

利用日降雨量资料估算西南地区的降雨侵蚀力

宁丽丹, 石 辉

(西南师范大学资源环境科学学院, 重庆 北碚 400715)

摘 要: 降雨是影响土壤侵蚀的主要因素之一, 降雨侵蚀力是各种土壤侵蚀预测预报模型的主要参数。降雨侵蚀力通常用降雨动能和某一时段最大降雨强度的乘积表示, 如 EI_{30} 、 EI_{10} 或者 EI_{60} 等, 但是这种计算方法需要长期且连续的自记雨量资料。我国大多数地区缺乏完整的自记雨量资料, 使这些方法的应用受到了限制。一些不需要自记雨量过程的降雨侵蚀力计算方法已经提出, 对考虑降雨季节变化的日降雨量估算降雨侵蚀力模型进行了修正, 并用这种方法估算了西南地区的南宁、贵阳、重庆、昆明、成都 5 地的降雨侵蚀力。该方法避免了降雨侵蚀力中某一时段最大降雨强度计算的复杂性, 具有较高的准确性, 且能反映了降雨侵蚀力的时间和季节分布, 因此可在西南地区广泛应用。

关键词: 日降雨量; 降雨侵蚀力; 时间和季节分布; 西南地区

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2003)04-0183-04

Estimating R-factor in Southwest China with Data of Daily Rainfall Amount

N NGLi-dan, SHIHui

(School of Resource and Environment, Southwest Normal China University, Beibei, Chongqing 400715, China)

Abstract: The rainfall was a key factor to soil erosion, and the rainfall erosivity (R-factor) was a major parameter for predicting soil erosion model. Generally, R-factor was estimated through the product which rainfall kinetic energy times the rainfall density during the most 30 min in precipitation, such as EI_{30} , EI_{10} or EI_{60} with long term and continuous pluviograph data. In China, the most regions lack of these data, thus, this led to difficult to estimate R-factor extensively. The parameters of model that estimating R-factor with data of daily rainfall amount by Yu and Rosewell were determined according the actual condition of Southwestern China. The R-factors were estimated in Nanning, Guiyang, Kunming, Chongqing and Chengdu, which were identical with EI_{10} or EI_{30} . The method avoided the complex calculation for most rainfall density during one period of time in R-factor estimated by usual method, and with high veracity. At the same time, the model can describe the spatial and seasonal distribution of rainfall of erosivity. So, the method can be used widely in Southwestern China.

Key words: daily rainfall amount; rainfall erosivity; spatial and seasonal distribution; Southwest China

土壤侵蚀已经成为全球性的生态环境问题, 在《2000 年全球公告》中, 主编 Barbey G. O. 指出, 在环境问题中, 空气和水的污染固然十分重要, 但第一位的问题却是土壤侵蚀或称作水土流失。在我国土壤侵蚀也愈演愈烈, 据水利部遥感中心 1990 年的调查, 我国土壤侵蚀面积达 492 万 km^2 , 占到国土面积的一半以上, 侵蚀更为强烈的水力侵蚀面积达 179.4 万 km^2 。西南地区地处长江中上游, 地势西高东低, 从西到东跨越我国三个地势阶梯, 该区域山地、丘陵地多, 平原(坝)少, 山地、丘陵地占 90% 以上, 平原(坝)不足 10%, 生态

环境多样, 水资源丰沛, 但保土能力差。长期以来, 受不合理的土地资源开发利用影响, 水土流失日益严重, 土地退化已达相当严重的程度, 该区域水土流失面积达 50.5 万 km^2 , 年侵蚀模数平均 4 000 t/km^2 , 年流入长江泥沙量约 24 亿 t 左右。西南长江上游水土流失的加剧, 生态环境的恶化, 成为下游洪灾频发的主要根源^[1,2]。但由于各种原因, 西南地区土壤侵蚀研究资料积累不足, 针对这种情况, 本文从影响土壤侵蚀的主要因素降雨侵蚀力出发, 对澳大利亚提出的考虑降雨季节变化的降雨侵蚀力计算模型进行修正, 探讨其在西南地

收稿日期: 2003-05-02

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(2002CB111502); 国家杰出青年基金项目(30125036); 西南师范大学基金项目资助。

作者简介: 宁丽丹(1980-), 女, 在读硕士, 专业方向为自然地理。

区应用的可行性,为缺乏资料地区的降雨侵蚀力计算提供一个简便的方法。

1 降雨侵蚀力计算方法概述

降雨侵蚀力反映了降雨对土壤侵蚀的潜在能力。在美国的通用流失方程中,降雨侵蚀力用降雨动能 E 和最大 30 min 降雨强度 I_{30} 的乘积来表示,即 $E I_{30}$ ^[3],同时一些学者提出了简化的根据降雨量计算降雨侵蚀力的方法^[4]。由于降雨侵蚀力是由经验的方法得到的一种衡量降雨侵蚀的指标,因此不同的地区、不同的降雨,其指标可能有不同的形式。我国地域辽阔,降雨分布南北、东西差异很大,在借鉴美国的通用流失方程降雨侵蚀力的基础上建立了反映不同地区特点的降雨侵蚀力计算方法。如,刘文耀计算出适合云南昭通坝区的降雨侵蚀力指标为 $E I_{15}$ ^[5];夏岑岭论证了适合皖南地区的降雨侵蚀力指标为 $E I_{60}$ ^[6];杨开宝等得出复合因子 $E I_{10}$ 和土壤侵蚀量的关联度最大^[7];张海云等得出闽东南土石山区降雨侵蚀力指标为 $E I_{60}$ ^[8];阮伏水得出福建东南地区降雨侵蚀力指标为 $E I_{30}$ ^[9];涂宏章认为闽西地区降雨侵蚀力 R 值为 $E I_{60}$ ^[10];杨子生研究滇东北山区坡耕地降雨侵蚀力标准为 $E_{60} I_{60}$ ^[11];在黄土高原地区坡面侵蚀预报最好的指标为 $E_{60} I_{10}$,对于微型集水区和小流域来说,则为 $E I_{30}$ ^[12]。在计算降雨侵蚀力指标 $E I_{30}$ 时,W ischmeier 和 Smith 建议至少要 20 年的不断点雨强资料。在我国很多地方,自记雨量资料往往不全,不是年限不够长就是当中某一些年的资料缺失,因而要计算降雨侵蚀力就很困难,而且用自记雨量图来计算很复杂。相对来说,降雨量资料就容易获得,因此利用降雨量推求降雨侵蚀力对于缺乏连续自记降雨记录的地区成为首选方法,文献[12]中对这些简便方法进行了概述。

同样,用雨量计算降雨侵蚀力也会因降雨的区域特征不同存在不同的计算方法。谢云等^[13]、章文波等^[14]分别利用日降雨量和雨强计算降雨侵蚀力,用雨量代替动能,虽然省去了降雨动能的计算,但是还是没有避开雨强的计算。伍育鹏^[15]比较了马志尊^[16]、孙保平^[17]、黄炎和^[18]、吴素业^[19]、刘秉正^[20]、周伏建^[21]及国外提出的一些简便方法研究,但这些简便方法计算的结果相差较大。这些方法中,没有考虑到降雨的时间和季节变化可能是产生这些差异的一个主要原因。Richardson^[22]等人研究发现 $E I_{30}$ 和降雨量 R 之间有幂指数关系:

$$E I_{30} = a R^b \quad (1)$$

式中: a, b ——模型参数; R ——日降雨量。

对于年降雨侵蚀力可以通过对(1)求和得到。Elsenbeer^[23]在美国西亚利桑拉的研究也证明了这种幂函数关系。在式(1)中,由于利用的是日雨量,降雨侵蚀力的时间和季节分布没有表现出来。Yu 和 Rosewell^[24~26]对式(1)进行了修正,采用余弦函数反映降雨侵蚀力的季节变化。通过对澳大利亚南部、新南威尔士州及热带地区的降雨侵蚀力的研究,得出了能够反映降雨侵蚀力时间和季节分布的模式:

$$\hat{E}_i = \alpha [1 + \eta \cos(2\pi j + \omega)] \sum_{k=1}^N R_k^\beta \quad R_k > R_0 \quad (2)$$

式中, \hat{E}_i —— j 月份降雨侵蚀力的估计值, R_k ——第 k 日的降雨量, R_0 ——临界降雨量, N ——年降雨中超过临界降雨量的天数, $\alpha, \beta, \eta, \omega$ ——模型参数。我国的一些学者^[27]应用这种方法,将(2)式中遇险函数修正为正弦函数估计了浙江红壤区的降雨侵蚀力,但由于地区条件和降雨类型的差异,修正后的方程对于西南地区结果并不理想,这可能由于其参数的设置均建立在浙江红壤区的基础上,不适用于西南地区。

2 模型修正与资料收集

对式(2), $\alpha, \beta, \eta, \omega, R_0$ 五个参数的合理选择是应用该模型的基础。参数 R_0 是能够使土壤产生侵蚀的临界降雨量, Hudson^[28]在研究热带地区降雨时发现,并非所有降雨均产生土壤侵蚀,只有大于 12.7 mm 的降雨才会出现侵蚀,因此 R_0 取值为 12.7 mm。 f 为频率,等于 $1/12$;在澳大利亚, Yu 和 Rosewell 取 $\omega = -\pi/6$ 。由于这一模型发源于澳大利亚,因此应用到北半球的西南地区就必须进行参数的修正。 ω 在澳大利亚取值为 $-\pi/6$ 反映了南半球的气候变化特点,由于南北半球气候的差异,夏冬季节正好相差 6 个月,因此在本文中 $\omega = 5\pi/6$ (图 1 为中国和澳大利亚的季节变化系数)。最后只剩 α, β, η 三个参数。只要确定这三个参数的值就能估算出降雨侵蚀力。

Yu 和 Rosewell 的研究表明,在年降雨量 $> 1\,050$ mm 的地方, α 与 β 存在下式关系:

$$\log \alpha = 2.11 - 1.57 \beta \quad (3)$$

在年降雨量 500~1 050 mm 的地方, α 与 β 之间有:

$$\alpha = 0.395 \{1 + 0.098^{[3.26(\beta/P)^1]}\} \quad (4)$$

参数中, β 与年均降雨量之间的关系不密切, β 取值范围在 1.2~1.8 之间,本文取其平均值 $\beta = 1.5$ 。 η 与降雨量有着密切的关系, Yu 和 Rosewell 建立了 η 和年均降雨量 P 之间的回归方程:

$$\eta = 0.58 + 0.25 P/1000 \quad (5)$$

在(5)式中, η ——夏半年降雨量,习惯上把 5~10 月规定为夏半年, P ——年均降雨量。

$E I_{10}$ 是用降雨过程资料计算的年降雨侵蚀力,可最大限度地反映某地的降雨侵蚀力,因此根据式(2)估计的结果与 $E I_{10}$ 进行比较,可反映出这种方法的相对精度。 δ 表示两种方法的偏差:

$$\delta = |\hat{E} - E I_{10}| / E I_{10} \quad (6)$$

本文所选择的资料是气象站常规日降雨资料。选取了南宁、贵阳、重庆、昆明、成都 5 个地方连续 3 年的逐日降雨量资料,采用式(2)估计年降雨侵蚀力及其时间和季节变化。各地的地理位置及资料收集见表 1。

3 结果与讨论

经过计算得出南宁、贵阳、重庆、昆明、成都 5 个地方的 α, β, η 值(见表 2)。 α 的最小值为 0.395 7,最大值为 0.08。 η 最小值为 0.81,最大值为 0.92。估算值与实测值 $E I_{10}$ 之间的偏差最大为 0.23,最小为 0.007,与文献[15]中所列方法比较结果来看,该方法具有良好的精度。作为参照点,兰州的

α η 值分别为 1.08, 0.65, 与上述 5 地有明显的差别。西南地区的降雨量在 1 000 mm 左右, 其参数 α 维持在 0.5 左右; 而

表 1 南宁、贵阳、重庆、昆明、成都的经纬度、
年均降雨量和资料年限

地名	北纬	东经	多年均降雨量/mm	资料年限
南宁	22°49′	108°21′	1300.6	1971~1973
贵阳	26°35′	106°43′	1174.4	1971~1973
重庆	29°31′	106°29′	1085.2	1971~1973
昆明	25°01′	102°41′	1006.5	1971~1973
成都	30°40′	104°01′	947.0	1971~1973

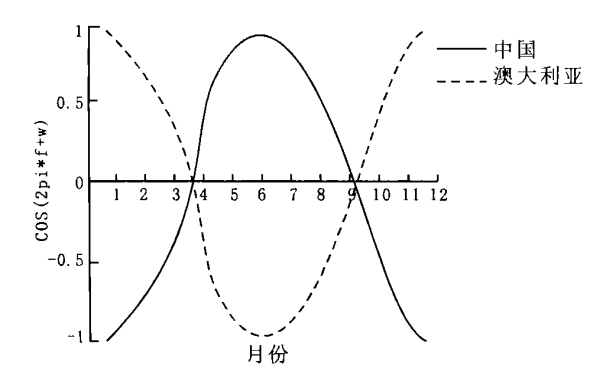


图 1 中国和澳大利亚降雨侵蚀力季节变化系数比较

表 2 南宁、贵阳、重庆、昆明、成都
兰州的 α β η δ 值

地名	α	β	η	δ
南宁	0.57	1.5	0.92	0.04
贵阳	0.57	1.5	0.899	
重庆	0.57	1.5	0.85	0.007*
昆明	0.3957	1.5	0.866	
成都	0.4	1.5	0.81	0.08
兰州	1.08	1.5	0.65	0.23

注: 重庆的 δ 值是与文献[29]中的 E_{I_0} 相比较, 兰州作为参照点比较干旱地区该方法估计精度。

兰州的降雨量不足 300 mm, 其 α 参数为 1.08, 为西南地区的两倍。 η 参数表现出西南湿润高于兰州干旱区, 但其差异没有 α 参数差异显著。 δ 值的结果说明, 该方法在湿润区具有相对高的精度, 而在干旱地区精度较差, 这可能由于西南湿润地区的年内降雨相对比较均匀, 而不象干旱区年内降雨变化剧烈所致, 在干旱地区如何修正参数使该方法的精度提高仍

是有待于进一步研究的问题。这些结果均表明了降雨侵蚀力的区域性特征, 在计算降雨侵蚀力时有必要确定区域性参数。把各地的 α β η 值分别代入公式(2), 得出西南五地的月平均降雨侵蚀力(表 3)。

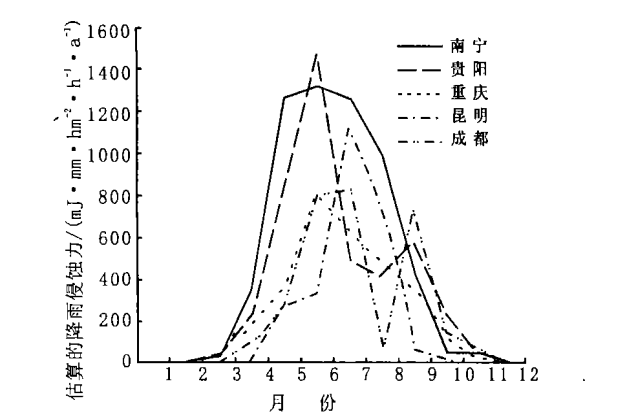


图 2 南宁、贵阳、重庆、昆明、成都的降雨侵蚀力分布图

从表 3 可知, 南宁、昆明、重庆、成都四地 1 月、2 月、12 月的降雨侵蚀力为 0。南宁地处南亚热带, 年平均降雨量 1 300 多 mm, 从 3 月份开始有侵蚀性降雨, 随着降雨量增多, 降雨侵蚀力增大。5 月到 8 月是南宁降雨侵蚀力最大的时期, 占全年的 91.83%, 进入冬季后降雨减少其降雨侵蚀力也降低。夏半年的降雨侵蚀力是冬半年的 12.5 倍, 降雨侵蚀力最强的月份也是在夏季。贵阳、重庆、昆明、成都都是处于中亚热带地区。贵阳年均降雨量 1 100 mm 左右。其降雨侵蚀力仅 1 月份的值为 0, 从 2 月份开始就有侵蚀性降雨发生, 夏半年降雨侵蚀力占全年的 92.69%, 是冬半年的 12.7 倍。重庆年均降雨量 1 100 mm 左右, 侵蚀性降雨开始于 3 月份, 夏半年降雨侵蚀力占全年的 92.62%, 是冬半年 12.6 的倍。昆明年均降雨量 1 000 mm 左右, 侵蚀开始于 3 月份, 夏半年降雨侵蚀力占全年的 96.11%, 是冬半年 24.7 的倍。成都年均降雨量 900 多 mm, 从 4 月份才开始有侵蚀, 夏季降雨侵蚀力占全年的 96.5%, 夏半年降雨侵蚀力是冬半年的 27.6 倍。图 2 为南宁、贵阳、重庆、昆明、成都的降雨侵蚀力分布图。由于南宁、贵阳、重庆、昆明、成都这 5 个地方都是处于夏半年多雨区, 所以它们夏半年降雨侵蚀力与冬半年的比值最小不低于 12 倍, 最大可达 27 倍。但这并不表示这 5 个地方的降雨侵蚀力在夏半年都具有相似分布特征。图 2 可以看出, 南宁、贵阳、重庆、昆明、成都这五个地方的降雨侵蚀力在夏半年里的分布特征曲线是不相同的。

表 3 南宁、贵阳、重庆、昆明、成都的多年月平均降雨侵蚀力和年均降雨侵蚀力 MJ·mm/hm²·h·a

地名	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
南宁	0	0	20	357	1268	1326	1259	1002	427	45	48	0	5752
贵阳	0	2	40	234	768	1471	480	418	598	224	27	8	4271
重庆	0	0	36	186	372	802	827	76	770	115	11	3	3198
昆明	0	0	24	15	267	805	626	486	340	123	68	0	2754
成都	0	0	0	92	268	339	1116	734	72	7	0	0	2628

4 结 论

将南半球的降雨侵蚀力模型经过参数的修正后运用到中国西南地区, 估计的降雨侵蚀力结果与根据降雨过程记录的计算值 EI_{10} 和 EI_{30} 具有良好的一致性, 而在干旱区应用的精度稍差。同时, 该方法还能反映出降雨侵蚀力时间和季

节的变化。由于该方法是利用常规日降雨量, 这在我国大多数气象站都有长时间连续的记录, 解决了缺少自记雨量资料的地区的降雨侵蚀力计算问题。但由于模型参数存在区域性的特点, 因此在应用时必须对参数进行修正, 特别是在降雨季节变化较大的地区, 直接应用该模型时必须慎重。

参考文献

- [1] 张胜利 保持水土, 防洪减灾[J]. 中国水土保持, 1998(11): 28- 30
- [2] 史德明 长江特大洪水的启示——谈水土保持与长江防洪减灾[J]. 中国水土保持, 1998(11): 26- 28
- [3] Wischmeier, W H, D D Smith. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning[S]. U. S. Dep. Agric., Agric. Handbook No. 537, 1978
- [4] 柯克比, M J, R P C 摩根 土壤侵蚀[M]. 王礼先, 吴斌, 洪惜英等译. 北京: 水利电力出版社, 1987.
- [5] 刘文耀 云南昭通坝区降雨侵蚀力 R 指标的初步研究[J]. 云南林业科技, 1996, (2): 24- 26
- [6] 夏岑岭 皖南地区降雨侵蚀力研究[J]. 合肥工业大学学报, 1998, 21(6): 36- 39
- [7] 杨开宝, 郭培才. 陕北丘陵沟壑区降雨侵蚀力指标研究[J]. 水土保持通报, 1994, 14(5): 31- 35
- [8] 张海云, 王印川, 路广平, 等. 晋东南土石山区降雨侵蚀因子量化研究[J]. 山西水土保持科技, 2000(4): 26- 28
- [9] 阮伏水 闽东南地区降雨侵蚀力的初步研究[J]. 热带地理, 1995, 15(2): 138- 146
- [10] 涂宏章 闽西地区降雨侵蚀力 R 指标的初探[J]. 福建水土保持, 1995(4): 47- 48
- [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] 王万忠, 焦菊英 黄土高原降雨侵蚀产沙与黄河输沙[M]. 北京: 科学出版社, 1996
- [13] 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
- [14] 章文波, 谢云, 刘宝元 用雨量和雨强计算次降雨侵蚀力[J]. 地理研究, 2002, 21(3): 384- 390
- [15] 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
- [16] 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
- [17] 孙保平, 赵廷宁, 齐实 USLE 在西吉县黄土丘陵沟壑区的应用[J]. 中国科学院水利部西北水土保持研究所集刊, 1990(12): 50- 58
- [18] 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
- [19] 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[J]. 中国水土保持, 1994(4): 12- 13
- [20] 刘秉正 渭北地区 R 值的计算与分布[J]. 西北林学院学报, 1993(2): 21- 29
- [21] 周伏建, 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
- [22] Richardson, C W, Foster, G R, Wright, D A. Estimation of erosion index from daily rainfall amount Transactions American Society of Agricultural Engineers, 1983, 26: 153- 157.
- [23] Elsenbeer, H, D K Cassel, W Tinner. A daily rainfall erosivity model for Western Amazonia[J]. J. Soil and Water Cons., 1993, 48(5): 439- 444
- [24] 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
- [25] Yu, B, Rosewell, C J. Rainfall erosivity and its estimation for Australia's tropic[J]. Australian Journal of Soil Research, 1998, 36: 143- 165
- [26] Yu, B, G M Hashim, Z Eusof. Estimating the R-factor with limited rainfall data: a case study from peninsular Malaysia[J]. J. Soil and Water Cons., 2001, 56: 101- 105
- [27] 郭新波, 王兆骞, 张如. 浙江红壤区降雨侵蚀力季节分布与日雨量模型研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(3): 35- 37
- [28] Hudson, N W. 土壤保持[M]. 窦葆璋译. 北京: 科学出版社, 1976
- [29] 高克昌, 赵纯勇. 重庆市主城区降雨侵蚀力计算方法研究[J]. 中国水土保持, 2002(6): 22- 24