

北太平洋海温异常对中国东北地区旱涝的影响*

孙 力 安 刚

(吉林省气象科学研究所, 长春, 130062)

摘 要

文中利用 1961~2000 年中国东北地区 80 个测站 40 a 的月降水和同一时期的北太平洋海温资料以及奇异值分解(SVD)技术,分析了北太平洋海温异常对中国东北地区夏季旱涝的影响。结果表明:东北地区夏季降水与北太平洋海温异常之间存在着较为密切的联系,当前期冬季和春季甚至是前一年夏季赤道中太平洋海温如果处于异常偏暖(或偏冷)状态,并且西风漂流区具有较明显的 SST 负(或正)距平分布时,则东北大部分地区夏季降水具有整体偏多(或偏少)的倾向。当然,东北地区降水与北太平洋海温异常之间的这种联系也并非是一一对应的关系。

关键词: 中国东北地区, 夏季旱涝, 海温异常, 奇异值分解。

1 引 言

中国东北地区位于中高纬度,大量资料表明,夏季洪涝和干旱等气候灾害异常活跃,特别是近些年来旱涝发生的频率还有增加的迹象^[1],1997 和 1999 年,特别是 2000 年出现的历史上罕见的持续性干旱和 1998 年发生的特大洪涝灾害都给当地经济特别是农业生产造成了很大损失。虽然人们从不同角度曾对东北地区旱涝问题进行过一些研究,但主要是集中在降水异常的时空分布规律方面^[2,3],对旱涝成因以及预测强信号的讨论较少。众所周知,对于短期气候变化来说,海洋扮演着非常重要的角色,特别是 ENSO 现象被认为是迄今为止所发现的高于气候噪音水平的最强的海洋和大气年际变化的信息。热带海洋 SSTa 不但对低纬度地区降水异常有直接和重要的影响,同时对中高纬度地区的气候变化也可以起到重要的作用^[4],当然这种作用关系与热带地区相比要显得更为复杂和多变^[5]。关于热带太平洋 SST 与夏季风和中国降水的关系很多学者都做了大量有价值的研究^[6~11],但绝大多数工作主要关注的是海温对中国东部地区旱涝的影响,而很少涉及到中国东北地区。最近,文献[12]从简单的统计事实得出东北地区夏季旱涝对同期赤道东太

平洋海温异常并不存在确定的遥相关,而文献[2]则认为 ENSO 循环对该地区降水异常具有一定的作用,可见,人们对热带太平洋 SSTA 对东北地区旱涝究竟存在着哪些影响以及这种影响的程度如何等问题还缺乏应有的认识。为此,本文以奇异值分解(Singular Value Decomposition)方法为基础,利用 1961~2000 年东北地区 80 个测站 40 a 的月降水和同一时期的北太平洋海温资料,对上述提出的问题进行了初步探讨,并得到了一些有意义的结果。

2 资料和方法

奇异值分解是一个分析两个要素场之间相互关系的方法,它可最大限度地从两个要素场中分离出多个相互独立的耦合模态,从而揭示出两个气象要素场所存在的时域相关性和空间联系,这种耦合的空间分布型能最大限度地解释两场的交叉协方差。由于奇异值分解是以两个场之间最大协方差为基础展开的,因此它在研究两个要素场序列之间的时空关系时是一个有力的工具。一些研究表明,SVD 技术在分析两个要素场之间的联系时比自然正交函数(EOF)和典型相关分析(CCA)方法更有效并且具有普适性^[13,14]。

降水资料选用吉林、辽宁、黑龙江和内蒙东北部

* 初稿时间:2002 年 5 月 8 日;修改稿时间:2002 年 10 月 15 日。

资助课题:科技部社会公益研究立项资金和国家自然科学基金(40275019)。

4省(区)均匀分布的80个测站1961~2000年夏季(6~8月)的降水总量。太平洋海表温度取 $10^{\circ}\text{S}\sim 50^{\circ}\text{N}$, $120^{\circ}\text{E}\sim 80^{\circ}\text{W}$ 范围内(286个格点, $5^{\circ}\times 5^{\circ}$)的月平均值。

取北太平洋海温为左场, 共286个格点, 东北地区降水为右场, 共80个测站, 左右场时间序列长度为1961~2000年共计40 a, 对海温场和降水场做距平标准化处理后, 进行了如下时滞耦合的SVD分析: ①以前期冬季(12, 1, 2月平均)太平洋海温场为左场, 夏季降水场为右场; ②以前期春季(3, 4, 5月平均)太平洋海温场为左场, 夏季降水场为右场; ③以当年夏季太平洋海温场为左场, 同期夏季降水场为右场; ④以前一年夏季太平洋海温场为左场, 当年夏季降水场为右场。

3 结果分析

表1给出了方案a, b, c和d前4对奇异向量的

表1 前4对奇异向量的方差贡献及耦合模态的相关系数

SVD 模态 和积累方差	方案 a		方案 b		方案 c		方案 d	
	协方差 贡献(%)	模态相 关系数	协方差 贡献(%)	模态相 关系数	协方差 贡献(%)	模态相 关系数	协方差 贡献(%)	模态相 关系数
1	62.8	0.69	41.8	0.60	27.6	0.54	52.2	0.68
2	9.2	0.63	15.6	0.60	17.8	0.50	15.5	0.66
3	6.5	0.65	13.2	0.67	12.5	0.64	8.8	0.69
4	5.1	0.76	6.1	0.72	11.2	0.66	4.2	0.71
积累方差	83.6		76.7		69.1		80.7	

图1a和图1b分别给出了夏季东北地区降水场与其前冬北太平洋海温场之间SVD分析第1耦合模态的空间分布, 可以看到, 东北地区夏季降水场上(图1a)均为负值分布, 最显著的异常区位于东北地区的中部(中心相关系数-0.78)和西部(中心相关系数-0.72), 这表明东北地区夏季降水异常主要体现在中部和西部, 由于图中均是负值分布, 因此, 东北地区降水异常还具有整体一致的变化倾向。

冬季北太平洋海温场的分布特点是(图1b), 东南部为负值分布, 中北部为正值分布, 西部从南至北为正负相间的分布, 比较显著的异常区有2个, 它们是位于赤道中东太平洋(大致是Nino3区)的较强负值区(中心相关系数-0.86)和位于北太平洋西风漂流区的较强正值区(中心相关系数0.62)。这反映了前冬赤道中东太平洋海温如果处于异常偏暖(或偏冷)状态, 而西风漂流区是较明显的SST负距平(或正距平)分布时, 则东北地区夏季降水具有整体

协方差贡献和相应耦合模态的相关系数。可以看出, 按方案a和b以及d所做的奇异值分解收敛速度较快, 前4个耦合模态的累积方差贡献即可达80%左右, 尤其是第1耦合模态占有比较大的协方差比重, 其中方案a, b和d分别为62.8%, 41.8%和52.2%, 所以第一对奇异向量就能基本上表达出夏季东北地区旱涝与其前冬和前春以及前一年夏季北太平洋海温异常之间相互关系的主要特征。并且第一对奇异向量的模态相关也十分显著, 方案a, b和d分别可达0.69, 0.60和0.68, 均远远超过了0.001的信度标准($\alpha_{0.001} = 0.50$), 这说明前冬和前春以及前一年夏季北太平洋SSTA与当年夏季东北地区降水异常之间确实具有较为密切的时空相关性(特别是前冬), 而同期夏季北太平洋SSTA与东北地区降水异常之间的联系稍差, 对应关系也更为复杂。下面主要讨论它们之间的非同步SVD结果。

上(或大部分地区)偏多(或偏少)的倾向, 尤其是东北地区的中部和西部更加明显, 即冬季赤道中东太平洋海温异常对预测未来夏季东北地区降水具有明确的指示意义。

事实上, 东北地区大部夏季降水异常与冬季北太平洋海温之间确实存在着比较密切的联系, 图2为东北地区80个测站夏季降水量总和与冬季北太平洋海温之间的相关系数分布。可以看到, 图2与图1b有某些类似之处, 北太平洋的东南部存在着十分明显的大片正相关区, 尤其是赤道中东太平洋和墨西哥的西海岸附近更为明显, 最大相关系数可达0.48~0.52, 接近或超过了0.001信度标准, 而西风漂流区是负相关分布, 中心相关系数为-0.32, 也达到了0.05的信度标准。

图3表示夏季东北地区降水场与冬季北太平洋海温场SVD第1耦合模态的时间系数分布, 可以看到, 两场之间的变化趋势是非常一致的, 模态相关可

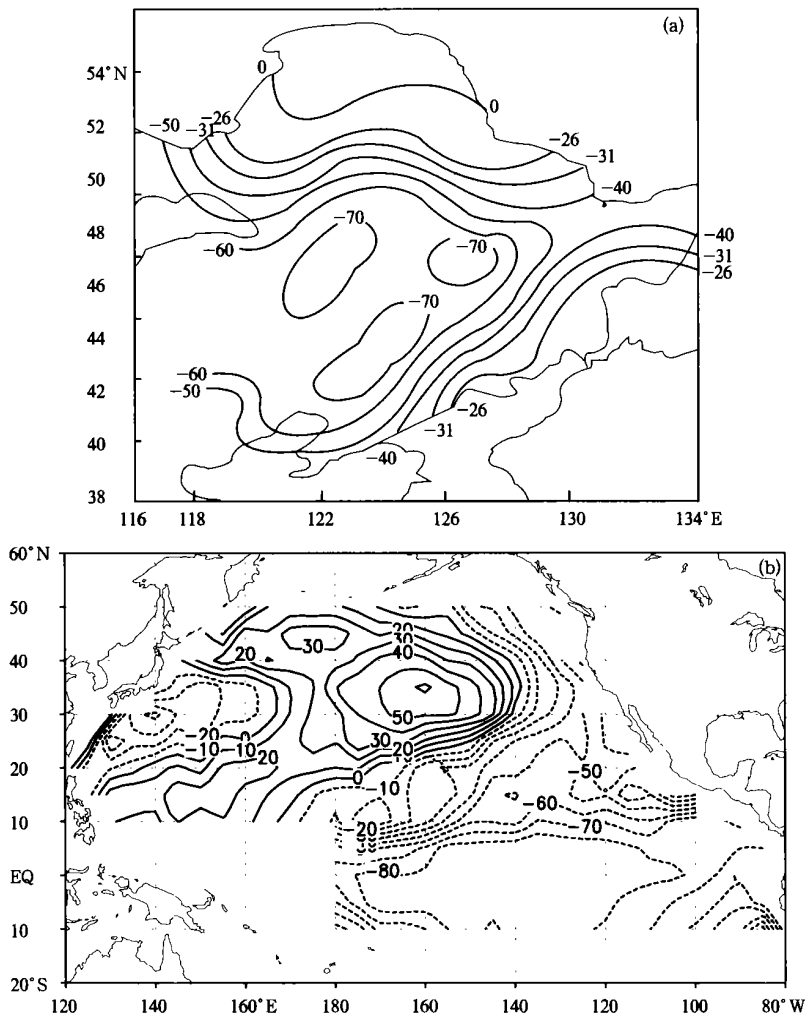


图 1 方案 a 第 1 对奇异向量夏季东北地区降水场 (a) 和冬季北太平洋海温场 (b) 的空间分布 (图中数值为相关系数乘 100, 以下同)

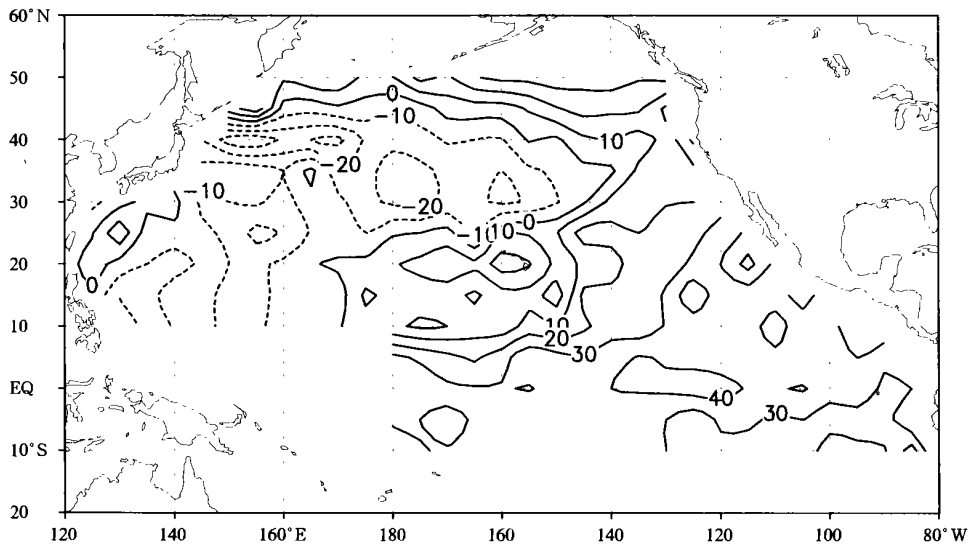


图 2 东北地区 80 个站夏季降水量总和与冬季北太平洋海温之间相关系数分布

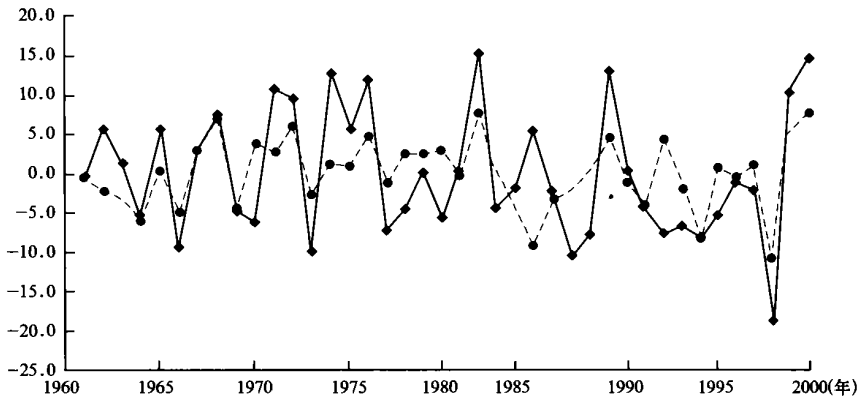


图 3 方案 a 第 1 耦合模态的时间系数分布
(实线: 冬季北太平洋海温场; 虚线: 东北地区夏季降水场)

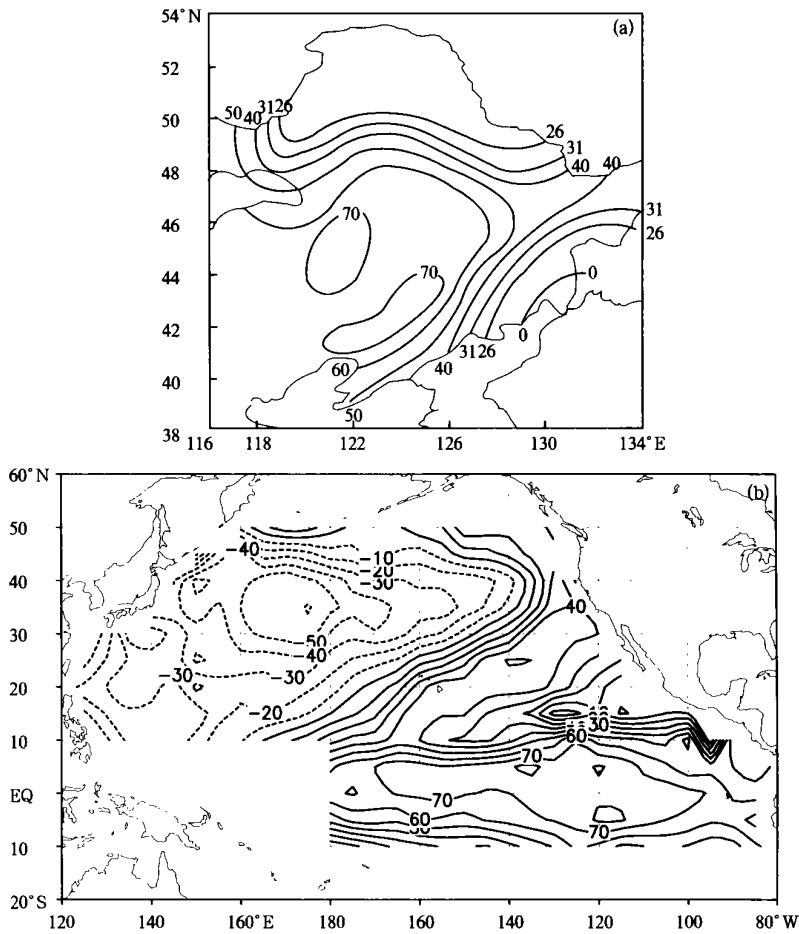


图 4 方案 d 第 1 对奇异向量夏季东北地区降水场 (a) 和前一年夏季北太平洋海温场 (b) 的空间分布

达 0.69, 具有很明显的时空非同步联系, 并且, 1961~2000 年 40 a 来东北地区重大旱涝异常事件在图 3 中均有较为清晰的反映, 强度也拟合得较好。2000, 1999, 1989, 1982, 1976, 1972 和 1968 年的严重干旱都发生在时间系数的正位相当中, 并取正位相极值, 而

1998, 1994, 1991, 1984, 1969, 1966 和 1964 年的严重洪涝都发生在时间系数的负位相当中, 并取负位相极值。1961~2000 年的 40 a 中, 当冬季北太平洋海温取负(或正)的时间系数, 而东北地区夏季降水为正(或负)距平分布的年份可以占总年份的 75%,

特别是 80 个测站平均每个测站夏季降水距平大于 50 mm 小于 -50 mm 的 18 个较为明显的旱涝年, 与冬季海温时间系数的符号符合率可以达到 80%。可见, 将冬季北太平洋海温异常作为预测夏季东北地区旱涝的前兆信号是有一定可信度的。

方案 a 第 2 耦合模态的分布特点是(图略), 当赤道东太平洋(仅限于东太平洋)海温为正(或负)距平, 而西风漂流区及其以北海域海温为负(或正)距平分布时, 则东北地区东部倾向于降水减少(或增加), 而西北部降水容易偏多(或偏少)。方案 a 的其它模态积累方差贡献不足 28%, 与 ENSO 事件也没什么联系。

东北地区夏季降水场与前春北太平洋海温场之间 SVD 分析第 1 耦合模态的空间分布与图 1a 与图 1b 相类似(图略), 夏季东北地区降水场也均为负值分布, 较为显著的异常区主要位于东北地区西北部的嫩江流域(中心相关系数 -0.81)和中部平原附近(中心相关系数 -0.74)。春季北太平洋海温场也同

样显示出东南部为负和西北部为正的分布特点, 赤道中东太平洋(中心相关系数 -0.82)和北太平洋西风漂流区(中心相关系数 0.78)是二个最为显著的异常区。因此, 春季如果赤道中东太平洋 SST 继续维持异常偏暖(或偏冷)状态, 而西风漂流区仍然延续明显的 SST 负(或正)距平分布, 那么, 夏季东北地区降水仍然具有整体偏多(或偏少)的倾向, 尤其是嫩江流域和中部平原的某些地区更为明显。即上述冬季北太平洋海温异常对夏季东北地区降水的影响具有明显的持续性。该模态时间系数分布(图略)也与图 3 相类似, 对东北地区夏季降水有较高的概括率。

北太平洋海温异常对东北地区夏季降水的影响也并非完全体现在赤道太平洋上, 方案 b 第 2 耦合模态(图略)显示出, 当西太平洋海温正(或负)距平(中心相关系数 0.81)以及夏威夷群岛以南的东太平洋海温负(或正)距平(中心相关系数 -0.71)明显时, 则东北地区南部降水容易偏少(或偏多)。

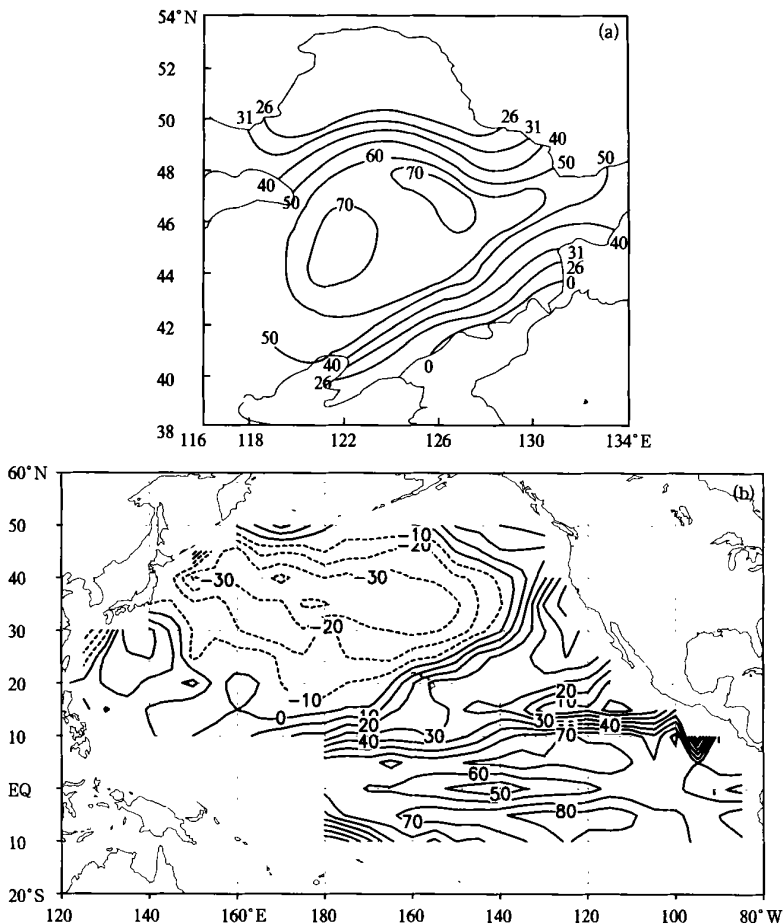


图 5 方案 c 第 1 对奇异向量夏季东北地区降水场(a)和同期夏季北太平洋海温场(b)的空间分布

事实上, 冬季和春季北太平洋海温异常对夏季东北地区降水影响的主要特征(持续性)在前一年夏季就有所体现, 如图 4(东北地区夏季降水与前一年夏季北太平洋海温之间 SVD 第 1 耦合模态, 方差贡献 52.2%, 模态相关系数 0.68)所示, 东北地区夏季降水场均为正值分布(图 4a), 尤其是东北地区的中部和西部是显著的异常区(中心相关系数 0.77)。与图 4a 所对应的前一年夏季北太平洋海温场的分布特点仍然是东南部为正, 西北部为负, 位于赤道中东太平洋显著正相关区的最大相关系数可达 0.82(图 4b), 西风漂流区显著负相关区的中心相关系数也可达 -0.61, 即当前一年夏季如果北太平洋海温呈现出 El Nino(或 La Nina)型时, 则当年夏季东北地区降水就有明显的多雨(或少雨)倾向。

东北地区夏季降水与同期夏季北太平洋海温之间相关程度不如前期那样明显, 方差贡献较为分散, 模态相关也相对较低, 第 1 模态(方差贡献 27.6%,

模态相关 0.54, 图 5)的分布特征是, 当北太平洋海温呈现出 El Nino(或 La Nina)型时, 东北地区西北部的嫩江流域和东北部的松花江干流流域降水有偏多(或少)的倾向, 其它地区降水变化不明显。而第 2 模态(方差贡献 17.8%, 模态相关 0.5, 图 6)则显示出, 当赤道东太平洋(仅限于赤道东太平洋)出现海温正距平(或负距平)时, 东北地区南部有少雨(或多雨)趋势, 而其它地区降水变化不明显。其它模态方差贡献更小, 与 ENSO 关系也不大。因此可以看到, 同期海温与降水的关系更为复杂, 赤道中东太平洋海温无论是处于正距平还是负距平, 东北地区降水都有可能偏多或是偏少, 因此, 海温与降水的同期关系从东北地区整体上看并没有明显的倾向, 文献 [12] 也得到了类似的结果, 但如前所述, 这时东北不同地区(如西北部和南部)降水异常趋势的差别还是存在的。

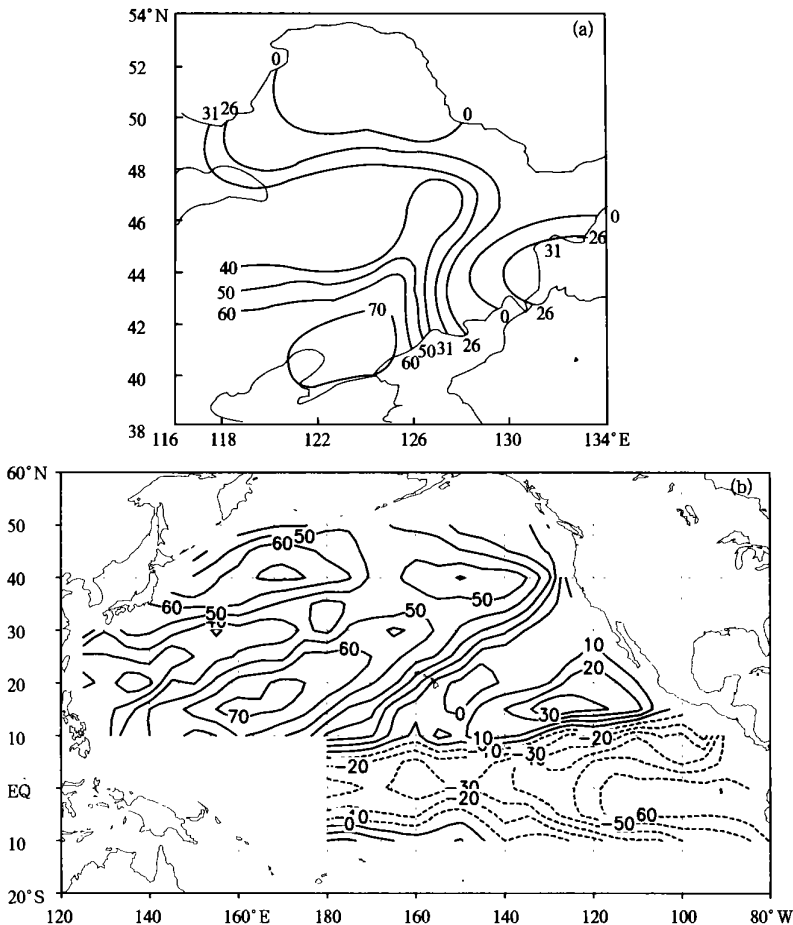


图 6 同图 5, 但为第 2 耦合模态

4 结论和讨论

通过以上分析,可以得到如下一些结论:

(1) 东北地区夏季降水与前期冬季和春季以及前一年夏季北太平洋海温异常之间存在着较为密切的关联, SVD 分析的第 1 耦合模态具有较高的协方差贡献, 最高的超过 60%, 模态相关系数也远远超过了 0.001 的信度标准, 表明两场之间整体一致的耦合关系十分明显。由于海温与降水之间所存在的这种非同步联系、具有时空相关显著和时间间隔长的特点, 因此, 可以将前冬和前春甚至是上一年夏季北太平洋海温异常特征(尤其是 El Nino 或 La Nina 型)作为预测当年夏季东北地区旱涝基本趋势具有一定指示意义的前兆信号。

(2) 具体说, 当前期冬季和春季以及前一年夏季赤道中东太平洋海温如果处于明显的偏暖(或偏冷)状态, 而西风漂流区是明显的 SST 负距平(或正距平)分布时, 则东北大部分地区夏季降水具有整体

偏多(或偏少)的倾向, 特别是东北地区的中部和西部更加明显。这种耦合模态占有的协方差贡献最大。

(3) 造成东北地区夏季降水异常的原因是复杂的, 它与北太平洋海温之间的联系也并非简单的——对应的关系, 方案 a, b, c 和 d 前几个模态的方差贡献就说明了这一点, 另外, 即使是赤道或热带太平洋海温异常, 如果最大 SSTA 出现在不同的区域, 或者是其它区域海温分布与之配置不同, 则东北地区夏季降水异常都可能出现差别, 特别是同期关系更为复杂一些, 这时北太平洋海温无论是处于 El Nino 型还是 La Nina 型, 东北降水都有可能偏多或偏少, 当然, 这时东北不同地区(如西北部或是南部)降水异常趋势的差别还是存在的。

本文得出的只是北太平洋海温与东北降水之间关系的初步统计结果和基本推测, 至于它们之间的内在动力学机制如何, 是值得进一步探讨的。

参考文献

- 1 孙力等. 中国东北地区夏季旱涝的大气环流异常特征. 气候与环境研究, 2002, 7(1): 102~ 113
- 2 孙力等. 中国东北地区夏季降水异常的气候分析. 气象学报, 2000, 58(1): 70~ 82
- 3 孙力等. 东北地区旱涝的 OLR 特征分析. 应用气象学报, 2000, 11(2): 228~ 235
- 4 丁一汇. 高等天气学. 北京: 气象出版社, 1991. 717~ 718
- 5 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. 66~ 67
- 6 吴国雄, 王敬方. 热带和热带外海表温度异常与低空环流特征比较. 气象学报, 1996, 54(4): 385~ 397
- 7 游性恬, 钱维宏. 全球海温异常作用下的低层大气环流和降水异常的数值模拟. 气象学报, 1997, 55(1): 1~ 10
- 8 吴国雄, 王敬方. 夏季中高纬 500 hPa 高度和海表温度异常特征异常特征及其相关分析. 气象学报, 1998, 56(1): 46~ 54
- 9 刘颖, 倪允琪. ENSO 对亚洲季风环流和中国夏季降水影响的诊断研究. 气象学报, 1998, 56(6): 681~ 691
- 10 徐建军, 朱乾根. ENSO 及其年际异常对全球及亚洲季风降水影响的数值研究. 气象学报, 1999, 57(3): 301~ 315
- 11 苗秋菊, 徐祥德, 张雪金. 长江中下游旱涝的环流型与赤道东太平洋海温遥相关波列特征. 气象学报, 2002, 60(6): 688~ 697
- 12 孙安健. 我国东部主要雨季严重旱涝气候特征分析. 见: 国家“九五”重中之重 96•908 科技项目办公室、项目执行专家组编. 短期气候监测、预测、服务综合业务系统的研制. 北京: 气象出版社, 2000. 127~ 135
- 13 孙照渤, 章基嘉, J. M. 华莱士. 冬季北大西洋海表温度与 500 hPa 高度奇异值分解. 南京气象学院学报, 1991, 14(3): 287~ 293
- 14 丁裕国, 江志红. SVD 方法在气象诊断分析中的普适性. 气象学报, 1995, 54(3): 365~ 371

THE EFFECT OF NORTH PACIFIC SEA SURFACE TEMPERATURE ANOMALY ON THE SUMMER PRECIPITATION IN NORTHEAST CHINA

Sun Li An Gang

(*Institute of Meteorological Sciences of Jilin Province, Changchun 130062*)

Abstract

Based on the North Pacific sea surface temperature (SST) monthly mean data and the summer precipitation from 80 observational stations of Northeast China for the period 1961 to 2000, the relationship between the north Pacific SST anomaly in preceding seasons and the summer precipitation in Northeast China has been studied by using the Singular Value Decomposition (SVD) technique. The results are summarized as follows:

(1) The summer precipitation in Northeast China has the very close relations with the north Pacific SST anomaly in preceding winter, spring and even the last summer. The first coupling modes of the SVD analysis of the rainfall and the SST fields can account for a rather big proportion of the total covariance contribution, the highest exceeds 60%. The correlation coefficients of the modes also far exceed 99.9% significance level. Because the asynchronous connections between the SST anomaly and the precipitation are rather stable and have the obvious persistence from the last summer up to the preceding spring, therefore taking the preceding SST distribution of north Pacific especially the ENSO event as the precursor signal to predict the summer precipitation tendency in Northeast China has the good reliability and definite indicative significance to a certain extent.

(2) When the equatorial middle-East Pacific SST is the positive (or negative) departure distribution and the west wind drift region SST is the negative (or positive) departure distribution, i. e. the north Pacific SST emerges in the El Nino (or La Nina) type phase from the last summer to the preceding spring, then the Northeast China tends to be more (or less) precipitation than its normal in summer as a whole, especially the central part and the west part of Northeast China are even more obvious. The covariance contribution of this mode accounting for is the biggest.

(3) The relations of the precipitation in Northeast China and the north Pacific SST anomaly in preceding seasons are not the simple relations of one by one correspondence. Even though the ENSO event, if its heating modes or its developing stages or its allocations with the SST distribution in other sea areas are different, then the summer precipitation in Northeast China probably exhibits the striking difference. Especially the relations of the SST anomaly and the precipitation in the same period are even more complicated.

Key words: Northeast China, Summer precipitation, Sea surface temperature anomaly, singular value decomposition (SVD)