

山东夏季降水与西太平洋暖池区海洋 热状态及夏季风异常^{*}

陈永利 白学志 赵永平

(中国科学院海洋研究所)

山东省东接太平洋,西连欧亚大陆,受海洋和大陆的影响,季风气候特点相当显著,常导致严重旱、涝灾害。山东全年降水主要集中在夏季,6~8月降水占全年降水的60%以上。其原因主要是受西太平洋副热带高压和夏季风活动的影响。副热带高压的增强和北伸与梅雨锋的位置和强度变化对山东夏季降水有直接作用,其夏季降水的年际变率较大,是旱、涝频发的省份。

我国旱涝变化与太平洋海洋热状况有着极为密切关系(翁学传等,1994)。El Niño现象对气候的影响更加引起了海洋气象学家对海洋变化的高度重视。他们分析了El Niño现象和太平洋海表温度(SST)与山东夏季降水的关系(如:奚秀芬,1988;卢金墀,1982;张苏平等,1999),但对比降水分布发现无论是El Niño发生的当年还是次年,降水距平百分率的零线均从山东中部通过。我国夏季降水主要受三种类型雨带控制。由于山东处于一类雨带(华北多雨)和二类雨带(江淮多雨)的转换地带,近40年的降水资料分析表明,三种类型雨带在山东夏季降水正、负距平年出现率几乎均等。因此,山东夏季降水的变化有其特殊性,需要从多方面进行研究。

西太平洋暖池是全球海温最高的海域,也是全球海气能量交换总量最大的区域。它的存在和变化对北半球夏季气候异常有着重要作用。西太平洋副热带高压的变化与西太平洋暖池面积大小有密切关系(李万彪等,1998),20世纪70年代末以来的西太平洋副高增强也与这一时期暖池的跃变有关(赵永平等,2002),暖池及其上空的对流活动的异常影响着西太平洋副高的变化和我国雨带的位置(黄荣辉等,1992,1994),由此所激发的大气遥相关波列可波及西欧和北美。最近的研究也表明,冬、春季暖池区热含量的变化对南海夏季风爆发早、晚有重要影响(Chen et al, 2001)。当西太平洋暖池区海洋热含量高时,南海夏季风爆发早,反之则爆发晚。这对我国夏季季风雨的变化研究有重要意义,而且也必将对山东夏季旱涝产生重要影响。

本文作者通过对山东夏季降水资料的分析,对山东夏季降水时空变化及其与西太平

^{*} 中国科学院海洋研究所调查研究报告第4549号。

山东省自然科学基金“西太平洋暖池变异与山东夏季旱涝关系研究”和中国科学院知识创新工程项目“ZK CX2-SW-210”共同资助。

收稿日期:2001年12月31日

洋暖池区域海洋热状态及副热带环流和夏季风变化的关系和影响的可能过程进行了探讨。

一、资料与方法

山东夏季降水(6~8月降水总量)分析基于全省70个气象台站1961~2000年40年的月平均降水观测资料。850hPa风场和500hPa高度场资料为NCEP/NCAR 1961~1998年逐月的 $2.5^{\circ}\times 2.5^{\circ}$ 网格的月平均再分析资料。海温资料为美国Scripps海洋研究所提供的 $2^{\circ}\times 5^{\circ}$ 纬度、经度格点1961~1998年1~12月的月平均XBT资料。

西太平洋暖池一般是指 $SST\geq 28^{\circ}C$ 线所包围的区域(Wyrski, 1989)。应该说,从高温分布总体范围来看,它除了热带西太平洋外,还应包括热带东印度洋一部分。需要指出的是,如何表征暖池热状态的变化,目前尚无统一认识。如按 $SST\geq 28^{\circ}C$ 的面积表征,由于暖池区SST变幅很小(SSTA的最大绝对值小于 $1^{\circ}C$),其表现为暖池暖时(面积大),热带西太平洋暖池区SSTA为负距平,中、东太平洋为正距平;而暖池冷时(面积小),则相反。这与实际的西太平洋暖池高温区的热状态变化相悖。暖池主要表现为暖池区域海温高。由于夏季暖池北移, $28^{\circ}C$ (SST)等温线可以达到 $30^{\circ}N$ 以北,而西太平洋暖池区的平均最大温跃层深度在160m左右,因此我们取扩大的区域($20^{\circ}S\sim 40^{\circ}N$, $80^{\circ}E\sim 140^{\circ}W$)作为暖池的变化范围,0~200m为暖池热含量的计算深度,以此来表征暖池热状态。

为了分析山东夏季降水的时空变化特征及其与暖池区海洋热状态变化的关系,我们首先对资料进行了标准化处理,消除了年变化。然后,用经验正交函数方法 EOF 对降水资料进行了分解,并用 Wavelet 子波技术分析了夏季降水的多尺度结构;用奇异值分解技术(SVD)分析了山东夏季降水时空分布与暖池区热状态及夏季风环流的关系。

二、结 果

1. 山东夏季降水异常分布的时空特征

夏季(6~8月)是山东全年降水最集中的季节,各地的平均降水量在355(临清)~542mm(莒南)之间,占全年降水量的60%以上。降水量自南向北递减,鲁中山区南部及山东半岛东南部在500mm以上,鲁西地区在400mm以下,其他各地在400~500mm之间。夏季降水的年际变率很大,按40年(1961~2000年)资料计算,夏季降水量极大值与极小值之差,均超过当地夏季降水总量的多年平均值,即:降水最大振幅均在多年平均值的1.5~2倍以上(图略)。由此可见,山东夏季的旱涝变化相当明显。

(1) 主要 EOF 模态

图1是夏季降水距平 EOF 分解前3个模态的空间分布图与相应的时间系数(见图1)。图1a中第一特征向量场解释了夏季降水总方差的48%,是降水分布的主要典型场。它以整个区域特征值符号同相为主要特征,当时间系数(PC1)为正值时,整个山东表现为正距平的降水分布。降水最大距平中心位于鲁中山区,向外逐步减小,这种降水形势的差异可能与鲁中山区地形对夏季暴雨的影响有关。处于泰山、鲁山和莲花山之间的泰莱平

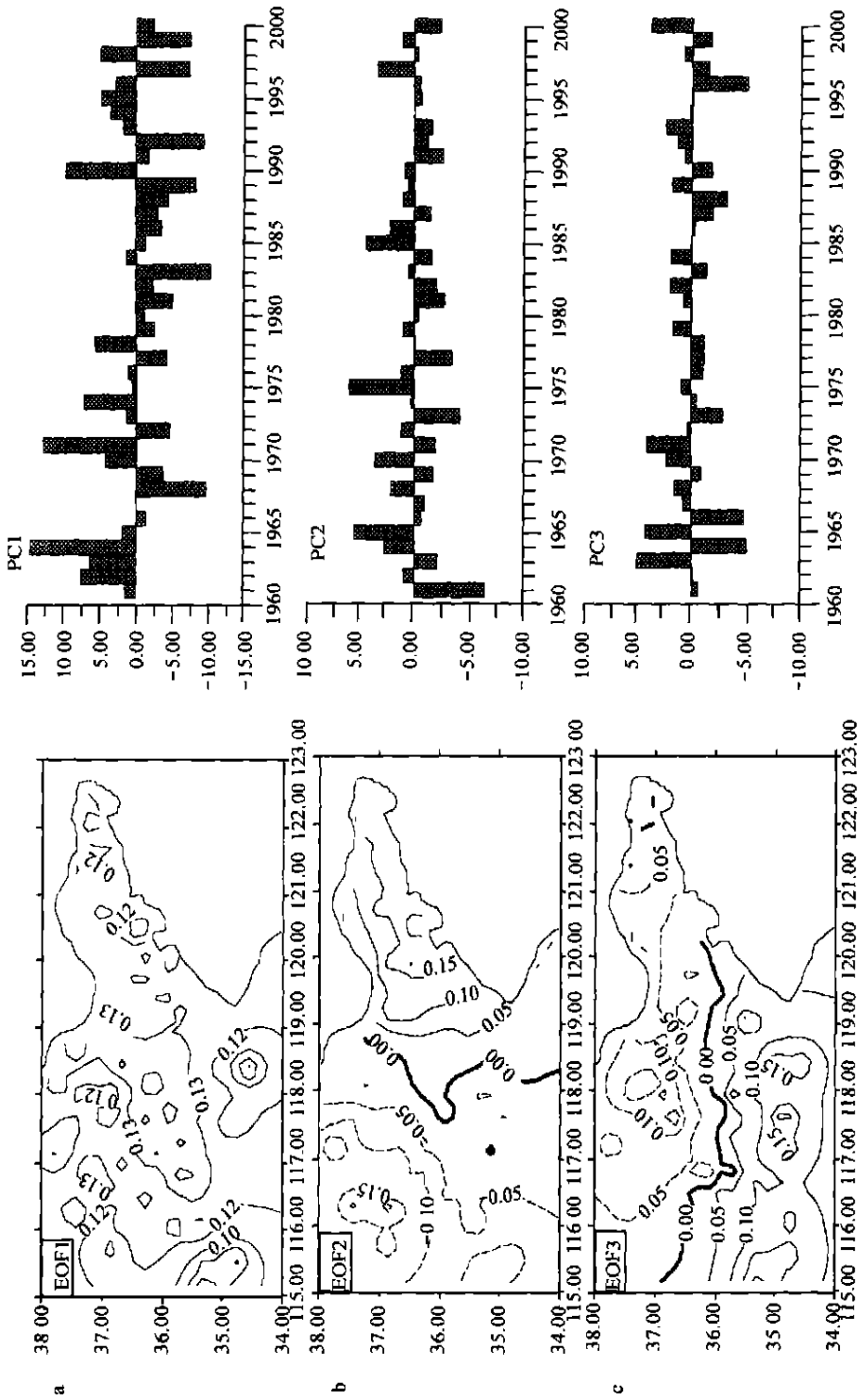


图 1 山东夏季降水距平 EOF 前 3 个模态(左)与相应的时间系数(右)

原东部,其北、东、南三面环山,当低空西南暖湿气流进入该地时,因辐合抬升,往往造成局地暴雨。这种降水分布的不均匀性,也反映出山东夏季降水的局地作用相当明显。1964、1971、1990年夏季为全省范围的3个涝年,各地的降水均超过平均降水量的35%以上。若按降水距平百分率 $>50\%$ 为洪涝划分,1964年全省洪涝面积竟达60%。1968、1983、1992年3个旱年,全省的降水距平百分率也大都 $<-35\%$ 以下;1983年严重干旱($<-50\%$)的区域也占全省范围的40%。第一特征向量的时间变化主要特征是20世纪60~70年代多雨,70年代末期降水符号突然改变,从60~70年代的正距平转为80年代的负距平。

第二特征向量场(图1b)解释了降水量总方差的9%。它主要表现为东、西部的反相变化。当 118°E 左右以东,尤其是半岛地区(中心在青岛附近)多雨时,山东西部则干旱。负距平位于鲁西北地区。第三特征向量场(图1c)主要表现为南、北方向分布的差异。以 36°N 为界,其南、北区域呈反位相变化。当时间系数为正时, 36°N 以南地区多雨,中心位于枣庄、菏泽一线; 36°N 以北,从山东半岛至鲁西北地区则少雨。这种形势60年代中连续交替出现,其后呈减弱趋势。90年代中期开始似有增加。该模态解释了降水量总方差的8%。前3个特征向量场解释了降水量总方差的65%。

(2) 降水时间分布的多尺度变化

图2为前3个模态时间系数(PC1、PC2、PC3)Wavelet小波变换的实部等值线图。由图可以发现,夏季降水具有明显的多尺度特征。第一模态的时间变化主要发生在2a、3~5a、7a和16a时间尺度的层面。夏季降水总量除了存在着2.6a左右的周期变化外;3~5a时间尺度的变化主要出现在80年代末至90年代。70年代以前则主要表现在7a的时间尺度上,1964年、1971年的全省大涝就发生在这一时间尺度。在16a时间尺度上,山东夏季降水存在着准16a周期振荡,整个时段都表现出较强的周期信号。另外,从年代际尺度上看,70~80年代为全省范围的干旱期,而60年代以前和90年代以后为相对多雨期。山东夏季降水似存有36a左右的时间尺度变化。

第二模态时间变化主要表现在2~3a、4~7a和10a 3个时间尺度上。夏季降水东、西反相分布具有10a左右的准周期变化。2~3a周期主要出现在60年代。而在4~7a尺度上有从60年代逐渐减弱的趋势。第三模态周期变化信号较弱。8a时间尺度的周期主要出现在90年代,2~3a周期出现在60年代中和90年代末。

从上述分析可以看出,山东夏季降水分布主要存在3种类型,全省降水的同相变化是山东夏季降水的主要特征。除此之外,还存在着降水分布的东、西和南、北向差异。降水的时间变化呈现出明显的多尺度特征,除了10a和16a左右的准周期外,降水变化的周期性在时域中具有局部化特征。如对全省范围而言,在60~70年代以7a周期最活跃,而3~5a振荡在80年代末以后最明显。夏季降水所具有的周期性变化与南海夏季风变化所具有的2a、4~7a、16a和32a的周期(戴念军,2000)相吻合。这一迹象显示,山东夏季降水的变化除受西太平洋副热带高压影响外,尚与亚洲夏季风的活动有关。

2 山东夏季降水与西太平洋暖池区热状态的变化

SVD方法是研究两个不同要素场之间线性耦合关系的有效方法,它擅长于识别和提取两个要素场之间的最佳耦合模态。Brohaska(1976)首先将SVD方法引入大气科学研

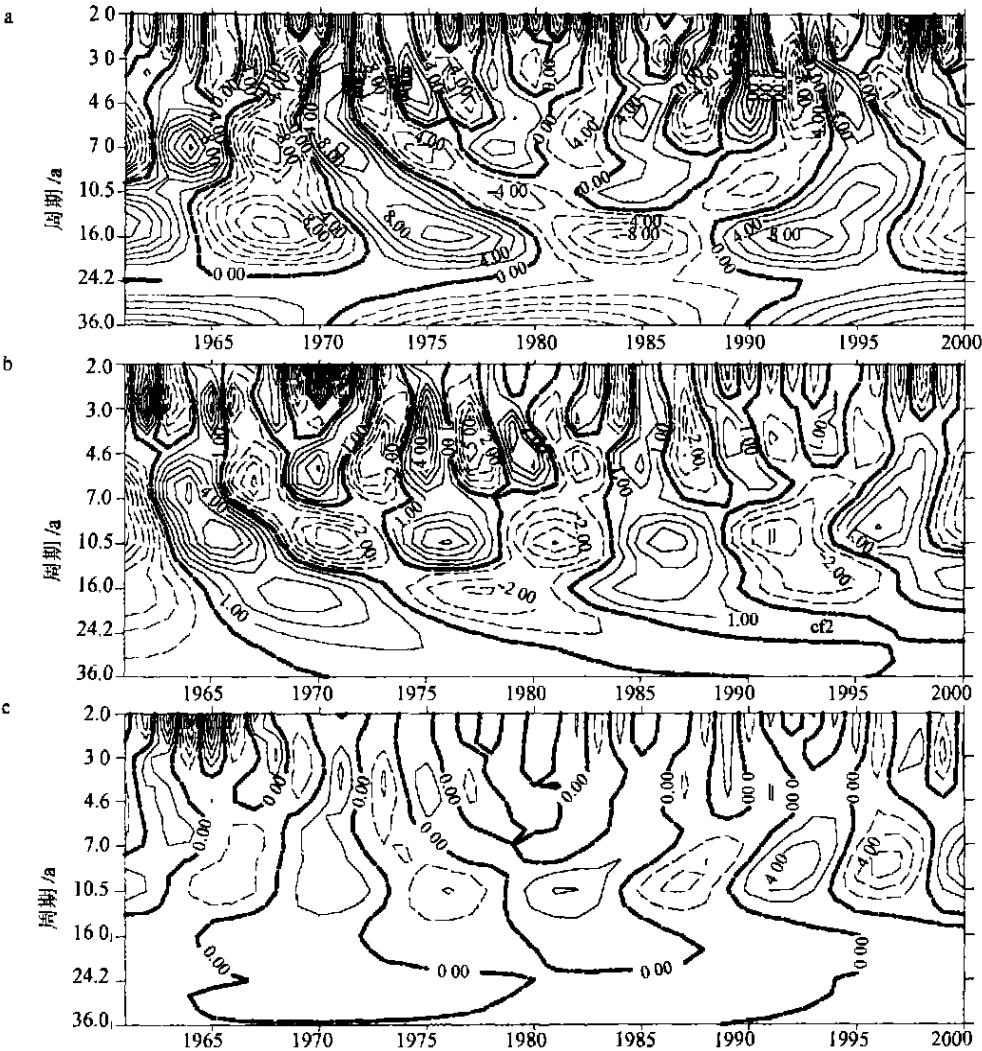


图2 降水前3个模态时间系数的Wavelet子波变换(实部值)
a: PC1; b: PC2; c: PC3

究中,Wallace等(1992)用SVD方法研究了冬季太平洋SST与500hPa高度异常的联系。我们取山东70站的夏季(6~8月)降水标准化距平场作为SVD分析的右场,取西太平洋暖池区(选择区域同前)前期5~7月平均热含量的标准化距平场作为左场进行联合分析,探讨山东夏季降水与西太平洋暖池区热状态之间的变化关系。

图3分别给出山东夏季降水场与暖池区热含量场SVD分解的前3个模态和相应的时间系数。图中阴影部分为相关信度>90%的区域。前3个模态的方差贡献为总方差贡献的73.97%。将前3个SVD降水模态与EOF降水模态对比可以发现,它们的时空分布基本一致。这说明山东夏季降水的变化与西太平洋暖池区热状态的变化有着一定的联系。

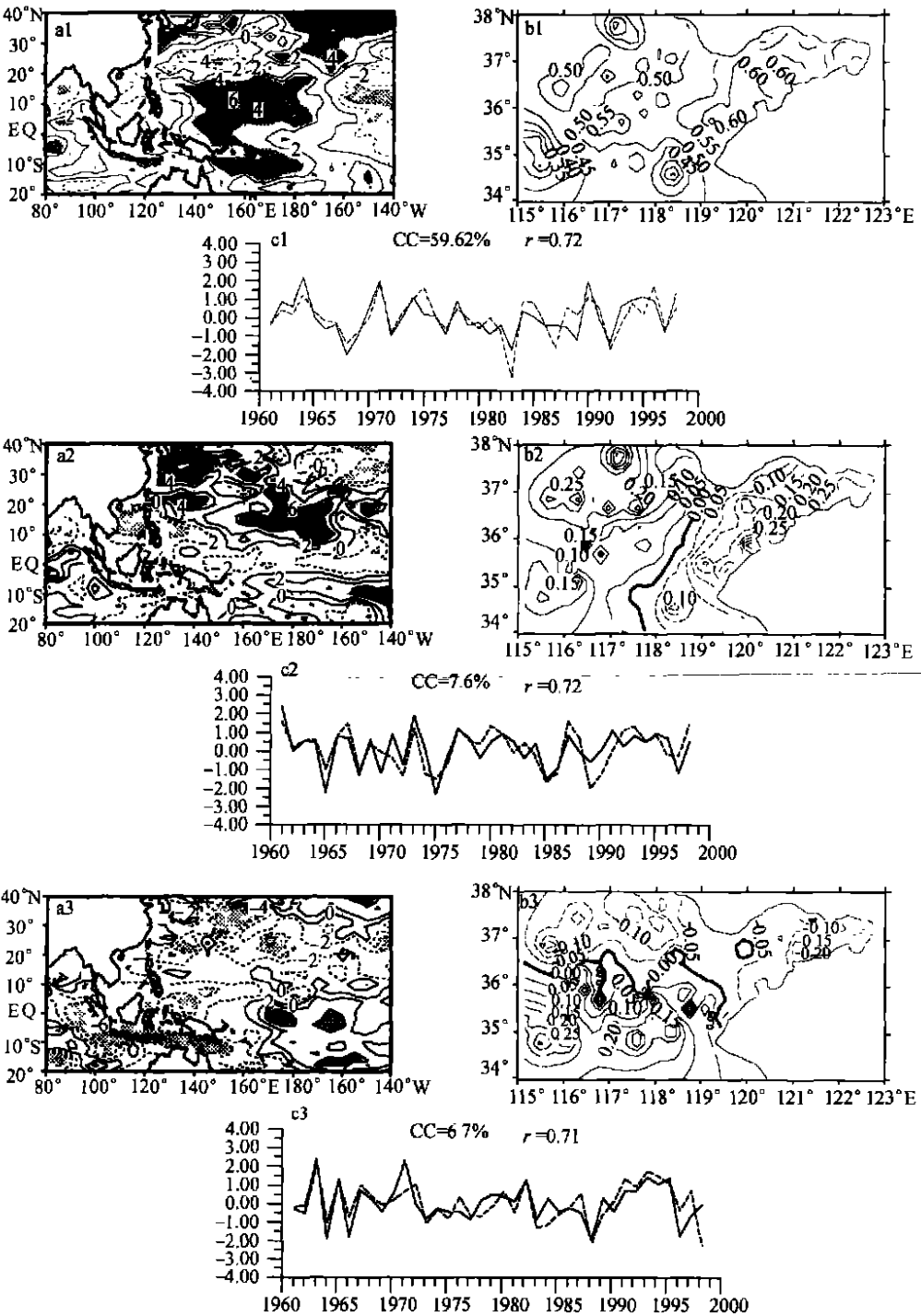


图3 前期(5~7月)西太平洋暖池海域热量与山东夏季降水标准化距平场SVD前3个模态及相应时间系数

a 热量场,图中实、虚阴影部分分别表示相关信度达到90%的正、负相关区;b 降水场;c 与两场相对应的时

间系数(实线为降水,虚线为热量)。1~3分别表示1、2、3模态

SVD 第一模态解释了山东夏季降水与热含量距平场之间总方差的 59.62%。降水模态(图 3b1)表现为全省降水的一致变化。海洋模态(图 3a1)的分布表明,夏季降水为正距平时,印度洋北部至南海和西北太平洋区域热含量为负距平,西太平洋 $15^{\circ}\text{S} \sim 20^{\circ}\text{N}$ 、 $140^{\circ}\text{E} \sim 170^{\circ}\text{W}$, 附近暖池区(主要在赤道以北)和北太平洋一部分为正距平;而夏季降水为负距平时,则相反。影响山东夏季降水的主要区域在西太平洋暖池区(实、虚阴影区为相关信度 $> 90\%$ 的正、负相关区域)。从 SVD1 时间变化(图 3c1)可以看到,除 1988 ~ 1989 年距平符号反相外,1962 ~ 1964、1971、1974、1978、1984、1990、1994 ~ 1996、1998 年的降水为正距平年和 1966 ~ 1968、1972、1977、1983、1992、1997 年的降水为负距平年,也分别与暖池区热状态的暖、冷位相对应,两者的变化关系相当一致。两个特征场的相关系数 $r = 0.72$ 。尤其值得注意的是,1964、1971、1990 年的 3 个洪涝年和 1968、1983、1992 年的 3 个干旱年均与暖池区异常暖的或冷的热状态相关联。即当西太平洋暖池区异常暖时,山东易出现大范围的水涝;反之,当暖池区域异常冷时,易出现全省范围的干旱。

SVD 第二降水模态(图 3b2)与夏季降水第二类型场相对应,除特征值符号东、西方向反号外,其分布特征基本吻合,其时间系数(图 3c2)变化与 EOF 第二模态系数的变化相一致。SVD 第二模态解释总方差的 7.6%。海洋模态(图 3a2)的主要特征表现为我国近海与暖池区为正距平,其位置较第一模态明显偏北,且主要位于我国近海区域。南海、西太平洋赤道区域以及北太平洋为负距平。当时时间系数为正值时, 118°E 以东的半岛地区降水偏少,而在此以西,尤其是鲁西北地区降水偏多。

第三模态(图 3b3, a3, c3)解释总方差的 6.7%。其表现特征为除 180°E 以东赤道以南的中太平洋地区为正距平外,整个太平洋区域为弱的负距平变化。主要相关区在热带西太平洋 $100^{\circ} \sim 140^{\circ}\text{E}$ 的赤道地区。这种海洋热状态的分布与山东夏季降水的南部多雨,而北部少雨相关联。通过 SVD 分析可以发现,山东夏季降水与西太平洋暖池区海洋热状态的变化有着较强的耦合关系。西太平洋暖池区海洋热状态的异常变化对山东夏季降水分布有着相当重要的作用。

3. 山东夏季降水与副高及夏季风环流异常

西太平洋暖池热状态的变化对我国夏季气候有重要作用。黄荣辉等(1992, 1994)研究指出,暖池热状态及暖池上空的对流异常直接影响着西太平洋副高位置和强度的变化,进而影响着我国夏季雨带位置与长江、黄淮流域的夏季降水。山东夏季降水与副高有密切关系。副高北跳到 23°N 以北,同时 90°E 附近的西风带高压脊为低槽所代替,是山东雨季开始的标志。造成山东夏季暴雨的 5 种天气系统均与副高有关(曹钢锋等, 1988)。

图 4 是山东夏季 3 个涝年(1964、1971、1990 年)和 3 个旱年(1968、1983、1992 年)7 ~ 8 月 500hPa 平均高度和差值(涝年减旱年)图。它们分别与西太暖池区的暖、冷状态相对应。比较图 4a 和 b 可发现,涝(暖)、旱(冷)年夏季,副高的位置和强度存在很大差异。暖池区海洋热状态偏暖时,500hPa 高度场 588 位势什米等值线位于 30°N 以北、 160°E 以东,而 585 线也仅到达长江中下游。副高位置偏东、偏北,强度偏弱。山东位于副高西侧西南气流的影响之下,降水偏多。这种形势有利于山东夏季降水。相反,暖池区处于偏

冷状态的夏季,副高脊线位于 25°N 以南,强度偏强。585线西伸到 90°E ,副高控制了我国 30°N 以南的广大区域。在这种情况下,西南和东南暖湿气流不易向北方地区深入,山东位于纬向西风气流影响之下,因此易造成干旱。涝、早年副高异常所产生的最大差异是由于副热带高压北抬,黄淮下游及日本以东地区高度为正高度异常,低纬地区和其以西的高、中、低纬地区为负高度异常(图4c)。东高西低的环流形势为山东降雨提供了有利条件。

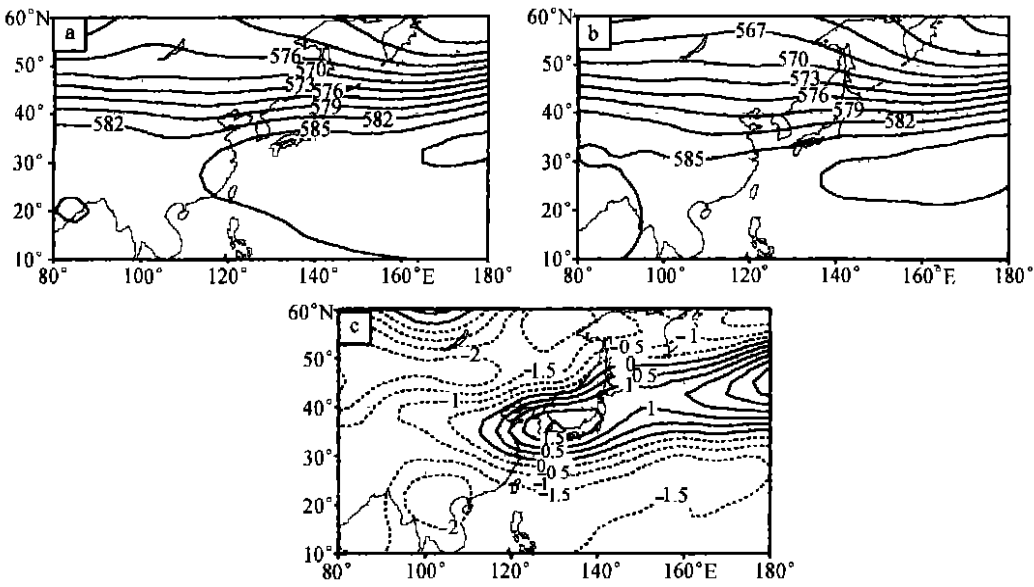


图4 山东夏季涝、早年7~8月500hPa平均高度与差值(涝年减早年)
a 涝年; b 早年; c 涝年减早年高度差(单位: $\times 10\text{gpm}$)

图5给出了运用SVD技术分析得到的山东夏季降水与5~7月东亚季风区($0^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{N}$, $80^{\circ}\sim 180^{\circ}\text{E}$)500hPa位势高度和850hPa距平风场第一模态的左异相关图(图5a、b)和相应系数的时间序列(图5a1、b1)。如图所示,第一模态降水场主要反映了山东夏季降水的变化,图中阴影区分别表示位势高度场和风场与降水相关信度超过95%的区域。两个模态分别解释了总方差的74.7%和60.9%。图5a和5b清楚地表明,山东夏季降水与东亚低、中纬大气环流和副热带高压的变化有密切关系。500hPa环流形势恰恰反映了中、低纬环流系统的作用及副热带环流的变化,与涝、早年的环流差异分布是一致的(图4)。由于热带低纬季风低压系统的加强,副热带高压北抬,季风气流北推到达黄河流域中下游,给这个地区带来丰沛的水汽。山东夏季降水主要受两股偏南气流影响:一是副高西侧来自西太平洋的转向气流,二是高原东侧和来自中南半岛的西南气流,这两支气流汇合于我国东部黄淮流域,沿山东一线形成气流辐合带。山东多雨的距平流场形势是大陆气旋性环流和副热带反气旋性环流的加强,它对应着500hPa贝加尔湖附近冷槽的加深和日本附近东北亚地区阻塞高压的发展。这种形势使得南来的暖湿季风气流与冷槽中不断分裂南下的冷空气交汇于山东地区,从而产生较多的降水。从时间系数的变化可明显看出,副高位置偏北(偏南),副热带季风强(弱)时,则山东夏季降水多(少)。两个场的

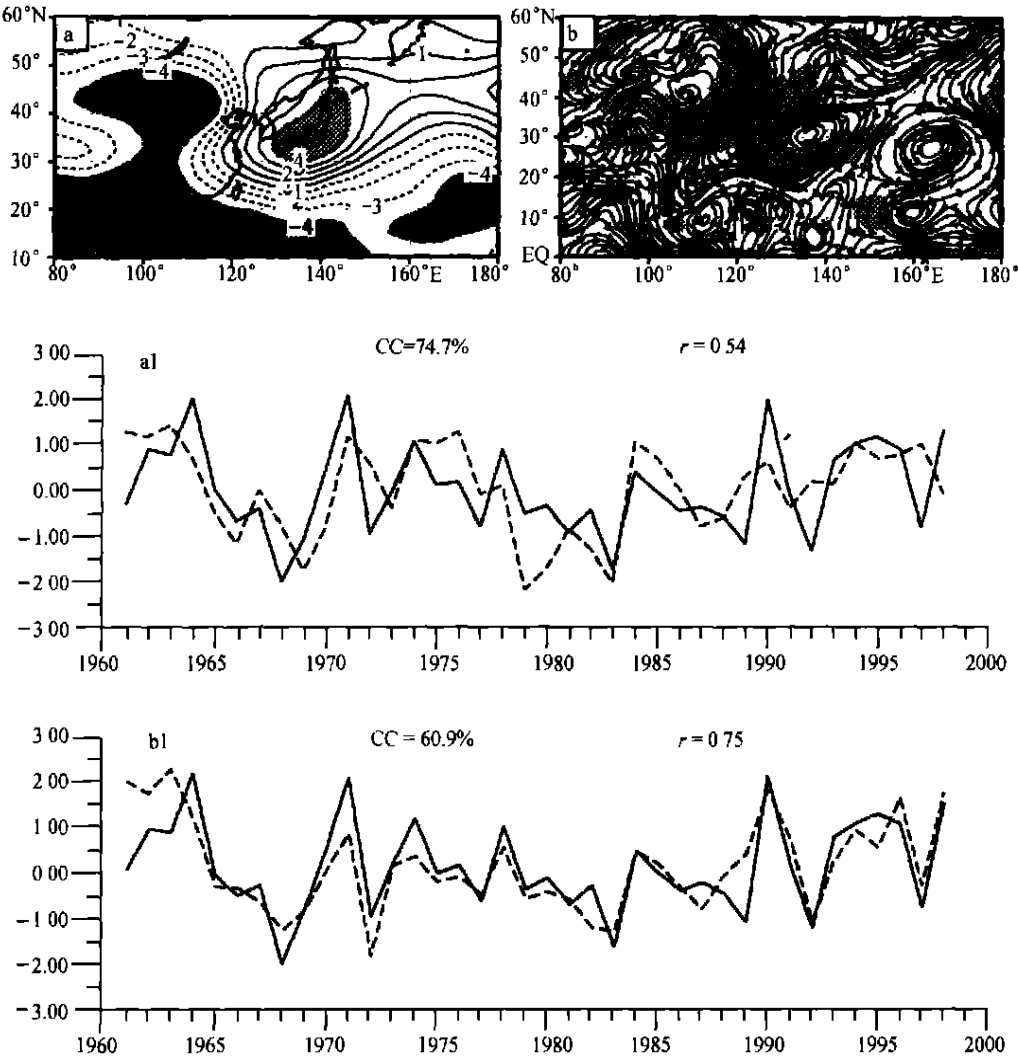


图5 山东夏季降水与5~7月500hPa高度场(a)和850hPa风场(b)SVD第一模态相关图及相应时间系数(a1, b1)

(图中阴影部分为相关超过95%显著性检验的区域; a1、b1中实线为降水, 虚线分别为高度场或风场)

相关系数分别为 $r=0.54$ 和 $r=0.75$ 。与图 3c1 对比可以发现, 它们与暖池热状态的时间变化基本一致。由此可见, 山东夏季降水的多寡与东亚夏季风环流的强弱有密切关系, 与副高和副高与梅雨锋的位置和强度密切相关, 受副高西侧转向西南气流的影响很大。暖池区热状态的变化通过影响副高的位置进而影响山东夏季降水。

三、结论与讨论

(1) 山东夏季降水分布主要存在 3 种类型, 全省降水的同相变化是山东夏季降水的

©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

主要特征。除此之外,还存在着降水分布的东、西和南、北向差异。降水的时间变化呈现出明显的多尺度特征。除了 10a 和 16a 左右的准周期外,降水变化的周期性在时域中具有局部化特征。

(2) 夏季降水分布与西太平洋暖池区海洋热状态的变化有着较强的耦合关系。3 种类型的降水分布分别与暖池区海洋热状态的异常有关。当暖池区海洋异常暖时,山东易多雨;反之,当暖池区海洋异常冷时,易出现全省范围的干旱。

(3) 夏季降水的多寡与东亚夏季风环流的强弱有密切关系,与副高和副高与梅雨锋的位置和强度密切相关,受副高西侧转向或南来西南气流的影响很大。副高直接受暖池区海洋热状态变化的影响,暖池区热状态异常通过影响副高位置的变化进而影响山东夏季降水。

参 考 文 献

- 翁学传、赵永平、何有海, 1994, 太平洋热状况与我国旱涝关系研究综述, 海洋科学, (1): 22~26.
- 卢金堀, 1982, 山东夏季降水与北太平洋海温的相关分析, 海洋湖沼通报, (1): 1~3.
- 奚秀芬、邓世芳, 1988, El Niño 现象与山东旱涝的关系, 山东气象, (4): 16~19.
- 张苏平、朱平胜、胡桂芳, 1997, 山东夏季降水与北太平洋和大气环流的关系, 气象, 23(4): 3~8.
- 李万彪、周春平, 1998, 热带西太平洋暖池和副热带高压之间的关系, 气象学报, 56(5): 619~625.
- 赵永平等, 2002, 西太平洋暖池跃变及其气候效应, 热带气象学报, 18(4): 171~180.
- 黄荣辉等, 1992, 夏季大气环流异常的东亚太平洋遥相关及其在我国旱涝预测中的应用, 见: 长期天气预报和日地关系研究, 海洋出版社, 6~19.
- 黄荣辉、孙凤英, 1994, 热带西太平洋暖池热状况及其上空的对流活动对东亚夏季气候异常的影响, 大气科学, 18(2): 141~151.
- 戴念军、谢安、张勇, 2000, 南海夏季风活动的年际和年代际特征, 气候与环境研究, 5(4): 363~374.
- 曹钢锋、张善君等, 1988, 山东天气分析与预报, 气象出版社, 144~189.
- Chen Yongli and Hu Dunxin, 2001, Influence of heat content anomaly in the tropical western Pacific warm pool region on onset of South China Sea summer monsoon, *Acta Meteor. Sin.* (in press).
- Brohaska, J., 1976, A technique for analyzing the linear relationships between two meteorological fields, *Mon. Wea. Rev.*, 104: 1345~1353.
- Wallace, J. M., Smith, C. and Bretherton, C. S., 1992, Singular value decomposition of wintertime sea surface temperature and 500-mb height anomalies, *J. Climate*, 5: 661~576.
- Wyrtek, K., 1989, Some thoughts about the West Pacific Warm Pool In: "Proceedings of the Western Pacific International Meeting and Workshop on TOGA-COARE", New Caledonia, 99~109.

RELATIONSHIP BETWEEN SUMMER RAINFALL ANOMALIES OVER SHANDONG AND THE WESTERN TROPICAL PACIFIC WARM POOL AREAS THERMAL STATE AND SUMMER MONSOON VARIABILITY^{*}

CHEN Yongli, BAI Xuezhì, ZHAO Yongping
(*Institute of Oceanology, The Chinese Academy of Sciences*)

Abstract

The spatial and temporal variabilities of summer rainfall over Shandong for the period 1961 ~ 2000 were analyzed by EOF and wavelet analysis. The links between the variabilities of the rainfall and the Western Tropical Pacific Warm Pool areas thermal state and the summer monsoon were studied by SVD. The results showed that there are mainly 3 patterns of summer rainfall in Shandong, one of which is important that present in—phase variance of rainfall over all Shandong; besides it, there still exist the distributive differences between eastern and western; northern and southern. Variability of summer rainfall over Shandong is very closely links to the thermal state in the Western Tropical Pacific Warm Pool area. When the Western Tropical Pacific Warm Pool is warmer than normal, summer rainfall throughout Shandong is heavy, and vice versa. The impact of the thermal state variations in the Western Tropical Pacific Warm Pool area on the summer rainfall in Shandong seems to be through the changes in position of the western Pacific subtropical high and intensification of the east Asian summer monsoon.

^{*} Contribution No. 4549 from the Institute of Oceanology, The Chinese Academy of Sciences.