

# 华北夏季降水 80 年振荡及其与东亚夏季风的关系\*

朱锦红 王绍武 慕巧珍

北京大学物理学院大气科学系, 北京 100871

**摘要** 根据 1470~1999 年共 530 a 中国东部 25 个站旱涝等级资料和 1951~1999 年共 49 a 中国 160 个站降水的观测资料, 利用相关分析、功率谱分析和小波分析对中国华北地区降水的年代际振荡及其与东亚夏季风的关系进行了研究, 结果表明华北降水的 80 a 振荡与东亚夏季风强度的长期变化有很好的对应关系. CCM2.0 30 a 模拟研究进一步证明了中国东部降水与东亚夏季风之间的密切关系.

**关键词** 华北夏季降水 年代际振荡 东亚夏季风

东亚夏季风是影响我国东部夏季降水的重要因子之一, 长期以来我国气象学家对夏季风与中国东部夏季旱涝的关系做了大量的研究<sup>[1]</sup>. 竺可桢<sup>[2]</sup>最早提出夏季风异常是中国旱涝形成的原因, 他利用上海 7 月的风力代表夏季风强度, 发现夏季风强度与上海 7 月降水量有 -0.674 的相关, 与北京的相关达到 0.583, 从而解释了长江下游东南风主旱的原因. 由中国东部夏季的降水分布亦可知, 南北的旱涝形势常常相反. 王绍武等<sup>[3]</sup>提出中国东部夏季降水可分为 6 种型, 其中 1b 型表示长江多雨, 南北少雨, 3 型为长江少雨, 南北多雨. 这些工作表明华北与长江下游的夏季降水呈相反变化.

有关东亚夏季风与我国夏季降水的关系的研究主要是集中在年际时间尺度上. 在更长时间尺度上, 对季风和降水的变化规律及其之间的关系研究得较少. Wang 等<sup>[4]</sup>分析了中国 500 a 旱涝资料, 发现北京和南京的夏季降水有明显的 80 a 周期, Wang 等<sup>[5]</sup>利用 500 a 旱涝资料进一步的研究发现, 雨带随时间从北向南移动有明显的 80 a 周期. 有研究表明我国夏季降水在 1965 年前后发生了一次气候跃变, 华北地区从 1965 年后夏季降水明显减少, 从 1990 年代中期开始, 华北地区北部的夏季降水又有短暂的增多<sup>[6]</sup>, 这表明我国东部夏季降水在更长的时间尺度上有明显的变化. 我国东部夏季降水在年代际时间尺度上的振荡, 对年际尺度的降水变化有

较大影响, 这种降水分布在较长时间尺度上的变化会对农业、国民经济产生不容忽视的影响, 这也使得研究降水分布的年代际变化显得更加重要.

本文的目的是通过对长时间序列的中国东部夏季降水资料的分析, 揭示中国东部夏季降水 80 a 振荡特点, 及其与东亚夏季风强弱的联系, 并试图利用华北夏季降水变化与夏季风强弱的联系给出近 530 a 来东亚夏季风强弱的变化.

## 1 资料说明

105°E 以东的降水资料分别取自全国 160 站月降水数据集 (1951 年以来), 和 1470 年以来的中国东部 25 个站夏季旱涝等级资料<sup>[5]</sup>. 另外还有来自 Climatic Research Unit 的海平面气压 (SLP) 资料 (1873~1979 年)<sup>[7]</sup>和再分析 (NCEP/NCAR) 自 1980 年以来的海平面气压资料<sup>[8]</sup>.

## 2 中国东部地区夏季降水 80 a 振荡

北京、南京夏季降水的功率谱分析表明其降水的 80 a 分量十分明显, 超过 95% 的信度<sup>[5]</sup>. 降水分布的地域性较强, 为研究华北降水的年代际变化规律, 建立降水的长序列是首要任务. 图 1 给出了北京夏季降水与中国东部夏季降水 (1951~1999 年) 的相关, 正相关达到 95% 信度的区域用网格线表示, 负相关达到 95% 信度的区域用阴影表示. 从图 1 可

2003-03-04 收稿, 2003-05-22 收修改稿

\* 国家自然科学基金 (批准号: 40205011) 和国家重点基础研究发展规划 (1998040900) 资助项目

E-mail: zjh@pku.edu.cn

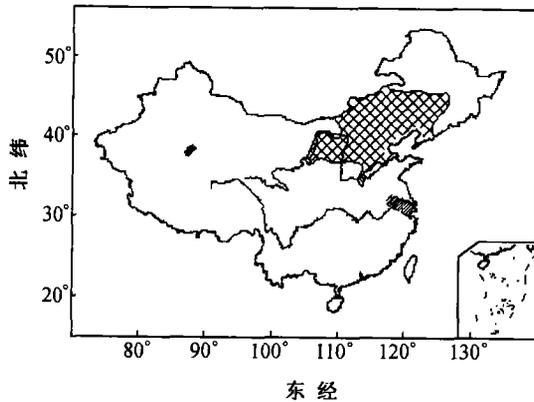


图1 北京夏季降水与中国东部夏季降水的相关  
网格区为正相关达到95%信度的区域,  
阴影区为负相关达到95%信度的区域

可以看出,北京的夏季降水在季时间尺度上是可以较好地代表华北以及东北南部的降水变化.北京夏季降水旱涝级别和中国东部夏季降水旱涝级别(1470~1999年)的相关分析显示了类似结果(图略).对于长江下游地区和华南沿海地区,降水虽然也有一定的地域性,但考虑到用的资料是季降水量,相关分析也表明,这两个地区的降水分别与南京、福州降水的关系较密切(图略),所以以下的分析分别以这些站代表其对应地区降水的变化.对华北降水80a周期的进一步分析表明,这一分量占降水低频

变化(10a以上)方差的30%左右,在降水的低频变化中是一个重要的分量.

对530a 25个站的旱涝级别资料的小波分析<sup>[9]</sup>显示,中国东部降水存在较明显的80a周期.从小波分析中,提取80a分量,用华北降水的80a分量与中国东部降水的80a分量求相关(图2),结果显示华北降水的80a分量与华南降水的80a分量呈正相关,而与长江流域呈负相关.图3给出了北京、南京、福州3个代表站夏季降水80a分量序列,可以发现,北京与福州的夏季降水80a振荡同位相,与南京的相反,这与图2的结果一致.

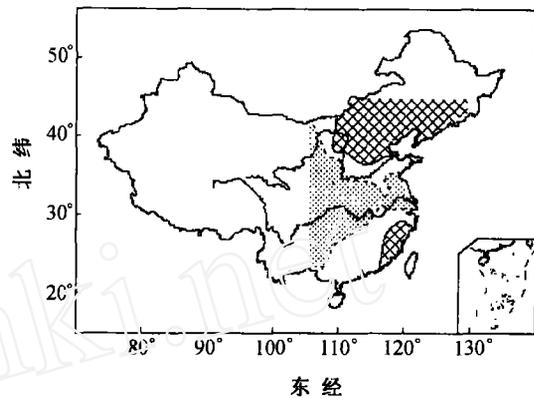


图2 华北降水80a分量与中国东部降水80a分量相关  
网格为达到95%信度的正相关区,  
阴影为达到95%信度的负相关区

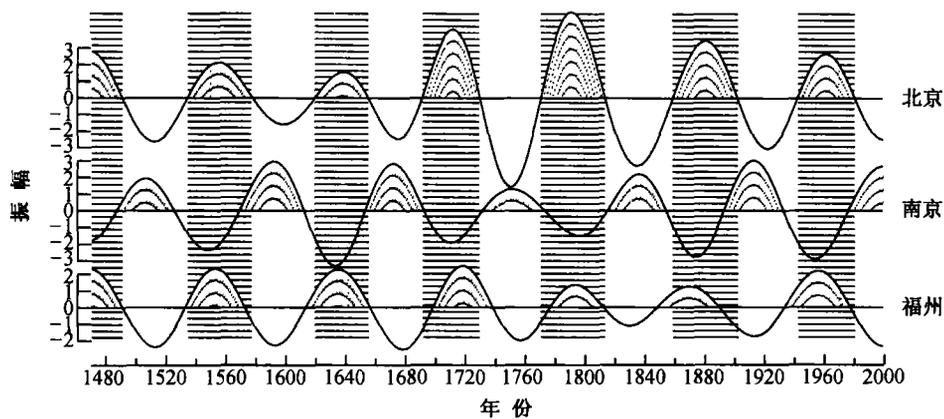


图3 北京、南京、福州夏季降水80a分量  
横线表示3个地区夏季降水80a分量的正位相,阴影部分表示北京多雨期.横坐标为时间,纵坐标为从小波分析中提取的80a分量值

### 3 华北夏季降水的80a周期及其与东亚夏季季风的关系

许多研究表明,华北夏季降水与东亚夏季风的

强度有密切的关系,华北地处强东亚夏季风的北缘,当季风强时,副高和赤道辐合带(ITCZ)位置通常都会偏北,华北和华南多雨,长江中下游少雨.由前面分析可以知道,中国东部夏季降水在华北、

长江下游和华南沿海地区存在 80 a 左右的周期, 并且这 3 个地区夏季降水的 80 a 周期的位相存在一定的关系. 由此, 我们有兴趣了解在这一尺度上东亚夏季风与中国东部降水的关系.

由于华北是东亚夏季风的敏感地区, 而华北降水与中国东部降水在 80 a 的尺度上有很好的对应关系, 利用华北夏季降水与东亚夏季风强度的关系, 建立一个能较好表征华北夏季降水的东亚夏季风强度的指数, 有利于研究东亚夏季风强度与中国东部降水的关系. 对东亚夏季风指数的定义有许多种<sup>[10]</sup>, 郭其蕴<sup>[11]</sup>从季风的基本定义出发, 定义了东亚季风指数. 本文为了研究华北夏季降水 80 a 振荡与夏季风强度的关系, 参照以上定义的方法, 重新定义一个与华北降水关系密切的东亚夏季风指数.

用华北夏季降水序列与 CRU 海平面气压(SLP)序列求相关可知(图略), 华北夏季降水与区域 A (105~115°E, 30~35°N)的海平面气压呈负相关, 与区域 B(120~130°E, 20~25°N)的海平面气压是正相关, 区域 A 的气压变化主要是由于印度低压向北伸展的强弱引起的, 区域 B 的气压变化部分代表了副热带高压强度的变化, 两者气压差正代表了这两个区域之间西南风的强度. 所以, 用区域 B 的

平均海平面气压距平减去区域 A 的, 定义为东亚夏季风强度指数, 正值越大, 西南风越强. 利用 CRU (1873~1979 年)和 NCEP(1980~1997 年)的 SLP 资料计算 1873~1997 年的东亚夏季风强度指数(图 5(b)), 与文献[12]中郭其蕴<sup>[11]</sup>定义的东亚季风指数的结果对比发现, 两者基本一致: 在 20 世纪 50 年代, 东亚夏季风偏强, 而近 20 a 来, 东亚夏季风明显处于一个偏弱的阶段, 但本文定义的指数年际变化更明显一些. 虽然这一指数只有 125 a, 但对这一指数进行功率谱分析, 其 80 a 周期分量仍然达到了 95% 的信度. 提取其 80 a 周期分量, 与华北夏季降水 80 a 分量对比(图 4), 可以看出, 当东亚夏季风为高指数, 季风偏强时, 华北夏季降水偏多, 当为低指数季风偏弱时, 华北夏季降水偏少. 这与夏季风强时, 印度低压偏强, 低压向北伸展明显, 华北夏季降水多是一致的.

图 5 给出了近 530 a 华北夏季降水变化和近 125 a 东亚夏季风指数, 可以看出 1880~1910 年、1950~1970 年东亚夏季风指数偏强, 华北夏季降水偏多, 1910~1950 年东亚夏季风指数偏弱, 华北夏季降水偏少, 1970 年之后东亚夏季风指数转弱, 华北进入了一个相对干旱的时期. 在近 125 a 中, 本文定义的东亚夏季风指数与华北旱涝在年代际尺度

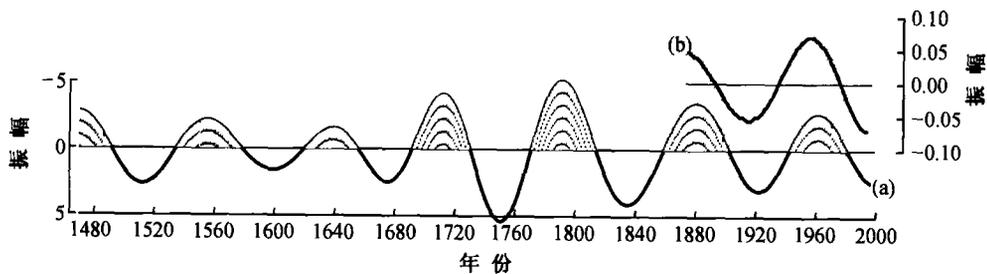


图 4 华北夏季降水与东亚夏季风的 80 a 分量

(a) 1470 年以来华北夏季降水; (b) 1873 年以来夏季风强度指数. 横坐标为时间, 纵坐标为提取的小波分析中 80 a 分量

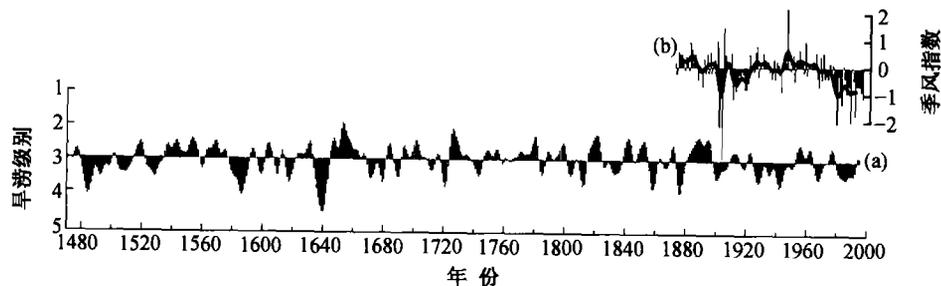


图 5 华北夏季降水序列与东亚夏季风指数

(a) 1470 年以来华北夏季降水; (b) 1873 年以来夏季风强度指数. 横坐标为时间, 纵坐标分别为旱涝级别和 hPa

上有较好的对应关系, 两者相关系数虽然不十分高, 为 0.19, 但也达到了 95% 的信度. 由此我们可以推断, 近 530 a 来, 华北多雨的时期, 东亚夏季风可能较强. 1530~1570, 1670~1720, 1770~1810, 1880~1910, 1950~1970 是华北夏季降水相对较多的时期, 相应东亚夏季风可能较强, 其他时间则是华北夏季降水相对少的时期, 夏季风可能较弱.

#### 4 模式模拟的东亚夏季风强度与我国东部降水的关系

本文用气候海温强迫 CCM2.0<sup>[13]</sup> 积分 30 a, 检验了东亚夏季风的强弱与我国东部雨带位置的关系. 首先按照前面的方法计算了 30 a 模拟结果的东亚夏季风强度指数(图略), 选取其中夏季风最强的 4 a, 并合成强夏季风年的降水分布(图 6). 图 6 显示, 当东亚夏季风强时, 华北和华南沿海的降水偏多, 长江流域降水偏少. 其分布形势与图 2 有很好的相似性, 数值模拟的结果进一步证明了东亚夏季风的强度与我国东部夏季降水分布的密切关系. CCM2.0 对东亚夏季风强度和华北夏季降水的模拟也存在一些问题, 模拟的东亚夏季风指数方差为 0.18, 观测资料的方差为 0.23, 模拟的变率小于观测的. 对华北北部地区降水变率的模拟也比观测的要小一些, 模拟和观测的方差分别为 0.10 和 0.13. 这可能是由于只用了气候海湿强迫 GCM 的结果.

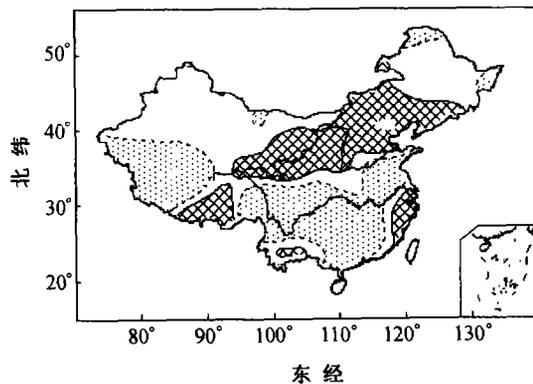


图 6 CCM2.0 模拟的强夏季风年夏季降水合成  
网格区为降水正距平区, 阴影为负距平区

#### 5 结论与讨论

通过以上分析发现, 中国华北、长江流域和华南地区夏季降水存在 80 a 左右的变化, 并且这 3 个

地区降水的 80 a 分量在位相上有密切关系, 华北和华南同位相, 与长江流域反位相. 东亚夏季风指数虽然只有 125 a, 但功率谱分析显示, 其强度变化存在明显的 80 a 振荡, 并且华北夏季降水与东亚夏季风的强度在这一时间尺度上有密切的关系.

东亚夏季风 80 a 的振荡的机制目前并不十分清楚, Wang 等<sup>[5]</sup> 的研究表明, 雨带的自北向南移动与太阳活动的 80 a 周期有较好的关系, 王绍武等<sup>[14]</sup> 后来的研究发现近几十年中国东部雨带的位置与太阳活动的这种关系依然保持. 太阳活动存在明显的 80 a 的周期, 近年来许多利用古气候记录进行的研究表明<sup>[15,16]</sup>, 当太阳辐射增加时, 夏季风增强; 当太阳辐射减少时, 夏季风减弱. 这些研究表明, 太阳辐射的变化会影响气候系统的能量分配与能量平衡, 改变海陆温度对比, 最终影响东亚夏季风强弱和雨带位置, 不过这还需要利用气候模式从动力学角度进一步验证.

中国东部夏季降水的变化十分复杂, 影响东部降水的因素有很多, 关系也较复杂. 过去的研究表明, 没有哪一个因子能独立地解释中国东部夏季降水的异常. 但季风是影响我国东部夏季降水的重要原因之一, 它存在明显的年际变化, 对我国不同地区旱涝的影响显著. 本文从较长时间尺度背景出发, 研究在年代际尺度上东部地区夏季降水与东亚夏季风强度的关系, 提出不同地区的旱涝变化与东亚夏季风强度的年代际变率有关, 对今后研究中国夏季旱涝与东亚夏季风的关系提供了有意义的参考.

#### 参 考 文 献

- 1 郭其蕴. 季风与中国旱涝. 见: 丁一汇, 村上滕人主编. 亚洲季风. 北京: 气象出版社, 1994. 65~75
- 2 竺可桢. 东南季风与中国之雨量. 地理学报, 1934(创刊号), 1
- 3 王绍武, 等. 近五百年我国旱涝史料的分析. 地理学报, 1979, 34(4): 329
- 4 Wang Shaowu, et al. Droughts and Floods in China 1470~1979. In: Wigley, et al. eds. Climate and History. Cambridge: Cambridge University Press, 1981. 271~288
- 5 Wang Shaowu, et al. Reconstruction of the summer rainfall regime for the last 500 years in China. GeoJournal, 1981, 5(2) 117
- 6 黄荣辉, 等. 我国夏季降水的年代际变化及华北干旱化趋势. 高原气象, 1999, 18(4): 445
- 7 Basnett T A, et al. Development of the Global Mean Sea Level Pressure Data Set GMSLP2. Climatic Research Technical Note, Hadley Centre, 1997, 79: 16
- 8 <http://ingrid.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCEP->

- NCAR/. CDAS-1/. MONTHLY
- 9 Lau K -M, et al. Climate signal detection using wavelet transform: How to make a time series sing. *Bull Amer Meteor Soc*, 1995, 76: 2391
- 10 黄刚. 东亚夏季风环流异常指数与夏季气候变化关系的研究. *应用气象学报*, 1999, 10(增刊): 61
- 11 郭其蕴. 东亚夏季风强度指数及其变化的分析. *地理学报*, 1983, 38(3): 207
- 12 中国科学院大气物理研究所, 等编写. 中国气候灾害分布图集 黄荣辉, 等主编. 北京: 海洋出版社, 1996
- 13 Hack J J, et al. Description of the NCAR Community Climate Model (CCM2). Boulder: The National Center for Atmospheric Research, 1993
- 14 王绍武, 等. 中国东部夏季降水的年代际变率研究. *气候通讯*, 2000, 2: 20
- 15 施雅风, 等. 距今 40~30 ka 青藏高原特强夏季风事件及其与岁差周期关系. *科学通报*, 1999, 44(14): 1475
- 16 Perry C A, et al. Geophysical, archaeological, and historical evidence support a solar-output model for climate change. *PNAS*, 2000, 97(23): 12433

## “单分子和分子纳米结构的物理化学研究”取得重要进展

中国科学院化学研究所白春礼院士主持的“单分子和分子纳米结构的物理化学研究”创新群体基金研究工作取得了重要进展. 该群体利用电化学扫描隧道显微术(ECSTM), 成功地实现了对固/液界面手性分子构型的识别、对固体表面手性分子改性剂吸附模式的判定以及高度有序的杯芳烃/C60 络合物点阵的构筑. 这些工作不仅为有关研究提供了新的实验技术, 而且在选择性异相催化、手性药物合成及功能性纳米结构的构建等方面具有重要意义.

### (1) ECSTM 对手性分子的识别

利用 ECSTM 实现了在水溶液中对手性分子绝对构型的识别. 在 Cu(111) 基底上分别观察到手性分子 (R)-和(S)-2-苯基-丙酰胺(C<sub>9</sub>H<sub>11</sub>NO; PPA) 的 STM 图像, 图像表明两对映体虽均可以形成具有(4×4)对称性的吸附层, 但吸附态分子的结构细节不同. 据此, 可以直接确定对映体分子的绝对构象. 这一结果成功地证明了利用工作于溶液环境下的电化学 STM 判定吸附于固/液界面的手性分子的绝对手性的可能性, 为此领域研究提供了又一可能的分析手段, 对进一步研究广泛存在的发生在固体表面或固/液界面的手性催化过程具有重要意义.

### (2) ECSTM 对 Cu(111) 基底上辛可尼定分子吸附模式的判定

利用 ECSTM 直接证明了该分子在 Cu(111) 表面的吸附结构. 结果表明: 吸附在 Cu(111) 基底上的辛可尼定分子可以形成高度有序, 具有(4×4)对称性的二维结构, 分子中的喹啉环平行于 Cu(111) 基底, 位于该基底的桥位, 而喹宁环则翘起朝向溶液. 辛可尼定分子在 Cu(111) 基底上的这种吸附模式使其具有立体选择的性能. 这一结构的发现为进一步探索不对称催化过程的机理提供了重要线索.

### (3) 高度有序的功能性纳米结构的构筑

利用电化学表面自组装技术, 系统进行了环[4]、环[6]和环[8]芳烃纳米结构的构筑; 利用环[8]芳烃及其 C60 成功制备了环[8]芳烃及其 C60 络合物的阵列, 并利用电化学扫描隧道显微镜原位揭示了环[8]芳烃的构象和 C60 在环[8]芳烃中的位置. 该研究为制备富勒烯阵列提供了一种全新的思路, 更为重要的是, 通过主客体相互作用, 有可能在环[8]芳烃阵列中填充其他功能分子, 如金属团簇等. 这一结果为富勒烯等功能分子阵列的制备、表面可控组装、以及纳米信息存储器件的构筑提供了又一可能性, 其系列研究成果已发表在国际权威杂志上.

上述系列成果的取得充分表明, STM 等先进的表界面分析手段, 对发生在表面的手性现象以及功能纳米结构的构筑研究, 已取得卓有成效的成果. 可以预见, 在未来有关单分子物理化学及纳米科学的研究中, STM 仍将发挥其巨大作用.

(杨俊林 供稿)