

坡面土壤侵蚀分布规律的初步分析

石 辉¹ 段宏斌² 刘普灵¹

(1 中国科学院 水土保持研究所 陕西杨陵 712100)
水 利 部

(2 陕西省林业学校 陕西杨陵 712100)

摘 要 通过在坡面不同位置布设 REE 示踪元素来研究坡面的侵蚀分布规律,结果表明:坡面的侵蚀分布符合 Weibull 概率分布模型,其中形状参数 m 与降雨量、降雨历时和径流深相关,而尺度参数 a 与平均雨强、 I_{30} 相关。坡面的平均侵蚀强度基本上位于从坡脚向上的 28~55m 内;与我们假设的平均侵蚀强度位于坡面的下 2/3 处基本一致。但由于侵蚀过程的复杂性与影响因子的多样性,有些问题尚未解决,还有待于进一步研究。

关键词 坡面侵蚀 分布规律 Weibull 分布

Primary Analysis of Erosion Distribution Laws on Slope

Shi Hui¹ Duan Hongbin² Liu Puling¹

(1 Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences
and Ministry of Water Resources Yangling Shaanxi 712100)

(2 Shaanxi Province Forestry School Yangling Shaanxi 712100)

Abstract Through arranging rare earth elements(REE) at different position of slope to study erosive distribution laws of slope, the results showed that erosive distribution of slope accorded with Weibull possibility distribution model. Its shape parameter m was correlated with precipitation, rain times and runoff depth, while scale parameter a was correlated with average rainfall intensity and I_{30} . Basically average erosion intensity of slope lied in 28~55m toward slopefoot. This is consist with our assumption that average erosion intensity lied in the place which is 2/3 from slope top. But due to complexity of erosive process and diversity of its affecting factors, some problems were unsolved and expected to be further researched.

Key words slope erosion distribution laws Weibull distribution

坡面土壤侵蚀是侵蚀机理研究的重要内容,同时也是侵蚀预报的基础。一般认为坡面侵蚀强度随坡长的增加而增大^[1,2],但这主要是从径流小区的平均侵蚀强度而言,同时所研究的径流小区坡长较短(<40m)。由于研究手段的限制,不能区分坡面不同部位的泥沙来源,故关于坡面侵蚀分布特征的研究尚未见报道。随着多元素示踪技术的应用^[3,4],通过在坡面不同位置

布设不同的元素进行侵蚀泥沙的示踪研究,使得研究坡面土壤侵蚀分布特征成为可能。本文利用稳定性稀土元素(REE)进行多元素示踪,研究了长坡长下(坡长 100m)的坡面侵蚀分布特征。

1 试验方法

1.1 示踪元素的选择及浓度估算

Knaus^[5]在研究土壤侵蚀与沉积时提出,作为示踪物质必须满足以下几个条件,(1)元素(核素)必须与土壤紧密结合,(2)对动植物无害,(3)水迁移能力弱,(4)有较低的背景值。REE 元素正是一种理想的示踪物质。这些元素与土壤有较高的结合力,且在黄土高原土壤含量甚微,植物富集有限,淋溶迁移不明显^[6],同时它又是稳定性同位素,对环境无危害,从而可利用 REE 作为示踪物质来研究坡面的侵蚀分布特征。

通过分析,选择了黄土中背景值含量较低,具有较高检测灵敏度的 La、Ce、Sm、Nd、Eu、Dy 元素作为示踪元素,同时按式(1)估算所需元素浓度

$$C_j = \frac{KB_j \times 10^{-3}}{R_j} \quad (1)$$

式中: C_j ——第 j 种元素的施放浓度(mg/kg); B_j ——第 j 种元素的土壤背景值(mg/kg); R_j ——第 j 种元素施放部位相对侵蚀量的最小期望值; K ——考虑到其它因素的综合保证系数。

1.2 示踪元素的施放

坡面侵蚀的小区试验布设于中国科学院安塞水土保持试验站。小区长 113m,宽 5m,水平投影长 100m,坡度为 27.8°。将小区自上而下分为 6 个段,根据工作经验,在每段的下 2/3 处布设 20cm 宽的示踪带(斜坡长),分别以 La、Ce、Nd、Sm、Eu、Dy 为示踪元素。

1.3 样品的收集、处理

每次降雨后,测量径流深,将上层清液放掉,用 20cm×20cm×100cm 的采样器分 20 个点采样,风干计算侵蚀量,将风干样品充分混合备用。

1.4 中子活化分析(INAA)

将收集到的样品充分混合均匀,取其中 20g 样品过 100 目筛。称取其中 50mg 样品,用纯铝箔包装,放入原子反应堆中照射,利用 γ 能谱仪在各特征能量处测定分析 6 种元素的含量。

1.5 相对侵蚀量的计算

设施放浓度为 C_j^* ,径流泥沙中元素浓度为 C_j ,背景值浓度为 B_j ,示踪区的侵蚀量为 G_j ,总侵蚀量为 G ,由元素平衡有:

$$\begin{aligned} G(C_j - B_j) &= G_j(C_j^* - B_j) \\ G_j/G &= (C_j - B_j)/(C_j^* - B_j) \end{aligned} \quad (2)$$

通过(2)式可计算出各示踪部位的相对侵蚀量。示踪部位的相对侵蚀量乘以它所代表部位的面积系数,即为所代表部位的相对侵蚀量。

2 结果分析

2.1 坡面侵蚀分布的数学特征

在坡面小区中,示踪条带面积占整个小区面积的 1.06%。要是我们布设的条带恰好能够

代表所划分的被示踪区域的面积,则示踪条带的相对侵蚀量也应占整个小区侵蚀量的 1.06%。我们以相对误差小于 20% 的几次侵蚀资料作出不同部位相对侵蚀量随坡长的变化关系图(图 2),发现其与 Weibull 概率分布相似。

$$P_w(x) = \begin{cases} \frac{m}{a} x^{m-1} e^{-\frac{x^m}{a}} & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases} \quad (3)$$

式中: m, a —— 概率分布的形状参数和尺度参数, $m > 0, a > 0$; x —— 随机变量。对(3)式进行积分:

$$\int_0^x P_w(x) dx = \int_0^x \frac{m}{a} x^{m-1} e^{-\frac{x^m}{a}} dx$$
$$F(x) = 1 - e^{-\frac{x^m}{a}} \quad (4)$$

式中的 $F(x)$ 为概率分布函数。其均值为

$$\mu = a^{\frac{1}{m}} \Gamma(1 + \frac{1}{m}) \quad (5)$$

式中的 $\Gamma(x)$ 为伽玛函数。

对(4)式进行转换

$$1 - F(x) = e^{-\frac{x^m}{a}}$$
$$\ln[1 - F(x)] = -\frac{x^m}{a}$$
$$\ln \ln(\frac{1}{1 - F(x)}) = m \ln x - \ln a \quad (6)$$

从式(6)可以看出 $\ln \ln(\frac{1}{1 - F(x)})$ 与 $\ln x$ 成线性关系。以 x 代表从坡脚径流池起到某一位置的坡长,进行回归,发现 7 次降雨均达到显著水平(表 1)。根据式(5),还计算了每次降雨侵蚀的均值分布(表 2)。从中可以看出,坡面侵蚀的均值基本上位于距坡脚 28.3~55.0m 的区间内,与我们布设时所采用的条带位于所划分区段的下 2/3 处基本一致。

表 1 相对侵蚀量随坡长变化的 Weibull 分布拟合

编号	拟合方程	相关系数
1	$\ln \ln(\frac{1}{1 - F(x)}) = 1.3500 \ln x - 4.9701$	0.990**
2	$\ln \ln(\frac{1}{1 - F(x)}) = 1.3875 \ln x - 5.0593$	0.980**
3	$\ln \ln(\frac{1}{1 - F(x)}) = 0.5496 \ln x - 1.5430$	0.986**
4	$\ln \ln(\frac{1}{1 - F(x)}) = 1.2909 \ln x - 4.9548$	0.926**
5	$\ln \ln(\frac{1}{1 - F(x)}) = 1.9171 \ln x - 7.2124$	0.996**
6	$\ln \ln(\frac{1}{1 - F(x)}) = 1.4081 \ln x - 7.2124$	0.981**
7	$\ln \ln(\frac{1}{1 - F(x)}) = 1.3324 \ln x - 4.9702$	0.936**

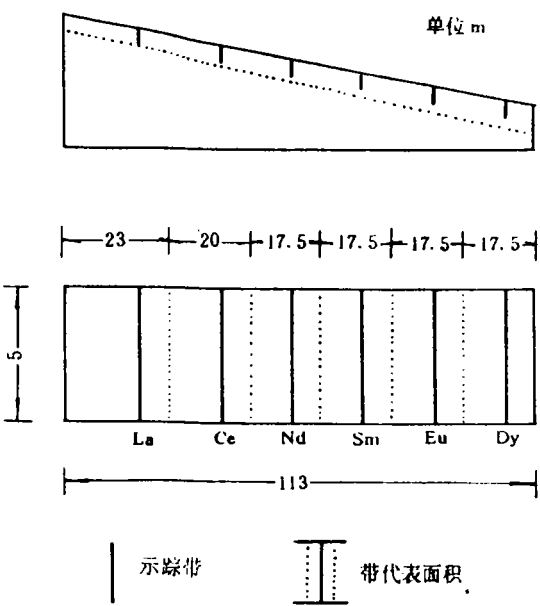


图 1 小区元素布设示意图
注:为了布设方便,图中数字为斜坡长。

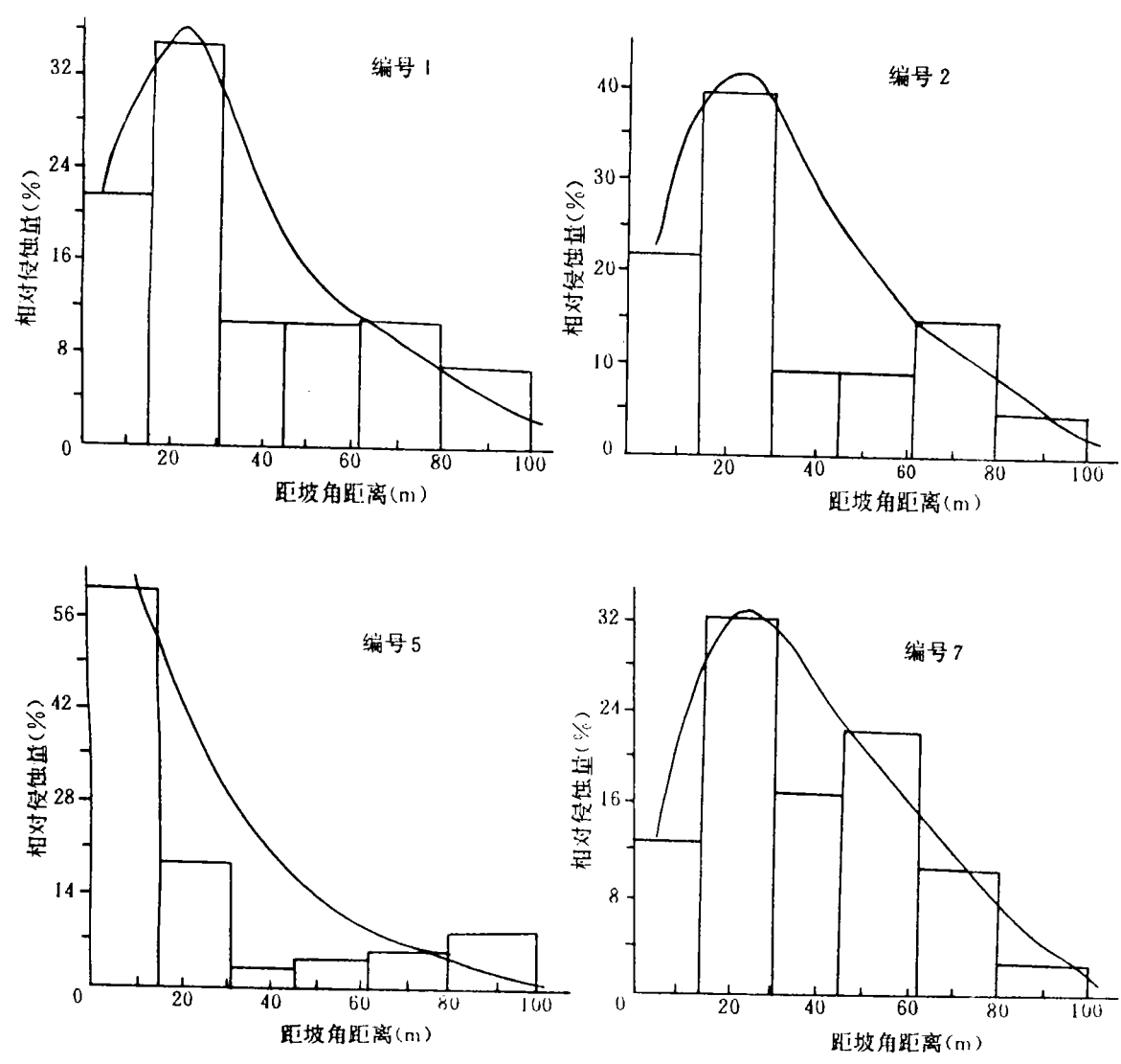


图 2 坡面不同位置相对侵蚀量的变化

表2 Weibull 拟合的参数及均值

编号	1	2	3	4	5	6	7
形状参数 m	1.3500	1.3875	0.5496	1.2909	1.9171	1.4081	1.3324
尺度参数 a	144.04	157.48	4.68	141.85	1365.14	321.82	144.06
均值	36.4	35.0	28.3	43.0	38.2	55.0	38.3

2.2 参数的影响因素

为了进一步了解各种因素对 Weibull 分布参数的影响,将形状参数 m 和尺度参数分别与降雨量、平均雨强、降雨历时、 I_{30} 以及径流深进行了相关分析(表3)。由于试验的误差和降雨过

程中的温度、湿度、风向以及雨前土壤含水量等因素的影响,3和5的参数比较特殊。当上述参数存在时,Weibull 分布参数与各种因素的相关性均达不到显著水平,剔除3和5的数据后,形状参数 m 与降雨量、降雨历时、径流深存在着显著的负相关,尺度参数 a 与平均雨强及 I_{30} 达到极显著正相关。

表3 Weibull 参数与各种因素的相关分析

	降雨量	平均雨强	降雨历时	I_{30}	径流深
形状参数 m	0.340	-0.182	0.397	0.118	0.016
	-0.854*	0.784	-0.888*	0.611	-0.834*
尺度参数 a	0.143	-0.204	0.321	0.056	-0.14
	-0.245	0.977**	-0.490	0.989**	-0.457

注:分子为全部数据所得的相关系数,分母为剔除部分数据后所得相关系数。

2.3 Weibull 分布的验证

Weibull 分布是一种理论分布,故 x 的取值范围为 $x > 0$,但在实际的小区试验中,坡长总是一个定值,因此根据试验结果拟合的 Weibull 分布应在试验范围使累积概率分布极大的接近于1。本试验中 Weibull 拟合的累积概率见表4。在试验范围内拟合基本接近于1,最大偏差仅 0.131。采用第一次的数据对 Weibull 分布在各段拟合进行验证(表5),除在 Sm 和 La 段拟合较差外,基本上与实测结果一致。

表4 试验小区的 Weibull 拟合累积概率

编号	1	2	3	4	5	6	7
累积概率 $F(100)$	0.969	0.977	0.932	0.932	0.993	0.869	0.960
$1 - F(100)$	0.031	0.023	0.068	0.068	0.007	0.131	0.040

表5 Weibull 拟合的验证结果

区段	0~15.49	15.49~30.97	30.97~46.46	46.46~61.95	61.95~79.65	79.65~100
	Dy	Eu	Sm	Nd	Ce	La
实测相对侵蚀量	0.2145	0.3466	0.1062	0.1071	0.1088	0.0723
计算值	0.2245	0.2863	0.2073	0.1203	0.0873	0.0436
相对误差	4.7%	-17.4%	95.2%	12.3%	-19.8%	-39.7%

注:区段中的距离是水平投影距离,从坡脚向上。

3 结 论

通过在坡面不同位置施放 REE 示踪元素研究坡面不同部位的侵蚀分布规律,发现 Weibull 概率分布函数可用来描述坡面土壤的侵蚀分布,其形状参数 m 主要与降雨量、降雨历时、径流深有关;而尺度参数 a 主要与平均雨强、 I_{30} 有关,坡面侵蚀分布的均值基本上位于坡面下部的2/3处,与布设时的设想基本一致。但由于侵蚀过程的复杂性及影响因子的多样性,有些方面还需进一步研究。

参考文献

1 United States Department of Agriculture, Predicting Rainfall Erosion Losses, Agriculture Handbook, No. 537
2 江忠善. 地形因素与坡地水土流失关系的研究. 中国科学院西北水土保持研究所集刊, 1990, (12)
3 石辉, 田均良, 刘普灵等. 利用 REE 示踪法研究小流域泥沙来源. 中国科学 E 辑, 1996, 26(5)

(下转第74页)

施放点处的侵蚀强度,能否代表更大区域,以及该区域面积到底有多大仍是一个问题。事实上我们用点穴处的侵蚀强度、分别代表坡面下部,沟坡下部区域侵蚀强度,并以次降雨侵蚀产沙量做为控制标准,计算误差很大。因此点穴法如何在野外小流域泥沙来源观测中进行实施仍是需要研究的问题。

在上述问题未解决之前,我们可以这样考虑,不管点穴能够代表的区域面积有多大,它总能代表一定的面积。为此我们可以设想在研究区域内选定若干个点,如小流域,标出其平面位置,按照点穴施放法布设稀土元素,即可求出上述各点的侵蚀强度,结合施放点的平面位置可求出研究区域的侵蚀产沙曲线图,对此曲线进行积分就可求出研究区域的侵蚀产沙量,这样就可将稀土元素示踪法技术应用到野外小流域泥沙来源的观测中去。当然布设的点愈多,其精度愈高,点无限多时,其精度为1,此时就变成了段面施放法,在野外具体实施时,可采用网格法布设,网格的大小及布设直接与观测精度有关,当然对于强度均一的片蚀区,无疑采用点穴施放法是最经济的。

4 讨 论

通过坡面—沟坡连续体模型试验,我们可初步得出下列看法。

(1)点穴施放法的确可用于小流域泥沙来源观测中,但它仅仅能够代表其本身布设位置处的侵蚀强度,或者它能够代表的区域侵蚀强度。选用点穴法进行小流域泥沙来源或其它区域泥沙来源研究时,其研究精度取决于点穴的布置密度,密度越大,精度越高。

(2)利用纯稀土元素施放法,尽管可以测出其所在位置处侵蚀强度,但操作难度很大,不宜提倡。

(3)点穴施放由于其经济,施放工作量小,可望用于小流域泥沙来源研究,具体布设可采取网格法,网格如何划分与精度有关,仍需进一步研究。

参考文献

1 田均良等. 土壤侵蚀 REE 示踪法试验研究初报. 水土保持学报, 1992, 3

2 朱显谟. 黄土区土壤水蚀主要类型. 水土保持通报, 1982, 3~4

(上接第68页)

4 田均良, 周佩华, 刘普灵等. REE 示踪法研究初报. 水土保持学报, 1992, 6(2)

5 Knaus, R. M. etc. Accretion and Canal impacts in a rapidly subsiding wetland. ■ A new soil horizon maker method for measuring recent accretion, Estuaries, 1989, 12(4)

6 田均良, 彭祥林. 黄土高原土壤地球化学, 科学出版社, 1995