

网络出版时间:2015-05-11 15:03

DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2015.06.032

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20150511.1503.032.html

陇东地区降雨侵蚀力时空变化特征分析

吴德勇¹,张 新¹,李启权¹,冯 强²,
刘相君²,季 柯²,翟海江³

(1 四川农业大学 资源环境学院,四川 成都 611130;

2 甘肃省庆阳市水土保持管理局,甘肃 西峰 745000;

3 甘肃省庆阳市气象局,甘肃 西峰 745000)

[摘 要] 【目的】对陇东地区降雨侵蚀力的时空变化特征进行研究,为认知该区域水土流失规律和指导水土保持工作提供参考。【方法】以陇东地区正宁、宁县、西峰、镇原、合水、庆城、华池和环县等 8 个区县气象站 2001—2011 年日降雨量资料为基础,采用日降雨量侵蚀力模型计算各站点降雨侵蚀力值,探讨分析了该区域降雨侵蚀力的年际变化和年内分布特征,并结合 GIS 软件分析了陇东地区年降雨侵蚀力的空间分布规律。【结果】陇东地区各区县气象站点年均降雨侵蚀力为 1 144.8~2 048.5 MJ·mm/(hm²·h),且东南部明显高于西北部;中南部地势低洼的宁县和合水县由于侵蚀性降雨集中,其降雨侵蚀力值大于东南部年降雨量和侵蚀性降雨量最大、侵蚀性降雨天数最多的正宁县。区域降雨侵蚀力年内高度集中,各区县气象站点 6—9 月降雨侵蚀力占全年的 84.4%~88.8%,呈显著的单峰型分布。区内降雨侵蚀力年际波动较大,各站点年际变率为 29.09%~56.55%。趋势分析表明,陇东 8 个区县的年降雨侵蚀力总体呈减小趋势,其中华池和环县降雨侵蚀力减小显著 ($P<0.05$)。【结论】陇东地区年内 80% 以上的降雨侵蚀力集中在 6—9 月,空间上则由东南向西北递减,从时间上看,近年来该地区降雨侵蚀力呈减小趋势。

[关键词] 降雨侵蚀力;日降雨量侵蚀力模型;时空分布;陇东地区

[中图分类号] S157.1

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2015)06-0221-07

Spatial and temporal variability of rainfall erosivity in Eastern Gansu

WU De-yong¹,ZHANG Xin¹,LI Qi-quan¹,FENG Qiang²,
LIU Xiang-jun²,JI Ke²,ZHAI Hai-jiang³

(1 College of Resources and Environment, Sichuan Agricultural University, Chengdu, Sichuan 611130, China;

2 Management Bureau of Soil and Water Conservation, Qingyang City, Gansu Province, Xi feng, Gansu 745000, China;

3 Meteorological Bureau of Qingyang City, Gansu Province, Xi feng, Gansu 745000, China)

Abstract: 【Objective】This study focused on the spatial and temporal variability of rainfall erosivity in Eastern Gansu. 【Method】Based on daily rainfall data during 2001—2011 at 8 meteorological sites including Zhengning, Ningxian, Xifeng, Zhenyuan, Heshui, Qingcheng, Huachi and Huanxian in Eastern Gansu, the rainfall erosivity was estimated using the daily rainfall erosivity model and its spatial and temporal variability was analyzed. 【Result】The rainfall erosivity per year of Eastern Gansu ranged from 1 144.8 to 2 048.5 MJ·mm/(hm²·h), and it declined from southeast to northwest. Due to the concentrated erosive rainfall, erosivities of Ningxian and Heshui in south central part with low elevation were larger than that of Zhengning in southeast with largest erosive rainfall and number of days with erosive rainfall. The rainfall

[收稿日期] 2013-12-23

[基金项目] 国家自然科学基金项目(41201214)

[作者简介] 吴德勇(1965—),男,四川仁寿人,实验师,主要从事水土流失与土壤环境研究。E-mail:wudeyong_cn@126.com

[通信作者] 李启权(1980—),男,四川泸县人,副教授,主要从事水土资源与环境系统模拟研究。E-mail:liqq@reis.ac.cn

erosivity was highly centralized with 84.4%—88.8% during June to September. The inter-annual variation of rainfall erosivity was large with coefficient of 29.09%—56.55%. Trend analysis shows that the overall annual rainfall erosivities at the 8 meteorological sites had a declining trend in recent years, with significant decrease in Huachi and Huanxian. 【Conclusion】 More than 80% of rainfall erosivity in Eastern Gansu happened during June to September. The spatial distribution of annual rainfall erosivity appeared a decreasing trend from southeast to northwest. The annual rainfall erosivity of this area showed a declining trend in recent years.

Key words: rainfall erosivity; daily rainfall erosivity model; spatial-temporal characteristics; Eastern Gansu Province

土壤侵蚀是黄土高原最主要的自然灾害问题之一。在影响土壤侵蚀的各种因子中,降雨是最主要的外部动力因子^[1-2]。降雨侵蚀力(R)是降雨量、降雨历时、降雨强度、降雨动能等降雨侵蚀特征的综合反映^[3],可用来表征降雨因子引起土壤侵蚀的潜在能力。分析区域降雨侵蚀力的时空变化规律,对土壤侵蚀定量评估以及揭示气候变化对区域土壤侵蚀的影响具有重要意义,可为合理制定水土保持措施和农业用地规划提供科学依据。

降雨侵蚀力一般表示为降雨动能和降雨强度的乘积^[3]。目前世界上普遍使用的降雨侵蚀力指标为降雨动能 E 和最大 30 min 降雨强度 I_{30} 的乘积 EI_{30} ^[4]。但由于计算 EI_{30} 所需要的次降雨过程资料获取难度较大,且计算过程费时费力,许多学者建立了利用气象站常规降雨统计资料来估算降雨侵蚀力的简易计算模型,如基于日降雨量、旬降雨量、月降雨量和年降雨量的降雨侵蚀力计算方法^[5-8]。其中由于日降雨量相比旬、月和年降雨量能够反映更丰富的区域降雨信息,利用日降雨量计算得到的降雨侵蚀力的精度明显高于用年降雨量和月降雨量资料得到的估算结果^[8]。因此,基于日降雨量的降雨侵蚀力计算方法被广泛用于各地降雨侵蚀力的估算研究^[9-12]。如李良冬等^[3]、吴昌广等^[11]、刘斌涛等^[12]采用该方法分别对辽河流域、三峡库区以及我国西南山区降雨侵蚀力的时空变化特征进行了分析。

陇东地区处于黄土高原腹地,该区域是黄土分布最集中、黄土特性最明显、黄土地貌形态最完备的地区,也是黄土高原中黄土层最厚的区域;该地区西北部为黄土高原中北部草原区,东南部为渭盆地落叶阔叶林人工植被区,全区处于半湿润地区向半干旱地区转变的生态过渡带^[13]。区域内主要土壤类型均发育于马兰黄土之上,该成土母质组织松散,孔隙多,垂直节理发育,透水性强,遇水极易分散,抗蚀能力差,且沙粒含量较高^[14]。这使得陇东地区成

为黄土高原水土流失最为严重的地区之一,也是黄河中上游主要输沙区和黄河中上游生态保护的关键区域。目前,已有学者对黄土高原地区不同区域的降雨侵蚀力进行了相关研究,如杨岩岩等^[9]以陕西省靖边县榆林风沙科学野外实验站 2007—2009 年的气象数据为基础,分析了该区域降雨侵蚀力的年际和年内分布;穆兴民等^[10]对陕北地区降雨侵蚀力的季节差异、年际变化以及空间分布进行了分析;李静等^[15]则对黄土高原不同地貌类型区的降雨侵蚀力进行了分析;然而针对陇东地区降雨侵蚀力的系统研究尚未见报道。基于此,本研究利用陇东地区各气象站日降雨量资料,采用日降雨量侵蚀力模型计算其降雨侵蚀力,分析近年来该地区降雨侵蚀力的时空分布规律,以期对区域农业生产规划、土壤侵蚀定量估算以及合理开展水土保持规划提供科学依据,同时也可为该生态过渡带自然环境演变研究提供参考。

1 研究区概况

陇东地区位于甘肃省东部,习称陇东黄土高原,地理坐标为 $N35^{\circ}14' \sim 37^{\circ}09'$ 和 $E106^{\circ}21' \sim 108^{\circ}43'$,土地总面积 27 119 km^2 (图 1)。区域海拔为 882~2 089 m,地形复杂,沟壑纵横;东、西、北面隆起,中南部低缓,呈簸箕型。区内大陆性气候明显,年平均气温 $7 \sim 10^{\circ}\text{C}$,年日照时数 2 250~2 600 h,年降雨量 410~620 mm,且降水时间集中。土壤类型主要为黄土母质发育而来的黑垆土和黄绵土。全区土壤侵蚀面积 25 050.5 km^2 ,占土地总面积的 92.4%;其中水力侵蚀面积达到 23 433.5 km^2 ,占全区面积的 86.4%,占土壤总面积(26 688.5 km^2)的 93.86%。严重的水土流失,不仅使区内塬面面积不断缩小,沟壑面积增大,道路毁坏,耕地土层变薄,土壤养分大量流失,粮食产量下降,而且对黄河下游地区生态环境也构成了严峻的威胁。

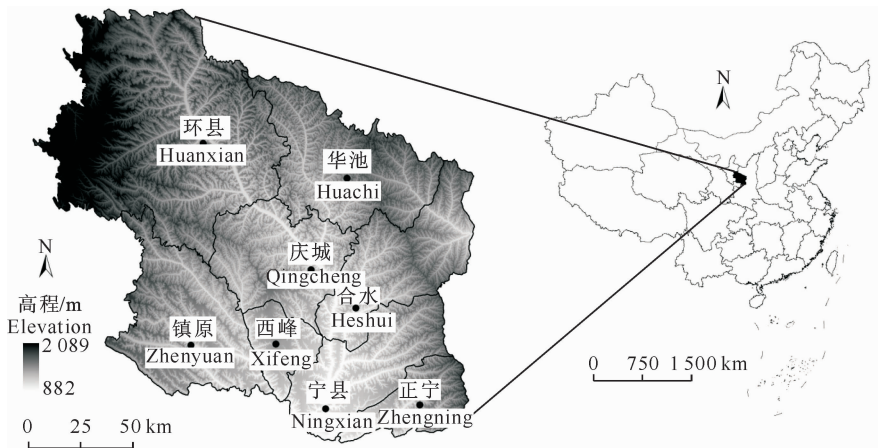


图 1 研究区地理位置及数字高程模型

Fig. 1 Location and elevation of the study area

2 资料来源与研究方法

2.1 数据来源

利用陇东地区正宁、宁县、西峰、合水、镇原、庆城、华池和环县等区县气象站 2001-01-01—2011-12-31 近 11 年的日降雨量数据资料,计算各站点的降雨侵蚀力,分别统计各站点各年、月降雨侵蚀力的时空变化特征。

2.2 研究方法

采用日降雨量模型计算各站点降雨侵蚀力^[8-10,16],先逐年计算每个半月的降雨侵蚀力,汇总后得到各月、各年的降雨侵蚀力。该方法的计算公式如下:

$$R_i = \alpha \sum_{j=1}^k (D_j)^\beta. \quad (1)$$

式中: R_i 为第 i 个半月时段内的降雨侵蚀力 ($\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$),半月时段的划分以每月 15 日为界,每月前 15 d 作为一个半月时段,剩下部分则作为另一个半月时段,全年可划分为 24 个时段; D_j 为半月时段内第 j 天的日降雨量,该降雨量为侵蚀性降雨,要求 $D_j \geq 12 \text{ mm}$ ^[17-18],否则计为 0 mm; $k=1,2,3,\dots,m$,为某个半月内侵蚀性降雨的天数; α 和 β 为模型参数,与研究区域的降雨特征有关,其计算公式如下:

$$\alpha = 21.586\beta^{-7.1891}, \quad (2)$$

$$\beta = 0.8363 + \frac{18.144}{P_{d12}} + \frac{24.455}{P_{y12}}. \quad (3)$$

式中: P_{d12} 表示日降雨量 $\geq 12 \text{ mm}$ 的日平均降雨量(即 1 年中日降雨量 $\geq 12 \text{ mm}$ 的降雨量总和与相应天数之比), P_{y12} 表示日降雨量 $\geq 12 \text{ mm}$ 的年平均降雨量(即 1 年中 $\geq 12 \text{ mm}$ 的日降雨量年累加值的多年平均值)。利用 ArcGIS 软件地统计模块中的普

通克里格法,将各气象站的降雨侵蚀力值进行空间内插,绘制降雨侵蚀力空间分布图。

采用趋势系数法分析近 11 年各站点降雨侵蚀力的变化趋势^[11-12,16],该系数是 n 个时刻的降雨侵蚀力与自然数序列 $1,2,3,\dots,n$ 的相关系数,其计算公式如下^[19-20]:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(i - t)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (i - t)^2}}. \quad (4)$$

式中: r 为趋势系数; n 为时刻数; x_i 为第 i 时刻的降雨侵蚀力; $\bar{x}$ 为 n 个时刻降雨侵蚀力的平均值; t 为自然数序列的均值。若 $r > 0$,则表示降雨侵蚀力在所计算的时段内呈现上升趋势;若 $r < 0$,则表示其呈现下降趋势;其上升或下降趋势是否显著采用通常的相关系数统计检验方法进行检验。

3 结果与分析

3.1 陇东地区侵蚀性降雨的分布特征

受季风的影响,陇东地区年均降雨量从东南向西北逐渐降低。由图 2 可知,近 11 年该地区各气象观测站年均降雨量从东南部正宁县的 607.4 mm 逐渐下降至西北部环县的 397.6 mm。年侵蚀性降雨量的空间分布特征与年总降雨量的空间分布特征基本一致。从图 2 可以看出,年平均侵蚀性降雨量从正宁县的 383.8 mm 递减至环县的 225.1 mm。表 1 表明,区域内各站点侵蚀性降雨量占全年降雨总量的比例有所不同,变幅为 55.4%~63.2%,其中,东南部的宁县、合水、正宁等县侵蚀性降雨量所占比例明显高于西北各县;从年均侵蚀性降雨天数来看,正宁为 16.6 d,而环县不足 10 d,这说明东南部地区

大于 12 mm 的降雨较西北部区域多,发生侵蚀性降雨的频率较高;日均侵蚀性降雨量的空间变化趋势明显不同,正宁、华池和环县的日均侵蚀性降雨量在 8 个站点中较小,而中南部的宁县、西峰和合水相对较大,总体表现为东西北三面低、中南部较高的空间分布趋势,其中南部的宁县日均侵蚀性降雨量最大,

达到 26.0 mm。
从表 1 的月均侵蚀性降雨量来看,自 2001 年以来,陇东地区 8 个县区冬季(12 月至次年 2 月)均无侵蚀性降雨发生,侵蚀性降雨集中分布于 6—9 月,该时段内侵蚀性降雨量占全年侵蚀性降雨量的 80.4%~85.6%。

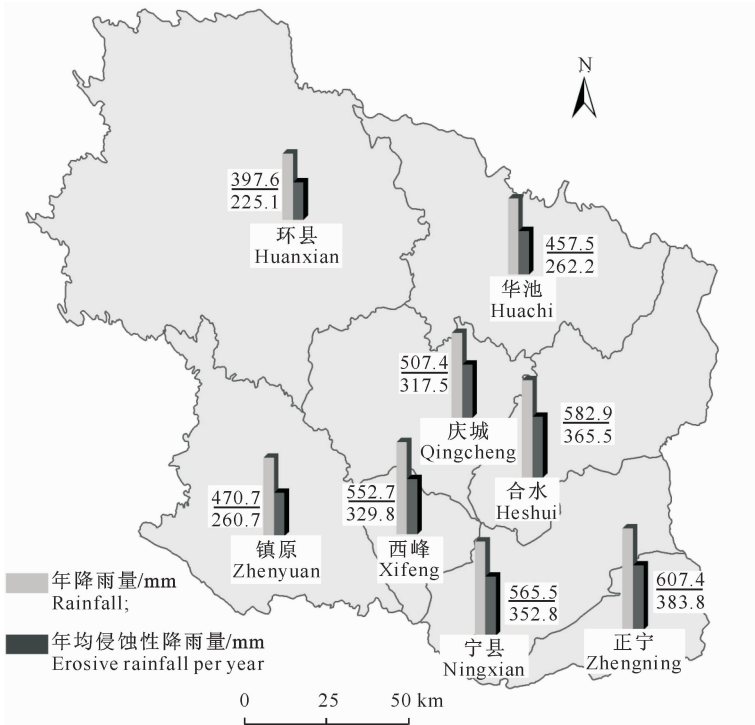


图 2 陇东地区年降雨量和年均侵蚀性降雨量的空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of annual rainfall and erosive rainfall at the weather stations in Eastern Gansu

表 1 陇东地区各站点侵蚀性降雨的分布特征

Table 1 Statistical characteristics of erosive rainfall at different stations in Eastern Gansu

气象站点 Weather station	侵蚀性 降雨量/% Ratio of erosive rainfall	日均侵蚀性 降雨量/mm Mean erosive rainfall per day	年均侵蚀性 降雨天数 Days with erosive rainfall per year	月均侵蚀性降雨量/mm Mean erosive rainfall per month											
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
正宁 Zhengning	63.2	23.1	16.6	0.0	0.0	4.2	8.2	26.8	47.6	90.0	90.1	85.4	25.2	6.3	0.0
合水 Heshui	62.7	24.4	15.0	0.0	0.0	2.5	10.4	23.5	33.6	96.4	99.8	74.6	18.2	6.5	0.0
宁县 Ningxian	62.4	26.0	13.5	0.0	0.0	1.3	7.5	18.7	30.5	85.9	105.9	79.7	18.7	4.6	0.0
西峰 Xifeng	59.7	25.7	12.8	0.0	0.0	0.0	12.0	21.8	30.6	95.2	72.6	73.0	20.3	4.2	0.0
庆城 Qingcheng	62.6	23.9	13.3	0.0	0.0	0.0	12.7	23.0	24.0	62.3	98.1	71.2	21.8	4.3	0.0
镇原 Zhenyuan	55.4	24.5	10.6	0.0	0.0	0.0	8.5	16.3	23.1	49.1	75.2	71.8	14.8	1.9	0.0
华池 Huachi	57.3	22.9	11.5	0.0	0.0	3.2	13.3	14.4	37.5	66.3	66.1	49.0	12.4	0.0	0.0
环县 Huanxian	56.6	22.9	9.8	0.0	0.0	0.0	11.7	15.6	31.0	40.3	62.9	46.9	9.9	6.8	0.0

3.2 陇东地区降雨侵蚀力的空间变化

图 3 显示,陇东地区各站点近 11 年年均降雨侵蚀力的变幅为 1 144. 8~2 048. 5 MJ·mm/(hm²·h),其空间分布整体表现为西北低东南高的变化趋势。相关分析表明,近 11 年年均降雨侵蚀力与年均侵蚀性降雨量、侵蚀性降雨量百分比、年均侵

蚀性降雨天数的相关系数分别达到 0. 95,0. 88 和 0. 84,均表现为极显著正相关($P=2. 52\times 10^{-4}$, $3. 74\times 10^{-3}$ 和 $9. 64\times 10^{-3}$),说明该地区年均降雨侵蚀力的空间变化趋势与年侵蚀性降雨特征的空间分布格局总体一致。

由图 3 可以看出,陇东南部地势最低的宁县年

均降雨侵蚀力值最大,为 2 048.5 MJ·mm/(hm²·h),其次是中部地势同样较低的合水县,而东南部年均侵蚀性降雨量最大、年均侵蚀性降雨天数最长的正宁县的降雨侵蚀力值排在第 3 位。从表 1 可以看出,正宁县日均侵蚀性降雨量为 23.1 mm,仅略高于北部和西北部的华池与环县,但其年均侵蚀性降雨天数远多于其他各县。宁县、合水和西峰虽然年均侵蚀性降雨天数少于正宁县,但日均侵蚀性降雨量则明显高于正宁县,侵蚀性降雨量更加集中。相关分析表明,除正宁县外的 7 个县年均降雨侵蚀力与日均侵蚀性降雨量的相关系数为 0.82,达

到显著的正相关($P=0.02$);日均侵蚀性降雨量与海拔高度接近显著负相关($r=-0.66,P=0.07$)。这表明日均侵蚀性降雨量和地形因素对区域降雨侵蚀力的空间分布有一定的影响;地势低洼区域侵蚀性降雨相对集中,改变了区域降雨侵蚀力的整体空间分布格局。就研究区而言,东南部正宁县较大的降雨侵蚀力主要是由于该地侵蚀性降雨发生频率相对较高所致,其余各县虽年均侵蚀性降雨量明显小于正宁县,但侵蚀性降雨更为集中,因而降雨侵蚀力也较大,尤其是中南部各县。

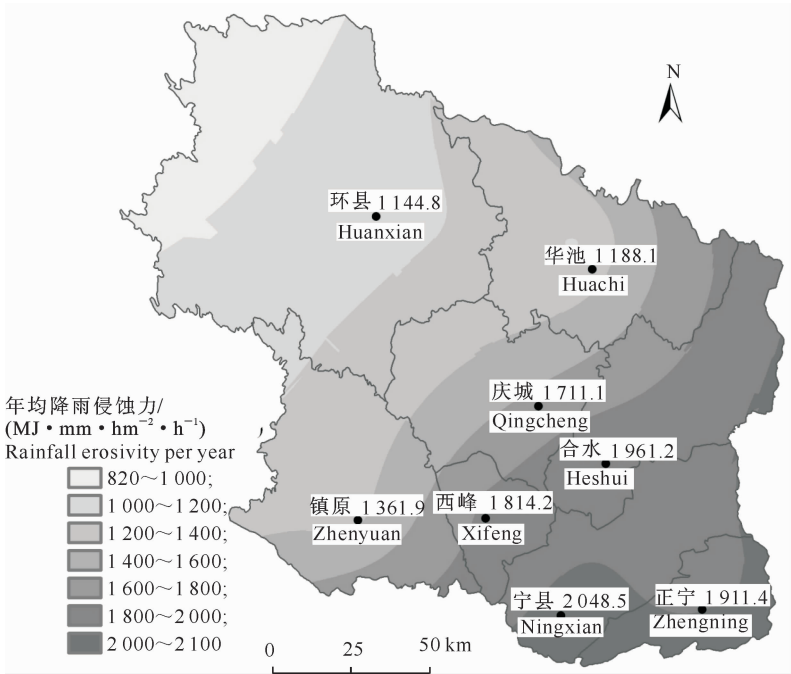


图 3 陇东地区年均降雨侵蚀力的空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of average annual rainfall erosivity in Eastern Gansu

3.3 陇东地区降雨侵蚀力的年际变化

蚀力年际变化特征见表 2。

陇东地区 8 个县区气象站点近 11 年的降雨侵

表 2 陇东地区各县气象站点降雨侵蚀力的年际变化特征

Table 2 Inter-annual changes of rainfall erosivity at different stations in Eastern Gansu

气象站点 Weather stations	年均降雨侵蚀力/(MJ·mm·hm ⁻² ·h ⁻¹) Rainfall erosivity per year			极值比 Extreme rainfall ratio	年际变率/% Inter-annual variability	趋势系数(r) Trend coefficient
	11 年平均值 Mean	最小值(年份) Minimum (year)	最大值(年份) Maximum (year)			
正宁 Zhengning	1 911.4	962.6 (2009)	3 435.7 (2003)	3.57	34.46	-0.17
合水 Heshui	1 961.2	1 183.7 (2008)	2 928.3 (2004)	2.47	29.09	-0.36
宁县 Ningxian	2 048.5	1 091.3 (2007)	3 330.3 (2006)	3.05	36.56	0.13
西峰 Xifeng	1 814.2	706.9 (2008)	3 200.6 (2003)	4.53	43.46	-0.39
庆城 Qingcheng	1 711.1	958.0 (2006)	4 253.3 (2003)	4.44	53.78	-0.32
镇原 Zhenyuan	1 361.9	406.9 (2008)	2 803.6 (2010)	6.89	56.55	-0.02
华池 Huachi	1 188.1	644.2 (2006)	1 757.8 (2001)	2.73	35.21	-0.76**
环县 Huanxian	1 144.8	362.4 (2006)	2 199.2 (2001)	6.07	49.69	-0.60*

注: ** , * 分别表示显著水平为 0.01 和 0.05。

Note: ** and * indicate significant differences at $P<0.01$ and $P<0.05$, respectively.

由表 2 可知,陇东地区降雨侵蚀力年际波动较大,年际变率在 29.09%~56.55%。其中降雨侵蚀力年际波动最大的是西部的镇原县,年际变率为 56.55%,降雨侵蚀力最大值为最小值的 6.89 倍;合水县降雨侵蚀力年际波动最小,年际变率为 29.09%,降雨侵蚀力最大值为最小值的 2.47 倍。整体而言,西北部降雨侵蚀力年际变率大于东南部。从降雨侵蚀力最大值和最小值出现的年份来看,其出现的时间呈现东南部逐渐晚于西北部的趋势。

趋势分析结果表明,陇东地区各气象站年降雨侵蚀力的趋势系数为-0.76~0.13,除宁县外,其余各县近 11 年来的降雨侵蚀力总体均呈下降趋势,其中环县和华池降雨侵蚀力的下降趋势分别达到显著和极显著水平。

3.4 陇东地区降雨侵蚀力的年内变化

陇东地区降雨侵蚀力的年内变化与降雨的季节

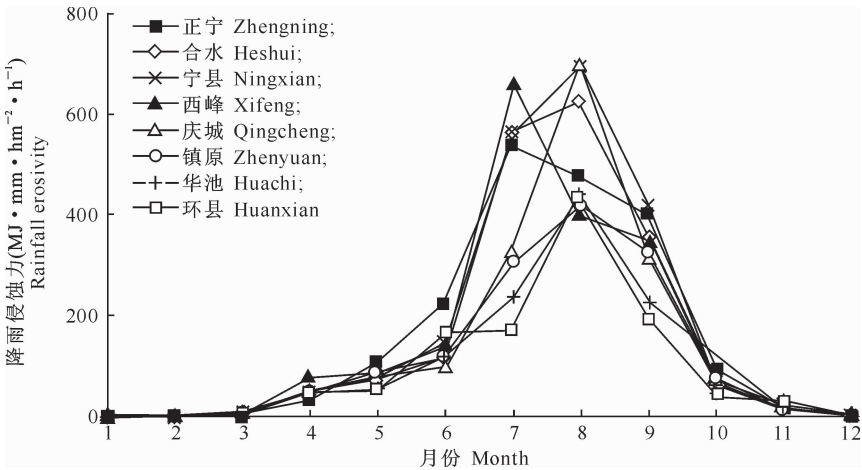


图 4 陇东地区各区县气象站点降雨侵蚀力的年内变化

Fig. 4 Annual distribution of rainfall erosivity at different stations in Eastern Gansu

4 结 论

(1) 陇东地区年均降雨侵蚀力为 1 144.8~2 048.5 MJ·mm/(hm²·h),其空间变化的总体趋势呈西北低东南高。其中中南部地势低洼的宁县和合水侵蚀性降雨集中,导致其年均降雨侵蚀力高于东南部年降雨量和侵蚀性降雨量最大的正宁县。

(2) 陇东地区各县区降雨侵蚀力年际变率为 29.09%~56.55%,年际波动较大;2001—2011 年 11 年来该地区降雨侵蚀力略有减小趋势,其中华池县和环县降雨侵蚀力减小趋势显著。

(3) 陇东地区降雨侵蚀力年内分布高度集中,6—9 月降雨侵蚀力占全年的 84.4%~88.8%,呈显著的单峰型分布,近 11 年来冬季均无侵蚀性降雨发

变化相似。冬春季降雨量较小,近年来无侵蚀性降雨发生,故冬春季降雨侵蚀力较小而夏秋两季降雨侵蚀力较大。陇东地区各区县气象站点降雨侵蚀力的年内变化见图 4。图 4 表明,陇东地区的降雨侵蚀力随月份的变化呈明显的单峰型,正宁县和西峰区降雨侵蚀力在 7 月达到峰值,其余各县在 8 月达到峰值;6—9 月降雨侵蚀力占全年降雨侵蚀力的 84.4%~88.8%,其中宁县 6—9 月降雨侵蚀力所占比例最高。从各站点峰值月降雨侵蚀力所占比例来看,以东南部的正宁县最小,为 28.3%,其余各县为 30.8%~40.7%;西北部降雨量和侵蚀性降雨量最小的环县其 8 月降雨侵蚀力占到全年的 38.3%。这进一步说明了东南部正宁县与其余各县降雨侵蚀力诱因的差异,即正宁县侵蚀性降雨频率较高,而其余各县侵蚀性降雨较为集中。

生。从空间分布上看,正宁县和西峰区年内最大降雨侵蚀力出现在 7 月,其余各县均出现在 8 月。

[参考文献]

[1] 陈 浩,蔡强国,陈金荣,等.黄土丘陵沟壑区人类活动对流域系统侵蚀、输移和沉积的影响[J].地理研究,2001,20(1):68-73.
Chen H, Cai Q G, Chen J R, et al. Influence of human activities on erosion, delivery and deposit of basin system in hilly-gully loessic area [J]. Geographical Research, 2001, 20(1): 68-73. (in Chinese)
[2] 信忠保,许炯心,马元旭.近 50 年黄土高原侵蚀性降水的时空变化特征[J].地理科学,2009,29(1):98-104.
Xin Z B, Xu J X, Ma Y X. Spatio-temporal variation of erosive precipitation in Loess Plateau during past 50 years [J]. Scientia Geographica Sinica, 2009, 29(1): 98-104. (in Chinese)

- [3] 李良冬,高 鹏,穆兴民,等. 辽河流域降雨侵蚀力的时空变化分析 [J]. 中国水土保持科学,2009,7(2):69-73.
Li L D, Gao P, Mu X M, et al. Spatial-temporal varieties of rainfall erosivity in the Liaohe river basin [J]. Science of Soil and Water Conservation, 2009, 7(2): 69-73. (in Chinese)
- [4] Wischmeier W H, Smith D D. Rainfall energy and its relationship to soil loss [J]. Transaction American Geophysical Unionism, 1958, 39: 285-291.
- [5] 张建国,范建容,王玉宽,等. 重庆市降雨侵蚀力(R 值)的时空分布特征 [J]. 水土保持研究, 2004, 11(1): 56-59.
Zhang J G, Fan J R, Wang Y K, et al. Temporal and spatial characteristics of R value in Chongqing city [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2004, 11(1): 56-59. (in Chinese)
- [6] 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.
Hu X L, Pan J J, Yang S J, et al. Comparative study on rainfall erosivity models using daily rainfall amounts [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2006, 26(1): 68-70. (in Chinese)
- [7] 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.
Zhang W B, Fu J S. Rainfall erosivity estimation under different rainfall amount [J]. Resources Science, 2003, 25(1): 35-41. (in Chinese)
- [8] 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.
Zhang W B, Xie Y, Liu B Y. Rainfall erosivity estimation using daily rainfall amounts [J]. Scientia Geographica Sinica, 2002, 22(6): 705-711. (in Chinese)
- [9] 杨岩岩,刘连友,曹恒武. 沙漠—黄土过渡带风水复合侵蚀营力特征:以靖边县为例 [J]. 干旱区研究, 2012, 29(4): 692-697.
Yang Y Y, Liu L Y, Cao H W. Wind and water erosive forces in a desert-loess ecotone: A case study in Jingbian County, Shaanxi Province [J]. Arid Zone Research, 2012, 29(4): 692-697. (in Chinese)
- [10] 穆兴民,戴海伦,高 鹏,等. 陕北黄土高原降雨侵蚀力时空变化研究 [J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(3): 37-43.
Mu X M, Dai H L, Gao P, et al. Spatial-temporal characteristics of rainfall erosivity in northern Shaanxi region in the Loess Plateau [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2010, 24(3): 37-43. (in Chinese)
- [11] 吴昌广,林德生,肖文发,等. 三峡库区降雨侵蚀力时空分布特征 [J]. 应用生态学报, 2011, 22(1): 151-158.
Wu C G, Lin D S, Xiao W F, et al. Spatiotemporal distribution characteristics of rainfall erosivity in Three Gorges Reservoir area [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(1): 151-158. (in Chinese)
- [12] 刘斌涛,陶和平,宋春风,等. 我国西南山区降雨侵蚀力时空变化趋势研究 [J]. 地球科学进展, 2012, 27(5): 499-509.
Liu B T, Tao H P, Song C F, et al. Temporal and spatial variations of rainfall erosivity in southwest China from 1960 to 2009 [J]. Advances in Earth Science, 2012, 27(5): 499-509. (in Chinese)
- [13] 郑 度. 中国生态地理区域系统研究 [M]. 北京:商务印书馆, 2008.
Zheng D. Systematic research on eco-geography in China [M]. Beijing: Commercial Press, 2008. (in Chinese)
- [14] 庆阳地区土壤普查办公室. 甘肃庆阳土壤 [M]. 兰州:甘肃科学技术出版社, 1989.
Working Group for Soil Survey of Qingyang District. Soils of Qingyang district, Gansu Province [M]. Lanzhou: Gansu Science and Technology Press, 1989. (in Chinese)
- [15] 李 静,刘志红,李 锐. 黄土高原不同地貌类型区降雨侵蚀力时空特征研究 [J]. 水土保持通报, 2008, 28(3): 124-127.
Li J, Liu Z H, Li R. Temporal and spatial characteristics of rainfall erosivity with different geomorphology types on the Loess Plateau [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2008, 28(3): 124-127. (in Chinese)
- [16] 刘春利,杨勤科,谢红霞. 延河流域降雨侵蚀力时空分布特征 [J]. 环境科学, 2010, 31(4): 850-857.
Liu C L, Yang Q K, Xie H X. Spatial and temporal distributions of rainfall erosivity in the Yanhe river basin [J]. Environmental Science, 2010, 31(4): 850-857. (in Chinese)
- [17] 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): 7-11.
Xie Y, Liu B Y, Zhang W B. Study on standard of erosive rainfall [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2000, 14(4): 7-11. (in Chinese)
- [18] 张 岩,朱清科. 黄土高原侵蚀性降雨特征分析 [J]. 干旱区资源与环境, 2006, 20(6): 99-103.
Zhang Y, Zhu Q K. Statistic analysis of erosive rainfall on the Loess Plateau [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2006, 20(6): 99-103. (in Chinese)
- [19] 郭 军,任国玉,李明财. 近 47 年环渤海地区不同级别降水事件变化 [J]. 地理研究, 2010, 29(12): 2271-2280.
Guo J, Ren G Y, Li M C. Variations of precipitation of different categories in the Bohai Rim area in recent 47 years [J]. Geographical Research, 2010, 29(12): 2271-2280. (in Chinese)
- [20] 刘 梅,彭晓燕,李进喜,等. 1961 年至 2007 年江苏省高温气候特征分析 [J]. 资源科学, 2011, 33(10): 1991-1998.
Liu M, Peng X Y, Li J X, et al. Climatic characteristics of high temperatures in Jiangsu Province in recent 50 years [J]. Resources Science, 2011, 33(10): 1991-1998. (in Chinese)