

持续性东北冷夏的变化规律及相关特征*

王敬方 吴国雄

(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 100080)

摘 要 用旋转主分量(RPC)方法, 分析了近40年来我国夏季温度变化的规律。得到了表示东北冷夏变化的指标(NETI)。利用该指标对东北气温和500 hPa高度场, 以及全球SST进行时滞相关分析发现, 东北低温一般在当年5月开始, 持续至第二年4月结束, 构成一个“冷夏年”。而在前一年6月和后一年的6月有显著的暖夏, 呈现着准两年韵律的特征。东北冷夏的这种变化规律与大气环流异常关系密切。周围地区500 hPa高度场在冷夏年当年4月至下一年4月高度偏低; 而上一年6月及下一年6月却显著偏高, 也呈现准两年韵律的特征。东北冷夏与赤道东太平洋, 特别是秘鲁沿岸的SSTA有很强的相关。东北冷夏一般发生在El Niño年, 秘鲁沿岸从当年2月开始到下一年2月为正海温异常, 其中负海温异常至7月份达到显著性水准。

关键词 东北 冷夏 旋转主分量 时滞相关

1 引言

东北地区地处我国的北方, 气候比较寒冷, 温度的年际变率大, 由于不能充分满足喜温作物对温度的要求, 低温冷害是该地区很主要的气象灾害。东北地区作物产量与温度的回归关系表明, 5~9月平均气温下降 1°C , 东北地区粮食总产减少12.5%^[1]。例如, 1972年夏季东北气温明显偏低, 致使该年水稻减产57.1%, 大豆减产43%; 1976年是另一个明显的低温冷害年份, 该年水稻减产43%, 大豆减产26.4%^[2]。因此这一现象引起了许多研究者的关注, 已有许多工作对东北低温的统计特征, 形成机制和预报进行了分析和探讨。其中东北低温研协组用5~9月和6~8月的东北地区10个站的平均气温给冷夏划标准, 得到比较典型的冷夏年是1957、1969、1972和1976年; 并且从典型冷夏年的500 hPa高度距平和, 发现冷夏年时东北地区上是一个明显的负高度距平, 蒙古和西伯利亚是正高度距平, 这种形势下经向环流加强, 冷空气南下, 形成东北低温^[3]。

这些研究表明东北低温冷害与El Niño现象有很好的相关。50年代到80年代的几次冷害, 都伴有El Niño现象。许多研究还力图建立东北低温的预报方法。例如, 东北低温研协组用前期海温^[3], 和田英夫用太阳黑子活动, 以及符淙斌用北半球冬春积雪面积和大西洋海冰状况^[4]来寻找东北低温的相关和预报因子。另外由于东北地区还处在东亚季风区内, 因而夏季风的年际振荡也很可能影响东北夏季气温。

1995-10-18收到, 1996-03-05收到修改稿

* 本研究得到国家重点攻关项目“气候动力学和气候预测理论研究”和国家重点科技项目(攻关)96-908-04-03专题的支持

由于旋转主分量方法 (RPC) 所得到的各分量有确定的物理意义及极大的讯号负载, 因此适于对区域性的气候演变进行分析。本文的目的就是用 RPC 方法对已有的有关东北低温研究结果进行验证, 在此基础上揭示东北低温演变的一些新的特征。首先, 我们在第二节中阐明东北低温和东北冷害的概念。在第三节中用 RPC 方法定义东北低温指标, 然后分析东北低温的特征和变化趋势。在第四节和第五节中用相关的方法分别分析了东北低温与大气环流异常及海表温度异常的关系。若干结论在第六节中列出。

2 东北冷夏和冷害

温度是农作物生长的重要环境条件, 温度过高和过低都对农作物有害。我国东北地区纬度较高, 无霜期短, 过低的温度对农作物, 特别是对一些原产于热带的喜温作物, 如水稻、棉花、玉米、烟草、花生、蕃茄、黄瓜等的危害更为显著。

农作物的生长发育及其产量与某一临界温度以上积温及其持续时间的长短有着密切的关系。一般以日平均温度 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温去度量喜温作物生长的总热量, 达不到这个总热量会造成冷害, 影响产量。图 1 给出了东北地区 4 个站 (齐齐哈尔、哈尔滨、长春和沈阳) 的积温平均值。从 1951 年到 1990 年, 比较明显的积温偏低年份是 1954、1957、1969、1972 和 1976 年。1977 年以来东北地区积温总的来说明显地增加了, 基本上没有强的积温偏低出现。事实上, 上述 5 个积温偏低的年份正好是东北地区公认的自 50 年代以来的 5 个低温冷害年份, 由于冷害造成的减产平均达 16.2%^[2]。相反在积温偏高的 1970、1975、1983、1984、1987、1988、1990 年粮食生产都获得丰收^[1]。

在东北地区, 气温最高的夏季 (6~8 月) 对农作物的生产是至关重要的。图 2 中给出了齐齐哈尔, 哈尔滨, 长春和沈阳 4 个站夏季的平均温度曲线。从图中可看出齐齐哈尔比较明显的冷夏年有 1957、1972 年; 哈尔滨是 1957、1969、1972 和 1983 年; 长春是 1986 年; 沈阳是 1954、1957、1972 和 1976 年。虽然每个站的情况不太一致, 但

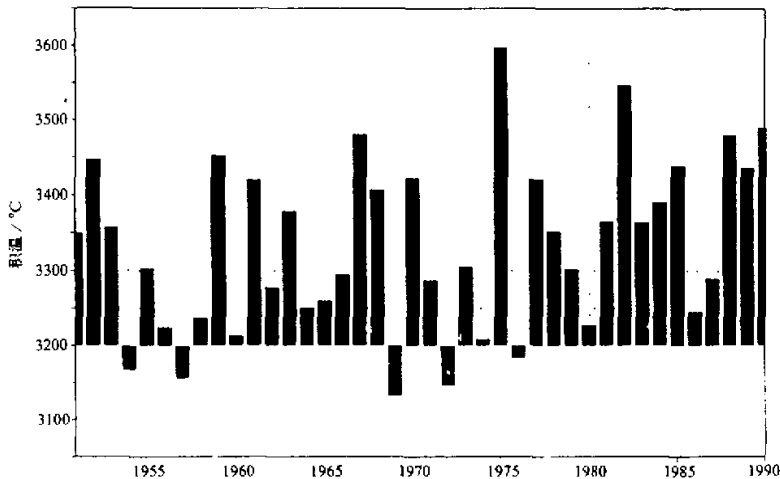


图 1 东北地区 4 个测站 (齐齐哈尔、哈尔滨、长春和沈阳) 平均的日平均温度 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温值的年际变化

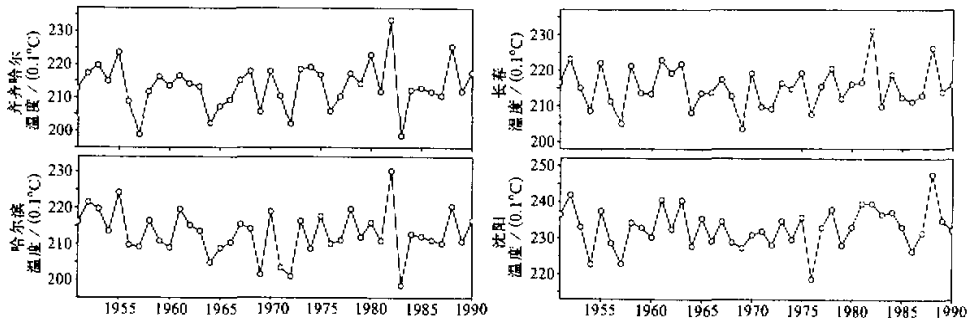


图2 1951~1990年夏季(6~8月)齐齐哈尔、哈尔滨、长春和沈阳平均温度的演变(单位: 0.1°C)

是每一个冷夏年(除1983年以外)都是粮食收成不好的冷害年份。由于东北冷夏和冷害有内在的联系,我们就可以通过分析东北夏季气温的变化去研究东北冷夏和冷害的特征及发展趋势。

3 东北冷夏的特征和趋势的 RPC 分析

经验正交函数(EOF)具有收敛快的特点。将东北地区的各站气温时间演变序列作 EOF 展开,第一个特征向量能够极大地反映各站总的时间变化特征。但是 EOF 展开很大程度上依赖所取的东北地区范围,并且受一些不相关因素的影响。如改用全国各站气温资料进行 EOF 分析,则东北温度的讯息分布在前5个主分量上,且每个主分量中除了东北温度讯息外,还有其他地区的讯息。这给相关分析带来许多不便。为克服上述问题,我们采用最大方差转动的方法,或称旋转主分量(RPC)方法,让正交的 EOF 坐标在空中转动,使东北温度的讯息能集中在某个 RPC 上,而且在该 RPC 上没有或很少有其他地区的讯息。用这样的方法得到的 RPC 便具有明确的物理意义,且不受资料区域的影响^[5~7]。我们用中国科学院大气物理研究所资料中心存档的中国地区124个站(除西北、西藏外,基本上均匀分布)的1951年到1990年40个夏季(16旬到24旬的9旬平均)的气温资料作 EOF 展开。由于有关东北地区夏季气温年际变化的讯号基本集中分布在前5个主分量中,因此选取前5个主分量作极大方差的正交旋转,去构造正交的 RPC。

结果显示(图略),相关系数-0.4线包围了整个东北三省和内蒙东北部(辽东半岛除外)。最强的相关在齐齐哈尔站-0.90,其余比较好的站是嫩江-0.86,克山-0.85,博克图-0.80,佳木斯-0.80,哈尔滨-0.90,吉林

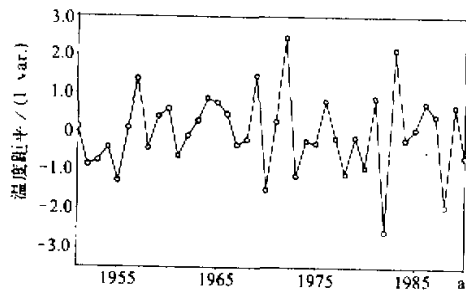


图3 利用我国124个测站1951~1990年夏季的气温资料得到的温度异常第5个旋转主分量(RPC)的时间系数演变曲线

-0.82。东北各站中除了大连、营口、锦州 3 站外，所有各站的相关信度均达到 99% 以上。而且，除东北三省和内蒙之外，全国各站基本上相关系数不超过 +0.2。因而这一型很明显地反映了东北夏季气温变化的情况，它在 124 个站夏季气温的 RPC 中占了 9.5% 的方差贡献。此外，由图 3 所示的该 RPC 时间系数曲线基本反映了东北夏季温度的变化趋势。比较强的冷夏年份是 1957、1969、1972 和 1983 年 (≥ 1.5 倍方差)。另外 1954、1960、1964、1976、1981、1986 和 1989 年是弱的冷夏。这些年份与上节对不同测站温度进行分析所得到的结论基本一致，它们大致上都是粮食收成不佳的年份^[1]。因此可选用这个时间系数作为东北地区夏季气温变化的指标，简称为 NETI。

为研究东北冷夏的时间演变特征，我们把指标 NETI 与东北各站超前 18 个月和滞后 18 个月逐月的平均气温作时滞相关分析。图 4 显示了 NETI 与哈尔滨、齐齐哈尔和吉林 3 个站月均气温的时滞相关。3 个站的时滞相关特征基本上一致，最强的相关均在夏季 6 月到 8 月，7 月份的相关略差。实际情况也是这样，东北地区最热的 7 月份气温与夏季其他月份气温变化不太一致^[1]。负相关一般是从当年 4 月或 5 月开始一直持续到下一年的 4 月，表明东北低温一般有 1 年左右的持续期，称它为一个“冷夏年”。另外，我们注意到前一年 6 月和下一年 6 月的气温与 NETI 的相关均在 +0.30 以上，信度超过了 95%，呈现着很好的准两年韵律。这一统计结果似乎可以用来作灾害预报，即当东北 6 月的气温有很高的正异常时，下一年很可能是冷夏年。

图 4 表明存在东北“冷夏年”。它从当年 4 或 5 月开始持续到下一年 4 月。也表明东北低温具有准两年韵律的现象。

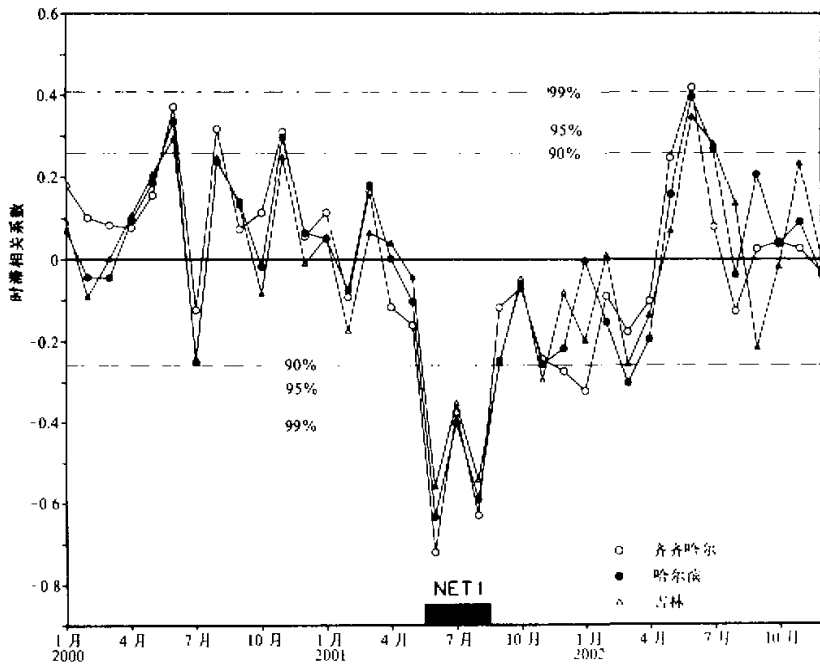


图 4 NETI 与东北地区 3 个测站 (哈尔滨、齐齐哈尔和吉林) 月平均气温的时滞相关

4 东北夏季气温与大气环流异常的相关

影响气温变化的一个很重要的因素是大气环流的变化。用 NETI 与东北地区 ($125^{\circ}\sim 130^{\circ}\text{E}$, $45^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$) 的 500 hPa 位势高度场作时滞相关 (图 5), 最明显的相关在 6 月和 8 月, 相关系数超过了 -0.50 。但是 7 月份的相关并不好, 因而 NETI 与夏季 7 月份气温的相关不好是与大气环流的特征异常有联系的。下一年的 3 月与 NETI 的相关达到 99% 的信度。从 4 月开始到下一年 5 月均是负相关, 因而冷夏持续一年与大气环流持续一年的异常很可能是有关系的。另外, 上一年 6 月和 8 月的正相关数均超过 $+0.30$, 而上一年 7 月的负相关数超过 -0.30 (信度在 95% 以上)。上一年 6 月的 500 hPa 高度场与 NETI 的超过信度的正相关同上一年 6 月的东北气温与 NETI 的正相关是一致的。这也许可作为东北冷夏的又一个长期预报因子。

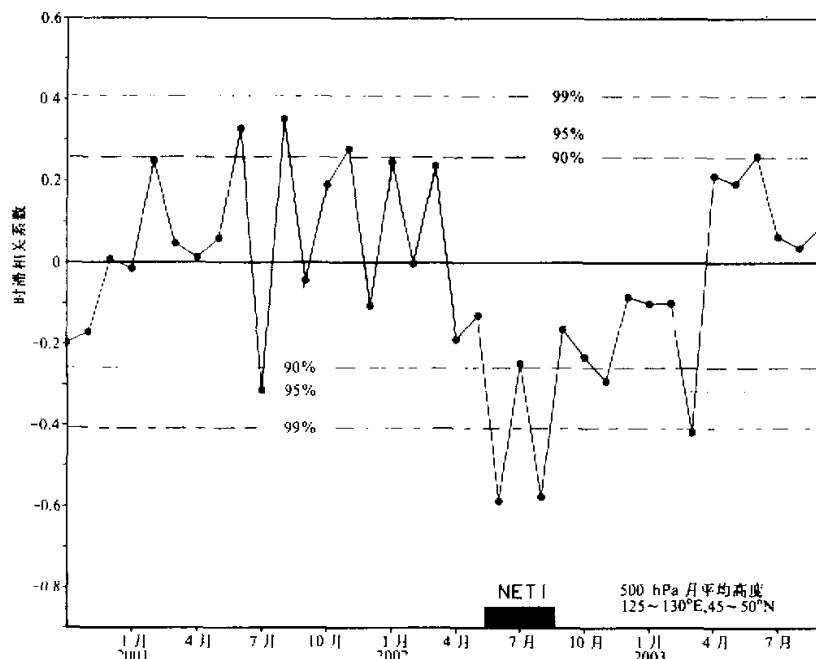


图 5 NETI 与东北地区 ($125^{\circ}\sim 130^{\circ}\text{E}$, $45^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$) 月平均 500 hPa 高度场的时滞相关

图 6 显示了 NETI 与北半球 500 hPa 高度场时滞相关的空间分布。6 月份时东北地区有明显的负相关, 对应强的高度负距平异常。7 月份最强的负相关还在东北亚地区, 但是中心偏东在库页岛周围。8 月份最强的负相关又回到东北地区。9 月份最强的负相关更加东移, 在日本东面。这 4 个月份中, 与 NETI 最强的相关始终在东北亚地区。由此可见, 东北夏季气温与东北地区的中高层大气环流异常是密切相关的。当东北冷夏时, 东北地区 500 hPa 高度场往往是很强的高度负距平, 而且高度的负距平与东北

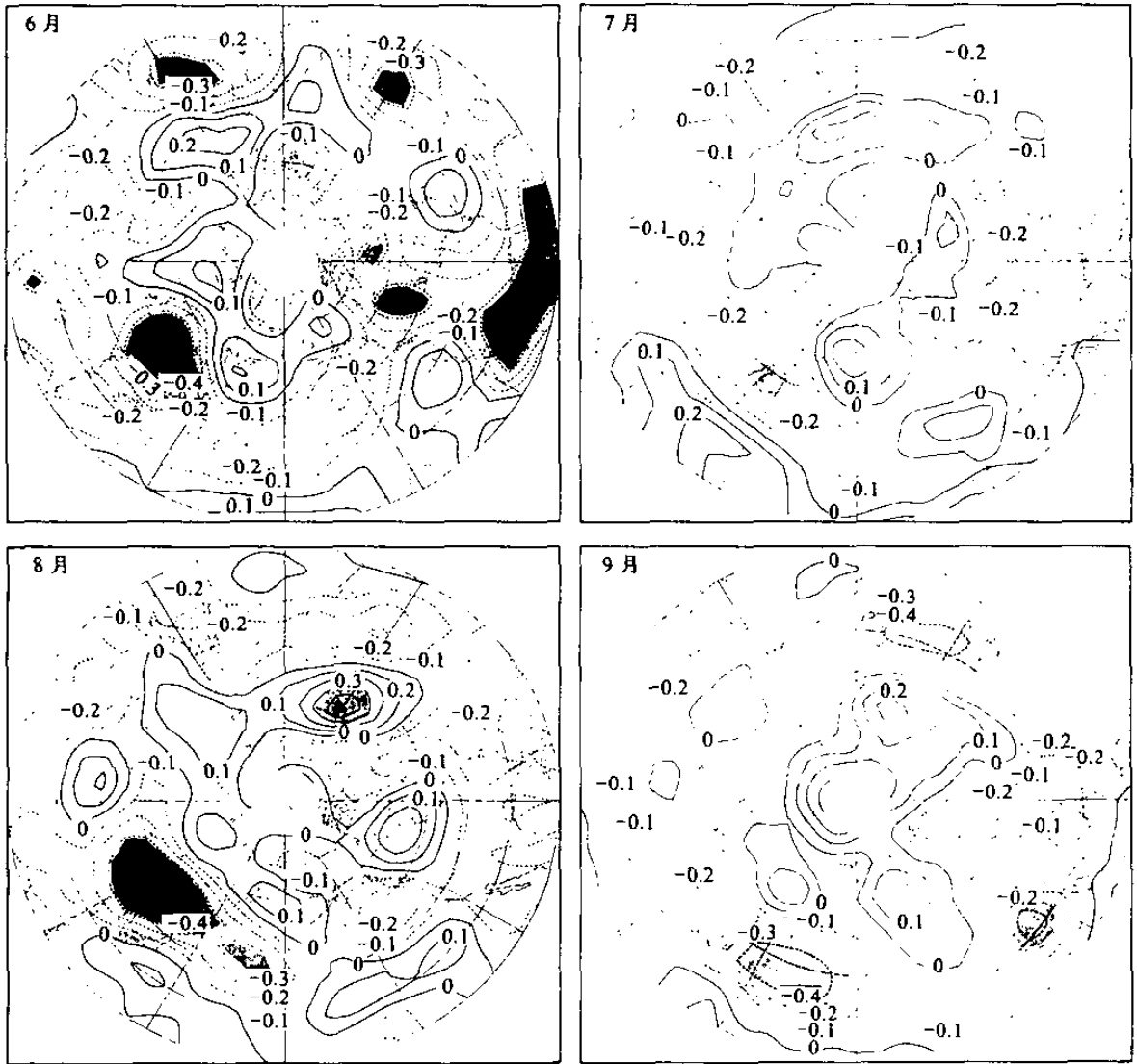


图 6 NETI 与北半球 6~9 月月平均 500 hPa 高度场相关的空间分布

气温的偏低都往往持续到下一年春季，在下一年的 3 月这两种负距平都还比较明显，然后在下一年的 4 月和 5 月，高度场和温度场的距平变为相反的状态，表明一个冷夏年结束。

对于夏季东北地区 500 hPa 高度场与夏季气温相关的一个可能的解释是，当东亚大槽加深而且偏西时，加强了了的引导气流有利于极地冷空气活跃而南下，由于深槽的作用，冷空气在东北地区堆积，造成东北气温偏低。以往的一些分析也有类似的结果^[3,5]。

5 东北冷夏与海表海温异常的时滞相关

海表海温异常 (SSTA) 很可能通过大气环流异常而影响东北气温的异常。早期对东北冷夏的研究就注意到了 El Niño 与东北冷夏之间的相关。事实上，在图 3 中明显的东北冷夏年份中，1957、1969、1972、1976 和 1983 年都是明显的 El Niño 年份。本文

主要在于揭示东北温度变化与各海区海表温度的时滞相关特征。

我们分析了 NETI 与不同海域上的 SSTA 的时滞相关, 发现 NETI 与西太平洋 ($127.5^{\circ}\text{E}\sim 147.5^{\circ}\text{E}$, $2.5^{\circ}\text{S}\sim 7.5^{\circ}\text{N}$) 的夏季暖池区域的 SSTA 相关总是不好 (图略)。NETI 与西北太平洋黑潮区域上的 SSTA 有较明显的负相关, 这些负相关在当年夏季以及其后的几个月中, 即当东北低温时, 黑潮区域上 SST 偏低, 并一直维持到下一年 4 月, 即一个冷夏年的结束。最强的相关在当年 10 月, 达到 98% 的相关信度 (见图 7a)。NETI 与印度洋地区的 SST 相关总体上的趋势是东北冷夏之前印度洋 SST 偏低, 之后 SST 偏高, 印度洋地区 SST 上升至正常后 2 个月, NETI 发生。不过上述相关都达不到相当的信度 (图略)。NETI 与赤道东太平洋的 SSTA 相关较好, 特别是秘鲁沿岸地区。在东北冷夏年, 赤道东太平洋的秘鲁沿岸从 2 月开始为正海温异常, 中东部赤道太平洋地区 ($170^{\circ}\text{W}\sim 150^{\circ}\text{W}$, $2.5^{\circ}\text{S}\sim 2.5^{\circ}\text{N}$) 从 3 月开始为正海温异常; 秘鲁沿岸地区的正 SST 维持到下一年的 2 月为止, 而中东部赤道太平洋的正 SST 却一直持续至下一年的秋季。秘鲁沿岸地区 ($120^{\circ}\text{W}\sim 80^{\circ}\text{W}$, $2.5^{\circ}\text{S}\sim 2.5^{\circ}\text{N}$) 的 SST 在当年 7 月有最大相关, 相关系数在 +0.50 以上, 6 月和 8 月的相关系数也都超过 +0.4 (见图 8b)。

NETI 与 SST 时滞相关的空间分布在图 9 上显示。从 4 月到 9 月赤道东太平洋从秘鲁沿岸到赤道中太平洋一直是正相关。从 6 月起至 9 月黑潮区和黑潮延伸区域上有较明显的负相关。4 月和 5 月印度洋地区是负相关 (图略)。

中高纬 SSTA 与邻域上 500 hPa 的高度场有很好的同时正相关^[8]。因而黑潮区域的 SST 负异常与东亚的 500 hPa 高度场负异常有很好关系, 这个关系可能是夏季黑潮 SST 与东北气温相关的原因。对东北气温与赤道东太平洋 SST 的强相关, 以及印度洋地区上有规律的相关有待于进一步的分析。

6 结论

东北夏季低温形成冷害, 对东北粮食产量影响很大。50 年代以来比较明显的冷害年份在 1954、1957、1969、1972、1976 年。用 RPC 方法得出的东北夏季气温变化时间序列可作为东北夏季气温变化的指标 (NETI)。这个指标显示东北地区明显冷夏年份有 1957、1969、1972 和 1983 年, 另外, 1954、1976 年亦为一个明显的气温低谷。

NETI 与东北气温的时滞相关显示, 强的正相关从当年 5 月开始到下一年 4 月为止, 即气温异常一般持续一年, 称为一个冷夏年。最强的相关在 6 月和 8 月, 另外上一年的 6 月和下一年的 6 月也有达到信度的反相关, 呈现着准两年的韵律特征, 可作为东北低温的一个重要的预报因子。

对东北地区 500 hPa 高度场的时滞相关分析显示, 冷夏年时, 500 hPa 高度场是负距平异常, 从 4 月开始到下一年 4 月, 与冷夏年气温异常相符合。最强的相关在 6 月和 8 月, 另外上一年的 6 月的反相关也达到信度水平。

对 SSTA 的时滞相关显示, 东北夏季气温与西太平洋暖池 SSTA 的相关总是不好。与印度洋地区的 SSTA 的相关不是很好, 但大致上在冷夏前后, SSTA 有一个升温的过程, 印度洋地区 SST 上升至正常后 2 个月, 冷夏发生。与黑潮区域夏季的 SST 有较好的相关。冷夏年时, 黑潮海温偏低。与赤道东太平洋, 特别是秘鲁沿岸的 SSTA

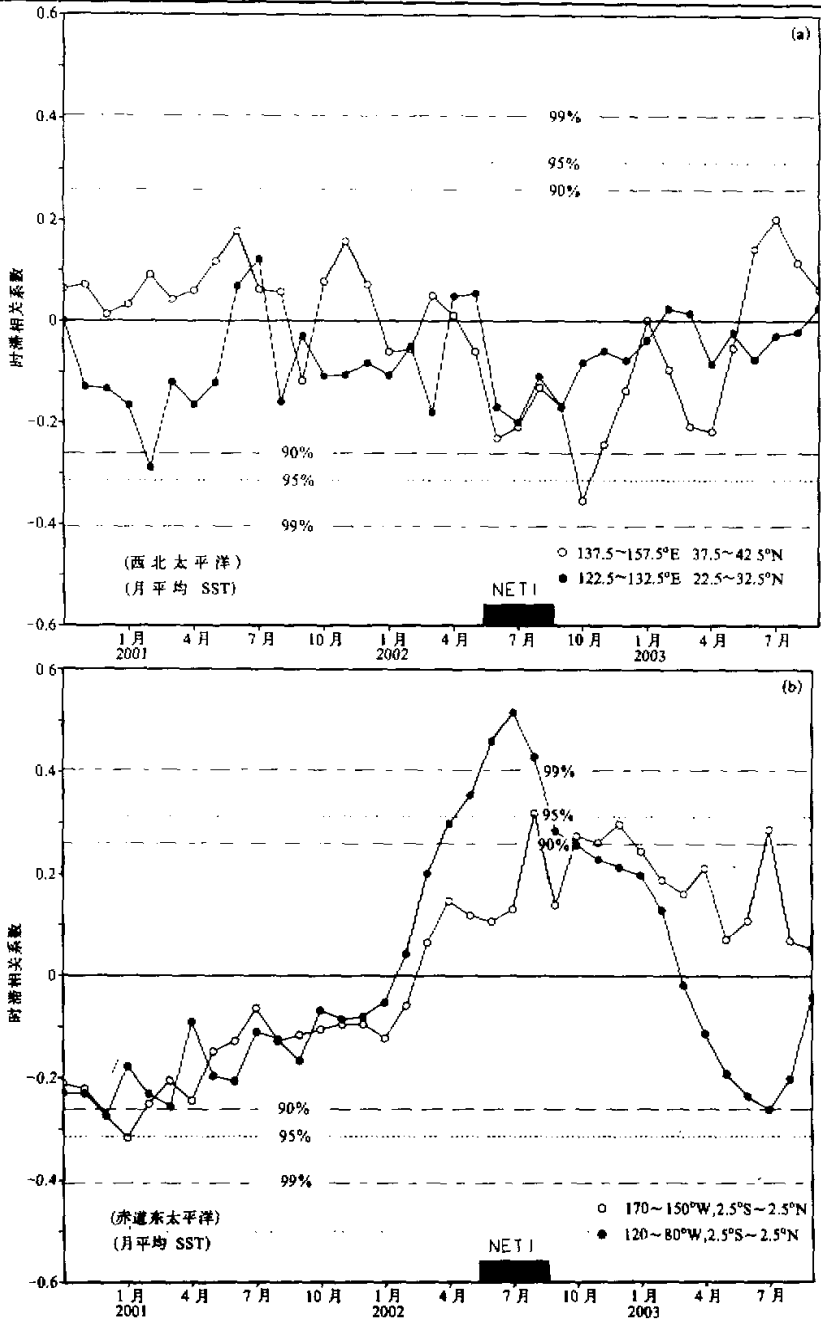


图 7 NETI 与不同海域上 SSTa 的时滞相关

(a) 西太平洋黑潮区 (122.5~132.5°E, 22.5~32.5°N) 和黑潮延伸区 (137.5~157.5°E, 37.5~42.5°N);
(b) 赤道东太平洋地区 (120~80°W, 2.5°S~2.5°N, 实心黑点) 和赤道中东太平洋地区 (170~150°W, 2.5°S~2.5°N, 空心圆点)

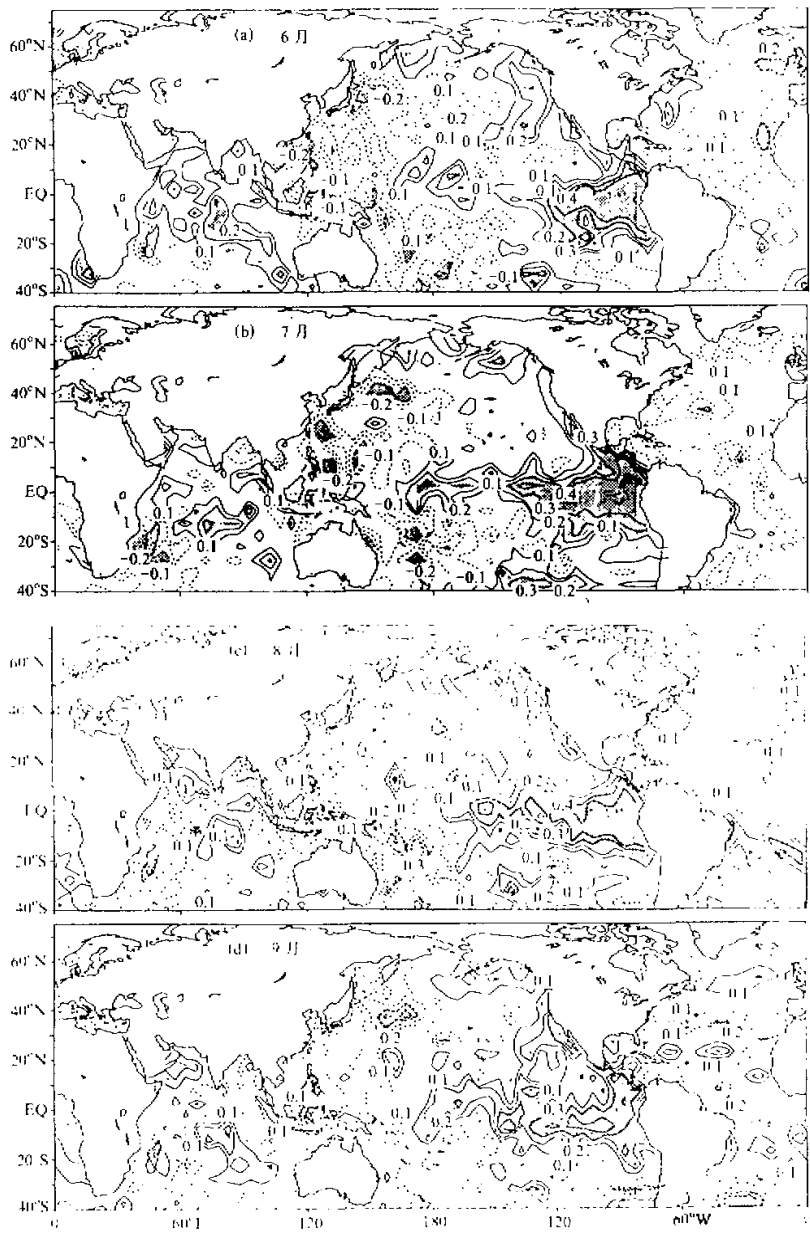


图8 NET1 与 SST 时滞相关的空间分布
(a) 6月; (b) 7月; (c) 8月; (d) 9月

有很强的相关。在东北冷夏时,一般是 El Niño 异常,秘鲁沿岸从 2 月开始到下一年 2 月为正海温异常,其中 5~8 月的信度非常高。

以上的相关分析大致上揭示了东北冷夏的特征和演变趋势,以及与大气环流异常、海温异常之间的关系。这些结论有待于应用更详细的资料,以及陆-海-气充分耦合的环流模式加以进一步检验。

参 考 文 献

- 1 潘铁夫, 1991, 气候变化对东北地区农业生产的影响, 中国的气候与农业, 北京: 气象出版社.
- 2 王绍武、赵宗慈, 1987, 长期天气预报基础, 上海: 上海科技出版社.
- 3 东北低温研协组, 1979, 东北地区冷夏, 热夏长期预报的初步研究, 气象学报, 37(3), 44~58.
- 4 符淙斌, 1980, 北半球冬春积雪面积与我国东北地区夏季低温的关系, 气象学报, 38(2), 187~192.
- 5 Preisendorfer, R. W., 1988, *Principal Component Analysis in Meteorology and Oceanography*, C. D. Mobley ed. Elsevier, 427 pp.
- 6 王敬方, 1994, 全球海表温度异常的时空分布及海气相关, 硕士论文, 中国科学院大气物理研究所.
- 7 Horel, J. D., 1981, A rotated principal component analysis of the interannual variability of the Northern Hemisphere 500 mb height field, *Mon. Wea. Rev.*, 109, 2080~2092.
- 8 吴国雄、王敬方, 1996, 热带和热带外海表温度异常与低空环流相关比较, 气象学报, 54, 385~397.

Evolution and Characteristics of the Persistent Cold Summer in Northeast China

Wang Jingfang and Wu Guoxiong

(State Key Lab. of Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract The method of rotational principal component (RPC) was used to diagnose the evolution of the air temperature in summer over China in the recent 40 years. An index presenting the cold summer in Northeast China was obtained. Time-lagged correlation analysis between this index and the 500 hPa geopotential height of the Northern Hemisphere and the global SST shows that, the lower temperature in Northeast China usually starts from May, and persists for about one year, which composes a "cold-summer year". Besides, the monthly mean temperature in June in the preceding year and that in the following year are significantly warmer than normal, showing a characteristics with the "quasi-biannual" duration. It was shown that these characteristics are significantly linked to the anomaly of the atmospheric circulation. During the "cold-summer year", the monthly mean 500 hPa geopotential height from April to the following April over the Northeast region of China are lower than normal, and those in the preceding June and in the following June are significantly higher than normal, which also show the "quasi-biannual" duration. The cold summer in Northeast China is strongly correlated to the sea surface temperature (SST) anomalies in the eastern equatorial Pacific, particular in the area off the western coast of Peru. It usually occurs in the El Niño year when the positive SST anomaly in the area off the western coast of Peru has been existing from February till the following February.

Key words Northeast China cold summer rotational principal component time-lagged correlation