

坡面侵蚀垂直分布特征动态 变化过程初步研究

吴普特 刘普灵 武春龙 周佩华

中国科学院
水利部水土保持研究所 陕西杨陵 712100

摘 要 采用稀土元素(REE)示踪法对坡面侵蚀垂直分布特征动态变化过程进行了初步研究。结果表明,坡面侵蚀垂直分布特征在次降雨过程呈动态变化趋势,尽管在产流过程中相对侵蚀量的变化趋势基本相似,但比值差异很大,这主要取决于坡面径流的强度。此外,次降雨侵蚀产沙的垂直分布特征与侵蚀过程中产沙的分布特征差异亦很大,建议应加强侵蚀产沙过程的研究。

关键词 侵蚀过程 侵蚀产沙 REE示踪法 相对侵蚀量

Study on the Changeable Process of Soil Erosion Spatial Distribution Characteristics on the Slope Surface

Wu Pute Liu Puling Wu Chunlong Zhou Peihua

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

Abstract By the rare earth element (REE) tracing method, the changeable process of soil erosion spatial distribution characteristics on the slope surface was researched. The result showed that the soil erosion spatial distribution characteristics in a rainfall process is changeable with the time, the value of related erosion yield depend on the runoff intensity, and the spatial distribution characteristic of soil erosion in a rainfall is different with the rainfall process, so the author suggested that we should pay much attention to the process of soil erosion and sediment yield.

Key words soil erosion process erosion sediment rare earth element (REE) tracing method related erosion yield

我们已经利用稳定性稀土元素(REE)示踪法对坡面侵蚀垂直分布特征进行了定量分析^[1],且取得了比较满意的结果。但我的前述的研究多以次降雨侵蚀产沙结果进行分析,重点研究了一次降雨结束后,坡面不同地形部位的产沙强度,以及与坡面总产沙量的比值,至于在一次降雨过程中,坡面不同地形部位的侵蚀产沙特征未曾涉及。本文将采用稀土元素示踪法

(REE),重点研究坡面侵蚀垂直分布的动态特征,进一步分析坡面不同地形部位的侵蚀产沙变化过程。

1 试验研究方法

1.1 研究区概况

研究对象选择在陕北安塞生态试验站山地观测场,选择相对完整的坡面,布设全坡长径流观测小区。小区宽 5.0m,斜坡长 113.0m,平均坡度 25°。自坡顶而下分别按条带施放法布设 6 条稀土元素施放带,依次施放 La、Ce、Nd、Sm、Eu 及 Dy 6 条元素,施放带宽度分别为 0.24m、0.20m、0.20m、0.20m、0.20m、0.20m,长度与小区宽度同。自坡顶而下,不同条带所代表的小区长度分别为 23.0m 20.0m 17.5m 17.5m、17.5m、17.5m。仍采用稀土元素与坡面土壤均匀混合的施放方法,将其均匀放入坡面条带之中,并保证条带内土壤容重与其周围坡面土壤容重基本相同,分别测定土壤中施放元素的背景值,记录施放元素的浓度。即整个试验仍在我们课题组 1992 年所建的全坡长小区中进行。

1.2 试验观测方法

以次降雨过程中不同时段侵蚀产沙为观测对象,自产流时开始观测,分别记录观测时间,收集观测时间的典型浑水样(一般在小区断面出口处取流动浑水样约 500ml),在室内分别分析其浑水样中不同种稀土元素的浓度、含沙量等。并记录降雨历时、降雨量及降雨强度,最后观测小区径流池中水深及含沙量。

1.3 计算分析方法

设自坡顶而下不同稀土元素(REE)条带的元素施放浓度分别为 $G_j, j=1, 2, \dots, 6$; 其土壤中该元素的背景值浓度分别为 $B_j, j=1, 2, \dots, 6$; 在某一次降雨过程中分别观测了 n 次, 所对应的观测时刻为 $t, i=1, 2, \dots, N$; 对应于 t_i 时刻坡面的总侵蚀量为 W_i ; 对应于 t_i 时刻坡面第 j 条带的侵蚀量为 W_{ij} ; 其侵蚀产沙量中第 j 种元素的浓度为 R_{ij} 。

则根据物质守恒定律存在下列关系,

(1) 在 t_i 时刻, 坡面总侵蚀量 W_i 应等于坡面不同条带所代表区域的侵蚀量 W_{ij} 之和;

(2) 在 t_i 时刻, 径流池中第 j 种元素的含量应等于坡面在该时刻中被侵蚀搬运的土壤中所含第 j 种元素的量。

即: 对于 t_i 观测时刻

$$\begin{cases} W_i = \sum_{j=1}^6 W_{ij} & (1) \\ W_i \cdot R_{ij} = W_{ij}(C_j + B_j) + (W_i - W_{ij})B_j & (2) \end{cases}$$

$$j = 1, 2, \dots, n$$

整理式(1)、(2)则得:

$$\frac{W_{ij}}{W_i} = \frac{R_{ij} - B_j}{C_j} \quad (3)$$

式(3)左边 $\frac{W_{ij}}{W_i}$ 为 t_i 时刻坡面第 j 条带的侵蚀量与坡面在该时刻侵蚀量的比值。

令: 第 j 条带面积与该条带所代表区域的面积比值为 K_j , 则该条带所代表区域面积的侵蚀量为 $K_j W_{ij}$, 于是该区域侵蚀量与坡面侵蚀量的比值为:

$$\alpha = K_j \frac{W_j}{W_j} \quad (4)$$

式中: α 称之为第 j 条条带所代表区域的相对侵蚀量, 亦即我们要求的未知量, 联解式(3)、(4)得:

$$\alpha = K_j \frac{R_j - B_j}{C_j} \quad (5)$$

式(5)右边均为可观测的已知量, 于是利用式(5)可分别求出坡面不同地形部位, 在次降雨过程中不同时刻的相对侵蚀量。

2 试验观测结果及分析

2.1 试验观测结果

我们在研究区域现场观测了1995年8月5日次降雨侵蚀产沙过程。该场降雨历时590min, 雨量42.6mm, 平均雨强0.07mm/min, 最大30min雨强0.51mm/min。共观测到该场降雨三次产流过程8个浑水样。首次产流过程仅观测到产流结束样, 时间为当日14:30; 第二次产流过程自14:49至15:01, 观测到全过程4个浑水样; 第三次产流时段为15:25~15:35, 观测到全过程3个浑水样。在室内分析样品时, 由于野外取样较少, 未分析第6条带(Dy)即距小区断面出水口最近条带的元素含量, 仅分析了1~5号条带稀土元素含量, 为此我们的研究仅在上述观测区域进行。

表1为本次降雨3次产流过程中, 8个浑水样的试验计算结果。

表1 试验计算结果

观测时间 (时:分)	稀土元素浓度 ($R_j - B_j$) (mg/g)				
	La	Ce	Nd	Sm	Eu
14:30	72.93	220.05	73.45	8.69	0.09
14:49	76.31	143.72	64.36	7.65	0.03
14:52	39.55	110.35	53.13	5.67	0.15
14:55	32.93	125.99	84.28	5.29	0.41
15:01	45.84	176.10	86.50	11.57	0
15:25	50.18	114.00	72.43	10.17	0.08
15:30	22.92	87.04	37.59	7.87	0.75
15:35	36.42	75.56	50.78	21.98	1.76

观测时间 (时:分)	相对侵蚀量 (α)					备注
	La区	Ce区	Nd区	Sm区	Eu区	
14:30	0.049	0.165	0.114	0.107	0.007	首次产流终
14:49	0.051	0.108	0.100	0.094	0.002	二次产流始
14:52	0.027	0.083	0.082	0.070	0.012	
14:55	0.022	0.094	0.130	0.065	0.033	
15:01	0.031	0.132	0.134	0.142	0	二次产流终
15:25	0.034	0.085	0.112	0.125	0.006	三次产流始
15:30	0.015	0.065	0.058	0.097	0.050	
15:35	0.024	0.056	0.079	0.270	0.142	三次产流终

注: 1. ($R_j - B_j$) 指扣除元素背景值之后的数值。2. La区、Ce区等分别指该元素所代表的区域。3. 对应于La、Ce、Nd、Sm、Eu元素的施放浓度分别为: 143.067 mg/g、133.650 mg/g、56.563 mg/g、7.113 mg/g, 及1.088 mg/g。4. 对应于La区、Ce区、Nd区、Sm区、Eu区的 K_j 值分别为: 95.83、100.87、5.87、5.87、5。

表1中相对侵蚀量之和即 $\sum \alpha \neq 1.0$ 其原因有三, 一是未计入Dy区侵蚀量; 二是由于在

过程样观测时无法取沉积样品,未进行修正计算,但这并不影响相对侵蚀量的变化趋势。

2.2 相对侵蚀量动态变化趋势分析

以全坡长小区斜坡长为横坐标,以所对应的相对侵蚀量为纵坐标,以产流过程为研究单元,分别做为三次产流过程,不同时间的相对侵蚀量关系曲线,分别如图1、2及图3所示。

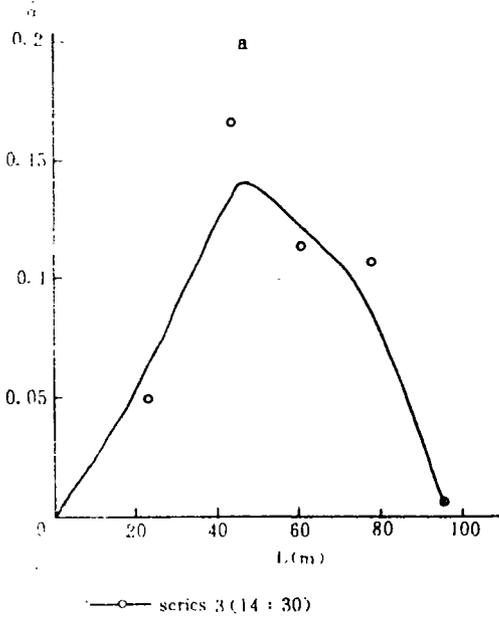


图1 相对侵蚀量变化趋势(首次产流过程)

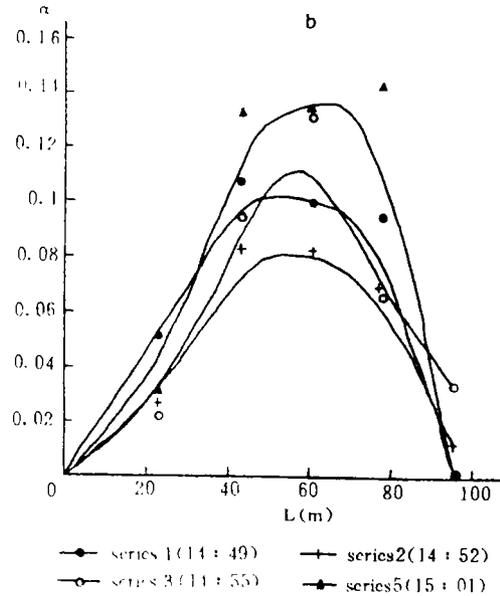


图2 相对侵蚀量变化趋势(二次产流过程)

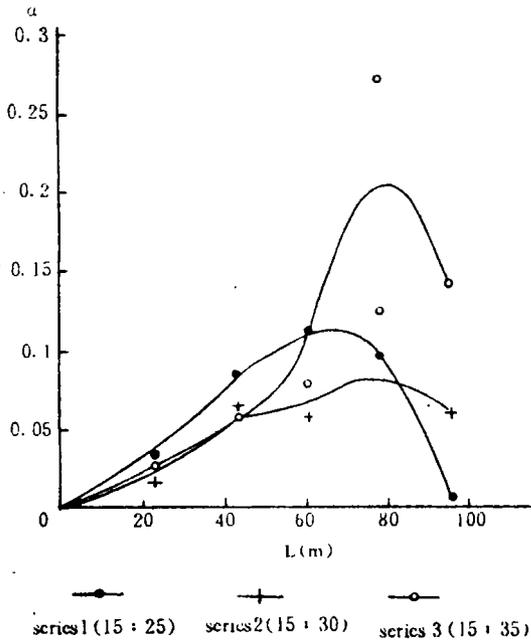


图3 相对侵蚀量变化趋势(三次产流过程)

由图1、图2及图3可以看出,不受产流过程及时间变化的制约,坡面相对侵蚀量随坡长的变化趋势基本相似,近似于向下凹抛物线型;基本上在坡面中部距坡顶斜坡距离40~80m之间,侵蚀强度最大,但侵蚀强度最大部位却随着产流过程的延续及时间的变化,向坡面下部移动。如首次产流过程,该位置大约在距坡顶40m处,二次产流过程该位置大约在距坡顶50~60m处,三次产流过程该位置移至大约距坡顶70~80m处;对于二次产流过程,对应于前三个观测时刻14:49、14:52及14:55,该位置大约距坡顶50m左右,而对于15:01观测时刻,却明显移至距坡顶约60m左右,同样对于三次产流过程也有类似现象,15:25时,侵蚀强度极大值点在距坡顶大约70m处,而15:30、15:35时却移至距坡顶约80m处。

侵蚀强度最大位置产生上述变化的原因有二,其一在于我们的全坡长小区在修建时,坡面中段为垫方段,因而其抵抗侵蚀能力较弱。而更重要的原因,则在于降雨过程中坡面径流强度的变化。我们知道对于黄土区来讲,侵蚀的主要动力来自于坡面径流,它不仅依靠冲刷、分散作用产生侵蚀,同时径流的运动会将坡面已遭侵蚀的土壤输入坡面,即我们所观测到的泥沙。在产流初期,由于径流强度较小,因而其搬运能力相对较弱,泥沙输移距离受到一定的限制,随着坡长的增长,需搬运的物质愈来愈多,但受其搬运能力的限制,难以搬运更多的物质,因而我们观测到的就仅仅是坡面较上部位置的物质较多,而较下部处的物质大多沉积到坡面一定位置,或者移动距离较短还未输出坡面。随着降雨的继续,产流强度愈来愈强,径流搬运能力随之增加,暂时淤积的物质将被搬运,同时淤积处仍在遭受降雨的侵蚀,于是侵蚀强度最大位置就将随之下移。

2.3 次降雨侵蚀产沙与侵蚀产沙过程垂直分布特征

我们在降雨结束后,同时观测了次降雨侵蚀产沙的垂直分布,其观测计算结果如表2所示。

表2 次降雨侵蚀产沙计算结果

稀土元素(浓度 $(R_j - B_j)$ (mg/g))					
La	Ce	Nd	Sm	Eu	Dy
32.1	236.2	97.7	11.02	1.29	9.88
相对侵蚀量 (α)					
La区	Ce区	Nd区	Sm区	Eu区	Dy区
0.022	0.177	0.151	0.136	0.104	0.241

*. 表2注解同表1。

为了进一步分析次降雨侵蚀产沙与侵蚀产沙过程的关系,我们选取坡面不同部位侵蚀强度比值做为研究对象,重点分析该比值在不同状况下的变化状况。

依据表1、表2分别计算次降雨侵蚀强度比值与侵蚀过程中该比值的变化,计算结果如表3所示。同样对于侵蚀过程仍研究坡面自坡顶而下前5段的侵蚀强度比值。

表3 侵蚀强度比值计算结果

时间	侵蚀产沙过程	次降雨(历时590min)
14:30	1: 3.367: 2.327: 2.184: 0.143	
14:49	1: 2.118: 1.961: 1.843: 0.039	
14:52	1: 3.074: 3.037: 2.593: 0.444	
14:55	1: 4.273: 5.909: 2.955: 1.500	1: 8.045: 6.864: 6.182: 4.727: 10.955
15:01	1: 4.258: 4.323: 4.581: 0	
15:25	1: 2.500: 3.294: 3.676: 0.176	
15:30	1: 4.333: 3.867: 6.467: 4.000	
15:35	1: 2.333: 3.292: 11.250: 5.917	

由表3可知,次降雨侵蚀产沙垂直分布特征与其侵蚀产沙过程中垂直分布特征的变化有着明显的差异,亦差异变化较大。正如我们前述分析的那样,从侵蚀产沙过程中相对侵蚀量变化可以看出坡面径流强度的强弱,而从次降雨侵蚀产沙垂直分异变化特征中仅仅能看到的则是该侵蚀产沙的总效应,由于二者差异较大,因而从揭示侵蚀机理的角度来讲,后者实际上掩盖了侵蚀过程的变化,不便于深入揭示侵蚀产沙的内在机制。从这种意义出发,鉴于坡面侵蚀垂直分布变化特征的动态性,今后的研究应更注重于侵蚀过程的研究。

3 讨 论

通过上述分析,我们初步得出下列认识。

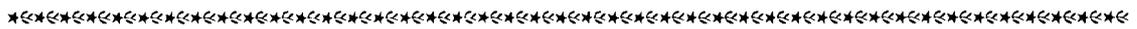
(1)利用稀土元素示踪法(REE),不仅可以研究次降雨侵蚀产沙垂直分布特征,同时亦可用此方法进行坡面侵蚀过程研究。

(2)坡面侵蚀过程中,侵蚀产沙的垂直分布特征变化较大,这主要与不同时刻的坡面径流强度有关。

(3)次降雨侵蚀产沙垂直分布特征,与次降雨过程中侵蚀产沙的垂直变化特征差异较大,前者仅仅是次降雨侵蚀产沙总效应的反映,而后者则反映了这一特征的动态变化过程。欲深入揭示侵蚀产沙的内在机制,尚需加强侵蚀过程的研究。

参考文献

1 田均良,周佩华等.土壤侵蚀 REE 示踪法试验研究初报.水土保持学报,1992,(4)



(上接第 25 页)

示了核分析技术在土壤侵蚀、泥沙运移及小流域产沙模式等方面的研究有着广阔的应用前景。

参考文献

1 王礼先.关于土壤侵蚀规律研究的目的与方法.水土保持通报,1981,3

2 徐国礼等.地面立体摄影测量在监测沟蚀中的应用.中国科学院水利部西北水土保持研究所集刊,1990,12

3 张信宝等.黄土高原小流域泥沙来源的¹³⁷Cs 法研究.科学通报,1989,3

4 田均良等.土壤侵蚀 REE 示踪法研究初报.水土保持学报,1992.6(4)