

近37年来湖南暴雨时空变化特征分析

王琪¹ 吴贤云²

(1 湖南省气象服务中心, 长沙 410108; 2 湖南省气候中心, 长沙 410108)

摘要: 利用湖南97个气象站1981—2017年逐日降水资料, 采用线性趋势分析、集合经验模态分解(EEMD)等方法, 分析了湖南近37年来年暴雨和大暴雨日数、强度、贡献率等气候特征。结果表明, 近37年来, 湖南年平均暴雨日数在地理上总体呈北多南少的分布。最大值出现在湘中一带, 有两个中心, 分别位于南岳高山站(暴雨为6.95 d; 大暴雨为1.19 d)和安化(暴雨为6.10 d; 大暴雨为1.16 d); 最小值出现在湘西南的怀化城步(暴雨为2.40 d; 大暴雨为0.11 d)。湖南年暴雨与大暴雨日数、强度及对降水的贡献率自1981—2017年均呈显著上升趋势, 暴雨与大暴雨日数的2~3年、4~8年周期变化性质明显, 且近些年来, 有变化频率加快的趋势。

关键词: 暴雨, 湖南, 气候特征, EEMD

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2020.03.013

Climate Characteristics of Rainstorm in Hunan in the Last 37 Years

Wang Qi¹, Wu Xianyun²

(1 Hunan Meteorological Service Center, Changsha 410108 2 Hunan Climate Center, Changsha 410108)

Abstract: Based on daily precipitation of 97 meteorological observation stations in Hunan Province, statistical diagnostic analyses on annual rainstorm days and heavy rainstorm days over past 37 years (1981-2017) were performed by using several methods, such as linear trend analysis, EEMD (Ensemble Empirical Mode Decomposition). Results show that, generally, the spatial distribution of the annual-averaged rainstorm days had a decreasing trend from north to south, with two distinct high-value centers, one being in Nanyue Station (6.95 days of rainstorm and 1.19 days of heavy rainstorm), the other in Anhua and its surrounding areas (6.1 days of rainstorm and 1.16 days of heavy rainstorm). The lower values appeared in southwest part of Hunan, with the minimum center in Chengbu county (2.4 days of rainstorm and 0.11 days of heavy rainstorm). The rainstorm and heavy rainstorm days, intensities and their contributions to yearly rainfall had a increasing trend. Finally, the days of both rainstorm and heavy rainstorm had obvious 2-3 year and 4-8 year periodic variations, respectively, which tended to have an accelerating frequency in recent years.

Keywords: rainstorm, Hunan, climate characteristics, EEMD

0 引言

近年来, 许多学者对我国暴雨气候变化开展了广泛研究, 取得了大量科研成果。鲍名等^[1]研究表明, 长江流域暴雨呈增多的趋势, 华北暴雨却呈减少的趋势。孙杰等^[2]采用趋势分析、周期分析和突变检验等方法揭示了华中地区年降水量整体表现为增多的趋势, 但各站表现不一, 大部分站增多的趋势不明显。贺芳芳等^[3]研究表明, 上海1995年以来呈现暴雨强度增强、持续时间变短的变化趋势。朱宵峰等^[4]采用小波分析方法分析出长江下游地区汛期暴雨呈现增加的趋势, 并具有多重时间尺度的周期变化。白淑英等^[5]利用近50年的长江流域逐日降水资料, 分析了长江流

域年均暴雨日数时空变化特征, 指出长江流域暴雨变化具体区域性, 长江中下游大部分区域暴雨日数有增加的趋势。张天宇等^[6]对三峡库区气象站1961—2008年各气象要素的资料, 系统地分析了库区48年的气候变化特征, 并探讨了三峡水库的局地气候效应, 指出了局地地形对暴雨的影响较大。

众所周知, 暴雨的局地性较强, 由于受地型的影响, 往往存在一些暴雨易发地, 同时, 暴雨的变化特征在不同的区域差异较大, 有些区域出现暴雨频次增加, 有些区域却在减少, 加强这方面的研究, 对暴雨预报与暴雨灾害评估有着直接的指示作用。本研究主要是利用湖南现有的97个观测站资料, 分析湖南暴雨地域分布及其变化特征, 旨在为湖南暴雨预报提供有益参考。

收稿日期: 2019年5月26日; 修回日期: 2019年11月19日
第一作者: 王琪(1961—), Email: 104309296@qq.com

1 资料与方法

本文所用资料是经过质量控制了的湖南97个站点逐日降水量资料。资料的时段为1981—2017年。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、平均暴雨强度、暴雨贡献率、暴雨以上降水量都分别形成年、雨季(MJJ)两个序列。

使用方法包括线性趋势分析、集合经验模态分解(EEMD)方法等。本文使用这些方法分析湖南近37年来暴雨日数的空间分布、暴雨日数变化特征、暴雨强度的变化特征及暴雨贡献率的变化特征。

2 暴雨日数的空间分布

暴雨日数是指日雨量 ≥ 50 mm的降水日数。图1

为1981—2017年平均年暴雨日数和大暴雨日数的空间分布图。湖南年平均暴雨日数为3.88 d，总体分布为北多南少，有三个暴雨日数大值区，最大值出现在南岳山(6.95 d)，第二个大值区出现在安化(6.10 d)，第三个大值区出现在湖南东北角岳阳临湘(5.70 d)，湖南西南部为少暴雨区，年暴雨日数在2.0~3.0 d，最少在邵阳城步(2.40 d)，最多与最少相差达4.55 d，湖南暴雨地区差异较为明显(图1a)。

湖南近37年来，大暴雨日数的空间分布(图1b)与暴雨分布大体相同，平均大暴雨日数为0.51 d，总体上也是北多南少，最多大暴雨日数出现在高山站南岳山站(1.19 d)，但范围比较小，第二个大值中心出现在益阳安化(1.16 d)，与其相邻的沅陵、辰溪的大暴雨日数也在1.0 d附近，这主要与湖南的地形影响相关。其小值区出现在湖南的西南部(邵阳城步，0.11 d)。湖南大暴雨的区域差异也比较明显。

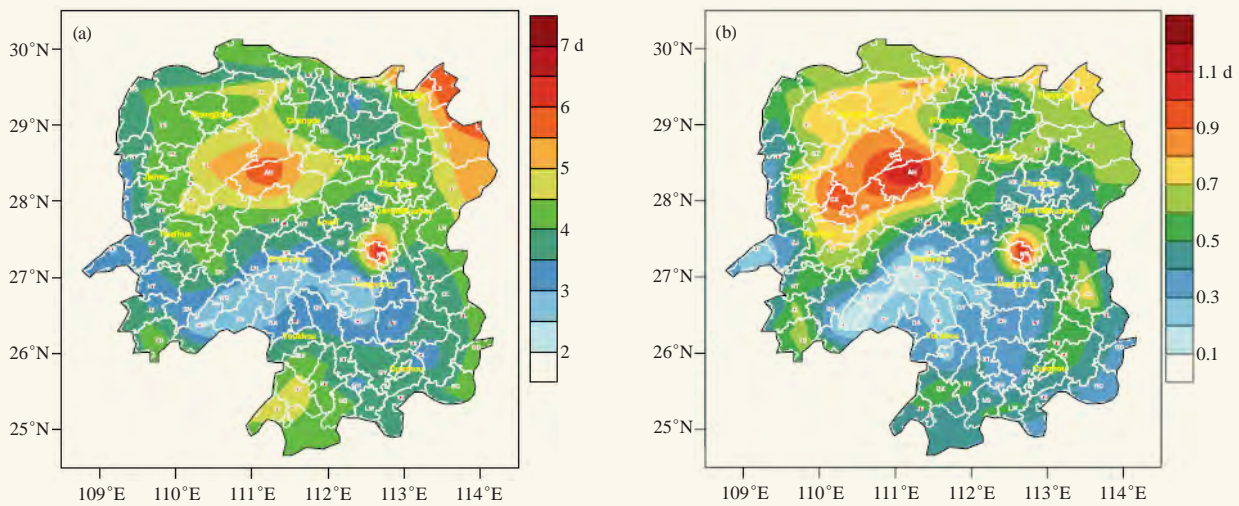


图1 1981—2017年湖南平均年暴雨日数(a)、大暴雨日数(b)的空间分布

Fig. 1 The spatial distribution of annual rainstorm days (a) and heavy rainstorm days (b) in Hunan (from 1981 to 2017)

3 暴雨日数的变化特征

3.1 暴雨日数的年际变化

图2为湖南年平均暴雨日数与大暴雨日数。从图2a可以看出，近37年来湖南平均暴雨日数为3.88 d，2002年最多(6.62 d)，1985年最少(2.27 d)。1981—2017年湖南暴雨稍有增多的趋势。20世纪90年代末期至21世纪初，是湖南暴雨显著增多的时期，在那段时期，湖南的年降水量也明显增多。由图2b可见，1981—2017年湖南的大暴雨也呈逐步上升的趋势。

3.2 暴雨日数的月变化

对1981—2017年湖南暴雨与大暴雨日数按月进

行统计(图3)，可以发现，湖南的暴雨各月均可以发生，1—12月呈单峰型分布，6月发生的暴雨日数最多(1.02 d)，7月、5月次之(分别为0.72 d与0.64 d)，1月最少(0.01 d)，12月次之(0.03 d)，与湖南月降水的分布相似。湖南的大暴雨在冬季(12月一次年2月)没有出现过，发生最多的月份为6月(0.17 d)，7月次之(0.15 d)。

3.3 暴雨日数的周期分析

湖南暴雨主要发生在夏季，受季风活动影响很大，夏季季风活动具有较强的周期振荡特征，由此是否可以推测湖南暴雨也具有周期变化性质？降水演变具有非线性非平稳特征，这里采用EEMD方法分析湖

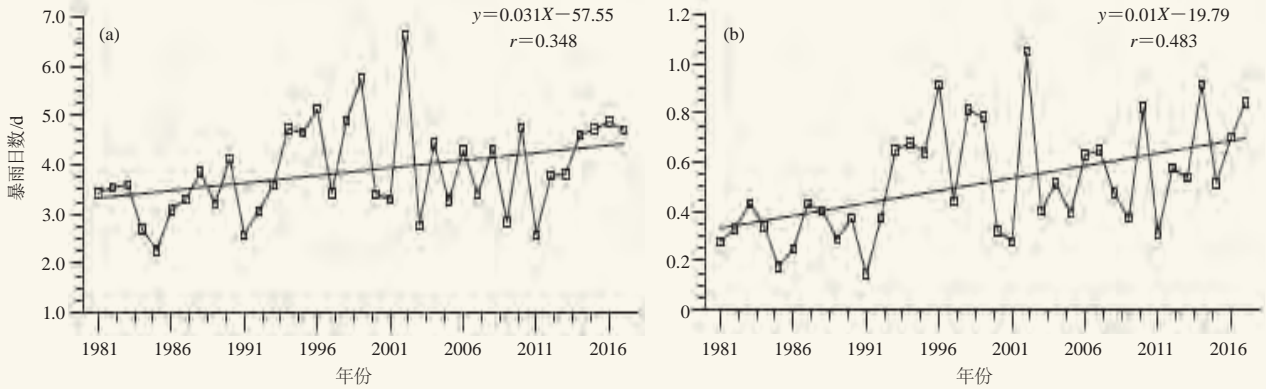


图2 湖南1981—2017年年平均暴雨日数 (a) 与大暴雨日数 (b)
Fig. 2 Annual days of rainstorm (a) and heavy rainstorm (b) from 1981 to 2017 in Hunan

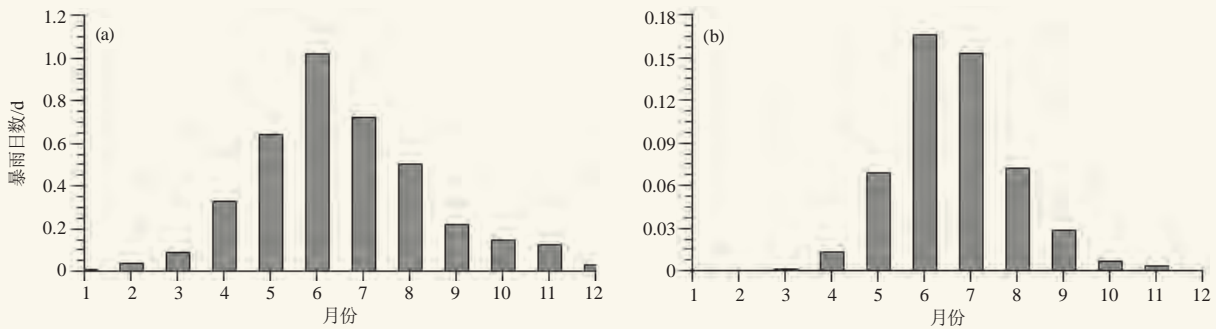


图3 湖南1981—2017年暴雨 (a) 与大暴雨月际分布
Fig. 3 Monthly distribution of rainstorm (a) and heavy rainstorm (b) in Hunan from 1981 to 2017

南年暴雨与大暴雨日数的可能周期变化性质。表1和图4是1981—2017年的暴雨日数的经验模态分解结果。

表1 湖南年暴雨日数EEMD分析

Table 1 EEMD analysis of annual rainstorm days in Hunan

	平均周期/年	相关系数	方差	方差贡献率/%
IMF1	2~3	0.78	0.57	74.6
IMF2	4~8	0.27	0.11	14.5
IMF3	18	0.50	0.07	9.2
IMF4	21	0.44	0.01	1.5
IMF5	36	0.14	0.001	0.2

注: IMF是EEMD分解的分量, 其中1~5表示分解出来的第1~5个分量

从1981—2017年湖南暴雨日数变化来看(图4a), 在20世纪90年代至本世纪初, 湖南有一个暴雨日数多发期, 而20世纪80—90年代初, 暴雨日数明显偏少, 但近些年来, 暴雨日数又有增多的趋势, 这与湖南年降水的总体趋势基本一致。对暴雨日数进行EEMD分析, 选取5个本征函数, 从分析结果来看, 这5个本征函数均体现了湖南暴雨日数的周期性质(表1)。

湖南暴雨日数呈现了多种周期变化。其中2~3年周期变化最为显著, 方差贡献率达到74.6%, 与原序列的相关系数达到78%(图4b)。在20世纪80—90年代中期, 基本表现为3年的变化周期, 而在20世纪

90年代中后期至21世纪前10年, 其变化频率加大, 基本上为2年一个周期(偏多、偏少交替出现)。第二个为4~8年的变化周期, 方差贡献率达14.5, 相关系数为27%, 这一周期变化也呈阶段性转折, 在2000年以前, 基本上表现为8年左右的变化周期, 而进入21世纪以后, 其周期相对变小, 为4~6年(图4c)。另外, 还存在18年(图4d)、21年(图4e)与36年(图4f)左右的周期变化特征。

同样, 对湖南大暴雨日数进行EEMD分析(图略), 得到湖南大暴雨日数与湖南暴雨日数基本相同的周期变化性质, 其中, 2~3年与4~8年为其主要周期, 方差贡献率分别达到67.4%与20.1%。

4 平均暴雨强度的变化特征

平均暴雨强度表示发生暴雨时, 平均雨量的大小。它反映在较长时间尺度上强降水的集中程度。图5为湖南年暴雨及大暴雨强度距平年际变化。1981—2017年, 湖南年平均暴雨强度为 $74.1 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$, 整体来看, 20世纪80—90年代初, 暴雨强度偏少, 基本上为负距平, 而从90年代开始, 只有少数几年为负距平, 大部分年份为正距平(图5a)。最大暴雨强度出现在1998年, 距平达 $6.39 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$, 其次为2017年, 距平为 $5.78 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$; 最小暴雨强度发生在

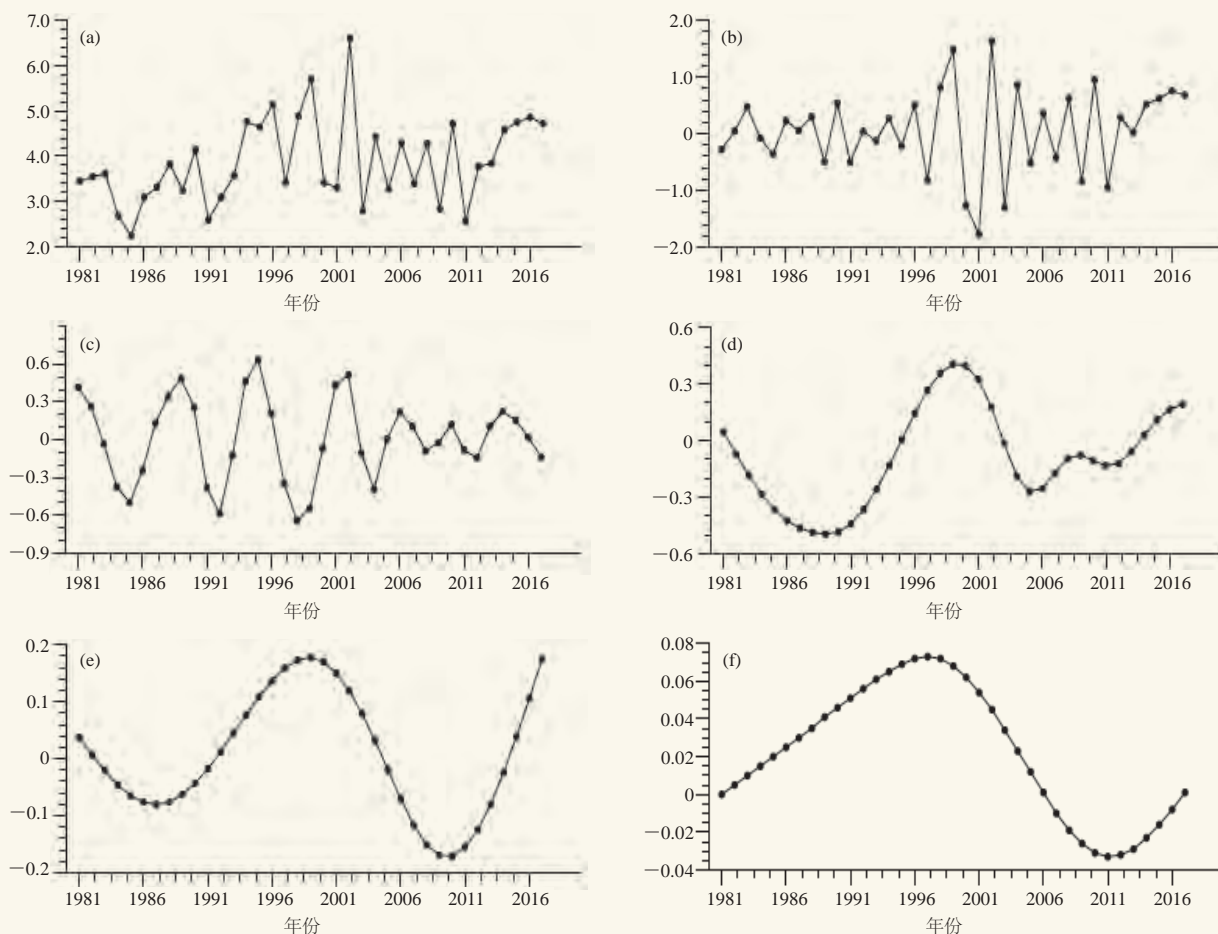


图4 1981—2017年湖南暴雨日数集合经验模态分解 (单位: d)

(a) 原始序列, (b~f) 第1~5模态

Fig. 4 The results of EEMD of rainstorm days in Hunan form 1981 to 2017 (unit: d)

(a) original values, (b-f) the 1-5th IMF

1986年, 距平为 $-5.48 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$, 其次为1985年, 距平为 $-5.39 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$, 近37年来年平均暴雨强度距平以 $0.17 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$ 的速率增加 ($P < 0.01$)。

湖南的大暴雨强度变化与暴雨变化不尽相同(图5b)。大暴雨的平均强度为 $130.7 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$, 1981—2017年, 其强度变化趋势不明显, 每10年稍增加 $0.8 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$, 比暴雨增加的幅度小, 且没有通过0.01的显著性检验。大暴雨强度最大的年份出现在1991年, 距平为 $15.1 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$, 其次为1998年, 为 $13.4 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$, 最小的年份出现在2005年, 距平为 $-14.7 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$, 其次为2001年, 为 $-13.2 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$ 。

5 暴雨贡献率的变化特征

暴雨的贡献率是指该地区总降水量中暴雨占多大的比例。图6为湖南年暴雨量及大暴雨量分别占年降水量的比例变化。从图6a可以看出, 1981—2017年, 湖南多年平均暴雨贡献率为20.3%, 即湖南年降

水中有2成多是由暴雨所贡献的。最大暴雨贡献率出现在1999年, 达28.4%, 最小暴雨贡献率发生在1985年, 为13.3%。近37年来年暴雨贡献率以1.8%/10a的速率显著增加, 通过了0.01的显著性水平检验, 增加趋势较明显。

对湖南大暴雨的贡献率计算得知, 1981—2017年湖南大暴雨的对年降水的平均贡献率为4.7%, 最多年份出现在1996年, 贡献率为8.5%, 最小出现在1991年, 贡献率为1.6%, 从近37年来看, 湖南大暴雨对年降水的贡献率也呈显著增加的趋势, 每10年增加了0.9%, 通过了0.01的显著性水平检验。

湖南的年降水量(图略), 1981—2017年变化趋势不明显, 而暴雨与大暴雨对降水的贡献率呈增加的趋势, 这与湖南暴雨的发生频次及暴雨强度增强的结论相一致。这也说明了, 在气候变暖的大背景下, 湖南极端强降水事件有增强的趋势。

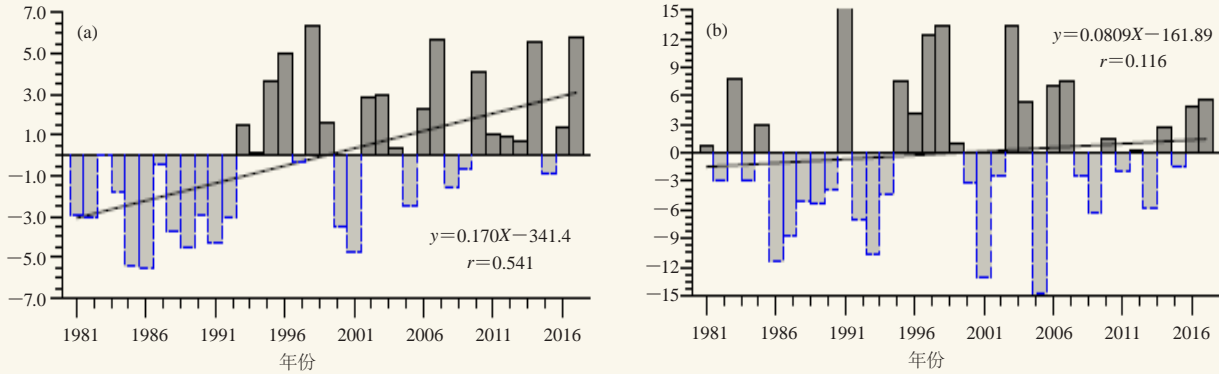


图5 湖南1981—2017年年暴雨 (a) 及大暴雨 (b) 平均强度距平变化
(单位: $\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$, 色条表示强度值, 实线表示线性趋势)

Fig. 5 Annual variations of intensity of rainstorm (a) and heavy rainstorm (b) in Hunan from 1981 to 2017
(unit: $\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$, colored bar: intensity values, solid line: its linear trend)

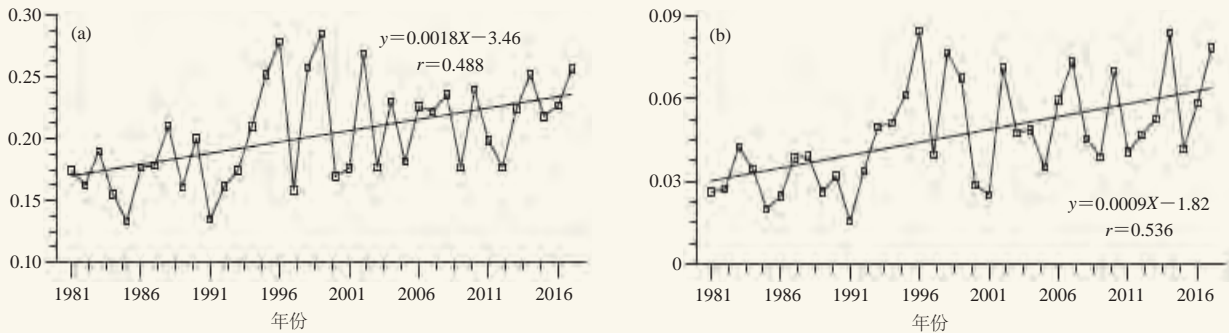


图6 湖南1981—2017年暴雨 (a) 与大暴雨 (b) 贡献率年际变化
(虚线: 暴雨贡献率, 实线: 线性趋势线)

Fig. 6 Annual contribution rate to total rainfall of rainstorm (a) and heavy rainstorm (b) in Hunan from 1981 to 2017 (line with markers represents contribution rate, solid line represents the linear trend)

6 结论

1) 1981—2017年湖南平均暴雨与大暴雨日数总体呈现北多南少的分布特征, 大值中心除开南岳高山站外, 另外一个中心就是安化(暴雨6.1 d, 大暴雨1.16 d), 说明安化是本省的一个主要暴雨中心。暴雨出现最少的区域为湘西南, 城步出现的暴雨与大暴雨均最少, 分别为2.4 d与0.11 d。

2) 湖南近37年来年平均暴雨日数为3.88 d, 大暴雨日数为0.51 d, 暴雨与大暴雨日数与降水的季节分布较为相近, 呈单峰型, 6月发生频次最多。20世纪90年代中后期至本世纪初, 是暴雨与大暴雨多发时期, 近些年又有增多的趋势。1981—2017年湖南暴雨与大暴雨日数均为显著增多的趋势。

3) 湖南暴雨与大暴雨日数具有2~3年、4~8年、18年、21年、36年等周期变化性质, 其中2~3年与4~8年的周期变化最为明显, 但其周期性在20世纪

90年代中期发生变化, 近期有周期加快的趋势。

4) 湖南暴雨强度平均为 $74.1 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$, 大暴雨强度为 $130.7 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$, 1981—2017年暴雨与大暴雨强度呈现显著增加的趋势。平均暴雨与大暴雨贡献率分别为20.3%与4.7%, 近37年来, 暴雨与大暴雨贡献率也呈显著增加的趋势, 可能主要是由于暴雨频次增加与暴雨强度增加所引起的。

参考文献

- [1] 鲍名, 黄荣辉. 近40年我国暴雨的年代际变化特征. 地球科学进展, 2006, 30(6): 1057-1067.
- [2] 孙杰, 许杨, 陈正洪, 等. 华中地区近45年来降水变化特征分析. 长江流域资源与环境, 2010, 19(Z1): 45-51.
- [3] 贺芳芳, 赵兵科. 近30年上海地区暴雨的气候变化特征. 地球科学进展, 2009, 24(11): 1260-1267.
- [4] 朱宵峰, 钱永甫, 宁亮, 等. 长江下游地区汛期暴雨气候特征分析. 热带气象学报, 2008, 24(2): 136-146.
- [5] 白淑英, 顾海敏, 史建桥, 等. 近50a长江流域暴雨日数时空变化分析. 长江流域资源与环境, 2015, 24(7): 1255-1262.
- [6] 张天宇, 范莉, 孙杰, 等. 1961—2008年三峡库区气候变化特征分析. 长江流域资源与环境, 2010, 19(Z1): 52-61.