

文章编号: 1007-6301 (2003) 03-0242-09

关于我国土壤侵蚀模型研究进展

蔡强国, 刘纪根

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘 要: 土壤侵蚀模型作为了解土壤侵蚀过程与强度, 掌握土地资源发展动态, 指导人们合理利用土地资源, 管理和维持人类长期生存环境的重要技术工具, 受到世界各国的普遍重视。本文总结了我国土壤侵蚀模型的主要成果, 对经验统计模型、物理成因模型、国外模型在我国的应用方面作了详细的介绍。在总结和评价我国土壤侵蚀模型的基础上, 提出了今后土壤侵蚀模型应该注重的发展方向: (1) 注重土壤侵蚀模型的理论研究, 将从以侵蚀因子为基础的侵蚀预报向侵蚀过程的量化研究和理论完善, 研究各侵蚀因子及其交互作用对侵蚀过程的影响, 泥沙在复杂坡面以及不同流域尺度间的分散、输移和沉积作用; (2) 加强对重力侵蚀、洞穴侵蚀机制的研究, 加强对大中流域侵蚀模型的研究; (3) 充分利用先进的 RS、GIS 技术, 为侵蚀模型的研究提供大量的数据源, 以利于对土壤侵蚀模型的检验。

关 键 词: 土壤侵蚀模型; 主要成果; 发展方向

中图分类号: S157.1

土壤侵蚀是人们普遍关注的生态环境问题之一。土壤侵蚀预报是有效监测水土流失和评估水土保持措施效益的手段, 侵蚀模型则是进行土壤流失监测和预报的重要工具。自 20 世纪 60 年代以来, 国内外已经开发出许多实用的土壤侵蚀预报模型。根据土壤侵蚀模型的建模手段和方法, 一般可以将其分为经验统计模型和物理成因模型。经验统计模型是通过试验观测资料和数理统计技术, 选定影响土壤侵蚀的相关因素, 得出计算土壤流失量的方程式。物理成因模型以土壤侵蚀的物理过程为基础, 利用水文学、水力学、土壤学、河流泥沙动力学以及其他相关学科的基本原理, 根据已知降雨、径流条件来描述土壤侵蚀产沙过程, 从而预报在给定时段内的土壤侵蚀量^[1]。

根据建模研究对象的不同, 土壤侵蚀模型又有坡面土壤侵蚀模型和流域土壤侵蚀模型之分。从土壤侵蚀预报模型的研究对象看, 土壤侵蚀模型近些年来已经从坡面土壤侵蚀模型向流域侵蚀产沙模型发展。由于坡面模型没有考虑相邻坡面、小区之间、坡面与沟道之间的径流泥沙作用过程, 将它外推到流域时有很大的局限性。流域是自然界中完整的降雨-侵蚀-产沙系统, 因而流域模型更符合实际情况。小区试验研究和坡面土壤侵蚀模型研

收稿日期: 2003-02; **修订日期:** 2003-03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40271075), 中国科学院知识创新工程重要方向项目“水蚀预报模型研究”, 中科院地理科学与资源研究所知识创新工程项目 (CX DG-A 00-05-02)。

作者简介: 蔡强国 (1946-), 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事土壤侵蚀、水土保持、流水地貌、流域侵蚀产沙模拟和 GIS 应用等方面研究。Email: caiqg@igsnrr.ac.cn.

究和发展是流域侵蚀产沙模型的基础。流域土壤侵蚀预报模型又可分为集总式模型和分布式模型两种。集总模型反映流域的总体平均或者平均行为。分布式模型则将流域划分为若干网络, 通过对每个网格的赋值来反映影响土壤侵蚀的各种因素在流域内的差异, 然后根据一系列反映侵蚀过程的运算程序计算各个网格的产流产沙, 最后进行合理归并, 从而达到比较准确地预报整个流域产流产沙的目的。分布式模型比集总式模型更能准确地反映自然小流域的侵蚀状况。

我国学者在土壤侵蚀模型研究的各个层面上进行了大量工作, 取得了很多成果。其中, 区域尺度研究的应用更为广泛。在小流域土壤侵蚀模型的研究方面, 以对统计模型及引进的统计模型中各因子的本地化研究较多, 对基于过程的物理模型系统研究较少, 特别是适合我国国情的系统的过程模型更少。本文希望对我国土壤侵蚀模型的主要研究成果进行总结, 并对其中的一些问题进行了评述, 以期今后的土壤侵蚀模型研究进展提供一定的参考意见。

1 经验统计模型

经验模型主要从侵蚀产沙因子角度入手, 建立径流、产沙与降雨、植被、土壤、土地利用、耕作方式、水保措施等之间的多元回归因子关系式。经验公式结构简单, 计算方便, 在制定公式使用资料范围内具有可靠的精度, 但是模型被移植到其它区域使用时以及向建模条件外延时, 模型精度难以控制, 模型的实用性受到影响。这类侵蚀产沙模型以坡面模型和小流域侵蚀产沙模型为代表, 同时也包括部分区域性的侵蚀产沙预报模型, 这些通常不考虑侵蚀产沙过程, 称之为“黑箱”或“灰箱”模型, 在模型形式上主要是采用侵蚀产沙因子的多元回归方程式。自 1953 年刘善建首次提出坡面土壤侵蚀量的公式来^[2], 不同的学者根据当地的实际情况, 建立了不同的土壤侵蚀经验模型。现介绍我国目前主要的侵蚀产沙经验模型。

1.1 坡面侵蚀产沙经验模型

坡面经验模型主要参考或直接利用 USLE 的基本形式, 结合我国当地的地貌特征, 然后根据我国的观测资料, 计算土壤侵蚀的各影响值。关于各侵蚀因子的定量研究, 比较成熟的是降雨径流因子、地形(坡度、坡长)因子的研究, 植被因子和水土保持因子的系统研究较少。在这些模型中, 比较有代表性的是江忠善^[2]和刘宝元^[4]的经验侵蚀模型。

江忠善^[3] (1996) 以沟间地裸露地基准状态坡面土壤侵蚀模型基础, 将浅沟侵蚀影响以修正系数的方式进行处理, 建立了计算沟间地次降雨侵蚀产沙量的方程式:

$$A = aK P^{0.999} I_{30}^{2.637} S^{0.88} L^{0.286} GVC$$

式中: A 为次降雨侵蚀量; a 为系数, 无量纲; K 为土壤因子系数; P 为降雨量; I_{30} 为次降雨过程中 30 分钟最大降雨强度; S 为坡度; L 为坡长; G 为浅沟侵蚀影响系数, 当坡面无浅沟侵蚀时, $G = 1$; V 为植被影响系数; C 为水土保持措施影响系数。对于裸露坡面, V 和 C 皆为 1。该模型同以往模型相比, 一是模型结构符合黄土丘陵区地貌特点, 考虑了黄土坡面特有的浅沟侵蚀类型。二是应用地理信息系统软件建立空间水土流失数据库, 实现了侵蚀预报模型与 GIS 相结合。由于模型模拟面积有限, 因此在模型的推广应用时, 需要一系列参数体系的修正, 才能保证模型在外延时的正确性。

刘宝元^[4] (2001) 建立了中国土壤流失方程 (CSLE—Chinese Soil Loss Equation), 可以用于计算坡面上多年平均年土壤流失量。此模型确立了一个中国土壤侵蚀预报模型的基本形式, 形式简单实用。容易在不同地区推广应用, 其基本形式为: $A = RKLSEBT$

A 是坡面上多年平均年土壤流失量 (吨 (公顷⁻¹ · 年⁻¹));

R 是降雨侵蚀力 (兆焦耳 (毫米 (公顷⁻¹ · 小时⁻¹ · 年⁻¹));

K 是土壤可蚀性 (吨 (公顷 (小时 (公顷⁻¹ · 兆焦耳⁻¹ · 毫米⁻¹));

L 是地形的坡长因子 (无量纲单位);

S 是地形的坡度因子 (无量纲单位);

B 是水土保持的生物措施因子 (无量纲单位);

E 是水土保持的工程措施因子 (无量纲单位);

T 是水土保持的耕作措施因子 (无量纲单位)。

全国性 CSLE 模型建立和应用的关键在于以下四个方面: 资料标准的统一、修正; 不同区域各因子的修正体系的确立; 模型在不同区域流域内的验证; 新技术 RS、GIS 在实际预测中的应用等。但此模型也只能适用于缓坡地, 对浅沟、切沟侵蚀等一些侵蚀方式没有考虑; 同时, 由于一些因子的标准在不同地区的差异, 模型的推广也受到一定的限制。

1.2 流域侵蚀产沙经验模型

流域侵蚀产沙经验统计模型中, 由于试验观测资料的差异, 模型中所考虑的影响土壤侵蚀的影响因素也有所不同, 但主要从水文、气象、下垫面因素考虑。水文气象因子包括降雨量、径流量等; 下垫面因子包括流域几何特征、地貌特征、土壤特征、植被与土地利用、水土保持措施等。比较有代表性的流域侵蚀产沙经验模型主要有以下 4 个:

江忠善^[5] (1980) 根据黄土高原羊道沟、团山沟、吕二沟等 10 个小流域 (集水面积 0.18 ~ 187 km²) 资料, 得到次暴雨流域产沙公式, 主要参数有流域坡降、土壤可蚀性因子、植被作用系数, 建立了产沙与径流的非线性关系式; 此模型最大的不足是在不同集水面积的流域侵蚀产沙计算中, 缺乏对泥沙输移过程的考虑, 同时将侵蚀产沙关系式采用从坡面到流域之间的简单外延, 忽略了流域侵蚀产沙的空间尺度变异规律。

范瑞瑜^[6] (1985) 建立了黄河中游地区小流域土壤侵蚀预报模型, 此模型探讨了不同地区小流域自然及人为因素间影响流失量的有关参变数, 经统计分析, 选取了下列有关因子: 1) 降雨影响侵蚀因子 (R); 2) 土壤可蚀性指标 (K); 3) 流域平均坡度 (J); 4) 植被影响侵蚀系数 (C); 5) 工程措施影响侵蚀系数 (P)。模型结构简单明了, 实用性强。但此模型在以下几个方面存在不足: 在针对黄河中游地区小流域土壤侵蚀预报计算中, 采用平均雨强及降雨年侵蚀力的方法概化了黄河中游地区高强度短历时暴雨在年侵蚀产沙中的重要作用, 在实际预测中精度会受到影响。采用流域平均坡度作为地形因子的测算依据, 在黄土高原复杂的地貌条件下仍存在较多问题, 不能很好反映流域的沟壑密度, 这一点将直接影响模型的预测效果。

金争平^[7] (1991) 通过对影响小流域侵蚀产沙的 17 个因子进行统计分析, 找出影响皇甫川区小流域土壤侵蚀的主导因子, 以主导因子建立适用于不同条件的若干泥沙预报方程。此预报方程综合考虑了影响小流域侵蚀产沙的各个因子, 但其适用范围只能在皇甫川流域, 对泥沙侵蚀规律和定量预报方面还不够理想。模型对于近年来在黄土高原地区进行的大规模水土流失治理的工程措施缺少考虑, 使得模型较难实际推广应用。

李钜章^[8] (1999) 利用黄河中游不同区域具有大量淤地坝的条件, 再通过侵蚀影响因素机理的分析, 在侵蚀形态类型区的划分等基础上探讨侵蚀变权模型。首先选择了 155 个“闷葫芦”淤地坝, 采集每个坝的平均淤积量, 以及相应流域的侵蚀产沙影响因素: 植被盖度、降雨量、沟谷密度、切割深度、地表组成物质、 > 15 的坡耕地面积比等资料, 采用变权形式, 建立侵蚀强度宏观估算模型。最后用年降水量与年输沙量的关系对模型进行改进, 得到了适用于多沙区粗沙区的侵蚀量计算模型。此模型采用的是淤地坝资料, 仅能反映多年平均状态, 不能反映年际侵蚀与降雨的变化对侵蚀的影响, 更不能反映单次暴雨对侵蚀的影响。

除了上述经验模型外, 孙立达^[9], 杨艳生^[10], 周伏建^[11], 陈法扬^[12], 周佩华^[13]等人也提出了相应的经验侵蚀产沙模型。这些模型都是对分析影响侵蚀产沙的因素, 结合当地的条件, 采用数理统计的方法分析得到的。如在江忠善的侵蚀模型里, 将浅沟侵蚀影响以修正系数的方式代到 USLE 方程中; 而刘宝元则将 USLE 中的作物和水土保持措施两大因子变为三大措施因子, 即生物、工程和水土保持耕作措施三大因子。可以说, 所有这些经验土壤侵蚀模型, 都是借鉴美国的通用土壤流失方程, 再结合中国的实际, 对其中的一些因子进行重新量化和统计分析。这些经验模型只预测侵蚀结果, 不涉及侵蚀过程, 不能对侵蚀作出理论性解释。这些土壤侵蚀模型在一定意义上对我国的土壤侵蚀模型研究起到了很好的推动作用。

2 物理成因模型

理论模型以数学方程的形式总结出土壤侵蚀过程与影响因素之间的内在关系, 模拟各种不同形式的侵蚀过程和预报土壤侵蚀在时空上的变化, 模型在推导过程中需作必要的简化和抽象化处理。其主要采用水动力学、一维圣维南方程对坡面流进行计算, 然后用泥沙运动力学考虑泥沙的侵蚀-输移-沉积过程, 但在泥沙输移过程和水沙汇集传递关系上还基本上用泥沙输移比。

2.1 坡面物理成因模型

王礼先等^[14] (1994) 从侵蚀的水动力学原理出发, 利用一维水流模型, 把导出的坡面流近似模型与侵蚀基本方程耦合求解, 得出了坡地侵蚀的数学模型, 该模型既适合缓坡, 亦适合陡坡, 既可用于坡度变化的裸坡, 又可用于有植被的林地、农地, 但由于它是一种数学解析模型, 因而限制条件较多。它不适合坡度变化的复合坡面。对不同耕作措施的情况亦未作深入研究, 模型参数的选取还应做大量的工作。

笔者^[15] (1996) 建立了一个有一定物理基础的能表示侵蚀-输移-产沙过程的次降雨侵蚀产沙模型; 它由三个子模型构成: 坡面子模型, 沟坡子模型, 沟道子模型; 模型考虑了降雨入渗、径流分散、重力侵蚀、洞穴侵蚀及泥沙输移等侵蚀过程, 从侵蚀机理上对影响侵蚀过程的因子进行定量分析, 从而建立了黄土丘陵区侵蚀产沙过程模型; 这是利用 GIS 的空间分析功能对侵蚀产沙的过程进行量化研究的较为成功的尝试。由于这是一个侵蚀产沙的过程模型, 旨在从理论上阐明坡面侵蚀产沙规律, 因此模型结构尤其是坡面子模型较为复杂, 在推广应用时受到模型参数的限制。同时在沟道子模型中, 还是以经验方程为主。

段建南^[16] (1998) 借鉴国内外土壤侵蚀建模的经验与技术, 针对我国干旱、半干旱地

区的实际情况,应用微机技术,建立了坡耕地土壤侵蚀过程数学模型 SL EM SEP,并在晋西北砖窑沟试验区得到了验证。模拟过程以天为步长,可预报不同耕作措施条件下,基于日降水量的坡面土壤侵蚀量,定量评价人类活动对土壤侵蚀过程的影响,为水土保持的决策和具体措施的制定提供依据。SL EM SEP 模型可进行长期模拟,应用于土壤变化和可持续利用的研究。但该模型没有考虑降雨与径流的相互作用,难以描述复杂的坡面降雨径流侵蚀过程。

2.2 流域物理成因模型

谢树楠^[17] (1993) 从泥沙运动力学基本理论出发,基于 9 个基本假定:暴雨产生的径流按坡面一维流动考虑、压强按静水压强分布、流动中的动量系数按常量考虑、坡面角度不变、坡面土层的组成是均匀的、泥沙不考虑粘性、在计算时段内降雨强度和渗透率不变、沟道泥沙的输移比为 1、不考虑前期含水量的影响。模型中主要考虑了地表裸露率、流域地表的泥沙中数粒径、径流系数、降雨强度、流域坡面的平均长度、流域坡面的平均比降、流域总面积等。在计算时将流域划分为一个或若干个由典型雨量站控制的小流域,采用逐次暴雨的方法来计算产流过程,再得到累积的年产沙量及产流量。为了验证模型的适用性,先用了黄河中游 3 个流域进行计算,计算结果表明,在偏关河流域计算误差较大,分析其主要原因有:采用 1 个雨量站的降雨资料,无法很好地反映大流域内的侵蚀产沙的空间变异;采用从大尺度的航片中读取裸露地面积参数、流域坡面坡长参数,均难以实现;此外,模型在大流域计算时没有考虑泥沙的输移过程。

包为民^[18] (1994) 根据黄河中游、北方干旱地区流域的超渗产流水文特征和冬季积雪的累积及融化机制,提出了大流域水沙耦合模拟物理概念模型,分为产流、汇流、产沙和汇沙四个部分;该模型较好地处理了北方干旱、半干旱地区中大流域用下渗曲线计算地面径流中存在的观测资料缺乏、数据处理量太大两大难题,考虑了大流域气候、下垫面因素空间的不均匀性和雨洪径流产沙与融雪径流产沙间的差异,实测资料的模拟表明模型的计算结果较好。

汤立群^[19] (1996) 从流域水沙产生、输移、沉积过程的基本原理出发,根据黄土地区地形地貌和侵蚀产沙的垂直分带性规律,将流域划分为梁峁坡上、下部及沟谷坡三个典型的地貌单元,分别进行水沙演算。模型包括径流模型和泥沙模型两部分,径流模型中采用超渗产流模型,用 Horton 下渗曲线确定入渗量,沟道中径流运动用一维圣维南方程进行计算。泥沙模型是在计算供沙量的基础上,通过现有全沙挟沙力公式计算径流挟沙力,经比较供沙量与径流挟沙力,输沙率为其中较小者。此模型充分借鉴了国外已有的研究成果,模型结构简单,并考虑到黄土区的垂直分带性。

上述物理模型代表了目前中国土壤侵蚀物理成因模型研究的主要成果,比统计模型的功能强大得多,特别是能连续模拟土壤侵蚀过程。但这些模型也存在一些共同问题,首先对侵蚀过程的描述有待改进,应在实验研究和统计分析的基础上,利用理论分析和实验的方法,研究土壤侵蚀的过程,以土壤的内在理论性质为指标,用定量方法描述,以增加模型的通用性。其次,模型的空间分析能力有限。模型的目的是对水土保持和管理提供支持,所以必须在流域尺度而不仅仅在坡面尺度上研究和分析土壤侵蚀和水文过程及其空间变异。为此,应将模型与 GIS 集成,以便更精确地描述土壤侵蚀在流域内的变异。第三,目前的模型还不能直接利用遥感数据。数据是模型的基础,遥感数据具有动态化和综合性

等特征, 对较大面积的现代调查和动态监测都是十分有用的, 所以现代土壤侵蚀模型必须能直接利用遥感数据。在已建立的土壤侵蚀模型中, 关于重力侵蚀产沙的模拟很少见, 但重力侵蚀却是侵蚀产沙中重要的一部分, 如何将重力侵蚀考虑到模型中去, 是当前土壤侵蚀模型中急待解决的问题。同时, 现今的土壤侵蚀模型主要集中在坡面及小流域, 对大中流域的研究较少, 加大对中大流域的模型研究是今后土壤侵蚀模型研究的重点。

3 国外模型在我国的应用研究

美国的通用土壤侵蚀方程 (USLE) 一经提出, 迅速为美国许多地区及世界各国采用, 它是土壤侵蚀研究的重大进展。在我国许多地区也得到了广泛应用。李建牢^[20] (1989) 应用通用土壤流失方程式, 通过确定方程式中各因子值, 对罗玉沟流域坡面土壤侵蚀量进行了推算。马志尊^[21] (1989) 建立的海河流域太行山区土壤侵蚀预报模型, 模型采用 USLE 的基本形式, 结合 MSS 影像图对海河流域太行山区土壤侵蚀进行预报, 其基本思路反映了当前土壤侵蚀研究的一个重要方向: 将 RS、GIS 等新技术应用于侵蚀产沙的预报, 使模型在较大局域的预测中成为可能。张宪奎^[22] (1992) 通过对大量试验数据的统计分析, 建立了黑龙江省土壤流失方程。并确定了方程中诸因子的求算方法和数值及黑龙江省土壤允许流失量。周伏建 (1995) 采用 USLE 和数量化理论 I 分别预报了福建省顺坡撂荒和具有生物措施的坡地土壤流失量。游松财^[23] (1999) 在 GIS 支持下, 采用 USLE 方程对江西省泰和县灌溪乡的土壤侵蚀量进行了估算。蔡崇法^[24] (2000) 依据实地调查资料, 建立了典型小流域地理数据库; 应用径流小区观测结果, 确定了定量计算通用土壤流失方程 USLE 因子指标的方法。在地理信息系统 DRISI 支持下, 根据 USLE 土壤侵蚀预测模型对数据库实施运算操作, 预测了小流域土壤侵蚀量。陈一兵^[25]等 (1997) 采用 ARC/INFO 软件建立流域数据库, 根据 ANSWERS 模型的要求确定所需参数, 并建立两者的连结, 从而得出能预报次降雨流失量的土壤侵蚀方程, 但是对于 ANSWERS 模型在我国尤其是山区的应用还有许多尚未解决的问题, 对于一些模型参数的获取也较为困难。马修军^[26] (1998) 用 PCRaster 系统和 LISEM 模型对黄土高原小流域次降雨过程进行动态模拟, 认为模型计算的总径流量和总土壤流失量具有较高的精度, 模拟的径流过程线符合黄土高原小流域超渗产流的实际情况。牛志明^[27] (2001) 将 ANSWER 模型应用于三峡库存区小流侵蚀产沙、地表径流以及不同土地利用类型不少分布状况的模拟中。通过两个不同小流域模拟结果的对比, 采用误差百分比、线性回归及 Nash-Sutcliffe 效率三种方法, 分析和评价了模型的模拟效果。结果表明: 模型在应用于我国三峡库区小流域土壤侵蚀模拟时, 其模拟结果与实测结果具有较好的吻合度, 模拟结果表明模型对于长序列过程的模拟时, 模拟水平优于短序列模拟水平; 模型对于雨季土壤过程的模拟误差明显低于枯雨季节的模拟误差, 但对于一些陡坡林地等地类, 模型的模拟误差较大, 其模拟精度还有待进一步提高。

我国在应用国外模型尚存在以下一些问题: 概念不清。如 K 值的计算脱离实际情况, 使 K 值过大或过小。实用条件模糊。如标准小区的确立缺乏统一的标准; 单位混乱。如坡度百分比与度制单位混乱, 英美制与米制单位混乱。同时, 由于我国特有的地形地貌条件, 如黄土高原丘陵沟壑区地面破碎, 坡度陡, 坡面形态复杂, 而国外的土壤侵蚀模型大多适用于缓坡地, 因此, 将国外模型应用到我国时, 如果不清楚模型本身的确切意义和局

限性,就会导致错误的应用结果。我国径流观测小区多、资料积累丰富,可以在借鉴、修订国外土壤侵蚀模型的基础上持续不断的努力,建立起更适合我国实际情况的土壤侵蚀模型。

4 问题与展望

我国土壤侵蚀统计模型的开发,虽然已经取得一定的进展,但还存在一些需要进一步深化研究的问题,主要有:(1)现有的研究大多是地方性的,不能用于较大的区域,也很难用于全国其它地区;(2)对于各侵蚀影响因子尚无系统全面的研究,缺乏足够的试验观测资料,影响了所建立模型的实用性;(3)大多数模型尚不能很好用于流域的土地利用和水土保持规划;(4)对USLE的应用,还存在一些不尽合理的地方,包括将USLE简单推广应用于流域侵蚀产沙预报和较大区域。

现今的土壤侵蚀物理模型也还存在以下问题:一是模型输入的空间分散性和不均匀性未得到很好体现;二是需考虑不同单元流域的水沙形成机制及模拟参数上的差别;三是单元流域对全流域出口断面的贡献是否满足迭加原理。这些需要在模型中进一步考虑。物理过程模型由于能反映侵蚀机制及水沙输移过程而受到众多学者的偏爱,也成为未来流域土壤侵蚀预报研究的主要方向。其作为研究流域土壤侵蚀和产沙的重要手段,正处在日益完善和由传统集总式模型向流域单元划分的分布式模型过渡的发展过程之中。分布式模型成为今后发展的趋势,与传统侵蚀产沙模型相比,它具有以下显著的优点:(1)能够描述流域内侵蚀产沙的时空变化过程;(2)由于建立在DEM基础之上,能够及时地模拟出人类活动或下垫面因素的变化对侵蚀产沙过程的影响;(3)分布式侵蚀产沙模型的结构较严谨,参数的物理意义明确,可以利用常规理论来描述侵蚀产沙的变化过程。

我国土壤侵蚀预报模型的研究和开发已经走过了近50年的发展历程,成功地研制和开发了一批适应中国具体情况的坡面和流域侵蚀预报模型。但由于土壤侵蚀过程本身的复杂性、影响因素间的相互作用以及进行理论分析、实际观测和室内试验存在诸多困难,土壤侵蚀模型研究滞后于生产实践的需要。因此,迫切需要开发研制我国实用的、能揭示土壤侵蚀过程的预报模型。我国的土壤侵蚀模型研究应注重以下几个方面的研究:(1)注重土壤侵蚀模型的理论研究,将从以侵蚀因子为基础的侵蚀预报向侵蚀过程的量化研究和理论完善,研究各侵蚀因子及其交互作用对侵蚀过程的影响,泥沙在复杂坡面以及不同流域尺度间的分散、输移和沉积作用。(2)加强对重力侵蚀、洞穴侵蚀机制的研究,加强对大中流域侵蚀模型的研究。(3)充分利用先进的RS、GIS技术,为侵蚀模型的研究提供大量的数据源,以利于对土壤侵蚀模型的检验。(4)注重对土壤侵蚀模型外延的拓展,具体体现在:产沙模型逐步与非点源污染、土壤侵蚀对土地生产力影响、全球气候变化及碳循环结合起来考虑。

反思1998年洪水威胁的教训,土壤侵蚀以及流域侵蚀产沙目前已经成为我国各级政府和广大人民群众普遍关注的重要生态环境问题。水利部正在积极建立全国水土保持监测信息系统,我国的七大流域和部分重点省份也正在投入大量的人力物力建立相应的水土保持监测信息系统。土壤侵蚀模型的实用型,它对流域侵蚀产沙预测预报的精度是水土保持监测信息系统需要解决的重要关键技术问题之一,也是当前研究的难点之一。因此,加快对我国

不同流域、不同区域土壤侵蚀模型的研究已经势在必行。实际上当前也是我国进行土壤侵蚀模型研究的最好时机。

中国科学院知识创新工程设立了重要方向项目“水蚀预报模型研究”。其研究内容有: 1) 侵蚀泥沙输移过程及水沙汇集传递关系研究; 2) 多尺度土壤侵蚀影响因子分析及子模型建立; 3) 多尺度(坡面、小流域和区域)水蚀预报模型基本结构的构建与模型参数定量表述; 4) 典型区(黄土高原、紫色土丘陵)坡面水蚀预报模型、小流域分布式水蚀预报模型和区域水蚀定量评价模型研发。国家自然科学基金委员会历来重视土壤侵蚀模型的研究, 我国在土壤侵蚀模型方面取得的研究成果与基金委的支持是密切相关的。也正是在基金委的支持下, 笔者现正在进行黄土高原流域侵蚀产沙的尺度转换规律及大流域侵蚀产沙的模型研究, 以陕西大理河流域和山西三川河流域为研究对象, 通过两个相似流域在不同尺度间的侵蚀产沙规律的对比研究, 拟揭示侵蚀产沙因子在不同尺度间的空间分异、转换规律及其响应过程、水沙在大尺度上的汇流及输移过程、大尺度侵蚀产沙参数的选取及模拟。这些将进一步推动我国的土壤侵蚀模型研究。

参考文献

- [1] 蔡强国, 王贵平, 陈永宗著. 黄土高原小流域侵蚀产沙过程与模拟, 科学出版社, 1998 年.
- [2] 刘善建. 天水水土流失测验的初步分析. 科学通报, 1953 年.
- [3] 江忠善, 王志强, 刘志. 黄土丘陵区小流域土壤侵蚀空间变化定量研究. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 1(2), 1~ 9.
- [4] 郑粉莉, 刘峰, 杨勤科等. 土壤侵蚀预报模型研究进展. 水土保持通报, 2001, 21(6): 16~ 18, 32.
- [5] 江忠善, 宋文经. 黄河中游黄土丘陵沟壑区小流域产沙量计算. 第一次河流泥沙国际学术讨论会文集, 北京: 光华出版社. 1980: 63~ 72.
- [6] 范瑞瑜. 黄河中游地区小流域土壤流失量计算方程的研究. 中国水土保持, 1985(2), 12~ 18.
- [7] 金争平, 赵焕勋, 和泰等. 皇甫川区小流域土壤侵蚀量预报方程研究. 水土保持学报, 1991, 5(1): 8~ 18.
- [8] 李钜章, 景可, 李风新. 黄土高原多沙粗沙区侵蚀模型探讨. 地理科学进展, 1999, 18(1): 46~ 53.
- [9] 孙立达, 孙保平, 陈禹等. 西吉县黄土丘陵沟壑区小流域土壤流失量预报方程. 自然资源学报, 1988, 3(2): 141~ 153.
- [10] 杨艳生. 区域性土壤流失预测方程的初步研究. 土壤学报, 1990, 27(1): 73~ 79.
- [11] 周伏建, 陈明华, 林福兴等. 福建省土壤流失预报研究. 水土保持学报, 1995, 9(1): 25~ 30, 36.
- [12] 陈法扬, 王志明. 通用土壤流失方程在小良水土保持试验站的应用. 水土保持通报, 1992, 12(1): 23~ 41.
- [13] 周佩华. 2000 年中国水土流失趋势预测与防治对策. 中国科学院水土保持研究所集刊, 1988, (7): 57~ 71.
- [14] 王礼先, 吴长文. 陡坡林地坡面保土作用的机理. 北京林业大学学报, 1994, 16(4): 1~ 7.
- [15] 蔡强国, 陆兆熊, 王贵平. 黄土丘陵沟壑区典型小流域侵蚀产沙过程模型. 地理学报, 1996, 51(2): 108~ 117.
- [16] 段建南, 李保国, 石元春. 应用于土壤变化的坡面土壤侵蚀过程模拟. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(1): 47~ 53.
- [17] 谢树楠, 张仁, 王孟楼. 黄河中游黄土丘陵沟壑区暴雨产沙模型研究. 黄河水沙变化研究论文集, 第五卷, 黄河水沙变化基金会, 1993, 238~ 274.
- [18] 包为民, 陈耀庭. 中大流域水沙耦合模拟物理概念模型. 水科学进展, 1994, 5(4): 287~ 292.
- [19] 汤立群. 流域产沙模型研究. 水科学进展, 1996, 7(1): 47~ 53.
- [20] 李建牢, 刘世德. 罗玉沟流域坡面土壤侵蚀量的计算. 中国水土保持, 1989, (3): 28~ 31.
- [21] 马志尊. 应用卫星影像估算通用土壤流失方程各因子值方法的探讨. 中国水土保持, 1989, (3): 24~ 27.
- [22] 张宪奎, 许靖华, 卢秀琴等. 黑龙江省土壤流失方程的研究. 水土保持通报, 1992, 12(4): 1~ 9.

- [23] 游松财, 李文卿. GIS 支持下的土壤侵蚀量估算——以江西省泰和县灌溪乡为例. 自然资源学报, 1999, 14(1): 62 ~ 68.
- [24] 蔡崇法, 丁树文, 史志华等. 应用 USLE 模型与地理信息系统 DRISI 预测小流域土壤侵蚀量的研究. 水土保持学报, 2000, 14(1): 19~ 24.
- [25] 陈一兵, K.O. Trouwborst. 土壤侵蚀建模中 ANSWERS 及地理信息系统的应用研究. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1997, 3(2): 1~ 13.
- [26] 马修军, 谢昆青. GIS 环境下流域降雨侵蚀动态模拟研究——以 Peraster 系统和 LISEM 模型为例. 环境科学进展, 1998, 7(5): 137~ 144.
- [27] 牛志明, 解明曙, 孙阁等. ANSWER 2000 在小流域土壤侵蚀过程模拟中的应用研究. 水土保持学报, 2001, 15(3): 56~ 60.

Evolution of Soil Erosion Models in China

CAIQ iangguo, LIU Jigen

(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101 China)

Abstract: Soil erosion models are important technique instruments of knowing soil erosion processes and intensity, mastering soil resource developing trends, directing people to use soil resource reasonably, and managing and maintaining human long-time live environment; therefore they are paid attention to by the world countries. This paper summarizes main achievements of the soil erosion models in China, introducing experience statistic models, physical cause models and foreign models applied in China in detail. On the base of summarizing and evaluating Chinese soil erosion models, this paper brings forward future developing directions that the soil erosion models should pay attention to: (1) paying attention to the theory researches of soil erosion models, consummating from erosion factors basis erosion prediction to erosion processes quantity and theory researches, studying each erosion factor and its interaction impact on erosion processes, and sediment dispersion, transportation and deposition action on complex slopeland, as well as different catchments scales; (2) reinforcing the study of gravitation erosion and cave erosion mechanism, and big and middle scale catchments erosion models; and (3) making the best of advanced RS and GIS technology, providing plentiful datum for erosion models researches, making and for soil erosion models checkout.

Key words: soil erosion models; main achievements; developing directions