

北极涛动对东亚夏季降水的预测意义^①

龚道溢

(北京师范大学资源科学研究所 环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 100875)

提 要

分析了春季北极涛动(AO)指数的变化对梅雨—Changma—Baiu带夏季降水年际变化的影响。对观测的东亚10个站的降水长序列资料(1899~1999年),进行滤波处理,保留10年以下的年际时间尺度的变化,再进行相关分析。结果表明,近百年的5月北极涛动指数与10站夏季平均降水相关最高达-0.45,超过99%信度水平。当北极涛动偏强一个标准差时,整个长江中下游地区到日本南部一带,降水减少平均约8%左右。降水的这种变化与对流层东亚急流的变化密切相关:春季北极涛动强时,随后夏季急流位置通常偏北,雨带位置也北移,从而造成梅雨—Changma—Baiu带降水减少,反之亦然。较强的AO异常对降水的影响更明显,而较弱的AO与降水异常的对应关系并不显著。这对东亚夏季年际降水异常具有一定的预测意义。

关键词: 北极涛动(AO) 夏季降水 预测

引 言

北极涛动(Arctic Oscillation 简称为AO,也称环状模态,即 Annular Mode)是冬半年北半球中高纬度地区大气环流尺度最大、最重要的模态^[1,2]。一直到春季此模态都很显著。AO对冬、春季北半球近地面许多气候要素都有显著影响^[3,4]。不过此前研究大都关注AO与同期气候变化的关系,而很少关注其对滞后的夏季气候的可能影响。近来有研究指出,在年际尺度上,春季AO指数的强弱对夏季长江中下游地区降水的波动也有显著影响^[5,6]。因为梅雨不仅仅是长江中下游地区的一个区域现象,而是一个大尺度的季风降水现象,除了长江中下游的梅雨外,还包括日本南部的“Baiu”和朝鲜半岛南部的“Changma”。因此,AO对夏季季风降水的影响除了长江中下游地区外,还应该体现在整

个季风雨带的降水上。本研究选择这个带上分布比较均匀的10个站,来分析整个雨带降水量与AO指数的关系。结果发现,在年际尺度上前期春季AO的强弱,与随后夏季梅雨—Changma—Baiu带的降水有显著的相关。

1 资 料

选择的10个站包括长江中下游的6个站,以及日本的4个。这些站分别是:上海、南京、九江、武汉、长沙、贵阳、东京、大阪、鹿儿岛和对马岛。中国6个站降水量资料取自全国35站季降水量资料集^[7]。日本4个站月降水量资料取自全球历史气候网资料集(GHCN2)^[8]。AO指数为北半球热带外海平面气压经验正交函数分析的第一时间系数^[1]。所有资料都处理为相同的时间段(1899~1999)。因为主要考虑年际尺度的变

① 国家重点基础研究发展规划项目(G1998040900)和国家自然科学基金项目(40105007)资助。

化,所以所有资料在分析前都首先进行了滤波处理,只保留10年以内的波动。滤波处理后前4年和最后4年的资料去掉,以避免边缘误差。这样最后保留的资料长度为93年,即1903~1995年。

2 结果

计算10站滤波后夏季降水序列与5月AO指数的相关系数,滤波后计算的相关从-0.20到-0.42之间,都达到95%的信度水平。分别为上海-0.27(-0.25),南京-0.24(-0.14),九江-0.27(-0.20),武汉-0.42(-0.29),贵阳-0.21(-0.12),长沙-0.23(-0.19),东京-0.20(-0.12),大阪-0.37(-0.32),鹿儿岛-0.35(-0.24),对马岛-0.21(-0.19)。这里为比较,未滤波的结果也在括号中给出。不过10站平均降水量与AO的相关远高于单站的相关($r = -0.45$),这说明单站降水可能受局地因素影响太大,区域平均则能更明显地突出AO的影响,也说明AO的确对整个雨带降水有明显影响。如果比较一下没有滤波计算的相关,就会发现相关都有明显的下降。这表明AO的影响也主要是在年际尺度上。因为各个站降水量是不同的,高的相关并不一定代表有很大的降水量的变化。如果以百分比的形式表示,则可以进行比较。计算结果表明当AO偏强一个标准差时,各站降水量偏少在4.6%~14.5%之间,平均为-8.4%。

作者也计算了其他各月及季节平均AO指数与夏季降水的滞后关系,从1月到8月,各月AO指数与夏季降水的相关分别是-0.04, -0.01, -0.10, 0.06, -0.45, -0.24, -0.08, -0.13。从1月到8月每3个月滑动平均的AO指数与夏季降水的相关分别是-0.07, -0.04, -0.21, -0.32, -0.44, -0.25。可见从春季开始AO与东亚夏季降水就有明显的相关,但是所有相关中以5月AO指数与夏季降水的关系最强。

因为上述关系不是同时的,所以5月AO指数可以用来作为夏季梅雨—Changma—Baiu带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AO指数为负的44年中,其中降水为正和负的分别有27次和17次;AO指数为正的49年中,其中降水为正和负的分别有18次和31次。反号的对应关系分别为61.3%和62.4%,可见准确率并不很高。但是从图1中可以看到,几个降水异常偏多的年份如1954、1969、1980、1993年等,对应的5月AO指数也都是极小值。总的看来,一些较明显的异常对应关系比较好。降水距平最低的10年(1978、1913、1992、1994、1981、1904、1944、1955、1990、1952)中,只有2年(1913、1952)AO指数为负。降水距平最高的10年(1954、1969、1980、1993、1911、1991、1957、1962、1905、1935)中,只有3年(1911、1991和1905年)5月AO指数为正。为了分析不同强度的AO指数对随后夏季降水距平符号的关系,作者将5月AO指数分成了3类,即较强的AO正异常($AO > 0.5\sigma$)、弱或者正常的AO指数($-0.5\sigma \leq AO \leq 0.5\sigma$),以及较强的AO负异常($AO < -0.5\sigma$)。这三类分别占总年份的31%、40%和29%。再分别统计3种情况下夏季降水距平的符号(正或负两种情况),表1中给出了结果。很明显,较强的AO正距平的情况下夏季降水出现负距平的概率要明显高于降水正距平出现的概率;反之,较强的AO负距平的情况下夏季降水出现正距平的概率要明显高于降水负距平出现的概率。为了检查这种关系在统计上的显著性,进行了 χ^2 检验。计算 χ^2 值,即:

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

这里 O_i 为观测的频次, E_i 为理论频次,结果表明 $\chi^2 = 7.26$,远超过95%的信度水平阈值。说明较强的AO指数正距平或者负距

平,对随后夏季降水的影响是显著的。而比较弱的 AO 指数波动对夏季降水的影响则不明显。 $-0.5\sigma \leq AO \leq 0.5\sigma$ 的年份有 37 年, $-0.5\sigma \leq AO < 0$ 及 $0 \leq AO < 0.5\sigma$ 的分别有 17 和 20 年,这两种情况下夏季降水正距平和负距平的出现频率分别为 9 次和 8 次,及 9 次和 11 次,都和理论频次很接近,说明 AO 距平较小时降水的对应变化不显著。此外,不仅是降水距平符号,降水距平的值与 5 月 AO 指数的关系也是如此。较强的 AO 正距平的情况下,夏季平均降水距平显著偏少,较强的 AO 负距平的情况下,夏季平均降水距平明显偏高, t 检验值为 -3.84 ,说明两种情况下降水平均值的差异也是显著的(超过 99.9% 的信度水平)。值得指出的是,如果只看距平符号对应关系,准确率为 67.9%,并不很高。不过表 1 中只列出了以 0.5σ 为阈值时的统计情况,当以 1σ 为阈值时,符号准确率有所提高,5 月 AO 低于 -1σ 的 16 年中,降水距平为正的年份有 11 年,5 月 AO 高于 1σ 的 13 年中,夏季降水距平为负的有 10 年,符号准确率为 72.4%。这也说明强的 AO 异常与降水关系的对应关系更稳定些。

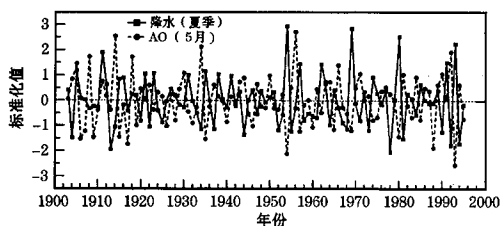


图 1 5 月 AO 指数与东亚 10 站夏季平均降水序列滤波结果,仅仅保留 10 年以下的年际时间尺度变化,都已标准化

表 1 5 月 AO 指数与夏季降水异常的符号统计

	R+	R-	总数
$AO > 0.5\sigma$	9(14.0)	20(15.0)	29
$-0.5\sigma \leq AO \leq 0.5\sigma$	18(17.9)	19(19.1)	37
$AO < -0.5\sigma$	18(13.1)	9(13.9)	27
总数	45	48	93

括号中为理论频次

3 讨论

Lau 等^[9]曾指出东亚夏季风及夏季风降水相联系的环流形势在对流层上层一个重要特征是东亚地区从南到北带状纬向风异常的正、负相间分布,并用 $40 \sim 50^\circ\text{N}$ 、 $110 \sim 150^\circ\text{E}$ 以及 $25 \sim 35^\circ\text{N}$ 、 $110 \sim 150^\circ\text{E}$ 两个区的平均 200hPa 纬向风的差来定义东亚夏季风指数。从图 2 中可以看到,5 月份的 AO 指数与夏季纬向风的回归关系也同样出现南北相间分布的带状特征,沿 30°N 左右的负值中心从中东一直延伸到中太平洋,而在其南和北两侧则是正的中心区。强的中心与定义东亚夏季风的中心区也是基本吻合的,不过南边的中心区比其定义偏北约 $2 \sim 3$ 个纬度。总体看特征有很好的一致性。图 3 中给出了其定

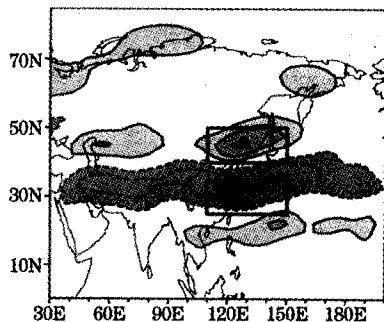


图 2 5 月 AO 指数与夏季 200hPa 纬向风的回归系数对应于当 AO 变化一个单位标准差时相应纬向风的变化量

等值线间隔 $0.5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 0 线省略。NCEP/NCAR 再分析资料。图中 2 个方框为定义东亚夏季风指数^[9]使用的两个区域。

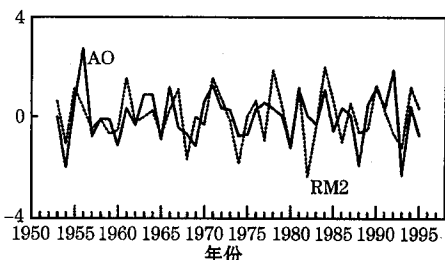


图 3 5 月 AO 指数与东亚夏季风指数^[9]年际波动的比较

均已标准化

义的东亚夏季风指数(RM2)和5月AO指数的变化序列,一些异常年份如1954和1956年等,二者基本吻合。两个序列之间有显著的相关,相关系数达到0.46(见表2)。这些都说明5月AO的状况对东亚夏季风环流有显著的影响,因此影响到夏季风降水。

表2 5月北极涛动(AO5)、东亚夏季风指数(RM2)^[9]及10站平均降水(R10)之间的关系

	AO5	RM2	R10
AO5	1	0.46	-0.58
RM2		1	-0.48
R10			1

1949~1999年高通滤波资料计算。表中相关都超过99%的信度水平。

不过,5月的AO与东亚夏季风环流是通过什么机制联系起来的还不清楚,而这个问题对加深理解AO对东亚夏季风的影响,以及提高夏季降水预测水平都有理论和实际意义。这个问题还有待今后更深入的研究。

参考文献

1 Tompson, D. W. J., and J. M. Wallace. The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields. *Geophysical Research Letters*, 1998, 25:1297—1300.

2 Thompson, D. W. J., and J. M. Wallace. Annular modes in the extratropical circulation, Part I: Month-to-month variability. *Journal of Climate*, 2000, 13:1000—1016.

3 Tompson, D. W. J., J. M. Wallace, and G. C. Hegerl. 2000. Annular modes in the extratropical circulation, Part II: Trends. *Journal of Climate*, 13:1018—1036.

4 Thompson, D. W. J., and J. M. Wallace. Regional climate impacts of the Northern Hemisphere annular mode. *Science*, 2001, 293:85—89.

5 龚道溢,朱锦红,王绍武.长江流域夏季降水与前期AO的显著相关. *科学通报*. 2002, 47(7): 546—549.

6 Gong D. Y., C. H. Ho. Can Arctic Oscillation impact the East Asian summer monsoon? *CLIVAR-Exchanges*, 2002, 7(1):18—20.

7 王绍武,龚道溢,叶瑾琳,陈振华. 1880年以来中国东部四季降水量序列及其变率. *地理学报*, 2000, 55(3):281—293.

8 Vose, R. S., R. L. Schmoyer, P. M. Steurer, et al. The Global Historical Climatology Network: Long-term monthly temperature, precipitation, sea level pressure, and station pressure data. NDP-041. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee. 1992.

9 Lau, K. M., K. M. Kim, and S. Yang. Dynamical and boundary forcing characteristics of regional components of the Asian summer monsoon. *Journal of Climate*, 2000, 13, 2461—2482.

Arctic Oscillation's Significance for Prediction of East Asian Summer Monsoon Rainfall

Gong Daoyi

(Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, Institute of Resources Science, Beijing Normal University, 100875)

Abstract

The influence of spring Arctic Oscillation (AO) on the summer rainfall over Meiyu—Changma—Baiu regions is analyzed. Here the precipitation observations for period 1899—1999 for ten stations located in these regions are employed. Results show that on the interannual time scale, the correlation between 10-station-mean precipitation and May AO is -0.45, significant at 99% confidence level. There are about 8% decrease of summer rainfall in association with a one standard deviation stronger AO, and vice versa. The responsible atmospheric circulation displays a north shift of the jet stream. It is also found that the larger anomalies of AO are usually followed by more significant variations of rainfall; whereas, the relations are not evident in the small-AO-anomaly conditions. This is helpful for East Asian summer rainfall prediction.

Key Words: Arctic Oscillation East Asian summer rainfall prediction