

近40年我国暴雨的年代际变化特征

鲍名 黄荣辉

中国科学院大气物理研究所季风系统研究中心, 北京 100080

摘要 利用1961~2000年全国610个测站逐日降水资料和暴雨定义, 分析我国近40年暴雨发生频率的年代际时空变化特征。分析结果表明, 我国夏季暴雨多发生在长江中下游、华南、四川中东部、黄淮地区和华北东部, 夏季暴雨发生频率具有明显的年代际变化, 且各地区暴雨的年代际变化有一定差异。分析结果还表明, 我国东部季风区夏季暴雨与洪涝的关系非常密切, 特别是90年代江淮流域暴雨对洪涝的贡献明显增大。作者还初步讨论了夏季暴雨发生频率年代际变化的气候背景, 指出: 70年代末开始的华北暴雨减少可能与赤道中、东太平洋海面温度的年代际变化有关, 而90年代长江以南暴雨增多则可能与热带西太平洋偏东方向热对流的年代际变化有关。

关键词 暴雨 年代际变化 季风 海表面温度

文章编号 1006-9895(2006)06-1057-11

中图分类号 P468

文献标识码 A

Characteristics of the Interdecadal Variations of Heavy Rain over China in the Last 40 Years

BAO Ming and HUANG Rong-Hui

Center for Monsoon System Research, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080

Abstract Serious flooding disasters owing to heavy rain occur frequently in summer in China, especially in the middle and lower reaches of the Yangtze River. Previous many studies about heavy rain in China have been conducted on the synoptic scale, but few on the climatology. Tao and Ding (1981) studied heavy rain in China with the data during 1953-1977 and found there are three zones in which heavy rain occurs frequently. Matsmoto and Takahashi (1999) studied heavy rain in East Asia and pointed out that a heavy rain zone exists from the Yangtze River basin in China to the southern parts of Japan. Recently, Zhai et al. (2005) researched the trend of heavy rain in China.

The characteristics of the interdecadal variations of heavy rain in China are analyzed by using the daily precipitation data at 610 stations in China for the Last 40 years of 1961-2000. The results indicate that heavy rain mostly occurs in the middle and lower reaches of the Yangtze River, South China, the central and eastern parts of Sichuan Province, the area between the Yellow River and the Huaihe River and the eastern part of North China in summer. The occurrence frequency of the summertime heavy rain has an obvious interdecadal variability, but there are some differences among these areas. More heavy rain occurred in the 1980s than 1970s followed by a step-up increase in the 1990s in the middle and lower reaches of the Yangtze River. Whereas the decrease of heavy rain in the eastern part of North China has happened since the late 1970s. In the boreal spring and autumn, the interdecadal variations in the southern China are not obvious. Moreover, the analyzed results also show that there is a close relationship between heavy rain and flooding disasters in the monsoon region of eastern China, especially, heavy rain greatly contributed to flooding disasters in the Yangtze River and Huaihe River valleys in the 1990s. Furthermore, the climatic background of interdecadal variability of the occurring frequency of the summer heavy rain is also discussed preliminarily.

narly. The interdecadal decrease of heavy rain in North China from the late 1970s may be related to the interdecadal variation of SST in the equatorial central and eastern Pacific, and the interdecadal increase of heavy rain to the south of the Yangtze River in the 1990s may be associated with the thermal convective activities over the eastern part of the tropical northwestern Pacific. The interdecadal variation of outgoing longwave radiation (OLR) over the eastern part of the tropical northwestern Pacific induces the interdecadal variation of the subtropical anticyclone at the lower layer over the northwestern Pacific, which has an impact on the interdecadal variation of heavy rain to the south of the Yangtze River in the 1990s.

Key words heavy rain, interdecadal variations, monsoon, sea surface temperature, OLR

1 引言

我国地处东亚地区,受东亚夏季风的影响以及复杂的地形作用,是一个多暴雨的国家。暴雨常常带来严重的洪涝灾害,从而造成严重的经济损失,因而暴雨是我国主要的天气灾害。因此,关于暴雨的发生机理以及预报理论和方法的研究一直是我国大气科学的重要研究课题之一^[1, 2]。从 20 世纪 70 年代起,陶诗言等^[3, 4]对我国暴雨进行了系统性的研究。这些开拓性的研究主要集中在暴雨的成因问题,应用个例分析从天气学角度研究了历史上大暴雨的环流条件。之后,我国在暴雨的天气学模型、发生机理、数值模拟、卫星雷达监测和预报理论上都进行了大量研究^[2]。

相对于暴雨的天气学研究而言,迄今关于暴雨发生的气候学研究较少。Tao 和 Ding^[5]应用 1953~1977 年资料研究了我国暴雨的分布,他们的研究表明:我国是多暴雨区域,大暴雨主要出现在华南、长江流域、华北地区三个纬向分布带上。Matsumoto 和 Takahashi^[6]对东亚暴雨也进行了气候学研究,他们的研究结果表明了夏季从日本本洲经韩国到我国长江流域和江淮流域是季风暴雨的频发带。由于受资料时间长度限制,对我国暴雨的年代际变化的研究还很少,有的研究只局限于局部区域或测站的暴雨气候变化^[7]。由于我国夏季暴雨对洪涝灾害发生的重要性以及所造成损失的严重性,特别是受东亚夏季风的影响,使得我国暴雨发生具有频发性,从而造成严重洪涝^[8]。因此,有必要研究我国夏季暴雨发生的频率、对整个夏季洪涝灾害的贡献以及我国暴雨的时空变化特征,并且到目前为止,全国已有 700 多个地面测站积累了 40 多年的逐日降水观测资料,这为我们研究我国暴雨的长时期时空变化特征也提供了资料基础。

夏季风爆发和盛行期间是我国的雨季或汛期,

也是我国暴雨频繁发生的季节,其中持续性暴雨最易造成大范围严重的洪涝^[1]。黄荣辉等^[9, 10]和周连童等^[11]的研究表明,夏季我国降水具有明显的年代际尺度上的变化。20 世纪 80 年代和 90 年代的气候与 70 年代有较大差别,长江流域和江淮流域从 20 世纪 70 年代后期迄今的夏季降水明显增多,洪涝灾害增多,而华北地区夏季降水明显减少,洪涝灾害减少,干旱灾害增多。为此,本研究将在研究暴雨的年代际时空变化的基础上,分析年代际尺度上我国暴雨发生频率及其与洪涝的关系。最近, Zhai 等^[12]研究了中国极端降水 40 年来的变化趋势,而本文研究的是年代际变化。

为了分析我国夏季暴雨发生的气候分布及其年代际分布,本研究使用的资料是中国气象局的全国 730 站逐日降水观测资料。由于在此资料集中,每个站点观测记录的时间长度不同,我们选择资料记录包含从 1961 年到 2000 年的台站共 610 个。按 WMO 有关气候平均的规定,本文研究内容在分析我国暴雨发生日数的 1961~1990 年气候平均分布的基础上,分析了 20 世纪 60~90 年代我国暴雨的年代际变化特征,并分析在年代际尺度上暴雨与洪涝的关系。为了研究夏季暴雨年代际变化的气候背景,本文还应用 1979~2000 年 NOAA 的外逸长波辐射 (OLR) 月平均资料和 NCEP/NCAR 再分析高度场月平均资料,这些资料分辨率均为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。

2 我国暴雨的气候分布

我国受季风气候影响,降水主要集中在夏季,每年 6~8 月是我国的汛期。按照 WMO 关于气候平均的规定,本文取 1961~1990 年 30 年的降水为气候平均值。图 1 是我国夏季 6~8 月总降水的 1961~1990 年气候平均分布。从图 1 可以看到,我国夏季降水分布特征是从东南向西北方向减少,降水大于 600 mm 的地区位于长江中下游、华南地区

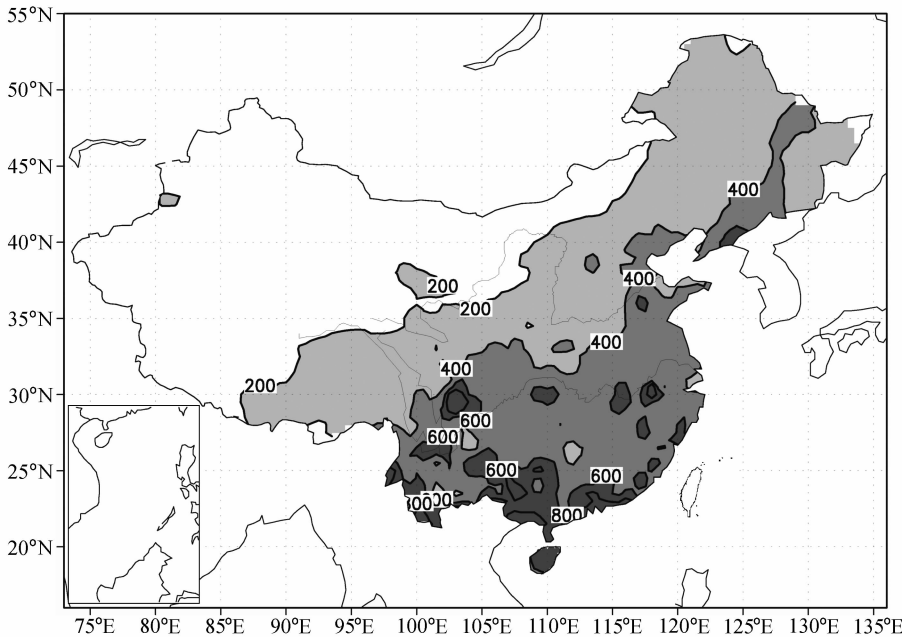


图 1 1961~1990 年平均的全国夏季 6~8 月降水的气候分布 (单位: mm)。阴影为降水气候平均值 ≥ 200 mm 的分布, 等值线间隔 200 mm
Fig. 1 Distribution of climatological mean of summer precipitation (mm) for 1961 - 1990 in China. Contour interval is 200 mm and the precipitation more than 200 mm is shaded

和四川中部以及黄淮局部地区, 这些地区可称为季风湿润区; 而降水为 200 mm 以下的地区大部分位于我国西北干旱地区; 降水为 200~400 mm 所分布的区域正是一个湿润地区和干旱地区的过渡带。

根据一般降水的级别定义, 日降水量达到和超过 50 mm 的降水称为暴雨。这样, 可以从全国 610 站 1961~1990 年 6~8 月每日降水记录中挑选并统计大于或等于 50 mm 的日数。图 2 是 1961~1990 年 30 年平均的全国夏季 6~8 月暴雨日的气候分布, 图中阴影为平均每年夏季等于和大于一个暴雨日的区域。从图 2 可以看到: 等于和大于 2 个暴雨日的分布区域与夏季降水大于 400 mm (图 1) 的区域基本一致, 而 3 个以上暴雨日的范围 (深色区域) 与夏季降水大于 600 mm (图 1) 的范围也基本相似, 这表明我国夏季暴雨对汛期降水的贡献是相当大的; 并且, 暴雨日最多的局部地区与地形 (如四川中部和安徽南部) 的关系密切。正如图 2 所示, 暴雨发生集中的范围可以大致分为 5 个区域: 长江中、下游地区 ($27^{\circ}\text{N}\sim 32^{\circ}\text{N}$, 109°E 以东), 华南地区 (26°N 以南, 100°E 以东), 四川中东部 ($28^{\circ}\text{N}\sim 33^{\circ}\text{N}$, $102^{\circ}\text{E}\sim 109^{\circ}\text{E}$), 以及黄淮地区 ($32^{\circ}\text{N}\sim 37^{\circ}\text{N}$, 112°E 以东), 华北东部 ($37^{\circ}\text{N}\sim 42^{\circ}\text{N}$, $113^{\circ}\text{E}\sim 122^{\circ}\text{E}$), 其中平均每年夏季发生暴雨日数

最多的区域为长江中、下游地区和华南地区, 这两地区平均每年夏季所发生暴雨日可达 3 天以上。

与夏季相比, 春季、秋季我国暴雨发生的范围和频率明显减少。图 3a 与图 3b 分别是春季 4~5 月和秋季 9~10 月我国 30 年气候平均暴雨日的气候分布 (1961~1990 年)。从图 3a 可以看到, 我国春季暴雨多发生在两个区域: 江南地区 ($26^{\circ}\text{N}\sim 31^{\circ}\text{N}$, $108^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{E}$) 和华南地区 (26°N 以南, 106°E 以东)。这是由于每年 4~5 月我国雨带正位于华南, 这时称为华南前汛期, 图 3a 中, 华南地区深色区域为单站 30 年平均每年 4~5 月发生暴雨日超过 2 d 的范围, 比江南地区暴雨发生的频率要高。并且, 从图 3b 可以看到, 秋季 9~10 月, 我国暴雨发生的气候分布主要是位于长江上游和华南地区 (25°N 以南, 106°E 以东), 特别是海南岛; 其次位于长江中、下游和沿海地区。倘若将图 3b 与图 2 和图 3a 相比, 可以看到我国秋季发生暴雨的频率要比夏季低得多, 且不如春季。冬季我国受冬季风影响, 暴雨很少 (图略)。

从图 2 和图 3 可以看到, 我国暴雨多发生在夏季, 6~8 月暴雨多发生地区可以从华南北上到华北东部, 从我国东部西至四川中东部; 而春、秋季暴雨则集中在长江流域及以南地区, 暴雨频率也明

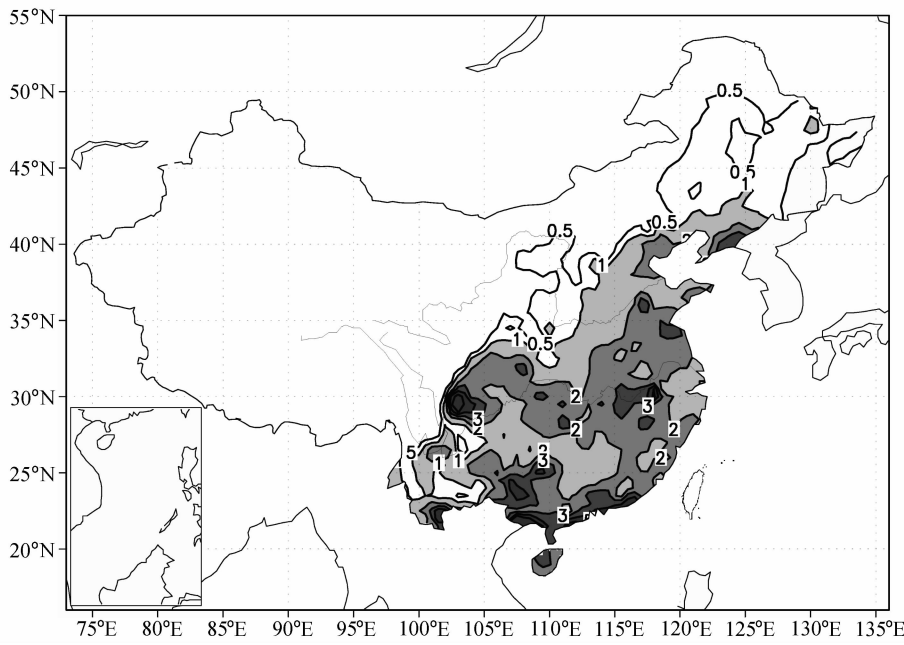


图 2 1961~1990 年 30 年平均的全国夏季 6~8 月暴雨日的气候分布 (单位: d)。阴影为气候平均的每年夏季暴雨日大于等于 1 d
Fig. 2 Distribution of climatological mean occurring days of heavy rain in summer for 1961 - 1990 in China. The regions with the rain days more than 1 d are shaded

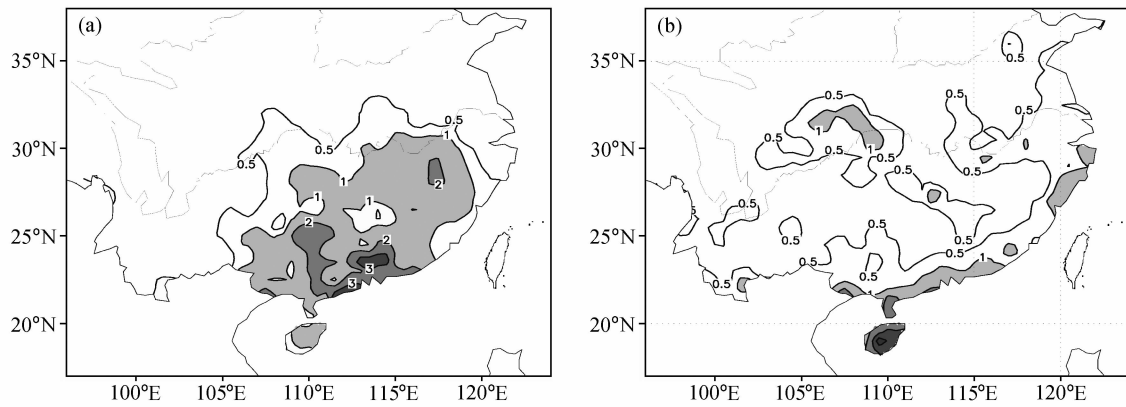


图 3 1961~1990 年 30 年平均的全国春季 4~5 月 (a) 和秋季 9~10 月 (b) 暴雨日的气候分布 (单位: d)。阴影为气候平均的春季或秋季暴雨日大于等于 1 d, 等值线为 0.5 d、1 d、2 d、3 d
Fig. 3 Distributions of climatological mean occurring days of heavy rain for 1961 - 1990 in China in (a) spring (Apr - May) and (b) autumn (Sep - Oct). Contour lines indicate 0.5 d, 1 d, 2 d and 3 d respectively, and the regions with the rain days more than 1 d are shaded

显低于夏季。这种分布表明我国暴雨发生位置和发生频率的气候分布受季风影响很大,与东亚夏季风的进退有关^[13]。秋季暴雨多发生在东部长江流域以南的沿海地区,这不仅与东亚季风南撤有关,而且也与西北太平洋台风登陆有关。

3 我国暴雨发生的年代际变化

根据我国暴雨发生日数的气候分布 (图 2 和

3),可以划分我国暴雨发生集中的 5 个区域:长江中、下游地区 (27°N~32°N, 109°E 以东),华南地区 (26°N 以南, 100°E 以东),四川中东部 (28°N~33°N, 102°E~109°E),以及黄淮地区 (32°N~37°N, 112°E 以东),华北东部 (37°N~42°N, 113°E~122°E)。图 4 是 1961~2000 年夏季 6~8 月各地区平均的暴雨日 (柱型图) 及其距平 (曲线图) 的逐年变化。从图 4 (柱型图) 可以看到,夏季

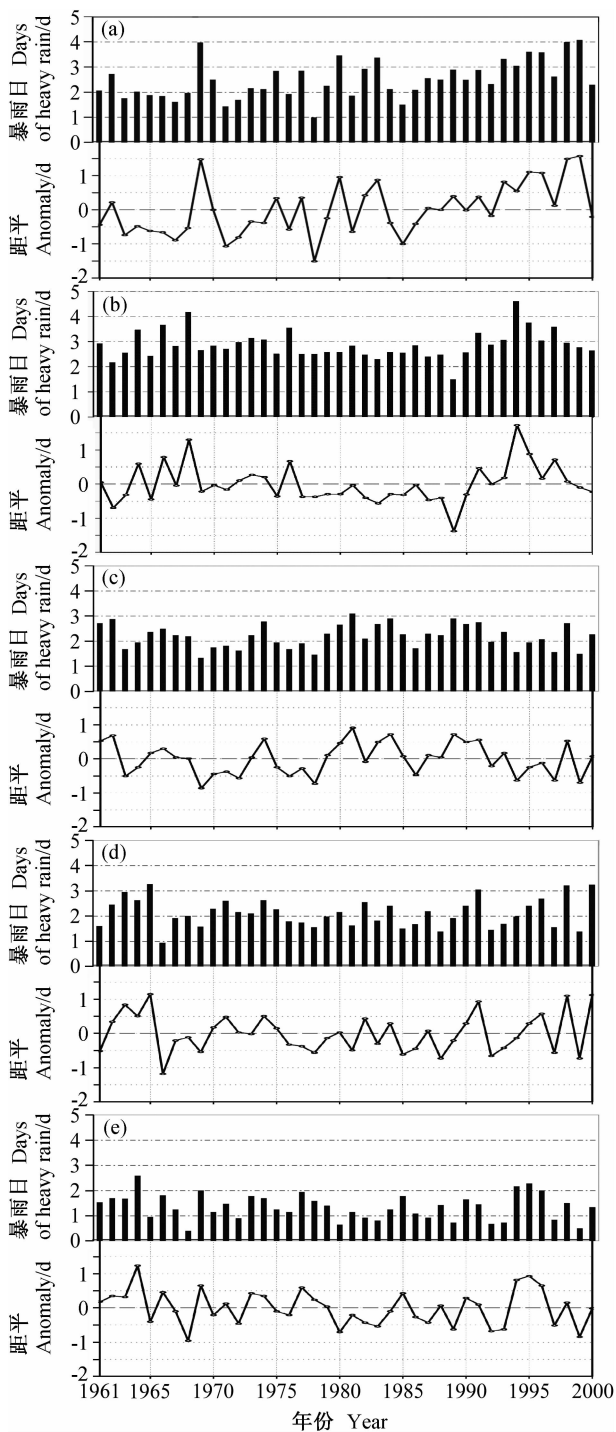


图 4 1961~2000 年夏季 6~8 月各地区平均的暴雨日及其距平的逐年变化 (将 1961~2000 年平均的各地区暴雨日作为正常值): (a) 长江中下游; (b) 华南地区; (c) 四川中东部; (d) 黄淮地区; (e) 华北东部

Fig. 4 Interannual variations of the occurring days of heavy rain and its anomalies in summer from 1961 to 2000 averaged for various area of China: (a) the middle and lower reaches of the Yangtze River; (b) South China; (c) the central and eastern parts of Sichuan province; (d) the area between the Yellow River and the Huai River; (e) the eastern part of North China. The occurring days of heavy rain averaged for 1961–2000 in various area of China is taken as the normal

我国长江中下游和华南是暴雨最多发的地区, 其次是四川中东部、黄淮地区和华北东部, 并且各区域暴雨发生具有明显的年际变化和年代际变化。

从图 4a 可以看到, 从 20 世纪 70 年代末开始, 长江中下游的夏季暴雨日增加 (80 年代平均暴雨日靠近 3 d, 而 60、70 年代一般在 2 d 左右), 大概维持到 80 年代末, 又开始了一次更大幅度的增加, 平均暴雨日往往超过 3 d, 甚至达到 4 d, 特别在 90 年代如 1993 年、1995 年、1996 年、1998 年、1999 年造成暴雨频繁发生, 对洪涝的形成有很大影响。如图 4b 所示, 华南地区夏季暴雨日也有很明显的年代际变化, 20 世纪 60 年代和 90 年代偏多, 平均暴雨日接近 3 d 或超过 3 d, 如 1964 年、1966 年、1968 年、1991 年、1994 年、1995 年、1997 年夏季暴雨日偏多, 而 70 和 80 年代华南地区夏季暴雨日偏少, 平均暴雨日很少超过 3 d, 一般在 2.5 d 左右。四川中东部 (图 4c) 的暴雨有一定的周期性变化, 首先, 我们可以看到 8 年左右的周期变化, 振幅在 1.5~3 d 之间, 如 1966 年、1974 年、1981 年、1989 年、1998 年分别处于每个周期的峰值, 并且, 还有年代际的变化, 20 世纪 60 年代中期开始减少, 70 年代末开始增加, 90 年代初又开始减少。图 4e 清楚地表明, 华北东部在 60、70 年代平均暴雨日一般在 1~2 d, 从 1980 年开始暴雨日减少, 平均暴雨日下降到 0.5~1.5 d, 到 1995 年开始暴雨日又开始偏多, 这与黄荣辉等^[9]研究华北夏季降水的年代际变化结果相近 (本文所取的区域是华北东部, 比整个华北区域要小)。由于夏季华北东部暴雨量占总降水量的比例没有长江流域高, 暴雨的年代际变化与总降水的年代际变化不会完全一致, 但仍然可以看出从 20 世纪 70 年代末暴雨日年代际减少的趋势。黄淮地区 (图 4d) 位于长江中下游和华北之间, 它的年代际变率较小, 但与前两者的年代际变化有关联, 从图 4d 可以看到, 在 70 年代中期具有与华北东部类似的暴雨日减少的年代际变化, 而 90 年代又具有与长江中下游暴雨增多相似的年代际变化。

图 5 是 1961~2000 年各年代平均的我国夏季 6~8 月暴雨日分布。从图 5 可以看到: 在长江中下游地区和江淮地区, 20 世纪 60 年代和 70 年代大于等于 3 d 的区域比 80 年代要略小, 而 90 年代明显扩大了很多, 大于等于 4 d 的范围相当于 80 年代大于等于 3 d 的范围, 增多的区域主要在长江以南地

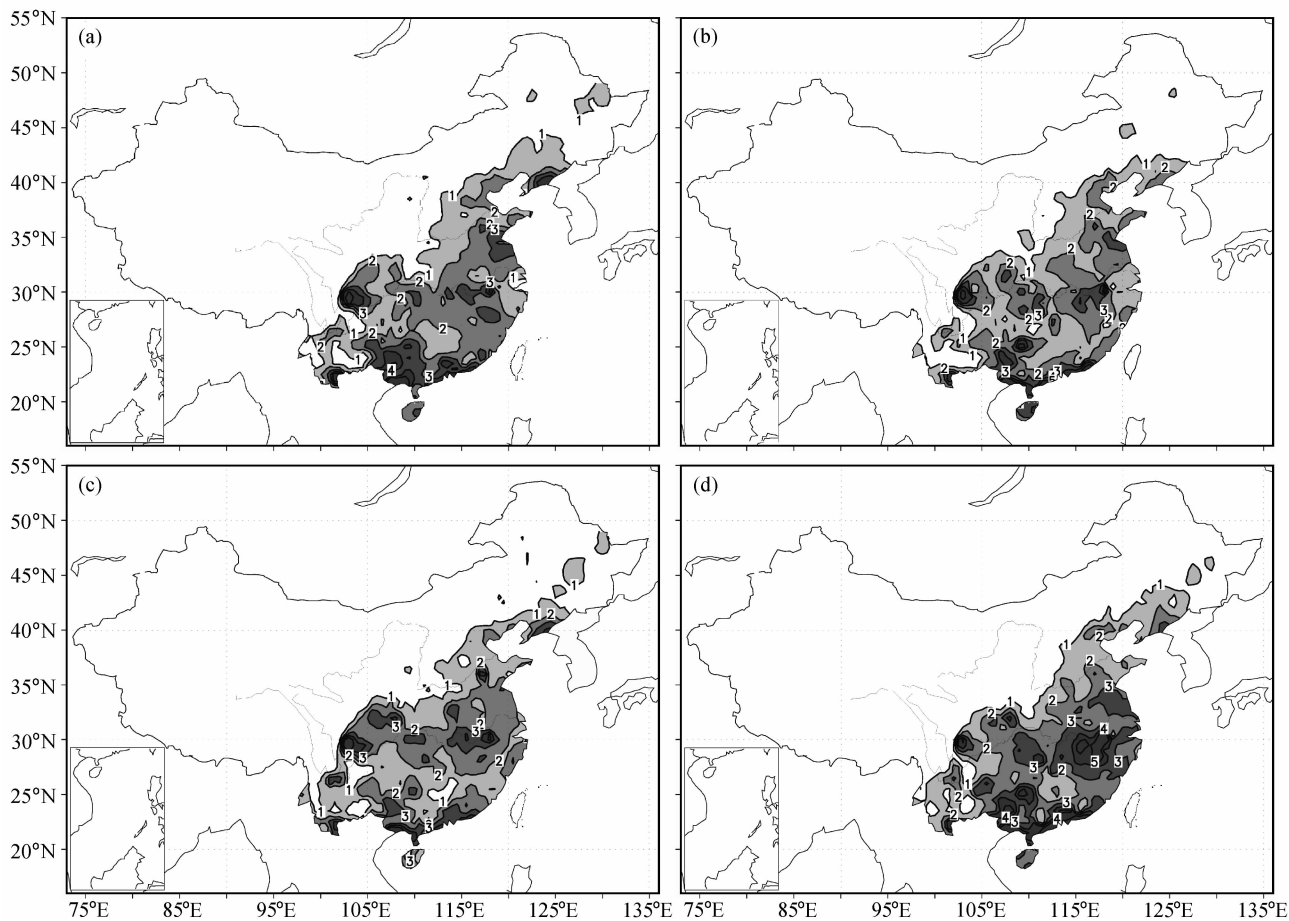


图 5 1961~2000 年各年代平均的全国夏季 6~8 月暴雨日分布 (单位: d): (a) 60 年代; (b) 70 年代; (c) 80 年代; (d) 90 年代。阴影为夏季暴雨日大于等于 1 d, 等值线间隔 1 d

Fig. 5 Distributions of the decadal mean occurring days of heavy rain in summer in China in (a) the 1960s, (b) the 1970s, (c) the 1980s and (d) the 1990s. Contour interval is 1 d and the regions with the days more than 1 d are shaded

区;并且在华南地区,60 年代和 90 年代暴雨日大于等于 3 d 的区域明显要比 70 和 80 年代的大,这与图 4b 的分析是一致的。此外,还可看到四川中东部暴雨发生集中在局部区域,又由于其 8 年左右周期性变化,因此年代之间的变化不明显。然而,正如图 5 所示,黄淮地区和华北地区暴雨日的年代际变化却与长江流域相反,在 60 年代黄淮地区暴雨日大于等于 3 d 的区域有相当的范围,70 年代大于等于 3 d 的范围缩小,到了 80 年代大于等于 3 d 的范围几乎很小,而在 90 年代又恢复并超过到 60 年代的范围。图 5 还清楚地表明:华北东部的暴雨日要比其他地区暴雨日少,可以看到,暴雨日大于等于 2 d 的范围在 60 和 70 年代偏大,而在 80 和 90 年代偏小,这与我国降水年代际变化一致^[10, 11]。总之,我国夏季暴雨发生的年代际变化在 90 年代

最显著,长江中下游地区和华南地区的暴雨发生频率明显增多。

图 6 和图 7 分别是 1961~2000 年春季和秋季各区域平均暴雨日及其距平的逐年变化。可以看到,春季,江南地区(图 6b)暴雨日在 1967~1977 年间偏多,华南(图 6a)则从 70 年代开始增加,80 年代中期开始减少;秋季,长江流域和华南暴雨的年代际变化都不如夏季显著(图 7)。

4 夏季暴雨与洪涝的关系

由于暴雨发生的季节性,以及夏季是我国洪涝易发多发的时期,因此在前面的研究中把夏季暴雨作为主要的内容。对于我国夏季洪涝,过去已经有了很多研究,那么在 40 年的时间变化上,我国夏季暴雨和洪涝的关系如何?

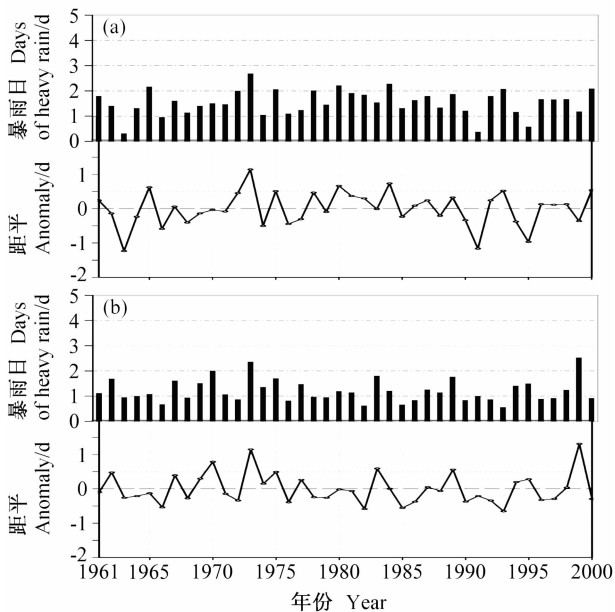


图 6 1961~2000 年春季 4~5 月各地区平均的暴雨日及其距平的逐年变化(单位: d): (a)华南; (b)江南

Fig. 6 Interannual variations of the occurring days of heavy rain and its anomalies in spring (Apr – May) from 1961 to 2000 averaged for (a) South China and (b) the south of the Yangtze River

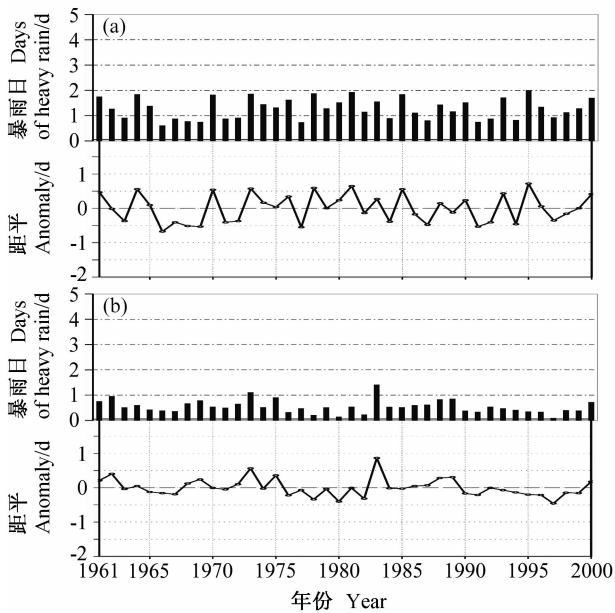


图 7 1961~2000 年秋季 9~10 月各地区平均的暴雨日及其距平的逐年变化(单位: d): (a)华南; (b)长江

Fig. 7 Interannual variations of the occurring days of heavy rain and its anomalies in autumn (Sep – Oct) from 1961 to 2000 averaged for (a) South China and (b) the Yangtze River valley

我们计算了 1961~2000 年夏季各暴雨集中区域的总暴雨日和总降水量之间的年际变化相关系

数。华北东部为 0.90, 黄淮地区为 0.93, 长江中下游地区为 0.96, 华南地区 0.92, 四川中东部 0.87。可以明显看出, 各区域暴雨日的变化和洪涝的变化是很一致的, 其中在长江流域关系最密切。

图 8 是各年代我国夏季暴雨量占总降水量的百分比, 它反映暴雨对洪涝的贡献率。从图 8 可以看出, 我国各年代受夏季风影响地区的暴雨量占总降水量的比例都在 20% 以上, 尤其在长江中下游地区和江淮地区可达 40%, 这说明在这些地区汛期降水主要是以暴雨形式出现, 洪涝灾害主要由暴雨造成。然而, 对于不同年代, 暴雨和洪涝的关系不完全一样, 暴雨对汛期总降水量的贡献有明显不同, 最明显的是: 暴雨对洪涝的贡献率达 40% 的面积在 20 世纪 70 年代明显减少 (图 8b), 不如 60 年代 (图 8a) 可以达到 50% 的区域。20 世纪 80 年代与 70 年代相近, 而到了 90 年代 (图 8d), 长江中下游和江淮地区的暴雨对汛期总降水量的贡献率显著增大。这表明这两地区在 20 世纪 90 年代暴雨对洪涝发生所起的作用增强了很多。

5 夏季暴雨年代际变化的气候背景

由于夏季我国季风区暴雨与洪涝的密切关系, 夏季暴雨的年代际变化和总降水年代际变化是非常接近的。因此, 研究我国夏季暴雨年代际变化的可能成因及气候背景也同样适合于总降水的年代际变化。暴雨的形成需要大量水汽供应和强烈的上升运动, 夏季风的强弱对水汽输送有重要影响, 强夏季风时水汽可以输送到更北的范围, 北方暴雨发生的条件更有利; 相反, 弱夏季风时水汽输送大量停滞在江淮地区则会造成该地区暴雨增多。黄荣辉等^[9]和周连童等^[11]研究了我国夏季降水的年代际变化及其可能成因, 指出 1976 年以后的赤道中、东太平洋海表面温度发生了年代际的“ENSO 循环”现象, 它对我国华北地区干旱化趋势有很大影响。这种海温异常分布减弱亚洲夏季风^[14], 从而减弱从热带太平洋、中国南海和孟加拉湾向东亚的水汽输送, 造成水汽输送在长江流域辐合, 使到达华北地区的水汽大大减弱, 因此引起华北地区降水明显减少出现持续性严重干旱。在这种气候背景下, 盛夏华北暴雨的发生频率自 20 世纪 70 年代末也发生了年代际减少的变化。

除了 70 年代末发生的明显年代际变化, 我们

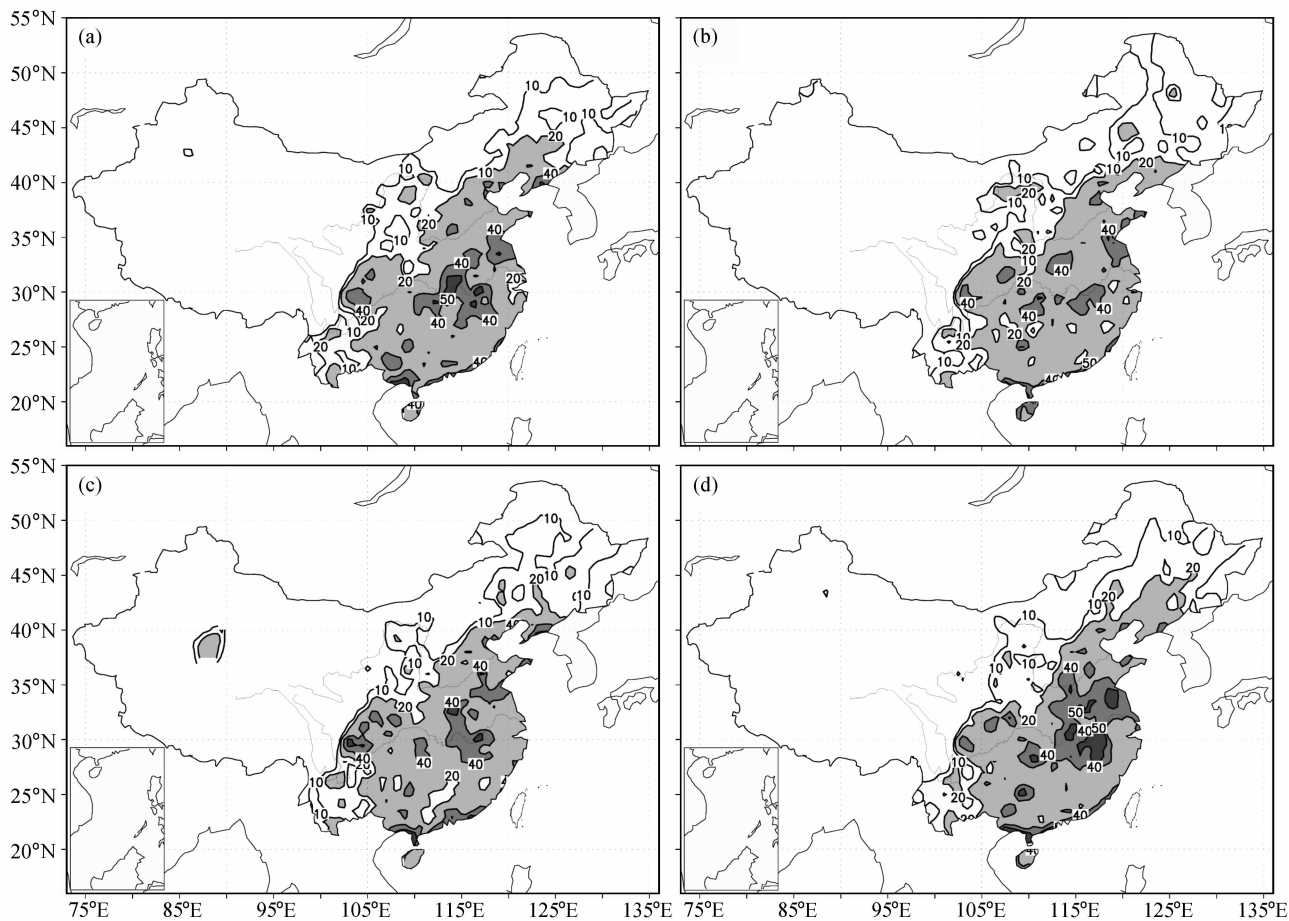


图 8 全国各年代夏季 6~8 月暴雨量占总降水量的百分比(%)：(a) 60 年代；(b) 70 年代；(c) 80 年代；(d) 90 年代。阴影是大于等于 20% 的分布，浅色为 20%~40%，深色为 40%~50% 和 50% 以上

Fig. 8 Distributions of the decadal mean percentage (%) of the precipitation amount due to the heavy rain to the total precipitation in summer in China in (a) the 1960s, (b) the 1970s, (c) the 1980s, (d) the 1990s. The regions with percentage for 20%–40% (light) and 40%–50% (dark) and above 50% (darker) are shaded

通过第 3 节的分析发现，20 世纪 90 年代我国长江流域和华南地区夏季也发生了明显的年代际暴雨增多现象。从图 5d 中可以看出，变化异常的中心位置在江南地区（25°N~30°N，110°E~120°E），这时华南的暴雨频率也增多。为了比较 20 世纪 80 年代和 90 年代我国南方暴雨的年代际变化，图 9a 给出这两个年代间平均的夏季暴雨日之差。由于 1983 年在 80 年代中是长江流域暴雨年际明显偏多的年份（图 4c），我们将其从 80 年代中扣除。而 2000 年南方暴雨在 90 年代中也属于年际偏少的年份，因此这里的年代间比较是由 1991~1999 年与 1981~1990 年（除去 1983 年）得到的差别。从图 9a 可以看到，90 年代暴雨异常增多的地区大部分位于长江以南，特别是江南地区和华南地区。

为了分析这种年代际暴雨变化的可能气候背景，我们将其与年际变化的情况做对比研究。Huang 和 Sun^[15]研究了暖池热对流对东亚季风和我国夏季降水的影响，指出菲律宾对流与夏季长江中下游降水显著反相关，暖池热状况对东亚夏季风和降水有重要影响。其物理过程是，暖池对流的强弱（热源强迫异常）对西太平洋副热带高压的异常变化有重要影响，而副热带高压的异常变化与我国夏季雨带的异常分布关系密切。副高主体的位置变动不仅影响我国东部季风区的垂直对流运动，其北缘的位置异常也影响水汽输送的异常分布。因此，它对于受副高影响的区域内暴雨发生频率有显著影响。本文选取 1979~2000 年之间 5 个强对流年 1981、1984、1985、1994、1999 年和 5 个弱对流年 1980、1983、

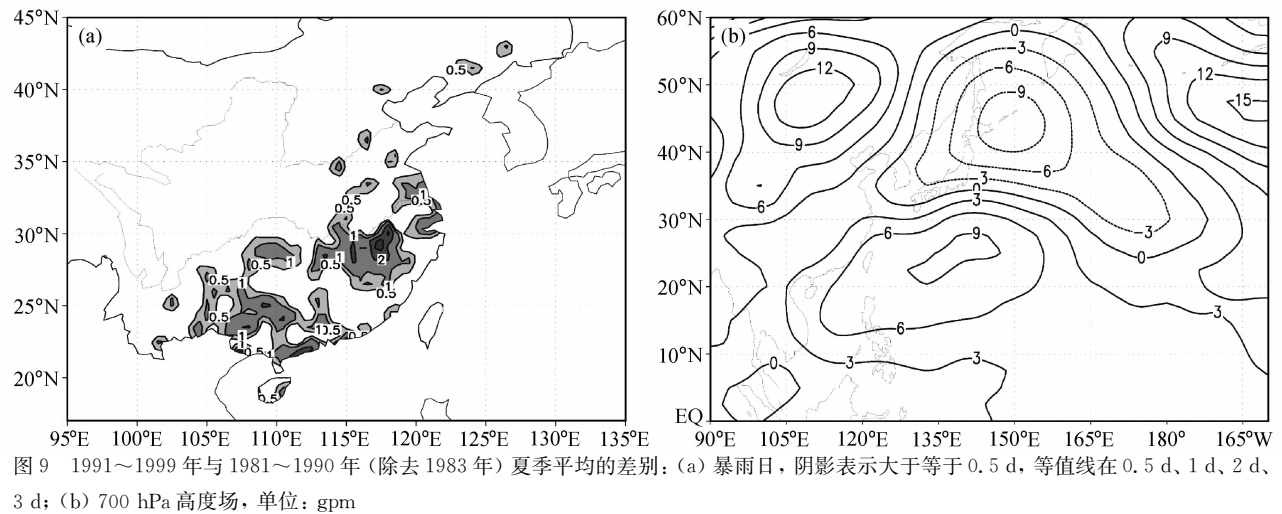


图 9 1991~1999 年与 1981~1990 年 (除去 1983 年) 夏季平均的差别: (a) 暴雨日, 阴影表示大于等于 0.5 d, 等值线在 0.5 d、1 d、2 d、3 d; (b) 700 hPa 高度场, 单位: gpm

Fig. 9 Differences between (a) the occurring days of heavy rain and (b) 700 hPa geopotential heights (gpm) averaged for the summers of 1991–1999 and those averaged for the summers of 1981–1990 (1983 not included). In (a), contour lines indicate 0.5 d, 1 d, 2 d and 3 d respectively, and the regions with the days more than 0.5 d are shaded

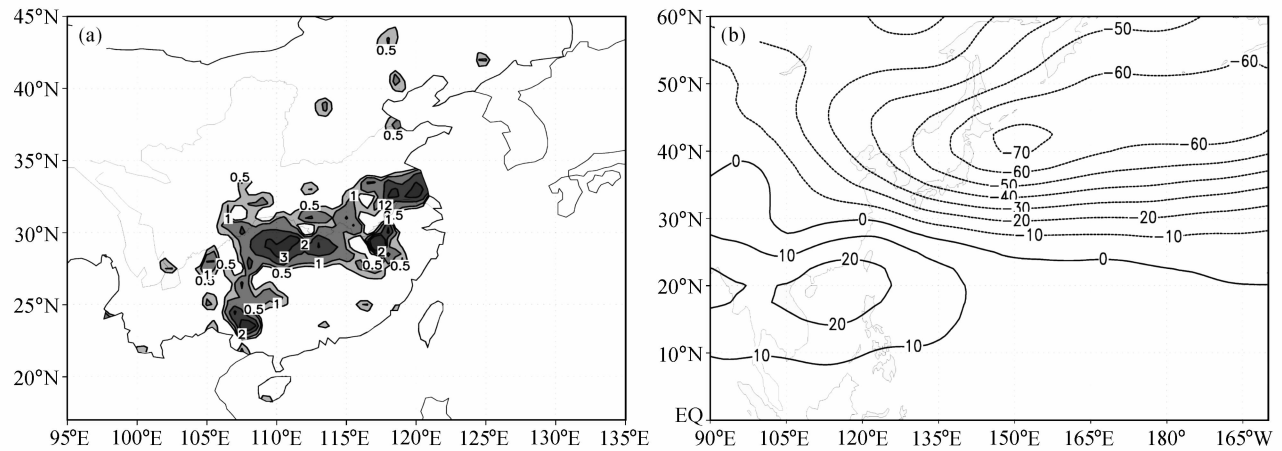


图 10 夏季暖池 (10°N~20°N, 110°E~140°E) 对流弱年与强年的合成之差: (a) 暴雨日, 阴影表示大于等于 0.5 d, 等值线为 0.5 d、1 d、2 d、3 d; (b) 700 hPa 高度场, 单位: gpm

Fig. 10 Composite differences between the weak and strong convection years in warm pool (10°N–20°N, 110°E–140°E): (a) The occurring days of heavy rain; (b) 700 hPa geopotential heights (gpm). In (a), contour lines indicate 0.5 d, 1 d, 2 d and 3 d respectively, and the regions with the days more than 0.5 d are shaded

1993、1996、1998 (图 12b), 分别合成后得到弱对流年和强对流年夏季暴雨日的差别 (图 10a)、700 hPa 高度场差别 (图 10b)。而年代际差别对应为图 9a、b。对比图 9a 和图 10a, 可以发现年代际暴雨增多的地区比年际暴雨增多的位置偏南 4°~5°, 江南的年代际暴雨增多中心比长江的年际暴雨增多中心位置要偏东 5°~8°。从 700 hPa 高度场 (图 9b 和图 10b) 可以看到: 年代际的正负异常中心在中国东部的轴向与年际不一样, 年际上正负中心东西带状分布, 正异常中心在中国东部轴向位置位于 18°N~19°N, 负异常中心轴向位置位于 41°N~42°N; 而

年代际上正异常中心比年际的偏东, 在中国东部轴线朝向西南方向位于 14°N~15°N, 负异常中心在中国东部同样轴线朝向西南方向位于 34°N~35°N, 因此, 高度场上同样表现出年代际异常偏南 4°~5° 的现象, 并且东西位置也与暴雨有相似的分布。图 11a 和图 12a 分别是年代际上和年际上 OLR 的差别, 从图 11a 中可以看到, 在年代际变化上, 20 世纪 90 年代与 80 年代热带西太平洋热对流的差别主要在热带西太平洋暖池偏东方向 (10°N~20°N, 140°E~170°E) 的区域, 而不是年际变化中强弱对流最大差别在西太平洋暖池 (10°N~20°N, 110°E

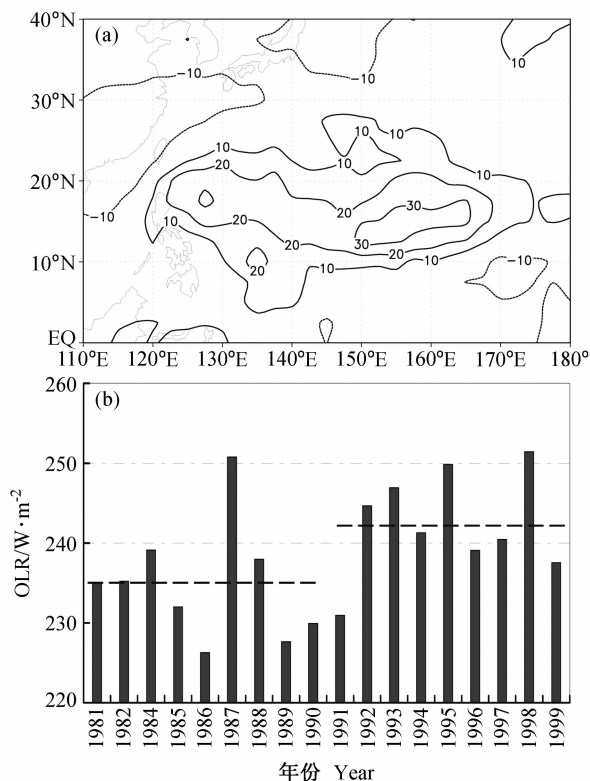


图 11 (a) 1991~1999 年与 1981~1990 年 (除去 1983 年) 夏季平均 OLR 差别 (单位: W/m^2); (b) 1981~1999 年 (除去 1983 年) 区域平均 ($10^{\circ}\text{N}\sim 20^{\circ}\text{N}$, $140^{\circ}\text{E}\sim 170^{\circ}\text{E}$) OLR 逐年变化 (单位: W/m^2), 粗虚线分别表示前期平均 $234.9 \text{ W}/\text{m}^2$, 后期平均 $242.5 \text{ W}/\text{m}^2$

Fig. 11 (a) Difference between JJA-mean outgoing longwave radiation (OLR, W/m^2) averaged for 1991–1999 and that averaged for 1981–1990 (1983 not included); (b) interannual variation of JJA-mean OLR averaged over the area ($10^{\circ}\text{N}\sim 20^{\circ}\text{N}$, $140^{\circ}\text{E}\sim 170^{\circ}\text{E}$) from 1981 to 1999 (1983 not included), the thick dashed lines indicate the mean value $234.9 \text{ W}/\text{m}^2$ for 1981–1990 (1983 not included) and the mean value $242.5 \text{ W}/\text{m}^2$ for 1991–1999 respectively

$\sim 140^{\circ}\text{E}$) (图 12a)。这种年代际尺度上热对流差别中心位置偏东 (图 11a) 与高度场上正异常中心位置偏东 (图 9b) 是一致的。图 11b 是 ($10^{\circ}\text{N}\sim 20^{\circ}\text{N}$, $140^{\circ}\text{E}\sim 170^{\circ}\text{E}$) 区域的平均 OLR 逐年变化, 可以看出其具有明显的年代际变化, 80 年代该区域热对流偏强, 平均 OLR 为 $234.9 \text{ W}/\text{m}^2$, 而 90 年代热对流偏弱, 平均 OLR 为 $242.5 \text{ W}/\text{m}^2$ 。虽然, 年代际 OLR 的差别没有年际的大, 这与 OLR 自身年际变化较大有关 (如 1987 年), 也反映在我国夏季降水的较强的年际变化上。

通过我国夏季暴雨的年代际和年际对比分析,

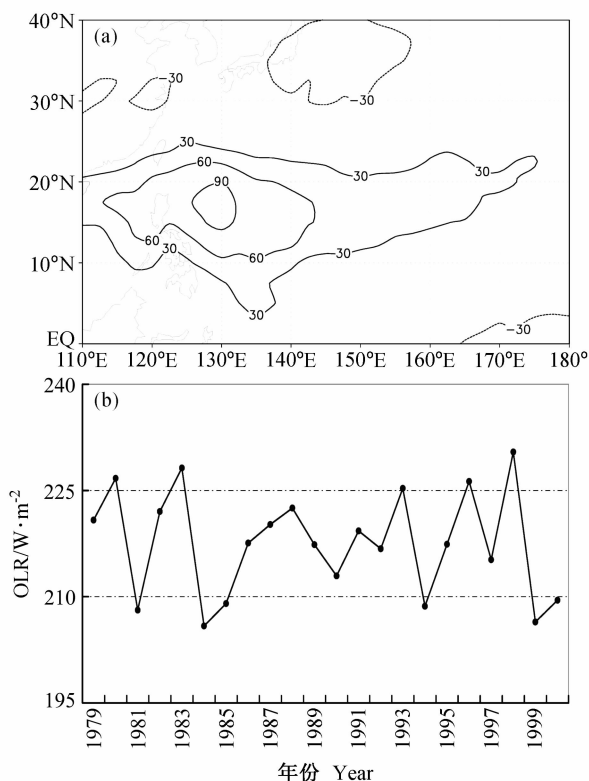


图 12 (a) 夏季暖池 ($10^{\circ}\text{N}\sim 20^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\text{E}\sim 140^{\circ}\text{E}$) 对流弱年与强年的 OLR 合成之差, 单位: W/m^2 ; (b) 1979~2000 年夏季暖池 ($10^{\circ}\text{N}\sim 20^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\text{E}\sim 140^{\circ}\text{E}$) 平均 OLR 的年际变化, 单位: W/m^2

Fig. 12 (a) Composite differences of OLR (W/m^2) between the weak and strong convection years in warm pool ($10^{\circ}\text{N}\sim 20^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\text{E}\sim 140^{\circ}\text{E}$); (b) interannual variation of the JJA-mean OLR averaged over the warm pool ($10^{\circ}\text{N}\sim 20^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\text{E}\sim 140^{\circ}\text{E}$) from 1979 to 2000

我们认为, 热带西太平洋偏东方向热对流的年代际变化可能具有类似于年际变化上热带西太平洋暖池对我国夏季降水的影响。这种作用的差别在 700 hPa 高度场上同样有所反映, 因此, 对应于年代际上和年际上强弱对流合成的暴雨日发生的差异分布型状。本文虽然讨论了年代际上 700 hPa 高度场正负异常中心轴线在中国东部向西南方向倾斜可能与热对流异常主要在热带西太平洋暖池偏东方向有关, 但两者之间的关系并不清楚。我们还注意到, 年代际高度场上在贝加尔湖有一正异常中心, 它的存在可能对高度场正负异常中心轴线在中国东部南移起到一定的作用。此外, 热带西太平洋暖池偏东方向热对流在 90 年代的年代际减弱的变化, 可能是热带海洋年代际变化的表现, 本文讨论它对我国南方

暴雨年代际变化的气候背景作用,至于这种热对流的年代际变化原因不是本文的研究内容。

6 结论

本文利用全国 1961~2000 年的日降水资料,研究了我国暴雨的年代际时空变化特征。得到以下几点主要结论:

(1) 气候分布上,我国夏季暴雨多发生在长江中下游、华南、四川中东部、黄淮和华北东部。

(2) 我国暴雨在夏季年代际变化明显,长江流域暴雨日在 20 世纪 70 年代末增加一次,80 年代末又有一次显著增加;华南暴雨在 70、80 年代偏少,60、90 年代偏多;华北暴雨从 1980 年开始一直偏少。春季和秋季,我国暴雨发生区域和频率远不如夏季,年代际变化也没有夏季明显。

(3) 各区域夏季暴雨与洪涝的变化关系密切。各年代全国暴雨对洪涝的贡献有所差别,特别是 90 年代江淮流域暴雨对汛期降水的贡献显著增强。

(4) 初步讨论了我国夏季暴雨发生的年代际变化的气候背景:70 年代末起,华北暴雨的年代际变化可能与赤道中、东太平洋海表面温度的年代际变化有关;通过与年际上暖池强弱对流对我国夏季降水影响的对比分析,90 年代长江以南暴雨发生的年代际变化则可能与热带西太平洋偏东方向热对流的年代际变化有关。

参考文献 (References)

- [1] 丁一汇. 陶诗言先生与中国暴雨. 东亚季风和中国暴雨——庆祝陶诗言先生八十华诞集. 中国科学院大气物理研究所编. 北京: 气象出版社, 1998. 137~141
Ding Yihui. Professor Tao Shiyang and torrential rain in China. *East Asian Monsoon and Torrential Rain in China* (in Chinese). Edited by Institute of Atmosphere Physics, Chinese Academy of Sciences. Beijing: China Meteorological Press, 1998. 137~141
- [2] 高守亭, 赵思雄, 周晓平, 等. 次天气尺度及中尺度暴雨系统研究进展. 大气科学, 2003, **27**: 618~627
Gao Shouting, Zhao Sixiong, Zhou Xiaoping, et al. Progress of research on sub-synoptic scale and mesoscale torrential rain systems. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2003, **27**: 618~627
- [3] 陶诗言, 丁一汇, 周晓平. 暴雨和强对流天气的研究. 大气科学, 1979, **3**: 227~238
Tao Shiyang, Ding Yihui, Zhou Xiaoping. The present status of the research on rain storm and severe convective weathers in China. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica)* (in Chinese), 1979, **3**: 227~238
- [4] 陶诗言, 等. 中国之暴雨. 北京: 科学出版社, 1980. 255pp
Tao Shiyang, et al. *The Torrential Rain in China* (in Chinese). Beijing: Science Press, 1980. 255pp
- [5] Tao Shiyang, Ding Yihui. Observational evidence of the influence of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau on the occurrence of heavy rain and severe convective storms in China. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1981, **62**: 23~30
- [6] Matsumoto J, Takahashi K. Regional differences of daily rainfall characteristics in East Asian summer monsoon season. *Geogr. Rev. Japan*, 1999, **72-B**: 193~201
- [7] 吴正华, 储锁龙. 北京暴雨与旱涝关系的分析. 应用气象学报, 1998, **9**: 492~495
Wu Zhenghua, Chu Suolong. Relationship between torrential rain and drought/flood over Beijing area. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (in Chinese), 1998, **9**: 492~495
- [8] 黄荣辉, 徐予红, 王鹏飞. 1998 年夏长江流域特大洪涝特征及其成因探讨. 气候与环境研究, 1998, **3**: 300~313
Huang Ronghui, Xu Yuhong, Wang Pengfei. The features of the catastrophic flood over the Changjiang River basin during the summer of 1998 and cause exploration. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 1998, **3**: 300~313
- [9] 黄荣辉, 徐予红, 周连童. 我国夏季降水的年代际变化及华北干旱化趋势. 高原气象, 1999, **18**: 465~476
Huang Ronghui, Xu Yuhong, Zhou Liantong. The interdecadal variation of summer precipitation in China and the drought trend in North China. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 1999, **18**: 465~476
- [10] Huang Ronghui, Zhou Liantong, Chen Wen. The progresses of recent studies on the variabilities of the East Asian monsoon and their causes. *Adv. Atmos. Sci.*, 2003, **20**: 55~69
- [11] 周连童, 黄荣辉. 关于我国夏季气候年代际变化特征及其可能成因的研究. 气候与环境研究, 2003, **8**: 274~290
Zhou Liantong, Huang Ronghui. Research on the characteristics of interdecadal variability of summer climate in China and its possible cause. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2003, **8**: 274~290
- [12] Zhai Panmao, Zhang Xuebin, Wan Hui, et al. Trends in total precipitation and frequency of daily precipitation extremes over China. *J. Climate*, 2005, **18**: 1096~1108
- [13] 黄荣辉, 顾雷, 徐予红, 等. 东亚夏季风爆发和北进的年际变化特征及其与热带西太平洋热状况的关系. 大气科学, 2005, **29**: 20~36
Huang Ronghui, Gu Lei, Xu Yuhong, et al. Characteristics of the interannual variations of onset and advance of the East Asian summer monsoon and their associations with thermal states of the tropical western Pacific. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2005, **29**: 20~36
- [14] Wang Huijun. The weakening of the Asian monsoon circulation after the end of the 1970s. *Adv. Atmos. Sci.*, 2001, **18**: 376~386
- [15] Huang Ronghui, Sun Fengying. Impacts of the tropical western Pacific on the East Asian summer monsoon. *J. Meteor. Soc. Japan*, 1992, **70**: 243~256