

中国东部夏季主要降水型的年代际变化及趋势分析^{* 1}

顾 薇

(中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京, 100029;
中国科学院研究生院, 北京, 100039)

李崇银

(中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京, 100029;
解放军理工大学气象学院, 南京, 211101)

杨 辉

(中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京, 100029)

摘 要

针对中国东部夏季降水存在着 20 世纪 50 和 60 年代为“南旱北涝”、80 和 90 年代为“南涝北旱”的相反形势, 该文应用小波分析等方法对华北和长江中下游地区近 54 a 来的夏季降水进行分析, 发现二者都具有不同周期的年代际变化。对于周期小于 24 a 的年代际变化, 其 morlet 小波分析表明两地夏季降水的位相关系并不是固定的。对于更长的时间尺度, 用正交小波分析了周期大于 28 a 的年代际变化, 这种长周期的年代际变化能较好地体现出“南旱北涝”和“南涝北旱”两种形势, 说明两地降水还存在着更长时间尺度的准周期变化。对于两地降水的这种长周期变化, 分别选用不同位相的 17 a 为代表进行海温、环流形势的合成分析, 对比发现两阶段所对应的海温、环流形势具有极明显的差异。最后, 用近期的海温、环流形势与上述两种位相的海温、环流形势进行对比, 讨论了未来降水型的可能演变趋势。

关键词: 夏季降水, 南旱(涝)北涝(旱), 海温, 环流形势, 趋势分析。

1 引 言

自 20 世纪 90 年代中期以来, 全球气候系统中的年代际气候变率问题已经越来越成为人们关注的焦点, 也是 CLIVAR 计划(气候变率及其可预测性研究计划)的核心内容之一^[1,2]。

中国东部降水具有明显的年代际变化特征^[3,4]。就年际变化而言, 中国东部夏季降水的空间分布具有一定的规律, 已有研究将夏季降水分为各种“雨型”^[5]; 同样, 在年代际尺度上, 雨带的空间分布也具有明显的特征^[6], 南北的旱涝形势常常相反^[7]。就近期而言, 20 世纪 50 和 60 年代夏季华北降水偏多而长江中下游降水偏少, 处于“南旱北涝”

形势, 而 80, 90 年代则处于相反的“南涝北旱”形势。降水的年代际变化, 包括它的空间型的转换, 与年际变化一样会对农业、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。

近年来, 气象学家对于中国东部夏季降水的年代际变化及其可能成因已做了一些研究。朱锦红等^[8]的研究表明, 中国华北、长江流域和华南地区夏季降水存在 80 a 左右的周期变化, 且在 80 a 尺度上, 华北和华南同位相, 与长江流域反位相; 华北夏季降水的 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。周连童、黄荣辉^[9]认为中国在 1976 年发生的气候跃变, 其可能成因是热带太平洋

* 初稿时间: 2005 年 4 月 22 日; 修改稿时间: 2005 年 6 月 7 日。

资助课题: 国家自然科学基金项目(40233033)和中国科学院创新项目(KZCX3-SW-226)。

作者简介: 顾薇, 女, 1981 年, 博士研究生, 主要从事气候年代际变化方面的研究。

存在明显的年代际“ENSO”现象,它通过影响亚澳季风区及太平洋地区水汽输送影响中国东部夏季降水。朱益民、杨修群^[10]认为太平洋年代际振荡(PDO)是影响中国气候年代际变化的重要因素,它可以直接影响东亚地区的大气环流或调制 ENSO 事件从而间接影响中国夏季降水。李峰、何金海^[11]的研究表明,1976 年以前,北太平洋 SSTA 通过一大圆波列作用于 EASM 而影响华北夏季降水。为了更好了解降水年代际变化的原因及其空间分布型演变趋势,本文针对前述年代际尺度上两种相反的空间分布型,对比海温和大气环流形势,并从近期海温和环流的变化预测未来降水型的趋势。

2 资料和方法

本文所用资料为中国气象局整编的全国 160 标准站 54 a(1951~2004 年)的降水资料,英国 Hadley

中心的 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 的 1950~2003 年月平均海温资料,美国 NCAR/NCEP 的 1948~2004 年 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 位势高度和风场再分析资料。所用的研究方法有 morlet 小波分析,db16 正交小波分析及合成分析等。在华北选了 11 个代表站:北京,天津,石家庄,德州,邢台,安阳,潍坊,济南,临沂,菏泽,郑州。在长江中下游选了 14 个代表站:南京,合肥,上海,杭州,安庆,屯溪,九江,汉口,岳阳,常德,衡水,贵溪,南昌,长沙。

3 华北和长江中下游夏季降水的小波分析

利用 morlet 小波分析方法^[12],对华北和长江中下游 54 a 夏季(6~8 月)降水进行分析,可以看出两地降水存在的主要周期及其分布(图 1)。从图 1a 来看,就年代际变化而言,华北夏季降水主要有 8~10 a 和 16~20 a 的准周期变化。20 世纪 70 年代前,8~10 a 准周期变化显著,中心周期为 8.3 a; 20

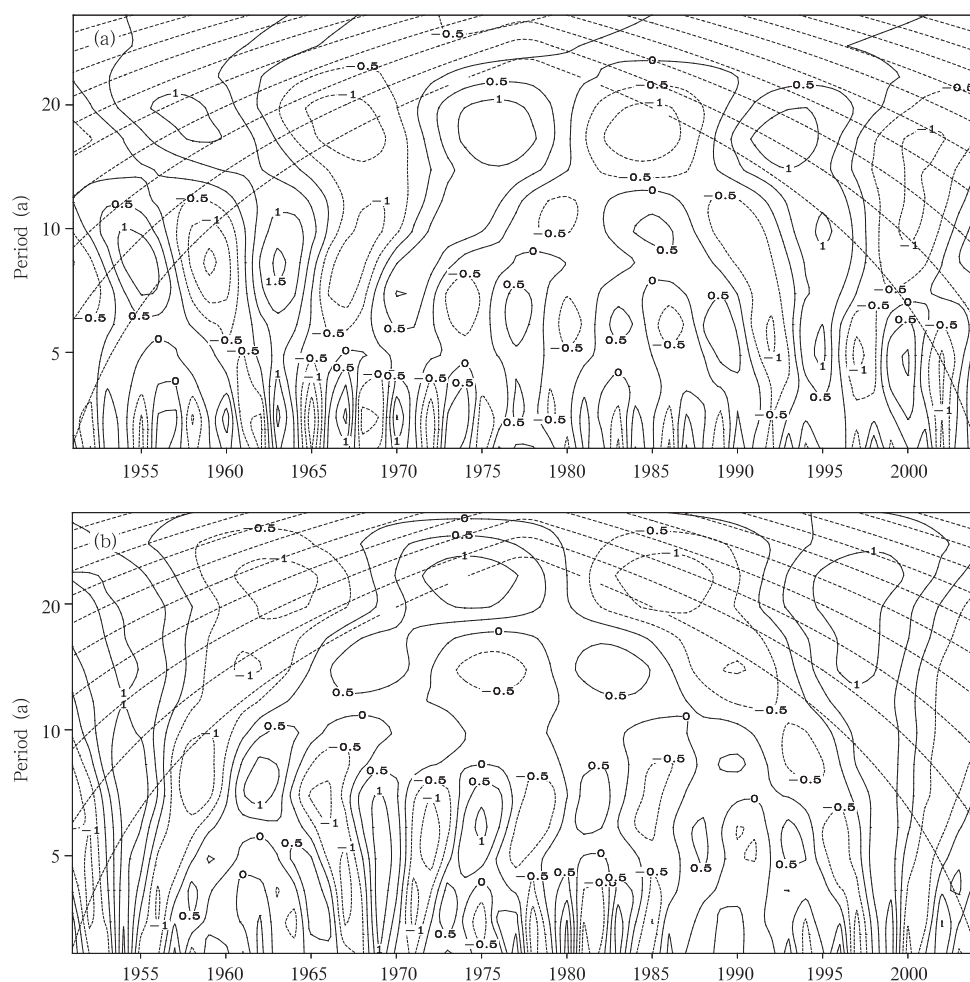


图 1 华北(a)和长江中下游(b)夏季降水的 morlet 小波系数(弧线覆盖区域受边界效应影响较大)
Fig. 1 The morlet wavelet coefficients of summer rainfall in North China (a) and the middle and lower reaches of Yangtze River (b) (The curve on both end indicates edge effects)

世纪 70 和 80 年代较弱,90 年代起又开始增强,中心周期增大为 10 a。准 16~20 a 周期变化则在整个时间段都较显著,而且周期有随时间增大的趋势。从图 1b 来看,长江中下游夏季降水主要分别以 14~16 a 和 20~24 a 为年代际变化周期。50,60 年代 20~24 a 准周期变化显著,同时还有 6~8 a 的准周期变化;从功率谱(图略)也可看出,能量主要集中在这两个波段。80 年代以后,14~16 a 的准周期变化增强,从功率谱来看,能量似乎从 6~8 a 和 20~24 a 这两个波段转移到 14~16 a 周期上来,也就是说,这些年代际变化本身也是随着时间演变的。从而可以推测,由于准周期变化的这种“串级”,可能还有更长时间尺度的年代际变化控制着长江中下游夏季降水的演变。

为了比较华北和长江中下游地区夏季降水在几个主要周期上的变化,我们划分出包含两地降水主要周期的 3 个波段,即 7~10,12~20 a 和 20~24 a,分别对华北和长江中下游地区夏季降水的 morlet 小波分析结果在这几个波段上进行重构^[12]。重构结果表明(图略),在 12~20 a 周期段,两地夏季降水基本上是反相变化;在 20~24 a 周期段,两地夏季降水基本呈同相变化;在 7~10 a 周期段,1968 年前呈同相变化,1968 年之后是反相变化。这说明华北和长江中下游地区夏季降水在不同的周期段上,存在不同的对应关系,而且这种对应关系也是随着时间而变化的。

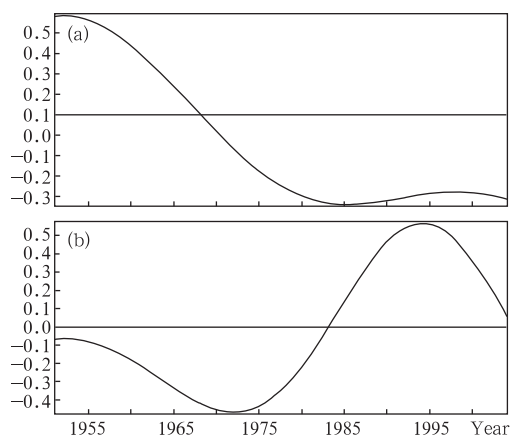


图 2 db16 小波对华北(a)和长江中下游(b)夏季降水分解到第 4 层近似部分之重构

Fig. 2 Reconstruction of the fourth level approximation of the db16 wavelet analysis of summer rainfall in North China (a) and the middle and lower reaches of Yangtze River (b)

morlet 小波具有边界效应,无法准确分析时间尺度更大的周期变化。为了考虑更长周期的年代际变化,利用没有信息冗余的正交小波(db16)对资料进行分解^[13,14]。利用 db16 小波将两地标准化降水分解至 4 层,得到的近似部分可以看作是原序列去掉周期小于 28 a 的所有年代际以及年际尺度变化所得的剩余部分,可以代表可能存在的更长周期的年代际变化模态(图 2)。

对比图 2 可以看出,在更长(大于 28 a)的时间尺度上,华北和长江中下游地区仍然存在着明显年代际变化(其方差分别占原序列的 10.7% 和 11.8%)。华北降水在 1970 年之前处于正位相,之后处于负位相;长江中下游降水在 1983 年之前处于负位相,之后处于正位相。从而也说明中国两地降水存在更长时间尺度的准周期变化,而且这种年代际变化在很大程度上影响着中国的夏季降水,影响着中国南北的旱涝形势。

那么,图 2a 中的华北降水何时才会转变到正位相,从而使中国华北近期一直面临的干旱状况得以缓解呢? 中国东部夏季降水会不会再一次由现在的“南涝北旱”型转变为类似 20 世纪 50 和 60 年代的“南旱北涝”型呢? 下面将首先从分析环流形势入手,看看具体影响降水型的大气环流和海温特征。

4 “南旱北涝”和“南涝北旱”时期环流期势的对比分析

选择 1955~1971 年作为“南旱北涝”时期的代表年份,1983~1999 年作为“南涝北旱”时期的代表年份,对相应时期的海温、500 hPa 位势高度、850 hPa 风场和地面气压场做合成分析,发现在两个时段,上述各个场都具有几乎相反的异常分布型。

4.1 海 温

由“南旱北涝”和“南涝北旱”两时期的海面温度异常(SSTA)合成图(图 3)可知,两时期海温分布明显不同,具有近乎相反的形势。咸鹏、李崇银^[15]分析了北太平洋海温的年代际变化情况,发现其有显著的 7~10 和 25~35 a 周期的变化,并分别给出了这两个时间尺度上的正、负位相模态,发现 7~10 a 模和 25~35 a 模具有大体一致的型态。图 3a 显示,“南旱北涝”时期,北太平洋海温基本处于其正位相,而“南涝北旱”时期(图 3b),北太平洋海温分布处于其负位相。从咸鹏、李崇银定义的北太平洋年代际变化指数(I_{npd})的时间变化(图 4)也可以很清

楚地看到,1976 年之前, I_{npd} 基本为正值,1976 年之后, I_{npd} 基本为负值。这都表明,北太平洋的海温年

代际模对中国东部降水有重要影响,且其位相将影响中国夏季主要雨型的分布。

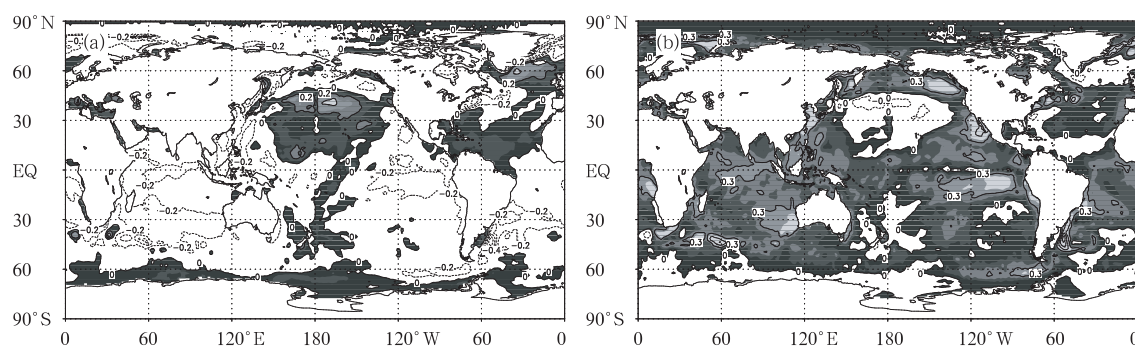


图 3 两时期的海温异常分布

(a. 1955~1971 年平均, b. 1983~1999 年平均; 单位: $^{\circ}\text{C}$)

Fig. 3 Average SSTA (unit: $^{\circ}\text{C}$) during 1955—1971 (a), and 1983—1999 (b)

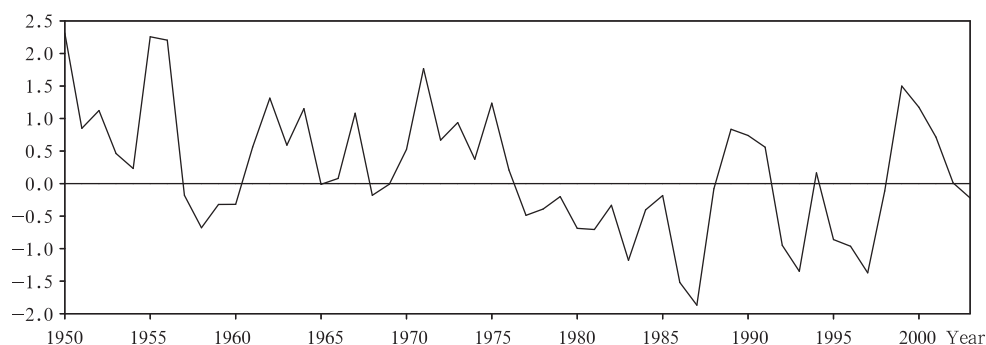


图 4 I_{NPD} 的时间序列(1951~2003 年)

Fig. 4 The temporal variation of I_{NPD} from 1951 to 2003

另外,20 世纪 50 和 60 年代赤道东太平洋和印度洋明显偏冷,而在 20 世纪 80 和 90 年代则偏暖。说明赤道和印度洋海温对中国夏季雨型分布也有影响。

4.2 500 hPa 位势高度

20 世纪 50 和 60 年代夏季(图 5a),整个欧亚大陆都是负距平,中心在贝加尔湖附近。这期间,贝加尔湖附近的高压发生的频次较少,不易出现阻塞形势,而该地出现的低压槽较深,槽前偏南气流有利于引导南方暖湿空气的北上,从而有利于华北地区产生降水^[16]。20 世纪 80 和 90 年代的情况恰恰相反(图 5b),整个欧亚大陆被正距平所占据,中心分别在巴尔喀什湖和贝加尔湖附近,中高纬较易出现阻塞形势,贝加尔湖地区出现高压脊的频率较高,高压脊东部的偏北气流利于引导西北气流侵袭中国大陆^[17],从而将雨带限制在偏南地区。孙林海等^[18]在分析中国夏季雨型及其成因时指出,东亚中高纬无

阻塞形势时,纬向环流偏强,利于东亚季风偏强,主要雨带的偏北;而中高纬阻塞形势发展时,经向环流占优势,利于偏弱的夏季风,主要雨带位置偏南,中心位于江淮地区。结合上述分析可知,在年代际尺度上,夏季降水与东亚中高纬环流的关系与年际尺度上它们的关系是一致的。

4.3 850 hPa 风场

分析两个时期夏季 850 hPa 风场异常的情况(图 6)可见。20 世纪 50 和 60 年代,中国东部有较强的偏南风异常,夏季风偏强。80 和 90 年代则是偏北风异常,夏季风偏弱。郭其蕴等^[19]的研究表明,东亚夏季风与中国东部夏季降水在年代际尺度上有密切关系,弱夏季风时期(如 1971~2000 年),中国东部降水自北向南为负、正、负分布,强夏季风时期(如 1911~1970 年),降水分布与弱夏季风时期相反。这说明中国东部降水的年代际变化在很大程度上受到 EASM 的影响。

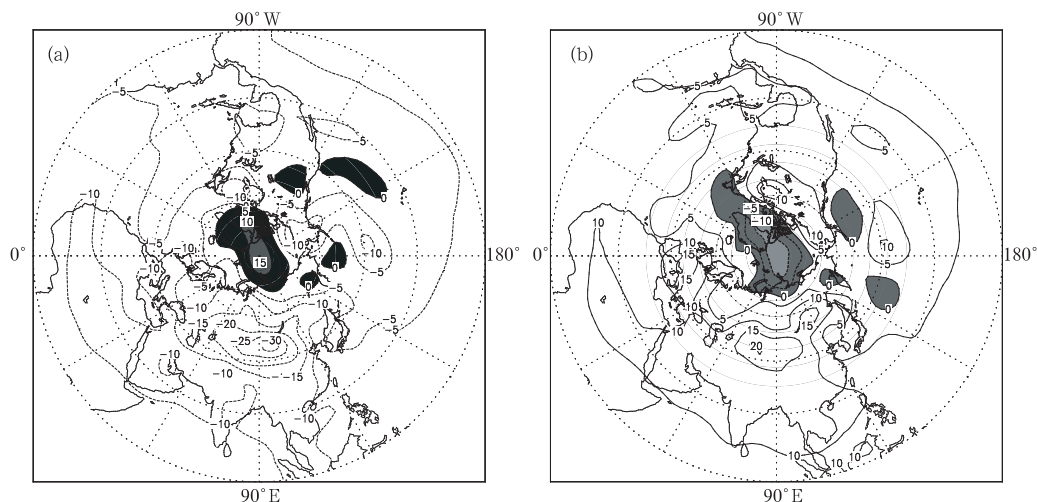


图5 夏季 500 hPa 位势高度场异常

(a. 1955~1971 年, b. 1983~1999 年平均; 单位: gpm)

Fig. 5 Anomaly of 500 hPa geopotential height (unit: gpm) averaged during summers of 1955—1971 (a), 1983—1999 (b)

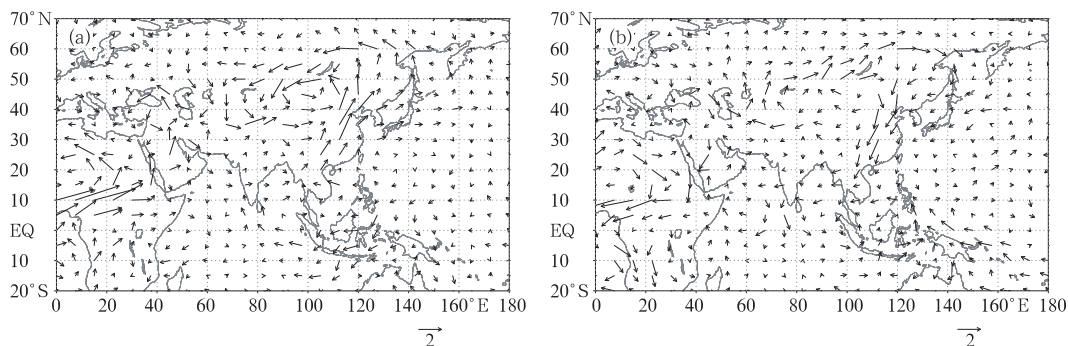


图6 夏季 850 hPa 风场异常(a. 1955~1971 年平均, b. 1983~1999 年平均; 单位: m/s)

Fig. 6 850 hPa wind anomaly (unit: m/s) averaged during summers of 1955—1971 (a) and 1983—1999 (b)

印度夏季风是影响东亚夏季风的重要因子之一,注意到 20 世纪 50 和 60 年代印度半岛和孟加拉湾有西南风异常,并一直北上至中国东部,说明偏强的印度季风是造成中国偏强夏季风的主要原因之一。晏红明、肖子牛^[20]的数值模拟和资料分析均发现,印度洋地区的冷海温异常有利于亚洲夏季风的加强,相反,暖海温异常有利于亚洲夏季风的减弱。从而可知中国这一时期偏强的夏季风与前述同期印度洋偏冷的海温是密切相关的。

另外,与 500 hPa 形势相对应,20 世纪 50 和 60 年代,850 hPa 上贝加尔湖附近有一个反气旋异常,从而抑制北方冷空气的南下,并有助于中国东部产生偏南气流和夏季风的北上;80 和 90 年代,贝加尔湖有一个气旋式异常,在中国东部产生北风距平,利于北方冷空气南下与南方暖湿空气汇合,使得雨带

偏南。

4.4 海平面气压

在“南旱北涝”时期夏季(图略),北极涛动(AO)偏弱,中国大陆上普遍为负距平,有利于南方的暖湿空气北上,夏季风较为活跃,从而利于在华北地区产生较多降水。“南涝北旱”时期夏季(图略),AO 偏强,中国大陆上为正距平,利于北方气流南下,在长江中下游地区产生水汽辐合,从而造成该地降水偏多。文献[21]也指出,南、北极涛动会通过影响夏季风进程而影响中国东部夏季降水。

从海平面气压、500 hPa 位势高度和 850 hPa 风场在两时期的对比可看出,对于“南旱北涝”和“南涝北旱”两个阶段,东亚大陆中部的位势高度在对流层中、下层具有较一致的变化,在前一时期,位势高度场都具有负距平,后一时期,都是正距平。Chang—

Hoi 等人^[22]在分析韩国降水时也发现,亚洲上空整个对流层中下层的位势高度在 70 年代中期之后有所升高,正距平中心在东亚中部,位势高度场的这种变化,引起亚洲上空产生反气旋,从而在亚洲东部产生干冷的偏北气流,偏北气流南下遇到南方暖湿气流,造成水汽辐合和对流,从而造成韩国夏季降水增加。从而也可以说,东亚中部对流层中下层位势高度场的这种变化对于中国东部夏季降水的年代际变化具有重要的作用。

4.5 冬季 500 hPa 位势高度和海平面气压异常

已有研究表明,冬季的大气环流异常将持续影响夏季的环流和天气气候^[23,24]。在“南旱北涝”和“南涝北旱”两时期,冬季 500 hPa 位势高度异常场

和海平面气压异常场也具有相反的分布。

从 500 hPa 位势高度场来看(图 7),在前(后)一时期,乌拉尔山地区有正(负)距平,阻塞高压的出现频次较高(低),贝加尔湖以南以及东亚地区则为负(正)距平,而东亚大槽也偏深(浅),利于气流的经(纬)向运动,冬季风偏强(弱)。另外,从北太平洋和北大西洋 500 hPa 位势高度异常的分布也可以清楚地看出,NPO 和 NAO 在 20 世纪 50 和 60 年代较弱,而在 80 和 90 年代较强。李崇银、李桂龙的研究^[25]表明,NAO 和 NPO 对中国气候的年代际变化有重要作用,冬季 NAO 异常不仅影响东亚冬季风的强度,而且对中国夏季气候也有明显影响。

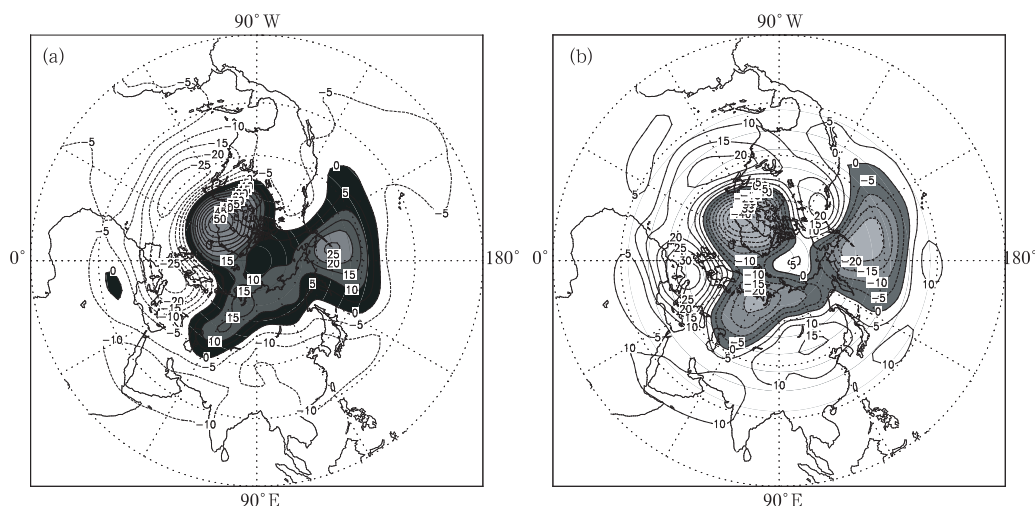


图 7 冬季 500 hPa 位势高度场异常(a. 1955~1971 年平均, b. 1983~1999 年平均,单位:gpm)

Fig. 7 Anomaly of 500 hPa geopotential height (unit: gpm) averaged during winters of 1955–1971 (a) and 1983–1999 (b)

从冬季海平面气压异常场来看(图略),20 世纪 50 和 60 年代(80 和 90 年代),北半球高纬度地区(60°N 以北)普遍存在正(负)的气压距平,而中纬度地区则是负(正)气压距平。说明这一时期的北极涛动较弱(强)。冬季北极涛动不仅会影响同期的气候^[26],而且会对气候产生滞后影响,如春季北极涛动与中国夏季降水密切相关^[27]。前期北极涛动可能通过下边界条件影响夏季气候,具体机制尚待研究。

虽然冬季大气环流对夏季气候影响的具体过程尚不清楚,但是由于环流形势在冬半年的信号往往较强,其变化也比较显著,于是冬季环流形势的变化便可以作为分析夏季降水变化趋势的依据之一。

5 近期环流形势及中国东部降水型的可能变化趋势

用近期海温、500 hPa 位势高度和海平面气压的距平场做 5 a 滑动平均,并与“南旱北涝”和“南涝北旱”时期的形势进行对比,以观察其变化趋势。

5.1 SSTA

观察 5 a(1983~1999 年)滑动平均的海温变化发现(图略),北太平洋海温基本处于其正位相,其间也曾出现过北太平洋中部增暖的现象,如 1987 年出现,但在 1990 年已经消失,而且其变化强度和范围都不大,这可能体现了较小时间尺度的年代际变化。

图 8a~e 给出了近年来 5 a 滑动平均的海温距

平分布,从图中可以看出,近年来,北太平洋中部(40°N 附近)的负距平开始缩小,赤道中太平洋出现负距平,且其范围不断向南北扩展;北太平洋东北部北美西岸也由正距平转换为负距平;而中高纬西太

平洋则越变越暖,且在 30°N 附近向东伸展,造成北太平洋中部的增暖。结合“南涝北旱”和“南旱北涝”时期的 SSTA 合成图,可清楚地看到海温异常场正在向“南旱北涝”时期的形势(正位相)转换。

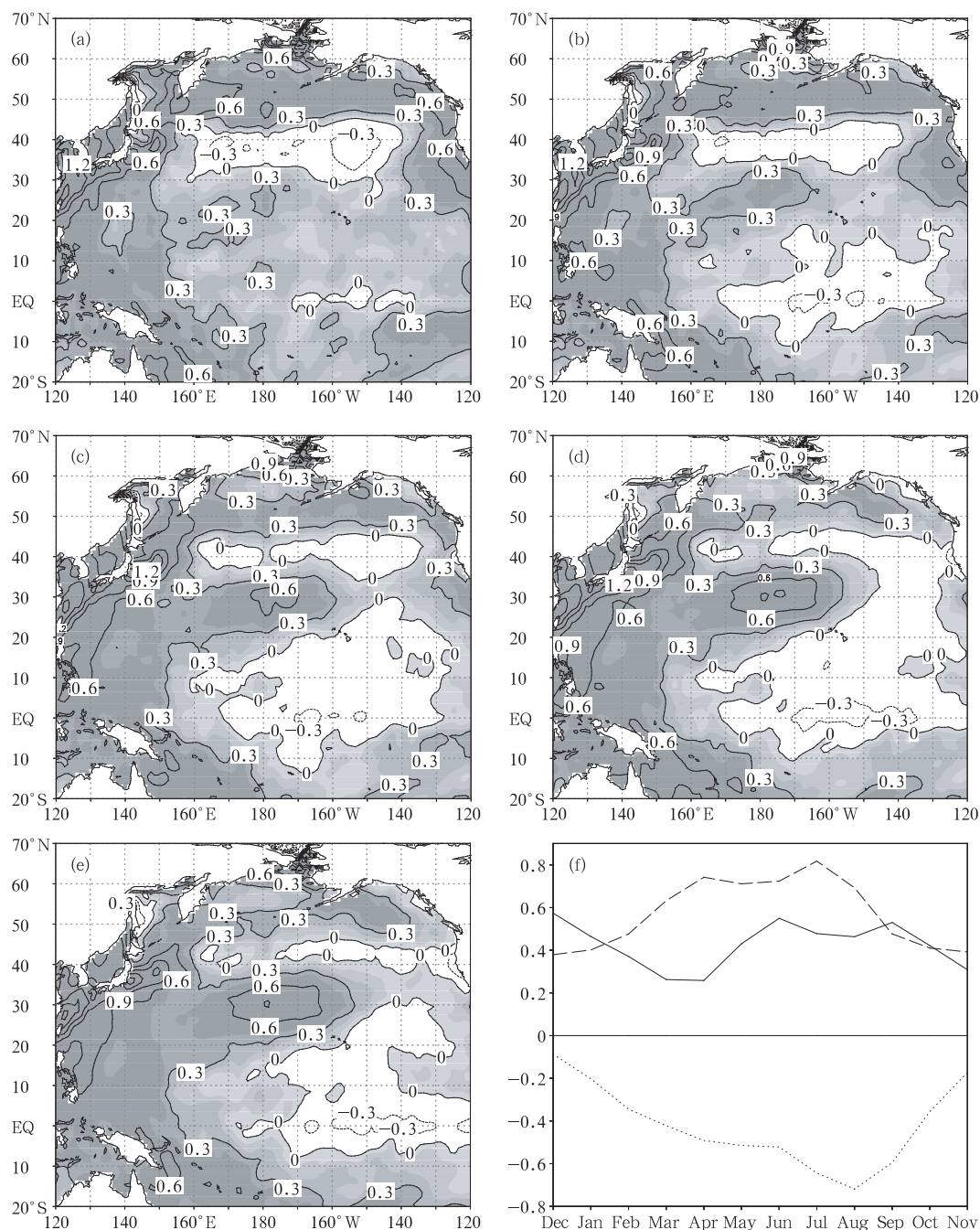


图 8 近期海温(单位: °C)演变情况(a~e 分别为 1955~1999 年平均、1996~2000 年平均、1997~2001 年平均、1998~2002 年平均、1999~2003 年平均, f. 不同阶段 I_{NPD} 的逐月变化(三点平滑); 图中虚线:1983~1999 年平均, 点线:1955~1971 年平均, 实线:2000~2003 年平均)

Fig. 8 Average SSTA (unit: of °C) during 1955–1999 (a), 1996–2000 (b), 1997–2001 (c), 1998–2002 (d), 1999–2003 (e), and Monthly change (f) of I_{NPD} during 1955–1971 (dashed line), 1983–1999 (dotted line), and 2000–2003 (solid line) (three-point running averaged)

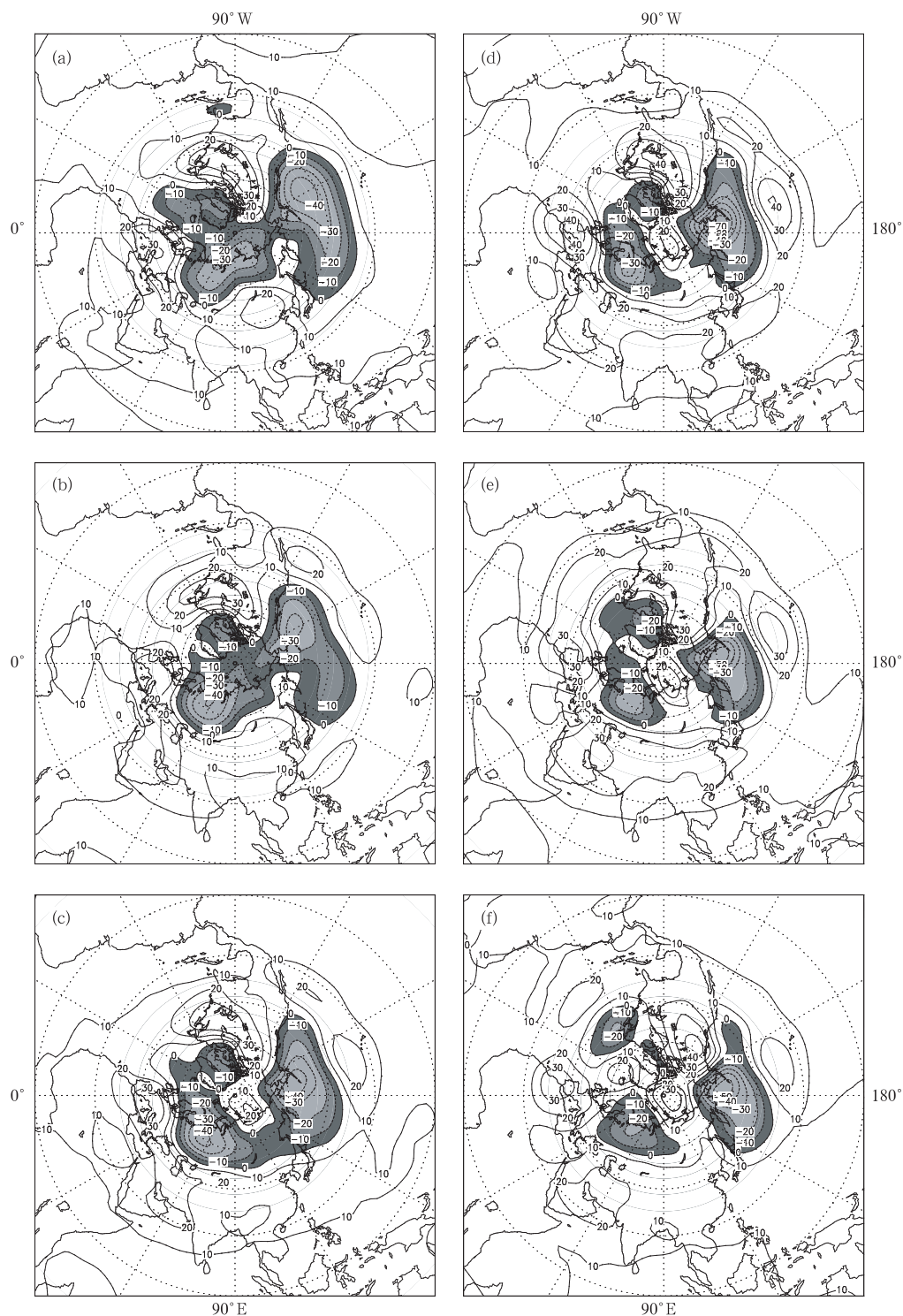


图9 近期冬季 500 hPa 位势高度场异常(单位:gpm)的演变(a~f 分别为 1995~1999 年平均、1996~2000 年平均、1997~2001 年平均、1998~2002 年平均、1999~2003 年平均、2000~2004 年平均)

Fig. 9 Anomaly of 500 hPa geopotential height (unit: gpm) averaged during winters of 1995—1999 (a), 1996—2000 (b), 1997—2001 (c), 1998—2002 (d), 1999—2003 (e), and 2000—2004 (f)

另外,从 NPD 指数的季节变化来看(图 8f),在“南旱北涝”时期,全年 NPD 指数均为正值,说明北

太平洋海温分布处于其正位相,且春、夏季信号较强;在“南涝北旱”时期,全年 NPD 指数均为负值,

说明北太平洋海温分布处于其负位相,春、夏季(尤其是夏季)信号也强于秋、冬季。而近年来(2000~2003年)平均NPD指数在全年都是正值,北太平洋海温分布已经由20世纪80和90年代的负位相转变到了正位相,但与50和60年代的情况还有一定的差距,主要是春、夏季信号仍然较弱。

总之,NPD(北太平洋海温年代际变化),已经转变为正位相,但要转变为类似20世纪50和60年代“南旱北涝”时的形势,可能还需一段时间。

5.2 500 hPa 位势高度

近年来,夏季东亚地区上空始终维持异常高压,仍然利于“南涝北旱”的发生。

冬季500 hPa高度场有比较大的变化(图9),在1999年(图9c),极地地区变为正距平,并在随后的年份中正距平一直加强且南扩,这意味着极涡在一直减弱,而贝加尔湖地区全为正距平所占据,乌拉尔山处的负距平中心也有减弱西移的趋势。这说明东亚中高纬地区的经向环流有所加强,利于产生活跃的

冬季风,这正是20世纪50和60年代“南旱北涝”时期的特点。另外,虽然从500 hPa图上来看,NPO仍然保持较强的信号,但NAO近年来不断减弱。这些特征表明,冬季500 hPa开始具有转型的信号。

用($30^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$, $60^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$)与($65^{\circ}\sim 90^{\circ}\text{N}$, $60^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$)两区域平均位势高度之差表示东亚地区中高纬环流特征的一个指数,它其实反映了副热带与中高纬位势高度之差,是北极涛动在500 hPa东亚地区的反映;指数为正时,西伯利亚高压偏弱,东亚大槽偏弱,中纬西风偏强,冬季风偏弱;指数为负时,情况相反。

从图10中可以看到,20世纪50和60年代该指数处于负位相,80和90年代处于正位相,并且在冬季是有较强的信号。就近期而言,大体上仍处于正位相,但秋、冬季已有向负指数转变的趋势;另外,比较3条曲线的大致走势来看,发现近期的走势与“南旱北涝”时期较为相似。从而可以说,东亚地区中高纬环流也有转型的趋势。

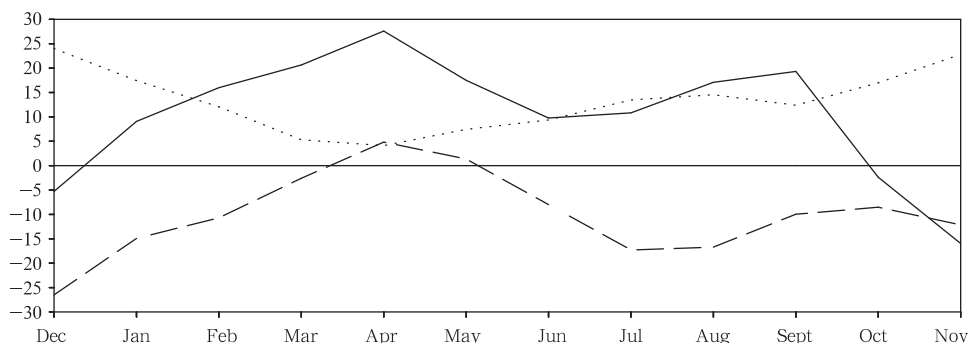


图10 ($30^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$, $60^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$)与($65^{\circ}\sim 90^{\circ}\text{N}$, $60^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$)区域平均位势高度差在3个阶段的逐月变化(三点平滑;虚线:1955~1971年平均;点线:1983~1999年平均;实线:2000~2004年平均)

Fig. 10 Monthly variation of the index which is defined as the difference between 500 hPa potential height anomaly over ($30^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$, $60^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$) and ($65^{\circ}\sim 90^{\circ}\text{N}$, $60^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$), averaged during 1955–1971(dashed line), 1983–1999 (dotted line), and 2000–2004 (solid line) (three-point running averaged)

5.3 海平面气压

近期,夏季东亚大陆的海平面气压(SLP)形势与20世纪80和90年代的平均形势较为相似,依然有利于“南涝北旱”形势的发生。

而冬季海平面气压场也发生了明显的变化(图略)。极地地区在1999年出现较大面积的正距平,中高纬的负距平面积有所减小,AO有减弱的趋势;阿留申地区负距平中心逐渐向北移动,其南部出现正距平中心,并有增强且向北扩展的趋势;在北大西

洋,NAO也有减弱甚至反相的趋势。

5.4 降水

另外,分析近期(2000~2004年)两地区的平均温度和降水的月变化可以看到,华北地区气温和降水、长江中下游气温仍然维持20世纪80和90年代“南涝北旱”时期的特征。而长江中下游降水的月变化(图11)则与50和60年代“南旱北涝”时期的平均情况较为相似,是否说明中国气候的又一次转型将会从长江中下游的降水开始呢?

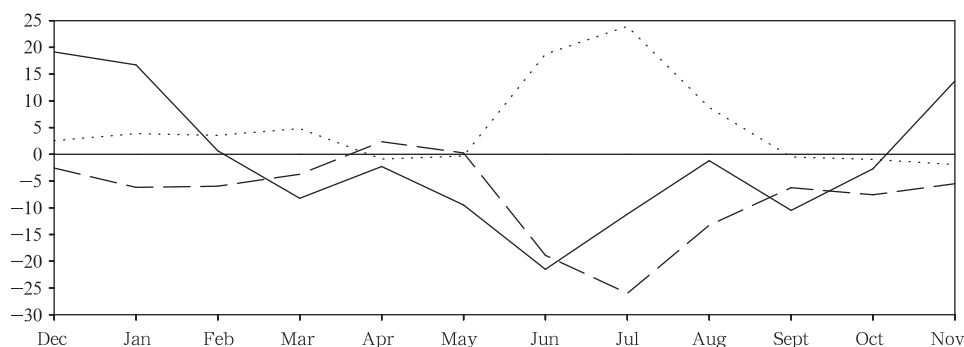


图 11 长江中下游地区夏季降水在 3 个阶段的逐月变化(三点平滑)

(虚线:1955~1971 年平均,点线:1983~1999 年平均,实线:2000~2004 年平均)

Fig. 11 Monthly variation of summer rainfall over the middle and lower reaches of Yangtze River averaged during 1955—1971 (dashed line), 1983—1999 (dotted line), and 2000—2004 (solid line) (three-point running averaged)

6 总结与讨论

morlet 小波分析表明,华北夏季降水具有 8~10 和 16~20 a 周期的年代际变化;长江中下游夏季降水具有分别以 14~16 a 和 20~24 a 为周期的年代际变化。正交小波(db16)分析则表明两地降水还存在更长周期的年代际变化,这种年代际变化可以解释中国 20 世纪 50 和 60 年代“南旱北涝”和 80 和 90 年代“南涝北旱”的降水分布型。

针对“南旱北涝”和“南涝北旱”两个时期,分别选择 17 a 的代表年份进行了环流形势的合成分析,各种形势的对比表明,海温、500 hPa 位势高度、850 hPa 风矢量和海平面气压异常场均存在极明显的差异。在“南旱北涝”时期,北太平洋海温处于其正位相,印度洋偏冷,东亚夏季风偏强,北极涛动偏弱;而“南涝北旱”时期,北太平洋海温处于其负位相,印度洋偏暖,东亚夏季风偏弱,北极涛动偏强。

对近期海温、500 hPa 位势高度以及海平面气压异常场做了 5 a 滑动平均,以观察其演变特征,结果表明,近期北太平洋海温具有明显的向正位相转变的趋势,500 hPa 位势高度场和海平面气压场也出现“转型”的信号。可以说中国的夏季降水即将开始由“南涝北旱”向“南旱北涝”的转型过程。

通过环流形势的分析,可以看到很多系统都与中国东部夏季降水年代际变化密切相关,如北太平洋海温,东亚夏季风,中高纬阻塞高压和北极涛动等,那么这些系统在多大程度上影响中国东部夏季降水,它们之间又是如何相互作用从而共同影响降水呢?有待进一步研究。

由于资料及方法的限制,未能对两地区夏季降水更长的周期做出准确判断,如果有可能用更长的资料或者各种代用资料考察较长历史时期内两地降水的关系以及相应的环流形势,则可以更好的了解它们的周期特征、相互关系及影响因子,从而更有利于对于中国东部旱涝形势的预测。

参考文献

- [1] 李崇银. 气候动力学引论(第二版). 北京:气象出版社, 2000. 515pp
Li Chongyin. An introduction to Climate Dynamics (second edition). Beijing: China Meteorological Press, 2000. 515pp
- [2] 王绍武,朱锦红. 国外关于年代际气候变率的研究. 气象学报, 1999,57(4):376~384
Wang Shaowu, Zhu Jinhong. A review of overseas study on interdecadal variability. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 1999, 57(4): 376—384
- [3] 王绍武,龚道溢等. 1880 年以来中国东部四季降水量序列及其变率. 地理学报, 2000,55:281~292
Wang Shaowu, Gong Daoyi. Seasonal precipitation series of Eastern China since 1880 and the variability. Acta Geographica Sinica (in Chinese), 2000,55:281—292
- [4] Li Xiaodong, Zhu Yafen, Qian Weihong. Spatiotemporal variations of summer rainfall over Eastern China during 1880—1999. Adv Atmos Sci, 2002, 19:1056—1068
- [5] 陈兴芳,赵振国. 中国汛期降水预测技术的研究和应用. 北京:气象出版社,2000
Chen Xingfang, Zhao Zhenguo. Research and Application on Prediction Techniques of Rainfall During Flood Season in China. Beijing: China Meteorological Press, 2000
- [6] 陈兴芳,孙林海. 我国年、季降水的年代际变化分析. 气象, 2002, 28: 3~8

- Chen Xingfang, Sun Linhai. An analysis on interdecadal variation of yearly and seasonal rainfall in China. *Monthly Meteorology* (in Chinese), 2002, 28: 3—8
- [7] Zhu Jinhong, Wang Shaowu. 80 a-oscillation of summer rainfall over the east part of China and East-Asian summer monsoon. *Adv Atmos Sci*, 2001, 18: 1044—1051
- [8] 朱锦红, 王绍武, 慕巧珍. 华北夏季降水 80 年振荡及其与东亚夏季风的关系. *自然科学进展*, 2003, 13: 1205—1209
Zhu Jinhong, Wang Shaowu, Mu Qiaozhen. 80-yr oscillation of summer rainfall in North China and its relation with East Asia summer monsoon. *Progress in Natural Sci* (in Chinese), 2003, 13: 1205—1209
- [9] 周连童, 黄荣辉. 关于我国夏季气候年代际变化特征及其可能成因的研究. *气候与环境研究*, 2003, 8: 275—290
Zhou Liantong, Huang Ronghui. Research on the characteristics of interdecadal variability of summer climate in China and its possible cause. *Clim Environ Res* (in Chinese), 2003, 8: 275—290
- [10] 朱益民, 杨修群. 太平洋年代际振荡与中国气候变率的联系. *气象学报*, 2003, 61(6): 642—654
Zhu Yimin, Yang Xiuqun. Relationships between Pacific Decadal Oscillation(PDO) and climate variabilities in China. *Acta Meteor Sinica* (in Chinese), 2003, 61(6): 642—654
- [11] 李峰, 何金海. 北太平洋海温异常与东亚夏季风相互作用的年代际变化. *热带气象学报*, 2000, 16(2): 261—271
Li Feng, He Jinhai. The decadal change of the interaction between Northern Pacific SSTA and East Asian summer monsoon. *J Tropical Meteorol* (in Chinese), 2000, 16(2): 261—271
- [12] 杨辉, 宋正山. 华北地区水资源多时间尺度分析. *高原气象*, 1999, 18: 496—507
Yang Hui, Song Zhengshan. Multiple time scales analysis of water resources in North China. *Plateau Meteorol* (in Chinese), 1999, 18: 496—507
- [13] 严华生, 万云霞等. 用正交小波分析近百年来中国降水气候的变化. *大气科学*, 2004, 28: 151—157
Yan Huasheng, Wan Yunxia. Orthogonal wavelet analysis of the variations of the recent 100-years precipitation in China. *Chinese J Atmos Sci* (in Chinese), 2004, 28: 151—157
- [14] 邓自旺, 施能, 王永波. 南方涛动(SO)与北大西洋涛动(NAO)百年变化特征的正交小波分析. *热带气象学报*, 2001, 17: 57—64
Deng Ziwan, Shi Neng, Wang Yongbo. Orthogonal wavelet analysis of SO and NAO. *J Tropical Meteorol* (in Chinese), 2001, 17: 57—64
- [15] 咸鹏, 李崇银. 北太平洋海温变化的年代际模及其演变特征. *大气科学*, 2003, 27: 862—868
Xian Peng, Li Chongyin. Interdecadal modes of sea surface temperature in the North Pacific Ocean and its evolution. *Chinese J Atmos Sci* (in Chinese), 2003, 27: 862—868
- [16] 李崇银, 李桂龙, 龙振夏. 中国气候年代际变化的大气环流形势对比分析. *应用气象学报*, 1999, 10: 1—8
Li Chongyin, Li Guilong, Long Zhenxia. Comparing analyses of atmospheric circulation for interdecadal climate variation in China. *Quart J Appl Meteorol*, 1999, 10: 1—8
- [17] 李春, 孙照渤, 陈海山. 华北夏季降水的年代际变化及其与东亚地区大气环流的联系. *南京气象学院学报*, 2002, 25: 455—462
Li Chun, Sun Zhaobo, He Jinhai. Inter-decadac variation of North China summer precipitation and its relation with East Asian general circulation. *J Nanjing Insti of Meteorol* (in Chinese), 2002, 25: 455—462
- [18] 孙林海, 赵振国, 许力. 中国东部季风区夏季雨型的划分及其环流成因分析. *应用气象学报*, 2005, 16(增刊): 56—62
Sun Linhai, Zhao Zhenguo, Xu Li. Study of summer rain pattern in monsoon region of East China and its circulation cause. *J Appl Meteorol Sci* (in Chinese), 2005, 16(Suppl): 56—62
- [19] 郭其蕴, 蔡静宁, 邵雪梅. 1873~2003 年东亚夏季风变化的研究. *大气科学*, 2004, 28: 206—215
Guo Qiyun, Cai Jingning, Shao Xuemei. Studies on the variations of East-Asian summer monsoon during AD 1873 ~ 2000. *Chinese J Atmos Sci* (in Chinese), 2004, 28: 206—215
- [20] 晏红明, 肖子牛. 印度洋海温异常对亚洲季风区天气气候影响的数值模拟研究. *热带气象学报*, 2000, 16: 18—27
Yan Hongming, Xiao Ziniu. The numerical simulation of the Indian ocean SSTA influence on climatic variations over Asian monsoon region. *J Tropical Meteorol* (in Chinese), 2000, 16: 18—27
- [21] 覃军, 王盘兴. 中国东部夏季三个雨带降水的年代际变化及其与中高纬环流和海温的关系. *热带气象学报*, 2005, 21: 63—71
Tan Jun, Wang Panxing. Interdecadal variations of monsoon rainbands over China and their relationships with Ocean-Atmospheric systems in mid-High latitudes. *J Tropical Meteorol* (in Chinese), 2005, 21: 63—71
- [22] Chang-Hoi Ho, Lee June-Yi, Myoung-Hwan Ahnb, et al. A sudden change in summer rainfall characteristics in Korea during the late 1970s. *Int J Climatol*, 2003, 23: 117—128
- [23] 孙淑清, 孙柏民. 东亚冬季风环流异常与中国江淮流域夏季旱涝天气的关系. *气象学报*, 1995, 53(4): 440—450
Sun Shuqing, Sun Bomin. The relationship between the anomalous winter monsoon circulation over East Asia and summer drought/flooding in the Yangtze and Huaihe river valley. *Acta Meteor Sinica* (in Chinese), 1995, 53(4): 440—450
- [24] Bueh Cholaw, Ji Liren, Sun Shuqing. EAWM—related air-sea-land interaction and the Asian summer monsoon circulation. *Adv Atmos Sci*, 2001, 18: 659—673
- [25] 李崇银, 朱锦红, 孙照渤. 年代际气候变化研究. *气候与环境研究*, 2002, 7: 209—219
Li Chongyin, Zhu Jinhong, Sun Zhaobo. The study on inter-

- decadal climate variation. *Clim Environ Res* (in Chinese), 2002, 7: 209–219
- [26] 龚道溢, 王绍武. 近百年北极涛动对中国冬季气候的影响. *地理学报*, 2003, 58: 559–568
- Gong Daoyi, Wang Shaowu. Influence of Arctic oscillation on winter climate over China. *Acta Geographica Sinica* (in Chinese), 2003, 58: 559–568
- [27] 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
- Gong Daoyi, Zhu Jinhong, Wang Shaowu. The significant relation of summer rainfall in Yangtze river valley and AO in earlier stage. *Chinese Sci Bull* (in Chinese), 2002, 47(7): 546–549

ANALYSIS ON INTERDECADAL VARIATION OF SUMMER RAINFALL AND ITS TREND IN EAST CHINA

Gu Wei

(*LASG, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029;*
Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

Li Chongyin

(*LASG, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029;*
Meteorological College, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101)

Yang Hui

(*Meteorological College, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101*)

Abstract

In the 1950s and 1960s, summer rainfall was abundant over North China (NC) and below average over the middle and lower reaches of Yangtze River (YR). While in the 1980s and 1990s, North China was obsessed with severe droughts and YR was more flooded. In case of the opposite spatial distribution of summer rainfall over East China (ECSR) between the two periods, by wavelet analysis, ECSR from 1951 to 2004 have been studied and it was found that both summer rainfalls over NC and over YR exist obvious interdecadal variations with different time scales. For variations with time scales shorter than 24 years, morlet wavelet analysis shows that the phase between summer rainfall over NC and YR is not fixed. For variations with longer time scale, study on orthogonal wavelet analysis was conducted and the results are in agreement with the opposite spatial distribution between the two periods as mentioned in the beginning. It proves that ECSR has the characteristic of interdecadal variations with longer periods. And for this kind of variation, 17 years are chosen from the two periods and make a contrast of their SST distribution and atmospheric circulation. Results show that they are totally different in 1950s and 1960s from that in the 1970s and 1980s. Finally, by comparing SST distribution and atmospheric circulation in recent years with that in the previous years, the possible trend of ECSR in the future are discussed.

Key words: Summer rainfall, Drought (flood) in south and flood (drought) in north, SST, Circulation pattern, Trend analysis.