

文章编号:1004-4574(2012)04-0161-07

## 近52年太阳活动与江淮梅雨异常关系分析

程国生,杜亚军,陈 烨

(南京信息工程大学 数理学院,江苏 南京 210044)

**摘 要:**我国涝灾主要集中在江淮地区,其中6-7月的旱涝,大部分是由梅雨异常引起的。为了研究梅雨的影响因子,利用1954-2005年太阳黑子、江淮地区33站梅雨期降水资料,分析了太阳活动对江淮地区梅雨的影响。研究表明,梅雨量趋势系数的最大值中心位于杭州地区,而太阳活动与杭州地区的梅雨基本上没有关系。太阳活动对江淮地区梅雨量、梅雨强度的影响具有地域性。太阳活动与梅雨量的相关关系由北向南,依次呈现为负相关性、正相关性和负相关性,太阳活动强的年份,江淮地区北部和南部梅雨量偏少,江淮中部梅雨量偏多;太阳活动与梅雨强度的相关关系由北向南,依次呈现正相关性、负相关性,太阳活动强的年份,江淮地区北部梅雨强度较强,江淮南部梅雨强度较弱。合成分析结果表明:太阳活动谷年江淮地区普遍偏涝。

**关键词:**太阳活动;梅雨异常;相关分析;合成分析

中图分类号:P461.1

文献标志码:A

## Analysis of relationship between solar activities and abnormality of plum rains in Changjiang-Huaihe River Valley in recent 52 years

CHENG Guosheng, DU Yajun, CHEN Ye

(College of Math & Physics, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

**Abstract:** Floods in China mainly occur in the region of Changjiang-Huaihe River Valley. Floods and droughts in June and July are mostly caused by abnormality of plum rains. To study the influence factors of plum rains, the impact of solar activities on plum rains in the region was analyzed based on the data of sunspots and precipitation in the Changjiang-Huaihe river region during the plum rains period from 1954 to 2005. The results show that, the maximum trend-coefficient of the precipitation of plum rains is located in Hangzhou area, where solar activities has little impact on plum rains. Impact of solar activities on the precipitation and the intensity of plum rains shows obvious regional characteristics in the Changjiang-Huaihe River region. From north to south of the Changjiang-Huaihe River region, the correlations between solar activity and the precipitation of plum rains are negative, positive, and negative, respectively. In anomalous strong solar activity years, precipitation is less in the north and south and more in the middle of the region; while from north to south, the correlations between the solar activity and the intensity of plum rains are positive and negative, i. e., generally speaking, in anomalous strong solar activity years, the intensity of plum rains is stronger than normal in the north and weaker than normal in the south of the region. Composite

收稿日期:2011-09-28; 修回日期:2011-11-28

基金项目:国家自然科学基金项目(10804053)

作者简介:程国生(1954-),男,教授,主要从事空间天气学研究. E-mail:gs\_cheng6991@sina.com

analysis results show that, in low solar activity years, the Changjiang-Huaihe River region is prone to have floods.

**Key words:** solar activity; plum rains abnormality; correlation analysis; composite analysis

受东亚夏季风的影响,我国东部夏季降水主要包括3个阶段:前汛期,梅雨期,后汛期<sup>[1]</sup>。在夏季降水的3个主要阶段中,梅雨期对长江流域影响最大,梅雨期降水出现异常往往导致长江流域发生严重旱涝灾害。郝志新等<sup>[2]</sup>研究表明,长江中下游地区6-7月的旱涝,大部分与梅雨有关。因此研究梅雨影响因子,为梅雨预测提供思路,减少梅雨异常事件带来的损失,有着极其重要的意义。梁萍等<sup>[3]</sup>回顾中国气象学者对季风系统下的梅雨及梅雨的大尺度影响因子方面的主要研究进展,认为梅雨影响因子主要有:(1)季风环流的影响(2)中高纬环流的影响(3)海温的影响(4)雪盖、极冰的影响。杨林等<sup>[4]</sup>的研究发现东亚地区夏季旱涝分布与南海夏季风爆发时间存在对应关系。国内外的研究表明,太阳活动对季风环流,中高纬环流,海温(ENSO事件),雪盖和极冰都会产生显著影响<sup>[5-8]</sup>。

太阳活动通常是指太阳上局部区域内的,随同时间变化较快的活动体,它们常常聚集出现在一些称为活动区的地方,主要包括黑子,光斑,谱斑,日珥,耀斑和日冕物质抛射等<sup>[9]</sup>。太阳活动强烈的影响着日地空间环境及地球气候,磁场,电离层和地球大气等。大量研究表明,从数小时到十年、百年时间尺度上的天气、气候变化受太阳活动影响显著<sup>[10]</sup>。太阳活动与地球陆地的雨量和气温之间有一个统计关系,同时太阳活动对水文、地质和气象的影响有明显的地域特征,太阳辐射的变化能引起全球温度的变化<sup>[11-12]</sup>。太阳活动与降水的关系是相当复杂的,它可能随时代,随地理位置而有所差异。就全球范围来说,太阳黑子数和年雨量的相关关系可以是正的负的或没关系,这取决于观测的地区。李春晖等<sup>[13]</sup>的研究指出,太阳活动对黄河流域的降水有一定的影响,在9 a时间尺度上它们与太阳黑子呈一定的负相关关系,且降水有一定的滞后现象。Li等<sup>[14]</sup>研究了中国东部地区1880-1999年夏季降水的时空演变规律,发现在年代际时间尺度(包括次年代际时间尺度)上,长江中下游、淮河流域及华北地区夏季降水的变化与太阳活动有显著的正相关。

目前,在短期气候预测业务中,考虑了太阳活动的影响,但把太阳活动作为梅雨影响因子来研究两者之间的关系并不多见。本文将太阳活动作为独立的影响因子,研究太阳活动对江淮梅雨的影响。对1954-2005年的太阳活动年际变化与江淮地区梅雨期降水量和降水强度进行相关性分析,并讨论他们之间的相互关系。

## 1 资料来源和站点选取

(1)1953-2005年历年太阳黑子相对数年平均值,资料来自美国国家海洋和大气局地球物理资料中心(NGDC)([ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR\\_DATA/SUNSPOT\\_NUMBERS/AMERICAN/YEARLY](ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SUNSPOT_NUMBERS/AMERICAN/YEARLY))1953年1月至2005年12月太阳黑子面积月平均值,资料来自美国航天航空局马歇尔航天飞行中心([http://solarscience.msfc.nasa.gov/greenwch/spot\\_num.txt](http://solarscience.msfc.nasa.gov/greenwch/spot_num.txt));根据给定的太阳黑子面积月平均值求出1953-2005年太阳黑子面积年平均值,公式为

$$A = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} A_i,$$

其中 $A_i$ 为太阳黑子面积月平均值。

(2)江苏省气象台划定的整体江淮流域1954-2005年历年出梅入梅日期。周曾奎<sup>[15]</sup>的研究指出,江苏省气象台紧紧抓住以环流的调整为主(兼顾降水的开始结束)来确定和预报梅雨期是可行的。思路是先确认入出梅期环流调整的特征量来确定入出梅环流调整日,然后再考虑区域性降水(不考虑雨量大小,不设固定站点,不考虑持续雨日天数)的开始终止日期。其具体的划定标准为5-6月份,500 hPa印度加尔各答稳定西风结束,出现东西风相间以后,同时连续3 d达到如下指标可以确定梅雨建立:(1)120°E西太平洋副热带高压(以下简称副高)脊线位置 $\geq 20^\circ\text{N}$ ;(2)115°,120°和125°E 588(dagpm)线平均位置 $\geq 25^\circ\text{N}$ (或115°,120°和125°E 584(dagpm)线平均位置 $\geq 30^\circ\text{N}$ , $\leq 35^\circ\text{N}$ );(3)500 hPa等压面上,120°E处8℃等温线位置 $\geq 35^\circ\text{N}$ 。入梅后,持续3 d达到如下指标可以确定出梅:(1)120°E副高脊线位置 $\geq 27^\circ\text{N}$ (或115°,120°和125°E 588(dagpm)线平均位置 $\geq 31^\circ\text{N}$ );(2)500 hPa等压面上,120°E处-8℃等温线位置 $\geq 40^\circ\text{N}$ 。

(3)中国气象局提供的中国地面国际交换站194站1951-2011年的逐日降水量资料。在消除台站迁移、经过均一性检查和严格质量控制的基础上选取江淮地区(28°N~34°N,109°E~122°E)资料记录完整、缺

测记录少且年代较长,地理位置分布均匀的 33 个站点。其站点分布如图 1 所示。

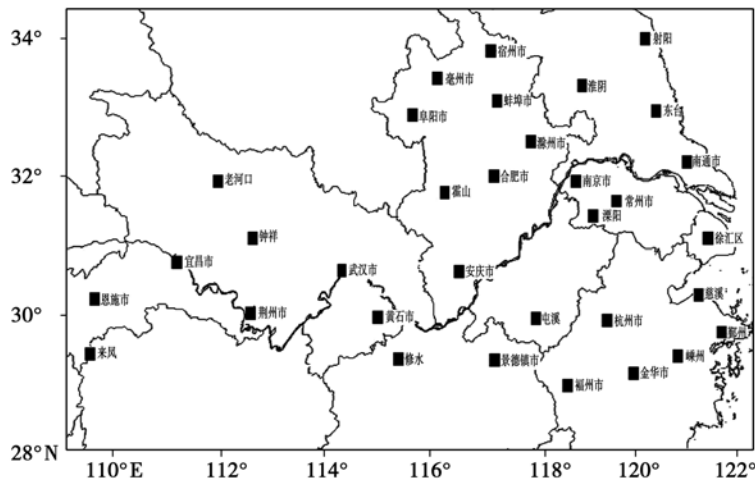


图 1 江淮地区 33 站空间分布

Fig.1 Spatial distribution of 33 meteorological stations in Changjiang-Huaihe River Valley

由给定的江淮流域历年出梅入梅日期和中国地面国际交换站 1951 - 2011 逐日降水量资料计算出江淮流域 33 站站点历年的梅雨期降水总量即梅雨量和梅雨强度,其中梅雨强度公式:

$$\text{梅雨强度} = \text{梅雨量} / \text{梅雨期长度}$$

## 2 太阳活动与梅雨特征量的相关分析

梅雨特征量主要包括出梅日期,入梅日期,梅雨期长度,梅雨量和梅雨强度。梅雨量趋势预测可以反映一定时间尺度内该地区梅雨期降雨量的趋势。梅雨趋势系数为正,该地区梅雨量有偏多的趋势,反之亦然。利用子波变换方法,可得出雨量周期性,根据周期性对梅雨量趋势做出预测<sup>[16]</sup>。梅雨量趋势系数的最大值中心位于杭州地区,达到 0.38,通过信度 0.01 的 Monte - Carlo 显著性检验<sup>[17]</sup>。选取杭州站,计算太阳活动与梅雨特征量之间的相关系数。表 1 给出了梅季特征量之间的相关系数及其与太阳活动之间的相关系数。

表 1 杭州地区太阳活动与梅雨特征量之间的相关系数

Table 1 Correlation coefficient between solar activity and characteristic quantities of plum rains in Hangzhou region

|       | 入梅日期  | 出梅日期  | 梅雨期长度 | 梅雨量   | 梅雨强度  | 太阳黑子数 | 黑子面积  |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 入梅日期  | 1     | -0.01 | -0.57 | -0.44 | -0.14 | -0.13 | -0.14 |
| 出梅日期  | -0.01 | 1     | 0.83  | 0.64  | 0.06  | -0.15 | -0.13 |
| 梅雨期长度 | -0.57 | 0.83  | 1     | 0.78  | 0.13  | -0.05 | -0.03 |
| 梅雨量   | -0.44 | 0.64  | 0.78  | 1     | 0.64  | -0.15 | -0.16 |
| 梅雨强度  | -0.14 | 0.06  | 0.13  | 0.64  | 1     | -0.15 | -0.17 |
| 太阳黑子数 | -0.13 | -0.15 | -0.05 | -0.15 | -0.15 | 1     | 0.99  |
| 黑子面积  | -0.14 | -0.13 | -0.03 | -0.16 | -0.17 | 0.99  | 1     |

从表中可以看出,入梅日期和出梅日期之间相关性最低,相关系数近乎为 0,这说明梅季开始和结束日期之间并无关系,是两个独立的特征量。入梅日期与梅季长度呈明显负相关( $r = -0.57$ ,  $r$  为相关系数),出梅日期与梅季长度呈高度正相关( $r = 0.83$ ),均通过了 0.001 的 Monte - Carlo 显著性检验,这说明一般情况下,梅季开始越早,梅季长度越长,梅季结束越早,梅季长度越短;反之亦然。杭州地区梅雨量和梅季长度两者之间呈现显著的正相关( $r = 0.78$ , 通过了 0.001 的 Monte - Carlo 显著性检验),与出梅日期呈显著负相关( $r = -0.44$ ),与出梅日期呈显著正相关( $r = 0.64$ )。这说明一般情况下,入梅越早,出梅越晚,梅季长度越长,降雨量越大;反之亦然。梅雨强度与与梅雨量呈明显的正相关( $r = 0.64$ ),与梅雨期长度呈现一定的正

相关,与出梅日期相关性很小,与出梅日期呈现一定的负相关,说明在梅雨量较大年份梅雨强度较强。杭州地区,太阳黑子与入梅日期,出梅日期,梅雨量,梅雨强度的相关系数在  $-0.13 \sim -0.15$ ,与梅雨期长度的相关系数为  $-0.05$ ,均未通过  $0.05$  的 Monte - Carlo 显著性检验,说明太阳活动与杭州地区的梅雨基本没有关系。太阳黑子面积与太阳黑子数呈现极高的相关性, $r = 0.99$ ,说明太阳黑子面积变化与太阳黑子数变化一致,但以黑子面积  $A$ (以太阳面积的百万分之一为单位) 作为太阳活动的数值标志大大减小了小黑子的重要性, $A$  的测量比太阳黑子数要客观一些<sup>[18]</sup>。太阳黑子面积与杭州地区的梅雨特征量的相关性也未能通过  $0.05$  的 Monte - Carlo 显著性检验。

考虑到太阳活动对降水的影响可能具有地域性,研究太阳活动对江淮地区梅雨的影响,就要分析太阳活动与江淮地区各个站点梅雨量和梅雨强度之间的相关关系。

### 3 太阳活动与江淮地区梅雨雨量和梅雨强度的相关分析

为了探讨太阳活动与江淮地区梅雨的关系,我们分别计算太阳黑子数与江淮 33 站 1954 - 2005 年梅雨量、梅雨强度之间的相关系数;太阳黑子面积与江淮 33 站 1954 - 2005 年梅雨量、梅雨强度之间的相关系数。图 2(a) 给出了 1954 - 2005 年太阳黑子数与梅雨量的相关系数分布,从图中可以看出江淮中北部地区呈现

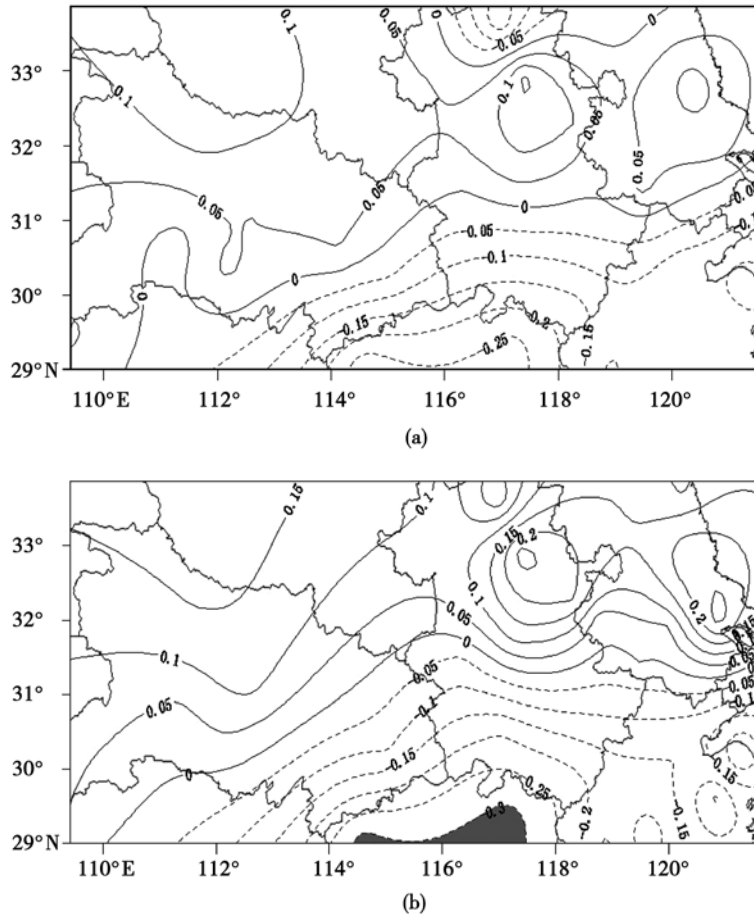


图 2 1954 ~ 2005 年太阳黑子数、太阳黑子面积与江淮地区梅雨量、梅雨强度相关系数分布  
 ((a) 太阳黑子数与梅雨量 (b) 太阳黑子数与梅雨强度 (c) 太阳黑子面积与梅雨量  
 (d) 太阳黑子面积与梅雨强度;其中阴影部分通过了  $0.05$  的 Monte-Carlo 显著性检验)

Fig. 2 Spatial distributions of correlations coefficients between sunspot numbers, sunspot area and the precipitation, the intensity of plum rains in Changjiang-Huaihe River region from 1954 to 2005  
 ((a) sunspot numbers and precipitation of plum rains (b) sunspot numbers and intensity of plum rains  
 (c) sunspot-area and precipitation of plum rains (d) sunspot-area and intensity of plum rains;  
 the stations which pass the significance test of Monte-Carlo at  $0.05$ )

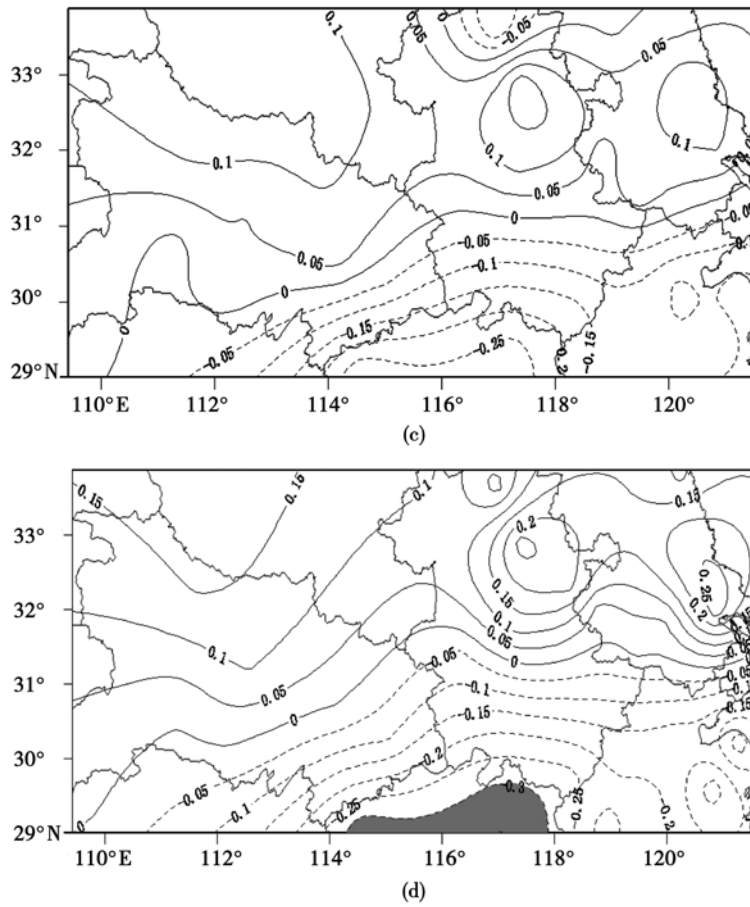


图 2 (续)

Fig. 2 Continued

一定的正相关,两个正值中心分别位于安徽中部和江苏中部;江淮南部呈现一定的负相关,江淮北部的也有一个负相关中心,位于安徽北部,负相关的最大值中心位于江西北部,达到  $-0.29$ 。图 2(b) 给出了 1954 - 2005 年太阳黑子数与梅雨强度的相关系数分布,其中江淮北部呈现一定的正相关,江淮南部则呈现一定的负相关,两个正值中心位于安徽东北部和江苏东南部,负值中心位于江西北部 and 浙江东北部,其中江西北部的相关性最大,超过  $-0.3$ ,通过了 0.05 的 Monte - Carlo 显著性检验。图 2(c) 为黑子面积与梅雨量的相关系数分布,图 2(d) 为黑子面积与梅雨强度的相关系数分布。可以看出,1954 - 2005 年黑子面积与梅雨量的相关系数分布和太阳黑子数与梅雨量的相关系数分布基本一致,但前者总体的相关性更高,正负相关性的绝对值都比后者大。其中江西北部修水地区相关系数达到  $-0.3$ ,通过了 0.05 的 Monte - Carlo 显著性检验(图中未标出阴影);同样的,1954 - 2005 年黑子面积与梅雨强度的相关系数分布和太阳黑子数与梅雨强度的相关系数分布也基本一致,但通过 0.05 Monte-Carlo 显著性检验的区域较后者大。

#### 4 太阳活动与梅雨降水量距平百分率合成分析

为了进一步了解太阳活动与梅雨降水量的关系,揭示太阳活动异常强弱时江淮地区梅雨降水量的变化,;同样取太阳黑子相对数峰年的对应年份 1957,1968,1979,1989,2000 梅雨降水量距平百分率做合成分析的取太阳黑子相对数谷年的对应年份 1954,1964,1976,1986,1996 梅雨降水量距平百分率做合成分析,分别得到图 3(a)、图 3(b)。太阳活动峰年,江淮地区北部和西部为正距平,且越往北降水量距平百分率越大;而南部和东部为负距平。这与 1954 - 2005 年太阳黑子数与梅雨量相关系数分布基本一致,即太阳活动强的年份,江淮地区北部和中西部降水量偏多,南部和中东部降水量偏少。太阳活动谷年,江淮地区整体基本为正距平,其中安徽北部有最大的正值中心,降水距平百分率达到 135%,只在江淮东南部的衢州地区呈现负距平。

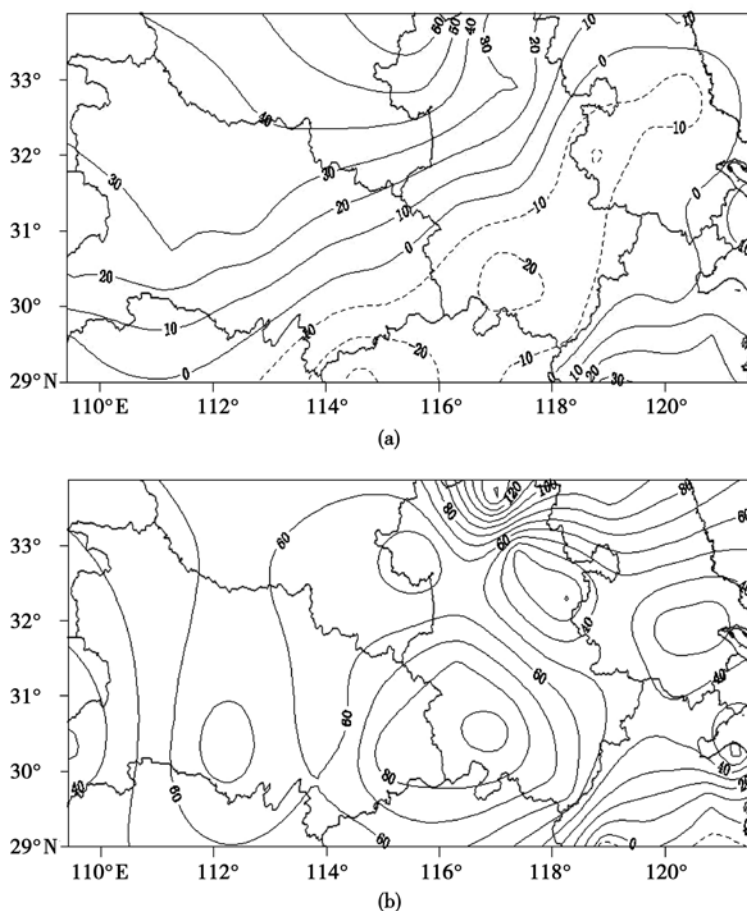


图 3 江淮地区梅雨降水量距平百分率合成图  
 (a:太阳黑子相对数峰年 b:太阳黑子相对数谷年 ;单位 %)  
 Fig.3 Composites diagram of precipitation anomaly percentage of plum rains in Changjiang-Huaihe River region (a) peak value years of relative number of sunspot; (b) valley value years of relative number of sunspot; unit :% )

## 5 结论

(1) 梅雨量趋势系数的最大值中心位于杭州地区,而太阳活动与杭州地区的梅雨基本没有关系。

(2) 太阳活动对江淮地区梅雨量、梅雨强度的影响具有明显的地域性。在江淮地区,太阳活动与梅雨量的相关性由北向南,依次呈现负相关性、正相关性、负相关性;其中江西南部的相关性最大,达到  $-0.29$ ,但都未通过  $0.05$  的 Monte-Carlo 显著性检验。这表明太阳活动强的年份,江淮地区北部和南部梅雨量可能偏少,容易发生旱灾;江淮中部梅雨量可能偏多,容易发生涝灾。太阳活动与梅雨强度的相关性则呈现南北两区。具体来说,由北向南依次呈现正相关性、负相关性,其中江西北部的相关系数超过  $-0.3$ ,通过了  $0.05$  的 Monte-Carlo 显著性检验。说明太阳活动强的年份,江淮地区北部梅雨强度较强,发生洪涝灾害的可能性较大,江淮南部梅雨强度较弱,发生旱灾的可能性较大;反之亦然。

(3) 太阳活动与梅雨降水量距平百分率的合成分析进一步验证了太阳活动对江淮梅雨的影响,在太阳活动峰年,合成分析与相关性分析结果基本一致;在太阳活动谷年则呈现较大的异常,太阳活动谷年江淮地区梅雨量普遍偏多,且降水量距平百分率超过  $25\%$ 。说明太阳活动谷年江淮地区梅雨时期普遍偏涝。

(4) 以太阳黑子数变化表征太阳活动强弱和以黑子面积变化表征太阳活动强弱,通过这两者来研究太阳活动的对江淮梅雨的影响具有很好的一致性。说明以太阳黑子数或黑子面积表征太阳活动都是可信的。

(5) 将太阳活动作为独立的影响因子,研究太阳活动对江淮梅雨的影响,国内外对其物理过程研究相当缺乏,因此太阳活动对梅雨影响的物理过程还有待于进一步研究。

## 参考文献:

- [1] 宗海锋. ENSO引起的全球和局地环流异常对梅雨期降水影响过程的研究[D]. 北京:中国科学院研究生院,2007.  
ZONG Haifeng. Study of Impact Process of Global and Local Atmosphere Anomaly Caused By ENSO on Precipitation During the Meiyu Period[D]. Beijing: Graduate University of Chinese Academy of Sciences,2007. (in Chinese)
- [2] 郝志新,李明启,郑景云,等. 长江中下游地区梅雨与旱涝的关系[J]. 自然科学进展,2009,19(8):877-882.  
HAO Zhixin, LI Mingqi, ZHENG Jingyun, et al. Relationships between the flood and drought and Meiyu in the Changjiang and Huaihe River areas [J]. Progress in Natural Science, 2009, 19(8): 877-882. (in Chinese)
- [3] 梁萍,汤绪,柯晓新等. 中国梅雨影响因子的研究综述[J]. 气象科学,2007,27(4):464-471.  
LIANG Pin, TANG Xu, KE Xiaoxin. Review of study on influencing factors of China Meiyu[J]. Science Meteorologica Sinica, 2007, 27(4): 464-471. (in Chinese)
- [4] 杨林,魏应植,丁一汇,等. 东亚地区夏季旱涝分布与南海夏季风爆发时间关系[J]. 自然灾害学报,2007,16(5):52-58.  
YANG Lin, WEI Yingzhi, DING Yihui, et al. Relationship between summer drought-flood distribution in East Asia region and breaking out time of south China sea summer monsoon[J]. Journal of Natural Disasters, 2007, 16(5): 52-58. (in Chinese)
- [5] 段克勤,王宁练,李月芳,等. 青藏高原达索普冰芯中积累量与太阳活动[J]. 科学通报,2000,45(1):75-78.  
DUAN Keqin, WANG Ninglian, LI Yuefang, et al. Accumulation of ice core of dasuopu glacier in the Tibetan Plateau and solar activity[J]. Chinese Science Bulletin. 2000, 45(1): 75-78. (in Chinese)
- [6] Eddy J A. The maunder minimum[J]. Science, 1976, 192(4245): 1189-1202.
- [7] Hocke K. QBO in solar wind speed and its relation to ENSO[J]. Journal of Atmospheric and Solar-terrestrial Physics, 2009, 71(2): 216-220.
- [8] 廖德春,廖新浩. 上海气象参数与太阳活动和 ENSO 的关系[J]. 自然灾害学报,2003,12(5):18-24.  
LIAO Dechun, LIAO Xinhao. Relationship between solar activity, ENSO and meteorological parameters in Shanghai[J]. Journal of Natural Disasters, 2003, 12(5): 18-24. (in Chinese)
- [9] 方成,丁明德,陈鹏飞. 太阳活动区物理[M]. 南京:南京大学出版社,2008:1-18.  
FANG Cheng, DING Mingde, CHEN Pengfei. Physics of Solar Activity Regions[M]. Nanjing: Nanjing University Press, 2008: 1-18. (in Chinese)
- [10] 周立旻, Brian A Tinsley, 郑祥民,等. 太阳活动驱动气候变化空间天气机制研究进展[J]. 地球科学进展,2007,22(11):1099-1108.  
ZHOU Limin, Tinsley B A, ZHENG Xiangmin, et al. The advanced in mechanism of the effect of the solar activity on the climate by space-weather[J]. Advance in Earth Science, 2007, 22(11): 1099-1108. (in Chinese)
- [11] RIND D. The sun's role in climate variations[J]. Science, 2002, 296(5568): 673-677.
- [12] 赵海燕,韩延本,陈黎,等. 太阳活动对地球表面温度影响的研究进展[J]. 自然灾害学报,2003,12(4):137-142.  
ZHAO Haiyan, HAN Yanben, CHEN Li, et al. Progress in study on relationship between solar activity and earth surface temperature[J]. Journal of Natural Disasters, 2003, 12(4): 137-142. (in Chinese)
- [13] LI Xiaodong, ZHU Yafen, QIAN Weihong. Spatiotemporal variations of summer rainfall over eastern China during 1880-1999[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2002, 19(6): 1055-1068.
- [14] 李春晖,杨志峰. 太阳活动与黄河流域降水关系分析[J]. 气象,2005,31(11):42-44.  
LI Chunhui, YANG Zhifeng. Relationship between solar activities and precipitation in the Yellow River Basin[J]. Meteorological Monthly. 2005, 31(11): 42-44. (in Chinese)
- [15] 周曾奎. 江淮梅雨的分析 and 预报[M]. 北京:气象出版社,2006:1-184.  
ZHOU Zengkui. The Analysis and Forecast of the Meiyu over the Changjiang-Huaihe region[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2006: 1-184. (in Chinese)
- [16] 蒋全荣,丁伟钰. 江淮下游6~7月雨量趋势的预测[J]. 应用气象学报,1999,10(增刊):153-157.  
JIANG Quanrong, DING Weiyu. Prediction of precipitation tendency in June-July in the Yangzi and Huai River downstream area[J]. Quarterly Journal of applied meteorology, 1999, 10(S): 153-157. (in Chinese)
- [17] 毛文书,王谦谦,李国平,等. 近50a江淮梅雨的区域特征[J]. 气象科学,2008,28(1):68-73.  
MAO Wenshu, WANG Qianqian, LI Guoping, et al. Regional features of the precipitation over the Changjiang-Huaihe region during the Meiyu period[J]. Science Meteorologica Sinica, 2008, 28(1): 68-73. (in Chinese)
- [18] 涂传诒. 日地空间物理学[M]. 北京:科学出版社,1988:29-30.  
TU Chuanyi. Solar-terrestrial Space Physics [M]. Beijing: Science Press, 1988: 29-30. (in Chinese)