

陇东黄土高原沟道小流域的土壤侵蚀

常 茂 德

(水电部黄委会西峰水土保持科学试验站)

陇东黄土高原，地处北纬34°50′—37°10′和东经106°20′—108°40′之间。境内东有子午岭，西有六盘山，辖庆阳、平凉两区大部分县（市），总面积3.45万平方公里。现有人口286.39万，耕地102万公顷。年平均气温7—10℃，≥10℃积温3,000℃左右，年降水量500—600毫米。流域地质构造较为单一，除沟道下游沟床内有白垩纪沙岩露头外，其余地面几乎全部为黄土所覆盖，自下而上，有下列几种岩层：

沙岩。沙岩为本区土层下面之基岩，由于长期受流水冲刷，岩层下切可达20余米。

黄土状重亚粘土。分布在沟道中下游河床两侧，粘粒含量52.7%，干容重1.7—1.9克/立方厘米，质地坚硬，抗冲力强。但由于孔隙率小，膨胀系数大，遇到干湿、冷热变化，极易剥落。

黄土状亚粘土。分布在沟道中游及其两侧支沟沟口的谷坡上，粘粒含量33%，干容重1.6—1.7克/立方厘米。

红色黄土。在沟道上中下游的沟坡上均有露头，粘粒含量小于30%，干容重1.5—1.6克/立方厘米。

黄土。为本区表层岩层，分布极广，塬面梁嘴坡几乎全部为其覆盖。干容重1.4克/立方厘米左右，粘粒含量低，土质疏松，有明显的孔隙和垂直节理。

本区主要由直接流入泾河或其支流的自然条件基本相同的沟道小流域所组成。每条沟道小流域不论从土壤侵蚀作用、侵蚀类型、形态特征和分布以及治理都可以作为一个独立的基本单元。因此，可以用它来反映这一地区土壤侵蚀的基本情况和规律。

一、沟道小流域土壤侵蚀区划及侵蚀方式

根据侵蚀地貌形态，本区沟道小流域可以谷缘线为界分为三个区域：古代沟谷谷缘线以上部位称为塬地；现代沟谷谷缘线以下部位称为沟谷地；两者之间地带称为梁嘴坡地(如图1)。

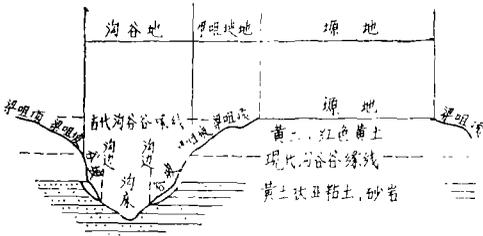


图1 陇东黄土高原沟道小流域横剖面示意图

塬地——地形宽广平坦，坡度一般在3°以下，多为农耕地，侵蚀方式以片蚀、细沟侵蚀为主。道路、胡同大部与沟头相连，是直接汇集塬面径流的主要通道，对沟谷的发展起着重要的作用。

梁嘴坡地——系塬的周围被沟谷切割的缓坡地带，坡度一般在10°—20°，多为农耕地，

侵蚀方式在梁嘴坡上部主要为片蚀、细沟侵蚀，下部常发生陷穴、漏斗等潜蚀。

沟谷地——包括现代沟谷的谷坡和残存的缓坡地以及沟床。谷坡的上下部，一般是 40° — 60° 的陡坡和大于 60° 的悬崖，干沟下游的沟床已切入基岩，上游及小支沟的沟床一般在黄土或红土层内，沟谷阶地的地面坡度一般小于 15° 。这里水力侵蚀和重力侵蚀都很活跃。侵蚀方式有沟谷扩展，沟头延伸，沟床侧蚀、深切。据调查，有些沟头一次暴雨中可以延伸数米至数十米。如南小河沟支沟马家拐沟，在一次暴雨中崩塌竟达8,280立方米，沟头延伸23米。

二、沟道小流域土壤侵蚀类型的形态特征与转化关系

(一) **土壤侵蚀类型的形态特征**。本区的现代侵蚀作用，是在第四纪以来，特别是全新世以来，在古地形面形成的基础上发展着的。每种侵蚀作用的结果，均产生与其相应的侵蚀形态和类型。

1、**面蚀类型**。以面状侵蚀作用为主，在谷坡部分有细沟、浅沟形态，塬面胡同道路面状侵蚀较为发育。

2、**潜蚀类型**。以地表水下渗的机械潜蚀作用为主。本区的潜蚀形态有陷穴、漏斗、串珠洞、盲沟、潜蚀浅沟等，多发生在黄土及黄土状土层内，地貌部位为 30° — 45° 的谷坡及 8° — 12° 的塬边斜坡地带。

3、**沟蚀类型**。以高速径流的冲刷作用为主。本区的沟蚀形态有悬沟和谷坡切沟两种，多发生在黄土、黄土状土层及二三级阶地冲积黄土状土层内，地貌部位为 60° — 75° 之间的现代化谷坡地带。

4、**重力侵蚀**。以地球引力、地下水、地震等作用为主。本区重力侵蚀方式有沟谷扩展，沟头延伸和沟床侧蚀、深切，常见的个体形态有滑坡、崩塌和泻溜。多发生在沟谷陡坡悬崖地带。

红土泻溜以温度、干湿变化及降水和径流作用为主，其侵蚀作用以表面土体的鳞片状剥蚀为主。在泻溜面上常有径流作用形成的细沟、浅沟形态的痕迹，多分布在沟道中游及支沟中下游。

5、**冲蚀**。以水流冲刷作用为主。在沟谷上游段，当沟谷纵向坡度为 7° — 11° 时，冲蚀形态断面呈V形；在沟谷中下游段随谷底纵坡降的减缓，侵蚀形态断面变为U形。

(二) **各种侵蚀类型之间的转化关系**。可概括为以下两种：

1、**面蚀——潜蚀——重力侵蚀——冲蚀**。此序列主要发生在各级沟道的沟头地带。当径流从塬面进入塬边缓坡地带时，由于侵蚀力的增强而产生各种面状侵蚀形态；当径流达到沟边时，侵蚀力进一步增强，即产生各种潜蚀形态；当径流进入沟谷时，坡度急剧增大，底冲力及侧蚀力进一步加强，使沟谷不断刷深，两侧谷坡因不稳定而发生重力侵蚀；重力侵蚀的堆积物又不断被径流携走，而以冲蚀完成本序列的最终过程。随着这一序列的转化，沟头则进一步向塬内延伸。

2、**面蚀——潜蚀——沟蚀——重力侵蚀——冲蚀**。此序列主要发生在沟谷中下游地段的谷坡部分。当径流从古代谷坡的上部进入下部地带时，由于水量增加，产生面蚀，进而转化为潜蚀，到现代沟谷谷缘线附近，开始转化为沟蚀作用，产生悬沟或切沟，进而发展为谷坡冲沟，并在其两侧陡壁发生以崩塌和小型滑坡为主的重力侵蚀，最后在谷底部分形成冲蚀，结束了这一转化序列的全部过程。

三、沟道小流域不同土地类型的土壤侵蚀模数

根据试验观测，得出不同侵蚀地貌类型的土壤侵蚀模数如表1。塬地、梁峁坡地、沟谷地侵蚀模数之比为1:0.8:18.8，可见泥沙主要来自沟谷。这一现象主要由于上述不同侵蚀地貌和侵蚀

表1 南小河沟小流域十八亩台以上不同侵蚀地貌类型的土壤侵蚀模数

流域面积 (平方公里)	年平均侵蚀模数 吨/平方公里	地貌类型									塬地、梁峁坡地、沟谷地侵蚀模数之比
		塬面			梁峁坡地			沟谷地			
		年平均侵蚀模数 吨/平方公里	面积 (%)	侵蚀量 (%)	年平均侵蚀模数 吨/平方公里	面积 (%)	侵蚀量 (%)	年平均侵蚀模数 吨/平方公里	面积 (%)	侵蚀量 (%)	
30.62	4,350	810	65	12.3	666	9	1.4	15,200	33.6	86.3	1:0.8:18.8
备注	表中梁峁坡模数较小，其原因是治理前塬面道路、胡同侵蚀量大，加之梁峁坡度较缓，坡长较短。										

方式特点所造成的。

在本区自然地理和土地利用情况下，暴雨对土壤侵蚀的影响很大。严重的土壤侵蚀往往是由一年少数几次暴雨造成的。如1960年8月2日一次降雨116.1毫米，十分钟最大雨量9.6毫米，侵蚀模数达14,560吨/平方公里。所以必须注意防止少数几次大暴雨所造成的土壤侵蚀。

从董庄沟实测资料看，不同重现期塬水下沟对流域泥沙来量影响很大(如表2)。塬水未下沟谷，流域泥沙来量一般为1.57—2.30万吨，塬水下沟后，流域泥沙来量剧增为11—15.4万吨，侵蚀模数增加6.7—7倍。所增加的泥沙量占流域泥沙总量的76.8—77.9%。

表2 塬水下沟谷泥沙增加情况分析

重现期 (年)	雨量 (毫米)	下 塬			未 下 塬			塬 面			影 响 量 (万吨)	占 总 量 (%)
		径流深 (毫米)	侵蚀模数 吨/平方公里	侵蚀量 (万吨)	径流深 (毫米)	侵蚀模数 吨/平方公里	侵蚀量 (万吨)	径流深 (毫米)	侵蚀模数 吨/平方公里	侵蚀量 (吨)		
5	67.7	5.04	3,600	11.02	5.006	1,500	1.57	5.064	431.6	8,702	8.58	77.9
10	88.2	6.28	4,300	13.17	6.554	1,900	1.99	6.131	545.1	10,990	10.08	76.5
20	97.2	7.19	5,050	15.46	7.776	2,200	2.30	6.885	633.4	12,770	11.88	76.8

四、沟道小流域土壤侵蚀强度分级

依据地形、岩性和侵蚀类型，并参考植被、防护措施因素，可将沟道小流域土壤侵蚀的强度大致分为6级：

1、强度侵蚀。主要特征为沟谷的溯源侵蚀，以重力侵蚀为主，个体形态有切层滑坡、崩塌、泻溜、切沟、谷底冲蚀。滑坡个体可产生数万至十万立方米的土体，崩塌可产生数百至数千立方米的土体，沟头一般每年可前进1—5米，谷坡扩展每次可达数米。侵蚀作用活跃。

2、较强度侵蚀。侵蚀作用仍处于活跃发展阶段，以红土泻溜和沟蚀为主，其次为面蚀和潜蚀，

在二级阶地前缘容易发生崩塌。红土泻溜年平均侵蚀模数达4.4万吨/平方公里。

3、中度侵蚀。侵蚀作用不甚强烈，古代谷坡上潜蚀形态不明显，现代谷坡上沟蚀发育，个体形态有悬沟和切沟。重力侵蚀呈零星分布。

4、轻度侵蚀。主要分布于沟边500—1,000米宽的微倾斜地带及破碎塬面，以面状侵蚀为主，一次暴雨即可冲刷成深0.1—0.3米、宽小于0.5米的细沟和浅沟，对农业生产有较大危害性。

5、微弱侵蚀。只是在雨季，在胡同道路处可见侵蚀现象，对道路有一定破坏性。

6、侵蚀不明显。在基岩分布地带和水库淤积范围，侵蚀均不明显。

五、不同侵蚀量及不同施肥量对农作物产量的影响

试验地选于董志塬中部路家堡村的农田，为典型的黑垆土，0—40厘米为熟化层及古耕层，40—106厘米为黑垆土层，106—166厘米为钙积层，166厘米以下为母质层，代表性较强。

土壤侵蚀层次的划分，是按照本区具有代表性的土壤剖面各层次的厚度划分的，即将熟化层及古耕层40厘米分为2层，每层20厘米；黑垆土层分为3层，每层22厘米；钙积层分为3层，每层20厘米；母质层分为3层，分别为20、25、30厘米。总共11层。除表层（0—20厘米）外，其余各层均将其上层土壤全部铲除，以代表侵蚀深度。

每层又设不施肥、每公顷施22.5吨、45吨有机肥3个处理。每个处理小区面积3×4平方米，3次重复，顺序排列，共99个小区。第一、二重复间距0.5米，第二、三重复由于前作不同（前者为小麦，后者为高粱），间距为1米，每层地边均作0.5米宽的土埂。小区间距0.2米，并修小土埂。每层两端设有3米及5米宽的保护行。第11层下端设有1米宽的保护行及0.7米宽的人行道。场地周围设有排水沟。

供试作物头一年为马铃薯，次一年为冬小麦。马铃薯采取正方形穴栽，株行距为60厘米；冬小麦播种量为135公斤/公顷，管理均同一般大田。

（一）不同侵蚀深度与产量的关系

两年小区试验结果表明，侵蚀深度越大，产量越低，即产量随土壤侵蚀深度的加大而递减。从不施肥的情况来看，头年马铃薯产量第2层较第1层减产75.4%，第11层较第1层减产88.7%；次年小麦产量，第2层较第1层减产69.3%，第11层较第1层减产91.7%。第3层到第11层基本是递减趋势，但产量曲线在第1、2层之间突然下降。在第2层以下则变化平缓。这说明土壤保留肥沃的表土，产量是相当高的；若表土遭受侵蚀，则作物产量迅速下降（表3、表4）。

从同一施肥水平来说，亦表现出产量随侵蚀深度加大而降低的趋势。以每公顷施45吨肥为例，马铃薯第2层较第1层减产58.31%，第11层较第1层减产74.48%。小麦第2层较第1层减产50.69%，第11层较第1层减产75.77%。这种差异似与土壤有机质含量及土壤熟化程度有关。表层土壤有机质含量高1.07%，熟化程度高，产量较高；黑垆土层土壤有机质含量虽高0.76—1.17%，但熟化程度低，产量次之；钙积层土壤有机质含量较低，0.57—0.71%，熟化程度也低，产量又次之，母质层产量最低（表5）。

从耕作年限来看，第1年马铃薯产量，黑垆土层低于熟化层，但第2年小麦产量，黑垆土层表现稍有起色。以第5层而言，其产量较之第2层略显增加，增产4.0—4.03%，而与第1层相比，尚减产46.66—65.27%。这种变化亦与土壤熟化程度有关。黑垆土层有机质含量高，具有潜在肥力，但埋藏甚久，养分未能氧化，因而初期利用，作物可吸收利用的速效养分不多，因而马铃薯产量较第2层低；但经过一年多时间的多次耕翻后，土壤养分逐年氧化释放，变为作物可吸

表 3

不同侵蚀深度的马铃薯产量

层次	侵蚀深度 (厘米)	公顷施45吨肥		公顷施22.5吨肥		不 施 肥	
		吨/公顷	%	吨/公顷	%	吨/公顷	%
1	0	9.3	100.00	8.8	100.00	8.7	100.00
2	20	3.9	41.69	3.2	36.24	2.1	24.63
3	40	3.5	37.56	2.8	31.64	1.7	19.71
4	62	3.3	35.99	2.5	28.49	1.6	19.01
5	84	3.2	34.66	2.3	25.46	1.5	16.72
6	106	2.7	28.60	2.0	22.80	1.1	12.62
7	126	2.5	27.02	1.9	22.00	1.0	11.77
8	146	2.2	23.94	1.8	20.05	1.1	12.22
9	166	2.4	25.61	1.8	20.82	0.9	10.71
10	191	2.3	24.95	1.5	17.49	1.0	11.32
11	221	2.4	25.52	1.5	16.91	1.0	11.30

表 4

不同侵蚀深度的小麦产量

层 次	侵蚀深度 (厘米)	公顷施45吨肥		公顷施22.5吨肥		不 施 肥	
		公斤/公顷	%	公斤/公顷	%	公斤/公顷	%
1	0	524.0	100.00	496.7	100.00	375.1	100.00
2	20	258.4	49.31	186.7	37.58	115.3	30.73
3	40	208.7	39.82	173.9	35.01	101.4	27.03
4	62	228.6	43.63	183.8	37.01	108.6	28.95
5	84	279.5	53.34	193.1	38.86	130.3	34.73
6	106	242.3	46.24	170.3	34.29	112.8	30.07
7	126	253.7	48.41	182.8	36.80	103.9	27.69
8	146	192.2	36.69	142.3	28.64	92.6	24.68
9	166	188.1	35.90	138.1	27.80	67.8	18.08
10	191	163.4	31.18	107.8	21.70	49.2	13.12
11	221	127.0	24.23	83.1	16.73	31.4	8.36

收利用的速效养分，因而小麦产量比第2层略高，而仍低于肥沃、热化程度高的表层。

(二) 不同施肥量与产量的关系

试验结果表明，不同侵蚀深度的土层对施肥的生物反应不同。同一侵蚀层次，每公顷施肥45吨与不施肥比较：表土层马铃薯增产7.09%、小麦增产39%；黑垆土层马铃薯增产102—122%，小麦增产110—114%；钙积层马铃薯增产109—145%，小麦增产107—144%；母质层马铃薯增产136—156%，小麦增产177—305%。不同侵蚀层次的土壤对施肥的生物反应依次为母质层>钙积层>黑垆土层>表层。

表 5

不同侵蚀深度土壤理化性质

侵蚀层次	采样深度 (厘米)	有机质 (%)	容 重 克 立方厘米	碳 酸 钙 (%)	颗 粒 分 析		
					砂粒(%) 0.5—0.05	粉砂粒(%) 0.05—0.002	粘粒(%) 0.002—<0.001
1	0—15	1.07	—	6.08	4.6	80.6	14.8
	16—30	0.95	—				
2	0—15	0.73	1.42	3.73	6.8	77.2	16.0
	16—30	0.90	—				
8	0—15	1.16	1.27	4.44	3.1	76.3	20.6
	16—30	1.20	—				
4	0—15	1.17	1.27	7.16	4.5	72.8	22.7
	16—30	1.11	—				
5	0—15	1.02	1.32	8.90	4.4	71.8	23.8
	16—30	0.94	—				
6	0—15	0.84	1.36	12.68	3.0	76.0	21.0
	16—30	0.76	—				
7	0—15	0.71	1.36	14.37	3.0	76.3	20.7
	16—30	0.66	—				
8	0—15	0.64	1.40	15.21	3.5	76.5	20.0
	16—30	0.59	—				

当熟化层完全被侵蚀后，即使增施大量肥料，产量仍然很低。如每公顷施肥45吨的黑垆土层，马铃薯单产仅3.4—3.5吨，不及表层不施肥每公顷产8.7吨的一半。小麦的减产幅度亦相当大。可见防止土壤侵蚀，特别是保护熟化层，对提高作物产量在黑垆土地区尤为重要。

不同侵蚀深度的土层，施肥量不同增产程度不同。各侵蚀层的增产百分数均为公顷施肥料45吨>公顷施肥料22.5吨>不施肥料。

从马铃薯的重量来看，亦是公顷施肥料45吨>公顷施肥料22.5斤>不施肥料。