

文章编号: 1001-8166(2005)07-0751-06

磁性示踪在土壤侵蚀研究中的应用进展^{*}

张凤宝¹, 杨明义^{2①}, 赵晓光³, 刘普灵²

(1 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100

2 中国科学院水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100
水利部

3 西安科技大学地质与环境工程系, 陕西 西安 710054)

摘 要: 示踪技术在土壤侵蚀研究中已得到了较广泛的应用, 尤其是利用核素示踪 (如¹³⁷Cs、⁷Be、²¹⁰Pb 和 REE 示踪) 定量研究土壤侵蚀规律和侵蚀机理方面取得了一系列成果。近几年利用磁性示踪研究土壤侵蚀成为示踪技术在土壤侵蚀研究中应用的一种新思路。目前, 在利用环境磁性的时空差异性来研究区域内侵蚀泥沙来源, 以沉积物磁性作为流域环境变迁指示剂以及利用磁性参数的变化研究土壤侵蚀等方面已取得一些成果, 同时也有人提出利用人工磁性示踪剂来研究土壤侵蚀强度的空间分异规律, 定量描述侵蚀方式的演变及侵蚀过程的发生、发展规律, 并在野外进行了小区试验。但总体上磁性示踪在土壤侵蚀研究中的应用还相对较少。就磁性示踪在土壤侵蚀研究中应用的理论基础以及目前的研究现状作了简要论述, 并分析提出了其研究方向和应用前景。

关键词: 磁性示踪; 土壤侵蚀; 磁化率

中图分类号: S157 **文献标识码:** A

地表物质迁移的过程是地球科学研究的主要方面, 在评价环境质量、认识全球变化中具有特殊的意义。土壤侵蚀是地表物质迁移的主要形式之一, 也是当今环境的重大问题。随着世界范围对农业可持续发展的日益重视, 有关土壤侵蚀日趋严重及由此而产生的土壤退化问题的研究则显得愈加重要^[1, 2]。

研究土壤侵蚀速率、沉积速率及其侵蚀强度的空间分布, 了解土壤侵蚀机理和运移途径, 是分析研究侵蚀泥沙来源及侵蚀区土地整治、水土保持措施合理布设的主要理论依据^[3]。现有的土壤侵蚀测定方法基本上分为^[4, 5]: 径流小区法、普查法和示踪法。径流小区法和普查法虽然广泛应用于土壤侵蚀的研究中, 但它们在研究土壤侵蚀的过程、侵蚀强度

和侵蚀沉积的空间分布特征时却面临着许多困难, 而且这两种方法费用昂贵, 劳动强度大。示踪法则能够克服径流小区法和普查法的不足。

示踪法中目前最常用的是核素示踪法, 自从 20 世纪 60 年代初 Menzal^[6] 研究了土壤侵蚀和放射性核素运移关系以来, 核素分析技术在土壤侵蚀研究中的应用蓬勃发展起来, 目前, 被利用的示踪核素有核爆炸产物¹³⁷Cs、天然放射性核素 (²¹⁰Pb、⁷Be、²²⁶Ra、²³²Th 等) 和稳定性稀土元素 (REE), 其中, 以¹³⁷Cs 为示踪剂的研究和应用最为广泛和深入。但¹³⁷Cs 示踪技术也有一些缺憾, 如背景值的选取困难;¹³⁷Cs 的年沉降通量的确定以及随着土壤侵蚀的发展及其本身的衰变, 其在土壤中的含量越来越少而逐步丧

* 收稿日期: 2005-01-04 修回日期: 2005-03-21

* 基金项目: 国家自然科学基金项目“¹³⁷Cs 和 ⁷Be 复合示踪研究坡耕地侵蚀产沙时空分布特征” (编号: 40401032) 和“⁷Be 示踪土壤侵蚀关键基础性问题的研究” (编号: 40071059); 中国科学院“西部之光”项目“核素示踪在黄土高原生态环境建设减沙效益评价中的应用”资助。

作者简介: 张凤宝 (1980-), 男, 宁夏彭阳人, 硕士研究生, 主要从事土壤侵蚀研究新技术、新方法研究。

E-mail zhangfengbao1980@tom.com

①通讯作者: 杨明义 (1970-), 男, 山东莱州人, 副研究员, 主要从事土壤侵蚀研究新技术、新方法研究, E-mail ym.yzl@163.com

失示踪功能;需要特殊的测量设备等。

Cai theon^[7,8]、Ventura等^[9,10]提出了利用磁性示踪研究土壤侵蚀,这为示踪法研究土壤侵蚀提供了一个新的思路,本文就磁性示踪在土壤侵蚀研究中的应用做一简要的论述。

1 磁性示踪技术应用于土壤侵蚀的可行性

环境磁学是一门介于地球科学、环境科学和磁学之间的新兴边缘学科。它可提供大量有关区域或全球环境变化及人类活动对环境影响等重要信息,能探索不同时空尺度的环境作用、环境问题和人类活动的影响,从而揭示环境变化的过程机制^[11,12]。目前,环境磁学在古气候与古环境变化、湖泊沉积、土壤学和环境污染等方面的研究已取得了很大的进展,从而为在土壤侵蚀中的应用奠定了一定的基础。

1.1 Kuk la等的稀释理论提供了一定的理论基础

Kuk la等^[13]在 1988年为了解释黄土—古土壤中古土壤初始磁化率增强的原因,而提出了稀释理论。即:环境矿物中磁性矿物的来源可归为外源和内源两类。内源是指物质形成和次生变化过程中形成的磁性矿物,在一定时空尺度上是稳定的;外源是以陆源碎屑物形式在外营力的作用下从外界输入的磁性矿物。因此,一切能导致磁性矿物相对富集或稀释的物理因子都会对物质的磁性产生影响。它们不同的物源输入、物质沉积速率的变化、土壤中物质垂直运移以及搬运和沉积分异过程对物质的磁性影响是极为明显的。Thompson等在 *Environmental Magnetism* 一书中提出水土流失是导致沉积物磁性增强的一个主要原因。虽然代替稀释理论的土壤化概念在解释黄土—古土壤中,土壤初始磁化率增强的原因成为当今研究的主流,但就研究一定时期中的土壤侵蚀而言,稀释理论有它现实的意义。

1.2 土壤中的磁性讯号存在时空差异性

在大尺度范围内磁性矿物分布具有差异性,首先是地质构造和成岩过程决定了不同地域中磁性矿物的种类、含量和赋存方式的不同,其次就是气候、植被、水文等条件的地带性差异决定了土壤化过程的差异性。因此,在大尺度范围内,同一区域磁性矿物的含量具有相对的均一性,不同区域具有明显的差异性。

在小尺度范围内或某一流域内,由于土壤侵蚀、植被覆盖、土地利用结构以及微地貌的差异,易引起磁性矿物在流域内局部地区的相对差异性。韩晓非

等^[14]通过对土壤理化性质和土壤磁性参数的分析研究侵蚀红壤垦种熟化后土壤磁性特征的演变规律,他们选取杉木林、草地、桔园、裸地、香樟林、混交林 6种不同的土地利用方式,分析土壤磁化率和饱和等温剩磁的变化情况,结果表明同一母质发育、生物气候条件相同的土壤磁化率和饱和等温剩磁的磁性本底值应较为一致,各小区磁化率和饱和等温剩磁的变化明显反映了土壤熟化程度和利用方式对土壤磁性变化的影响,尤其裸地磁化率的下降则反映了裸地地表受强烈侵蚀的结果。

俞劲炎等^[15]研究金衢盆地红壤磁化率剖面时指出表面磁性增强的现象。濮励杰等^[16]研究了坡度与土壤表层磁性富集系数(表示土壤表层磁化率与样点磁化率平均值之比率)的关系。经分析,两者呈现较好的负对数相关($R = -0.63$),经方差检验在 $\alpha = 0.05$ 水平上呈显著性相关关系,相关方程为:

$$X_{skf} = -16.88 \ln X + 149.63$$

式中, X_{skf} 为土壤表层的磁性富集系数, X 为坡度。

结果表明,随坡度增大,土壤表层的磁性富集系数 X_{skf} 减少。

董元杰等^[17]通过在小流域坡面上进行的实地磁测、室内组分分离、组分磁测,对坡面不同空间部位土壤的磁化率特征和降雨后土壤磁化率变化的机理进行研究,结果表明,坡面土壤磁化率以上坡磁化率最低、中坡最高、下坡居中;土壤不同粒径组分磁化率与粒径大小存在密切联系,土壤不同粒径组分中以粒径在 0.1~0.25 mm 的组分对土壤磁化率影响最大;在降雨后不同坡位土壤磁化率均发生变化,其机理是由于土壤遭到侵蚀后粒级组成发生变化,从而造成磁性矿物的含量发生变化,进而引起了土壤磁化率的改变,证明利用磁性示踪法来研究坡面土壤侵蚀是一个行之有效的方法。

虽然土壤表面磁性变化的原因究竟是物理迁移过程、生物化学过程还是人类活动的影响以及它们对总磁测的贡献率仍在研究之中,但是磁性参数在坡面不同空间部位及土壤剖面上具有差异性为我们在土壤侵蚀中的应用提供了可能性。

1.3 磁性示踪具有可操作性

利用磁性示踪具有潜在的优势^[9,10],首先,磁性参数的测量既简单又快速,而且无破坏性(经磁学测试后仍可用于核素分析、地球化学等),利用常规的磁测方法就能够满足大量样品分析测试的要求;其次是磁测仪器可以直接测定各种磁性参数,且操

作简单,便于携带,既可以在野外测定,也可以在室内测定。目前,除了使用 Bartington 磁力仪在野外从事快速、高分辨率的磁化率扫面以外,最近欧洲 MAGPROX III 工作组又研制出了野外袖珍式磁化率仪 (SM 30) 和野外土壤剖面磁化率仪 (SM 400), SM 30 体积只有手掌大小,但精度很高 (可达到 10^{-7} SI), 在野外除了可以用它方便测量研究区域内植物 (农作物、树叶等) 的磁化率,也可以用它测量一些新鲜的人工露头、土壤剖面。SM 400 也很小巧,使用特制的土壤钻孔采样器方便获取 30~50 cm 长度不等的土芯后,把测井装置置于钻孔中,由计算机控制可以快速连续的测量该土壤剖面的磁化率,并在现场绘出磁化率变化曲线。通常一个钻孔的磁化率测量只需几分钟的时间。对钻取的土壤柱子,可以在实验室做进一步的岩石磁学分析和化学分析研究。因此这些最基本的设备一旦被获得,这种技术就极度的简单、快速和廉价。

2 磁性示踪在土壤侵蚀研究中的应用

2.1 利用环境磁性示踪泥沙来源

澳大利亚的 Caitechon^[7] 提出利用环境矿物磁性示踪泥沙来源。该方法利用矿物磁性参数之间的线性关系确定数值信号,在河流汇合处及下游河段确定支流泥水来源,并用此关系确定相关支流对干流二维混合泥沙的补给程度。该技术的必要条件是在适当时段内,支流和下游河段具有固定的平均磁信号,依据泥沙输移的均化作用,这是有可能的。作者通过稳定河段采样和泥沙堆积地点的芯样,分析澳大利亚的纳格瑞河、奥得河、斯诺威河、马克拉林等河流泥沙来源,结果表明,在一定的地质和气候范围内河流泥沙用磁性参数表示的磁性矿物集合性在时空上是稳定的,各磁性参数之间的相关关系说明了磁性矿物集合的特性。因此,可将其作为可靠的示踪剂。

基于以上理论基础, Caitechon 将该方法公式化,给出了支流百分比 (C_p) 的计算式:

$$C_p = 100(\bar{X}_{\text{支流1}} - \bar{X}_{\text{下游混合}}) / (\bar{X}_{\text{支流1}} - \bar{X}_{\text{支流2}})$$

式中 C_p 为支流补给百分比, \bar{X} 为流域磁性参数的平均值。

依赖于汇流处支流和下游河段相应推移质和悬移质沙样的代表性,泥沙试样分级后测量出磁性参数,作者分析了澳大利亚的尼格里河、潘顿河、陶尼河和马克拉林河不同粒径颗粒对干流的补给百分数。

Debnig 等^[8] 利用土壤磁化系数的变化来研究长期土壤侵蚀的再分布。认为在侵蚀区域 (利用 ^{137}C 技术的的结果) 磁化系数随土层深度变化很大,在这些位置上使用磁化系数定量分析土壤分布不太可能;在土壤沉积出现的地方,沉积区上部和中部土壤磁化系数高于坡底部,这些地方磁化系数随土层深度的变化可用于估计土壤沉积。试验结果发现,利用磁化系数分布变化估计靠近沉积区的区域比较成功。磁化系数的变化反映的只是区域内沉积物质的来源,而不是地形的变化。

2.2 利用沉积物磁性作为流域环境变迁的指示剂

湖泊或水库沉积物的磁信息可以揭示流域环境变化的过程和机制。研究表明,在连续的常态湖泊或水库沉积序列中,可能夹带着一层或多层磁性极端异常的沉积层,它们往往指示了流域或临近区域的某些环境事件。如森林、草场火灾会导致表土层磁性的明显增强,这些物质由于土壤侵蚀进入湖泊或水库,在沉积序列中保留了火灾事件的“痕迹”。Dearing 等^[19] 在佩里什 (Peris) 湖的环境磁学研究,不仅发现了由于过度放牧引起的表土流失,而且解释了流域土地利用变化的历史过程。俞立中等^[20] 提出利用湖泊沉积物磁信息判别物质来源的定量分析方法,并成功地应用于流域环境研究。这些研究表明,磁性信息可以反映流域内土地利用方式、植被的演替、气象水文因子的变化以及土壤侵蚀等的历史过程,可以提供一定时期内土壤再分布的方式和速率,为土壤侵蚀预报和小流域的发展规划提供理论基础。

2.3 人工磁性示踪剂在土壤侵蚀中的应用

人工磁性示踪剂的示踪原理和 REE 示踪原理相似,就是通过在径流小区中布设示踪剂,利用降雨前后测定的磁性参数之间的差异,通过统计分析,得出磁性参数与侵蚀指标之间的定量化关系,侵蚀强度的空间分异规律,定量化描述侵蚀方式的演变及侵蚀过程的发生、发展规律。人工磁性示踪剂的示踪过程如图 1 所示。

Ventura 等^[9] 利用塑料珠和磁粉制造磁性示踪剂,其示踪原理就是示踪剂可以增强土粒的磁性及其和土壤颗粒的移动具有同步性,把和土壤具有相似密度和粒径级配的人工示踪剂与土壤按一定比例充分混合,通过模拟降雨实验,利用侵蚀区和沉积区磁性讯号的变化来定量研究土壤侵蚀速率的变化。通过实验,最后认为由聚苯乙烯和 Fe_3O_4 为材料制成的圆形塑料珠,其加权平均直径为 3.2 mm,密度

为 1.2 g/cm^3 , 和自然土粒比较相似, 作为示踪剂在细沟和细沟间侵蚀试验中具有可行性, 并且要求示踪剂的浓度为 $5\% \sim 10\%$, 与表层 $3 \sim 5 \text{ cm}$ 的土壤均匀混合以增强土壤磁性。

Ventura 等^[10] 利用上述示踪剂, 定量化模拟研究小区内由水蚀引起的土壤侵蚀、沉积空间分布。试验是在坡度为 3% 的野外小区中, 在坡上部的小区为侵蚀小区 (有人工降雨和放水), 在坡下部的小区为沉积小区 (无人工降雨和放水), 首先测定土壤

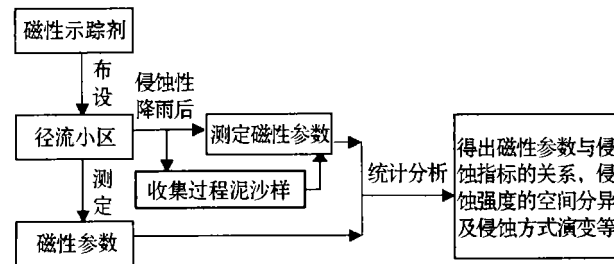


图 1 示踪过程图

Fig 1 Block scheme of tracing process using magnetic tracer

的磁性背景值, 然后把示踪剂与侵蚀小区表土 3 cm 深的土壤充分混合, 在不同降雨量 (35 mm/h 和 70 mm/h) 和不同放水量 (4 L/m in 和 10 L/m in) 的不同组合下进行试验。试验结果表明, 沉积物磁化率与沉积物中示踪剂的量有很好的线性关系, 回归方程为: 示踪剂的质量 = $(0.1254 \times \text{磁化率}) - 8.8402$ ($r^2 = 0.85$), 说明磁化率能够精确反映小区内沉积物的分布情况。最终作者认为, 在初始条件被测定的情况下, 磁化率能很好的区分示踪剂的流失和沉积区域, 流失区域磁信号减弱, 沉积区域磁信号增强。因此一旦初始条件被测定, 如果知道土壤中示踪剂的浓度, 就可以利用这种技术定量化估计侵蚀和沉积量。

同时 Ventura 等^[10] 在试验中发现流失的土壤和示踪剂的浓度在不同的降雨和放水条件下具有差异性, 既土壤和示踪剂运动的不同步性。他们认为与示踪剂粒径、密度的配比和土壤仍有差异性有关。因此建议在不同土壤及环境条件下, 需要配制相应粒径和密度的示踪剂。

3 磁性示踪技术在土壤侵蚀中的应用前景

环境磁学在恢复古地理环境, 探索古气候变化规律、环境污染以及土壤形成和土壤分类等方面有

很大的进展, 但对在土壤侵蚀方面利用研究的报道不多, 随着科学技术的发展, 利用土壤磁性研究土壤侵蚀将是土壤磁学的主要任务之一, 表现在以下几个方面:

(1) 进一步研究土壤物理性质和化学性质以及物理和生化过程对土壤磁性的影响, 为土壤磁性在土壤侵蚀中的应用提供基础理论依据。

(2) 研究土壤中磁性矿物的种类、形状和晶粒特征, 并量化它们对土壤整体的磁性贡献率, 以及不同粒径的土壤颗粒中磁性矿物的赋存量和搬运沉积分异过程引起的物质磁性特征的差异, 定量化研究侵蚀过程的分选性, 为进一步深化坡面土壤侵蚀过程和建立土壤侵蚀预报模型奠定坚实的理论基础, 同时也为土地退化和土地质量评价提供一种有效的评价手段。

(3) 利用经验或理论模型把不同物源产生的磁性讯号, 从总的磁测结果中定量分离出来, 确定物理作用、生物化学作用以及人类活动对磁测结果差异的贡献率, 解释土壤磁性增强的机理, 提高土壤侵蚀预报的准确性。

(4) 研究流域内不同植被、被覆度、土地利用结构和方式, 以及不同地形地貌类型的土壤磁性参数的变化及差异性, 定量化研究不同土地利用方式对侵蚀量的贡献和土壤侵蚀的空间分布特征, 为优化土地利用方式防治土壤侵蚀提供理论支持。

(5) 进一步探索寻找更为理想的人工磁性示踪剂, 在土壤侵蚀示踪研究中推广应用。

(6) 建立土壤磁性参数与土壤侵蚀速率之间的定量化模型, 提高土壤侵蚀预报的准确性和精确度, 为采取有效的土壤侵蚀防治措施提供可靠的基础数据。

(7) 把磁性示踪与其它示踪技术 (如 ^{137}Cs 、 ^7Be 、 ^{210}Pb 和 REE 示踪等) 相结合, 进行复合示踪, 来研究不同侵蚀方式的演变过程、侵蚀强度的空间分异和流域内的泥沙来源等问题。

利用磁性示踪是研究土壤侵蚀空间分布特征及侵蚀方式演变的一种新方法, 尽管由于自然地理环境的千差万别, 磁性矿物对环境变化的敏感性、磁参数解释的多义性及土壤化过程、物理过程和人类活动对磁性的影响以及它们对总磁测的贡献率等仍需进一步的研究, 但我们有理由相信, 随着测试手段的进步和基础理论的发展, 磁性示踪在土壤侵蚀研究中有着很好的发展前景。

参考文献 (References):

- [1] Liao Chao lin He Yurong Zhang Baohua *et al* Evaluation of application in using geochemistry as a tool measuring soil erosion [J]. *World Science-Technology R&D*, 2004, 26(3): 81-86 [廖超林, 何毓蓉, 张保华, 等. 土壤侵蚀研究中的地球化学示踪技术应用评价 [J]. 世界科技研究与发展, 2004 26(3): 81-86]
- [2] Bai Zhanguo Wan Guojiang Progress in the study of the soil erosion using radionuclides [J]. *Advances in Earth Science* 1998 13 (3): 232-237 [白占国, 万国江. 现代侵蚀作用核素示踪研究新进展 [J]. 地球科学进展, 1998 13(3): 232-237]
- [3] Li Liqing Yang Mingyi Liu Puling Advance of ^7Be as a tracer in studying sloping erosion [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2003, 23(2): 69-72 [李立青, 杨明义, 刘普灵. ^7Be 在坡面土壤侵蚀中应用的研究进展 [J]. 水土保持通报, 2003 23(2): 69-72]
- [4] Song Wei Liu Puling Yang Mingyi *et al* Using REE tracers to measure sheet erosion changing to rill erosion [J]. *Journal of the Chinese Rare Earth Society*, 2003, 21(6): 711-715 [宋伟, 刘普灵, 杨明义, 等. 坡面侵蚀形态转变过程的 REE 示踪法研究 [J]. 中国稀土学报, 2003 21(6): 711-715]
- [5] Tian Junliang Zhou Peihua Liu Puling *et al* A preliminary report of REE tracer method for soil erosion [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1992, 6(4): 23-27 [田均良, 周佩华, 刘普灵, 等. 土壤侵蚀 REE 示踪法初报 [J]. 水土保持通报, 1992, 6(4): 23-27]
- [6] Menzel Transport of strontium-90 in runoff [J]. *Science*, 1960, 131: 499-500
- [7] Caitchon G G. Sediment source tracing using environmental magnetism: A new approach with examples from Australia [J]. *Hydrological Processes*, 1993 7(4): 349-358.
- [8] Caitchon G G. The significance of various sediment magnetic mineral fractions for tracing sediment sources in Killinick Creek [J]. *Catena*, 1998 32(2): 131-142.
- [9] Ventura E, Nearing M A, Amore E *et al* Developing a magnetic tracer to study soil erosion [J]. *Catena*, 2001, 43 277-291
- [10] Ventura E, Nearing M A, Amore E *et al* The study of detachment and deposition on a hillslope using a magnetic tracer [J]. *Catena*, 2002, 44 149-161
- [11] Zhang Weiguo Yu Lizhong Xu Yu Brief reviews on environmental magnetism [J]. *Progress in Geophysics*, 1995, 10(3): 95-105. [张卫国, 俞立中, 许羽. 环境磁学研究的简介 [J]. 地球物理学进展, 1995 10(3): 95-105]
- [12] Jiang Yuhua Yin Hongfu Wang Runhua The theory method and research progress of environmental magnetism [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2004 25(3): 357-362 [姜月华, 殷鸿福, 王润华. 环境磁学理论、方法和研究进展 [J]. 地球学报, 2004 25 (3): 357-362]
- [13] Kukla G, Heller F, Ming L X *et al* Pleistocene climates in China dated by magnetic susceptibility [J]. *Geology*, 1988, 16 811-814
- [14] Han Xiaofei Liu Yunlong Chen Yongqiang *et al* Soil magnetic characters of hilly eroded red soils after cultivation [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2001, 15(2): 60-63. [韩晓非, 柳云龙, 陈永强, 等. 低丘侵蚀红壤垦种熟化过程中土壤磁性特征演变规律 [J]. 水土保持学报, 2001, 15(2): 60-63]
- [15] Yu Jingyan Lu Shenggao Soil Magnetism [M]. Nanchang Jiangxi Sciences and Technology Press 1991. [俞劲炎, 卢升高. 土壤磁学 [J]. 南昌: 江西科学技术出版社, 1991.]
- [16] Pu Lijie Bao Haosheng Heggitt D L The application of the new methods on land degradation study [J]. *Journal of Natural Resources* 1998 14(1): 55-61 [濮励杰, 包浩生, Heggitt D L 土地退化方法应用初步研究 [J]. 自然资源学报, 1998 14(1): 55-61]
- [17] Dong Yuanjie Shi Yanxi Magnetic susceptibility of soil eroded in slope and experiment of magnetic tracing on slope soil erosion [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004 18(6): 21-26 [董元杰, 史衍玺. 坡面侵蚀的土壤磁化率及磁性示踪试验研究 [J]. 水土保持学报, 2004, 18(6): 21-26]
- [18] Jong E De, Nestor P A, Pennock D J The use of magnetic susceptibility to measure long-time soil redistribution [J]. *Catena*, 1998, 32 23-35
- [19] Deearing JA, Elner JK, Happey-Wood CM. Recent sediment influx and erosional processes in a Welsh upland lake catchment based on magnetic susceptibility measurements [J]. *Quaternary Research*, 1981, 16 356-372
- [20] Yu Zhongli Olfild D F. A multivariate mixing model for identifying sediment source from magnetic measurement [J]. *Quaternary Research*, 1989 32: 168-181.

THE REVIEW OF USING MAGNETIC TRACER TO STUDY SOIL EROSION

ZHANG Feng-bao¹, YANG Ming-yi², ZHAO Xiao-guang³, LIU Pu-ling²

(1. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling 712100, China;
2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, CASMWR, Yangling 712100, China; 3. Department of Geology and Environmental Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract Tracing techniques have been widely employed in the investigation of soil erosion. Using ^{137}Cs , ^7Be , ^{210}Pb and REE (Rare Earth Element), quantitative information on soil erosion processes and mechanisms have been obtained. Magnetic has also increasingly been tested in recent years. With measured temporal and spatial variability of natural magnetism, sources of mobilized sediments have been assessed using different parameters. Man-made magnetic tracers were also applied in experimental plot to study the temporal and spatial variability of erosion intensities, observe the evolution of erosion types and erosion processes. Comparatively speaking, the application of magnetic tracers is still limited and under development. This paper tried to explain the basic theory of using the tracers in erosion study, to review the existing research results, and explore its potentials. The trends for future development and questions have to be solved are also discussed.

Key words Magnetic tracing; Soil erosion; Magnetic susceptibility; studying progress

下 期 要 目

中国生态系统研究网络 (CERN) 的进展	黄铁青, 牛 栋
有孔虫壳体的 Mg/Ca 比值在古环境研究中的应用	李建如
发震带试验 (SEIZE)	王 利, 周祖翼
南海巽他陆架末次冰期以来的孢粉记录初步研究	王晓梅, 孙湘君
南海中尺度涡研究进展	王桂华, 苏纪兰, 齐义泉
从吉林省安图县案例看人类对全球变化适应的行为心理学研究	田 青, 方修琦, 乔佃锋