

伍红雨, 杜尧东, 秦鹏. 华南暴雨的气候特征及变化[J]. 气象, 2011, 37(10): 1262-1269.

华南暴雨的气候特征及变化^{*1}

伍红雨 杜尧东 秦鹏

广东省气候中心, 广州 510080

提 要: 利用华南 110 个测站 1961—2008 年逐日降水资料, 采用线性趋势分析、Mann-Kendall 检验、小波分析、计算趋势系数等统计诊断方法, 分析了华南年和前、后汛期的暴雨日数、强度、贡献率等的气候特征及变化。结果表明, 近 48 年来, 华南年平均暴雨日数的地理分布总体上呈由沿海向内陆递减的趋势, 最多中心在广西东兴(14.9 d), 最少中心在广西隆林(3.2 d)。华南的暴雨 72% 发生在汛期, 其中前汛期占 45%, 后汛期占 27%。华南平均年和前、后汛期暴雨日数呈微弱上升趋势, 但不明显。年和前、后汛期暴雨日数具有明显的年际、年代际变化特征。华南平均年和前汛期的暴雨强度有微弱增加趋势, 特别是 2005 年以来升幅明显, 而后汛期暴雨强度有不明显减少趋势。华南年暴雨贡献率增加明显, 而前、后汛期暴雨贡献率增加并不明显。小波分析表明: 2000 年以来, 华南年、前、后汛期暴雨日数具有 2~3 a 和 3~4 a 准周期振荡。

关键词: 暴雨, 气候特征, 华南, Mann-Kendall 检验, 小波分析

Climate Characteristics and Variation of Rainstorm in South China

WU Hongyu DU Yaodong QIN Peng

Climate Center of Guangdong Province, Guangzhou 510080

Abstract: Based on the daily precipitation data at 110 observational stations during 1961—2008 in South China, the climatic characteristics and variation of torrential rain days, rainstorm intensity and contribution which is in annual, the first and second flood seasons in South China were studied by using statistical and diagnostic methods, such as linear regression analysis, Mann-Kendall test, wavelet analysis and the computation of trend coefficients. The results have shown that the annual mean torrential rain days have a decreasing trend from coastal regions to inland in South China in recent 48 years, the highest center is in Dongxing of Guangxi (14.9 d), and the lowest center is in Longlin of Guangxi (3.2 d). About 72% of the total torrential rain days occurred in the flood seasons with about 45% in the first season and 27% in the second season. The mean torrential rain days have increased faintly in annual, the first and second flood seasons in South China, but it is not obvious. There are the characteristics of interannual and interdecadal changes. The mean rainstorm intensity has increased faintly in annual and in the first flood season in South China. However, since 2005 it has become obviously. The mean rainstorm intensity has declined in the second flood season, but it is not obvious. The annual mean rainstorm contribution to the total rainfall has increased obviously, but the mean contribution is not obvious in the first and second flood seasons. The wavelet analysis has shown that the changes of torrential rain days, intensity and contribution which is in annual, the first and second flood seasons in South China have two significant periods of 2—3 a and 3—4 a.

Key words: rainstorm, climate characteristics, South China, Mann-Kendall test, wavelet analysis

* 中国气象局气候变化专项(CCSF-09-11 和 CCSF-09-03)和中国适应气候变化项目(ACCC)共同资助
2011 年 3 月 10 日收稿; 2011 年 4 月 22 日收修定稿
第一作者: 伍红雨, 主要从事短期气候预测、气候研究. Email: wuhy@grmc.gov.cn

引 言

华南地处低纬,属热带、亚热带季风气候区,由于其北面是欧亚大陆,南面临太平洋,因而季风气候特征极其显著。在适当的大气流场和特定的地形地势配合下,华南形成暴雨的水汽、热力及动力条件皆强于我国大陆其他区域,故华南暴雨发生频数之多、强度之大、季节之长皆居全国前列^[1],并且前、后汛期降水非常突出^[2-6],暴雨是导致华南洪涝灾害的主要原因。

气象学者对我国或区域的暴雨气候特征和成因的研究,取得很有意义的成果。如鲍名等^[7]利用 1961—2000 年全国 610 个测站逐日降水资料,分析我国近 40 年暴雨发生频率的年代际时空变化特征,指出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。彭丽英等^[2]利用华南 26 个站 1958—2000 年逐日降水资料,分析了华南前汛期暴雨降水的气候特征,指出华南前汛期暴雨降水量和频次的变化趋势都呈略减少的特征,华南的暴雨近 50% 集中发生在前汛期,其中又以福建与广东的西北部为甚,华南的西南部较小。刘海文等^[8]分析了华北暴雨的气候特征及变化,指出华北汛期降水量以及小雨、中雨、大雨、暴雨、大暴雨的频率及其贡献率都有一定的下降趋势,华北汛期降水量下降趋势最明显,而暴雨频率和大暴雨频率的下降趋势并不显著。迟竹萍^[9]分析了山东暴雨的气候特征及变化,指出山东夏季降水大部分地区为减少趋势,暴雨日降雨强度的变化与夏季降水量的减少关系更为密切。针对华南的不同地区,如邱军等、杨馥祯等、肖达承等、钟平威等、叶海平、蔡赛斌等^[10-15]分别分析了广东、海南、平远、海丰、肇庆、潮州等地区不同时间段暴雨的气候特征以及成因。欧艺^[16]分析广西汛期暴雨日数的变化与南海夏季风建立期的关系。由于暴雨受地理位置因素等影响,地域差异很大,近年来,随着全球气候变暖,极端气候事件频发。2008 年华南平均暴雨日数为 9.3 d,为近 48 年来最多的一年;2004 年的华南平均暴雨日数仅为 4.6 d,为 1961 年以来第 2 少,仅低于最少的 1963 年(3.5 d)。

对于华南暴雨日数、强度、贡献率等的总体气候特征及演变趋势等问题,目前还难从已有的研究中找到详细的答案,气象学者主要是对暴雨成因和机

理进行研究^[17-21]。有必要把华南作为独立区域,利用华南均一化的 110 个站 1961—2008 年的逐日降水资料,研究华南年和前、后汛期的暴雨日数、强度、贡献率等的气候特征及其变化,进一步了解华南暴雨的特征。

1 资料与方法

本文所用资料是华南区域气候中心整编、通过均一性检验的华南 110 个站点逐日降水量资料。代表站点采用三步筛选:一是各站建站年代参差不齐,本着使所建时间序列尽可能长、入选站点尽可能多的原则,选取 1961 年及以前建站的站点,排除 1962 年及更晚建站的测站。二是均一化检验,没有通过检验的,予以剔除;三是剔除 48 年中站点变动较大的测站(迁站超过 2 次的予以剔除)。共剔除 82 个,剩余 110 个气象站。资料的时段为 1961 年 1 月至 2008 年 12 月。文中华南包括广东、广西、海南三省区。

暴雨日数定义为日降水量 ≥ 50.0 mm 的日数,大暴雨日数定义为日降水量 ≥ 100.0 mm 的日数。平均暴雨强度定义为暴雨以上的降水量之和与暴雨日数之比,暴雨贡献率为暴雨以上降水量之和与同期降水总量之比。暴雨日数、暴雨强度、暴雨贡献率、暴雨以上降水量都分别形成年、前汛期、后汛期三个序列。华南前汛期为 4—6 月,后汛期为 7—9 月。

使用方法有:线性趋势分析、计算趋势系数等,方法见参考文献^[22-23],Mann-Kendall 检验、小波分析方法见参考文献^[24]。

2 结果分析

2.1 多年平均的华南暴雨日数的空间分布

图 1a 为华南 110 站 1961—2008 年平均年暴雨日数空间分布,从气候分布上,华南年暴雨日数存在明显差异,总体呈从沿海向内陆递减的趋势。多暴雨区出现在华南沿海和海南东部,年暴雨日数在 7.0~15.0 d,有三个中心,分别位于广西沿海的东兴(14.9 d)和钦州(11.0 d),广东沿海的海丰(13.6 d)、上川岛(12.4 d)以及海南琼中(10.8 d);华南西部和北部边缘为少暴雨区,年暴雨日数在 3.0~4.0 d,最少在广西隆林(3.2 d),其次广东乐昌(3.5 d),最多与最少相差达 11.7 d;其余大部分地区年暴雨日数在 5.0~7.0 d。

华南 48 年平均大暴雨日数空间分布(图 1b)和图 1a 相似,大暴雨日数在华南沿海和海南是大值区,年平均大暴雨日数 2.0~5.0 d,前三位是广西东兴(5.3 d),广东海丰(4.0 d)和上川岛(3.9 d);中部偏南和广西北部部分地区为次多区,大暴雨日数 1.0~2.0 d;其余地区 0.2~1.0 d,低值出现在华南的西北部,最少是广西隆林(0.2 d)。

图 1c 是华南前汛期各站多年平均暴雨日数空间分布。可看出,前汛期暴雨日数从沿海到内陆,从东到西逐渐减少,大值区位于华南沿海和广东中南部和广西东北部地区,达到 5.0~6.7 d,其中广东中南部的海丰(6.7 d)、佛冈(6.1 d)、阳春(5.4 d)为暴

雨日数前三名。小值区位于广西上思(1.2 d)、海南三亚(1.4 d),华南前汛期最多暴雨日数和最少暴雨日数相差 5.5 d。

图 1d 是华南后汛期各站多年平均暴雨日数空间分布。可见,后汛期暴雨日数同样由沿海向内陆递减,最多位于华南沿海,达到 3.0~5.2 d,其中最大暴雨日数中心在广西东兴(5.2 d),其他大于 3 d 降水的站点有 6 站,分别位于华南沿海和海南:广西钦州(3.4 d)、广东上川岛(3.4 d)、海丰(3.3 d)、普宁(3.2 d)、海南万宁(3.2 d)和琼中(3.1 d)。最小暴雨日数中心在广西平乐和荔浦,只有 0.5 d。

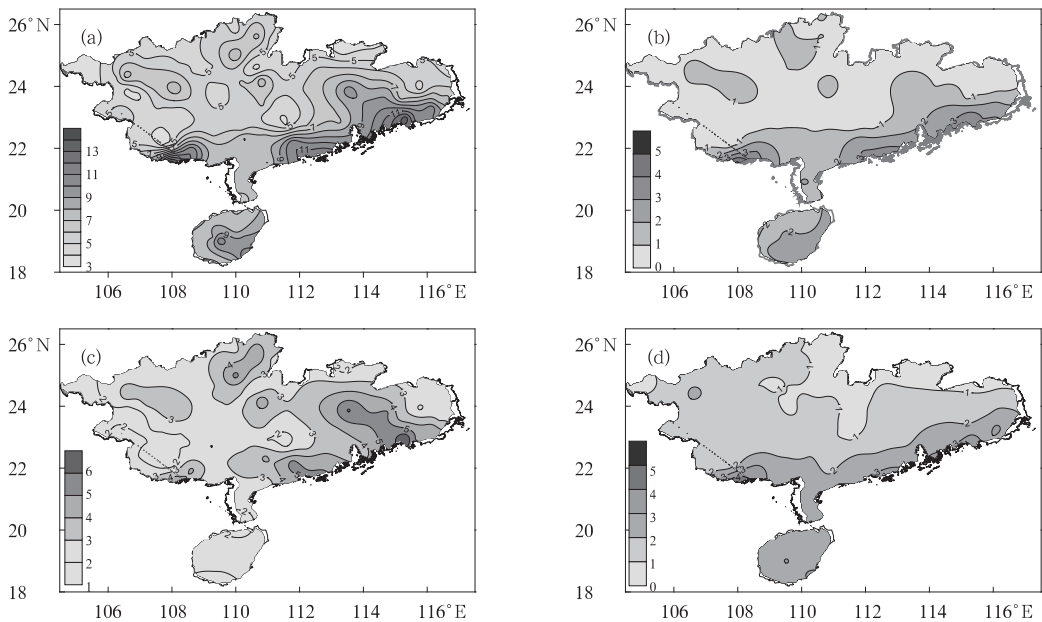


图 1 华南平均暴雨的年(a)、前汛期(c)、后汛期(d)和大暴雨(b)日数的空间分布(单位:d)

Fig. 1 The distributions of mean torrential rain days in South China (unit: d) for (a) annual, (b) annual extremely heavy rainstorm, (c) the first flood season, and (d) the second flood season

2.2 华南区域平均暴雨日数变化特征

2.2.1 年际、年代际变化及其突变分析

图 2a 是华南 110 个站空间平均后的年暴雨日数时间演变。可见,华南 48 年平均暴雨日数为 6.4 d,2008 年最多(9.3 d),1963 年最少(3.5 d)。48 年来,年暴雨日数以 0.18 d/10 a 的速率增加(趋势系数为 0.24),没有通过 0.05 的显著性水平检验,增加趋势不明显,这与徐桂玉等^[1]指出的:南方暴雨日数年际变化的趋势不明显,38 年来略有增加,但暴雨日数增幅很小的结论相一致。从多项式曲线看,华南平均年暴雨日数存在明显的年代际波动变化特征,20 世纪 60 年代前中期、80 年代以及

2000—2004 年处于少暴雨时段,20 世纪 70 年代、90 年代、2005 年以来处于多暴雨阶段,这与华南平均年降水量的年代波动(图 2b)很相似。从图 2b 可见,华南平均年降水量呈微弱的增加趋势,变化趋势不明显,这与任国玉等^[25]指出的 1951 年以来全国平均年降水量变化趋势不明显的结论相一致。

图 2c 和 2d 分别为华南 110 个站平均的前、后汛期暴雨日数的时间演变,可见,前、后汛期暴雨日数都为增加的趋势,其中前汛期平均暴雨日数为 2.9 d,占年平均暴雨日数的 45.3%,说明华南的暴雨近 45% 集中发生在前汛期,48 年来以 0.05 d/10 a 的速率增加(趋势系数为 0.11),但增加幅度很小。后汛期平均暴雨日数为 1.7 d,占年平均暴雨日数的

26.6%,以 0.09 d/10 a 的速率增加(趋势系数为 0.26),较前汛期暴雨日数增加幅度要大,但前、后汛期暴雨增加速率均未通过 0.05 显著性水平检验,增加趋势均不明显。从多项式曲线看,华南前、后汛期暴雨日数存在明显的年代际变化特征,前汛期,在 20 世纪 60 年代中期到 20 世纪 70 年代末处于多暴雨时段,2005 年以来暴雨增多明显,2008 年出现最多,其余处于少暴雨时段。后汛期,暴雨日数呈波动

上升,20 世纪 70 年代、90 年代处于多暴雨日数阶段,1994 年最高(2.7 d);2000 年后年际波动非常明显,2001 和 2002 年为 1961 年以来次高为 2.6 d,2005 和 2007 年为 1961 年以来最少,仅为 1 d。

华南前、后汛期暴雨日数占全年总暴雨日数的 71.9%,其中前汛期平均暴雨日数比后汛期多 1.2 d。华南年、前、后汛期暴雨日数都呈增加趋势,但都不明显。

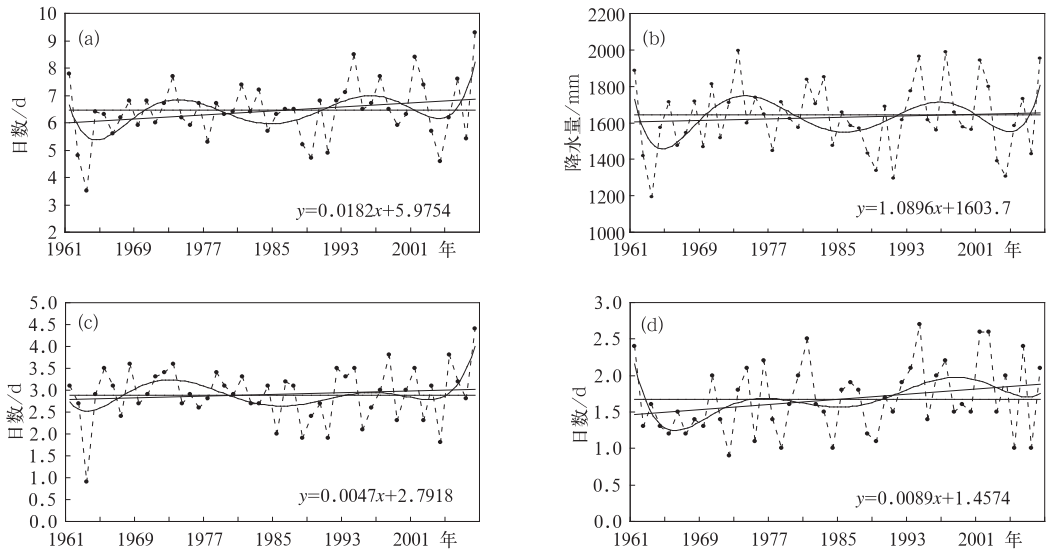


图 2 华南暴雨日数(单位:d)

(a) 年;(b)年降水量(b,单位:mm);(c)前汛期和(d)后汛期和的年际变化

虚线:暴雨日数(a),(c)和(d);降水量(b),实线:线性趋势,曲线:多项式拟合,水平直线:1971—2000年平均

Fig. 2 Interannual variations in torrential rain days in South China (unit: d) for (a) annual, (c) the first flood season, (d) the second flood season, and (b) annual total rainfall (unit: mm).

Dashed line is torrential rain days in (a), (c), (d), and (b) gives the annual total rainfall. Straight solid line is linear trend, curves are polynomial fitting, and level line is the mean during 1971—2000

对近 48 年华南区域平均的年和前、后汛期暴雨日数进行 Mann-Kendall 突变分析(图略)。李红梅等^[26]指出,由于目前突变检验方法的局限性,对于存在多年尺度波动序列的检测尚存在一些困难,检验结果中对对应两序列的交叉点不一定能说明存在跃变。因此,本文从更严格的条件出发,认为检验结果中只出现一个交叉点,而且该交叉点又位于 Mann-Kendall 检验显著水平范围内,才认为该交叉点对应的的时间是该时间序列的跃变时间。华南年、前、后汛期暴雨日数在 Mann-Kendall 统计曲线中多次出现交叉点,所以华南年和前、后汛期暴雨日数没有发生年代际突变,从其暴雨日数的长期变化来看,它们的增加趋势更多地表现出明显的渐变特征,而不是突变特征,与杨馥桢等^[11]分析海南岛 1966—2004 年暴雨日数的变化后指出:海南暴雨日数变化不明

显,未发生突变这一结论相一致。

2.2.2 区域平均暴雨日数的周期分析

小波变换方法是一种时频分析方法,运用小波变换的方法既可以了解时间序列不同时间的频率(周期)特征,又可以了解不同频率的时间分布特征。对 1961—2008 年华南暴雨日数的年、前、后汛期系列运用 Marlet 小波分析方法进行分析(图 3),得到不同时间尺度上的变化特征。

从图 3a 可以看出,华南年暴雨日数存在明显的年际变化和年代际变化特征。年暴雨日数的年际变化周期在 20 世纪 60 年代前中期、20 世纪 70 年代前期以及 2000 年以来,具有 3~4 a 的准周期变化,最强信号出现在 20 世纪 70 年代前期。年代际变化的周期是 8~9 a 的准周期变化,最强信号出现在 2000 年代中期。从图 3b 可以看出,华南前汛期

暴雨日数在 20 世纪 60 年代前中期具有 3~4 a 准周期,20 世纪 80 年代中后期、2000 年以来 2~3 a 的准周期最显著。年代际变化的周期是 14 a 左右的准周期变化,最强信号出现在 20 世纪 90 年代中后期。由图 3c 可见,华南后汛期暴雨日数在 20 世纪 70 年代前中期具有 3~4 a 准周期变化,2000 年以来 2~3 a 准周期最显著。可看出,2000 年以来,华南年、前、后汛期暴雨日数的周期振荡很相似,都具有 2~3 a 准周期振荡。从上面的分析可知,华南暴雨日数在年、前、后汛期均存在明显的年际变化和年代际变化特征。

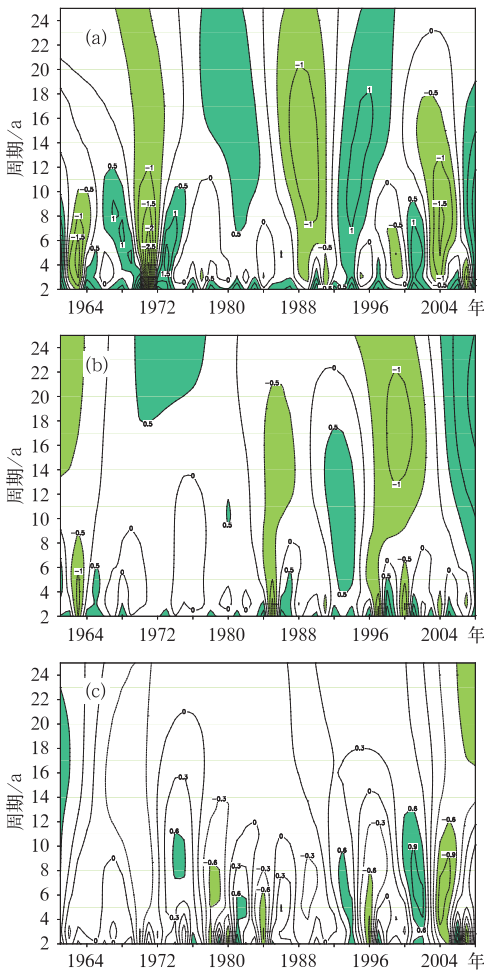


图 3 华南 1961—2008 年暴雨日数的 Marlet 小波分析的时频分布
(a) 年;(b) 前汛期;(c) 后汛期

Fig. 3 Temporal frequency distribution of Marlet wavelet analysis of torrential rain days in South China during 1961—2008
(a) annual, (b) the first flood season, and (c) the second flood season

2.3 华南区域平均暴雨强度的变化特征

图 4a 为华南 110 站平均的年暴雨强度距平的逐年变化。可见,1961—2008 年,华南年平均暴雨强度为 $78.9 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$,最大暴雨强度出现在 2008 年,距平达 $7.8 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$;最小暴雨强度发生在 1975 年,距平为 $-5.4 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 。48 年来,年平均暴雨强度距平以 $0.19 \text{ mm} \cdot (10 \text{ a} \cdot \text{d})^{-1}$ 的速率增加(趋势系数为 0.11),没有通过 0.05 显著性水平检验,增加趋势不明显。从多项式曲线看,20 世纪 60、90 年以来强度偏强,高于多年平均值,特别是 2005 年以来,暴雨强度增加明显,而 20 世纪 70、80 年代强度偏弱,低于多年平均值。

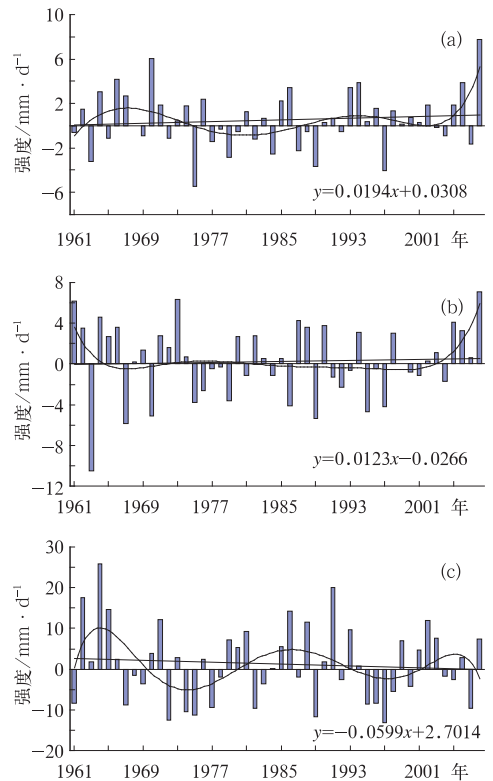


图 4 华南暴雨强度的年际变化
(单位: $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$)
(a) 年;(b) 前汛期;(c) 后汛期
柱状:暴雨强度,实线:线性趋势,
曲线:多项式拟合

Fig. 4 Interannual variations in rainstorm intensity in South China (a) annual, (b) the first flood season, and (c) the second flood season (unit: $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$)
Bar is torrential rain intensity, straight solid line is linear trend, curves are polynomial fitting

图 4b 为华南前汛期暴雨强度距平的逐年变化。可见,华南前汛期平均暴雨强度为 $78.0 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$,前汛期暴雨主要是锋面降水和夏季风降水,降水最大强度出现在 2008 年,距平达 $7.1 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$,这与 2008 年广东的“龙舟水”为有气象记录以来最强相对应。最小暴雨强度发生在 1963 年,距平达 $-10.5 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 。48 年来,前汛期平均暴雨强度距平以 $0.12 \text{ mm} \cdot (10 \text{ a} \cdot \text{d})^{-1}$ 的速率增加(趋势系数为 0.11),但未通过 0.05 显著性水平检验,说明增加趋势不明显。从多项式曲线看,前汛期暴雨强度年际波动明显,2005 年以来,暴雨强度增加明显。

图 4c 为华南后汛期暴雨强度的逐年变化。可见,华南后汛期平均暴雨强度为 $82.8 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$,强度比年和前汛期降水强度大,华南后汛期降水主要由于热带气旋所导致。最大强度出现在 1964 年,距平达 $25.8 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$;最小强度发生在 1997 年,距平达 $-13.2 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 。从多项式曲线看,20 世纪 60、80 年代、2000 年以来,后汛期暴雨强度偏强;20 世纪 70、90 年代偏弱。48 年来,后汛期平均暴雨强度以 $-0.60 \text{ mm} \cdot (10 \text{ a} \cdot \text{d})^{-1}$ 的速率减少(趋势系数为 -0.24),没通过 0.05 显著性水平检验,暴雨强度减少不明显。

以上分析说明华南区域平均年和前汛期的暴雨强度有增加趋势,但不明显,而后汛期暴雨强度呈不明显减少趋势。对近 48 年华南平均年、前、后汛期暴雨强度距平进行 Mann-Kendall 突变分析(图略),在近 48 年均没有突变发生。

2.4 华南区域平均暴雨贡献率的变化特征

为了研究暴雨在降水中的作用,分别计算了华南年、前、后汛期暴雨贡献率。图 5a 为华南 110 站平均年暴雨贡献率(华南年暴雨贡献率为年暴雨以上降水量之和与年总降水量之比)的逐年变化。可见,1961—2008 年,华南多年平均暴雨贡献率为 30.1%,即华南年降水中有 3 成是由暴雨产生。最大暴雨贡献率出现在 2008 年,达 40.4%,最小暴雨贡献率发生在 1963 年,为 21.5%。48 年来,年暴雨贡献率以 $0.74 \% / 10 \text{ a}$ 的速率显著增加(趋势系数为 0.34),通过 0.05 显著性水平检验,增加趋势很明显,说明暴雨对降水的贡献呈明显增多的趋势。从多项式曲线看,20 世纪 60、90 年代高于多年平均值;20 世纪 80 年代、2000 年以来低于多年平均值,2006 和 2008 年暴雨贡献率增加明显。

计算华南区域平均年暴雨以上降水量系列与年降水系列的相关系数,为 0.89,说明华南年暴雨以上降水量的变化与年总降水量的变化很相似,且暴雨日数与降水存在明显的正相关关系,多雨的年份一般暴雨也较多;反之,少雨的年份一般暴雨也较少。计算华南区域平均前、后汛期暴雨以上降水量系列与同期降水总量序列的相关系数分别为 0.91 和 0.65,进一步说明汛期暴雨以上降水的多少也决定汛期降水总量的多少,特别是前汛期暴雨影响最明显。刘海文等^[8]指出华北大雨的贡献率最大,几乎接近降水总量的 1/3。可见对华南、华北的最大降水贡献率是不一样的,华南是暴雨,华北是大雨。

图 5b 为华南前汛期暴雨贡献率(华南前汛期暴雨贡献率为前汛期暴雨以上降水量之和与前汛期降水总量之比)的逐年变化。可见,华南前汛期平均暴雨贡献率为 31.5%,即华南前汛期降水中有 3 成也是由暴雨产生。最大出现在 2008 年,贡献率达 41.4%。最小暴雨贡献率发生在 1963 年,为 16.8%,这与 1963 年降水为 1961 年以来降水最少相一致。进一步说明华南年降水多少与前汛期暴雨降水多少密切相关。48 年来,前汛期暴雨贡献率以 $0.49 \% / 10 \text{ a}$ 的速率增加(趋势系数为 0.22),未通过 0.05 显著性水平检验,增加趋势不明显。从多项式曲线看,前汛期暴雨贡献率年际波动明显,2005 年以来,暴雨贡献率增加明显。

图 5c 为华南后汛期暴雨贡献率(华南后汛期暴雨贡献率为后汛期暴雨以上降水量之和与后汛期降水总量之比)的逐年变化。可见,华南后汛期平均暴雨贡献率为 19.7%,即华南后汛期降水中有近 2 成是由暴雨产生。最大贡献率出现在 1981 年,贡献率达 29.4%。最小贡献率发生在 1978 年,为 10.2%。48 年来,后汛期平均暴雨贡献率趋势系数为 0.20,未通过 0.05 显著性水平检验,变化趋势不明显,但 2000 年以来,后汛期暴雨贡献率年际波动变化非常明显。

以上分析说明华南区域平均年暴雨贡献率增加明显,而前、后汛期的暴雨贡献率增加并不显著。年暴雨贡献率的明显增加与年暴雨日数、暴雨强度的变化趋势明显大于年降水量的变化趋势有关。对近 48 年华南平均年、前、后汛期暴雨贡献率进行 Mann-Kendall 突变分析(图略),在近 48 年均未有突变发生。

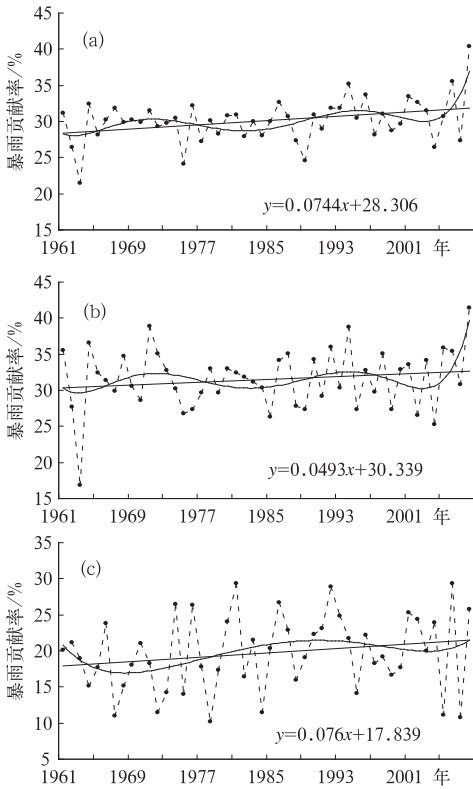


图 5 华南暴雨贡献率的年际变化 (单位: %)
(a) 年; (b) 前汛期; (c) 后汛期
虚线: 暴雨贡献率, 实线: 线性趋势线,
曲线: 多项式拟合

Fig. 5 Interannual variations in rainstorm contribution to the total rainfall in South China
(a) annual, (b) the first flood season, and
(c) the second flood season (unit: %)
Dashed line is contribution, straight solid line
is linear trend, curves are polynomial fitting

2.5 华南站点年及前、后汛期暴雨以上降水量的气候变化

由于降水量的变化存在着明显的区域特征, 下面具体分析华南 110 个站点暴雨以上降水量的变化趋势系数。由图 6a 可得出, 110 个站中有 86 个站为正趋势, 其中有 12 个站超过 0.29, 通过 0.05 的显著性水平检验, 主要位于广西的中部以北地区和海南三亚, 最强正趋势为广西宜州 (0.40)。说明华南大部分地区暴雨以上降水量在增加, 但增加趋势不明显。有 24 个站为负趋势, 主要位于广东西北部和广西东部地区, 但趋势系数在 $-0.003 \sim -0.23$, 都没有通过 0.05 的显著性水平检验, 减少趋势不明显。近 48 年来, 华南区域 110 站平均年降水量的变化趋势系数为 0.08, 说明华南平均年降水量的变化趋势不明显。

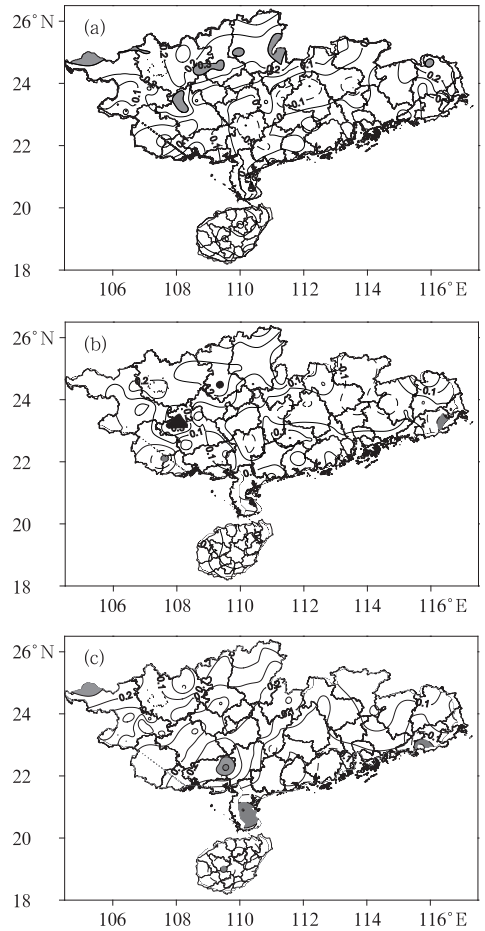


图 6 华南暴雨以上降水量的趋势系数分布
(a) 年; (b) 前汛期; (c) 后汛期
阴影为通过 0.05 显著性水平检验的地区

Fig. 6 The distribution of trends of rainfall exceeding rainstorm in South China
(a) annual, (b) the first flood season,
and (c) the second flood season
Shading is significant at a 0.05 significance level

由图 6b 可看出, 华南前汛期暴雨以上降水量的变化趋势系数, 110 个站中有 105 个站的趋势系数在 $-0.27 \sim 0.27$ (正趋势有 67 站, 负趋势有 38 站), 都没有通过 0.05 显著性水平检验, 说明华南大部分地区变化趋势不明显。有 5 个站的趋势系数在 $0.30 \sim 0.36$, 是广西沙塘、武鸣、隆安、马山和广东平远, 通过 0.05 显著性水平检验, 增加趋势明显。进一步说明华南前汛期大部分站点暴雨以上降水量变化趋势不明显, 在广西中部的部分地区增加趋势明显。

由图 6c 可见, 华南后汛期暴雨以上降水量的趋势系数, 110 个站中有 74 个站为正趋势, 说明华南除大部分地区的后汛期暴雨以上降水量有增加的趋势, 但只有广西的浦北、隆林、宜州、田阳、灌阳、荔浦、象州这 7 站的变化趋势系数在 $0.29 \sim 0.46$, 通

过 0.05 的显著性水平检验,增加趋势明显,最大出现在浦北(0.46)。有 36 个站的趋势系数在 $-0.002 \sim -0.35$, 主要位于华南沿海,其中只有广东的陆丰(-0.35)、雷州(-0.31)通过 0.05 的显著性水平检验,减少明显。说明华南后汛期大部分站点暴雨以上降水量变化趋势不明显。

以上分析说明华南大部分地区年、前、后汛期的暴雨以上降水量有增加的趋势,但不明显,其中只有广西中部以北局地增加趋势明显。

3 结 论

利用华南 110 个测站 1961—2008 年逐日降水资料,对华南暴雨日数、强度、贡献率等的变化特征及其突变和周期等进行研究。得到以下结论:

(1) 1961—2008 年华南站点平均的年和前、后汛期暴雨日数地域分布存在明显差异,暴雨日数总体上呈由沿海向内陆递减的趋势,大值出现在华南沿海,中心出现在广西东兴(14.9 d),最少出现在广西隆林(3.2 d),相差达 11.7 d。

(2) 华南 48 年来平均暴雨日数为 6.4 d,其中前汛期 2.9 d,后汛期 1.7 d,前、后汛期暴雨日数占全年总暴雨日数的 71.9%。华南年、前、后汛期暴雨日数都呈增加趋势,但很微弱,并具有明显的年际、年代际变化。20 世纪 60 年代前中期、80 年代以及 2000—2004 年处于少暴雨时段,20 世纪 70 年代、90 年代、2005 年以来处于多暴雨阶段。2008 年出现了 1961 年以来年和前汛期的最大暴雨日数。华南年和前、后汛期暴雨日数没有发生年代际突变。华南年、前、后汛期暴雨日数都具有 2~3 年和 3~4 年两个准周期。

(3) 华南平均年和前汛期的暴雨强度有增加趋势,但不明显,而后汛期暴雨强度呈不明显的减少趋势。华南平均年暴雨强度在 20 世纪 60 年代、90 年以来强度偏强,特别是 2005 年以来,暴雨强度增加明显。20 世纪 70 年代、80 年代强度偏弱。华南年和前、后汛期暴雨强度在近 48 年均没有突变发生。

(4) 华南多年平均暴雨贡献率为 30.1%。48 年来,年暴雨贡献率增加趋势明显,而前、后汛期的暴雨贡献率增加并不明显。华南年、前、后汛期暴雨贡献率没有发生年代际突变。

(5) 华南大部分地区年和前、后汛期的暴雨以上降水量有不明显的增加趋势,只有广西中北部局地增加明显;在后汛期,暴雨以上降水量在华南沿海有减少趋势,但只有陆丰、雷州减少明显。

参考文献

- [1] 桂桂玉,杨修群. 我国南方暴雨一些气候特征进行的统计分析[J]. 气候与环境研究,2002,7(4):447-456.
- [2] 彭丽英,王谦谦,马慧. 华南前汛期暴雨气候特征的研究[J]. 南京气象学院学报,2006,29(2):249-253.
- [3] 余功梅. 华南地区近 40 年降水的气候特征[J]. 热带气象学报,1996,2(3):252-256.
- [4] 郑彬,梁建茵,林爱兰,等. 华南前汛期的锋面降水和夏季风降水 I. 划分日期的确定[J]. 大气科学,2006,30(6):1207-1216.
- [5] 李江南,王安宇,蒙伟光,等. 广东省前汛期和后汛期降水的气候特征[J]. 中山大学学报(自然科学版),2002,41(3):91-94.
- [6] 邓立平,王谦谦. 华南前汛期 4—6 月降水异常特征及其与我国近海海温的关系[J]. 热带气象学报,2002,18(1):45-55.
- [7] 鲍名,黄荣辉. 近 40 年我国暴雨的年代际变化特征[J]. 大气科学,2006,30(6):1057-1067.
- [8] 刘海文,丁一汇. 华北汛期日降水特性的变化分析[J]. 大气科学,2010,34(1):13-21.
- [9] 迟竹萍. 近 45 年山东夏季降水时空分布及变化趋势分析[J]. 高原气象,2009,28(1):220-226.
- [10] 邱军,李江南,梁毅进,等. 广东省持续性暴雨的气候特征[J]. 热带地理,2008,25(5):33-36.
- [11] 杨馥祯,吴胜安. 近 39 年海南岛极端天气事件频率变化[J]. 气象,2007,33(3):107-113.
- [12] 肖达承,何新雄,吴连华. 平远县近 49 年来暴雨的变化特征[J]. 广东水利水电,2010,(3):45-46,50.
- [13] 钟平威,陈敏,孙喜艳. 广东海丰县暴雨的气候特征[J]. 广东气象,2009,31(3):26-28.
- [14] 叶海平. 肇庆市冬季暴雨的气候统计浅析[J]. 广东气象,1999,(1):8-10.
- [15] 蔡赛斌,凌良新,唐仰华. 广东潮州暴雨的气候特征及成因分析[J]. 安徽农业科学,2009,37(33):16462-16464.
- [16] 欧艺. 广西汛期暴雨特征及其与南海夏季风建立期的关系[J]. 热带地理,2009,29(1):16-25.
- [17] 倪允琪,周秀骥. 我国长江中下游梅雨锋暴雨研究的进展[J]. 气象,2005,31(1):9-12.
- [18] 尹洁,吴静,曹晓岗,等. 一次冷锋南侧对流性暴雨诊断分析[J]. 气象,2009,35(11):39-47.
- [19] 罗建英,廖胜石,黄归兰,等. 广西前汛期锋前暖区暴雨过程的模拟与分析[J]. 气象,2009,35(10):50-57.
- [20] 廖胜石,罗建英,蔡蓂宁. "05·6"华南致洪暴雨过程中 FY2C 卫星 TBB 场分析[J]. 气象,2007,33(1):81-86.
- [21] 黄忠,吴乃康,冯业荣,等. 2007 年 6 月粤东持续性暴雨的成因分析[J]. 气象,2008,33(4):53-60.
- [22] 施能,陈家其,屠其璞. 中国近 100 年四个年代际的气候变化特征[J]. 气象学报,1995,53(4):431-439.
- [23] 施能. 北半球冬季大气环流遥相关型的长期变化及其与我国气候变化的关系[J]. 气象学报,1996,54(6):675-683.
- [24] 魏凤英. 现代气候统计诊断预测技术[M]. 北京:气象出版社(第二版),2007:23-71.
- [25] 任国玉,郭军,徐铭志,等. 近 50 年中国地面气候变化基本特征[J]. 气象学报,2005,63(6):942-956.
- [26] 李红梅,周天军,宇如聪. 近四十年我国东部盛夏日降水特性变化分析[J]. 大气科学,2008,32(2):358-370.