

# 长江上游水蚀区降雨侵蚀力的时空分布特征

王爱娟<sup>1</sup>, 李智广<sup>2</sup>, 刘峰<sup>3</sup>

(1. 长江科学院 水土保持研究所, 湖北 武汉 430010;

2. 水利部 水土保持监测中心, 北京 100055; 3. 北京师范大学 地理与遥感科学学院, 北京 100875)

**摘要:** 降雨侵蚀力的时空分布特征对于分析和认识土壤侵蚀规律十分重要。根据长江上游 7 个省市的 704 个站点 1981—2010 年 30 a 的逐日降雨量资料计算了多年平均降雨侵蚀力  $R$  值, 多年平均半月降雨侵蚀力及其占年降雨侵蚀力的比例, 并分析了长江上游水蚀区降雨侵蚀力的空间分布规律。结果表明, 长江上游水蚀区的降雨侵蚀力  $R$  值范围为 273~11 394 MJ·mm/(hm<sup>2</sup>·h·a); 受地形的影响  $R$  值的空间分布有 3 个高值区, 位于四川省峨眉山市、贵州省毕节地区和湖北省宜昌市附近; 建立了多年平均降雨量和降雨侵蚀力  $R$  值的关系, 相关系数  $R^2$  达到 0.80; 研究区降雨侵蚀力的年内分布集中度较大, 均值为 69%, 主要集中在 5—10 月。

**关键词:** 降雨侵蚀力; 长江上游; 时空分布

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)01-0008-04

中图分类号: S157.1

## Spatiotemporal Distribution of Rainfall Erosivity for Water Erosion District in Upper Reaches of Yangtze River

WANG Ai-juan<sup>1</sup>, LI Zhi-guang<sup>2</sup>, LIU Feng<sup>3</sup>

(1. Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan, Hubei 430010, China; 2. The Monitoring Center of Soil and Water Conservation, MWR, Beijing 100053, China; 3. School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract:** Spatiotemporal characteristics of rainfall erosivity are very important for the understandings of soil erosion processes. Daily rainfall data from 704 weather stations of seven provinces in the upper reaches of the Yangtze River in past 30 years(1980—2010) were used to calculate the average annual rainfall erosivity, average annual half-month rainfall erosivity and the proportion of the annual rainfall erosivity, so as to determine the spatiotemporal distribution of erosive rainfall. Results showed that the highest  $R$  value was found to be 11 394 MJ·mm/(hm<sup>2</sup>·h·a) and the lowest, 273 MJ·mm/(hm<sup>2</sup>·h·a). As influenced by terrain, rainfall erosivity presented three high value areas of the Emei Mountains in Sichuan Province, Bijie region in Guizhou Province and Yichang City in Hubei Province. There was a significant correlation between rainfall erosivity and average annual rainfall, with a correlation coefficient  $R^2$  of 0.80. In the study area, the seasonal distribution of rainfall erosivity had a concentration percentage of 69% and was mainly concentrated from May to October.

**Keywords:** rainfall erosivity; the upper reaches of the Yangtze River; spatiotemporal distribution

长江上游指湖北省宜昌市以上的长江流域范围, 干流长 4 500 km, 流域面积  $1.01 \times 10^6$  km<sup>2</sup><sup>[1]</sup>, 位于我国地势第 1, 2 级台阶的过渡带和第 2 台阶上, 高原山地占 2/3, 低山丘陵占 1/3, 地形破碎, 构造复杂, 滑坡、泥石流活动频繁。受自然和人为因素影响, 长江上中游山丘区水土流失加剧, 长江流域成为我国 7 大江河中水土流失面积和年土壤侵蚀总量最大的流域。

据统计, 长江上游水土流失面积达  $4.96 \times 10^5$  km<sup>2</sup>, 水土流失区的年均侵蚀量为  $2.18 \times 10^9$  t/a, 该区山高坡陡, 土层薄, 雨量大而且集中, 水土流失导致水源涵养能力降低, 泥沙淤积, 不仅造成土层变薄, 甚至发生石漠化和砂砾化, 土地生产力减退, 农业生产环境的退化导致农村贫困, 而且还对长江中下游航运, 水资源综合利用以及防汛抗旱带来不利影响。

收稿日期: 2012-03-09

修回日期: 2012-04-09

资助项目: 第一次全国水利普查项目“国务院第一次全国水利普查”(国发[2010]4号); 国家自然科学基金项目“紫色土细沟侵蚀研究”(41101260); 长江科学院基本科研业务费项目“长江上游水蚀区土壤侵蚀空间分异规律研究”(CKSF2012042/TB)

作者简介: 王爱娟(1981—), 女(汉族), 宁夏回族自治区银川市人, 博士研究生, 工程师, 主要从事土壤侵蚀与水土保持方面的研究。E-mail: wang-ai-juan@163.com。

对于长江上游水土流失的有效治理是建立在对其侵蚀机理及其空间分异规律认识的基础上。降雨是影响土壤侵蚀的重要外营力之一,用降雨侵蚀力来衡量,它是通用土壤流失方程 USLE 中的一个基础因子,指降雨导致土壤侵蚀发生的潜在能力,反映雨滴对土壤的击溅分离以及降雨形成径流对土壤冲刷的综合作用<sup>[2]</sup>。降雨侵蚀力的计算和空间分布规律研究为土壤侵蚀模数的计算和土壤侵蚀规律的分析提供基础。总结已有的研究发现,我国学者从量化降雨侵蚀力  $R$  值的角度建立了  $R$  值与次降雨、日降雨、月降雨、降雨动能等不同指标的简易计算关系式<sup>[3-5]</sup>,并得到了很好的应用,长江上游的研究地区涉及贵州<sup>[6]</sup>、重庆<sup>[7-8]</sup>、三峡库区<sup>[9]</sup>、湖北<sup>[10]</sup>、川西北丘陵区<sup>[11]</sup>等,但是对于长江上游整个区域的分异规律研究至今没有开展。本文以多年连续日降雨量资料为基础,分析长江上游水蚀区降雨侵蚀力的时空分异规律,为认识长江上游土壤侵蚀的空间分异规律提供基础。

## 1 研究方法

我国常规气象台站发布的都是逐日降雨资料,它是公开发布的最详细的降雨整编资料,根据获得的资料情况和降雨侵蚀力计算方法精度的比较,本研究选用以日降雨量计算降雨侵蚀力的方法。收集到长江上游区域涉及的 7 省市 1980—2010 年各县共 704 个气象站点的逐日降水量资料,其中,272 个站点分布在长江上游水蚀区内。

不是所有降雨都引起土壤侵蚀,发生侵蚀的降雨称为侵蚀性降雨<sup>[12]</sup>。根据雨量大小,Wischmeier 等<sup>[13]</sup>拟定一次降雨量大于 12.7 mm 时为侵蚀性降雨,15 min 内的降雨量超过 6.4 mm 时也称为侵蚀性降雨。谢云<sup>[14]</sup>根据黄河流域子洲团山沟实验站的降雨径流资料,拟定坡面侵蚀的侵蚀性雨量标准为 12 mm。根据收集到的降水量资料,剔除日雨量小于 12 mm 的非侵蚀性降雨后,计算各气象站 24 个半月降雨侵蚀力、年降雨侵蚀力和半月降雨侵蚀力占年降雨侵蚀力的比例等指标。为消除插值时的边界效应,采用 704 个站点数据进行插值,分析时采用的是研究区 272 个站点的指标值。根据已有研究<sup>[4,6]</sup>,用逐日降雨量计算多年平均降雨侵蚀力在研究区的计算精度最高,公式如下<sup>[15]</sup>:

$$\bar{R}_{\text{半月}k} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \alpha \sum_{j=1}^m P_{dij}^{\beta} \right) \quad (1)$$

式中: $\bar{R}_{\text{半月}k}$ ——第  $k$  半月的降雨侵蚀力 ( $\text{MJ} \cdot \text{mm}/\text{hm}^2 \cdot \text{h}$ );  $P_{dij}$ ——第  $i$  年第  $k$  半月第  $j$  日大于等于

12 mm 的日雨量;  $\alpha, \beta$ ——回归系数,  $\alpha = 21.239 \beta^{-7.3967}$ ,  $\beta = 0.6243 + \frac{27.346}{P_{d12}}$ ;  $\bar{P}_{d12}$ —— $\geq 12$  mm 日雨量的多年平均值 ( $\text{mm}$ ),  $\bar{P}_{d12} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{1}{m} \sum_{l=1}^m P_{dil} \right)$ ;  $j$ ——第  $i$  年第  $k$  半月日雨量大于等于 12 mm 的日数;  $i$ ——年数;  $l$ ——第  $i$  年日雨量大于等于 12 mm 的日数。

根据多年平均半月降雨侵蚀力计算多年平均年降雨侵蚀力:

$$\bar{R} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^{24} \bar{R}_{\text{半月}k} \quad (2)$$

式中: $\bar{R}$ ——多年平均年降雨侵蚀力 [ $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ ];  $i$ ——年数;  $k$ ——1 a 的 24 个半月数。

计算多年平均半月降雨侵蚀力占年降雨侵蚀力的比例:

$$\overline{WR}_{\text{半月}k} = \frac{\bar{R}_{\text{半月}k}}{\bar{R}} \quad (3)$$

式中: $\overline{WR}_{\text{半月}k}$ ——第  $k$  半月平均降雨侵蚀力 ( $\bar{R}_{\text{半月}k}$ ) 占多年平均年降雨侵蚀力 ( $\bar{R}$ ) 的比例。

计算得到年降雨侵蚀力后采用 Kriging 内插方法<sup>[16]</sup>将各离散测站的降雨侵蚀力值进行空间内插,得到空间连续分布的降雨侵蚀力值,并绘制等值线图。

## 2 结果与讨论

### 2.1 长江上游侵蚀性降雨及降雨侵蚀力 $R$ 值分布

通过计算研究区多年平均侵蚀性降雨量得到,该区侵蚀性年均降雨大多分布在 600~1 200 mm,以甘肃省舟曲县和武都县降雨量最小,多年平均降雨不到 200 mm,四川省峨眉山市的年均降雨量最大,达到 1 685 mm。长江上游有 3 个降雨高值区,位于四川省峨眉山市、贵州省毕节地区和湖北省宜昌市附近。峨眉山市位于四川省西南部,乐山市西,地处四川盆地西南边缘,是盆地到高山的过渡地带,地势起伏大,属亚热带湿润季风性气候,受季风和地形抬升作用的影响,气候湿润,降雨丰沛。乐山市的年均降雨量也达到 1 230 mm。贵州毕节地处滇东高原向黔中山原丘陵过渡的倾斜地带,属于喀斯特地貌,地形西高东低,属暖温带湿润季风气候。金沙、黔西和织金县东部属低中山丘陵地带,织金县的多年平均降雨量达 1 380 mm。湖北省宜昌市地处长江上游和中游交界,鄂西山区向江汉平原的过渡地带,西部山区主要分布在秭归、兴山、长阳等县,地形复杂,高低相差悬殊,属亚热带湿润季风气候,强降水过程频繁,多年平均降雨达 1 160 mm。总结发现高值区均出现在地形起伏较大的过渡地带,因为受地形影响,暖湿气流遇到高

山等地形阻挡沿山坡抬升,水汽冷却凝结导致地形雨造成降水量大。

在研究区所有 272 个站点中,多年平均年降雨侵蚀力  $R$  值最高的达到 10 000  $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$  以上,最大值在四川省乐山市为 11 394  $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ ,甘肃省陇南的沙坝  $R$  值最小只有 273  $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ 。对各站点  $R$  值进行空间插值得到长江上游的降雨侵蚀力  $R$  值分布(图 1),从图 1 中可见  $R$  值的分布趋势与侵蚀性年均降雨的趋势基本一致, $R$  值分布呈现南部大于北部,东部大于西部,中间亦有高值区的现象, $R$  值小于 1 000 的范围很小,只在甘肃、陕西地区有,其余大多分布在 4 000  $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$  以上。 $R$  值分布也存在 3 个高值区,与降雨量的分布一致,主要受山地地形的影响,在盆地或平原和山区的过渡地带, $R$  值都出现高值。

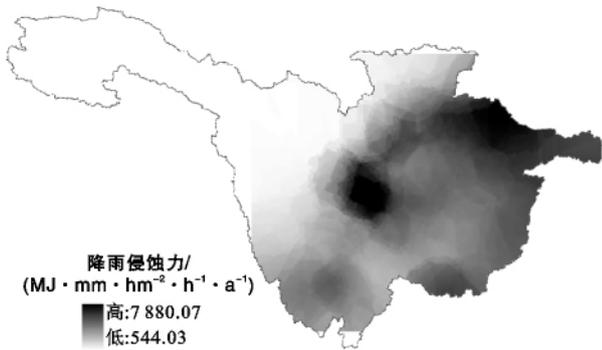


图 1 长江上游降雨侵蚀力分布

Wischmeier 等<sup>[17]</sup>通过分析降雨各影响因素和侵蚀量的关系发现最大 30 min 雨强和降雨总动能的乘积与土壤流失量密切相关,并用其度量降雨侵蚀力因子。但是这 2 个指标在常规降雨资料中很难获得,很多学者采用常规降雨资料建立了研究区域降雨侵蚀力的简易算法,在其他区域应用时需要验证。统计分析研究区 704 个站点的 30 a 降水量和降雨侵蚀力资料,建立多年平均降水量与降雨侵蚀力之间的关系

(图 2)得到:

$$R=0.6278 \times P^{1.2708} \quad (R^2=0.80) \quad (4)$$

式中: $R$ ——降雨侵蚀力 [ $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ ];  
 $P$ ——年降水量( $\text{mm}$ )。长江上游  $R$  值可以通过该关系式计算,也可以根据等值线图读取。

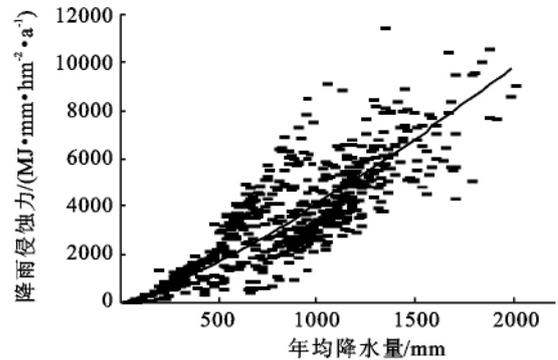


图 2 年均降水量与降雨侵蚀力的关系

### 2.2 降雨侵蚀力 $R$ 值的年内分布

降雨侵蚀力年内分配的集中度对于分析土壤侵蚀的季节变化十分重要,以连续 6 个半月的最大  $R$  值与年平均  $R$  值的百分比来表示降雨侵蚀力年内分配的集中程度。在长江上游所有 272 个站点的降雨数据中该集中度均值为 69%,说明降雨侵蚀力  $R$  值年内分布集中度较大。相对而言,陕西省的集中度最高为 75%,湖北省和重庆市的降雨侵蚀力分布最均匀,集中度为 59%。

用各月  $R$  值占年  $R$  值的百分比表示  $R$  值的月分布情况,得到多年平均降雨侵蚀力的年内分配曲线;计算月  $R$  值占年  $R$  值的累积百分比表示  $R$  值的月集中分布状况。长江上游各省市 5—10 月的降雨侵蚀力占到年均降雨侵蚀力的 93%。由图 3 中可见,长江上游各省  $R$  值年内分配曲线峰顶较尖锐,贵州、湖北、重庆  $R$  值分布主要集中在 5—8 月,平均占到年均降雨侵蚀力的 73%,甘肃、陕西、四川和云南的  $R$  值主要集中在 6—9 月,平均占到年均降雨侵蚀力的 84%。所有省市集中度最大的月份都是 7 月。

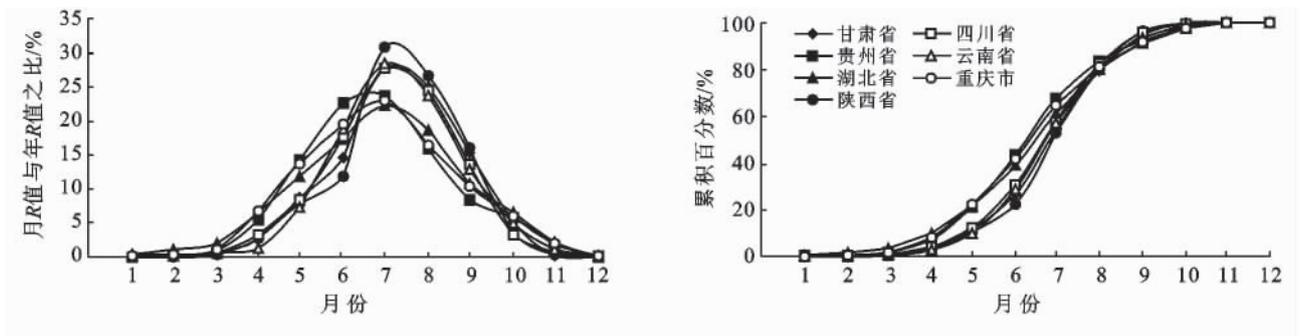


图 3 各省市降雨侵蚀力  $R$  值的年内分布

### 3 结论

降雨侵蚀力  $R$  值的空间分布不仅直接影响土壤侵蚀的空间分布,而且可用于模型中的生物措施因子值和多年平均土壤可蚀性  $K$  值的计算。利用长江上游水蚀区 272 个站点 1981—2010 年 30 a 的降雨量资料计算了多年平均降雨侵蚀力  $R$  值,分析了长江上游水蚀区降雨侵蚀力的空间分布规律。

(1) 长江上游水蚀区降雨侵蚀力  $R$  值范围为 273~11 394  $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ 。

(2) 长江上游  $R$  值的空间分布与降水量的空间分布特征相似,主要受地形的影响,有 3 个高值区,位于四川省峨眉山市、贵州省毕节地区和湖北省宜昌市附近。

(3) 建立了多年平均降雨量和降雨侵蚀力  $R$  值的关系,相关系数  $R^2$  达到 0.80。

(4) 研究区降雨侵蚀力的年内分布集中度较大,均值为 69%,主要集中在 5—10 月。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 柴宗新,范建容. 长江上游未来 50 a 水土流失变化预测[J]. 自然灾害学报,2001,10(4):15-19.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 许月卿,周巧富,李双成. 贵州省降雨侵蚀力时空分布规律分析[J]. 水土保持通报,2005,25(4):11-15.
- [7] 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.
- [8] 缪驰远,徐霞,魏欣,等. 重庆市主城区降雨侵蚀力特征分析[J]. 资源科学,2007,29(4):54-60.
- [9] 张兆录,薛重生. 湖北三峡库区降雨侵蚀力的计算及其特征分析[J]. 中国水土保持,2005(8):10-12.
- [10] 花利忠,贺秀斌,颜昌宙,等. 三峡库区大宁河流域降雨侵蚀力时空分布特征[J]. 水土保持通报,2008,24(4):22-25.
- [11] 刘育贤. 川西北丘陵区降雨侵蚀力指标  $R$  的初步研究[J]. 四川林业科技,1992,13(2):41-44.
- [12] 王万忠. 黄土地区降雨特性与土壤流失关系的研究Ⅲ:关于侵蚀性降雨标准的问题[J]. 水土保持通报,1984,4(2):58-62.
- [13] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning [M]. U. S. Dep. Agric., Agric. Handb, 1978:537-1978.
- [14] 谢云,刘宝元. 侵蚀性降雨标准研究[J]. 水土保持学报,2000,14(4):6-11.
- [15] Yu B, Rosewell C J. An assessment of a daily rainfall erosivity model for New South Wales [J]. Australian Journal of Soil Research, 1996,34(1):139-152.
- [16] 王广德,过常龄. “Kriging”空间内插方法在地理学中的应用[J]. 地理学报,1987,42(4):366-374.
- [17] Wischmeier W H, Smith D D. Rainfall energy and its relationship to soil loss[J]. Transactions American Geophysical Union, 1958,39(2):285-291.