著性检验的区域明显增多。

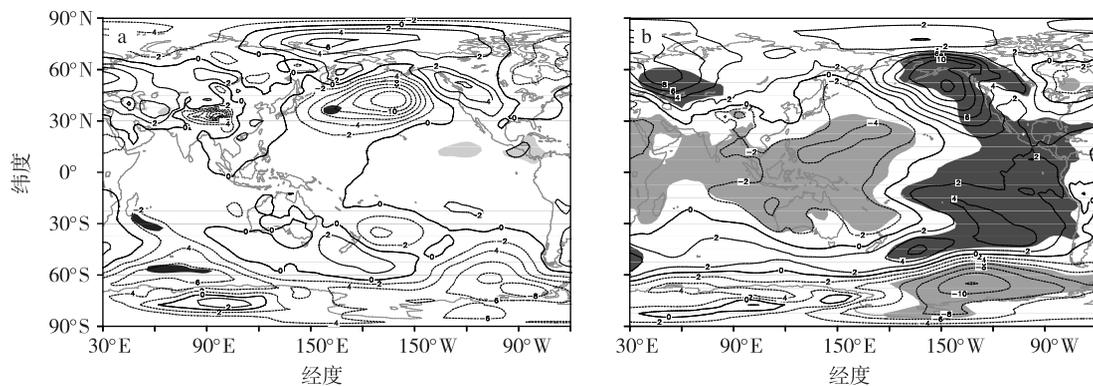


图 5 1951—1970 年(a)和 1981—2000 年(b)海平面气压场与冬季西太平洋暖池海温时间序列的回归系数分布(单位:hPa;阴影表示通过 0.05 信度的显著性检验)

Fig.5 Regression coefficients of sea level pressure to the time series of the western Pacific warm pool SST in winter during (a) 1951—1970 and (b) 1981—2000(units:hPa;Shaded areas passed the significance test at 95% confidence level)

1951—1970 年,低层 850 hPa(图 6a)上,北太平洋地区有一个气旋性环流,表明阿留申低压加强。其南侧有反气旋性环流存在,并且位置偏西。这对气旋、反气旋性环流的存在使得菲律宾海地区气旋性环流较弱,未通过显著性检验。由于菲律宾海气旋对西太平洋暖池海温响应较弱,输送至我国华南地区的水汽受该气旋的影响也较小。高低空配置上,从低层到 200 hPa 高层(图 6a、c),这对气旋、反气旋性环流都稳定存在,呈正压结构。200 hPa 高层(图 6c),中纬度 30°N 附近,西风气流显著加强,通过了 0.05 信度的显著性检验。表明东亚副热带西风急流强度加强,但其位置没有发生变化。

1981—2000 年,低层 850 hPa(图 6b)上,最显著的特征是菲律宾海地区存在一个显著的气旋性环流,通过了 0.05 信度的显著性检验。该气旋性环流西北侧的偏北风控制着我国华南地区,不利于西太平洋地区的水汽向我国华南地区输送。另外,北美沿岸存在一个显著的异常反气旋性环流,表明阿留申低压减弱。高低空配置上,从低层到 200 hPa 高层(图 6b、d),我国华南地区反气旋性环流稳定存在并逐渐加强,呈正压结构,有利于我国华南地区下沉运动加强。200 hPa 散度场(图略)上,华南地区高层辐合显著增强,抽吸作用减弱,从而有利于我国华南地区下沉运动产生。200 hPa 高层(图 6d)上,30~40°N 之间,西风气流显著加强,通过了 0.05 信度的显著性检验。表明东亚副热带西风急流强度显著加强,并且位置偏北。

毛睿等(2007)研究了东亚冬季中纬度西风急流对我国冬季气候的影响,指出西风急流强度指数

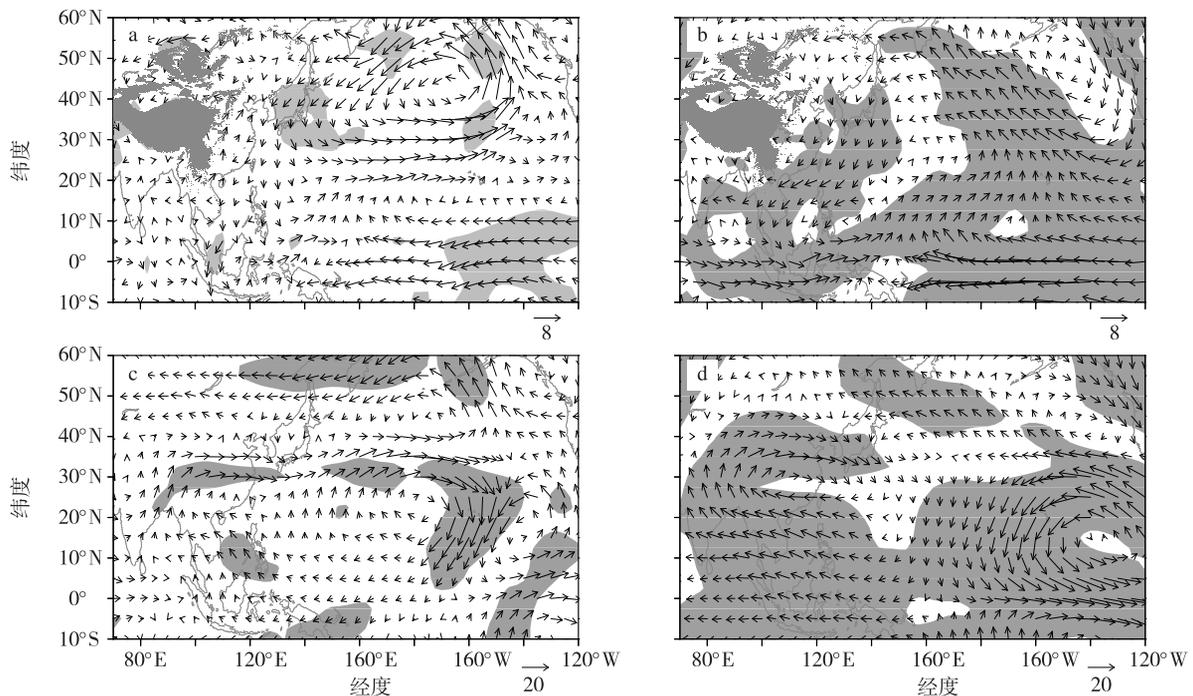


图 6 1951—1970 年(a,c)和 1981—2000 年(b,d)850 hPa(a,b)和 200 hPa(c,d)风场与冬季西太平洋暖池海温时间序列的回归系数分布(单位:m/s;阴影表示通过 0.05 信度的显著性检验)

Fig.6 Regression coefficients of (a,b)850 hPa and (c,d)500 hPa wind fields to the time series of the western Pacific warm pool SST in winter during (a,c)1951—1970 and (b,d)1981—2000(units:m/s;Shaded areas passed the significance test at 95% confidence level)

与我国华南地区冬季降水相关并不显著。而当西风急流切变指数偏高时,即西风急流偏南,东亚大槽高度升高,冬季风活动减弱,引起华南地区降水显著偏多。因而,西太平洋暖池异常变化引起的不同年代东亚副热带西风急流差异可能是造成华南冬季降水异常的原因之一。1951—1970 年,东亚副热带西风急流强度加强但位置没有发生变化,使得华南冬季降水变化并不显著;而 1981—2000 年,东亚副热带西风急流位置偏北,造成我国华南地区冬季降水显著偏少。

4.2 影响华南冬季降水的水汽条件

水汽供应是降水产生的重要的因素之一。冬季影响我国华南地区的水汽来源主要有两支:一支来源于西太平洋经南海的偏南风水汽输送;另一支来源于孟加拉湾的偏西风水汽输送(吴蔚等,2012)。

由图 7 可以看出,1951—1970 年,孟加拉湾和西太平洋地区整层水汽通量变化较弱,通过显著性检验区域较少。我国华南地区水汽辐合辐散不显著。这表明,西太平洋暖池异常偏暖时,我国华南地区水汽输送变化不明显。而 1981—2000 年,孟加拉湾地区具有显著的偏东风水汽输送,不利于孟加拉湾地区水汽输送至我国华南地区。此外,菲律宾海

地区具有显著的气旋性环流,该气旋西北侧的偏北风水汽输送,不利于西太平洋以及南海地区的水汽输送至我国华南地区。我国华南地区水汽辐散显著增强,华南地区获得的水汽供应不足,不利于降水的产生。

4.3 影响华南冬季降水的动力条件

降水的产生除了需要有充足的水汽供应外,动力条件是降水产生的另一个重要因素。

4.3.1 垂直速度

图 8 给出了冬季西太平洋暖池海温时间序列回归的垂直速度 ω 高度—纬度剖面,可见,1951—1970 年,垂直速度 ω 对西太平洋暖池的响应较弱,通过显著性检验的区域较少。而 1981—2000 年,垂直速度 ω 对西太平洋暖池的响应显著增强。赤道地区上升运动显著加强,30°N 附近下沉运动加强,通过了 0.05 信度的显著性检验。从而导致北半球经向环流加强,且经向环流下沉支位于我国华南地区,加强了我国华南地区的下沉运动,使产生降水所需的动力条件不足,不利于我国华南地区冬季降水的产生。

4.3.2 扰动活动

冬季,低层西风在青藏高原西端分裂成南北两

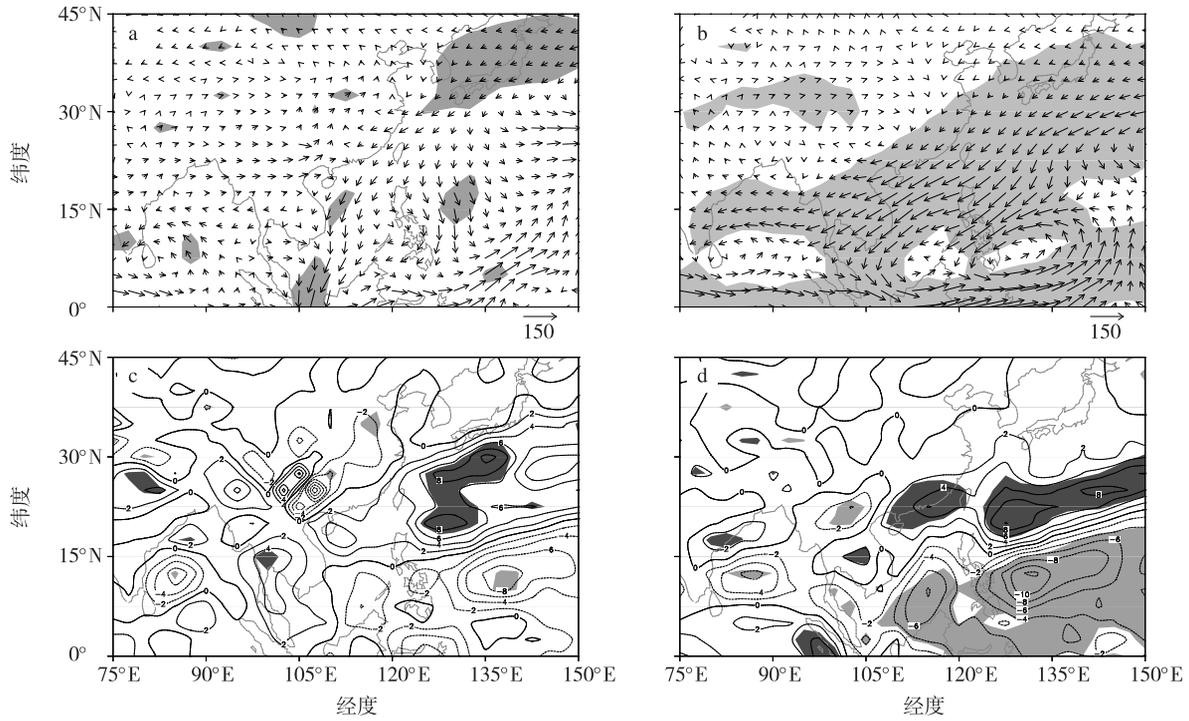


图 7 1951—1970 年(a,c)和 1981—2000 年(b,d)整层水汽通量(a,b;单位: $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$)、整层水汽通量散度(c,d;单位: $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s}^2)$)与冬季西太平洋暖池海温时间序列的回归系数分布(阴影表示通过 0.05 信度的显著性检验)

Fig.7 Regression coefficients of (a,b) vertically integrated vapor flux(units: $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$) and (c,d) vertically integrated vapor flux divergence(units: $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s}^2)$) to the time series of the western Pacific warm pool SST in winter during (a,c) 1951—1970 and (b,d) 1981—2000(Shaded areas passed the significance test at 95% confidence level)

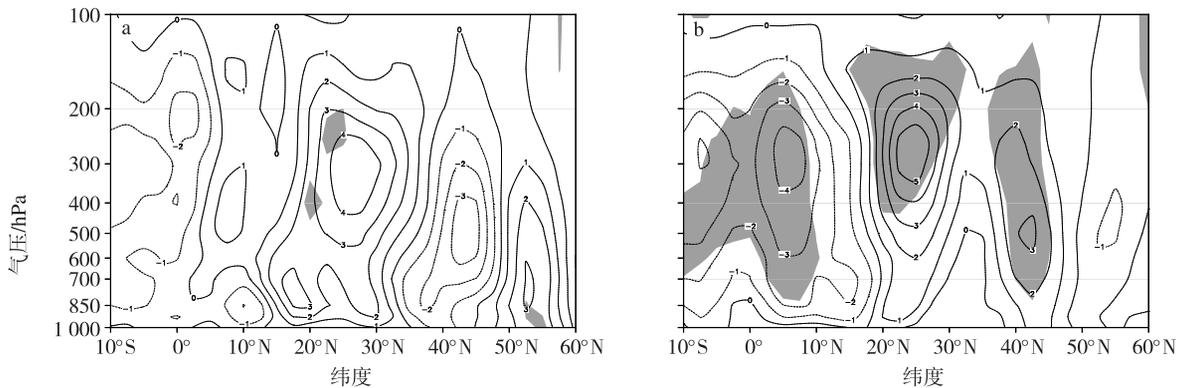


图 8 1951—1970 年(a)和 1981—2000 年(b)垂直速度与冬季西太平洋暖池海温时间序列的回归系数的高度—纬度剖面(110~120°E 平均;单位: $10^{-2} \text{hPa}/\text{s}$;阴影表示通过 0.05 信度的显著性检验)

Fig.8 Regression coefficients of vertical velocity averaged over 110—120°E to the time series of the western Pacific warm pool SST in winter during (a) 1951—1970 and (b) 1981—2000(units: $10^{-2} \text{hPa}/\text{s}$;Shaded areas passed the significance test at 95% confidence level)

支。南支气流近似沿着青藏高原南边缘流过。在高原地形的作用下,南支气流呈气旋式弯曲,形成冬季半永久性活动低压槽,称为南支槽(Yeh,1950)。南支气流上多小槽脊活动,这些东移的小槽为我国华南地区降水提供水汽和扰动,是冬半年影响我国的主要天气系统之一(索渺清和丁一汇,2009)。彭京

备(2012)研究表明活跃的南支扰动向下游传播,南支槽前的西南气流将水汽从孟加拉湾向我国华南地区输送,引起华南冬季降水偏多。下面讨论西太平洋暖池对南支扰动的影响。

索渺清和丁一汇(2009)的研究表明气候平均上南支槽在 700 hPa 上最明显。参照彭京备(2012)

的方法,选用 700 hPa 经向风的纬向偏差的平方来代表扰动活动的强度。如图 9 所示,1951—1970 年,南支槽至我国华南地区扰动活动对西太平洋暖池的响应变化不明显,未通过显著性检验。表明该阶段西太平洋暖池异常偏暖时,该地区扰动活动变化不稳定。而 1981—2000 年,从孟加拉湾东岸经中南半岛至我国华南地区为显著的负值区,通过了 0.05 信度的显著性检验。我国华南地区位于扰动减弱区北部,该地区扰动活动强度显著减弱,不利于我国华南地区冬季降水的产生。此外,OLR 分布(图略)上,南支槽至我国华南地区为显著正值区,对流活动减弱。说明当西太平洋暖池海温异常偏暖时,南支槽地区局地对流活动减弱,引起南支扰动减弱,且在偏东风气流影响下扰动活动向下游地区传播受抑制,使得华南地区扰动减弱。此外,减弱的南支扰动不利于孟加拉湾地区水汽向华南输送,引起我国华南冬季降水偏少。

5 结论

本文根据 1951—2010 年我国台站降水资料、再分析海温和大气环流资料,利用相关分析和回归分析等方法研究了西太平洋暖池与华南冬季降水关系的年代际变化,并从影响降水产生的水汽条件以及动力条件出发初步探讨了影响两者间关系年代际变化的可能原因,主要得出以下结论:

1) 西太平洋暖池与我国华南地区冬季降水相关关系具有明显的年代际变化特征。1972 年之前两者间为弱的负相关,未通过 0.1 信度的显著性检验。而 1972 年之后两者间的负相关关系显著增强,相关系数达到 $-0.5 \sim -0.6$,通过了 0.05 信度的显著

性检验。此外,西太平洋暖池与华南冬季降水关系的这种年代际转折,可能拥有不同于 ENSO 的影响机制。

2) 1972 年前,大气对西太平洋暖池的响应较弱。西太平洋暖池偏暖时,低层风场上,菲律宾海地区的气旋性环流不明显,我国华南地区受该气旋性环流的影响较小,使得我国华南地区水汽辐合辐散不显著。1972 年后,西太平洋暖池偏暖时,在菲律宾海地区激发出一个显著的气旋性环流,我国华南地区受该气旋性环流西北侧偏北气流的影响,使西太平洋地区输送至我国华南地区的水汽减少,我国华南地区水汽辐散增加。

3) 1972 年前,西太平洋暖池对低层扰动活动影响不显著,华南地区扰动活动及下沉运动变化不明显,影响华南降水产生的动力条件变化不明显。1972 年后,南支槽地区对流显著减弱,南支扰动不活跃,且在偏东风气流影响下扰动不能向下游地区传播,华南地区的扰动活动减弱。南支扰动的减弱不利于孟加拉湾地区的水汽向我国华南地区输送,华南地区获得的水汽减少;此外北半球经向环流显著增强,且下沉支位于我国华南地区,加强了我国华南地区的下沉运动,不利于降水的产生。因而该阶段西太平洋暖池与我国华南地区冬季降水关系密切。当西太平洋暖池海温异常偏暖时,我国华南地区冬季降水显著偏少;当暖池偏冷时,情况相反。上述结果造成暖池变异与我国华南降水呈显著负相关。

本文主要是对不同年代西太平洋暖池与大气环流、水汽输送等关系进行了分析,发现不同年代大气环流、水汽输送等对暖池响应存在明显差异,从而使

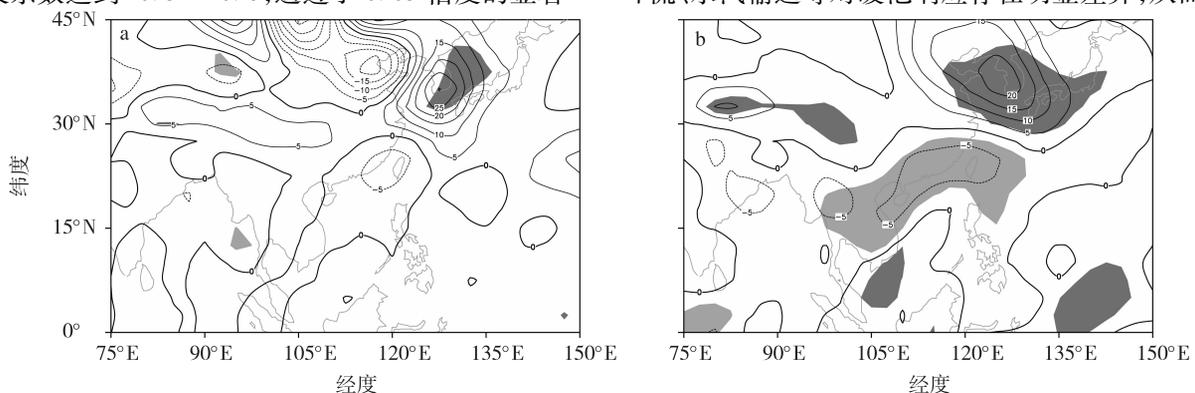


图 9 1951—1970 年(a)和 1981—2000 年(b)700 hPa 扰动活动与冬季西太平洋暖池海温时间序列的回归系数分布(单位: m^2/s^2 ; 阴影表示通过 0.05 信度的显著性检验)

Fig.9 Regression coefficients of 700 hPa perturbation to the time series of the western Pacific warm pool SST in winter during (a) 1951—1970 and (b) 1981—2000(units: m^2/s^2 ; Shaded areas passed the significance test at 95% confidence level)

得暖池与华南冬季降水关系出现年代际变化,但其中的物理机制还不明确。究竟是什么原因使得暖池与华南冬季降水关系发生明显的年代际转折? 20世纪70年代后,暖池海温变暖,且变率变大,可能更容易达到对流临界值,使得对流更加强烈,大气对暖池的响应更明显,导致暖池与华南冬季降水关系更显著。此外,暖池海温变暖,使海陆气压差增大,有利于冬季风增强,冬季风不利于南海及西太平洋水汽向我国华南输送,使华南降水偏少。不同要素间的相关关系的年代际变化可能与时间序列的周期结构的改变有关。对文中用来做滑动相关的两个时间序列分别作 Morlet 小波分析(图略)后发现,1951—1970年,华南冬季降水周期变化不明显,暖池具有8 a左右的周期变化。而1981—2000年,暖池和华南冬季降水都具有2~3 a左右周期变化,同时还表现出8 a左右的周期。暖池和华南冬季降水周期结构的改变也可能是造成两者关系年代际变化的原因之一。以上这些是暖池与华南冬季降水关系产生年代际变化的可能原因,但其中的物理机制需要进一步的研究。

参考文献(References):

- 曹艳艳,郭品文,王群.2007. ENSO与北半球冬季大气环流异常的年代际关系[J]. 南京气象学院学报, 30(6): 792-798. Cao Yanyan, Guo Pinwen, Wang Qun. 2007. Interdecadal variation of relationship between ENSO and Northern winter atmospheric circulation anomalies[J]. J Nanjing Inst Meteor, 30(6): 792-798. (in Chinese).
- 陈颖曼,曹杰,王传辉.2013. 中国东南部冬季降水变化及其环流特征[J]. 大气科学学报, 36(3): 323-330. Chen Yingman, Cao Jie, Wang Chuanhui. 2013. Precipitation variation over southeastern China in winter and its circulation pattern[J]. Trans Atmos Sci, 36(3): 323-330. (in Chinese).
- Cornejo-Garrido A G, Stone P H. 1977. On the heat balance of the Walker circulation [J]. J Atmos Sci, 34: 1155-1162.
- 冯佩芝,李翠金,李小泉,等.1985. 中国主要气象灾害分析(1951—1980)[M]. 北京:气象出版社:14-41. Feng Peizhi, Li Cuijin, Li Xiaoquan, et al. 1985. Analysis of major weather disaster in China (1951—1980)[M]. Beijing: Meteorological Press: 14-41. (in Chinese).
- 郭其蕴,王日昇.1990. 东亚冬季风活动与厄尔尼诺的关系[J]. 地理学报, 45(1): 68-77. Guo Qiyun, Wang Risheng. 1990. The relationship between the winter monsoon activity over East Asia and the El Nino events [J]. Acta Geographica Sinica, 45(1): 68-77. (in Chinese).
- 何溪澄,丁一汇,何金海,等.2006. 中国南方地区冬季风降水异常的分析[J]. 气象学报, 64(5): 594-604. He Xicheng, Ding Yihui, He Jinhai, et al. 2006. An analysis on anomalous precipitation in Southern China during winter monsoons [J]. Acta Meteorologica Sinica, 64(5): 594-604. (in Chinese).
- Hu Z. 1997. Interdecadal variability of summer climate over East Asia and its association with 500 hPa height and global surface temperature [J]. J Geophys Res, 102: 19403-19412.
- Huang Ronghui, Lu Li. 1989. Numerical simulation of the relationship between the anomaly of the subtropical high over East Asia and the convective activities in the western tropical Pacific [J]. Adv Atmos Sci, 6(2): 202-214.
- 黄荣辉,孙凤英.1994. 热带西太平洋暖池上空对流活动对东亚夏季风季节内变化的影响[J]. 大气科学, 18(4): 456-465. Huang Ronghui, Sun Fengying. 1994. Impact of the convective activities over the western tropical Pacific warm pool on the intraseasonal variability of the East Asian summer monsoon [J]. Chin J Atmos Sci, 18(4): 456-465. (in Chinese).
- Li Chun, Ma Hao. 2012. Relationship between ENSO and winter rainfall over Southeast China and its decadal variability [J]. Adv Atmos Sci, 29(6): 1129-1141.
- 李琰,朱伟军.2010. 热带太平洋、印度洋海温异常对处于厄尔尼诺事件成熟期的东亚 Hadley 环流的影响[J]. 大气科学学报, 33(3): 355-364. Li Yan, Zhu Weijun. 2010. Effects of the SSTA over tropical Pacific Ocean and Indian Ocean on the Hadley Circulation over East Asia in the mature phase of El Nino event [J]. Trans Atmos Sci, 33(3): 355-364. (in Chinese).
- 林学椿.1978. 统计天气预报中相关系数的不稳定性问题[J]. 大气科学, 2(1): 55-63. Lin Xuechun. 1978. On the instability of correlation coefficients in the statistical weather prediction [J]. Chin J Atmos Sci, 2(1): 55-63. (in Chinese).
- 刘银峰,徐海明,雷正翠.2009. 2006年川渝地区夏季干旱的成因分析[J]. 大气科学学报, 32(5): 686-694. Liu Yinfeng, Xu Haiming, Lei Zhengcui. 2009. Possible causes for drought in Sichuan-Chongqing region in summer 2006 [J]. Trans Atmos Sci, 32(5): 686-694. (in Chinese).
- 毛睿,龚道溢,房巧敏.2007. 冬季东亚中纬度西风急流对我国气候的影响[J]. 应用气象学报, 18(2): 137-146. Mao Rui, Gong Daoyi, Fang Qiaomin. 2007. Influences of the East Asian jet stream on winter climate in China [J]. J Appl Meteor Sci, 18(2): 137-146. (in Chinese).
- 彭京备.2012. 东印度洋海温对中国南方冬季降水的影响[J]. 气候与环境研究, 17(3): 327-338. Peng Jingbei. 2012. Influence of the sea surface temperature in the Eastern Indian Ocean on the wintertime rainfall in the southern part of China [J]. Climatic Environ Res, 17(3): 327-338. (in Chinese).
- 索渺清,丁一汇.2009. 冬半年副热带南支西风槽结构和演变特征研究[J]. 大气科学, 33(3): 425-442. Suo Miaqing, Ding Yihui. 2009. The structures and evolutions of the wintertime southern branch trough in the subtropical westerlies [J]. Chin J Atmos Sci, 33(3): 425-442. (in Chinese).
- 陶诗言,张庆云.1998. 亚洲冬夏季风对 ENSO 事件的响应[J]. 大气科学, 22(4): 399-407. Tao Shiyan, Zhang Qingyun. 1998. Response of the Asian winter and summer monsoon to ENSO events [J]. Chin J Atmos Sci, 22(4): 399-407. (in Chinese).
- Wang B, Clemens S C, Liu P. 2003. Contrasting the Indian and East Asian

- monsoons; Implications on geologic timescales [J]. *Marine Geology*, 201(1): 5-21.
- Wu R, Hu Z Z, Kirtman B P. 2003. Evolution of ENSO-related rainfall anomalies in East Asia [J]. *J Climate*, 16: 3742-3758.
- 吴蔚, 温之平, 陈运光, 等. 2012. 华南冬春降水的年际变化及其与水汽输送的联系 [J]. *热带气象学报*, 28(2): 187-196. Wu Wei, Wen Zhiping, Chen Yunguang, et al. 2012. Interannual variability of winter and spring precipitation in South China and its relation to moisture transport [J]. *J Trop Meteor*, 28(2): 187-196. (in Chinese).
- Yeh T C. 1950. The circulation of the high troposphere over China in the winter of 1945—46 [J]. *Tellus*, 2: 173-183.
- Zhang R H, Sumi A. 2002. Moisture circulation over East Asia during El Nino episode in Northern winter, spring and autumn [J]. *J Meteor Soc Japan*, 80: 213-227.
- 张自银, 龚道溢, 郭栋, 等. 2009. 我国南方冬季异常低温和异常降水事件分析 [J]. *地理学报*, 63(9): 899-912. Zhang Ziyin, Gong Daoyi, Guo Dong, et al. 2009. Anomalous winter temperature and precipitation events in Southern China [J]. *Acta Geographica Sinica*, 63(9): 899-912. (in Chinese).
- Zhi Xiefei, Zhang Ling, Pan Jialu. 2010. An analysis of the winter extreme precipitation events on the background of climate warming in Southern China [J]. *J Trop Meteor*, 16(4): 325-332.
- 智协飞, 张玲, 潘嘉露. 2011. 我国南方冬季气候变暖前后极端降水事件分析 [J]. *热带气象学报*, 27(2): 166-172. Zhi Xiefei, Zhang Ling, Pan Jialu. 2011. An analysis of the winter extreme precipitation events on the background of Southern China climate warming [J]. *J Trop Meteor*, 27(2): 166-172. (in Chinese).
- Zhou L T, Wu R. 2010. Respective impacts of the East Asian winter monsoon and ENSO on winter rainfall in China [J]. *J Geophys Res*, 115, D0217. doi: 10. 1029/2009JD012502.
- Zhou L T, Tam C Y, Zhou W, et al. 2010. Influence of South China Sea sst and ENSO on winter rainfall over South China [J]. *Adv Atmos Sci*, 27: 832-844. doi: 10. 1007/s00376-009-9102-7.

(责任编辑:张福颖)