

华北地区干旱的气候背景及其前兆强信号^{*}

魏凤英

(中国气象科学研究院, 北京, 100081)

张京江

(北京城市气象研究所, 北京, 100089)

摘 要

将华北地区春、夏季出现异常干旱和多雨典型年份的 500 hPa 高度和北太平洋海温的距平进行合成, 讨论了干旱期和多雨期大气环流和海洋变化的气候背景特征。结果表明, 华北地区的干旱期和多雨期间的大气环流和海温变化存在趋势性差异。以 3 个特旱年为例, 使用信噪比的方法识别发生特别干旱的前期大气、海洋的强信号。虽然 3 个特旱年的前期大气和海洋表现出的强信号的位置和强度并不完全一致, 但是乌拉尔山脉附近和贝加尔湖附近高度的异常变化及黑潮、暖池及 Nino 4 区东部附近海温的异常变化是值得注意的前兆信号。

关键词: 华北地区, 干旱, 气候背景, 前兆信号。

1 引 言

近几年华北地区的干旱趋于严重^[1], 不仅给农业生产造成极大威胁, 而且也对该地区的经济、生态及人民生活造成很大影响。因此, 搞清导致持续干旱的气候背景及其成因, 具有十分重要的意义。有关这方面的研究工作已有不少的成果。例如, 孙淑清^[2]和张庆云^[3]等研究了华北地区干旱的年代际变化及与东亚环流和海温异常的关系; 郭其蕴^[4]从遥相关的角度分析了华北旱涝与印度夏季风的联系; 朱平盛^[5]和张苏平等^[6]研究了前期环流和热带对流活动与华北夏季旱涝的关系。这些工作从不同角度研究了造成华北地区干旱的原因, 得到许多有意义的结果。然而, 要对干旱出现的强度和持续时间进行预测, 不仅需要了解干旱发生时环流、海洋的异常特征, 还需要寻找出现干旱的前兆强信号, 这方面的研究工作还不多见。

文中对华北地区春季和夏季干旱的年代际及年际变化特征进行了分析^[7], 结果表明, 华北地区干旱强度的变化存在显著的年代际变化特征。在 20 世纪 80 年代以前华北地区的春季为相对多雨时期,

80 年代以后处于干旱时期并一直持续至今; 夏季进入持续干旱的时间要比春季提前, 1977 年以前为相对多雨时期, 1978 年以后至今为持续干旱时期。研究还表明, 华北地区干旱强度的年际变化特征也十分显著, 表现出较强的准 2 a 及 3~5 a 的年际振荡, 即使同处在干旱时期, 每年的情景也存在很大的差异。根据上述研究结果, 文中首先对干旱期和多雨期间的大气环流及海洋变化背景特征进行分析, 然后以 80 年代以来的几个特旱年为例, 分析了发生特别干旱现象的前期大气、海洋出现的强信号。

2 资料和方法

2.1 区域范围和基本资料

选取长城以南, 秦岭、淮河以北, 黄河中下游一带的测站为华北区域, 其中包括承德、张家口、北京、天津、石家庄、德州、邢台、安阳、烟台、青岛、潍坊、济南、临沂、菏泽、新浦、清江、徐州、阜阳、郑州、南阳、信阳、长治、太原、临汾 24 个站。

本文分析所用的资料为 1951~2001 年月降水量、气温、北半球 500 hPa 高度 ($5^{\circ} \times 10^{\circ}$ 经纬度格距) 和北太平洋 ($10^{\circ}\text{S} \sim 50^{\circ}\text{N}$, $120^{\circ}\text{E} \sim 80^{\circ}\text{W}$) 范围 $5^{\circ} \times$

^{*} 初稿时间: 2002 年 12 月 25 日; 修改稿: 2003 年 3 月 11 日。

资助课题: “十五” 国家科学攻关项目基金 (2001BA509B-13) 和社会公益研究专项基金 (2001DIB20096)。

5° 的 286 个格点的海表温度, 资料均取自国家气候中心气候预测室。

2.2 干旱强度指数

始于 20 世纪 80 年代的全球增暖, 已经引起了某些区域气候特征的改变。随着增暖进程的延续, 华北地区的干旱趋于严重。在定义该地区干旱强度指数时, 不仅需要考察降水异常的作用, 也应该考虑增暖对加大蒸发的影响。因此, 我们以降水量减蒸发量作为表征华北地区干旱程度的物理量。各站月地面实际蒸发量 E 采用高桥浩一郎提出的计算陆面实际蒸发的公式^[8] 算出,

$$E_i = \frac{3100P_i}{3100 + 1.8P_i^2 \exp(-\frac{34.4T_i}{235 + T_i})} \quad (1)$$

$i = 1, 2 \dots n$

其中 E_i 为月地面实际蒸发量, P_i 为月降水量, T_i 为月平均气温, n 为样本量个数。假定某时段降水量减蒸发量 $P-E$ 服从 Person II 型分布, 则可将其概率密度函数转换得到:

$$Z_i = \frac{6}{C_s} \left(\frac{C_s}{2} \phi_i + 1 \right)^{1/3} - \frac{6}{C_s} + \frac{C_s}{6} \quad (2)$$

式中 C_s 为偏态系数, ϕ_i 为月标准化变量。这里将逐月 $P-E$ 量记为 G_i , 即有:

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})^3}{n\sigma^3} \quad (3)$$

$$\phi_i = \frac{G_i - \bar{G}}{\sigma}$$

其中

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})^2}$$

$$\bar{G} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n G_i$$

由式(2) 计算得到华北地区 24 个站的 1951~2001 年逐月 Z 指数, 以此来表征干旱的强度。

将月 $P-E$ 进行 Z 变换使其成为标准正态化变量, 可以按照标准界值将干旱强度指数划分为 7 个级别, 其中 5 级为偏旱, 6 级为大旱, 7 级为特旱。

2.3 识别强信号方法

信噪比是检测信号强度的常用标准^[9]。我们这里利用这一标准, 讨论华北地区出现异常干旱的前期北半球 500 hPa 高度和北太平洋海温可能出现

的前兆信号^[10]。某一格点上高度或海温序列的信噪比定义为

$$R_i = \frac{x_{ij} - \bar{x}_i}{s_i} \quad (4)$$

其中 x_{ij} ($i = 1, 2 \dots M, j = 1, 2 \dots N$) 为某年该格点上经过标准化处理的高度或海温序列, M 为格点数, N 为资料长度, $\bar{x}_i$ 为该格点序列多年平均值, s_i 为该格点序列的标准差。

信噪比的含意是, 某一格点上的标准化数值与其多年平均值之差反映气候变化的信号, 该点上的变率则视为噪音。假定 x_{ij} 服从正态分布, 当 $|R_i| > 1.645$ 时, 表明 R_i 通过 $\alpha = 0.10$ 的显著性水平检验; 当 $|R_i| > 1.96$ 时, 表明 R_i 通过 $\alpha = 0.05$ 的显著性水平检验。在分析信号场时, 我们近似地取 $|R_i| > 1.50$ 的范围为显著信号区, 取 $|R_i| > 2.00$ 的范围为强信号区。

3 华北地区干旱的气候背景

春季和夏季是华北地区最容易发生干旱的季节。因此, 我们以 4 和 7 月为代表, 讨论春、夏季发生干旱的气候背景。图 1 为 1951~2001 年华北 24 个站点平均的 4 和 7 月干旱指数的变化。由图 1a 可见, 20 世纪 80 年代以前华北地区春季为相对多雨期, 80 年代以后为干旱期。而夏季 1977 年以前为相对多雨期, 1978 年以后至今为干旱期(图 1b)。我们从春季多雨期中选 6 个典型多雨年(1956, 1963, 1964, 1969, 1973 和 1977 年), 从春季干旱期选出 8 个典型干旱年(1978, 1982, 1984, 1986, 1988, 1992, 2000 和 2001 年)。从夏季多雨期中选 5 个典型多雨年(1954, 1957, 1963, 1970 和 1973 年), 从夏季干旱期中选 5 个典型干旱年(1980, 1987, 1992, 1997 和 1999 年)。分别将上述年份的 500 hPa 高度距平场和北太平洋海温距平场进行合成, 用它们来讨论华北地区干旱期与多雨期的气候背景。

3.1 大气环流

图 2 为春季(以 4 月为代表)典型干旱年份和典型多雨年份欧亚范围 500 hPa 高度距平场的合成。由图 2a 可见, 华北春季处在干旱期时, 从极地至乌拉尔山一带为很强的负距平, 从中国东北的东北部至西伯利亚大范围地区为正距平区, 中心在鄂霍次克海附近。在副热带区, 中国东部到日本海直至北太平洋为大片的负距平区。在华北春季的多雨期,

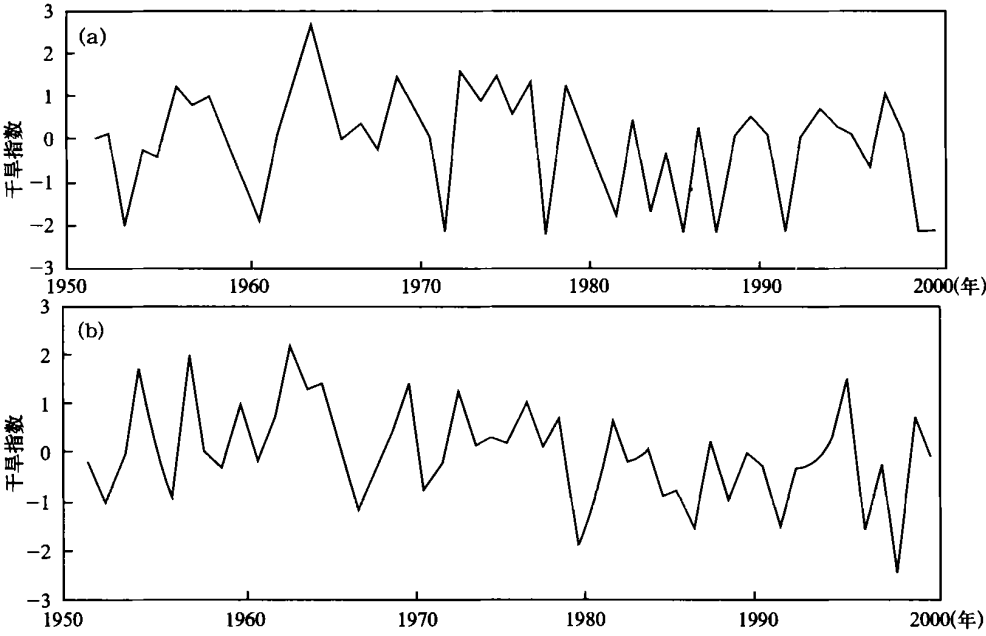


图 1 1951~ 2001 年华北地区 4 月(a)和 7 月(b)干旱指数

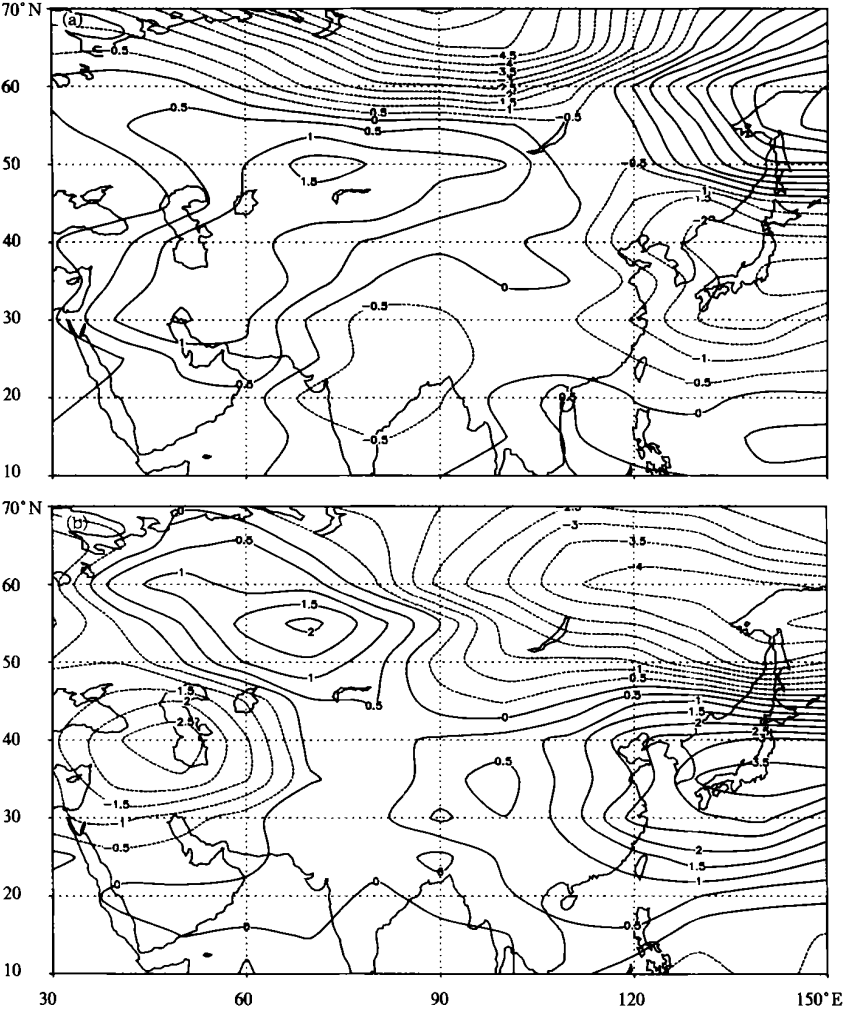


图 2 华北春季干旱年(a)和多雨年(b) 500 hPa 高度距平合成

高度距平场的分布型式与干旱期的分布型式基本相反(图 2b), 从中国东北至西伯利亚以北的大范围地区均为负距平区, 中国东部到日本海直至北太平洋为大片的正距平区。由此可见, 500 hPa 高度场的分布结构在华北春季的干旱期和多雨期存在趋势性差异。

由图 3a 和 b 可以看出, 夏季干旱期与多雨期的 500 hPa 距平场也呈现出趋势基本相反的分布型式。由图 3a 看到, 在华北夏季干旱时期, 亚洲从高纬至乌拉尔山脉地区为负距平, 西西伯利亚延伸至中国北方大部分地区均为正距平, 华北大部分地区在高压的控制之下, 而副热带区为偏弱的正距平。这种环流配置表明, 在华北夏季干旱期, 极地的冷空气不能向华北地区流动, 同时副热带高压偏弱、偏南, 不利于华北降水, 从而导致干旱。从图 3b 看到, 在华北地区多雨期, 从极地、西伯利亚直至中国北方大部分地区是负距平, 乌拉尔山以东地区有一个负距平中心, 同时华北地区也是一个明显的负距平中心。

上述春、夏季干旱期与多雨期环流形势的分布结构表明, 华北地区干旱和多雨期间的大气环流分布结构存在趋势性差异, 它反映了这一地区干旱的环流气候背景特征。

3.2 海温

为了考察华北地区春、夏季干旱时期海洋的变化特征, 我们绘制了与 500 hPa 高度场相同年份的北太平洋海温距平的合成图。

由图 4a 可见, 在华北春季干旱期, 赤道东太平洋区域为异常负距平, 中心位于 Nino 3 区和 Nino 4 区的西部, 中太平洋是异常正距平。华北春季为多雨期时(图 4b), 东太平洋的负距平区域向中太平洋

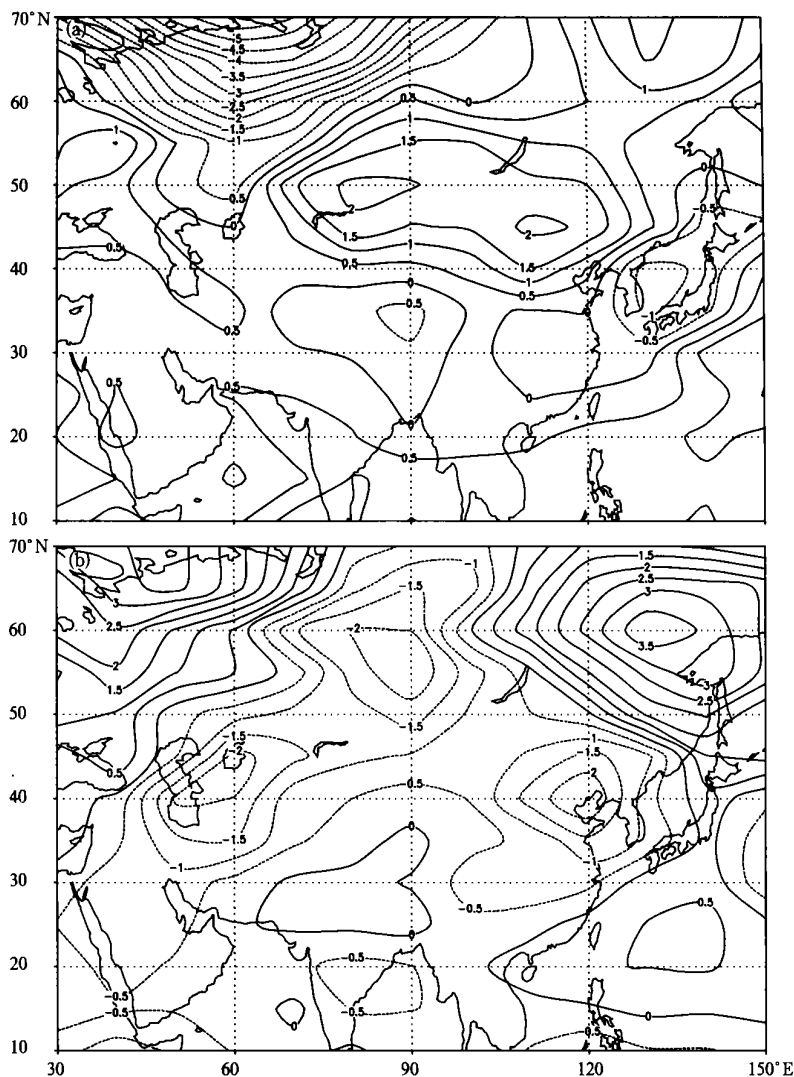


图 3 华北夏季干旱年(a)和多雨年(b) 500 hPa 高度距平合成

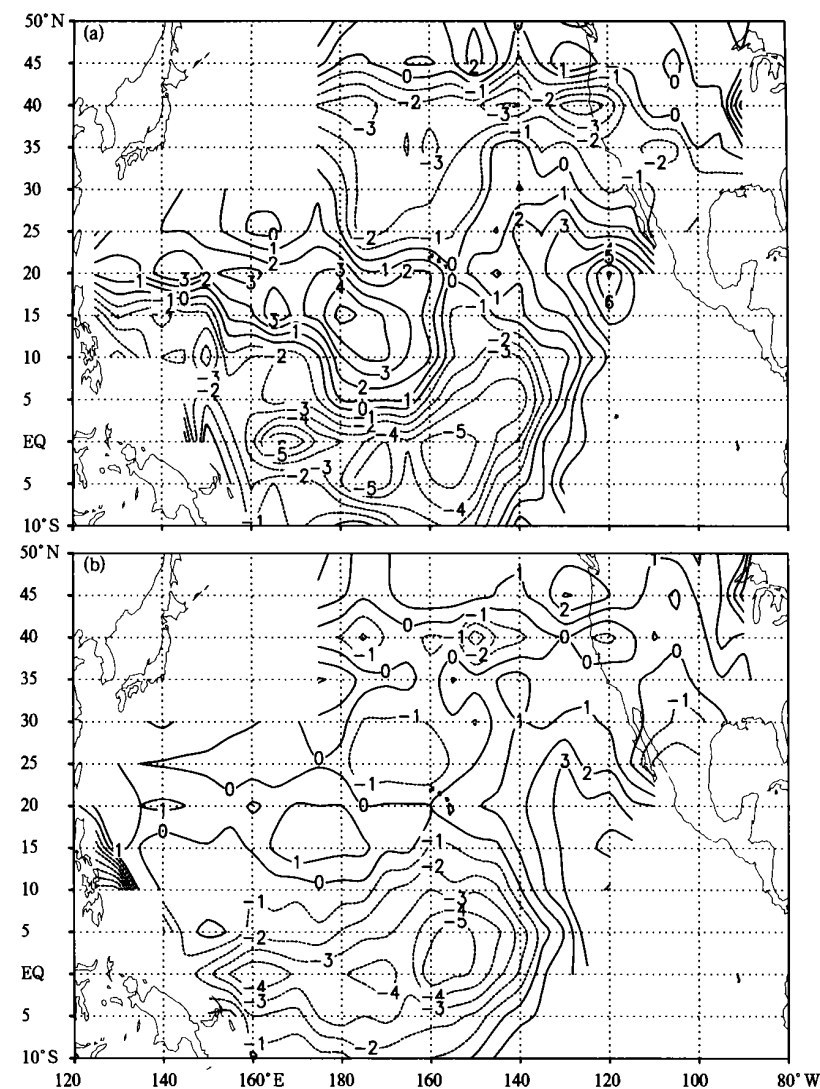


图4 华北春季干旱年(a)和多雨年(b)海温距平成

扩展,多雨期对应的海温距平场的等值线不如干旱期密集,说明华北干旱期时的海洋变化特征比多雨期时更突出。

图5是夏季(以7月为代表)海温距平场的合成情况。由图5a和b可以看出,夏季海温距平呈现出的异常分布特征要比春季显著得多。当华北夏季处在异常干旱时,北太平洋海温呈现出拉尼娜的分布形态,即赤道中东太平洋为显著的负距平,西风漂流区为正距平。在华北的夏季出现异常多雨时,北太平洋海温呈现出典型的厄尔尼诺分布形态,赤道中东太平洋是非常强的正距平,西风漂流区则为显著的正距平。

由上述分析可见,华北地区的干旱不仅与大尺度环流背景发生趋势性变异有关,而且与海温分布

结构的异常变化有关,特别是夏季的华北干旱与海温的冷暖事件有密切联系。

4 华北地区异常干旱的前兆强信号

上面是从同期的气候背景的角度来考察华北地区的干旱与大气环流和海温的趋势变异的联系。另一方面,华北地区的旱涝年际变化也十分显著,即使在干旱时期,每年的旱涝程度也有很大的差异,与其对应的大气环流和海温状况也会有差别。如果能从前期环流和海温场的变化中识别出异常突变先兆的强信号,就可以为干旱的预测提供依据。

1986, 1991, 1999年的8月华北地区发生了50a以来最严重的干旱,按照干旱强度的等级标准,确定为特旱(7级)。文中用式(1)计算这3a发生特旱

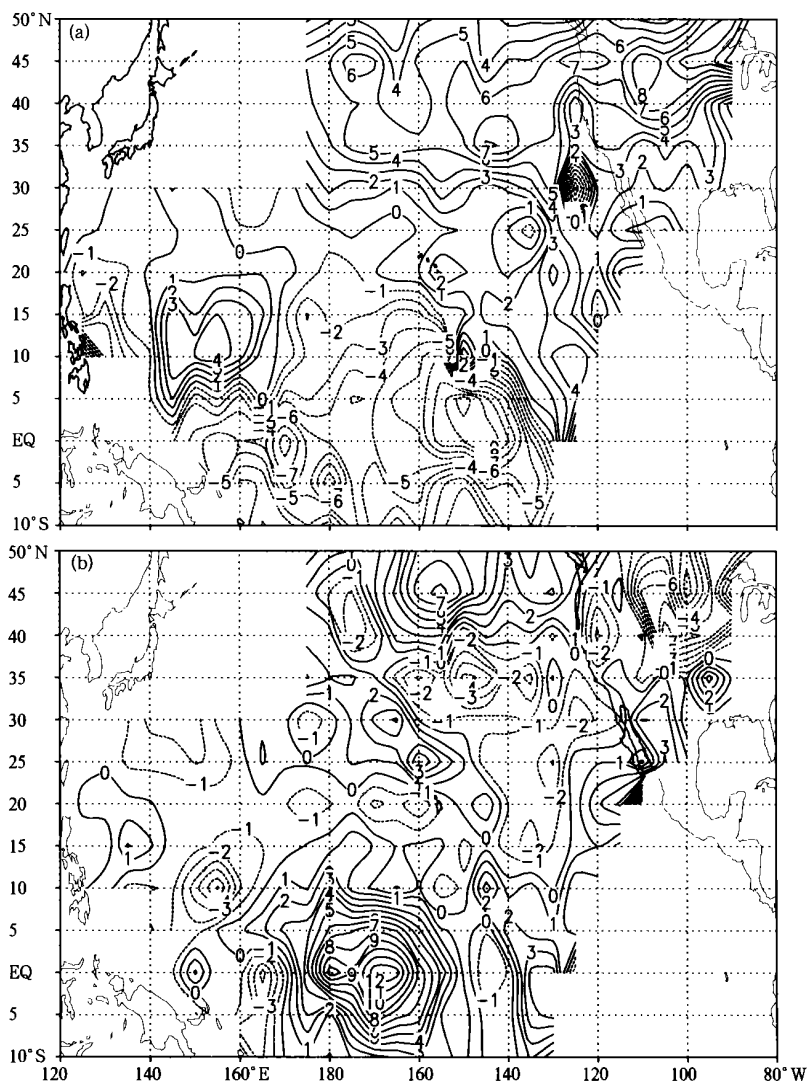


图5 华北夏季干旱年(a)和多雨年(b)海温距平成

的前期7月500 hPa高度和北太平洋海温的信号场,从中寻找发生干旱的前期环流和海温的强信号。为了更清楚地说明发生特旱的信号场的异常特征,还计算了出现多雨的1996年8月前期的7月高度和海温的信号场。

4.1 环流强信号

图6是华北地区出现特旱和多雨年份前期的7月欧亚范围500 hPa高度的信号场。由1986年7月500 hPa高度信号场(图6a)上可以看出,在华北地区发生特旱的前期,大气环流是有异常先兆信号出现的,其显著信号位于50°N以北的高纬地区,并呈现西负东正的分布型式。超过0.05显著性水平的负强信号中心在乌拉尔山附近,正强信号中心在贝加尔湖一带。这种显著信号的分布型式对应环流典型的一槽一脊型。西风带没有明显的信号区,表

明这时期的西风环流比较平直。

在1991年7月的500 hPa高度信号场(图6b)上,东亚地区也呈现西负东正的分布形势,但是负值区域没有超过10%的显著性水平。在高纬的60~80°N,120~150°E为一较宽阔正值区,中心在东西伯利亚海以东。另外在伊朗高原上有一正的信号区。

从图6c中可以看到,1999年7月的信号也十分显著,虽然东侧正值位置比1986和1991年7月偏南,但仍呈现西负东正的格局。乌拉尔山脉南北两端为显著的负信号区,北端中心位于新地岛附近,南端位于咸海附近。东侧的正值区位于贝加尔湖以南靠近中国的北方地区。中国东南至日本以南太平洋上为负信号区。

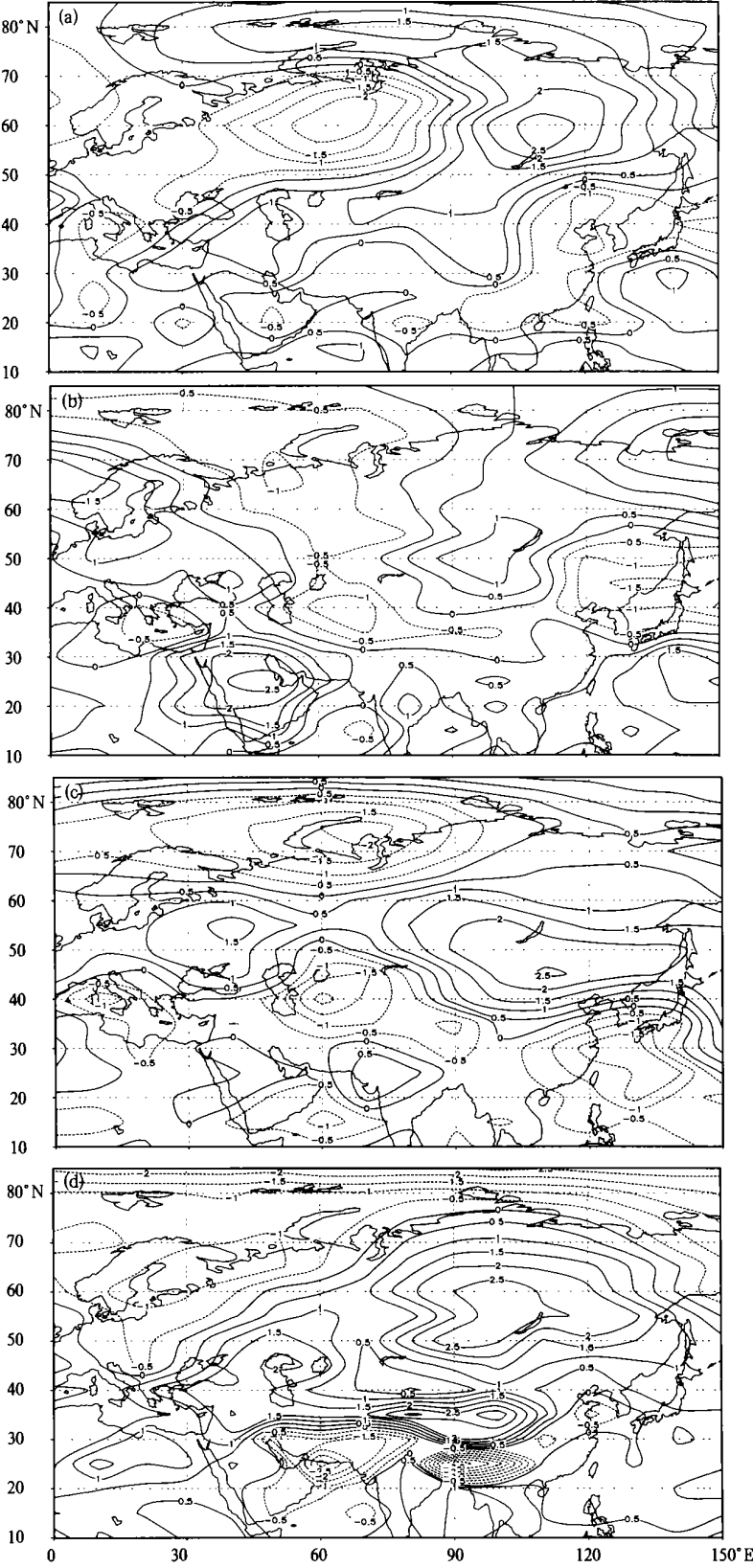


图6 华北地区发生特旱和多雨的前一个月 500 hPa 高度信号场
(a. 1986 年, b. 1991 年, c. 1999 年, d. 1996 年)

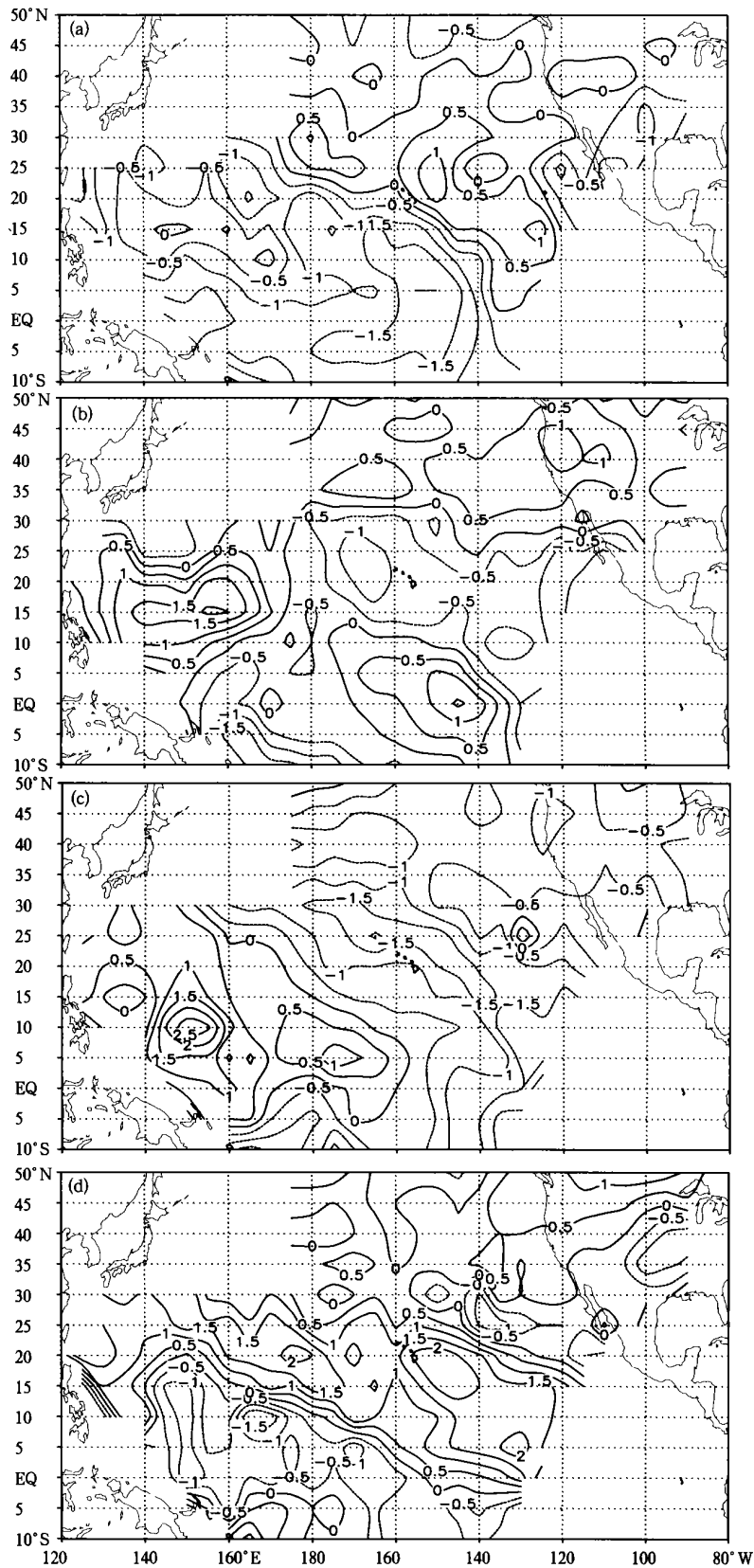


图7 华北地区发生特旱和多水的前一个月北太平洋海温信号场
(a. 1986 年, b. 1991 年, c. 1999 年, d. 1996 年)

上述 3 幅图是出现特旱情景前期大气环流的信号场。图 6d 显示的则是出现较多降水的前期 1996 年 7 月的 500 hPa 高度信号场。可以看到,在华北地区出现多水的前期,大气环流的信号十分强。从高纬至低纬呈现“- + -”的分布结构,即极地为负信号区,从中西伯利亚高原经蒙古高原直至长江以北大范围地区均为正信号区,其中贝加尔湖是一个强信号中心,另外在青藏高原上也有一个强信号中心。 30°N 附近有两个较强的负信号中心,一个在阿拉伯海以北,一个在中国的西南。

华北地区特旱和多水的前期大气环流信号场的分布结构显示,在发生特旱的前期,乌拉尔山一带的负信号及贝加尔湖附近的正信号均很明显,而中低纬地区负信号较弱,也就是说,这期间贝加尔湖地区有阻塞高压维持,锋区偏南,水汽很难到达华北上空,导致持续干旱。而多水前期的大气环流信号场的特征恰恰相反,西北方向的正信号和西南方向的负信号均很强盛,这样系统在向东北方移动的过程中,容易将水汽输送到华北上空,造成该地区降水。

4.2 海温强信号

图 7 是华北地区 8 月出现特旱和多雨前期 7 月的北太平洋海温信号场。从图 7a 可以看到,在 1986 年 8 月发生特旱的前期 7 月海温信号场的具体分布型式是,西风漂流区延伸至北太平洋中部的大范围地区为正值区,但没有达到显著性水平,黑潮、暖池及赤道中东太平洋是负值区,其中 Nino 4 区东部及其南北两侧的信号达到了 10% 的显著性水平。

图 7b 显示 1991 年华北地区出现特旱前期海温信号场的特征是,西太平洋黑潮与暖池附近为一超过 10% 显著性水平的正信号区,西风漂流区是正信号、北太平洋中部为负信号、赤道中太平洋 Nino 3 区西部为正信号,但均没有超过显著性检验。

1999 年 7 月海温信号场(图 7c)的分布型式与 1991 年 7 月相似,但信号较强。在西太平洋的黑潮与暖池附近是一显著信号区,其中 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}\text{N}$, $140^{\circ}\sim 160^{\circ}\text{E}$ 范围的信号超过 0.05 显著性水平。北太平洋中部的

狭长区域是显著的负信号。

华北地区 1996 年 8 月出现持续降雨,前期 7 月份北太平洋海温信号场(图 7c)呈现出与 1991, 1999 年 7 月基本相反的分布型式,即北太平洋中部为正信号区,且大部分地区超过 0.10 显著性水平,赤道西太平洋 Nino 4 区呈负信号但不显著。

由上述分析可见,在华北地区出现特旱的 3 a 前期,北太平洋海温表现的信号强度、分布型式并不完全一致,但我们注意到,黑潮、暖池及 Nino 4 区东部附近的海温异常是与华北地区持续干旱有密切联系的一个强信号。

5 小 结

(1) 气候背景分析结果表明,华北地区干旱期和多雨期间的大气环流和海温变化存在趋势性的差异,干旱不仅与西风带环流有关,也与副热带高压的异常变化有关。北太平洋海温的差异主要表现在冷暖分布结构的改变,特别是夏季的异常干旱和多水与海温出现的冷暖事件有一定的联系。

(2) 在 1986, 1991 和 1999 年 8 月出现特旱的前期,大气环流表现出的强信号位置和强度并不完全一致,但是东亚地区大气环流的异常,特别是乌拉尔山脉附近和贝加尔湖附近的高度的异常变化,是华北地区出现异常干旱值得注意的前兆强信号。而在出现特旱的前期,北太平洋的海温并不都有显著的前兆强信号出现。但是,黑潮、暖池及 Nino 4 区东部附近海温的异常是值得注意的前兆信号,这些区域的海温出现异常,可能会通过西太平洋副热带高压的变化影响华北地区的干旱强度。

(3) 因篇幅所限,本文仅叙述了 8 月份华北地区出现特旱的前兆强信号。事实上,根据我们计算各月出现异常干旱的前期环流或海温的信号场可以看出,在异常干旱出现的前期大气环流或海温通常会有强信号反映出来,因此,识别出这些强信号可以为异常干旱的预测提供有价值的信息。

参考文献:

- 1 符淙斌,温刚.中国北方干旱化的几个问题.气候与环境研究,2002,7(1):22~29
- 2 孙淑清.近五十年来华北地区旱涝特征与全球变化的研究及对未来趋势的探讨.高原气象,1999,18(4):541~551
- 3 张庆云.1880 年以来华北降水及水资源的变化.高原气象,1999,18(4):486~495
- 4 郭其蕴.中国华北旱涝与印度夏季风降水的遥相关分析.地理学报,1992,47(5):394~402
- 5 朱平盛,张苏平.华北夏季旱涝的前期环流异常及其与北太平洋海温的关系.应用气象学报,1997,8(4):437~443

- 6 张苏平, 朱平盛, 蒋尚城. 华北夏季降雨与热带对流活动的关系. 气象学报, 2001, 59(4): 502~ 507
- 7 魏凤英. 华北地区干旱强度指数及其变化特征. 自然科学学报, 2003(待发表)
- 8 高桥浩一郎. 月平均气温、月降水量以及蒸发散量的推定方式. 天气(日本), 1979, 26(12): 759~ 763
- 9 Yamamoto R T, Iwashima, Sanga N K. An analysis of climatic jump. Meteor Japan, 1986, 64(2): 273~ 281.
- 10 黄嘉佑, 杨扬, 周国良. 我国暴雨的 500 hPa 高度信号场分析. 大气科学, 2002, 26(2): 221~ 229

CLIMATOLOGICAL BACKGROUND AND PREVIOUS STRONGER SIGNAL OF ANOMALY DROUGHT OVER NORTH CHINA

Wei Fengying

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Zhang Jingjiang

(Beijing City Meteorological Institute, Beijing 100089)

Abstract

Drought disaster in North China occurs frequently, it is one of the areas in China where drought extended widest, its intensity was most serious and lasting time was longest. In particular, in recent years, the serious drought extremely threatens agriculture, thereby economics, ecology and even daily life of people were impacted. Therefore it is important to find the causes of the persistent drought in North China, and identify the prior signal of drought degree and its lasting time. In this paper, the characteristics of circulation and ocean variation during dry and wet periods over North China are analyzed by using composition anomaly. The inter-decade tendency changes of 500 hPa height and sea surface temperature (SST) in North Pacific have great influence on Continued drought since 1980s. The results show that there were the correlations between the anomaly drought over North China and the tendency changes of westerly circulation and subtropical high. Based on signal-noise ratio the previous stronger signals of 3 severe drought events are discriminated from 500 hPa height field and SST field. The meaning of the stronger signal-noise ratio is that the remarkable difference between the recent atmospheric and oceanic anomaly and the multi-year mean occurred. For example, there were some antecedent strong signals before the summer drought in 1999, such as typical high control pattern in East Asia circulation, long lasting SST increasing abnormally over Kuroshio and Nino 4. Though the location and strength of the stronger signals before occurring of severe drought event are not all the same, the anomaly variations of the height nearby Ural Mountains and Bajkal Lake and the SST nearby Kuroshio, warm pool and Nino 4 region are important previous stronger signals.

Key words: North China, Drought, Climatologically background, Stronger signal.