

国内外土地利用与土壤侵蚀关系的研究现状与展望^{*}

张 鲁,周 跃,张丽彤

(昆明理工大学 环境科学与工程学院,昆明 650093)

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。该文对国内外土地利用与土壤侵蚀关系的一些具有开端意义的工作和早期研究,及其学科定义与内涵的发展和研究方法的进展给予了追踪,进而就该学科的主要任务和主体研究内容以及今后进一步发展进行了阐述与展望。

关键词:土壤侵蚀;土地利用/土地覆盖变化;研究进展

中图分类号:S157.1;F301.24

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2008)03-0043-06

Recent Advances and Future Prospects on Relationship Between LUCC and Soil Erosion

ZHANG Lu, ZHOU Yue, ZHANG Li-tong

(School of Environmental Sciences and Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

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. This paper reviewed the inceptive work and early researches in this scientific area (relationship between LUCC and soil erosion), traced the development of disciplinary definition, connotation and methods, expounded and prospected the scientific mission, principal research contents and future development of this subject.

Key words: soil erosion; LUCC; progress of the studies

土壤侵蚀是当今人类面临的一种最普遍、持续性最强的地质灾害,每年因土壤侵蚀造成的经济损失较诸如滑坡、泥石流、地震等地质灾害更大,土壤侵蚀已成为我国乃至全球的重大环境问题之一^[1]。土壤侵蚀作为世界性的重大环境问题越来越受到世界各国政府及科技工作者的关注。由人为因素诱导的土壤侵蚀的发生机制与演变动态、时空分布规律及未来变化预测与恢复重建对策,已成为研究全球变化的重要组成部分,并将继续成为 21 世纪国际土壤学、农业科学及环境科学界共同关注的热点问题。

土地利用/土地覆盖变化(Land use and land cover change, LUCC)与土壤侵蚀的关系是“国际地圈与生物计划”(IGBP)与“全球环境变化的人文领域计划”(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 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^[2]。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^[3]。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。

1 国际上土地利用与土壤侵蚀关系的研究

由于各国所处的自然环境及社会经济状况的不同,土壤侵蚀发生和发展的动力差异,土壤侵蚀的表现形式也各具特点。再加上世界各国的科技文化发展水平的不平衡,以及水土流失危害程度的差异,形成土壤侵蚀研究的不同特点。

1.1 欧洲的研究

早在 1877 年,德国土壤学家 Ewald Wallny 就开始对土壤侵蚀进行定量研究,一个多世纪以来,各国学者对土壤侵蚀规律进行了大量研究,并取得了丰硕成果^[4]。

英国著名水土保持学者诺尔曼·哈德逊在《土壤保持》著作中定义土壤侵蚀为“就其本质而言,土壤侵蚀是一种夷平过程,是土壤和岩石颗粒在外力作用下发生转运、滚动或流失,风和水是使颗粒变松和破碎的主要营力。”^[5]

欧洲各国山地森林覆盖率较高,土地利用主要为牧业用地,土壤面蚀作用较轻微,而山洪、泥石流、滑坡侵蚀作用强烈、危害大。他们已建立起生物措施、工作措施、土地利用调整、法律措施等综合治理体系^[6]。

^{*} 收稿日期:2007-05-15

基金项目:国家重点基础研究计划“973”项目(2003CB415105-6)

作者简介:张鲁(1982-),男,云南昆明人,博士研究生,主要从事生态工程学和恢复生态学研究。E-mail:dewinter8801@gmail.com

1950 年联合国粮农组织欧洲林业委员会 (COFO) 为了加强山地土壤侵蚀防治与国际协作, 成立了山区流域管理工作组 (Working Party on Mountain Watershed Management)。这个工作组的主要任务是在防治山洪、泥石流、滑坡灾害方面, 组织欧洲各国进行合作。1978 年 5 月, 联合国粮农组织欧洲林业委员会赞同将山区流域管理工作组“国际化”, 把山区流域管理工作组成员国扩大到发展中国家^[6]。

Dorr 对欧洲的研究显示, $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 沉降通量与海拔及年降水量, 不呈显著相关关系, 在空间上呈随机分布。某一特定区域 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 的大气沉降量, 主要与降水有关; 因此, 有季节性差异, 但长时期内 ^{210}Pb 的年沉降通量相对一致^[7]。

20 世纪 90 年代以来研究者开始将 GIS 技术与土壤侵蚀模型结合, 进行区域尺度土壤侵蚀评价。Batjes^[8]、Reich^[9]等利用 0.5 经度 \times 0.5 纬度网格的全球数据和 USLE (或 RUSLE) 对全球尺度土壤侵蚀进行定量分析; 进行土壤侵蚀调查制图的国家还有法国和欧盟等^[10-11]。

GIS 技术方法的应用极大地方便了土壤侵蚀研究中的数据管理, 研究者开始开发基于遥感和 GIS 技术的区域土壤侵蚀模型^[12]。1998 年, Kirkby 等在地中海土地利用变化研究项目中提出的土壤侵蚀模型, 以小流域 (1 ~ 20 km²) 为基本单元, 详细描述了土壤侵蚀和径流泥沙输移过程, 该模型可用于尺度达 5 000 km² 的流域^[13]。2000 年, Kirkby 等在进行另外一项研究时, 基于研究成果, 提出了一个基于 250 m 分辨率 DEM、水平衡和泥沙运移规律、定量评价土壤侵蚀危险性的模型。该模型已在法国土壤侵蚀危险性评价中应用, 并认为有可能被推广到全球尺度 (分辨率 1 000 m)^[14]。荷兰学者 Paraechini 等将土壤侵蚀过程概化为产流阶段和产沙阶段, 基于土壤侵蚀过程和 GIS 技术方法, 初步建立了一个区域土壤侵蚀模型。该模型可用来模拟区域尺度的土壤侵蚀过程, 模拟结果以土壤侵蚀系列图的方式输出^[15]。该研究对区域土壤侵蚀模型开发是一个有益的尝试。

1.2 美国的研究

被称为美国水土保持之父的 Hugh Hammond Bennett, 早在 1938 年就在《Soil Conservation》一书中, 将水蚀和风蚀列为土壤侵蚀的两种主要类型进行了详细的分析。他的论断一直被美国作为立法的依据, 他的著作被世界上许多国家作为水土保持的教材^[16]。此外, 美国土壤侵蚀防治发展的一个重要历史阶段是在 1934 年的“黑风暴”之后。1935 年 4 月, 国家第一次颁布了《水土保持法》。1999 年出版的《水土保持: 生产力与环境保护》(Soil and Water Conservation: Productivity and Environmental Protection) 中也提出土壤侵蚀是由水和风引起的从土壤中带走大量的泥沙和有机质, 留下粗沙、沙砾和石头^[17]。

美国是几个详细调查其土壤侵蚀状况的国家之一。为了响应 1977 年制定的土壤及水资源保护法令, 土壤保护局对土壤的利用、侵蚀状况进行了全面调查, 获得了 200 000 个样品的数据资料。根据美国的土壤和气候条件, 其土壤允许的极限侵蚀速度为 6.07 t/(a · hm²)。美国 1.67 亿 hm² 的基本耕地中, 超极限侵蚀量总计达 16.8 亿 t, 其中绝大部

分集中在不到总耕地 1/10 的小部分地块^[18]。

涉及土地利用的土壤侵蚀半定量与定量模型有很多, 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 USLE (Universal Soil Loss Equation)。其数学表达式为

$$A = RKLSCP$$

式中: A ——年平均土壤侵蚀量 (t/hm²); R ——降水及径流因子; K ——土壤侵蚀性因子; L, S ——地形因子; C, P ——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是改变了 USLE 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, 使水土保持效应有明显的差异^[19]。

因为 USLE 主要是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。为了取代 USLE 进行土壤侵蚀预报, 1985 年, 美国农业部组织农业研究局、林业局、水保局及土地管理局, 进行了土壤侵蚀预报模型 WEPP (Water Erosion Prediction Project) 的研究工作^[20]。该模型是迄今为止最为复杂的描述与土壤侵蚀相关物理过程的计算机程序。分为坡面版、流域版和网络版 3 种, 其中以坡面版最为完善。WEPP 模型可以进一步分为气候发生器、冬季处理、灌溉、水文过程、土壤、植物生长、残留物分解、地表径流、侵蚀 9 个组成部分。其中 WEPP 的坡面版 (Profile Version) 可直接用于代替 USLE。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。WEPP 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。但由于参数过多, 且有些参数不易获得, 使得该模型仍处在实验检测的过程之中。

20 世纪 60 年代, 美国开始针对土壤侵蚀与大气沉降的放射性核素运移之间的关系进行了大量研究。1960 年, Menzel 通过研究, 发现侵蚀小区 ^{90}Sr 的流失量与土壤流失量之间具有相关性^[21]。1963 年, Graham 在 Missouri 进行侵蚀小区研究, 发现 ^{90}Sr , ^{85}Sr 和 ^{131}I 具有相似的运移模式^[22]。此后, Rogowski 和 Tamura 运用 ^{137}Cs 法, 对 Tennessee 草地进行研究, 发现 ^{137}Cs 流失量与土壤流失量之间呈对数关系^[23]。到 1974 年, Ritchie 等利用 USLE 计算得出土壤流失量与 ^{137}Cs 流失量之间呈较好的对数关系, 他们认为, 土壤流失量可以根据 ^{137}Cs 流失的百分比来推算^[24]。1989 年, Knaus 等人利用稳定稀土元素示踪和中子活化分析等技术, 成功地测定了沼泽地的沉积速率。Knaus 认为, 作为示踪物质, 必须满足以下几个条件: (1) 元素必须与土壤紧密结合; (2) 对动植物无害; (3) 水迁移能力弱; (4) 有较低的背景值。而 REE 正是符合上述条件的理想示踪剂^[25]。

近年来, 美国在基础理论研究方面主要有雨滴溅蚀和水流剥蚀及输移原理, 水流中泥沙沉积机理, 研究土壤侵蚀预报的新方法和评估水土保持措施的新方法; 新的侵蚀控制概念评价和野外试验, 土壤侵蚀对土地生产力和对土地利用影响的经济后果等。在应用基础方面的主要研究内容为研制评估、

预测和监测土地生产能力和土地资源变化的新技术,提供为改良、保护和恢复农业用地生产能力的技术,合理利用水资源的先进管理制度及用水技术,优化土地资源管理所需要的综合利用土、水、气资源技术。

1.3 日本的研究

日本在亚洲各国中自古以来就是一个多灾的国家,也曾经历过水土流失严重的时代。半个多世纪以来,结合防灾工作的开展,日本十分重视水土流失控制与预防。在土壤侵蚀研究和水土流失治理方面作了很多工作,并取得了一定的成果^[26]。日本有关土壤侵蚀的研究,大致可分为3个时期:研究萌芽期、研究形成期和研究发展期。研究萌芽期指二战以前所进行的研究。在这个时期,土壤侵蚀概念还未明确提出,而是与“山崩”一起统称“山地荒废”来研究的。从20世纪50年代初至1978年的20多年间可称作研究形成期,通过这一时期所开展的广泛研究,不仅取得了很多成果,而且也带动了一大批研究者。从此,土壤侵蚀研究进入了所谓的研究发展期,研究工作也得到了很大的发展。

近50a来,在日本发表的有关土壤侵蚀及水土保持方面的论文大约有250~300篇左右,几乎涉及了除土壤侵蚀分区分类之外的各个领域。主要研究代表者有三原义秋、种田行男、细山田健三、藤原辉男、日下达郎、翁长谦良、今尾绍夫、福樱盛一和松本康夫,以及长泽澈明、高木东和深田三夫等一批中青年学者。主要的研究成果有:雨滴溅蚀机理、坡面径流冲刷及侵蚀发生过程、土壤侵蚀预报及水土保持对策等方面。

日本在雨滴溅蚀方面作了大量的工作,在溅蚀机理研究方面有一定的深度,有些结果在世界土壤侵蚀研究领域也很有影响。坡面径流冲刷方面的研究,以卢田行男(京都大学防灾研究所)和日下达郎(山口大学农学部)为代表的学者作了大量的径流冲刷试验。在径流冲刷过程中的侵蚀力计算及坡面侵蚀量的推算方面做出了有益的贡献。深田(1989-1990年)通过大量的人工降雨和放水冲刷实验,在探讨了细沟各形态特征之间的关系及其在侵蚀过程中的变化后,在用数学方法模拟细沟侵蚀发育方面作了尝试。肯定了波谱分析(spectrum)和分形理论(Fractal)在细沟发育规律方面研究的可行性^[6,26]。

尽管日本防治土壤侵蚀的工程措施、工程施工方法比较先进,但其理论研究相对来说较为滞后。

1.4 其它国家的研究

2002年,Wayne D. Erskine等在澳大利亚悉尼附近进行的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 $7.1 \text{ hm}^2/\text{a}$,而载畜的牧场和林地盆地平均产沙量分别为 3.3 和 $3.1 \text{ hm}^2/\text{a}$ 。耕作盆地平均产沙量为 $7.1 \text{ hm}^2/\text{a}$,而载畜的牧场和林地盆地平均产沙量分别为 3.3 和 $3.1 \text{ hm}^2/\text{a}$ ^[27]。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。1993年,Neil和Fogarty通过大量研究,认为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^[28]。1996年,Erskine和Saynor在新南威尔士中东部调查发现,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明显增加^[29]。2000年,Jones等在澳大利亚半干旱区应用¹³⁷Cs所进行的研究中指出,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。他们认为每一时期沉积物积累速率的不同可能由于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^[30]。

印度是少数几个编制了全国土壤侵蚀量估算报告的国家之一。1975年印度农业科学家们收集了全国的土壤侵蚀资料,据此他们估计:印度耕地每年损失的土壤达66亿t,至少有60%的耕地正遭受过度侵蚀^[18]。

新西兰国家水土保持局根据本国的水土流失具体情况,在1985年对全国土地资源清查时,制定了新西兰土壤侵蚀分类系统。在这个分类系统中,侵蚀形式分成了3大类:(1)面蚀:片蚀、风蚀、剥蚀;(2)重力侵蚀:土滑(泻溜)、地滑(滑坡、坍塌)、塌陷、崩塌、土流、泥石流;(3)水力侵蚀:细沟侵蚀、切沟侵蚀、沟道冲蚀、沟岸侧蚀、沉积过程^[31]。

2 我国土地利用与土壤侵蚀关系的研究

近年来随着“3S”技术以及电子计算机技术的飞速发展 and 普及应用,同时,在土壤侵蚀机理研究和防治理论研究方面引入了现代系统科学、计算科学等,加快了土壤侵蚀研究步伐,扩大了研究的深度和广度。我国的某些理论研究成果已步入世界前沿或达到国际领先水平。

2.1 基于模型的定量研究

涉及土地利用的土壤侵蚀半定量与定量模型有很多,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,还可根据允许土壤流失量选择合理的土地利用方式。

1999年,王秀兰等探讨了土地利用动态变化的研究方法,将土地利用变化模型区分为3种类型:系统诊断模型、土地利用动态变化模型和土地利用变化综合评价模型,并重点阐述了反映土地利用动态变化的几种常用模型:(1)土地资源数量变化模型,包括单一土地利用动态度模型和综合土地利用动态度模型。(2)土地资源生态背景质量变化模型,包括土地资源生态背景质量指数模型和生态背景质量变化率。(3)土地利用程度变化模型,包括土地利用程度综合指数、变化量和变化率。(4)土地利用变化区域差异模型。(5)土地利用空间变化模型,用土地资源分布重心变化来反映。(6)土地需求量预测模型,包括灰色预测模型、马尔可夫预测方法、系统动力学预测法和规划预测法等^[32]。

随着计算机技术的发展,计算机神经网络技术(Neuron Shell)也广泛应用于土壤侵蚀模型中。1995年,张科利等对神经网络模型在土壤侵蚀预报中的应用进行研究,通过实体模型的计算及结果分析表明,作为一种方法,神经网络理论用来预报土壤流失是可行的^[33]。2001年,张小峰等应用BP神经网络模型的基本原理,以流域降水条件为基本因子,建立了流域产流产沙BP网络预报模型。该模型能用于定量分析流域人类活动对产流产沙的影响^[34]。神经网络模型在

土壤侵蚀中的应用,为侵蚀产沙预报提供了一种新思路、新方法,但由于模型自身的特点,很难考虑流域内空间变化对产沙的影响,还需要进一步研究。

此外,垦殖指数模型、景观多样性指数、优势度指数、均匀度指数和破碎度指数以及土地利用重心迁移模型和景观类型转移模型(即土地利用类型转移模型)、变化趋势指数、情景分析、分形理论、参与性农村评估(PRA)等方法也被应用到土地利用/土地覆被变化的研究中,使研究方法日趋多样化,也使研究能够从更多的角度进行,有效地开拓了研究领域,丰富了研究成果^[35-37]。

现有的流域侵蚀预报模型都是基于小流域建立起来的,目前普遍应用于小于 100 km² 的流域,效果比较好。对于大中尺度流域,由于缺乏降雨、径流、泥沙过程资料,控制密度又比较疏,所以模型应用不够理想,必须在现有模型基础上加以改进,使之适合于大中流域的产流产沙计算。我国的土壤侵蚀预报模型应以开发过程模型为主。在具体模型开发过程中,应加强不同学科的交流与合作,专业上优势互补,采用现代信息技术,建立全国水土流失数据库,将开发坡面侵蚀预报模型、流域侵蚀预报模型和区域土壤侵蚀评价和预测相结合,开发适宜于我国自然特点的中国土壤侵蚀预报模型与水土保持决策支持系统。

2.2 基于 GIS 和 RS 的研究

随着计算机技术日新月异的发展,地理信息系统技术(GIS)和遥感技术(RS)在 LUCC 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 在该领域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。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^[41]。

在土地利用/土地覆被变化研究的技术路线方面,于兴修等在分析中国土地利用/土地覆被变化研究的现状与问题时指出,有关研究总体上看主要是围绕时间域和空间域 2 个角度,以数据采集、模型建立、结果分析预测为主^[38]。朱会义等人认为:空间变化反映土地利用变化的空间类型、变化类型的空间分布以及区域差异,是土地管理和规划关注的焦点问题。而解决这一问题的关键是如何获取土地利用空间变化信息以及如何对获取的信息进行科学的分析处理^[39]。目前,我们获取土地利用空间变化信息的途径主要有利用历史图件、实地调查如土地详查和遥感解译制图等;变化信息的处理则要应用 GIS 的空间分析功能。因此,将土地利用变化模型同遥感解译和 GIS 的空间分析有机结合,是我国当前土地利用/土地覆被变化研究的一个重要技术特征,这在郑丙辉、黎夏、摆万奇等的研究中都有反映^[40-42]。

GIS 和 RS 在土地利用/土地覆被变化中的应用可以提高计算的速度。GIS 的优势主要体现在空间分析和图形显示上,使计算结果图形化,结果直观简洁。RS 的应用优势体

现在数据上,RS 的应用使大范围的水土流失计算成为可能,而且由于遥感图像的时效性,还可以实现动态监测水土流失,从而进行有目的的防治。应用 GIS 可以方便地进行参数输入,也可将模型的计算结果描述土壤侵蚀空间分布差异,同时可用 GIS 模型中的数据分析工具,根据所需目的进行数据分析和查询。这些优点使得 GIS 与土壤侵蚀分布模型的结合,成为当前侵蚀模型研究发展的一个重要方向。

2.3 基于放射性同位素的研究

近几年,¹³⁷Cs 示踪法在沉积环境中应用较多。很多研究都是通过调查¹³⁷Cs 在河流堆积物、湖泊沉积物等沉积物剖面的分布特征和含量,再结合研究沉积泥沙可能来源地土壤中¹³⁷Cs 的剖面分布特征和含量,通过简单的配比公式,建立方程,求取各泥沙来源地对沉积泥沙的贡献率和贡献量。利用¹³⁷Cs 示踪法研究淤地坝中的沉积泥沙,是研究近现代以来侵蚀环境的一个非常重要的手段。1989 年,张信宝等在黄土高原应用¹³⁷Cs 示踪法,分析了流域的各个源地对泥沙的相对贡献率^[43]。之后,杨明义等在 1999 年,也进行了¹³⁷Cs 示踪泥沙来源的一些研究^[44]。

1992 年,田均良等通过大量理论分析,选择了黄土中背景值含量较低、具有较高检测灵敏度的 Ce、Nd、Sm、Dy、Eu、Yb、La 等 7 种元素,按段面法、条带法、点状法 3 种施放法进行施放,首次利用 REE 对土壤侵蚀垂直分布,进行了定量分析,并研究了土壤侵蚀过程中的泥沙沉积、小流域泥沙来源等^[45]。2000 年,石辉、杨武德等利用 Eu 元素示踪定位,研究了红壤区土壤侵蚀过程^[46]。2002 年,李勉等也利用 REE 示踪,针对黄土坡面细沟侵蚀过程进行了研究^[47]。2003 年,张信宝等经过一系列研究,建立了²¹⁰Pb 示踪农耕地土壤侵蚀量的估算模型,该模型对于估算土壤侵蚀速率有一定的意义,但其信度还有待于进一步通过实验验证^[48]。

目前,还很少有关于未扰动地上的土壤侵蚀量的计算模型的研究论文发表,这一领域还有待进一步研究。

3 讨论和结语

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,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。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。

土壤侵蚀是引起土地退化和河流泥沙淤积的根源,其产生与各种自然因素和人类活动存在一定关系。人类活动是造成土壤侵蚀的主要原因,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。截至 2005 年 10 月,为期 10 a 的 IGBP 与 IHDP 联合拟订的 LUCC 研究计划即将结束,取而代之的将是综合了 IGBP 与 IHDP 核心研究课题——全球土地计划(global land project, GLP)。在新项目中,土地利用变化模型将更侧重于创新性与动态,而不是固定变量的土地利用变化模型,而且土地利用变化的因子也更加多样,这些无疑将有助于更好地理解土地利用变化。研究

LUCC和土壤侵蚀的关系,有着广阔的应用前景。我国是世界上土壤侵蚀最严重的国家之一,土壤侵蚀遍布全国,而且强度高,成因复杂,危害严重,尤以西北的黄土、南方的红壤和东北的黑土流失最为强烈^[1]。基于目前国内外的研究进展,结合云南省的自身特点,可以开展进一步的研究。

云南省退化土地的治理工作尽管取得了一定成绩,但由于各种复杂的自然和人为的原因,土地退化仍很严重,主要表现在山地灾害频繁发生、水土流失严重、土地受到严重污染等方面。据1999年遥感调查结果,全省水土流失面积达141 333 km²,占到全省土地面积的36.88%,比20世纪50年代扩大了近1倍,相当于我国一个中等省份的土地面积。云南省的水土流失从侵蚀强度面积分布上看,主要表现为轻度流失和中度流失,这两项合计占了全省水土流失面积的93.85%。全省年土壤侵蚀总量为 5.14×10^8 t,平均侵蚀模数达到1 340 t/(km²·a),年均侵蚀深度达1 mm^[49]。云南省山地环境脆弱,水土流失严重,水土保持工作是实施西部大开发战略中生态环境建设的艰巨任务。因此,在研究土地利用的侵蚀环境效应及其生态安全意义的同时,可以深入探讨有关土地利用与土壤侵蚀的关系。在具体的研究及防治工作中,统筹规划,形成一定的理论体系并应用到土地退化的防治研究中。进一步加强诸如:区域土壤侵蚀、土壤侵蚀动力过程、土壤侵蚀过程模拟及预报、土壤侵蚀环境效应评价等领域的研究。目前的土地利用与土壤侵蚀的研究在时间尺度上比较活跃,但空间尺度上的区域对比研究比较薄弱。区域间的土地利用与土壤侵蚀关系的对比研究除了要考虑土地利用格局的差异,还要考虑降雨、土壤、地貌等综合因素。尽管这样的研究存在一定的难度,但具有较高的研究价值。

参考文献:

- [1] 王礼先. 水土保持学[M]. 北京:中国林业出版社, 1995.
- [2] Global Change News Letter. Issue No 50, 2002.
- [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[J]. 水土保持学报, 2001, 15(5): 10-17.
- [4] 吴秀芹, 蔡运龙. 土地利用/土地覆盖变化与土壤侵蚀关系研究进展[J]. 地理科学进展, 2003, 22(6): 576-584.
- [5] Norman Hudson. Soil Conservation[M]. Third Edition, 1995.
- [6] 张洪江. 土壤侵蚀原理[M]. 北京:中国林业出版社, 1999:10.
- [7] Dorr H, Munnich K O. Lead and Cesium transport in European forest soils[J]. Water Air and Soil Pollution, 1991, 57: 809-818.
- [8] Batjes N H. Global assessment of land vulnerability to water erosion on a one half degree by one half degree grid[J]. Land Degradation & Development, 1996, 7(4): 353-365.
- [9] Reich P, Eswaran H, Beinroth F. Global dimensions of vulnerability to wind and water erosion[C]// Stott D E, Mohtar R H, Steihardt G C. Sustaining the Global farm. Selected papers from the 10th International Soil Conservation Organization Meeting. West Lafayette, IN, 2001.
- [10] Le Bissonnais Y, Montier C, Jamagne M, et al. Mapping erosion risk for cultivated soil in France[J]. Catena, 2002, 46(2/3): 7-22.
- [11] Gobin A, Govers G, Jones R, et al. Assessment and reporting on soil erosion[R]. European Environment Agency, Copenhagen, 2003.
- [12] 杨勤科, 李锐, 曹明明. 区域土壤侵蚀定量研究的国内外进展[J]. 地球科学进展, 2006, 21(8): 849-856.
- [13] Kirkby M J, Abrahart R, McMahon M D, et al. MEDALUS soil erosion models for global change[J]. Geomorphology, 1998, 24(1): 35-49.
- [14] Kirkby M J, Bissonais Y L, Couhhard T J, et al. The development of land quality indicators for soil degradation by water erosion[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2000, 81(2): 125-136.
- [15] De Jong S M, Paraecchini M L, Bertohi F, et al. Regional assessment of soil erosion using the distributed model SEMMED and remotely sensed data[J]. Catena, 1999, 37(3/4): 291-308.
- [16] Hush Hammond Bennett. Soil Conservation [M]. New York, 1938.
- [17] Frederick R, Troeh J, Arthur H, et al. Soil and water conservation: productivity and environmental protection[M]. 1999.
- [18] Lester R B. 全球耕地土壤资源的侵蚀状况[J]. 地理译报, 1987(3): 1-3.
- [19] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses a guide to conservation planning[Z]. Agriculture Handbook, USDA, 1978: 537.
- [20] Planagan D C, Ascough J C, Nicks A D, et al. Overview of the WEPP erosion prediction model [R]. Technical Documentation, USDA-Water Erosion Prediction Project, 1995.
- [21] Menzel R G. Transport of Strontium-90 in runoff. Science (Washington), 1960, 131: 499-500.
- [22] Graham E R. Factors affecting Sr-85 and F-131 removal by runoff water[J]. Water and Sewage Works, 1963, 110: 407-410.
- [23] Rogowski A S, Tamura T. Movement of ¹³⁷Cs by runoff, erosion and infiltration on the alluvial Captina silt loam[J]. Health Physics, 1965, 11: 1333-1340.
- [24] Ritchie J C, McHenry J R, Gill A C. Fallout ¹³⁷Cs in the soils and sediments of three small watersheds[J]. Ecology, 1974, 55: 887-890.
- [25] Knaus R M. Accretion and canal impacts in a rapidly

- subsiding wetland/. A new soil horizon maker method for measuring recent accretion[J]. *Estuaries*, 1989, 12(4): 269-28.
- [26] 张科利, 彭文英, 张竹梅. 日本近 50 年来土壤侵蚀及水土保持研究评述[J]. *水土保持学报*, 2005, 19(2): 61-68.
- [27] Erskine W D, Mahmoudzadeh A, Myers C. Land use effects on sediment yields and soil loss rates in small basins of Triassic sandstone near Sydney, NSW, Australia[J]. *Catena*, 2002, 49: 271-287.
- [28] Neil D T, Fogarty P. Land use and sediment yield mapping using small dam sedimentation surveys, Southern Tablelands New South Wales[J]. *Catena*, 1993, 4(2): 33-39.
- [29] Erskine W D, Saynor M J. Success of soil conservation works in reducing soil erosion rates and sediment yields in central eastern Australia [J]. *Int Assoc Hydro1 Sci. Publ.*, 1996, 236: 523-530.
- [30] Jones P A, Loughran R J, Elliott G L. Sedimentation in semi-arid zone reservoir in Australia determined by ^{137}Cs [J]. *Acta Geologica Hispanica*, 2000, 35(3/4): 329-338.
- [31] The New Zealand Resource Inventory. Erosion classification[M]. National Water and Soil Conservation Authority, Water and Soil Miscellaneous Publication, 1985: 85.
- [32] 王秀兰, 包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨[J]. *地理科学进展*, 1999, 18(1): 81-87.
- [33] 张科利, 曹其新, 细山田健三, 等. 神经网络模型在土壤侵蚀预报中应用的探讨[J]. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1995, 1(1): 58-63.
- [34] 张小峰, 许全喜, 裴莹. 流域产流产沙 BP 网络预报模型的初步研究[J]. *水科学进展*, 2001, 12(1): 17-22.
- [35] 邓祥征, 刘纪远, 战金艳, 等. 区域土地利用变化的多情景分析: 以内蒙古自治区太仆寺旗为例[J]. *地球信息科学*, 2004, 6(1): 81-88.
- [36] 赵晶, 徐建华, 梅安新, 等. 上海市土地利用结构和形态演变的信息熵与分维分析[J]. *地理研究*, 2004, 23(2): 137-146.
- [37] 赵杰, 赵士洞. 利用 PRA 方法研究小尺度区域土地利用变化: 以科尔沁沙地尧勒甸子村为例[J]. *地域研究与开发*, 2004, 23(1): 73-76.
- [38] 于兴修, 杨桂山. 中国土地利用覆被变化研究的现状与问题[J]. *地理科学进展*, 2002, 21(1): 51-57.
- [39] 朱会义, 何书金, 张明. 土地利用变化研究中的 GIS 空间分析方法及其应用[J]. *地理科学进展*, 2001, 20(2): 104-110.
- [40] 郑丙辉, 田自强, 王文杰, 等. 中国西部地区土地利用/土地覆盖近期动态分析[J]. *生态学报*, 2004, 24(5): 1078-1085.
- [41] 黎夏. 珠江三角洲发展走廊 1988 - 1997 年土地利用变化特征的空间分析[J]. *自然资源学报*, 2004, 19(3): 307-315.
- [42] 摆万奇, 阎建忠. 大渡河上游地区土地利用/土地覆被变化与驱动力分析[J]. *地理科学进展*, 2004, 23(1): 71-78.
- [43] 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[J]. *科学通报*, 1989, 34(3): 210-213.
- [44] 杨明义, 田均良, 刘普灵. 应用 ^{137}Cs 研究小流域泥沙来源[J]. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1999, 5(3): 49-53.
- [45] 田均良, 周佩华, 刘普灵, 等. 土壤侵蚀 REE 示踪法研究初报[J]. *水土保持学报*, 1992, 6(4): 23-27.
- [46] 石辉, 刘普灵, 田均良. 土壤侵蚀的中子活化示踪法研究[J]. *水科学进展*, 2000, 11(2): 126-132.
- [47] 李勉, 李占斌, 丁文峰, 等. 黄土坡面细沟侵蚀过程的 REE 示踪[J]. *地理学报*, 2002(2): 218-223.
- [48] 张信宝, Walling D E, 冯明义, 等. $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 在土壤中的深度分布和通过 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 法求算土壤侵蚀速率模型[J]. *科学通报*, 2003, 48(5): 502-506.
- [49] 袁春明, 郎南军, 温绍龙, 等. 云南省水土流失概况及其防治对策[J]. *水土保持通报*, 2003, 23(2): 60-63.

(上接第 25 页)

- [4] 王万忠, 焦菊英, 郝小品, 等. 中国降雨侵蚀力 R 值的计算与分布() [J]. *水土保持学报*, 1995, 9(4): 5-18.
- [5] 王万忠, 焦菊英, 郝小品, 等. 中国降雨侵蚀力 R 值的计算与分布() [J]. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1996, 2(1): 29-39.
- [6] 王万忠. 黄土地区降雨侵蚀力 R 值指标的研究[J]. *中国水土保持*, 1987(12): 34-38.
- [7] 洪伟, 吴承祯. Krige 方法在我国降雨侵蚀力地理分布规律研究中的应用[J]. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1997, 3(1): 91-96.
- [8] 黄炎和, 卢程隆, 郑添发, 等. 闽东南降雨侵蚀力指标 R 值的研究[J]. *水土保持学报*, 1993, 6(4): 1-5.
- [9] 周伏建, 陈明华, 林福兴, 等. 福建省降雨侵蚀力指标 R 值[J]. *水土保持学报*, 1995, 9(1): 13-18.
- [10] 吴素业. 安徽大别山区降雨侵蚀力简化算法与时空分布规律[J]. *中国水土保持*, 1994(4): 12-13.
- [11] 阮伏水. 闽东南地区降雨侵蚀力的初步研究[J]. *热带地理*, 1995, 15(2): 138-146.
- [12] 周启明, 刘学军. 数字地形分析[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 213-217.
- [13] 高惠璇. 应用多元统计分析[M]. 北京: 北京大学出版社, 2005: 105-171.