

何芬,赖绍钧,高建芸,等. 南极涛动对福建前汛期降水的预测意义[J]. 气象,2012,38(4):432-437.

# 南极涛动对福建前汛期降水的预测意义<sup>\*1</sup>

何 芬<sup>1</sup> 赖绍钧<sup>2</sup> 高建芸<sup>1</sup> 吴伟杰<sup>3</sup> 鲍瑞娟<sup>1</sup>

1 福建省气候中心,福州 350001

2 福建省福州市气象局,福州 350014

3 福建省厦门市气象局,厦门 361004

**提 要:** 利用 1979—2009 年逐月 NCEP/NCAR 再分析资料和福建省 66 站降水资料,分析了 3—4 月南极涛动(AAO)的变化对后期福建前汛期(5—6 月)降水的影响。结果表明:3—4 月平均的 AAO 指数与福建前汛期降水有很好的正相关性,前期 AAO 偏强时,后期前汛期降水偏多,反之亦然;且 AAO 异常时降水的同号率为 100%。对 AAO 异常年的分析发现,当前期 AAO 异常强时,后期北方冷空气活动频繁,南方暖湿气流输送强盛,在华南北部产生强烈锋生,导致福建前汛期降水偏多;反之,降水偏少。上述结论为福建前汛期降水预测提供了一条可行的新途径。

**关键词:** 南极涛动, 前汛期降水, 环流分析, 锋生函数

## Antarctic Oscillation's Significance for Prediction of Rainfall in May and June in Fujian

HE Fen<sup>1</sup> LAI Shaojun<sup>2</sup> GAO Jianyun<sup>1</sup> WU Weijie<sup>3</sup> BAO Ruijuan<sup>1</sup>

1 Fujian Climate Centre, Fuzhou 350001

2 Fuzhou Meteorological Service of Fujian Province, Fuzhou 350014

3 Xiamen Meteorological Service of Fujian Province, Xiamen 361004

**Abstract:** Using the monthly NCEP/NCAR reanalysis data and the rainfall data from 66 stations in Fujian from 1979 to 2009, this paper analyzes the influences of the variation of Antarctic Oscillation (AAO) in March and April on the rainfall before the flood season (May and June) in Fujian. The results show that there is a positive correlation between the March and April average AAO index and the rainfall before the flood season in Fujian. The stronger AAO index is correlated with more rainfall in May and June, and vice versa. And the positive AAO index anomaly is associated with the positive rainfall anomaly, and vice versa. Furthermore, the analysis of the AAO anomaly found that the significant strong AAO will be corresponding to more active cold air in the Northern China and the stronger wet and warm air in the Southern China. Therefore, the strong frontogenesis will occur in the northern South China, which may result in more rainfall in May and June, and vice versa. These findings may provide a new way to predict the rainfall that occurs before the flood season in Fujian.

**Key words:** Antarctic Oscillation (AAO), rainfall in May and June, circulation analysis, frontogenesis function

<sup>\*</sup> 福建省气象局开放式气象科学研究基金项目(2010K05)资助  
2010 年 12 月 16 日收稿; 2011 年 7 月 27 日收修定稿  
第一作者: 何芬,主要从事短期气候预测研究. Email:hefenlily@163.com

## 引 言

福建地处欧亚大陆东南边缘,处于东、西风带交替影响的过渡区和温带、热带各类天气系统频繁活动和经常影响的地区。其有两个多雨时期,一是5—6月,为梅雨季节,通称前汛期;二是7—9月为台风季,又称后汛期。梅雨是北方冷空气与来自低纬的暖湿气流交汇于南岭—武夷山一带形成的极锋性降水。这一时期的锋区很强,且位置又准定常地徘徊于华南北部,雨势较强,暴雨频繁,闽江、汀江等水系的严重洪水主要集中在这—时期<sup>[1]</sup>。因此,对前汛期降水预测的好坏直接影响着防汛的成败。

前人对福建天气气候进行了大量研究,取得了许多有意义的成果,但主要研究的是北半球中高纬环流或热带环流的影响<sup>[2-4]</sup>。有研究表明,季风本质上是由南北半球行星热对流环流和海陆热力差异共同造成的<sup>[5]</sup>,而且冬半球环流变化在两半球的相互作用过程中起积极主动的作用<sup>[6]</sup>,因此南半球的环流变化对东亚气候有重要的影响。

Gong等<sup>[6]</sup>首先对南极涛动(Antarctic Oscillation, AAO)进行了研究。南极涛动又称南半球环状模(Southern Annular Mode, SAM)<sup>[7]</sup>,是指南半球副热带高压带与高纬度绕极低压带之间气压场呈“跷跷板”式反位相变化的现象,其反映了南半球中纬度西风带的强弱变化,是南半球大气环流的基本模态,具有很强的纬向对称性。南极涛动的变化可用南极涛动指数来刻画,其通常的定义方法是,对南半球做了适当面积权重的对流层低层位势高度异常场进行经验正交分解(Empirical Orthogonal Function, EOF),将分解得到的第一主成分(Principal Component, PC1)做标准化处理后,作为南极涛动指数。一般规定正(负)指数时,对应极区位势高度偏低(高),中纬度位势高度偏高(低),中纬度急流南(北)移。

AAO作为存在于南半球中高纬地区的一种大气活动模态,其影响主要集中在南半球。但近年的一些研究表明,AAO与北半球大气环流也有密切关系。薛峰等<sup>[8]</sup>分析了南半球环流变化与东亚夏季风的关系,指出AAO是除ENSO之外另一个能够影响东亚夏季风降水年际变化的强信号。南素兰等<sup>[9-10]</sup>的工作指出,在年际尺度上,南半球春季的AAO指数和我国长江中下游夏季降水之间存在显

著的正相关关系。高辉等<sup>[11]</sup>利用相关和个例分析的方法揭示出AAO和我国东部夏季降水异常有密切的关系。当春季,尤其是5月份,AAO指数偏高(低)时,江淮流域的夏季降水常常偏多(少),梅雨出梅偏晚(早),梅期较长(短)。Fan等<sup>[12]</sup>针对AAO与中国北方沙尘频次的关系作了研究,结果表明南半球冬、春季节AAO与中国北方沙尘天气频次在年代和年际变化上有显著的反相关关系。范可等<sup>[13]</sup>还研究了AAO与东亚冬春季气候的联系,发现AAO强年不利于东亚冬、春两季冷空气的活动,并指出局地经向遥相关是冬、春两季中南北半球中高纬大气环流相互作用的一个可能途径,并在随后的研究中<sup>[14]</sup>,利用IAP9L-AGCM模式证实了冬、春季节AAO异常下两半球高纬间的经向遥相关存在。鲍学俊等<sup>[15]</sup>分析了4—5月AAO的变化对后期中国东部夏季降水的影响,结果表明,在年际尺度上,4—5月平均的AAO指数和6—7月长江流域降水为正相关关系,前期AAO偏高(低),后期6—7月长江流域降水将增加(减少)。但目前对AAO与我国降水联系的研究主要集中在中高纬,对AAO与福建前汛期(包括华南前汛期)的联系的研究仍然较少,本文分析了福建前汛期降水与前期(3—4月)AAO指数的关系,结果表明,前期3—4月AAO的强弱变化对后期前汛期降水有显著的影响。本文的研究结果对福建前汛期降水的预报起到一定的参考作用。

## 1 资 料

本文所用的资料是从NOAA的CPC(Climate Prediction Center)网站(<http://www.cpc.ncep.noaa.gov>)下载的1979—2009年标准化的逐月南极涛动指数AAOI(AAO index)<sup>[16]</sup>,正(负)AAOI代表南半球中高纬(55°~60°S)地区出现西(东)风异常;NCEP/NCAR逐月再分析资料<sup>[17]</sup>(500 hPa位势高度场、850 hPa风场、比湿场),该资料水平分辨率为 $2.5^{\circ}\times 2.5^{\circ}$ ;福建省66站1979—2009年5—6月降水量,将66站平均作为福建省的降水量。多年平均值采用1979—2009年31年的平均。

## 2 福建前汛期降水与前期AAO的关系

计算冬季(前一年12—2月)与春季(3—4月)

AAO 与福建前汛期(5—6 月)降水的相关系数,表明 3—4 月平均的 AAO 序列与福建前汛期降水序列的相关性最好,相关系数为 0.36,通过 0.05 的显著性水平检验。图 1 是 3—4 月平均的 AAO 指数与福建前汛期降水标准化序列的比较,可见 3—4 月 AAO 偏强的年份,后期福建前汛期降水偏多,反之降水偏少。

因为上述关系不是同时的,所以 3—4 月 AAO 指数可以用来作为福建前汛期降水年际异常预测的一个有用指标。如果仅仅检查两者的符号对应关系,则 AAO 指数为正的 17 年中,其中降水为正和负的分别有 13 和 4 次;AAO 指数为负的 14 年中,其中降水为正和负的分别有 3 和 11 次。同号的对应关系分别为 76.5%和 78.6%,可见准确率还是较高的。为了分析 AAO 异常对随后前汛期降水的影响,将  $AAOI \geq 0.5$  定义为正异常,  $AAOI \leq -0.5$  定义为负异常,表 1 给出了不同强度的 AAO 指数对应的降水距平符号的情况,可见,AAO 正异常的 4 年,降水全部是正距平,而 AAO 负异常的 6 年,降水也全部是负距平,同号率均为 100%。为了检查这种关系在统计上的显著性,进行了  $\chi^2$  检验<sup>[18]</sup>。计算  $\chi^2$  值,即:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^6 \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

式中  $O_i$  为观测的频次,  $E_i$  为理论频次(表 1 括号内),结果表明  $\chi^2 = 10.307$ ,远通过 0.05 显著性水平检验。说明强的 AAO 异常对随后前汛期降水的影响是显著的。用春季的 AAO 指数作为福建省前汛期降水的预测因子有一定的指示意义。

为了考察 3—4 月 AAO 指数变化对福建省前汛期降水的具体影响,用 AAO 指数与福建前汛期

表 1 AAO 指数与福建前汛期降水的符号统计  
(括号中为理论频次)

Table 1 Statistics of standardized AAO index averaged over March to April and the May to June rainfall sign sequence in Fujian (Theoretical frequency in brackets)

	R+	R-	总数
$AAOI \geq 0.5$	4(2.1)	0(1.9)	4
$-0.5 \leq AAOI \leq 0.5$	12(10.8)	9(10.2)	21
$AAOI \leq -0.5$	0(3.1)	6(2.9)	6
总数	16	15	31

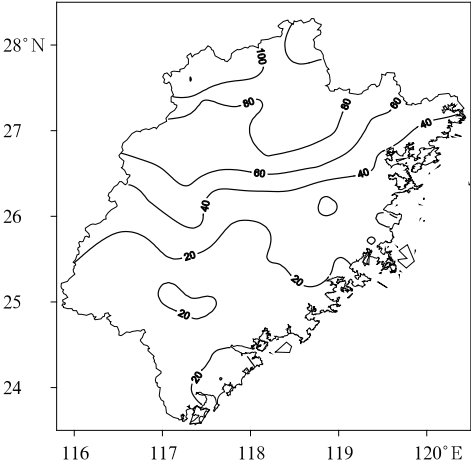


图 2 福建省前汛期(5—6 月)降水距平与 3—4 月平均 AAO 指数的线性回归分布(单位:mm)

Fig. 2 Linear regression distribution of May and June precipitation anomaly when the averaged AAO index of March and April changes one standard deviation (unit: mm)

降水距平的线性回归斜率乘以 AAO 指数的标准差所得之积的分布,代表 AAO 变化一个标准差时的降水距平分布,如图 2。可见,当 3—4 月 AAO 指数偏强(弱)时,随后的前汛期降水将增多(减少),各站的增多在 3~121 mm 之间,并由北向南逐渐递减。

3 AAO 异常年的环流和诊断分析

选取 3—4 月 AAO 异常强的 4 年和异常弱的 6 年,对其后期的福建前汛期环流进行分析以揭示前期 AAO 异常对福建前汛期环流异常的影响。

3.1 500 hPa 位势高度场

图3给出了3—4月AAO异常年的5—6月500 hPa

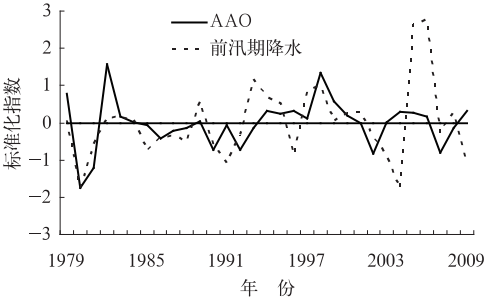


图 1 标准化的 3—4 月平均的 AAO 指数与福建前汛期降水序列

Fig. 1 Standardized AAO index averaged over March and April (solid line) and the May to June rainfall sequence in Fujian (dash line)

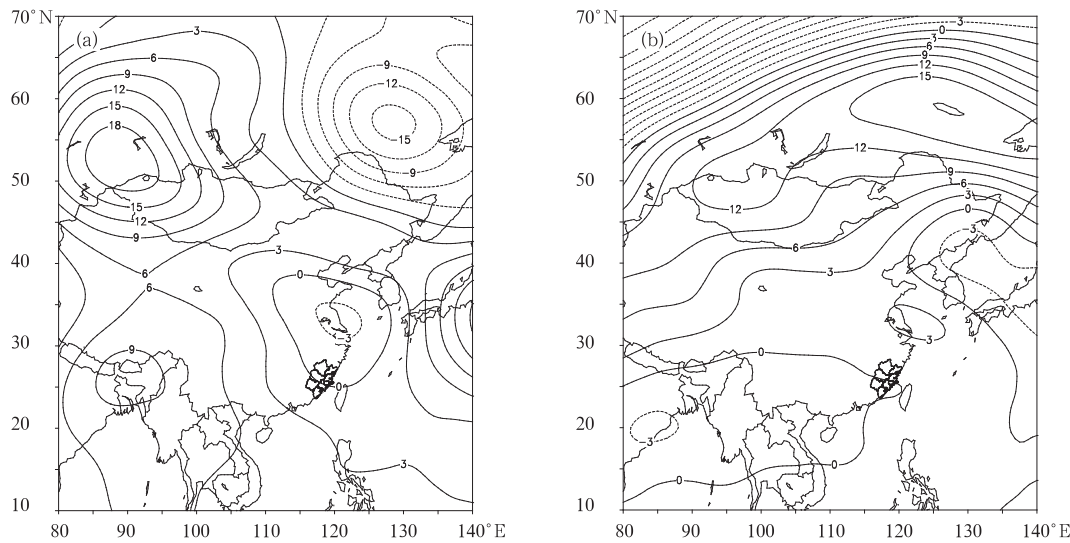


图 3 3—4 月 AAO 异常强(a)和异常弱(b)年的 5—6 月 500 hPa 距平分布图(单位:gpm)  
Fig. 3 Averaged May and June 500 hPa height anomaly between AAO stronger years (a) and weaker years (b) over March and April (unit: gpm)

距平分布情况。由图 3 可见,当前期 AAO 异常时,对后期低纬地区环流的影响并不明显,明显的差异出现在中、高纬度地区。主要表现为,当前期 AAO 异常强(图 3a)时,外兴安岭及中国东部为负高度距平所控制,负距平中心位于外兴安岭,这表明冷空气较活跃并在高空低槽后的西北气流的引导扩散南下进而影响到福建地区,与暖湿气流的作用导致福建前汛期降水偏多。而前期 AAO 异常弱(图 3b)时的情况正好相反,外兴安岭为正高度距平所控制,表明冷空气活动弱。

3.2 850 hPa 水汽输送

每年 5—6 月,南海季风爆发,向华南输送大量

的暖湿空气。图 4 是 3—4 月 AAO 异常年的 5—6 月从地面至 300 hPa 整层垂直积分的水汽通量输送。可见,AAO 异常强和弱年的水汽输送是有明显差别的。AAO 异常强年(图 4a),福建省的水汽通量超过  $200\text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ,闽西局部地区超过  $250\text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ,而 AAO 异常弱年(图 4b),水汽通量超过  $200\text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$  的强水汽主要位于福建省的中北部。从水汽输送的源地看,AAO 异常强年的水汽除了来源于孟加拉湾外,还有一支来自南海的水汽,而 AAO 异常弱年南海的水汽较弱。可见,前期 AAO 异常强年,西南和东南两支水汽共同输送,使得福建省的水汽条件优于 AAO 异常弱年,这有利于前汛期福建降水偏多。

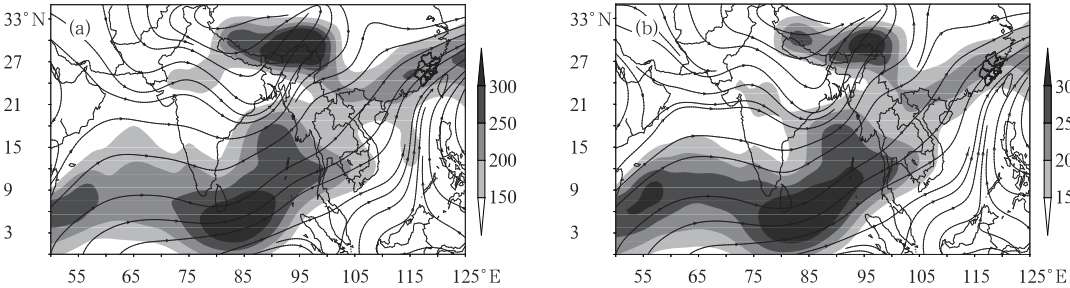


图 4 3—4 月 AAO 异常强(a)和异常弱(b)年的 5—6 月垂直积分(地表到 300 hPa)的水汽输送通量(单位: $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ )  
(阴影部分表示水汽输送大于  $150\text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$  的地区)

Fig. 4 The vertical integral of vapor fluxes averaged over May and June between AAO stronger years (a) and weaker years (b) in March and April (unit:  $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$ )  
(The shade indicates the region with more than  $150\text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$  moisture transportation)

3.3 锋生函数

福建梅雨是北方冷空气与来自低纬的暖湿气流交汇于南岭—武夷山一带形成的极锋性降水,这一时期的锋区很强,且位置又准定常地徘徊于华南北部。为了便于研究梅雨锋,本文引入了水平锋生函数<sup>[19]</sup>。

$p$  坐标中水平锋生函数的计算公式为<sup>[20]</sup>:

$$F_n = \frac{d|\nabla\theta_{se}|}{dt} = -\frac{|\nabla\theta_{se}|}{2}D + \frac{|\nabla\theta_{se}|}{2}(E_{st}^2 + E_{st}^2)^{\frac{1}{2}}\cos 2\beta \tag{1}$$

式中

$$D = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \tag{2}$$

$$E_{st} = \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} \tag{3}$$

$$E_{st} = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \tag{4}$$

$F_n > 0$  为锋生,  $F_n < 0$  为锋消。式(1)中  $\theta_{se}$  为假相当位温,第一项是散度项,有水平辐合时,会产生锋生,水平辐散时,产生锋消;第二项是变形项,  $\beta$  为变形向量膨胀轴与  $\theta_{se}$  等值线的交角,  $\beta < 45^\circ$  时,有锋生,  $\beta > 45^\circ$  时,有锋消,  $\beta = 0$  时,锋生作用最大。

图 5 给出了 3—4 月 AAO 异常年的 5—6 月 850 hPa 水平锋生函数。无论是前期 AAO 异常强或是异常弱的年份,后期在华南北部都有锋生,但锋区的强度不同,AAO 异常强年(图 5a)的锋生要强于 AAO 异常弱年(图 5b),而前汛期降水偏多与强锋区有密切关系。AAO 异常强的年份,强盛的暖湿气流与频繁南下的冷空气在华南北部相对峙,造成强烈锋生,锋生所产生的强烈抬升造成了天气的剧烈发展,使得福建前汛期的暴雨更为频繁,雨势更强。

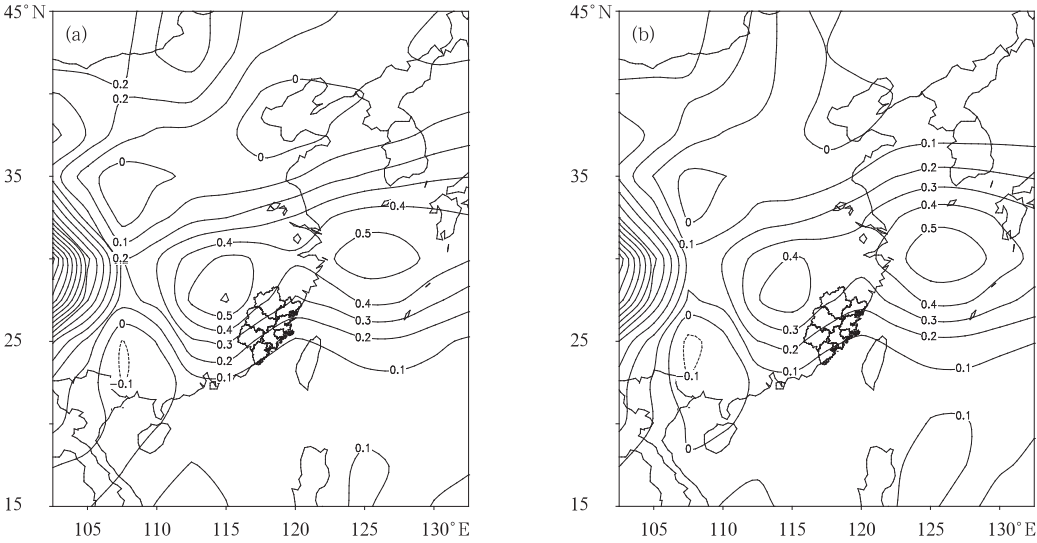


图 5 3—4 月 AAO 异常强(a)和异常弱(b)年的 5—6 月 850 hPa 水平锋生函数(单位:  $10^{-10} \text{ K} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )

Fig. 5 Averaged May and June 850 hPa frontogenesis function between AAO stronger years (a) and weaker years (b) over March and April (unit:  $10^{-10} \text{ K} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )

4 结论与讨论

相关分析和异常年分析揭示了春季南极涛动与福建省前汛期降水密切联系,前期南极涛动对福建前汛期降水有较好的预测指示意义,可作为福建前汛期降水预测的一种新手段,主要结论如下:

(1) 福建前汛期降水多寡与前期 3—4 月南极

涛动存在联系,当前期南极涛动偏强时,福建前汛期降水偏多,且强的 AAO 异常与前汛期降水有稳定的对应关系,同号率为 100%。

(2) 对 AAO 异常年的分析表明,前期的 AAO 变化通过影响后期的环流进而影响福建前汛期降水。当 AAO 异常强时,北方冷空气活动频繁,南方暖湿气流输送强盛,在华南北部产生强烈锋生,导致福建前汛期降水偏多。反之,降水偏少。

本文研究表明,作为南半球环流年际变化的强信号,南极涛动的前期变化会影响到后期福建的降水。其可能的过程是<sup>[21-23]</sup>:AAO 的增强,首先使马斯克林高压增强,当马斯克林高压增强后索马里急流和印度夏季风环流增强,马斯克林高压的加强还使其下游的澳大利亚高压以及印尼附近的越赤道气流增强,从而使得北半球夏季风活跃。而越赤道气流尤其是索马里急流的加强将使东亚沿岸大气环流出现波列状异常分布,并加强了南半球向北半球的水汽输送,使得南海夏季风爆发后将水汽源源不断地输送到福建,有利于前汛期降水增多。

值得指出的是,在本文研究中所使用的都是未经滤波处理的数据,根据前人的研究,东亚降水和 AAO 自身都和 ENSO 存在显著的相关<sup>[24-25]</sup>。但由于福建省前汛期降水有其自身的独特性,其季节的划分与东亚的自然季节划分有所不同,作者对福建省前汛期降水与 ENSO 关系进行了分析,发现两者之间的相关性是很低的,前期或同期 ENSO 的状态对福建省前汛期降水的多寡也没有必然联系,这与文献[24]的结论是不同的。虽然 ENSO 与福建前汛期降水没有直接联系,但是文献[25]指出,无论月际还是年际尺度的 AAO 变化都与 ENSO 存在一定的关联,在今后的研究中,需要进一步研究 ENSO 等外部强迫是如何通过影响 AAO 进而影响福建前汛期降水的内在机理,不断检验 AAO 对福建前汛期降水的预测能力。

## 参考文献

- [1] 鹿世瑾. 福建气候[M]. 北京:气象出版社,1999:2-3.
- [2] 许金镜,唐文伟,林仲平. 副高持续偏强对福建气候的影响[J]. 气象,1997,23(1):36-37.
- [3] 黄文堂. 近 50 年福建气温、降水变化的统计特征[J]. 气象,1994,20(7):19-25.
- [4] 吴滨. 青藏高原东部积雪与影响福建的热带气旋频数[J]. 气象,2000,26(12):20-23.
- [5] 曾庆存,李建平. 南北两半球大气的相互作用和季风的本质[J]. 大气科学,2002,26(4):433-448.
- [6] Gong Daoyi, Wang Shaowu. Definition of Antarctic oscillation index[J]. Geophys Res Lett, 1999, 26(4):459-462.
- [7] Thompson D W J, Wallace J M. Annular modes in the extra-tropical circulation. Part I: Month to month variability[J]. J

Climate, 2000, 13(5):1000-1016.

- [8] 薛峰,王会军,何金海. 马斯克林高压和澳大利亚高压的年际变化及其对东亚夏季风降水的影响[J]. 科学通报, 2003, 48(3):287-291.
- [9] Nan S, Li J. The relationship between the summer precipitation in the Yangtze River valley and the boreal spring Southern Hemisphere annular mode[J]. Geophys Res Lett, 2003, 30:2266, doi:10.1029/2003GL018381.
- [10] 南素兰,李建平. 春季南半球环状模与长江流域夏季降水的关系:I 基本事实[J]. 气象学报, 2005, 63(6):837-846.
- [11] 高辉,薛峰,王会军. 南极涛动年际变化对江淮梅雨的影响及预报意义[J]. 科学通报, 2003, 48(3):87-92.
- [12] Fan K, Wang H J. Antarctic Oscillation and the dust weather frequency in North China[J]. Geophys Res Lett, 2004, 31, L10201, doi:1029/2004GL019465.
- [13] 范可,王会军. 南极涛动的年际变化及其对东亚冬春季气候的影响[J]. 中国科学(D 辑)地球科学, 2006, 36(4):385-391.
- [14] 范可,王会军. 南极涛动异常及其对冬春季北半球大气环流影响的数值模拟试验[J]. 地球物理学报, 2007, 50(2):398-403.
- [15] 鲍学俊,王盘兴,覃军. 南极涛动与江淮梅雨异常的时滞相关分析[J]. 南京气象学院学报, 2006, 29(3):348-352.
- [16] Mo K C. Relationships between low-frequency variability in the Southern Hemisphere and sea surface temperature anomalies[J]. J Climate, 2000, 13:3599-3610.
- [17] Kistler R, Kalnay E, Collins W, et al. The NCEP-NCAR 50-year reanalysis: Monthly means CD-ROM and documentation [J]. Bull Amer Meteor Soc, 2001, 82:247-267.
- [18] 龚道溢. 北极涛动对东亚夏季降水的预测意义[J]. 气象, 2003, 29(6):3-6.
- [19] 尹东屏,张备,孙燕,等. 2003 年和 2006 年梅汛期暴雨的梅雨锋特征分析[J]. 气象, 2010, 36(6):1-6.
- [20] 刘建文,郭虎,李耀东,等. 天气分析预报物理量计算基础[M]. 北京:气象出版社, 2008:226-235.
- [21] 何金海,陈丽臻. 南半球中纬度准 40 天振荡及其与北半球夏季风的关系[J]. 南京气象学院学报, 1989, 12(1):11-18.
- [22] 薛峰. 南半球环流变化对东亚夏季风的影响[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(3):401-408.
- [23] 王会军,薛峰. 索马里急流的年际变化及其对半球间水汽输送和东亚夏季降水的影响[J]. 地球物理学报, 2003, 46(1):18-25.
- [24] Bo Wu, Tianjun Zhou, Tim Li. Seasonally evolving dominant interannual variability modes of East Asian climate[J]. J Climate, 2009, 22(1):2992-3005.
- [25] Zhou Tianjun, Yu Rucong. Sea-surface temperature induced variability of the Southern Annular Mode in an atmospheric general circulation model[J]. Geophys Res Lett, 2004, 31: L24206. doi: 10.1029/2004GL021473.