

西藏高原东部横断山区降雨侵蚀力初步研究

辜世贤¹, 王小丹², 刘淑珍²

(1. 湛江师范学院, 广东 湛江 524048; 2. 中国科学院 成都山地灾害与环境研究所 山地环境演变与调控重点实验室, 成都 610041)

摘 要: 降雨侵蚀力是引起水力侵蚀最主要的动力因素, 经典算法所必须的降雨过程资料在藏东横断山区难以获得, 目前, 藏东高山峡谷区的降雨侵蚀力研究很薄弱。本研究采用月平均降雨量和年平均降雨量为基础的不同降雨侵蚀力估算模型, 比较分析了不同模型的估算精度。结果表明: 基于年雨量的指数函数形式的模型适用于藏东横断山区降雨侵蚀力计算, 具有较高精度。研究区年平均降雨量为 540.1 mm, 模型估算藏东横断山区降雨侵蚀力 R 值为 $298.67 \text{ (MJ} \cdot \text{mm)} / (\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ 。

关键词: 降雨侵蚀力; 藏东横断山区; 估算模型

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2011)03-0028-04

The Preliminary Research on Rainfall Erosivity Based on Simple Estimation Method in the Hengduan Mountainous Region of the Eastern Tibet

GU Shi-xian¹, WANG Xiao-dan², LIU Shu-zhen²

(1. Zhanjiang Normal University, Zhanjiang, Guangdong 524048, China; 2. Key Laboratory of Mountain Environment and Regulation, Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610041, China)

Abstract: The rainfall erosivity is the main factor causing the soil and water erosion, but the classical erosivity estimation method needs the data of rainfall processes which are unavailable in most of the test areas. As for the region of Hengduan Mountain in the Eastern Tibet, this paper aimed to estimate the rainfall erosivity by the simple method based on the data of mean monthly precipitation and mean annual precipitation. Through the comparison and analysis of the various simple models and the related research results, this paper preliminarily stated that the exponential function based on data of the annual precipitation was the first choice of the rainfall erosivity simple estimation method in the region of Hengduan mountain in the Eastern Tibet. The rainfall of the test area was 540.1 mm and the rainfall erosivity of this region was $298.67 \text{ (MJ} \cdot \text{mm)} / (\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ calculated by the model.

Key words: rainfall erosivity; region of Hengduan mountain in the Eastern Tibet; simple estimation method

降雨侵蚀力是指降雨引起的水土流失的潜在能力, 反映了降雨的雨滴和产生的径流对水土流失的作用, 它是降雨特性的函数。Wischmeier 最先提出以次降雨动能 E 与 30 min 最大雨强 I_{30} 作为降雨侵蚀力的指标, 并成为降雨侵蚀力的经典算法。该方法必须以次降雨过程资料为基础, 对每次降雨过程按照雨强变化进行划分。在大多数情况下很难获得详细的降雨过程资料, 而要获得长时间序列的详细降雨过程资料则更是困难, 因此 EI_{30} 算法在大多地区难以实现。而降雨侵蚀力简易算法的研究可以避免因资料

不足造成的应用困难, 所以, 采用最容易获得的日、月或年雨量、雨强资料计算降雨侵蚀力的方法进行了大量的研究^[1-7]。

降雨侵蚀力的简易算法是利用气象站常规降雨统计资料估算侵蚀力的方法。该方法多应用于流域尺度上降雨侵蚀力的计算, 也是缺乏降雨特征资料的区域获取降雨侵蚀力的最佳方法。简易算法使用到的常规资料主要包括: 次降雨量^[8]、日降雨量^[9]、逐年或多年平均的月雨量和年降雨量^[2, 10]等。涉及到的简易计算模型主要是幂函数方程^[7, 11]、一次线性方

收稿日期: 2010-07-15

修回日期: 2010-11-29

资助项目: 国家科技支撑计划课题(2007BAC06B06-03)

作者简介: 辜世贤(1978-), 男, 四川成都市人, 讲师, 主要从事自然地理相关的教学和科研工作。E-mail: shixgu@gmail.com

通信作者: 王小丹(1974-), 男, 四川西充县人, 副研究员, 主要从事生态环境相关科研工作。E-mail: wxd@imde.ac.cn

程^[6, 12]、二次方程^[13]和三次方程^[14]等。对于较大尺度区域的降雨侵蚀力的计算, 由于只有降雨量因子的获得相对容易和可靠, 因此, 在计算降雨侵蚀力时, 多通过降雨量进行模拟。

西藏东部横断山区属于典型的高山峡谷地貌, 山体与峡谷并存。该区域山高坡陡, 河谷深切, 空气稀薄, 辐射强烈, 长期野外监测困难。研究区内降雨多集中在 5–10 月, 年降水量 520~610 mm。该期降雨量占全年降雨量的 90% 以上, 这一时期是洪水灾害的高发期。集中降水是导致河谷低覆盖度草地和坡耕地土壤侵蚀严重的主要因素。因此, 对该区域降雨侵蚀力的估算具有重大的理论意义和现实意义。

1 研究方法

1.1 研究资料

选用西藏自治区水文站提供的昌都地区 1985–2000 的月降雨量、年降雨量、月均降雨量资料和年均降雨量资料进行研究。

1.2 研究方法

本研究采用多个基于降雨量的降雨侵蚀力简易算法对研究区的降雨侵蚀力进行估算, 通过对不同方法估算结果的比较分析, 确定适合于西藏高原东部高山峡谷区降雨侵蚀力的计算模型, 并初步确定该区域的降雨侵蚀力取值范围(见图 1)。

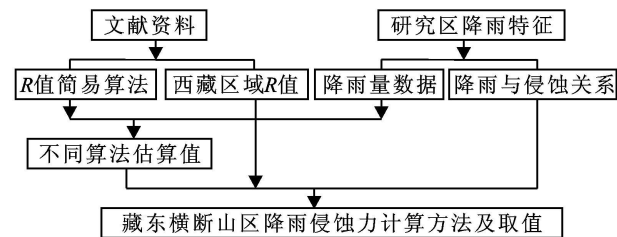


图 1 降雨侵蚀力 R 值估算技术路线图

1.3 模型介绍

本研究采用的降雨侵蚀力 R 值估算模型包括幂函数、指数函数和线性函数等, 并比较了 7 种算法精度。涉及的降雨特征因子包括年平均月降雨量、多年平均年降雨量、年降雨量、月降雨量。

马志尊 1989 年应用于海河流域太行山区的计算公式:

$$R = 1.2157 \sum_{i=1}^{12} 10^{1.5(\lg P_i^2/P) - 0.08188} \quad (1)$$

式中: R ——年降雨侵蚀力 $[(\text{MJ} \cdot \text{mm})/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})]$; P ——年降雨量 (mm); P_i ——第 i 月降雨量 (mm)。

Renard 等^[15]年利用美国降雨资料建立了两种多年平均降雨侵蚀力公式:

第一种直接用多年平均年降雨量:

$$\begin{aligned} R &= 0.04830P^{1.610} & P < 850 \text{ mm}; \\ R &= 587.8 - 1.219P + 0.004105P^2 & P > 850 \text{ mm} \end{aligned} \quad (2)$$

第二种方法使用修正的 Fournier 指数:

$$\begin{aligned} R &= 0.7397F^{1.847} & F < 55 \text{ mm}; \\ R &= 95.77 - 6.081F + 0.4770F^2 & F > 55 \text{ mm} \end{aligned} \quad (3)$$

式中: $F = \sum_{i=1}^{12} P_i^2/P$; R ——年降雨侵蚀力 $[(\text{MJ} \cdot \text{mm})/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})]$; P ——年平均降雨量 (mm); P_i ——多年月平均降雨量 (mm)。

YU 等 1996 年在计算澳大利亚南部地区降雨侵蚀力时, 也分别根据年雨量和修正 Fournier 指数进行计算:

$$R = 3.82F^{1.41} \quad (4)$$

式中: $F = \sum_{i=1}^{12} P_i^2/P$; R ——年降雨侵蚀力 $[(\text{MJ} \cdot \text{mm})/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})]$; P ——年平均降雨量 (mm); P_i ——多年月平均降雨量 (mm)。

Mikhailova 等 1997 年在计算中美洲洪都拉斯年降雨侵蚀力时, 采用了年平均降雨量外, 还增加了海拔高度^[16], 公式为:

$$R = 699.3 + 7.0001P - 2.7190E \quad (5)$$

式中: R ——年降雨侵蚀力 $[(\text{MJ} \cdot \text{mm})/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})]$; P ——年降雨量 (mm); E ——海拔高度 (m)。

黄金良等 2004 年估算九龙江流域土壤侵蚀量模型时采用了以下降雨侵蚀简易算法^[17]:

$$R = \sum_{i=1}^{12} (-1.15527 + 0.1792P_i) \quad (6)$$

式中: P_i ——月降雨量 (mm); R ——年降雨侵蚀力 $[(\text{MJ} \cdot \text{mm})/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})]$ 。

P. P. Dabral 等 2008 应用于印度东北山区小流域的计算公式^[18]:

$$R = \sum_{i=1}^{12} 1.735 \times 10^{[1.51(\lg P_i^2/P) - 0.08188]} \quad (7)$$

式中: R ——降雨侵蚀力因子 $[(\text{MJ} \cdot \text{mm})/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})]$; P_i ——月降雨量 (mm); P ——年降雨量 (mm)。

2 结果与分析

首先对各个降雨侵蚀力简易算法估算结果的直接比较发现(见表 1), 不同的降雨侵蚀力 R 值简易算法的估算结果存在较大差异。对于计算式(5), 其计算结果为负值。该模型选用了海拔高度作为参数修正降雨侵蚀力, 但模型建立于低海拔地区, 而研究区海拔高度达到 3 500 m 以上, 因此, 低海拔地区建立的模型不适用于高海拔区域。但是, 海拔高度对于降雨侵蚀力估算结果的较大影响应该受到重视。计算

结果中最小值为 $82.93 \text{ (MJ} \cdot \text{mm)} / (\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$, 最大为 $2\,341.10 \text{ (MJ} \cdot \text{mm)} / (\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$, 分别为最简单的线性方程和最为复杂的幂函数方程。研究发现, 幂函数模型(2)、(3)、(4)在文献资料中的使用范围分别为美国和澳大利亚南部地区, 多为平原和丘陵地区, 幂函数估算模型都是针对大区域建立, 降雨量在区域内差异较大。线性函数模型(6)则为九龙江流域, 该区域为低山丘陵区, 年均降雨量达到 $1\,600$

表 1 基于多种简易算法估算的研究区 R 值

公式代码	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
R 值/(MJ·mm·hm ⁻² ·h ⁻¹ ·a ⁻¹)	298.67	1211.32	2341.10	1795.74	-3676.8	82.93	426.27

由于基础资料较为缺乏, 目前对西藏高原东部降雨侵蚀力的研究较少。王万忠^[3]等研究表明西藏中部拉萨河流域的降雨侵蚀力主要集中在 6 月、7 月, 在西部地区 R 值主要由 $10 \sim 20 \text{ mm}$ 的降雨构成, 可占全年 R 值的 $80\% \sim 95\%$ 。章文波^[10]等通过估算连续分布的降雨侵蚀力值研究发现, 西藏的侵蚀力一般在 $500 \text{ (MJ} \cdot \text{mm)} / (\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ 以下。降雨侵蚀力的分布趋势大致与降雨量类似。青藏高寒农业气候大区的侵蚀力都在 $1\,000 \text{ (MJ} \cdot \text{mm)} / (\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ 以下, 藏南亚热带为 $2\,247.6 \text{ (MJ} \cdot \text{mm)} / (\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$, 高原寒带和高原亚寒带为 $367.9 \text{ (MJ} \cdot \text{mm)} / (\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ 和 $427.2 \text{ (MJ} \cdot \text{mm)} / (\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ 。

表 2 西藏自治区降雨侵蚀力研究资料

西藏 自治区	年降 雨量/mm	年 R 值/(MJ·mm· hm ⁻² ·h ⁻¹ ·a ⁻¹)	文献来源
拉萨	424.1	390.0	王万忠等 ^[2]
昌都	462.4	258.0	王万忠等 ^[3]
高原寒带	200~600	367.9	章文波等 ^[10]
高原亚寒带	200~600	427.2	章文波等 ^[10]

在以上研究中, 对西藏自治区范围内降雨侵蚀力的估算都是通过采用的降雨量资料, 分别为降雨 $\geq 10 \text{ mm}$ 的年降雨总量(mm); 年最大 60 min 降雨量(mm); 雨量 $\geq 12 \text{ mm}$ 的年平均雨量等。事实上, 西藏自治区范围内能准确获得的降雨资料也只有日降雨量、月降雨量和年降雨量。由表 2 可见, 在西藏范围内, 降雨侵蚀力大致范围为 $258 \sim 427.2 \text{ (MJ} \cdot \text{mm)} / (\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ 。采用指数函数形式的简易模型(1)和(7)估算的结果为 $298.67, 426.27 \text{ (MJ} \cdot \text{mm)} / (\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$, 均在前人对西藏范围内的降雨侵蚀力的估算值范围内。

对比表 2 中文献资料的西藏地区 R 值。王万忠^[3]估算的昌都地区的降雨侵蚀力 R 值为 $258.0 \text{ (MJ} \cdot \text{mm)} / (\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$, 昌都地区年平均降雨量为 450.5 mm 。而研究区位于昌都地区东南部, 金沙江

mm 以上。指数函数形式的简易模型(1)和(7)估算的结果分别为 298.67 和 $426.27 \text{ (MJ} \cdot \text{mm)} / (\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$, 在 7 个模型里居中, 其分别建立于海河流域太行山区和印度东北山区, 其年均降雨量分别为 $600 \sim 800 \text{ mm}$ 和 $2\,000 \sim 10\,000 \text{ mm}$ 。研究区域为藏东横断山区, 其年平均降雨量为 540.1 mm , 从其模型适用区域的地形地貌特征和降雨量特征分析, 指数形式的简易模型更为适应。

一级支流, 该区年平均降雨量为 540.1 mm , 由于降雨量与降雨侵蚀力存在很好的线性关系^[10], 因此, 估算结果为 $298.67 \text{ (MJ} \cdot \text{mm)} / (\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ 的降雨侵蚀力与文献比较接近, 并且符合藏东横断山区降雨侵蚀力与降雨量的相互关系。而伍育鹏等通过对国内外 9 种比较有代表性的多年平均年降雨侵蚀力简易计算方法的比较, 建议采用年雨量的指数函数形式作为估算我国多年平均年降雨侵蚀力的简易计算方法^[19]。

因此通过分析比较研究, 藏东横断山区典型小流域的降雨侵蚀力最佳估算方法为指数形式(见式 1), 其降雨侵蚀力 R 值为 $298.67 \text{ (MJ} \cdot \text{mm)} / (\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ 。

3 结 论

由于该区域年降雨量在 500 mm 左右, 其 R 值约为 $298.67 \text{ (MJ} \cdot \text{mm)} / (\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ 的估算结果是比较符合实际的。本研究采用的是比较法以筛选出适用于藏东横断山区的降雨侵蚀力算法。研究过程中发现算法的函数选择十分重要。一般而言, 对于降雨量在 $500 \sim 1\,000 \text{ mm}$ 的山区, 线性函数的估算结果偏小, 幂函数估算结果偏大, 选用基于指数函数的简易估算模型更适合于藏东横断山区。

实际调查发现, 研究区降水分布特征随着海拔高度的变化有较大变化, 在高海拔区域, 降雨多以雨雪形式的降水形成径流造成水土流失, 而降雨量在不同海拔范围内也存在较大差异。本研究建议, 针对该区域海拔高差大的特点, 加强降雨侵蚀力在不同海拔高度的分布研究应该是将来研究的重点。另外, 该区域的水蚀中, 有很大一部分是由于融雪造成, 因此, 在计算降雨侵蚀力 R 值时, 如何解决降雪对侵蚀力 R 值的影响也是该区域研究的方向。最后, 为了避免估算带来的误差, 应该加强该区域降雨特征因子的测定, 特别是获取降雨过程资料, 弥补在资料上的不足造成的估算误差。

参考文献:

- [1] Renard K G, Freimund J R. Using monthly precipitation data to estimate the R factor in the revised USLE [J]. *Journal of Hydrology*, 1994, 157: 287-306.
- [2] 王万忠, 焦菊英, 郝小品, 等. 中国降雨侵蚀力 R 值计算与分布[J]. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1995, 9(4): 5-18.
- [3] 王万忠, 焦菊英, 郝小品, 等. 中国降雨侵蚀力 R 值计算与分布 [M]. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1996, 2(1): 29-39.
- [4] 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.
- [5] 吴素业. 安徽大别山区降雨侵蚀力简化算法与时空分布规律研究[J]. *中国水土保持*, 1994(4): 12-13.
- [6] 周伏建, 陈明华, 林福兴, 等. 福建省降雨侵蚀力指标 R 值[J]. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1995, 9(1): 13-18.
- [7] 符素华, 段淑怀, 吴敬东, 等. 北京山区次降雨侵蚀力[J]. *水土保持学报*, 2002, 16(1): 37-39.
- [8] 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.
- [9] 章文波, 谢云, 刘宝元. 降雨侵蚀力研究进展[J]. *水土保持学报*, 2002, 16(5): 43-46.
- [10] 章文波, 谢云, 刘宝元, 等. 中国降雨侵蚀力空间变化特征[J]. *山地学报*, 2003, 21(1): 33-40.
- [11] Ferro V, Porto P, Yu B. A comparative study of rainfall erosivity estimation for southern Italy and south-eastern Australia [J]. *Hydrological Sciences Journal*, 1999, 44(1): 3-24.
- [12] 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: 139-152.
- [13] Arnoldus H M J. Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco [J]. *FAO Soils Bulletin*, 1977, 34: 39-51.
- [14] 马志尊. 应用卫星影像估算通用土壤流失方程各因子值方法的探讨[J]. *中国水土保持*, 1989(3): 24-27.
- [15] Renard K G, Foster G R, Weesies G A, et al. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) [C]. *USDA-Agriculture Handbook*, No. 703, 1997.
- [16] Mikhailova E A, Brayant R B, Schwager S J, et al. Predicting rainfall erosivity in Honduras [J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1997, 61: 273-279.
- [17] 黄金良, 洪华生, 张路平, 等. 基于 GIS 和 USLE 的九龙江流域土壤侵蚀量预测研究[J]. *水土保持学报*, 2004, 18(5): 75-79.
- [18] Dabral P P, Baithuri N, Pandey A. Soil erosion assessment in a hilly catchment of North Eastern India Using USLE, GIS and Remote Sensing [J]. *Water Resource Manage*, 2008, 22: 1783-1798.
- [19] 伍育鹏, 谢云, 章文波, 等. 国内外降雨侵蚀力简易计算方法比较[J]. *水土保持学报*, 2001, 15(3): 31-34.
- (上接第27页)
- [14] Anderson T H, Domsch K H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1989, 21: 471-479.
- [15] Post W M, Kwon K C. Soil carbon sequestration and land use change: processes and potential [J]. *Global Change Biology*, 2000, 6: 317-327.
- [16] Ruan H H, Zou X M, Zimmerman J K, et al. Asynchronous microbial growth and plant litterfall in a tropical wet forest [J]. *Plant and Soil*, 2004, 260: 147-154.
- [17] Li Y Q, Ruan H H, Zou X M, et al. Response of major soil decomposers to landslide disturbance in a Puerto Rican rainforest [J]. *Soil Science*, 2005, 3: 1711-1715.
- [18] Smith J L, Paul E A. The significance of soil microbial biomass estimations [M] // Bollag J M, Stotzky G. *Soil Biochemistry*. New York: Marcel Dekker, 1991.
- [19] Blair G J, Lefroy B P, Singh A R. Development and use of a carbon management index to monitor changes in soil C pool size and turnover rate [M]. *Wallingford: CAB International*, 1997: 273-281.
- [20] Camberdella C A, Elliott E T. Carbon and nitrogen dynamics of soil organic matter fractions from cultivated grassland soils [J]. *Soil Science Society of American Journal*, 1994, 58: 123-130.
- [21] 吴建国, 张小全, 徐德应. 土地利用变化对土壤有机碳储量的影响[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(4): 593-600.
- [22] 王清奎, 汪思龙, 冯宗炜, 等. 土壤活性有机质及其与土壤质量的关系[J]. *生态学杂志*, 2005, 25(3): 513-519.
- [23] Mendham D S, Connell A M, Grove T S. Organic matter characteristics under native forest, long term pasture, and recent conversion to Eucalyptus plantations in western Australia: microbial, soil respiration and permanganate oxidation [J]. *Australian Journal of Soil Research*, 2002, 40: 859-872.
- [24] Wu J, Zhang X, Xu D. Changes in soil labile organic carbon under different land use in the Liupan Mountain forest zone [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(5): 657-664.