

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2024.05.028.

刘焕永, 杜鹏飞, 赵莹, 等. 暴雨条件下黄土高原荞麦地的沟蚀特征: 以陕西省定边县为例[J]. 水土保持研究, 2024, 31(5): 1-8, 17.

Liu Huanyong, Du Pengfei, Zhao Ying, et al. Characteristics of Gully Erosion on Buckwheat Field in the Loess Plateau under Heavy Rainfall Conditions: A Case Study in Dingbian County, Shaanxi Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2024, 31(5): 1-8, 17.

暴雨条件下黄土高原荞麦地的沟蚀特征

——以陕西省定边县为例

刘焕永, 杜鹏飞, 赵莹, 陈吟

(中国水利水电科学研究院 国际泥沙研究培训中心, 北京 100048)

摘要: [目的] 探究暴雨条件下黄土高原荞麦地的侵蚀特征, 分析影响荞麦地沟蚀的可能影响因素, 为黄土高原坡耕地的治理提供参考依据。[方法] 以陕西定边 2022 年 7 月 10 日暴雨事件为例, 采用遥感和实地测量相结合的方法, 分析了荞麦地的沟蚀特征, 探讨了影响荞麦地的主要因素。[结果] (1) 暴雨条件下的荞麦地侵蚀沟头多从与其他地类交接处发育。(2) 细沟平均宽度和平均深度范围分别为 5.2~29.5 cm 和 2~19.6 cm, 宽深比和沟密度分别介于 0.88~3.782 m/m², 0.028~1.56 m/m², 细沟侵蚀强度最大为 20 294.66 t/km²。(3) 浅沟平均宽度和平均深度范围分别为 37.3~173 cm 和 8~30.7 cm, 宽深比和沟密度分别介于 2.161~18.750 m/m², 0.003~0.142 m/m², 浅沟侵蚀强度最大为 31 629.83 t/km²。(4) 荞麦地沟蚀过程同时受到坡度、坡长、上方汇水面积以及相邻地块措施因素的影响。[结论] 与草地、覆膜玉米地等其他地类相比, 暴雨条件下荞麦坡耕地沟蚀土壤侵蚀较为严重, 达到了剧烈侵蚀强度。

关键词: 沟蚀; 荞麦地; 暴雨; 黄土高原; 坡耕地

中图分类号: S157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2024)05-0001-08

Characteristics of Gully Erosion on Buckwheat Field in the Loess Plateau Under Heavy Rainfall Conditions — A Case Study in Dingbian County, Shaanxi Province

Liu Huanyong, Du Pengfei, Zhao Ying, Chen Yin

(International Research and Training Center on Erosion and Sedimentation,
China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100048, China)

Abstract: [Objective] The aims of this study are to explore the erosion characteristics of buckwheat fields on the Loess Plateau under heavy rain conditions, to try to analyze the potential influencing factors, and to provide a reference for the management of slope farmland on the Loess Plateau. [Methods] The rainstorm event of 10 th July 2022 in Dingbian, Shaanxi Province were taken as an example. The features of gully erosion on buckwheat land were analyzed based on a combination of remote sensing and field measurements, and the influences on gully erosion on buckwheat land were investigated. [Results] (1) The gully heads within buckwheat farmland affected by severe rainfall tended to form where they intersected with other land types. (2) The average width and depth of rill erosion varied between 5.2 to 29.5 cm and 2 to 19.6 cm, respectively. The ratio of width to depth and the gully density ranged from 0.88 to 3.782 and 0.028 to 1.56 m/m², respectively. The erosion intensity of rill erosion was at a maximum of 20 294.66 t/km². (3) The ephemeral gully had an average width and depth ranging from 37.3 to 173 cm and 8 to 30.7 cm, respectively. The ratio of width to depth and gully densities were 2.161~18.750, and 0.003~0.142 m/m², respectively.

收稿日期: 2023-09-25

修回日期: 2023-11-30

资助项目: 国家自然科学基金项目(U2243213); 国家重点研发计划“政府间国际科技创新合作”项目(2021YFE0113800); 中国水利水电科学研究院青年托举项目(SC110145B0012023)

第一作者: 刘焕永(1995—), 男, 山东省临沂市人, 博士研究生, 研究方向为土壤侵蚀和水土保持研究。E-mail: lhyong_023@163.com

通信作者: 杜鹏飞(1982—), 男(蒙古族), 内蒙古赤峰人, 博士, 正高级工程师, 主要从事土壤侵蚀和水土保持研究。E-mail: dupf@iwhr.com

<http://stbcyj.paperonce.org>

Additionally, the maximum intensity of ephemeral gully erosion was 31 629.83 t/km². (4) The gully erosion in buckwheat fields was affected by the slope, length of slope, upstream catchment area, and the measures taken by neighbouring plots. [Conclusion] Compared with other land types such as grasslands and mulched cornfields, gully erosion of the buckwheat slope cropland under heavy rainfall conditions is more severe, and reaches to the intensity of intense erosion.

Keywords: gully erosion; buckwheat fields; heavy rainfall; Loess Plateau; slope croplands

土壤侵蚀造成了土地资源退化、粮食减产、环境污染、河湖库塘淤积,危害严重^[1]。降雨作为土壤侵蚀的主要营力,是黄土高原水土流失的主要因素。近年来,伴随着全球气候变化,尤其是极端降雨事件的频繁发生,单次土壤侵蚀的严重性有加剧的趋势,这势必会产生一系列的连锁反应,从而限制经济和社会的可持续发展^[2]。已有研究表明,黄土高原的降雨多为短历时、大暴雨,且黄土高原一年的土壤侵蚀量往往取决于少数的几次降雨,土壤侵蚀的集中度相当高^[3-4]。极端降雨影响了坡面土壤入渗,更易产生地表径流,从而加剧土壤侵蚀,并导致进入沟道的泥沙量大幅增加。

坡耕地作为黄土高原水土流失治理的重点区域,由于没有稳定的植被覆盖,加之土壤经常性翻耕,其水土流失量是林草地的几倍^[5]。李桂芳等^[6]通过天然降雨观测试验的数据发现,在暴雨和大暴雨条件下,坡耕地所产生的侵蚀量占年总侵蚀量的 99%;Tang 等^[7]以子洲县的一次特大暴雨过程为样本,发现坡耕地坡面的土壤侵蚀强度比林地和草地坡面大几十倍。由此可见,暴雨条件下坡耕地依然是黄土高原水土流失的重灾区,研究暴雨条件下坡耕地的土壤侵蚀分布特征,对于提高黄土高原坡耕地土壤侵蚀的预报精度,和探索黄土高原更为合理的种植模式具有重要意义。

由于荞麦生长周期短且具有较强的环境适应性,特别是具有一定的耐旱能力,因而在我国的干旱、半干旱地区的高原山区广为种植,其中陕甘宁晋荞麦播种面积为 19.53 万 hm²,占全国的 43.96%^[8-10]。已有研究表明,荞麦具有一定的蓄水保土作用^[11],但对暴雨条件下的荞麦地侵蚀沟发育特征及影响因素的研究还不多见。在这种情况下,依托 2022 年 7 月 10 日定边县出现的暴雨事件,本研究对定边县暴雨区域内的荞麦地侵蚀沟进行实地测量,并分析侵蚀沟特征,探讨坡度、坡长、上方汇水及立地条件的影响,以期为该区域荞麦地的水土流失治理提供参考。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

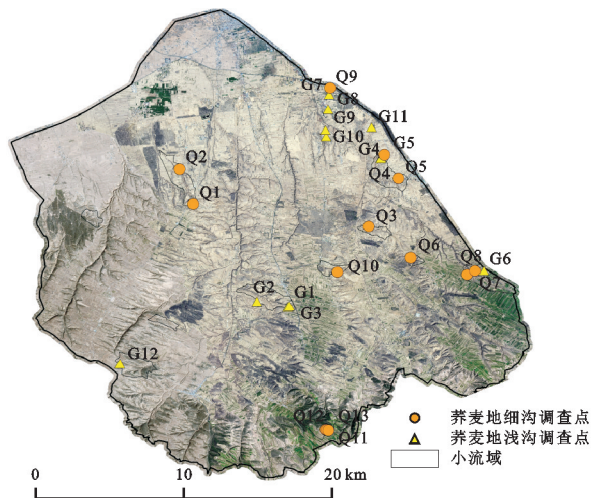
定边县位于陕西省西北部(107°15′—108°22′E, 36°49′—37°52′N),东西宽 98 km,南北长 118 km,总

面积 6 920 km²,其中耕地 1 988 km²,海拔 1 303~1 911 m,气候为典型的温带大陆性气候,年平均气温 9.3 ℃,年平均降水量 346.9 mm,年平均蒸发量 2 304.3 mm。定边县荞麦年种植面积达到 3.3 万 hm²,占耕地总面积的 16.8%,是名副其实的中国荞麦第一种植大县^[12-13]。

2022 年 7 月 10—11 日,定边城区发生了极端暴雨事件,累计降雨量达 91.1 mm,其中冯地坑和海子梁更是超过了 100 mm,全县 23 个监测站中 17 个站降雨量超过 50 mm。与玉米、苜蓿等作物相比,荞麦地的土壤侵蚀更为严重。为此,在水利部水土保持监测中心的统一部署下,中国科学院水利部水土保持研究所和中国水利水电科学研究院联合开展了定边暴雨水土保持调查工作。调查的流域范围位于黄河流域的闭流区,面积为 523.43 km²。

1.2 研究方法

1.2.1 野外调查 调查区域主要以坡耕地、退耕地和草地等土地利用类型为主。以土地利用类型、可达性和所选小流域的代表性为原则,选定 12 个典型小流域进行抽样调查(图 1),共涉及荞麦坡耕地中的细沟样地 13 个,浅沟样地 12 个,同时,为对比不同作物的水土流失差别,还对这些流域内的典型翻耕地、草地、苜蓿、燕麦、油菜以及玉米地进行了调查(表 1—2)。



注:基于标准地图服务系统下载的审图号 GS(2020)4619 号的标准地图制作,底图未做修改,下同。

图 1 调查区位置及调查点分布

Fig. 1 Location of survey area and distribution of survey points

调查采用基于 Google 卫星地图的奥维互动地图软件和野外实地勘测相结合的方法,于 2022 年 7 月 28 日—30 日开展。现场调查时,使用地质罗盘测量样地坡度,实地采用测尺测量样地坡长,并采用目估法测量植被覆盖度。针对形状规则的细沟,采用测尺对每条沟的长度、宽度和深度(Q10—Q13)进行全测量;针对不规则的细沟,选取 5 m 宽的调查样带,从

坡耕地的顶部,以 2 m 为间隔测量若干断面的宽度和深度,一直测量到田块的底部,记录每个断面处细沟的条数(Q1—Q9);针对不规则的浅沟,首先用皮尺测量浅沟的长度,当浅沟长度小于 50 m 时,以 2 m 为间隔测量沟的宽、深状况;大于 50 m 时,以 5 m 为间隔测量;若浅沟断面变化复杂,对测量点进行适当加密,以保证测量精度。

表 1 细沟侵蚀样地情况
Table 1 Sample plots of rill erosion

作物 种类	样地	样地 面积/m ²	平均 坡度/(°)	坡长/ m	植被 覆盖度/%	上方汇水 面积/m ²	上方地块 属性
荞麦地	Q1	27.0	7	74.49	70	7919.04	荞麦地
	Q2	27.0	12	34.90	40	1018.07	草地
	Q3	50.0	8	10.00	90	2872.10	草地
	Q4	100.0	10	22.00	40	4117.98	荞麦地
	Q5	263.2	10	28.00	10	665.68	道路
	Q6	100.0	7	20.00	30	1294.66	草地
	Q7	112.5	12	22.50	80	19299.70	荞麦地
	Q8	185.0	6	37.00	40	2721.51	草地
	Q9	12.5	6	2.50	12	13225.80	荞麦地
	Q10	5500.0	14	73.76	80	8750.17	梯田
	Q11	3259.0	22	13.25	80	24832.90	梯田
	Q12	2549.0	16	25.92	16	15382.30	梯田
	Q13	3074.0	10	45.93	80	11575.90	梯田
草地	S1	1580.0	14	27.86	90	4889.21	荞麦地
	S2	1087.0	15	26.48	90	10869.30	荞麦地
	S3	3040.0	16	40.34	55	482.57	荞麦地
苕麻地	S4	50.0	12	10.00	50	1557.97	草地
	S5	360.0	16	72.00	0	2273.85	草地
翻耕地	S6	27.0	16	59.21	0	2229.95	道路
	S7	80.0	15	16.00	0	2273.85	翻耕地
燕麦地	S8	2511.7	16	32.71	70	9762.72	荞麦地
油菜地	S9	28.5	8	38.65	30	8788.37	荞麦地
	S10	90.0	8.0	18.00	70	14359.40	梯田
玉米地	S11	130.0	5	26.00	90	20894.70	荞麦地
	S12	27.0	4	207.50	80	1303.66	坡顶

1.2.2 侵蚀参数计算 采用侵蚀沟的长度、宽度和深度作为侵蚀沟形态指标,计算侵蚀沟宽深比、平面密度、侵蚀强度来分析此次暴雨的荞麦地侵蚀特征:

(1) 侵蚀沟的宽深比(ζ)是指侵蚀沟宽度与其对应的深度的比值,无量纲,可用(1)计算。

$$\zeta = \frac{\sum_{i=1}^n B_i}{\sum_{i=1}^n H_i} \tag{1}$$

式中: B_i 为第 i 个测量点处的沟宽度(cm); H_i 为第 i 个测量点处的沟深度(cm); n 为样方内侵蚀沟的个数。

(2) 侵蚀沟密度(ρ)是指单位面积上沟的长度,可用以下式进行计算。

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{A} \tag{2}$$

式中: ρ 为沟密度(m/m²); n 为沟的总条数; L_i 为第 i 条沟的长度(m); A 为所研究样方的面积(m²)。

(3) 侵蚀强度(E_r):是指单位面积上的侵蚀量(t/km²),沟体积、侵蚀量、侵蚀强度采用容积法进行计算^[14]。具体公式如下:

$$E_r = \frac{\sum_{i=1}^n B_i \times H_i \times L_i}{A} \times \rho_b \tag{3}$$

式中: B_i 为第 i 个测量段的沟平均宽度(cm); H_i 为第 i 个测量段的沟平均深度(cm); L_i 为第 i 个测量段的沟长度(cm); A 为所研究样方的面积(m²); ρ_b 为土壤容重,依据前人的研究结果^[15],坡耕地的土壤容重统一采用 1.23 g/cm³。

(4) 汇水面积(Area):依据野外无人机获取的影像以及数字高程模型(DEM),在 ArcGIS 中通过勾画山脊以及山顶划分雨水收集范围线,获得汇水面积(m²)。

表 2 浅沟侵蚀样地情况
Table 2 Sample plots of ephemeral gully erosion

作物种类	样地	样地面积/m ²	平均坡度/(°)	坡长/m	植被覆盖度/%	上方汇水面积/m ²	上方地块属性
荞麦地	G1	1969.00	11.3	110.00	80	1923.63	梯田
	G2	5321.71	12.0	29.30	30	12873.50	翻耕地
	G3	1200.00	12.0	6.03	5	566.16	梯田
	G4	120.00	5.0	2.90	65	1058.61	荞麦地
	G5	1856.89	6.0	22.10	85	25154.20	玉米地
	G6	8378.00	8.0	44.35	80	42374.10	玉米地
	G7	15626.00	8.0	100.48	50	21927.80	草地
	G8	47594.50	10.0	162.44	55	78035.80	荞麦地
	G9	2554.00	5.0	41.68	50	3846.77	草地
	G10	1184.10	10.0	54.10	75	4971.14	草地
	G11	4359.65	3.0	195.50	55	86220.30	草地
	G12	4739.97	10.4	20.00	2	174.49	道路
苴麻地	H1	1495.00	12.0	31.38	40	1557.97	草地
玉米地	H2	241.00	12.0	45.79	80	5939.87	翻耕地

2 结果与分析

2.1 荞麦地的沟头发育位置

现场调查的结果表明,与种植其他作物的坡耕地相比,荞麦地更容易发生侵蚀,并且侵蚀沟沟头一般从荞麦地与其他作物交接处开始发育。与草地相比,处于幼苗期与始花期的荞麦,因其植被覆盖率较低而导致水土流失较为严重;相对于荞麦地,覆膜玉米地的地膜不仅能改善土壤的物理性质,而且阻挡了雨水对土壤的破坏,减少了土壤的侵蚀量,同时,垄膜沟种也有效地控制了径流的形成^[16]。

2.2 荞麦地沟蚀形态

选取的 13 块样地中荞麦地细沟的侵蚀情况如表 3 所示。细沟的平均宽度变化范围为 5.2~29.5 cm,平均深度的变化范围为 2~19.6 cm,宽深比介于 0.88~3.782,细沟密度最小为 0.028 m/m²,最大为 1.56 m/m²,土壤侵蚀强度最大为 20 294.66 t/km²,平均土壤侵蚀强度也达到了 8 063.91 t/km²。对于草地,只有一小部分出现少量土壤侵蚀,其土壤侵蚀强度平均值为 684.11 t/km²,最大值仅为 1 517.1 t/km²;翻耕地 S5,S6,S7 的沟蚀平均宽度的均值与平均深度的均值相差不大,分别为 0.238 m,0.112 m,其平均侵蚀强度为 17 871.48 t/km²,是荞麦地侵蚀强度的 2.22 倍,翻耕地土壤侵蚀强度最大值为 29 978.18 t/km²;玉米地 S12 与 S11 样地侵蚀强度分别为 25 604.39 t/km²,9 934.62 t/km²;其他地类如苴麻地、燕麦地以及油菜地,未出现较强的土壤侵蚀,土壤侵蚀强度

均比荞麦地的均值小。

选取的 12 块样地中荞麦地浅沟侵蚀情况如表 4 所示。浅沟的平均宽度变化范围为 37.3~173 cm,平均深度的变化范围为 8~30.7 cm,宽深比介于 2.161~18.750,沟密度最小为 0.003 m/m²,最大为 0.142 m/m²,土壤侵蚀强度最大为 31 629.83 t/km²,平均土壤侵蚀强度为 10 436.36 t/km²。H1 苴麻地和 H2 玉米地土壤侵蚀强度分别为 5 555.36 t/km²,25 968.38 t/km²。

从表 3—4 中可以看出,荞麦地上细沟数量的均值与浅沟的相差不大,分别为 16 条和 11 条,但荞麦地上细沟平均长度的均值为 7.29 m,要远小于浅沟的 31.03 m,同时,细沟密度的均值是浅沟的 8 倍多,分别为 0.371 m/m²,0.044 m/m²。图 2A 和图 2B 分别为利用表 1—2 得到的荞麦地细沟、浅沟的坡度坡长箱型图,此次荞麦地侵蚀沟调查中细沟的主要分布坡度为 7°~12°,而浅沟主要分布坡度范围整体要比细沟低,且坡度的平均值要略小于细沟,但是二者的坡度中位数分别为 10°和 9°,较为接近。由图 2B 可知,与坡度分布相似不同,细沟的坡长分布相对于浅沟的 21.1~105 m 更为集中,主要分布于 20~37 m,而且细沟分布的坡长中位数与平均值都要显著小于浅沟。

2.3 不同因素对荞麦地沟蚀的影响分析

2.3.1 坡度对荞麦地沟蚀的影响 图 3 为不同坡度下细沟和浅沟的土壤侵蚀强度。由图可见,本次降雨形成的细沟坡度与土壤侵蚀强度相关性不强,同样,浅沟侵蚀中,坡度与侵蚀强度也不存在显著的相关性。

表 3 细沟侵蚀特征参数

Table 3 Characteristic parameters of rill erosion

样地	数量	平均 长度/m	平均 宽度/m	平均 深度/m	宽深比	沟密度/ ($\text{m} \cdot \text{m}^{-2}$)	侵蚀强度/ ($\text{t} \cdot \text{km}^{-2}$)
Q1	6	2.94	0.171	0.117	1.456	0.654	14575.04
Q2	6	3.00	0.160	0.181	0.880	0.667	20294.66
Q3	4	4.00	0.144	0.068	2.105	0.320	4878.18
Q4	2	10.50	0.290	0.122	2.377	0.210	11679.77
Q5	6	10.43	0.212	0.108	1.963	0.238	6950.06
Q6	3	14.60	0.295	0.078	3.782	0.438	13527.79
Q7	5	7.00	0.162	0.083	1.961	0.311	8576.04
Q8	2	26.50	0.273	0.196	1.396	0.286	19067.58
Q9	8	2.44	0.052	0.020	2.600	1.560	1192.49
Q10	24	6.48	0.159	0.093	1.709	0.028	1297.46
Q11	68	2.18	0.113	0.101	1.115	0.045	926.41
Q12	38	2.20	0.109	0.093	1.163	0.033	1121.34
Q13	37	2.53	0.111	0.084	1.319	0.030	744.06
S1	4	22.33	0.250	0.083	3.030	0.057	1517.10
S2	5	2.42	0.122	0.214	0.570	0.011	313.44
S3	15	0.92	0.199	0.111	1.784	0.005	221.77
S4	9	1.33	0.117	0.072	4.751	0.240	2375.75
S5	3	28.67	0.347	0.093	6.334	0.239	11521.00
S6	6	3.00	0.142	0.119	3.162	0.667	12115.27
S7	6	9.67	0.225	0.125	3.795	0.725	29978.18
S8	36	3.59	0.176	0.125	1.411	0.051	2511.73
S9	5	3.00	0.151	0.101	3.832	0.526	6342.11
S10	3	6.00	0.093	0.035	8.713	0.200	856.22
S11	5	7.82	0.293	0.092	5.889	0.301	9934.62
S12	7	2.76	0.221	0.156	3.006	0.715	25604.39

表 4 浅沟侵蚀特征参数

Table 4 Characteristic parameters of ephemeral gully erosion

样地	数量	平均 长度/m	平均 宽度/m	平均 深度/m	宽深比	沟密度/ ($\text{m} \cdot \text{m}^{-2}$)	侵蚀强度/ ($\text{t} \cdot \text{km}^{-2}$)
G1	8	13.75	0.390	0.170	3.674	0.056	4628.74
G2	16	47.25	0.616	0.209	3.755	0.142	22006.76
G3	1	10.70	1.730	0.224	7.723	0.009	3660.35
G4	1	2.90	1.500	0.080	18.750	0.024	3567.00
G5	8	16.62	1.357	0.232	5.849	0.072	28061.92
G6	1	44.35	1.089	0.307	3.547	0.005	2157.25
G7	6	32.18	0.588	0.099	5.939	0.012	823.51
G8	10	69.79	0.952	0.185	5.146	0.003	3070.57
G9	2	26.10	0.551	0.255	2.161	0.020	3590.18
G10	11	2.57	0.438	0.178	2.461	0.024	31629.83
G11	2	97.75	0.373	0.155	2.403	0.045	3332.90
G12	66	8.35	0.533	0.237	2.249	0.116	18707.33
H1	21	5.83	0.320	0.144	2.218	0.082	5555.36
H2	1	48.20	0.533	0.193	3.783	0.200	25968.38

2.3.2 坡长对荞麦地沟蚀的影响 坡长对坡面汇流过程及坡面径流、侵蚀产沙过程具有重要影响。为反映极端暴雨条件下坡长对土壤侵蚀的总体作用,点绘了不同坡长下的土壤侵蚀强度。对所有调查细沟而言,坡长与土壤侵蚀强度呈现出的多项式函数关系中,其中 R^2 为 0.181 7,表明荞麦地发育细沟的坡长与土壤侵蚀强度

无显著的相关关系。但是如果不考虑全测量(Q10, Q11, Q12, Q13)细沟, 荞麦地发育的细沟坡长与土壤侵蚀强度的关系为有一个极大值的二次抛物线关系, 即二者之间存在一个坡长的临界值。具体表现为, 坡面细沟侵蚀量随坡长的增加表现为先增大后减小, 且

呈现显著的相关性。这表明, 随着坡长的增加, 水流挟沙能力出现下降, 侵蚀的泥沙有所沉积。图 4C 为浅沟与土壤侵蚀强度的关系曲线, 二者拟合的多项式函数关系中, 其中 R^2 为 0.143, 表明浅沟侵蚀中坡长与侵蚀强度不存在显著的相关性(图 4)。

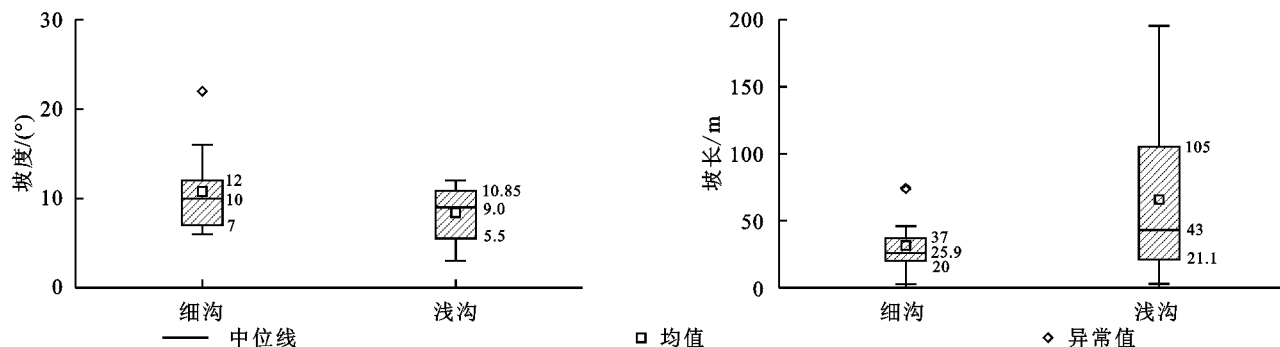


图 2 荞麦地细沟、浅沟的坡度与坡长差异性

Fig. 2 Difference in slope and slope length of rill and ephemeral gully in buckwheat field

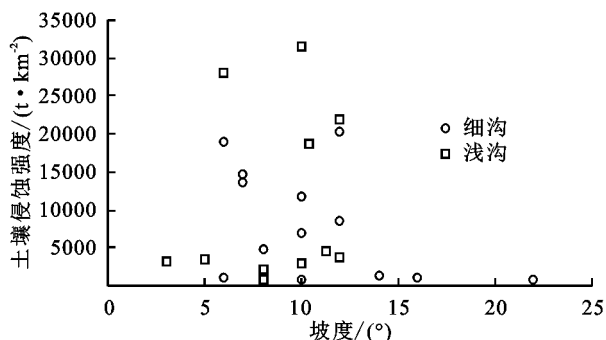


图 3 不同坡度下细沟、浅沟土壤侵蚀强度的变化

Fig. 3 Changes in soil erosion intensity of rill and ephemeral gully at different slopes

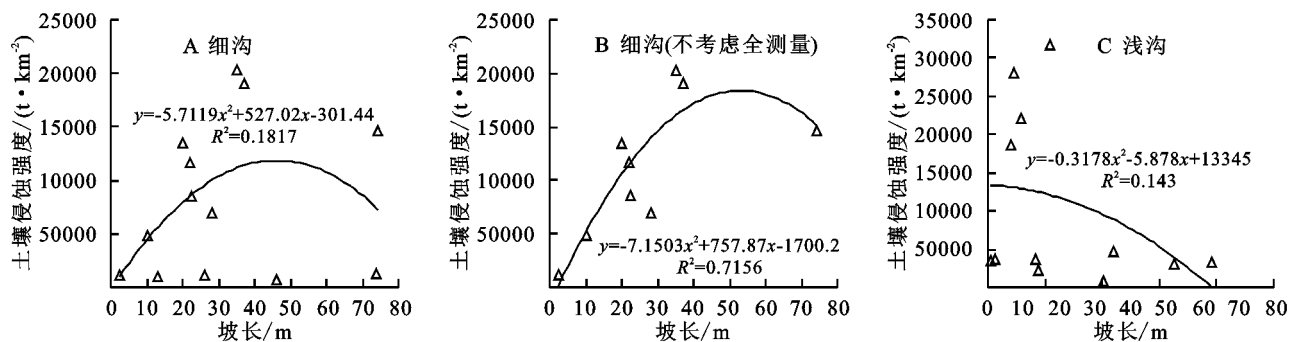


图 4 不同坡长下细沟、浅沟土壤侵蚀强度的变化

Fig. 4 Changes in soil erosion intensity of rill and ephemeral gully at different slope lengths

(1) 相邻地块措施对细沟侵蚀的影响。13 块样地的相邻地块可以分为 4 种: 荞麦地、草地、道路、建有梯田的荞麦地。其中, Q1, Q4, Q7 与 Q9 上方土地利用同为荞麦地, 但侵蚀强度却相差较大, Q1, Q4 的土壤侵蚀强度几乎是 Q9 的 10 倍, 可能的原因是 Q9 坡长较短, 仅为 2.5 m, 导致产流面积小, 不易形成大流量, 侵蚀力较弱, 因此土壤侵蚀强度较小。相对于 Q9, 样地 Q4 坡长达 22 m, 坡面中部集水面积增

大, 径流流速增加, 侵蚀能力变大, 因此使得 Q4 土壤侵蚀强度远大于 Q9; 样地 Q2 与 Q3, Q6, Q8 上方为草地, 其中 Q2 上方草地无任何措施, 并且 Q2 植被覆盖度较小, 从而导致土壤侵蚀强度达到了 20 294.66 t/km², 是细沟侵蚀最为严重的样地。Q6, Q8 的土壤侵蚀虽然也较为严重, 但由于田埂的存在, 拦挡了部分上方来水, 使得 Q3 土壤侵蚀强度仅为 4 878.18 t/km²; 样地 Q5 上方地块为草地和田间生产道路, 在

本次暴雨中,道路起到了排水作用,因而侵蚀强度仅为 $6\,950.06\text{ t/km}^2$;样地 Q10, Q11, Q12, Q13 的上方为建有梯田的荞麦地,由于梯田的水土保持作用,这些样地的土壤侵蚀强度明显小于其他样地,最大土壤侵蚀强度仅为 $1\,297.46\text{ t/km}^2$ 。由此可知,在相邻地块的措施中工程措施例如梯田、田埂等,对荞麦地细沟侵蚀的影响更为明显。

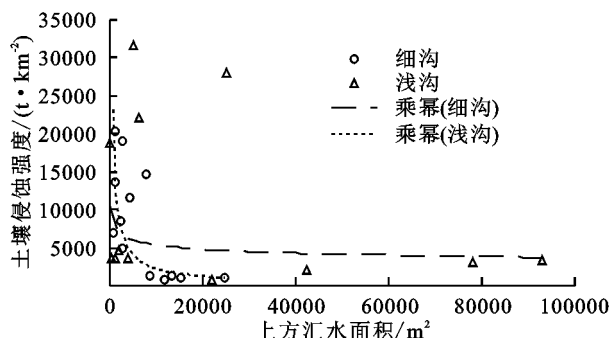


图5 不同汇水面积下细沟、浅沟土壤侵蚀强度的变化

Fig. 5 Changes in soil erosion intensity of rill and ephemeral gully with different catchment areas

(2) 相邻地块措施对浅沟侵蚀的影响。样地 G1, G3 上方地块为建有梯田的荞麦地,土壤侵蚀强度相近,分别为 $4\,628.74\text{ t/km}^2$, $3\,660.35\text{ t/km}^2$;样地 G2 上方地块为翻耕地,表层土质疏松且没有植被或者残茬覆盖,导致产生了强烈侵蚀,土壤侵蚀强度高达 $22\,006.76\text{ t/km}^2$;样地 G4 和 G8 上方地块同样为荞麦地,土壤侵蚀强度基本相同,侵蚀强度分别为 $3\,567\text{ t/km}^2$, $3\,070.57\text{ t/km}^2$;样地 G5 和 G6 上方地块虽同为玉米地,但土壤侵蚀强度却相差 12 倍,分别为 $28\,061.92\text{ t/km}^2$, $2\,157.25\text{ t/km}^2$ 。原因可能是样地 G5 位于坡地底部并且植被覆盖度小。虽然样地 G6 上方汇水面积大于 G5,但是 G6 上方汇水以玉米地为主,而且玉米地的截流作用比较明显,因此造成的侵蚀量较低;样地 G7, G9, G10, G11 上方同为草地,但 G10 土壤侵蚀强度是其他样地的 10 倍甚至 38 倍,这可能是由于 G10 是顺坡耕作而其他样地是等高耕作;样地 G12 上方为道路,虽然在本次暴雨有道路起到了排水作用,但由于样地 G12 的植被覆盖度仅为 2%,土壤侵蚀强度也较高,达到了 $18\,707.33\text{ t/km}^2$ 。由此可见,相邻地块中翻耕地与覆膜玉米地对荞麦地的浅沟侵蚀影响最大,荞麦地与草地对下方地块的影响相差不大。

3 讨论

3.1 与不同作物、土地利用下的沟蚀情况进行比较

对不同植被作用下的减流、减沙作用的研究,一直以来都是水土保持研究中一项重要的内容。研究

暴雨条件下不同植被对黄土高原的沟蚀影响,对分析极端降雨下的土壤侵蚀具有重要意义。本次暴雨调查不仅对定边县的荞麦地进行了调查,还对草地、翻耕地和种植其他作物的坡耕地进行了调查,主要包括苜蓿地、燕麦地、油菜地以及玉米地(表 1—4)。

在本次暴雨调查中,大部分草地未出现肉眼可见的明显土壤侵蚀,这与历年的暴雨调查一致,草地均未发现严重侵蚀^[18-19];一般情况下,玉米地进行覆膜,不会产生过大的土壤侵蚀,但在调查过程中发现一些特殊情况,玉米地 S12 与 S11 之间存在较大的差异,相差 1.5 倍,其中 S12 玉米地未对玉米进行覆膜,加之地表植被破坏严重,使其产生了较大的细沟侵蚀,对于 S11 出现较大侵蚀,主要原因是样地上方汇流面积大,对地膜长时间的冲刷造成了破坏所致;但样地 H2 玉米地发生了较严重的侵蚀沟,主要因为侵蚀沟出现在玉米地的边缘,并且落差较大,更易导致上方来水汇流后产生巨大的冲刷力度,从而发生严重的侵蚀。

3.2 暴雨条件下的其他研究

在本次暴雨调查中,荞麦地细沟侵蚀的平均土壤侵蚀强度 $8\,063.91\text{ t/km}^2$,浅沟平均土壤侵蚀强度为 $10\,436.36\text{ t/km}^2$ 。荞麦枝叶等覆盖物能够减少降雨对地表的侵蚀,起到一定的保持水土的作用,其中部分荞麦地表现出较严重的土壤侵蚀。

已有的研究表明,不同种类的作物对调节径流和泥沙的效果有所不同。王颢霖等^[18]对榆林市子洲县清水沟小流域进行坡耕地细沟调查,调查范围以耕地(糜子、绿豆)、退耕地为主,发现细沟侵蚀强度的范围为 $2\,289\sim 110\,976\text{ t/km}^2$;王楠等^[19]同样针对“7·26”特大暴雨引发的清水沟小流域细沟侵蚀进行测量,细沟侵蚀强度最大也到达了 $110\,000\text{ t/km}^2$;王志强等^[20]以陕西省清水沟小流域和蛇家沟小流域为调查范围,发现长陡坡裸露坡耕地侵蚀强度高达 $22\,478\text{ t/km}^2$ 。本次暴雨调查细沟侵蚀强度明显小于清水沟暴雨调查,造成细沟侵蚀强度差异的原因可能包括降雨强度和坡度,此次定边暴雨的强度为 0.08 mm/min ,小于“7·26”特大暴雨的 0.25 mm/min ,并且此次调查的坡度范围为 $6^\circ\sim 22^\circ$,远小于清水沟小流域的调查坡度 $27^\circ\sim 38^\circ$ 。此外,从辰宇等^[21]在山东临朐暴雨调查中发现玉米坡耕地由于坡度大(25°)且耕地未覆膜,所以土壤侵蚀强度接近 $20\,000\text{ t/km}^2$,与本次调查的最大细沟侵蚀强度相近。

4 结论

(1) 荞麦地与其他地类或种植其他作物的坡耕地相比,更容易发生土壤侵蚀,并且侵蚀沟沟头一般

从荞麦地与其他地类交接处发育。

(2) 荞麦地细沟平均宽度和细沟平均深度范围分别为 5.2~29.5 cm 和 2~19.6 cm, 宽深比和沟密度分别介于 0.88~3.782 m/m², 0.028~1.56 m/m², 土壤侵蚀强度最大为 20 294.66 t/km², 平均土壤侵蚀强度为 8 063.91 t/km²; 浅沟侵蚀平均宽度和浅沟平均深度范围分别为 37.3~173 cm 和 8~30.7 cm, 宽深比和沟密度分别介于 2.161~18.750 m/m², 0.003~0.142 m/m², 土壤侵蚀强度最大为 31 629.83 t/km², 平均土壤侵蚀强度为 10 436.36 t/km²。

(3) 坡度、坡长、上方汇水面积以及相邻地块的类型和采取的水土保持措施均对荞麦地沟蚀的发展产生影响, 但大多情况下, 单个因素的影响不显著, 表明黄土高原荞麦地沟蚀的发展是所有因素综合影响的结果。

参考文献 (References):

- [1] 王占礼. 中国土壤侵蚀影响因素及其危害分析[J]. 农业工程学报, 2000, 16(4): 32-36.
Wang Z L. Analyses of affecting factors of soil erosion and its harms in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2000, 16(4): 32-36.
- [2] Aryal J P, Sapkota T B, Stirling C M, et al. Conservation agriculture-based wheat production better copes with extreme climate events than conventional tillage-based systems: A case of untimely excess rainfall in Haryana, India[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2016, 233: 325-335.
- [3] 贾志伟, 江忠善, 刘志. 降雨特征与水土流失关系的研究[J]. 中国科学院水利部西北水土保持研究所集刊(黄土高原试验区土壤侵蚀和综合治理减沙效益研究专集), 1990(2): 9-15.
Jia Z W, Jiang Z S, Liu Z. Study on relationship between rainfall characteristics and the loss of soil and water[J]. Research of Soil and Water Conservation, 1990(2): 9-15.
- [4] 陈钊柱, 蔡卓杰, 谢福倩, 等. 自然降雨对广西赤红壤坡地土壤侵蚀特征的影响[J]. 水土保持通报, 2022, 42(3): 36-42.
Chen Z Z, Cai Z J, Xie F Q, et al. Effects of natural rainfall on soil erosion characteristics of lateritic red soil slope in Guangxi Zhuang Autonomous Region[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(3): 36-42.
- [5] 吴佳. 黄土高原旱坡地秋作入渗蓄水与防蚀作用特征研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2016.
Wu J. Studies on the infiltration water storage and prevention of autumn crops in arid loess sloping fields[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2016.
- [6] 李桂芳, 杨任翔, 谢福倩, 等. 不同土地利用方式下赤红壤坡面土壤侵蚀特征[J]. 水土保持学报, 2020, 34(2): 101-107, 230.
Li G F, Yang R X, Xie F Q, et al. Slope soil erosion characteristic of lateritic red soil under different land use types[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2020, 34(2): 101-107, 230.
- [7] Tang B Z, Jiao J Y, Zhang Y F, et al. The magnitude of soil erosion on hillslopes with different land use patterns under an extreme rainstorm on the Northern Loess Plateau, China[J]. Soil and Tillage Research, 2020, 204: 104716.
- [8] 范昱, 丁梦琦, 张凯旋, 等. 中国野生荞麦种质资源概况与利用进展[J]. 植物遗传资源学报, 2020, 21(6): 1395-1406.
Fan Y, Ding M Q, Zhang K X, et al. Overview and utilization of wild germplasm resources of the genus *Fagopyrum* Mill. in China[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2020, 21(6): 1395-1406.
- [9] 冯佰利, 姚爱华, 高金峰, 等. 中国荞麦优势区域布局与发展研究[J]. 中国农学通报, 2005, 21(3): 375-377.
Feng B L, Yao A H, Gao J F, et al. Study on regional distribution and development of buckwheat in China[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(3): 375-377.
- [10] 张雄, 山仑, 李增嘉, 等. 黄土高原小杂粮作物生产态势与地域分异[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(3): 80-85.
Zhang X, Shan L, Li Z J, et al. The production and distribution of minor crops in the Loess Plateau of China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2007, 15(3): 80-85.
- [11] 万燕, 韦爽, 贾晓凤, 等. 荞麦抗旱性研究进展[J]. 作物杂志, 2015(2): 23-26.
Wan Y, Wei S, Jia X F, et al. Advances in drought resistance of buckwheat[J]. Crops, 2015(2): 23-26.
- [12] 张腾飞. 基于土地整治视角下的县级农业产业发展: 以定边县为例[J]. 农业与技术, 2021, 41(20): 140-142.
Zhang T F. Agricultural industry development at county level from the perspective of land consolidation: A case study of Dingbian County[J]. Agriculture and Technology, 2021, 41(20): 140-142.
- [13] 李杰, 苏晓斌. 浅谈定边县荞麦产业发展的影响因素[J]. 种子科技, 2020, 38(3): 125.
Li J, Su X B. Discussion on the influencing factors of buckwheat industry development in Dingbian County[J]. Seed Science and Technology, 2020, 38(3): 125.
- [14] 郑粉莉. 细沟侵蚀量测算方法的探讨[J]. 水土保持通报, 1989, 9(4): 41-45, 49.
Zheng F L. A research on method of measuring rill erosion amount[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 1989, 9(4): 41-45, 49.

- [29] 余海龙,黄菊莹.砂田砾石覆盖对土壤大孔隙特征及其土壤水文过程的影响研究进展[J].水土保持研究,2012,19(4):284-288.
Yu H L, Huang J Y. Research progress on influence of mulching gravel and sand on soil macropore characteristics and soil hydrological process of gravel-sand mulch field[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2012,19(4):284-288.
- [30] 薛亚洲,刘普灵,杨明义,等.REE示踪研究坡面侵蚀时空演变过程[J].中国稀土学报,2004,22(5):698-703.
Xue Y Z, Liu P L, Yang M Y, et al. Using rare earth element as tracers for studying spatial and temporal process of soil erosion in sloping land[J]. Journal of the Chinese Rare Earth Society, 2004,22(5):698-703.
- [31] Liu P L, Tian J L, Zhou P H, et al. Stable rare earth element tracers to evaluate soil erosion[J]. Soil and Tillage Research, 2004,76(2):147-155.
- [32] 魏天兴,朱金兆,黄土残塬沟壑区坡度和坡长对土壤侵蚀的影响分析[J].北京林业大学学报,2002,24(1):59-62.
Wei T X, Zhu J Z. Effects of slope length and grade on soil erosion in the Gully Regions in Loess Plateau[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2002,24(1):59-62.
- [33] 杨苗苗,杨勤科,张科利,等.砾石含量对土壤可蚀性因子估算的影响[J].土壤学报,2021,58(5):1157-1168.
Yang M M, Yang Q K, Zhang K L, et al. Effects of content of soil rock fragments on calculating of soil erodibility[J]. Acta Pedologica Sinica, 2021,58(5):1157-1168.
- [34] 马晨雷,戴翠婷,刘窑军,等.砾石覆盖对紫色土坡面流水动力学参数的影响[J].水土保持学报,2019,33(6):150-155,161.
Ma C L, Dai C T, Liu Y J, et al. Effects of gravel covering on hydraulic characteristics of slope flow on purple soil[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2019,33(6):150-155,161.
- [35] 周蓓蓓,邵明安.不同碎石含量及直径对土壤水分入渗过程的影响[J].土壤学报,2007,44(5):801-807.
Zhou B B, Shao M A. Effect of content and size of rock detritus on infiltration [J]. Acta Pedologica Sinica, 2007,44(5):801-807.

(上接第8页)

- [15] 连纲,郭旭东,傅伯杰,等.黄土高原小流域土壤容重及水分空间变异特征[J].生态学报,2006,26(3):647-654.
Lian G, Guo X D, Fu B J, et al. Spatial variability of bulk density and soil water in a small catchment of the Loess Plateau[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006,26(3):647-654.
- [16] 李国会.晋西黄土区农田水土流失防治措施水土保持效应研究[D].北京:中国林业科学研究院,2013.
Li G H. Study on soil and water conservation effect of agricultural land soil and water loss prevention measures of Loess Plateau in western Shanxi[D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2013.
- [17] 肖培青,郑粉莉.上方来水来沙对细沟侵蚀产沙过程的影响[J].水土保持通报,2001,21(1):23-25,38.
Xiao P Q, Zheng F L. Effect of run-on water and sediment on rill erosion process at down-slope section[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2001,21(1):23-25,38.
- [18] 王颢霖,焦菊英,唐柄哲,等.陕北子洲“7·26”暴雨后坡耕地细沟侵蚀及其影响因素分析[J].农业工程学报,2019,35(11):122-130.
Wang H L, Jiao J Y, Tang B Z, et al. Characteristics of rill erosion and its influencing factors in slope farm-land after“7·26”rainstorm in Zizhou County, Shaanxi Province[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019,35(11):122-130.
- [19] 王楠,陈一先,白雷超,等.陕北子洲县“7·26”特大暴雨引发的小流域土壤侵蚀调查[J].水土保持通报,2017,37(4):338-344,347-348.
Wang N, Chen Y X, Bai L C, et al. Investigation on soil erosion in small watersheds under “7·26” extreme rainstorm in Zizhou County, northern Shaanxi Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017,37(4):338-344,347-348.
- [20] 王志强,杨萌,张岩,等.暴雨条件下黄土高原陡坡耕地细沟侵蚀特征[J].农业工程学报,2020,36(12):129-135.
Wang Z Q, Yang M, Zhang Y, et al. Rill erosion of long and steep cropland on the Loess Plateau under heavy rainstorm[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020,36(12):129-135.
- [21] 从辰宇,韩剑桥,焦菊英,等.台风“利奇马”暴雨引发的土壤侵蚀调查研究:以山东省临朐县为例[J].水土保持通报,2019,39(5):337-344,349.
Cong C Y, Han J Q, Jiao J Y, et al. Investigation on soil erosion from Typhoon Lekima rainstorm: A case study in Linqu County, Shandong Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019,39(5):337-344,349.