

几种降雨侵蚀力模型的比较研究

胡续礼¹, 潘剑君¹, 杨树江², 姜小三¹, 高太成³

(1. 南京农业大学 资源环境学院, 江苏 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 467300)

摘要: 利用河南省鲁山县水保站 4 a 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, 以 EI_{30} 的经典算法作为基准值对 3 个模型进行了验证, 以模型有效系数与相对偏差评价模型的优劣。结果发现, 3 个日雨量模型的有效系数与相对偏差分别为: 0.78 ± 0.55 , 0.57 ± 0.34 , 0.45 ± 0.22 和 $0.16 \sim 1.27$, $0.24 \sim 1.46$, $0.40 \sim 0.84$ 。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

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2006)01-0068-03

中图分类号: S157.1

Comparative Study on Rainfall Erosivity Models Using Daily Rainfall Amounts

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

(1. College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, Jiangsu Province, China;

2. Water and Soil Conservation Monitoring Central Station of the Huaihe River Basin, Bengbu 230003, Anhui Province, China;

3. Water and Soil Conservation Station in Lushan County of He'nan Province, Lushan 467300, He'nan Province, China)

Abstract: Based on 49 single rainfall data from the Lushan County station of soil and water conservation in He'nan Province, various values of rainfall erosivity were calculated using the RUSLE, CREAMS, RICHARDSON and a revised model of daily rainfall amount developed by Guoxinbo, respectively. Results show that model efficiencies are 0.78 ± 0.55 , 0.57 ± 0.34 , 0.45 ± 0.22 , respectively. Tested results show CREAMS model is better than other two models, but it is not appropriate to direct use. The better parameters should be found in future.

Keywords: rainfall erosivity; daily rainfall amount; model; soil erosion

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],是 USLE^[2]和 RUSLE^[3]方程中的最为重要的因子之一,也是实现定量监测与评价一个地区水土流失的重要基础因素。但经典方法中 R 指标的计算需要详细的次降雨过程资料,而在很多地区这类资料不易获得,且摘读费时费力;同时由各地区气象部门提供整编的雨量资料与指标则相对容易获得,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 3 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^[6,10];二是采用月降雨量与年降雨量的模比系数估算年 R

值^[8-9];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^[13-17]。

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;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,本文选择 CREAMS 模型中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检验,试图研究几种

收稿日期: 2005-03-07

资助项目: 水利部淮河委员会资助项目“淮河流域重点区域水土流失监测模型专题研究”

作者简介: 胡续礼(1973—),男(汉族),安徽省亳州市人,工程师,在读硕士,研究方向为水土保持,环境保护,3S 技术应用等。E-mail: huxuli2002@126.com。

算式在该区域的适用性, 为当地水土保持规划和水土流失评价服务。

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 a 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 3 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 3 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 $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})^{[19]}$ 。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):

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

式中: R —— 降雨侵蚀力 $[\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})]$;
 P_i —— 日降雨量(mm); P_0 为侵蚀性降雨标准。

Richardson 模型(模型 B):

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

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):

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

式中: R_j —— 第 j 月的侵蚀力; 其它同上式。

有效系数与相对误差系数的计算公式为:

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

式中: R_0 —— R 的基准值; R_{cal}, \bar{R}_o —— 模型计算值和基准降雨侵蚀力的平均值。

$$E_r = \left| \sum_{i=1}^n R_{oi} - \sum_{i=1}^n R_{cali} \right| / \sum_{i=1}^n R_{oi}$$

式中: E_r —— 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, 采取经典算法计算结果表明, 该区域 5—10 月降雨量占年降雨总量的比例为 93.4% (1995 年), 93.5% (2000 年), 84.9% (2003 年), 平均为 91%, 非汛期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 1~2 次降雨所产生。

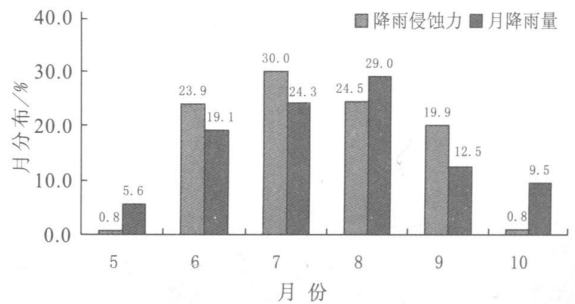


图 1 降雨侵蚀力与降雨量月季分布图

2.2 模型月、年 R 值计算结果比较

从表 1 可以看出, 与根据按照降雨过程计算的月降雨侵蚀力的基准值相比, 3 个模型均表现出一定的月际间差异, 而年总值较为接近, 这与卜兆宏先生在山东省的研究结果较为一致^[19]。

从模型的有效系数来看, CREAMS 模型、RICHARDSON 模型和郭新波先生修正模型分别为 0.78, 0.57, 0.45, 其相对偏差系数分别为 0.16~1.27, 0.24~1.46, 0.40~0.84, 这说明了 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, 并且达到了一定的精度要求。郭新波先生的修正模型无论是从有效系数还是从偏差系数角度看, 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, 宁丽丹等人进行西南地区 R 值的估算时亦发现此修正模型的结果也不十分理想^[18]。

表 1 4a 平均各月的降雨侵蚀力值 $MJ \cdot mm / (hm^2 \cdot h)$

统计参数	月份	R_O	R_A	R_B	R_C
4a 平均	5	28.7	118.1	118.1	99.9
	6	852.7	921.7	1 325.0	557.8
	7	1 071.1	888.8	1 083.7	631.1
	8	871.8	1 164.5	1 495.9	802.5
	9	711.3	473.1	580.7	316.6
	10	30.0	143.3	140.0	113.2
小计		3 565.5	3 709.4	4 743.4	2 521.1
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			

注:指各种计算方法所得的 4a 平均各月的降雨侵蚀力值。

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 $2 220 [MJ \cdot mm / (hm^2 \cdot h)]$,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 a 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 $[MJ \cdot mm / (hm^2 \cdot h)]$,占 5—9 月份降雨侵蚀力总值的 30%;降雨侵蚀力月际间分布与降雨量的分布不一致,降雨侵蚀力的峰值较雨量出现提前一个月。

3 个模型计算结果经与基准值比较分析,CREAMS 模型有效系数和相对偏差系数均较其它 2 个模型表现出较好的稳定性,模型有效系数与相对偏差系数分别 0.78 和 0.58,表现出一定的稳定性。对于高强度短历时、低强度长历时的降雨雨型模型计算值分别大幅偏低、偏高。因此,应据区域多年降雨特性选择更加合适的回归参数,结果可能会更好些。总之,日雨量模型无论从其结构上,还是资料的易得性看,均具有较好开发应用前景。同时它还能反映降雨侵蚀力的年内分布,具有重要的实践意义。

限于条件,本文仅摘取了 4 a 降雨资料,可能会对研究结果有一定的影响。卜兆宏研究发现多年平均降雨侵蚀力应至少要求 16 a 的降雨资料,应利用长周期资料对 R 值及各模型的验证进一步研究。

[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.晋西黄土丘陵区降雨侵蚀力 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.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 Wester 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] 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.
- [19] 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.