中国东北漫川漫岗典型黑土区沟道侵蚀特征

丁 超[1]，胡 伟[2]，严 月[2]，祁 志[1]，韩 兴[1]

(1. 吉林农业大学 资源与环境学院，吉林 长春 130118；2. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所，黑龙江 哈尔滨 150081)

摘 要：[目的] 通过对 450 km² 黑土区进行实测调查，旨在评估研究区沟道侵蚀现状。[方法] 选取沟道侵蚀严重的 450 km² 的漫川漫岗黑土区为调查区域，首先在谷歌卫星影像上进行侵蚀沟识别和定位，再对侵蚀沟立体形态进行实地测量。[结果] ①研究区土地利用以耕地为主，耕地、建设用地、林地、草地分别占研究区总面积的 85%，8%，6%，1%。②研究区坡耕地占 86%，坡度 0.25°～3.0°占 64%，大于 5°的占 12%。③共有侵蚀沟 1 049 条，其中耕地中侵蚀沟 577 条，占总侵蚀沟条数的 55%；沟壑密度 1.2 km/km²，按沟壑密度衡量沟蚀强度为中度；沟壑面积比例为 2.89%，以此界定沟蚀强度为剧烈。④研究区侵蚀沟平均长度、宽度、深度和面积分别为 996，13.1，2.7 m 和 2.4 hm²。[结论] 漫川漫岗黑土区沟道侵蚀严重，主要危害坡耕地，但侵蚀沟相对较小，易于治理。

关键词：黑土区；侵蚀沟；土地利用；遥感分类；GIS

文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2020)05-0072-07 **中图分类号**：S157

文献参数：丁超，胡伟，严月，等. 中国东北漫川漫岗典型黑土区沟道侵蚀特征[J]. 水土保持通报，2020，40(5)：72-78. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2020.05.012；Ding Chao，Hu Wei，Yan Yue，et al. Gully characteristics based on observations in typical rolling-hill mollisol region of Northeast China [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation，2020，40(5)：72-78.

Gully Characteristics Based on Observations in Typical Rolling-Hill Mollisol Region of Northeast China

Ding Chao[1], Hu Wei[2], Yan Yue[2], Qi Zhi[1], Han Xing[1]

(1. *College of Resources and Environment, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin* 130118, *China*; 2. *Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Harbin, Heilongjiang* 150081, *China*)

Abstract: [Objective] The present situation of gully erosion in a black soil area (450 km²) was evaluated to provide the basis for the hazard assessment and scientific prevention and control of erosion gully in the black soil area of Northeast China. [Methods] We selected an undulating hilly region that was seriously affected by gully erosion as the research area for a field survey. We first located the erosion gullies on a Google satellite image and then measured their three-dimensional shape in-situ. [Results] ① Land in the study area is mainly used for farming. The results showed that cultivated land, construction land, forest land, and grassland accounted for 85%, 8%, 6%, and 1% of the total area, respectively. ② Cultivated land on slopes accounted for 86% of the total cultivated land area; 64% of the slopes in these areas had a gradient of between 0.25° and 3.0°, and 12% had a gradient of > 5°. ③ We found 1 049 erosion gullies in the research area, 55% of which were on cultivated land (577 gullies). The gully density was 1.2 km/km² and the gully erosion intensity was moderate. The proportion of the gully area was 2.89% of the total study area, which indicated an intense erosion gully. ④ The average length, width, depth, and area of the erosion gullies were 996, 13.1, 2.7 m, and 2.4 hm², respectively. [Conclusion] Gully erosion is serious in the study area of undulating hills, and mainly affects sloping cultivated land; however, the scale of erosion gullies is relatively small and the gullies can be easily managed.

Keywords: **mollisol region; gully erosion; land use; classification by remote sensing; GIS**

收稿日期：2020-05-16 **修回日期**：2020-06-08

资助项目：国家重点研发项目“东北黑土区侵蚀沟生态修复关键技术研究与示范推广”(2017YFC0504200)；黑龙江省科技专项“东北黑土区沟毁耕地填埋复垦技术”(GX18B051)

第一作者：丁超(1996—)，男(汉族)，硕士研究生，主要研究方向为环境工程。Email：dingchao@iga.ac.cn。

通讯作者：韩兴(1976—)，男(汉族)，硕士，副教授，硕士生导师，主要从事水土流失与面源污染防控研究。Email：jlndhx@126.com。

作为中国重要的粮食产区和畜牧业基地的东北黑土区[1],由于掠夺式的开发和漫川漫岗地形地貌,发生了严重的水土流失,沟道侵蚀严重[2]。据第一次全国水利普查,东北黑土区长度大于 100 m 的侵蚀沟有 295 663 条,其中分布在坡耕地上的侵蚀沟数量占 61%,发展型侵蚀沟数量占 89%[3],表明沟道侵蚀主要发生于耕地中,且仍呈加剧的发展态势。沟道侵蚀是土地退化最为严重的表现形式之一,造成耕地面积减少,耕地破碎,阻碍机械作业,同时还造成河道淤积和洪涝灾害[4]。

东北黑土区沟道侵蚀危害得到了国家重视,水利部和财政部于 2017 年启动了国家农业综合开发东北黑土区侵蚀沟专项治理工程。规划和实施方案的制定均依据东北黑土区侵蚀沟专项普查的结果,而专项普查主要利用遥感解译的方法,遥感解译影像的分辨率在 2.5 m 以上[5]。此外,侵蚀沟专项普查遥感解译只提取了侵蚀沟的长度、面积和坡面比降及其所在区域的土地利用等信息,缺少沟深等信息,未能对沟道侵蚀量进行估算[6-7]。东北黑土区侵蚀沟专项治理工程实施方案只能依据沟道侵蚀面积进行分级,而实际无论沟道侵蚀危害评估还是侵蚀沟生态治理均需侵蚀沟道侵蚀立体形态特征,诸如治理措施的具体布设还需侵蚀沟的深度和体积等信息。

本文选取沟道侵蚀严重的漫川漫岗黑土区中的黑龙江省海伦市南部,采用实地测量的方法,对区域内的所有侵蚀沟进行详细测量,通过区域内沟道侵蚀现状和沟道侵蚀特征的调查,旨在为东北黑土区侵蚀沟危害评估和科学防控提供依据。

1　材料与方法

1.1　研究区概况

研究区位于东北典型漫川漫岗黑土区黑龙江省海伦市南部,北纬 47°11′—47°10′,东经 126°54′—126°52′。包括海南、共荣和恭六 3 个乡镇,总面积 450 km^2,地势起伏较大,沟道侵蚀严重;土地利用以耕地为主,70%以上为耕地。规模化开垦起始于 20 世纪 50 年代;属于中温带大陆性季风气候,年平均气温 1.5 ℃,年平均降雨量 530 mm;土壤均为典型黑土,农耕多采用顺坡/斜坡垄作,主要种植作物为大豆和玉米。

1.2　测定方法

(1) 方案制定。采用 2018 年 5 月份更新的谷歌地图高清卫星影像,划定实测区域,并初步识别侵蚀沟位置及范围,绘制调查图。

(2) 侵蚀沟实测。于 2018 年秋季对该地区进行实地勘测,从侵蚀沟的一端开始测量,间隔 50 m 分段用激光测距仪(型号 SW-100 A,±0.5 m)测量侵蚀沟横截面的宽度、深度,遇转弯处和沟道变化大的部位加测,手持 GPS 记录侵蚀沟地理坐标。同步现场记录侵蚀沟所属类型及所在坡面的土地利用类型、种植作物、垄向等信息,标记人工修筑的排水沟,将其从侵蚀沟调查结果中剔除。

1.3　数据处理

(1) 在 ArcGIS 10.2 软件中加载卫星影像,采用目视解译法绘制不同土地利用类型的图斑。打开不同土地利用类型的图斑的属性表,分别计算不同土地利用类型的面积。

(2) 在 ArcGIS 10.2 软件中新建地图文档,加载分辨率 15 m 的 DEM 数据。在 ArcToolbox 工具箱中,执行命令 3 D Analyst 工具—栅格表面—坡度可得到坡度栅格,对得到的坡度栅格按照《黑土区水土流失综合防治技术标准》SL 446-2009[8] 进行重分类,获得研究区的坡度并进行分级处理。

(3) 将实测记录数据录入到 Excel 中,按照地理坐标属性值导入 ArcGIS 10.2 软件中。在 ArcGIS 10.2 软件中,在 ArcToolbox 工具箱中执行命令 Spatial Analyst工具—提取分析—按掩膜提取可得到研究区每条侵蚀沟的沟长、沟宽、沟深、面积。在遥感影像中,采用目视解译的方法,将研究区侵蚀沟分成不同的类型。处在耕地中的冲沟和切沟统定义为“耕地沟”;位于沟谷沟底不再下切加深、横剖面是宽浅的“U”字形、纵剖面坡度相当平缓,有大量沉积物覆盖的坳沟定义为“主干沟”;道路旁的侵蚀沟称“路边沟”;林地中的侵蚀沟定义为“林中沟”。

(4) 依照《黑土区水土流失综合防治技术标准》SL 446-2009 对沟蚀强度采用沟蚀密度和面积比进行强度分级。

(5) 利用 IBM SPSS Statistics 24 软件进行对侵蚀沟的长度、深度、宽度和面积进行数据统计分析,利用 SigmaPlot 12.5 软件绘图。

2　结果与分析

2.1　调查区土地利用和地形

研究区总面积 450 km^2,该区域以耕地为主,占区域总面积的 85%。此外建筑用地、林地、草地分别占区总面积的 8%,6%,1%。查阅海伦市县志和实地走访,该区域原始植被为碱草和柞桦林为主,农耕主要起始于 20 世纪初,规模化垦殖起始于 20 世纪 50 年代,侵蚀沟道主要发育形成于 20 世纪 60 年代。截止目前除道路和村屯居住地外,原始草地和林地开

垦殆尽。现有林地主要由道路两侧的防护林、村屯周围的绿化林和侵蚀沟中水保林组成。仅占总土地面积1%的草地,主要为侵蚀严重的弃耕地和难以耕种的边角地组成。

研究区为典型漫川漫岗地形地貌,主分水岭(主岗)位于研究区中部,南北走向,东侧伴随相同走向的克音河,高差74 m,次分水岭(次岗)多呈东西走向。依据《黑土区水土流失综合防治技术标准 SL446-2009》坡度划分,≤0.25°的平地仅占研究区总面积的14%,主要位于东侧临近克音河区域,多被开垦为水田,属无侵蚀区。坡度在0.25°~3°范围内土地最多,比例64%,3°~5°的土地占10%,>5°的土地占12%(见表1),研究区不同坡度的比例与漫川漫岗黑土区总的分布规律接近[9]。

表1 研究区各级坡度面积比例

坡度/(°)	≤0.25	0.25~1.5	1.5~3	3~4	4~5	>5
面积比例/%	13.6	37.2	26.8	6.8	3.2	12.4

2.2 侵蚀沟总体特征

2.2.1 *侵蚀沟类型* 研究区共测得侵蚀沟1 049条,按侵蚀沟发育所在土地类型,耕地中侵蚀沟最多,其次为路边侵蚀沟,林地侵蚀沟占10%(见表2)。东北黑土区侵蚀沟专项普查中未将主干沟纳入普查,按侵蚀沟和小河道定义,主干沟只有降雨时才有水流,应属于侵蚀沟范畴,分布于两相邻分水岭次岗间的谷地,是侵蚀沟最先发育形成的,长度、宽度和深度显著大于分布于两侧坡面的支沟,是坡面侵蚀沟连接河道的主排水通道,在沟道侵蚀面积和侵蚀量中占有较大的比例。调查区共有主干沟12条,显著大于其他类型侵蚀沟,其平均单条侵蚀沟的面积和体积分别是耕地中单条侵蚀沟平均值的4.5倍和6倍,如不将主干沟纳入侵蚀沟统计中,沟道侵蚀面积和体积分别被低估9.1%和28.0%。除损毁土地外,其危害主要是切断农田道路,不利于机械农田作业。

表2 研究区侵蚀沟类型及其特征

项 目	耕地沟	路边沟	林中沟	主干沟	合计
沟道数量/条	577	353	107	12	1 049
条数比例/%	55	34	10	1	100
平均长度/m	484	491	285	2722	996
平均宽度/m	15.0	10.0	17.7	19.7	13.1
平均深度/m	2.9	2.3	3.4	2.3	2.7
平均面积/hm^2	1.5	0.6	0.7	6.8	2.4
平均体积/10^5 m^3	0.2	0.2	1.7	1.2	0.8
总面积/hm^2	418.9	173.3	53.9	64.3	710.4
总体积/10^7 m^3	1.2	0.6	1.8	1.4	5

发育形成于耕地中的侵蚀沟数量最多,共有577条,占研究区侵蚀沟总条数的55%。耕地中的侵蚀沟主要位于主干沟两侧的坡耕地上,多为支沟,虽平均长度仅有484 m,但平均宽度达15 m,平均深度2.9 m,沟道面积418.9 hm^2,是目前对坡耕地危害最大的侵蚀沟,造成地块破碎化,阻碍农机作业。

已有研究指出,位于田块边缘的农田路,多土质,处于凹陷处,加之碾压形成的车辙,成为暴雨时的汇水通道,逐渐侵蚀形成沟道,是东北黑土区侵蚀沟形成的主要原因之一,道路只能向农田中侧移,侵占耕地,路边沟约占侵蚀沟总数的三分之一,是侵蚀危害的另一重要表现形式。东北黑土区侵蚀沟专项普查采用的遥感影像分辨率较低,路边沟难以解译,成为普查侵蚀沟数量被低估的原因之一。剔除人工修筑的排水沟外,调查区测得路边侵蚀沟共353条,占总条数的34%,验证了路边沟约占三分之一的估算结果的正确性。

侵蚀沟属于"四荒"地,研究区已被高强度垦殖,侵蚀沟成为人工造林的主要区域,对提高森林覆盖率具有重要作用。然而以遥感解译为主的侵蚀沟专项普查由于受冠层影响,难以将林地中侵蚀沟提取,是造成专项普查低估侵蚀沟的另一因素。实测林中沟共107条,占总条数的10%,既有稳定侵蚀沟,又有发展侵蚀沟。

除主干沟外,耕地中侵蚀沟不但数量最多,平均单个沟道宽度、深度、面积和体积也最大。耕地沟、路边沟、林地沟和主干沟分别占沟道总面积的63%,16%,5%和16%,分别占总沟道侵蚀量的24%,12%,36%和28%。

2.2.2 *侵蚀沟形态分布特征* 利用经典统计学对调查区侵蚀沟的长度、宽度、深度和面积进行统计分析,揭示了其形态总体分布特征(见图1)。

侵蚀沟长度的频度分布呈正态分布,平均长度996 m,变幅37~15 016 m。<100,100~200,200~500,500~1 000,1 000~2 000,>2 000 m侵蚀沟数量分别占总侵蚀沟数量的7%,21%,46%,17%,6%,3%,以200~500 m长度的最多,2 000 m以上长度的最少。

侵蚀沟宽度的频度分布呈偏正态分布,平均宽度13.1 m,变幅0.2~341 m。<1,1~2,2~5,5~10,10~20,20~50,>50 m侵蚀沟数量分别占总侵蚀沟数量的0.2%,0.1%,2%,29%,42%,23%,4%,以10~20 m宽度的最多,1~2 m宽度的最少。

侵蚀沟深度呈偏正态分布,平均深度2.7 m,变

幅 0.1～37.3 m。＜1 m,1～2 m,2～5 m,5～10 m,＞10 m 侵蚀沟数量分别占总侵蚀沟数量的 7%,30%,53%,9%,1%,主要集中在 2～5 m 深度范围,10 m 以上深度的很少。

侵蚀沟面积呈正态分布,平均面积 2.4 hm^2,变幅 0.1～133.4 hm^2。＜0.1,0.1～0.2,0.2～0.5,0.5～1.0,1.0～2.0,2.0～5.0 ,＞5.0 hm^2 侵蚀沟数量分别占总侵蚀沟数量的 11%,17%,32%,18%,11%,6%,5%。以 0.2～0.5 hm^2 面积范围的最多,＞5.0 hm^2 面积范围的最少。

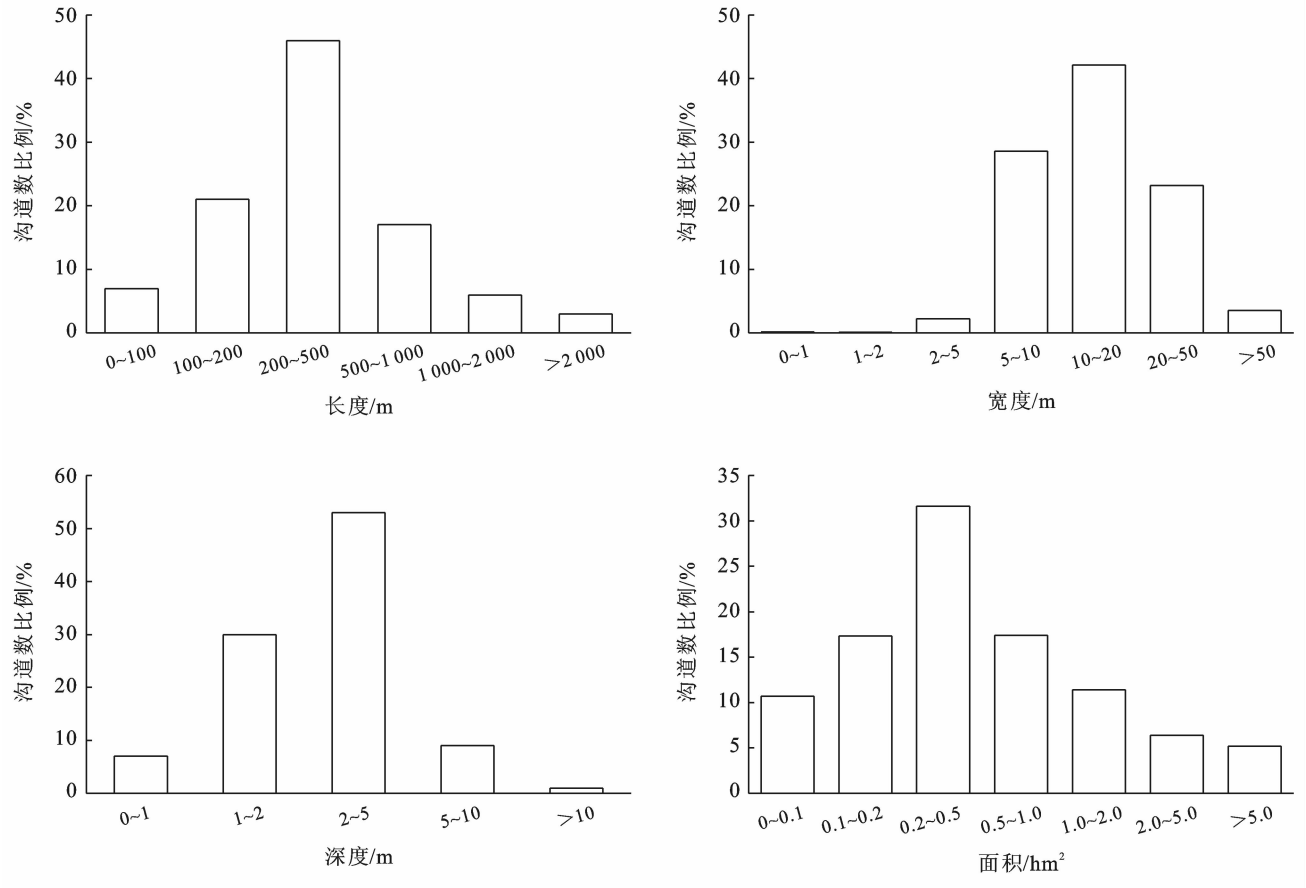


图 1　调查区侵蚀沟形态分布特征

2.2.3　*侵蚀沟分类形态特征*　利用经典统计学统计分析了调查区耕地、路边、林地和主干 4 种类型的侵蚀沟的长度、宽度、深度和面积形态分布特征。

(1) 侵蚀沟长度。对研究区各类型侵蚀沟长度按照＜100,100～200,200～500,500～1 000,1 000～2 000,＞2 000 m 的区间进行分类统计侵蚀沟数量结果见图 2。除主干沟外,其他 3 种类型侵蚀沟的长度均在 200～500 m 范围最多,以长度大于 2 000 m 的较少,主干沟长度均分布在＞2 000 m 范围。

以＜100,100～200,200～500,500～1000,1 000～2000,＞2 000 m 长度区间划分侵蚀沟类型的区间侵蚀沟数量占其自身类型总数量的比例,耕地沟分别为 10%,21%,45%,15%,6%和 3%,路边沟分别为 2%,17%,51%,22%,5%和 3%。林中沟分别为 13%,28%,51%,6%,1%和 1%。

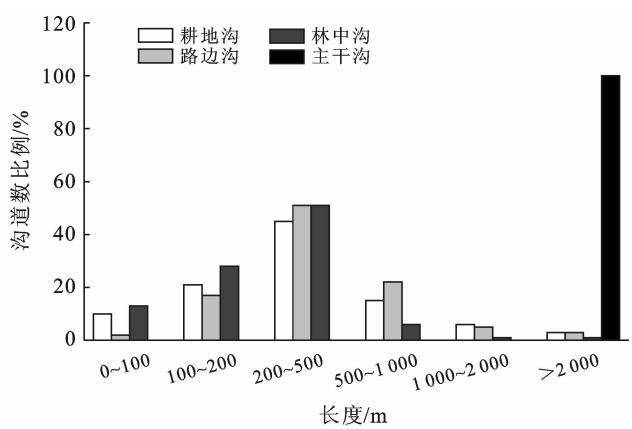


图 2　调查区侵蚀沟长度分类特征

(2) 侵蚀沟宽度。对研究区各类型侵蚀沟宽度按照＜1,1～2,2～5,5～10,10～20,20～50,＞50 m 的区间进行分类统计侵蚀沟数量结果见图 3。所有

类型侵蚀沟的宽度多在 2 m 以上,以 10～50 m 范围内侵蚀沟数量最多。

以<1,1～2,2～5,5～10,10～20,20～50, >50 m 宽度区间划分侵蚀沟类型的区间侵蚀沟数量占其自身类型总数量的比例,耕地沟分别占0.01%,0.03%,2%,29%,41%,22%和 6%,路边沟分别占 0.01%,0.01%,3%,37%,43%,16%和 1%,林中沟分别占 0.01%,0.01%,1%,14%,36%,41%和 8%;主干沟分别占 0.01%,0.01%,0.01%,0.01%,25%,67%和 8%。

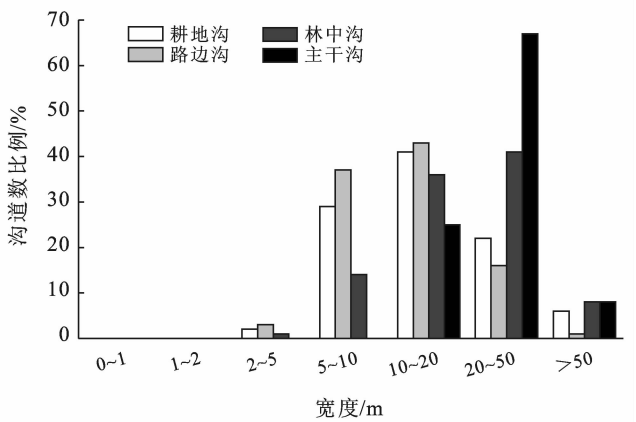


图 3 调查区侵蚀沟宽度分类特征

(3) 侵蚀沟深度。对研究区各类型侵蚀沟深度按照<1,1～2,2～5,5～10,>10 m 的区间进行分类统计侵蚀沟数量结果见图 4。不同类型的侵蚀沟的深度在 2～5 m 范围内最多,大于 10 m 的范围内的侵蚀沟条数最少。

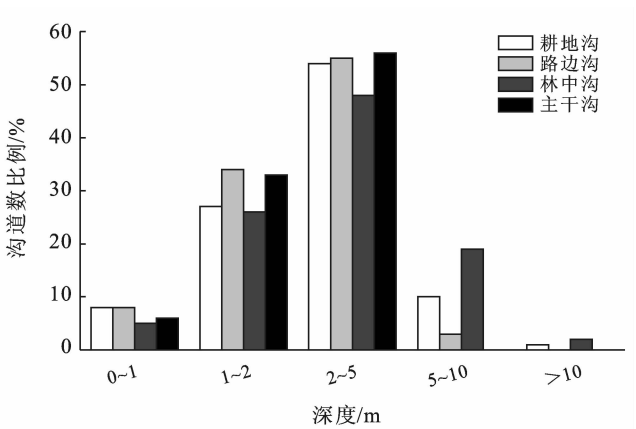


图 4 调查区侵蚀沟深度分类特征

以<1,1～2,2～5,5～10,>10 m 深度区间划分侵蚀沟类型的区间侵蚀沟数量占其自身类型总数量的比例,耕地沟分别占 8%,27%,54%,10%和 1%;路边沟分别占 8%,34%,55%,3%和 0%;林中沟分别占 5%,26%,48%,19%和 2%;主干沟分别占 6%,33%,56%,0.02%和 0.01%。

(4) 侵蚀沟面积。对研究区各类型侵蚀沟面积按照<0.1,0.1～0.2,0.2～0.5,0.5～1.0,1.0～2.0,2.0～5.0,>5.0 hm^2 区间分类侵蚀沟数量比例统计结果见图 5。不同类型的侵蚀沟的面积均在 0.2～0.5 hm^2 范围内数量最多。

以<0.1,0.1～0.2,0.2～0.5,0.5～1.0,1.0～2.0,2.0～5.0,>5.0 hm^2 区间划分各侵蚀沟区间数量占其自身类型总数量的比例,耕地沟分别占 19%,25%,31%,16%,0.02%,3%和 5%;路边沟分别占 12%,27%,37%,20%,0.01%,1%和 3%;林中沟分别占 17%,34%,27%,17%,0.01%,1%和 5%;主干沟分别占 0.01%,0.01%,8%,0.03%,0.02%,0.01%和 92%。

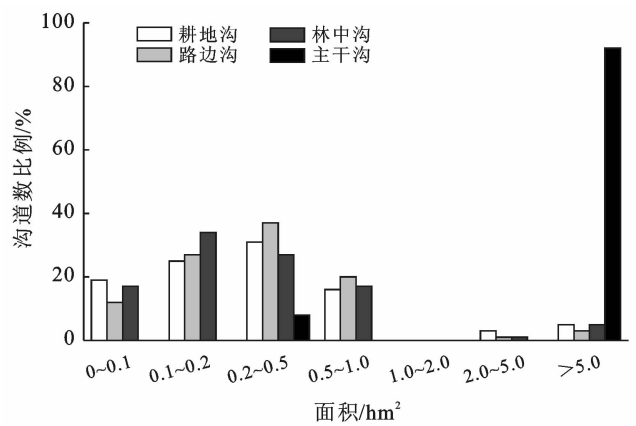


图 5 调查区侵蚀沟面积分类特征

3 讨 论

3.1 东北黑土区沟道侵蚀评估

通过对 450 km^2 典型区域的实测,共有侵蚀沟 1 049条,其中耕地、路边、林地和主干沟各有 557,353,107,12 条,侵蚀沟平均长度 996 m,平均宽度 13.1 m,平均深度 2.7 m,平均面积 2.4 hm^2,大多属于小、中型侵蚀沟,虽处于发展危害加剧阶段,但易于治理,应及早防治。未被纳入东北黑土区侵蚀沟专项普查的主干沟对区域沟道影响较大(见表 3)。

主干沟是坡面和支沟汇流抵达河道的中间水通道,是侵蚀沟最先发育并最终趋于稳定或半稳定的沟道。在东北黑土区,只有较大降雨时才有股流,绝大多数时间只有干枯,不属于河流范畴。水利普查时未将坳沟(主干沟)算作沟道侵蚀,闫业超等的研究结果指出坳沟应属于沟道侵蚀的一种[10]。本研究发现,是否将主干沟纳入侵蚀沟调查结果,对沟道侵蚀评估

影响较大。研究区实测侵蚀沟一共有 1 049 条,主干沟仅有 12 条,从数量上看影响甚小。但对侵蚀沟其他性状乃至沟道侵蚀强度评价影响较大。如将主干沟剔除,侵蚀沟总长度、密度、总沟道面积分别低估了 20.9%,20.8%和 34.9%。《黑土区水土流失综合防治技术标准》SL 446-2009 对沟道侵蚀强度的分级有沟壑密度和沟谷面积比两个指标,剔除主干沟,依沟壑密度计,沟道侵蚀强度从中度变成轻度;以沟谷面积比计,沟蚀强度从剧烈变成极强烈。

表 3　调查区主干沟在沟道侵蚀评价中的差异

侵蚀沟	实测	排除主干沟
数量/条	1 049	1 037
长度/km	540.6	427.5
密度/(km·km^{-2})	1.20	0.95
密度计强度	中度	轻度
面积/hm^2	710.4	646.1
体积/10^7 m^3	5	3.6
沟谷面积比/%	2.89	1.88
沟谷面积比计强度	剧烈	极强烈

总体来说研究区侵蚀沟条数多,密度大,沟谷面积比大,沟蚀强度剧烈。李浩等[11]的研究发现该地侵蚀沟道面积正不断增加,研究区总体侵蚀状况剧烈。胡天然等[12]通过 3 期乌裕尔河流域遥感影像得出乌裕尔河流域侵蚀沟数量增加 4.03 倍,现有侵蚀沟数量 12 381 条;姜芸等[13]以嫩江县为研究区域,利用航空遥感影像探究嫩江县侵蚀沟分布,嫩江全县共有侵蚀沟数量 38 426 条。可以看出,东北黑土区沟道侵蚀不容乐观。

3.2　沟道侵蚀治理分析

2017 年国家启动了东北黑土区侵蚀沟治理专项工程,依据沟道面积进行分类和投资预算,占地面积≤0.3 hm^2 定义为小型侵蚀沟,占地面积≥1.4 hm^2 定义为大型侵蚀沟,介于两者之间的发展型侵蚀沟定义为中型侵蚀沟[14]。根据《东北黑土区侵蚀沟治理专项规划(2016—2030 年)》,小型沟、中型沟和大型沟的平均治理投资分别为 2.24×10^5,4.20×10^5,8.00×10^{5}元。以此计算,调查区域小、中、大侵蚀沟条数分别为 438,441,170 条,需治理费用分别为 9.80×10^7,1.85×10^8,1.36×10^8 元,共计 4.19×10^8 元。中小型侵蚀沟占总侵蚀沟数量的 84.00%,治理经费占总需治理经费的 67.5%(见表 4)。按区域总面积 450 km^2 计算,单位面积侵蚀沟治理费用为 9.30×10^5 元/km^2,可见东北黑土区沟道侵蚀治理成本是非常高的。

表 4　调查区发展类型侵蚀沟治理分类及成本

级 别	沟壑占地面积/hm^2	侵蚀沟道数	平均造价/元	总造价/元
小型沟	≤0.3	438	2.24×10^5	9.80×10^7
中型沟	0.3～1.4	441	4.20×10^5	1.85×10^8
大型沟	≥1.4	170	8.00×10^5	1.36×10^8

刘晓冰等[15]人对东北黑土区侵蚀沟治理措施和模式在详细调查的基础上,进行了系统归纳总结[16]。东北黑土区针对耕地中的中小型侵蚀沟,最佳途径采用侵蚀沟复垦技术,利用秸秆填埋,上层覆土,消除耕地中的侵蚀沟,修复沟毁耕地,恢复作物种植。调查区中利用秸秆填埋复垦工程技术,可修复沟毁耕地 47 hm^2。而且针对壤中流发育,浅层地下水水位高的特点,科学性强,成绩显著[17]。对于大中型沟需采用“沟头跌水+沟底谷坊+削坡造林”的生态修复治理模式,该模式各项措施相互补充,形成了工程养植物,植物保工程的立体防护结构[18]。对于大型侵蚀沟沟头溯源侵蚀与沟壁坍塌严重,采用崩塌扩张沟壁石笼稳坡拦护技术和过水下切沟底植物谷坊防冲拦沙技术[19]。

4　结 论

(1) 漫川漫岗黑土区沟道侵蚀严重,主要发生在耕地中。调查区沟壑密度达 1.2 km/km^2,沟道面积已占区域总面积的 2.89%。耕地中侵蚀沟数量占研究区侵蚀沟总数的 55%,损毁耕地 418.9 hm^2,占耕地总面积的 1.1%。

(2) 侵蚀沟专项普查中未包含的主干沟在区域沟道侵蚀占据重要份额。主干沟仅有 12 条,从数量上看影响甚小。但是主干沟总长 113.1 km,面积达 64.3 hm^2,对侵蚀沟其他性状乃至沟道侵蚀强度评价影响较大。

(3) 调查区侵蚀沟以中小型为主,易于治理。研究区共有侵蚀沟 1 049 条,治理任务重,需治理资金 4.20×10^8 元,单位面积沟道治理需投资 9.30×10^5 元/km^2。

[参 考 文 献]

[1] 孟令钦,李勇.东北黑土区坡耕地侵蚀沟发育机理初探[J].水土保持学报,2009,23(1):7-11.

[2] 胡伟,樊华,李浩,等.黑土区治理后侵蚀沟道融雪侵蚀观测研究[J].水土保持学报,2018,32(5):84-90.

[3] 李智广,王岩松,刘宪春,等.我国东北黑土区侵蚀沟道的普查方法与成果[J].中国水土保持科学,2013,11(5):9-13.

[4] 尚建勋,朱悦.东北黑土区侵蚀沟专项治理的几点思考[J].中国水土保持,2017(11):16-18.
[5] 李浩,张兴义,刘爽,等.典型黑土区村级尺度侵蚀沟演变[J].中国水土保持科学,2012,10(2):21-28.
[6] 李智广,刘宪春,刘建祥,等.第一次全国水利普查水土保持普查方案[J].水土保持通报,2010,30(3):87-91.
[7] 中华人民共和国水利部,中华人民共和国国家统计局.第一次全国水利普查公报[J].中国水利,2013(7):1-3.
[8] 中华人民共和国水利部.黑土区水土流失综合防治技术标准:SL 446-2009[S].北京:中国水利水电出版社,2009:16.
[9] 杜书立,李浩,陈强,等.典型黑土区侵蚀沟空间分布特征及主要影响因子分析:以黑龙江省引龙河农场为例[J].土壤与作物,2013,2(4):177-182.
[10] 闫业超,张树文,岳书平.克拜东部黑土区侵蚀沟遥感分类与空间格局分析[J].地理科学,2007,27(2):193-199.
[11] Li Hao, Cruse R M, Liu Xiaobing, et al. Effects of topography and land use change on gully development in typical Mollisol region of Northeast China[J]. Chinese Geographical Science, 2016,26(6):779-788.
[12] 胡天然,王树力.东北黑土区乌裕尔河流域侵蚀沟变化过程及影响因素[J].南京林业大学学报(自然科学版),2018,42(1):113-119.
[13] 姜芸,王军,张莉.东北典型黑土区侵蚀沟形态及分布特征[J].农业工程学报,2020,36(7):157-165.
[14] 白建宏.东北黑土区侵蚀沟分级初探[J].中国水土保持,2017(10):41-42.
[15] Liu xiaobing, Li Hao, Zhang Shengmin, et al. Gully erosion control practices in northeast China: A review [J]. Sustainability, 2019,11(18):5065.
[16] 张兴义,祁志,张晟旻,等.东北黑土区农田侵蚀沟填埋复垦工程技术[J].中国水土保持科学,2019,17(5):128-135.
[17] 张信宝.关于中国水土流失研究中若干理论问题的新见解[J].水土保持通报,2019,39(6):302-306.
[18] 朱淼淼.辽宁土石山区侵蚀沟道综合治理技术模式研究[J].中国水土保持,2019(7):37-39.
[19] 秦伟,左长清,范建荣,等.东北黑土区侵蚀沟治理对策[J].中国水利,2014(20):37-41.

(上接第 63 页)

[11] 王雪芹,杨东亮,马洋,等.沙漠—绿洲过渡带典型下垫面风速脉动特征:以塔克拉玛干沙漠南缘策勒绿洲为例[J].中国沙漠,2015,35(3):542-548.
[12] Hyson P, Garratt J R, Francey R J. Algebraic and electronic corrections of measured uw covariance in the lower atmosphere[J]. Journal of Applied Meteorology, 1977,16(1):43-47.
[13] van Boxel J H, Sterk G, Arens S M. Sonic anemometers in aeolian sediment transport research [J]. Geomorphology, 2004,59(1/2/3/4):131-147.
[14] 包慧娟,李振山.风沙流中风速纵向脉动的实验研究[J].中国沙漠,2004,24(2):244-247.
[15] 陶照堂.摩阻风速的野外测量[J].甘肃科技,2011,27(23):66-69.
[16] 程宏,邹学勇,张春来.摩阻风速与平均风速的转化关系研究[J].水土保持研究,2007,14(2):133-134.

(上接第 71 页)

[16] 范海兰,洪伟,吴承祯,等.水分胁迫对短葶山麦冬生长和总皂苷量的影响[J].应用与环境生物学报,2011,17(3):345-349.
[17] 于锡宏,刘汉兵,惠爱斌,等.不同土壤水分含量对短毛独活生长的影响及其生理响应[J].北方园艺,2018(24):1-7.
[18] 候双利.不同母质发育红壤的水分运移试验与模拟[D].南京:河海大学,2017.
[19] 李成亮,何园球,熊又升,等.四种不同母质发育的红壤水分状况研究[J].土壤,2004,36(3):310-317.
[20] 宋春丽.旱作条件下不同母质红壤磷吸附作用及其影响因素研究[J].中国农学通报,2016,32(2):129-134.
[21] 李忠佩,刘明,江春玉.红壤典型区土壤中有机质的分解、积累与分布特征研究进展[J].土壤,2015,47(2):220-228.