第15卷 第4期 空间科学学报 Vol. 15, No. 4
1995 年 10 月 CHINESE JOURNAL OF SPACE SCIENCE Oct., 1995

太阳活动、黑潮海温年季变化与长江中游旱涝灾害

阮 雪 琴
（中国科学院武汉物理所，430071）
马 福 慧
（武汉中心气象台）

摘 要

本文采用太阳 10.7cm 辐射流量（$F_{10.7}$）作为太阳活动指标，根据最近 30 多年的太阳活动、西太平洋黑潮区海温和长江中游干支流地区雨量观测数据，分析了三者之间的关系，研究发现长江中游地区旱涝明显地受太阳活动和黑潮海温年季变化的共同控制．可根据某些特征，利用两年之前的太阳 10.7cm 辐射流量和当年春季之前黑潮海温的观测数据，分析判断长江中游当年夏季是否发生旱涝灾害的趋势．

关键词 太阳活动，黑潮海温，旱涝灾害

一、引 言

长江流域旱涝灾害频繁，仅长江中游从 1951 年至今的44年中，共发生严重洪涝 6 次，大旱 5 次，平均 3—4 年一次，每次灾害都给国民经济和人民生命财产带来严重损失．因此研究长江流域旱涝规律及其预报技术，是既具有科学价值又具有防灾减灾重要意义的研究课题．过去我国水文气象工作者为之做了大量的研究工作，随着研究的深入，人们逐步认识到研究旱涝规律及其成因，不仅要考虑气象系统内部因子，而且要考虑外部诸如太阳活动、海洋环流等因子的作用，是一个需要多学科综合研究才能解决的问题；虽然造成旱涝的直接原因是大气环流持续异常所致，但大气环流主要是太阳辐射在地球高低纬上分布不均匀造成的，太阳辐射是大气运动、海洋环流的原动力；太阳活动不仅具有 11 年黑子周期，还有 22 年磁周期，80—90 年的世纪周期，170—200 年的行星世纪周期．经过人们长期研究，地球上旱涝灾害与太阳活动各种周期变化有关的事实不断被揭示[1—3]．文献[4]指出：长江中上游地区，在太阳活动峰值年前后多涝，在谷值年前后多旱．近千年统计结果给出峰年涝频是谷年涝频的 1.6 倍，谷年旱频是峰年旱频的 2.4 倍．该流域的旱涝变化有明显的世纪周期，在不同的世纪周期中，旱涝频数分布不同，以偶世纪周期中旱涝更为频繁，且涝频大于旱频．在奇世纪周期中，旱涝频次几乎相等．近一千年来，太阳活动经历了 11 个世纪周期，从本世纪六十年代开始太阳进入第 12 世纪周期．许多研究结

本文于 1994 年 8 月29日收到．

果表明，地理位置和世纪周期不同，旱涝规律表现也不同，具体到长江中游地区，在本太阳世纪周期中，旱涝规律与太阳活动的关系表现又怎样呢？如果从日地整体关系同时考虑太阳活动和海水表面温度（下称海温）年季变化对旱涝的影响，会有什么新的规律呢？本文主要介绍我们针对这些问题进行研究的某些结果。

二、太阳活动及黑潮海温的年季变化

太阳 10.7cm辐射流量（$F_{10.7}$）是一个代表太阳活动性的良好指标，利用 1951—1994 年渥太华天文台观测的 $F_{10.7}$ 数据，取月平均值，以当年 6、7、8 三个月的平均值，代表夏季太阳辐射水平，以 11、12月及次年 1 月三个月的平均值，代表冬季太阳辐射水平，分别作出 1951—1993 年冬季和夏季 $F_{10.7}$ 的逐年变化曲线，如图 1(a)所示．由图可见，冬夏季之差 $F_{10.7}$ 均具有11年周期变化，处在太阳活动从低年向高年变化过程中的一些年份，如1954—1958 年，1965—1970 年，1976—1988 年，1986—1989 年，由于冬季太阳辐射比夏季强，冬、夏季的 $\Delta F_{10.7}$ 应为正值．处在太阳活动从高年向低年变化过程中的一些年份，由于冬季辐射比夏季弱，$\Delta F_{10.7}$ 应为负值．在太阳活动 11 年周期变化的峰年和谷年附近，两曲线各有一个交点，在交点处冬、夏季辐射强度相同，即 $\Delta F_{10.7}$ 应为零值．图 1(b) 给出了 1951—1993 年期间，太阳的冬、夏季 $\Delta F_{10.7}$ 逐年变化曲线，是一条具有 11 年左右周期的振荡曲线，正半周由太阳活动的上升期决定，负半周由太阳活动的下降期决定．从实质看，每年 $\Delta F_{10.7}$ 大小反映了冬、夏季太阳活动的相对变化，$\Delta F_{10.7}$ 逐年变化曲线反映了太阳活动

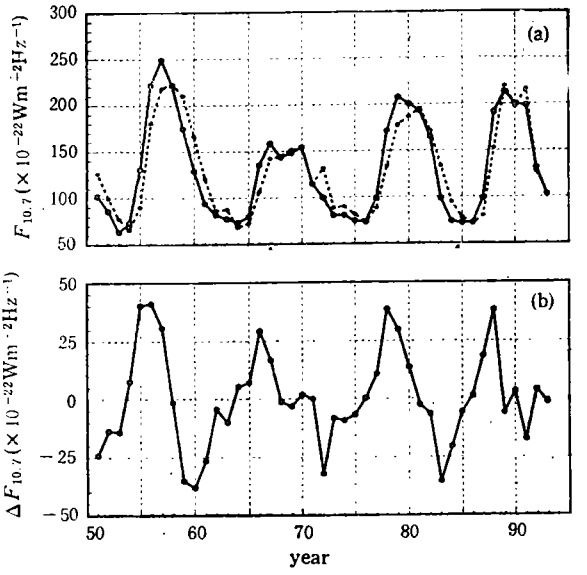
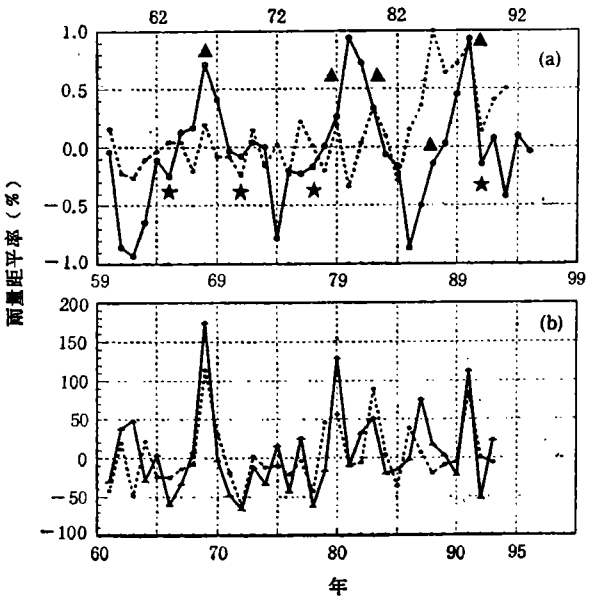


图 1　(a) 太阳 10.7cm 辐射流量逐年变化 (b) 太阳 10.7cm 辐射流量差 $\Delta F_{10.7}$ 逐年变化

Fig.1　(a) The interannual variations of solar 10.7cm radiation flux (b) The interannual variations of the differences of solar 10.7cm radiation flux between winter and summer

冬夏季相对变化的年际变化规律，以后在本文中称它为太阳活动年季变化曲线。$F_{10.7}$ 的年平均值逐年变化曲线正处在图 1(a) 冬夏季的两曲线之间(图略)，图 1(b) 上的太阳活动年季变化曲线与其比较，从峰谷位置看相位均超前 2 年。



▲涝年 (Flood years) ★旱年 (Drought years)

图 2 (a) 1958 年—1994 年期间，太阳活动年季变化(实线)和黑潮海温距平年季变化(虚线)
(b) 1961年—1993 年期间，长江中游干支流地区夏季雨量距平百分率年变化
(实线—盛夏雨量，虚线—梅雨量)

Fig. 2 (a) The variations of solar activity (solid line) and the sea temperature in the Kuroshio region (dashed line) during years of 1958—1994 (b) The variations of the summer rainfall in the middle reach of the Yangtze River during years of 1961—1993 (solid line—June and July, dashed line—Mei-yu)

文献 [5]、[6] 指出：我国东部降雨与西太平洋黑潮海域海温异常变化有明显正相关。由于海洋的热容量大，能将太阳辐射的部分能量储存起来，在冬季作为热源对大气加热，加热最大的海域在冬季各月均出现在黑潮区。因此，太阳辐射的年季变化必然引起黑潮海温的调整变化。为研究从 60 年代太阳进入 12 世纪周期以来的旱涝规律与黑潮海温年季变化的关系，采用同样的方法，作出了 1961—1993 年期间冬、夏季黑潮海温距平差值 ΔT 的逐年变化曲线，亦称黑潮海温年季变化曲线，如图 2(a) 虚线所示，它是一条以 2、3 年周期为主的振荡曲线。图中纵坐标表示两曲线进行归一化处理后的大小，从图 2(a) 中两曲线可看出，相应 1958—1993 年太阳活动年季变化，黑潮海温经过两年时间适应调整后的变化。

三、长江中游干支流地区雨量距平年变化

长江中游地区的旱涝，主要取决于该流域 6、7、8 月(主汛期)降雨量的多少。主汛期

雨量通常又可分为梅雨雨量(指6—7月中旬雨量)和盛夏雨量(指7—8月份雨量)，武汉中心气象台根据长江中游干支流地区(武汉、荆州、黄石等)20个气象站的雨量，制定的旱涝标准为：梅雨雨量或盛夏雨量距平百分率大于50%为涝，在21%至50%间为偏涝，在+20%至−20%间为正常，−21%至−50%间为偏旱，小于−50%为旱.将1961—1993年梅雨和盛夏雨量距平率逐年变化曲线表示在图2(b)上.根据上述旱涝标准，由图可见，梅雨或盛夏雨量距平大于50%的有1969、1980、1983、1987、1991年，均为涝年，雨量距平小于−50%的1966、1972、1978、1992年，均为旱年．它们与长江中游地区发生大范围旱、涝的年份一致，因此长江中游干支流地区平均降雨量的百分率基本上可反映长江中游旱涝趋势．从60—80年代发生的旱涝的时间分布看，60年代旱涝频次均等，在70年代多旱，80年代多涝，具有明显的阶段性，即70年代为少雨阶段，80年代为多雨阶段．

四、太阳活动、黑潮海温年季变化与长江中游地区旱涝的关系

从图1(a)上太阳活动年季变化曲线看，由于在太阳活动下降期，冬季辐射比夏季弱，$\Delta F_{10.7}$ 变为负值，其绝对值先由小→大，然后由大→小，相应曲线先下降(零→负最大)，然后再上升(负最大→零)，从而形成了振荡曲线的负半周．在这种变化过程中，大多数年份相应的曲线呈逐年上升或逐年下降正常变化，但在少数年份出现了异常反向变化，比如按正常变化，绝对值应逐渐变大(变小)的，结果在某年却相反地变小(变大)，相应曲线变化出现突变，我们称它为拐点，具有这样异常变化的年份，有1963、1969、1970、1974、1975、1989、1991年．

考虑到太阳活动、黑潮海温、大气环流之间有不同尺度的相互适应调整过程而产生的滞后效应，按图2的时间对应关系比较图上三条曲线，可以发现在长江中游地区旱、涝年的前期，太阳活动和黑潮海温年季变化有如下特征：

1. 某年(如1969、1980、1983、1987、1991年)发生洪涝，3年前(即1966、1977、1980、1984、1988年)的太阳活动冬夏季变化 $\Delta F_{10.7}$ 大多处在振荡曲线正半周，仅87年例外．1年前(1968、1979、1982、1986、1990年)的黑潮海温距平冬夏季相对变化 ΔT 均处2、3年周期振荡的峰值上．

2. 某年(如1966、1972、1978、1992年)发生大旱，3年前(即1963、1969、1975、1989年)的太阳活动冬夏季相对变化均处在振荡曲线负半周，并且在曲线异常变化的拐点上．1年前(即1965、1971、1977、1991年)的黑潮海温距平年季变化为谷值或在零值附近，无一例外．

3. 长江中游旱涝是由太阳活动或黑潮海温的年季变化状态的配合共同决定的，只有在前期两者同时具有旱涝特征，才会出现旱涝灾害．例如1970、1974、1991年虽然在拐点上，太阳活动具有旱年特征，而后两年的海温变化不具有旱年特征，故无旱灾出现．

在太阳进入本世纪周期以来发生的9个旱涝灾害中符合上述规律的有8个，符合率达88.9%．这些事实，充分证明了长江中游地区旱涝的确受太阳活动、黑潮海温年季变化的共同控制．因此根据上述规律，可以利用当年春季之前的太阳活动10.7辐射流量和黑潮海温观测数据，分析判断长江中游地区夏季有无旱涝灾害．

五、讨论与结论

上述长江中游地区旱涝与太阳活动、黑潮海温年季变化的关系，绝不是偶然巧合，是以 30 年来天文、气象、海洋实测数据为依据，分析研究找到的某些规律，是三者之间存在一定的内在联系的表现.从能量观点看，导致旱涝的大气环流的持续异常变化是需要能量来源的，大气运动总能量的量级为 10^{21}J. 众所公认，大气和海洋运动的能量主要来源于太阳辐射，太阳每秒投射到地球每平米上的总辐射量即太阳常数为 1.367kW/m², 太阳常数年际变化虽然很小，但一年内太阳辐射累积起来的能量是可观的. 根据文献[7]提供的1980—1989年的太阳常数，计算得出太阳活动高年，一年内累积的辐射总能量比太阳活动低年的大 4×10^{21}J, 这相当太阳活动高年，在地球大气中施放了 100 万枚 1 千万吨级当量的核弹头.这一巨大的能量差可以与大气运动的总能量相比拟，无疑会影响大气运动. 此外，根据文献[8]提供的西北太平洋海面太阳总辐射的数据，估算了黑潮海域冬季(11、12、1 月)和夏季(6、7、8 月)太阳总辐射，大约分别为每天 879kW/m² 和 1950kW/m², 两者之差为每天 1071kW/m². 由此可见冬、夏季太阳总辐射量相差一倍多，这一巨大能量对大气环流季节性演变的作用是不能忽视的. 可以认为，在太阳活动高低年份间和冬夏季间的太阳辐射巨大能量差，提供了年季间大气环流演变的不同初始条件. 对于长期天气气候变化，外部强迫作用对大气的效应就变得重要起来，海表温度作为地表对大气系统的一种强迫作用，代表大气热量和水气的源和汇. 由于海洋热容量大，能将进入大气的大部分能量储存起来，冬季成为热源，加热大气，通过海气相互作用、热量交换和平衡过程影响大气环流变化[9]. 某一特定地区的天气过程，是和特定的大气环流相联系的. 我国东部大部分地区降水与西太平洋副热带高压（下简称副高）这一半永久性活动中心有密切联系，副高活动又与太平洋热状况关系密切[6,10]. 文献[6]根据黑潮海域海气间感热和潜热交换的计算结果，具体分析了黑潮海域加热场是怎样影响副高进退及强弱，进而影响长江中上游 5、6 月份降水的，分析指出：由于海洋向大气输送热量的结果，海温与气温相应地

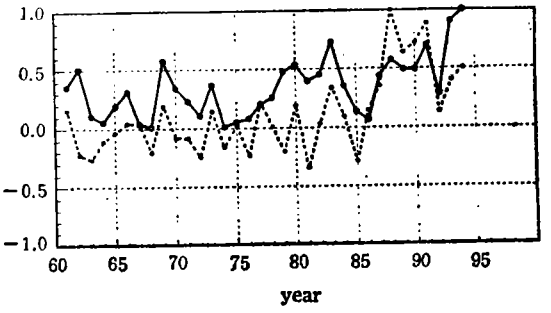


图 3 1961—1994 年期间，5 月份西太平洋副热带高压强度指数年变化(实线)与黑潮海温年季变化(虚线)比较

Fig.3 The compression between the interannual variations (solid line) of the high pressure intensity index of west Pacific subtropics and the interannual variations (dashed line) of the sea temperature in the Kuroshio region in May during years of 1961—1994

发生变化，因此在海温场、气温场和加热场间不断产生一个复杂调整过程，调整结果使得5月的加热场和1月份（或1、2月）海温场的年季变化趋势一致起来．我们将5月份副高强度的逐年变化与图2(a)上海温 ΔT 逐年变化进行了比较，也发现两曲线的变化趋势基本一致，见图3．这些研究结果表明副高适应黑潮海温冬夏季变化有3、4月的调整时间，故夏季的旱涝与前冬海温变化相关．

在长期天气过程中，太阳-大气-海温是一个相互作用、相互制约的耦合系统，太阳辐射场、海洋加热场、海温场、大气气压场之间有复杂的能量转换和平衡关系，对于太阳辐射的冬夏季相对变化，各场量之间有不同时间长度的相互适应调整过程，由本文研究可见黑潮海温响应太阳变化有2年的调整时间，调整结果使副高的强度、位置发生变化，如果在受副高活动控制的长江中游地区造成旱涝的天气气候条件，可导致旱涝灾害发生．

根据研究结果，得到如下结论：

1. 每年冬、夏季的太阳10.7cm 辐射流量差 $\Delta F_{10.7}$ 的逐年变化是一条周期约11年的振荡曲线，它反映了太阳活动冬夏季相对变化的年际变化规律．每年冬夏季的黑潮海温距平差 ΔT 逐年变化是一条以2、3年周期为主的振荡曲线．长江中游地区旱涝灾害明显地受两者变化的控制．

2. 若某年发生洪涝（大旱）灾害，3年前相应的 $\Delta F_{10.7}$ 大多处在振荡曲线的正半周（负半周且呈异常变化），1年前相应的黑潮海温冬、夏季的差值 ΔT 均在2、3年周期振荡的峰值上（谷值或零值附近）．根据这些特征，可利用两年之前的太阳10.7cm 辐射流量和当年春季之前黑潮海温的观测数据，分析判断长江中游当年夏季是否发生旱涝灾害的趋势．

参　考　文　献

[1] 徐振韬和蒋窈窕，太阳黑子与人类，天津科学技术出版社，1986．
[2] 张先恭，“中国科技蓝皮书”第五号，科学出版社，第260页，1990．
[3] 王绍武，长期天气预报和日地关系研究，海洋出版社，第43页，1992．
[4] 吴贤坂和张元东，天文、气象学术讨论会文集，气象出版社，第51页，1986．
[5] 大气所长期天气预报组，《海气相互作用与旱涝长期预报》集刊，科学出版社，第1页，1976．
[6] 潘怡航，《海气相互作用与旱涝长期预报》集刊，科学出版社，第102页，1976．
[7] Frohlich, C., Proc. of the Workshop on the Solar Electromagnetic Radiation Study for Solar Cycle 22, U.S. Dept. of Commerce National Oceanic and Atmospheric Administration Environmental Research Laboratories, p.1, 1992．
[8] 中国科学院海洋研究所海洋气象组，西北太平洋海面热量平衡图集，科学出版社，1979．
[9] 林学椿，《海气相互作用与旱涝长期预报》集刊，科学出版社，第40页，1976．
[10] 丁良模，海洋学报，第14卷，第47页，1992．

SOLAR ACTIVITY, SEA TEMPERATURE IN THE KUROSHIO REGION AND THE FLOOD AND DROUGHT IN THE MIDDLE REACH OF THE YANGTZE RIVER

Ruan Xue-qin

(Wuhan Institute of Physics, Academia Sinica, 430071)

Ma Fu-hui

(Wuhan Center Meteorology Observatory)

Abstract

The relationship among solar activity, the sea temperature in the Kuroshio region and the flood and drought in the Middle Reach of the Yangtze River (MRYR) is investigated by using 30 years' data of solar activity, the sea temperature in the Kuroshio region and the rainfall in the MRYR. Results show that the rainfall in the MRYR is obviously controlled by the interannual and seasonal variations of solar activity and the sea temperature in the Kuroshio region.

The solar 10.7cm radiation flux is taken as the index of solar activity and the interannual fluctuation curve of the difference of $F_{10.7}$ between winter and summer oscillates with a period of about 11 years. The flood years (or drought years) frequently occurred when the positive part (or negative part and odd point) of the curve appeared 3 years ago and the last year lay in the peak (or valley, or near zero point) of the seasonal variation curve of the sea temperature in the Kuroshio region.

According to these features, the solar activity data in the previous two years and the sea temperature data in the Kuroshio region before this spring can be used to analyze the trend of flood or drought in the MRYR in the coming summer.

Key words Solar Activity, Sea temperature in the Kuroshio region, Flood and drought.