

GIS- RS 一体化技术在土壤侵蚀研究中的应用

罗 洁¹, 孟广涛², 周 跃¹, 王宏宾¹

(1. 昆明理工大学环境科学与工程学院, 昆明 650093; 2. 云南省林业科学院, 昆明 650204)

摘 要: 随着现代信息技术的飞速发展, GIS- RS 一体化技术在土壤侵蚀研究中得到了广泛的应用, 已充分显示出它的社会、经济和生态效益。介绍了遥感、地理信息系统研究土壤侵蚀的发展动态, 总结归纳了目前国内外 GIS- RS 一体化技术在土壤侵蚀研究中的应用, 并对该技术在土壤侵蚀研究方面的应用前景进行了展望。

关键词: 土壤侵蚀; 遥感; 地理信息系统; GIS- RS 一体化

中图分类号: S157; TP79

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)06-0171-04

Review of Progresses in Application of the GIS- RS Integrative Technology to the Research of Soil Erosion

LUO Jie¹, MENG Guang-tao², ZHOU Yue¹, WANG Hong-bin¹

(1. Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;

2. Yunnan Academy of Forestry, Kunming 650204, China)

Abstract: With the modern information technology developing rapidly, the GIS- RS integrative technology has got extensive application in the research of soil erosion, and it has showed its social, economic and ecological benefits. The development of using RS and GIS to study the soil erosion is presented, and the application of GIS- RS integrative technology in the research of soil erosion is summarized. Finally, the prospect of soil erosion with the GIS- RS integrative technology was discussed.

Key words: soil erosion; remote sensing; geographic information system; GIS- RS integrative technology

土壤是地球上生物赖以生存的基本要素之一, 土地以及不同质量的土壤生产了超过 90% 的人类和牲畜所需要的食物。土地退化的日益严重成为制约人类发展的重要因素。土壤侵蚀是土地退化、河道和湖泊淤积的根本原因, 导致土地沙漠化和荒漠化, 使生态环境恶化, 耕地面积和质量下降, 严重威胁到人类的生存。目前全球土地退化日益严重, 我国是世界上土壤侵蚀最为严重的国家之一, 土壤侵蚀面积占国土面积的比例高达 38.2%, 研究土壤侵蚀的机理, 有效地对其进行监控、治理已经成为全球关注的焦点^[1]。而遥感(Remote Sensing, RS)具有多种类、多平台、多时段、多波段的特点和信息丰富、信息周期短, 实时性和动态性强等优势, 无疑是最快速有效的先进手段之一。而地理信息系统(Geographic Information System, GIS)的发展使得对多要素的相关空间分析成为可能^[2]。因此, 遥感和地理信息系统技术为土壤侵蚀的研究提供了丰富的信息资料和处理手段, 开辟了新的广阔空间。本文旨在概述遥感、地理信息系统研究土壤侵蚀的发展动态, 总结归纳了目前国内外 GIS- RS 一体化技术在土壤侵蚀研究中的应用, 并对该技术在土壤侵蚀研究方面的应用前景进行了展望。

1 遥感(RS)、地理信息系统(GIS)技术概述

1.1 遥感(RS)

遥感(RS), 从广义上说是指从远处探测、感知物体或事

物的技术。即不直接接触物体本身, 从远处通过仪器(传感器)探测和接收来自目标物体的信息(如电场、磁场、电磁波、地震波等信息), 经过信息的传输及其处理分析, 识别物体的属性及其分布等特征的技术^[3]。遥感一般选用卫星或飞机作为传感器的遥感平台。遥感探测不受地面条件的限制, 视域范围大, 不仅可以获得可见光波段的电磁波信息, 而且可获得紫外、红外等波段的信息, 加之成像周期短, 可以弥补传统调查方法中的周期长、野外劳动强度大的不足, 特别是对一些高、寒、热人迹罕至地带的调查更具有利用价值, 已成为森林资源动态监测不可缺少的信息源。实践证明, 在宏观、快速、动态性等方面遥感具有其他技术不可替代的优越性。

1.2 地理信息系统(GIS)

地理信息系统(GIS)是以采集、存储、管理、分析、显示和应用整个或部分地球表面与空间和地理分布有关的数据的计算机系统。是分析和处理海量地理数据的通用技术^[4]。地理信息系统是集地球科学、信息科学、计算机科学、环境科学、管理科学于一体的边缘科学。其最大特点在于可以把社会生活中的各种信息与反映地理位置的图形信息有机地结合起来, 从而使复杂空间问题的科学求解成为可能。它具有空间数据处理能力和空间信息分析能力, 属性数据和图形数据并存的特点, 可根据用户的要求迅速地获取满足需要的各种信息, 并能以地图、图形或数据的形式表示处理的结果。

* 收稿日期: 2005-11-23

作者简介: 罗 洁(1980-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向是 3S 技术和景观生态学。

2 应用遥感、地理信息系统研究土壤侵蚀的发展状态

土壤侵蚀一直是遥感、地理信息系统研究的一个重要领域。纵观国内外遥感、地理信息系统在土壤侵蚀研究中的进展,可以概括为目视解译方法研究土壤侵蚀、遥感光谱分析方法研究土壤侵蚀、模型参数化方法研究土壤侵蚀和人机交互式解译方法研究土壤侵蚀四个方面,以及它们的相互结合。

2.1 目视解译方法研究土壤侵蚀

目视解译是在处理过的遥感影像产品上覆盖透明薄膜进行人工目视判读,并将结果以人工数字化或扫描数字化的方式进入到计算机中。该方法方便灵活,解译者在解译过程中能够充分利用解译标志和其它辅助信息(地貌、地形等)识别地物,分类定性精度高,但该方法对解译者的要求较高,主观因素多,工作量大,定量化计算与分析能力相对薄弱,难以显示遥感影像“数字化”的特点。

在 20 世纪 80 年代初,由于计算机硬件、软件价格十分昂贵,目视解译方法曾是我国遥感工作者的主要方式,并在“腾冲遥感调查”、“山西太原盆地遥感调查”、“内蒙古草场资源遥感调查”等项目中作出巨大贡献。在国外,目视解译方法也有应用,Bocco^[5]在 SPOT 立体影像图,用目视解译的方法绘制了 Mexico 城的土壤侵蚀图。在国内,杨存建^[6]在对居民地的信息提取研究中,对提取精度检验,使用的标准是目视解译图;国土资源部在对城市土地动态遥感监测效果的评估中完全使用目视解译方法,水利部在进行全国第二次土壤侵蚀遥感调查中也广泛应用目视解译的原理^[7]。所以,目视解译方法在土壤侵蚀调查工作中仍然有潜力进一步挖掘。

2.2 遥感光谱分析方法研究土壤侵蚀

遥感光谱分析方法研究土壤侵蚀主要是包括分析、解读遥感数字影像和分析、解读遥感地物光谱辐射值两种。分析、解读遥感数字影像主要是通过遥感数字图像处理的方法对遥感数字图像进行有关土壤侵蚀的信息增强,将土壤侵蚀信息分类归纳。欧洲黄土带,由于径流集中而使肥沃土壤被侵蚀,Brgm 和 Inra^[8]用 SPOT 数据和 GIS 技术对土壤侵蚀区进行了制图,并探索开发了区域性土壤侵蚀模型。分析解读遥感地物光谱的方法不同于分析、解读遥感数字影像,它是通过对遥感数字影像中的地物光谱辐射值进行定量分析,从而得到土壤侵蚀的信息。Pickup 和 Marks^[9]利用伽马射线航空遥感数据提取地表土壤和岩石辐射元素含量信息,包括钾、钍和铀,利用这些元素的空间分布对流域尺度侵蚀产沙进行示踪。

2.3 模型参数化方法研究土壤侵蚀

随着遥感技术不断提高,地理信息系统技术不断成熟,很多土壤侵蚀模型参数都可以从遥感信息、DEM 数据、数字专题图中提取,从而提高了土壤侵蚀模型的计算精度和速度。卜兆宏^[10]利用遥感分析提取修订后的 USLE 模型所需参数,计算了山东省的土壤侵蚀空间变化;肖寒^[11]在 GIS 的支持下,采用通用 USLE 方程及其修改式估算了海南岛现实土壤侵蚀量和潜在土壤侵蚀量,分析了土壤侵蚀因子在海南岛的表现,得到了海南岛现实土壤侵蚀量和潜在土壤侵蚀量的空间分布特征。孙希华^[12]基于遥感与 GIS 技术,利用通用土壤流失方程 USLE 模型和土壤侵蚀防治预报模型,以像元流失量为基础,对山东省山丘区的土壤侵蚀状况进行了定量调查。史志华^[13]通过遥感和野外调查进行了信息采集,利用修正通用土壤流失方程(RUSLE)和 IDRISI 地理信息系统进行数据分析,获取了王家小流域土壤侵蚀的时空分布

信息。黄金良^[14]运用 GIS 建立九龙江流域基础地理数据库,利用 ARC/INFO 的栅格数据空间分析功能,根据 USLE 土壤侵蚀预测模型对数据库进行图形运算,预测了九龙江流域的土壤侵蚀量。

2.4 人机交互式解译方法研究土壤侵蚀

人机交互式解译是在 GIS 软件支持下,由经验丰富的土壤侵蚀和遥感专业人员,进行遥感信息全数字解译,是一种通过人脑和电脑相结合,对计算机储存的遥感信息和人所掌握的知识、经验进行推理、判断的过程。在人工智能尚未能达到解决像土壤侵蚀这样复杂的推理之前,人机交互式解译将在大尺度土壤侵蚀遥感调查中发挥积极的作用。张增祥^[15]提出的基于遥感和地理信息系统的山区土壤侵蚀强度数值分析方法中,数据获取过程均建立在人机交互式解译基础上;赵晓丽^[16]应用人机交互式方法对西藏中部地区进行了 1990~1995 年的土壤侵蚀动态分析,客观地反映出了通过兴修水利,改造中低产田、草场和植树造林等水土保持工程和生物工程,使河谷地区土壤侵蚀明显下降;彭飞宇^[17]通过云南省土壤侵蚀遥感调查的实践,进行人机交互全数字土壤侵蚀遥感调查与制图,并建立土壤侵蚀信息系统的技术方法与实现过程。刘国平^[18]采用人机交互判读的方法,先后 2 次开展了内蒙古自治区土壤侵蚀遥感监测,并进行了水利基础数字图开发研究。因此,从大量的人机交互式遥感解译研究和实际应用看,它将是遥感、地理信息系统在土壤侵蚀调查中的一条主要途径。

3 GIS- RS 一体化技术在土壤侵蚀研究中的应用

GIS- RS 一体化,即 GIS 与 RS 的集成,是近年来遥感和地理信息系统领域研究的热点,两者的集成主要用于以下两个方面:(1) 遥感数据作为信息源更新 GIS 数据库;(2) GIS 数据支持遥感图像处理和解析。用 GIS 数据作为辅助数据用以改善遥感图像的分类,是遥感图像分类实践中经常采用的策略,空间数据发掘技术和 GIS 领域的两个主要应用是 GIS 智能化分析和知识驱动的遥感图像解译^[19]。近年来,GIS- RS 一体化技术在土壤侵蚀研究中得到了广泛的应用,它使得图像、图形和编辑软件得到有机的结合,对土壤侵蚀演变过程进行快速监测,有利于从宏观上把握土壤侵蚀演变与分布情况。

3.1 利用 GIS- RS 一体化技术编制土壤侵蚀图

制图是 GIS 的基本功能,由 GIS- RS 一体化技术编制的土壤侵蚀图是研究土壤侵蚀的手段之一。

Mirchel^[20]利用北部非洲和中东地区的遥感图像,在 GIS 技术支持下,编制了该地区的土壤退化图。Haboudane 等^[21]利用 GIS 与 RS 技术相结合编制 Guadalentin 盆地(西班牙)的土地退化与土壤侵蚀图,研究该地区土壤侵蚀状况。

在我国,郭志民等^[22]研究了应用 GIS- RS 一体化技术,在实现水土流失定量遥感监测的基础上编制土壤侵蚀模数图,利用土壤普查成果资料编制土层厚度和土壤密度图,编制土壤抗蚀年限图,评价研究区的土壤侵蚀潜在危险性。汪文富^[23]以普定后寨河岩溶流域为研究区,利用 GIS- RS 一体化技术建立起适合于岩溶流域使用的土壤侵蚀定量模型,提取土壤侵蚀因子,最后得到流域实际的土壤侵蚀图、潜在的土壤侵蚀图等一系列图件,为岩溶流域的综合治理提供有效的理论研究依据。岳彩荣^[24]采用 GIS- RS 一体化技术对昭通地区的土壤侵蚀现状进行了调查研究,得出了昭通地区的土壤侵蚀面积和空间分布信息,并编制了昭通市和大关县的土壤侵蚀等级空间分布图。

3.2 GIS、RS 技术与数学模型相结合计算土壤侵蚀量

在土壤侵蚀研究中,国内外研究者广泛采用数学模型与遥感数据相结合的方式,估算土壤侵蚀量,其中应用最为广泛的是美国的通用土壤流失方程(Universal Soil Loss Equation,简称 USLE)。

Desmet 等^[25]研究了在地形复杂的景观单元,利用 GIS- RS 一体化技术计算 USLE 方程中的 L (坡长)和 S (坡度)因子的方法。Jain 等^[26]将遥感等数据用于 Morgan 和 USLE 两个模型,分别对监测区的土壤侵蚀量进行估算,结果表明 USLE 模型计算出的值过高, Morgan 模型的估算与事实更接近。

在我国,1986 年北京大学遥感研究中心信息中心主持了“土壤侵蚀信息系统研究”,将地理信息系统与遥感技术应用于新疆土壤侵蚀状况的研究中,建立了区域土壤侵蚀信息系统,对数据输入及数据结构进行比较研究,并建立多种土壤侵蚀模型^[27]。黄诗峰^[28]采用遥感技术为主,常规手段为辅的信息获取方法,基于栅格地理信息系统的流域土壤侵蚀量估算的指标模型,对嘉陵江上游西汉水流域土壤侵蚀量进行了估算。刘森^[29]以 GIS、RS 和修正的通用土壤流失方程(RUSLE)为核心,对大兴安岭呼中地区土壤流失量进行了量化分析。罗志军^[30]选取三峡库区太平溪小流域为研究区域,通过遥感和野外调查进行信息采集,建立了流域环境数据库,在 GIS 支持下,根据土壤流失监测模型对数据库实施运算操作,估算了流域土壤侵蚀量。

3.3 RS、GIS 技术研究土壤侵蚀与土地利用/土地覆盖变化(LUCC)的关系

土地利用/土地覆盖变化(LUCC)与土壤侵蚀关系的研究已逐渐成为土壤侵蚀研究的一项新的重要课题。随着计算机技术的飞速发展,RS、GIS 技术在 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^[31]。

Navas 和 Machin^[32]利用 GIS- RS 一体化技术建立数据库,对西班牙东北部 Litigio 地区的土壤类型、土地利用状况和坡度等因素综合分析,评价该地区土壤侵蚀状况,结果表明该地区土地利用方式降低了土地生产力,并提出了适宜的水土保持方案。Koch^[33]在 1984~1997 年间将 GIS、RS 技术用于动态监测 Los Monegros 地区的土壤侵蚀及盐碱化

参考文献:

- [1] 冯琰,等.地理信息系统(GIS)在土壤侵蚀研究中的应用[J].首都师范大学学报(自然科学版),2003,24(4):69-75.
- [2] 薛利红,杨林章.遥感技术在我国土壤侵蚀中的研究进展[J].水土保持学报,2004,18(3):186-189.
- [3] 孙水裕,王孝武.环境信息系统[M].北京:化学工业出版社,2003.
- [4] 张超,等.地理信息系统[M].北京:高等教育出版社,1995.
- [5] Bocoo G. Remote sensing and GIS- based regional geomorphological mapping a tool for land use planning in developing countries[J]. Geomorphology, 2001, 39: 211-219.
- [6] 杨建新,周成虎. TM 影像的居民地信息提取方法研究[J]. 遥感学报, 2000, 4(2): 146-150.
- [7] 李锐,杨勤科.水土流失动态监测与评价研究[A]. 区域水土流失快速调查与管理信息系统研究[M]. 郑州:黄河水利出版社,2000.
- [8] Mathieu R, et al. Contribution of multi-temporal SPOT data to the mapping of a soil erosion index. the case of the loamy plateaux of northern France[J]. Soil Technology, 1997, 10(2): 99-110.
- [9] Pickup G, Marks A. Regional scale sedimentation process models from airborne gamma ray remote sensing and digital elevation data[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2001, 26(3): 273-293.
- [10] 卜兆宏.应用水土流失定量遥感方法监测山东全省山丘区的研究[J]. 土壤学报, 1999, 36(1): 1-8
- [11] 肖寒,等. GIS 支持下的海南岛土壤侵蚀空间分布特征[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 5(4): 75-80.

情况,研究土地利用类型与土地退化之间的关系,提出该地区土地利用的理想模式。

在我国,傅伯杰^[34]选择黄土丘陵沟壑区的羊圈沟流域,通过航空像片解释和野外实际调查,在地理信息系统的支持下,研究了土地利用变化对流域土地侵蚀的影响。范建容等^[35]以遥感影像为主要信息源,利用 GIS 技术对四川省李子溪流域 1986 年和 1999 年土壤侵蚀动态变化进行监测,估测侵蚀量,探讨了土壤侵蚀动态变化与土地利用变化的关系,以及侵蚀强度动态变化与侵蚀量变化的关系。邹亚荣^[36]以我国水蚀区广东惠东区为例,以 TM 影像为主要数据源,在 GIS 环境下,进行土壤侵蚀与土地利用类型的矢量分析,得出了土地利用类型与土壤侵蚀的分布相关关系。王思远^[37]在 RS 和 GIS 技术的支持下,通过自然环境因子的定量化分析,对黄河流域土地利用变化与土壤侵蚀的耦合关系进行了研究。

4 应用前景展望

应用遥感和地理信息系统技术进行土壤侵蚀调查研究,在我国已有近 20 年的历史,具有不可替代的优越性。综观以往研究成果,利用 GIS- RS 一体化技术进行土壤侵蚀研究将在以下几个方面得到进一步的深入研究和应用:

(1) 提高遥感数据的处理技术与方法:为从遥感数据中精确提取土壤侵蚀有关信息,必须采用区域遥感信息多波段、多时相、多平台复合以及遥感信息与地图的复合、遥感信息与 DTM 的复合,定性分析与定量分析相结合、综合分析为主导分析相结合、室内判读与外业调查相结合的办法,尽可能准确获取土壤侵蚀要素等信息。不断完善和改进现有的遥感数据处理方法,开发出更好的适用于我国专业土壤侵蚀遥感处理软件。

(2) GIS- RS 一体化技术与景观生态学相结合,研究生态环境问题是脆弱生态环境研究的新进展,对于土壤侵蚀相关问题的研究将有所启示和借鉴。

(3) 加强 GIS、RS 和 GPS 的有机结合:目前的定量遥感方法仅仅是 2S(GIS 与 RS)的结合, GIS 是主体, RS 是 GIS 的主要信息源。GPS 也可用作信息源,它相对于 RS 来说属于微观尺度,主要用于细化局部区域的信息,是 GIS 重要的补测、补绘、更新手段。三个“S”各自发挥着各自特定的作用和功能,只有真正实现 3S(RS、GIS 与 GPS)的有机结合,才能更有效地定量和动态监测土壤侵蚀状况,采取积极有效的防治措施。

- [12] 孙希华. 基于遥感和 GIS 的山东山丘区土壤侵蚀调查研究[J]. 山东师大学报, 2001, 16(2): 168– 172.
- [13] 史志华, 蔡崇法. 基于 GIS 和 RUSLE 的小流域农地水土保持规划研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(4): 172– 175.
- [14] 黄金良, 等. 基于 GIS 和 USLE 的九龙江流域土壤侵蚀量预测研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(5): 75– 79.
- [15] 张增祥, 等. 基于遥感和地理信息系统(GIS) 的山区土壤侵蚀强度数值分析[J]. 农业工程学报, 1998, 14(3): 77– 83.
- [16] 赵晓丽, 等. 基于 RS 和 GIS 的西藏中部地区土壤侵蚀动态监测[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 5(2): 44– 50.
- [17] 彭飞宇, 夏菁. 基于 GIS 技术的全数字土壤侵蚀遥感调查与制图[J]. 水利水电工程设计, 2001, 20(2): 34– 35.
- [18] 刘国平, 等. 内蒙古水利基础数字图开发[J]. 内蒙古水利, 2003, (4): 52– 53.
- [19] 邱凯昌, 等. 基于空间数据发掘的遥感图像分类方法研究[J]. 武汉测绘科技大学学报, 2000, 25(1): 42– 47.
- [20] Mirchel W C. Soil degradation mapping form ladsat imagery in North A frica and Middle East[A]. Geological and terrain studies by remote sensing[M]. (London: Remote Sensing Society), 1981.
- [21] Haboudane, et al. Land degradation and erosion risk mapping by fusion of spectrally– based information and digital geomorphometric attributes[J]. International Journal of Remote Sensing, 2002, 23(18): 3795– 3820.
- [22] 郭志民, 等. 应用 GIS 方法对土壤侵蚀潜在危险性进行评价及其时空分布特征研究[J]. 福建水土保持, 1999, 11(4): 40– 45.
- [23] 汪文富. 贵州普定后寨河流域土壤侵蚀模型与应用研究[J]. 贵州地质, 2001, 18(2): 99– 106.
- [24] 岳彩荣, 等. 利用卫星遥感和 GIS 技术进行昭通地区土壤侵蚀调查研究[J]. 水土保持通报, 2003, 23(2): 36– 39.
- [25] Desmet P J, Covers G A. GIS– procedure for the automated Calculation of the USLE LS– factor on topographical complex landscape units[J]. Journal of soil& water conservation, 1996, 51: 427– 433.
- [26] Jain, et al. Estimation of Soil Erosion for a Himalayan Watershed Using GIS Technique[J]. Water Resources Management, 2001, 15(1): 41– 54.
- [27] M a Ainai. Proceedings of Internal Workshop on Geographic Information System Beijing 87[C]. published by Lab of Resources and Environment Information System, Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences& Stale Planning Commission Beijing, China, 1987.
- [28] 黄诗峰, 等. 基于 GIS 的流域土壤侵蚀量估算指标模型方法——以嘉陵江上游西汉水流域为例[J]. 水土保持学报, 2001, 15(2): 105– 107, 116.
- [29] 刘森, 等. 基于 GIS、RS 和 RUSLE 的林区土壤侵蚀定量研究——以大兴安岭呼中地区为例[J]. 水土保持研究, 2004, 11(3): 21– 24.
- [30] 罗志军, 等. 基于 RS 和 GIS 的小流域土壤侵蚀量估算研究[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2005, 39(2): 269– 272.
- [31] 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.
- [32] Navas A, Machin J. Assessing erosion risks in the gypsiferous steppe of Litigio(NE Spain), An approach using GIS[J]. Journal of Arid Enviroments, 1997, 37(3): 433– 441.
- [33] Koch M. Geological controls of land degradation as detected by remote sensing: a case study in Los Monergros, north– east Spain[J]. International Journal of Remote Sensing, 2000, 21(3): 457– 473.
- [34] 傅伯杰, 等. 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[J]. 地理学报, 1999, 54(3): 241– 246.
- [35] 范建容, 等. 基于 RS 和 GIS 的四川省李子溪流域土壤侵蚀动态变化[J]. 水土保持学报, 2001, 15(4): 25– 28.
- [36] 邹亚荣, 张增祥. 基于 GIS 的土壤侵蚀与土地利用关系分析[J]. 水土保持研究, 2002, 9(1): 67– 69.
- [37] 王思远, 等. 黄河流域土地利用与土壤侵蚀的耦合关系[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(1): 32– 37.

(上接第 170 页)

- [20] 孟繁斌, 郭宇新. 石佛水库枢纽一期工程水土流失预测[J]. 水土保持科技情报, 2002, (6): 11– 13.
- [21] 邹长新, 沈渭寿, 张慧. 新建青藏铁路施工期土壤侵蚀预测[J]. 水土保持通报, 2003, 23(6): 15– 18.
- [22] 郭锐, 薛志敏, 刘勇. 开发建设项目水土流失预测易出现的问题及其对策[J]. 中国水土保持, 2000(2): 36– 37.
- [23] 于杰, 马良军, 郭宏伟. 涩宁兰输气管道工程水土流失量预测及其防治[J]. 青海科技, 2001, 6: 41– 42.
- [24] 付良勇, 许小梅. 西气东输管道工程陕西段工程建设中的土壤流失及防治[J]. 水土保持研究, 2005, 12(6): 153– 155.
- [25] 刘敬军, 田素平. 铁路工程建设水土流失预测分析. 河北水利水电技术[J], 2001, 3: 41– 42.
- [26] 刘功贤, 詹敏, 陈生永. 黑龙江省土壤侵蚀方程在工程建设项目土壤流失预测中的应用[J]. 中国水土保持, 2000, 7: 23– 25.
- [27] 林福兴. 福安连接线高速公路建设水土流失及防治措施[J]. 福建水土保持, 2003, 15(1): 44– 47.
- [28] 陈建东, 王美芝, 许兆义. 道路工程施工期水土流失预测方法探讨[J]. 铁道工程学报, 2003, 78(2): 82– 85.
- [29] 余明勇, 程胜高. 桐子营水电站工程的水土流失及防治措施[J]. 湘潭师范学院学报, 2004, 26(4): 93– 95.
- [30] 李福林, 王玉太, 张保祥. 石灰岩山区工程建设对水土流失的影响研究[J]. 水土保持通报, 2000, 20(5): 16– 18.
- [31] Lee S. Soil erosion assessment and its verification using the Universal Soil Loss Equation and Geographic Information System: a case study at BOUN, Korea[J]. Environmental Geology. 2004, 4(45): 457– 465.