

沂河流域 1961—2010 年降雨侵蚀力时空分布特征

李子君, 林锦阔, 姜爱霞, 张晨

(山东师范大学 地理与环境学院, 山东 济南 250014)

摘要: [目的] 分析沂河流域近 50 a 的降雨量和降雨侵蚀力的时空变化特征, 为流域水土流失防治及土地利用合理规划等工作提供参考。[方法] 利用沂河流域及周边 12 个气象站 1961—2010 年的日降雨数据, 基于日降雨信息的月降雨侵蚀力模型计算流域多年平均降雨侵蚀力, 采用 Mann-Kendall 非参数检验法及析取 Kriging 内插法分析流域降雨量和降雨侵蚀力的时空变化特征。[结果] 沂河流域降雨量和降雨侵蚀力空间分布上呈现出由西南向北逐级递减的变化趋势。多年平均降雨量为 789.41 mm, 多年平均降雨侵蚀力为 2 626.09(MJ·mm)/(hm²·h·a), 两者都在 1965 年产生突变; 降雨量和降雨侵蚀力年内分布主要集中在夏季(6—8 月), 分别占全年比例的 63.02% 和 71.22%, 二者最大值都出现在 7 月, 且秋季对流域多年降雨量的减少趋势贡献最多, 夏季的降雨侵蚀力上升幅度最大。[结论] 沂河流域的降雨量和降雨侵蚀力空间分布趋势相似, 不同月份的降雨量与降雨侵蚀力差异不同。

关键词: 沂河流域; 降雨侵蚀力; 日降雨量; 时空分布

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2017)03-0086-07

中图分类号: S157.1, TP79

文献参数: 李子君, 林锦阔, 姜爱霞, 等. 沂河流域 1961—2010 年降雨侵蚀力时空分布特征[J]. 水土保持通报, 2017, 37(3): 86-92. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.03.015; Li Zijun, Lin Jinkuo, Jiang Aixia, et al. Spatio-temporal variations characteristics of rainfall erosivity during 1961—2010 in Yihe Basin[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(3): 86-92. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.03.015

Spatio-temporal Variations Characteristics of Rainfall Erosivity During 1961—2010 in Yihe Basin

LI Zijun, LIN Jinkuo, JIANG Aixia, ZHANG Chen

(School of Geography and Environment, Shandong Normal University, Jinan, Shandong 250014, China)

Abstract: [Objective] Analyzing the spatio-temporal variations of rainfall and rainfall erosivity of the Yihe Basin, to provide some references for soil and water loss control and land use planning. [Methods] A monthly rainfall erosivity model was adopted to calculate the rainfall erosivity by using daily precipitation data that were collected from 12 weather stations of Yihe Basin and its surrounding regions during 1961—2010. The spatio-temporal variations of rainfall and rainfall erosivity were analyzed by Mann-Kendall nonparametric tests and disjunctive Kriging space interpolation method. [Results] The spatial distributions of rainfall and rainfall erosivity in Yihe Basin showed a decreasing trends from the southwest part to the north part. The yearly averaged rainfall and rainfall erosivity were 789.41 mm and 2 626.09(MJ·mm)/(hm²·h·a). Both of them were observed changed abruptly in 1965. The monthly rainfall and rainfall erosivity in Yihe Basin were mainly distributed in summer(June to August), accounting for 63.02% and 71.22% of the corresponding annual values respectively, and their maximum value were all found in July. The decrease proportion of rainfall in Autumn contributed mostly to the yearly decreasing trend of rainfall. The rainfall erosivity in summer had the greatest contribution. [Conclusion] The spatial distribution of rainfall and rainfall erosivity was similar in Yihe Basin. The monthly rainfall was different from the monthly rainfall erosivity.

Keywords: Yihe Basin; rainfall erosivity; daily precipitation; spatio-temporal variation

收稿日期: 2016-09-20

修回日期: 2016-10-08

资助项目: 国家自然科学基金项目“沂河流域土地覆被变化和蓄水工程水文效应的分析与模拟”(41101079); 山东省自然科学基金(ZR2015DM012); 山东师范大学大学生创新创业训练计划国家级项目(201610445017)

第一作者: 李子君(1972—), 女(汉族), 山东省莒县人, 博士, 教授, 硕士生导师, 主要从事土地利用变化方面的研究。E-mail: lijz@sdjzu.edu.cn.

通讯作者: 姜爱霞(1961—), 女(汉族), 山东省威海市人, 本科, 高级实验师, 主要从事土壤侵蚀试验方面的研究。E-mail: jiaxia79@sina.com.

降水是引起土壤侵蚀的主要动力因素^[1]。降雨侵蚀力(R)作为一项重要指标,不仅被用来表征降雨对土壤侵蚀潜在能力的大小,而且是反映水土流失对全球气候变化响应的最佳参数,成为许多土壤侵蚀模型(如 USLE, RUSLE, AGNPS, CREAMS, EPIC 等)的主要参数之一^[2]。在相同地表条件下的水蚀区,同一地区不同年份,或同一年份不同地区的侵蚀呈现差异,皆源于降雨侵蚀力的不同^[3]。因此,研究区域降雨侵蚀力差异,特别是以流域为单元的降雨侵蚀力(R)值的准确计算以及时空分布特征,可以更好的揭示气候变化与土壤侵蚀的响应关系,为流域水土保持工作提供参考。1958 年 Wischmeier 等^[4]首次提出了运用次降雨总动能 E 与 30 min 最大雨强 I_{30} 的乘积 EI_{30} , 计算降雨侵蚀力的经典算法。但由于长序列的降雨资料不易获取,导致经典算法的使用限制较多,因此国内外许多学者开始对降雨侵蚀力的新算法及基于年、月和日尺度的简易方程进行了深入分析^[1,5-6]。由于日降雨量的资料较易获取且相比年、月数据的降雨侵蚀力估算结果更为精确,因此多用于分析降雨侵蚀力的空间分布和时间变化特征^[7]。已有诸多研究表明,降雨侵蚀力年际波动显著,年内分配不均且主要集中于汛期^[8],具有明显的空间异质性^[9]且与降雨量空间分布趋势基本一致^[10]。

沂河流域属于北方土石山区,是鲁中南低山丘陵区的一部分,是淮河流域的暴雨中心,也是山东省乃至淮河流域水土流失最为严重的区域^[11]。流域土壤表层疏松,土壤涵水能力低,严重的土壤侵蚀状况影响了区域的生态安全和社会经济的可持续发展。以往的研究中有学者指出,鲁中南地区年降雨侵蚀力具有上升趋势,此区域不仅包含省级水土流失重点治理区为鲁中南低山丘陵区,还有国家级水土流失重点治理区为沂蒙山区,因此,加强鲁中南地区的降雨侵蚀力的变化预测和趋势研究,有助于减少山东省水土流失防治的不确定性和成本^[12]。本文拟基于沂河流域内部及周边区域 12 个气象站点 1961—2010 年共 50 a 的日降雨量资料,分析流域降雨量和降雨侵蚀力的空间分布及年际、年内变化特征,以期更好地了解流域降雨的潜在侵蚀差异,为流域水土流失防治及土地利用合理规划等工作提供参考,同时为沂蒙山区生态安全屏障建设提供科学依据。

1 研究区概况

沂河发源于山东省沂源县鲁山南麓,流经鲁中南和苏北的 13 个县(市),在江苏新沂驻入骆马湖,全长超过 500 km,流域面积 17 325 km²,属淮河流域。本

研究中的沂河流域指沂河流域临沂站以上的部分,流域面积 10 034 km²,地理位置位于 117°25′—119°49′E, 33°30′—36°20′N。沂河流域在地貌上属构造剥蚀堆积平原区地貌,由于地壳运动和长期风雨的侵蚀等外力作用,造成流域地表断裂纵横、山峦起伏、岭谷相间的地貌景观。流域气候类型属暖温带半湿润大陆性季风气候,受大陆气团和海洋性气团交替影响,具有光照充足、四季分明、夏季炎热、冬季寒冷的特点。多年平均气温为 13.05~14.3 °C,南北相差较大。流域降水在年内分布极不均匀,多集中于夏秋季节。整个流域水系呈极不对称的扁长半树叶形,较大的一级支流多从右岸汇入,主要有东汶河、蒙河、沭河。流域土壤类型主要有粗骨土、褐土、棕壤、红黏土、潮土等。植被类型主要有两种:树林植被和草甸植被。树林植被以油松为代表,一般分布在海拔 800 m 以上的山腰和其他土壤瘠薄的山脊山坡上,此外还有加拿大杨、二杨、多种欧美杨、旱柳等树种。灌草丛以黄荆、酸枣、胡枝子、黄草、白草、结缕草为主。由于长期的人为活动,平地和低矮的丘陵大都开为农田,农作物、多种果树等栽培植物。流域以水力侵蚀为主,2010 年侵蚀面积(轻度及以上土壤侵蚀面积)为 4 252.97 km²,占流域总面积的 42.42%。侵蚀严重的区域大都位于河流中上游地区,主要发生在海拔 600 m 以下区域,其中高程位于 200—400 m 的区域侵蚀面积最大。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源及处理

本文采用 1961—2010 年 50 a 间沂河流域内及周边均匀分布的 12 个站点的连续 24 h 降水量,站点分布均匀,符合区域降水空间分布特征的分析要求,数据来自于中国气象数据共享服务网(<http://data.cma.cn>)和山东省气象局。临沂站、莒县站和沂源站为国家级台站,其他气象站为省级台站。但是有些站实测降水资料系列相对较短或缺少记录(表 1)。为了使流域内的降水量在不同时段中具有同一比较基础,以减少或消除因雨量站代表性欠佳而带来的偏差,必须利用相关性较好的雨量站的长资料系列值进行插补、展延。

利用 SPSS 软件对沂河流域 12 个气象站降水量数据进行回归分析后,选取相关系数高且具有相对完整降水资料的站,与需要插补降水资料的站建立线性回归方程(表 2)。经检验,所选插补站降水量与需插补站降水量之间的显著性概率为 0.000,小于 0.001,说明所建线性回归模型回归效果极为显著。

表 1 沂河流域气象站已有数据

站名	经度/(°)	纬度/(°)	海拔/m	已有数据时间
枣庄站	117.57	34.87	71.0	1961—2010年
莒县站	118.83	35.58	107.4	1961—2010年
邹城站	116.98	35.42	109.0	1961—2010年
平邑站	117.62	35.50	159.0	1961—2010年
泗水站	117.30	35.65	173.0	1961—2010年
沂水站	118.68	35.78	187.0	1961—2010年
蒙阴站	117.92	35.72	189.0	1961—2010年
新泰站	117.78	35.88	220.0	1961—2010年
沂源站	118.15	36.18	305.1	1961—2010年
临沂站	118.35	35.05	87.9	1961—1997年,2007年,2008年
苍山站	118.07	34.85	43.0	1961—1989年,1990年4月,1991—1993年,1999—2010年
沂南站	118.47	35.53	112.0	1962—1990年4月;1990年7月,8月;1990年10—12月;1991—2010年

表 2 沂河流域气象站插补、延展情况

参证站名	插补站名	线性回归方程	相关系数
沂水站	沂南站	$y=0.492+0.793x$	0.79
枣庄站	苍山站	$y=0.576+0.745x$	0.74
临沂站	苍山站	$y=0.344+0.826x$	0.81
沂南站	临沂站	$y=0.639+0.795x$	0.71
苍山站	临沂站	$y=0.528+0.790x$	0.81

2.2 研究方法

2.2.1 降雨侵蚀力的计算 降雨侵蚀力的计算方法可以分为标准法和模型法。标准法采用次降雨中的

$$R_m = \begin{cases} 40.36 P_{mer}^{1.521} \left(\frac{P_m}{D_{mer}}\right)^{1.726} \left(\frac{P_m}{D_m}\right)^{0.162} Z_{3m}^{-1.445} & (P_{dmax} \geq 12 \text{ mm}) \\ 0.084 P_m^{2.23} D_m^{0.556} Z_m^{-0.565} & (0.6 \text{ mm} \leq P_{dmax} < 12 \text{ mm}) \\ 0 & (P_{dmax} < 0.6 \text{ mm}) \end{cases}$$

式中: R_m ——月降雨侵蚀力 $[(J \cdot \text{mm})/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$;
 P_m ——月降雨量(mm); P_{mer} ——月侵蚀性雨量(mm),即某月内日降雨量 $\geq 12 \text{ mm}$ ^[2]的降雨量总和;
 D_{mer} ——某月日降雨量 $\geq 12 \text{ mm}$ 的降雨天数;
 D_m ——某月内日降雨量 $\geq 0.6 \text{ mm}$ 的月降雨天数;
 Z_m ——某月内降雨量最大的1日日降雨量(mm);
 Z_{3m} ——某月日降雨量 $\geq 12 \text{ mm}$ 时,该月内降雨量最大的3日日降雨量之和(mm); P_{dmax} ——某月内最大日降雨量(mm)。若要计算年降雨侵蚀力,则分别计算一年内12个月份的降雨侵蚀力后累加即可,即:

$$R_a = \frac{1}{100} \sum_i^{12} R_{mi} \quad (2)$$

式中: i ——一年内的第*i*月, $i=1,2,\dots,12$; R_a ——年降雨侵蚀力 $[(\text{MJ} \cdot \text{mm})/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})]$ 。

2.2.2 Mann-Kendall 秩次相关检验法和突变检验法 用于检验时间序列变化的统计方法很多,其中非参数检验法优点是不需要样本遵从一定的分布,也不受少数异常值的干扰^[15],被世界气象组织推荐并广泛应用于分析降水、径流、气温、水质等方面,故文中

最大30 min降雨强度 I_{30} 和降雨动能E的乘积 EI_{30} 来计算,但需要详细的降雨过程资料,难以实现。而纵观各种模型法,虽计算方法简单,但大都未明显包含雨强的概念,这与降雨侵蚀力提出的初衷相违背^[13],影响了计算的精度。

本文采用杨轩等人基于日降雨量计算月降雨侵蚀力的复合因子模型^[14],此模型通过侵蚀性雨量(P_{mer})与侵蚀性降雨日数(D_{mer})之比,很好地降雨强度反映在模型当中,提高了降雨侵蚀力模型的估算精度,其表达式为:

$$\begin{cases} (P_{dmax} \geq 12 \text{ mm}) \\ (0.6 \text{ mm} \leq P_{dmax} < 12 \text{ mm}) \\ (P_{dmax} < 0.6 \text{ mm}) \end{cases} \quad (1)$$

通过计算运用 Mann-Kendall 检验法对沂河流域降雨量和降雨侵蚀力进行趋势检验和突变分析。

假定 X_1, X_2, \dots, X_n 为时间序列变量, n 为时间序列的长度,M-K法定义了统计量S:

$$S = \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{k=j+1}^n \text{sgn}(x_k - x_j)$$

$$\text{sgn}(x_k - x_j) = \begin{cases} 1 & (x_k - x_j > 0) \\ 0 & (x_k - x_j = 0) \\ -1 & (x_k - x_j < 0) \end{cases} \quad (3)$$

式中: x_j, x_k ——第*j*年和第*k*年的相应测量值,且 $k > j$ 。

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & (S > 0) \\ 0 & (S = 0) \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & (S < 0) \end{cases} \quad (4)$$

式中: Z ——正态分布的统计量,方差 $\text{Var}(s) = n(n-1)(2n+5)/18$ 。在给定的 α 置信水平上,如果 $|Z| \geq Z_{1-\alpha/2}$,则拒绝原假设,即在 α 置信水平上,时间序列数据存在明显的上升或下降趋势, Z 为正值表示增加趋

势,为负值表示减少趋势。取显著性水平 $\alpha=0.05$ 水平下,对应 Z 的绝对值为 1.96。其变化趋势的大小用 β 表示:

$$\beta = \text{median} \left(\frac{x_k - x_j}{k - j} \right) \quad (\forall j < k) \quad (5)$$

若 $\beta > 0$,表示呈上升趋势;若 $\beta < 0$,表示呈下降趋势^[16]。

突变分析主要是检验时间序列的不连续性。设降雨侵蚀力序列为 $x_1, x_2, \dots, x_n, S_k$ 表示第 i 个样本的 $x_i > x_j (1 \leq j \leq i)$ 的累计数,定义统计量:

$$S_k = \sum_i^k r_i, \quad r_i = \begin{cases} 1 & (x_i > x_j) \\ 0 & (x_i \leq x_j) \end{cases} \quad (6)$$

$(j=1, 2, \dots, i; k=1, 2, \dots, n)$

在时间序列随机独立的假定情况下, S_k 的均值和方差分别为:

$$E[S_k] = k(k-1)/4, \\ \text{var}[S_k] = k(k-1)(2k+5)/72 \quad (1 \leq k \leq n) \quad (7)$$

将 S_k 标准化:

$$UF_k = (S_k - E[S_k]) / \sqrt{\text{var}[S_k]} \quad (8)$$

其中 $UF_1 = 0$ 。给定显著性水平 α ,若 $|UF_k| > U_\alpha$ 则表明序列存在明显的趋势变化。所有 UF_k 可组成一条曲线。按时间序列逆序 X_n, X_{n-1}, \dots, X_1 重复上述公式(7)–(9)过程,同时使 $UB_k = -UF_k (k=n, n-1, \dots, 1)$,其中 $UB_1 = 0$ 。若 UB_k 和 UF_k 的值大于 0,则表明序列呈上升趋势,小于 0 表明序列呈下降趋势,当他们超过临界线时,表明上升或下降趋势显著。2 条曲线出现交点,且交点在临界线之间,那么交点对应的时刻是降雨侵蚀力突变开始的年份。根据上述方法,确定降雨量和降雨侵蚀力突变开始的年份^[17]。

2.2.3 滑动 T 检验 滑动 T 检验是通过考察 2 组样本平均值的差异是否显著来检验突变。其基本思想是把一气候序列中的 2 段子序列均值有无显著性差异看做来自 2 个总体均值有无显著性差异的问题来检验。如果两段子序列的均值差异超过了一定显著性水平,可以认为均值发生了突变。但子序列时段选择带有有人为性,为避免任意选择子序列长度造成突变点的漂移,具体使用时,可反复变动子序列长度进行比较,以提高计算结果的可靠性。

对于具有 n 个样本量的时间序列 x ,人为设置某一时刻为基准点,基准点前后两段子序列 x_1, x_2 的样本分别为 n_1, n_2 ,两段子序列的平均值分别为 \bar{x}_1 , 和 \bar{x}_2 ,方差分别为 s_1^2 和 s_2^2 。定义统计量:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}, \quad s = \sqrt{\frac{n_1 s_1^2 + n_2 s_2^2}{n_1 + n_2 - 1}} \quad (9)$$

方程(9)遵从自由度 $v = n_1 + n_2 - 2$ 的 t 分布^[17]。

3 结果与分析

3.1 降雨量和降雨侵蚀力空间分布

由公式(1)和(2) 计算出流域各月降雨侵蚀力,经累加得出年降雨侵蚀力后,计算出各气象站多年平均降雨侵蚀力。由于不同插值方法反映整体趋势与局部分布格局有所差异,而基于地统计学的析取 Kriging 内插法对区域降雨侵蚀力空间插值,可以突出地反映降雨侵蚀力的局部信息,在细节上的表现更为灵敏^[18]。因此本文利用 ArcGIS 10.2 地统计学拓展模块将各离散测站的多年平均降雨量和多年平均降雨侵蚀力进行析取 Kriging 插值分析,进而得到流域多年平均降雨量等值线和多年平均降雨侵蚀力的空间分布(图 1)。

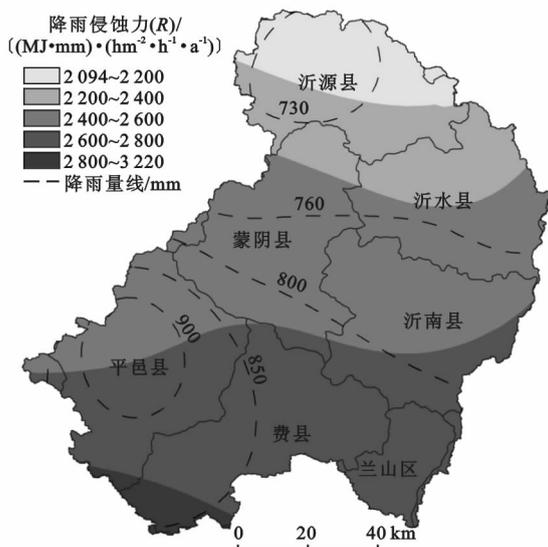


图 1 沂河流域降雨量与降雨侵蚀力空间分布

由图 1 可知,沂河流域多年平均降雨量范围为 710.11~986.38 mm,平均值为 789.41 mm,降雨侵蚀力范围为 2 093.70~3 220.27(MJ·mm)/(hm²·h·a),平均值为 2 626.09(MJ·mm)/(hm²·h·a),其中费县和平邑县南部的区域为降雨侵蚀力的高值区,达到 2 800(MJ·mm)/(hm²·h·a)以上,而降雨量的高值区位于平邑县;流域降雨量和降雨侵蚀力的低值区位于沂源县北部区域,降雨侵蚀力小于 2 200(MJ·mm)/(hm²·h·a)。总体来看,沂河流域的降雨量和降雨侵蚀力空间分布趋势相似,都呈现出由西南向北逐级递减的变化规律。以往并未有学者对该流域的降雨侵蚀力进行分析,但有学者对整个沂蒙山区的降雨侵蚀力研究显示^[10],沂蒙山区的降雨侵蚀力从空间分布上呈现从南向西北、东北 2 个方向递减的趋势,这与本研究结论基本一致(图 1)。

将 12 个气象站点多年平均降雨量、多年平均侵蚀性降雨量和多年平均降雨侵蚀力绘制成图 2。

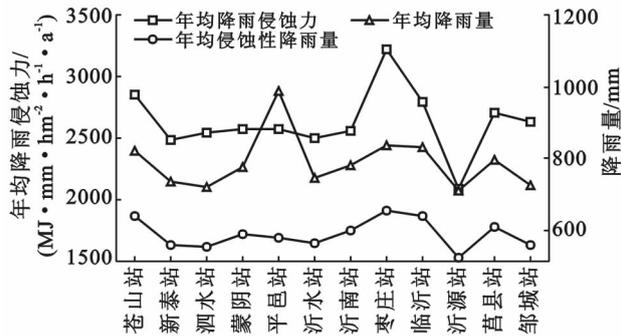


图 2 沂河流域各气象站点的年均降雨量、年均侵蚀性降雨量和年均降雨侵蚀力

由图 2 可知,沂河流域 12 个点站中年均降雨侵蚀力与年均降雨量、年均侵蚀性降雨量具有一定的协同性。流域最高降雨侵蚀力出现在枣庄站,最低降雨侵蚀力出现在沂源站。其中平邑站虽然具有最高的年均降雨量,但是由于其年均侵蚀性降雨量较低,因此降雨侵蚀力反而不高。通过线性回归法构建流域各气象站多年平均降雨侵蚀力与降雨量的相关关系,可以得出年均降雨侵蚀力与年均侵蚀性降雨量的相关系数 $R=0.899(p<0.01)$ 明显高于年均降雨量的相关系数 $R=0.874(p<0.01)$ 。由此看来,沂河流域的降雨侵蚀力受侵蚀性降雨量的影响更大。

3.2 降雨量和降雨侵蚀力的年际变化

从沂河流域降雨量和降雨侵蚀力年际变化趋势来看(图 3),降雨量的变化趋势略有下降,而降雨侵蚀力呈上升趋势。其中降雨量的最小值出现在 2002 年,只有 471.16 mm,最大值出现在 1964 年,达到 1 183.58 mm。降雨侵蚀力的最小值出现在 1976 年,仅为 1 510.85(MJ·mm)/(hm²·h·a),而 2000 年以后,流域降雨侵蚀力的波动的程度较为剧烈,2003 年达到了研究时段内的最大值,且较常年偏高,为 4 674.09(MJ·mm)/(hm²·h·a),可以看出,逐年降雨侵蚀力的年际差相差较大,最高值为最低值的 3.09 倍。流域 50 a 来,降雨侵蚀力与降雨量的变化趋势基本一致,但也有部分年份两者关系不一致:如 2003 年虽然没有最高的降雨量,但是由于在整个研究时段内侵蚀性降雨量较高,因此其年降雨侵蚀力的值也是最大,而 1964 和 1974 年虽然降雨量和侵蚀性降雨量都很高但是其降雨侵蚀力相对较低,主要原因是计算降雨侵蚀力时,采用了极端降雨量(Z_m, Z_{3m})等新指标,导致在降雨量和侵蚀性降雨量相差不大的情况下, Z_m, Z_{3m} 较大的月份降雨侵蚀力相对较小。

通过计算沂河流域及各气象站降雨量、降雨侵蚀力的倾斜度 β 值并进行 Mann-Kendall 波动趋势检验(表 3),可以得出与图 3 同样的规律。自 1961—2010

年,流域降雨量略有下降,下降幅度仅为 -0.91。各气象站点的降雨量除新泰站、沂源站、邹城站、泗水站呈上升趋势外,其余各站均呈下降趋势,其中临沂站降雨量的下降幅度 β 值以及 Z 值最大,但所有气象站的降雨量变化趋势均未超过 0.05 的显著性水平。流域降雨侵蚀力呈现上升趋势,上升幅度为 6.45。除临沂站、莒县站和苍山站的降雨侵蚀力呈下降趋势外,其余各站均呈上升趋势,且沂南站侵蚀力上升幅度最大达到 16.39,但各站的变化趋势在 0.05 显著性水平上均不显著。由此说明,研究时段内,流域降雨侵蚀力存在一定随机波动,单个气象站降雨量和降雨侵蚀力的变化对流域整体的气候变化趋势影响并不大。

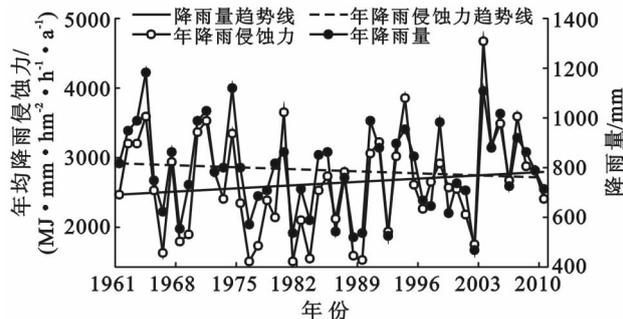


图 3 1961—2010 年沂流域年降雨量、年降雨侵蚀力变化

表 3 沂河流域及各气象站降雨量及降雨侵蚀力趋势检验

气象站	降雨量		降雨侵蚀力	
	倾斜度 β	Z	倾斜度 β	Z
沂河流域	-0.91	-0.50	6.45	0.80
新泰站	0.61	0.38	6.70	0.70
蒙阴站	-0.99	-0.49	3.45	0.43
平邑站	-1.73	-0.84	7.20	0.75
沂水站	-1.66	-0.90	4.39	0.38
沂南站	-0.16	-0.13	16.39	1.36
邹城站	0.03	0.03	12.57	0.82
枣庄站	-0.48	-0.45	6.79	0.65
临沂站	-3.18	-1.85	-8.37	-0.90
沂源站	0.47	0.22	7.50	1.00
莒县站	-2.43	-1.28	-8.45	-0.80
苍山站	-1.02	-0.43	-1.15	-0.18
泗水站	0.54	0.22	11.09	1.19

注: Z 为正态分布统计量。下同。

为分析沂河流域降雨量、降雨侵蚀力的突变状况,对流域降雨量、降雨侵蚀力时间序列进行 Mann-Kendall 突变分析。

由图 4—5 可以发现,降雨量正向序列曲线(UF)从 20 世纪 60 年代到 70 年代初期,表现出先上升后下降的变化趋势且上升趋势超过了 0.05 的显著性水平临界线;从 70 年代中期到 2010 年,降雨量处于下

降趋势,其中 80 年代末 90 年代初的下降趋势显著。图 4 中,UF 曲线和 UB 曲线在置信区间内有 3 个交点,分别位于 1965,2003 和 2009 年,通过滑动 T 检验多次选取子序列长度进行验证,最终采用 5 a 子序列时间长度断定 1965 年为流域降雨量的显著突变点。降雨侵蚀力正向序列曲线(UF)从 60 年代初期上升趋势显著,超过了 0.05 的显著性水平临界线,此后到 70 年代中期,波动较为激烈但并未超出显著性水平临界线;从 70 年代中期到 2004 年,降雨侵蚀力呈下降趋势且在 80 年代末期下降趋势显著;2004 年以后,降雨侵蚀力呈现出上升趋势但并不显著。其中,UF 曲线和 UB 曲线在置信区间内出现 3 个交点,分别位于 1962,1965 和 2002 年,经过滑动 T 检验多次选取子序列长度进行验证,最终采用 5 a 子序列时间长度断定 1965 年为流域降雨侵蚀力的显著突变点。整体来看,流域降雨量和降雨侵蚀力的(UF)曲线在进入 21 世纪之前变化趋势相似,但是进入 21 世纪之后降雨侵蚀力产生了上升趋势,而降雨量的(UF)曲线仍旧处于负值,其原因可能是进入 21 世纪以来,极端的天气事件增多导致了流域侵蚀性降雨量的增加,进而使流域的降雨侵蚀力的变化趋势有所上升。

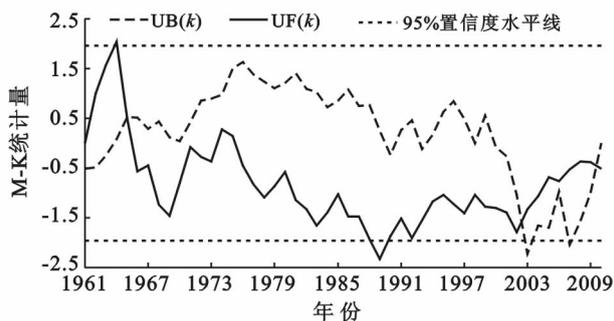


图 4 1961—2010 年沂流域年降雨量突变分析

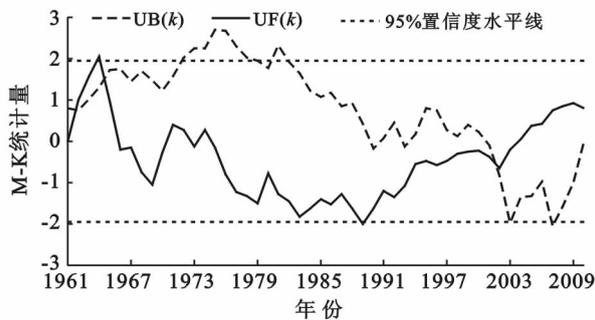


图 5 1961—2010 年沂流域年降雨侵蚀力突变分析

3.3 降雨量和降雨侵蚀力的年内变化

沂河流域季节降雨量以及降雨侵蚀力时间变化趋势结果显示(表 4),春、冬季节降雨量呈现上升趋势,夏、秋季节降雨量呈现下降趋势。4 个季节中秋

季降雨量的下降趋势最大,说明秋季对流域多年降雨量的减少趋势贡献最多。降雨侵蚀力除秋季呈下降趋势外,其他季节均为上升趋势,且夏季降雨侵蚀力上升幅度最大,Kendall 倾斜度为 7.21,但在 0.05 显著性水平上并不显著。冬季降雨侵蚀力上升幅度虽然最少仅为 0.15,但其 Z 值却最大,达到 1.52。有研究认为,在全球气候变暖的大环境下,部分冬季降雪会转变为降雨,从而导致侵蚀力的升高^[19],这与本研究的结果相吻合。

表 4 沂河流域季节降雨量、降雨侵蚀力 Kendall 倾斜度 β 及趋势检验

气象站	降雨量		降雨侵蚀力	
	倾斜度 β	Z	倾斜度 β	Z
春季(3—5 月)	0.10	0.60	1.23	1.17
夏季(6—8 月)	-0.03	-0.02	7.21	0.90
秋季(9—11 月)	-0.33	-1.34	-2.97	-0.89
冬季(12—2 月)	0.05	0.82	0.15	1.52

分别计算流域 50 a 来各月平均降雨量、各月平均降雨侵蚀力占年均降雨量和年均降雨侵蚀力的百分比,并以此绘制降雨量和降雨侵蚀力的年内分配图(图 6)。从图中可以看出,沂河流域降雨量和降雨侵蚀力年内分布规律基本一致均呈单峰型。降雨量和降雨侵蚀力年内分布主要集中在夏季(6—8 月),分别占全年比例的 63.02%和 71.22%,二者最大值都出现在 7 月,分别为 28.92%和 31%。流域 6—9 月的降雨侵蚀力明显高于降雨量,而其余月份降雨侵蚀力均低于降雨量。雨滴动能的大小直接影响击溅侵蚀的强度,沂河流域夏季暴雨集中,次降雨的雨强大,雨滴动能大,而其他月份次降雨的雨强弱,雨滴动能小,因此导致不同月份降雨量与降雨侵蚀力的差异不同。

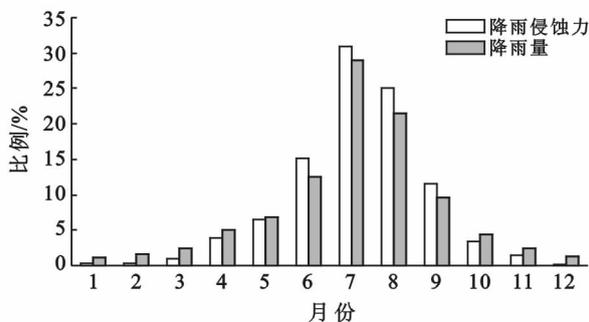


图 6 1961—2010 年沂河流域降雨量与降雨侵蚀力年内分配特征

4 讨论与结论

(1) 沂河流域降雨量和降雨侵蚀力总体呈现出由西南向北逐级递减的变化趋势,年均降雨量变化范

围为 710.11~986.38 mm,平均值为 789.41 mm,降雨侵蚀力范围为 2 093.70~3 220.27 (MJ·mm)/(hm²·h·a),平均值为 2 626.09(MJ·mm)/(hm²·h·a),流域年均降雨侵蚀力受侵蚀性降雨的影响更大。其中降雨侵蚀力的高值区位于费县和平邑县南部的区域,达到 2 800(MJ·mm)/(hm²·h·a)以上,降雨量的高值区位于平邑县;流域降雨量和降雨侵蚀力的低值区位于沂源县北部区域,降雨侵蚀力小于 2 200(MJ·mm)/(hm²·h·a)。

(2) 50 a 来,降雨量变化趋势略有下降,下降幅度为-0.91,最小值出现在 2002 年,只有 471.16 mm,最大值出现在 1964 年,达到 1 183.58 mm。降雨侵蚀力呈上升趋势,上升幅度为 6.45,降雨侵蚀力的最小值出现在 1976 年,仅为 1 510.85(MJ·mm)/(hm²·h·a),2003 年达到了最大值,且较常年偏高,为 4 674.09(MJ·mm)/(hm²·h·a),流域降雨量和降雨侵蚀力都在 1965 年产生突变。研究时段内,降雨侵蚀力存在一定随机波动,单个气象站降雨量和降雨侵蚀力的显著变化对流域整体的气候变化趋势影响并不大。

(3) 流域降雨量和降雨侵蚀力年内分布主要集中在夏季(6—8 月),分别占全年比例的 63.02%和 71.22%,二者最大值都出现在 7 月,分别为 28.92%和 31%,且不同月份的降雨量与降雨侵蚀力差异不同。秋季对流域多年降雨量的减少趋势贡献最多,夏季降雨侵蚀力上升幅度最大,但各季节的变化趋势均不显著。

(4) 此外刘正佳等^[20]同样采用基于日降雨量计算月降雨侵蚀力复合因子模型,对沂蒙山区降雨侵蚀力的时空分布分析得出,流域 6—9 月的降雨侵蚀力明显高于降雨量,而其余月份降雨侵蚀力均低于降雨量。本研究与之相比,得出相同规律,但是本研究计算沂河流域降雨侵蚀力多年平均值为 2 626.09(MJ·mm)/(hm²·h·a),刘正佳等采用相同的计算方法得到沂蒙山区多年平均值为 1 777.5(MJ·mm)/(hm²·h·a),而杨绍洋等^[10]采用日雨量修正模型得到沂蒙山区多年平均值为 4 133.92(MJ·mm)/(hm²·h·a)。由此可见,计算方法相同,选取不同的区域尺度和时间尺度,或选取的研究区域相同,但采用不同的计算公式得到的降雨侵蚀力 R 值均存在较大差异,因此如何采取统一的标准来更为精确的计算降雨侵蚀力的大小,在今后的研究中可进一步探讨。此外,本研究侵蚀性降雨采用的是黄土高原坡面侵蚀的侵蚀性降雨雨量标准($P \geq 12$ mm)^[2],此标准在沂河流域的适用性如何,还需进一步考证。

[参 考 文 献]

- [1] 章文波,付金生. 不同类型雨量资料估算降雨侵蚀力[J]. 资源科学,2003,25(1):35-41.
- [2] 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.
- [3] 卜兆宏,董勤瑞,周伏建,等. 降雨侵蚀力因子新算法的初步研究[J]. 土壤学报,1992,29(4):408-418.
- [4] Wischmeier W H, Smith D D. Rainfall energy and its relationship to soil loss[J]. Transactions of American Geophysical Union, 1958,39(3):285-291.
- [5] Yu B, Hashim G M, Eusof Z. Estimating the R-factor using limited rainfall data: A case study from Peninsular Malaysia[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2001,56(2):101-105.
- [6] 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.
- [7] 赖成光,陈晓宏,王兆礼,等. 珠江流域 1960—2012 年降雨侵蚀力时空变化特征[J]. 农业工程学报,2015,31(8):159-167.
- [8] 刘惠英,任洪玉,张长伟,等. 三峡库区香溪河流域降雨侵蚀力的时空分布特征[J]. 中国水土保持科学,2015,13(3):1-7.
- [9] 范建容,严冬,郭祥. GIS 支持下的长江上游降雨侵蚀力时空分布特征分析[J]. 水土保持研究,2010,17(1):92-96.
- [10] 杨韶洋,刘霞,姚孝友,等. 沂蒙山区降雨侵蚀力空间分布推算方法[J]. 中国水土保持科学,2015,13(2):1-10.
- [11] 赵善伦,尹民,孙希华. 山东省水土流失经济损失与生态价值损失评估[J]. 经济地理,2002,22(5):616-619.
- [12] 马良,左长清,尹忠东,等. 山东省降雨侵蚀力多年变化特征分析[J]. 中国水土保持科学,2010,8(4):79-85.
- [13] 王万忠,焦菊英,郝小品,等. 中国降雨侵蚀力 R 值的计算与分布(I)[J]. 水土保持学报,1995,9(4):5-18.
- [14] 杨轩,梁音,方继青,等. 基于日降雨信息的月降雨侵蚀力模型[J]. 土壤学报,2010,47(2):216-222.
- [15] 任洪玉,刘惠英. 三峡库区大宁河流域降雨侵蚀力的时空变化[J]. 水土保持通报,2016,36(3):1-7.
- [16] 康淑媛,张勃,柳景峰,等. 基于 Mann-Kendall 法的张掖市降水量时空分布规律分析[J]. 资源科学,2009,31(3):501-508.
- [17] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京:气象出版社,2007.
- [18] 门明新,宇振荣,许皞. 基于地统计学的河北省降雨侵蚀力空间格局研究[J]. 中国农业科学,2006,39(11):2270-2277.
- [19] 刘国彬,梁一民. 黄土高原草地植被恢复与土壤抗冲性形成过程(I):草地植被恢复生物量特征[J]. 水土保持研究,1997,4(S1):102-110,121.
- [20] 刘正佳,刘占仁,王丝丝,等. 基于日降雨的沂蒙山区降雨侵蚀力时空变化研究[J]. 水土保持研究,2012,19(2):34-37.