

# Climate Change Characteristics of Rainstorm Days in South China

Shaoyong Chen<sup>1,2</sup>, Xiaofen Zhang<sup>2</sup>, Junrui Guo<sup>2</sup>, Yuzhen Guo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Key Laboratory of Arid Climatic Changing and Reducing Disaster of Gansu, Key Laboratory of Arid Climatic Changing and Reducing Disaster of China Meteorological Administration, Lanzhou Gansu

<sup>2</sup>Meteorological Bureau of Baiyin, Baiyin Gansu

Email: [csy505@126.com](mailto:csy505@126.com)

Received: Oct. 2<sup>nd</sup>, 2015; accepted: Oct. 23<sup>rd</sup>, 2015; published: Oct. 26<sup>th</sup>, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## Abstract

Using the day by day precipitation data at 225 stations in the south area of China in the period of 1961-2010, with the trend analysis, Monte Carlo test method, the sliding T test, Mann-Kendall, etc., the spatial and temporal distribution characteristics of rainfall day and evolution rule above rainstorm in the south of China for 50 years are analyzed. Results show that the Southern China, the middle and lower reaches of Yangtze River and the Chengdu Plain are relatively more rainstorm areas. Rainstorm day trend is not significant in most areas; there is a slight increase in the east and a slight decrease in the west. But rainstorm days have significantly reduced in Chengdu Plain. There was a remarkable mutation in 1992. Rainstorm days of the Yangtze River have an obvious increasing trend. There was a remarkable mutation in 1986. As for seasonal distribution, it is the least in winter and most in summer. It is more in spring than in autumn. Winter rainstorm mainly occurs in southern China and it has a slight increasing trend; spring rainstorm mainly occurs in southern China, the middle and lower reaches of Yangtze River. It changes insignificantly. Rainstorm in summer is the most and has a significant increase trend. Among them, a slight increase is in southern China and an obvious increase is in the middle and lower reaches of Yangtze River. It reduces significantly in Chengdu Plain; in autumn. Rainstorm occurs mainly in southern Yunnan-southern China-western Zhejiang and other coastal areas, no clear trend; rainstorm days of south areas form a unimodal sequence. Chengdu Plain reaches its peak in August and the rest areas reach the peak in June. Rainstorm of Chengdu Plain mainly occurs in the period from July to August. It is concentrated in the period of May to June in the middle and lower reaches of Yangtze River. It is concentrated in the period of May to August in southern China. Under the background of global warming, rainstorm days in the south of China are response to climate change. Rainstorm increases in significant warming area and reduces in insignificant warming area.

## Keywords

Rainstorm Day, Temporal and Spatial Distribution, Climate Change, South of China

# 中国南方暴雨日数的气候变化特征

陈少勇<sup>1,2</sup>, 张晓芬<sup>2</sup>, 郭俊瑞<sup>2</sup>, 郭玉珍<sup>2</sup>

<sup>1</sup>中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室, 甘肃 兰州

<sup>2</sup>白银市气象局, 甘肃 白银

Email: [csy505@126.com](mailto:csy505@126.com)

收稿日期: 2015年10月2日; 录用日期: 2015年10月23日; 发布日期: 2015年10月26日

## 摘要

本文利用中国南方地区225个测站1961~2010年逐日降水量资料, 采用趋势分析、Monte Carlo检验、滑动T检验、Mann-Kendall分析等方法, 分析了50年来南方地区暴雨日数的时空分布特征及其变化规律。结果表明: 华南、长江中下游平原和成都平原是相对多暴雨区。大多数地方暴雨日数趋势不显著, 东部略有增多, 西部略有减少趋势。但成都平原显著减少, 1992年发生突变, 长江中下游的暴雨日数有较明显的增多趋势, 1986发生突变; 在季节分布上, 冬季最少, 夏季最多, 春季多于秋季。冬季暴雨主要出现在华南, 略有增多趋势; 春季主要出现在华南、长江中下游平原, 变化趋势不明显; 夏季暴雨最多且有显著增多趋势。其中, 华南略有增多, 长江中下游显著增多, 成都平原显著减少; 秋季主要出现在滇南-华南-浙西等沿海地区, 无明显趋势; 受东亚季风影响, 南方各地暴雨日数都为单峰型, 其中成都平原8月为峰值, 其余各地6月为峰值, 成都平原暴雨集中在7~8月, 长江中下游平原集中在5~6月, 华南集中在5~8月。在全球气候变暖背景下, 中国南方暴雨日数响应气候变化, 增温显著区, 暴雨增多, 增温不显著区, 暴雨减少。

## 关键词

暴雨日数, 时空分布, 气候变化, 中国南方

## 1. 引言

南方地区以热带亚热带季风气候为主, 年平均气温 20°C~24°C [1], 年降水量大部在 1000 mm 以上[2], 夏季高温多雨, 冬季温和少雨。南方地区受夏季风影响大, 雨季长。每年 5 月份夏季风从华南沿海登陆, 雨季开始。6, 7 月份夏季风势力增强北抬, 形成江淮准静止锋, 阴雨连绵, 主要影响长江中下游地区和淮河流域。7, 8 月易形成伏旱。9 月, 降雨锋面南移至该区域, 10 月以后冷空气势力进一步增强, 夏季风移出该区域, 雨季结束。此外, 西南地区常受西南季风影响。华南地区受冷暖空气作用、季风的暴发等所致 4 月至 6 月为第一个多雨季节 - 华南前汛期。东部沿海地区夏秋季节也受台风影响大。南方地区

是中国年雨量最多的地区,也是各种降雨日数最多的地区。日雨量  $\geq 50$  mm 的年平均暴雨日数,除了川西无暴雨,南方其余地区都在 1 天以上,华南南部沿海区在 8 天以上。暴雨对解除农业干旱、水库蓄水发电极为有利,同时暴雨也是产生洪涝灾害的主要原因。气象学家对极端降水和强度变化进行了研究[3]-[8]。结果表明,我国除华北外,暴雨日数增多,尤其是长江以南地区,极端强降水事件趋多、趋强,而华北和西南地区有下降的趋势。徐桂玉等人[9]利用南方 59 个站 1958~1995 年月暴雨日数资料,研究了暴雨的主要分布类型、季节变化特征、年际变化和年代际变化规律。结果表明:我国南方暴雨的总趋势是略有增加,但幅度很小。年际变化存在 32 年、10 年、5 年和 2~3 年左右的周期震荡。除此之外,还有一些小区域、季节性暴雨日数的分析研究[10]-[15]。之前涉及南方暴雨气候特征的研究大都集中在趋势、周期、年代际变化等方面,而且使用资料大都在 2000 年左右。十多年过去了,然而把南方作为一个独立区域,对南方暴雨气候特征及其气候变化方面的研究不多见。本文用南方 225 个站 1961~2010 年 50 年的地面观测资料,比较细致地分析南方地区暴雨日数的月、季、年变化规律,包括暴雨日数的地理分布、趋势、突变、集中期、与降水量的关系以及气候变暖对暴雨的影响,不仅能全面认识南方暴雨的气候变化特点,为预报预测评估提供背景资料,而且对于防震减灾,开发利用气候资源具有重要的科学意义和使用价值。

## 2. 资料与方法

中国南方,指中国东部季风区的南部,主要是秦岭-淮河-线以南,东临东海,南临南海。包括江苏大部、安徽南部、浙江、上海、湖北、湖南、江西、福建、云南大部、贵州、四川东部、重庆、广西、广东;南方地区地势东西差异大,主要位于第二、三级阶梯,东部平原、丘陵面积广大,西部以高原、盆地为主;横断山脉和秦岭山脉是我国重要的地理分界线。我们的研究范围:97.5°E~122°E,20.3°N~32°N,不含台湾及南海诸岛。

降水量资料,取自中国气象局气象信息中心整编的南方 225 个站 1960 年 12 月~2010 年 12 月的地面观测日降水、气温资料。平均值时段采用 1961~2010 年。

我们按照国家气象局对暴雨的定义,分析南方地区日雨量  $\geq 50$  mm 的暴雨以上降水日数(简称暴雨日数)的气候变化特点。

采用 Monte Carlo 检验方法检验气候趋势的显著性[16];采用非参数统计检验方法——Mann-Kendall 法、滑动 T 检验、结合序列自身演变综合检测序列的突变点[17]。

等值线图使用 Surfer8.0 软件绘制,其中数学插值模型使用 Kriging 法。

## 3. 年暴雨日数的变化特征

### 3.1. 空间分布

南方暴雨以上降水日数除过川西的德格、甘孜、道孚、小金、巴塘、新龙等地方未出现过暴雨,云贵高原、江苏南部-浙江北部 1~3 天,其余地方都在 4 天以上。主要集中在三个区域(图 1),一是在华南,包括云南南部-广西-广东,年暴雨日数 5~15 天,是中国南方暴雨日数最多、降水强度最大的地区,日最大降水量 605.3 mm,出现在广东西南海岸的阳江市,年平均暴雨最多日数 15 天,出现在广西南部海岸的东兴市;二是在长江中下游,包括湖南北部-湖北南部-安徽南部-江西大部-福建北部-浙江西部,年暴雨日数 5~8 天,最多日数出现在安徽的黄山,年平均暴雨日数 9 天,最大日降水量 394 mm,出现在江西的广昌;第三个区域在成都平原,暴雨日数 3~6 天,以雅安为最大中心,但最大日降水 362 mm 出现在峨眉山。这个结果与[9]略有差异,主要差异在第三个暴雨区,可能与分析的资料长度不一致有关。

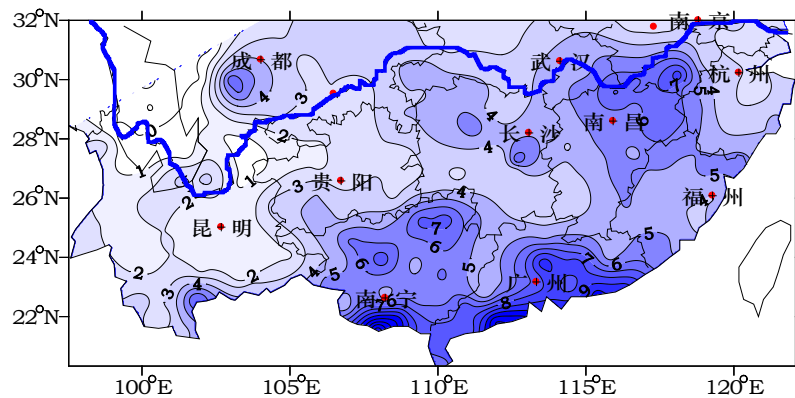


Figure 1. Spatial distribution of the rainstorm days in south of China  
图 1. 中国南方暴雨日数空间分布

暴雨日数的这种分布格局与影响的天气系统有关。我国南方是东亚季风影响的主体，随着西太平洋副热带高压北进南退，从 3 月至 4 月在华南地区出现前汛期雨季；5 月中下旬雨带维持在华南一带，6 月中旬北跳到长江中下游一带，这时期的雨季称之为梅雨季。之后北移到华北和东北地区形成华北雨季。有些年份雨季可在两者之间的黄淮地区有短暂的停滞，形成黄淮雨季。最后是华西秋雨雨季。伴随季风的迅速南退，中国东南沿海一带会在台风的频繁影响下出现降雨的再次活跃。华南地区易受副高、南海台风影响，降水强度最大，暴雨次数也多；成都平原的暴雨与高原低涡、西南低涡有关[18] [19]。

### 3.2. 气候变化趋势

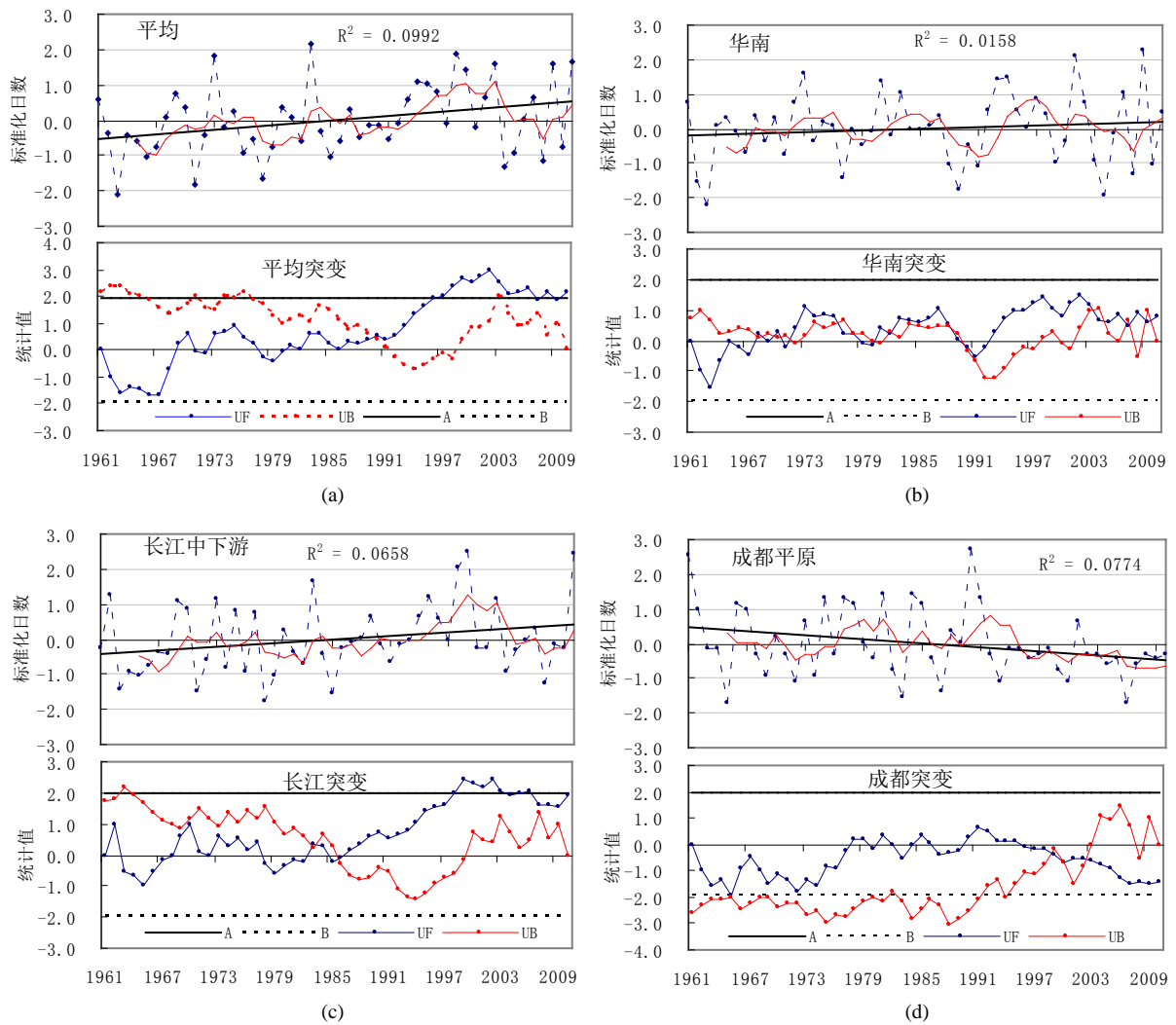
南方地区年站平均暴雨 4 次，即平均每年每站发生 4 次暴雨。用 225 个站的空间平均，建立南方平均年暴雨日数序列，分析其年际变化特征(图 2(a))，从图中可见，在 50 a 尺度上，中国南方地区暴雨日数有显著增多趋势，通过 95% 的信度检验。大致经历了 3 个波动阶段：1960s 中后期以前减少，1960s 后期~1970s 中期增多，1970s 后期~1980s 中期减少，1980s 后期~1990s 中后期增多，1990s 后期~2010s 中期减少，2010s 后期急剧增多；1961~1967 年偏少、1968~1975 年偏多；1976~1992 年偏少、1993~2002 年偏多、2003~2010 以偏少为主。

从 M-K 曲线图(图 2(a)下)来看，暴雨日数有明显的增多趋势，1961~1967 年，UF 下降，1967~1969 年急升，其后至 1992 年一直处于波动变化状态，1993 年~2002 年缓慢增加，于 1998 年超过了显著水平线，1990 年 UF 与 UB 线相交。因此可以认为 1992 年南方地区暴雨日数明显突变。

华南地区的暴雨日数略有增多趋势，但不显著。其年代际变化与前面分析的南方暴雨的变化基本一致，未出现突变现象。2008 年暴雨最多，区域平均 9.7 d，其次是 2001 年、1973 年、1994 年、1993 年、1981 年，区域平均  $\geq 8.5$  d。

长江中下游的暴雨日数有较明显的增多趋势，通过 90% 的 Monte Carlo 信度检验。其年代际变化也与南方暴雨的变化基本一致；1986 年出现突变。1999 年、2010 年暴雨最多，区域平均 9.0 d，其次是 1998 年、8.4 d，1983 年 7.8 d。

于华南和长江中下游不同，成都平原的暴雨日数有明显的减少趋势，通过 95% 的 Monte Carlo 信度检验，与任小玢等[20]的研究结果一致。1960s 中期以前下降，1960s 后期~1970s 中期增多，1970s 后期~1990s 初期偏多且变化较平缓，1990s 初期以后显著减少，1992 年以来，除 2001 年偏多，其余各年都偏少，虽然 UF 与 UB 线相交于 1999 年，但用 MTT 再结合序列自身演变曲线(图 2(d)下)综合判断突变发生在 1992 年。1990 年暴雨最多，区域平均 9.5 d，其次是 1961 年 9.3 d，1984 年和 1981 年 7.5 d。

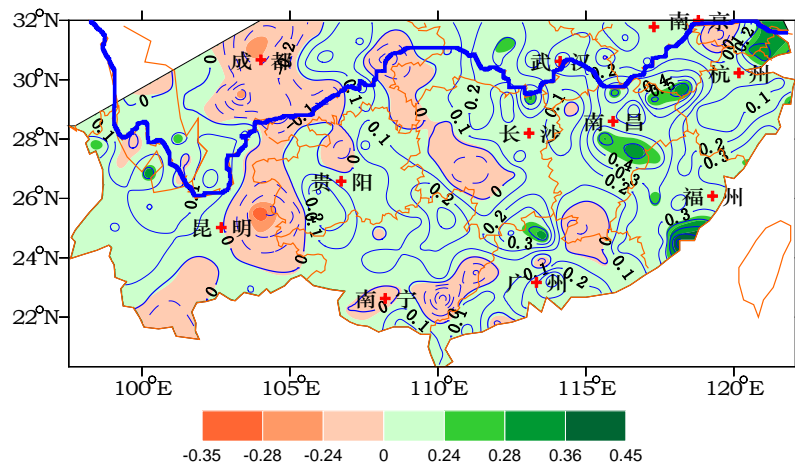


**Figure 2.** Interannual variation and M-K check curve chart of average rainstorm days in the south of China (UF, UB for plus and contrary sequence statistics, A, B for marginal value)  
**图 2.** 中国南方年平均暴雨日数年际变化(上)和 M-K 检验曲线图(下) (UF、UB 为正、逆序列统计量, A、B 为显著水平  $\alpha = 0.05$  的临界值)

图 3 给出了南方地区年暴雨日数的气候变化趋势, 从中看出, 正、负趋势相间分布, 自西向东振荡传播, 负趋势减弱, 正趋势增强。西部以减少为主, 东部以增多为主。主要减少区在滇东黔西、成都平原、川东-湘西南、桂南等区域, 但大部分地方减少不显著; 其余地方暴雨日数有增多趋势, 主要显著增多区在福建东南部、江西北部、江苏东部以及湘北鄂南。通过计算南方地区暴雨日数与降水量的相关系数, 发现各站皆为正相关, 90% 的站通过  $\alpha = 0.10$  的 Monte Carlo 显著性水平检验, 88% 的站通过  $\alpha = 0.05$  的显著性水平检验, 83% 的站通过  $\alpha = 0.01$  的显著性水平检验, 说明两者相关密切。西部降水量减少, 暴雨日数也减少, 东部降水量增加, 暴雨日数亦增加。

通过计算年平均气温的增温率发现, 近 50 a, 西南地区的部分地方, 如川东、滇北川南中部交界区、滇东黔西中部交界区、黔中等地方增温不显著, 甚至有部分地方气温降低, 其余南方大多数地方增温显著。这与我们以前的分析基本一致[1]。这种分布与暴雨的趋势大致吻合。表明, 中国南方暴雨日数响应气候变化, 增温显著区, 暴雨增多, 增温不显著的地区, 暴雨减少。





**Figure 3.** The spatial distribution of linear trend of long-term variation of the annual mean rainstorm days in south of China (unit: h/10a, shaded areas have passed the Monte Carlo confident levels of 90%, 95%, 99%, respectively)

**图 3.** 中国南方地区年暴雨日数线性趋势空间分布图(单位: h/10a, 阴影区表示 Monte Carlo 置信水平分别超过 90%、95%、99%)

## 4. 暴雨日数的季节特征

### 4.1. 季暴雨日数的空间分布

图 4 给出了南方各季暴雨日数的分布。从图 5 可见, 冬季暴雨很少, 夏季最多, 春季多于秋季。

冬季(12~2 月)暴雨日数最少, 近 50 年, 全区平均 0.1 d, 主要出现在华南 - 江西、福建, 年平均 0.1~0.2 次(图 4(a))。最多出现的地方在滇西北的贡山, 共有 16 d, 年平均 0.3 d。

春季暴雨日数(图 4(b)), 全区平均 1.0 d, 东多西少分布。云贵高原大部不足 0.5 d, 川西未出现暴雨。华南, 长江中下游平原 1~4 d, 最多出现的地方在广东的阳江, 年平均 3.9 d。

夏季(6~8 月)暴雨日数最多(图 4(c)), 全区平均 2.4 d, 空间分布格局几乎与年暴雨日数相同, 说明夏季暴雨对年暴雨日数的贡献最大。除过川西 - 云贵高原大部 - 湘南 - 赣西南、苏南 - 浙北部 1~2 d, 其余地方都在 4 天以上。川西很少有暴雨出现。华南, 夏季暴雨日数大部 2~5 d 天, 南部沿岸区 6~9 天, 是夏季南方暴雨日数最多的地方; 长江中下游, 夏季暴雨日数 2~3 d, 最多日数出现在安徽的黄山, 平均暴雨日数 5.5 d; 成都平原, 暴雨日数 2~5 d, 以雅安 5.5 d 为最大中心。

秋季暴雨日数(图 4(d))急剧减少, 全区平均 0.6 d, 滇南 - 华南 - 浙西等沿海地区 0.5~2 d, 川东、长江中下游 0.5 d, 其余地方不足 0.5 d, 川西未出现暴雨。

### 4.2. 季暴雨日数的时间变化

南方地区春、夏、秋季暴雨日数的年际变化趋势与年暴雨变化趋势有所不同(图 5)。冬季发生在华南和长江中下游的暴雨, 略有不显著的增多趋势。1983 年是华南暴雨最多的一年, 平均 1.5 d, 其中广西东部 - 广东中西部出现了 3~4 d; 1998 年是长江中下游暴雨最多的一年, 主要在江西、福建和浙江一带出现了 2~3 d 暴雨(图 5(a))。

春季, 南方的暴雨无明显的气候趋势, 其中, 华南在 1970s~1980s 是高发期, 1990s 以来显著减少, 目前处于偏少期; 长江中下游平原在 1960s 后期~1970s 是高发期, 1980s 以来围绕均值振荡, 2010 年暴雨最多, 区域平均 3.8 d, 在江西东部、福建北部、安徽南部达 5~9 d; 成都平原的暴雨略有增多趋势, 主要偏多期在 1960s 后期、1990s 后期~2010s 每年有 0.5~1 d(图 5(b))。

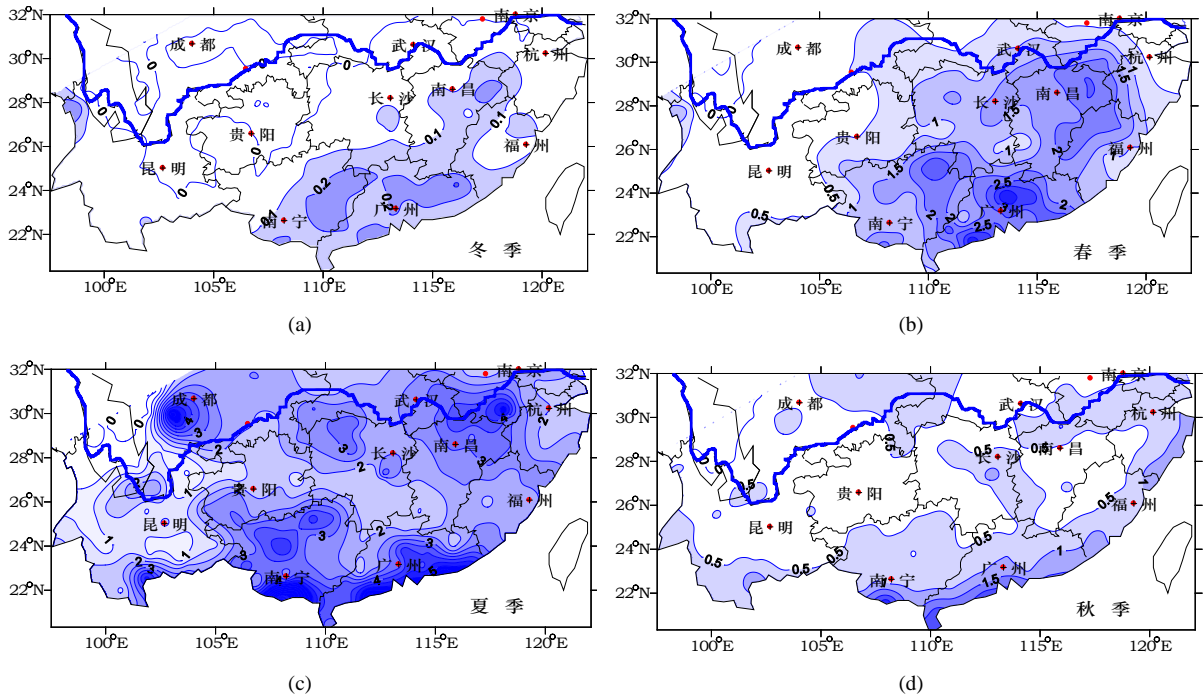


Figure 4. Spatial structure of average rainstorm days each season in south of China  
 图 4. 中国南方地区冬(a)、春(b)、夏(c)、秋季(d)暴雨日数空间分布

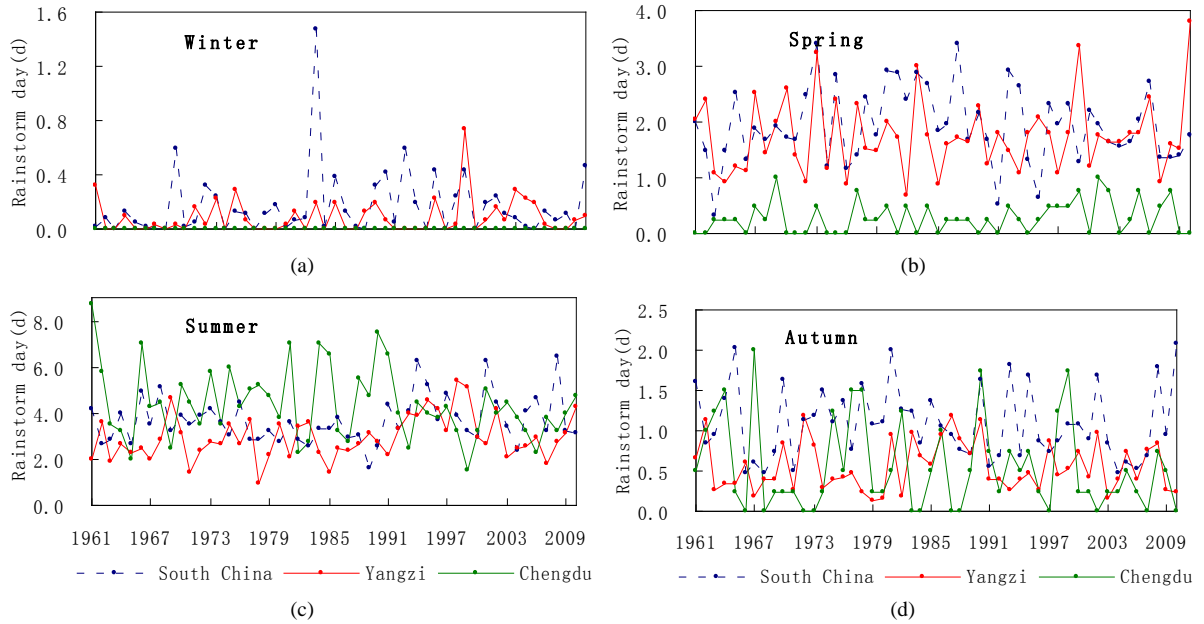


Figure 5. The season rainstorm days annual variety curve chart in south of China  
 图 5. 中国南方地区四季暴雨日数年际变化曲线

夏季, 南方的暴雨有显著的增多气候趋势, 其中, 华南略有增多趋势, 1970s 后期、1990s~2010s 是高发期, 2008 年是夏季暴雨最多的一年, 区域平均 6.8 d, 南部的上川岛、钦州、北海、深圳达 13 d~14 d; 长江中下游平原原有显著增多趋势(通过 95% 的信度检验), 主要偏多期在 1990s, 1998 年是历史上最多的一年, 区域平均 5.4 d, 江西北部达 12 d; 成都平原有明显减少趋势(通过 90% 的信度检验), 1970s 中期~

1990s 初期是偏多期, 其后一直处于偏少期(图 5(c))。这种趋势可能与东亚夏季风有关, 东亚夏季风发生明显变弱[21], 张庆云等[22]研究指出, 东亚夏季风环流偏弱是夏季长江流域发生严重暴雨洪涝灾害的气候特征。

秋季, 南方各地暴雨无显著趋势(图 5(d))。

## 5. 暴雨日数的月际变化

统计全区各站各月暴雨日数, 分析暴雨日数的平均月际变化特点(图 6)。从月分布图上可以看出, 华南、长江中下游平原全年各月都可出现暴雨, 而成都平原 4 月出现, 10 月结束。南方地区各地暴雨日数皆为单峰型, 成都平原 8 月为峰值, 其余各地的峰值都出现在 6 月。以月平均 0.5 d 为暴雨集中期, 则各区域暴雨的集中期差异较大: 成都平原暴雨最集中, 主要出现在 6~9 月, 7~8 月最多。其次长江中下游平原较为集中, 主要出现在 4~9 月, 5~6 月最多。而华南较为分散, 主要出现在 4~9 月, 但 5~8 月最多。

## 6. 小结和讨论

南方地区大多数地方暴雨日数趋势不显著, 主要降水区-南方东部略有增多趋势, 南方西部略有减少趋势, 但成都平原显著减少, 1992 年发生突变, 其后减少更加明显; 长江中下游的暴雨日数有较明显的增多趋势, 1986 发生突变; 华南未出现突变。

冬季暴雨较少, 主要出现在华南, 略有增多趋势; 春季主要出现在华南、长江中下游平原, 变化趋势不明显; 夏季暴雨最多且有显著增多趋势。其中, 华南平均 2~5 d 天, 沿岸区 6~9 天, 略有增多趋势, 长江中下游 2~3 d, 显著增多, 成都平原 2~5 d, 显著减少; 秋季暴雨日数急剧减少, 主要出现在滇南-华南-浙西等沿海地区 0.5~2 d, 无明显趋势。

在全球气候变暖背景下, 极端天气气候事件的发生更加频繁[23] [24], 中国南方暴雨日数响应气候变化, 增温显著区, 暴雨增多, 增温不显著的地区, 暴雨减少。

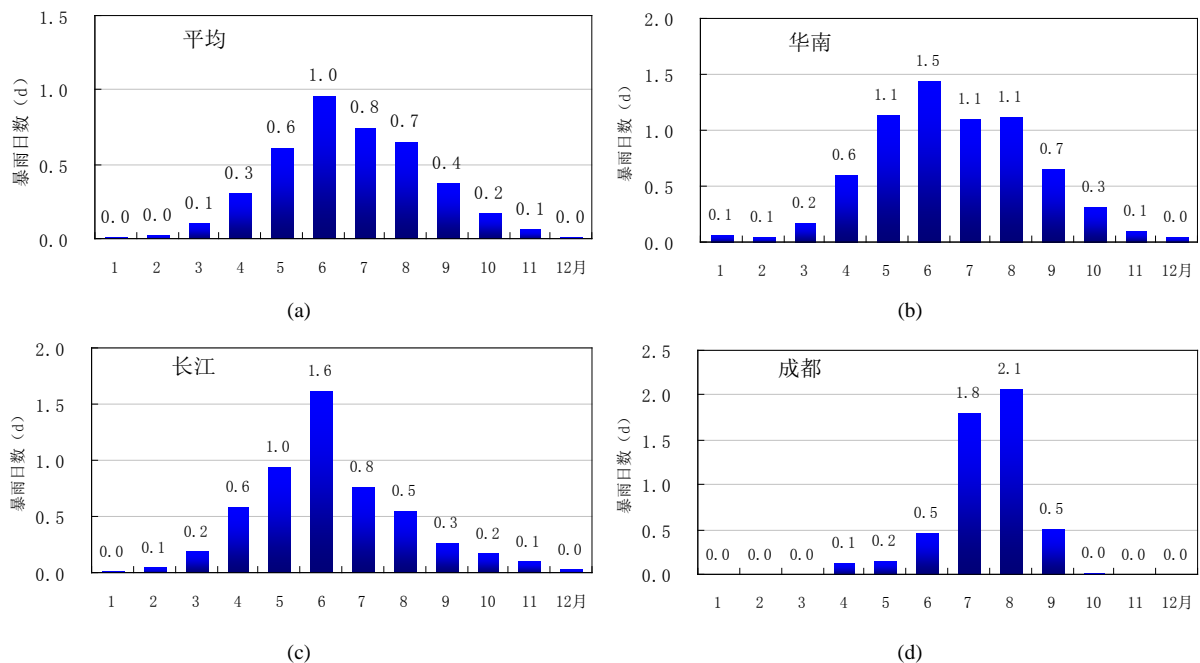


Figure 6. The month average rainstorm days in south of China

图 6. 南方地区及 3 个子区域月平均暴雨日数月际变化



年暴雨日数的气候趋势,在地域上呈正、负相间分布,自西向东振荡传播,负趋势减弱,正趋势增强。这种分布可能与西南地区复杂的地形有关。当青藏高原南侧的扰流到达西南地区后,受地形强迫会产生自西向东的波动,这种波动越过云贵高原后迅速减弱。其内在的机理有待于通过数值模拟等手段细致分析。

## 基金项目

“国家重点基础研究发展计划”2013CB430200 (2013CB430206)资助。

## 参考文献 (References)

- [1] 陈少勇,王劲松,石圆圆,等 (2009) 中国东部季风区近 46 年来年平均气温的变化. *资源科学*, **3**, 462-471.
- [2] 高正华 (2013) 1961~2011 年中国降水时空变化特征分析. *气候变化研究快报*, **2**, 147-152.
- [3] 王志福,钱永甫 (2009) 中国极端降水事件的频数和强度特征. *水科学进展*, **1**, 1-9.
- [4] 翟盘茂,王萃萃,李威 (2007) 极端降水事件变化的观测研究. *气候变化研究进展*, **3**, 144-148.
- [5] 鲍名,黄荣辉 (2006) 近 40 年我国暴雨的年代际变化特征. *大气科学*, **6**, 1057-1067.
- [6] 陈少勇,任燕,乔立 (2005) 中国西北地区大雨以上降水的气候变化特征. *资源科学*, **5**, 958-965.
- [7] Zhai, P.-M., Zhang, X.-B., Wan, H., et al. (2005) Trends in total precipitation and frequency of daily precipitation extremes over China. *Climate*, **18**, 1096-1108. <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-3318.1>
- [8] 李红梅,周天军,宇如聪 (2008) 近四十年我国东部盛夏日降水特性变化分析. *大气科学*, **2**, 258-370.
- [9] 徐桂玉,杨修群 (2002) 我国南方暴雨一些气候特征的统计分析. *气候与环境研究*, **4**, 447-456.
- [10] 彭丽英,王谦谦,马慧 (2006) 华南前汛期暴雨气候特征的研究. *南京气象学院学报*, **2**, 249-253.
- [11] 余功梅 (1996) 华南地区近 40 年降水的气候特征. *热带气象学报*, **3**, 252-256.
- [12] 张婷,魏凤英 (2009) 华南地区汛期极端降水的概率分布特征. *气象学报*, **3**, 442-451.
- [13] 倪允琪,周秀骥 (2005) 我国长江中下游梅雨锋暴雨研究的进展. *气象*, **1**, 9-12.
- [14] 谢五三,田红 (2011) 近 50 年安徽省暴雨气候特征. *气象科技*, **2**, 160-164.
- [15] 张艳梅,江志红,王冀,等 (2008) 贵州夏季暴雨的气候特征. *气候变化研究进展*, **3**, 182-186.
- [16] 施能,黄先香,杨扬 (2003) 1948~2000 年全球陆地年降水量场趋势变化的时、空特征. *大气科学*, **6**, 971-982.
- [17] 魏凤英 (2007) 现代气候统计诊断与预测技术. 2 版,气象出版社,北京,77-82.
- [18] 陈忠明,闵文彬,缪强,等 (2004) 高原涡与西南涡耦合作用的个例分析. *高原气象*, **1**, 75-80.
- [19] 卢敬华 (1986) 西南低涡概论. 气象出版社,北京,275.
- [20] 任小玢,董治宝,周正朝 (2012) 近 50 年来四川盆地降水日数的时空变化特征. *水土保持通报*, **4**, 65-70.
- [21] 黄荣辉,顾雷,陈际龙,等 (2008) 东亚季风系统的时空变化及其对我国气候异常影响的最近研究进展. *大气科学*, **4**, 691-719.
- [22] 张庆云,陶诗言,张顺利 (2003) 夏季长江流域暴雨洪涝灾害的天气气候条件. *大气科学*, **6**, 1018-1030.
- [23] 胡宜昌,董文杰,何勇 (2007) 21 世纪初极端天气气候事件研究进展. *地球科学进展*, **10**, 1066-1075.
- [24] Gao, X.J., Zhao, Z.C. and Filippo, G. (2002) Changes of extreme events in regional climate simulations over East Asia. *Advances in Atmospheric Sciences*, **5**, 927-942.