

用日雨量和雨强计算降雨侵蚀力

谢云¹, 章文波², 刘宝元²

(1. 北京师范大学 资源与环境系, 北京 100875; 2. 北京师范大学 环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875)

摘要: 利用全国 8 个气象站次降雨和日降雨资料, 分析了次、日降雨关系。结果表明, 用次降雨资料计算的降雨侵蚀力与用日降雨资料计算的降雨侵蚀力, 二者之间不仅高度线性相关, 而且是通过原点、斜率接近 1 的直线, 方程的平均决定系数达到 0.950, 表明可以用日降雨资料计算降雨侵蚀力。由于各地区方程的系数差异不显著, 可以在不同气候区采用同一个公式。该方法不仅简化了降雨侵蚀力计算, 有助于其推广应用, 而且大大促进了气象水文资料在土壤侵蚀定量研究中的应用。

关键词: 降雨侵蚀力; 次降雨资料; 日降雨资料

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2001)06-0053-04

中图分类号: S157.1

Rainfall Erosivity Estimation Using Daily Rainfall Amount and Intensity

XIE Yun¹, ZHANG Wen-bo², LIU Bao-yuan²

(1. Department of Resource and Environmental Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, PRC; 2. Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, Ministry of Education of China, Beijing Normal University, Beijing 100875, PRC)

Abstract Daily and event data from 8 weather stations was used to analyze the relationship between daily and event rainfall. The result showed that the difference was not marked, and it was feasible and reasonable to estimate erosivity using daily rainfall data instead of event data. The regression function of rainfall erosivity estimated from daily rainfall and the one from event data was 1:1 line, and the average R-square of 8 stations was 0.950. Because the coefficient of the line was not different greatly in different climatic regions, an estimated rainfall erosivity model using daily rainfall amount and its maximum 10-min intensity was set up, and its R-square was 0.966. This analysis will simplify the calculation of rainfall erosivity and stimulate the meteorological data application for soil erosion model.

Keywords rainfall erosivity; rainfall event data; daily rainfall data

降雨动能和雨强组合 EI_{30} 反映了雨滴打击地表和产生的地表径流对土壤侵蚀的综合效应, 代表的物理意义比较明确, 因而在世界各国得到广泛应用。

EI_{30} 计算的是次降雨侵蚀力, 将月或年各次降雨侵蚀力累加得到月或年降雨侵蚀力。由于计算 1 次降雨总动能需要连续记录的降雨过程资料, 资料不易获得, 计算过程繁琐, 因此不少学者尝试用容易获得的资料计算降雨侵蚀力^[1-18]。

EI_{30} 计算的是次降雨侵蚀力, 而应用降雨侵蚀力的最终目的是预报多年平均年降雨侵蚀力及其季节分布。因此考虑到次降雨资料难以获得, 只要能够估算出降雨侵蚀力的季节分布和年值, 即达到应用目的, 基于上述分析, 本文旨在研究用容易获得的常规降雨资料估算降雨侵蚀力的方法, 既满足计算精度要

求——用降雨强度表征, 同时满足计算降雨侵蚀力季节分布要求——计算半月降雨侵蚀力。研究表明, 次降雨量 P 与 10min 最大雨强 I_{10} 的乘积 PI_{10} 可以作为我国降雨侵蚀力指标, 它定量表述降雨侵蚀力的效果与常用侵蚀力指标 EI_{30} 相当。

目前, 我国基本气象站或水文站已经整编了自从建站以来的日雨量 P_d 和日 10min 最大雨强 I_{10d} 文档资料。因此, 本文通过分析次降雨资料 P, I_{10} 与对应的日降雨资料 P_d, I_{10d} 的关系, 建立了用日雨量和雨强资料计算降雨侵蚀力的方法。通过采用气象站或水文站点的常规资料, 不仅可以促进气象水文资料在土壤侵蚀与水土保持研究中的应用, 而且由于使用了较为简便的方法和易得的资料, 也有助于推广降雨侵蚀力指标的应用。

收稿日期: 2001-09-02

资助项目: 国家杰出青年基金资助项目“中国土壤侵蚀预报模型研究”(批准号: 49725103); 教育部骨干教师基金“半干旱地区土地退化及其防治对策”(批准号: G2000018602)

作者简介: 谢云(1964-), 女(回族), 辽宁省大连市人, 博士, 副教授, 主要从事降雨侵蚀与水土保持, 气候及其影响评价等研究, 发表论文 20 余篇。电话 (010) 62207391, E-mail xieyun@bnu.edu.cn

1 资料和方法

选择全国 8 个气象站共约 104 a 的次降雨和日降雨资料 (表 1)。8 个气象站分布在我国东部季风区的南亚热带至中温带、西北干旱区的中温带, 所属气候带土地面积占全国总面积的 62.3%^[19]。

表 1 8 个气象站基本情况与降雨资料

编号	气象站名	海拔高度 /m	经度	纬度	资料年限
1	陕西安塞	1 067.7	109°19'	36°53'	1980-2000
2	宁夏固原	1 752.8	106°16'	36°00'	1978-1982
3	甘肃西峰 ^①	1 421.9	107°38'	35°44'	1965-1979
4	山西原平	828.3	112°43'	38°44'	1956-1980
5	山西大同	1 069.0	113°2'	40°06'	1956-1980
6	广西南宁 ^①	73.7	108°21'	22°49'	1970-1973
7	四川成都	507.3	104°01'	30°40'	1970-1973
8	江苏南京	12.5	118°48'	32°00'	1969-1973

注: ① 用于模型检验的站点。

日雨量和日最大 10 min 雨强资料取自气象站常规观测资料。次降雨资料由降雨过程资料摘录。摘录时, 若一次降雨过程中, 降雨间歇时间在 6 h 以上, 或连续 6 h 降雨量不足 1.2 mm, 则视为 2 次降雨事件, 否则为 1 次降雨事件^[5]。由于并非所有的降雨事件都导致侵蚀, 而不造成侵蚀的小降雨事件又十分庞大^[17,20], 既增加计算量, 又会影响降雨侵蚀力的计算精度, 因此, 根据侵蚀性降雨标准, 只摘录次或日降雨量在 12 mm 以上的降雨事件^[21]。

气象上日降雨量是从前一天 20 点累加至当天 20 点。由于次降雨与日降雨无法一一对应起来, 为了理解它们之间的关系, 将所有可能出现的情况进行分类 (表 2)。

表 2 侵蚀性降雨的次降雨和日降雨关系

类型	定义	次降雨与日降雨关系
I	一日仅含一次降雨	次雨量等于日雨量, 次 10 min 最大雨强等于日 10 min 最大雨强, 次降雨侵蚀力等于日降雨侵蚀力。
II	一次降雨跨多日	一次降雨量等于几个日雨量之和, 一个次 10 min 最大雨强, 多个日 10 min 最大雨强, 次 10 min 最大雨强等于多个日 10 min 最大雨强中的最大值, 次降雨侵蚀力大于等于多个日降雨侵蚀力之和。
III	一日包含多次降雨	日雨量等于次雨量之和, 一个日 10 min 最大雨强, 多个次 10 min 最大雨强, 日 10 min 最大雨强等于多个次 10 min 最大雨强中的最大值, 日降雨侵蚀力大于等于次降雨侵蚀力之和。

这种不对应性导致无法直接由次值计算日值, 同时也无必要计算逐日降雨侵蚀力。因此需划分一定的时间段, 分别合并段内的次值和日值, 分析次日之间的关系。按一定时段合并后, 会减少次降雨与日降雨无法一一对应的概率, 也就减小了替代误差。本研究参考 RUSLE 研究结果^[2], 采用半月步长为时段进行合并, 这对反映降雨侵蚀力的季节变化已经足够。

首先利用次、日降雨资料计算半月降雨侵蚀力, 分别称为半月次降雨侵蚀力 R_x 和半月日降雨侵蚀力 R_d , 然后建立二者之间的回归关系:

$$R_x = bR_d + X \quad (1)$$

式中: b, X —待求参数。显然如果系数 b 愈趋于 1, X 愈趋于 0, 表明二者计算结果接近, 可以用日降雨资料替代次降雨资料计算降雨侵蚀力, 否则不宜替代。问题实质变为, 根据统计假设检验, 判断半月次降雨侵蚀力与半月日降雨侵蚀力之间的回归方程是否为通过原点的 1: 直线。

本研究取半月步长为 1 个时间段, 计算半月降雨侵蚀力。半月时段的划分方法如下: 每月第 1—15 日为一个半月, 该月剩下的日数为另一个半月, 全年依次划分为 24 个半月, 半月天数变动于 13, 14, 15, 16 日。如果一次降雨恰好跨 2 个半月, 则将这场降雨记在其最大 10 min 雨强 I_{10} 所处的半月时段。半月次降雨侵蚀力 R_x 计算方法如下:

$$R_x = \sum_{j=1}^m P_j I_{10j} \quad (2)$$

式中: P_j —次降雨量 (mm); I_{10j} —对应的次最大 10 min 雨强 (mm/h), $j = 1, \dots, m$ 表示半月内有 m 次降雨事件。半月日降雨侵蚀力 R_d 计算公式如下:

$$R_d = \sum_{i=1}^n (P_d I_{10d})_i \quad (3)$$

式中: P_d —日降雨量 (mm); I_{10d} —日最大 10 min 雨强 (mm/h); $i = 1, \dots, n$, 为半月内有 n 天降雨事件。

2 结果分析

在次日降雨关系的第 I 类型中, 由于所有次日的降雨参数完全相同, 半月次降雨侵蚀力等于半月日降雨侵蚀力, 可以用日降雨资料代替次降雨资料计算降雨侵蚀力。而 II, III 类型中, 由于次降雨参数与日降雨参数不同, 计算的降雨侵蚀力也有差异。II 类型是一次降雨跨多日, 这样, 对应各日的雨强小于或等于次雨强, 从而使日降雨侵蚀力小于次降雨侵蚀力。III 类型则相反, 由于是多次降雨在一日, 使一日雨强可取其中的最大值, 日降雨侵蚀力大于次降雨侵蚀力之

和。根据陕西省安塞县气象站 1980—2000 年侵蚀性次降雨和日降雨的统计(表 3), I 型降雨为主, 占降雨总次数的 57%, II 型降雨占 36.2%, III 型降雨较少, 仅占 6.8%。从雨量和雨强分布看, I, III 型平均次降雨量较少, 分别为 24 mm 和 22 mm, 而 II 型次降雨量可达 30 mm 但 I, III 型时段雨强较大, 10 min 最大雨强分别为 29.3 mm/h 和 30.7 mm/h, II 型 10 min 最大雨强只有 16.3 mm/h 这与 I, III 型多短历时、高强度降雨, II 型多长历时、小强度降雨有关

表 3 安塞县 1980—2000 年侵蚀性次降雨和日降雨关系类型

类型	降雨次数	平均次降雨量 / mm	平均时段雨强 $I_{10} / (mm \cdot h^{-1})$
I	126	24.4	29.3
II	80	30.1	16.3
III	15	21.6	30.7
总计	221	26.3	24.7

各气象站半月次与半月日降雨侵蚀力回归方程系数见表 4 最佳线性回归方程自变量的系数变化于 0.983~1.050, 接近于 1, 截距项与半月次降雨侵蚀力之比变化于 -0.14~0.07, 表明该项与自变量的数量级相比很小。方程拟合的决定系数为 0.909~0.982 进一步对方程系数的统计检验表明, 该方程与通过原点直线方程的系数差异不显著^[21], 因此可采用过原点的线性回归。回归系数变化于 0.994~1.071, 方程的决定系数为 0.906~0.982 图 1 中次降雨侵蚀力与日降雨侵蚀力的散点关系图也表明了二者之间的高度相关关系。因此可以用日降雨资料替代次降雨资料计算降雨侵蚀力, 计算结果没有显著性差异。

各站点方程的回归系数 b 相差不大, 平均变异系数 C_v 只有 0.023 进一步对系数 b 进行的差异性检验表明, 各站点差异不显著, 通过了置信度为 0.01 的水

平^[22], 表明系数 b 没有明显的区域分异, 因此可以用相同系数下以日降雨资料为变量的回归关系方程, 估算各地区半月降雨侵蚀力。根据 8 个站点次和日降雨资料建立的方程如下:

$$R = 1.03 \sum_{i=1}^n (P_d I_{10d})_i \quad R^2 = 0.966 \quad (4)$$

式中各项意义同前, 由于雨量单位为 mm, 雨强单位为 mm/h, 因此 (4) 式单位为 $mm \cdot mm/h$ 为了与国际比较通用的降雨侵蚀力指标 EI_{30} 对比, 根据指标 PI_{10} 与指标 EI_{30} 之间的转换关系, 上式改写为:

$$R = 0.184 \sum_{i=1}^n (P_d I_{10d})_i$$

式中符号意义同前, 日雨量 P_d 单位为 mm, 日 10 min 最大雨强 I_{10d} 单位为 mm/h, 而降雨侵蚀力单位为 $MJ \cdot mm / (hm^2 \cdot h)$

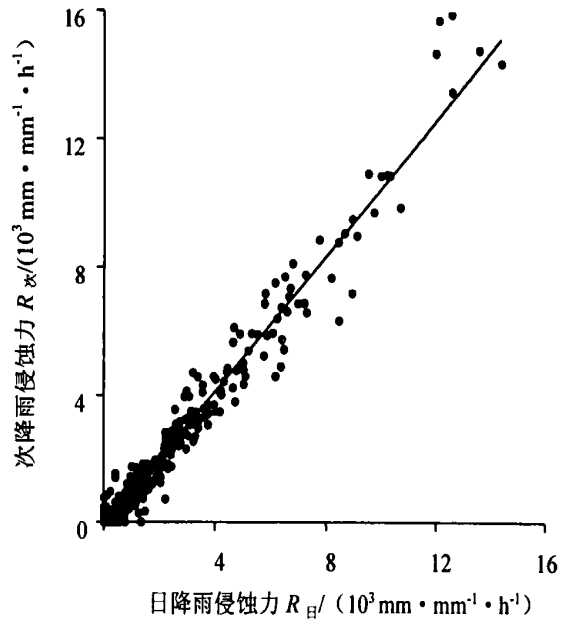


图 1 日降雨侵蚀力与降雨侵蚀力的散点关系图

表 4 半月侵蚀力模型在每个气象站点的回归分析结果

气象站	最佳线性回归			通过原点线性回归		截距项与平均次降雨侵蚀力之比
	B	X	R^2	b	R^2	
陕西安塞	1.020	10.440	0.982	1.023	0.982	0.010
宁夏固原	0.991	22.550	0.912	1.003	0.911	0.030
甘肃西峰	1.069	-166.020	0.963	1.016	0.956	-0.170
山西原平	0.983	150.780	0.909	1.026	0.906	0.070
山西大同	1.050	-77.010	0.954	1.031	0.953	-0.030
广西南宁	1.108	-508.610	0.954	1.042	0.948	-0.110
四川成都	1.017	-140.020	0.974	0.994	0.973	-0.040
江苏南京	1.127	-408.360	0.973	1.071	0.967	-0.140
平均	1.046	-139.530	0.953	1.026	0.950	-0.048
变异系数	0.050	-1.5940	0.029	0.023	0.029	-1.796

3 结 论

由于次降雨与日降雨无法一一对应,将它们之间的关系分为3类:1d只包含1次降雨(I型),1次降雨跨多日(II型),和1d多次降雨(III型)安塞县1980-2000年次、日降雨事件的统计表明,I型降雨为主,占总降雨次数的57%。I、III型多短历时、大强度降雨,II型则多长历时、小强度降雨。I型降雨次和日是相对应的,可直接用日降雨资料代替次降雨资料计算降雨侵蚀力。但II、III型由于次、日降雨的不对应性,会形成替代误差。

对全国不同气候区的8个气象台站次降雨、日降雨资料的分析结果表明,用日降雨资料计算的半月降雨侵蚀力与用次降雨资料计算的半月降雨侵蚀力高度线性相关,其回归方程趋近于通过原点,斜率为1的直线,这表明可以用日降雨资料代替次降雨资料计算降雨侵蚀力,替代误差不显著。而且不同地区方程的系数差异不显著,因此可采用统一的方程,用日降雨资料估算不同地区半月降雨侵蚀力。计算公式为: $R = 1.035 \sum_{i=1}^k (P_d I_{10d})_j$, 决定系数达到了0.966,式中降雨侵蚀力单位为 $\text{mm}^2 \cdot \text{mm}/\text{h}$,将其进一步转换为常用指标 EI_{30} ,采用的单位为 $\text{MJ} \cdot \text{mm}/\text{hm}^2 \cdot \text{h}$ $R = 0.184 \sum_{i=1}^k (P_d I_{10d})_j$ 。用日降雨资料计算半月降雨侵蚀力,不仅对推广使用气象水文资料分析降雨对土壤侵蚀的影响具有十分重要的意义,而且由于简化了用 EI_{30} 指标计算降雨侵蚀力的传统方法,便于降雨侵蚀力指标的推广应用。

[参 考 文 献]

- [1] Renard K G, Foster G R, Weesies G A, McCool D K, Yoder D C. Predicting Soil Erosion By Walter A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)[Z]. National Technical Information Service, United States Department of Agriculture (USDA). 1997.
- [2] Lal R. Soil erosion research methods[M]. Florida St. Lucie Press, 1994.
- [3] 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.
- [4] Ferro V, Porto P, Yu B. A comparative study of rainfall erosivity estimation for southern Italy and southeastern Australia[J]. Hydrological Sciences Journal. 1999, 44(1): 3-24.
- [5] Mikhailova E A, Bryant R B, Schwager S J, Smith S D. Predicting rainfall erosivity in Honduras[J]. Soil Sci. Soc. Am. J. 1997, 61: 273-279.
- [6] Richardson C W, Foster G R, Wright D A. Estimation of erosion index from daily rainfall amount[J]. Transactions of the ASAE, 1983, 26(1): 153-156.
- [7] Haith D A, Merrill D E. Evaluation of a daily erosivity model[J]. Trans., ASAE, 1987, 30(1): 90-93.
- [8] Selker J S, Haith D A, Reynolds J E. Calibration and testing of a daily rainfall erosivity model[J]. Trans., ASAE, 1990, 33(5): 1612-1688.
- [9] Bagarello V, Asaro F D. Estimation single storm erosion index [J]. Trans., ASAE, 1994, 37: 785-791.
- [10] Elsenbeer H, Cassel D K, Timmer W. A daily rainfall erosivity model for Western Amazonia [J]. J. Soil and Water Cons. 1993, 48(5): 439-444.
- [11] Sheridan J M, Davis F M, Mester M L, Kisel W G. Seasonal distribution of rainfall erosivity in peninsular Florida[J]. Trans., ASAE. 1989, 32(5): 1555-1560.
- [12] 赵富海,赵宏夫.编制张家口市降雨侵蚀力R值图的研究[M].见:永定河上游张家口市水土流失规律与土地改良利用.北京:环境科学出版社,1995.16-22.
- [13] 张宪奎,许谨华,卢秀琴,等.黑龙江省土壤流失方程的研究[J].水土保持通报,1992,12(4): 1-9.
- [14] 杨子生.滇东北山区坡耕地土壤流失方程研究[J].水土保持通报,1999,19(1): 1-9.
- [15] 吴素业.安徽大别山区降雨侵蚀力简易算法与时空分布规律研究[J].中国水土保持,1994,4: 12-13.
- [16] 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.
- [17] 王万忠,焦菊英,郝小品.中国降雨侵蚀力R值的计算与分布(I)[J].水土保持学报,1995,9(4): 5-18.
- [18] Hudson N. Soil Conservation[M]. Ames, USA: Iowa State University Press, 1995(3): 56-57.
- [19] 中国气候资源地图集[Z].北京:地图出版社,1994.
- [20] 加生荣,徐雪良.黄丘(I)副区小流域降雨特性研究.见:黄丘(I)副区小流域产流产沙数学模型及应用研究[C].黄委会绥德水土保持科学试验站,1992.16-35.
- [21] 谢云,刘宝元,章文波.侵蚀性降雨标准研究[J].土壤侵蚀与水土保持学报,2000,14(4): 6-11.
- [22] Snedecor G W, Cochran W G. 统计方法[M].上海:上海翻译出版公司,1991.227-229.