

降雨侵蚀力新算法在豫西山区应用的初步研究^①

胡续礼¹, 姜小三¹, 杨树江², 张春平², 潘剑君^{1*}

(1 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095; 2 淮河流域水土保持监测中心站, 安徽蚌埠 233001)

摘要: 降雨侵蚀力是定量监测评价一个地区土壤侵蚀状况的重要因子之一, 找到适宜简便的计算方法十分重要。卜兆宏提出的降雨侵蚀力新算法具有简便易用的优点。本文利用位于豫西山区鲁山县的 3 个水文雨量站 10 年 185 次的自记降雨过程资料, 以经典算法年 R 值为基准, 对新算法在该区的适用性进行了分析评价。结果表明: 新算法结果与经典值存在高度的一致性, 一致性高达 90.2%, 模型有效系数为 96.4%, 相对误差为 7.7%, 说明新算法能够在该区应用, 可以采取此法对该区的降雨侵蚀力进行深入的分析研究; 并同时资料摘读时应该注意的问题进行了讨论。

关键词: 降雨侵蚀力; EI_{30} 法; R 值新算法; 土壤侵蚀

中图分类号: S157

自 1965 年通用水土流失方程^[1-2] (Universal Soil Loss Equation, USLE) 提出以来, 包括中国在内的世界各地科学家开展了大量的研究, 使得土壤侵蚀研究由定性、半定量时代转入了定量研究时代^[3-6]。在 USLE 方程中, 降雨侵蚀力 (Rainfall Erosivity, 简称 R 值) 是一个重要的因子。R 值表示的是由降雨引起土壤侵蚀的潜在能力, 为降雨物理性质的函数^[7]。R 值的计算方法采取次降雨动能 E 和最大 30 分钟降雨强度的乘积来表示, 即 EI_{30} 法, 该法亦被称为 R 值计算的经典法, 并在世界各地得到了极大的推广应用^[8-9]。但该法的使用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, 因此找到一种简便准确的方法计算 R 值成为土壤侵蚀研究与评价的重要问题。于是国内外一些学者又相继做了进一步的研究, 提出了众多的降雨侵蚀力的简化算法^[10-15]。这些简便算法, 大致分为 3 种结构形式, 即: 动能雨强模型 (EI)、雨量雨强模型 (PI)、雨量模型 (P) 结构形式, 但所建立的新的算法多具有较强的地域性, 可推广性不强^[16]。

水土流失定量遥感监测方法^[17-18]由卜兆宏于 1997 年提出, 其监测模型中提出的 R 值新算法^[15, 19-20]系由我国南北方各监测小区上千套监测年数据建立, 具有较强的区域推广性, 且该法需要摘读的资料简便, 模型结构形式简单。

豫西伏牛山区为秦岭余脉, 区内山高坡陡、天然植被差, 加之人口密度大、人为开垦现象严重, 历来为河南省水土流失的重点区。对该区土壤侵蚀现状进

行定量的监测评价可为相关部门规划治理提供科学的依据, 故对区域内 R 值进行研究显得十分必要, 从现有的文献看, 对该区降雨侵蚀力的研究鲜有报导。因此, 本文选择河南省水文局位于豫西山区鲁山县的 3 个水文雨量站详细的次降雨记录资料, 以经典算法为基准, 对新算法进行检验, 寻找适合该区的 R 值简便算法, 取得了良好的效果。

1 资料与方法

1.1 资料

鲁山县位于豫西山区的东北部, 区内土壤以粗骨土、棕壤为主, 在该区域具有较强的代表性。县内的昭平台水库为县城及平顶山市的供水水源, 同时也是淮河上游的一个重要的防洪水利工程。本研究收集了河南省水文局布设于鲁山县昭平台水库库区上游的中汤 (1995 年、2000 年、2004 年)、下孤山 (1995 年、2000 年、2004 年)、岳村 (1995 年、2000 年、2002 年、2003 年) 3 个水文雨量站共 10 年的汛期降雨自记过程资料。3 站基本情况见表 1。

降雨资料摘读时, 仅摘读一定雨量或者雨强的降雨过程, 这种降雨称为侵蚀性降雨。摘读原则为: ① 凡次总雨量 $P_t \geq 12.5$ mm 和连续 30 分钟雨量 $P_{30} \geq 1.5$ mm 的降雨, 详细摘读降雨日期 R_q 、降雨总量 P_t 、最大 30 分钟雨量 P_{30} 、自记曲线上各拐点处的时刻 T_i 、时段雨量 ΔP_i 这 5 个要素; ② 当 $6 \text{ mm} \leq P_t < 12.5 \text{ mm}$ 和 $P_{30} \geq 5 \text{ mm}$ 时, 作为短历时暴雨摘读以上 5 要素; ③

①基金项目: 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”资助。

* 通讯作者 (jpan@njau.edu.cn)

作者简介: 胡续礼 (1973—), 男, 硕士研究生, 工程师, 研究方向为水土保持、3S 技术应用等。E-mail: huxuli2002@126.com

表 1 各站基本情况

Table 1 Basic information of the three stations

编号	站名	位置		建站时间 (年份)	资料年数 (年)	摘读降雨过程 (次)
		经度	纬度			
50623350	中汤	112°34′	33°45′	1961	3	68
50624250	下孤山	112°43′	33°52′	1961	3	57
50632500	岳村	112°34′	112°34′	1981	4	60

其他雨型降雨仅摘读日期 R_q 和日总雨量 P_{10} 。降雨雨次的划分标准为：在自记降雨曲线上连续 4 h 小时其 $\Delta P_i \leq 2.5 \text{ mm}$ 时，则在其中点划分为两次降雨过程。3 站 10 年共摘读了 185 次侵蚀性降雨过程。

1.2 方法

对于每次降雨过程，首先用威氏经典法公式进行次降雨侵蚀力的计算，累加得到年降雨侵蚀力值，并将其作为侵蚀力的基准值 R_{00} 。再按照算法确定的原则确定汛期月份，代入模型运算，求得年降雨侵蚀力 R 值。单位统一采取美制习用单位。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。

经典算法^[2] R_0 的计算方法 (略)。

降雨侵蚀力新算法是基于侵蚀性降雨量与其总动能之间存在的极高相关性和一致性，及汛期雨量和 I_{30B} 与土壤流失量有较高的相关性建立起来的，仅需汛期雨量 P_f 和年 I_{30B} ，其年 R 值的计算表达式为：

$$R = 0.128P_f I_{30B} - 0.192I_{30B} \quad (1)$$

式中： R 为年降雨侵蚀力值，单位为美制习用单位；

P_f 为汛期雨量，mm； I_{30B} 为 I_{30} 的年代表值，cm/hr。此式乘以 17.02 即可实现将 R 值转换为国际单位 $\text{MJ}\cdot\text{mm}/(\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})$ ^[15]

模型有效系数计算方法为：

$$M = 1 - \frac{\sum (R_{0i} - R_i)^2}{\sum (R_{0i} - \bar{R}_0)^2} \quad (2)$$

式中： R_0 为 R 的基准值； R 和 $\bar{R}_0$ 分别为模型计算值和基准降雨侵蚀力的平均值； i 为序号。

相对误差系数 Er 计算方法为：

$$Er = \left| \sum_{i=1}^n R_{0i} - \sum_{i=1}^n R_i \right| / \sum_{i=1}^n R_{0i} \quad (3)$$

式中：符号与式 (2) 中同。

2 结果与讨论

2.1 新算法与经典法结果的比较

采取新算法计算的 3 站年 R 值与经典法计算结果具有较好的一致性 (表 2)。

表 2 两种算法结果比较

Table 2 Results of two types of calculation methods

站名	年份	年雨量	汛期雨量/月份	经典法值	年侵蚀雨强/雨次	新算法值	二者一致性
		(mm)	(mm)	(R_0)	(cm/hr)	(R)	(%)
中汤	1995	1098.9	1067.8/6—10	280	3.04	275	98.2
	2000	1493.6	1341.8/6—9	621	3.72	692	89.7
	2004	873.3	689.6/7—9	296	3.15	277	93.5
下孤山	1995	801.4	702.8/7,8,10	300	3.61	305	98.3
	2000	1051.8	911.9/6—9	334	3.16	363	92.0
	2004	666.3	510.1/7—9	101	1.89	124	81.4
岳村	1995	680.3	531.4/7,8	207	3.21	219	94.5
	2000	857.4	795.9/6—9	410	4.51	459	89.3
	2002*	493.4*	422.9/6—8	194	3.35	181	93.3
	2003	956.4	644.2/6—9	112	1.42	117	95.3
平均				286		301	90.2

*：2002 年岳村站仅记录了 5—10 月份资料，缺少 1—4 和 11—12 月份降雨数据。

两种算法计算出的3站10年的年R值,二者一致性变化于81.4%~98.3%之间,平均为90.2%。进一步的方差分析表明,两种算法结果无显著差异。模型有效系数为96.4%,相对误差为7.7%。说明了新算法的雨次划分原则、侵蚀性降雨标准、汛期雨量确定的方法是合理的,能够在该区应用。

2.2 雨量雨强模型估算年R值的有效性讨论

自USLE模型提出动能雨强积即EI结构形式计算降雨侵蚀力以来,因其计算繁杂、资料获取不易以及模型的适宜性问题,各种修正的EI模型陆续被提出,但仍然没有解决资料不易获得及计算繁杂的问题。故雨量雨强模型、雨量模型被进一步提出,并出现了较多的简便算法^[6]。降雨侵蚀力作为降雨物理性质的函数,同降雨的雨型存在较为密切的关系,也正是在这一点上EI结构形式表现了R值的物理意义,被称为经典方法。这同时也是众多雨量模型所存在的先天不足之处,因此雨量模型多具有较强的区域性。雨量雨强模型较好地综合了雨型的作用,同时简化了资料获得与摘读时的不易,模型所得的结果亦与经典法结果具有较好的一致性。王万忠^[11]曾提出当资料不易取得时,可以以次雨量和 I_{30} 之积表征降雨侵蚀力。在对3站10年185次侵蚀性降雨进行分析后发现, PI_{30} 值与经典法R值虽然存在较好的相关性,但明显地存在两种趋势(图1),对于雨量大雨强小的长历时降雨,它一定程度上夸大了一些降雨的降雨量的作用、降低了雨强的作用,对短时暴雨,则反之。而新算法中采取汛期雨量和年 I_{30} 代表值则在一定程度上修正了这种误差,因而能使得模型表现良好(尽管样本数量偏少),不足之处是新算法仅能计算年R值,无法反映R值的年内分布状况与规律。

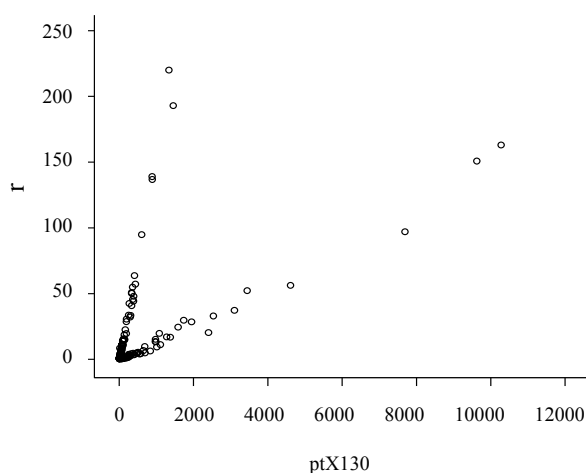


图1 次 PI_{30} 值与次降雨R值散点图($n=185$)

Fig.1 Scatter-dot map of PI_{30} vs R value of individual rainfalls

2.3 降雨资料摘读时应注意的问题

在摘读降雨资料时,应该特别注意几个问题。①正确地划分雨次、读准次降雨总雨量;②务必读准确每次降雨的最大30分钟降雨量 P_{30} 值,每次降雨必须读一个 P_{30} 值,因为这两个参数关系到 I_{30B} 的计算准确与否;③如果可能的话,还应详细读取每次降雨的 P_{10} 、 P_{20} 和 P_{60} ,留作进一步的分析之用;④现在各地水文资料在每年都要经过详细的整编,录入数据库,但在应用时应做必要的校验,如在本次摘读数据时发现中汤站、岳村站1995年整编数据与自记摘读数据存在较大的误差,应在认真校核后使用正确的雨量值计算。

3 结论

降雨侵蚀力作为定量监测评价区域土壤侵蚀的一个重要因子,与区内的降雨雨型存在很大关系,降雨侵蚀力新算法综合考虑了雨型各因素,计算结果同经典法值具有很高的一致性,故从本研究中可以初步得出以下结论:

(1) 新算法同样适合于豫西山区,可以作为该区计算年R值的一种有效方法。该法仅需详细摘读每次侵蚀性降雨雨次的雨量及 I_{30} 值,资料摘读简便,模型结构简单易用。

(2) 对于该区域内采取次降雨量与 I_{30} 积表征次降雨的侵蚀力值的可行性及其效果,应做进一步分析。

(3) 采取新算法计算R值时,关键是准确划分雨次、读准次降雨总雨量及次降雨的 I_{30} 值。

本研究不足之处是限于资料用来检验的样本数量偏小,拟准备在下步的研究工作中收集更多年份的资料对新算法作更进一步的验证,同时收集区域内更多站点的资料,定量分析评价区内土壤侵蚀风险。

致谢: 许端阳、丁飞、刘绍贵等在资料摘读时给予了大力帮助,特此致谢。

参考文献:

- [1] Wischmeier WH, Smith DD. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. Agriculture. Handbook. No. 282. Washington DC: USDA, 1965
- [2] Wischmeier WH, Smith DD. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. Agriculture Handbook. No.537. Washington DC: USDA 1978
- [3] 美国土壤保持协会编(窦葆璋译). 土壤侵蚀预报与控制. 北京: 中国农业出版社, 1981
- [4] Por JJJ-jun, Zhong TL, Zhao QG. Dynamics of soil erosion in Xinguo County, China. Determined using remote sensing and GIS.

- Pedosphere, 2005, 15(3): 356-362
- [5] 姜小三, 卜兆宏, 杨林章, 夏立忠, 潘剑君. 水土流失与水质污染一体化定量监测的初步研究—以江苏省方便流域为例. 土壤学报, 2005, 42(4): 529-536
- [6] 姜小三, 潘剑君, 杨林章, 卜兆宏. 土壤可蚀性 K 值的计算和 K 值图的制作方法研究—以南京市方便水库小流域为例. 土壤, 2004, 36 (2): 177-180
- [7] 唐克丽编著. 中国水土保持. 北京: 科学出版社, 2004: 310-337
- [8] Matthew JC, Keith DS, Markus GW. Empirical reformulation of the universal soil loss equation for erosion risk assessment in a tropical watershed. *Gedema*, 2005, 124: 235-252
- [9] Shi ZH, Cai CF, Ding SW, Wang TW, Chow TL. Soil conservation planning at the small watershed level using RUSLE with GIS: A case study in the Three Gorge Area of China. *Catena*, 2004, 55: 33-48
- [10] Richardson CW, Foster GR, Wright DA. Estimation of erosion index from daily rainfall amount. *Transactions American Society of Agricultural Engineers*, 1983, 26: 153-157
- [11] 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). 水土保持学报, 1996, 2(1): 29-39
- [12] 贾志军. 晋西黄土丘陵区降雨侵蚀力 R 指标的确定. 中国水土保持, 1987 (6): 18-20
- [13] 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. 北京: 中国林业出版社, 1992
- [14] 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. 中国水土保持, 1994 (4): 12-13
- [15] 卜兆宏, 董勤瑞, 周伏建, 张立文. 降雨侵蚀力因子新算法的初步研究. 土壤学报, 1992, 29(4): 408-417
- [16] 章文波, 谢云, 刘宝元. 降雨侵蚀力研究进展. 水土保持学报, 2002, 16 (5): 43-46
- [17] 卜兆宏, 孙金庄, 周伏建, 唐万龙, 席承藩. 水土流失定量遥感方法及其应用的研究. 土壤学报, 1997, 34(3): 235-245
- [18] 卜兆宏, 宫世俊, 阮伏水, 蔡士强. 降雨侵蚀力因子的算法及其在土壤流失量监测中的选用. 遥感技术与应用, 1992, 7 (2): 1-10
- [19] 卜兆宏. 长江流域太湖地区降雨侵蚀力及其应用的研究. 农村生态环境, 1994, 10 (4): 1-6
- [20] 赵富梅, 赵宏夫. 应用新算法编制张家口市 R 值图的研究. 河海水利, 1994 (2): 47-51

Application of a New Algorithm to Assessment of Rainfall Erosiveness in Mountaineous Regions in West Henan

HU Xu-li¹, JIANG Xiao-san¹, YANG Shu-jiang², ZHANG Chun-ping², PAN Jian-jun¹

(¹ College of Resources & Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

² Water & Soil Conversation Monitoring Central Station of The Huaihe River Bason, Bengbu, Anhui 233001, China)

Abstract: Rainfall erosiveness is a fundamental factor for quantative monitoring and assessment of soil erosion. So it is very important to identify a convenient model or algorithm for assessing rainfall erosiveness. Based on 185 individual rainfalls at three stations in 10 years, R-value was calculated with EI_{30} and a new algorithm proposed by Bu Zhao-hong, separately. Results showed that the latter suits the region well. Further study of R-value of the region can be carried out by this way. Meanwhile, some issues that should be paid attention to in collecting data were put forward.

Key word: Rainfall erosivity, EI_{30} , New algorithms of R_value, Soil erosion