

WEPP 模型的最新研究进展

史婉丽^{1,2}, 杨勤科^{1*}, 张光辉³

(1. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039; 3. 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 北京 100875)

摘 要: WEPP(Water Soil Loss Equation)作为新一代水蚀预报模型,是指导水土保持措施优化配置、水土资源保护与持续利用的有效工具。近年来,遥感和 GIS 技术为 WEPP 快速获取所需资料、处理数据、图像编辑和输出等提供可靠的技术支撑;同时,区域化、尺度概念的引入,为 WEPP 应用于大尺度提供技术保障。为借鉴 WEPP 模型的优点,促进我国水蚀预报模型的发展,对 WEPP 模型的最新发展进行了详尽的介绍,并对 WEPP 应用到我国时可能存在的问题进行了初步分析。

关键词: WEPP; 水土流失; 预报模型; GIS

中图分类号: S157.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2006)06-0173-05

科学技术的进步,特别是计算机技术、土壤侵蚀机理、参数测定方法的进步,使得人们对土壤侵蚀研究手段、方法的认识发生了较大的变化。对于土壤侵蚀模型来说,以水土流失方程(USLE—Universal Soil Loss Equation)为代表的经验统计模型缺乏对侵蚀过程及其机理的深入阐述。水蚀预报模型 WEPP(Water Erosion Prediction Project)是基于物理过程模型开发的计算机模型,可以模拟侵蚀过程,描述侵蚀的动态变化,估算土壤侵蚀时空分布。

同时,WEPP 是迄今为止描述与水蚀相关参数最多的土壤侵蚀模型,它是以随机天气生成过程、入渗理论、水文学、土壤物理、作物科学、水力学和侵蚀力学等为基础开发的,有坡面版、流域版和网格版三个版本,目前较成熟的是坡面版和流域版。在流域版 WEPP 中,整个流域包括 3 个基本部分:坡面、沟道和拦蓄设施。土壤侵蚀过程包括剥离、搬运和沉积。剥离发生在坡面和沟道中,沉积可以发生在任何地方,降雨产生的径流和泥沙从上游往下游输送,经过沟道和拦蓄设施,最后离开流域出口。坡面侵蚀分为细沟侵蚀和细沟间侵蚀,相应地,坡面流包括细沟间的地表薄层流和细沟集中流。WEPP 在不断完善流域版本的同时,初步开发了基于 GIS 的流域水蚀预报模型 GeoWEPP。本文从以下 5 个方面详细地介绍 WEPP 模型的最新进展,初步分析 WEPP 应用到我国时可能出现的问题。

1 区域化和尺度概念的引入

水土流失是受多因子综合影响的复杂时空变异过程,同时也是典型的多尺度过程。土壤侵蚀预报模型是研究水土流失的尺度变异特征及其形成机制的有效技术工具。研究表明:就解决水土流失的跨尺度关系而言,基于物理过程的土壤侵蚀预报模型显著优于经验模型^[1,2]。WEPP 能够模拟不同尺度上的次降雨过程和连续多年情况,包括径流小区、坡面和流域尺度。

土壤侵蚀预报模型尺度变化引起的很多问题,在很大程度上归因于输入参数的空间变异性和尺度变异性。Nearing 认为^[3],土壤侵蚀模型,无论是经验模型还是过程模型,对于实测的年侵蚀量或者多年平均侵蚀量的估计,都存在着高值低估,低值高估的现象。不同的尺度条件,起决定作用的过程不同,相应地,模型所需参数也不同的。Blöschl 认为^[4],区域化概念能够解决这方面的问题。区域化指将复杂的地理区域简化为典型的空间单元的过程^[5]。降雨、地貌、土壤和土地利用等景观特征不同,其景观格局的尺度变异也千差万别。因此,有必要根据特定尺度下的不同目的,发展不同的区域化方法。Bormann 基于点过程模型 SIMULAT 研究水平衡过程时^[6],运用区域化技术,对所有的生态区进行聚类后,得到水文过程一致的典型生态区。由于模型

收稿日期:2006-02-24
基金项目:中国科学院知识创新重要研究方向项目“黄土高原水土保持的区域环境效应研究”(KZCX3—SW—421);农业部 948 项目“土壤侵蚀及其环境效应评价模型”(2003—Z57)
作者简介:史婉丽(1979—),女,陕西大荔人,硕士生,主要从事 GIS 应用和土壤侵蚀模型研究。
* 通讯作者:杨勤科(1962—),男,主要从事区域水土流失和 GIS 应用研究。E-mail:qkyang@ms.iswc.ac.cn。

的非线性特征,由小尺度参数平均值推出大尺度参数平均特征的“简单聚合法”^[7],不能得到合理的模拟结果。该技术的基本思想是通过聚类分析来获得典型生态区,并没有考虑流域特征。这里的生态区是一种理论上的概念,指的是某一研究时间内各环境特征(气候、地貌、土壤类型、土地利用)相对一致的空间单元。从某种程度上来说,这种区域化技术是从过程模型输入参数的空间变异性角度来研究模型的尺度问题。

WEPP 在流域分析时,所用典型坡面法是在 DEM 和 GIS 的基础上,自动提取流域和坡面特征,并且考虑坡面所有流路的一种区域化方法^[8]。该方法中的概念如图 1 所示。左图描述了流域的组成,其中,坡面从沟道的上、左、右方,汇水到沟道;中图,典型坡纵剖面,这两个图是在 GIS 基础上,运用典型坡面法自动提取流域的坡面、沟道和典型坡纵

剖面;右图,DEM 上的流路,而流路定义为从一个栅格到另一个栅格的水流路线,从没有其他栅格汇入的栅格开始,在沟道处结束。Cochrance^[9]探讨了获取典型坡剖面的三种方法(线性平均法、指数平均法和加权平均法)和两种计算坡面长度的方法(Calccleng 和 Chanleng)。结果表明:获取典型坡剖面的三种方法没有明显的区别,同样地,运用于计算典型坡剖面坡长的两种方法在计算径流量、土壤流失量或产沙量等方面并无很大区别。目前,WEPP 模型已经将加权平均法和 Chanleng 法应用到 WEPP 的界面设计中,作为 ArcView 的一个扩展模块,形成 WEPP 流域版的改进软件 GeoWEPP^[10,11]。因此,在致力于探讨典型地区土壤侵蚀模型的同时,应强化 WEPP 中参数区域化和尺度转换方面的研究,这有助于扩大 WEPP 模型的适用范围。

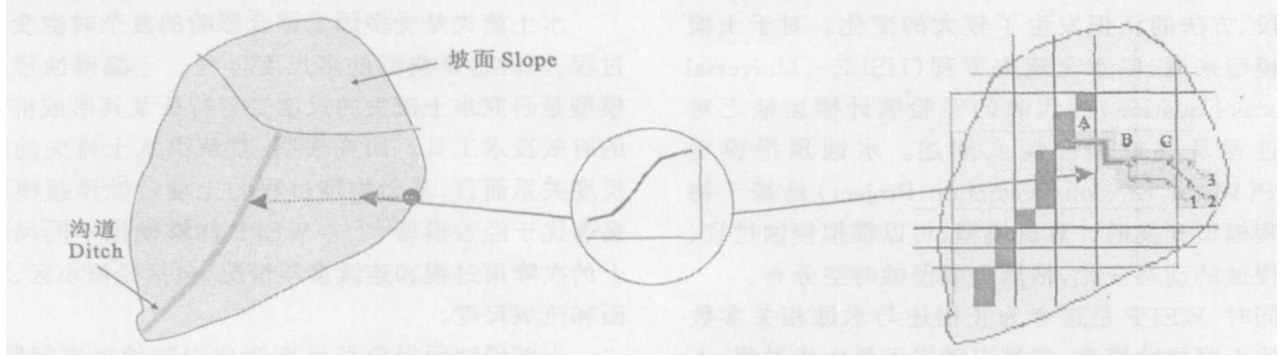


图 1 流域特征的自动提取

Fig. 1 Automatic watershed and hillslope delineation

2 地形数据的获取手段及其评价

地形的起伏,是导致水土流失的最直接因素。DEM 是水土流失规律研究和流域地形空间分析的重要数据基础。其数据来源包括:遥感影像、地形图(等高线图)、地面测量和其他数据来源^[12]。不同尺度上地形因子的选择、提取和应用,是区域水土流失评价的重要基础性工作。在 WEPP 中使用 DEM 能够自动提取流域边界、沟道和典型坡剖面。在基于 GIS 的 WEPP 模型中,不同分辨率 DEM 在一定程度上显示坡度和流路长度的精度不同,进而影响侵蚀预报的精度,同时影响 WEPP 对不同降雨类型的模拟。主要表现在:粗分辨率的数据过高估计侵蚀量;降雨强度越小,对 DEM 精度要求越高^[13]。GeoWEPP 中,用户可以通过设定临界源区和最小沟道长度,借助 DEM,运行地形分析软件 TOPAZ^[14],生成沟道网、流域边界和子流域,自动描述流域和坡面。将 GPS(Global Positioning System)提供的高程

数据作为侵蚀模型预报所需的地形数据的一种潜在的数据来源,也是今后 WEPP 模型的研究方向^[15]。那么,不同类型的全球定位系统 GPS 获得的数据质量,对 WEPP 中预报径流量和侵蚀量的影响,也有必要进行研究^[16]。

可以看出 WEPP 每个输入参数获取过程的不断细化,有助于提高 WEPP 侵蚀预报的精度。DEM 能够快速地获取地形数据,并借助 3S 技术,促进 WEPP 在较大区域应用。

3 与风蚀预报模型的融合

自 1995 年以来,WEPP 模型一直处于维护 and 应用的阶段,主要集中在改进用户界面和数据库,少量工作用于模型组成成分的扩展。水蚀和风蚀是两个独立的侵蚀过程,但是这两个过程都与某一地区特定的气候条件相关。对于半干旱地区来说,风蚀和水蚀都能引起土壤退化。1997 年在德克萨斯州的 Lubbock 召开了关于 MOSES (Modular Soil Erosion

System)(标准土壤侵蚀系统)模型的首次会议^[17], 倡导开发新一代土壤侵蚀模型,新模型允许用户在共同界面和数据库的基础上,使用 WEPP、RUSLE、WEPS(风蚀预报模型)和 RWEQ(修正的风蚀预报方程)。当气候、土壤、地形、管理措施等环境因子一致时,水蚀和风蚀对于水文、水平衡、作物生长、残留物分解、耕作等相关过程的模拟是相同的^[18]。在半干旱地区,水蚀和风蚀往往同时发生。因此,在研究侵蚀过程时,应充分考虑土壤侵蚀的各个环境因子,着重开展对于风蚀和水蚀的主要量化技术研究^[19,20]。

另一方面,WEPP 小组成员与风蚀研究人员联合开发目标模型系统 OMS(Objective Modeling System)。OMS 包括坡面水蚀、单一地区风蚀、作物生长等模块,水文过程是最重要和最难的一个模块^[21]。用 OMS 及其他成分生成类似 WEPP 和 WEPS 模型的单一模型,开发新模型共同的界面和建立相应的数据库,并对 OMS 模型进行检验、比较和校正,实现对风蚀和水蚀的模拟。在模型的开发过程中,时空尺度的变化对于各个模块的影响是必须考虑的因素。尽量保持原有的模型代码,减少代码执行时间,这是过程模型开发的基本原则。中美水土保持与环境保护研究中心就“目标模型系统在水蚀预报模型 WEPP 和风蚀预报模型 WEPS 中的应用”进行项目合作^[22],为那些受风蚀和水蚀影响的美国和中国地区开展类似的工作提供参考,同时,有助于分析风和降雨对于土壤退化的影响程度,对于提高农业产品的产量和环境质量的可持续发展有着重要的作用。

无论是 MOSES 还是 OMS,都是要将水蚀预报模型和风蚀预报模型融合为一个模型,开发出共同的界面和数据库,差别只是研究的出发点不同而已。

4 WEPP 模型的机理研究

4.1 CLIGEN(CLIimate GENerator)的改进及气候变化方面的研究

影响土壤侵蚀预报精度的一个很重要的因素就是气候预报精度。从某种程度上可以说,研究区气候预报的准确性决定了侵蚀预报的可靠性。CLIGEN(随机气候产生器)利用某地区长期观测气象数据的统计特征,生成土壤侵蚀模型中用于计算土壤水分蒸发、作物生长、土壤霜冻—解冻过程、融雪、渗透、径流和土壤侵蚀等过程所需的降雨量、温度、露点温度、风速、风向及太阳辐射量的日序列值。与其他气候生成器不同的是,它能够产生 WEPP 和

WEPS 土壤侵蚀模型所需的次降雨的参数,包括达到最大雨强时的时刻、最大降雨强度和降雨历时。

CLIGEN 模型的算法是在 EPIC 模型和 SWR-RB 模型的基础上发展起来的。这几年来,CLIGEN 不断修改算法。实际上,CLIGEN 很难获得次降雨的最大雨强。基于这一点,B·Yu^[23]修正源代码用来估计易获得的最大 30 min 降雨强度。CLIGEN5.2 中含有随机数和插值方法。随机数的生成使得 CLIGEN 易于维护。对观测数据在保持其分布趋势的情况下,进行插值处理能够弥补缺失数据。CLIGEN 中提供三种插值方法:简单的线性插值、傅立叶插值和保持月均值情况下修正的线性插值。

对 CLIGEN 中某些参数生成原理的进一步研究,有利于扩大应用范围和提高模型预报的准确性。降水及其分布用二阶 Markov 链描述,该方法必须计算降水天—不降水天、不降水天—降水天的转换概率。CLIGEN 中假设日最高温度、最低温度和露点温度服从独立正态分布。CLIGEN 能很好地模拟单因子的分布,然而,这些参数与降雨量密切相关。结合 WEPP 模型,有助于评价或预报季节性气候变化对水资源和作物产量的影响^[24,25]。为了提高 WEPP 对于径流量和侵蚀量的预报精度,CLIGEN 中应考虑降雨量和输入参数之间的相关性。Hunt 利用 WEPP 模拟侵蚀和沉积的变化^[26],为古气候的研究提供参考。

CLIGEN 以日气象资料为基础,为准确模拟气候的统计特征,需要输入 30 a 以上的日气象资料,但很多情况下,很难得到研究区如此长时间的日序列资料。而且,即使有这些资料,CLIGEN 是在全美范围内选择参考站来进行分析,由于地形、土壤等区域因素的差异,必然会引起侵蚀预报误差^[27,28]。如何来消除这些误差呢?对输入数据进行可靠性分析,是应用 WEPP 模型时得到合理的侵蚀预报结果的前提条件。

4.2 水质量的研究

水土流失在造成大量水土资源流失的同时,也会引起一系列营养元素的迁移,进一步造成下游水资源的污染,有必要加强水质监测和模拟方面的研究。WEPP 能够预报径流量、土壤侵蚀量、产沙量的日序列估计值、沙粒大小分布,评价影响水质的各种参数。Vining 在密歇根州南部的一个小流域,检验 WEPP 模拟输出的水文和泥沙数据后,监测流域出口处的高磷含量区和磷含量^[29]。然而,在 WEPP 模型中增加水质量模块,仍在进一步研究中。这项工作的开展可以扩大 WEPP 模型的适用范围。

WEPP 不仅适用于非均一土壤坡面,还可适用小流域沟道输移模拟^[26]。

5 Web—WEPP 和 GIS—WEPP 模型界面的完善

计算机技术和 3S 技术,特别是 GIS 和网络技术,在 WEPP 模型中得到广泛地应用。WEPP 开发小组和布法罗(Buffalo)大学及美国农业部—森林署联合开发 WEPP—GIS 版本的独立界面。通过嵌入 ArcGIS 强大的空间分析功能,实现 WEPP 与土壤参数数据库、土地利用类型图和 DEM 的自动连接,为 WEPP 提供连续的时空信息源;同时,将 WEPP 的计算结果以图形形式输出,更直观、形象地表示计算结果,描述土壤侵蚀空间分布的差异性。GIS 与 WEPP 相结合,成为 WEPP 研究的一个重要方向。然而,就目前情况来说,如何有效地将 GIS 应用到 WEPP,尚存在一定的技术问题。Web—WEPP 只用于坡面版,不能代表和模拟一个流域,而且只能输出工作图。需要开发流域版 GIS 界面的 Web—WEPP。

虽然 Web—WEPP 易于管理和维护数据库,然而,它很难完全体现特定地区的输入数据变化,不易修正现存的数据库。

6 WEPP 模型的局限性及其在我国应用前景

1) 近期土壤侵蚀过程研究的相关成果,对 WEPP 中侵蚀过程概念提出了挑战。WEPP 中的侵蚀计算以单位沟宽或单位坡面宽为基础,假设恒定的细沟宽度,不变的水力糙度,流量随距离线性变化,坡度不随时空发生变化,描述侵蚀产沙的方程式是基于稳态的泥沙连续方程。实际上,侵蚀过程是不断随着时间变化的空间过程,不仅坡面和侵蚀沟的坡度随时间发生变化,而且,坡面及侵蚀沟内的水流及其动力特性也随时空发生变化。坡度对于坡面流水动力特性有无影响并不明确。在陡坡条件下,坡度与流速的关系更不可知。陡坡农耕地是我国土壤侵蚀的重点区域,目前,很少有人对 WEPP 模型的概念和结构进行检验。用实验手段对 WEPP 中侵蚀过程的概念的验证文献更少^[30]。雷廷武等对 WEPP 模型中细沟侵蚀模型的正确性进行分析和验证^[31],并提出细沟侵蚀动态过程模型。因此,加强陡坡条件下坡度对于坡面水动力学特性影响的研究工作,对于我国土壤侵蚀模型的发展,具有重要的意义。

2) 从概念上说,WEPP 基于物理过程,但一些过程的表达仍是经验公式。同时,侵蚀机理仍需要进一步验证和研究。WEPP 所需输入参数多,获取和修正都很困难。特别是,一些重要参数的确定不能经过实验测定,尚必须采用非测量的“估算”方法,甚至有时候还需要采用其参改默认值。加强室内模拟和野外观测,是获取参数的必要手段。

3) 就 WEPP 的应用范围来说,在农地的最大适用范围约为 260 hm^2 ,林地约为 800 hm^2 ;但是,Baffaut^[32]建议 WEPP 应用的流域面积不能大于 40 hm^2 ,而且,坡长不能超过 100 m 。WEPP 只能用于细沟、细沟间和浅沟侵蚀预报,不能用于切沟、河道侵蚀和沟蚀,特别是重力侵蚀及坡面和沟道内泥沙的沉积和再搬运过程均予以忽视,或仅作简化处理。目前,坡面版在其他国家已经得到广泛应用,模拟预报的结果较好,而流域版仍局限于末级子流域。黄土丘陵区坡耕地的侵蚀,不仅发生细沟侵蚀,而且形成发育的浅沟和切沟。应用坡面 WEPP 模拟我国径流小区,需要大量试验数据的支持和验证。

从本质上讲,WEPP 是在坡面径流小区观测资料基础上发展起来的,主要用于模拟和预报坡面和小流域的水土流失,这是一个典型的尺度转化问题。侵蚀过程的模拟也依赖于尺度的变化。因此,在加强典型地区的侵蚀研究的同时,还需强化土壤侵蚀模型中参数区域规律的研究,建立多重尺度上的模型参数与其相关环境因子的关系,扩大 WEPP 的适用范围。

参考文献:

- [1] Renschler C S, Harbor J. Soil erosion assessment tools from point to regional scales—the role of geomorphologists in land management research and implementation [J]. *Geomorphology*, 2002, (47):189—209.
- [2] Elena A, Modica C, Nearing M A, et al. Scale effect in USLE and WEPP application for soil erosion computation from three Sicilian basin[J]. *Journal of Hydrology*, 2004, 293:100—114.
- [3] Nearing M A. Why soil erosion models over-predict small soil losses and under-predict large soil loss[J]. *Catena*, 1998, 32(1): 15—22.
- [4] Blöschl G. Scale and scaling in hydrology [M]. Vienna, Austria: Technical University of Vienna, 1996. 364—370.
- [5] Bernert J A, Eilers J M, Sullivan T J, et al. A quantitative method for delineating regions: an example for the western corn belt plains ecoregion of USA [J]. *Environmental Management*, 1997, 21(3): 405—420.
- [6] Bormann H, Dieckkrug B, Renschler C. Regionalisation concept for hydrological modeling on different scales using a physically based model: results and evaluation [J]. *Physics and Chemistry of*

- the Earth (B), 1999, 24(7):799—804.
- [7] 郭建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000. 182—184.
- [8] Cochran T A, Flanagan D C. Assessing water erosion in small watersheds using WEPP with GIS and digital elevation models [J]. *Journal of Soil Water Conservation*, 1999, 54(4): 678—685.
- [9] Cochran T A, Flanagan D C. Representative hillslope methods for applying the WEPP model with DEMs and GIS[J]. *Transactions of the ASAE*, 2003, 46(4):1041—1049.
- [10] Renschler C S. Designing geo-spatial interface to scale process models: the GeoWEPP approach [J]. *Hydrological Processes*, 2003, 17:1005—1017.
- [11] Renschler C S, Flanagan D C, Engel B A, et al. GeoWEPP—The Geo-spatial interface for the Water Erosion Prediction Project[A]. 2002 ASAE Annual International Meeting[C]. Illinois, USA: Hyatt Regency Chicago, 2002.
- [12] 李志林, 朱 庆. 数字高程模型[M]. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 2000. 22—24.
- [13] Cochran T A, Flanagan D C. Effect of DEM resolutions in the runoff and soil loss predictions of the WEPP watershed model [J]. *Transactions of the ASAE*, 2004, 47(6):1—12.
- [14] Garbrecht J, Martz L W. TOPAZ: An automated digital landscape analysis tool for topographic evaluation, drainage identification, watershed segmentation and subcatchment parameterization[EB/OL]. <http://grl.ars.usda.gov/topaz/topaz1.htm>.
- [15] Flanagan D C, Renschler C S, Cochran T A. Application of the WEPP model with digital geographic information[A]. 4th International Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling (GIS/EM 4): Problems, Prospects and Research Needs[C]. Banff, Alberta, Canada, 2000.
- [16] Renschler C S, Flanagan D C, Engel B A, et al. Site-Specific Decision-Making Based on RTK GPS Survey and Six Alternative Elevation Data Sources[J]. *Transactions of the ASAE*, 2000, 45(6):1883—1895.
- [17] Flanagan D C, Ascough II J C, Nearing M A, et al. Chapter 7: The Water Erosion Prediction Project (WEPP) Model [A]. *Landscape Erosion and Evolution Modeling* [C]. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2001. 145—199.
- [18] Fox F A, Flanagan D C, Wagner L E, et al. WEPS and WEPP science commonality project [A]. *Soil Erosion Research for the 21th Century symposium & 2nd International Symposium on Preferential Flow* [C]. Honolulu, Hawaii, USA: ASAE Publication 2001. 376—379.
- [19] Visser S M, Sterk G. Techniques for simultaneous quantification of wind and water erosion in Semi-Arid zone [A]. *Soil Erosion Research for the 21th Century symposium & 2nd International Symposium on Preferential Flow* [C]. Honolulu, Hawaii, USA: ASAE Publication, 2001. 554—547.
- [20] Visser S M. Quantification of erosion by wind and water in Burkina Faso [A]. *Soil Erosion Research for the 21th Century symposium & 2nd International Symposium on Preferential Flow* [C]. Honolulu, Hawaii, USA: ASAE Publication, 2001. 226—228.
- [21] Fred A, Fox Jr. Commonality in process based erosion models, obstacles and opportunities [A]. Lee, Jeffrey A, Zobeck, Ted M. *Proceedings of ICAR5/GCTE—SEN Joint Conference*, International Center for Arid and Semiarid Lands Studies [C]. Texas Tech University: Lubbock, Texas, USA Publication, 2002. 230.
- [22] 郑粉莉, 张玉斌, 李 靖, 等. 中美水土保持与环境保护研究中心合作项目介绍[J]. *水土保持研究*, 2004, 11(4):39—46.
- [23] Yu B. Improvement and evaluation of CLIGEN for storm generation[J]. *Transactions of the ASAE*, 2000, 42(2):301—307.
- [24] Zhang X C. CLIGEN non-precipitation parameters and their impact on WEPP crop simulation[J]. *Transactions of the ASAE*, 2004, 20(4):447—454.
- [25] Zhang X C. Calibration, refinement, and application of the WEPP model for simulating climatic impact on wheat production [J]. *Transactions of the ASAE*, 2004, 47(4):1075—1085.
- [26] Hunt A G, Wu J Q. Climatic influences on Holocene variations in soil erosion rates on small hill in the Mojave Desert [J]. *Geomorphology*, 2004, 58:263—289.
- [27] Yu B. An assessment of uncalibrated CLIGEN in Australia. *Agricultural and Forest* [J]. *Meteorology*, 2003, 119:131—148.
- [28] Elliot W J, Arnold C D. Validation of the weather generator CLIGEN with precipitation data from UGANDA [J]. *Transactions of the ASAE*, 2001, 44(1):53—58.
- [29] Vining R C, Flanagan D C, Grigar J. Watershed application of WEPP to a Michigan water quality problem [A]. *Soil Erosion Research for the 21th Century symposium & 2nd International Symposium on Preferential Flow* [C]. Honolulu, Hawaii, USA: ASAE Publication, 2001. 123—126.
- [30] 郑粉莉. 美国土壤侵蚀过程及其预报模型研究进展[J]. *水土保持通报*, 2003, 23(3):1—5.
- [31] 张晴雯, 雷廷武, 姚春梅, 等. WEPP 细沟剥蚀率模型正确性的理论分析与实验验证[J]. *农业工程学报*, 2004, 20(1):35—39.
- [32] Baffaut C M, Nearing J C, Ascough II, et al. The WEPP watershed model: II. Sensitivity analysis and discretization on small watershed [J]. *Transactions of the ASAE*, 1997, 40(4):935—943.

(英文摘要下转第 194 页)

参 考 文 献:

[1] 刘刚才,刘淑珍.金沙江干热河谷土地荒漠化程度的土壤评判指标确定[J].土壤学报,1999,36(4):559—563.

[2] 刘淑珍,柴宗新,范建容.中国土地荒漠化分类系统探讨[J].中国沙漠,2000,20(1):35—39.

[3] 刘毅华,董玉祥.刍议我国的荒漠化与可持续发展[J].中国沙漠,1999,19(1):17—22.

[4] 张 宏,慈龙骏,孙保平.对荒漠化几个理论问题的初步探讨[J].地理科学,1999,19(5):446—450.

[5] 陈 杰,龚子同,高尚玉.干旱地区草场荒漠化及其评价[J].地理科学,2000,20(2):176—181.

[6] 刘淑珍,范建容,刘刚才.金沙江干热河谷土地荒漠化评价指标体系研究[J].中国沙漠,2002,22(1):47—51.

[7] 杜榕桓,康志成,陈循谦,等.云南小江泥石流综合考察与防治规划研究[M].重庆:科学文献出版社重庆分社,1987.1—84.

[8] 韦方强,刘淑珍,范建容,等.小江流域生态环境灾害与治理对策[J].自然灾害学报,2004,13(4):109—114.

[9] 许树伯.层次分析法原理[M].天津:天津大学出版社,1988.100—125.

[10] 吴积善,康志成,田连权,等.云南蒋家沟泥石流观测研究[M].北京:科学出版社,1990.99—139.

Fuzzy synthetical assessment of land desertification in debris activity region

CHEN Ting-fang^{1,2}, CUI Peng³, WANG Xue-jie²

(1. College of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;
2. College of environment and resource, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621002, China;
3. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China)

Abstract: Land desertification assessment is an issue of important theory of land desertification study. The hierarchical analysis model and assessment index system of debris flow region land desertification is firstly raised. Based on analysis of factors, loading to land desertification of the debris flow region in the Xiaojiang valley Yun-nan Province, eight factors closely related to the land desertification are chosen to establish a hierarchical analysis model in terms of geomorphology, soil and vegetation. According to the evaluation criteria system land desertifi-cation degrees are determined quantitatively with fuzzy evaluation.

Keywords: the debris flow activity region; land desertification; hierarchical analysis model; fuzzy evalua-tion

(上接第 177 页)

Current progress in water erosion prediction project

SHI Wan-li^{1,2}, YANG Qin-ke¹, ZHANG Guang-hui³

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;
3. Colledge of Geography and Remote Sense of Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: As a new generation prediction technology, Water Erosion Prediction Project (WEPP) is a guide to conservation planning and a tool for quantitative researches of soil erosion. In recent years, Geographic Infor-mation Systems (GIS) and Remote Sensing technologies have been introduced for generating, preprocessing and visual display of parameters in WEPP model. Meanwhile, the introduction of regionalization concept makes WEPP application in lager areas. This paper concentrated on the latest development of WEPP and briefly ana-lyzed some potential problems of WEPP applied in China. The object of this paper was to promote the develop-ment of soil erosion predicting model in China through calculating all the advantages and disadvantages of WEPP.

Keywords: WEPP; water and soil loss; predicting model; GIS