

黄土地区降雨特性与土壤流失关系的研究

Ⅲ — 关于侵蚀性降雨的标准问题

王 万 忠

(中国科学院西北水土保持研究所)

提 要

本文应用频率分析的方法,通过对这一地区坡面土壤侵蚀资料的统计计算,求得了黄土地区侵蚀性降雨的基本标准、一般雨量标准、瞬时雨率标准和暴雨标准,给出了这些标准的有关值和计算方法。

侵蚀性降雨是指能够引起土壤侵蚀的降雨。关于侵蚀性降雨的标准问题,它不仅是降雨特性与土壤流失关系研究中的一个基本的内容,而且它对于降雨侵蚀形成条件的分析、水土保持有关效益的定量评价、水土保持工作的规范化和标准化工作以及人工降雨侵蚀模拟试验等方面都是十分有用的。本文就黄土地区侵蚀性降雨的基本雨量标准、一般雨量标准、瞬时雨率标准和暴雨标准四方面的问题进行初步的分析和讨论,并给出这一地区侵蚀性降雨的有关标准量值。

一、侵蚀性降雨的基本雨量标准

在自然界,并非所有的降雨都能引起土壤侵蚀。也就是说,侵蚀总是由位于某一个临界点以上的雨量所引起。我们把这个临界点的雨量值称为侵蚀性降雨的基本雨量标准或临界雨量标准。关于土壤侵蚀的临界雨量标准,一般可通过人工降雨试验直接测定。但是,这种测定结果往往受降雨下垫面具体条件的限制很大,不便于普遍应用;加上由于试验条件和观测精度的影响,使其所得结果有时带有一定的偶然性。这里我们试图通过对大量天然降雨侵蚀观测资料的统计分析,求得一个适宜的而又便于实际应用的标准量值。

具体方法是,先把侵蚀性降雨的每次降雨量按从大到小的顺序依次递减排列,然后用公式

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100\%$$
 求出经验频率值P (式中m表示某一雨量的序列号, n 表示整个序列的总样本数)。求出P值后,再把各雨量及与其相应的 P值点在频率格纸上绘出频率曲线。从曲线上查得 P = 80%时的雨量值即为侵蚀性降雨的基本雨量标准。

于黄土丘陵沟壑区,沟深坡陡,在这种地形地貌条件下,即使降水强度不大,也易造成水土流失,从而影响了降水资源的有效利用。也就是说,自然因素限制了蒸腾系数较大的作物的发展,限制了农作物产量的提高。

从我们对参考作物蒸腾蒸发量的计算分析看,本地区农作物发展方向,乃是作物系数k。值较小、抗逆性强的作物种类为宜。

这里有两点需要说明：一是为了便于实际应用，上述计算是按农、林、牧三种土地利用条件分别统计计算的。按照黄土地区土地利用特征及资料样本的数量，农地取自坡度为20°左右的无覆盖（或郁闭度在20%以下）的坡耕地。人工草地种有苜蓿，坡度在28°左右，覆盖度大于65%。林地是洋槐林，坡度在30°左右，覆盖度为70%。同时，对上述条件下的农地，又分为四种侵蚀程度各自进行统计计算。这四种侵蚀程度的侵蚀量指标是：弱度（100—500吨/平方公里）；轻度（501—1,000吨/平方公里）；中度（1,001—5,000吨/平方公里）；强度（大于5,000吨/平方公里）。二是为什么要以频率值 $P = 80\%$ 时的降雨量作为侵蚀性降雨的标准？这主要是考虑到，天然降雨雨型变化和降雨下垫面条件相对差异及雨前土壤含水量这三种因素对观测结果可靠程度的影响。例如，有时由于雨前土壤含水量很大，使得一次微量的降水也会引起土壤侵蚀；而在一般情况下，这一雨量并不能产生土壤侵蚀现象。我们取 $P = 80\%$ 时的雨量值作为侵蚀性降雨的基本雨量标准，正是为了消除上述的不可靠的观测结果，得到一个普遍的较为准确的标准值。

计算结果表明，黄土地区侵蚀性降雨的基本雨量标准是：农地8.1毫米，人工草地10.9毫米，林地14.6毫米；弱度9.0毫米，轻度11.5毫米，中度14.2毫米，强度25.0毫米（见表1）。对于上述7个雨量标准所要求的降雨强度（指一次降雨的平均强度），一般应分别大于0.26毫米/分钟，0.32毫米/分钟，0.32毫米/分钟，0.25毫米/分钟，0.28毫米/分钟，0.35毫米/分钟，0.50毫米/分钟。

表1 黄土地区侵蚀性降雨的基本雨量标准

类别		基本雨量标准 (毫米)	不同历时(小时)雨量标准(毫米)							
			0.5	1	8	6	9	12	15	24
不同土地利用	农地	8.1	7.7	9.1	14.4	19.6	23.4	26.6	29.3	36.0
	人工草地	10.9	10.4	12.1	16.7	23.0	27.7	31.7	35.1	43.5
	林地	14.6	11.9	14.5	21.0	28.3	33.7	38.1	42.0	51.4
不同侵蚀程度	弱度	9.0	8.5	10.4	15.6	21.7	26.4	30.3	33.8	42.3
	轻度	11.5	9.7	11.9	17.8	25.0	30.5	35.1	39.2	49.3
	中度	14.2	12.5	15.9	25.1	36.6	45.5	53.2		
	强度	25.0	21.9	28.6	43.4					

应当指出，上面我们所求得的7个基本雨量标准，是单就降雨量这一因子分析的，并非考虑降雨历时，这显然是不够全面的。一方面，对于侵蚀性降雨来说，不同的降雨历时所要求的雨量标准是不同的。也就是说，对于不同的降雨历时总有一个与其相适应的雨量值，当达到这个标准时就会产生土壤侵蚀。所以，侵蚀性降雨的基本雨量标准是降雨历时的函数，它是一个“相对的”变量，而不是一个“绝对的”常量。这样我们在应用上述7个标准值时，就显得不够具体和方便。另一方面，由于我们笼统的取 $P = 80\%$ 作为雨量标准的界限，这样就可能会把一些极短历时降雨产生土壤侵蚀的现象忽略掉。所以在求得上述7个标准值的同时，还需要对不同历时侵蚀性降雨的基本雨量标准作一计算分析。

计算不同历时侵蚀性降雨基本雨量标准的方法是：以每次侵蚀性降雨的降雨历时(T)为横

坐标, 以其降雨量为纵坐标点绘在普通坐标纸上。从散点的上界包线向下描绘 $P = 80\%$ 时的一条曲线(可参照 R 与 T 的回归曲线)。这条曲线就可基本作为不同历时侵蚀性降雨的雨量标准变化曲线。然后用回归分析方法对这条曲线进行定量的描述。由此得到了计算不同历时雨量标准的方程式(见表2)。上述计算是按三种地面条件和四个侵蚀程度分别进行的。关于方程式中 T 的取值范围是根据资料所实际存在的降雨历时规定的。在无资料的情况下, 未对 T 作延伸。

表2 黄土地区不同历时侵蚀性降雨的雨量标准计算公式

类别		方 程 式	
		T_1 (分钟)	T_2 (小时)
不同 土地 利用	农 地	$R = 3.16T_1^{0.28} \quad 5 \leq T_1 \leq 60$	$R = 8.9T_2^{0.44} \quad 1 < T_2 \leq 24$
	人工草地	$R = 4.90T_1^{0.22} \quad 20 \leq T_1 \leq 120$	$R = 10.1T_2^{0.40} \quad 2 < T_2 \leq 24$
	林 地	$R = 4.60T_1^{0.28} \quad 45 \leq T_1 \leq 120$	$R = 13.1T_2^{0.43} \quad 2 < T_2 \leq 24$
不同 侵蚀 程度	弱 度	$R = 3.3T_1^{0.28} \quad 10 \leq T_1 \leq 120$	$R = 9.2T_2^{0.48} \quad 2 < T_2 \leq 24$
	轻 度	$R = 3.63T_1^{0.29} \quad 20 \leq T_1 \leq 120$	$R = 10.4T_2^{0.40} \quad 2 < T_2 \leq 24$
	中 度	$R = 3.80T_1^{0.35} \quad 30 \leq T_1 \leq 120$	$R = 13.9T_2^{0.54} \quad 2 < T_2 \leq 24$
	强 度		$R = 28.6T_2^{0.38} \quad 0.5 \leq T_2 \leq 24$

注: R —降雨量(毫米); T_1 、 T_2 —降雨历时(分钟、小时)

二、侵蚀性降雨的一般雨量标准

侵蚀性降雨的基本雨量标准, 是指引起土壤侵蚀的临界雨量值。它是根据所有产生土壤侵蚀的降雨为分析条件的, 这就包括了相当数量的极其微量的土壤侵蚀现象。在一般分析中, 这些侵蚀量可能在许可的范围内(亦称允许侵蚀量)。为了给出一个不包括那些微量侵蚀的侵蚀性降雨的雨量标准。这里我们就侵蚀性降雨的一般雨量标准作一分析。

关于侵蚀性降雨的一般雨量标准是通过侵蚀性降雨的降雨量与其每次降雨相应的侵蚀量及总土壤侵蚀量这三者的关系来确定的。具体方法是: 把所有侵蚀性降雨的雨量按大小顺序递减排列, 并将其相应的土壤侵蚀量逐个累加, 得到 N 次侵蚀性降雨的总侵蚀量(q), 然后按雨量大小变化把它分为若干等级, 求出大于某一雨量(R')的累计侵蚀量(Q)占总侵蚀量(q)的百分比 P_Q ($P_Q = \frac{Q}{q} \times 100\%$), 以及大于某一雨量的累计降雨次数(n)占总侵蚀性降雨次数(N)

的百分比 P_n ($P_n = \frac{n}{N} \times 100\%$)。然后分别点绘 R' 与 P_Q 、 P_n 的关系曲线于坐标纸上。根据 20° 左右的基本无覆盖农地上204场侵蚀性降雨资料的分析计算, 求得了下述二个回归方程式:

$$P_Q = 114.5 - 1.972R' \quad 8.0 \leq R \leq 40.0 \text{毫米} \quad (1)$$

$$P_n = 132.6e^{-0.00618R'} \quad 8.0 \leq R \leq 40.0 \text{毫米} \quad (2)$$

上述二式表明了侵蚀性降雨的雨量与总土壤侵蚀量及总土壤侵蚀次数的关系。根据黄土地区的水土流失特征, 我们初步规定, 允许的土壤流失量可占总流失量的5%以下。这也就是说, 拟定的侵蚀性降雨的一般雨量标准所引起的土壤流失量应占总流失量的95%。我们令 $P_Q = 95\%$, 代入(1)式, 求得 $R' = 9.9$ 毫米。再将 $R' = 9.9$ 毫米代入(2)式, 求得 $P_n = 79.6\%$ 。由表1可

知, 当 $R' = 9.9$ 毫米时, 所产生的土壤侵蚀量大于 230 吨/平方公里。综上所述, 我们可以给侵蚀性降雨的一般标准下这样一个定义: 侵蚀性降雨的一般雨量标准为 9.9 毫米, 它的土壤侵蚀量一般大于 200 吨/平方公里, 由这一标准以上的降雨所产生的土壤侵蚀量可占总侵蚀量的 95% 以上, 可占总土壤流失次数的 80%。

三、侵蚀性降雨的瞬时雨率标准

黄土地区侵蚀性降雨的一个显著降水特点是, 在一次降雨中, 大部分雨量仅集中在十几分钟或几十分钟的时间里, 形成了短时间的高强度的大量降雨, 一般称这一时间的降雨强度为瞬时雨率。由此可见, 瞬时雨率是产生土壤侵蚀的“触发”因素。在一定程度上来说, 瞬时雨率对土壤侵蚀的形成作用较降雨量更为重要。为此, 我们对侵蚀性降雨的瞬时雨率标准也作一分析。限于资料, 这里只分析农地条件下 4 种土壤侵蚀程度的瞬时雨率标准。

先求出每次降雨的不同时段 (本文分为 5、10、15、20、30、45、60 分钟 7 个时段) 的最大降雨量, 然后对各次降雨的每一时段最大降雨量值由大到小分时段排列, 然后作频率计算, 求出 $P = 80\%$ 时的各时段最大降雨量值。再以降雨时段 (t) 为横坐标, 以求出的 $P = 80\%$ 时的最大降雨量值为纵坐标点绘在坐标纸上, 得到不同侵蚀程度下瞬时雨率标准的一簇曲线 (见图 1)。所绘曲线可由下述四个回归方程式表示:

$$\text{弱度: } R_t = \frac{t}{0.1298t + 1.1668} \quad (3)$$

$$\text{轻度: } R_t = \frac{t}{0.0814t + 1.1097} \quad (4)$$

$$\text{中度: } R_t = \frac{t}{0.0563t + 0.7349} \quad (5)$$

$$\text{强度: } R_t = \frac{t}{0.0289t + 0.5432} \quad (6)$$

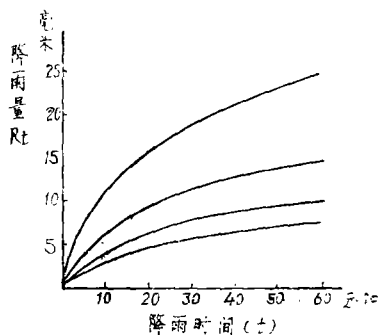


图 1 侵蚀性降雨的瞬时雨率标准变化曲线

式中: t ——降雨时段 (分钟) $t \leq 60$;

R_t —— t 时段的最大降雨量 (毫米)。

用上述方程式可得到任一时段的最大降雨量标准。若用其除以所相应的降雨时间, 便可得到侵蚀性降雨的瞬时雨率标准。

四、侵蚀性降雨的暴雨标准

暴雨是引起黄土地区土壤流失的最主要的降水形式, 拟定侵蚀性降雨的暴雨标准对于土壤侵蚀研究工作是非常需要的。

目前, 我国气象部门一般认为, 日降雨量超过 50 毫米就称为暴雨。方正三、徐在庸等先生也先后专门拟定过黄土高原的暴雨标准 (见表 3)。但是, 这些标准并不能令人十分满意地用于土壤侵蚀研究工作中。因为上述标准大都应用于水文、气象和水利工程部门, 对暴雨与土壤侵蚀的关系特征考虑不多; 有的虽有考虑, 但缺少具体的侵蚀量指标。这里, 我们以暴雨与土壤侵蚀之间的基本关系特征为依据, 来拟定黄土地区侵蚀性降雨的暴雨标准。

首先, 我们应明确这样一个概念, 暴雨是侵蚀性降雨的主要形式, 但侵蚀性降雨并非都是暴雨。换句话说, 暴雨一定能引起土壤流失 (注意下垫面条件), 但产生土壤侵蚀的不一定都是暴雨。

雨。基于这样一个概念，在拟定侵蚀性降雨的暴雨标准时，必须给定暴雨一个适当的侵蚀量指标。但是，一个具体的定量的侵蚀量指标是很难直接给定的。这里，我们先根据这一地区降雨特征与水土流失的基本关系，给定暴雨一个相对的侵蚀比值，即认为暴雨所引起的土壤侵蚀量应占这一地区水土流失中总侵蚀量的90%以上。这样，利用前面的分析结果，令 $P_0 = 90\%$ ，代入公式(1)，求得 $R' = 12.4$ 毫米。从表1的分析结果中可以看出，当 $R' = 12.4$ 毫米时，它所相应的侵蚀程度为轻度，即侵蚀量大于500吨/平方公里。参照轻度侵蚀不同历时的基本雨量标准，便可求出侵蚀性降雨的暴雨标准(见表3)。

表3 黄土地区几种暴雨标准的比较

雨量(毫米) 标准 \ 历时(分)	5	10	15	30	60	120	180	240	360	720	1,440
方正三	2.5	3.8	5.0	8.0	12.0	16.8		26.4	33.0	45.4	60.5
徐在席	3.0	4.0		6.5	7.5	12.5					25.0
张汉雄、玉万忠	3.9	5.5	6.7	9.5	13.4	18.7	2.28	26.2	31.6	42.8	55.0
刘尔铭	2.3	3.4	4.4	7.5	10.8	15.0		23.0		38.0	50.0
本文	5.8	7.1	8.0	9.7	11.9	14.6	17.8	20.5	25.0	35.1	50.0

五、结 语

1、黄土地区侵蚀性降雨的基本雨量标准在农地为8.1毫米，人工草地为10.9毫米，林地 为14.6毫米；弱度侵蚀为9.0毫米，轻度侵蚀为11.5毫米，中度侵蚀14.2毫米，强度侵蚀25.0毫米。(上述四种侵蚀程度限于农地)。

2、在农耕地上，侵蚀性降雨的一般雨量标准为9.9毫米，它所产生的土壤侵蚀量一般大于200吨/平方公里。超过这一标准降雨所引起的土壤侵蚀量可占整个侵蚀性降雨总侵蚀量的95%，侵蚀次数可占总侵蚀次数的80%。

3、不同历时侵蚀性降雨的基本雨量标准变化曲线呈幂函数分布，不同时段最大降雨量基本标准变化曲线呈双曲线函数分布。本文所给出的有关回归方程式，可求出不同历时侵蚀性降雨的基本雨量标准和侵蚀性降雨的瞬时雨率标准。

4、本文所拟定的暴雨标准满足了下述三个土壤侵蚀关系指标，即暴雨所产生的土壤侵蚀量一般大于500吨/平方公里，其侵蚀量可占整个侵蚀性降雨总侵蚀量的90%以上，其侵蚀次数可占侵蚀性降雨总次数的70%。

5、用频率分析方法来计算侵蚀性降雨的标准，仅是我们的初步尝试，加上本文所用资料基本上取自黄土丘陵第一副区和第二副区的水土保持试验小区，所以有关侵蚀性降雨的标准问题尚需进一步讨论和检验。

STUDY ON THE RELATIONS BETWEEN RAINFALL CHARACTERISTICS AND LOSS OF SOIL IN LOESS REGION

Wang Wanzhong

Northwestern Institute of Soil and Water Conservation
Academia Sinica

Abstract

According to soil erosion data observed at slopes in loess region, the standards of erosive rainfall were discussed. The index of basic rainfall amount, general rainfall amount, transient rainfall intensity and rain of erosion---causing rain were obtained.

附此项研究的第 I 部分“降雨侵蚀力指标R值的探讨”（《水土保持通报》1983年第5期第62—64页和第26页）的表2。

表2. 降雨侵蚀参数复合因子与土壤流失量的回归分析结果

复合参数	3 号 径 流 场		9 号 径 流 场		
	回 归 方 程 式	相 关 系 数 (r)	回 归 方 程 式	相 关 系 数 (r)	
E ₀₀ ·I _t	E ₀₀ ·I ₅	M = 0.116 (E ₀₀ ·I ₅) - 809.2	0.933	M = 0.135 (E ₀₀ ·I ₅) - 863.5	0.931
	E ₀₀ ·I ₁₀	M = 0.156 (E ₀₀ ·I ₁₀) - 899.0	0.936	M = 0.155 (E ₀₀ ·I ₁₀) - 740.7	0.941
	E ₀₀ ·I ₁₅	M = 0.151 (E ₀₀ ·I ₁₅) - 430.3	0.918	M = 0.173 (E ₀₀ ·I ₁₅) - 561.0	0.939
	E ₀₀ ·I ₂₀	M = 0.168 (E ₀₀ ·I ₂₀) - 273.2	0.893	M = 0.196 (E ₀₀ ·I ₂₀) - 405.2	0.937
	E ₀₀ ·I ₃₀	M = 0.227 (E ₀₀ ·I ₃₀) + 117.2	0.876	M = 0.248 (E ₀₀ ·I ₃₀) - 283.9	0.925
	E ₀₀ ·I ₄₅	M = 0.258 (E ₀₀ ·I ₄₅) + 201.0	0.829	M = 0.332 (E ₀₀ ·I ₄₅) - 254.1	0.924
	E ₀₀ ·I ₆₀	M = 0.321 (E ₀₀ ·I ₆₀) + 214.7	0.821	M = 0.411 (E ₀₀ ·I ₆₀) - 225.4	0.919
ΣE·I _t	ΣE·I ₅	M = 0.099 (ΣE·I ₅) - 656.8	0.899	M = 0.103 (ΣE·I ₅) - 698.7	0.905
	ΣE·I ₁₀	M = 0.117 (ΣE·I ₁₀) - 492.5	0.900	M = 0.124 (ΣE·I ₁₀) - 737.9	0.923
	ΣE·I ₁₅	M = 0.126 (ΣE·I ₁₅) - 278.3	0.877	M = 0.134 (ΣE·I ₁₅) - 344.2	0.919
	ΣE·I ₂₀	M = 0.141 (ΣE·I ₂₀) - 154.1	0.857	M = 0.152 (ΣE·I ₂₀) - 276.3	0.915
	ΣE·I ₃₀	M = 0.161 (ΣE·I ₃₀) + 232.3	0.812	M = 0.191 (ΣE·I ₃₀) - 128.6	0.904
	ΣE·I ₄₅	M = 0.201 (ΣE·I ₄₅) + 453.3	0.776	M = 0.236 (ΣE·I ₄₅) + 160.9	0.872
	ΣE·I ₆₀	M = 0.241 (ΣE·I ₆₀) + 545.7	0.756	M = 0.280 (ΣE·I ₆₀) + 297.2	0.854
备 注	n = 33		n = 29		