

北京侵蚀性降雨标准研究

刘和平¹, 袁爱萍², 路炳军², 邸超¹

(1. 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 北京 100875; 2. 北京市水土保持工作站, 北京 100036)

摘要: 降雨侵蚀力反映了雨滴击溅和降雨产生的径流对土壤的侵蚀能力, 侵蚀性降雨标准可以将引起侵蚀和不引起侵蚀的降雨区分开来, 该标准的确定可以大量减少计算降雨侵蚀力的工作量。利用北京密云石匣水土保持实验站坡耕地小区和休闲地小区 10 年的降雨径流泥沙观测资料, 分析了不同大小样本序列下的侵蚀性降雨的降雨量标准。结果表明, 样本数达到 7 年时, 所拟定的降雨量标准才能稳定。确定了北京的侵蚀性降雨的雨量标准和最大 30 min 雨强标准, 分别为 18.9 mm 和 17.8 mm/h, 该研究结果可为北京山区土壤侵蚀预报参数的计算提供依据。

关键词: 北京山区; 侵蚀性降雨标准; 降雨侵蚀力

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)01-0215-03

Study on Erosive Rainfall Standard of Beijing

LIU He-ping¹, YUAN Ai-ping², LU Bing-jun², DI Chao¹

(1. School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875;

2. Soil and Water Conservation Station of Beijing City, Beijing 100036, China)

Abstract: Rainfall is an important factor in causing soil erosion, and its ability to cause soil erosion is referred to as rainfall erosivity. Determination of a practical threshold for separating erosive and non-erosive rainfall events can reduce the amount of work necessary to calculate rainfall erosivity. In this study, 10 years rainfall and sediment data at Miyun water and soil conservation station in Beijing were used to analyze the effects of sample size on the threshold of erosive rainfall standard and determine erosive rainfall standard. The results showed that a sample of 7-year could satisfy the requirements of obtaining a stable erosive rainfall standard. Rainfall amount standard and 30-minute maximum rainfall intensity standard of erosive rainfall event were 18.9 mm and 17.8 mm/h, respectively. This result can serve the soil loss prediction and water and soil resource management in Beijing mountainous area.

Key words: Beijing mountainous area; erosive rainfall standard; rainfall erosivity

1 引言

降雨侵蚀力(R)是指降雨引起土壤侵蚀的潜在能力, 是降雨特性的函数^[1], USLE^[2,3]和 RUSLE^[4]用 EI_{30} 来对其进行评价, 它是一次降雨的总动能 E 与其最大 30 min 雨强 I_{30} 的乘积, EI_{30} 的计算需要次降雨过程资料, 工作量很大。并不是所有的降雨事件都能引起土壤侵蚀, 只有能够产生足够径流来搬运泥沙的降雨才是侵蚀性的^[5]。根据王万忠^[6]的研究, 黄土地区每年引起土壤流失的降雨次数平均为 6 次, 占年总降雨次数的 7%, 占汛期降雨次数的 14%; 每年引起土壤流失的降雨量平均为 140 mm, 占年总降雨量的 26.4%, 占汛期雨量的 38.6%。可见, 许多小的降雨并不引起土壤侵蚀, 因此, 有必要区分侵蚀性降雨和非侵蚀性降雨, 这就需要确定一个标准, 即侵蚀性降雨标准。该指标的确定可以大大减少降雨侵蚀力计算的工作量, 提高计算精度。拟定侵蚀性降雨标准时有两个关键问题: 一个是样本序列大小的确定, 另一个是侵蚀性降雨指标的选择。国内外在拟定侵蚀性降雨标准时, 所用资料的样本数长短各异。杨子生^[7,8]在拟

定云南省侵蚀性降雨标准时, 用了 1995~1997 年共 56 次降雨资料。Wischmeier^[3,4]在拟定侵蚀性降雨标准时, 则利用了全美国 4 000 个小区年的资料。金建君等^[9]利用 8 年的资料通过分析认为选取 5 年的样本序列即可得到稳定的侵蚀性降雨的雨量标准。

不同的学者确定的侵蚀性降雨标准差异较大。Wischmeier 和 Smith^[3]在计算侵蚀指标时排除了降雨量小于 12.7 mm 的降雨, 而当 15 min 内降雨量达到 6.4 mm, 则不排除该次降雨。Elwell 和 Stocking^[10]采用日降雨量 25 mm 和最大雨强 25 mm/h 同时作为标准来估算 Rhodesia 的年土壤流失和径流。在中国, 侵蚀性降雨标准的研究一直基于降雨特性或土壤侵蚀和降雨的关系。王万忠^[6]在考虑了土壤流失和降雨特性之间的关系后, 提出分别以降雨量、平均雨强和降雨瞬时雨率作为指标的侵蚀性降雨标准。谢云等^[5]利用黄河流域子洲径流实验站的资料通过分析得出: 以最大 30 min 雨强作为侵蚀性降雨的标准要优于降雨量和平均雨强。

可见不同的学者确定侵蚀性降雨标准时用的资料长短不同, 所确定的侵蚀性降雨标准也因地区的不同而不同。北

* 收稿日期: 2006-06-20

基金项目: 北京师范大学校青年基金资助项目(104962)

作者简介: 刘和平(1982-), 男, 陕西城固人, 硕士, 研究方向为土壤侵蚀及其预防。

京属于暖温带半湿润季风大陆性气候区, 境内地貌复杂, 土壤类型及其分布也很复杂^[11], 目前尚未见到有关本地区侵蚀性降雨标准的研究。因此, 本文将采用谢云^[5]和金建君^[9]的方法, 利用北京市密云县石匣水土保持实验站 10 年的降雨径流泥沙观测资料, 来分析拟定北京地区侵蚀性降雨标准时合适的样本序列大小, 进而拟定北京地区侵蚀性降雨的雨量标准和最大 30 min 雨强标准, 为北京地区土壤侵蚀预报参数计算提供依据。

2 资料和方法

2.1 资料来源

本文选取北京市密云县石匣水土保持实验站坡耕地和休闲地两个小区 1993~1999、2001~2003 年共 10 年的降雨径流泥沙观测资料, 两个小区的具体状况见表 1。

表 1 坡耕地、休闲地小区状况

土壤类型	土地利用	坡度/°	坡向	大小	
坡耕地小区	粗骨褐土	陡坡开荒, 种植玉米	16.5	阳坡	水平坡长 10 m, 面积 50 m ²
休闲地小区	粗骨褐土	休闲地	14.4	半阳坡	水平坡长 10 m, 面积 50 m ²

根据北京地区传统的播种和种植时间, 小区上的玉米在 5 月初种植, 9 月中下旬收获。降雨资料包括发生侵蚀和不发生侵蚀的降雨过程。摘录降雨过程时, 如果降雨间歇在 6 h 以内, 则算作一次降雨过程, 否则分为 2 次降雨过程分别计算次降雨量和相应的降雨侵蚀力。据此标准, 坡耕地小区共摘录降雨过程 328 次; 休闲地小区共摘录降雨过程 327 次。

2.2 研究方法

本文采用 USLE^[2,3] 和 RUSIE^[3] 中的 EI_{30} 来评价降雨侵蚀力 R , 即:

$$R = E \cdot I_{30} \quad (1)$$

$$E = \sum_{r=1}^{i_r} (e_r \cdot P_r) \quad (2)$$

$$e_r = 0.29[1 - 0.72 \exp(-0.05i_r)] \quad (3)$$

式中: R ——降雨侵蚀力 [$\text{MJ} \cdot \text{mm} (\text{hm}^2 \cdot \text{a})$]; I_{30} ——最大 30 min 雨强 (mm/h); E ——一次降雨总动能 ($\text{MJ} \cdot \text{hm}^2$); e_r ——某一雨强一致的时段内的单位降雨动能 [$\text{MJ} / (\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$]; P_r ——与 e_r 对应的时段雨量 (mm); i_r ——降雨强度 (mm/h)。

侵蚀性降雨标准的拟定采用谢云^[5]提出的原则, 即理想的侵蚀性降雨标准应该使得所有符合侵蚀性降雨标准的降雨事件的降雨侵蚀力之和应该等于所有实际引起侵蚀的降雨的侵蚀力之和; 然而实际中两者很难完全相等, 因此取两者最为接近时降雨事件的相应指标作为侵蚀性降雨标准。具体过程为: 先把所有引起土壤侵蚀的降雨的降雨侵蚀力相加, 得到实际降雨侵蚀力; 然后把所有降雨事件的雨量按由大到小排列, 从最大降雨量开始累加其降雨侵蚀力, 直到累加值等于或最接近实际降雨侵蚀力, 此时, 对应的降雨事件的雨量即被确定为侵蚀性降雨的雨量标准。若把上述过程中的雨量换成相应的 I_{30} , 则得到侵蚀性降雨的最大 30 min 雨强标准。

本文用金建君^[9]的方法确定满足拟定侵蚀性降雨标准要求的样本数。首先计算各不同资料长度下的侵蚀性降雨标准序列, 即分别计算 1993 年、1994 年等每一年的侵蚀性降雨标准, 得到 10 个值; 再分别以 1993~1994 年、1994~1995 年等相邻两年的数据计算侵蚀性降雨标准, 得到 9 个值; 以此类推, 直至以 10 年样本资料计算并得到一个侵蚀性降雨标准。然后对不同年限长度下得到的降雨标准的质量用以下三个统计量进行衡量。

变差系数 C_v :

$$C_v = \frac{S}{\bar{x}} \times 100\% \quad (4)$$

式中: S ——某年限程度下得到的侵蚀性降雨标准序列的标准差; \bar{x} 相应年限长度下各侵蚀性降雨标准的平均值。变差系数反映不同年限长度雨量标准的稳定性。

相对误差 REI :

$$REI = \frac{|P_i - P|}{P} \times 100\% \quad (5)$$

式中: P_i ——不同年限长度的侵蚀性降雨标准; P ——以 10 年样本资料计算得到的侵蚀性降雨标准。相对误差表示不同年限长度的侵蚀性降雨标准与总样本的侵蚀性降雨标准的差异。

合格率反映某一年限长度下的侵蚀性降雨标准的相对误差满足给定水平的程度。本文规定: 拟定的侵蚀性降雨标准的相对误差小于等于 10% 时, 该标准是合格的, 则合格率为某一年限长度时, 侵蚀性降雨标准的相对误差小于等于 10% 的个数占该年限长度下的总数目的比例。

为了比较以不同指标作为侵蚀性降雨标准时估算降雨侵蚀力的效果, 本研究采用以下评价指标^[5]。

相对误差 REI , 定义与(5)相同, 此时式中 P_i 表示所有引起侵蚀的降雨事件的侵蚀力之和, P 表示所有高于拟定的侵蚀性降雨标准的降雨事件的侵蚀力之和。相对误差指标表明了根据侵蚀性降雨标准估算的降雨侵蚀力相对于实际值的差异。

错选度 MI :

$$MI = \frac{N_{en} + N_{nc}}{N_t} \times 100\% \quad (6)$$

式中: N_{en} ——高于侵蚀性降雨标准而实际并未引起侵蚀的降雨事件的数目; N_{nc} ——低于侵蚀性降雨标准而实际造成侵蚀的降雨事件的数目; N_t ——降雨事件的总数。错选度反映了所有被误选的降雨事件的比例。

剔除率 EFF :

$$EFF = \frac{N_{mc}}{N_t} \times 100\% \quad (7)$$

式中: N_{mc} ——由侵蚀性降雨标准排除的降雨事件的数目。剔除率评价了节省工作量的有效性。

较好的侵蚀性降雨标准应该有较低的 REI 值和 MI 值以及较高的 EFF 值。

3 结果分析

3.1 满足拟定侵蚀性雨量标准要求的样本数

本文在确定满足拟定侵蚀性降雨标准要求的样本数时, 只以降雨量标准进行了分析。表 2 和表 3 分别是坡耕地和休闲地小区的不同年限长度对应的侵蚀性降雨的雨量标准; 表 4 和表 5 是坡耕地小区和休闲地小区不同年限长度的侵蚀性雨量标准的相对误差、合格率与变差系数。

由表 2、表 3、表 4 和表 5 可以看出, 资料序列长度对拟定的侵蚀性降雨标准影响很大。当年限较少时, 侵蚀性降雨的雨量标准差异较大, 相对误差和变差系数很高, 合格率很低。例如当 $N=1$ 时, 雨量标准的最大值为 68 mm, 最小值为 12.8 mm, 两者相差 5 倍多; 坡耕地小区的平均相对误差高达 69.3%, 变差系数 62.5%, 休闲地小区的平均相对误差高达 69.6%, 变差系数 62.5%; 两小区的合格率均仅为 10.0%。

随着样本年限的延长, 雨量标准的差异逐渐减小, 变差系数和相对误差逐渐减小, 合格率也随之升高, 侵蚀性降雨的雨量标准趋于稳定(表 2-表 5)。如 $N=9$ 时, 坡耕地小区上雨量标准相差 1.5 mm, 平均误差为 3.9%, 变差系数

5.4%; 休闲地小区上雨量标准相差 1.1 mm, 平均误差为 2.9%, 变差系数 4.0%。当 $N = 7$ 时, 两个小区上的合格率均达到 100%, 因此, 可以认为 7 年的降雨资料可以满足拟定侵蚀性雨量标准的要求, 略高于李建君等^[9]的结果。

表 2 坡耕地小区不同年限长度的侵蚀性雨量标准

序列长度	侵蚀性雨量标准/mm									
$N = 1$	12.8	30.7	51.3	18.9	68.0	16.9	28.9	15.6	14.3	31.2
$N = 2$	20.5	30.7	23.8	26.1	20.0	15.0	15.6	15.6	24.4	
$N = 3$	21.0	27.6	27.6	20.0	20.0	15.6	15.6	16.9		
$N = 4$	21.0	27.0	21.0	18.9	18.8	15.6	16.9			
$N = 5$	21.8	23.8	21.0	18.8	18.8	16.9				
$N = 6$	20.5	23.8	18.9	18.8	18.8					
$N = 7$	20.5	20.5	18.9	18.8						
$N = 8$	19.0	20.0	18.9							
$N = 9$	19.0	20.5								
$N = 10$	19.0									

表 3 休闲地小区不同年限长度的侵蚀性雨量标准

序列长度	侵蚀性雨量标准/mm									
$N = 1$	12.8	30.7	51.3	18.9	68.0	16.9	28.9	15.6	14.3	31.2
$N = 2$	20.5	27.6	21.5	26.1	23.0	15.0	15.6	15.6	24.4	
$N = 3$	21.0	27.0	27.6	20.0	20.0	15.6	15.6	16.9		
$N = 4$	20.5	27.0	21.0	20.0	18.8	15.6	16.9			
$N = 5$	21.5	23.0	21.0	18.8	18.8	16.9				
$N = 6$	20.5	23.0	18.8	18.8	16.9					
$N = 7$	20.5	20.0	18.8	18.8						
$N = 8$	18.9	20.0	18.9							
$N = 9$	18.9	20.0								
$N = 10$	18.9									

表 4 坡耕地小区不同年限长度的侵蚀性雨量标准的相对误差、合格率与变差系数

序列长度	相对误差/%										合格率/%		变差系数/%	
$N = 1$	32.6	61.6	170.0	0.5	257.9	11.1	52.1	17.9	24.7	64.2	10.0	62.5		
$N = 2$	7.9	61.6	25.3	37.4	5.3	21.1	17.9	17.9	28.4		22.2	25.4		
$N = 3$	10.5	45.3	45.3	5.3	5.3	17.9	17.9	11.1			25.0	23.5		
$N = 4$	10.5	42.1	10.5	0.5	1.1	17.9	11.1				28.6	18.7		
$N = 5$	14.7	25.3	10.5	1.1	1.1	11.1					33.3	12.3		
$N = 6$	7.9	25.3	0.5	1.1	1.1						80.0	10.7		
$N = 7$	7.9	7.9	0.5	1.1							100.0	4.8		
$N = 8$	0.0	5.3	0.5								100.0	3.2		
$N = 9$	0.0	7.9									100.0	5.4		
$N = 10$	0.0										100.0	0.0		

表 5 休闲地小区不同年限长度的侵蚀性雨量标准的相对误差、合格率与变差系数

序列长度	相对误差/%										合格率/%		变差系数/%	
$N = 1$	32.3	62.4	171.4	0.0	259.8	10.6	52.9	17.5	24.3	65.1	10.0	62.5		
$N = 2$	8.5	46.0	13.8	38.1	21.7	20.6	17.5	17.5	29.1		11.1	22.5		
$N = 3$	11.1	42.9	46.0	5.8	5.8	17.5	17.5	10.6			25.0	23.0		
$N = 4$	8.5	42.9	11.1	5.8	0.5	17.5	10.6				42.9	18.4		
$N = 5$	13.8	21.7	11.1	0.5	0.5	10.6					33.3	11.1		
$N = 6$	8.5	21.7	0.5	0.5	10.6						80.0	11.7		
$N = 7$	8.5	5.8	0.5	0.5							100.0	4.4		
$N = 8$	0.0	5.8	0.0								100.0	3.3		
$N = 9$	0.0	5.8									100.0	4.0		
$N = 10$	0.0										100.0	0.0		

3.2 侵蚀性降雨的标准

3.2.1 侵蚀性降雨的雨量标准

根据 1993~ 1999、2001~ 2003 年共 10 年的观测资料得

到坡耕地小区和休闲地小区的侵蚀性降雨的雨量标准分别为 19.0 mm 和 18.9 mm (见表 2 和表 3), 对于坡耕地小区, $REI = 0.29\%$, $MI = 8.2\%$, $EFF = 82.0\%$, 对于闲地小区, $REI = 0.23\%$, $MI = 8.9\%$, $EFF = 82.0\%$ 。可见两个小区的侵蚀性降雨的雨量标准差异不大, 估算的降雨侵蚀力与实际的降雨侵蚀力误差不到 0.3%, 误选降雨事件的比例低于 9%, 并能够大大减少工作量。

Wischmeier 和 Smit h^[3]所用的雨量标准为 12.7 mm, 王万忠^[12]拟定的侵蚀性降雨的一般标准为 9.9 mm, 张宪奎等^[13]拟定的黑龙江地区的侵蚀性降雨的基本雨量标准为 9.8 mm, 杨子生^[7]利用滇东北山区标准小区上的资料确定的该标准为 9.2 mm, 谢云等^[5]利用黄河流域子洲实验站的资料, 推荐的标准为 12 mm。相比之下, 本研究得出的结果偏高, 这可能与本地区的降雨特征、植被覆盖以及土壤性质等有关。北京位于暖温带半湿润季风大陆性气候区, 90% 以上的降水量集中在 4~ 9 月, 其中 6~ 8 月的降雨量占全年的 75%^[11], 而同时此期间又是玉米的生长季, 玉米的覆盖度在 7 月下旬达到最大^[14], 这就使得雨季大量的降雨动能消耗于冠层而不能直接作用于地表, 从而提高了玉米地小区上侵蚀性降雨的雨量标准。

3.2.2 侵蚀性降雨的最大 30 min 雨强标准

由坡耕地小区和休闲地小区这 10 年的资料得到侵蚀性降雨的最大 30 min 雨强标准均为 17.8 mm/h(表略)。对于坡耕地小区, $EI = 0.1\%$, $MI = 11.3\%$, $EFF = 80.8\%$; 对于休闲地小区, $REI = 0.1\%$, $MI = 10.1\%$, $EFF = 80.4\%$ 。两个小区上得出的最大 30 min 雨强标准非常一致, 估算的降雨侵蚀力与实际的降雨侵蚀力误差仅 0.1%, 误选降雨事件的比例大约为 11%, 排除降雨事件达到 80% 以上, 减少工作量非常显著。通过这些指标的比较, 我们认为雨量标准与最大 30 min 雨强标准没有显著差别。

不同的学者研究求得了我国不同地区的侵蚀性降雨的 30 min 最大降雨量标准(表 6)。

表 6 中国不同地区的侵蚀性降雨标准

地区	代表性土壤	地点	I_{30} 标准/mm	研究者
西北	黄土	陕北子洲	7.2	王万忠
	黄土	甘肃西峰	7.5	江忠善
	黄土	陕北子洲	7.1	刘元保
东北	黑土	黑龙江宾县	8.0	高峰
西南	紫色土	四川资阳	10.7	张奇

注: (1) 表中, I_{30} 为 30 min 最大降雨时段的雨量标准; (2) 数据取自文献 [15]。

由表 6 第 4 列可以计算出, 王万保、江忠善、刘元保拟定的西北地区侵蚀性降雨最大 30 min 雨强标准分别为 14.4 mm/h、15.0 mm/h、14.2 mm/h, 高峰拟定东北地区的该标准为 16.0 mm/h, 张奇确定西南地区的该标准为 21.4 mm/h。谢云等^[3]利用黄河流域子洲实验站的资料拟定的标准为 13.3 mm/h。与以上结果相比, 本研究得到的最大 30 min 雨强标准适中。

4 结 论

本文利用北京市密云县石匣水土保持实验站坡耕地和休闲地两个小区 1993~ 1999 年、2001~ 2003 年共 10 年的资料, 分析了不同年限长度下侵蚀性降雨的雨量标准, 并拟定了侵蚀性降雨标准, 主要结论如下:

- (1) 随着选取资料年限增加, 侵蚀性降雨的雨量标准趋于 (下转第 220 页)



图 3 黄联土林堆积扇

由于本次工作条件有限,要深入研究土林的成因还需做进一步的勘查工作,才能得到更为确凿的成因证据,因此本文提出的成因模式仅供大家探讨。

参考文献:

- [1] 王兰生,王小群,等.四川省地质遗迹景观调查攀西分区报告[R].成都理工大学,2005.
- [2] 明庆忠,刘丽娜,李春茂,等.丹霞地貌、土林地貌与旅游开发[J].云南师范大学学报,2005,20(3):63-67.
- [3] 陈述云,张建云.元谋土林的形成条件及发育速率[J].云南地质,1994,13(4):383-390.

(上接第 217 页)

稳定,所拟定雨量标准的相对误差和变差系数都减小,选取 7 年的资料序列时雨量标准的合格率达到 100%,因此,7 年的资料序列可以满足北京地区拟定侵蚀性雨量标准的要求。

(2)北京山区侵蚀性降雨的雨量标准和最大 30 min 雨强标准分别为 18.9 mm 和 17.8 mm/h,以这两个指标作为参考文献:

- [1] 刘宝元,谢云,张科利.土壤侵蚀预报模型[M].北京:中国科学技术出版社,2001.
- [2] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: guide for selection of practices for soil and water conservation. Agric Handb 282 [M]. Washington, D C: USDA, 1965.
- [3] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. Agric Handb 537 [M]. Washington, D C: USDA, 1978.
- [4] Renard K G, Foster G R, Weesies G A, et al. Prediction soil erosion by water: A Guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Agric Handb 703 [M]. Washington, D C: USDA, 1997.
- [5] Xie Y, Liu B, Nearing M A. Practical Thresholds for Separating Erosive and Non-Erosive Storms [J]. Transactions of the ASAE, 2002, 45(6):1843-1847.
- [6] 王万忠.黄土地区降雨特性与土壤流失关系的研究(I)[J].水土保持通报,1983,3(4):7-13.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 金建君,谢云,张科利.不同样本序列下侵蚀性雨量标准的研究[J].水土保持通报,2001,21(2):31-33.
- [10] Elwell H A, Stocking M A. Parameters for estimating annual runoff and soil loss from agricultural lands in Rhodesia [J]. Water Resources Research, 1975, 11(4): 601-605.
- [11] 霍亚贞.北京自然地理[M].北京:北京师范大学出版社,1989.
- [12] 王万忠.黄土地区降雨特性与土壤流失关系的研究(III)[J].水土保持通报,1984,4(2):58-63.
- [13] 张宪奎,许靖华,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] 李双才,孔亚平,符素华.北京山区植被盖度季节变化规律模拟研究[J].北京师范大学学报(自然科学版),2002,38(2):273-278.
- [15] 王万忠,焦菊英.中国的土壤侵蚀因子定量评价研究[J].水土保持通报,1996,16(5):1-20.

侵蚀性降雨标准其效果没有明显差别:估算的降雨侵蚀力与实际的降雨侵蚀力误差在 0.29% 以下,误选事件的比例最高为 11.3%,排除降雨事件达 80% 以上,极大减少了计算降雨侵蚀力的工作量。该研究结果可为北京山区土壤侵蚀预报和水土资源管理服务。