

# 黄土高原不同地貌类型区降雨侵蚀力时空特征研究

李静<sup>1,3</sup>, 刘志红<sup>2</sup>, 李锐<sup>1,3</sup>

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100;

2. 成都信息工程学院, 四川 成都 610225; 3. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 通用土壤流失方程 USLE 是迄今为止较为成熟, 应用较广的土壤侵蚀预报模型, 区域降雨侵蚀力  $R$  及其分布特征是将 USLE 应用于较大地区的关键。以日降雨量计算侵蚀力模型为基础, 建立了黄土高原月降雨量计算降雨侵蚀力模型。用黄土高原 235 个气象站点 1971—2000 年 30 a 的月降雨量数据, 计算得各站点的时间序列月降雨侵蚀力和年降雨侵蚀力, 通过 Kriging 空间插值方法生成降雨侵蚀力时空分布栅格图像, 并分析了不同地貌类型区降雨侵蚀力的时空特征。黄土高原降雨侵蚀力空间分布从东南到西北呈梯度递减趋势, 范围在 300~7 500, 平均不到 3 000, 不同地貌类型区从大到小依次为土石山区、丘陵沟壑区(延安)、高原沟壑区、丘陵沟壑区(榆林)、丘陵区(陇西); 降雨侵蚀力年内分布主要集中于 7、8 两月, 年际变化上存在一个 2.7 a 的波动周期, 波动范围在多年平均值的 1 倍以上, 不同地区相差较大。

**关键词:** 黄土高原; 降雨侵蚀力; 空间插值; USLE

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X(2008)03—0124—04

中图分类号: S157.1

## Temporal and Spatial Characteristics of Rainfall Erosivity with Different Geomorphology Types on the Loess Plateau

LI Jing<sup>1,3</sup>, LIU Zhi-hong<sup>2</sup>, LI Rui<sup>1,3</sup>

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling,

Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Information Engineering, Chengdu, Sichuan 610225, China;

3. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** USLE is a better and widely used model for forecasting soil erosion. Rainfall erosivity and its distribution characteristics is the key to the application of USLE in soil erosion research in a large area. Based on the daily rainfall erosivity model, the average monthly and annual rainfall erosivity model for the Loess Plateau is established. Using the daily rainfall data from 235 weather stations from 1971 to 2000 on the Loess Plateau, we estimated the monthly rainfall erosivity and the annual rainfall erosivity, which were used to interpolate a spatial distribution map by the Kriging interpolation method. The spatial pattern of rainfall erosivity was also analyzed for different topographic regions. Results show that there is a descending trend from southeast to northwest in spatial pattern of rainfall erosivity on the Loess Plateau. Rainfall erosivity on the Loess Plateau is between 300 and 7 500, with an averaged value of less than 3 000. The topographic units, from large to small, are rock mountainous area, hilly gully area (Yan'an), high plateau gully area, hilly gully area (Yulin), and hilly gully area (Longxi). Rainfall erosivity is mainly concentrated in July and August. Cycle analysis indicates that there is a 2.7-year undulating period of rainfall erosivity in the entire region and the undulating range of rainfall erosivity is more than twice of annual average value. There are distinct differences among different regions.

**Key words:** the Loess Plateau; rainfall erosivity; spatial interpolation; USLE

收稿日期: 2007-12-04

修回日期: 2008-01-10

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 973 项目(2007CB407203)

作者简介: 李静(1976-), 女(汉族), 陕西省西安市人, 在读硕士生, 主要研究区域水土保持效益评价系统开发。E-mail: lijing\_rainbow@163.com。

通信作者: 刘志红(1967-), 女(汉族), 四川省成都市人, 副研究员, 主要从事区域水土流失遥感监测与评价研究。E-mail: wxzlh@163.com。

黄土高原是世界上水土流失最严重的地区之一<sup>[1]</sup>,侵蚀不仅导致土地资源的丧失和退化,而且成为河流泥沙淤积的主要原因。为此,我国政府投入了大量的人力、物力和财力开展水土流失防治工作。

进入 21 世纪,政府又将水土保持生态建设确立为 21 世纪经济和社会发展的一项重要基础工程,把以水土保持为中心的生态建设作为西部大开发的根本点和切入点。水土流失的科学治理取决于对水土流失规律的认识和各地水土流失数据的连续获取。土壤侵蚀模型是进行区域土壤侵蚀调查和动态监测的基本工具。在众多模型中,通用土壤流失方程 USLE<sup>[2-3]</sup>以其经济性、实用性和科学性成为经典。结合遥感与 GIS 等空间技术方法支撑,USLE 已被大量用于区域土壤侵蚀预报评价<sup>[4-7]</sup>。

区域降雨侵蚀力的计算与时空特征分析,是将 USLE 应用于较大地区的关键之一。以往的研究主要集中在对于  $R$  因子算法的探讨和对较大区域  $R$  因子宏观分布规律的认识<sup>[8-12]</sup>。王万忠等对我国 140 多个重点试验站的  $R$  值进行了计算,在分析我国降雨侵蚀力  $R$  值区域分布特征的基础上,编制了中国降雨侵蚀力等值线图并进行了降雨侵蚀力分区<sup>[8-9]</sup>。刘宝元等建立了侵蚀性降雨量标准和计算方法<sup>[10]</sup>。殷水清等分析黄土高原年  $R$  值在全区尺度上的空间分布特征<sup>[13]</sup>。

黄土高原地形破碎,沟壑高度发育,片沙、梁状、峁状丘陵及土石山区等地貌类型多样<sup>[14]</sup>。因此,对于黄土高原不同地貌类型区  $R$  因子值的时空分布规律的探讨,尚待加强。本文根据黄土高原地貌类型区的划分<sup>[14]</sup>,重点对侵蚀严重的高塬沟壑区、土石山区、丘陵沟壑区(延安)、丘陵沟壑区(榆林)、丘陵沟壑区(陇西)等不同地貌类型区降雨侵蚀力的时空分布特征进行了分析,对水土流失防治具有一定的指导意义。

## 1 数据与方法

### 1.1 研究区概况

黄土高原地区面积  $6.40 \times 10^5 \text{ km}^2$ ,水土流失面积  $4.54 \times 10^5 \text{ km}^2$ ;侵蚀模数大于  $5\ 000 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$  的强度水蚀面积  $1.47 \times 10^5 \text{ km}^2$ <sup>[16]</sup>。地形复杂、沟壑纵横,地表破碎,气候较干旱,年降水空间分布不均匀,多集中在夏季汛期。暴雨是造成黄土高原严重水土流失和黄河泥沙的最主要因素,一次暴雨或大暴雨引起的侵蚀量占年总量的 60% 甚至 90% 以上<sup>[1]</sup>。

### 1.2 数据基础

本研究使用的降雨量数据有两种:(1) 黄土高原水蚀区 35 个气象站 1971—2000 年日降雨量数据;

(2) 黄土高原及其外围 235 个气象站及雨量站 1971—2000 年的月降雨量数据(外围站点 43 个)。

### 1.3 计算方法

用日降雨量计算降雨侵蚀力虽然精确,但事实上很多情况下无法得到日降雨量数据,只能用月降雨量或年降雨量计算。因此需要建立用月或年降雨量计算月或年降雨侵蚀力模型。首先用日降雨量计算降雨侵蚀力模型<sup>[12]</sup>计算 35 个站 1971—2000 年的各月降雨侵蚀力,再用对应的月降雨量或年降雨量和已求得的降雨侵蚀力建立定量关系,通过比较认为二次多项式模型最佳,得到黄土高原月降雨量计算降雨侵蚀力模型(表 1), $R^2$  均大于 0.8,因此可以进行实际应用。由此模型计算得到 235 个站点的月和年降雨侵蚀力。降雨侵蚀力单位为  $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ 。

表 1 黄土高原月降雨量降雨侵蚀力模型

月份	模型	相关系数
6	$y = 0.0512x^2 + 0.1155x - 20.48$	$R^2 = 0.8252$
7	$y = 0.0384x^2 + 2.9228x - 141.80$	$R^2 = 0.9072$
8	$y = 0.0386x^2 + 2.8880x - 125.36$	$R^2 = 0.9116$
全年	$y = 0.0083x^2 + 1.0071x - 323.14$	$R^2 = 0.7954$

注: $x$ ——月或年降雨量; $y$ ——月或年降雨侵蚀力。

### 1.4 降雨侵蚀力趋势面生成方法

降雨侵蚀力趋势面建立主要依靠空间插值算法,同时站点数量与分布也决定了插值精度。本研究最大程度地搜集整理了黄土高原 235 个气象站点数据,在一定程度上保证了插值精度。空间插值算法有很多,如样条函数法(Spline 法)、空间自协方差最佳插值方法(Kriging 法)等,但通过比较认为,对降雨量和降雨侵蚀力等值域范围大,空间分布高度不均匀等变量的空间插值以 Kriging 最优无偏插值方法为好<sup>[15]</sup>,因此本研究采用 Kriging 插值方法,模型为球状模型,模型参数的选定以 RSE 最小为标准。

## 2 分析与讨论

### 2.1 黄土高原年降雨侵蚀力空间分布特征

与全国其它地区比较,黄土高原整个地区降雨侵蚀力空间变化相对较小,不同地貌区的平均值在 1 000~3 000 之间,整个地区最小值低于 300,最大为 7 500,平均在 2 300 左右。黄土高原主体的高塬沟壑区、丘陵沟壑区、土石山区降雨侵蚀力相近,平均在 3 000 上下,丘陵沟壑区(榆林)平均为 1 800,而陇西黄土丘陵区较低,平均在 1 000 左右。空间上存在东北—西南的等值线带,而递减趋势是东南—西北方向。土石山区(洛川)、丘陵沟壑区(延安)、长武高塬沟壑区基本在一个等值带中,丘陵沟壑区(榆林)在第二个带上,而丘陵沟壑区(陇西)在第三个等值线带上(图 1—2)。

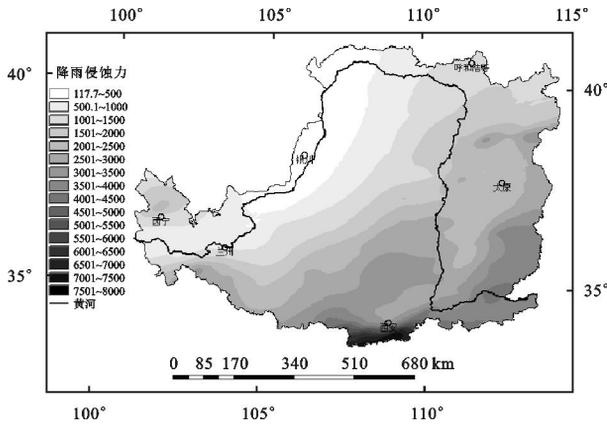


图 1 黄土高原多年平均降雨侵蚀力分布图

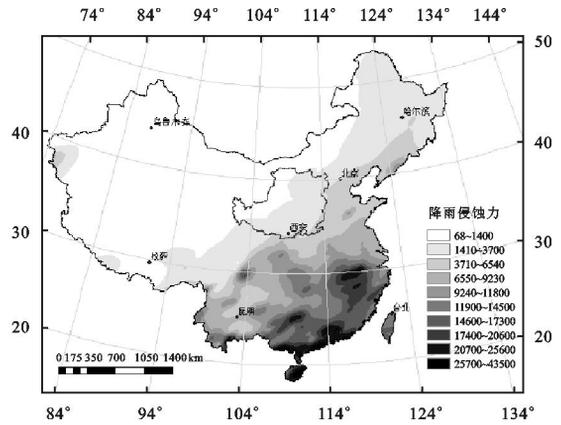


图 2 中国多年平均降雨侵蚀力分布图

### 2.2 黄土高原降雨侵蚀力年内分布特征

黄土高原降雨侵蚀力年内分布都集中在 7—8 月 (图 3), 部分地区 9 月份降雨侵蚀力还超过 400, 说明还有少量的暴雨。在几种不同的地貌类型区中, 只有土石山区的峰值出现在 7 月, 接近 1 000, 高原沟壑区 7、8 月降雨侵蚀力持平, 接近 800, 而其它几个地区峰值都在 8 月份。

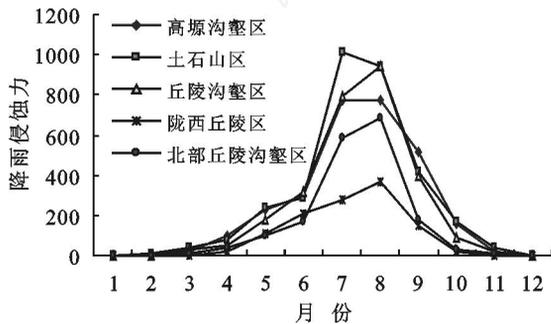


图 3 黄土高原不同地貌类型区 R 值月际变化

### 2.3 黄土高原不同地貌类型区降雨侵蚀力年际变化

黄土高原降雨侵蚀力的年际变化起伏非常大 (图 4), 同一地区的侵蚀力最大值与最小值可差数千, 如土石山区 (洛川县)、丘陵沟壑区 (延安市) 最大最小

相差 6 000, 高原沟壑区相差 5 000, 丘陵沟壑区 (榆林) 相差近 3 000, 丘陵地区 (陇西) 相差 2 000。30 a 年时间里, 高原沟壑区出现过 3 个高值年, 1975, 1983, 1988 年, 降雨侵蚀力值达到 5 000, 同样也出现了几个低值年, 低于 1 400, 最低的 1995 年只有 454。土石山区的高值年出现在 1975, 1981, 1988 年, R 值均在 5 500 以上, 其低值年 1986, 1989 年, R 值不足 1 000。丘陵沟壑区高值年份为 1981, 1988 年, R 值均为 5 500 以上, 低值年 1974 的 R 值只有 546。丘陵区 (榆林) 高值年为 1988 年, R 值为 4 276。1979, 1983 年均低于 500。丘陵 (陇西) 的相对高值出现在 1973, 1979, 1999 年, 大于 2 000, 而有很多年份均低于 300。变化最为剧烈的是 70—80 年代中期, 如洛川 1975 年降雨量 890 mm, 降雨侵蚀力高达 7 500, 1977 年却低至 1 857, 1985 年为 4 387, 次年 1986 年年降雨量仅为 397 mm, 其降雨侵蚀力减小到 887。延安地区 1981 年降雨量为 774, 降雨侵蚀力接近 7 000, 1988 年降雨量为 774 mm, R 值为 5 409。傅立叶频谱分析可以得出一个近似于 2.7 a 的波动期, 90 年代波动小于 70—80 年代。

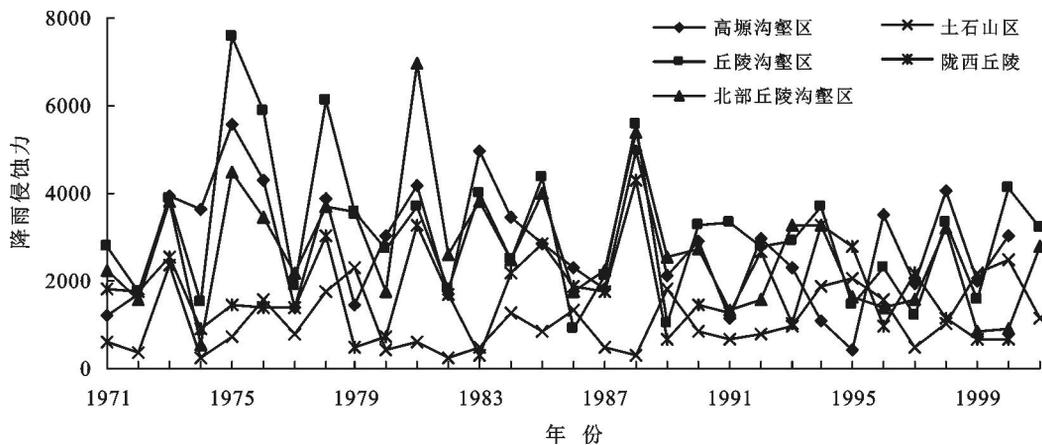


图 4 黄土高原不同地貌类型区降雨侵蚀力年际变化

### 3 结论

(1) 通过日降雨量计算降雨侵蚀力模型建立的月降雨量计算降雨侵蚀力模型可用在黄土高原地区,用月降雨量计算月降雨侵蚀力与用日降雨量计算降雨侵蚀力的计算结果相关系数达到 0.8 以上,可以在区域范围内使用。

(2) 黄土高原降雨侵蚀力相比全国其它地区来说较低,在 1 000~3 000 之间,从东南到西北呈递减趋势,中间两个岛状山区(六盘山和子午岭)高于其它地区。不同地貌类型区从大到小依次为土石山区、丘陵沟壑区、高塬沟壑区、丘陵沟壑区(榆林)、丘陵沟壑区(陇西)。

(3) 黄土高原降雨侵蚀力年内分布主要集中在 7—8 月,高原沟壑区 7—8 月持平,土石山区峰值出现在 7 月,而其它地貌类型区峰值出现在 8 月。

(4) 黄土高原年降雨侵蚀力的年际变化呈现一个 2.7 a 的波动周期,波动范围达平均值的 1 倍以上,变化最为剧烈的是 8 月份,个别年份的降雨侵蚀力是平均值的 300%。

本文只是对黄土高原  $R$  因子值进行了计算,对其在不同地貌类型区的时空特征进行了分析,但其对大区域土壤侵蚀定量评价的意义还有待于更多的实际应用来验证。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 中国科学院黄土高原综合科学考察队. 黄土高原地区土壤侵蚀区域特征及其治理途径[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1990, 1(19): 80—83.
- [2] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: A guide for soil and water conservation planning[M]. USDA Agric. Handb., 1978.
- [3] Renard K G, Foster G R, Weeies G A. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE) [M]. U. S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook, 1997.
- [4] Van Der Knijff J M, Jones R J, Montanarella L. Soil erosion risk assessment in Europe [OL]. EUR, 2000: 19044 EN, [http://eu soils. jrc. it/ESDB\\_Archive/pesera/pesera\\_cd/pdf/ereurnew2.pdf](http://eu soils. jrc. it/ESDB_Archive/pesera/pesera_cd/pdf/ereurnew2.pdf).
- [5] Yang D W, Shinjiro Kanae, Taikan Oki, et al. Global potential soil erosion with reference to land use and climate changes [J]. Hydrological Processes, 2003, 17: 2913—2928.
- [6] Fu B J, Zhao W W, Chen L D. Assessment of soil erosion at large watershed scale using RUSLE and GIS: A case study in the Loess Plateau of China [J]. Land Degradation & Development, 2005, 16 (1): 73—85.
- [7] Lu Hua, Gallant J, Prosser I P, et al. Prediction of Sheet and Rill Erosion Over the Australian Continent, Incorporating Monthly Soil Loss Distribution [M]. CSIRO Land and Water Technical Report, Canberra: CSIRO Land and Water, 2001.
- [8] 王万忠, 焦菊英, 郝小品. 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.
- [9] 王万忠, 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 章文波, 谢云. 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.
- [13] 殷水清, 谢云. 黄土高原降雨侵蚀力时空分布 [J]. 水土保持通报, 2005, 25(4): 29—33.
- [14] 杨勤科. 黄土高原和秦巴山地的土地资源类型区划分 [J]. 西北农学报, 1995(增刊): 19—22.
- [15] 刘志红. 基于遥感与 GIS 的全国水蚀区水土流失评价 [D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2007.
- [16] 黄河上中游管理局. 黄土高原水土保持实践与研究 (1997—2000) [M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2005: 23.