

土壤侵蚀研究中核示踪技术的应用

李雅琦 田均良 刘善灵

中国科学院
(水 利 部 水土保持研究所 陕西杨凌 712100)

摘要 核示踪技术是研究土壤侵蚀的一种新技术。本文简述了土壤侵蚀研究中核示踪技术的应用现状,并介绍了一种新方法——稳定性稀土元素(REE)示踪法。该方法可定量测定坡面不同地形部位的相对侵蚀量,揭示侵蚀过程中相对侵蚀量沿坡面的变化趋势,还可反映野外全坡长小区土壤侵蚀的分布模式。应用结果表明,稀土元素在土壤侵蚀时空分布、泥沙运移、沉积过程以及小流域泥沙来源等研究领域均有广阔的应用前景。

关键词 土壤侵蚀 核示踪技术 稀土元素 应用前景

随着原子能科学技术的飞速发展和核分析技术的功能利用与开发,核示踪技术的应用范围愈来愈广泛。各种探测系统的更新、计算机的广泛使用以及特效放射化学分离方法的改进,极大地推动了核示踪技术应用的日臻广泛与完善。核示踪技术在土壤侵蚀研究中也显示出了其独特的优势,它监测精度高,可研究的地貌类型和范围广,为土壤侵蚀的定量化研究开辟了新的途径,并展现出广阔的应用前景。

1 核示踪技术的应用

防治土壤侵蚀是关系到人类生存和工农业持续发展的重要环境问题,利用先进的科学技术和研究方法研究土壤侵蚀及其规律可为侵蚀区综合治理提供科学依据。目前研究土壤侵蚀的方法^[1](如径流小区法、通用土壤流失方程式、遥感、摄影法等),各有其特点及适用性。它们多用于监测土壤侵蚀作用的后果,有的观测方法费工、费时,且在同时研究侵蚀和沉积量化特征、小流域泥沙来源和泥沙输移比以及地形异常复杂的坡沟侵蚀等方面的应用有很大的局限性。鉴于此,科学家们在不断探索量化程度高且能追踪泥沙来源及其运移、沉积过程的核示踪研究方法。

1.1 国内外核示踪技术应用概况

国外将核示踪技术应用于土壤侵蚀研究已有 30 多年的历史。60 年代初,门泽尔(Menzel)等人^[2]即首创运用放射性核素沉降研究土壤侵蚀,为土壤侵蚀研究的新技术应用开辟了一条新路,同时也为核示踪技术的发展开辟了新的应用领域。随着土壤侵蚀量化研究的开展,核示踪技术受到世界各国科学家的高度重

视,其应用范围愈来愈广。70 年代初美国、瑞士、朝鲜、以色列等国的科学家们利用大气沉积的放射性核素研究农林系统的土壤侵蚀及沉积分布,80 年代美国诺斯(Knaus)^[3]等人利用稳定性同位素示踪研究沼泽地的土壤侵蚀沉积速率,90 年代以来澳大利亚^[4]同时利用⁷Be、¹³⁷Cs、²¹⁰Pb、²²⁶Ra、²³²Th 多种土壤核素示踪法研究小流域泥沙来源,我国从 80 年代开始利用核示踪法进行了土壤侵蚀研究,如张信宝^[5]等人利用¹³⁷Cs 法研究了农耕地的土壤侵蚀,王秀玉等人利用²¹⁰Pb 法研究鄱阳湖底泥沙沉积,李小龙^[6]等人利用²²⁶Ra 分析法研究小流域泥沙来源,马建国^[7]等人利用土壤特征元素(核素)法研究土壤中的泥沙运移轨迹。核示踪技术的应用,使土壤侵蚀量化研究进入了新的发展阶段。

1.2 核示踪技术应用分类

土壤侵蚀研究中的核示踪技术应用,可分为放射性核素示踪法和可活化稳定性核素示踪法两大类。

1.2.1 放射性核素示踪法

包括如下三种:

(1) 大气沉降的放射性核素(如¹³⁷Cs、²¹⁰Pb)示踪。¹³⁷Cs 是核爆炸产生的全球分布的放射性核素,²¹⁰Pb 是从大气中沉降下来的放射性核素,它们降落到地表后,随着泥沙的侵蚀、输移和沉积而运动,所以可用作土壤侵蚀、泥沙输移和沉积研究的示踪核素^[8]。

(2) 土壤中天然放射性核素(如²²⁶Ra、²³²Th)示踪。²²⁶Ra 是土壤中铀系衰变的产物,²³²Th 是土壤中原有的,它们都是存在于土壤中的天然放射性核素。它们在土壤剖面或不同母质土壤中的含量分异,可作为不同层次或不同地区侵蚀土壤的示踪核素。

(3) 人工施放放射性核素(如⁵⁶Mn、¹³⁴Cs)示踪。放射性核素示踪,可人为选择核素种类和施放部位,其目的性强,比利用大气沉降或土壤中放射性核素示踪灵活,适用于侵蚀强度的分布及小流域的产沙来源等定量研究。

1.2.2 可活化稳定核素示踪法

包括如下两种:

(1) 根据不同部位或不同地段土壤中的元素丰度分布特征及含量差异,采用中子活化分析等分析技术判测泥沙来源与侵蚀强度分布。

(2) 人工施放的可活化稳定性核素示踪法。即将人工施放的具有可活化的稳定性核素的元素化合物作为示踪剂,利用 INAA 分析方法,研究侵蚀泥沙分布运动变化规律。

1.3 各种示踪方法的利弊

以上示踪方法各有其利弊:大气沉降的放射性核素¹³⁷Cs,由于其半衰期长,适用于长历时的侵蚀量估算及地学上的沉积物年龄的测定,它们的沉降主要集中在表土,而有些地区由于强烈的现代侵蚀表土已侵蚀殆尽;²¹⁰Pb 因在土壤中含量甚微,要求测定的条件严格且费工费时,故该方法的应用受到很大限制;人工施放天然放射性核素,具有选择性大、适用性强、放射性测量灵敏度高等特点,但由于放射性环境污染问题,给实际操作带来诸多不便,因而大大限制了该方法的应用范围;土壤中的天然放射性核素(²²⁶Ra 和²³²Th)均来自于成土母质^[9],对于区域性成土母质复杂、土壤剖面分布分异明显的地区来说,该方法是研究土壤侵蚀的有利手段,但对诸如黄土高原地区成土母质均一、元素剖面或区域分异不明显的侵蚀区,该方法则灵敏度低;稳定性核素示踪法,除具备上述方法的共同优点外,还具有满意的监测精度。它不仅避免了人工施放放射性核素示踪存在的污染问题,而且可根据研究需要选择元素种类和施放部位,灵活性大,适用性强,加上采用先进的中子活化分析手段,具有灵敏度高、精确度好、多元素测量等特点。利用稳定核素示踪法研究黄土高原地区土壤侵蚀是一种理想的方法。

2 核示踪方法

2.1 稳定性核素示踪方法

利用示踪法研究土壤侵蚀,就是将具有可活化核素的稳定性元素(如镧、钐、钕等)作为示踪剂,在试验开始时将其施入研究区内,使其随侵蚀土壤一起迁移,根据试验目的和要求采集泥沙样,再利用中子活化分析测定示踪元素含量,判测泥沙的来源及运移轨迹。

用于土壤侵蚀研究的示踪元素须具备以下条件:

①元素(核素)应与土壤有较好的结合能力;②土壤中元素含量甚微;③土壤中植物富集有限,淋溶迁移不明显;④无环境危害。此外,从方法的精度及实验成本和推广应用前景等方面考虑,示踪元素还应具有施加量少、易于识别和探测的特征。稀土元素具有上述基本特征,且元素之间的化学性质及表生地球化学行为非常相似,选用 REE 为示踪元素,还可克服多种元素之间的理化特性差异而产生的误差。

示踪元素的施放,除考虑研究期间最大可能的侵蚀浓度外,泥沙中示踪元素的含量应与土壤背景值差异显著,然后根据不同地貌单元、不同侵蚀类型及侵蚀部位计算 REE 施放量^[10]。

根据计算出的示踪元素施放量,分别取出相应元素的化合物均匀搅拌在供试土壤中,按照选定的元素布设方法^[11]施入试验区内。

2.2 样品采集与测量

施放示踪元素前,应在试验小区内采集土壤背景样。降雨试验期间应采集径流浑水样,降雨后在小区下部沉积池采用网格法取样。全部样品经风干、混合、研磨、封装、照射,再利用 γ 能谱仪测量示踪元素含量。

我们在进行黄土高原土壤侵蚀垂直分布定量分析研究中,利用上述方法取得了满意的结果,故本文以 REE 示踪法为例探讨示踪法应用前景。

3 REE 示踪法的应用实例

3.1 不同地形部位的相对侵蚀量分布模式

根据各条带的 REE 施放浓度和集水池中的示踪元素含量,可计算出各坡段相对侵蚀量。表 1 给出了几年来在野外试验小区中所出现的几种降雨侵蚀量分布模式。

表 1 野外小区不同区段的相对侵蚀量分布模式

区段	示踪带距坡顶距离(m)	一次降雨相对侵蚀量(%)				
		1993年7月26日 (15.07)	1994年7月7日 (10.21)	1994年7月19日 (21.4)	1995年7月14日 (67.4)	1994年8月3日 (3.83)
La	16	0.114	0.025	0.033	0.179	0.021
Ce	37	0.193	0.126	0.110	0.169	0.090
Nd	54.5	0.103	0.062	0.149	0.194	0.224
Sm	72	0.091	0.147	0.217	0.198	0.257
Eu	89.5	0.210	0.139	0.236	0.098	0.167
Dy	107	0.296	0.498	0.251	0.167	0.258
合计		1.007	0.997	0.996	1.005	1.017

注:括号内的数值为一次降雨平均雨强,mm/h。

由表 1 看出,利用 REE 示踪法成功地定量描述了侵蚀泥沙沿小区的分布。在不同一次降雨中,侵蚀泥沙沿野外小区的分布模式不尽相同。除 1995 年 7 月 14 日小区各段的产沙量变化不大外,其它一次降雨的侵蚀泥沙分布总体上随坡长的增加而呈上升趋势,这

表现出随坡面汇流面积增大、径流量增加、侵蚀力增强而侵蚀量增加的特征。在这种总趋势下,侵蚀量分布特征也表现出了某些局部的分异现象,如1993年7月26日一次降雨在坡面中部距坡顶50~70m段处出现了侵蚀量减少的现象,而1994年8月3日的降雨侵蚀在该部却呈增加趋势。

不同的侵蚀分布模式反映了坡面侵蚀的复杂性。侵蚀量的分布受坡面微地貌、土壤容重等土壤特性及雨型和降雨强度多种因素的影响,REE示踪法测得的土壤侵蚀分布的量化结果,将对深入研究这些因素的影响开辟了新途径。

3.2 不同部位相对侵蚀量随降雨过程的变化趋势

利用中子活化分析对侵蚀过程样示踪稀土元素含量进行测定,可用于揭示在一次降雨土壤侵蚀过程中坡面不同部位相对侵蚀量的变化趋势^[10]。

在坡面小区以段面法布设的A、B、C三个区段中,上部(A段)相对侵蚀量在降雨开始时呈减少趋势,尔后逐渐增加;中部(B段)在大部分降雨过程中土壤相对侵蚀量逐渐增加,只是在降雨结束前略有减少;下部(C段)的相对侵蚀量在整个降雨过程中总体上呈减少趋势。这种变化趋势表现出坡面不同区段随降雨过程侵蚀变化差异显著,可为进行土壤侵蚀的机理研究提供科学依据。

3.3 侵蚀泥沙在坡面沉积中的分布

图1给出了1993年野外径流小区泥沙沉积的变化趋势。由图1看出,侵蚀泥沙的沉积主要沿径流方向分布,发生在邻近的径流区内,随着距离的增加沉积量急剧减少。来自坡面上部的泥沙在坡面上部的沉积

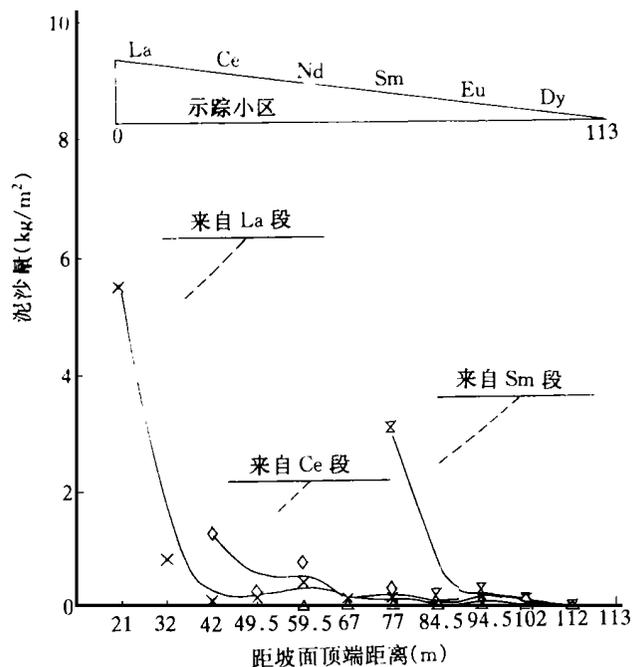


图1 野外径流小区泥沙沉积分布趋势

比在坡面下部沉积更显著,这种现象与侵蚀的种类和坡面径流特征相吻合。坡面上部以面蚀和轻微的细沟侵蚀为主,汇流现象不明显,侵蚀量较小,全坡面泥沙的运移距离又长,径流运载泥沙能力较弱,所以泥沙的沉积现象相对显著。而坡面中下部位,由于汇流的作用,细沟、浅沟侵蚀增多,集中于细沟、浅沟的流量大,因而使侵蚀泥沙在坡面的中下部运移能力增强,沉积作用相对较弱。

核素示踪法以对侵蚀泥沙运移过程中的沉积研究为独具的特色,这是其他方法所无法比拟的。

3.4 研究小流域泥沙来源

通过室内小流域模型,REE示踪法已应用于定性研究小流域侵蚀产沙过程及产沙部位。实验表明,小流域侵蚀产沙的主要源区随流域沟道侵蚀发育的不同在不断变化。在流域发育的初级阶段,沟道下切是主要的侵蚀方式。沟坡侵蚀泥沙所占的比例与小流域发育状况密切相关。虽然利用室内模型模拟研究小流域泥沙来源尚存在一些局限性,但表明REE示踪法可望用于研究小流域各地形部位的侵蚀过程和产沙特征,反映小流域泥沙来源的时空变化规律,从而为研究小流域侵蚀产沙提供了一种新方法。

参 考 文 献

- [美]R. 拉尔主编. 黄河水利委员会宣传出版中心译. 土壤侵蚀研究方法. 北京: 科学出版社, 1991
- Menzel, R. G. Transport of Strontium-90 in Runoff, Science(Washington), 1960, 131: 499~ 500
- Knaus, R. M. et al. Accretion and canal impacts in a rapidly subsiding wetland. III A new soil horizon marker method for measuring recent accretion. Estuaries: 1989, 12(4): 269~ 283
- Olley, J. M., Murry Identifying Sediment Sources in a Gullied Catchment Using Natural and Anthropogenic Radioactivity, Water Resources Research, 1993, 26(4): 1037~ 1043
- 张信宝, 赫吉特, D. L, 沃林 D. E. ¹³⁷Cs 法测算黄土高原土壤侵蚀速率的初步研究. 地球化学, 1991, 3: 212~ 218
- 李小龙, 苏春江, 白立新, 等. 小流域泥沙来源的²²⁶Ra分析法. 山地研究, 1995, 13(3), 199~ 202
- 马建国, 柴之芳, 毛雪英, 等. 可活化稳定性同位素示踪法研究泥沙运动初探. 核技术, 1990, 3(10), 612~ 616
- 王秀玉, 曾而康, 万玉松, 等. 应用²¹⁰Pb测定鄱阳湖底泥的沉积速率. 核技术, 1987, 10(27): 15~ 18
- 张钟先, 田均良, 郝玉怀, 等. 黄土区土壤中天然放射性元素背景值研究. 中国环境科学, 1993, 13(4): 288~ 292
- 田均良, 周佩华, 刘普灵, 等. 土壤侵蚀REE法研究初报. 水土保持学报, 1992, 6(4): 23~ 27
- 李雅琦, 吴普特, 刘普灵, 等. REE示踪法研究土壤侵蚀的室内模拟试验. 水土保持研究, 1997(2)

收稿日期: 1998- 08- 27

(责任编辑 赵文礼)

SOIL AND WATER CONSERVATION IN CHINA

No. 12 (201) 1998

Abstracts

Application of Nuclear Monitoring Techniques in Soil Erosion Study Li Yaqi, Tian Junliang, Liu Shanling
(Institute of Soil and Water Conservation Research, the Chinese Academy
of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi, 712100) (31)

Present application status of nuclear monitoring technique, an advanced technique in soil erosion study, is simply described in the paper as well as a new method—stable rare- earth element (REE) monitoring technique—introduced. The new method can be used to quantitatively measure the relative erosion at different landform sites of a slope, reveal the tendency of relative erosion quantity change along the slope in erosion process and reflect soil erosion distribution pattern in whole slope experimental plot in field. Application of the method demonstrates that there are bright prospect of rare- earth element application in study fields of soil erosion distribution along with time and space, sediment transportation, sedimentation, small watershed sediment source, and so on.

Key words soil erosion nuclear monitoring technique rare- earth element application prospect

Study of Soil Ridge Terrace Construction in Dilatable Soil Areas in South Shaanxi Zhu Jianqiang, Li Jing
(Cooperation Centre of China and Japan, Hubei Agriculture College, Jingzhou, Hubei, 434103) (34)

Analysis and investigation of severe dam collapse often existing in soil ridge terraced land of dilatable soil areas in south Shaanxi demonstrate that the essential cause for dam collapse is acute decrease of strength of dilatable soil with moisture absorption and consequent expansion. The comprehensive treatment of prevention of moisture and wind should be adopted to solve the problem.

Key words dilatable soil soil ridge terraced land south Shaanxi

Study of Dyke Protection by Soil Solidification of Plant Root System in Nenjiang River

..... Dai Quanhou, Zhang Li, Liu Yanjun, Xu Xiaohong
(Jilin Provincial Institute of Soil and Water Conservation Research, Liaoyuan, Jilin, 136200) (36)

Through the measurement and analysis of plant root system for Nenjiang river dyke protection and soil anti- scour, anti-erosion strength and shearing strength, the author find that the surface soil is stronger than the bottom soil at the same site in shearing strength as well as higher anti- scour and anti-erosion. Since plant root system is of strong soil solidification function, the soil anti- scour index is of evident relation to root length and root volume with single correlation coefficients of 0.9146 and 0.8197 respectively. The soil with higher organic material content has stronger anti- scour strength and higher stability in water. Soil anti-erosion strength is of lower correlation to organic material content than that to root length and root volume with the correlation coefficient of 0.9132 and single correlation coefficients of 0.8137 and 0.8091 respectively. Soil stability is of close relation to plant root volume with correlation coefficient of 0.9814, i. e., the more the root volume is, the higher the soil shearing strength is. Soil with growth of Needle Spikesedge, type of grass, is of the highest anti-erosion strength in comparison to existing vegetation with the strongest slope and dyke protection capacity, and is worth of wide extension.

Key words dyke vegetation anti- scour index water stable index shearing strength

Experimental Study of Optimum Design and Implementation for Rock Ridge Terrace

..... Ma Leping, Mou Chaoxiang, Zhang Xiaohong
(Shule River Management Bureau of Gansu Province, Yumen, Gansu, 735211) (38)

Basic farmland construction in Yangtze river basin is mainly the type of terrace with rock ridge because there are principally rock mountains in the basin with high mountain, thin soil and lots of rock for construction. Stability analysis of trapezoid section demonstrates that the maximum stable height of ridge is 2.62 meter. Based on physical concept, a mathematical model for optimum design of rock ridge terrace is established by taking the ridge height H as decision making variable and comprehensive cost loss as objective. Practice of the optimum design shows that the design schedule is of larger field plot, flatten field surface, less space occupied by ridge, stable terrace ridge, labor saving in construction, and other advantages comparing to existing normal terrace construction method.

Key words rock ridge terrace optimum design construction technique