

# 三峡库区大宁河流域降雨侵蚀力时空分布特征

花利忠<sup>1,2</sup>, 贺秀斌<sup>2</sup>, 颜昌宙<sup>1</sup>, 南宏伟<sup>2</sup>

(1. 中国科学院 城市环境研究所, 福建 厦门 361012; 2. 中国科学院 水利部 成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

**摘要:** 利用三峡库区大宁河流域及其周边共 21 个雨量站 8 a 的日降雨量资料,按照日降雨量侵蚀力模型,在地理信息系统软件 Arc GIS9.0 支持下,分析了该流域降雨侵蚀力的时空分布特征。研究表明,该流域年均降雨侵蚀力  $R$  值在空间分布上与流域高程变化一致。随着流域高程变化,侵蚀力  $R$  值呈现上游迅速降低,中游平缓到下游增大的趋势,最高和最低侵蚀力  $R$  值分别位于流域西北部的高楼站附近和西南部的福田站附近;降雨侵蚀力  $R$  值的年际分配差异明显,最大年  $R$  值为最小年  $R$  值的 2.16 倍;降雨侵蚀力  $R$  值的季节分布呈单峰型,集中程度高,5—9 月上半月占全年的 90.4%,全年  $R$  值的高峰出现于 7 月份和 8 月份上半月,占全年的 38.8%。

**关键词:** 降雨侵蚀力; 大宁河流域; 三峡库区; 水土流失

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X(2008)04—0022—04

中图分类号: S157.1, S161.6

## Temporal-Spatial Variations of Rainfall Erosivity in Daning River Watershed of Three Gorges Reservoir Region

HUA Li-zhong<sup>1,2</sup>, HE Xiu-bin<sup>2</sup>, YAN Chang-zhou<sup>1</sup>, NAN Hong-wei<sup>2</sup>

(1. Institute of Urban Environment, Chinese Academy of Sciences, Xiamen, Fujian 361012, China;

2. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu, Sichuan 610041, China)

**Abstract:** With the aid of the rainfall erosivity model using daily rainfall and geographic information system (GIS) software, Arc GIS 9.0, daily rainfall data from 21 weather stations in Da'ning River watershed and its adjacent area, the Three Gorges Reservoir Region, were used to analyze the temporal-spatial variations of rainfall erosivity ( $R$  factor) for the watershed.  $R$  factor varied consistently with watershed elevation.  $R$  factor decreased rapidly in the upper reaches of the watershed from Gaolou station to Wuxi station, trended towards gentleness in the middle reaches from Wuxi station to Dachang station, and increased gradually in the down reaches from Dachang station to Wushang station (watershed outlet). There was a great variation in year-to-year  $R$  factor with the maximum being three times greater than the minimum. The distribution of rainfall erosivity was highly seasonal with a single peak. Summer months from May to early September typically contributed 90.4% of the yearly  $R$  factor. July and early August were the peak months with more than 38% of the yearly  $R$  factor.

**Keywords:** rainfall erosivity; Three Gorges Reservoir region; Daning river watershed; soil and water loss

降雨侵蚀力  $R$  因子是降雨能量的定量指标。目前世界各地采用的土壤侵蚀模型(如 USLE 和 RUSLE 等)及其众多流域农业非点源污染模型如 AGNPS (agricultural non-point source)<sup>[1]</sup>, AnnAGNPS (annualized agricultural non-point source)<sup>[2]</sup> 和 SWAT (soil and water assessment tool)<sup>[3]</sup> 等,  $R$  值均作为主要参数之一,所以  $R$  值的研究格外受到重视。我国降雨侵蚀力指标的研究从 20 世纪 80 年代

开始,在借鉴美国 USLE 方程中降雨侵蚀力指标的基础上,众多学者如贾志军等<sup>[4]</sup>、张宪奎等<sup>[5]</sup>、卜兆宏<sup>[6]</sup>、黄炎和等<sup>[7]</sup>、吴素业<sup>[8]</sup>、周伏建等<sup>[9]</sup>、王万忠和焦菊英<sup>[10]</sup>、杨子生<sup>[11]</sup>、谢云等<sup>[12]</sup> 和章文波等<sup>[13-14]</sup>, 根据各研究区的实际情况建立了反映不同地区特点的降雨侵蚀力的简易算法,编制区域甚至全国的降雨侵蚀力图,分析降雨侵蚀力变化规律,取得了很多有意义的研究成果。大宁河流域降雨侵蚀力时空分布

收稿日期: 2008-01-23

修回日期: 2008-04-21

资助项目: 中国科学院西部行动计划项目 (KZCX2 - XB2 - 07 - 01); 国家自然科学基金课题 (40671120); 国家 973 项目 (2003CB415201)

作者简介: 花利忠 (1978—), 男 (汉族), 山西省晋中市人, 博士后, 从事流域侵蚀产沙评价、城市环境规划研究。E-mail: hualizhong2008@yahoo.com.cn。

特征的研究,不仅对该区侵蚀时期正确划分,农耕措施研究与配套体系的建立,利用侵蚀模型确切评价土壤侵蚀产沙现状与发展趋势,制定防治土壤侵蚀对策起到积极作用,而且为三峡库区制定土地利用合理规划和控制水土流失提供重要前提和依据。

## 1 研究区概况与所用资料

大宁河流域位于三峡库区的腹心地带,地处大巴山东段南麓的渝、陕、鄂三省(市)结合部,东接湖北省神农架林区,西与重庆开县、云阳接壤,北连重庆城口县和陕西省镇坪县,地跨东经  $108^{\circ}44' - 110^{\circ}11'$ 、北纬  $31^{\circ}04' - 31^{\circ}44' N$ ,全长 162 km,流域面积  $4\ 181\ km^2$ 。该流域是长江三峡库区重点淹没区之一。

研究区地处大巴山构造褶皱带和川鄂湘黔隆起褶皱带的结合部位,以石灰岩为主。流域内由于内力地质作用和后期强烈的侵蚀、剥蚀、溶蚀,形成了地势陡峭、岩溶发育、沟谷密布、峡谷幽深的景观,以中、低山为主(占全流域的 95% 以上),少有丘陵平坝的地貌景观。流域属于北亚热带季风气候,四季分明,光照充足,降水丰沛,年均降雨量在 1 000 mm 以上,但时间分布极不均匀,其中夏季降雨量(4—10月)占全年降雨量的 87% 以上。流域土壤类型有黄壤、黄棕壤、棕壤、石灰(岩)土、山地草甸土、紫色土、新积土和水稻土共 8 个土类,其中面积最大是黄壤,占流域土壤面积的 45.8%。流域植被类型复杂,主要地带性植被有亚热带常绿阔叶林、常绿及落叶混交林,低山针阔林及竹林和草本、禾本农作植被。研究区内山高坡陡,降雨集中,土壤侵蚀严重。本研究所使用的降雨资料,包括大宁河流域内(表 1)和周边(高观、河鱼、东安、尖山、桃园、杨家扒等)共 21 个雨量站 1998—2005 年的逐日降雨量数据。

## 2 降雨侵蚀力因子计算方法

降雨侵蚀力是降雨引起土壤侵蚀的潜在能力,它与降雨量、降雨强度、历时、雨滴的大小以及雨滴下降速度有关。自从美国学者 Wischmeier<sup>[15-16]</sup> 提出以次降雨总动能  $E$  与 30 min 最大雨强  $I_{30}$  的乘积  $EI_{30}$  作为降雨侵蚀力指标,并应用于通用土壤流失方程 USLE 以来,降雨侵蚀力的研究受到越来越多学者的重视。以次降雨指标  $EI_{30}$  计算降雨侵蚀力的方法以次降雨过程资料为基础,一般很难获得长时间序列的降雨过程资料,并且资料的摘录整理十分繁琐。针对经典降雨侵蚀力算法的不足,众多学者研究发展了降雨侵蚀力的简易算法。简易算法的出发点主要是利用比较容易获得的降雨量指标代替需要降雨过程的

动能指标。降雨侵蚀力的简易算法模型主要有 3 种类型。

(1) 通过年雨量特征因子(年雨量、大于一定临界值的年雨量或汛期雨量)与年特征雨强(最大 30 min 或 60 min 雨强)的乘积形式估算年  $R$  值。如卜兆宏等<sup>[6]</sup>、王万忠和焦菊英<sup>[10]</sup> 提出的算式,这类算式只能算出年  $R$  值,不能反映降雨侵蚀力的季节分布。

(2) 采用基于月降雨量的简化算法来计算  $R$  值,如黄炎和等<sup>[7]</sup>、吴素业等<sup>[8]</sup> 和周伏建等<sup>[9]</sup> 提出的算式。该类算式中,各月降雨侵蚀力与雨量的关系采用同一组参数,对于具有相同降雨量月份将产生同样的  $R$  值,然而在同样雨量下,短历时、高雨强降雨(在 6—8 月)的  $R$  值远高于其它月份长历时、低雨强降雨的  $R$  值,因此计算结果并不理想。

(3) 采用基于日降雨量来计算的侵蚀力模型。该类模型可直接计算逐年半月降雨侵蚀力。如章文波、付金生<sup>[14]</sup> 和 Yu B<sup>[17]</sup> 分别提出的用于日降雨量估算降雨侵蚀力的多参数模型。这类模型按半月步长为 1 个时间段,计算半月降雨侵蚀力为宜,因为日降雨和次降雨不是一一对应的(一日降水可能对应一次降雨、多次降雨、或一次降雨的一部分),直接以日降雨量估算日侵蚀存在困难,但如果选择以半月为时段步长合并后,会大大减少次降雨与日降雨无法一一对应的概率。日雨量侵蚀力模型计算半月降雨侵蚀力不仅较好地反映降雨侵蚀力季节分布,便于评价降雨侵蚀力的季节分布与时间变异,而且与通用土壤流失方程 RUSLE 中降雨侵蚀力季节变化分析采用的时段步长一致,便于模型应用。本研究采用日降雨量侵蚀力模型<sup>[14,18]</sup>,公式如下

$$M_i = \sum_{j=1}^k D_j \quad (1)$$

式中:  $M_i$  ——第  $i$  个半月时段的侵蚀力值 [ $MJ \cdot mm / (hm^2 \cdot h)$ ];  $\alpha$  和  $\beta$  ——模型参数;  $k$  ——该半月时段内的天数,  $D_j$  ——半月时段内第  $j$  天的日雨量,要求日雨量  $\geq 12\ mm$  (有效降雨量),否则以 0 计算,  $12\ mm$  与侵蚀性降雨标准对应;参数  $\alpha$  和  $\beta$  反映了区域降雨特征,如下式

$$= 0.8363 + \frac{18.144}{P_{d12}} + \frac{24.455}{P_{y12}} \quad (2)$$

$$= 21.586 \cdot P_{d12}^{-7.1891} \quad (3)$$

式中:  $P_{d12}$  ——日雨量  $\geq 12\ mm$  的日平均雨量;  $P_{y12}$  ——日雨量  $\geq 12\ mm$  的年平均雨量。

## 3 降雨侵蚀力特征分析

### 3.1 降雨侵蚀力 $R$ 值空间分布特征

不规则三角形网 TIN (triangulation irregular net)

是一种以连续不规则的三角形来描述三维表面的有效方法,除了在地形方面,还常用于其它各种领域,如表示化学物质的浓度、地下水位、温度、降雨量、环境污染值和气压值等类型的表面值。

本研究用 21 站点的 8 a 日降雨量数据首先计算各站点的降雨侵蚀力,在 ArcGIS9.0 软件支持下,采用 TIN 方法将各站点的降雨侵蚀力值和流域边界生成 TIN 数据结构,并进行空间插值,再从 TIN 数据结构中提取等侵蚀力线,最终得到大宁河流域年均降雨侵蚀力分布(图 1b)。图 1 表明,年均降雨侵蚀力  $R$  值变

化与数字高程图显示的流域高程变化保持一致,流域地形东、西、北部高,而中、南部低,年均降雨侵蚀力  $R$  值也随之变化。年均降雨侵蚀力  $R$  值基本保持在 4 500~10 500  $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$  之间,最高侵蚀力  $R$  值位于流域西北部的高楼附近,最低侵蚀力  $R$  值位于流域西南部的福田附近;流域上游(巫溪站以上)大巴山脉屏于西北,高楼站到巫溪站海拔迅速下降,侵蚀力  $R$  值也迅速下降,中游(巫溪站 - 大昌站)地形平缓,侵蚀力  $R$  值也趋于平缓,到下游(大昌站——巫山站),巫山山脉绵延于东南,海拔增高,侵蚀力  $R$  值开始增大。

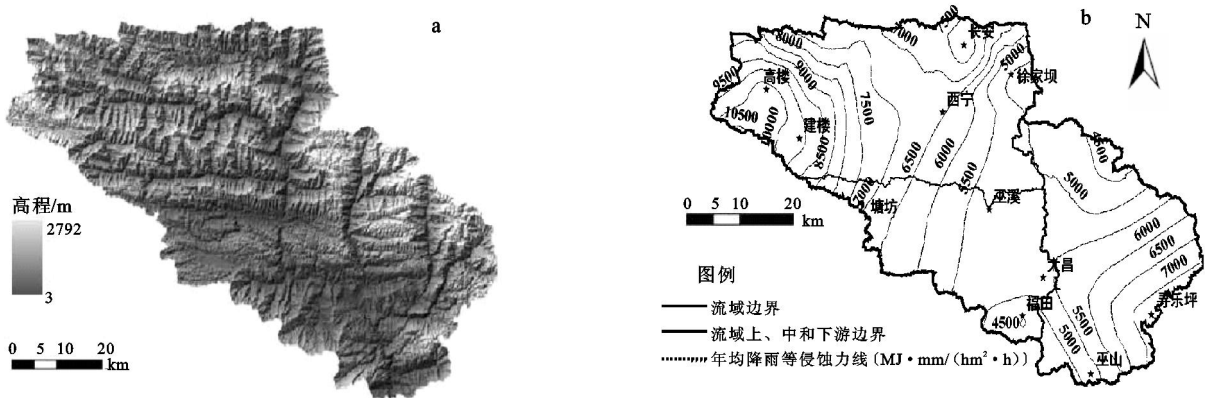


图 1 大宁河流域数字高程和年均降雨侵蚀力 [ $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ ]

### 3.2 降雨侵蚀力 $R$ 值的年际变化

要计算整个流域的年均  $R$  值,需要计算各个雨量站所代表的面积大小。由于泰森三角形网具有网形惟一,图形结构良好的性质,本研究采用“泰森多边形法”确定每个雨量站对应的泰森多边形面积,每个雨量站相应的多边形内部使用该雨量站的数据,流域内 11 个雨量站,较好地反映了流域降雨空间异质性。在 ArcGIS9.0 软件支持下,用泰森多边形法计算的流域内各站点多边形面权重见表 1。

图 2 显示大宁河流域降雨侵蚀力年际变化很大:8 a 中 1998 和 2003 年为两个降雨侵蚀力高峰年, $R$  值最大的是 2003 年,达 10 539.9  $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$  与之接近的是 1998 年达 10 494.9  $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ , $R$  值最小的是 1999 年,只有 4 868.7  $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ ,最大年  $R$  值为最小年  $R$  值的 2.16 倍,多年平均  $R$  值为 7 526.2  $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ 。

### 3.3 降雨侵蚀力 $R$ 值的季节变化

图 3 是分别按 24 个时段和 12 个月显示的流域降雨侵蚀力季节分布,流域平均降雨侵蚀力季节分布属于单峰型,主要集中于第 9—19 个时段,即 5—9 月上半月,占全年的 90.4%,其中 13—15 时段是流域水土流失最强烈的时间(降雨侵蚀力全年的高峰),占

全年的 38.8%,因此做好 7 月份和 8 月上半月的水土流失工作显得更加重要。

表 1 大宁河流域 11 个雨量站点权重 %

站名	泰森权重	站名	泰森权重
建楼	9.04	高楼	9.32
塘坊	8.87	大昌	14.45
巫溪	14.10	福田	5.55
寻乐坪	10.42	巫山	3.09
徐家坝	7.79	长安	5.42
西宁	11.96		

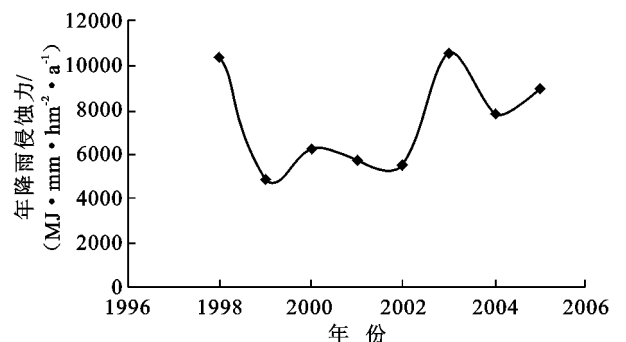


图 2 大宁河流域降雨侵蚀力年际变化

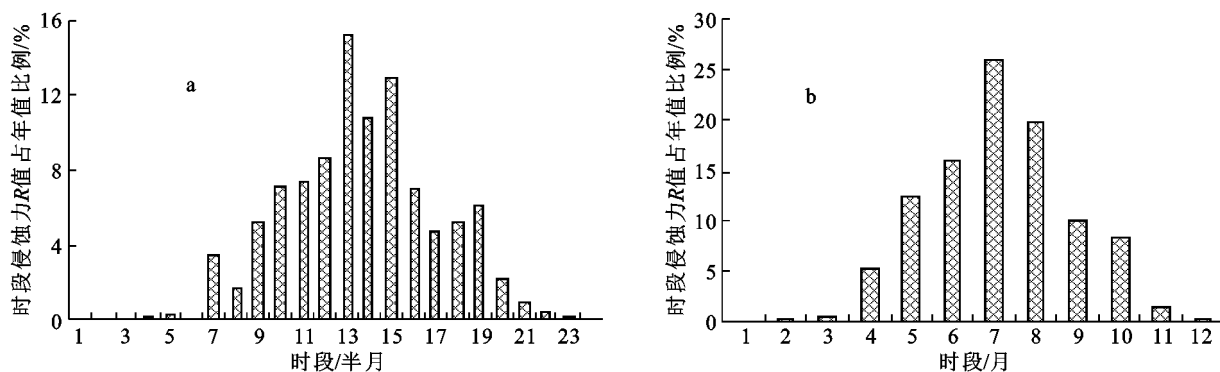


图3 大宁河流域降雨侵蚀力季节变化

## 4 结论

以1998—2005年8 a的逐日降雨量数据为基础,按照日降雨量侵蚀力模型计算了三峡库区大宁河流域各站点的降雨侵蚀力 $R$ 值,在地理信息系统软件ArcGIS 9.0支持下,分析了该流域降雨侵蚀力的时空分布特征。该流域年均降雨侵蚀力 $R$ 值在空间分布上与流域高程变化一致,随着流域高程变化侵蚀力 $R$ 值呈现上游迅速降低,中游平缓到下游增大的趋势,最高和最低侵蚀力 $R$ 值分别位于流域西北部的高楼站附近和西南部的福田站附近;降雨侵蚀力 $R$ 值的年际分配差异明显地区,最大年 $R$ 值为最小年 $R$ 值的2.16倍;降雨侵蚀力 $R$ 值的季节分布呈单峰型,集中程度高,5—9月上半月占全年的90.4%,而且 $R$ 值全年的高峰集中于7月份和8月上半月。

**致谢:**感谢中国气象局限性和水利部水文局提供的气象数据。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] Young R A, Onstad C A, Bosch D D, et al. A GNPS: A non-point source pollution model for evaluating agricultural watersheds [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1989, 44(2): 168—173.
- [2] Yong P Y, Bingner R L, Reibich R A. Evaluation of AnnAGNPS on Mississippi Delta Msea Watersheds [J]. *Transactions of the ASAE*, 2001, 44(5): 1183—1190.
- [3] Luzio M D, Srinivasan R, Arnold J. ArcView Interface for SWAT 2000: User's Guide [M]. Blachland Research Center, 2001.
- [4] 贾志军, 王小平, 李俊义, 等. 晋西黄土高原降雨侵蚀力研究 [J]. *中国水土保持*, 1991(1): 19—22.
- [5] 张宪奎, 许靖华, 邓育江, 等. 黑龙江省土壤侵蚀方程的研究 [J]. *水土保持通报*, 1992, 12(4): 1—9, 18.
- [6] 卜兆宏. 降雨侵蚀力因子新算法的初步研究 [J]. *土壤学报*, 1992, 29(4): 408—417.
- [7] 黄炎和, 卢程隆, 郑添发, 等. 闽东南降雨侵蚀力指标 $R$ 值的研究 [J]. *水土保持学报*, 1992, 6(4): 1—5.
- [8] 吴素业. 安徽大别山区降雨侵蚀力指标的研究 [J]. *中国水土保持*, 1992(2): 32—33.
- [9] 周伏建, 陈明华, 林福兴, 等. 福建省土壤流失预报研究 [J]. *水土保持通报*, 1995, 9(1): 25—30, 36.
- [10] 王万忠, 焦菊英. 中国的土壤侵蚀因子定量评价研究 [J]. *水土保持通报*, 1996, 16(5): 1—20.
- [11] 杨子生. 滇东北山区坡耕地降雨侵蚀力研究 [J]. *地理科学*, 1999, 19(3): 265—270.
- [12] 谢云, 章文波, 刘宝元. 用日雨量和雨强计算降雨侵蚀力 [J]. *水土保持通报*, 2001, 21(6): 53—56.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] Wischmeier W H. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation [J]. *Soil Science Society Proceedings*, 1959, 23(3): 246—249.
- [17] Yu B. Rainfall erosivity and its estimation for Australian's tropics [J]. *Australian Journal of Soil Research*, 1998, 36: 143—165.
- [18] 花利忠, 贺秀斌, 朱波. 川中丘陵区小流域土壤侵蚀空间异质评价研究 [J]. *水土保持通报*, 2007, 27(3): 111—115.