

1961—2020 年沂蒙山区降雨侵蚀力时空变化特征

徐 晶¹, 时延锋², 徐征和¹, 徐立荣¹

(1. 济南大学 水利与环境学院, 济南 250022; 2. 山东建筑大学 市政与环境工程学院, 济南 250101)

摘 要: 为了分析沂蒙山区降雨侵蚀力的时空变化特征, 利用沂蒙山区 20 个国家气象站 1961—2020 年的逐日降雨数据, 采用日降雨侵蚀力模型、Mann-Kendall 趋势/突变检验法、累积距平法、小波分析、反距离加权插值(IDW)等方法进行了系统的研究。结果表明: 沂蒙山区年均降雨侵蚀力为 $5\,081.59\text{ (MJ} \cdot \text{mm)} / (\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$, 且年际变化呈现波动上升的变化趋势; 年降雨侵蚀力存在 22 a 的主周期和 7 a 的次周期; 降雨侵蚀力年内多集中在汛期 6—9 月份, 占全年的 84.15%; 除秋季外, 春季、夏季和冬季的降雨侵蚀力均呈现上升的变化趋势; 年均降雨侵蚀力空间上由东南向西北呈带状逐渐递减; 各气象站变异系数的范围是 0.32~0.53, 地区差异比较明显, 西部地区相对较大, 南部地区相对较小。沂蒙山区降雨侵蚀力的时空分布特征与侵蚀性降雨分布基本一致, 并且集中分布在汛期, 因此要加强研究区汛期尤其是 7 月、8 月份的水土流失防治工作, 可为研究区水土流失的监测、预报及治理等提供决策依据。

关键词: 降雨侵蚀力; 土壤侵蚀; 时空变化特征; 日降雨侵蚀力模型; 沂蒙山区

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2022)06-0036-09

Spatiotemporal Variation Characteristics of Rainfall Erosivity in Yimeng Mountain Area from 1961 to 2020

XU Jing¹, SHI Yanfeng², XU Zhenghe¹, XU Lirong¹

(1. School of Water Conservancy and Environment, University of Jinan, Jinan 250022, China;

2. School of Municipal & Environmental Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101, China)

Abstract: In order to analyze the spatiotemporal variation characteristics of rainfall erosivity in Yimeng Mountain Area, a systematic research was carried out based on the daily rainfall data from 1961 to 2020 of 20 national meteorological stations. The study methods include the daily rainfall erosivity model, Mann-Kendall test, cumulative anomaly method, wavelet analysis and inverse distance weighted interpolation (IDW). The results are as follows. The average annual rainfall erosivity was $5\,081.59\text{ (MJ} \cdot \text{mm)} / (\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ in Yimeng Mountain Area, and the interannual variation showed a fluctuating upward trend. Annual rainfall erosivity had a main cycle of 28-year and a subcycle of 13-year. Rainfall erosivity mostly concentrated in the flood season from June to September, accounting for 84.15% of the whole year. And except autumn, rainfall erosivity in spring, summer and winter showed an upward trend. The annual rainfall erosivity decreased gradually from southeast to northwest. The variation coefficients of the rainfall stations had obvious regional differences, ranging from 0.32 to 0.53, which was relatively great in the western region and relatively small in the southern region. The spatiotemporal distribution characteristics of rainfall erosivity in Yimeng Mountain Area were basically consistent with the distribution of erosive rainfall. And the rainfall erosivity mainly concentrated in the flood season. So, the soil erosion control in the flood season, especially in July and August, should be strengthened. These results can provide important reference for the monitoring, prediction and treatment of soil and water losses in the study area.

Keywords: rainfall erosivity; soil erosion; spatiotemporal variation characteristics; daily rainfall erosivity model; Yimeng Mountain Area

收稿日期: 2021-10-20

修回日期: 2021-11-26

资助项目: 国家自然科学基金(42007153, 42007176); 山东省自然科学基金(ZR2021ME145); 济南大学博士基金(XBS1919)

第一作者: 徐晶(1990—), 女, 山东烟台人, 博士, 讲师, 研究方向: 水生态与水环境, 水土保持。E-mail: stu_xuj@ujn.edu.cn

通信作者: 时延锋(1990—), 男, 山东日照人, 博士, 讲师, 研究方向: 土壤—地下水污染与控制、水生态与水环境。E-mail: 13953@sdjzu.edu.cn

站名	区站号	地理位置		年降雨特征/mm			
		经度 E/(°)	纬度 N/(°)	最大值	最小值	均值	标准差
曲阜	54918	116.97	35.60	1310.05	415.60	708.70	181.44
邹城	54919	116.98	35.42	1263.80	268.50	722.00	197.05
泗水	54920	117.28	35.65	1106.80	410.20	727.68	162.32
蒙阴	54923	117.93	35.72	1282.00	410.20	789.32	214.42
平邑	54925	117.63	35.52	1236.40	392.40	759.68	189.20
滕州	54927	117.20	35.10	1245.80	367.00	731.37	195.52
沂水	54932	118.65	35.77	1141.90	377.70	756.22	192.48
沂南	54935	118.43	35.53	1460.20	452.80	796.31	223.79
莒南	54939	118.82	35.17	1353.40	481.00	844.64	197.87
五莲	54940	119.20	35.75	1257.30	466.30	786.26	196.81
微山	58020	117.13	34.80	1392.90	464.50	774.38	180.55
薛城	58021	117.28	34.78	1392.50	470.60	782.89	189.28
峄城	58022	117.57	34.75	1292.20	471.80	834.46	173.56
枣庄	58024	117.58	34.87	1326.00	508.20	847.32	185.64
台儿庄	58025	117.73	34.57	1377.30	417.50	808.91	208.58
沂源	54836	118.17	36.18	1616.70	394.50	716.36	202.64
费县	54929	117.97	35.27	1246.90	407.00	831.11	185.93
莒县	54936	118.08	35.57	1354.30	446.60	791.41	213.76
临沂	54938	118.40	35.05	1363.60	529.50	865.58	181.29
日照	54945	119.53	35.43	1426.20	504.50	829.48	233.74

2 研究方法

2.1 降雨侵蚀力的计算

利用日降雨量数据计算降雨侵蚀力的模型有很多,其中章文波模型在国内被广泛应用^[21-24],本文主要利用该模型来计算降雨侵蚀力^[25-26],其计算公式为:

$$R_i=\alpha \sum_{k=1}^n(P_k)^{\gamma} \tag{1}$$

$$\gamma=0.8363+\frac{18.144}{P_{d12}}+\frac{24.455}{P_{y12}} \tag{2}$$

$$\alpha=21.586\gamma^{-7.1891} \tag{3}$$

式中: R_i 为第*i*个半月的降雨侵蚀力 $[(\text{MJ}\cdot\text{mm})/(\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})]$; n 为半月内侵蚀性降雨量($\geq 12\text{ mm}$)的天数(d); P_k 为半月内第*k*天的侵蚀性降雨量($\geq 12\text{ mm}$), mm ; P_{d12} 和 P_{y12} 是日雨量 $\geq 12\text{ mm}$ 的日平均降雨量和年平均降雨量(mm); α 和 γ 均为模型的参数,利用日降雨资料进行估算,能够反映不同区域的降雨特征。年降雨侵蚀力主要通过累加半月降雨侵蚀力得到。

2.2 时空变化分析方法

本文利用泰森多边形法^[27-28]计算出各气象站的权重,然后计算各气象站降雨侵蚀力等的加权平均值,并将其作为整个研究区的平均值;利用 Mann-Kendall 趋势分析法和气候倾向率法分析降雨侵蚀力等序列的时间变化趋势^[29-30];利用累积距平法和 Mann-Kendall 法共同进行数据序列的突变检验^[31-32];利用小波分析来分析降雨侵蚀力的周期变化,通过 MATLAB 计算小波系数,并通过 Excel 计算小波系数的实部,最后利用 Surfer9 绘制出小波等值线图进行分析,通过分析图中丰枯的交替来判断周期的变化规律^[33]。

空间变化特征主要利用空间插值来进行分析,常

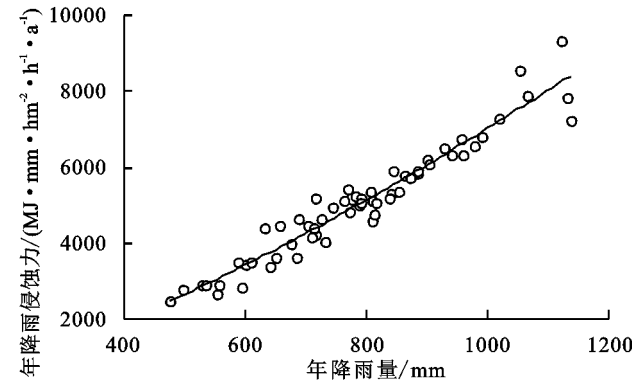


图 2 年降雨侵蚀力与年降雨量及年侵蚀性降雨量的关系

采用气候倾向率法分析研究区各气象站点降雨侵蚀力、降雨量和侵蚀性降雨量可知(表 3),1961—2020 年期间,大部分气象站的降雨侵蚀力和侵蚀性降雨表现为正气候倾向率,变化最大的均是台儿庄站和泗水

见的空间插值法包括样条函数插值、克里金(Kriging)插值和反距离加权插值(IDW)等方法。本文主要是通过反距离加权插值方法来进行空间变化特征分析^[34]。通过 ArcGIS 10.4 对沂蒙山区的年降雨量、年侵蚀性降雨量及年降雨侵蚀力进行空间插值,得到插值分布图进行空间分析。

3 结果与分析

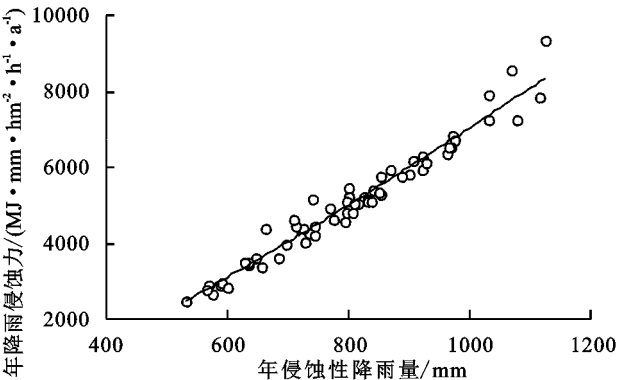
3.1 降雨侵蚀力时间变化特征

3.1.1 年际变化 由于降雨侵蚀力与降雨量、侵蚀性降雨量密切相关,因此本文在分析降雨侵蚀力的同时,对研究区降雨量和侵蚀性降雨量进行相关分析。研究区 1961—2020 年年均降雨量、侵蚀性降雨量和降雨侵蚀力分别为 785.88 mm,603.55 mm 及 5 081.59 $(\text{MJ}\cdot\text{mm})/(\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})$,其中侵蚀性降雨量占年降雨量的 76.80%。三者的年际变化特征见表 2,其极值比分别为 2.4,2.8,3.7,变异系数 C_v 分别为 0.20,0.24,0.29,由此可以看出,降雨侵蚀力的年际波动程度大于降雨量和侵蚀性降雨量。

由图 2 分析结果可知,年降雨侵蚀力和年降雨量、年侵蚀性降雨量均存在幂函数关系,且相关系数均在 0.9 以上,年降雨侵蚀力与年侵蚀性降雨量更相关一些。

表 2 沂蒙山区降雨量、侵蚀性降雨量及降雨侵蚀力年际变化特征

指标	降雨量/mm	侵蚀性	降雨侵蚀力/ $(\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{a}^{-1})$
		降雨量/mm	
最大值	1136.10(1964 年)	925.48(2020 年)	9315.43(2020 年)
最小值	473.64(2002 年)	332.41(2002 年)	2501.60(2002 年)
平均值	785.88	603.55	5081.59
标准差	159.59	145.71	1482.35



站,每 10 a 增加 271.92 $(\text{MJ}\cdot\text{mm})/(\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})$,143.05 $(\text{MJ}\cdot\text{mm})/(\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})$,28.95 mm,11.58 mm;降雨侵蚀力变化最小的是蒙阴站和薛城站,每 10 a 增加 2.17 $(\text{MJ}\cdot\text{mm})/(\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})$,17.98

(MJ·mm)/(hm²·h·a)。只有日照站、莒县站、莒南站和邹城站的降雨侵蚀力表现为负气候倾向率,变化最大的日照站,每 10 a 减少 181.33 (MJ·mm)/(hm²·h·a);莒县站、邹城站、莒南站、费县站、平邑站和曲阜站的侵蚀性降雨量表现为负气候倾向率,变化最大的是莒县站,每 10 a 减少 12.70 mm。降雨量的变化趋势与降雨侵蚀力和侵蚀性降雨有所不同,大部分气象站点表现为负气候倾向率,但变化最大的站点与降雨侵蚀力相同。

采用 Mann-Kendall 趋势检验法对研究区各气象

站的降雨侵蚀力、降雨量和侵蚀性降雨量进行分析,见(表 3)。Z 为 Mann-Kendall 趋势检验法中的检验数,当|Z|≥1.96 时,可判断该序列呈现显著的变化趋势。由分析结果可知,大部分气象站的降雨侵蚀力和侵蚀性降雨量均表现为上升趋势,只有小部分气象站表现为下降趋势,而大部分气象站的降雨量表现为下降趋势,并且所有气象站的降雨侵蚀力、侵蚀性降雨和降雨量均未通过 α=0.05 水平的检验,即变化均不显著。综合气候倾向率法和 Mann-Kendall 趋势检验法的结果可知,两种方法的分析结果基本一致。

表 3 沂蒙山区各气象站点降雨侵蚀力和降雨量趋势检验结果

站点	气候倾向率法			Mann-Kendall 趋势检验法 Z 值		
	降雨侵蚀力/(MJ·mm· hm ⁻² ·h ⁻¹ ·a ⁻¹ ·10a ⁻¹)	降雨量/ (mm/10 a)	侵蚀性降雨/ (mm/10 a)	降雨侵蚀力	降雨量	侵蚀性降雨
曲阜	46.50	-3.57	-0.05	0.05	-0.37	-0.22
邹城	-79.92	-9.94	-7.54	-0.24	-0.61	-0.28
泗水	143.05	8.45	11.58	1.05	0.40	0.58
蒙阴	2.17	-4.81	0.64	0.41	-0.17	0.13
平邑	52.72	-6.27	-0.84	0.07	-0.76	-0.27
滕州	32.23	-0.41	2.27	-0.12	-0.22	-0.04
沂水	56.27	-6.30	1.28	0.67	-0.27	0.27
沂南	127.93	-5.28	1.53	0.08	-0.59	-0.16
莒南	-138.53	-8.28	-6.27	-0.31	-0.60	-0.35
五莲	72.32	-0.53	3.45	0.44	-0.16	0.20
微山	57.99	6.82	8.07	0.99	0.79	0.84
薛城	17.98	10.21	7.29	0.92	0.81	0.76
峰城	47.58	4.90	3.87	0.77	0.53	0.36
枣庄	96.06	2.07	3.97	0.27	0.06	-0.07
台儿庄	271.92	29.65	28.95	1.31	1.70	1.40
沂源	67.08	-1.09	3.60	1.13	0.50	0.75
费县	30.62	-7.45	-4.02	-0.31	-0.72	-0.59
莒县	-175.30	-19.15	-12.70	-0.89	-1.14	-0.85
临沂	139.68	1.68	4.83	0.76	0.00	0.31
日照	-181.33	-25.20	19.86	-1.13	-1.31	-1.14

由图 3 可以看出,整个研究区的年降雨侵蚀力与侵蚀性降雨的变化趋势相同,呈现波动上升的变化趋势,而降雨量则呈现波动下降的变化趋势。降雨量出现了负气候倾向率,表现为每 10 a 减少 3.2 mm,降雨侵蚀力和侵蚀性降雨为正增长趋势,每 10 a 增加的 31.7 (MJ·mm)/(hm²·h·a),5.8 mm。研究区降雨侵蚀力的变化趋势总体表现为:1969 年以前呈现下降趋势,之后上升至 1974 年,随后波动下降,1990 年之后波动上升和下降交替进行。

由沂蒙山区降雨侵蚀力的小波分析结果可知(图 4),研究区多年平均降雨侵蚀力存在显著的周期变化,在整个时间序列上存在 5~10 a,16~24 a 两类尺度的周期变化,且在 1961—2020 年均稳定分布,具有

全域性。计算降雨侵蚀力系列小波方差并绘制小波方差图,图中峰值记为降雨侵蚀力序列变化过程中存在的主周期。由图 4 可以看出,存在 2 个峰值,分别为 7 a 和 22 a,第一峰值是 22 a,说明年均降雨侵蚀力序列在 22 a 左右周期震荡最强,是降雨侵蚀力变化的第一主周期,7 a 尺度为第二主周期。

由 Mann-Kendall 突变检验结果可知(图 5),降雨侵蚀力的正序列 UF 和逆序列 UB 相交于 1963 年、1965 年、2002 年、2007 年,且均未超过 0.05 显著水平,均有可能为突变年份。为了进一步验证突变年份,结合累积距平法来具体分析。由图 6 可以看出,降雨侵蚀力在 2002 年明显由下降趋势转换为增长趋势,因此判断 2002 年为降雨侵蚀力的突变年份。

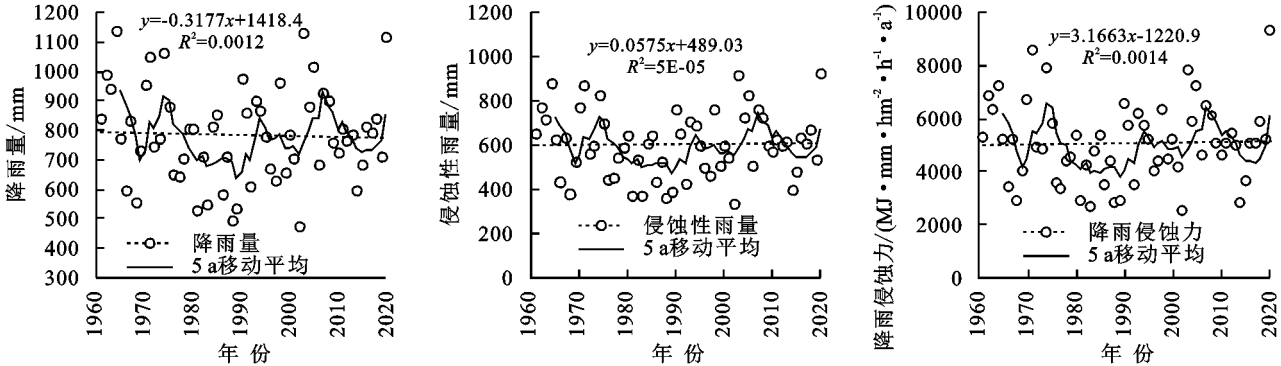


图 3 沂蒙山区降雨量、侵蚀性降雨量及降雨侵蚀力年际变化

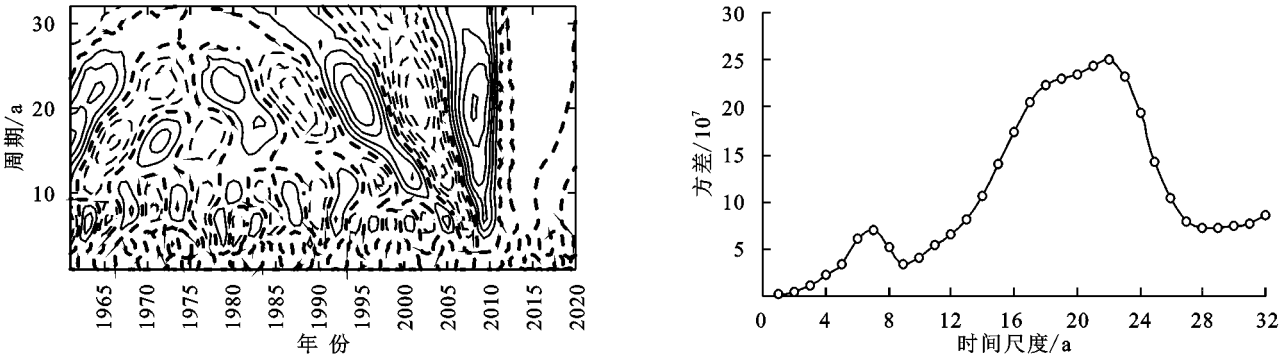


图 4 基于小波分析的年降雨侵蚀力周期变化图及小波方差图

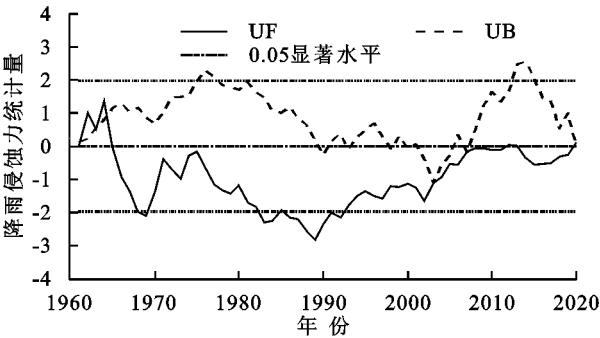


图 5 年降雨侵蚀力 Mann-Kendall 突变分析

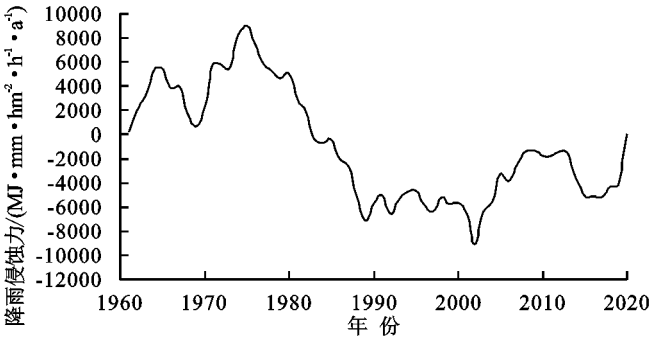


图 6 年降雨侵蚀力累积距平曲线

3.1.2 年内及季节变化 降雨侵蚀力年内分布规律见图 7,多集中在汛期 6—9 月份,占全年降雨侵蚀力的 84.15%;降雨侵蚀力最大月份出现在 7 月,为 1 706.44 (MJ·mm)/(hm²·h·a),占全年的 33.58%;最小月份出现在 1 月份,为 14.35 (MJ·mm)/(hm²·h·a),仅占全年的 0.41%,月际差异明显。

春(3—5 月)、夏(6—8 月)、秋(9—11 月)、冬(12—翌年 2 月)四季降雨侵蚀力的变化特征见图 8。除秋季外,春季、夏季和冬季的降雨侵蚀力均呈现上升的变化趋势。春季和秋季的平均降雨侵蚀力相差不大,分别为 512.96 (MJ·mm)/(hm²·h·a),720.03 (MJ·mm)/(hm²·h·a),占全年的降雨侵蚀力的 10.09%和 14.17%。夏季降雨侵蚀力最大,平均为 3 787.59 (MJ·mm)/(hm²·h·a),占全年的 74.54%。冬季由于降雨较少,降雨侵蚀力最小,仅为 61.02 (MJ·mm)/(hm²·h·a),占全年的 1%左右。

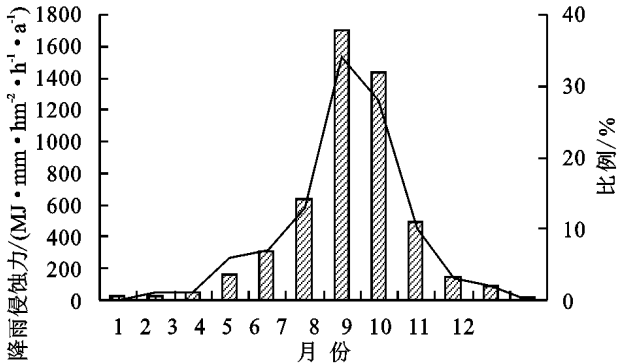


图 7 沂蒙山区降雨侵蚀力年内分布

3.2 降雨侵蚀力空间变化特征

3.2.1 降雨侵蚀力空间分布特征 各气象站点年均降雨侵蚀力存在差异,变化范围为 4 081.71~5 982.92 (MJ·mm)/(hm²·h·a),降雨侵蚀力最大的是临沂站,最小的是沂源站,最大值约为最小值的 1.5 倍(图 9)。

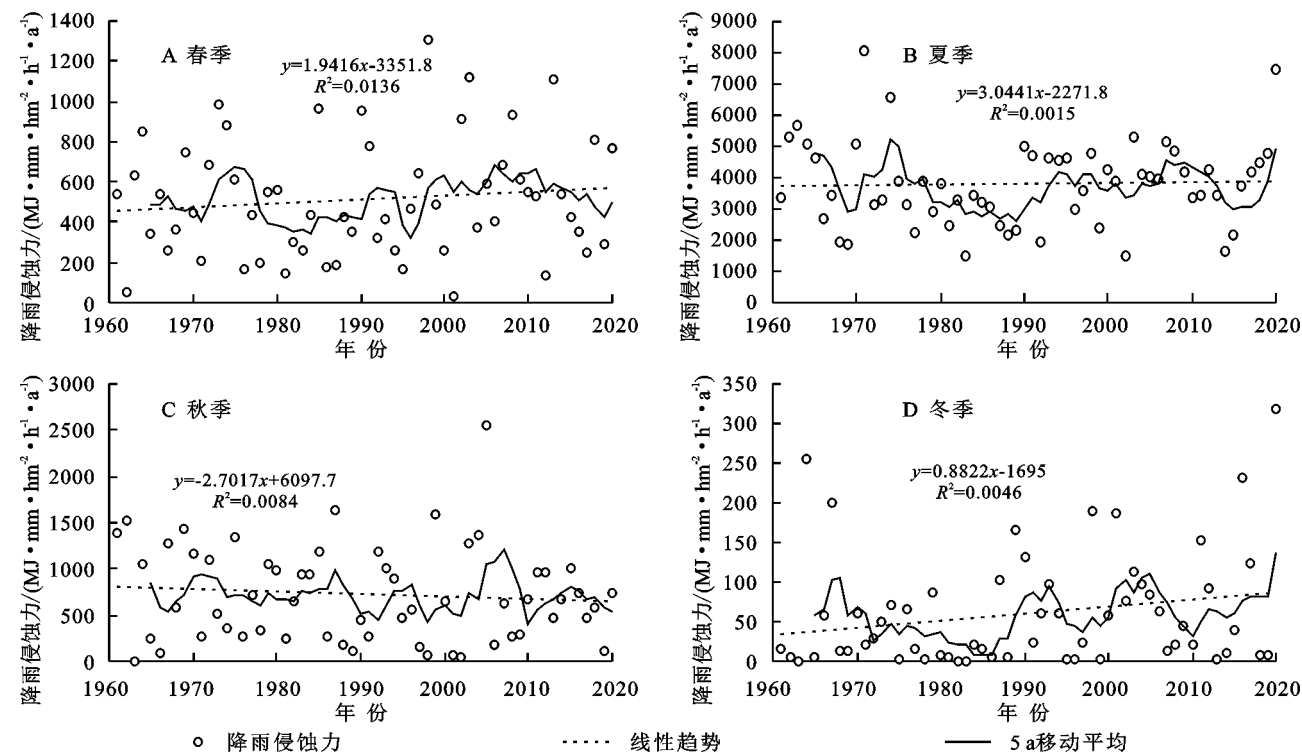


图 8 沂蒙山区降雨侵蚀力四季变化

为了进一步对比降雨侵蚀力与降雨量、侵蚀性降雨量空间分布的特征,利用 IDW 法进行空间插值,得到插值分布见图 10 所示。由结果可以看出,三者的空间分布特征基本上是一致的,均是由东南向西北呈带状逐渐递减。根据降雨侵蚀力由大到小可以将研究区大体分为 3 个区域:东南部地区包括日照、莒南、临沂、费县、枣庄、峄城及台儿庄,降雨侵蚀力基本达到 $5\,200\text{ (MJ}\cdot\text{mm)}/(\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})$ 以上;中西部地区包括微山、薛城、蒙阴、沂南、莒县及五莲等地,降雨侵蚀力 $4\,900\sim5\,200\text{ (MJ}\cdot\text{mm)}/(\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})$;北部及西北地区包括沂源、沂水、滕州、平邑、曲阜、邹城和泗水,降雨

侵蚀力在 $4\,900\text{ (MJ}\cdot\text{mm)}/(\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})$ 以下。

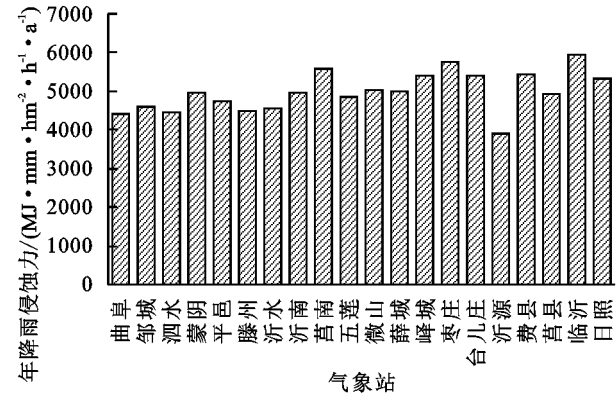


图 9 沂蒙山区各气象站点多年平均降雨侵蚀力

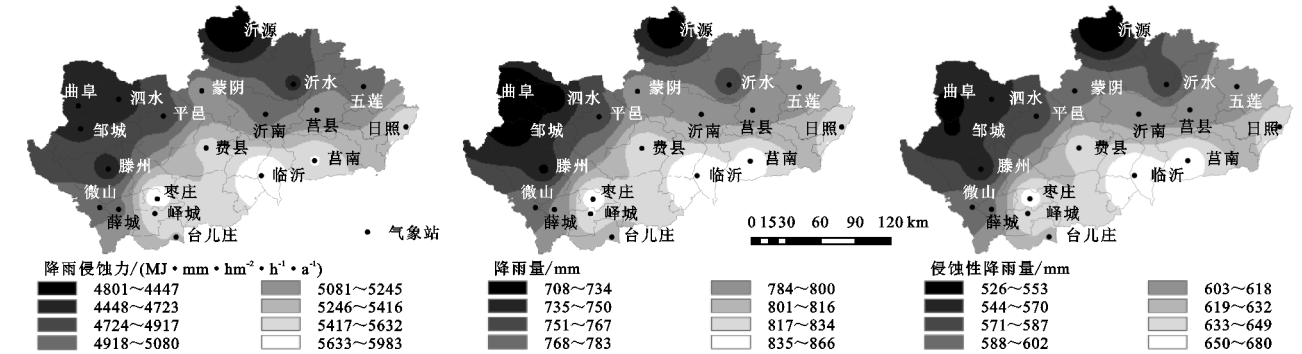


图 10 沂蒙山区降雨侵蚀力、降雨量及侵蚀性降雨量空间分布

由于季节的变化对降雨侵蚀力也存在一定的影响,因此对沂蒙山区四季降雨侵蚀力进行空间分布特征分析,结果见图 11。各季节降雨侵蚀力的空间变化整体也是由东南向西北呈带状逐渐递减,其中夏季降雨侵蚀力占全年的比例最大,各气象站点变化范围

为 $3\,144.03\sim4\,327.68\text{ (MJ}\cdot\text{mm)}/(\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})$,空间分布特征也与年均降雨侵蚀力的分布最为相似;秋季除日照附近的降雨侵蚀力相对较大之外,其余地区降雨侵蚀力的分布相对较为均匀,基本在 $600\sim800\text{ (MJ}\cdot\text{mm)}/(\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})$ 。

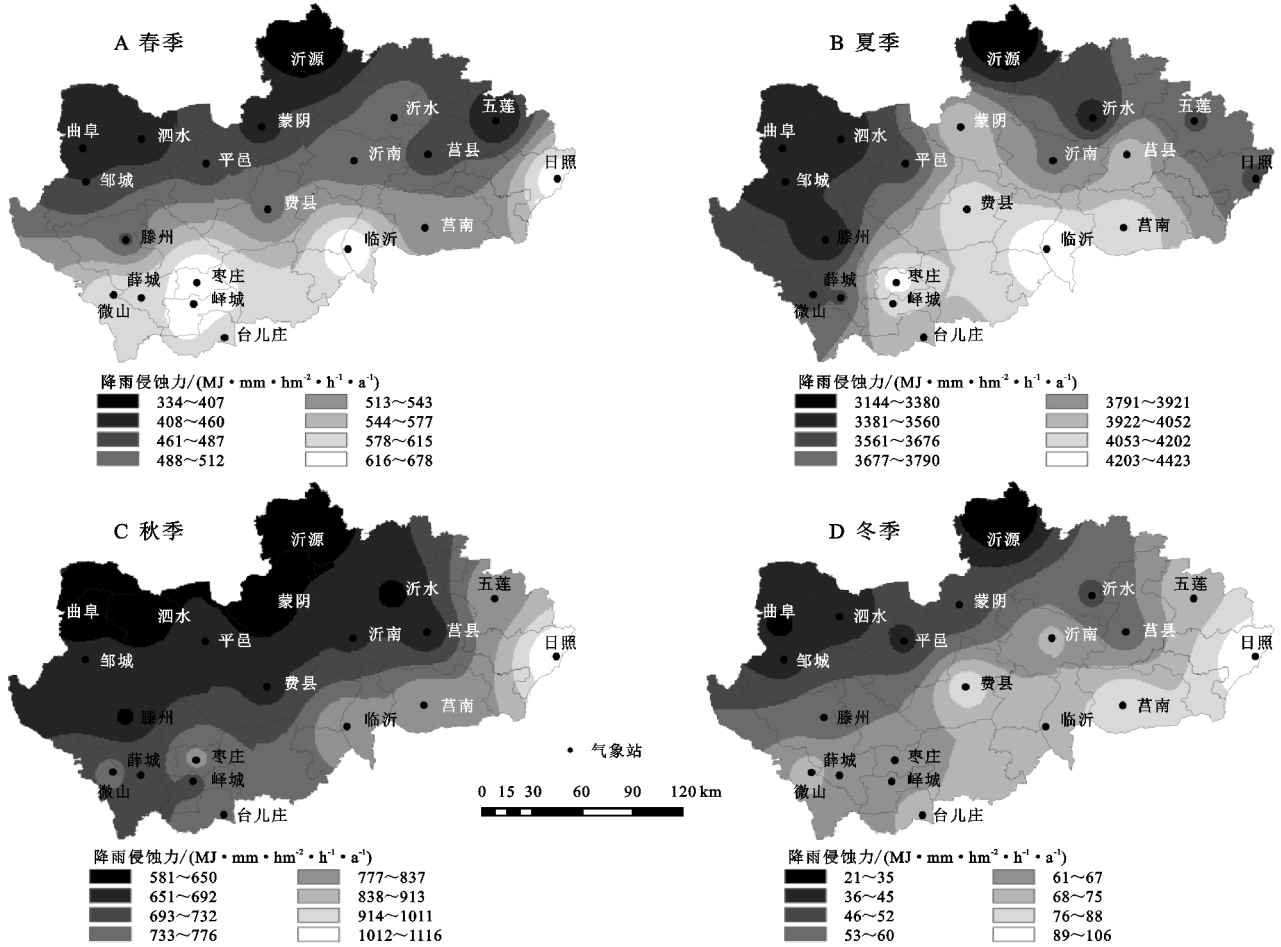
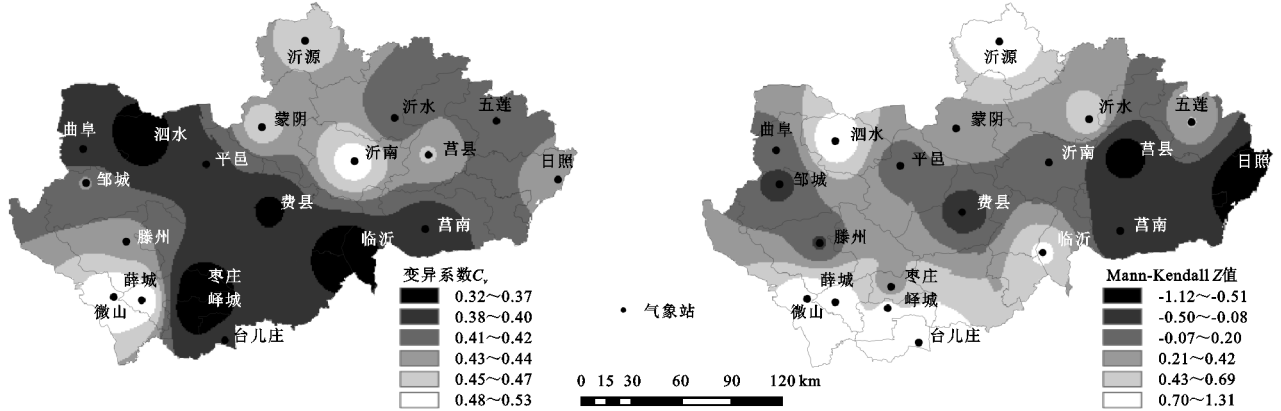


图 11 沂蒙山区季节降雨侵蚀力空间分布

3.2.2 降雨侵蚀力空间变化分析 利用变异系数 C_v 和 Mann-Kendall 统计量 Z 值来分析研究区降雨侵蚀力的空间变化(图 12)。各气象站变异系数的范围是 0.32~0.53,且地区差异比较明显,西部地区的变异系数相对较大,南部地区的变异系数相对较小,主要是由于南部地区的侵蚀性降雨量较大,并且年际变

化相对稳定,因此变异系数基本小于 0.40。由降雨侵蚀力的统计量 Z 值可知,除邹城、滕州、莒南、费县、莒县和日照站的降雨侵蚀力表现出降低的趋势外,其余站点均呈现增长的趋势。但无论是降低还是增长的变化趋势,统计量 $|Z| < 1.96$,均未通过显著性检验,均表现为不显著的变化趋势。



4 讨论

计算降雨侵蚀力的模型有很多,其中利用降雨动能和降雨强度计算降雨侵蚀力时精度相对最高,但由

于该方法对数据量、数据处理等要求极高,在很多地方均难以实现。由于本次研究数据的限制,缺乏长序列的次降雨数据,因此本文选取章文波的日降雨侵蚀力模型,得出沂蒙山区的年均降雨侵蚀力为 5 081.59

(MJ·mm)/(hm²·h·a),相对于年降雨侵蚀力及月降雨侵蚀力模型,该模型能够较为准确地反映研究区降雨侵蚀力的时空分布特征。但在今后的研究中,可以考虑通过加强对各类数据的收集与整理,尝试利用降雨强度、降雨动能等数据对研究区的降雨侵蚀力进行更深入的探讨。降雨侵蚀力与降雨量及侵蚀性降雨均呈现幂函数关系,其相关系数均大于0.9,且幂指数均大于1,由此说明降雨侵蚀力与降雨的关系非常密切。年内降雨侵蚀力集中分布在汛期6—9月份,尤其以7月、8月份分布最为集中,因此要重视对研究区7月、8月份的水土流失灾害防治。

研究区降雨侵蚀力由东南向西北呈带状逐渐递减,其中降雨侵蚀力最大的几个气象站是日照、莒南、临沂、费县、枣庄、峰城及台儿庄,根据张芷温^[35]、杨绍洋^[19]的研究,沂蒙山区强烈侵蚀主要集中在海拔相对较高、坡度较大以及植被覆盖差的山丘区,如沂源县、沂水县、蒙阴县、莒县、五莲县等。坡度大的地方地表径流的流速就越快,对土壤的冲刷侵蚀力就越强;有植被覆盖的地方可以较好地涵养水分,对土壤起到保护作用;同时人类也会通过破坏植被和稳定地形,增加水土流失。这也从一定程度上说明降雨侵蚀力的强弱除了与降雨有密切的关系之外,还与海拔、坡度、植被覆盖及人类活动等都有一定的关系。因此无论是沂蒙山区还是其他相类的地区,在防治水土流失过程中,要考虑各因素的影响,进行综合防治。

5 结论

(1) 沂蒙山区年均降雨量、侵蚀性降雨量和降雨侵蚀力分别为785.88 mm,603.55 mm及5 081.59 (MJ·mm)/(hm²·h·a),年降雨侵蚀力与年降雨量及侵蚀性降雨量存在幂函数关系,且相关系数均在0.9以上;年降雨侵蚀力与侵蚀性降雨的变化趋势相同,呈现波动上升的变化趋势,而降雨量则呈现波动下降的变化趋势,且降雨侵蚀力的年际波动程度大于降雨量和侵蚀性降雨量。各气象站点均表现为不显著的变化趋势,大部分气象站的降雨侵蚀力和侵蚀性降雨量表现为上升趋势,而大部分气象站的降雨量表现为下降趋势。

(2) 沂蒙山区降雨侵蚀力在整个时间序列上存在5~10 a,16~24 a两类尺度的周期变化,且在1961—2020年均稳定分布,具有全域性,其中22 a左右为第一主周期,7 a为第二主周期;降雨侵蚀力在

2002年发生突变。

(3) 降雨侵蚀力年内分布多集中在汛期6—9月份,占全年的84.15%;除秋季外,春季、夏季和冬季的降雨侵蚀力均呈现上升的变化趋势。

(4) 降雨侵蚀力、降雨量与侵蚀性降雨的空间分布均呈现由东南向西北呈带状逐渐递减,夏季降雨侵蚀力的空间变化与年均降雨侵蚀力最为相似;各气象站变异系数的范围是0.32~0.53,且地区差异比较明显,西部地区的变异系数相对较大,南部地区的变异系数相对较小;除邹城、滕州、莒南、费县、莒县和日照站的降雨侵蚀力呈现降低趋势外,其余站点均呈现不显著增长的趋势。

参考文献:

- [1] 刘明坤,童俊,胡波,等.金泽水库上游来水及库区水质变化时空分布特征[J].环境科学,2019,40(10):4461-4468.
- [2] 郭龙,王天巍,钱小将,等.降雨条件下土壤侵蚀及其光谱曲线的响应特征[J].亚热带水土保持,2010,22(3):1-5,45.
- [3] 章文波,谢云,刘宝元.降雨侵蚀力研究进展[J].水土保持学报,2002,16(2):43-46.
- [4] 许尔琪,张红旗,董光龙.伊犁河谷土壤水力侵蚀的时空变化研究[J].资源科学,2016,38(7):1203-1211.
- [5] 王爱娟,李智广,刘峰.长江上游水蚀区降雨侵蚀力的时空分布特征[J].水土保持通报,2013,33(1):8-11.
- [6] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning [USA] [R]. United States: Department of Agriculture, Agriculture Handbook(USA),1978.
- [7] 邵祎婷,何毅,穆兴民,等.秦巴山区降雨侵蚀力时空变化特征[J].长江流域资源与环境,2019,28(2):416-425.
- [8] Lee J H, Heo J H. Evaluation of estimation methods for rainfall erosivity based on annual precipitation in Korea [J]. Journal of Hydrology, 2011,409(1/2):30-48.
- [9] 卜兆宏,宫世俊,阮伏水,等.降雨侵蚀力因子的算法及其在土壤流失量监测中的选用[J].遥感技术与应用,1992,7(3):1-10.
- [10] 吴素业.安徽大别山区降雨侵蚀力简化算法与时空分布规律研究[J].中国水土保持,1994(4):12-13.
- [11] 付金霞,张鹏,郑粉莉,等.河龙区近55 a降雨侵蚀力与河道输沙量的动态变化分析[J].农业机械学报,2016,47(2):185-192.
- [12] 温天福,张范平,胡建民,等.1958—2014年赣江流域降雨侵蚀力时空变化特征[J].水土保持研究,2020,27(1):7-14,20.
- [13] 徐晶,徐征和,李伟,等.济南市1970—2016年降雨侵蚀力时空变化[J].山地学报,2018,36(3):391-400.

- [14] 周琳,许武成,尹义星.近 61 年四川省降雨侵蚀力的时空变化趋势[J].水土保持研究,2018,25(4):8-14.
- [15] Duan X G, Gu Z J, Li Y G, et al, The spatiotemporal patterns of rainfall erosivity in Yunnan Province, southwest China: An analysis of empirical orthogonal functions[J]. *Global and Planetary Change*, 2016,144: 82-93.
- [16] 曾瑜,厉莎,胡煜彬.1961—2014 年鄱阳湖流域降雨侵蚀力时空变化特征[J].生态与农村环境学报,2019,35(1):106-114.
- [17] 刘慧,李晓英,姚正毅.1961—2015 年雅鲁藏布江流域降雨侵蚀力[J].中国沙漠,2019,39(2):166-176.
- [18] 索笑颖,刘玉春,赵光耀,等.河北省山区降雨侵蚀力的时空变化特征[J].水土保持通报,2020,40(6):259-265.
- [19] 杨韶洋.基于 CSLE 模型的沂蒙山国家级重点治理区土壤侵蚀格局分析[D].山东泰安:山东农业大学,2014.
- [20] 马骞,于兴修,刘前进,等.沂蒙山区土壤侵蚀空间分布及其影响因素动态变化[J].中国农业科学,2010,43(22):4652-4662.
- [21] 阮欧,刘绥华,杨广斌,等.1966—2017 年贵州省降雨侵蚀力的时空分布特征[J].水土保持通报,2020,40(3): 35-42,2.
- [22] 陈晓瑜,孙晓航,黄奇晓,等.1970—2017 年福建省降雨侵蚀力的时空变化特征[J].福建农林大学学报:自然科学版,2021,50(1):125-133.
- [23] Peng Z, Gang W, Tian L M, et al. Spatiotemporal distribution of rainfall erosivity in the Bailong River Basin, Gansu Province [J]. *Advanced Materials Research*, 2014,936:2377-2382.
- [24] Shi D G, Jiang G W, Peng X D, et al. Relationship between the periodicity of soil and water loss and erosion-sensitive periods based on temporal distributions of rainfall erosivity in the Three Gorges Reservoir Region, China-ScienceDirect[J]. *Catena*, 2021,202:105268-105280.
- [25] 章文波,谢云,刘宝元.用雨量和雨强计算次降雨侵蚀力[J].地理研究,2002,3(21):384-390.
- [26] 章文波,谢云,刘宝元.中国降雨侵蚀力空间变化特征[J].山地学报,2003,21(1):33-40.
- [27] 高寒,冯新峰.山东省降雨时空分布特征研究[J].现代农业科技,2016(2):230-232.
- [28] Yang F B, Lu C H. Spatiotemporal variation and trends in rainfall erosivity in China's dryland region during 1961—2012[J]. *Catena*, 2015,133(133):362-372.
- [29] 邱临静,郑粉莉,尹润生.1952—2008 年延河流域降水与径流的变化趋势分析[J].水土保持学报,2011,25(3):49-53.
- [30] Xu Y, Sun H, Ji X. Spatial-temporal evolution and driving forces of rainfall erosivity in a climatic transitional zone: A case in Huaihe River Basin, eastern China-ScienceDirect [J]. *Catena*, 2020, 198: 104993-105006.
- [31] 孙青雪.基于 Mann-Kendall 检验的青山库区降水、径流变化趋势及突变分析[J].浙江水利水电学院学报,2016,28(5):29-33.
- [32] 谢贤胜,王升,闫妍,等.广西西江流域近 50 年气温和降水变化趋势及突变分析[J].水力发电,2020,46(12): 19-25,83.
- [33] 刘卫林,刘丽娜.修河流域洪水变化特征及其对气候变化的响应[J].水土保持研究,2018,25(5):306-312.
- [34] Yang F, Lu C. Spatiotemporal variation and trends in rainfall erosivity in China's dryland region during 1961—2012[J]. *Catena*, 2015,133:362-372.
- [35] 张芷温.基于 CSLE 模型的沂蒙山区土壤保持量与功能动态研究[D].山东泰安:山东农业大学,2020.