

文章编号: 1007-6301 (2003) 06-0576-09

土地利用/土地覆盖变化与 土壤侵蚀关系研究进展

吴秀芹, 蔡运龙

(北京大学资源环境地理学系, 土地科学中心, 地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871)

摘 要: 土壤侵蚀作为 LUCC 引起的主要环境效应之一, 是自然和人为因素叠加的结果。不合理的土地利用和地表植被覆盖的减少对土壤侵蚀具有放大效应。土地利用/土地覆盖变化与土壤侵蚀关系的研究已逐渐成为 LUCC 研究和土壤侵蚀研究的一项新的重要课题。目前, 涉及土地利用/土地覆盖的土壤侵蚀研究方法有很多, 本文介绍了基于模型的定量研究、基于 GIS 和 RS 的研究、基于放射性同位素的研究以及基于湖泊(水库)沉积物的研究的基本原理与研究进展, 同时指出了每种方法中存在的不足。

关 键 词: 土壤侵蚀; 土地利用/土地覆盖变化; 环境效应; 放射性同位素

中图分类号: F301.24; S157

1 引言

土地利用/土地覆盖变化 (LUCC) 是 IGBP 与 IHDP 的核心研究计划之一, 是全球环境研究的热点和前沿问题。土地利用/土地覆盖变化之所以受到人们的关注, 是因为它对环境造成了巨大的影响。IGBP II 的土地研究 (Land Research) 指出, 土地利用/土地覆盖变化正在改变着对人类至关重要的生态系统功能和服务^[1]。从研究的侧重点来看, LUCC 早期的研究主要集中于各地区土地利用/土地覆盖过去或现状的调查上, 并建起了全球不同时间分辨率和空间分辨率的土地利用/土地覆盖数据库。当数据有了一定的积累之后, 研究重点就转向了各地土地利用/土地覆盖的动态变化、变化机制及驱动因子、驱动机制分析上。近来, 随着 LUCC 研究计划尾声的来临, 其注意力逐渐从上述两方面转到效应研究上来。土壤侵蚀作为 LUCC 引起的主要环境效应之一^[2], 是自然和人为因素叠加的结果, 是世界上头号的环境问题。各研究领域专家普遍认为人类及其活动是造成土壤侵蚀的主要原因, 不合理的土地利用方式和地表植被覆盖的减少对土壤侵蚀具有放大效应^[3, 4]。但对于各不同地区人类活动对土壤侵蚀的影响程度如何及人类影响在什么范围内不会引起土地的不可逆变化却还没有定论。鉴于此, 国际水文计划第六阶段计划建议开展土地利用变化对土壤侵蚀风险的研究。国家基金委最新召开的国家自然科学基金“土地利用/土地覆盖变化过程与环境效

收稿日期: 2003-07; 修订日期: 2003-09

基金项目: 教育部高等学校博士学科点专项科研基金 (20020001019) 资助。

作者简介: 吴秀芹 (1974-), 女, 辽宁阜新人, 北京大学资源环境地理学系自然地理学专业博士研究生。E-mail: wu_xiuqin@pku.edu.cn

应”学术研讨会上也将土地利用/土地覆盖变化对土壤侵蚀的影响机制作为一项重要科学命题。

2 基于模型的定量研究

早在 1877 年, 德国土壤学家 Ewald W allny 就开始对土壤侵蚀进行定量研究^[5], 一个多世纪以来, 国内外学者对土壤侵蚀规律进行了大量研究, 并取得了丰硕成果。其中涉及土地利用的土壤侵蚀半定量与定量模型就有很多, 这些模型的通常思路是把土地利用/土地覆盖作为影响土壤侵蚀的一个因子, 从而计算不同土地利用方式下的土壤侵蚀量, 还可以根据允许土壤流失量来选择合理的土地利用方式。其中应用最广泛的是美国通用土壤侵蚀方程式 U S L E (U niversal Soil Loss Equation)。其数学表达式为:

$$A = R K L S C P$$

式中: A 为年平均土壤侵蚀量 (t/hm^2); R 为降水及径流因子; K 为土壤侵蚀性因子; L 及 S 为地形因子; C , P 代表土地利用和管理因子, 其中 P 为水土保持措施因子, C 为地表植被覆盖因子。土地利用/土地覆盖的变化实质上就是改变了 U L S E 模型中的 C 值, 从而影响了土壤的理化性质, 改变了土壤的环境条件, 使水土保持的效应有了明显的差异。

因为 U L S E 是主要预测农耕土壤侵蚀的半经验模型, 不涉及土壤侵蚀的机理与侵蚀过程。为了代替 U L S E, 美国农业部发布了基于侵蚀过程的预测模型 W E P P (W ater Erosion Prediction Project), 已完成了两个版本 (剖面版、流域版)。其中 W E P P 的剖面模型版 (Profile V ersion) 可直接用于代替 U L S E。流域版可以评价和指导资源管理系统, 但只能用于田块尺寸范围内。W E P P 包括了与土地利用有关的因子如地表覆盖及高度、作物残留与分解等, 而且计算精度高。

其他国家也为评价土壤侵蚀的影响建立了一些涉及土地利用/土地覆盖信息的土壤侵蚀模型, 并进行了应用^[5~7]。我国傅伯杰^[8]等在黄土丘陵小流域利用二个时段 (1975 年和 1998 年) 和三种退耕方案中 (25 度退耕、20 度退耕和 15 度退耕) 的土地利用/土地覆盖数据, 在土壤侵蚀模型 L I S E M (L imb u r g Soil Erosion Model) 校正的基础上进行了土地利用变化对流域土壤侵蚀影响的研究。其结论是, 流域出口的侵蚀总量大小顺序为: 1975 年 > 1998 年 > 25 度退耕 > 20 度退耕 > 15 度退耕。从理论上讲, 如将这些静态、量化的模型与动态的 L U C C 联系起来可以得到二者之间的联系, 但由于区域差异显著, 很多模型都不能直接使用。即使在同一地区, 各模型之间的结果也有很大的差异, 模型的可移植性差。况且, 目前基于模型的研究大都处在定性描述或静态分析阶段, 缺乏对于影响土壤侵蚀自然与人为因素相互作用的整体分析, 缺乏对于演变过程的长期观测和定量剖析。

3 基于 GIS 和 RS 的研究

随着计算机技术的飞速发展, 遥感 (RS) 技术和地理信息系统 (GIS) 技术在 L U C C 与土壤侵蚀关系研究中也得到了广泛的应用。遥感影像是流域尺度土地利用/土地覆盖信息的主要信息源, GIS 为不同土地利用背景下土壤侵蚀空间分布规律研究和不同土壤侵蚀背景下土地利用的时空演变研究提供了技术支持。

GIS 和 RS 在该方面研究中的应用一方面体现在将 GIS 与土壤侵蚀分布模型相结合。如, Grass 和 Answers 的集成以及 Grass 与 Agnps 的集成等^[4]。另一方面应用就是最常见的将通过遥感解译获得的土地利用/土地覆盖图与已有的土壤侵蚀分布图进行迭加, 从而得出二者之间的相关关系。

我国学者在第二方面的应用做了大量的工作。陈松林^[9]以福建省延平区为例, 在 GIS 软件 ARC/INFO 的支持下, 将土壤侵蚀图与土地利用的现状图进行叠置处理, 得出结论: 不同土地利用类型的土壤侵蚀程度差异显著。各种土地利用类型的土壤侵蚀率(土壤侵蚀面积占该地类面积的百分数)顺序为: 园地> 耕地> 林地> 草地。邹亚荣, 张增祥^[4]等以广东惠东区为例, 以 TM 影像为主要数据源, 通过在 GIS 中将土壤侵蚀强度与土地利用迭加得出结论, 土壤侵蚀分布与土地利用分布是相互关联的, 土地利用方式是土壤侵蚀的主要原因, 合理的土地利用方式可有效地控制土壤侵蚀。傅伯杰^[10]等以延安市羊圈沟流域为例研究了土地利用变化对流域土地侵蚀的影响。结果发现: 该流域坡耕地 1996 年比 1984 年减少了 43%, 林地增加了 42%, 草地增加了 5%, 土壤侵蚀量减少了 24%。

由于耕地、林地和牧草地的土壤侵蚀强度不同, 所以土地利用结构变化也会导致土壤侵蚀的变化。喻权刚^[10]利用遥感信息对黄土丘陵区土地利用与土壤侵蚀的研究发现, 年土壤侵蚀量与平耕地所占比例成负相关, 与坡耕地所占比例成正相关。傅伯杰等^[10]的研究表明坡耕地-草地-林地土地利用结构具有较好的土壤养分保持能力, 是黄土丘陵区梁峁坡地上较好的土地利用结构类型。

当前, 此类研究大部分限于较小区域某一时期的定性的、静态统计相关分析, 一些多时相的动态分析则要求研究区有较好的土地利用与土壤侵蚀数据基础, 因此在一定程度上限制了这种方法的推广。

4 基于放射性同位素的研究

目前, 应用放射性核素(如¹³⁷Cs、²¹⁰Pb、⁷Be、²²⁶Ra 和 ²²⁸Ra 等)示踪土壤侵蚀的研究已成为国际前沿研究热点之一, 也为 LUCC 与土壤侵蚀关系研究注入了新的活力。其中, ⁷Be 半衰期非常短, 适合于示踪短期内某种土地利用方式下的土壤空间分配作用。¹³⁷Cs 和 ²¹⁰Pb 示踪技术在土壤侵蚀中的应用研究较为深入, 可分别进行大约 45a 和 100a 以来某些时段内特定土地利用/土地覆盖类型下的土壤侵蚀速率估算和空间分布研究。其中用的最多的是 ¹³⁷Cs, 由于其操作简单, 既能进行宏观大尺度研究, 又能进行微观研究, 受到人们的普遍欢迎, 已在许多国家得到运用, 世界大陆侵蚀委员会曾把这种方法推荐为至 2000 年以前研究土壤侵蚀最优秀的方法之一^[12]。其工作原理是:

经大气核试验和核泄漏事故产生的¹³⁷Cs 随大气环流在全球分布, 并被表层土壤迅速而牢固地吸附, 极难被植物吸收或淋溶, 其后的运动主要伴随土壤颗粒的侵蚀、搬运和沉积而进行。其含量随土壤剖面深度的增加而急剧减小, 一般遵循指数递减规律, 通常集中于土壤表面(0~30cm)左右^[13]。通过不同土地利用类型的土壤剖面¹³⁷Cs 面积浓度与区域¹³⁷Cs 本底值对比, 建立土壤剖面¹³⁷Cs 面积浓度、¹³⁷Cs 本底值和¹³⁷Cs 产生年代之间的理论模型, 求算平均土壤侵蚀强度。并可通过对比得出自¹³⁷Cs 沉降以来(近 40 年内), 不同类型土地经历的蚀积过程或人为作用。

自从 Rogowski 等^[13]首次发现¹³⁷Cs 具有测量土壤流失速率的潜能后, 国内外许多学者对土壤侵蚀的¹³⁷Cs 示踪技术进行了大量深入研究, 并提出了不同土地利用/土地覆盖类型下的土壤侵蚀量估算模型^[14~23]。Ritchie^[23]对国外的相关研究做了很好的总结, 并指出¹³⁷Cs 是研究侵蚀和沉积唯一且有用的工具, 其可用来估算土壤侵蚀速率并提供土壤净侵蚀的数据。国际原子能组织 (IAEA) 于 1993 年制定了两个合作研究计划 (CRP) 的建议书: 一个是由土壤和水管理及 FAO/IAEA 合作部农业营养组担任的土壤侵蚀合作计划, 另一个是由 IAEA 的自然和化学科学部同位素水文学组承担的堆积合作计划。并通过 CRP 建立了有 25 个成员国参加的国际研究网, 开发了基于¹³⁷Cs 的高效而低费的技术, 并指出该技术可就 1962 年以来的大范围环境和世界规模的土壤侵蚀及沉积速率提供空间分布和时间综合评估^[15, 16]。

张信宝^[17]首次将¹³⁷Cs 法测算土壤侵蚀引进国内, 并在黄土高原和长江上游地区开展了侵蚀泥沙的¹³⁷Cs 法研究, 并指出了黄土高原¹³⁷Cs 本底值的区域分布规律; 提出了农耕地、非农耕地侵蚀量计算公式; 并率先在黄土高原地区测定了¹³⁷Cs 背景值和不同类型土地的侵蚀速率。在国际上产生了重要影响。张春来等^[20]以我国高寒半干旱草原气候区的青海共和盆地贵南牧场为研究区, 研究了干草原不同地貌部位的¹³⁷Cs 沉积特征和分布规律, 并探讨了¹³⁷Cs 应用于草场风蚀沙漠化研究中的一些问题。得出结论: 缓起伏草地和半固定沙丘处于轻度风蚀与堆积状态, 蚀积速率小于 0.108cm/a ; 半流动沙丘表面风沙活动强烈, 背风坡堆积速率大于 1.35cm/a 。曹慧^[21]的研究表明, 长江三角洲丘陵区侵蚀最严重的是丘陵中部的马尾松林, 其次为坡麓的菜园土。严平^[22]的研究表明, 青藏高原风蚀地区的土壤侵蚀速率平均为 $47.59\text{t/hm}^2 \cdot \text{a}$, 处于中度侵蚀标准; 其中极度干旱地区的灌丛沙堆风蚀最为严重, 达到极度侵蚀标准; 半干旱地区的草地风蚀最弱, 处于轻度侵蚀标准。此外, 唐翔宇等^[24]在红壤地区, 张燕等^[25]在苏南坡地, 白占国等^[26]在滇西和黔中以及文安邦^[27]等在雅鲁藏布江中游地区都做了相关的研究。

土壤侵蚀¹³⁷Cs 法研究是一个比较成熟的技术, 但由于方法上的限制, 实际上做的也只是土地利用/土地覆盖类型与土壤侵蚀之间的关系分析, 且多是针对当前土地利用/土地覆盖现状得到的一个静态结果, 并没有从本质上进行 LUCC 与土壤侵蚀之间的分析。此外, ¹³⁷Cs 的测定费用高, 耗时大, 因此决定了研究区不宜过大, 限制了其在大尺度上的应用。

5 基于湖泊 (水库) 沉积物放射性同位素的示踪研究

湖泊 (水库) 作为一个小流域地表物质运移的汇, 连续、高分辨地记录了环境变化信息, 随着稳定同位素技术的发展, 使用同位素示踪剂指示环境变化的信息, 成为了解环境信息变化的一个强有力的工具。用¹³⁷Cs 作为湖泊沉积与流域土壤侵蚀的示踪剂在近几十年里得到广泛应用。通过识别沉积物柱的¹³⁷Cs 峰值位置, 研究湖泊、水库、湿地和洪积平原的沉积速率与土壤侵蚀是一个比较成熟的应用领域。Ritchie^[23]在其著名的关于¹³⁷Cs 在侵蚀和沉积速率和模式中应用的总结性文献中指出, ¹³⁷Cs 可用于确定沉积环境中自 1954 年以来沉积物的沉积速率, 为侵蚀速率和模式提供数据, ¹³⁷Cs 是研究整个景观中完全侵蚀和沉积循环的独特手段。国际原子能组织 (IAEA) 自 1995 年起开始执行的两个合作研究计划

(见前文) 中就有很多这方面的尝试。国际地球科学部土地和水保护工作组于 1999 年 4 月到 10 月 8 日在西班牙的巴塞罗那举行了两个计划的联合会议, 会议对该方法的技术体系和应用前景进行了探讨, 并将相关论文经挑选发表在 *Acta Geologica Hispanica* (2000 年第 35 卷) 专刊上。

土地利用是土壤侵蚀速率和湖泊(水库)沉积速率的主要决定因子^[28], 而土壤侵蚀产生的泥沙是沉积物的主要来源, 将沉积速率与 LUCC 联系起来进而研究 LUCC 对土壤侵蚀的影响, 再将其与历史档案、遥感资料和实地考察相结合, 可以揭示人为与自然因素在生态环境格局变化中所占的份额, 阐明生态环境对人类活动的响应机制和耐受能力。其基本的思路就是通过如图 1 所示的连锁反应来找出三者之间的关系。其工作原理是: ^{137}Cs 在湖泊(水库)沉积物中的分布与土壤中的不同, 由于各个核试验的次数和爆炸当量的不均匀性, 导致 ^{137}Cs 的全球沉降随时间变化而变化(图 2)。全球范围的 ^{137}Cs 核素沉降始于 1952 年末, 到 1954 年累积到一个峰值; 1960~1964 年是一个重要的沉降期, 北半球最后一次显著沉降发生在 1964 年; 1970 年以后, 核尘埃的产出量极微。因此, 北半球湖泊(水库)沉积物中, 有 1954、1964 年两个 ^{137}Cs 时间标志可用于沉积物计年。但经过 30 多年的衰变, 1954 年的时标目前已难于辨识。20 世纪 70 年代中期有一个全球广为沉降的时期, 在湖泊(水库)沉积物 ^{137}Cs 的垂直剖面中, 存在一个与 1974 年全散落沉降峰相对应的、虽然比活度不是很大, 但却是分辨清晰的次级蓄积峰, 可以辅助计年。1986 年 4 月前苏联切尔诺贝利核电站泄漏事故散落的 ^{137}Cs 也同样保留在湖泊沉积物的相应层节中, 也具备辅助计年价值^[28~33]。Dan Royall 等^[34]研究表明的 1994 年 ^{137}Cs 的完全枯竭, 也可作

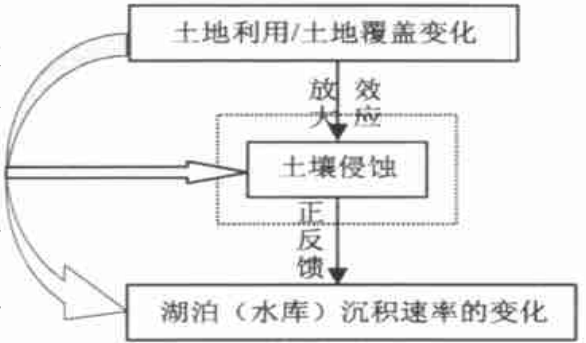


图 1 湖泊沉积 ^{137}Cs 法研究LUCC与土壤侵蚀关系
Fig. 1 Study on the relationship between LUCC and soil erosion based on investigation of lake sediment

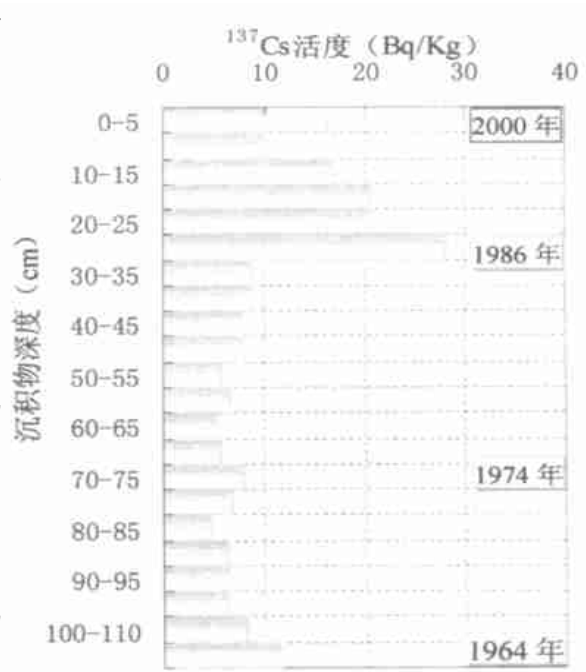


图 2 理想湖泊(水库)沉积物柱芯 ^{137}Cs 分布示意图(据 I. Ivnita, 2000)
Fig. 2 Distribution of ^{137}Cs in the sediment column core of the ideal lake or reservoir (I. Ivnita, 2000)

为一个辅助计年的标志。根据沉积物中每段时期 ^{137}Cs 的分布深度可以求出该时期的沉积速率。将各个时期沉积速率的变化与对应的土地利用/土地覆盖变化联系起来,再辅以沉积物组成分析与纹理分析,从而找出灰箱系统—土壤侵蚀的变化规律(图1)。

Hadley 和 Schumm^[35]首先应用湖泊或小坝库存储的沉积物调查来测量相对小的、同质盆地的沉积物量。Neil 和 Galloway^[36]第一次指出这样以时间为标度的沉积物量与流域和森林管理有关。

I. Ikonita 等^[33]在摩尔达维亚高原做了相关研究,指出通过湖泊(水库)中的沉积物计年,可以获得其它方法得不到的侵蚀和沉积过程。通过绘制各个时期各个流域的沉积速率图,可以发现水库沉积速率的降低与土壤侵蚀速率的类似模式有关。他发现自从实行了地产法以来,这个地区逐渐转变为山上山下都是农田系统,土壤侵蚀和沉积速率也因而加倍了。这一发现得到 ^{137}Cs 的分布深度的支持,调查表明在这种环境下, ^{137}Cs 剖面是两层或双倍的状态。平均沉积速率也从以前的 5.0cm/year 升到1993~1996年期间的 10.0cm/year 。Wayne D. Erskine 等^[29]在悉尼附近砂岩盆地水坝沉积物的调查表明,土地利用是决定沉积量和土壤侵蚀速率的主导因子。耕作盆地平均产沙量为 $7.1\text{t/hm}^2/\text{year}$,而载畜的牧场和林地盆地平均产沙量分别为 3.3 和 $3.1\text{t/hm}^2/\text{year}$ 。载畜的牧场和林地盆地产出的沉积物类似,是因为林地盆地也有放牧行为。澳大利亚的很多地区缺少可靠的沉积物量数据。Neil 和 Fogarty^[36]总结到有耕作活动的地区沉积量比天然林的2.8倍还要强,天然牧场产出的沉积物是森林的3.8倍,改良牧场的5.4倍,耕作区的21倍,超载牧场的27倍和松树人造林的38倍。Erskine 和 Saynor^[37]指出新南威尔士中东部闲置的土地,牧场,小麦地和裸露的休耕地之间土壤侵蚀速率数量级的增加。P.A. Jones 等^[38]在澳大利亚半干旱区的研究中指出,通过测沉积速率,可以得到一些关于集水盆地中沉积物运移和土壤侵蚀的推论。他们指出每一时期沉积物积累的速率的不同可能由于以下原因,如水库的拦水效率下降,土地所有者的管理行为改善,或它可能导致了区域侵蚀速率的变化。

我国在放射性同位素的湖泊沉积物的研究也取得了一定的进展,万国江^[28,30]在瑞士 Greifen 湖和中国贵州的红枫湖分别做了沉积物中的 ^{137}Cs 分布及其计年研究。孙立广等^[32]在南极阿德雷岛进行了湖泊 ^{210}Pb 、 ^{137}Cs 定年,并将1950年以来沉积速率的突然增大归结为近年来气候变暖导致的侵蚀速率的增大。Ping Yan^[39]等在我国青海省共和盆地 Dalian 湖通过 ^{137}Cs 法和粒度分析得出青海省共和盆地 Dalian 湖风成和水成 ^{137}Cs 沉积总量。研究表明, ^{137}Cs 在湖泊沉积物中的垂直剖面显示出3个活度峰值和一个波谷:主峰对应于1963年的 ^{137}Cs 沉降;两个次级峰对应于1986年的核泄漏事件和1994年的 ^{137}Cs 完全枯竭。波谷对应于80年代末和90年代初强度开垦的农田引起的风成沉积。该项研究证明 ^{137}Cs 在干旱、半干旱区和湿润区同样具有指示环境变化和人类干预的潜力。项亮等^[40]在黄河源区希门错湖泊进行了放射性核素分布及时标信息辨析,指出1986年前苏联切尔诺利核事故导致的 ^{137}Cs 在自然环境中的大量散落对我国部分地区很明显地产生了一个新的时标。此外,徐经意等在云南省泸沽湖、洱海,孙立广等在南极阿德雷岛湖也做了沉积物 ^{137}Cs 法定年的研究,为 ^{137}Cs 法进行湖泊沉积物计年与土壤侵蚀分析积累了必要的经验。

从现有的研究看,我国学者在湖泊沉积物的研究方面还仅限于湖泊沉积物定年及沉积速率的测定上,而将土壤侵蚀和沉积速率变化与LUCC联系起来的研究还未有先例。湖泊沉积物调查法可用于大范围相似条件的沉积物量估计和制图,并可以此识别具有较高水土

流失风险的地方,而且花费低,是一种可值得推广的方法。从当前的技术水平和科技动向来看,用湖泊沉积物的方法来研究湖泊沉积速率与LUCC之间的关系的技术已相对成熟,且是当前研究的一个新动向,因此该方法具有很大的应用和开发潜力。此外, ^{137}Cs 是全球范围内沉降的一种核示踪元素,其在沉积物及土壤中的分布及含量具有全球可对比性。该方法的研究与深入也可为寻求一个统一的土壤侵蚀标准做一初步尝试。

但该方法在采样点的布设方面要求比较严格,一般要求选在一个闭合流域的集水盆地内,这就为湖泊沉积法的应用增加了一定的难度。

6 结语

上述提到的四种研究土地利用/土地覆被变化与土壤侵蚀的方法都各有其优缺点,具体选择哪一种应视研究区域和研究目的而定。随着各种研究方法日臻成熟,基于湖泊(水库)沉积物的研究显示出巨大的发展和应用潜力。水库和湖泊沉积物一方面能弥补历史和观测资料的不足,还可以借助放射性同位素和矿物磁性等指标来提取土壤侵蚀和堆积的信息。放射性同位素的测定不需特殊的设备,测定技术亦相对成熟。若能在湖泊(水库)沉积物研究的基础上综合各方法,不仅可以揭示一流域在土地利用/土地覆被变化周期内土壤侵蚀及沉积的变化,还可以探索侵蚀泥沙源地和泥沙搬运路线。这种方法尤其适用于缺乏水文泥沙观测数据的流域尺度上的研究。

参考文献

- [1] Global Change News Letter, Issue No. 50, June, 2002
- [2] 于兴修,杨桂山 中国土地利用/覆被变化研究. 地理科学进展, 2002, 21 (1): 51~ 57.
- [3] 柳长顺,齐实,史明昌,土地利用变化与土壤侵蚀关系的研究进展 水土保持学报, 2001, 15 (5): 10~ 17.
- [4] 邹亚荣,张增祥,周全斌等 基于GIS的土壤侵蚀与土地利用关系分析 水土保持研究, 2002, 9 (1): 67~ 69.
- [5] 符素华,刘宝元 土壤侵蚀量预报模型研究进展 地球科学进展, 2002, 17 (1): 78~ 84.
- [6] 刘黎明,林培 黄土高原丘陵沟壑区土壤侵蚀定量方法与模型的研究 水土保持学报, 1993, 7 (3): 73~ 79.
- [7] 蔡强国,刘纪根 关于我国土壤侵蚀模型研究进展 地理科学进展, 2003, 22 (3): 242~ 251.
- [8] 傅伯杰,邱扬,王军等 黄土丘陵小流域土地利用变化对水土流失的影响 地理学报, 2002, 57 (6): 717~ 722.
- [9] 陈松林 基于GIS的土壤侵蚀与土地利用关系研究 福建师范大学学报(自然科学版), 2000, 16 (1): 106~ 109.
- [10] 傅伯杰,陈利顶,马克明 黄土丘陵区小流域土地利用变化对生态环境的影响—以延安市羊圈沟流域为例 地理学报, 1999, 54 (3): 241~ 246.
- [11] 喻权刚 遥感信息研究黄土丘陵区土地利用与水土流失 黄土高原水土保持实践与研究(二). 郑州: 黄河水利出版社, 1998.
- [12] 吴永红,寇权 陇东黄土高原沟壑区土壤侵蚀的 ^{137}Cs 法研究 水土保持通报, 1997, 17 (5): 7~ 10.
- [13] Rogowski A, Tamura T. Movement of cesium-137 by run off, run off, erosion and infiltration on the alluvial Captina silt loam. Health Physics, 1965, 11: 1333~ 1340
- [14] Working Material, A ssessment of soil erosion through the use of ^{137}Cs and related techniques as a basis for soil conservation, sustainable agricultural production and environmental protection (D1-50 05), Final report of the FAO/IAEA co-ordinated research project Vienna, Austria, 2001, IAEA.
- [15] I Queralt, F. Zapata and E. Garia Agudo, A ssessment of soil erosion and sedimentation through the use of the ^{137}Cs and related techniques, Acta Geologica Hispanica, 2000, V. 35, no3~ 4: 195~ 196

- [16] 国际原子能机构年度报告 奥地利: 国际原子能机构印制, 2002.
- [17] 张信宝, 李少龙, 王成华等. 黄土高原小流域泥沙来源的 ^{137}Cs 法研究. 科学通报, 1989, 43 (3): 210~ 213.
- [18] 郑永春, 王世杰, 欧阳自远. 地球化学示踪在现代土壤侵蚀研究中的应用, 地理科学进展, 2002, 21 (5): 507 ~ 515.
- [19] 杨明义, 田均良, 刘普灵. ^{137}Cs 测定法研究不同坡面土壤侵蚀空间的分布特征, 核农学报, 1999, 13 (6): 368 ~ 372.
- [20] 张春来, 邹学勇, 董光荣等. 干草原地区土壤 ^{137}Cs 沉积特征. 科学通报, 2002, 47 (3): 221~ 225.
- [21] 曹慧, 杨浩, 唐翔宇等. ^{137}Cs 技术对长江三角洲丘陵区小流域土壤侵蚀初步估算. 2001, 15 (1): 13~ 15.
- [22] 严平, 董光荣, 张信宝等. ^{137}Cs 法测定青藏高原土壤风蚀的初步结果. 科学通报, 2000, 45 (2): 199~ 204.
- [23] Jerry C. Ritchie and J. Roger McHenry, Application of Radioactive Fallout ^{137}Cs for Measuring Soil Erosion and Sediment Accumulation Rates and Patterns: A Review, Environ. Qual. 1990, 19: 215~ 233.
- [24] 唐翔宇, 杨浩, 赵其国等. 红砂岩母质红壤侵蚀作用的 ^{137}Cs 法初步研究, 水土保持研究, 2002, 9 (1): 121~ 125.
- [25] 张燕, 张洪, 杨浩等. 用 ^{137}Cs 法探讨苏南坡地的土壤侵蚀, 水土保持学报, 2002, 16 (2): 53~ 56.
- [26] 白占国, 万国江等. 滇西和黔中表土中 ^{7}Be 、 ^{137}Cs 分布特征对比研究, 地理科学, 2002, 22 (1): 43~ 48.
- [27] 文安邦, 刘淑珍, 范建容等. 雅鲁藏布江中游地区土壤侵蚀的 ^{137}Cs 示踪法研究, 水土保持学报, 2000, 14 (4): 47~ 50.
- [28] 万国江, P. Santschi, K. Farrenkothien. 瑞士Greifen湖新近沉积物中的 ^{137}Cs 分布及其计年. 环境科学学报, 1985, 5 (3): 360~ 364.
- [29] Wayne D. Erskine & A. Mahmoudzadeh, et al. Land use effects on sediment yields and soil loss rates in small basins of Triassic sandstone near Sydney, NSW, Australia. Catena, 2002, 49: 271~ 287.
- [30] 万国江, 林文祝, 黄荣贵. 红枫湖沉积物 ^{137}Cs 垂直剖面的计年特征及侵蚀示踪. 科学通报, 1990, 35 (19): 1487 ~ 1490.
- [31] 万国江. ^{137}Cs 及 ^{210}Pb 方法湖泊沉积计年研究新进展. 地球科学进展, 1995, 10 (2): 188~ 192.
- [32] 孙立广, 谢周清, 赵俊琳等. 南极阿德雷岛湖泊沉积 ^{210}Pb 、 ^{137}Cs 定年及其环境意义. 湖泊科学, 2001, 13 (1): 93~ 96.
- [33] I. Ioniță, R. M. Margineanu & C. Hurjui. A assessment of the reservoir sedimentation rates from ^{137}Cs measurements in the Moldavian Plateau, Acta Geologica Hispanica, 35 (3~ 4): 357~ 367, 2000.
- [34] Dan Royall, Use of mineral magnetic measurements to investigate soil erosion and sediment delivery in a small agricultural catchment in limestone terrain, Catena, 2001, 46: 15~ 34.
- [35] Hadley, R. F., Schumm, S. A.. Sediment sources and drainage basin characteristics in upper Cheyenne River basin. U. S. Geol. Surv. Water~ Supply Pap. 1961, 1531-B: 137~ 196.
- [36] Neil, D. T. & Fogarty, P. Land use and sediment yield mapping using small dam sedimentation surveys, Southern Tablelands New South Wales. Catena, 1993, 4 (2): 33~ 39.
- [37] Erskine, W. D. & Saynor, M. J.. Success of soil conservation works in reducing soil erosion rates and sediment yields in central eastern Australia. Int. Assoc. Hydrol. Sci. Publ. 1996, 236: 523~ 530.
- [38] P. A. Jones, R. J. Loughran & G. L. Elliott, Sedimentation in semi-arid zone reservoir in Australia determined by ^{137}Cs . Acta geologica hispanica, 2000, 35 (3~ 4): 329~ 338.
- [39] Ping Yan, Peijun Shi, Shangyu Gao, et al. ^{137}Cs dating of lacustrine sediments and human impacts on Dalian Lake, Qinghai Province, China. Catena, 2002, 47: 91~ 99.
- [40] 项亮, 夏威岚, 王苏民. 黄河源区希门错湖泊沉积孔柱放射性核素分布及时标信息辨析. 青藏高原形成、演化、环境变迁与生态系统研究学术论文年刊 (1994), 北京: 科学出版社, 1995, 168~ 174.

Advances of Researches on Relationship Between LUCC and Soil Erosion

Wu Xiuqin, Cai Yunlong

(Department of Resource and Environmental Geo-Sciences & the Center for Land Studies, Peking University; Laboratory for Earth Surface Processes, The Ministry of Education; Beijing 100871)

Abstract: Soil erosion, as a major environmental effect caused by Land use/Land cover changes (LUCC), is the result of both natural and human factors. Unreasonable land use and decrease of vegetation cover may have amplified soil erosion in some extent. The relationship between LUCC and soil erosion has been an important project in the whole world. At present, there are many approaches to soil erosion regarding LUCC. In this paper, the author introduced four kinds of present studies on the relationship between soil erosion and LUCC. Those are: quantitative studies based on soil erosion models, such as USLE, WEPP and LISEM; studies by GIS and RS techniques, which is, in fact, a process intersecting the distribution of soil erosion in a given period with the regarding land use/land cover map; studies by radioactive fallout, which are mainly used to estimate soil erosion of sloping fields and land plot in different use; studies through investigation of lake and reservoir sediment, which is a newly emerged method in the study of the relationship between soil erosion and land use/land cover changes. It is a method adapted to such related studies on watershed scale. The author introduced basic principles and developments of each method, and the advantages and shortcomings as well. In the end, the author presented that the studies based on investigation of lake and reservoir sediment are of representative meaning. In further studies, it also can well integrate other approaches to carry out more deep studies on watershed scale.

Key words: soil erosion; LUCC; environmental effects; radioactive isotope