

RUSLE 侵蚀模型的应用及进展

陈云明^{1,2}, 刘国彬^{1,2}, 郑粉莉^{1,2}, 张 卫³

(1. 中国科学院水利部水土保持研究所; 2. 西北农林科技大学水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100;
3. 青海省水土保持局, 西宁 810007)

摘 要: RUSLE 模型是在美国通用土壤流失模型 USLE 的基础上建立起来的, 是目前国内外应用广泛的土壤侵蚀预测模型之一。从 RUSLE 模型开发背景, RUSLE 模型的主要修订内容, 模型的实施与进展, RUSLE 2 模型介绍, RUSLE 模型的局限性及 RUSLE 模型的应用前景等 6 个方面对模型的应用及研究进展进行了综合性评述, 为我国土壤侵蚀模型的建立提供参考。
关键词: 通用土壤流失方程; RUSLE; 土壤侵蚀
中图分类号: S 157.1 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2004) 04-0080-04

Proceeding and Application on Soil Erosion Model of RUSLE

CHEN Yun-ming^{1,2}, LIU Guo-bin^{1,2}, ZHENG Fen-li^{1,2}, ZHANG Wei³
(1. *Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences;*
2. *Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China;*
3. *Qinghai Bureau of Soil and Water Conservation, Xining 810007, China*)

Abstract: RUSLE model is established on the basis of USLE and one of soil erosion predicting model being used widely at home and abroad. The proceeding and application of RUSLE model are reviewed synthetically from 6 aspects of RUSLE model such as exploiting background of the model, advantages to RULSE compared with ULSE, implementation and proceeding of RULSE, introduction of RULSE2 model, limitation of RULSE and applying prospects of RUSLE. The results will be helpful for the establishment of China soil erosion model.
Key words: universal soil loss equation; RUSLE; soil erosion

1 RUSLE 模型开发背景

RUSLE 模型, 即修正的通用土壤流失模型, 是美国农业部自然资源保护局(NRCS) 于 1997 年正式决定实施的, 并在世界范围得到了推广和应用^[1]。
国际上土壤侵蚀预报模型研究以美国为代表。1965 年, Wischmeier 和 Smith^[2] 基于大量小区观测资料和人工模拟降雨试验资料建立了著名的通用土壤流失方程(USLE)。自提出 USLE 以来, 土壤侵蚀研究者开展了大量工作, 并在美国和其他国家的侵蚀预测和水土保持规划方面得到广泛应用。该公式结构合理、参数代表性普遍、应用范围广, 与之结合的各种实用商业化软件的开发与使用也发展迅速, 带来了巨大的社会与经济效益。但该模型所使用的数据主要来自美国落基山脉以东地区, 仅适用于平缓坡地, 不太适用于垄作、等高耕作以及那些使泥沙就地沉积的带状耕作措施等, 使其推广应用受到限制。另外, 由于该模型是经验模型, 不能描述土壤侵蚀的物理过程, 缺乏对侵蚀过程及其机理的深入剖析, 如仅考虑了降雨侵蚀力因子, 而未考虑与侵蚀密切相

关的径流因子, 坡长与降雨、坡度与降雨等有关因子交互作用也被忽略等^[3]。随着科学技术的发展和农业开发的深入, USLE 的局限性已被水土保持研究者所公认。20 世纪 70 年代中后期, 美国农业部农业研究局(USDA- ARS) 提出以计算机为基础, 以键盘替代传统 USLE 采用的图表、手工计算方案, 应用现代化的试验测试手段和计算机模拟技术, 根据细沟间侵蚀和细沟侵蚀的原理及泥沙输移的动力机制, 建立修正的通用土壤流失预报方程, 并在 1992 年 12 月首次推出旨在完善 USLE 的新一代模型 RUSLE(The Revised Universal Soil Loss Equation)^[4]。与传统的 USLE 相比, RUSLE 在许多方面得到改进, 包括: 侵蚀力等值线图扩展至美国西海岸, 重新对某些特殊情况下的降雨侵蚀力计算方法进行了订正。如冻融作用的影响和洼地集水的影响; 作物生长过程吸收土壤水分导致土壤固结对土壤可蚀性因子的影响; 用次因子方法估算作物地、草地和扰动地的覆盖- 管理因子; 坡度和坡长因子采用新的公式计算, 该公式反映了坡度、坡长和细沟侵蚀与细沟间侵蚀的比例; 农地和草地保护措施的估算值等^[5]。

① 收稿日期: 2004-07-10
基金项目: 国家自然科学基金重点项目(40335050); 中国科学院知识创新重要方向项目(KZCX3- SW- 422); 农业部 948 项目(2003- Z57)
作者简介: 陈云明(1965-), 男, 陕西人, 博士, 副研究员, 主要从事生态水文和水土保持研究。

2 RUSLE 模型的主要修正内容

RUSLE 与 USLE 模型有相同的基本结构^[6]。

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$$
式中: A ——预测土壤侵蚀量; R ——降雨侵蚀力; K ——标准小区条件下的土壤可侵蚀性; LS ——坡长与坡度因子; C ——覆盖与管理因子; P ——水土保持措施因子。

影响片蚀和细沟侵蚀的 4 个重要因子(R —气候; K —土壤; LS —地形; C 、 P —土地利用和管理)均表达在此关系中,但在 RUSLE 中,对 USLE 中的一些因子做了进一步的分解,从而得出更明确的物理含义及预测的精确性。在 RUSLE 中的各因子含义如下^[7~9]:

R 因子:常用的 RUSLE 降雨侵蚀力图及 R 值来源于美国西部大量气象资料,这些图经修改后即可用于东部。RUSLE 对原 USLE 中的 R 值进行修正以减少在填洼中降雨击溅的效应,尤其对在高强度暴雨区略有变化的降雨侵蚀力等值线图的变化进行了修正,使 RUSLE 计算的高强度暴雨的 R 值大于 USLE,但低于当雨滴撞击地面由降雨特性与坡度计算的 R 值。在美国西北部的农田和牧场农作物区,研究等效的 R 值因子以反映多年冻结土和部分消融土壤产生的径流。

K 因子:USLE 研究者认识到,内在的土壤可蚀性随时间而变化,冻融循环使土壤变松散,而在生长期由于土壤水分的消耗使土壤重新固结。因此,RUSLE 适用于下列土壤:(1)含有砾石的土壤;(2)因外力变得越来越坚硬的土壤。例如,在 USLE 中,可蚀性因子 K 定义为单位降雨侵蚀力的长期平均侵蚀率,然而在 RUSLE 中,以不同的坡长和坡度因子考虑侵蚀过程,侵蚀过程取决于细沟侵蚀和面蚀之比值。

LS 因子:侵蚀的地貌作用随着侵蚀是以片蚀还是细沟侵蚀为主,或者随二者组合方式而变化。USLE 不适用于预测陡坡,上述二问题在 RUSLE 中均得到了修正。USLE 中的 L 修改后用于 RUSLE 中,通过计算细沟侵蚀与细沟间侵蚀比率反映其对土壤侵蚀的影响。RUSLE 中的 S 是由大量的数据计算的。RUSLE 可用于及短(几十厘米长)和极陡(约 100%)的坡面。RUSLE 由坡度和坡长计算每段坡的 LS 值,最终求得整个坡面的 LS 值。这样可反映出不同坡形对土壤侵蚀的影响。

C 因子: C 因子是 RUSLE 中最重要的因子,RUSLE 用次因子法计算各种土地利用方式的特定 C 值是建立在植物冠层、雨滴降落高度、地表覆盖度和糙度、根量及前茬土地利用方式、土壤前期含水量等基础之上,从而提供更灵活的能描述种植制度和保土耕作措施或牧草轮作等的 C 值估计方法。RUSLE 确定 C 值的时间有两种,即恒定时间和可变时间。当地表在整个研究期保持不变时,选择恒定时间,如扰动前或成功复垦后,当地表在整个研究期明显变化则选择可变时间,如垦荒后立即恢复植被。这种时间选择是 RUSLE 的主要进步之一。

P 因子:RUSLE 的 P 值计算是采用保土措施的次因子法,是一种经验性和基于侵蚀物理过程的混合模型,可对等高耕作和带作产生的侵蚀进行预测。

可以说,RUSLE 的改进主要表现在 3 个方面^[10]:(1)所用的数据量比 USLE 大的多,且均从不同地点、不同作物和耕作制度、森林和牧场侵蚀,以及可蚀性措施中获取;(2)纠

正了 USLE 分析中的错误,填补了原始数据的空白;(3)增加了其灵活性,能模拟不同的系统和替代方法。

因此,通过上述改进,RUSLE 的应用范围由原来的二维领域扩展到三维,可模拟地貌景观的空间演变特性,预报可靠性也大大加强。近年来还有相当一些人对参数敏感性问题开展了深入研究,并设计了各种不同条件来观察某一参数因子扰动后,对土壤侵蚀的整体影响。这使 RUSLE 的理论研究更上了一个台阶。

3 RUSLE 模型的实施与进展^[9,11]

土壤流失方程的应用主要有两层含义:一是理论本身,包括基本方程原理、实验信息等;另一方面为科学实施或实用性,即用户如何输入信息,并通过理论的引导推算(这一步通常由计算机实现),最终输出需求的结果。关于理论部分,前已详述。RUSLE1 模型最早出现在 1990 年,此后,新的研究和试验使其版本逐步改进,RUSLE 模型也随之不断的更新和完善,先后开发出 RUSLE1.02 版(1993 年)、RUSLE1.04 版(1995)、RUSLE1.06 版(1999 年)以及 RUSLE2 版(2001 年)。

关于实施情况,20 世纪 80 年代中后期,美国农业部农业研究局(USDA—ARS)在 1992 年 12 月首次推出 RUSLE,使使用者由使用 USLE 转向使用 RUSLE,一些使用者因乱用 RUSLE 而造成土壤侵蚀量估算不准确。水土保持学会(SWCS)于 1993 年推出新的软件版本 RUSLE 1.02,于 1995 年推出 RUSLE 1.04 版。尽管 RUSLE 1.04 比较先进,但有些部分仍有待完善,特别是缺少矿区、建筑工地及复垦土地的特定方程。1997 年在美国内务部、矿务复垦及环境办公室的支持下,成立了工作组,研究提高 1.04 版 RUSLE 在矿区、建筑工地及复垦土地中的适用性、准确性,于 1999 年建立了适于这些特殊场地的土壤流失方程 RUSLE 1.06 版,于 2003 年中期建立了 RUSLE 1.06c。另一方面,RUSLE1 是不受土地利用约束,能够适用于任何具有地表径流和矿质土的土地利用方式。由于 RUSLE1 为 DOS 版本,随着相应的软件技术也在不断更新,由 USDA—ARS 主持在 1993 年后期,针对 RUSLE1 进一步改进,并于 1996 年中后期发行出具有更强不受土地利用约束的 RUSLE2。目前,RUSLE 1.06c, RUSLE2 是修正通用土壤流失方程并行的最新版本。

RUSLE1, RUSLE 1.06 与 RUSLE2 模型的应用差异^[12]:在计算泥沙沉积量时,RUSLE1 应用一个泥沙沉积系数表现产沙量,该系数随土壤质地而变化,但不随细粒泥沙在坡面的富集而变化,泥沙沉积量是土壤质地的函数;RUSLE2 根据土壤质地把泥沙分成 5 个粒级,并根据粒级间的交互作用独立处理每个粒级,泥沙沉积量是土壤质地与泥沙沉积作用沿坡面改变泥沙特征的函数。所有的 RUSLE1 版本以及 RUSLE 1.06c 运用方程 $A = RKLSCP$ 计算年平均土壤流失量时,方程中的 K 值和 C 值都是从半个月的值中获得,其中 RUSLE 1.06c 是假设一个常数 K 值,RUSLE1 考虑了方程中因子间的一个有限交互作用;而 RUSLE2 计算年平均侵蚀量采用方程 $A = S \left(r_k k_{ik} c_{ik} p_k \right)$,RUSLE2 中的数学集成本质上不同于 RUSLE1,RUSLE2 增加了每天的因子值来估计当天的侵蚀量,然后累加成全年的平均侵蚀量,这种计算方法与 RUSLE1 计算的年平均侵蚀量可相差 20%。对于坡长因子

($N/22.1$)ⁿ 中的指数 n , 在 RUSLE 1.06c 中是随土地利用和土壤质地变化; 在 RUSLE2 中是通过方程计算得出的, 是坡度、土壤生物量、土壤固结、地表覆盖和土壤质地的函数。次因子变量同时应用于 RUSLE2 和 RUSLE 1.06c 中, 但 RUSLE2 中的次因子方程式较 RUSLE 1.06c 中的更详细, 如 RUSLE2 中考虑了植物根随土壤深度的分布以及在扰动深度内, 土壤扰动操作的物质分配等。

4 RUSLE2 模型介绍^[13]

RUSLE 2 完全打破过去繁琐的参数计算方法, 而是采用独立参数方法, 要求用户充分描述其状态, 包括位置、地形、管理框图, 只要有了充分的描述, 侵蚀率即可通过程序算出, 其中信息流完全靠描述, 而且在描述时允许更灵活的形式。注意各类开发模型(如水蚀模型)的相容性。

RUSLE2 的简便性正在吸引更多的国际用户 (RUSLE2 的数据输入和计算框图见图 1)。

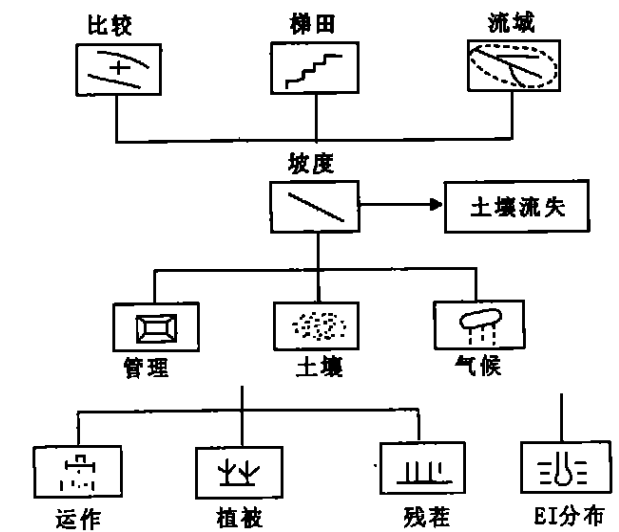


图 1 用于 RUSLE2 中的数据输入和计算方法

RUSLE2 采用开窗的计算机手段, 以充分利用计算机操作中可用的额外资源, 计算机容量要求较高, 为用户同时选取不同的参数提供了更大的灵活性, 并能与现有的 RUSLE 版本的数据库兼容。其鼠标、功能键、文档和编辑功能都进行了标准化处理。

RUSLE2 模型库是采用 C 语言编程的, 它分为逻辑量 (目标), 象土壤、气候、作物残茬等。RUSLE2 中的目标都有各自的数据和外表, 以文件形式存贮, 开、关完全是独立的。

一级目标是最基本的, 它包括: 土壤特性, 在坡面上的活动 (自然的和人为干扰), 植被类型, 残茬类型, 全年降雨侵蚀力 EI 分布的描述。二级目标包括气候 (全在 EI 分布项中) 和管理 (运作的顺序, 植被和残茬)。三级目标是坡度, 把气候、土壤和管理信息与地形描述结合。四级目标包括坡度比较与组合。

RUSLE2 的界面采用窗口形式, 其显示方法可以是“多目标文档界面”, 即允许同时打开许多结果目标显示。RUSLE2 包括为用户提供各种单位的换算 (可自由选择), 尤其是英制与国际单位制的换算。

5 RUSLE 模型的局限性

所有的估计模型无不存在着误差, 这些误差产生对于模

型的理解、参数的估算、模型检验、变量测定和模型的应用等所有环节中。使用者的责任是选择最适合自己应用的模型, 使误差最小。RUSLE 是计算年均土壤侵蚀量的, 对特定的某年或某场降雨则误差较大, 但它仍是比较系统、实用的土壤侵蚀量计算模型。其适应性及局限性见表 1^[9]。

表 1 RUSLE 的适用性及局限性

方程因子	适 用 性	局 限 性
R	适用于降雨较均一、年雨量大于 508 mm 的地方	山区积雪的迎风及背风坡 R 值不准确, 各种暴雨采用相同的单位动能
K	中等质地土壤侵蚀量估算最准确, 细质土次之, 粗质土一般。	有机土侵蚀量估算不准确; 含有砾石的土壤提高了渗透率
LS	土壤侵蚀量对坡度较敏感, 坡长一般为 15.24 ~ 91.44 m, 3% ~ 20% 的坡度, 土壤侵蚀量较准确; 6.1 ~ 15.24 m, 91.44 ~ 182.88 m 长, 1% ~ 3%、20% ~ 35% 坡中等	极少用 RUSLE 计算坡长为 182.88 ~ 304.80 m 坡地的土壤侵蚀量, 因数据为推测的。坡度超过 35% 土壤侵蚀量不准确。RUSLE 不能计算坡度大于 50% 坡地土壤侵蚀量, 因其会产生重力侵蚀
C	适用范围较广	大于 5 mm 的砾石覆盖对土壤侵蚀有影响; 对特殊场地地面覆盖物的分解率及侵蚀控制需加说明
P	适用范围较广	由于土壤和使用工具质量的多样性, 土壤侵蚀受 P 影响较小, 对扰动陡坡地而言, 各种人工屏障对输沙率的影响需加说明
A^1	适用征蚀, 细沟侵蚀及年和季节性土壤侵蚀; A 值的正确率为: $1.6 < A < 12.1$ 时: $\pm 25\%$ $0.4 < A < 1.6$ 时: $\pm 50\%$ $12.1 < A < 20.2$ 时: $\pm 50\%$	因块体消耗不能估算切沟侵蚀; 不能估算单次降雨侵蚀; 不能估算原始森林的土壤侵蚀。 $A < 0.4$ 或 $A > 20.2$ t/(hm ² ·a) 土壤侵蚀量不准确。只简单地认为侵蚀轻微或侵蚀剧烈

另外, 从其数据源来看, RUSLE 是一个缓坡地模型, 主要是针对平原地区和缓坡地形区, 因此, RUSLE 在中国地貌类型复杂多样的地区的推广应用受到很大的局限; 其次, RUSLE 是一个基于年降雨的侵蚀产沙模型, 这对于我国黄土高原等许多地区高强度次降雨居于侵蚀产沙主导地位的情况不符, 使得 RUSLE 在中国的应用也受到很大的约束; 再次, RUSLE 的各侵蚀因子的测算, 有严格的实验条件, 目前对于降雨侵蚀力的研究, 在我国取得了较为一致的计算方法; 但对于 K 值的计算, 存在很大争议^[14], 这是制约 RUSLE 推广的一个限制因子; 对于 LS 因子, 如何将其计算方法扩大到陡坡地区, 是 RUSLE 在中国应用的关键; 对于 C 、 P 值, 如何定义符合我国国情的测算标准, 到目前还没有统一的看法^[15]。

6 RUSLE 模型的应用前景

相对于 USLE 而言, RUSLE 模型结构简洁, 参数物理意义明确, 计算简单, 具有很强的实用性和综合能力。Toy et al. 在亚利桑那南部对 RUSLE 预制结果和根据坡面形态实测值进行比较, 得到了很好的效果, 证明了 RUSLE 模型应用的可靠性 (表 2)。RUSLE 模型应用相当广泛, 几乎涉及到土壤侵蚀预测的各个方面, 如测定农作物栽培及覆盖对土壤流失的影响^[16], 对小流域农地水土保持规划^[17], 与 GIS 结合评估军训基地土壤侵蚀危险程度^[18], 利用 RUSLE 预测区外多年平均泥沙沉积量^[19], 特别是成功地应用于矿区、建筑工地及复垦土地的土壤流失评估^[9], 这对我国的城市水土流失研究可提供有力的工具。

表 2 根据坡面形态和 RUSLE 的土壤损失率比较		
立 地	几何数量估算	估算值 RUSLE
Saint David	$/(t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1})$	$/t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1})$
细沟 1	240	170
细沟 2	270	190
细沟 3	150	190
细沟 4	320	170
平均	245	180
Sonoita		
细沟 1	190	190
细沟 2	190	190
细沟 3	190	190
平均	190	190

注:立地为亚利桑那南部。

正如上述分析,虽然 RUSLE 与 USLE 相比,具有更广泛的实用性和更高的精确度,但从本质上并未摆脱 USLE 的影响,它是一个仍需不断完善的侵蚀产沙模型。学者们在 RUSLE 的应用中,也对其进行了补充和完善。为了弥补 RUSLE 是一个二维空间模型的不足,在 GIS 的支持下,对小流域 DEM 模型进行了计算,提取出小流域水沙运移的流

参考文献:

[1] Yoder Daniel, et al. The future of RUSLE: Inside new Revised Universal Soil Loess Equation[J]. J. Soil and Water Conservation, 1995, 50(5): 484– 489.

[2] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall- erosion losses from cropland and east of the Rocky Mountains[S]. USDA, ARS, Agriculture Handbook 282, 1965.

[3] 郑粉莉, 刘峰, 杨勤科, 等. 土壤侵蚀预报模型研究进展[J]. 水土保持通报, 2001, 21(6): 16– 32.

[4] Renard, K G, Foster G R, et al. Predicting soil erosion by water. A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE) [S]. USDA· Agric· Handb· No· 703. Washington, D C· U· S· Gov· Print· Office, 1997.

[5] 刘宝元, 谢云, 张科利. 土壤侵蚀预报模型[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2001. 4– 7

[6] Wischmeier W H, et al. Predicting rainfall erosion loess- a guide to conservation planning, USDA, ARS[S]. Agricultural Handbook, Washington D· C· 1987. 537.

[7] Renard, K G, Foster G R, et al. RUSLE, revised: Status, question, answer, and the future[J]. J. Soil and Water Conservation, 1995, 49(3): 213– 220.

[8] Kautza T J, Schertz D L, et al. Lessons learned in RUSLE technology transfer and implementation[J]. J. Soil and Water Conservation, 1995, 50(5): 490– 492.

[9] Toy T J, Foster G R, Renard K G, 林素兰编译. 用于矿区、建筑工地及复垦土地的修订通用土壤流失方程[J]. 水土保持科技情报, 2000, (3): 45– 52.

[10] Toy T J, et al. The applicability of RUSLE to geomorphic studies[J]. J. Soil and Water Conservation, 1995, 50(5): 498 – 503.

[11] 邵松东, 王礼先, 周金星. 国外土壤侵蚀研究的新进展[J]. 水土保持科技情报, 2000, (1): 32– 36.

[12] Foster G R, Toy T E, Renard K G. Comparison of the USLE, RUSLE1.06c, and RUSLE2 for application to highly disturbed land[R]. First Interagency Conference on Research in the Watersheds, 2003. 154– 160.

[13] 李凤, 吴长文. RUSLE 侵蚀模型及其应用[J]. 水土保持研究, 1997, 4(1): 109– 112.

[14] 吕喜玺. 土壤可蚀性因子 K 值的初步研究[J]. 水土保持学报, 1992, 6(1): 63– 70.

[15] 唐政洪, 蔡强国. 侵蚀产沙模型研究进展及 GIS 应用[J]. 泥沙研究, 2002, (5): 59– 66.

[16] 龙锦林. 美国应用 RUSLE 测定花生栽培及覆盖对土壤流失的影响[J]. 水土保持科技情报, 2002, (2): 31– 34.

[17] 史志华, 蔡崇法, 丁树文, 等. 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.

[18] 李花蕾, 黄毅. 美国应用 RUSLE 和 GIS 评估军训基地土壤侵蚀危险程度[J]. 水土保持科技情报, 2003, (2): 24– 27.

[19] Biesemans J, M Van Meirvenne , D. Gabriels, 郑其格编译. 利用 RUSLE 预测区外多年平均泥沙沉积量() [J]. 水土保持科技情报, 2001, (4): 25– 30.

[20] Biesemans J M, Gabriels Van M, D. Extending the RUSLE with the Monte Carlo error propagation technique to predict long and term average off-site sediment accumulation[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2000, 55(1): 35– 42.

[21] Andrew A Millward, Janet E. Mersey. Adapting the RUSLE to model soil erosion potential in a mountainous tropical watershed[J]. Catena, 1999, 38(2): 109– 129.

[22] 卜兆宏, 孙金庄, 董勤瑞, 等. 应用水土流失定量遥感方法监测山东全省山区的研究[J]. 土壤学报, 1999, 36(1): 1– 8.

路并引入到模型中,较好地解释了 RUSLE 中侵蚀与产沙之间的关系,这是对 RUSLE 的一个重要改进^[20]。采用 RUSLE 对热带地区的小流域进行了侵蚀产沙的预测,提出了一种从 DEM 中计算坡长的栅格算法,并采用 Nearing(1997) 针对陡坡地提出的 S 因子计算公式,使得 RUSLE 能更好地应用于陡坡地区;在对 C 值因子的计算中引入了遥感图像直接提取出所需的 C 值^[21]。我国学者卜兆宏采用 RUSLE 的模型结构,建立并完善了各因子的算法,将遥感数据引入到模型因子计算中,使得像元中包括了土壤侵蚀的各个因素,减小了人为定级的主观性;初步实现了 RS、GIS 与流域侵蚀模型的结合,使 RUSLE 更具动态性、开放性,为在较大区域应用推广侵蚀产沙模型提供了一条思路^[22]。

随着 RUSLE 版本的增格,它将来可能变为更有吸引力的土壤侵蚀研究工具和水土保持规划更强有力的手段。随着 RUSLE 模型在研究和应用中的不断完善,使之成为具有一定侵蚀物理过程的经验性模型,赋予了模型更强大的生命力。