

中国夏季日降水频次的周末效应*

龚道溢¹, 郭栋¹, 罗勇²

1 北京师范大学 资源学院 环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 100875

2 中国气象局 国家气候中心, 100081

摘要: 利用 1979 - 2002 年 194 站日降水资料分析了我国东部地区夏季日降水频次的周内变化, 发现降水频次存在明显的周末效应。表现为周末降水频次的增加以及周中降水频次的下降, 极小频次出现在星期三。其中小雨频次的周末效应表现更为突出。造成降水周末效应的主要原因可能与人类活动导致的气溶胶的周循环有关。夏季周中气溶胶浓度的增加不利于暖云降水, 反之周末气溶胶浓度的下降则导致了周末降水频次的相对偏高。

关键词: 降水 周末效应 中国

1 引言

日益加剧的人类活动产生的各种气溶胶通过改变大气成份、辐射、反照率等而影响天气和气候, 对其气候强迫的认识目前还存在很大的不确定性^[1,2]。其影响从时效上看可简单分为即时影响和气候影响。分析其即时影响可对深入了解其气候强迫提供必要的证据。人类活动有规律的周循环, 相应的很多地区大气气溶胶也有周循环^[3-5]。检查气象要素相应的变化可以提供气溶胶的快速影响证据及其影响机制。Cerveny 和 Balling^[6]及 Jin 等^[5]曾发现美国东海岸大城市及其邻近地区降水有明显的周循环, 周末降水偏多。近来的研究表明, 全球很多站点的天气要素(如最高、最低气温, 气温日较差等)在周中和周末也存在明显的差别^[7]。大气气溶胶浓度、降水、气温等要素的这种周循环被称为周末效应。东亚地区作为人类活动最为强烈的地区之一, 其气象要素是否存在类似的周末效应呢? 本文发现我国东部夏季日降水也存在明显的周末效应: 周末降水频次明显偏多, 而周中降水频次明显偏少。

2 资料

主要分析资料为中国气象局提供的 194 站日降水量资料, 大部分站开始于 1950 年代初, 资料截止到 2002 年。我们分析中主要统计的是降水日数, 其中痕量降水虽然降雨量记录为 0mm, 但也记为一个雨日。资料分析的时间段为经济快速发展的 1979 年到 2002 年, 分析区域限于人口集中分布的东部地区(95°E 以东)。分析时整个资料时段中缺失资料总数超过 30 天(缺失率大约为 1.4%)的站不参加统计。

3 结果与讨论

图 1 是东部地区全部站点统计的降水日数频次的周内分布。因为影响降水的因素很多, 为了降低噪音干扰, 我们采用区域平均。很明显, 东部地区整体上看降水频次有明显的周循环。周末频次偏高, 而极小值则出现在星期三。这说明夏季周末的降水频次比周中要高。进一步分析表明, 总降水频次的这种变化主要与小雨日数的变化有关。图 1b 给出了小雨(日降水量小于 10mm)频次的分布, 这个特征与总降水频次非常相似, 同样也是周末偏多; 而极小值出现在星期三。

我们进一步检查了降水频次周末效应的空间分布。为了定量表示周末效应的强度, 根据

收稿日期: 修订日期:

*基金项目: 2006CB400505 和 EYTP-1964 项目资助

作者简介: 龚道溢(1969-), 男, 教授, 主要从事气候变化及其影响研究. Email. gdy@ires.cn

图 1 的结果我们简单地将周末效应定义为星期六与星期三降水频次的差值。正值表示周末降水频次比周中高；反之，负值表示周中频次高。图 2 给出了各站 1979—2002 年期间平均夏季总降水频次的周末效应地理分布。很明显大部分站都是正值，而且正值的站成片连续分布。而主要的负值区出现在西北一部分地区，包括内蒙古西部、陕西、宁夏、甘肃东部等干旱半干旱地区。小雨频次的分布与总降水频次的情况相似(图略)。图中的数字是频次的差，如“1”就表示平均每年夏季，雨下在星期六的频次要比下在星期三的频次多 1 天。图 2 说明在夏季风控制的地区，降水频次的周末效应以周末降水频次的增加为主要特征。

对日降水强度和日降水量的分析没有发现明显的周循环。这可能与周末效应的信号太弱，而强降水事件有很大的随机性以及影响降水量的因素较多等有关系。相对而言，周末效应对雨日频次和比较弱的降水的影响要更明显一些。此外需要指出的是，以往周末效应的检测多侧重大城市，为了检查城市站和乡村站之间的可能差别，我们分别计算了城市台站与乡村站的周末效应，结果表明图 2 中的分布特征基本保持不变。这说明降水频次的周循环不仅局限于大城市，而是东部广大地区普遍存在的现象。

造成降水频次周末效应的主要原因可能与气溶胶的间接影响有关。一些地面和卫星观测证实人类活动导致的气溶胶浓度在周中可达到最高，而周末则下降，如美国纽约地区夏季气溶胶光学厚度星期三最高，周末最低^[5]。但是我国东部地区气溶胶周末效应的强度有多大，目前还缺乏系统分析，未来更新的卫星和地面监测资料的积累将有助于该问题的解决。不过有迹象表明气溶胶的周循环在我国也是存在的，例如瓦里关本底站近 10 年黑碳观测量显示有明显的周循环，最小值也出现在周末。

经典云物理理论认为，气溶胶作为云滴的凝结核可增加降水。不过最新的观测资料表明，人类活动导致的气溶胶的大量增加可能会对降雨不利。夏天暖云降水对流较强，而气溶胶的增加导致更多的云滴，但同时云滴直径更小。这对于碰并过程是不利的，同时较弱的对流就能将细小云滴带到对流层中、高层形成冰晶和高云，均不利于降雨^[8]。这种间接效应不仅在工业大气污染物中存在，其他一些不同类型的气溶胶也是存在的^[9]。我国东部地区夏季风控制的大部分地区气温高，水汽充沛。气溶胶对成云和降水的间接影响很可能通过上述机制而发挥重要作用。为了验证这一点，我们检查了相对湿度资料，因为相对湿度是影响成云和降水的一个关键变量。从图 2 中可以看到，降水周末效应比较明显的站在东北及南方地区分布比较集中，所以我们分别统计了这 2 个地区相对湿度的周内变化（资料从 1979 年到 2000 年），结果在图 3 中，其中南方统计 30°N 以南的站，东北统计 120°E 以东的站。很明显极小值这两个地区都是出现在星期三，而周末相对湿度则偏高。这种特征在东北地区表现得最为突出。整个东部平均，特征也大体类似。相对湿度的这种变化表明周中低空湿度的确是下降的，而周末则是上升的，与气溶胶增加不利暖云降水的关系是相符合的，也很好解释了图 1 和图 2 中降水频次的相应变化。与此不同的是，当气温过低或者大气水汽很少时，气溶胶对成云和降水的这种间接影响可能大大减弱，其他的影响途径或者机制可能起主导作用^[10]。这很可能是导致图 2 中西北干旱区一些站表现出与东部大多数站不同周变化的主要原因。

Liepert 等^[11]同时考虑气溶胶的直接、半直接以及间接影响，模拟在暖湿环境下气溶胶增加的后果，结果表明全球光学厚度增加和气温上升的同时，东亚地区降水、蒸发和地面太阳辐射都同时减少。这与我国近几十年来的辐射、蒸发和云量等要素观测值的下降是相吻合的^[12-14]。这也从另外一个侧面说明气溶胶的增加不利于暖云降水这种机制，可能是造成周末效应的主要原因。也意味着随着人类活动增强而导致的气溶胶的增加，必然对降水的长期变化产生不利影响。而我国东部地区不管是东北、华北、长江流域、华南、还是整个东部地区平均，夏季小雨日数近几十年都呈一致的显著下降趋势，这很可能与气溶胶的增加有关。对此我们还将另文详细分析。

总之，本文揭示的我国东部夏季降水的周末效应，为理解气溶胶快速影响天气气候的方式和机制提供了新的佐证。

参考文献

- [1] IPCC, Climate Change 2001: The Scientific Basis, Cambridge, United Kingdom, and New York: Cambridge University Press, 2001, 881pp.
- [2] Ramanathan V., P.J. Crutzen, J.T. Kiehl, D. Rosenfeld. Aerosols, climate, and the hydrological cycle. *Science*, 2001, 294, 2119-2124
- [3] Marr, L. C., R.A. Harley. Spectral analysis of weekday-weekend differences in ambient ozone, nitrogen oxide, and non-methane hydrocarbon time series in California. *Atmospheric Environment*, 2002, 36, 2327-2335
- [4] Beirle, S., U. Platt, M. Wenig, T. Wagner. Weekly cycle of NO₂ by GOME measurements: A signature of anthropogenic sources. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2003, 3, 2225-2232.
- [5] Jin, Menglin., J. M. Shepherd, M. D. King . Urban aerosols and their variations with clouds and rainfall: A case study for New York and Houston. *Journal of Geophysical Research*, 2005, 110, D10S20, doi: 10.1029/2004JD005081.
- [6] Cerveny, R.S., R.C. Balling Jr. Weekly cycles of air pollutions, precipitation and tropical cyncones in the coastal NW Atlantic region. *Nature*, 1998, 394, 561-563.
- [7] Forster, P. M., and S. Solomon. Observations of a 'weekend effect' in diurnal temperature range. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2003,100(20), 11225-11230.
- [8] Rosenfeld, D. Suppression of rain and snow by urban and industrial air pollution. *Science*, 2000, 287, 1793-1796
- [9] Kaufman, Y. J., I. Koren, L.A. Remer, D. Rosenfeld, Y. Rudich. The effect of smoke, dust, and pollution aerosol on shallow cloud development over the Atlantic Ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2005, 102(32), 11027-11212.
- [10] Gong, Daoyi, Dong Guo, and C.-H. Hoi. Weekend effect in diurnal temperature range in China: Opposite signals between winter and summer. 2006, submitted
- [11] Liepert, B. G., J. Feichter, U. Lohmann, E. Roeckner. Can aerosols spin down the water cycle in a warmer and moister world? *Geophysical Research Letters*, 2004, 31, L06207, doi:10.1029/2003GL019060
- [12] Che, H.-Z., G.-Y. Shi, X.-Y. Zhang, R. Arimoto, J.Q. Zhao, L.Xu, B. Wang, Z.-H. Chen. Analysis of 40 years of solar radiation data from China, 1961-2000. *Geophysical Research Letters*, 2005, 32, L06803, doi:10.1029/2004GL022322.
- [13] Zuo, Hongchao, Dongliang Li, Yan Bao, Yinqiao Hu, and Shihua Lu. Characteristics of climatic trends and correlation between pan-evaporation and environmental factors in the last 40 years over China. *Chinese Science Bulletin*, 2005, 50(12), 1235-1241。
- [14] Kaiser, D. P. Decreasing cloudiness over China: An updated analysis examining additional variables. *Geophysical Research Letters*, 2000, 27(15), 2193-2196.

Weekend effect of daily precipitation frequency in China

Daoyi Gong¹, Dong Guo¹, Yong Luo²

¹ College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, 100875

² National Climate Center, China Meteorological Administration, 100081

Abstract: Authors analyzed the weekly cycle of the daily precipitation frequency in summer time over east China during the period 1979 – 2002. There is a so-called weekend effect: more rainy days taking place in weekend while the minimum frequency appearing in the mid-weekdays. This kind of weekend effect is much evident in the light rainfall frequency. The reasons responsible for this phenomenon is not well understood yet. Aerosol related to the week human activity seems play an important role: more aerosols in the mid-weekdays tending to suppress precipitation while a lower aerosol concentration in weekend giving rise to a relative maximum of rainfall frequency.

Key words: precipitation, weekend effect, China

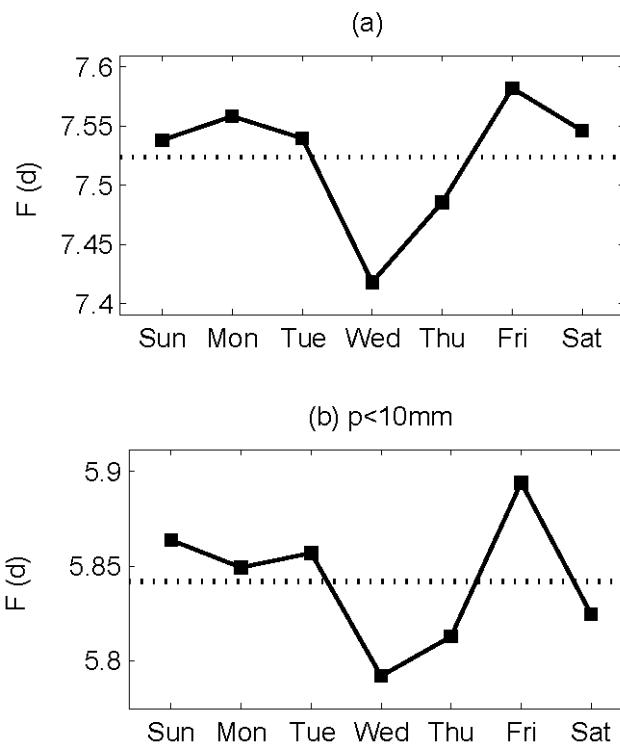


图 1. 中国东部 6-8 月日降水频次的周内分布. (a) 总降水频次, (b) 小雨频次(日降水量 $\leq 10\text{mm}$). 根据 1979-2002 年资料统计. 虚线为平均频次. 单位为天.

Figure 1. Weekly distribution of the precipitation frequency. (a) All precipitation events, (b) Light rainfall with daily precipitation less than 10mm. Dashed lines are the means. Data period is 1979-2002. Unit: day.

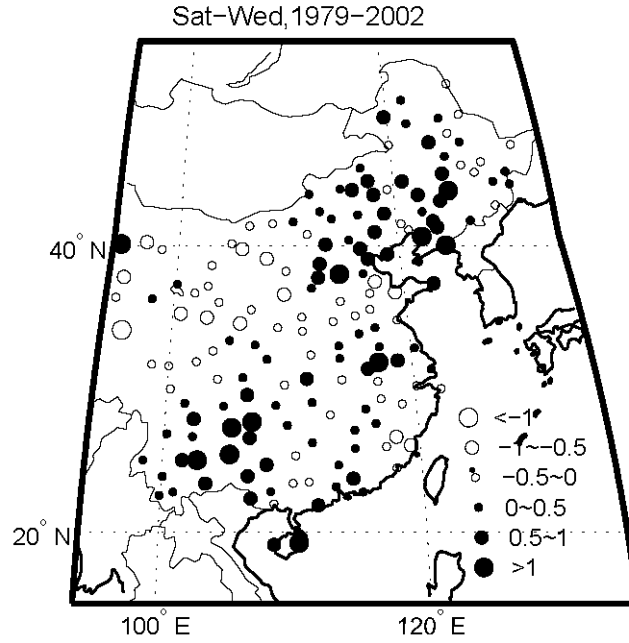


图 2. 降水频次周末效应的空间分布(1979-2002 年夏季星期六降水频次减去星期三降水频次, 单位: 天)

Figure 2. Spatial distribution of the weekend effect in the precipitation frequency (Saturday minus Wednesday). Data period is 1979-2002. Unit: day.

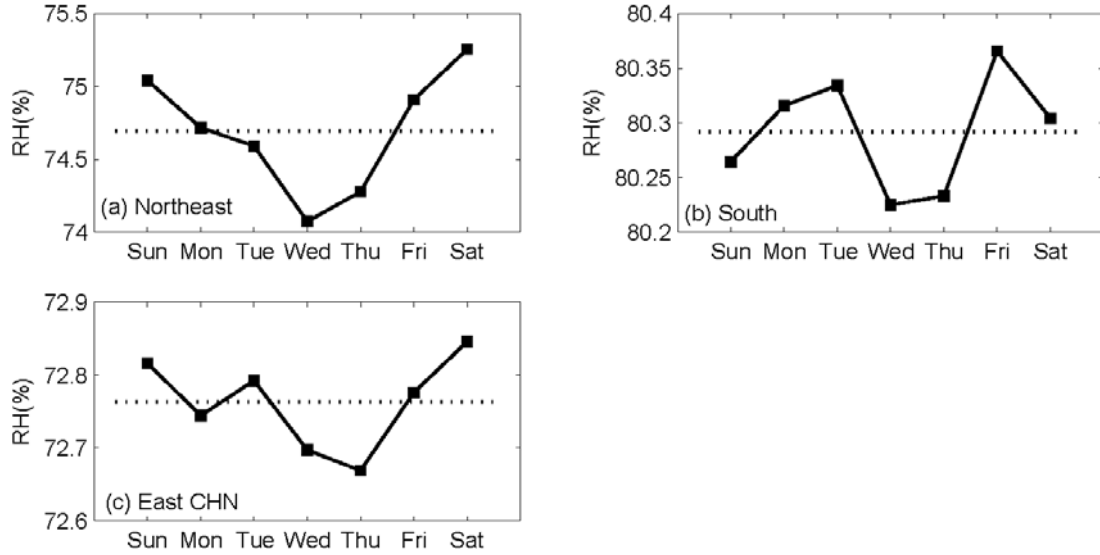


图 3 夏季相对湿度的周内变化, (a) 东北地区, (b) 华南地区平均, (c) 整个东部地区平均. 1979-2000 年.

Figure 3. Weekly distribution of the relative humidity. (a) Northeast China, (b) South China, and (c) East China. Data period is 1979-2000.