

利用日雨量模型进行伏牛山区降雨侵蚀力的初步研究

胡续礼¹, 姜小三¹, 杨树江², 潘剑君¹, 高太成³

(1. 南京农业大学资源环境学院, 南京 210095; 2. 淮河流域水土保持监测中心站, 安徽 蚌埠 233001;
3. 河南省鲁山县水土保持科学试验站, 河南 鲁山)

摘 要: 利用河南省鲁山县水保站 4 年共 49 次降雨过程资料, 分别采用 EI_{30} 法、CREAMS 模型算式、Richardson 算式和我国郭新波的修正日雨量模型计算了伏牛山区降雨侵蚀力。结果发现区域内降雨侵蚀力主要发生在 6~8 月, 可占年 R 值的 78%, 峰值出现在 7 月, R 值峰峰值较出现雨量峰值不太一致; 三个日雨量模型的验证结果以 CREAMS 模型较好, 但仍不宜直接使用, 应该根据区域降雨特性选择更加合适的参数。

关键词: 降雨侵蚀力; 日雨量; 模型; 土壤侵蚀; 伏牛山区

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)03-0195-03

Study on Rainfall Erosivity in Funiu Mountainous Region Using Daily Rainfall Amounts Models

HU Xu-li¹, JIANG Xiao-san¹, YANG Shu-jiang², PAN Jian-jun¹, GAO Tai-cheng³

(1. College of Resources & Environmental Sciences, NJAU, Nanjing 210095, China;

2. Water & Soil Conservation Monitoring Central Station of The Huaihe River Basin, Bengbu, Anhui 230003, China;

3. Water & Soil Conservation Station in Lushan County Henan Province)

Abstract: Based on 49 single rainfall process data of Lushan county water and soil conservation station in Henan Province, the rainfall erosivity value was calculated using the RUSLE, CREAMS, Richardson and a revised daily rainfall amount model developed by GUO Xinbo respectively. The results show that R -value in June, July, August accounts 78% of the year R -value. The peak of R -value takes place in July, not coincident with the rainfall amounts. Tested results shows CREAMS model is better than the other two models in the area, but it is not appropriate to use directly, better parameters should be found.

Key words: rainfall erosivity; daily rainfall amount; model; soil erosion; Funiu mountainous region

降雨侵蚀力 (Rainfall Erosivity) 是降雨引起土壤侵蚀的潜在能力, 它是降雨物理性质的函数^[1]。在美国的通用流失方程中, 降雨侵蚀力计算方法采取降雨动能 E 和最大 30 min 降雨强度的乘积来表示, 即 EI_{30} 法, 又被称为 R 值计算的经典法。自 USLE^[2] 和 RUSLE^[3] 相继问世以来, 在世界各地得到了极大的推广应用。在应用过程中, 我国一些学者发现方程中 R 指标的计算在有些地区不是十分适宜, 同时该法需要详细的次降雨过程资料, 在很多地区这类资料不易获得, 且摘读费时费力, 而由各地区气象部门提供整编的雨量资料与指标容易获得, 于是国内外一些学者又相继做了进一步的研究, 并提出了简化的根据降雨量指标计算降雨侵蚀力的方法^[4-12], 甚至威氏本人也提出了 R 值的简易算法。这些计算方法大致分为三类:

一类是根据年雨量特征因子 (年雨量、大于一定临界值的年降雨量或汛期雨量) 与年特征雨强 (如 I_{30} 或 I_{60}) 的乘积形式估算年 R 值, 如王万忠^[10] 提出的算法、卜兆宏^[6] 提出的算法即为此类; 二是采用月降雨量与年降雨量的模比系数估算年 R 值, 如周伏建^[9] 在福建省、吴素业^[8] 在大别山区分

别提出了相应的算式, 其形式表现为幂函数关系; 三是利用相对于年、月雨量含有更多降雨特征信息的日雨量建立的日雨量模型计算 R 值。

Richardson 等人^[13] 在研究中发现 EI_{30} 如降雨量 R 之间存在幂指数函数关系, 形如 $EI_{30} = aR^b$, 其中 R 为日降雨量, a 、 b 为待定参数, 其中参数 b 相对较为稳定, 可以认为是一个常数, a 随地区和季节的不同存在较大的变异; Elsenbeer^[14] 在自己的研究中也证实了此关系的存在, 并对该方法进行了验证, 提出了适合亚马逊流域的地区参数, 在 CREAMS 模型中降雨侵蚀力的计算便采取了此模型的基本形式, 系数分别取 1.03 和 1.51。其后, 国内外一些学者相继对该模型进行修正以提出适合的参数, 如 YU 等^[15] 在澳大利亚建立的日雨量侵蚀模型引进了一个余弦函数修正项, 我国学者章文波^[16] 等利用我国 71 个气象代表站日雨量资料建立的 R 值算式并提出了相应的系数、郭新波^[17] 等利用浙江红壤地区资料对该模型的引进一个正弦函数修正项并计算了地区侵蚀力的月季分布、宁丽丹^[18] 等也以该模型为基础进行了我国西南地区的 R 值计算。

EI 结构形式同时反映了雨量和雨强的作用,符合 *R* 值的物理意义。上述第一类算式虽然反映了雨量与雨强的影响,但仅能计算出年 *R* 值,无法反映 *R* 值的年内分布状况;第二类算式仅反映雨量因子的作用而雨强的作用未得到体现,当实际的降雨侵蚀力年内分布与降雨量年内分布不一致时,结果不好有时还会出现重大的偏差,卜兆宏^[6]在山东省山区研究时发现,雨量法、雨强法计算的 *R* 值,尽管计算的年 *R* 值显著相关,但各月 *R* 值分布有非常大的差异;第三类算式综合了雨量模型可以反映侵蚀力的特点和资料容易获得的优势,如果能建立起通用的或者适合区域的相应参数,必将大大促进十分丰富、整编规范的气象资料在水土保持中的应用。

为了确定淮河伏牛山区降雨侵蚀力年内分布与日/月降雨量之间的关系,本文收集了位于伏牛山区的河南省鲁山县水土保持试验站 4 年降雨过程资料对 CREAMS 模型中降雨降雨侵蚀力计算公式、Richardson 日雨量模型和郭新波建立的修正模型计算式进行了初步的检验,试图研究几种算式在该区域的适用性,寻求 *R* 值的简便算法,为实现区域水土流失定量监测和当地的水土保持规划、水土流失评价服务。

1 资料与方法

1.1 资料

收集了河南省鲁山县科学试验站 1995 年、2000 年、2002 年和 2003 年共 4 年的汛期降雨自计资料(其中非汛期 1~4 月,11~12 月无降雨过程资料,仅记录了日雨量),共摘读出 49 次降雨过程,再按照日降雨量大于等于 12.7 mm 作侵蚀性降雨量分别统计日/月雨量。该站地处淮河流域一级支流沙颍河上游伏牛山区,地理位置为东经 112°42′49″~112°44′20″,北纬 33°54′16″~33°56′34″,海拔高程 258~732 m,历年平均降水量 879.6 mm。

1.2 方法与模型介绍

对于每次降雨,先将降雨过程划分成降雨强度均匀的小段摘读,用威氏经典法公式进行次降雨侵蚀力的计算,按月统计可得月降雨侵蚀力值,并将其作为侵蚀力的基准值 *R*₀。按照三个模型的数据要求整理各月和日雨量(日雨量以每日 8 时为界划分),代入模型运算,分别求得三个模型计算下的月降雨侵蚀力 *R*_A、*R*_B、*R*_C 值。单位统一采取 MJ·mm/(hm²·h)^[19]。采取模型有效系数与相对误差系数比较评价模型的优劣程度。

CREAMS 模型(模型 A):

$$R=1.03P_i^{1.51}(P_i\geq P_0)$$

式中:*R*——降雨侵蚀力(MJ·mm/(hm²·h));*P_i*——日降雨量(mm);*P₀*——侵蚀性降雨标准。

RICHARDSON 模型(模型 B):

$$R=aP_i^b(P_i\geq P_0)$$

式中:*a*、*b*——参数,分别取其暖季平均值为 0.41 和 1.81,其它与上式同。郭新波修正模型(模型 C):

$$R_j=0.0043[1+48.13\sin(\pi/12(j-1))]j\sum_{i=1}^jP_i^{1.09}$$

式中:*R_j*——第 *j* 月的侵蚀力(美国习用单位);其它同上式。

有效系数与相对误差系数的计算公式为:

$$R^2=1-\frac{\sum(R_0-R_{cd})^2}{\sum(R_0-\bar{R}_0)^2}$$

式中:*R*₀——*R* 的基准值;*R_{cd}*和分别为模型计算值和基准降雨侵蚀力的平均值。

$$Er=|\sum_{i=1}^nR_{oi}-\sum_{i=1}^nR_{ali}|/\sum_{i=1}^nR_{oi}$$

式中:*Er*——相对误差,其它同有效系数式意义。

2 结果与讨论

2.1 *R* 值年内分布情况

从资料摘读情况来看,该区域 5~10 月降雨量占年降雨总的比例为 93.4% (1995 年)、93.5% (2000 年)、84.9% (2003 年),平均为 91%,非汛期期间无大于侵蚀性降雨标准的次/日雨量。因此该期间的 *R* 值可以认为年 *R* 值。图 1 为 *R* 值和降雨量占年 *R* 值和年降雨量的百分比图。年平均 *R* 值分布与降雨量分布均呈单峰状态,但 *R* 值峰值出现在 7 月份,占年总值的 30%;雨量峰值出现在 8 月份,占年雨量的 29%。其中 6~9 月 *R* 值累积百分比占年 *R* 值的 98.4%,同期雨量百分比占年雨量的 85%。降雨侵蚀力和降雨量的分布上的不太一致是因为不同时期的降雨特性和降雨侵蚀动力构成的因素所决定,研究区域内月降雨侵蚀力往往仅是由一、两次降雨所产生。

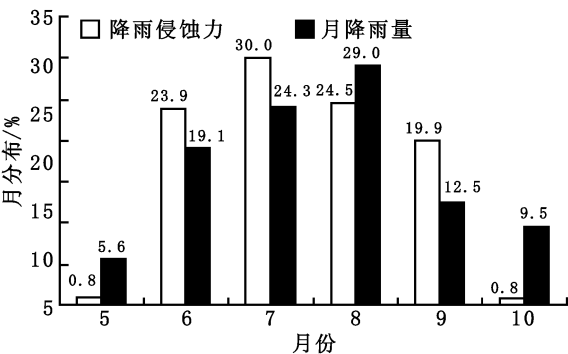


图 1 降雨侵蚀力与降雨量月季分布图

2.2 模型月、年 *R* 值计算结果比较

表 1 各种计算方法所得的 4 年平均各月的降雨侵蚀力值 MJ·mm/(hm²·h)

| 统计参数 | 月份 | <i>R</i> ₀ | <i>R</i> _A | <i>R</i> _B | <i>R</i> _C |
|--------|----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 4 年平均 | 5 | 28.7 | 118.1 | 118.1 | 99.9 |
| | 6 | 852.7 | 921.7 | 1325.0 | 557.8 |
| | 7 | 1071.1 | 888.8 | 1083.7 | 631.1 |
| | 8 | 871.8 | 1164.5 | 1495.9 | 802.5 |
| | 9 | 711.3 | 473.1 | 580.7 | 316.6 |
| | 10 | 30.0 | 143.3 | 140.0 | 113.2 |
| | 小计 | 3565.5 | 3709.4 | 4743.4 | 2521.1 |
| 模型有效系数 | | | 0.78±0.55 | 0.57±0.34 | 0.45±0.22 |
| 相对偏差系数 | | | 0.16~1.27 | 0.24~1.46 | 0.40~0.84 |
| 斜率 | | | 0.87 | 1.17 | 0.57 |
| 截距 | | | 99.6 | 95.6 | 80.7 |
| 相关系数 | | | 0.81 | 0.78 | 1.00 |

注:*a*、³分别为线性回归方程 *Y*=*aX*+³ 中的系数,其中 *X* 为基准侵蚀力值,*Y* 为模型计算值。

从表 1 可看出,与根据按照降雨过程计算的月降雨侵蚀力的基准值相比,三个模型均表现出一定的月际间差异,而年总值较为接近,这与卜兆宏在山东省的研究结果较为一致^[18]。从模型的有效系数看,CREAMS 模型、RICHARDSON 模型和郭新波修正模型分别为 0.78、0.57、0.45,相对偏差系数分别为 0.16~1.27、0.24~1.46、0.40~0.84,说明 CREAMS 模型的日雨量模型计算式比其它二式有着更好的稳定性,达到了一定的精度要求,郭新坡修正模型无论是从有效系数还是偏差系数均不十分理想,这可能是由于其建立的参数基础为南方红壤地区,与当地降雨特征有关,宁丽丹

等进行西南地区 R 值的估算时亦发现此修正模型的结果也不理想^[19]。

采取日雨量模型计算次/日降雨的 R 值时当雨量大且雨型为长历时低强度降雨时, 计算结果与基准值比较明显偏大, 而当雨型为高强度短历时的暴雨时, 日雨量模型计算结果较基准值又明显偏小。如 2000 年 7 月 16 日一次降雨产生的侵蚀力高达 $2\,220\text{ MJ}\cdot\text{mm}/(\text{hm}^2\cdot\text{h})$, 而日雨量模型计算值则为 741, 1 090, 415, 明显偏小; 而 2003 年各降雨雨型多为长历时低强度的降雨, 从而三模型计算结果明显偏大, 该年计算结果相对偏差系数分别高达 0.84~1.46。

3 结 论

本文利用河南省鲁山县水土保持科学试验站 4 年 49 次汛期降雨过程资料, 计算了次降雨侵蚀力, 累计得到各月侵蚀力值。该区域降雨侵蚀力最高值出现在 7 月份, 平均为 $1\,071\text{ MJ}\cdot\text{mm}/(\text{hm}^2\cdot\text{h})$, 占 5~9 月份降雨侵蚀力总值的参考文献:

- [1] 唐克丽, 等. 中国水土保持[M]. 北京: 科学出版社, 2004. 310~337.
- [2] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses: A Guide to conservation planning[M]. Agriculture Handbook, 1978. No. 537. USDA.
- [3] Renard K G, et al. predicting soil erosion by water. A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation(RUSLE)[R]. National Technical information Service, USDA, 1997.
- [4] 贾志军, 等. 晋西黄土陵区降雨侵蚀力 R 指标的确定[J]. 中国水土保持, 1987, (6): 18~20.
- [5] 张宪奎. 黑龙江省土壤流失预报方程中 R 指标的研究[A]. 水土保持科学理论与实践[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992.
- [6] 卜兆宏, 等. 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] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 王万中, 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] Richardson C W, Foster G R, Wright D A. estimation of erosion index from daily rainfall amount[J]. Transactions American Society of Agricultural Engineers, 1983, 26: 153~157.
- [14] Elsenbeer H D, Classel W T. A daily rainfall erosivity model for Western Amazonia[J]. J. Soil and Water Conservation, 1993, 48(5): 439~444.
- [15] YU B, Rosewell C J. An assessment of a daily rainfall erosivity model for Australian tropic[J]. Australian Journal of soil Research, 1996, 34: 139~152.
- [16] 章文波, 谢云, 刘宝元. 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.
- [17] 郭新波, 王兆骞, 张如良. 浙江红壤地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.
- [18] 卜兆宏, 等. 降雨侵蚀力因子的算法及其在土壤流失量监测中的选用[J]. 遥感技术与应用, 1992, 7(3): 1~10.
- [19] 宁丽丹, 石辉. 利用日降雨量资料估算西南地区的降雨侵蚀力[J]. 水土保持研究, 2003, 10(4): 183~186.

(上接第 194 页)

- [7] Wackernagel M, William E R. Our Ecological footprints: reducing human impact on the earth[M]. Gabriolsland: New Society Publishers, 1996.
- [8] Mathis. Wackernagel, William E. Rees. Perceptual and structural barriers to investing in natural capital: Economics from a ecological footprint perspective[J]. Ecological Economics, 1997(20): 3~24.
- [9] 李利峰, 成升魁. 生态占用—衡量可持续发展的新指标[J]. 资源科学, 2000, 15(4): 375~382.
- [10] 杨开中, 杨咏, 陈洁. 生态足迹分析理论与方法[J]. 地球科学进展, 2000, 15(6): 630~636.
- [11] 谢高地, 鲁春霞, 成升魁, 等. 中国的生态空间用研究[J], 资源科学, 2001, 23(6): 20~23.
- [12] 徐中民, 程国栋, 张志强. 生态足迹方法: 可持续性定量研究的新方法—以张掖地区 1995 年的生态足迹计算为例[J]. 生态学报, 2001, 21(9): 1484~1490.
- [13] 徐中民, 张志强, 等. 甘肃省 1998 年生态足迹计算与分析[J]. 地理学报, 2000, (5): 607~616.
- [14] 陈东景, 徐中民. 生态足迹理论在我国干旱区的应用与探讨: 以新疆为例[J]. 干旱区地理, 2001, 24(4): 305~309.
- [15] 苏筠, 成升魁, 等. 大城市居民生活消费的生态占用初探: 对北京、上海的案例研究[J]. 资源科学, 2001, (6): 24~28.
- [16] 鲁春霞, 谢高地, 等. 青藏高原自然资产利用的生态空间占用评价[J]. 资源科学, 2001, (6): 29~35.