

陕北黄土区浅沟分布特征及其与立地类型的关系

李安怡, 吴秀芹, 朱清科

(1 北京林业大学 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083)

【摘要】 【目的】提取浅沟特征参数,建立浅沟发生的临界关系式,研究立地类型对浅沟的影响。【方法】以 ArcGIS 9.2 为操作平台,Quickbird 遥感影像为数据源,提取黄土丘陵沟壑区合家沟封育流域的浅沟信息,确定浅沟参数(浅沟长度、浅沟沟间距、浅沟坡度、上坡汇流面积、坡面坡度);按坡向(正阳坡、半阳坡、正阴坡、半阴坡)和坡度(缓坡、陡坡、极陡坡)划分为 12 种立地类型,分析立地类型对浅沟分布发育的影响。【结果】研究区浅沟平均长度为 56.5 m,平均沟间距为 10.8 m,平均浅沟坡度为 30.9° ,其中坡度为 $30^\circ \sim 36^\circ$ 的浅沟占总数的 53.3%,其分布临界关系式为 $S=0.74A^{-0.16}$ (其中 S 为浅沟坡度, A 为上坡汇流面积),可以此预测研究流域的浅沟侵蚀分布。同一种坡度条件下,平均坡面密度变化为正阳坡<半阳坡<正阴坡<半阴坡,同一种坡向的浅沟坡面密度随着坡度的增加而增大,且无论是阴坡还是阳坡,浅沟的沟头位置均随坡度的增加由坡面的中上部向坡顶移动,且阴坡沟头的移动幅度较阳坡大。【结论】建立了研究区浅沟发生的临界关系式,确定了立地条件对该区浅沟分布的影响,为浅沟侵蚀预测提供了有益参考。

【关键词】 浅沟;浅沟侵蚀;临界关系式;立地类型;陕北黄土区

【中图分类号】 S157.1

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2010)04-0079-07

Distribution characteristics and relation with site type of ephemeral gully in Loess Plateau of Northern Shaanxi Province

LI An-yi, WU Xiu-qin, ZHU Qing-ke

(1 Key Laboratory of Soil and Water Conservation & Desertification Combating, Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: 【Objective】 The ephemeral gully characteristic parameters were extracted to establish the S-A critical relational expression and to research the influence of site type on ephemeral gully. 【Method】 By using the ArcGIS 9.2 as the operating platform and the Quickbird image as the data source, we firstly extracted and then analysed the ephemeral gully characteristic parameters of Hejiagou banned basin in Loess hilly and gully region. 【Result】 The average length of the ephemeral gully in Hejiagou basin is 56.5 m, the average spacing 10.8 m and the average gradient 30.9° , of which of the gradient the ephemeral gully is between $30^\circ \sim 36^\circ$, accounting for 53.3% of the total. The S-A critical relation of the area is: $S=0.74A^{-0.16}$, the relation can be used to predict the ephemeral gully erosion; Having analysed the site type of the area, we found that, under the conditions of the same slope gradient, the variation of the average slope surface density is: sunlit slope<semi-sunlit slope<sunless slope<semi-sunless slope. The slope surface density of the same slope azimuth increases with the slope gradient, and also the position of the ephemeral gully head, either in sunlit slope or sunless one, moves from upper middle part of the slope surface

* [收稿日期] 2009-10-19

[基金项目] 国家“十一五”林业科技支撑计划项目(2006BAD03A0302)

[作者简介] 李安怡(1983—),女,陕西蒲城人,在读硕士,主要从事地图学与地理信息系统研究。E-mail: lianyi.29.11@163.com

[通信作者] 吴秀芹(1974—),女,辽宁阜新人,副教授,博士,主要从事自然地理、RS与GIS在地学中的应用研究。

E-mail: wuxq@bjfu.edu.cn

to the top with the increase of the slope gradient. The gully head in sunless slope moves with a greater extent compared to the sunlit one. 【Conclusion】 We established the S-A critical relation and determined the influence of site type on ephemeral gully, which also provides a reference for ephemeral gully erosion.

Key words: ephemeral gully; ephemeral gully erosion; critical relation; site type; Loess Plateau

浅沟是黄土高原丘陵沟壑区常见的一种微地貌现象,是降雨径流的集中冲刷和人为耕种共同作用的结果^[1-2]。浅沟发生在黄土高原地区的农耕地上,是坡面土壤侵蚀和坡面产沙的重要方式之一^[3]。在黄土丘陵地区的沟间地,浅沟侵蚀现象非常普遍,浅沟分布面积可达沟间地的 35% 左右,浅沟侵蚀量达沟间地侵蚀量的 35%~75%^[3]。目前,对浅沟的报道主要集中在浅沟的发育过程^[4-5]、浅沟侵蚀的产沙特征及预报^[6]、浅沟水流水动力学参数^[7]等方面,有关浅沟发生的临界关系及立地类型对浅沟侵蚀影响的研究较少,而这方面的研究对治理和改良坡耕地具有十分重要的意义。

浅沟的产生是一种临界结果,需要具有由流速和流量决定的一定流动势能,而流速和流量又分别由浅沟坡度和上坡汇流面积决定^[8]。由于缺乏径流数据,大多数研究都用汇流面积来代替径流量。且在以 Hortonian 坡面漫流为主的地区,径流量与汇流面积呈比例增加^[9]。因此,许多研究者都利用浅沟坡度和上坡汇流面积来预测浅沟发生的位置^[8,10-12]。浅沟坡度和上坡汇流面积之间的关系为: $S \times A^a > t$,其中 S 为浅沟坡度(弧度), A 为上坡汇流面积(m^2 或 hm^2), a 为汇流面积指数(无量纲), t 为临界值^[9,13]。该临界关系式表明,只有在 $S \times A^a > t$ 时,才有可能发生浅沟侵蚀。国外有研究表明,不同地区浅沟的汇水面积指数 a 和临界值 t 表现出一定的差异,Vandaele 等^[11]的研究表明,比利时中部地区的 a 值为 0.025, t 为 0.35~0.4;法国地区的 a 值为 0.06, t 为 0.4;英国的南唐斯丘陵的 a 为 0.09, t 值为 0.25;葡萄牙地区的 a 值为 0.02, t 值为 0.35。在我国这方面的研究相对比较薄弱,而且目前在对浅沟特征的研究中,没有考虑立地类型这一重要因素,很多学者的研究表明,应该将立地类型作为一个重要因素加以考虑,尤其是在坡面这一研究尺度上^[14-17]。

利用传统实测法对浅沟进行观测,虽然精确度高,但耗时耗力,且易受到地形因素的限制^[18],造成某些观测数据的缺失。而利用遥感数据研究浅沟,由于浅沟的一些特征参数多在几米或十几米,对影像精度要求较高,否则容易造成浅沟数据信息的丢

失。Quickbird 卫片是目前分辨率最高的资源卫星影像,其全色波段的分辨率为 0.61 m,对浅沟特征信息的表达十分清晰,是最有利于浅沟数据提取的影像资料。

本研究以 ArcGIS 9.2 为操作平台,选取位于黄土高原丘陵沟壑区的陕西省吴起县合家沟流域作为研究区,以 Quickbird 影像为数据源,参照研究区地形图,对研究区内 31 个坡面共计 345 条浅沟的特征信息进行提取分析,建立浅沟发生的临界关系式,并分析不同立地类型下浅沟的分布密度及沟头间距的分布规律,以期为进一步研究我国浅沟地区的土壤侵蚀状况,以及合理进行植被恢复提供科学依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于陕西省吴起县合家沟封育流域,地处东经 $107^{\circ}38'57''$ 至 $108^{\circ}32'49''$,北纬 $36^{\circ}33'33''$ 至 $37^{\circ}24'27''$,流域面积为 4.35 km^2 ,海拔 $1\,233 \sim 1\,809 \text{ m}$ 。区域地貌属黄土高原梁状丘陵沟壑区,气候为半干旱温带大陆性季风气候。该区域年平均气温 7.8°C ,1 月份平均气温 -7.7°C ,7 月份平均气温 21.5°C ,年均温差 29.2°C ,极端最低气温 -28.5°C ,极端最高气温 31.1°C ;年平均降水量 483.4 mm ,降水量相对集中,7—9 月降水量为 301.7 mm ,占全年降水量的 62.4%。由于流域内的坡耕地全部采取退耕封育,未受到人工栽植林草和整地的破坏,因此在耕作过程中形成的浅沟保存完整,易于观测。

1.2 数据处理与研究方法

本研究的基础数据来源于 2007-06-30 T 15:54:53 拍摄的覆盖研究区的高分辨率 Quickbird 遥感影像和该研究区 1:10 000 的地形图。

首先,对遥感影像进行处理,生成所需的 DEM。遥感影像的处理方法为,利用 ERDAS 9.1 将 Quickbird 遥感影像中 $0.61 \text{ m} \times 0.61 \text{ m}$ 分辨率的全色波段数据与 $2.4 \text{ m} \times 2.4 \text{ m}$ 的多光谱数据用主成分分析法融合,然后用三次卷积法对融合的影像数据重新采样,再进行正射校正和边界锐化处理,之后按照研究区域进行掩模裁切,最后形成 $0.61 \text{ m} \times$

0.61 m 分辨率的真彩色图像(波段组合为 3/2/1),可从得到的真彩色图像上可提取合家沟流域坡面浅沟的位置和数量。同时,在 ArcGIS 9.2(美国 Esri 公司)软件中,利用 1:10 000 的地形图生成 5 m×5 m 的 DEM,在生成的 DEM 上可提取到坡面浅沟的地形特征参数。

其次,勾绘坡面单元图层和浅沟图层。在 ArcGIS 9.2 中,利用水文模块从 5 m×5 m 的 DEM 中

提取研究区的流域分水线和山脊线,通过对 Quick-bird 遥感影像的目视判读可得到沟缘线。将山脊线、沟缘线与分水线所组成的闭合区域作为独立的坡面单元,对这些坡面单元进行勾绘。完成后,将坡面单元图层与遥感影像相叠加,通过目视确定每个坡面单元内的浅沟数量和位置,并勾绘浅沟图层(图 1)。为了确保提取的精度,勾绘时需将影像放大至像元。

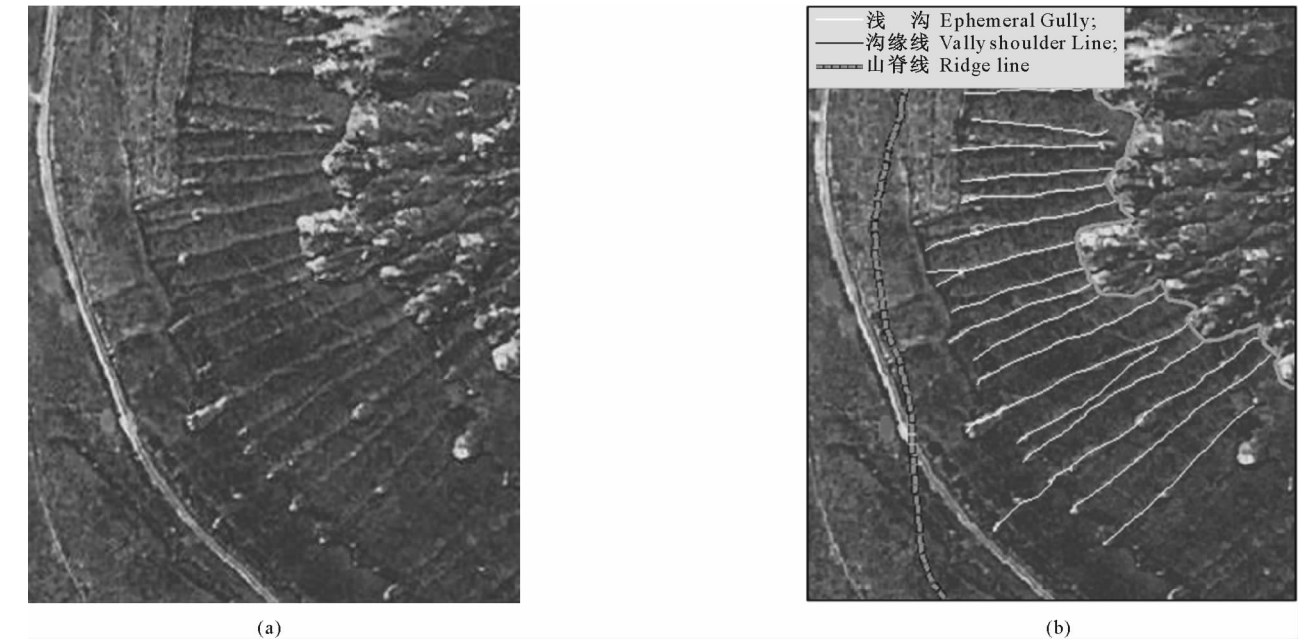


图 1 浅沟在遥感影像上的勾绘示意图
(a). 遥感影像上的浅沟;(b). 勾绘后的浅沟

Fig. 1 Drawing ephemeral gullies on remote sensing image

(a). Ephemeral gullies on remote sensing image;(b). Ephemeral gullies after drawing

当研究区坡面单元内的浅沟都勾绘完成后,便得到了浅沟图层,再分别采用相应的方法确定下列浅沟参数。

(1)浅沟长度。在 ArcGIS 9.2 中,利用属性计算功能即可自动获取浅沟的投影长度,用投影长度除以对应的坡面坡度的余弦值,即可得到浅沟的实际长度。

(2)浅沟沟间距。在 Arc GIS 9.2 中,用距离测量功能计算相邻浅沟沟头之间的垂直距离,即可得浅沟沟间距。

(3)浅沟坡度。在 ArcGIS 9.2 中,利用空间分析模块,结合 DEM 数据生成坡度图层,将坡度图层与浅沟图层叠加,利用查询功能点击浅沟沟头所在像元,即可获得浅沟的坡度值。

(4)上坡汇流面积。在 ArcGIS 9.2 中,利用水文分析模块结合 DEM 图层提取汇流累积量,乘以

单元格所代表的实际面积(25 m²),即可得到单元格的上坡汇流面积。将汇流面积图层与浅沟图层叠加,利用查询功能即可获得相应的浅沟沟头所在位置的汇流累积量。由于勾绘的独立坡面单元内的土地主要利用类型为荒草地,所以不会对坡面产流产生显著影响,由此计算所得的汇流面积可以视为浅沟的上坡汇流面积。

(5)坡面坡度。坡面坡度的提取不同于浅沟坡度,结合 DEM 数据生成的坡度是每个单元格与周围 8 个单元格之间的最大坡降,属于局部坡度,不能作为坡面坡度值。故采用 3D 分析工具中的剖面线功能,在浅沟的坡面单元内以分水线为起点、沟缘线为终点,结合 DEM 数据,沿坡面创建带有高程信息的直线,并生成直线对应的剖面图;再根据剖面图中所包含的直线长度和直线两端的高程差计算坡面坡度。根据每个坡面单元的大小,均匀间隔地创建 5~

10 条直线,将所有直线计算所得坡度的平均值作为该坡面单元的坡度。

(6)坡面坡向。在 ArcGIS 9.2 中,利用 3D 分析工具的表面分析功能,提取坡向,并划分为正阳坡(157.5°~247.5°)、半阳坡(112.5°~157.5°或247.5°~292.5°)、正阴坡(0°~112.5°或292.5°~360°)和半阴坡(112.5°~157.5°或247.5°~292.5°)4 个坡向类别。每个坡面单元以其内部占多数单元格的坡向类别进行分类,以消除局部地形的影响。

2 结果与分析

2.1 浅沟的地形特征值分析

按 1.2 方法,在研究区内获得 31 个坡面共计 345 条浅沟,提取每一个坡面的坡度、面积、坡向,以及坡面内每条浅沟的长度、浅沟坡度、上坡汇流面积。结果表明,研究区内相互平行的浅沟共有 260 条,占浅沟总数的 75%。此外,也有一定数量的浅沟相互合并成 1 条,或是由 1 条浅沟发育成 2 条,其中相互合并的浅沟有 75 条,占浅沟总数的 22%;由 1 条浅沟发育成 2 条的有 10 条,占浅沟总数的 3%。在这些非相互平行的浅沟中,有很大一部分的位置具有相似性,它们都位于不同坡向坡面的相接处,即处于地形发生变化的位置,这些浅沟占非相互平行

浅沟总数的 80%。由此可见,地形对浅沟形态、位置的影响十分明显。

对位于合家沟的 345 条浅沟的长度、相邻浅沟的沟间距进行统计分析,结果如表 1 所示。表 1 显示,该地区的浅沟长度为 9.7~148.3 m,平均为 56.5 m;其中长度为 30~60 m 的浅沟有 154 条,占浅沟总数的 44.6%,长度为 10~90 m 的有 299 条,占浅沟总数的 86.7%。相邻浅沟的沟间距为 3.1~22.6 m,平均间距为 10.8 m;其中间距在 6~15 m 的浅沟有 232 个,占浅沟总数的 77.3%,间距为 3~18 m 的浅沟有 286 个,占浅沟总数的 95.3%。浅沟坡度最小值为 18.6°,最大值为 41.2°,平均坡度为 30.9°,其中坡度为 30°~36°的浅沟占总数的 53.3%;26°~38°的浅沟占总数的 84.2%,坡度为 32°的浅沟数量最多,共有 38 条,占浅沟总数的 11%。浅沟上坡汇流面积最大为 575.0 m²,最小为 75.0 m²,平均面积为 357.6 m²,其中汇流面积为 125.0~360.0 m² 的浅沟占总数的 48.4%,汇流面积为 75.0~450.0 m² 的浅沟占总数的 95.4%。浅沟所在的坡面坡度最大值为 36.3°,最小 21.8°,平均值为 28.3°,其中坡面坡度为 28°~32°的浅沟占总数的 85%。

表 1 研究区浅沟特征值的统计
Table 1 Statistics of ephemeral gully elements in study area

指标 Index	平均值 Mean	中值 Median	最大值 Max	最小值 Min	极差 Range	标准差 St. D
浅沟长度/m Length of ephemeral gullies	56.5	51.9	148.3	9.7	138.57	27.69
浅沟沟间距/m Distance	10.8	10.5	22.6	3.1	19.50	3.75
浅沟坡度/(°) Critical slope gradient	30.9	31.8	41.2	18.6	22.66	4.38
上坡汇流面积/m ² Upslop drainage area	357.6	350.0	575.0	75.0	500.00	103.79
坡面坡度/(°) Slope of grade surface	28.3	29.8	36.3	21.8	12.46	2.72

2.2 浅沟发生临界关系式的确立

浅沟坡度(S)和上坡汇流面积(A)的关系常被用于预测可能发生浅沟侵蚀的地方。关于浅沟侵蚀的预测,一般用 S - A 下限点来分析,通过下限点画一条直线,发生浅沟侵蚀的区域集中在直线之上,而无浅沟侵蚀现象发生的区域则集中在直线之下^[19]。根据浅沟坡度和上坡汇流面积之间的临界关系式($S \times A^a > t$),将从合家沟流域提取的 345 条浅沟的浅沟坡度(S ,单位为弧度)和上坡汇流面积(A),绘制在双对数坐标图上(图 1),从图 1 可以看出,二者呈明显的负相关。通过对这些点的下限作直线,可以得到浅沟的临界(S - A)关系: $S=0.74A^{-0.16}$,可以用临界值 $t=0.74$ 判断是否会发生浅沟侵蚀。

Begin 等^[13]通过理论分析,得到 a 值为 0.2~

0.4,Vandaele 等^[11]利用临界关系得出 a 值在 0.4 附近变化,本研究得出的 a 值为 0.16。从理论上讲, a 值代表着汇流面积的相对重要性,其受到诸如气候、土壤、主导径流过程、降雨特征、植被等土地利用状况的影响^[9]。本研究区位于黄土高原梁状丘陵沟壑区,由于黄土高原地区的降雨较为集中,且常为暴雨集中型降雨,使较小的汇流面积产生较大的径流势能,因此本研究得出的 a 值有所减小^[20]。

在合家沟流域的浅沟坡度(S)和上坡汇流面积(A)的临界关系式中, $t=0.74$,即当该区域浅沟坡度与上坡汇流面积乘积大于 0.74 时,即可能发生浅沟侵蚀。因此,可以利用这一关系对某地区是否会发生浅沟侵蚀进行预测,从而采取行之有效的措施对该地区进行改造以预防浅沟侵蚀的发生。当然,预

测发生浅沟侵蚀的区域仅表示可能发生的区域,并非一定发生,因为浅沟侵蚀的发生除受地貌因素控制外,还受如地表植被、土地利用等因素的影响^[19,21]。

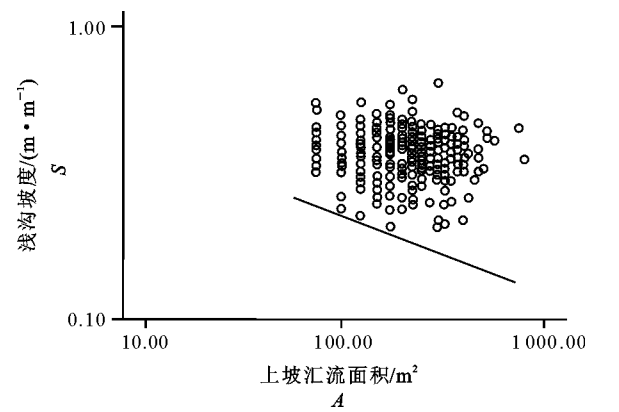


图2 浅沟坡度与上坡汇流面积的临界关系
Fig.2 S-A critical relation

胡刚等^[19]对东北漫川漫岗黑土区进行实地测量,推求出黑龙江九三农垦分局鹤山农场浅沟发生的临界关系式,其中 α 值为0.39, t 值为0.08,这2个值与本研究相差较大;而在李斌兵等^[20]建立的陕西省安塞县纸坊沟小流域的浅沟发生临界关系式中, α 值为0.1, t 值为0.52,这与本研究得到的结果较为接近。究其原因,可能是由于黑土区与黄土区在地形地貌、气候、降水、土壤、植被等方面都存在很大差异,位于这两种不同区域的浅沟也就存在较大差别,因此得到的 α 和 t 值会有较大差异;而安塞县纸坊沟小流域与本研究区同属于黄土高原丘陵沟壑区,具有较大的相似性,但又不完全相同,因此 α 和 t 值有一定的差异,但并不显著。

2.3 不同立地类型对浅沟发育的影响

按照坡向和坡度2因素,将立地类型划分为12种,其中坡向包括正阳坡(157.5°~247.5°)、半阳坡(112.5°~157.5°或247.5°~292.5°)、正阴坡(0°~112.5°或292.5°~360°)、半阴坡(112.5°~157.5°或247.5°~292.5°)4个水平;坡度包括缓坡(15°~25°)、陡坡(25°~35°)、极陡坡(35°~45°)3个水平。按照这12种立地类型,对浅沟的平均坡面密度和平均间距进行分类整理,结果如表2所示。

2.3.1 坡面密度 表2显示,在4个坡向中,无论在哪种坡度条件下,平均坡面密度变化均表现为正阳坡<半阳坡<正阴坡<半阴坡。究其原因可能是因为与其他坡面相比,正阳坡最为干旱,因此正阳坡的降水几乎全部下渗,没有产流;而半阳坡的土壤水分条件优于正阳坡,产流也较正阳坡明显,更容易生

成浅沟,所以其坡面密度大于正阳坡;半阴坡的土壤水分条件又优于半阳坡,所以坡面密度也大于半阳坡;正阴坡的土壤水分条件最优,同时植被状况也较好,植被能减缓降水对地面的冲击作用并增强降水的入渗,故正阴坡反而不容易生成地表径流,因此浅沟的数量也最低。

表2 不同立地类型下浅沟的平均坡面密度
Table 2 Average slope surface density of ephemeral gully with different site types hm⁻²

坡向 Aspect	缓坡 Gentle slope	陡坡 Steep slope	极陡坡 Terribly steep slope
正阳坡 Sunny slope	5.02	7.42	8.10
半阳坡 Half-sunny slope	—	9.06	9.89
正阴坡 Shady slope	5.74	9.32	10.72
半阴坡 Half-shaded slope	5.96	11.24	21.90

对同一种坡向而言,浅沟的坡面密度随着坡度的增加而增大,这一趋势在半阴坡表现得最为明显(表2)。这是因为植被的生长同时受坡向和坡度的影响,在缓坡上,虽然半阴坡的水分条件不如正阴坡,但由于缓坡坡度较小,植被也较易生长且能有效减少地表径流,因此平均坡面密度较小;随着坡度的增加,植被的生长变得困难,对地表径流的减缓作用变弱,而且坡度越大,径流流速变大,侵蚀加剧,也更容易形成浅沟,因此平均坡面密度较大。

2.3.2 浅沟沟间距和沟头位置 对不同的立地类型下浅沟的沟间距进行统计,结果见表3。

表3 不同立地类型下浅沟的平均沟间距
Table 3 Average distance between ephemeral gullies in different site types m

坡向 Aspect	缓坡 Gentle slope	陡坡 Steep slope	极陡坡 Terribly steep slope
正阳坡 Sunny slope	13.80	10.67	9.19
半阳坡 Half-sunny slope	—	10.07	8.52
正阴坡 Shady slope	15.38	9.85	7.73
半阴坡 Half-shaded slope	16.91	6.80	4.07

从表3可以发现,随着坡度的增大,从阳坡到阴坡,浅沟的沟间距均减小。这说明浅沟侵蚀随坡度的增加而加剧,单位面积上的浅沟数量增加,浅沟间距也相应减小。对同一种坡度,除了缓坡,浅沟沟间距从正阳坡到半阴坡呈递减趋势,坡度越大这种趋势越明显,即在同一种坡度上,阳坡的浅沟数量小于阴坡,故其浅沟沟间距大于阴坡,这与浅沟平均坡面密度的变化规律相一致。

浅沟沟头分布的位置也随立地类型的不同而表现出较大差异,为了消除坡面长度的影响,用沟头至

坡顶的距离与整个坡面长度的比值来分析浅沟沟头位置的变化,所得结果见表 4。表 4 显示,无论是阴坡还是阳坡,沟头位置均随坡度的增加而上移,这表明随着坡度的增加,产生浅沟所需的汇流面积变小,与临界关系 $S \times A^a > t$ 相一致;阴坡沟头的移动幅度较阳坡大,这与阴坡的浅沟密度变化规律相吻合。

表 4 沟头至坡顶的距离与整个坡面长度的比值

Table 4 The ration of distance between gully head and
slop top to slop length

坡向 Aspect	缓坡 Gentle slope	陡坡 Steep slope	极陡坡 Terribly steep slope
阳坡 Sunny slope	0.4	0.3	0.2
阴坡 Shady slope	0.5	0.3	0.1

3 结 论

通过对陕北黄土区吴起县合家沟封育流域的 31 个坡面共计 345 条浅沟特征信息的分析,本研究得出如下结论:

(1)合家沟流域浅沟平均长度为 56.5 m,其中长度为 10~90 m 的浅沟共有 299 条,占浅沟总数的 86.7%;浅沟平均沟间距为 10.8 m,长度为 6~15 m 的有 232 个;浅沟坡度的平均值为 30.9°,其中坡度为 26°~38°的浅沟占总数的 84.2%,而浅沟坡度为 32°的浅沟数量最多,共有 38 条,占浅沟总数的 11%。

(2)从浅沟 $S-A$ 临界关系式可以看出,上坡汇流面积与浅沟坡度之间为明显的负幂相关关系,这与国外的相关研究相一致^[11]。但我国的黄土高原丘陵沟壑区在地形地貌、气候、降水、土壤、植被等方面又与国外的研究区存在差别,与国外相关研究结果相比,汇流面积指数 $a(0.16)$ 减小,而浅沟发生的临界值 $t(0.74)$ 增大。 a 减小是由于黄土高原的暴雨集中型降雨使较小的汇流面积产生了较大的径流势能, t 值增大则说明在黄土区引起浅沟侵蚀的临界值较大。

(3)在同一种坡度条件下,平均坡面密度变化依次为正阳坡<半阳坡<正阴坡<半阴坡,反映出同一坡度条件下浅沟侵蚀程度依次为正阳坡<半阳坡<正阴坡<半阴坡;对同一种坡向而言,浅沟的坡面密度随着坡度的增加而增大,这说明坡度越大浅沟侵蚀也越严重;无论是阴坡还是阳坡,浅沟的沟头位置均随坡度的增加由坡面的中上部向坡顶移动,且阴坡沟头的移动幅度较阳坡大,这从另一个角度说明了浅沟侵蚀随坡度的增大而加剧,而移动幅度的

变化则说明阴坡侵蚀量的变化幅度较阳坡大。以上研究结论为植被恢复、坡耕地改造提供了重要的参考价值。

(4)相同坡度等级下,坡面浅沟密度表现为正阳坡<半阳坡<正阴坡<半阴坡,而相同坡向类型时,坡面浅沟密度随坡度增加而增大,且无论阴坡还是阳坡,浅沟的沟头位置都随坡度的增加由坡面的中上部向坡顶移动,而阴坡沟头的移动幅度较阳坡更大。

[参考文献]

[1] 张科利. 浅沟发育对土壤侵蚀作用的研究 [J]. 中国水土保持, 1991(1):17-19.
Zhang K L. The effect of ephemeral gully development to soil erosion processes [J]. Soil and Water Conservation in China, 1991(1):17-19. (in Chinese)

[2] 张科利,唐克丽,王斌科. 黄土高原坡面浅沟侵蚀特征的研究 [J]. 水土保持学报,1991,5(2):8-13.
Zhang K L, Tang K L, Wang B K. A study on characteristic value of shallow gully erosion genesis on slope farmland in the plateau [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1991, 5 (2):8-13. (in Chinese)

[3] 中国科学院西北水土保持研究所. 黄土高原杏子河流域自然资源与水土保持 [M]. 西安:陕西科学技术出版社,1986:41-49.
The Northwestern Institute of Soil and Water Conservation, Academia Sinica. Nature resources and water and soil conservation of Xingzihe vally on Loess Plateau [M]. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 1986:41-49. (in Chinese)

[4] 郑粉莉,高学田. 坡面土壤侵蚀过程研究进展 [J]. 地理科学, 2003,23(2):230-235.
Zheng F L, Gao X T. Research progress in hillslope soil erosion processes [J]. Scientia Geographica Sinica, 2003, 23 (2): 230-235. (in Chinese)

[5] 郑粉莉,武 敏,张玉斌,等. 黄土陡坡裸露坡耕地浅沟发育过程研究 [J]. 地理科学,2006,26(4):438-442.
Zheng F L, Wu M, Zhang Y B, et al. Ephemeral gully development process at Loess steep hill slope [J]. Scientia Geographica Sinica, 2006, 26(4): 438-442. (in Chinese)

[6] 武 敏,郑粉莉,黄 斌. 黄土坡面汇流汇沙对浅沟侵蚀影响的实验研究 [J]. 水土保持研究,2004,11(4):74-76.
Wu M, Zheng F L, Huang B. Experimental study on upslope runoff effects on ephemeral gully erosion process at Loessial Hillslop [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2004, 11 (4): 74-76. (in Chinese)

[7] 窦家国,王文龙,郭军权. 黄土丘陵沟壑区浅沟水流水动力学参数实验研究 [J]. 中国水土保持科学,2008,6(1):93-100.
Dou J G, Wang W L, Guo J Q. Ephemeral gully erosion experiment on hydrodynamics parameter of concentrated flow in hilly area of Loess Plateau [J]. Science of Soil and Water Conservation, 2008, 6(1): 93-100. (in Chinese)

[8] Desmet P J J, Poesen J, Govers G, et al. Importance of slope gradient and contributing area for optimal prediction of the initiation and trajectory of ephemeral gullies [J]. Catena, 1999, 37:377-392.

[9] Leopold L B, Wolman M G, Miller T P. Fluvial processes in geomorphology [M]. San Francisco: Freeman, 1946:522.

[10] Cheng H, Zou X Y, Wu Y Q, et al. Morphology parameters of ephemeral gully in characteristics hillslopes on the Loess Plateau of China [J]. Soil & Tillage Research, 2007, 94:4-14.

[11] Vandaele K, Poesen J, Govers G, et al. Geomorphic threshold conditions for ephemeral gully incision [J]. Geomorphology, 1996, 16:161-173.

[12] Moore I D, Burch G J, Mackenzie D H. Topographic effects on the distribution of surface soilwater and the location of ephemeral gullies [J]. Transactions of the ASAE, 1988, 32(4): 1098-1107.

[13] Begin Z B, Schumm S A. Instability of alluvial valley floors : a method for its assessment [J]. Trans Am Soc Agric Eng, 1979, 22:347-350.

[14] 廖义善, 蔡国强, 程琴娟. 黄土丘陵沟壑区坡面侵蚀产沙地形因子的临界条件 [J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(2):32-38. Liao Y S, Cai G Q, Cheng Q J. Critical topographic condition for erosion in hilly-gully region of Loess Plateau [J]. Science of Soil and Water Conservation, 2008, 6(2): 32-38. (in Chinese)

[15] 李 勉, 李占斌, 刘普灵, 等. 黄土高原水蚀风蚀交错带土壤侵蚀坡向分异特征 [J]. 水土保持学报, 2004, 18(1):63-65. Li M, Li Z B, Liu P L, et al. Characteristics of different aspect of soil erosion in wind-water erosion crisscross region on Loess Plateau [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2004, 18(1):63-65. (in Chinese)

[16] 申震洲, 姚文艺, 李 勉, 等. 不同立地条件下坡面入渗与侵蚀关系实验研究 [J]. 水土保持学报, 2008, 22(5):43-46. Shen Z Z, Yao W Y, Li M, et al. Study on correlativity between erosion and seeping under different underlying horizon [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2008, 22(5):43-46. (in Chinese)

[17] 张新和, 郑粉莉, 汪晓勇, 等. 上方汇水对黄土坡面侵蚀方式演变及侵蚀产沙的影响 [J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2008, 36(3):105-110. Zhang X H, Zheng F L, Wang X Y, et al. Effects of upslope runoff on loess hill slope erosion pattern evolution process and erosion sediment [J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2008, 36(3):105-110. (in Chinese)

[18] 姜永清, 王占礼, 胡光荣, 等. 瓦背状欠沟分布特征分析 [J]. 水土保持研究, 1999, 6(2):181-184. Jiang Y Q, Wang Z L, Hu G R, et al. Distribution features of shallow gully [J]. Research of Soil and Water Conservation, 1999, 6(2):181-184. (in Chinese)

[19] 胡 刚, 伍永秋, 刘宝元, 等. 东北漫川漫岗黑土区浅沟和切沟发生的地貌临界模型探讨 [J]. 地理科学, 2006, 26(4):449-454. Hu G, Wu Y Q, Liu B Y, et al. Geomorphic threshold model for ephemeral gully incision in rolling hills with black soil in northeast China [J]. Scientia Geographica Sinica, 2006, 26(4):449-454. (in Chinese)

[20] 李斌兵, 郑粉莉, 张 鹏. 黄土高原丘陵沟壑区小流域浅沟和切沟侵蚀区的界定 [J]. 水土保持通报, 2008, 28(5):16-20. Li B B, Zheng F L, Zhang P. Geomorphic threshold determination for ephemeral gully and gully erosion areas in the Loess Hilly Gully Region [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2008, 28(5):16-20. (in Chinese)

[21] 张永光, 伍永秋, 刘洪鸽, 等. 东北漫岗黑土区地形因子对浅沟侵蚀的影响分析 [J]. 水土保持学报, 2007, 21(1):35-39. Zhang Y G, Wu Y Q, Liu H H, et al. Effect of topography on ephemeral gully erosion in northeast China with black soils [J]. Journal of Soil and Water Conservation 2007, 21(1):35-39. (in Chinese)