

土壤侵蚀研究中的坡长因子评价问题

孔亚平¹, 张科利², 曹龙熹²

(1. 交通部科学研究院 北京 100029; 2. 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京师范大学 地理学与遥感科学学院, 北京 100875)

摘 要:坡长是决定坡面能量沿程变化, 影响坡面径流与水流产沙过程的重要地貌因素之一。进行土壤侵蚀预报, 建立土壤侵蚀预报模型, 离不开对坡长因子的评价。关于坡长的研究从定性描述到作为模型因子的定量考察已经进行的十分深入, 但大多是经验性的, 从物理意义上对坡长因子的研究还处于初步阶段, 尤其我国在这方面的研究更为欠缺。在总结国内外前人工作的基础上, 对土壤侵蚀在坡长方面的研究提出了一些问题和展望, 指出在坡长因子评价方面应加强对侵蚀产沙过程的研究。

关键词:坡长; 土壤侵蚀; 水流产沙过程

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2008)04-0043-05

Appraise Slope Length Factors in Soil Erosion Study

KONG Ya-ping¹, ZHANG Ke-li², CAO Long-xi²

(1. China Academy of Transportation Science, MOC, Beijing 100029, China; 2. School of Geography and Remote Sensing Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Slope length is one of the important topographical factors that can determine the energy change along a slope and affect the overland runoff and sediment process. We must appraise the slope length factor in order to establish soil erosion equation and to predict soil erosion. Slope length factor has been deeply studied both in the way of describing its character and treating it as a factor in a model. But these studies are mostly empirical. Studies on the physical meaning of slope length are still primary. Especially in our country, few works can be seen in this field. Based on studies both inside and outside our country, this paper has put forward some questions about slope length factor in soil erosion study and makes some expectation. It pointed out that study on erosion process should be strengthened when we appraise slope length factor.

Key words: slope length; soil erosion; runoff and sediment process

1 引言

土壤侵蚀是导致土地资源退化乃至彻底破坏的主要原因。定量计算土壤流失量是合理利用和管理土地资源的科学依据之一。坡长通过影响坡面径流的流速和流量, 影响水流挟沙力, 进而影响土壤侵蚀强度, 因而是定量计算土壤流失的重要指标, 也是土壤侵蚀模型中的必要参数。早在 1936 年 H.L. Cook 就提出坡长是影响侵蚀的重要因素^[1]。在随后 60 多年里, 各国学者在坡长对侵蚀的影响规律方面作了大量的研究工作, 取得了丰富的研究成果。近几十年来, 随着对土壤侵蚀研究的不断深入和模拟技术的迅速发展, 开展土壤侵蚀过程研究, 建立土壤侵蚀的过程模型成了当今土壤侵蚀过程研究的热点和趋势。坡长的变化影响和决定着坡面水流及泥沙的运移规律以及侵蚀形态的演化过程。因此, 要建立土壤侵蚀的过程模型就必须深入开展坡长对侵蚀过程影响的研

究。但目前国内外在此领域开展的工作还不多见, 尤其在在我国这方面的研究就更为缺乏。为了更好地开展对坡长的研究, 系统回顾了前人有关坡长影响的研究工作, 提出一些存在的问题, 并对以后本领域的研究工作做出展望。

2 研究现状分析

2.1 坡长的定义

坡长是指坡面的水平投影长度, 而不是指坡面长度。在著名的土壤侵蚀模型 USLE 中, 坡长被定义为从地表径流源点到坡度减小直至有沉积出现地方之间的距离, 或者到一个明显的渠道之间的水平距离^[2]。这是关于完整坡坡长的经典定义, 在实际研究中, 因坡面形态非常复杂而不易考察完整坡面, 针对这种情况, Foster 和 Wischmeier 提出了对不规则坡面做分段分析的处理方法, 每一分段的坡长可以看作是上游各分段坡长值的累加^[3], 故坡长又可以定义为: 地面上

* 收稿日期: 2007-11-22

基金项目: 国家自然科学基金(40671112)

作者简介: 孔亚平(1976-), 女, 山东金乡人, 硕士研究生, 主要从事交通建设生态环境保护方面的科研工作。E-mail: ypkong@163.com

一点沿水流方向到其流向起点的最大地面距离在水平面上的投影长度^[4]。按照这种定义可实现坡长的离散化,为 GIS 方法基于栅格数据计算坡长提供了理论基础。作为一种地形因子,坡长与其所属地区的地形特征密切相关,在黄土高原以陡短坡为主要地形特征的地区坡长较小,而在东北黑土区以长缓坡为主要特征的地区坡长一般较大。这些差异会造成坡长影响侵蚀的规律和坡长提取的精度在不同地形条件下的变化。回顾已往研究成果,关于坡长的研究从定性描述到作为一个因子纳入模型定量研究已进行的十分深入。概括起来,大致有以下几个方面:

2.2 坡长与侵蚀总量的关系

H.L. Cook 提出影响土壤侵蚀的因素有 3 个:土壤可蚀性、降雨、径流的潜在侵蚀力和植被覆盖^[1]。其中降雨、径流的潜在侵蚀力受坡长和坡度的影响。可见坡长是影响土壤侵蚀的重要因素之一。关于坡长对侵蚀总量的影响,各国学者展开了深入的研究,但所得出的结论有很大的不同^[5]。一些学者认为随坡长增加,水中的含沙量增加,水流能量多消耗于挟运泥沙,结果侵蚀反而减弱;另一些学者则认为由于随坡长增加径流量增加,侵蚀量增加,在侵蚀增加以后,水流含沙量也增加,水体搬运泥沙所消耗的能量加大,侵蚀减弱,两者相互消长,结果从上坡到下坡侵蚀没有很大的差异;第三种观点认为从上坡到下坡,由于水深逐渐增加,侵蚀量相应增大。

在我国黄土高原地区,对坡长与侵蚀的关系也开展了大量的研究。原西北黄河工程局根据径流小区观测资料分析得出,坡长与侵蚀有时成正比,有时成反比,其变化视降雨状况而异。罗来兴根据雨后细沟调查资料认为,沿坡长增加,侵蚀呈强弱交替变化^[6]。郑粉莉认为坡耕地条件下,细沟侵蚀沿坡长的变化缺乏规律性^[7]。华绍祖利用天水、绥德等地的径流小区观测资料分析得出侵蚀量与坡长的 0.15 ~ 0.5 次方成正比^[8]。根据蔡强国等的研究结果,坡长大于某一临界长度后,单位面积侵蚀量随坡长增加而减小,水流含沙量并未明显增加^[9]。而据邢军、田均良等的研究结果表明,即使对于同一坡段,对于不同的降雨特性,侵蚀量随坡长也存在不同的变化规律^[10]。他用 REE 元素作为示踪物质,在斜坡长度为 113 m 的小区自上而下分为 6 个段,在每段的下 2/3 处布设了 20 cm 的示踪带,研究了不同坡段的土壤侵蚀强度。研究结果表明:侵蚀强度随坡长变化存在 3 种模式。第一种为增长型,随坡长增大,产沙强度持续增强;第二种为增长递减型,产沙强度先随坡长增加,尔后又随坡长呈递减趋势;第三种为波动型,产沙强度沿坡长增加出现两次增长和两次减小过程。

2.3 侵蚀预报中坡长因子研究

在现有的坡面土壤侵蚀模型中,通常采用土壤侵蚀量随坡长增加而增加的关系^[11-13]。坡长因子描述了坡长与土壤侵蚀量之间的定量关系。坡长因子通常写为^[11]:

$$L = a^m \quad (1)$$

式中: L ——单位面积单位时间的土壤侵蚀量,即坡长因子;
——坡长; m ——坡长因子指数; a ——常数。

USLE 和 RUSLE 中采用了标准化到 22.13 m 坡长上的

坡长因子^[12,14],其表达式为

$$L = (/ 22.13)^m \quad (2)$$

式中: L ——标准化到 22.13 m 坡长上的土壤侵蚀量; m ——坡长因子指数。

不同的研究者所得到的坡长因子指数也存在差别。Zingg 对蒙大拿州 Bethany 站,衣阿华州 Clarinda 站,维斯康新州 La Crosse 站,俄克拉马州 Guthrie 站以及得克萨斯州 Tyler 站的径流小区资料和在 Bethany 站的野外径流小区人工降雨资料分析得出,侵蚀量与坡长呈幂指数关系,且两种不同资料来源所分析得到的坡长指数都为 0.6^[11]。Musgrave 等根据可得到的资料分析得出平均坡长因子指数为 0.35^[15]。普渡大学坡面措施研究组根据对美国 9 个州 15 个站点观测资料的分析结果,建议在美国中北部地区坡长因子指数采用 0.5 ± 0.1。Wischmeier 进一步分析肯定了这一取值的合理性,并指出坡长指数不仅受坡度和坡长交互作用的影响,同时也受土壤特性、地表植被类型和田间管理措施的影响^[16]。因此在 USLE 第一版中,建议平均坡长指数采用 0.5;当坡度大于 10 % 时,坡长因子值取 0.6;对于德克萨斯高原(High Plain)区德沟灌区域,坡度小于 0.5 % 的长坡坡长指数采用 0.3^[11]。在 USLE 第二版中,对坡长因子指数进行了修正,不同坡度范围,坡长因子指数有不同的取值。坡度对坡长因子指数的影响,当坡度为小于 1 %, 1 % ~ 3 %, 3.5 % ~ 4.5 %, 大于或等于 5 % 时,坡长因子的指数分别为 0.2, 0.3, 0.4 和 0.5^[2]。该版本中的坡长因子指数取值定义并不严密,当坡度在 3 % ~ 3.5 % 以及 4.5 % ~ 5 % 之间,坡长因子指数无值。Mutchler 等在密西西比东北部的 Branch 实验站,用模拟降雨试验方法研究了缓坡下的坡长因子指数,他采用了坡度为 0.2 %, 坡长分别为 23, 46, 91, 813 m 的径流试验小区,其研究结果表明,当坡度小于 0.5 % 时,坡长因子指数为 0.15^[17]。Foster 等人从侵蚀过程出发,用数学方法推导了不规则坡形土壤分离为限制因素时坡长因子的计算方法^[18]。

Meyer 等从土壤侵蚀的基本理论出发,把土壤侵蚀过程分为细沟侵蚀和细沟间侵蚀^[19]。Foster 等在此基础上提出坡长因子指数同细沟侵蚀量与细沟间侵蚀量的比值 有关^[20],其表达式为

$$m = \frac{1}{+1} \quad (3)$$

式中: ——细沟侵蚀量与细沟间侵蚀量的比值。该比值越大坡长因子指数也越大。McCool 等在上述研究的基础上对 USLE 中坡长因子指数进行了修订^[13]。他推导出了标准小区上细沟侵蚀和细沟间侵蚀相等时参数 的计算公式:

$$= (\sin / 0.0896) / (3.0 \sin^{0.8} + 0.56) \quad (4)$$

式中: ——细沟侵蚀与细沟间侵蚀的比值; ——坡度(°)。细沟侵蚀与细沟间侵蚀之比较大和较小情况下的 计算方法分别如下:

$$= 2(\sin / 0.0896) / (3.0 \sin^{0.8} + 0.56) \quad (5)$$

$$= 0.5(\sin / 0.0896) / (3.0 \sin^{0.8} + 0.56) \quad (6)$$

对于细沟侵蚀为主的冻融地区,McCool 等建议坡长因子指数取 0.5;而对于以细沟间侵蚀为主的冻融地区, 值采用式(6)计算,并由此计算得到坡长因子指数。McCool 等的

研究成果在 RUSLE 中得到应用^[14]。

正如前面所说,USLE 中的公式都是根据坡长大于 4 m 的野外径流小区资料和人工降雨资料分析得到的,其方程形式都是在细沟侵蚀和细沟间侵蚀概念的基础上建立的^[21]。因此 USLE 中的坡长公式不适宜用于坡长小于 4 m 的短坡。为了找到短坡下坡长对土壤侵蚀的影响规律,Evelt 和 Dutt 研究了 3 m 和 6 m 坡长的土壤侵蚀差异。研究结果表明,在这两种坡长下,单位面积上的土壤侵蚀量仅有非常小的差异^[22]。Meyer 与 Harmon 通过室内模拟试验,研究了不同雨强下,不同土壤类型下边坡坡长对土壤侵蚀的影响^[23]。他采取的坡长范围为 150 ~ 600 mm,试验坡度为 5% ~ 30%。试验结果表明:有细沟产生时,边坡长度对侵蚀有明显的影响,坡长增加,侵蚀量也增加;没有细沟产生时,坡长对侵蚀没有明显影响。Kinnell 又通过野外和室内降雨试验研究了边坡坡长对水流含沙量的影响,坡长范围也为 150 ~ 600 mm,试验坡度为 5% ~ 30%。研究结果表明:如果边坡坡度较大,即使没有细沟发生的情况下,其土壤侵蚀率也随坡长的增加而增加^[24]。McCool 假定在短坡情况下,坡长对细沟间侵蚀没有影响,而建议采用恒定坡长 4 m。在 RUSLE 中,当坡长小于 4.6 m 时,采用恒定坡长 4.6 m^[14]。短坡下坡长对细沟间侵蚀的影响的研究为 WEPP 模型的建立和使用提供了一定理论基础。

坡长和径流的关系十分复杂,在这方面前人也做过不少研究,有研究者认为径流量随着坡长的增加逐渐减少;而另一种观点认为,陡坡条件下(坡度为 48%),随着坡长的增加径流没有明显变化。另外,加拿大学者 Bryan 的研究结果表明径流与坡长的关系并不是简单的线性关系,它受结皮及细沟发育、沟头切割的影响^[25]。

我国学者对坡长因子也做了很多研究。由于所用资料及研究方法的不同,其结果存在一些差异。B. Y. Liu 等为分析陡坡地的坡长因子计算公式,采用了黄土高原安塞(36°56'N, 109°16'E)、子洲(37°31'N, 109°47'E)和绥德(37°29'N, 110°08'E)3个水土保持实验站的天然降雨径流泥沙观测资料进行统计分析。这三个站点坡度 30%,除坡长不同外,小区的其它条件都相同。为了将这些不同地区的数据在一起进行比较分析,消除土壤侵蚀的区域差异。他将这些地方的土壤侵蚀量都标准化到 USLE 和 RUSLE 的标准小区坡长 22.13 m 坡长上。然后将所选不同试验站的标准化的所有土壤侵蚀量与坡长进行回归,得到方程^[7] ($r^2 = 0.95$):

$$L = \left(\frac{\quad}{22.13} \right)^{0.44} \quad (7)$$

从而得出黄土高原地区陡坡地平均坡长指数为 0.44^[26]。该研究结果与 McCool 等(1989, 1993)的研究结果非常接近。但根据 RUSLE 中的坡长因子公式的计算值与实测值相差较大。因此,他建议在陡坡上,坡长因子指数采用 USLE 中的 0.5。

孔亚平等对土壤可蚀性因子 K 随坡长的变化规律进行了研究。通过运用室内模拟试验、野外模拟降雨试验资料和野外观测小区资料,计算不同坡长小区的 K 值,进而进行比较分析。研究结果表明:坡长较短时,土壤可蚀性随坡长的增加而增大,

且变化明显;坡长大于 15 m 时, K 值相对趋于稳定^[27]。

关于坡长对产流的影响,我国学者也进行了较为深入的研究。朱显谟指出径流沿坡长退化^[28];黎四龙、蔡强国等研究了不同降雨强度下坡长对径流的影响,提出雨强较小时,径流量不能用坡长与雨强的乘积代替,雨强较大时可以用坡长与降雨强度的乘积代替径流量的结论^[29]。

2.4 关于坡长对侵蚀过程的影响研究

以上研究为正确评价坡长因子作出了很大的贡献,但是要进行更为精确、通用的土壤侵蚀预报,必须建立土壤侵蚀的过程模型,这就需要研究坡长对侵蚀过程的影响规律。

土壤侵蚀过程的研究于 20 世纪 40 年代开始,Ellison 将水蚀过程分为 4 个子过程,即雨滴侵蚀过程、径流侵蚀过程、雨滴搬运过程和径流搬运过程。他最早提出径流中含沙量对侵蚀过程产生的重要影响^[30-32]。Foster G R 等则根据坡面侵蚀原理和泥沙输移的连续性将土壤侵蚀过程分为两部分:细沟侵蚀和细沟间侵蚀,细沟侵蚀率用降雨特征值 (EI_{30})、坡长、坡度和细沟间土壤可蚀性进行定量描述,细沟间侵蚀率则用水流特征、地形和细沟土壤可蚀性表征^[33-34]。这些研究成果为著名的过程模型 WEPP 的建立提供了理论基础。1995 年美国土壤侵蚀的过程模型 WEPP 产生。过程模型的出现和发展推动了对土壤侵蚀过程研究的不断深入,同时土壤侵蚀过程的研究越来越受到重视,并成为当今土壤侵蚀研究的新趋势。这种背景下,对于坡长的研究也已不限于坡长对侵蚀总量的影响。关于坡长对侵蚀过程的影响的研究主要有:Gilley 等用人工降雨的方法研究了坡长对细沟间侵蚀的影响,试验结果表明,细沟间侵蚀条件下,坡长对侵蚀产生作用的原因是坡面径流深度。随着坡长的增加,一方面由于径流的增加坡面输沙能力增大,另一方面由于坡面径流深度的增加,雨滴击溅作用减弱,因而坡面泥沙分离速率随着坡长的增加而减小。在一定坡长下,坡面输沙能力与泥沙分离速率达到相等。这时,坡面细沟间侵蚀量达到最大,也最容易发生细沟侵蚀。1%, 6% 和 12% 坡度下,该坡长分别为 17, 11, 6 m^[35]。Govers 研究了细沟侵蚀和细沟间侵蚀条件下的坡长因子指数,研究表明在两种情况下,坡长因子指数变化很大。此外,他还利用比利时中部 4 a 的野外资料研究了细沟发生的临界坡长为 40 m,并指出细沟发生的条件下,用 USLE 进行流失量的计算时坡长因子指数应该采取 0.75^[36]。Lan D. Moore 和 Gordon J. Burch 运用单位水流功率理论对侵蚀过程加以描述,并且推导出了一个具有严格物理意义的坡长因子公式,USLE 中坡长因子公式和该公式对比,结果表明二者相等。这也说明 USLE 中坡长因子公式是可靠的^[37]。R. B. Bryan 通过室内模拟降雨试验研究了坡长对径流、入渗和细沟发育过程的影响。研究结果表明,不同坡长下径流过程受结皮、沟头的位置及大小等因素的影响很大^[25]。P. I. A. Kinnell 对短坡条件下(150 ~ 600 mm)坡长对含沙量的影响作了研究。研究指出,径流含沙量随着坡长的增加而增加,尤其是当坡度超过 10% 时,这种增加的趋势就更为明显。同时,在较陡的坡度条件下,随着坡长的增加,没有细沟产生也同样可以有很大的径流含沙量^[24]。这些研究

结果为制定合理的农作措施提供了理论依据。

随着土壤侵蚀研究的深入以及我国科学技术的发展,在我国土壤侵蚀过程的研究也已较为广泛地开展。许多学者通过人工降雨试验研究了坡地特征对侵蚀过程的影响规律,取得了丰富的成果。张科利等对细沟侵蚀发生的水力条件作了研究,给出了细沟发生时的一些临界水力参数。随着对土壤侵蚀过程研究的不断深入,我国一些学者也进行了一些有关坡长对侵蚀产沙过程的研究^[38]。蔡强国通过对陕西北部子洲径流站坡长分别为 20、40、60 m 径流小区实际观测资料的分析,揭示出了坡长在黄土高原丘陵沟壑区的坡面侵蚀产沙过程中的一些规律和侵蚀机理^[9]。后来他又用野外模拟降雨试验的方法研究了坡长对坡耕地侵蚀产沙过程的影响,拟合了不同坡长下径流和产沙过程线,并揭示了细沟发生的临界时间、细沟发育过程及强烈的细沟侵蚀产沙规律^[39]。

2.5 坡面侵蚀输沙能力沿程分布研究

如前面所述建立土壤侵蚀的过程模型是对水土流失进行精确预报的有效手段。而对土壤侵蚀过程的研究,是建立过程模型的基础和前提。坡长变化影响和决定着坡面水流及泥沙的运移规律,以及侵蚀形态的演化过程。要建立土壤侵蚀过程模型就必须对坡面侵蚀输沙的沿程分布规律,以及不同坡长下的侵蚀形态特征加以深入的研究。

关于坡面侵蚀输沙沿坡长的变化规律,国内外已进行了较为深入的研究。在国外,A. W. Zingg, Wischimer 和 D. D. Smith 等人通过大量的研究表明,侵蚀量随坡长的增加呈幂指数增加。但其指数大小表现为一定的复杂性^[2,11,16]。R. B. Bryan 通过室内模拟降雨试验研究了坡长对径流、入渗和细沟发育过程的影响^[25]。在我国,20 世纪 50 年代就有学者根据径流小区资料分析研究这一问题,认为坡长与侵蚀有时成正比,有时成反比,主要视降雨特征而异。罗来兴根据实际调查资料分析得出,沿坡长的侵蚀特点呈强弱交替变化^[6]。华绍祖利用天水、绥德等地径流资料求得侵蚀与坡长的 0.15~0.5 次幂成正比^[8]。蔡强国等对于坡长的研究认为侵蚀沿坡长先是增加,超过一定坡长后逐渐减少^[19,39]。陈浩通过分析野外降雨资料和室内模拟试验研究了上方来水来沙对坡面侵蚀过程的影响,研究表明:在梁峁地区的不同地貌部位和沟坡区,产沙量与降雨特征指标、上坡来水量及降雨特征指标和上坡来水量的乘积呈正比。当降雨特征指标一定时,产沙量随上坡来水量呈线性增加。但他没有考虑含沙量的影响^[40]。郑粉莉也对黄土坡面不同侵蚀带的侵蚀产沙关系以及上方来水、来沙对侵蚀的影响作了研究,指出上方来水来沙对侵蚀的影响取决于上方来水量及其含沙量、降雨特征和下垫面侵蚀状况^[41]。另外,她还利用室内双土槽径流小区系统,研究了陡坡(20°)条件下上方来水来沙对坡下侵蚀及侵蚀-搬运-沉积过程的影响^[34]。

2.6 GIS 手段提取坡长的方法

目前,国内外许多学者对采用 GIS 提取坡长的方法开展了研究。由于坡长对土壤侵蚀的影响多以坡长因子的形式表现在土壤侵蚀模型中,这些研究既有实际坡长的计算也有坡长因子的计算。对实际坡长的计算研究有:Hickey 等在

流域水文分析方法基础上提出了非累计流量的直接计算方法(non-cumulative slope length, NCSL),计算每个格网单元到起点的最大累计水流长度来作为该格网到坡顶的坡长^[42-43]。国内学者汤国安等在介绍 ArcView 空间分析应用时提出一种快速近似计算坡长的方法,在假定坡面水流方向与山脊线垂直基础上,计算每个点沿垂直方向到山脊线的水平距离作为该点坡长的近似值^[44]。实际坡长的计算是坡长因子计算的基础,而且实际坡长值不仅可用于土壤侵蚀研究,还能服务于水文分析等其它与地形因子相关的研究,因而其计算精度具有重要意义。对坡长因子的研究包括:Desmet 和 Govers 等提出基于累计流量的单位汇水面积算法,用单位等高线长度的上游汇水面积代替坡面长度,在此基础上对 USLE 中 L 因子进行改进,使之能够反映二维水流特征^[45]。此外还有 Mitsova 等提出的基于水流强度指数的间接算法,通过构建输沙能力指标间接计算 USLE 中地形因子(LS)^[46]。这两种方法分别可以与 GIS 软件 IDRISI 和 GRASS 结合,基于 DEM 数据进行坡长因子的计算。

3 问题和展望

经过了几十年的研究,国内外在坡长对土壤侵蚀的影响方面的研究取得了一定的成果,但是,由于受研究方法、试验设备等因素的影响,还存在很多问题。总结一下大致有以下几个方面:

(1) 国内外在坡长因子评价方面已作了大量研究,但对长坡长及短坡长坡面研究不够深入,缺乏成熟的评价方法。

(2) 对坡长的研究多是从土壤流失总量上研究坡长对土壤侵蚀的影响,而关于坡长对产流产沙过程影响的研究还很少。已有的人工模拟降雨研究,各坡长小区的降雨前期表土状况(如土壤含水量、地表抗剪强度、土壤容重、坡度等)很难控制一致,因而这些研究多是在平均状态下进行的,得出的结论容易受坡长以外其它因素的影响。

(3) 已有的研究成果缺乏坡长对土壤可蚀性影响的考虑。土壤可蚀性 K 值是土壤侵蚀预报中的必要参数,也是评价土壤抗蚀能力的主要指标。人工模拟试验是研究土壤可蚀性的很好的途径之一,在使用这种方法研究土壤可蚀性时,试验小区的大小如何确定,采用微型小区是否合理等诸如此类的问题还尚缺乏理论基础。这就需要进行坡长对土壤可蚀性 K 值的影响研究。

由此看来,在坡长对侵蚀产流产沙过程的影响方面,还有大量的工作摆在科研工作者面前。一方面应该深入研究坡长对侵蚀产沙过程的影响规律,为土壤侵蚀过程模型的建立提供和积累一些资料。另一方面,研究坡长对细沟发育的影响规律,为土壤侵蚀预报提供一些参数。同时,研究不同坡长下土壤可蚀性值的变化规律,为土壤可蚀性的模拟研究提供一定的科学依据。

参考文献:

- [1] Cook H L. The nature and controlling variables of the water erosion process[J]. Soil Science Society of American Proceeding, 1936, 1: 60-64.

- [2] Wischmerier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning[M]. US-DA. Agricultural Handbook, 1978:537.
- [3] Foster G R, Wischmerier W H. Evaluating irregular slopes for soil loss prediction[J]. Transactions of ASAE, 1974, 17(2):305-309.
- [4] 汤国安, 刘学军, 闫国年. 数字高程模型及地学分析的原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2005:224.
- [5] 陈永宗, 景可, 等. 黄土高原现代侵蚀与治理[M], 北京: 科学出版社, 1988.
- [6] 罗来兴. 甘肃华亭粮食沟坡侵蚀量的野外观测及其初步分析结果[J]. 地理学资料, 1958(2):111-118.
- [7] 郑粉莉, 唐克丽, 周佩华. 坡耕地细沟侵蚀影响因素的研究[J]. 土壤学报, 1989, 26(2):109-116.
- [8] 华绍祖. 黄河中游实验小流域的土壤侵蚀及水土保持效益[C]// 国际土壤学学术讨论会论文, 1982.
- [9] 蔡强国. 坡长在坡面侵蚀产沙过程中的作用[J]. 泥沙研究, 1989(4):84-91.
- [10] 琚彤军, 田均良, 刘普灵, 等. REE 示踪条带施放法研究坡面土壤侵蚀垂直分布规律[J]. 核农学报, 1999, 13(6):347-352.
- [11] Zingg A W. Degree and Length of Land Slope as It Affects Soil Loss in Runoff[J]. Agricultural Engineering, 1940, 21(2):59-64.
- [12] Wischmerier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of Rocky Mountains [M]. USDA. Agricultural Handbook, 1965:282.
- [13] McCool D K, Foster G R, Mutchler C K, et al. Revised Slope Length Factor for the Universal Soil Loss Equation[J]. Transactions of ASAE, 1989, 32(5):1571-1576.
- [14] Renard K G, Foster G R, Weesies G A, et al. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) [M]. USDA, Agriculture Handbook, 1997:703.
- [15] Musgrave G W, Whitt D M. Evolution of factors in water erosion: a first approximation[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1947, 2(3):133-138.
- [16] Wischmerier W H, Smith D D, Uhland R E. Evaluation of factors in the soil-loss equation[J]. Agricultural Engineering, 1958, 39(8):458-462.
- [17] Mutchler C K, Greer J D. Effect of slope length on erosion from low slopes[J]. Transactions of ASAE, 1980, 23(4):866-869.
- [18] Foster G R, Wischmerier W H. Evaluating irregular slopes for soil loss prediction[J]. Transactions of ASAE, 1974:305-309.
- [19] Meyer L D, KeCoursey D G, Romkens M J M. Soil erosion concepts and misconceptions[C]// In Proceedings of the Third inter-Agency Sedimentation Conference. 2. 1 - 2. 12. Sedimentation Committee, Water Resources Council. 1976.
- [20] Foster G R, Meyer L D, Onstad C A. A Runoff Erosivity Factor and Variable Slope Length Exponents for Soil Loss Estimates[J]. Transactions of ASAE, 1977, 20(4):683-687.
- [21] McCool D K, Brown L C, Foster G R, et al. Revised Slope Steepness Factor for the Universal Soil Loss Equation[J]. Transactions of ASAE, 1987, 30(5):1387-1396.
- [22] Ewert S R, Dutt G R. Effect of Slope and Rainfall Intensity on Erosion from Sodium Dispersed Compacted Earth Microcatchments[J]. Soil Science Society of America Journal, 1985, 49(1):202-206.
- [23] Meyer L D, Harmon W C. How Row-Sideslope Length and Steepness Affect Sideslope Erosion[J]. Transactions of ASAE, 1989, 32(2):639-644.
- [24] Kinnell P I A. The Effect of Slope Length on Sediment Concentrations Associated with Side-Slope Erosion[J]. Soil Science Society of America Journal, 2000, 64:1004-1008.
- [25] Bryan B R, Poesen J. Laboratory Experiments on the Influence of Slope Length on Runoff, Percolation, and Rill Development [J]. Earth Surface Processes and Landforms, 1989, 14:211-231.
- [26] Liu B Y, Nearing M A, Shi P J, et al. Slope Length Effects on Soil Loss for Steep Slopes, Soil Science Society of America Journal. 2000, 64(5):1759-1763.
- [27] 孔亚平, 张科利, 杨红丽. 土壤可蚀性模拟研究中的坡长选定问题[J]. 地理科学, 2005, 25(3):374-378.
- [28] 朱显谟. 黄土高原水蚀的主要类型及其有关因素[J]. 水土保持通报, 1981, 1(3):13-18.
- [29] 黎四龙, 蔡强国, 吴淑安, 等. 坡长对径流及侵蚀量的影响[J]. 干旱区资源与环境, 1998, 12(1):29-35.
- [30] Ellison W D. Soil erosion studies-Part I[J]. Agricultural Engineering, 1947, 28:145-146.
- [31] Ellison W D, Ellison O T. Soil erosion studies: Part VI: Soil detachment by surface flow[J]. Agricultural Engineering, 1947, 28:402-408.
- [32] Ellison W D, Ellison O T. Soil erosion studies-Part VII: Soil transportation by surface flow[J]. Agricultural Engineering, 1947, 28:442-444.
- [33] Foster G R, Huggins L F, Meyer L D. A laboratory study of hydraulics: . Velocity relationship; . shear stress relationships[J]. Transactions of ASAE, 1984, 37(3):790-797.

坡度 25° 以下。强度、极强度、剧烈侵蚀主要分布在中覆盖度的草地、有林地和疏林地上,这与辽西地区林地、草地覆盖度低、破坏严重有关,因此减少辽西地区土壤侵蚀的有效措施是增加林地、草地的覆盖度,减少坡耕地的分布。

4 结 论

(1) 辽西地区的土壤侵蚀强度等级以轻度为主,微度侵蚀次之,中度侵蚀第三,强度侵蚀、极强度侵蚀和剧烈侵蚀均有发生,但所占百分比不大。

(2) 朝阳市是辽西地区土壤侵蚀最严重的地区,除微度侵蚀外,在其他各等级中所占比例均最大。葫芦岛市在中度以上等级中所占的比例仅次于朝阳市,也是土壤侵蚀比较严重的地区。锦州市和阜新市土壤侵蚀状况一般。

(3) 辽西地区的微度、轻度、中度侵蚀主要分布在旱地上,强度、极强度、剧烈侵蚀主要分布在中覆盖度的草地、有林地和疏林地上,增加林地、草地的覆盖度,减少坡耕地的分布是减少辽西地区土壤侵蚀的主要措施。

参考文献:

- [1] Wei Wei, Chen Liding, Fu Bojie. The effect of land uses and rainfall regimes on runoff and soil erosion in the semi-arid loess hilly area, China[J]. Journal of Hydrology, 2007, 335(3): 247-258.
- [2] 李嘉俊, 许有鹏, 桑银江, 等. GIS 支持下的土壤侵蚀动态变化研究: 浙江一例[J]. 南京大学学报: 自然科学版, 2005, 41(3): 297-303.
- [3] 潘建平, 龚健雅, 李长风. 土壤侵蚀模数研究的现状和 GIS、RS 应用[J]. 地质灾害与环境保护, 2005, 16(1): 89-93.
- [4] 刘光. 土壤侵蚀模型研究进展[J]. 水土保持研究, 2003, 10(3): 73-76.
- [5] 杨娟, 葛剑平, 李庆斌. 基于 GIS 和 USLE 的卧龙地区小流域土壤侵蚀预报[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2006, 46(9): 1526-1539.
- [6] 黄金良, 洪华生, 杜鹏飞, 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.
- [7] 何兴元, 湖之滨, 李月辉, 等. GIS 支持下的岷江上游土壤侵蚀动态研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(12): 2271-2278.
- [8] 刘宝元, 张科利, 焦菊英. 土壤可蚀性及其在侵蚀预报中的应用[J]. 自然资源学报, 1999, 14(4): 345-350.
- [9] 张岩, 刘宝元, 史培军, 等. 黄土高原土壤侵蚀作物覆盖因子计算[J]. 生态学报, 2001, 21(7): 1050-1056.
- [10] 蔡崇法, 丁树文, 史志华, 等. 应用 USLE 模型与地理信息系统 IDRISI 预测小流域土壤侵蚀量的研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(2): 19-24.
- [11] Fen Li Zheng, Chi Hua Huang, L. Darrell Nortorn, Vertical Hydraulic Gradient and Run-On Water and Sediment Effects on Erosion Processes and Sediment Regimes[J]. Soil Science Society of America Journal, 2000, 64: 4-11.
- [12] Gilley J E, Woolhiser D A, McWhorter D B. Interrill soil erosion: part 1. testing and use of model equations[J]. Transactions of the ASAE, 1985, 28(1): 154-159.
- [13] Govers G. Spatial and temporal variability in rill development processes at the Huldenberg experimental site[J]. Catena Supplement, 1987, 8: 17-34.
- [14] Moore L D, Burch G J. Physical Basis of the length-slope Factor in the Universal Soil Loss Equation [J]. Soil Science Society of America Journal, 1986, 50(5): 1294-1298.
- [15] 张科利, 秋吉康宏. 坡面细沟侵蚀发生的临界水利条件研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(1): 41-46.
- [16] 蔡强国, 等. 黄土坡耕地上坡长对径流侵蚀产沙过程的影响, 水土流失规律与坡地改良利用[M]. 北京: 环境科学出版社, 1998.
- [17] 陈浩. 降雨特征和上坡来水对产沙的综合影响[J]. 水土保持学报, 1992, 6(2): 17-23.
- [18] 郑粉莉. 发生细沟侵蚀的临界坡长与坡度[J]. 中国水土保持, 1989(8): 23-24.
- [19] Hickey R A, Smith P J, Jankowski. Slope length calculations from a DEM within ARC/INFO GRID[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 1994, 18(5): 365-380.
- [20] Hickey R A. Slope Angle and Slope Length Solutions for GIS[J]. Cartography, 2000, 29(1): 1-8.
- [21] 汤国安, 陈正江, 赵牡丹, 等. ArcView 地理信息系统空间分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [22] Desmet P, Govers G. GIS-based simulation of erosion and deposition patterns in an agricultural landscape: a comparison of model results with soil map information [J]. Catena, 1995, 25: 389-401.
- [23] Mitsova H. Surfaces and Modeling [J]. Grassclippings, 1993, 7(1): 18-19.