

嘉陵江流域降雨侵蚀力时空变化分析

段文明¹, 穆兴民^{1,2}, 王飞^{1,2}, 赵广举^{1,2}, 高鹏^{1,2}

(1. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 降雨侵蚀力是降雨引起土壤侵蚀的潜在能力, 对预测土壤侵蚀量具有重要意义。对嘉陵江流域 12 个气象站的日降雨量资料, 利用章文波日降雨侵蚀力模型估算流域的降雨侵蚀力。结果表明: 嘉陵江流域降雨侵蚀力的空间变异与降雨量的空间分布趋势基本一致, 由东南向西北递减, 变化于 800~9 000 MJ·mm/(hm²·h·a) 之间; 流域内降雨侵蚀力年际变率 C_v 在 0.346~0.493 之间, 除平武站呈显著减少外并无显著变化趋势; 年内降雨侵蚀力随季节变化, 夏秋季降雨侵蚀力较大, 冬春季降雨侵蚀力较小。降雨侵蚀力年内集中度高, 6—9 月份的降雨侵蚀力占全年降雨侵蚀力的 80% 以上。近 50 a 降雨侵蚀力存在 35 a, 21 a 的主周期变化, 且对应不同的丰枯状态。研究结果表明, 虽然年降雨侵蚀力无明显变化, 但年内却相对集中于夏秋两季, 因此仍要做好汛期水土流失等灾害的防治。

关键词: 嘉陵江流域; 日降雨量; 降雨侵蚀力; 时空变化

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)05-0182-04

中图分类号: S157.1

Spatiotemporal Variability of Rainfall Erosivity in Jialing River Basin

DUAN Wen-ming¹, MU Xing-min^{1,2}, WANG Fei^{1,2}, ZHAO Guang-ju^{1,2}, GAO Peng^{1,2}

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Rainfall erosivity shows the potential soil erosion induced by rainfall and is very important in predicting soil erosion quantitatively. With the daily rainfall data from 12 meteorological stations in Jialing River basin, rainfall erosivity in the basin was estimated and its spatiotemporal variability was analyzed by using the daily rainfall erosivity model. Results showed that the spatial characteristic of rainfall erosivity was consistent with the spatial distribution of rainfall, declining from southeast to northwest and varying from 800 to 9 000 MJ·mm/(hm²·h·a). The inter-annual variation was great and C_v was between 0.346 and 0.493. However, result from Mann—Kendall test showed there was no significant trend of variation except Pingwu station with a decreasing trend. Rainfall erosivity presented seasonal dynamics in the whole year. The seasonal distribution of rainfall erosivity was highly centralized and rainfall erosivity from June to September occupied 80% of the whole year. Rainfall erosivity had the periods of 21 and 35 years and different rainy-drier periods in the last 50 years. Through the study, there was no significant trend of variation in annual rainfall erosivity, but rainfall erosivity was relatively concentrated in the summer and autumn. Therefore, some measures should be taken to prevent soil erosion or other disasters in flood season.

Keywords: Jialing River basin; daily rainfall; rainfall erosivity; spatiotemporal variation

土壤侵蚀是全球最重要的生态环境问题之一, 广泛、严重的土壤流失不仅破坏土地资源, 影响土地质量和数量, 同时还会造成河道、水库泥沙淤积, 加剧洪涝灾害。影响土壤侵蚀的因素有很多, 而降雨是引起土壤侵蚀的主要气候因素之一。降雨侵蚀力是降雨引起土壤侵蚀的潜在能力, 是表征降雨影响水土流失

的复合指标。在通用水土流失方程 (USLE) 中, 降雨动能 E 和最大 30 min 降雨强度 I_{30} 的乘积 EI_{30} ^[1] 是目前应用最广的降雨侵蚀力指标。但在计算 EI_{30} 时, 需要详细的次降雨过程资料, 资料的摘录和计算过程费时费力, 于是国内外的一些学者作了较多研究, 并提出各种降雨侵蚀力简化计算的方法^[2-8]。在

收稿日期: 2012-02-10

修回日期: 2012-04-06

资助项目: 中国科学院国际合作项目“渭河流域水环境问题综合治理对策研究”(GJHZ1018)

作者简介: 段文明(1985—), 男(汉族), 山东省滨州市人, 硕士, 主要从事水土保持与环境效益研究。E-mail: duanwenming100@163.com。

通信作者: 穆兴民(1961—), 男(汉族), 陕西省华阴市人, 工学博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事生态水文、水土保持研究。E-mail: xmmu@ms.iswc.ac.cn。

众多计算方法中,以利用日降雨资料计算降雨侵蚀力精度最高。章文波等^[7]根据我国实测降雨量,建立了基于日降雨量的降雨侵蚀力模型,并给出了参数估算方法,计算精度较高。穆兴民根据此模型对陕北黄土高原降雨侵蚀力作了计算,并分析了降雨侵蚀力的时空变化^[9];李良冬运用此公式对辽河流域近 50 a 降雨侵蚀力时空变化进行了分析研究^[10]。

嘉陵江发源于秦岭南麓,是长江第二大支流。该流域是长江各大支流中水土流失比较严重的地区,也是长江上游重点产沙区域之一。目前针对嘉陵江流域降雨侵蚀力时空变化研究甚少。本文应用章文波提出的降雨侵蚀力模型,对嘉陵江流域降雨侵蚀力进行计算,并分析其时空变化特征,为计算嘉陵江流域的土壤侵蚀量提供相关数据,并为嘉陵江流域的水土流失治理和水土保持规划提供科学依据。

1 研究流域概况

嘉陵江流域干流全长 1 120 km,流域面积约 $1.60 \times 10^5 \text{ km}^2$,流经陕西、甘肃、四川、重庆 4 省(市),分嘉陵江、渠江、涪江三大水系。嘉陵江干流自北向南,渠江自东北向西南,涪江自西北向东南,三大水系在合川附近汇合,构成扇形向心水系。流域地势,东、北、西三面较高,向东南高程逐渐降低,地势渐趋平缓。各水系上游均为山区,河谷狭窄,河床比降大,两岸耕地少。嘉陵江流域大部分属亚热带湿润季风气候,气候温和,四季分明,雨水充沛。

2 资料与方法

选取嘉陵江流域 12 个国家气象站。12 站逐日降水资料来源于中国气象数据共享网,资料年限为 1960—2009 年。

本研究以 1960—2009 年嘉陵江流域 12 个基本雨量站日降雨资料为基础,采用章文波等使用的全国日降雨数据拟合的模型估算降雨侵蚀力^[7],并分析其时空变化特征。模型如下:

$$M_i = a \sum_{j=1}^k D_j^\beta$$

式中: M_i ——第 i 个半月时段的降雨侵蚀力 [$\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$]; D_j ——半月时段内第 j 天的侵蚀性降雨量 (mm),根据谢云等的研究,以日降雨量 $\geq 12 \text{ mm}$ 作为侵蚀性降雨量的标准; k ——该半月时段的天数; α 和 β 为模型参数, α 和 β 的估算公式分别为:

$$\alpha = 21.586\beta^{-7.1891}$$

$$\beta = 0.8363 + \frac{18.144}{P_{d12}} + \frac{24.455}{P_{y12}}$$

式中: P_{d12} ——日降雨量 $\geq 12 \text{ mm}$ 的日平均降雨量 (mm); P_{y12} ——日降雨量 $\geq 12 \text{ mm}$ 的年平均降雨量 (mm)。

3 结果与分析

3.1 流域侵蚀性降雨特征

受东亚季风气候的影响,嘉陵江流域的降雨量自东南向西北递减,万源、达县、巴中一带年均降雨量在 1 000 mm 左右,往西北降雨量递减。嘉陵江上游地区即武都、天水一带年均降雨量减至 400 mm 左右。

流域内的侵蚀性降雨的空间分布特征与总降雨的分布基本一致。从图 1 可以看出侵蚀性降雨也从东南部向西北部递减。虽然侵蚀性降雨的空间分布和总降雨的空间分布趋势一致,但是,流域内各站侵蚀性降雨量占全年降雨总量的比例却不相同,最多的万源县占 77.3%,而最少的武都县仅占 45.2%。说明流域西北部不仅总降雨量比受季风影响较大的东南部地区小得多,而且侵蚀性降雨量的比例也比东南部小。这是由于该地区东南部地区降雨量大,并且多为大于 12 mm 的降雨,所以发生侵蚀性降雨的频率较大。

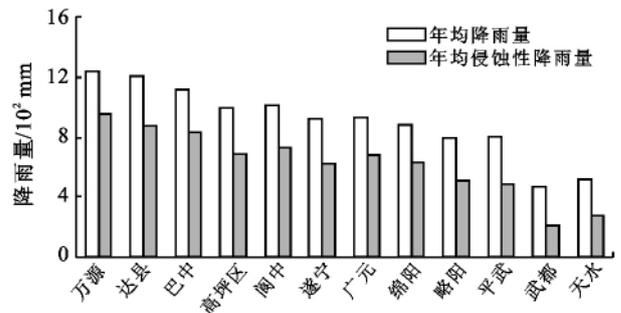


图 1 嘉陵江流域年均降雨量和年均侵蚀性降雨量

3.2 降雨侵蚀力的空间变化

嘉陵江流域年均降雨侵蚀力空间分布如图 2 所示。流域年均降雨侵蚀力变化于 800 ~ 9 000 $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ 之间,其变化趋势大致为自流域东南向西北部降低,东南部年均降雨侵蚀力大。万源县的年均降雨侵蚀力达到 8 647 $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$;嘉陵江上游地区年降雨较少,其年均降雨侵蚀力也较小,武都县的年均降雨侵蚀力仅为 814 $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ 。年均降雨侵蚀力与年总降雨量在空间分布上也略有不同,主要表现在绵阳市的年均降雨量小于遂宁县,但其年均降雨侵蚀力却大于遂宁县。

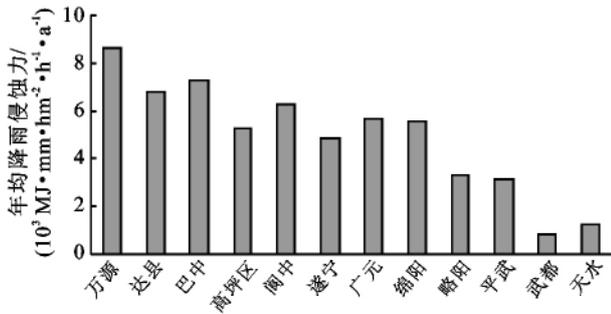


图 2 嘉陵江流域年均降雨侵蚀力

3.3 降雨侵蚀力的年际变化

随降雨量的年际波动,嘉陵江流域降雨侵蚀力的年际变化也较为突出,年际变率 C_v 在 0.346~0.493 之间(表 1)。由表 1 可以看出,不同地区的年降雨侵蚀力差异及波动程度都比较大,万源的最大年降雨侵蚀力为 18 825 $MJ \cdot mm / (hm^2 \cdot h \cdot a)$,而最小年仅为 3 218 $MJ \cdot mm / (hm^2 \cdot h \cdot a)$,前者是后者的 5.85 倍,变异系数 C_v 为 0.346;武都地区最大年降雨侵蚀力为 2 218 $MJ \cdot mm / (hm^2 \cdot h \cdot a)$,最小年仅为 216 $MJ \cdot mm / (hm^2 \cdot h \cdot a)$,前者是后者的 10.29 倍,变异系数 C_v 为 0.492。上游地区降雨侵蚀力的年际变化大于下游地区。

表 1 嘉陵江流域各站降雨侵蚀力的年际变化特征

站 点	年降雨侵蚀力/ $(MJ \cdot mm \cdot hm^{-2} \cdot h^{-1} \cdot a^{-1})$			极值比	年际变率 C_v
	多年平均	最大年(年份)	最小年(年份)		
万源县	8 647	18 825(1983)	3 218(1962)	5.85	0.346
达 县	6 788	13 225(2004)	3 337(1962)	3.96	0.322
巴中县	7 313	14 106(1983)	2 482(2001)	5.68	0.354
高坪区	5 261	9 339(1975)	2 008(1997)	4.65	0.349
阆中县	6 225	14 056(1981)	2 188(1979)	6.42	0.404
遂宁县	4 882	8 357(1993)	1 828(1996)	4.57	0.340
广元县	5 682	13 156(1981)	1 954(1969)	6.73	0.407
绵阳市	5 567	15 860(1961)	2 282(1969)	6.95	0.493
略阳县	3 296	9 286(1981)	1 344(1991)	6.91	0.463
平武县	3 122	7 217(1981)	897(1968)	8.05	0.428
武都县	814	2 218(1984)	216(1997)	10.29	0.492
天水县	1 221	2 798(1990)	310(1996)	9.03	0.483

利用 Mann—Kendall 检验对嘉陵江流域降雨侵蚀力年际变化进行趋势性分析,统计检验参数 Z 为正值表示增加趋势,为负值表示减少趋势(表 2)。检验结果表明,除平武县年降雨量及年降雨侵蚀力有明显的减少趋势外,其余各站点年降雨量及年降雨侵蚀力均无显著变化趋势。

3.4 降雨侵蚀力的年内变化

嘉陵江流域年内降雨侵蚀力随季节变化,夏秋季

降雨侵蚀力较大,冬春季降雨侵蚀力较小。6—9 月份的降雨侵蚀力占全年降雨侵蚀力的 80% 以上,仅 7 月份降雨侵蚀力就占全年的 28%,年内分布呈现单峰型(图 3)。

表 2 用 Mann—Kendal 法计算所得嘉陵江流域降雨量及降雨侵蚀力变化趋势的统计检验参数 Z

站 点	年降雨侵蚀力	年降雨量
万源县	1.13	0.09
达 县	0.63	0.21
巴中县	-0.18	-0.68
高坪区	-0.01	-0.34
阆中县	0.06	-0.59
遂宁县	0.78	-0.38
广元县	-0.56	-1.44
绵阳市	-1.28	-1.60
略阳县	-1.21	-1.71
平武县	-2.82	-2.26
武都县	-1.38	-0.73
天水县	-0.91	-1.30

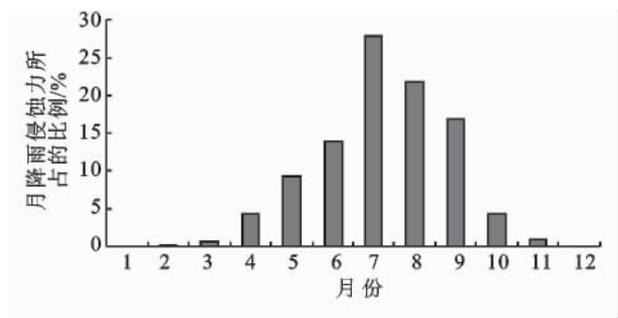


图 3 嘉陵江流域降雨侵蚀力年内分布

3.5 降雨侵蚀力的周期性与阶段性

选用 Morlet 复小波对嘉陵江流域 1960—2009 年降雨侵蚀力序列实行一维连续小波变换。由图 4 可见,嘉陵江流域近 50 a 降雨侵蚀力具有显著地周期性变化,存在 35 a, 21 a 的主周期变化。在 35 a 尺度上,降雨侵蚀力于 1960—1978—1995—2009 年呈现丰—枯—丰变化;在 21 a 尺度上,降雨侵蚀力于 1960—1969—1979—1990—1999—2009 年呈现丰—枯—丰—枯—丰状态。

4 结 论

(1) 嘉陵江流域内年均侵蚀性降雨量在 400~1 000 mm 之间,其空间变化趋势由流域东南部向西北部递减。

(2) 嘉陵江流域内年均降雨侵蚀力在 800~9 000 $MJ \cdot mm / (hm^2 \cdot h \cdot a)$ 之间,其变化趋势大致

为自流域东南向西北部降低;流域降雨侵蚀力的年际变化较为突出,除平武县年降雨量及年降雨侵蚀力有明显的减少趋势外,其余各站点年降雨量及年降雨侵蚀力均无显著变化趋势。降雨侵蚀力年内集中度高,6—9月份的降雨侵蚀力占全年降雨侵蚀力的80%以上,仅7月份降雨侵蚀力就占全年的28%,呈单峰型分布。

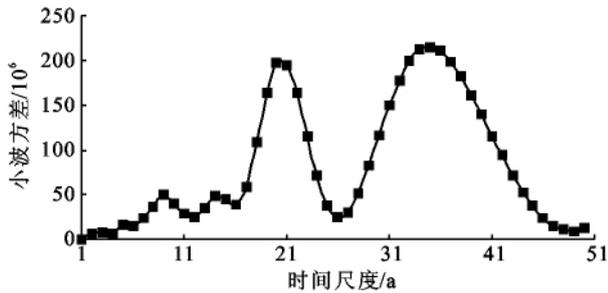


图4 嘉陵江流域年降雨侵蚀力小波方差

(3) 流域近50 a降雨侵蚀力存在35 a, 21 a的主周期。并且在35 a尺度上,降雨侵蚀力于1960—1978—1995—2009年呈现丰—枯—丰变化;在21 a尺度上,降雨侵蚀力于1960—1969—1979—1990—1999—2009年呈现丰—枯—丰—枯—丰状态。

(4) 虽年际降雨侵蚀力无明显变化,但年内集中程度高,尤其是夏秋两季,因此仍要做好夏秋季节的水土流失等灾害的防治措施,如修建相应的拦砂坝、淤地坝等工程措施,植树造林种草减小降雨对土壤的

侵蚀程度,从而减少土壤侵蚀对流域内社会、农业经济的影响。

[参 考 文 献]

- [1] Wischmeier W H, Smith D D. Rainfall energy and its relationship to soil loss[J]. Transaction American Geophysical Unionism, 1958(39):285-291.
- [2] Richardson W C, Foster G R, Mester M L. Estimation of erosion index from daily rainfall amount. Trans. of ASAE[J], 1983,26(1):153-157.
- [3] 王万中,焦菊英,郝小品. 中国降雨侵蚀力R值的计算与分布(Ⅱ)[J]. 水土保持学报,1996,2(1):29-39.
- [4] 王万忠. 黄土地区降雨侵蚀力R指标的研究[J]. 中国水土保持,1987(12):34-40.
- [5] 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]. 水土保持学报,2003,10(4):183-186.
- [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] 章文波,谢云,刘宝元. 不同类型雨量资料估算降雨侵蚀力[J]. 资源学报,2003,25(1):35-41.
- [8] 周伏健,陈明华,林福兴,等. 福建省降雨侵蚀力指标R值[J]. 水土保持学报,1995,9(1):13-18.
- [9] 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.
- [10] 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.