

# 海南省东方市 60 年来降雨量及 降雨侵蚀力变化趋势

郭小君, 何小武, 李凤英, 何绍浪

(江西农业大学 国土资源与环境学院, 江西 南昌 330045)

**摘要:** [目的] 分析海南省东方市降雨量、侵蚀性降雨量及降雨侵蚀力在不同时间尺度上的趋势变化及其相关性, 为该区生态环境建设、水土流失治理及土壤侵蚀机理研究提供科学支持。[方法] 根据该地区 1956—2015 年 60 a 的逐日降雨量数据资料, 采用变异系数、趋势系数和气候趋势率分析不同时间尺度的降雨、侵蚀性降雨和降雨侵蚀力的变化趋势。[结果] ①东方市 1956—2015 年 60 a 来年均降雨量、年均侵蚀性降雨量、年均降雨侵蚀力分别为  $982.9 \pm 36.9$  mm,  $816.1 \pm 37.6$  mm 和  $9441.7 \pm 554.2$  MJ · mm/(hm<sup>2</sup> · h · a), 变异系数分别为 29.1%, 35.7%, 45.5%。②60 a 来降雨量、侵蚀性降雨量及降雨侵蚀力年际变化均呈一定的增加趋势, 趋势系数分别为 0.129, 0.156, 0.198。季、月尺度上变化差异较大, 但总体变化格局相似, 均呈单峰型分布。③降雨量、侵蚀性降雨量及降雨侵蚀力两两之间有极强的线性相关性, 且乘幂方程较线性回归方程能更好的反映两两之间的关系。[结论] 60 a 来降雨量、侵蚀性降雨量、降雨侵蚀力均呈现较明显的年际增加趋势, 且两两之间呈幂函数关系。

**关键词:** 降雨量; 侵蚀性降雨量; 降雨侵蚀力; 趋势系数; 变化趋势

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2018)02-0027-06

中图分类号: S157.1

**文献参数:** 郭小君, 何小武, 李凤英, 等. 海南省东方市 60 年来降雨量及降雨侵蚀力变化趋势[J]. 水土保持通报, 2018, 38(2): 27-32. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2018.02.005. Guo Xiaojun, He Xiaowu, Li Fengying, et al. Trends of precipitation and its erosivity over last 60 years in Dongfang City of Hainan Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(2): 27-32.

## Trends of Precipitation and Its Erosivity over Last 60 Years in Dongfang City of Hainan Province

GUO Xiaojun, HE Xiaowu, LI Fengying, HE Shaolang

(College of Land Resources and Environment, Jiangxi Agricultural University, Nanchang, Jiangxi 330045, China)

**Abstract:** [Objective] The temporal trends of rainfall, erosive rainfall and rainfall erosivity in Dongfang City of Hainan Province from 1956 to 2015 were analyzed to provide scientific support for the study of ecological environment construction, the soil erosion and soil erosion mechanism. [Methods] Based on the daily rainfall data from meteorological stations in Dongfang City from 1956 to 2015, indexes of coefficient of variation, trend coefficient and climate tendency rate were used to analyze the trends of rainfall, erosive rainfall and rainfall erosivity in different time scales. [Results] ①The average annual rainfall, the average annual erosive rainfall and the average annual rainfall erosivity in Dongfang City were  $982.9$  mm,  $816.1$  mm and  $9441.7$  MJ · mm/(hm<sup>2</sup> · h · a), respectively. Their coefficients of variation were 29.1%, 35.7% and 45.5%, respectively. ②Over the past 60 years, the annual variations of rainfall, erosive rainfall and rainfall erosivity all showed increase trends, with coefficients of 0.129, 0.156, 0.198. At seasonal and monthly scales, though big differences existed for all of the three rainfall indicators, the overall pattern of change was similar, that was a unimodal distribution. ③There were a strong linear correlations among rainfall, erosive rainfall and rainfall erosivity, and also power function can reflect their relationships better than the linear one. [Conclusion]

收稿日期: 2017-07-28

修回日期: 2017-10-10

资助项目: 国家自然科学基金项目“南方红壤区急陡坡土壤侵蚀机理研究”(31300594); 中国气象局气候变化专项“鄱阳湖流域土壤侵蚀对气候变化的响应研究”(CCSF201320)

第一作者: 郭小君(1991—), 男(汉族), 江西省吉水县人, 硕士研究生, 研究方向为水土保持。E-mail: gxj448532707@126.com。

通讯作者: 何小武(1970—), 男(汉族), 江西省石城县人, 博士, 副教授, 主要从事土壤侵蚀与水土保持等方面的研究。E-mail: he-xw@163.com。

Over the past 60 years, rainfall, erosive rainfall and rainfall erosivity all showed obvious inter-annual trends of increase, they can be described well with power function among two of the three variables.

**Keywords:** precipitation; erosive precipitation; precipitation erosivity; trend coefficient; trend

气候变化对各地区生态环境的影响尤为重要<sup>[1]</sup>。降雨量作为气象站长期监测的重要气象因子之一,是水土流失发生不可或缺的主要影响因子<sup>[2]</sup>,也是水土流失变化的主要驱动力。降雨侵蚀力( $R$ )反映的是降雨对土壤侵蚀的潜在能力,是美国水土流失通用方程 USLE<sup>[2]</sup> 和其改进版 RUSLE<sup>[4]</sup> 中 6 个因素之一,也是中国通用流失方程(CSLE)考虑的最为重要的因素<sup>[5]</sup>,对其进行深入研究是开展区域水土流失预测预报、防治及土壤侵蚀机理研究的基础。海南省由于其降雨量多、强度大、历时短等特点,使得水力侵蚀成为该省主要的土壤侵蚀形式。据海南省 2013 年第一次水利普查结果显示水土流失面积达  $2.116 \times 10^3 \text{ km}^2$ ,比 2000 年全国第三次土壤侵蚀遥感调查的结果增加了  $1.678 \times 10^3 \text{ km}^2$ ,水土流失范围逐年扩增。东方市作为海南省水土流失严重的地区,已被列入《国家水土保持重点建设工程 2013—2017 年实施规划》中海南省 5 市县之一<sup>[6]</sup>。然而,目前较少见针对海南省各地区降雨量及降雨侵蚀力的系统研究。为此,本研究拟利用海南省东方市 1956—2015 年近 60 a 的日降雨数据,系统分析该地区降雨量、侵蚀性雨量及降雨侵蚀力不同时间尺度上的变化趋势和特征,以期为该地区及海南省水土流失防治及土壤侵蚀机理研究提供数据和理论支撑。

## 1 研究区概况

东方市地处海南省西南部,处于昌化江下游,地势东高西低,由东南向西北倾斜,东南部为山地和丘陵,西北部为平原和台地。该地区属热带季风海洋性气候,早湿两季分明,降雨量偏小,日照充足,蒸发量大。年平均气温  $24 \sim 25 \text{ }^\circ\text{C}$ 。1 月平均气温  $18.4 \text{ }^\circ\text{C}$ ,极端最低气温  $1.4 \text{ }^\circ\text{C}$ 。7 月平均气温  $29 \text{ }^\circ\text{C}$ ,极端最高气温为  $38.8 \text{ }^\circ\text{C}$ 。年平均降雨量在  $950 \sim 1\,900 \text{ mm}$ ,沿海地带雨量稀少,仅  $900 \text{ mm}$  左右。年平均蒸发量在  $2\,310 \sim 2\,450 \text{ mm}$ ,年蒸发量大于年降雨量。为海南全省之最。地带性土壤为砖红壤、燥红土和山地赤红壤、山地黄壤等,土层深厚,质地黏重,但其分散性大,絮固作用小,形成的团聚体不稳固,遇短时强降雨,易发生水土流失现象。

## 2 数据来源及研究方法

### 2.1 数据来源及处理

为研究海南省东方市 60 a 来降雨量及降雨侵蚀

力的演变趋势,在中国气象局气象数据网上收集了 1956—2015 年东方市的逐日降雨资料。并对降雨数据进行整理,分析不同时间尺度上(年、季、月)降雨量、侵蚀性降雨量的变化特征,利用日降雨数据计算降雨侵蚀力的年、季、月值并分析其趋势演化。四季的划分按照气象习惯:3—5 月为春季,6—8 月为夏季,9—11 月为秋季,12 月至第二年 2 月为冬季。

### 2.2 研究方法

2.2.1 降雨侵蚀力的计算 降雨侵蚀力是指由降雨引发土壤侵蚀的潜在能力,是一种客观评价土壤分离和搬运的重要动力指标。精确估算降雨侵蚀力需要次降雨过程的资料,但由于此资料难以获得,因此,通常是利用气象站的日雨量、月雨量或年雨量资料建立简易估算模型来进行计算。在估算侵蚀力之前需确定侵蚀性降雨,侵蚀性降雨是指降雨产生的径流引发土壤冲刷剥离的现象。一般利用降雨量的大小划分侵蚀性降雨。不同地区侵蚀性降雨标准的划分有所差异,国外有以日降雨量  $\geq 12.7 \text{ mm}$  或  $\geq 13.0 \text{ mm}$  定为侵蚀性降雨,在我国也有多个划分标准,如侵蚀性日降雨量  $\geq 9.9 \text{ mm}$ 、 $\geq 10.0 \text{ mm}$ 、 $\geq 12.0 \text{ mm}$ 、 $\geq 12.3 \text{ mm}$ 、 $\geq 12.7 \text{ mm}$  等<sup>[7-11]</sup>。本研究采用土壤侵蚀分析中日雨量  $\geq 12.0$  作为侵蚀性降雨。降雨侵蚀力( $R$ )的计算采用章文波等<sup>[12]</sup> 建立的中国降雨侵蚀力的简易算法,以日雨量估算半月侵蚀力的模型定义为:

$$M = \alpha \sum_{i=1}^k (P_i)^\beta \quad (1)$$

$\alpha, \beta$  的确定为:

$$\beta = 0.8363 + \frac{18.177}{P_{d12}} + \frac{24.455}{P_{y12}} \quad (2)$$

$$\alpha = 21.586\beta^{-7.1891} \quad (3)$$

式中: $M$ ——某半月时段的侵蚀力值( $\text{MJ} \cdot \text{mm}/\text{hm}^2 \cdot \text{h}$ ); $k$ ——半月时段的日数; $P_i$ —— $\geq 12 \text{ mm}$  的日雨量; $P_{d12}, P_{y12}$ —— $\geq 12 \text{ mm}$  的日雨量和年雨量; $\alpha, \beta$ ——模型的待定参数。通过以上公式,结合东方市 60 a 来的日降雨资料,最终得到该地区日降雨侵蚀力的简易估算模型为:

$$R_d = 3.256 \sum_{d=1}^n (P_d)^{1.301} \quad (4)$$

把东方市 1956—2015 的日降雨量代入公式(4)可得  $\geq 12 \text{ mm}$  日雨量的降雨侵蚀力,累积每日降雨侵蚀力可得每月降雨侵蚀力,再累积各月降雨侵蚀力则得到年降雨侵蚀力。

2.2.2 趋势走向检验 通过变异系数  $C_v$ , 趋势系数和气候倾向率(即每 10 a 的变化量,用降雨量  $P$ , 降雨侵蚀力  $R$  与时间  $t$  一元回归的斜率的 10 倍来表示,单位同降雨侵蚀力),倾向率的年内分布等指标分析降雨量、侵蚀力的年际年内变化。趋势系数可反映气候要素长期变化的方向和程度,气候倾向率可以从另一个侧面反映各降雨要素的趋势变化程度,两者均表现为大于 0 则增加,小于 0 则减小,它们的关系式<sup>[7,13-14]</sup>为:

$$r_{xt} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(i - \bar{t})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 (i - \bar{t})^2}} \quad (5)$$

$$k = r_{xt} \frac{\sigma_x}{\sigma_t} \quad (6)$$

式中: $r_{xt}$ —— $n$  年要素序列与自然数列的相关系数, $x_i$ ——第  $i$  年要素值, $\bar{x}$ ——样本均值。 $\bar{t} = (n+1)/2$ 。 $r_{xt}$ 的正、负反映了要素在  $n$  年内的线性增减趋势。用于定量描述气候趋势变化强弱的空间分布特征。 $k$ ——一元回归的斜率; $\sigma_x$ ——要素  $x$  的标准差;

$\sigma_t$ ——数列  $1, 2, \dots, n$  的标准差,这里取  $n = 60$ ;  $k \times 10$ ——表示某降雨要素的气候倾向率。

### 3 结果与分析

#### 3.1 降雨量随时间变化特征分析

3.1.1 降雨总量的分布 东方市 1956—2015 年 60 a 来年均降雨量  $982.9 \pm 286.0$  mm,最大降雨量为 1 537.0 mm,最小为 275.4 mm,最高年降雨量为最低年的 5.6 倍,年降雨量在 28.0%~156.4%幅度范围内波动,年际变化较大,变异系数达到了 29.1% (表 1)。与多年平均降雨状况相比,20 世纪 60 年代末到 90 年代初降雨量相对偏少,减少幅度为 6.6%,但其变异系数偏大(13.4%),其中 1986—1995 年降雨量偏少幅度最大,为 10.1%。另 3 个时段内年降雨量相对偏多,增加幅度为 6.5%,但其变异系数偏小(-20.5%),其中 1996—2005 年的时间段内增加幅度最大,为 8.5%。在 10 a 尺度上,降雨量均值及标准差的年代际变化整体呈波动增加的趋势,而各年代际的变异系数呈波动减小趋势。

表 1 东方市降雨量、侵蚀性降雨量及降雨侵蚀力年代际统计特征

| 时间段         | 平均值     |        |          | 标准差   |        |         | 变异系数/% |        |       |
|-------------|---------|--------|----------|-------|--------|---------|--------|--------|-------|
|             | 降雨量     | 侵蚀性降雨量 | 降雨侵蚀力    | 降雨量   | 侵蚀性降雨量 | 降雨侵蚀力   | 降雨量    | 侵蚀性降雨量 | 降雨侵蚀力 |
| 1956—1965 年 | 1 020.6 | 845.6  | 9 260.7  | 215.4 | 221.8  | 3 376.2 | 21.1   | 26.2   | 36.5  |
| 1966—1975 年 | 916.9   | 750.2  | 8 656.3  | 302.4 | 302.4  | 3 933.8 | 33.0   | 40.3   | 45.4  |
| 1976—1985 年 | 956.0   | 770.2  | 8 866.1  | 323.3 | 317.6  | 4 467.8 | 33.8   | 41.2   | 50.4  |
| 1986—1995 年 | 883.2   | 725.4  | 8 105.4  | 284.6 | 286.2  | 3 797.3 | 32.2   | 39.5   | 46.8  |
| 1996—2005 年 | 1 066.9 | 896.6  | 10 510.5 | 225.6 | 244.2  | 4 223.7 | 21.1   | 27.2   | 40.2  |
| 2006—2015 年 | 1 054.0 | 908.7  | 11 251.3 | 296.7 | 308.3  | 4 930.1 | 28.2   | 33.9   | 43.8  |
| 1956—2015 年 | 982.9   | 816.1  | 9 441.7  | 286.0 | 291.2  | 4 293.1 | 29.1   | 35.7   | 45.5  |

注:表中降雨量的单位均为 mm,降雨侵蚀力的单位为  $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ ;"变幅"均表示该指标时段值与全时段指标值之差与全时段指标值的比值。

3.1.2 不同时间尺度上降雨量的趋势变化分析 东方市 60a 来年均降雨量呈逐渐增加趋势,年变化的趋势系数为 0.129(表 2)。季节尺度上,各季都表现为不同程度的增加,春季和冬季降雨量的增加趋势更大,趋势系数分别为 0.122 和 0.101。月尺度上,除 2,6,8 月呈程度不等的减小趋势外,其他月份都在不断增加,2 月的减小程度最大,趋势系数为 -0.140,而 7,11,12 月的增加程度更为明显,趋势系数都在 0.20 以上,多数月份的降雨量呈不明显的增减趋势变化。

为分析季、月降雨量的变化对年降雨量变化的影响程度,用相关分析法确定季、月降雨量与年降雨量的相关性大小,与季、月降雨量占年降雨量的比例加以比较分析。结果显示,季节尺度上,各季降雨量与

年降雨量的相关程度大小和其占年雨量比例的分布规律一致,均表现为:夏季 > 秋季 > 春季 > 冬季(图 1),夏、秋两季的降雨量与年降雨量在 0.01 的显著水平上表现为极显著正相关,两季累积雨量占全年雨量的 83.66%,夏季相关程度最大,占年雨量的 51.29%,相关系数达 0.842。月尺度上,6—10 月降雨量与年降雨量具有显著的正相关关系,占年雨量的 80.97%,为年内的集中降雨月份,而 6—9 月表现为极显著性相关,占年雨量的 69.39%,其中 8 月的相关程度最高,累积雨量占年雨量的 22.48%。虽然东方市多年来年内降雨分配极不均衡,季、月降雨量的变化趋势差异较大,但对年降雨量起主导作用的是夏季的 7,8 月和秋季的 9 月,占年降雨量的 55.94%。

表 2 东方市降雨量、侵蚀性降雨量及降雨侵蚀力的年及季节变化趋势

| 时间  | 降雨量    |        | 侵蚀性雨量  |        | 降雨侵蚀力   |        |
|-----|--------|--------|--------|--------|---------|--------|
|     | 倾向率    | 趋势系数   | 倾向率    | 趋势系数   | 倾向率     | 趋势系数   |
| 年   | 21.289 | 0.129  | 26.290 | 0.156  | 490.040 | 0.198  |
| 春   | 2.070  | 0.122  | 2.622  | 0.186  | 24.489  | 0.173  |
| 夏   | 3.161  | 0.079  | 4.373  | 0.110  | 56.373  | 0.118  |
| 秋   | 7.558  | 0.056  | 10.001 | 0.073  | 248.024 | 0.119  |
| 冬   | 8.469  | 0.101  | 9.285  | 0.116  | 161.153 | 0.142  |
| 1月  | 0.231  | 0.044  | 0.128  | 0.033  | 0.658   | 0.020  |
| 2月  | -1.647 | -0.140 | -0.632 | -0.083 | -5.161  | -0.077 |
| 3月  | 0.228  | 0.017  | 0.299  | 0.024  | 4.505   | 0.034  |
| 4月  | 0.066  | 0.003  | -0.065 | -0.003 | 4.824   | 0.017  |
| 5月  | 2.868  | 0.086  | 4.140  | 0.122  | 47.044  | 0.114  |
| 6月  | -2.670 | -0.041 | -0.54  | -0.008 | 27.000  | 0.030  |
| 7月  | 17.661 | 0.207  | 17.284 | 0.204  | 211.046 | 0.158  |
| 8月  | -7.432 | -0.085 | -6.734 | -0.077 | 9.979   | 0.008  |
| 9月  | 0.629  | 0.009  | 0.378  | 0.006  | 40.704  | 0.039  |
| 10月 | 2.812  | 0.057  | 3.105  | 0.065  | 54.046  | 0.097  |
| 11月 | 5.028  | 0.231  | 5.802  | 0.266  | 66.403  | 0.247  |
| 12月 | 3.485  | 0.257  | 3.116  | 0.246  | 28.991  | 0.221  |

注:表中“+”为增加,值越大,增加趋势越明显;“-”为减小,值越小减小趋势越明显。

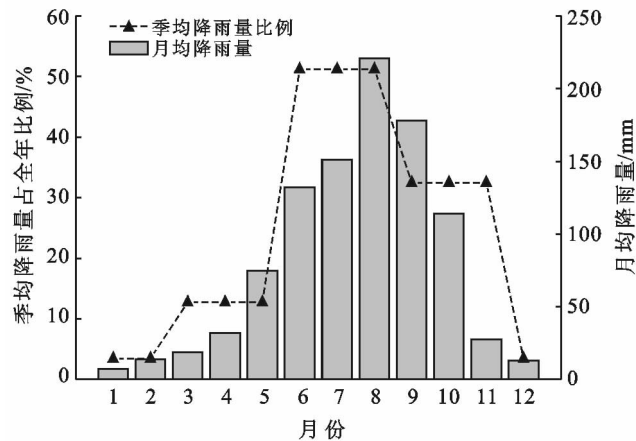


图 1 东方市多年平均降雨量的月均及季均分布

### 3.2 侵蚀性降雨量随时间变化特征分析

3.2.1 侵蚀性降雨量的分布 东方市 60 a 来年均侵蚀性降雨量  $816.1 \pm 291.2$  mm, 占多年平均降雨量的 83.0%, 变异系数为 35.7%(表 1), 年侵蚀性最大降雨量 1408.1 mm, 侵蚀性最小降雨量 156.2 mm, 最高年侵蚀性降雨量为最低年的 9.0 倍, 侵蚀性降雨量在 19.1%~172.5% 范围内波动, 与年降雨量的变化趋势一致, 波动跨度都很大。各年代侵蚀性降雨量的变异系数都比同时段年降雨量的变异系数大, 表明离散程度更大。与全年降雨量的分布相似, 20 世纪 60 年代末到 90 年代初侵蚀性降雨量相对偏少, 减小幅度为 8.3%, 变异系数偏大(13.0%), 其中 1986—1995 年侵蚀性降雨量偏少幅度最大, 为 11.1%。另 3 个时

段年侵蚀性降雨量偏大, 增加幅度为 8.3%, 变异系数偏小(-18.5%), 其中 2006—2015 年侵蚀性降雨量增加幅度最大, 为 11.3%。在 10 a 尺度上, 各年代侵蚀性降雨量呈较明显波动增加趋势。

3.2.2 不同时间尺度上侵蚀性降雨量的趋势变化分析 东方市 60 a 来侵蚀性降雨量与年降雨量的变化趋势相似, 都表现为较明显的增加趋势, 趋势系数为 0.156(表 2)。季节尺度上, 各季也都呈不同程度的增加, 春季的增加程度最大, 其次是冬季, 最小的是秋季。月尺度上, 2, 4, 6, 8 月的侵蚀性降雨量都呈不明显的减小趋势演变, 其它各月份都有所增加, 其中 11, 12 月增加的程度更大, 趋势系数分别达到 0.266, 0.246。通过分析季、月侵蚀性雨量的变化对年侵蚀性雨量的变化的影响, 结果表明, 季节尺度上, 夏、秋两季与年侵蚀性雨量有极显著的正相关性, 两季总侵蚀性降雨量占年侵蚀性降雨量的 86.73%(图 2), 而夏季占年侵蚀性降雨量的一般以上, 相关系数达 0.855, 表明夏季降雨极易引发东方市的水土流失, 应加强对该季节的防范措施。月尺度上, 年内侵蚀性降雨主要分布在 6—9 月, 占年侵蚀性降雨量的 73.19%, 且与年侵蚀性降雨量都表现为极显著的正相关, 8 月的相关性最大, 占年侵蚀性雨量的 24.12%。相关程度最低的为 1, 2, 12 月, 其相关系数都为负值, 这 3 个月的侵蚀性降雨量只占年的 1.94%, 几乎比其他任何一个月份的占比都小, 说明这段时期的降雨

引发的土壤流失可以忽略不计,对生态环境及生产生活并无较大程度的危害。

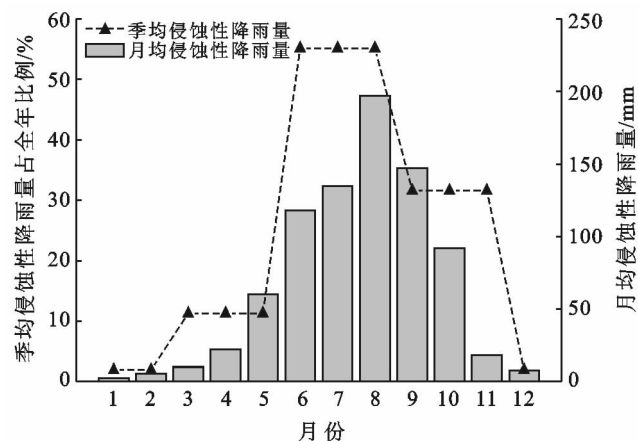


图 2 东方市多年平均侵蚀性降雨的月均及季均分布

### 3.3 降雨侵蚀力随时间变化特征分析

3.3.1 降雨侵蚀力的分布 东方市 60 a 来年均降雨侵蚀力为  $9\,441.7 \pm 4\,293.1 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ , 变异系数为 45.5% (表 1), 变异程度均较各时段全年降雨量和侵蚀性降雨量大, 年最大降雨侵蚀力为  $19\,728.7 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ , 是年最小降雨侵蚀力的 14.8 倍, 体现出各年际较大的幅度变化, 离散程度更高。与全年降雨量和侵蚀性降雨量的分布有所差异, 20 世纪 50 年代末到 90 年代初降雨侵蚀力相对偏少, 减小幅度为 7.6%, 但只有在 1976—1995 年时段内变异系数偏大 (11.2%), 其他时段均变异系数偏小 (-8.8%), 其中 1986—1995 年降雨侵蚀力偏少幅度最大, 为 14.2%。在 10 a 尺度上, 各年代降雨侵蚀力呈现较明显的波动增加趋势。

#### 3.3.2 不同时间尺度上降雨侵蚀力的趋势变化分析

根据气候倾向率和趋势系数的数值变化方向得出东方市 60 a 来降雨侵蚀力与侵蚀性降雨量的变化趋势相似, 呈现出较明显的增加趋势, 趋势系数为 0.198 (表 2)。季节尺度上, 四季都呈较大的趋势增加, 增加趋势明显于降雨量和侵蚀性降雨量。月尺度上, 除 3 月份表现不明显的减小趋势, 其余月份都有不同程度

的增加, 多数月份的增加趋势不太显著, 只有 11, 12 月的趋势系数达到 0.2 以上。通过分析季、月降雨侵蚀力的变化对年降雨侵蚀力的变化的影响, 结果显示, 季节尺度上, 与降雨侵蚀力有极显著相关的是夏、秋两季, 两季降雨侵蚀力占年降雨侵蚀力的 88.38% (图 3), 单夏季就占年降雨侵蚀力的一般以上, 所占比例为 58.82%, 相关系数达 0.880。月尺度上, 年内降雨侵蚀力主要分布在 6—9 月, 占年降雨侵蚀力的 76.37%, 且与年降雨侵蚀力都表现为极显著的正相关, 8 月的相关性最大, 占年降雨侵蚀力的 25.79%。

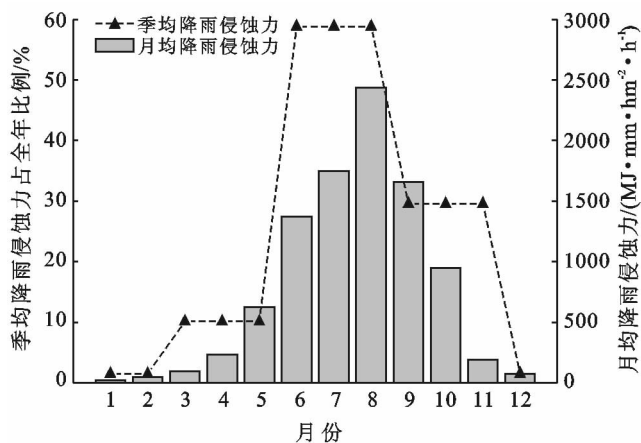


图 3 东方市多年平均降雨侵蚀力的月及季节分布

### 3.4 降雨量、侵蚀性降雨量及降雨侵蚀力的相关性分析

年降雨量、年侵蚀性降雨量和年降雨侵蚀力这三者在时间分布及趋势变化上有着相似的特征, 这与前人的研究结果一致<sup>[15,16]</sup>。为此, 本研究采用线性回归和幂函数回归两种方法比较两两之间的相关性。由表 3 可知, 无论是用线性回归还是乘幂方法分析, 三者之间都表现出极好的相关性, 决定系数达到 0.9 以上, 相关性最好的是年降雨量和年侵蚀性降雨量, 决定系数  $r^2 = 0.987\,2$ , 其次是侵蚀性降雨量和降雨侵蚀力。从方法角度, 乘幂方程得到的决定系数均较线性回归方程的决定系数大, 尤其是年降雨量与降雨侵蚀力, 说明用乘幂方程能更好地表现 3 个降雨指标之间的关系。

表 3 东方市年降雨量、年侵蚀性降雨量及年降雨侵蚀力的相关性分析

| 要素          | 线性回归                        |            | 乘幂                         |            |
|-------------|-----------------------------|------------|----------------------------|------------|
|             | 方程                          | 决定系数 $r^2$ | 方程                         | 决定系数 $r^2$ |
| $P$ 与 $P_1$ | $P_1 = 1.011\,4 P - 178.06$ | 0.987 2    | $P_1 = 0.122 P^{1.275\,6}$ | 0.989 9    |
| $P$ 与 $R$   | $R = 14.313 P - 4\,626.9$   | 0.909 3    | $R = 0.191 P^{1.561\,9}$   | 0.953 8    |
| $P_1$ 与 $R$ | $R = 14.268 P_1 - 2\,202.9$ | 0.936 4    | $R = 2.439 P_1^{1.228\,2}$ | 0.969 4    |

注:  $P$  是年降雨量;  $P_i$  是年侵蚀性降雨量;  $R$  是年降雨侵蚀力。

## 4 结论

(1) 东方市 1956—2015 年 60 a 来年平均降雨量为 982.9 mm, 年侵蚀性降雨量为 816.1 mm, 年降雨侵蚀力为 9 441.7 MJ·mm/(hm<sup>2</sup>·h·a)。年际变化趋势一致, 都表现为逐渐增加, 变异系数分别为 29.1%, 35.7%, 45.5%。年际差异非常显著, 最高年降雨量为最低年的 5.6 倍, 最高年侵蚀性降雨量为最低年的 9.0 倍, 最高年降雨侵蚀力为最低年的 14.8 倍。

(2) 60 a 来降雨量、侵蚀性降雨量及降雨侵蚀力呈现较明显的增加趋势, 趋势系数分别为 0.129, 0.156, 0.198。季、月尺度上三个降雨指标的趋势变化差异较大, 但总体变化格局相似, 均集中在夏、秋两季, 分别占全年的 83.66%, 86.73%, 88.38%。月尺度上主要集中在 6—9 月, 分别占全年的 69.39, 73.19%, 76.37%, 均表现很强的集中性, 在此时段内三个降雨指标都与全年存在极显著的相关性。降雨三指标的季、月分布均为单峰型, 季节内夏季最高, 各占全年的 51.29%, 55.14%, 58.82%; 各月份内 8 月占比最大, 各占全年的 22.48%, 24.12%, 25.79%。

(3) 降雨量、侵蚀性降雨量及降雨侵蚀力两两之间有极强的线性相关性, 用线性回归方程和乘幂方程得到的决定系数  $r^2$  都达到 0.9 以上, 且乘幂方程算出的决定系数都较线性回归方程要高, 表明乘幂方程能更好地反映三个降雨指标两两之间的相关性。

### [参 考 文 献]

- [1] 李林, 朱西德, 周陆生, 等. 三江源地区气候变化及其对生态环境的影响[J]. 气象, 2004, 30(8): 18-22.
- [2] Wei W, Chen Liding, Fu Bojie, et al. The effect of land uses and rainfall regimes on runoff and soil erosion in the semi-arid loess hilly area, China[J]. Journal of Hydrology, 2007, 335(3/4): 247-258.
- [3] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning[M]. US: Agriculture Handbook, 1978.
- [4] Renard K G. Predicting soil erosion by water. A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation(RUSLE)[R]. USDA: National Technical information Service, 1997.
- [5] 刘宝元, 谢云, 张科利. 土壤侵蚀预报模型[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2001.
- [6] 林郁. 海南省水土保持的现状与对策[J]. 中国水土保持, 2015(3): 7-9.
- [7] 施能, 鲁建军, 朱乾根. 东亚冬、夏季风百年强度指数及其气候变化[J]. 南京气象学院学报, 1996, 19(2): 168-177.
- [8] 伍育鹏, 谢云, 章文波. 国内外降雨侵蚀力简易计算方法的比较[J]. 水土保持学报, 2001, 15(3): 31-34.
- [9] 胡续礼, 潘剑君, 杨树江, 等. 几种降雨侵蚀力模型的比较研究[J]. 水土保持通报, 2006, 26(1): 68-70.
- [10] 宁丽丹, 石辉. 利用日降雨量资料估算西南地区的降雨侵蚀力[J]. 水土保持研究, 2003, 10(4): 183-186.
- [11] 谢云, 刘宝元, 章文波. 侵蚀性降雨标准研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(4): 6-11.
- [12] 章文波, 谢云, 刘宝元. 利用日雨量计算降雨侵蚀力的方法研究[J]. 地理科学, 2002, 22(6): 705-711.
- [13] 刘斌涛, 陶和平, 宋春风, 等. 1960—2009 年中国降雨侵蚀力的时空变化趋势[J]. 地理研究, 2013, 32(6): 245-256.
- [14] 王枫叶, 刘普幸. 酒泉绿洲近 45 年日照时数的变化特征分析[J]. 高原气象, 2010, 29(4): 999-1004.
- [15] 吴艳, 白建勤, 张晓萍, 等. 基于日雨量的长武县 53 年来降雨量及侵蚀力演变趋势分析[J]. 水土保持研究, 2012, 19(4): 38-42.
- [16] 史东梅, 江东, 卢喜平, 等. 重庆涪陵区降雨侵蚀力时间分布特征[J]. 农业工程学报, 2008, 24(9): 16-21.