

坡度影响土壤侵蚀研究进展*

李凤英, 何小武, 周春火

(江西农业大学 国土资源与环境学院, 南昌 330045)

摘 要:坡度是影响土壤侵蚀的重要因子,也是土壤侵蚀研究的重要内容。目前的研究成果中,坡度对土壤侵蚀的影响研究主要围绕坡度对侵蚀强度的影响以及临界坡度 2 方面。在系统回顾坡度影响土壤侵蚀研究历史的基础上,介绍了国内外坡度研究的主要成就,分析了现有研究中存在的不足,并提出了前景展望。

关键词:土壤侵蚀; 强度; 坡度

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2008)06-0229-03

Advances in Researches on Slope Gradient Factor in Soil Erosion

LI Feng-ying, HE Xiao-wu, ZHOU Chun-huo

(College of Land Resources and Environment, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

Abstract: Slope gradient is the main factor affecting soil erosion. Researches on slope gradient can be divided into two categories: effects of slope gradient and critical slope degree on soil erosion intensity. Based on reviewing research history of slope gradient factor on soil erosion, the main achievements and the existing limitation on effects of slope gradient on soil erosion were presented, and directions of developing researches on effects of slope gradient on soil erosion was given.

Key words: soil erosion; intensity; slope gradient

土壤侵蚀是存在于世界的一种自然现象。它不仅降低土地生产力,减少耕地,严重破坏生态环境,其实也是在与人类“争夺”土地资源和其它自然资源,成为当今世界资源和环境问题的重点。因此,一个多世纪以来,国内外学者对土壤侵蚀进行了大量的研究,并取得了丰硕成果。其中,坡度是影响土壤侵蚀的重要因子,历来是土壤侵蚀研究的重要内容。

1 坡度对土壤侵蚀强度的影响

坡度是地貌形态特征的重要因子之一,在自然界中坡度的变化极大。国际地理学会地貌调查与制图委员会将坡度分为 7 个级别:平原至微倾斜平原($< 2^\circ$),缓斜坡($2 \sim 5^\circ$),斜坡($5 \sim 15^\circ$),陡坡($15 \sim 25^\circ$),急坡($25 \sim 35^\circ$),急陡坡($35 \sim 55^\circ$),垂直坡($> 55^\circ$)^[1]。

Zingg^[2]是最早定量研究侵蚀与坡度关系的研究者之一,他利用 Kansas 和 Alabam 的模拟降雨资料分析得出,土壤侵蚀量与坡度的 1.4 次方成正比。Smith and Wischmeier^[3]用维斯康新州 La Crosse 坡度为 3%, 8%, 13% 和 18% 的天然径流小区观测资料,分析了影响面蚀和细沟侵蚀的因子后,提出了土壤侵蚀与坡度的二次多项式相关关系,并在土壤侵蚀预报模型——通用土壤流失方程(Universal Soil Loss Equation, USLE)第一版中得到应用^[4]。他们随后的研究又将二者关系改为坡度正弦值的二次多项式,并应用于 USLE 第二版^[5]。

Foster^[6]的研究认为,USLE 中的坡度关系式在长坡长(> 4 m)条件下适用,在短坡条件下则并不适用,并用 Lat-tanzi 等(1974)在 0.61 m 坡长上的人工降雨模拟试验资料,分析得出坡长小于 4 m 的短坡下的坡度因子计算公式。

McCool et al.^[7]也对 La Crosse 的资料进行了分析。他发现:当不区分顺坡耕作和等高耕作的数据资料时,土壤侵蚀与坡度的关系基本与 USLE 第一版中相同;当将这两个资料系列区分开时,则存在不同的土壤侵蚀与坡度关系式。他们根据收集到的 20 个地点的资料(最大坡度为 30%)分析发现,土壤侵蚀量随坡度的变化在相对较陡坡上比在较缓坡上明显,并且存在一个转折坡度。根据 14 个数据系列分析得到这个转折坡度近似为 8%。土壤侵蚀与坡度之间的关系式也因这个转折坡度的存在而在缓坡和陡坡上有所不同,应该采用不同的计算方式。他们还用 Singer 和 Blackard(1982),Evet 和 Dutt(1985)以及 Rubio - Montoya 和 Brown(1984)的试验资料对 Foster 的短坡公式进行了验证,结果表明该公式是合理的。这一研究成果在修正的通用土壤流失方程(Revised Universal Soil Loss Equation, RUSLE)中得到应用^[8]。

在我国,关于坡度与土壤侵蚀量之间的关系,同样进行了大量的研究,并根据资料,建立了许多经验关系式^[9-14]。张宪奎等^[9]以坡长为 20 m、宽 2 m、坡度 9%、无植被、无水土保持措施的径流小区为标准小区,用宾县和克山县试验区

* 收稿日期:2008-11-04

基金项目:国家自然科学基金项目资助(40771130)

作者简介:李凤英(1973-),女,讲师,主要从事环境生态与水土保持研究。E-mail: lifyhe2002@163.com

通信作者:何小武(1970-),男,博士,副教授,主要从事土壤侵蚀与水土保持研究。E-mail: he-xw@163.com

的有关资料分析得出,坡度因子与坡度(百分度)的 1.3 次方呈正比关系;周伏建等^[10]应用 USLE 于福建土壤侵蚀预报时,采用了坡度因子与坡度(角度)的 0.78 次方正比关系式;在江忠善等^[11]的坡面模型里,土壤侵蚀量与坡度(角度)的 0.88 次方呈正比关系;林素兰^[12]以 6°空白试验区为标准小区,用辽宁西丰的小区资料分析得出土壤侵蚀与坡度正切值的二次多项式关系;杨子生^[13]则将坡长 20 m、宽 2 m、坡度 5°、无植被、无任何水土保持措施的径流小区为标准小区,根据云南昭通市乐居村和东川市播卡村 18 个小区的资料,分析得出坡度因子与坡度(角度)的 1.32 次方呈正比关系。他们研究所得到的坡度因子指数存在一定的差异,这主要由研究者标准小区的选择和研究方法的差异所引起的。刘宝元等^[14]考虑到不同地区土壤侵蚀的差异,将不同地区的土壤侵蚀量进行了标准化处理,得出 10°以上的坡度因子与坡度的正弦值呈线性正相关。该公式消除了区域间的土壤侵蚀差异,而仅是坡度对土壤侵蚀的影响,可用于不同地区,因此应用于中国土壤侵蚀经验模型中(Chinese Soil Loss Equation, CSLE)^[15]。国内这些研究与国外的不同之处在于坡度适用范围的不同。由于我国存在大量陡坡(15°~25°范围)耕地,研究坡度范围也就扩展到陡坡条件下;国外的研究则大多集在陡坡以下(<15°范围)。这一研究范围的差异,致使坡度公式在外推至范围以外时,出现了坡度因子影响土壤侵蚀程度较大差别的结果(图 1)。图 1 显示出,在陡坡以下范围时(<15°,即<27°)时坡度因子的影响程度基本一致,而当坡度>15°后,坡度因子的取值出现了较大差别,其中 CSLE 的坡度因子取值与 RUSLE 更为接近而略大于后者。

表 1 临界坡度试验值表

作者	供试地点或土壤	试验坡度/(°)	临界坡度/(°)
Foster and Martin	黏壤土	18.3, 26.6, 45	-
陈法扬	第四纪红粘土红壤	0.3, 7.13, 17, 20, 24.5, 27, 30	25
史景汉	绥德辛店沟	8, 14, 28, 34	28
刘志和江忠善	安塞水土保持综合试验站黄土母质性黄绵土	10, 15, 20, 25, 30, 35	30.4, 37.9
张光科和方铎	湖北省某径流实验站(单场降雨结果)	21, 21.4, 24.1, 25.4, 31.3, 32.6	25.8
吴普特	安塞坡耕地表层黄绵土	10, 15, 20, 25, 30	22~30
王秀英等	绥德辛店沟	8.57, 14.68, 28.37, 28.68, 29.05, 32.78, 34.33	24.4
胡世雄和新长兴	西峰水土保持实验站	15, 20, 25, 30, 35	22~26
赵晓光等	安塞水土保持试验站黄绵土	5, 10, 15, 20, 25, 28	28

此外,还有学者从理论上分析了临界坡度存在的可能性。曹文洪^[25]经过理论分析认为,土壤侵蚀存在临界坡度,临界值应该出现在 40°以上,但不是常数,而是与坡面径流深、泥沙粒径以及植被等因素存在一定关系。靳长兴^[26]从坡面流能量理论出发,对临界坡度进行了研究。结果表明,在流量一定时,临界坡度为 24°~29°,大小视坡面水深与大于等于 84%的坡面颗粒的粒径而定。李全胜和王兆骞^[27]认为,临界坡度与降雨倾角、风向等有关,对于垂直降雨,理想均质坡面侵蚀的临界坡度为 45°,迎风坡将大于 45°,并随降雨倾角的增大而增大;在背风坡将小于 45°,并随降雨倾角的增大而减小。张光科和方铎^[20]理论推导出坡面非均匀沙的径流侵蚀临界坡度与非均匀沙的水下平均休止角成线性正相关。罗斌等^[28]从坡面流拖曳力、流速、能量及挟沙力 4

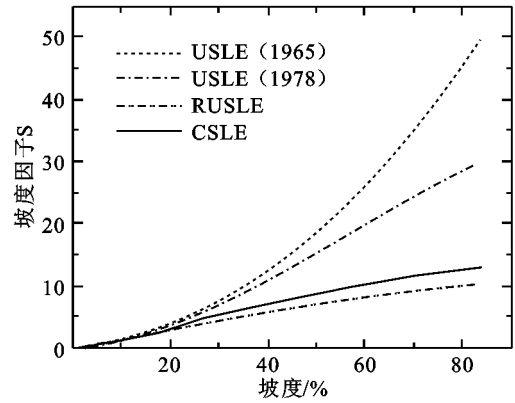


图 1 USLE, RUSLE, CSLE 中坡度因子 S 的取值比较

2 临界坡度研究

上述研究坡度范围均在 25°范围以内,其结果表明,土壤侵蚀随坡度的增加而增加。当坡度大于 25°时,许多研究者^[16-24]的试验结果同时认为,坡面水蚀的侵蚀量并不会随坡度的增大而无限限制的加大,而是存在一个临界坡度。当坡度小于临界坡度时,土壤侵蚀量随坡度增加而增加;当坡度达到临界坡度时,土壤侵蚀量达到最大值;坡度继续增大时,侵蚀量反而减少。

临界坡度试验研究中,有人工模拟降雨试验^[17, 21, 23],也有天然降雨观测资料^[18-20, 22, 24];小区坡长大的有 10 m 以上^[18],最小的仅为 0.866 m^[17];试验最大坡度为 35°,试验结果除了刘志和江忠善^[19]外,其余得出临界坡度均在 30°以下(表 1)。

个方面分析认为,临界坡度的影响因素包括土壤粒径大小、土的内摩擦角、土壤颗粒在水中的沉速、入渗状况、地面糙率、坡面径流深和流速以及水流搬运土粒的效率等,并得出南方花岗岩地区坡面侵蚀的临界坡度为 35°~43°。刘青泉等^[29]从运动波理论基础分析得出,临界坡度随颗粒粒径、容重、坡面糙率、径流长度、净雨量及土壤摩擦系数等因素变化,其变化范围为 41.5°~50°。

上述试验研究和理论分析的结果相差较大,试验结果表明临界坡度在 30°以下,理论分析则大多认为临界值在 30°以上。这是由于理论分析是考虑理想状态较多,和实际情况存在一定差别。就试验研究而言,各学者得出的结果也有较大差别,这是由于试验小区大小和试验坡度等条件差异和试验方法差异所导致。

3 存在问题及研究展望

众多的研究成果表明,坡度对土壤侵蚀的影响巨大。总体而言,在陡坡以下范围内,土壤侵蚀强度随坡度的增加而递增。然而,随着研究的深入发现,现有的成果还不能完全说明坡度影响土壤侵蚀的程度。首先,国外学者得出在较缓坡范围内,短坡长($<4\text{ m}$)条件下坡度对侵蚀的影响不同于长坡长的坡度因子计算公式。这一公式在陡坡及以上条件下是否实用,还需要更多的研究成果证实。因为从目前研究成果看,至少长坡条件下坡度对土壤侵蚀的影响在陡坡范围内是不同于缓坡的。其次,在对临界坡度问题的研究中,尽管采取多种研究方法手段,各学者得出的结论都不尽相同。究其原因,最主要是研究的地区、对象及其它相应边界条件的差异造成的。因此,如何消除地区、土壤差异以及其它试验条件影响,建立一个标准化平台,使得各学者的研究具有可比性,是目前研究中亟待解决的问题。再次,现有的土壤侵蚀与坡度关系研究中,大多局限在陡坡以下($<25^\circ$)坡面,对该坡度以上坡面的土壤侵蚀研究甚少。国外的研究主要集中在缓坡及以下坡度范围,国内的研究扩展到了陡坡范围。开展陡坡以上条件下坡度对侵蚀的影响,将可以诠释全坡度范围内坡度对侵蚀程度的影响规律,甚至对临界坡度问题也可能迎刃而解,从而可以更加深入地认识土壤侵蚀这一自然现象,为土壤侵蚀预测、水土保持规划、环境影响与评价及灾害治理等提供科学依据。

参考文献:

- [1] 刘元保,唐克丽.国内外坡度分级和王东沟试验区的坡度组成[J].水土保持通报,1987,7(3):59-65.
- [2] Zingg A W. Degree and length of land slope as it affects soil loss in runoff[J]. Agricultural Engineering, 1940,21(2):59-64.
- [3] Smith D D, Wischmeier W H. Factors affecting sheet and rill erosion[J]. Trans. Amer. Geophys. Union, 1957,38(6):889-896.
- [4] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains [R]. USDA Agricultural handbook,1965.
- [5] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall-erosion losses[R]. USDA handbook,1978.
- [6] Foster G R. Modeling the erosion process[C]// Haan C T, et al. In Hydrologic Modeling of Small Watersheds. MI: ASAE,1982.
- [7] McCool D K, Brown L C, Foster G R, et al. Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation[J]. Transactions of the ASAE,1987,30:1387-1396.
- [8] Renard K G, Foster G R, Weesies G A, et al. RUSLE: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation[R]. USDA Agricultural Handbook,1997.
- [9] 张宪奎,许靖华,邓育江,等.黑龙江省土壤流失方程的研究[J].水土保持通报,1992,12(4):1-9,18.
- [10] 周伏建,陈明华,林福兴,等.福建省土壤流失预报研究[J].水土保持学报,1995,9(1):25-30,36.
- [11] 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[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1996,1(2):1-9.
- [12] 林素兰,黄毅,聂振刚,等.辽北低山丘陵区坡耕地土壤流失方程的建立[J].土壤通报,1997,28(6):251-253.
- [13] 杨子生.滇东北山区坡耕地土壤流失方程研究[J].水土保持通报,1999,19(1):1-9.
- [14] Liu B Y, Nearing M A, Risse L W. Slope gradient effects on soil loss for steep slopes[J]. Transactions of the ASAE,1994,37(6):1835-1840.
- [15] Liu B, Zhang K, Xie Y. An empirical soil loss equation[C]// Proceedings 12th international soil conservation organization conference (II). Beijing: Tsinghua university press,2002:21-25.
- [16] Foster G R, Martin G L. Effect of unit weight and slope on erosion[J]. J. of the Irrig. And Drainage Div. Proc. Of the ASCE,1969,95(4):551-561.
- [17] 陈法扬.不同坡度对土壤冲刷量影响试验[J].中国水土保持,1985(2):18-19.
- [18] 史景汉.黄丘一区坡面水土流失规律的研究[J].中国水土保持,1991(7):26-31.
- [19] 刘志,江忠善.降雨因素和坡度对片蚀影响的研究[J].水土保持通报,1994,14(6):19-22,61.
- [20] 张光科,方铎.坡面径流侵蚀量随坡度变化规律初探[J].水文,1996(6):45-48.
- [21] 吴普特.动力水蚀实验研究[M].西安:陕西科学技术出版社,1997.
- [22] 王秀英,曹文洪,陈东.土壤侵蚀与地表坡度关系研究[J].泥沙研究,1998(2):36-41.
- [23] 胡世雄,靳长兴.坡面土壤侵蚀临界坡度问题的理论与实验研究[J].地理学报,1999,54(4):347-356.
- [24] 赵晓光,吴发启,刘秉正,等.再论土壤侵蚀的坡度界限[J].水土保持研究,1999,6(2):42-46.
- [25] 曹文洪.土壤侵蚀的坡度界限研究[J].水土保持通报,1993,13(4):1-5.
- [26] 靳长兴.论坡面侵蚀的临界坡度[J].地理学报,1995,50(3):234-239.
- [27] 李全胜,王兆骞.坡面承雨强度和土壤侵蚀临界坡度的理论探讨[J].水土保持学报,1995,9(3):50-53.
- [28] 罗斌,陈强,黄少强.南方花岗岩地区坡面侵蚀临界坡度探讨[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1999,5(6):67-70.
- [29] 刘青泉,陈力,李家春.坡度对坡面土壤侵蚀的影响分析[J].应用数学和力学,2001,22(5):449-457.