

长江流域夏季降水与前期北极涛动的显著相关

龚道溢^① 朱锦红^② 王绍武^②

(^①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, 北京 100875; ^②北京大学物理学院大气科学系,

北京 100871. E-mail: gdy@pku.edu.cn)

摘要 分析了春季北极涛动的变化对随后夏季长江中、下游地区降水的影响. 利用观测的降水长序列资料, 进行带通滤波处理去掉 10 年以上时间尺度的变化, 结果表明在年际尺度上, 近百年的 5 月北极涛动指数与夏季降水相关最高达 -0.39, 超过 99% 信度水平. 当北极涛动偏强一个标准差时, 整个中国长江中、下游地区到日本南部一带, 降水减少 3%~9% 左右, 而中国华北到俄罗斯远东地区则偏多 3%~6% 左右. 降水的这种变化与对流层东亚急流的变化密切相关, 如果春季北极涛动强, 随后夏季急流位置偏北, 雨带位置也北移, 从而造成长江中、下游地区降水的减少和北方降水的增加, 反之亦然. 这为汛期降水的预测提供了有用的信号.

关键词 长江流域 降水 北极涛动(AO)

夏季降水的季度或年度预测是目前气候学研究的一个重要方面. 长江中、下游地区夏季降水的预测是我国每年汛期降水预测的一个非常重要的内容. 许多研究表明, 影响我国夏季降水异常的因子有很多, 包括赤道东太平洋海温、西太平洋暖池、亚欧大陆和青藏高原冬和春季积雪、西北太平洋副热带高压及太阳活动等许多内外强迫因子^[1,2]. 而一些研究表明, 中、高纬度环流和下边界条件对夏季气候系统的影响也是非常重要的. 冬半年北半球中、高纬度地区大气环流尺度最大、最重要的模态是北极涛动(AO). AO 对冬、春季北半球近地面许多气候要素都有显著影响, 包括气温^[3,4]、降水^[3,5]、海冰^[6]、大气活动中心^[7,8]和极端气候事件等^[9]. 不过这些研究大都关注 AO 对同期的气候变化的关系, 而很少关注对之后的夏季气候的可能影响. 本研究发现在年际尺度上前期春季 AO 的强弱与随后夏季长江中、下游地区的降水有显著的相关.

1 资料与方法

降水资料包括长江中、下游地区 30 多个站点降水量, 取自全国 160 站月降水数据集(1951 年以来); 其中上海、南京、九江、武汉、长沙和宜昌等 6 个站有自 1880 年以来的季的降水量序列^[10]. 另外还有 Hulme 全球陆地 5°×5°月降水量资料(1900~1998 年)^[11]. 大气环流资料为再分析资料(NCEP/NCAR), 自 1958 年以来 AO 指数序列根据 Thompson 等人^[12]的定义.

许多研究都表明, 长江中、下游地区的降水有显著的年代际变化, 考虑到 AO 主要是一

个大气现象, 而且有很强的年际变率, 为突出 AO 信号, 所有分析主要集中在年际时间尺度上. 在分析之前利用 Gauss 9 点滤波器, 对所有的时间系列进行滤波. 权重系数分别是 0.01, 0.05, 0.12, 0.20, 0.24, 0.20, 0.12, 0.05 和 0.01. 滤波后去掉了 10 年以上尺度的波动, 仅仅保留了其年际变化. 为了消除边缘效应可能造成的影响, 所有滤波结果都分别去掉了开始和最后的 4 年.

2 结果

在 105°E 以东, 27°~33°N 范围内有 32 个台站分布比较均匀, 能较好反映长江中、下游地区降水. 当然其中有些站可能位置上属于淮河流域, 但考虑到本文关心的是较大范围的降水情况, 因此没有再区分其中的差别. 这 32 站夏季平均降水量序列与春季 AO 有明显的负相关, 为 -0.30, 春季的几个月份中以 5 月份的相关最显著($r = -0.37$), 达到 95% 信度水平. 由于序列比较短, 这种关系是否稳定和显著还可以用更长的降水序列来进行检验. 上海、南京、九江、武汉、长沙和宜昌都有自 1880 年以来的夏季降水量序列资料, 而这 6 个站的平均夏季降水量也与 32 个站平均序列之间有很好的关系, 1951~1999 年的相关系数达 0.92. 因此, 用 6 个站也能较好代表长江中、下游地区降水量变化. 这 6 站平均降水序列也与 5 月份 AO 的相关最高, 达 -0.39, 超过 99.9% 信度水平(表 1). 图 1 中给出了 5 月份 AO 与 6 站平均夏季降水序列, 二者显然有很好的反向变化关系. 这些显著的相关说明在春季(尤其是 5 月份)的 AO 偏强的年份里, 随

表 1 AO 与夏季降水的相关统计

	春季 AO	5 月 AO	资料年限
32 站平均降水	-0.30 ^{a)}	-0.37 ^{b)}	1951~1999
6 站平均降水	-0.24 ^{b)}	-0.39 ^{c)}	1899~1999

a) 达 90% 信度水平; b) 达 95% 信度水平; c) 达 99.9% 信度水平

后的夏季长江中、下游地区的降水也容易出现偏少的情况, 而当 AO 偏弱时降水则容易偏多.

长江中、下游夏季降水主要体现为梅雨. 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, 除了中国长江中、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. 下面利用 Hulme 格点降水资料进行分析(由于早期资料缺失较多, 只用 1922 年以来资料). 从 1922 年以来东亚地区大部分格点资料缺失率均在 5% 以下, 这些有完整资料的格点在图 2 中以小黑点表示. 图 2 中虚框内的等值线是 5 月份 AO 与夏季降水之间回归分析所得到的回归系数, 回归系数可以同时表示出与 AO 有关的降水量变化的正负关系以及变化量的大小. 分析之前 AO 进行了标准化处理. 很明显, 从中国长江中、下游地区到日本南部整个地区降水都表现出很高的空间一致性, 当 5 月 AO 偏高一个标准差时, 整个季风雨带夏季降水偏少 3%~12% 左右. 带状分布特点很明显, 北方地区包括中国华北和俄罗斯远东地区夏季降水与 5 月 AO 是正的相关, 也是呈

东西向分布. 整个中国长江中、下游地区到日

本南部, 降水与 AO 的关系也达到了 95% 显著信度水平. 这些结果也进一步说明 AO 不仅仅影响中国长江中、下游地区的降水, 更主要的是显著影响着更大范围的东亚夏季风降水.

3 东亚急流的变化

从行星尺度上看, 有两个大的环流系统影响着东亚夏季风降水, 一个是北边的对流层高空的东亚急流, 另外一个是与 Hadley 环流相关的副热带高压. 以往很多研究非常关注南边的副热带高压的作用, 不过最近夏季东亚急流的作用也引起了很大的关注^[13-15]. 因为与急流有关的直接和间接环流异常, 可以造成急流的南北两侧降水的偏多或者偏少. 其中急流的位置尤其重要, 当急流的位置偏南时, 长江及以南地区降水偏多, 北方降水偏少; 反之当急流位置偏北时, 华北降水会偏多, 长江流域偏旱. 这从长江流域夏季降水与同期 200 hPa 纬向风的回归系数的分布特点上可以很清楚地体现出来(图 3). 非常明显, 当中国长江流域降水多的时候, 中国江淮地区到朝鲜半岛和日本一带西风都是偏强的, 而 40°~50°N 的地区西风则是减弱的, 说明中国长江中、下游地区降水少的年份里东亚急流的位置比正常年份要偏北, 而降水偏多的年份急流位置偏南.

值得注意的是 5 月份的 AO 指数与夏季 200 hPa 纬向风的关系, 也表现出与降水变化高度一致的特点(图 3(a)). 当 AO 强时, 随后的夏季从 中 国 江 淮 到

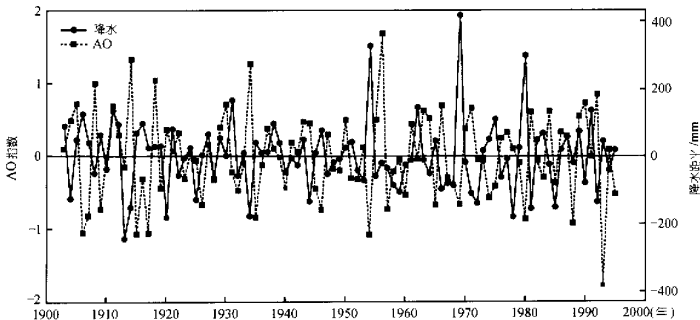


图 1 5 月 AO 指数与夏季长江中、下游地区降水系列滤波结果, 仅仅保留 10 年以下的年际时间尺度变化

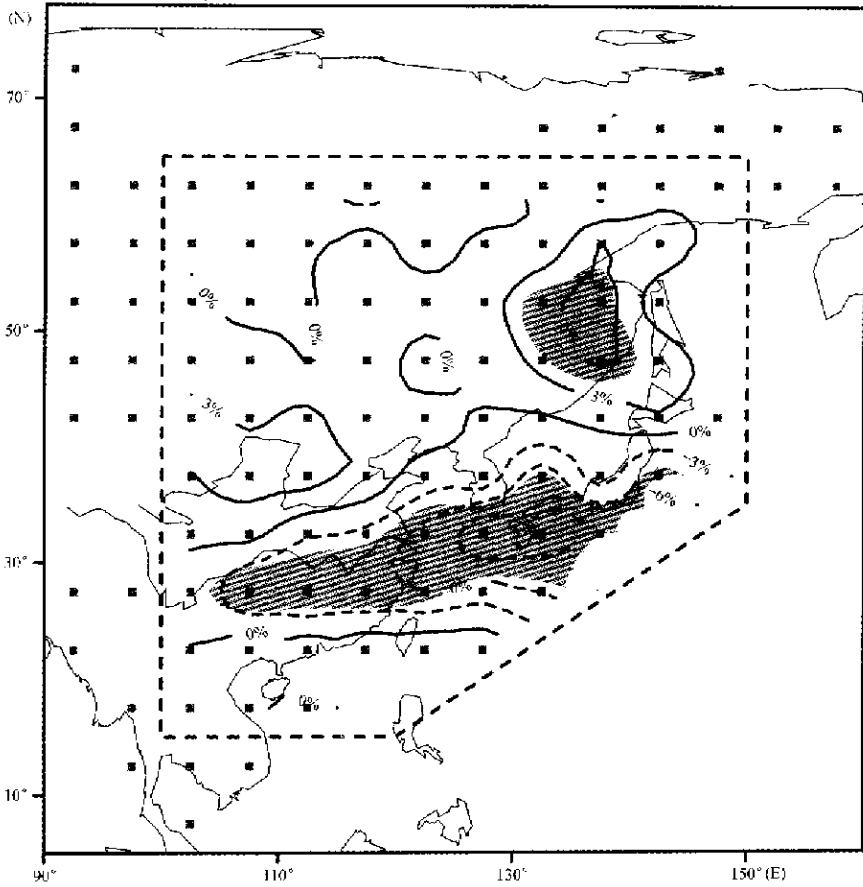


图2 5月AO与东亚夏季降水的回归分析

表示为当AO变化一个标准差时,夏季降水的相应变化量(%). 阴影区为达到95%信度水平显著区,资料长度为1922~1998年.

小黑点标出了有完整资料的格点. 图中虚框为分析的区域范围

日本一带高空西风偏弱,而 $40^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$ 的地区西风则是加强的,西风异常高值中心比急流多年平均位置(40°N)偏北 5° 左右.与这种环流特征相对应的是中国长江流域到日本南部夏季降水的偏少和中国北方地区降水的偏多.比较图3(a)和(b),可以发现两者有很高的相似性,正负区域的范围、南北纬度和中心区域的位置都是很接近的.而且,从整个北半球来看,5月份的AO与随后对流层高空夏季纬向风的相关,也是以东亚急流区最显著,在其他地区的相关都远远低于东亚地区.这些都说明前期的AO对夏季

东亚急流和大气环流的异常作用是很突出的,这种环流的变化又可导致东亚夏季风降水的异常,主要体现在雨带位置的南北偏差,从而可引起我国长江中、下游地区夏季降水显著的年际波动.

4 结论与讨论

上面的分析表明,春季AO的变化不仅对同期的北半球很多区域的气候变化有重要的作用,而且还

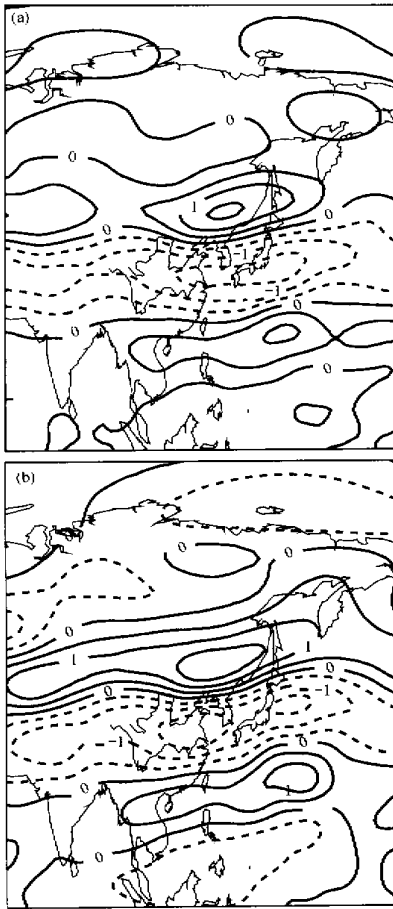


图 3 夏季 200 hPa 纬向风和 5 月 AO(a)及夏季长江中、下游地区降水(b)的回归系数

对应于当 AO 或降水变化一个单位标准差时相应纬向风的变化量。为方便比较, AO 和降水序列都先进行了标准化, 降水序列乘上了-1。图中等值线间隔 0.5 m/s。NCEP/NCAR 再分析资料, 1958~1999 年

对随后的东亚夏季风降水有显著的影响。在春季 AO 偏强的年份, 东亚急流夏季位置偏北, 长江中、下游地区则出现伴随下沉气流的东风异常, 所以降水偏少, 而华北降水偏多, 反之亦然。

当然从理论上讲, 冬、春季由于 AO 造成的地面温度、积雪、海冰等下边界条件的异常, 可以有较长的记忆, 对大气的反馈也有一定的滞后, 可以引起数月之后的东亚夏季降水的异常, 但是具体是通过什么途径和机制实现的还不清楚。而且季风系统(包括东亚急流)还受其他一些边界条件如低纬度海表温度的影响^[15], 这些要素又是如何共同作用于季风系统的等问题都是今后研究的方向。

致谢 本工作受国家自然科学基金(批准号: 40105007)和国家重点基础研究发展规划(G1998040900)资助。

参 考 文 献

- 1 陈兴芳, 赵振国. 中国汛期降水预测研究及应用. 北京: 气象出版社, 2000. 241
- 2 赵振国. 中国夏季旱涝及环境场. 北京: 气象出版社, 1999. 297
- 3 Thompson D W J, Wallace J M, Gabriele C. Annular modes in the extratropical circulation, Part II: Trends. *J Climate*, 2000, 13(5): 1018~1036
- 4 Rigor I G, Colony R L, Martin S. Variations in surface air temperature observations in the Arctic, 1979-97. *J Climate*, 2000, 13(5): 896~914
- 5 Cavazos T. Using self-organizing maps to investigate extreme climate events: An application to wintertime precipitation in the Balkans. *J Climate*, 2000, 13: 1718~1732
- 6 Wang J, Ikeda M. Arctic Oscillation and Arctic sea-ice oscillation. *Geophys Res Lett*, 2000, 27(9): 1287~1290
- 7 Gong D Y, Wang S W, Zhu J H. East Asian winter monsoon and Arctic Oscillation. *Geophysical Res Lett*, 2001, 28: 2073~2076
- 8 Overland J E, Adams J M, Bond N A. Decadal variability of the Aleutian low and its relation to high-latitude circulation. *J Climate*, 1999, 12(5): 1542~1548
- 9 Thompson D W J, Wallace J M. Regional climate impacts of the Northern Hemisphere annular mode. *Science*, 2001, 293: 85~89
- 10 王绍武, 龚道溢, 叶瑾琳, 等. 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
- 11 Hulme M. A 1951-80 global land precipitation climatology for the evaluation of General Circulation Models. *Climate Dynamics*, 1992, 7: 57~72
- 12 Thompson D W J, Wallace J M. The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields. *Geophysical Res Lett*, 1998, 25: 1297~1300
- 13 Liang X Z, Wang W C. Association between China monsoon rainfall and tropospheric jets. *Q J R Meteorol Soc*, 1998, 124: 2597~2623
- 14 Liang X Z, Samel A N, Wang W C. Observed and GCM simulated decadal variability of monsoon rainfall in east China. *Climate Dynamics*, 1995, 11(2): 103~114
- 15 Lau K M, Kim K M, Yang S. Dynamical and boundary forcing characteristics of regional components of the Asian summer monsoon. *J Climate*, 2000, 13: 2461~2482

(2001-09-29 收稿, 2001-12-14 收修改稿)