

* 土壤侵蚀预报模型及其在中国发展的考虑

雷廷武 邵明安 李占斌 王全九

(中国科学院水土保持研究所 陕西杨陵 712100) (西安理工大学水资源研究所)
水利部

摘 要 土壤侵蚀的研究对国土利用、土壤侵蚀的治理十分重要。叙述了我国土壤侵蚀研究的成就。详细说明经验统计模型研究在预报方面的不足。介绍了美国土壤侵蚀预报模型的研究情况。特别叙述了USLE及WEPP的基本情况: 理论基础、模型的适用性与局限性。阐述了模型研究的重要性和在我国进行土壤侵蚀模型研究的必要性。提出了建立我国土壤侵蚀模型所必须进行的研究工作和需要解决的科学问题。

关键词 土壤侵蚀 动力学 模型 模拟

Soil Erosion Predict Models and the Strategic Considerations for Their Development in China

Lei Tingwu Shao Ming'an Li Zhanbin

(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences
and Ministry of Water Resources Yangling Shaanxi 712100)

Wang Quanjiu

(Institute of Water Resources of Xi'an Technology University)

Abstract Studies on soil erosion are of importance in land use and soil erosion control. Achievements in soil erosion research made in China are briefed here. The limitations of empirical models in erosion prediction are discussed. Model studies on soil erosion prediction undergone in USA, such as USLE and WEPP, are introduced as concerned with their physical fundamentals, applicability, and limitations. The essentialness and the necessities of research on soil erosion model in China are emphasized. Here are advanced the scientific targets at which should be aimed, to develop a Chinese version of soil erosion predict model.

Key words soil erosion dynamics model simulation

1 土壤侵蚀模拟与预报研究的重要性

长期土地、植被资源的不当开发利用, 对我国的国土资源的质量造成了很大的负面影响: 水

土严重流失、生态环境恶化、干旱水灾频繁发生、农业生产力低下并且抵御自然灾害的能力削弱。这种状况直接影响了农业生产并将继续影响农业的持续稳定发展, 威胁 21 世纪我国 16 亿人口的食物安全供给, 这种局面引起了各级政府及全社会各方面乃至世界范围内的广泛关注, 对土壤侵蚀研究工作的重要性认识日渐提高。

土壤侵蚀研究的重要作用是估计土壤流失的速度。可以将预测的土壤侵蚀模数与可接受的临界值加以比较, 从而确定土地利用的方式。另外, 可以评价不同水土保持措施的功用。

我国的土壤侵蚀研究工作者, 经过建国以来几十年的不懈努力, 已经基本建立了一套符合我国国情的土壤侵蚀研究方法体系, 建立了较为完善的研究理论基础, 取得了丰硕的研究成果。这些研究成果在指导水土保持实践、恢复植被、国土整治中已发挥了巨大的作用并正在发挥越来越大的作用。特别是近 20 年来, 随着我国改革开放的进程国际交往、学术交流, 土壤侵蚀的研究工作取得了飞跃性的进步, 在土壤侵蚀机理、土壤抗冲性理论预测量、泥沙输运与沉积等方面的基础研究工作已达到或接近国际水平。

国际(国内)研究土壤侵蚀的传统方法是以实地观察、测量、建立侵蚀产沙与若干影响因子之间的经验统计关系(模型)为主, 这种研究方法所取得的结果可靠。但在将其应用于预报时则十分困难, 原因很多, 其中最主要的原因之一是无法明了土壤侵蚀系统的功能如何随着控制因子的变化而变化。由于应用时所遇到的条件与试验时所采用的条件有很大的出入, 这种情况下往往需要进行标定, 对参数进行调整。一般情况下这种调整具有很大的随机性, 并很大程度上受人的主观意志影响。采用这种方式只能进行土壤侵蚀的事后预报, 并且其结果与实测结果相差很大, 两者间相差一倍或更大并不罕见。这种研究方法的另一重要问题是, 预报只能给出极其有限空间、时间点的土壤侵蚀信息。土壤侵蚀发生、发展与演变过程不清楚, 即无法回答土壤侵蚀的时间、空间分布规律。这方面的问题将导致指导水土保持时的极大困难。只有在对土壤侵蚀过程充分认识的基础上, 通过对过程的控制才能实现最终结果——土壤侵蚀的有效控制。这种研究方法的另一问题是, 成果的取得费时费力, 应用范围有限。

为了解决上述这些问题, 人们开始考虑用模型预报方法。其中最为著名、应用最为广泛的是美国 60 年代初开发的 U S L E (U n i v e r s a l S o i l L o s s E q u a t i o n) 及其 70 年代的改进版 R U S L E (R e v e r s e d U n i v e r s a l S o i l L o s s E q u a t i o n)。

科学技术的进步, 特别是土壤侵蚀力学、机理、参数测量方法的进步, 加之电子计算机技术的迅速发展, 电子计算机的广泛普及, 使得人们的研究思维和研究的手段、方法发生了巨大的变化。人们开始在更高层次上, 进行土壤侵蚀过程的模拟预报研究。现在的模型以土壤侵蚀的物理过程为基础, 使得所要求的输入参数大为减少、标定容易、模型的适应性更广、应用条件更宽。

2 U S L E 与 W E P P 模型

U S L E (U n i v e r s a l S o i l L o s s E q u a t i o n) 是最早将坡度、坡长、气候因子(降雨)、不同植被的保护功效、土壤可蚀性引入土壤侵蚀预报的一个十分简洁的土壤侵蚀预报模型。该模型的表达式为:

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

式中: A —— 年均土壤侵蚀量 (t/a); R —— 降雨侵蚀度因子, 为降雨强度与降雨量的度量; K —— 土壤可蚀性因子, 为特定土壤在 22 m 长、坡度为 9% 的坡地上单位降雨的侵蚀率; L —— 坡长因子; S —— 坡度因子; C —— 作物(管理)因子, 作物覆盖地表与露地侵蚀量之比; P —— 水

水土保持措施因子,与水土保持措施有关。

尽管该模型称之为通用(万能的)土壤流失方程,其使用的数据库是基于美国洛基山脉以东地区。模型的适用性还限于坡度为 0~7% 的坡地,适用的土壤为蒙托土。因此,要将该方程用于中国的广大地区特别是黄土高原,需要进行修正。模型在理论上的缺陷为,相互作用的变量重复计算,如式中的 R 与 C/L 与 P ,而其他因子间的交互作用则被忽略,如雨强大的地区坡度的相对重要性。与土壤侵蚀紧密相关的一个因素——径流未包含在方程之内,该方程多用于土地利用的规划与评价。由于该方程不能预报土壤侵蚀的时空分布,因此对于深入理解土壤侵蚀的机理并无帮助,对于防止水土流失措施的选取也无能为力。

由于上述原因,美国农业部农业研究局、林业局、水保局及国家土地管理部组织进行了土壤侵蚀预报模型-WEPP (Water Erosion Prediction Project) 的研究工作。项目始于 1985 年,于 1995 年基本完成,前后以美国为主的全世界近 200 名科学工作者参与了研究工作。该模型是为了取代 USLE- Universal Soil Loss Equation 而开发的。

WEPP 模型是一个迄今为止最为复杂的描述与土壤水蚀相关物理过程的计算机程序。WEPP 中所涉及的过程包括降水入渗、灌溉、地表径流、土壤剥离、泥沙输运与沉积、植物生长、残茬分解等。这一模型可以模拟每天多层土壤的含水量变化及作物的生长与残茬的腐烂,还能模拟耕作方式及土壤压实对土壤侵蚀的影响。

WEPP 模型共有三个版本,基本模型为坡面(hill slope)版,该版本用于预报任意长度(不变)坡面上的土壤侵蚀。坡面可具有复杂的形状,但不随时间变化,也可延坡面包括多种不同的土壤和作物。这一版本是其他两个版本的基础。流域版(Watershed)将不同具有均匀宽度的坡面单元与侵蚀沟及积水单元联系起来。WEPP 中网格版(Grid)或 GIS 版,将许许多多坡面联系在一起,来模拟一个大区域的土壤侵蚀和泥沙输运过程,这一版本可模拟一次降雨过程中全区域内的产沙量。

WEPP 的坡面土壤侵蚀用两种方式表达:(1)在沟间坡面上,土壤颗粒由于雨滴的打击和片流的作用而剥离;(2)在沟内,土壤颗粒由于集中水流的作用而剥离、输运或沉积。侵蚀计算以单位沟宽或单位坡面宽为基础。描述坡面侵蚀过程中泥沙运动是基于稳态的泥沙连续方程:

$$\frac{dG}{dx} = D_i + D_r \quad (1)$$

式中: x —— 向坡下的距离; G —— 泥沙含量; D_i —— 沟间泥沙向沟内的输运量; D_r —— 沟内侵蚀量。

$$D_r = D_c \left(1 - \frac{G}{T_c}\right) \quad (2)$$

式中: D_c —— 沟中水流剥离土壤的能力; T_c —— 水流的输沙能力。

$$D_c = K_r (\tau_f - \tau_c) \quad (3)$$

式中: τ_f 与 τ_c —— 分别为水流对土壤的剪切应力与土壤的临界抗剪切应力; K_r —— 沟内可蚀性参数。

模型存在的问题是,作为侵蚀产沙基础的方程式是以稳态的,而实际上,侵蚀的过程是一个随时间而不断变化的瞬态过程。这种变化过程,主要表现在坡面及侵蚀沟的坡度不断随时间和空间发生着变化,从而坡面及侵蚀沟内的水流及其动力特性也将随时间、空间不断变化,随之是水流剪切应力的变化、侵蚀量的变化,等等。另外,模型虽从概念上是基于物理过程的,但表达上并

非完全基于物理过程, 如, 沟内可蚀性参数 K_r 仍为经验公式, 并且其推算仅以土壤的质地为基础, 完全忽略了土壤结构的影响, 实际上土壤的结构对降雨的入渗、土壤的抗冲性或土壤的可蚀性有着比土壤质地更大的影响。另外, 即便沟间侵蚀与沟内侵蚀有如W EPP 所表达的关系, 其中的参数确定仍十分困难, 尚必须采用非理性、非测量的“估算”方法。

3 发展中国土壤侵蚀预报物理模型的必要和需要解决的问题

如前所述, 土壤侵蚀现阶段的研究工作, 除了沿袭或继承传统的研究方法、巩固与完善已有的理论体系之外, 还应该发展新研究方法。这不仅是为了学科的发展, 更重要的是新的方法将提供解决问题的新思路、新途径, 并且将随着新兴学科的发展完善, 解决问题的层次、深度将会毫无疑问地提高。研究物理模型, 预报土壤侵蚀, 将会以模型的研究为引导, 促进土壤侵蚀机理的研究。美国W EPP 研究过程中, 土壤侵蚀机理研究上的巨大进步就是一个极好的例证。反过来, 模型的研究又会促进对土壤侵蚀机理的深入了解, 因为模型较之试验研究的优点就在于能模拟土壤侵蚀的过程, 并且可调整控制因子, 能观测到过程的变化, 这样就可以用模型研究结果指导水土保持实践。从而可见, 土壤侵蚀物理模型研究十分必要。然而, 已有的物理模型除由于其本身的缺陷, 均不能直接用于中国, 特别是不能适应中国水土流失最为严重的黄土高原, 因而, 有必要发展中国自己的土壤侵蚀预报模型。

中国的土壤侵蚀模型研究无疑应在继承国际现有模型成功经验与已取得的成就的基础上进行。模型应该在更大程度上以物理背景为基础, 包括完备的地表水动力学模型、土壤侵蚀发展过程中地表地形与土壤侵蚀交互作用的模型、及其他一些辅助模型。总之, 模型应该是动态的、能反映侵蚀发生、发展、演化的模型, 而不必象W EPP 那样为一个稳态的模型。为此, 应进行以下的必要研究。

首先应建立土壤侵蚀的动力学模型。动力学模型包括: 地表径流的水动力学模型, 用于处理浅层水流、地表侵蚀沟有切头的水流动力学; 土壤颗粒由地表剥离的力学问题, 及其与水流、土壤、坡度的关系; 泥沙的输运与沉积力学问题。其次是相关的物理参数的测量方法。作为辅助, 应研究地表侵蚀沟网的鉴别方法; 地形、水流及侵蚀的发展对沟网的影响; 不同尺度下沟网间的关系。最后, 应解决计算应用模型的便利性——可视化、人机交互性好, 等等。这样的模型将是一个全动态的、适应不同的地形、地貌并能预报地形在土壤侵蚀过程中的变化, 可以用于辨识土壤侵蚀的区域性特点, 用于指导土地的利用和水土保持措施的实施。

4 结 语

我国的水土流失已经严重地影响了国土质量, 威胁着 21 世纪 16 亿人口的食物安全供给, 土壤侵蚀研究和水土保持日显重要。近 40 年来, 以美国为代表的发达国家在土壤侵蚀预报模型研究、应用的成功经验为我们今后的研究提供了借鉴, 国际上土壤侵蚀模型的理论及区域应用上的局限性, 使得在中国发展自己的模型成为必要。通过模型研究, 建立一套土壤侵蚀动力学体系和适合我国国情的预报模型, 这样不仅使我国土壤侵蚀研究步上一个新的台阶, 而且使得国土开发利用的规划有一个可资利用的工具, 也为水土保持实践提供有益的指导。

参考文献

- 1 蒋定生等. 黄土高原水土流失与治理模式. 北京: 中国水利水电出版社, 1997

- 2 Planagan D C, A scough J C II, Nicks, A D Nearing M. A and Lafken J M 1995 7. Overview of the WEPP Erosion Prediction Model Technical Documentation, USDA Water Erosion Prediction Project (WEPP). NSERL.
- 3 Foster G R, Flanagan D C, Nearing M A, Lane L J, Risse L M and Fink S Cner 1995 7. Hill-slope Erosion Component Technical Documentation, USDA Water Erosion Prediction Project (WEPP). NSERL.
- 4 Nearing M A, Foster G R, Lane L J and Finkner S C A Process-based Soil Erosion Model for USDA Water Erosion Prediction Project Technology. Trans. Of ASAE 1989, 32: 1587~ 1593

(上接第18页)

的生态和环境意识,在水土流失严重的地区,建立首席领导负责制,建成省、地、县(市)、乡、村五级水土保持监督执法体系,真正使水土保持工作走向法治化、规范化道路。遏制开矿、修路、城镇建设等人为因素造成新的水土流失。

6.2 因地制宜、分类指导、综合治理

两湖流域水土流失的强弱在区域上分异显著,水土流失主要发生在外环山地及中环的丘陵岗地,是两湖的重点治理区;两湖周边、山间盆地、低丘植被盖度较高,侵蚀相对较弱,应作为重点防护区。对于那些一旦植被遭受破坏难以恢复,或引发较严重的水土流失,或产生泥沙直接进入湖江产生严重危害的区域,列入高危监督区。在治理中依据水土流失特征及潜在危害,在宏观上,实施分类指导。在治理时因地制宜、综合规划、集中治理、沟坡兼治,生物措施与工程措施相结合。

6.3 逐步调整林种结构、增加薪炭林和防护林比重

两湖流域的植树造林,治理水土流失已取得了显著的作用,但要提高林地拦蓄泥沙的效益,增加林地对环境建设中的整体功能和效应,还需增加薪炭林、防护林及水源涵养林的比重。具体讲,在土层薄、坡度大,森林植被遭受破坏,难以恢复或引起强烈水土流失的地区,大力营造防护林,在山地、丘陵中上部要布设水源涵养林,在湖区周边营造防风固沙林,在山区丘陵区要注意解决薪炭林,以满足广大农民生活的基本需求,在林种结构上逐步解决林种单一的问题,并加强对中幼林的抚育和管理,在今后的造林中还应注意与工程措施相结合。

6.4 加强重点水土流失区治理,特别是粗沙来源地的治理

两湖流域的悬移质主要来自坡耕地及疏残幼林地,而推移质主要来自开矿、修路及城镇建设的弃石(弃渣)和滑坡、泥石流、崩岗等重力侵蚀。治理时洞庭湖流域的治理重点应是“四水”的中上游地区,范围涉及湘水、资水的衡邵盆地、横穿沅水流域向西的走廊地带及澧水的中上部。鄱阳湖流域治理重点应是赣江、抚河中上游及九江地区。粗沙的治理首先是遏制人为开矿、修路、城镇建设造成的水土流失,加快治理步伐。此外,是加强对花岗岩风化物、松散胶结沙岩区的崩岗进行重点治理,对于滑坡、泥石流活跃地区加强预警与防护,积极修筑稳坡、固坡工程,拦蓄泥沙,减少粗沙、石砾对水利工程及农田的破坏。

参考文献

- 1 曾大林,蒲朝勇 湘赣两省水土保持工作调查报告 中国水土保持,1998(11)
- 2 湖南省水利水电厅水保处 水土保持是防洪减灾的根本措施 长江水土保持,1998(9)
- 3 傅国儒,万凤英 江西省水土流失现状及对策 长江水土保持,1998(9)