

# 地形因素与坡地水土流失关系的研究

江忠善 刘 志 贾志伟

(中国科学院水利部西北水土保持研究所, 陕西杨陵)

## 摘 要

本文根据天然降雨径流小区的5年试验资料,研究了地形因素的坡度和坡长与水土流失量的关系,以及降雨因素对其影响。结果表明,坡地水土流失量与坡度和与坡长关系的幂指数变化,均与降雨过程中的30min最大雨强有着密切的关系。经分析得出了反映地形坡度、坡长和降雨因素影响坡地侵蚀的多因素统计模型。

关键词: 坡地水土流失 地形因素 坡地土壤侵蚀统计模型

## 前 言

在黄土丘陵区,分布面积广泛的梁峁坡地,特别是坡耕地,水土流失十分严重,它不仅是黄河泥沙的主要来源地之一,而且也是造成土壤肥力退化、生产力低下的主要原因。因此,人们长期以来就把坡地水土流失的治理列为水土保持工作的重点。影响坡地水土流失的因素很多,但主要的和基本的因素是地形条件。地形是构成自然环境的基本要素,它既是影响水土流失的重要因素,其本身又是侵蚀在不断发展过程中塑造出的产物。因此,地形和侵蚀两者之间存在着相互促进和相互制约的复杂关系。通过研究地形因素对水土流失的影响,不但在理论上可以揭示坡地土壤侵蚀发生发展过程及其形成机制,而且在实践上可为有效地进行坡地水土流失的治理规划设计和水土保持措施的优化配置提供科学依据。

地形因素与水土流失的关系,是坡地水土流失规律试验研究的一个主要内容,多年来一直受到许多学者的重视和研究。为了探索黄土丘陵区坡面水土流失规律和对影响土壤侵蚀因子进行定量评价,我们从1985年开始,在我所陕北安塞水土保持试验站布设了土壤侵蚀试验场,进行野外定位观测。本文是利用该试验场1985~1989年的5年观测资料,着重研究了地形因素中坡度和坡长这两个因子对坡面水土流失的影响以及它们之间的数量关系。

## 1 试验布设和观测方法

安塞水土保持试验站位于陕北中部,延河一级支流杏子河下游的茶坊村。试验区地形破碎,梁峁起伏,沟壑纵横,属于典型的陕北黄土丘陵区第二副区。年平均降水量为549.1mm,降水年际变率大,其中最大年降水量为957.8mm(1964年),最小年降水量为351.3mm(1986年),前者为后者的2.73倍;年内的降水主要集中于夏秋两季,其中6~9月的降雨量约占全年总量的75%左右,且多以大雨、暴雨的形式出现;最大一日

降雨量为136.5mm, 发生在观测期间的1989年7月16日。该日最大30min降雨量为45mm, 为5年观测期间日雨量和30min雨量的极值。试验区水土流失极其严重, 多年平均土壤侵蚀模数为14 000t/km<sup>2</sup>。

本研究是在试验区的土壤侵蚀试验场进行的, 分析所依据的资料是在该场进行的不同坡度和不同坡长这两组径流小区的观测资料。不同坡度试验小区是由5°、10°、15°、20°、25°、28°共6级坡度组成, 每个小区水平投影面积均为5m×20m; 不同坡长试验小区是由10、20、30、40m(水平投影长度)4级坡长小区组成, 每个小区宽度均为5m, 试验坡度均为30°。这两组试验小区在每年雨季前的4月初按农家制翻耕平整地面, 并在观测期间采用人工拔草的处理方法, 以保持地面处于无杂草生长的裸露状态。即此试验处理是排除了植被因素的影响, 这与以往的水保站在进行坡度和坡长对比试验布设中, 掺杂着不同农作物类型及其植被度变化的影响是不同的。因此, 我们的试验处理方法, 对于研究坡度和坡长单因子的影响, 要比过去的试验处理更能说明问题。

试验场土壤为耕作后的母质性黄绵土。其颗粒组成为: 沙粒(>0.05mm)含量占12.4%, 粉粒(0.05~0.005mm)占71.7%, 粘粒(<0.005mm)占15.9%, 属轻粉质壤土。土壤有机质含量介于0.30%~0.45%之间。

观测项目分为两个部分, 其一是通过分流箱和集流桶量测浑水总量并采样, 其二是通过雨量桶和自记雨量计观测各次降雨总量及雨强变化过程。将每次观测收集的泥水样在室内烘干称重, 以推求试验小区侵蚀量的大小。

## 2 试验结果和分析

地形因素对水土流失的影响比其它因素相对要复杂些, 这主要是因为它是通过影响坡地上的径流动力特征而对侵蚀起作用的, 而径流特征与多种因素有关, 尤其是与降雨特点和土壤渗透能力的关系密切。正是基于这一点, 使得坡地侵蚀规律表现出一定的区域性差异。在地形因素中对坡面水土流失产生主要影响的是坡度和坡长这两个因子。

**2.1 坡度对水土流失的影响。**地面坡度是影响侵蚀的主要地形因素之一。一些研究者曾根据黄土高原有关水保站试验资料进行过这方面的研究, 得出了侵蚀强度与坡度关系不同的经验公式<sup>[1~3]</sup>, 但各研究者所建立经验公式中坡度的指数差别较大。究其原因, 除了有与各人的分析方法不同外, 一次降雨中的短时段集中雨强的影响, 也是造成坡度的指数变化较大的重要原因之一。这一点可以从我们观测资料分析中得到证实。

**2.1.1 不同集中雨强降雨条件下, 坡度对水土流失的影响。**根据降雨特征对水土流失影响的分析结果表明, 在一次降雨过程中, 水土流失量的大小与短时段集中雨强有着密切的关系<sup>[4]</sup>, 并与最大30min雨强 $I_{30}$ 的关系较为密切。据此, 可以 $I_{30}$ 的大小作为分级指标的依据, 把降雨划分为4种不同雨强集中程度的降雨类型。即: 低雨强型降雨,  $I_{30} < 0.25\text{mm/min}$ ; 中雨强型降雨,  $I_{30} = 0.25 \sim 0.5\text{mm/min}$ ; 高雨强型降雨,  $I_{30} = 0.5 \sim 0.75\text{mm/min}$ ; 极高雨强型降雨,  $I_{30} > 0.75\text{mm/min}$ 。根据上述雨强 $I_{30}$ 的分级范围标准, 最后将5年观测期间的39次降雨侵蚀资料按4种类型分别统计, 见表1。

根据表1所列的分组次平均水土流失量数据, 采用幂函数进行统计相关分析, 则为下列两式:

表1 不同 $I_{30}$ 雨强条件下各坡度的次平均水土流失量的统计

$I_{30}$ (mm/min)	观测 次数	项 目	不 同 坡 度 (°)					
			5	10	15	20	25	28
<0.25	23	径流深(mm)	1.39	1.52	1.36	1.50	1.35	1.31
		侵蚀量(t/km <sup>2</sup> )	11.7	28.8	51.1	62.3	82.6	68.6
0.25~0.50	9	径流深(mm)	1.83	3.27	3.43	3.38	3.40	3.55
		侵蚀量(t/km <sup>2</sup> )	143.6	302.6	497.9	649.2	817.9	844.2
0.50~0.75	3	径流深(mm)	10.06	12.67	12.81	13.59	15.31	14.78
		侵蚀量(t/km <sup>2</sup> )	344.4	658.2	1 720.7	1 767.3	2 137.5	2 417.9
>0.75	4	径流深(mm)	36.74	39.44	40.84	42.71	42.13	42.80
		侵蚀量(t/km <sup>2</sup> )	1 265.8	4 186.8	6 985.6	9 763.6	13 318.1	13 480.0

$$M = A_1 S^{a_1} \quad (1)$$

$$H = A_2 S^{a_2} \quad (2)$$

式中:  $M$ ——不同 $I_{30}$ 雨强条件下, 次平均侵蚀模数 (t/km<sup>2</sup>);

$H$ ——不同 $I_{30}$ 雨强条件下, 次平均径流深 (mm);

$S$ ——坡度 (°);

$A_1$ 、 $A_2$ 、 $a_1$ 、 $a_2$ 为待定系数和指数。

(1) 和 (2) 式的统计相关分析结果见表 2。从表 2 可以看出, 在不同集中雨强的条件下, 水土流失量与坡度的相关性, 除了在低雨强型的降雨条件下, 坡度与径流深

表2 不同 $I_{30}$ 雨强条件下次平均水土流失量与坡度的相关分析结果

$I_{30}$ (mm/min)	$A_1$	$a_1$	$r$	$A_2$	$a_2$	$r$
<0.25	2.889	1.103	0.981**	1.526	-0.031	-0.336
0.25~0.50	24.141	1.056	0.998**	1.231	0.339	0.863*
0.50~0.75	52.729	1.190	0.978**	8.534	0.156	0.823*
>0.75	151.988	1.385	0.993**	31.999	0.089	0.980**

二者相关系数甚低而不显著外, 其余关系皆为显著和极显著。同时还看出侵蚀强度与坡度皆呈幂指数正相关, 并且随着最大 30min 雨强的增大而增大, 它由 $I_{30}<0.25$  mm/min 时的 1.103 增至 $I_{30}>0.75$  mm/min 时的 1.385。说明在各种雨强条件下, 侵蚀量总是随着坡度的增加而增大, 只是在不同集中雨强的降雨条件下, 坡度的作用程度是不同的。在低雨强型降雨时坡度的影响小, 高雨强型降雨时影响则大。从侵蚀的物理机制这个角度来剖析, 坡度越陡, 坡面每个侵蚀微单元体所具有的势能越大, 使得坡地总体的侵蚀潜力也就越大; 同时, 坡面物质的下滑力也增大, 使得坡面物质处于更加不稳定状态, 在外界不同雨强的降雨及其形成的径流所提供的动力条件下, 地表物质受水流的冲刷推移作用, 其结果必然表现为侵蚀量随着坡度与主雨段侵蚀性雨强的增大而增大。

坡度与地表径流深的关系比较复杂, 径流深的坡度指数 $a_2$ 值随着集中雨强的增大先

由负相关变为正相关而后再呈递减的变化规律。这是因为在低雨强的降雨过程中,当产流量和流速都小时,对同样的受雨面积(指水平投影面积)由于坡度的增大而相应地增长了汇流的路程,使得在集流过程中的入渗量和能量消耗增加而造成的水量损失超过坡度增大径流的作用,因而径流深与坡度之间表现为负相关。随着雨强增大,坡度对产流及其流速的作用都相应地增大,而汇流路程增长对增大入渗的作用相对较小,结果导致径流深与坡度变为正相关关系。当集中雨强 $I_{30}$ 大于 $0.5\text{mm/min}$ 时,表土层很快趋于临界饱和和水分状态,从而制约了降雨的入渗作用,坡度对增大径流量的作用又逐渐减弱,因而又表现为径流深与坡度关系的方次趋于减小。通过以上分析不难看出,集中雨强的大小是影响坡度指数变化的一个重要原因。

需要特别指出的是,由于观测期间所获得的高雨强资料有限,使得统计数据结果难免受影响,但并不影响其客观规律性的存在。

2.1.2 次侵蚀量与坡度及降雨侵蚀力的关系。通过表1的分析表明,在 $I_{30} > 0.25\text{mm/min}$ 时,其统计规律才较为明显。据此,我们以最大30min雨量 $P_{30} = 7.5\text{mm}$ (即 $I_{30} = 0.25\text{mm/min}$ )作为侵蚀与非侵蚀暴雨的分界线。即 $P_{30} < 7.5\text{mm}$ 的降雨为非侵蚀性暴雨; $P_{30} > 7.5\text{mm}$ 的降雨则为侵蚀性暴雨。5年中 $5^\circ \sim 28^\circ$ 6级坡度径流小区23次非侵蚀性暴雨的总侵蚀量只占39次降雨总侵蚀量的 $2.3\% \sim 3.5\%$ ,平均约占3%。显然,它对总侵蚀量的影响很小,可以忽略。这对以 $I_{30} > 0.25\text{mm/min}$ 的降雨侵蚀观测资料来拟合方程的相关性将有显著提高,并有助于分析揭示侵蚀与影响因子的内在联系。

在一定试验坡长的条件下,影响侵蚀强度的因素主要为坡度和降雨因素这两个方面。降雨侵蚀力 $EI_{30}$ 是反映降雨动能和径流作用的综合指标,它与侵蚀强度关系密切。根据6级坡度16次侵蚀性暴雨观测的96个样本资料,经过回归分析得到下列关系式:

$$M = 0.03019S^{1.1827}(EI_{30})^{1.195} \quad (3)$$

$$R = 0.826, F = 220.6^{**}$$

式中:  $E$ ——一次降雨的总动能( $\text{J/m}^2$ );

$I_{30}$ ——一次降雨的最大30min雨强;

其余符号意义如前,下同。

经过方差分析,其 $F$ 值高度显著,说明该方程的可信度较高。并且 $F_1 = 100.3^{**}$ ,  $F_2 = 340.4^{**}$ ,这进一步说明坡度和降雨侵蚀力两因素对土壤侵蚀的影响均极显著。通过(3)式还看出,侵蚀强度与坡度及降雨侵蚀力均为正相关。同时,在相同降雨条件下,侵蚀强度是随着坡度的增大而增大。

2.1.3 年平均水土流失量与坡度的关系。在逐次降雨的侵蚀过程中,侵蚀强度与坡度的关系受到了降雨因素的影响,而在同期年平均关系中,它与坡度则为单值函数关系。根据5年观测资料年平均值得到下式:

$$M = 202.553S^{1.808} \quad (r = 0.995^{**}) \quad (4)$$

同期,年平均径流深与坡度的关系为:

$$H = 38.321S^{0.117} \quad (r = 0.956^*) \quad (5)$$

式中:  $M$ ——年平均侵蚀模数( $\text{t/km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$ );

$H$ ——年平均地表径流深( $\text{mm}$ )。

由式(4)得出的侵蚀与坡度关系的指数值, 介于我们曾对黄土高原小区资料分析得到的天水站1.12与绥德站1.60的数值之间<sup>[5]</sup>。

**2.2 坡长对水土流失的影响。**坡长对水土流失的影响由于涉及降雨在坡面的再分配, 即受到沿坡面上下各部位发生的径流量不相等的影响, 因而使得这一问题变得更为复杂。在以往黄土高原的水保站径流小区资料分析中曾得出坡长与水土流失量既有正相关也有负相关, 并认为其变化视降雨状况而异<sup>[6]</sup>的结论, 但对其复杂关系的变化条件和原因研究的甚少。在我们的观测资料中也出现以上的类似情况, 它的变化关系与降雨量的大小无明显联系, 而与反映产流和侵蚀的短时段集中雨强的关系密切。因此, 只有在分析雨强的影响后, 才能较好地理解坡长与水土流失量的关系。

**2.2.1 不同集中雨强降雨条件下, 坡长对水土流失的影响。**上述分析已经证明短时集中雨强降雨对坡度与侵蚀量关系的影响, 它对坡长与侵蚀量关系的影响又如何呢? 同样, 按照上述雨强 $I_{30}$ 的分级标准进行统计得到表3。

表3 不同 $I_{30}$ 雨强条件下各坡长的次平均水土流失量的统计

$I_{30}$ (mm/min)	观测 次数	项 目	不 同 坡 长 (m)			
			10	20	30	40
<0.25	23	径流深(mm)	1.18	0.85	0.66	0.56
		侵蚀量(t/km <sup>2</sup> )	35.2	37.2	31.0	28.1
0.25~0.50	9	径流深(mm)	2.12	2.08	1.42	1.50
		侵蚀量(t/km <sup>2</sup> )	404.1	582.6	468.5	739.9
0.50~0.75	3	径流深(mm)	14.72	13.30	10.38	12.30
		侵蚀量(t/km <sup>2</sup> )	1548.8	2159.7	2062.8	2729.7
>0.75	4	径流深(mm)	35.58	34.11	33.46	33.35
		侵蚀量(t/km <sup>2</sup> )	9316.2	12916.9	14987.3	16475.6

根据表3所列资料, 采用幂函数进行相关分析, 其达表式为:

$$M = A_1 L^{a_1} \quad (6)$$

$$H = A_2 L^{a_2} \quad (7)$$

式中:  $L$ ——水平投影坡长(m)。

分析结果列为表4。从中可以看出, 在30°坡地条件下, 侵蚀强度与坡长的幂指数关系, 随着集中雨强 $I_{30}$ 的愈大, 坡长的指数愈大, 并由低雨强时的负相关变为正相关关

表4 不同 $I_{30}$ 雨强条件下次平均水土流失量与坡长的相关分析结果

$I_{30}$ (mm/min)	$A_1$	$a_1$	$r$	$A_2$	$a_2$	$r$
<0.25	46.45	-0.107	-0.550	4.14	-0.539	-0.998**
0.25~0.50	169.19	0.337	0.769	4.43	-0.299	-0.852
0.50~0.75	686.09	0.359	0.927	22.40	-0.187	-0.760
>0.75	3642.41	0.414	0.997**	39.67	-0.049	-0.983*

系。就是说,在低雨强型降雨时,坡长越长,单位面积侵蚀量越小;大于低雨强后,坡长越长,单位面积侵蚀量越大,而且集中雨强愈大,坡长影响的侵蚀作用越大。而径流深与坡长的关系在各种集中雨强条件下均为负相关。随着雨强的增大,坡长递减指数愈小,在 $I_{30} > 0.75 \text{ mm/min}$ 雨强后,趋向于零指数的变化,即坡长影响的径流深变化趋于减小,乃至平均径流深稳定不变。由此可以看出,坡长与侵蚀和与径流的关系是不同的。这是因为在低雨强时,随着坡长的增长,集流过程中的人渗量增大而致使径流深减小的作用愈显著,则径流的侵蚀和搬运能力也愈小,结果使得单位面积侵蚀量随着坡长的增长而减小。随着雨强的增大,径流深的坡长递减指数愈小(绝对值),这时因径流深较大,地表水流随着坡长增长所具有的侵蚀和搬运能力也随之增大,总之由于径流深的减少还不足以抵消因径流侵蚀搬运能力增大的作用,便使得单位面积侵蚀量随着坡长的增长而递增,而且雨强愈大,其侵蚀量递增愈大。

**2.2.2 次侵蚀量与坡长及降雨侵蚀力的关系。**由上述分析得知,在一定坡度和坡长条件下,一次降雨的侵蚀量与降雨侵蚀力 $EI_{30}$ 的关系比较密切。当考虑坡长因素后,于是在 $30^\circ$ 坡度条件下,经采用 $I_{30} > 0.25 \text{ mm/min}$ 雨强的4级坡长16次观测所得的96个样本资料,按幂函数进行相关分析,所得关系式为:

$$M = 0.0138L^{0.326}(EI_{30})^{1.700} \quad (8)$$

$$R = 0.701, F = 71.60^{**}$$

经方差分析检验,方程总体的F检验值在0.01水平上呈高度显著。其中 $F_1 = 1.201$ ,  $F_2 = 142.0^{**}$ 。这说明降雨侵蚀力 $EI_{30}$ 对回归方程的贡献远大于坡长。此方程表明,在我们试验的40m坡长范围内,对 $I_{30} > 0.25 \text{ mm/min}$ 的降雨过程,侵蚀量与坡长为正相关。但据我们观测资料的分析,在 $I_{30} < 0.25 \text{ mm/min}$ 时则为负相关,因它对总侵蚀量的影响很小,所以不再赘述。

**2.2.3 年平均侵蚀量与坡长的关系。**在同期年平均值中侵蚀量与坡长也表现为单值关系。根据 $30^\circ$ 坡度径流小区的5年观测,对年平均侵蚀模数 $\bar{M} (\text{t/km}^2 \cdot \text{a}^{-1})$ 与坡长 $L (\text{m})$ 进行相关统计,得到下列关系式:

$$\bar{M} = 3764.99L^{0.397} \quad (r = 0.994^{**}) \quad (9)$$

在这方面,我们曾对黄土高原水土保持站径流小区资料作过分析<sup>[5]</sup>,得出天水站试验坡长幂指数为0.22(10~40m,  $9.5^\circ$ 小区4年平均值),绥德站为0.15(10~60m,  $22^\circ$ 小区4年平均值),子洲站为0.52(20~60m,  $22^\circ$ 小区5年平均值)。显然式(9)所得的坡长指数值介于3站资料分析所得的坡长指数值之间,至于是否存在着随坡度有增大的趋势,这个问题有待进一步的研究。

### 2.3 坡度和坡长对土壤侵蚀量的影响

**2.3.1 次降雨侵蚀量与坡度和坡长的关系。**由上述分析可知,对于特定的无植被裸露坡面条件来说,地面坡度和坡长这两个地形要素特征与土壤侵蚀强度均有着密切的关系,并且,坡度对侵蚀的影响要比坡长对侵蚀的影响显著。同时,通过实测资料统计分析表明,在一次降雨过程中最大30min雨强小于 $0.25 \text{ mm/min}$ 的低雨强降雨条件下,虽能发生水土流失,但其所造成的侵蚀量占总侵蚀量的比例却很小(参见表1、表3),而且它将对统计分析公式产生不良影响,故将30min最大雨强小于 $0.25 \text{ mm/min}$

的降雨侵蚀观测资料予以剔除。最后,在单次关系中采用16次侵蚀性暴雨观测的160个样本资料,以坡度 $S$ 、坡长 $L$ 、降雨量 $P$ 和最大30min雨强 $I_{30}$ 与侵蚀模数 $M$ 间进行多元回归分析,得出一次暴雨坡面侵蚀量多元幂函数统计模型为:

$$M = 13.606S^{0.712}L^{0.185}P^{0.888}I_{30}^{2.293} \quad (10)$$

式(10)的复相关系数 $R=0.684$ ,  $F$ 检验值 $=83.95 \gg F$ 检验临界值 $F_{(3,156)}=6.8$ ,该方程达0.01极显著水平。又据偏相关检验,  $F_1=24.2^{**}$ ,  $F_2=0.59$ ,  $F_3=247.4^{**}$ ,  $F_4=65.3^{**}$ ,这进一步说明降雨量、最大30min雨强和坡度对侵蚀量的影响均极显著,而坡长对侵蚀的作用不显著。

另外,在上述单次降雨侵蚀关系中,坡面土壤侵蚀强度的大小与降雨侵蚀力 $EI_{30}$ 复合指标的关系密切。这样以 $EI_{30}$ 取代 $P$ 和 $I_{30}$ 两因素后,便得到下列关系式:

$$M = 0.0139S^{0.724}L^{0.189}(EI_{30})^{1.400} \quad (11)$$

$$R = 0.701, F = 121.98^{**}$$

式(11)的相关性较式(10)稍有提高。

由于地表径流是降雨和下垫面因素综合作用的结果,当采用径流深 $H$ (mm)作为侵蚀动力条件代替降雨动力因素,并与坡度、坡长因素进行回归分析时,便得到计算精度较上两式高的一次暴雨侵蚀坡面侵蚀模数统计回归方程:

$$M = 0.968S^{0.870}L^{0.578}H^{1.181} \quad (12)$$

$$R = 0.904, F = 489.7^{**}$$

式(12)的相关分析结果表明,径流深对提高方程的相关性有显著的效果,这说明坡面的侵蚀强度与径流的关系最为密切。但是,作为实用侵蚀模型还不够理想。因为它必须具备次降雨径流资料,才能应用该经验模型计算坡面侵蚀量,这在实际应用上就有很大的困难。因此,主要还应依据降雨资料为主建立统计模型,它是目前建立预测统计模型的主要研究方法。

2.3.2 年平均侵蚀量与坡度和坡长的关系。根据5年观测的年平均侵蚀模数与坡度和坡长进行相关,得出下列关系式:

$$M = 103.38S^{1.114}L^{0.350} \quad (13)$$

该式复相关系数 $R=0.956$ ,  $F$ 检验值 $=75.7 > F_{0.01}=12.25$ ,达到极显著水平。

式(13)是将坡度和坡长这两个地形因素视为独立的变量来进行分析的。而在通用土壤流失方程中,将这两个变量与标准小区资料相联系起来,得到地形坡长和坡度因子 $LS$ 的相对值表达式。据此,当我们选取 $10^\circ$ 为标准小区的坡度时,以实测任一坡度上的土壤流失量和标准坡度上的土壤流失量之比,即坡度因子 $S$ ,与实测任一坡度 $a$ 和标准坡度之比值建立关系,得到关系式为:

$$S = \left( \frac{a}{10^\circ} \right)^{1.3} \quad (r = 0.995) \quad (14)$$

同样,以实测任一坡长的土壤流失量与标准小区坡长20m的土壤流失量之比的坡长因子 $L$ ,与任一坡长 $\lambda$ 和标准坡长的比值建立关系,则得:

$$L = \left( \frac{\lambda}{20} \right)^{0.4} \quad (r = 0.994) \quad (15)$$

因此, 根据上述坡度与坡长因子关系式 (14) 和 (15) 可得:

$$LS = \left( \frac{\lambda}{20} \right)^{0.4} \left( \frac{a}{10^\circ} \right)^{1.3} \quad (16)$$

显然, 从上述地形因子  $LS$  经验关系式与美国学者威斯奇迈尔所提出的适用于大于 9% 坡度的地形  $LS$  因子关系式  $LS = \left( \frac{\lambda}{22} \right)^{0.8} \left( \frac{a}{5.16^\circ} \right)^{1.3}$  的比较看出, 坡长的指数较之为大, 而坡度的指数一致。(16) 式可以在实际中应用。

### 3 结 论

通过上述分析可得出以下结论:

3.1 根据实测资料分析结果表明, 坡地侵蚀量与坡度和与坡长定量关系的幂指数变化, 与降雨过程中的最大 30min 雨强的大小有着密切的关系。其基本规律表现为: 侵蚀强度的坡度、坡长指数均随着最大 30min 雨强的增大而增大, 但在低雨强 ( $I_{30} < 0.25 \text{ mm/min}$ ) 时, 与坡长呈负相关。但是, 土壤侵蚀主要是由  $I_{30} > 0.25 \text{ mm/min}$  的侵蚀性暴雨造成的。因此, 降雨径流侵蚀随着坡度和坡长的增大而增加, 这是黄土高原坡度和坡长影响侵蚀的基本规律。

3.2 地表径流深与地形因子坡度和坡长的关系相对要复杂些。径流深的坡度幂指数是随着雨强的增大, 先由低雨强时的负指数变为正指数, 以后则又递减; 径流深随坡长增长虽保持递减趋势, 但随着雨强的增大, 径流深随坡长增长的递减速率则减小, 在  $I_{30} > 0.75 \text{ mm/min}$  雨强后, 趋向于零指数的变化。

3.3 本文经用实测资料建立的地形坡长和坡度因子  $LS$  关系式, 可作为原通用土壤流失方程在黄土高原应用的地域影响修改依据。

3.4 通过对裸露地条件下的试验资料回归分析, 建立了反映降雨和地形因素综合影响的一次降雨坡面侵蚀多因素统计模型, 以及反映地形坡度和坡长两因素影响的年平均侵蚀统计模型。这为进一步研究坡地水蚀过程和进行土壤侵蚀定量评价提供了科学依据。

### 参 考 文 献

- [1] 陈永宗, 黄河中游黄土丘陵区坡地侵蚀的发育, 《地理集刊》, 第10号, 科学出版社, 1976
- [2] 江忠善等, 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论文集》, 光华出版社, 1980
- [3] 华绍祖, 黄河中游实验小流域的土壤侵蚀及水土保持效益, 1982
- [4] 贾志伟、江忠善、刘志, 降雨特征与水土流失关系的研究, 《中国科学院、水利部西北水土保持研究所集刊》, 第12集, 9~15页, 1990
- [5] 江忠善等, 黄土高原土壤流失预报方程中降雨侵蚀力和地形因素的研究, 《中国科学院西北水土保持研究所集刊》, 第7集, 第40~45页, 1988
- [6] 黄委会西北黄河工程局, 西北黄土区坡地固体径流和液体径流形成过程的初步研究, 《黄河建设》, 1957

(英文摘要转至第24页)



## A Research For Soil Permeability and Surface Runoff in Huangjia-Ercha Small Watershed in Xiji County, Ningxia

*Sun Baoping     Sun Lida*

(Dept. of Soil Conservation, Beijing Forestry University)

### Abstract

The research for soil permeability and surface runoff in Huangjia-Ercha small watershed in Xiji county, Ningxia, was done by means of artificial precipitation and runoff-plot testing method, which showed that primary factors affecting soil permeability are land utilization, slope, soil moisture, total porosity of soil and rain intensity. Then a suggestion was made to fully use the limited precipitation in arid area.

**Key words,** Land utilization, Soil permeability, Artificial precipitation

---

(Abstract presented article from page 1 to 8)

## Research for Relationships Between Topographic Factors and Loss of Soil and Water on Sloping Land

*Jiang Zhongshan     Liu Zhi     Jia Zhiwei*

(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation  
Under Academia Sinica and Ministry of Water Conservancy)

### Abstract

The quantitative relationships between topographic factors and loss of soil and water on sloping land and the effects of rainfall factors on the above quantitative relationships were studied in this paper by five years data obtained from field experiment plots under natural rainfall. The results showed that the exponential changes of power-law relationships between loss of soil and water on sloping land and slope steepness and slope length are closely related to the maximum thirty-minute rainfall intensity under single rainfall, the power exponent of slope steepness and slope length of erosion is increases with the maximum thirty-minute rainfall intensity increasing. Then the statistical models of soil erosion reflecting the single rainfall and the mean year are established respectively.

**Key words,** Topographic factor, Loss of soil and water on sloping land, Mathematical model of soil erosion on the slope