

河套华北地区旱涝的前期环流异常与大西洋海温的关系及其数值模拟*

陈晓光

徐祥德

朱乾根

(宁夏气象台,银川,750002) (中国气象科学研究院,北京,100081) (南京气象学院,南京,210044)

摘 要

首先分析了河套华北地区旱涝的前期异常环流,然后探讨了这种异常环流形成的机制,最后采用了 OSU-AGCM 作了大西洋地区热源异常强迫的数值试验。结果表明,大西洋地区海温异常强迫激发的定常波向上、下游的能量传播,造成的前期秋冬季环流异常与河套华北地区的夏季旱涝有较好的对应关系。

关键词:河套华北地区,夏季旱涝,大西洋海温异常。

1 引言

干旱和雨涝是重要的气象灾害,常常给人类活动、社会经济带来严重的影响,特别是当它大面积出现时,往往造成难以估量的损失。因此,研究干旱和雨涝的成因及发生规律,预测它的未来,是中长期天气预报的一个重要课题。

张家诚^[1]根据《中国五百年旱涝分布图集》和有关资料对中国旱涝的规律作了一个基本的气候分析。徐瑞珍^[2]研究了冬夏海平面气压场与中国东部地区旱涝的相关,陈烈庭^[3]分析了东太平洋赤道地区海平面温度的季节变化和年际变化。林学椿^[4]研究了北太平洋海水表面温度异常及其对东亚大气环流的影响。黄荣辉^[5]研究了夏季模式大气对热源强迫的响应,提出了夏季菲律宾周围的对流活动与东亚环流异常遥相关的模型,讨论了与江淮流域旱涝的关系。

这些研究工作,从事实分析到理论探讨、数值模拟等加深了对长期天气过程形成和演变规律的认识,为灾害性长期天气预报提供了途径。但是研究的区域大多数集中在我国东部地区。本文以河套华北地区的旱涝为研究对象,研究了该区旱涝前期秋季的异常环流和形成机制,然后计算大西洋海温和环流的相关,最后采用 OSU-AGCM 作了大西洋热源异常强迫的数值试验。

2 河套华北地区夏季旱涝的前期环流异常及其形成机制

在文献[6]中,根据降水量的时空分布,划分了我国降水的自然区域。在河套华北区域内选取了 27 个测站,计算了 1951 年到 1988 年的降水指数,取了 5 个最大的峰值和谷值

* 初稿时间:1992 年 8 月 28 日;修改稿时间:1993 年 10 月 15 日。
资助项目:宁夏回族自治区科委资助项目。

代表典型涝年和旱年。典型涝年是 1956,1959,1964,1973, 1979 年,典型旱年是 1957, 1965,1972, 1974,1980 年。

为了研究河套华北地区夏季旱涝年前期的异常环流,我们计算了典型旱涝年的合成差异场(典型涝年平均场减典型旱年平均场)。图 1 给出了 11 月的旱涝年合成差异场。由

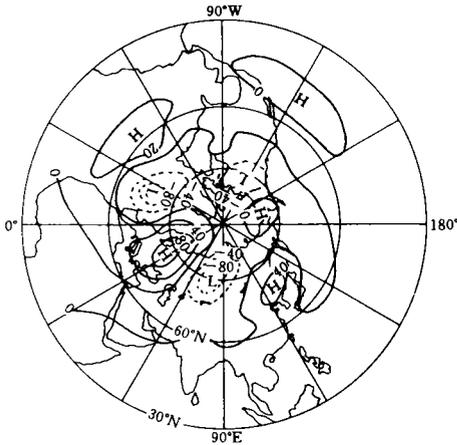


图 1 11 月 500hPa 旱涝年合成差异场
(单位:gpm)

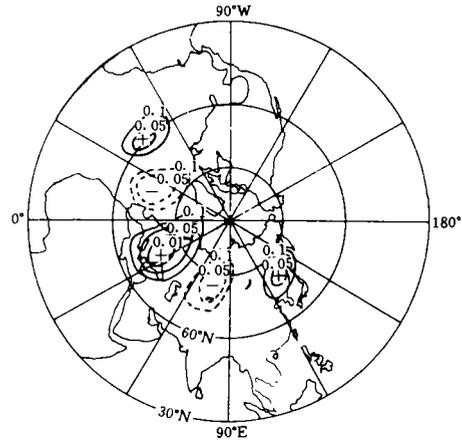


图 2 t 统计量场
(虚线为负值区,实线为正值区,数值为信度值)

图可见,在欧洲有一个范围较大的正值区,中心值达到 100gpm,在其上下游的北大西洋和西伯利亚是两个范围较大的,中心值达到 80gpm 的负值区,在大西洋中部和亚洲大陆东岸还有两个正值区。为了讨论这些特征的可靠性,我们对涝年平均环流场和旱年平均环流场进行差异显著性检验,计算 t 统计量。

$$t = \frac{\bar{H}_1 - \bar{H}_2}{\sqrt{n_1\sigma_1^2 + n_2\sigma_2^2}} \sqrt{\frac{n_1n_2}{n_1 + n_2}(n_1 + n_2 - 2)}$$

式中 \bar{H}_1 、 σ_1^2 、 \bar{H}_2 、 σ_2^2 分别为涝年和旱年的平均场和均方差场, n_1 、 n_2 为旱涝年的年数。 $n_1 = n_2 = 5$ 。图 2 是计算出的 t 统计量场,可以看出欧洲的正值中心信度超过了 0.01,其余几个中心的信度也超过了 0.05。这就说明图 1 的特征是可靠的,且意味着涝年前期秋季欧洲大陆有比较强的脊维持或发展,在其上游的欧洲大陆沿岸有强的暖空气质量向北输送,在其下游的乌拉尔山地区有较强的冷空气质量向南输送。而在大西洋中部的高度场将偏高,东亚大槽将偏弱,这是典型旱涝年情况,这种情况在 38 年中是否仍存在呢?为此我们计算了 1951 年到 1988 年北半球 500hPa 环流与旱涝指数不同时滞的相关。图 3 给出了河套华北地区夏季旱涝指数与前一年 11 月 500hPa 纬偏场的相关。由图可见最强的相关区位于欧洲地区,信度为 0.01,其次是西伯利亚地区,信度为 0.05,大西洋北部和日本东部的洋面上,信度为 0.1。主要特点与图 1 的一致。这就说明,典型旱涝年平均场环流的差异在 38 年中确实存在,它反映了河套华北地区夏季旱涝前期的环流特点。

为了探讨旱涝前期环流异常的形成机制,我们采用 Wallace 和 Hoskins 提出的遥相

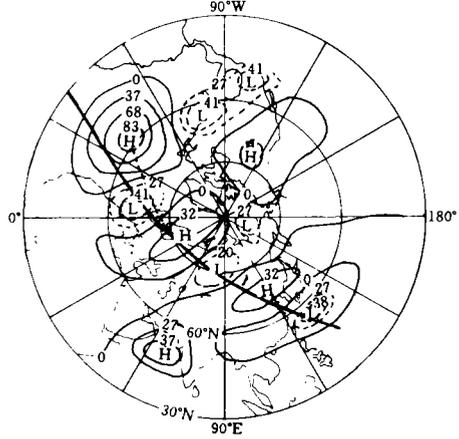
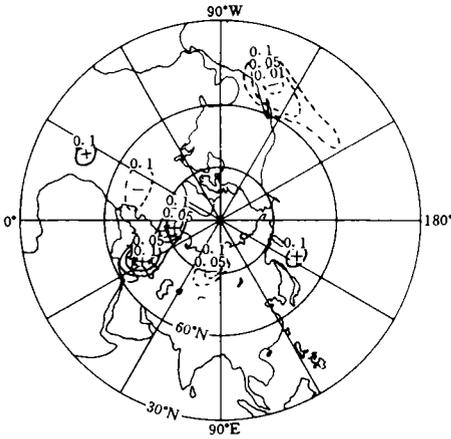


图3 夏季旱涝指数与前期11月500hPa环流相关
(虚线为负相关区,实线为正相关区,数字为信度值)

图4 10月500hPa纬偏高度场点相关
(相关值乘100,基点位于30°N,40°W)

关理论进行研究。为了突出研究该区的旱涝问题,只把旱涝指数与环流场的相关最大值点作为基点,计算遥相关和定常波能量沿波射线传播的轨迹。

图4给出了10月基点位于30°N,40°W的遥相关。由图可见,当基点位于大西洋上时,成波列状的正负相关中心顺序向下游传播,移向西北太平洋,其路径类似于一个大圆。图中粗实线是利用实际资料根据球面上定常波能量沿波射线传播的轨迹方程^[7]计算出的4波波射线轨迹。虚线是正负中心的连线,即传播路径。可以看出其轨迹与路径完全重合。附表给出了用实际资料计算出的定常波群速度值。可以估算出10月份500hPa球面上4波从大西洋到北欧约需4d时间,从北欧到西北太平洋约需3.7d时间。与图1相比较就会发现,两者不但正负中心位置基本一致,而且其正负中心组成的路径也重合。图1是旱涝前一年11月份的合成差异场,由此我们可以推论,河套华北地区旱涝前期11月环流异常是秋季大西洋上激发出的定常波4波向下游的能量频散造成的。显然这与海洋异常加热有关。

附表 10月北半球500hPa定常波4波的群速度值 (ms⁻¹)

纬度	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
群速 C _g	0.3	4.2	9.7	16.9	26.5	36.2	41.2	43.0	41.8	41.8	51.9	75.0	108

3 大西洋海温异常与河套华北地区旱涝前期的环流异常

对于长期天气过程来说,加热过程是决定性过程,大气环流的异常,主要是热源热汇分布的异常。根据 Jacobs^[8]的计算,墨西哥湾流区是供给大气能量最多的地区,感热输送超过 502J · cm⁻² · d⁻¹,蒸发潜热输送约为 2763J · cm⁻² · d⁻¹。Ratcliffi^[9]研究了大西洋海温与海平面气压场的关系。为了探讨河套华北地区旱涝前期环流异常的原因,我们在

68—40°W, 38—50°N 区域内, 计算了 1951 年到 1988 年共 38 年的海温距平面积平均值与 500hPa 月平均纬偏高度场不同滞的相关。图 5 给出了 10 月湾流区海温与 11 月 500hPa 环流的相关场。可以看出, 在大西洋中部、欧洲大陆、亚洲大陆东岸是 3 个正相关中心, 信度超过了 0.01, 在北大西洋、西伯利亚、西北太平洋是三个负相关中心, 其中心值都超过了 0.05 的信度检验值。与图 1 相比较, 这几个主要的正负区域和中心位置基本重合。结合图 4 我们可得出, 秋季当湾流区海温高于平均值时, 通过感热和潜热输送, 加热其上空的大气, 使得近地面低压发展并向下游方向移动^[9], 由于水汽凝结进一步释放潜热, 使得大气中的单位气压高度差增大, 地面暖低压随高度增高而变性, 故在湾流区下游的欧洲大陆 500hPa 上有反气旋性环流发展。从能量的角度来看, 海温出现偏高或偏低, 都要持续几个月, 在这几个月内, 几乎是定常热源或热汇。在加热大气的同时激发了大气定常波, 波能量沿大圆路径向下游传播, 使得大西洋中部, 欧洲大陆、亚洲大陆东岸高度增高, 北大西洋、西伯利亚、西北太平洋高度降低, 形成了河套华北地区雨涝前一年 11 月的环流形势。

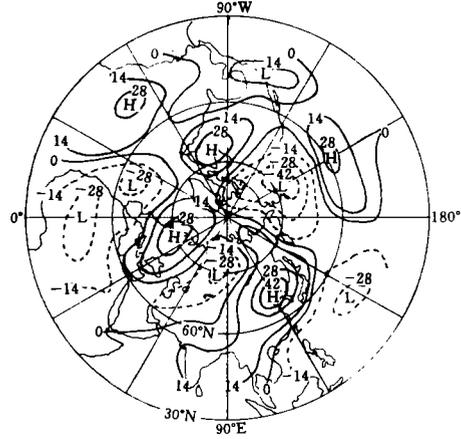


图 5 10 月湾流区 SSTA 与 11 月 500hPa 环流相关(相关值乘 100)

4 大西洋地区热源异常对大气环流影响的数值试验

为了进一步研究大西洋热源异常对北半球秋冬季大气环流的影响, 我们采用一个简化的 OSU-AGCM 模拟大西洋地区异常加热时的北半球大气环流。模式包括了 Rayleigh 摩擦、Newton 加热冷却, 大地形强迫等。

4.1 试验方案

假设理想热源引起的温度距平分布是

$$\Delta T(\lambda, \varphi, p) = \Delta \bar{T} d(p) C$$

$$C = \begin{cases} 1 & \varphi_1 \leq \varphi \leq \varphi_2, \lambda_1 \leq \lambda \leq \lambda_2 \\ 0 & \text{其它} \end{cases}$$

$$d(p) = \begin{cases} 3/5 & p = 400\text{hPa} \\ 1 & p = 800\text{hPa} \end{cases}$$

A. 在大西洋上, 取 $\lambda_1 = 290^\circ, \lambda_2 = 360^\circ, \varphi_1 = 25^\circ\text{N}, \varphi_2 = 50^\circ\text{N}, \Delta \bar{T} = 5^\circ\text{C}$ 。

B. 在所有区域 $\Delta \bar{T} = 0$, 即无热源时的气候平均状况。

将温度距平分布代入牛顿强迫项的平衡温度中, 积分 55d, 取第 36 天到 55 天的预报值计算平均场。为了比较热源加热对大气环流的影响, 将 A 方案计算得到的平均场与 B 方案的平均场相减, 就得到大西洋异常加热时的北半球冬季大气环流的异常情况。

4.2 数值试验结果

图 6 给出了预报的大西洋地区热源异常引起的 500hPa 高度距平分布。由图可见,在大西洋中部、欧洲、亚洲大陆地区是正距平,在欧洲大陆沿岸、乌拉尔山、北太平洋地区是负距平。与图 5 相比较就会发现图 6 中的正负距平除亚洲大陆的正距平区预报的稍强外,其余特点几乎都具备。再比较图 1 就可看出,典型旱涝年合成差异场的特点在图 6 中也存在。这就从数值试验角度证实了大西洋海温异常确实能够激发出前面讨论的定常波波列,该波列携带能量向下游按大圆路径以群速传播,引起了秋冬季欧亚地区大气环流的异常,这种异常的环流与来年夏季河套华北地区的雨涝有直接的关系。

5 结论与讨论

本文从观测事实、数值试验方面研究了河套华北地区旱涝前期的异常环流、遥相关传播机制和大西洋海温对高度场的影响,主要结论是:

(1). 河套华北地区的夏季旱涝与前期秋季欧亚地区大范围的环流异常有直接的关系。当秋季大西洋中部、欧洲大陆、亚洲大陆东岸的高度场偏高,北大西洋、西伯利亚、西北太平洋高度场偏低,来年夏季河套华北地区将会出现多雨,反之将会出现干旱。

(2). 与河套华北地区夏季旱涝有关的前一年秋季 500hPa 上的异常环流与湾流区的海温距平有较好的关系。即湾流区的海温距平与大西洋中部、欧洲大陆、亚洲大陆东岸的高度场呈正相关,与北大西洋、西伯利亚、西北太平洋的高度场呈负相关。

(3). 大西洋地区加热异常的数值试验结果与上述两条结论是一致的。

(4). 某一地区出现旱涝,不但与前期的大气环流有关,而且与同期的环流形式也有关。从预报角度出发,需要研究前期因素的各种异常特征,基于这种思路,本文探讨了旱涝前期海温和大气异常的关系。但是对于研究旱涝的成因和演变规律来说,还应该研究前期和同期各个阶段各种因素的物理过程和演变规律,以及热量、动量的输送特点,并从理论上予以证明,这些将有待于今后继续探讨。

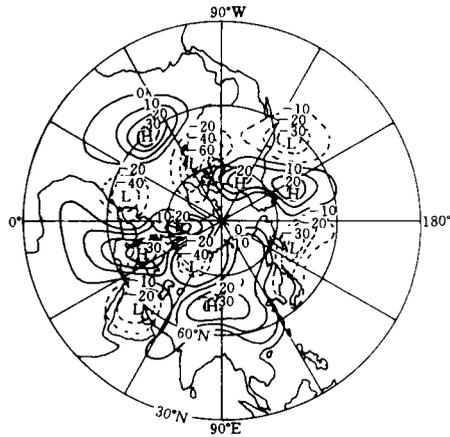


图 6 预报的第 36—55 天 500hPa 平均距平场
(热源在北大西洋)

参考文献

- [1] 张家诚等. 中国近 500 年的旱涝. 气象科学技术集刊. 1983. 1—16.
- [2] 徐瑞珍等. 全球海平面气压和我国东部旱涝. 气象科学技术集刊. 1983. 27—39.
- [3] 陈烈庭. 东太平洋赤道地区海水温度异常对热带大气环流及我国汛期降水的影响. 大气科学. 1977. 1(1): 1—12.
- [4] 林学椿. 北太平洋海水表面温度异常及其对东亚大气环流的影响. 中国科学院大气物理研究所集刊第 6 号. 1976. 40—70.

- [5] 黄荣辉. 引起我国夏季旱涝的东亚大气环流异常遥相关及其物理机制的研究. 大气科学. 1990. 14 (1): 108—117.
- [6] 朱乾根, 陈晓光. 我国降水自然区域的客观划分. 南京气象学院学报. 1992. 15 (4): 467—475.
- [7] Hoskins B J and Karoly D J. The steady linear response of a spherical atmosphere to thermal and orographic forcing. J A S. 1981. 38: 1179—1196.
- [8] Jacobs W C. Long-scale aspects of energy transformation over the oceans. Compendium of Meteorology. Composed and Printed at the Waverly Press Inc. 1951. 1057—1070.
- [9] Long-range forecasting research report. impact of the North Atlantic SST on the atmospheric circulation. WMO/TD 1990. 362: 261—262.

THE NUMERICAL EXPERIMENT ON EFFECT OF ATLANTIC HEATING AND THE RELATIONSHIP BETWEEN THE ABNORMAL CIRCULATION OF PRECEDING STAGE ON THE DROUGHT AND FLOOD IN THE HETAO HUABEI REGION AND ATLANTIC SSTA

Chen Xiaoguang

(*Ningxia Meteorological Observatory, Yinchuan, 750002*)

Xu Xiangde

(*Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing, 100081*)

Zhu Qiagen

(*Nanjing Meteorology Institute, Nanjing, 210044*)

Abstract

In this paper, we analyze the abnormal circulation of preceding stage on the drought and flood in summer over the Hetao Huabei region, and present an attempt to explore the forming mechanism of this abnormal circulation, and make the numerical experiment on effect of Atlantic heating with OSU-AGCM. The results show that the abnormal circulation of preceding stage in autumn and winter agree roughly with the drought and flood over the area in summer. The abnormal circulation is formed by the energy propagation to upstream-downstream of the stationary waves that is forced by the action of Atlantic SST anomaly.

Key words: Hetao Huabei region, Drought and flood in summer, Atlantic SST anomaly.