

黄土高原坡耕地的细沟 侵蚀及其防治途径

郑粉莉

提 要

陕北典型黄土丘陵沟壑区的定位观测、野外调查和室内一系列人工降雨试验资料,表明了细沟侵蚀量占坡面侵蚀量的70%。而细沟侵蚀的发生是在坡面股流的流程上,当径流侵蚀力增大到足以冲刷土块,形成小跌水,进而演化为细沟下切沟头时,细沟侵蚀就开始发生了。下切沟头的下切侵蚀和下切沟头间径流对沟底的冲刷、沟头的溯源侵蚀、沟壁的崩塌形成了断续细沟,而位于一条股流流程上多个断续沟头溯源侵蚀的连接就形成了连续细沟。在这个过程中,由于降雨径流侵蚀力和土壤抗侵蚀力在时空上的强弱对比关系,出现了细沟的分叉、合并及连通现象。所有这些过程不但促进了细沟的发展,而且也造成了严重的细沟侵蚀。

降雨径流侵蚀力,土壤抗侵蚀性能,坡度、坡长、坡形和土地管理因素是影响细沟侵蚀的主要因素。因此,防治细沟侵蚀的关键是削弱降雨径流侵蚀力和提高土壤的抗侵蚀性能。而免耕留茬、覆盖、草粮带状间作、水平沟种植及土地的合理利用是防治细沟侵蚀行之有效的措施。

坡耕地土壤侵蚀所造成的危害已成为全世界共同关注的问题。联合国环境规划署估计,由于土壤侵蚀,全世界每年丧失土地500—700万公顷^[1]。在我国黄土高原,由于人们不合理的垦植,坡耕地的土壤侵蚀已成为黄河泥沙的重要来源之一,也是造成土地退化的重要因素。据唐克丽的资料,坡耕地土壤侵蚀量占总侵蚀量的60—70%^[2],而细沟侵蚀量是坡耕地土壤侵蚀的主要方式之一,细沟侵蚀量占坡面侵蚀量的70%^[3],占总侵蚀量的45.3%。所以,坡耕地细沟侵蚀的研究,不仅对防治坡耕地的土壤侵蚀,发展农业生产有重大的实践意义,而且对揭示坡面沟蚀的发展过程和坡耕地土壤侵蚀的本质规律有重要的理论意义。同时也将促进坡面微地貌、坡地侵蚀土壤发育过程等课题的研究。

一、试验区概况和研究方法

试验区位于陕北安塞县茶坊(延河支流杏子河流域),属黄土梁峁丘陵沟壑区。区内沟谷纵横,沟道密度5—6公里/平方公里;大于25°地面占67—76%^[4];年降水量400—550毫米,主要集中在7—9三个月,占年降雨量的60%;降雨形式以短历时暴雨为多,10分钟降雨量可达23.4毫米^{[4][5]}。在此期间,小麦收割完毕,土壤翻耕休闲呈裸露,或者其它秋季作物正值幼苗期,作物覆盖不良,根系固结能力低,加上在梁峁坡地

注:本文为硕士学位研究生毕业论文,在唐克丽研究员、周佩华副研究员指导下完成。

上种植荞麦,作物栽培粗放等,导致了区内严重的土壤侵蚀,平均侵蚀模数可达1.52万吨/平方公里·年。

本研究主要以当年降雨或一次降雨情况下所形成的细沟为研究对象。鉴于在天然降雨情况下资料的积累和观测细沟侵蚀的发生发展有一定的困难,在定位观测和野外调查的同时,还采用了人工降雨试验的方法。

(一)定位观测和野外调查。1985年雨季,在研究区对已布设的16个处理19个径流小区观测了细沟侵蚀,此外还布设了荞麦地、不同集流能量的免耕麦茬地(茬高5—8厘米,行距8—10厘米)、桔秆覆盖(每平方米0.1公斤麦秆)和麦茬地翻耕休闲裸露等不同处理。

(二)人工降雨试验。于1985使用侧喷式单喷头降雨设备进行人工降雨试验。试验小区面积 1.5×5 平方米,坡度有 5° 、 10° 、 20° 、 25° 共14个小区,小区内填武功黄土母质(一部分是1985年所填,一部分是1972年所填),地面处理为翻耕裸露休闲。

在降水量75—80毫米、土壤前期含水量10—15%固定条件下,进行了3种雨强、5种坡度、2种土壤、2种雨滴降落高度共28个处理50次试验。

不同雨强在降雨量基本相同的情况下,每组试验历时20—60分钟,每隔2—5分钟观测降雨过程、径流过程、产沙量变化过程、细沟侵蚀的发展过程及测定细沟沟头前进速度和细沟中水流流速。在降雨前后测定径流小区上、中、下部0—5、5—10、10—15、15—20、20—30、30—40厘米深处的土壤含水量和0—5、5—10厘米深的土壤容重。

(三)实验室分析测试。对田间和人工降雨试验小区的土壤进行了土壤有机质含量(重铬酸钾硫酸消化法)和水稳性团粒结构(H.N萨维诺夫法)的测定。对人工降雨试验中的泥沙样品也进行了水稳性团粒结构的测定。

二、细沟侵蚀的发生发展

(一)细沟侵蚀的发生。在坡耕地上,由于地面凹凸不平对径流的分配作用和地表土壤抗侵蚀力的空间差异,使暴雨径流在坡面上呈不均匀性的小沟状股流。在这些股流流经的地方,径流侵蚀力大于其周围侵蚀力,使径流在坡面上呈差异性侵蚀。在这些小股流中,由于土壤抗侵蚀力的差异和径流能量消长的变化,同样也产生了差异性侵蚀。这样以来,在股流中随着径流的逐渐汇集,径流侵蚀力也逐渐增强,当其在股流流程上的某处大于土壤抗侵蚀力时,相对较大的冲刷作用使径流在该处突然下泄,形成一个小跌水,进而演化成为细沟的下切沟头,便开始了细沟侵蚀的发生。

下切沟头的下切侵蚀和下切沟头间径流对沟底的冲刷,沟头的溯源侵蚀,沟头沟壁的崩塌形成了断续细沟。而位于同一细沟流程上多个断续细沟沟头溯源侵蚀的连接,就形成了连续细沟。

细沟的形成促进了径流的集中,反过来又促进了细沟的发展。沟壁小土块的崩塌和邻近细沟的合并是细沟加宽的主要方式,而下切沟头的溯源侵蚀及同一流程上数条细沟的连接是细沟加长的主要方式。

(二)细沟侵蚀的发展。在单条细沟发展的同时,坡面上所有的细沟,由于坡面微地形、土壤抗侵蚀性能、根系固结作用的差异以及在降雨过程中雨强和径流侵蚀力的不均匀性等,出现了分叉、合并和连通现象,进一步促进了细沟侵蚀的发展。

相邻细沟的彼此吞并和沟壁崩塌的消失, 细沟流程的弯曲及径流线的集中, 是细沟合并的主要方式。而当细沟下切沟头在上溯过程中, 遇到抗侵蚀力较强的土层时(根系盘结的土块或耕作工具引起的大土块), 径流侵蚀力不足以冲刷掉土块, 沟头绕道而过, 形成了细沟的分叉。

坡形对细沟的分叉和合并有很大影响。在瓦背状地形的坡面上, 由于坡形对径流的再分配作用, 使径流在凸起部分流向低凹部分。随着沟头的不断溯源侵蚀, 径流汇集量逐渐减少, 因而凸起部分分叉机率大; 而低洼部分, 由于径流逐渐汇集于浅沟, 因而细沟逐渐汇集于浅沟。

随着细沟发展过程的不断进行, 细沟也在加深加宽。据统计, 细沟深一般小于20厘米, 宽小于30厘米, 其纵剖面一般呈阶梯状。

(三) 细沟侵蚀与坡面侵蚀的关系。细沟在发展过程中逐渐壮大, 随之也造成严重的细沟侵蚀。人工降雨试验资料表明, 在细沟发展过程中, 细沟沟头前进速度与产沙量有密切关系, 产沙量曲线的峰谷值与细沟沟头前进速度有同样的变化趋势, 前者比后者滞后1—2分钟。它表明细沟侵蚀是坡耕地土壤侵蚀的主要方式。其侵蚀量可占总侵蚀量的74%(表1), 占浅沟侵蚀量的12—46%(表2)。

表1 细沟侵蚀量与总侵蚀量的比较

项目 次数	雨 强 (毫米/分)	坡 度 (度)	细沟侵蚀量 (公斤/平方米)	总侵蚀量 (公斤/平方米)	细沟侵蚀量 比总侵蚀量 (%)	备 注
1	1.45	20	1.647	1.737	92.1	1985年的 室内人工 降雨资料
2	1.45	25	5.522	6.632	83.2	
3	2.40	22	14.581	18.737	77.8	
4	2.40	20	5.518	10.760	51.3	
5	2.40	25	11.962	18.015	66.4	
平 均					74.2	
1	降雨量为 56.0毫米, 30分钟最 大雨强为 每分0.85 毫米		0.230	0.264	87.2	1985年陕 北安塞茶 坊试验区 的野外量 测资料
2			3.026	3.148	96.2	
3		>25°	1.064	1.224	86.9	
4			0.825	1.102	74.8	
5			1.084	1.434	75.6	
6			1.308	1.420	92.1	
7			5.740	7.938	72.3	
平 均					83.6	

表2 细沟侵蚀量与浅沟侵蚀量比较

项目 次数	坡度 (度)	细沟侵蚀量 (公斤/平方米)	浅沟侵蚀量 (公斤/平方米)	比 值 (%)	作 物	侵蚀方式
1	32	8.558	27.490	31.1	豆子	以浅沟侵蚀为主
2	28	9.125	54.235	16.8	豆子	
3	35	12.482	99.063	12.6	豆子	
4	26	12.740	27.316	46.6	荞麦	以细沟侵蚀为主
备 注	降雨量为56.0毫米,30分钟最大雨强为0.85毫米/分的1985年陕北安塞茶坊试验区的野外调查资料。					

三、影响细沟侵蚀的因素分析

(一)降雨径流因素。

1.降雨动能。研究资料表明,降雨动能对细沟侵蚀有较大影响,其方程为:

$$R_{h_0} = 0.089 + 0.001E_d \quad (r = 0.928^{**}) \quad (1)$$

R_{h_0} —细沟侵蚀平均深(厘米); E_d —降雨动能(焦尔/平方米)。

降雨动能对细沟侵蚀的影响是由于雨滴打击土壤,破坏了土壤的物理结构,进而影响水分入渗而对细沟侵蚀产生影响。在20°坡面上,降雨动能为1,421.2和1,482.5焦尔/平方米时,土壤水分稳渗率为0.68和0.59毫米/分,后者较前者减少了13.2%;另一方面,雨滴打击在水流表面,增加了径流的紊动性,使径流的冲刷能力和夹沙能力增强,细沟侵蚀量随之增大。上述两种动能下的细沟侵蚀量分别为1.645和2.227公斤/平方米,后者较前者增加了35.4%。

2.径流位能。细沟侵蚀发生后,细沟侵蚀量与径流位能有密切关系,其方程为:

$$G_R = -1.360 + 0.015E_g \quad (r = 0.984^{**}) \quad (2)$$

E_g —径流位能(焦尔/平方米); G_R —细沟侵蚀量(公斤/平方米)

3.细沟侵蚀量与降雨动能、径流位能的综合分析。为了进一步分析降雨动能、径流位能对细沟侵蚀的影响,把它们结合在一起进行综合分析,得:

$$G_R = -2.632 + 1.44 \times 10^{-2}E_g + 7.487 \times 10^{-4}E_d \quad (r = 0.985^{**}) \quad (3)$$

G_R —细沟侵蚀量(公斤/平方米); E_g —径流位能(焦尔/平方米); E_d —降雨动能(焦尔/平方米)。

方差分析结果为 $F = 225.66$,在 $\alpha = 0.01$ 水平上高度显著。而 $F_1 = 419.05$, $F_2 = 1.06$,说明径流位能对细沟侵蚀的影响远大于降雨动能,因此径流侵蚀力是造成细沟侵蚀的主要营力。

(二)土壤因素。土壤对细沟侵蚀的影响很复杂,这里仅以水稳性团粒含量不等的不同年的黄土母质作比较,即1985年填入小区内的武功黄土母质和1972年填入的黄土母质作比较。在20°坡面上,通过雨滴动能为1,421.2焦尔/平方米和1,819.4焦尔/平方米的人工降雨试验,1972年黄土母质的细沟侵蚀量较1985年黄土母质分别减少了64.6%和62.3%。造成这种现象的原因是1972年的黄土母质,由于十多年的撩荒和种植沙打旺,

在根系固结作用下, 土壤有较好的水稳性团粒结构, 其大于0.25毫米的水稳性团粒含量是1985年黄土母质的4倍。而有较好水稳性团粒结构的土壤, 抗蚀抗冲能力较强, 土壤不易冲刷。草地表土(>0.25毫米的水稳性团粒含量为44.8%)抗蚀抗冲性指标是农地表土(>0.25毫米水稳性团粒含量为6.8%)的31.8—32.7倍; 较之农地, 草地上很少出现细沟侵蚀。同时, 有较好团粒结构的土壤, 孔隙性状较好, 有利于水分入渗。在20°坡面上, 降雨动能为1,819.4焦耳/平方米的人工降雨试验资料表明了1972年黄土母质的稳渗率是0.40毫米/分, 而1985年黄土母质仅0.16毫米/分, 前者是后者的2.5倍。由于入渗量增加, 径流量相应减少, 径流侵蚀力也相应减弱, 使产沙量变小, 细沟侵蚀量减少。

(三) 坡度、坡长因素。

1. 坡度。坡度对细沟侵蚀产生极大影响, 在一定坡度范围内, 细沟侵蚀量随坡度增加而增加, 相关方程为:

$$G_R = 0.018 J^{2.138} \quad (r = 0.998^{**}) \quad (4)$$

J—坡度(度); G_R —细沟侵蚀量(公斤/平方米)。

坡度的影响主要表现在两个方面: 一是坡度增加, 产流提前, 入渗量减少, 径流量增大; 二是随坡度的增加, 位能增大, 使细沟侵蚀量增大。

2. 坡长。坡长对细沟侵蚀的影响较复杂。一般情况下, 在坡耕地上, 由于耕作引起的地表起伏不一, 径流量随坡长消长的变化及沿着坡长、坡度的变化等, 使细沟侵蚀沿着坡长的变化呈无明显的规律性。

野外调查资料表明, 在直形坡上, 细沟侵蚀量随坡长的变化规律为每隔20—30米出现侵蚀剧烈地段的波状起伏变化。

3. 坡度、坡长的综合分析。为了进一步说明坡度、坡长对细沟侵蚀的影响, 把二者与细沟侵蚀深度进行综合分析, 得:

$$R_{h_0} = 2.08 \times 10^{-4} J^{2.310} L^{0.733} \quad (r = 0.968^{**}) \quad (5)$$

J—坡度(度); L—细沟出现后从上到下的距离(米); R_{h_0} —细沟侵蚀平均深(毫米)。

方程式表明, 坡度对细沟侵蚀的影响远大于坡长的影响。这一点与国外研究结果相反^{[6][7]}。它说明了我国黄土高原的细沟侵蚀有其特殊性, 对这个问题有待作深入的研究。

4. 坡形。坡形不但影响细沟侵蚀的分布状况, 也影响细沟侵蚀的严重程度。野外调查资料表明: 在瓦背状地形的凹洼部分, 细沟侵蚀量大; 在凸起部分, 侵蚀量小。而直形坡侵蚀量小于凹洼部分, 大于凸起部分。三者之间的相关方程为:

$$\begin{aligned} y &= 0.1 + 1.3x & (r = 0.993^{**}) \\ z &= 1.4 + 0.5x & (r = 0.912^{**}) \end{aligned} \quad (6)$$

式中: x、y、z依次是直型坡、瓦背状地形的凹洼部分和凸起部分的细沟平均深度(毫米)。

(四) 土地管理因素。坡耕地是人类活动的场所, 因此, 坡耕地不合理的管理措施和技术, 将导致严重的细沟侵蚀。调查资料表明, 开垦的陡坡耕地上, 细沟侵蚀深是未开垦地的39.2倍, 翻耕休闲地是免耕麦茬地的9.3倍, 种植粗放的荞麦地是免耕麦茬地的7.9倍。因此, 不合理的管理技术和措施是引起细沟侵蚀的重要原因。

四、细沟侵蚀的防治措施

(一)留茬、覆盖。免耕留茬保持了土壤原有的物理结构,使土壤有较强的抗蚀抗冲性。留茬在 $10-20^{\circ}$ 的坡面上,减少细沟侵蚀量56%以上。覆盖降低了雨滴到达地表时的动能,以至完全保护了土体结构,使集流时间滞后,降低了径流的冲刷力,提高了土壤的入渗性能,减少了细沟侵蚀量。在 $10-25^{\circ}$ 坡面上,减少细沟侵蚀量在62%以上。

(二)草粮带状间作和水平沟种植。

1.草粮带状间作。观测资料表明,沙打旺与谷子的带状间作比单种谷子减少细沟侵蚀量59.8%;苜蓿与洋芋的带状间作比单种洋芋减少细沟侵蚀量42.6%。

2.水平沟种植。水平沟种植使径流分段汇集,相对缩短了汇集线,减少了径流量,使细沟侵蚀减少,且在水平沟内不发生细沟侵蚀。

(三)不同土地利用方式与细沟侵蚀量。观测资料表明,刺槐林、多年生柠条、天然草地、3年龄沙打旺不发生细沟侵蚀;生长状况不好的草木樨、苜蓿(覆盖度10%和16%)也能使细沟侵蚀量减少19.7%和39.7%;生长较好的1年龄沙打旺、红豆草分别减少细沟侵蚀量54.6%和85.6%。

五、结 语

1.细沟侵蚀是坡耕地土壤侵蚀的主要方式,在坡面细沟侵蚀区,细沟侵蚀量可占总侵蚀量的74%;在细沟、浅沟侵蚀区,细沟侵蚀量一般占浅沟侵蚀量的12—30%,最大可达40%以上。坡面产沙变化过程与细沟沟头前进速度成正相关,前者变化波动较后者滞后1—2分钟。

2.细沟侵蚀的发生是在坡面小股流的流程上,每隔一段形成跌水,进而演化成细沟下切沟头,下切沟头溯源侵蚀的加长和随之沟壁沟头的崩塌,形成了断续细沟,断续细沟沟头溯源侵蚀的连接形成了连续细沟。而坡面上所有细沟的彼此合并、分叉及连通则是细沟发展过程的主要表现形式。

3.影响细沟侵蚀的因素主要表现在降雨径流侵蚀力,土壤抗侵蚀性能,坡度、坡长和坡形及人为管理因子等。

4.防治细沟侵蚀的主要措施是免耕留茬和覆盖,草粮带状间作和水平沟种植及土地的合理利用。

5.有关降雨、径流侵蚀力在细沟侵蚀中的作用,细沟发生发展过程中水力学特性等,尚待进一步研究。

参 考 文 献

- [1] 唐克丽等,黄土高原水土流失与土壤退化研究初报,《环境科学》,1984年第6期。
- [2] 唐克丽等,杏子河流域坡耕地的水土流失及其防治,《水土保持通报》,1983年第5期。
- [3] 朱显谟,黄土高原流水侵蚀的主要类型及有关因素,《水土保持通报》,1981年3—4期和1982年1—3期连载。
- [4] 唐克丽等,杏子河流域的土壤侵蚀方式及其分布规律,《水土保持通报》,1984年第5期。
- [5] 中国科学院西北水土保持研究所编,《黄土高原杏子河流域自然资源与水土保持》(第二、三章),陕西科学技术出版社,1986年。

- [6] L.D.Meyer et al., Effect of Flow Rate and Canopy on Rill Erosion, Trans. ASAE., 1975, 18(5): pp905—911.
- [7] N.W.Vanliaw and K.E.Saxton: Slope Steepness and Incorporated Residue Effect on Rill Erosion, Trans. ASAE., 1983, 26(6): pp1736—1743.

Rill Erosion and Its Control in the Slopping Farmland of the Loess Plateau

Zheng Fenli

Abstract

A lot of data from simulated rainfall test in room and fixed observation, field survey in the typical hilly-gully area of Loess Plateau, North Shaanxi Province, show that soil loss from rill erosion takes up 70% of total soil loss in the slope. In the detachment flow-way of slope surface, as the runoff erosivity is great enough to wash soil lump and to form waterfalls, further the waterfalls evolving into headcuts in rill, rill erosion occurs. Unconnected rills are formed by downward erosion of headcuts and runoff washing rill bottom between headcuts, drawing back of the headcuts and collapsing of the rill wall. Thus the connection of several unconnected rill headcuts drawing back forms connected rill in a flow-way of the detachment flow. In this process, diverging, merging, connecting happen because of variation of rainfall erosivity and soil erodibility temporally and spatially.

Rainfall erosivity, soil erodibility, steepness and length and shape of slope and land management are main factor for rill erosion. Therefore, it is important to reduce rainfall and runoff erosivity and to improve soil erodibility for rill control. And zero-tillage with stubble and mulch, crop-grass strip intercropping, leveling furrow planting and rational land use are effective measure for rill control.