

# 中子活化分析技术在野外红壤侵蚀研究中的应用

睦国平 徐 镨 罗旻泓 陈宝林 徐卫星

(上海市计量测试技术研究院 上海 200233)

杨武德\* 王兆骞

(浙江农业大学 杭州 310029)

**摘要** 叙述了利用中子活化分析技术结合稳定稀土元素钕(Eu)定位土芯示踪法,在野外进行红壤侵蚀的研究,介绍了该方法的示踪原子选择、示踪用量估算、示踪实施、中子活化分析及侵蚀结果计算等要点,以及在红壤坡地雷竹园的部分应用结果。结果表明该法适用于红壤坡地的片蚀和细沟侵蚀研究。

**关键词** 仪器中子活化分析,土壤侵蚀,红壤坡地,定位土芯Eu示踪技术

**中图分类号** TL43

中子活化分析在农业有关土壤侵蚀中的应用是80年代开展起来的。1986年美国Knaus等<sup>[1]</sup>利用稳定稀土元素(REE)示踪和中子活化分析技术,克服了放射性原子示踪法污染环境的缺点,成功地进行了野外沼泽地的侵蚀和沉积速率的测量。1991年我国田均良等<sup>[2]</sup>对Knaus的研究方法作了改进,通过室内模拟试验测定不同地形部位的侵蚀量,并揭示了不同地形部位侵蚀量的变化趋势。尽管该方法克服了传统技术的一些缺陷,如径流小区法得不到风蚀结果;铁钉法和侵蚀针法只能用于侵蚀量的粗测;<sup>137</sup>Cs示踪法在侵蚀严重地段<sup>137</sup>Cs大都侵蚀殆尽,很难估算出短期的侵蚀量。但该法也不适宜应用于野外复杂地形的侵蚀研究,因为没有考虑田内沉积,而且收集径流使大地域研究受到限制。

本工作利用中子活化分析技术,以定位土芯结合Eu示踪的新技术,测量短期土壤侵蚀和沉积,研究自然坡面内土壤侵蚀的空间分布规律,获得较为满意的结果。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验于1996年6月至1997年9月在浙江省德清县三桥乡排溪冲小流域红壤坡地进行。排溪冲小流域,面积 $8.7 \times 10^4 \text{m}^2$ ,坡度3%—21%,高差5—31m,亚热带气候,年平均降雨量1300mm左右,土地利用方式有种植雷竹、茶树、板栗及稀疏马尾松林,其中以雷竹为主,代表了该乡低丘坡地常见(或普遍)的土地利用类型。本文仅以雷竹园为例。

\* 现在山西农业大学

收稿日期:1998-11-27, 修回日期:1999-04-26

## 1.2 试验方法

**1.2.1 示踪原子的选择。**选择镧系稀土元素铕(Eu)作为示踪原子,因为植物对其吸收很少;土壤中的淋溶作用对其分布影响不大;土壤中Eu的背景值很低,红壤的Eu背景值仅为1mg/kg左右<sup>[3]</sup>。因而只有土壤的物理运动,如土壤侵蚀,才影响其重新分布。

铕的稳定示踪原子(<sup>151</sup>Eu)具有很大的热中子活化截面( $5300 \times 10^{-28} \text{m}^2$ ),活化后生成放射性核素<sup>152</sup>Eu,其产生的 $\gamma$ 射线能量为121.8、344、964keV等,可供测量计算,半衰期为12.4a,因此可以通过很好地控制辐照、冷却、测量等时间参数来达到分析要求。为了避免土壤样品中存在的Se活化后的<sup>75</sup>Se(半衰期为120d)的 $\gamma$ 射线(能量为121.1keV)在121.8keV处产生干扰,本实验选择能量为964keV处的净峰面积计算标准和样品中Eu的含量。

**1.2.2 示踪原子用量的估算。**主要考虑示踪土芯浓度与土壤Eu背景值差异及仪器中子活化分析的实验条件。本试验每个土芯(高5cm,直径10cm)施放10mg Eu的氧化物,以使土芯Eu的浓度比土壤中Eu的本底值大10倍以上。为保证稳定示踪剂与土壤混合均匀,在施放前10mg Eu应与作为载体的2.5g SiO<sub>2</sub>混合均匀。

**1.2.3 示踪土芯布设及采样。**按坡度大小将供试坡面分为若干坡段,选择能代表本坡段地形、植被和土壤状况的区域布设示踪土芯。土芯深度的确定主要考虑研究期间最大可能的侵蚀深度。示踪土芯用特制环刀(高5cm,直径10cm)取土,然后和以二氧化硅为载体的Eu氧化物混匀,再重新放回原位。并适当压紧,使放回的土芯与原来体积相同,使之与原自然土层尽可能相同。布设工作在晴天进行,土壤湿度不能过大。每个坡段布设10个土芯。取样时间间隔为1.5个月。用小于原土芯直径、高度相同的取土器(高5cm,直径5cm)取样,分上下二等份,经烘干、磨碎和均匀后作中子活化分析。

**1.2.4 中子活化分析。**土样在100℃下烘干2h,准确称取100mg密封于1cm×1cm的聚乙烯薄膜内,然后置于“跑兔盒”内,样品和标准在本所微堆同一孔道进行照射,中子通量为 $5 \times 10^{11} \text{n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,辐照时间为2h,冷却时间为3d,测量时间为10min。以土壤标准参考物GSS-4(GBW-07404)作为质控标样。

测量系统采用EG&G公司的同轴高纯Ge探测器及4096道多道脉冲分析器系统。仪器分辨率对<sup>60</sup>Co 1332keV处的 $\gamma$ 射线为1.90keV,相对效率为40%。

**1.2.5 侵蚀量计算。**中子活化分析测得样品中待测元素浓度后,每个土芯土壤侵蚀量以下式计算

$$E = W \times (C_u - C_d) / (C_u, C_d)_{\max}$$

式中, $E$ 为取样土芯土壤侵蚀量(g), $W$ 为取样土芯上部土壤干重(g), $C_u$ 为土芯上部2.5cm中Eu的浓度( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), $C_d$ 为下部2.5cm中Eu的浓度。 $(C_u, C_d)_{\max}$ 即取 $C_u$ 和 $C_d$ 的最大值。 $E$ 为正值,说明下部稀土元素浓度降低,土壤显示受侵蚀; $E$ 为负值,说明上部稀土元素浓度降低,土壤显示受沉积。代表单位面积的土壤侵蚀量用侵蚀模数 $E_r(\text{t}/\text{m}^2)$ 来表示。

各坡段侵蚀模数用下式计算

$$E_r = 10^{-2} W (C_u - C_d) / [19.625 (C_u, C_d)_{\max}]$$

式中,19.625为取样土芯横切面面积( $\text{cm}^2$ )。

## 2 结果与讨论

在INAA的实验条件下,对标准物质GSS-4作4次重复测定,平均值为 $0.87 \pm 0.07 \text{mg}/\text{kg}$ 。

标准物质定值为 $0.85 \pm 0.11 \text{ mg/kg}$ , 说明分析方法是可靠的, 其探测限为 $0.08 \text{ mg/kg}$ 。

实验结果表明土壤侵蚀与土壤坡度、土地利用方式和降雨量有着密切关系。

表1表示自1996年6月1日至7月15日雷竹园不同坡段土壤侵蚀的Eu示踪结果, 实验期间总降雨量为376mm, 其中最大日降雨量为6月31日的153mm。雷竹园坡面由坡度不同的8个坡段组成, 由坡底到坡顶排序。从表1可看出, 除第1坡段外, 各坡段示踪土芯上部Eu浓度都大于下部, 说明只有第1坡段发生沉积, 其它坡段都发生不同程度的侵蚀, 陡坡段土壤侵蚀大于缓坡段。如第6坡段, 坡度为12.8%, 示踪土芯土壤流失量为8.23g, 侵蚀模数为 $41.8 \times 10^{-4} \text{ t} \cdot \text{m}^{-2}$ ; 第3坡段坡度为5.0%, 示踪土芯土壤流失量为0.21g, 侵蚀模数为 $1.1 \times 10^{-4} \text{ t} \cdot \text{m}^{-2}$ ; 位于坡底的第1坡段坡度为3.3%, 示踪土芯土壤流失量为-9.19g, 侵蚀模数为 $-46.7 \times 10^{-4} \text{ t} \cdot \text{m}^{-2}$ , 表现为沉积。

根据坡面各部位土壤侵蚀模数, 并结合地形情况作图, 得到雷竹园土壤侵蚀的空间分布图(图1), 从图1可看出, 在复合坡面, 随坡度的陡、缓, 土壤侵蚀表现为强、弱或沉积。

表1 雷竹园不同坡段土壤侵蚀的Eu示踪结果

Table 1 Eu tracing result of soil erosion on different slope position in bamboo field

| 坡段序号<br>Slope<br>number | 坡长<br>Slope<br>length/m | 坡度<br>Slope<br>degree/% | Eu含量<br>Eu content/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ |                  | 土芯土壤流失量<br>Soil loss of<br>the core/g | 侵蚀模数<br>Erosion modulus<br>$/\times 10^{-4} \text{ t} \cdot \text{m}^{-2}$ |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------|------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
|                         |                         |                         | ( $C_u$ )                                            | ( $C_d$ )        |                                       |                                                                            |
| 1                       | 49                      | 3.3                     | $17.87 \pm 0.02$                                     | $22.28 \pm 0.02$ | -9.19                                 | -46.7                                                                      |
| 2                       | 40                      | 10.6                    | $20.74 \pm 0.05$                                     | $19.11 \pm 0.05$ | 1.51                                  | 7.7                                                                        |
| 3                       | 36                      | 5.0                     | $20.08 \pm 0.02$                                     | $19.99 \pm 0.02$ | 0.21                                  | 1.1                                                                        |
| 4                       | 30                      | 6.1                     | $22.99 \pm 0.02$                                     | $22.38 \pm 0.02$ | 1.29                                  | 6.6                                                                        |
| 5                       | 23                      | 11.7                    | $23.15 \pm 0.02$                                     | $20.38 \pm 0.03$ | 5.42                                  | 27.6                                                                       |
| 6                       | 16                      | 12.8                    | $20.54 \pm 0.02$                                     | $16.64 \pm 0.02$ | 8.23                                  | 41.8                                                                       |
| 7                       | 10                      | 6.1                     | $20.96 \pm 0.04$                                     | $20.22 \pm 0.02$ | 2.31                                  | 16.8                                                                       |
| 8                       | 6                       | 6.3                     | $23.51 \pm 0.02$                                     | $22.99 \pm 0.03$ | 0.94                                  | 4.8                                                                        |

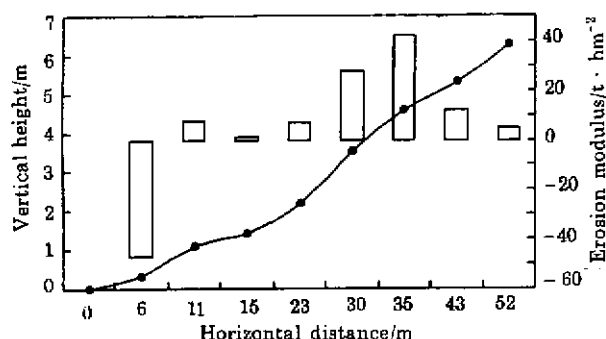


图1 雷竹园土壤侵蚀的空间分布

Fig.1 Spatial distribution of soil erosion in bamboo field

在作样品中子活化分析时, 样品的均匀性对数据结果影响较大, 因为样品称量较少(100mg), 野外土壤构成复杂, 所以必须磨细至100目以下, 以减少实验误差。另外, 添加过Eu的样品大部分含量较高(在15—25mg/kg), 在实际工作中样品数量较多, 在我们选择的实验条件下有利于提高工作效率, 其它核素对测量的干扰影响可以忽略不计。

中子活化分析技术可进行多元素同时分析, 因此在示踪原子的选择时, 今后可考虑添加

多元素示踪, 增加示踪结果的可靠性。

研究结果表明, 中子活化分析技术结合定位土芯Eu示踪法, 用于以片蚀和细沟侵蚀为主的红壤坡地的研究是完全可行的。

**致谢** 在土壤示踪及中子活化实验过程中, 得到庄圭荪先生的大力帮助, 在此表示衷心的感谢。

### 参 考 文 献

- 1 Knaus R M. *Estuaries*, 1989, 12(4):269
- 2 TIAN Junliang, ZHOU Peihua, LIU Puling, *et al.* *J Soil Wate Conservation* (in Chinese), 1992, 6(4):23
- 3 Group of Modern Nuclear Analysis Technique and its Application in Environmental Science (in Chinese). *Modern nuclear analysis technique and its application in environmental science*, Beijing: Atomic Energy Press, 1994. 201-238

## Application of neutron activation analysis technique for investigation on erosion of red soil in sloping fields

SUI Guoping XU Kai LUO Minhong CHEN Baolin XU Weixing

(*Shanghai Institute of Metrology and Testing Technology, Shanghai 200233*)

YANG Wude WANG Zhaoqian

(*Zhejiang Agricultural University, Hangzhou 310029*)

### Abstract

A new method of fixed soil core Eu tracer associated with INAA technique for studies on erosion of red soil in sloping fields is described. Principles for selection and amount calculation of the tracer, the tracing and INAA procedures, the calculation of the erosion results, as well as its application in bamboo fields at sloping area are introduced. The results show that this new method is suitable for investigating the sheet or rill erosions of red soil in sloping fields.

**Key word** INAA, Soil erosion, Red soil slope field, Fixed soil core Eu trace technique

CLC TL43