

东北黑土区沟道侵蚀现状及其防治对策

张兴义, 刘晓冰*

(中国科学院东北地理与农业生态研究所黑土区农业生态重点实验室, 哈尔滨 150081)

摘要: 沟道侵蚀是土地退化最严重的表现形式, 东北黑土区是中国除黄土高原外沟道侵蚀最为严重的区域, 沟道侵蚀严重威胁东北区域农业生产和生态环境。该文基于多年的研究积累, 结合国家侵蚀沟治理专项调查和国家重点研发计划项目研究成果以及已有文献, 系统总结归纳了东北黑土区沟道侵蚀特征、发展演变趋势及其危害; 梳理出现有侵蚀沟治理措施的成功经验及失败教训, 凝练提出区域侵蚀沟防治目标及 4 种主要侵蚀沟治理模式, 并给出了适用范围及条件; 同时提出了新时代东北黑土区侵蚀沟防治对策建议。该文为区域现代农业发展和生态文明建设决策以及沟道侵蚀治理工程的实施提供了科技支撑。

关键词: 土壤; 沟道; 侵蚀; 特征; 治理; 黑土区; 对策

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2021.03.038

中图分类号: S281

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2021)-03-0320-07

张兴义, 刘晓冰. 东北黑土区沟道侵蚀现状及其防治对策[J]. 农业工程学报, 2021, 37(3): 320-326. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2021.03.038 <http://www.tcsae.org>

Zhang Xingyi, Liu Xiaobing. Current scenario of gully erosion and its control strategy in Mollisols areas of Northeast China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2021, 37(3): 320-326. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2021.03.038 <http://www.tcsae.org>

0 引言

黑土以富含有机质潜在肥力高而著称, 是地带性土壤, 主要发育形成于温带大陆性草原。全球共有集中分布的四大片黑土, 总面积 916 万 km^2 。北半球的三大片黑土, 主要位于 40~54°N 间, 其中, 北美 290 万 km^2 , 东欧 182 万 km^2 , 中国东北 35 万 km^2 ; 南半球的一大片黑土位于 27~40°S 间, 主要分布于阿根廷潘帕斯大草原, 面积 106 万 km^2 ^[1]。黑土分布区气候温暖潮湿, 夏季雨热同季, 地势起伏较小, 适于连片种植。目前四大片黑土地均以粮食生产为主, 对世界粮食安全起着重要的保障作用^[2]。中国东北黑土主要分布于松嫩平原, 开垦前表层 0~20 cm 土壤有机质含量北部高达 80~100 g/kg, 南部 50~60 g/kg^[3], 是中国农田土壤有机质含量最高的土壤, 开垦历史仅有百余年, 垦殖率高达 70%以上^[4]。东北耕地面积和粮食产量各占全国总量的 1/4, 由于地广人稀, 商品粮占全国总量的 1/3, 是中国最大的商品粮基地, 被誉为“耕地中的大熊猫”, 承担着国家粮食安全“压舱石”的重任^[5]。

东北黑土区典型的地形地貌为漫川漫岗, 坡缓坡长, 汇水区面积大^[2], 农耕的区域特点是采用垄作, 且多为顺坡/斜坡垄作, 夏季集中降雨, 降雨汇集到垄沟后, 径流

沿垄向冲刷表土, 易发生水土流失^[6], 具体表现为坡面侵蚀和沟道侵蚀, 严重损伤黑土坡耕地粮食生产能力, 已成为当前区域粮食生产的最主要危害^[7]。

张树文等^[8]遥感解译得出, 东北黑土区旱作耕地占总耕地面积的 80%, 其中 86%的坡度>0.5°, 存在不同程度的水土流失。通过对坡耕地长期监测结果显示, 黑土层因水力侵蚀年变薄速率为 2~3 mm, 黑土层厚度已由垦前的 50~60 cm 变薄为 30 cm, 已有 10%的耕地黑土层侵蚀殆尽^[2,9]。且漫川漫岗黑土区侵蚀严重的坡耕地耕层土壤有机质含量下降速率高达 13.5%, 远高于区域平均 5%的下降速率^[7], 因此, 坡耕地水土流失已成为黑土退化的最主要驱动因素。黑土质量的快速下降, 加之坡耕地平均 10%的地表径流损失所导致的水分胁迫作用, 导致粮食产能丧失 10%以上^[2]。

作为水土流失的另一表现形式的沟道侵蚀在东北黑土区同样严重, 据 2013 年水利部利用全国第一次水利普查的蚀沟专项调查结果, 东北黑土区是中国除黄土高原外沟道侵蚀最为严重的区域^[10], 主要发生于已垦坡耕地中, 除损毁耕地减少耕地面积外, 其最主要的危害是造成耕地支离破碎, 阻碍机耕作业, 不利于机械化集约化农业生产程度相对较高的黑土农业生产, 严重阻碍了区域农业现代化发展^[11]。

东北黑土区无论是研究还是治理起步均较晚, 但明显有别与其他区域的侵蚀沟, 受水力、冻融、融雪、重力等多外力耦合叠加驱动^[6], 88.7%的侵蚀沟为发展沟, 呈发展危害加剧的态势^[10], 关注黑土区沟道侵蚀过程及机理较多, 防治措施与效果评价少^[13]。东北黑土区严重的水土流失尤其是沟道侵蚀得到了国家充分重视, “十三五”同步启动国家重点研发计划“东北黑土区侵蚀沟

收稿日期: 2020-07-30 修订日期: 2021-01-20

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC0504200); 黑龙江省科技计划项目(GX18B051); 世界黑土联合会项目(ANSO-PA-2020-12)联合资助
作者简介: 张兴义, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事黑土水土保持研究。Email: zhangxy@iga.ac.cn

*通信作者: 刘晓冰, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事黑土侵蚀与生产力研究。Email: liuxb@iga.ac.cn

生态修复关键技术研发与集成示范”科技项目和“东北黑土区侵蚀沟治理专项”重大工程^[12]。本文对东北黑土区侵蚀沟现状、特征、发展趋势、危害,以及侵蚀沟治理进行了系统总结,在分析已有的研究进展基础上,归纳总结了已有侵蚀沟治理成功经验和存在的问题,凝练了区域侵蚀沟防治目标及主要侵蚀沟治理模式,并提出了侵蚀沟治理的对策建议,旨在为黑土地保护、黑土区粮食可持续生产和生态安全提供科技支撑。

1 沟道侵蚀现状及其危害

1.1 沟道侵蚀现状

1) 侵蚀沟数量

目前东北黑土区沟道侵蚀唯一权威数据为2013年水利部利用全国第一次水利普查的侵蚀沟专项调查公告,共有侵蚀沟29.5663万条,采用的是2.5 m分辨率遥感影像,对长度大于100 m小于5 000 m的侵蚀沟进行矢量化提取,并1%的现场验证获得^[10]。由于所采用的调查方法及设定的条件,公告的侵蚀沟数量要较实际数量偏低,主要表现在:其一是采用遥感解译的方法,由于植被覆盖,难以将林下或林边侵蚀沟提取出来;其二是2.5 m分辨率遥感影像,难以将伴随道路的侵蚀沟全部解译出来^[14];其三,也是最主要的,东北黑土区地形地貌变化较缓,开垦历史较短,侵蚀沟为近几十年的新成沟,长度<100 m的侵蚀沟较多,是造成侵蚀沟数量偏低的主要原因^[13]。

为了明确侵蚀沟贴近实际的数量,依照侵蚀沟的定义^[15],我们对三个实测结果进行了详细分析对比,发现公告的侵蚀沟数量明显少于实际数量。

2012年在东北黑土区内蒙古自治区、辽宁、吉林和黑龙江省选取10个典型县,面积1%取样调查^[8],对272小流域为单元开展了野外侵蚀沟实测,共获取1 141条侵蚀沟信息,为了与第一次全国水利普查东北黑土区侵蚀沟普查数据对应,剔除长度小于100 m的侵蚀沟,符合条件侵蚀沟509条。该数据说明在东北小型切沟所占比例高,约有55.4%的侵蚀沟未能列入第一次全国水利普查东北黑土区侵蚀沟普查数量之中。

2013年对黑龙江省农垦系统的引龙河、共青和八五五3个农场的侵蚀沟进行了实测。引龙河农场坐落于典型漫川漫岗黑土区北部,共有侵蚀沟447条;共青农场地处小兴安岭南前地向平原过渡区,共有侵蚀沟105条;八五五农场地处完达山脉低山丘陵区,共有侵蚀沟368条。3个农场侵蚀沟合计920条,其中长度<100 m的侵蚀沟占48%,这些侵蚀沟同样未能纳入列入第一次全国水利普查东北黑土区侵蚀沟普查数量之中^[16]。

2018年对坐落于漫川漫岗核心区黑龙江省海伦市3个乡镇450 km²的区域侵蚀沟进行了现场人工测量,实测获得的侵蚀沟1 049条,普查公布的该区域的侵蚀沟574条,普查结果较实测低估了45.3%。普查与实测结果比较,路边沟少了233条,林地少了68条。不计类型,长度<100 m的侵蚀沟233条,未纳入普查数量之中^[14]。

上述3个区域的普查结果较实测分别低估了55.4%、

48%和45.3%,即实际侵蚀沟数量应是普查结果的2倍,以此推断东北黑土区侵蚀沟数量应为60万条左右,即长度<100 m的侵蚀沟较为普遍,数量不应忽视^[14]。

2) 侵蚀沟特征

东北黑土区垦殖历史仅有百余年,垦前以草地为主,草地转变为耕地,是加剧水土流失的根本原因,也是侵蚀沟发育的诱因^[17]。由于其独特的气候、地形地貌、土壤乃至耕作,黑土区侵蚀沟明显有别于中国其他区域,具有独特的区域特征^[18]。具体特征为:①为近代新成沟,当前侵蚀沟绝大多数发育形成于20世纪50~60年代,侵蚀沟道和坡面界面清晰;②多发育形成于已垦坡耕地上,全区域有60%的侵蚀沟发育形成于耕地中,其中黑龙江省有95%;③多为活跃发展沟,有88.7%的侵蚀沟仍处于活跃发展阶段,沟头溯源挺近,沟岸扩张,沟底下切;④以中小型侵蚀沟为主,平均长度为661.3 m,平均面积1.23 hm²,易于治理。其中,10%的侵蚀沟长小于153.3 m,面积小于0.12 hm²;50%的侵蚀沟长小于329.1 m,面积小于0.42 hm²;80%的侵蚀沟长小于685.3 m,面积小于1.15 hm²^[10,19];⑤受多种外引力驱动,除受水力侵蚀驱动外,还受融雪、冻融、重力、风力和耕作等多种外引力耦合、互作、叠加共同驱动,具有融雪和冻融外引力驱动的显著区域特征^[6]。

1.2 沟道侵蚀演变发展趋势

东北黑土区侵蚀沟总体发育形成近几十年,约90%仍处于发展阶段^[10]。目前尚无全东北黑土区侵蚀沟演变的研究结果,但省级尺度47.3万km²的黑龙江省,60年的侵蚀沟变化动态结果显示,无论是侵蚀沟条数,还是沟道面积和沟壑密度都在显著增加(表1)^[17]。

表1 黑龙江省侵蚀沟发展动态
Table 1 Gully evolvement in Heilongjiang province

时间 Time/a	条数 Number	沟道面积 Total area/km ²	沟壑密度 Average density/(km·km ⁻²)
1950	52 721	68.53	0.06
1980	107 430	128.92	0.12
2000	151 553	186.66	0.17
2013	115 535	928.99	0.12

注:2000年前为区域调查结果;2013年为普查公告结果,不包括长度<100 m的侵蚀沟。

Note: Results before the year of 2000 were the regional survey; Results in the year of 2013 were the general investigation, the gullies of length <100 m were excluded.

在流域尺度,王文娟等^[20]研究了1.45万km²乌裕尔河流域1965—2005年40年侵蚀沟动态,侵蚀沟密度显著增加,各等级侵蚀沟密度都向更高等级演变。在中等流域尺度,闫业超等^[21]利用1965年美国高分辨率侦查卫星Corona和2005年的Spot-5卫星影像,研究了克拜黑土区1 843 km²侵蚀沟的演变,得出40年侵蚀沟数量由1682条增加到2561条,密度高值区不断扩大,且呈集中连片分布趋势。在小流域尺度,Li等^[22]利用历史航片(1968年)和2009年遥感影像对黑龙江省海伦市光荣村24.2 km²的69条侵蚀沟演变开展了研究,41年间,沟壑密度由3.33 km/km²发展到4.96 km/km²,侵蚀沟道面积由0.86 km²增加到2.22 km²,沟毁地面积由3.5%增加到

9.1%。从 24.2 km² 到 47.3 万 km² 不同尺度黑土区 40~60 年侵蚀沟演变结果均显示侵蚀沟的数量和密度等均在增加,同时验证了 2013 年普查结果约 90% 的侵蚀沟为发展沟,表明东北黑土区不但沟道侵蚀严重,仍处于活跃发展阶段,呈危害加剧的发展态势。

1.3 沟道侵蚀危害

沟道侵蚀是土地退化最为严重的表现形式^[23],发生严重沟道侵蚀的区域,土地被侵蚀沟切割破碎,生态系统遭到严重破坏。东北黑土区沟道侵蚀对区域粮食生产和生态环境造成了严重的损伤,主要危害表现在以下三个方面。

损毁土地。东北黑土区侵蚀沟由于多为发展沟,沟头、沟岸、沟底活跃,表土裸露,林木由于沟岸坍塌跌落沟底,冲毁道路,危害村屯时有发生,生态极其脆弱,被列为“四荒”土地。2013 年东北黑土区侵蚀沟专项普查结果,侵蚀沟总长度 19.55 万 km,沟道面积 3 648.4 km²,占普查区面积的 0.4%,沟道侵蚀损毁耕地已达 22 万 hm² 以上,相当于中等面积县耕地面积^[10]。在 450 km² 典型实测区,侵蚀沟面积为 7.10 km²,损毁土地面积占比为 1.6%,沟毁耕地面积占比高达 2.8%。坐落于漫川漫岗黑土区的核心地带的黑龙江省海伦市光荣村,是沟道侵蚀极端严重区,侵蚀沟主要发育形成于 20 世纪 50 年代,1968 年后的 41 年间,沟道面积增加了 2.6 倍,损毁土地高达 9%^[22]。因此,沟道侵蚀对黑土地的严重毁损不容忽视。

耕地支离破碎。黑土坡耕地虽 88% 坡度小于 5°,但地势不平整,微起伏较大,地表径流沿垄向遇凹陷处易形成汇流,冲刷发育成沟,沟道不断溯源延伸并下切,由浅沟发育演变成切沟。沟道两侧汇流再形成支沟,发育成“鸡爪形”沟系,造成耕地支离破碎,将耕地切分为小的地块,只能在沟道两侧重新形成农田道路,留出机耕抹牛地,不但损毁耕地,而且阻碍农机行走,极不利于现代农业的发展^[11]。以上述黑龙江省海伦市光荣村 41 年侵蚀沟演变为例,沟道侵蚀面积已增加了 1 倍,同时平均地块面积缩小了 50%^[22]。

加剧坡面侵蚀。东北黑土区坡面侵蚀的显著特征是坡中、坡上表土被剥离,绝大多数被剥离的土壤迁移到坡脚沉积,有侵蚀沟道发育的坡耕地,首先坡面汇流增加土壤流失量,其次剥离土壤部分进入沟道,并随沟道侵蚀迁移出流域,沟道侵蚀有加剧坡面侵蚀的作用。王文娟等^[24]研究发现,黑土区坡沟侵蚀具有耦合关系,沟蚀主要发生在坡面侵蚀强烈以上的区域。坡面存在浅沟或切沟侵蚀均增加土壤流失量,唐克丽等^[25]在黄土高原研究发现浅沟侵蚀量为总侵蚀量的 86.7%。美国黑土区切沟侵蚀量占侵蚀产沙量的 10%~30%,而东北黑土区切沟侵蚀占流域产沙量的 50% 以上^[26]。

2 侵蚀沟治理

2.1 侵蚀沟治理目标

黑土区承担着保障国家粮食安全重任,今后一段时间内仍面临着农业生产高压的态势,沟道治理不能走黄土高原退耕还林还草以恢复生态为主的道路,应探索出利用与保护协调可持续发展的道路。基于国家粮食需

求以及东北黑土区短期内难以显著改变的土地利用方式,导致位于汇水线的侵蚀沟道来水量较难减少等问题,近期沟道侵蚀防治的目标,只能采取先遏止侵蚀沟发展,再逐渐恢复侵蚀沟生态的途径,达到治理后的侵蚀沟稳定,全部被植被所覆盖,但仍承担着水系通道的作用,生态系统逐渐趋于稳定,满足国家生态文明建设要求。

2.2 侵蚀沟治理模式

2017 年水利部编制了《东北黑土区侵蚀沟治理专项规划(2016—2030 年)》(以下简称《规划》)^[27],同年国家启动了东北黑土区侵蚀沟综合治理专项工程^[12],区域侵蚀沟治理步入国家层面规模化新时代。《规划》根据侵蚀沟类型、分布与特点,立足于保护黑土地、保持东北粮食、生态安全的主旨,从控制沟蚀发展,构建水土流失综合防治体系的出发,以坡耕地、影响群众生产和生活的发展型侵蚀沟为治理重点,将东北黑土区侵蚀沟防治规划分为两种类型区,即以保护黑土资源、保障国家粮食安全为目标,兼顾脱贫攻坚,重点对低山丘陵和漫川漫岗区粮食主产区耕地发展型中、小侵蚀沟进行综合治理的重点治理区;以保护水源地、维护生态屏障为目的,重点对山地丘陵区、山前台地耕地侵蚀沟以预防与治理相结合方式的综合防治区。总体原则为坚持因地制宜,突出重点,“绿色”治沟优先;坚持径流调控与防蚀系统并重,坡面与沟道协同防治;坚持侵蚀沟“治小、治早”;坚持防治与开发利用相协调。侵蚀沟治理包括模式的选取和措施的布设,取决于侵蚀沟所在地的生态环境和沟道自身特征。

通过对东北黑土区全区域以往侵蚀沟治理现场的调查和近年来创新技术研发成果的梳理,总结归纳出区域侵蚀沟治理主要有 4 类治理模式。

1) 填埋复垦模式

基于导排水体系构建和填埋消除侵蚀沟恢复垦殖的模式。对于耕地中的侵蚀沟,最佳的治理方式是通过填埋让其消失并不再重新发育成沟,通过秸秆、煤矸石、风化石等物料填埋和上层覆土方式,消除沟道低凹地形,恢复坡耕地所在坡面完整性的侵蚀沟复垦技术体系。原理是通过填埋材料本身的透水空隙和间隔布设的渗井及沟底布设的暗管导流措施,变地表汇流为地下暗流,减小冲刷,填埋后不再重新成沟,恢复坡面的完整性。布设渗井和暗管变地表汇流为地下导排水是侵蚀沟复垦成功与否的关键技术,该模式适用于东北黑土区耕地中沟道来水较小的中小型侵蚀沟(图 1)。

模式主要由沟道修整、渗井暗管布设、物料填沟、上层覆土等措施组成。秸秆需打捆压实,密度应不小于 250 kg/m³,煤矸石或风化石填埋时,下层铺设直径较大的填筑材料,上层铺设直径较小的填筑材料;表层覆土厚度 50 cm;渗井布设的位置和数量需上游来水量及时入渗到暗管;暗管带孔,外覆透水性好的土工布,阻挡泥沙进入;暗管直径依据排水量而定,铺设于整形后的侵蚀沟道底部中央,比降不少于 2%。此模式的详细描述参见张兴义等^[28]和祁志等研究^[29]。复垦治理成本为 45 万元/hm²,低于原国土部颁布的耕地复垦 150 万元/hm² 的标准。

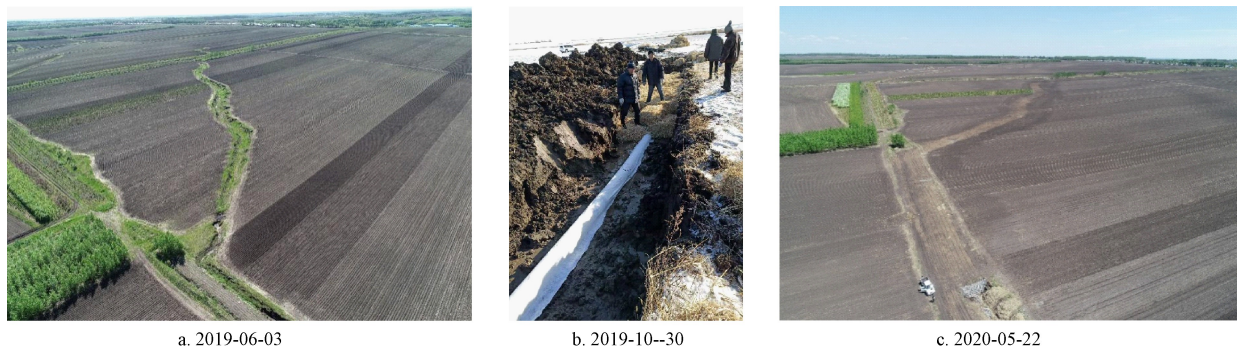


图1 耕地中侵蚀沟填埋复垦前后
Fig.1 Before and after the gully reclamation by filling stover

2) 植物治沟模式

植物治沟模式是依照因地制宜, 突出重点, “绿色”治沟优先的原则, 全部采用植物措施的侵蚀沟柔性治理技术体系^[21]。原理为利用植物自身的固土功能稳定沟道, 利用植物谷坊对上游来水消能拦沙, 栽植植被生态修复。削坡整形和确保植物成活是植物治沟的关键环节, 适用于东北黑土区土层较深土壤水分较好, 上方来水量较小, 沟体相对稳定, 危害相对较小的发展性或趋于稳定的中小型侵蚀沟, 这类侵蚀沟多为地表径流的过水道路。模式由侵蚀沟整形措施、环沟埂、沟头(沟道)多级植物跌水、柳谷坊、沟坡(沟道、沟岸)植被措施等组成。沟道整形是为植物措施布设建立前提条件, 环沟埂是将汇水区来水引导到沟头或支沟头处, 沟头跌水和柳谷坊是稳固沟头和沟底措施, 沟坡植被是增加沟岸防护及恢复生态措施^[29]。

沟道整形后沟坡坡度需控制在 30° 以内; 落差越大, 柳跌水级数越多; 沟底布设柳编或土柳谷坊; 沟坡沟岸种植水保护林, 宜采用乔灌木立体栽植(图2)。该模式主要应用于水土条件较好的中小型, 以植被措施为主, 单条沟治理成本为7~15万元。

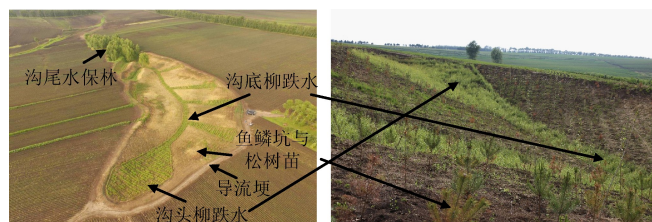


图2 植物封沟
Fig.2 Gully closure by vegetation

3) 植物为主工程为辅治沟模式

植物为主工程为辅治沟模式是以植物措施为主体, 对局部单纯植物措施难以有效防治的必要补充工程措施的侵蚀沟治理措施体系^[31]。原理为多处于发展的侵蚀沟, 立地条件较好, 遵照“植物措施优先”的原则, 以最少的工程措施锁住侵蚀沟发展的关键部位, 再在沟体其他部位布置植物措施, 达到完全控制、淤平侵蚀沟的目的。辅助的沟头跌水和沟底谷坊工程措施布设位置和建设标准是治理成功与否的关键环节, 该模式适用于漫川漫岗

和低山丘陵等地区植被立地条件较好, 上方来水量较小, 沟体相对稳定, 危害相对较小的发展型中小型侵蚀沟。模式由沟头跌水、沟底稳固、沟坡植被固土措施组成。由于沟头溯源侵蚀相对较快, 宜采取导排水型跌水式沟头防护措施, 一般采取石笼或柳跌水排水型跌水; 沟底比降 $>10\%$ 须采取抗冲性较强的石笼谷坊; 沟底宜采取灌木柳为主的植物水道。该模式主要应用于水土条件相对较好的中小型, 植被措施为主, 工程措施为辅, 单条沟治理成本为10~20万元。



图3 沟底辅以浆砌石谷坊
Fig.3 Gully bottom supplemented by masonry check dam

4) 工程为主植物为辅模式

工程为主植物为辅模式是对于水土资源较差, 且上游来水量大的大中型侵蚀沟, 需先行用工程措施稳固侵蚀沟, 再行逐步恢复植被的侵蚀沟治理措施体系^[32]。原理为以石头、混凝土、铅丝笼等抗冲性较强的建筑材料为主, 强行锁住沟头、稳住沟岸、抬高沟道侵蚀基准面, 并在立地条件较好的部位辅助性布置植物措施, 澄泥过水, 为沟道自我修复及后期绿化创造环境, 最终达到全面治沟的目的。工程稳固措施防冻胀至关重要, 一旦冻裂, 极易损毁, 该模式适用于低山丘陵区植被立地条件较差, 或植被措施难以短期有效控制其快速发展的上方来水量较大, 沟道比降较大, 发展快, 危害性较大中发展型侵蚀沟。模式主要由沟头、沟底、沟坡稳固工程+植物措施组成。由于沟头溯源侵蚀强烈, 宜采取排水型跌水式沟头防护措施或阶梯式石笼和钢筋混凝土排水型跌水; 依据沟底淤平后比降不大于 5% 的原则, 从上到下布设谷坊, 沟道中上游, 应以抗冲性强的浆砌石和石笼谷坊为主, 沟道下游布置干砌石谷坊、土谷坊、土柳谷坊; 谷坊布设应遵循浆砌石和石笼谷坊坝高 $\leq 5\text{ m}$, 干砌

石谷坊坝高 ≤ 2.5 m, 土石谷坊坝高 ≤ 3 m, 土柳谷坊坝高 ≤ 1.5 m; 还应遵循谷坊高度为沟深 1/2~2/3; 对村镇、交通及其他重要设施构成威胁的沟坡采取石笼(坡降较小)或浆砌石护岸墙(坡降较大), 提高坡面抗冲能力(图 4)。该模式主要应用于水土条件较差的中型沟, 工程措施稳固沟道是治理的重要前提, 单条沟治理成本为 25 万元以上。

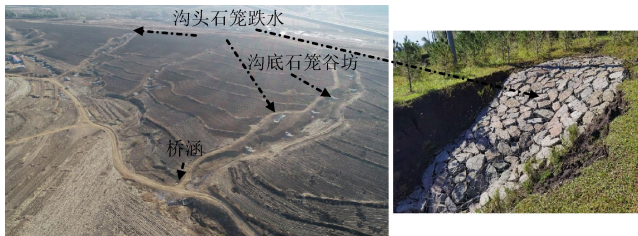


图 4 工程措施为主

Fig.4 Gully control with engineering priority

3 侵蚀沟治理存在问题及建议

3.1 存在问题

东北黑土区侵蚀沟治理起始于 20 世纪“农业学大寨”时期, 已有 50 年的历程, 从当初的零散单条沟治理已走向小流域为单元的系统治理, 逐渐探索出具有区域特色侵蚀沟治理技术体系。当前国家赋予东北黑土区保障国家粮食安全的重任, 启动了系列黑土地保护工程, 侵蚀沟治理得以稳步推进, 但仍存在一些需要解决的问题。

第一, 投资标准较低, 治理成效差。在 2017 年启动东北黑土区侵蚀沟治理专项工程前, 侵蚀沟治理只裹在水土保持中, 份额小, 单个沟道治理投资标准低, 致使治理不系统, 加之东北严寒冻胀, 损毁严重。调查统计结果表明, 治理成功的侵蚀沟不足 30%。

第二, 措施配置不当, 未能起到防护作用。东北黑土区侵蚀沟治理提倡植物措施优先, 对治理后损毁的沟底以柳构筑的过水通道测量发现, 均出现在比降大于 10% 沟底段, 表明植物稳固沟底存在一定的阈值, 需补充修筑石谷坊, 实现一劳永逸。此外, 修筑的浆砌石谷坊, 由于嵌入沟岸两侧过少, 多冲毁。

第三, 沟道削坡和治理后保护成为难点。当前国家颁布的侵蚀沟治理行业和地方标准, 或侵蚀沟治理规划, 均要求在侵蚀沟治理中将陡立的沟壁削减为 25° 以下的斜坡, 一是避免冻胀坍塌, 二是有利于栽植林木。东北黑土区侵蚀沟大部分发育于坡耕地上, 调查时发现, 无论是削坡还是植树, 在大部分区域均难以实施。与坡耕地水土保持生态治理面临的同样问题, 削坡就要占用耕地, 栽植林木就会挟地, 都会影响农民的经济收益。中国现行的家庭联产承包责任制, 加之近两年土地确权, 沟道两侧的耕地归农民承包使用, 宪法保护, 不得侵占。农民不同意, 地方不配合, 水保工程组织者水务局水保站难以实施。栽植树木挟地, 农民索要补偿, 无专项补偿金, 也难以兑现, 即使栽植了树木, 也被牲畜啃死或防火及喷施农药致死, 削坡和栽植林木成为讨论最多的话题。

3.2 对策建议

首先, 从法律政策层面, 完善法律法规, 颁布黑土地保护刚性条款, 对于侵蚀强度达到某种程度的坡耕地必须采取水土保持措施, 为黑土区侵蚀沟治理扫清障碍。主要是由于侵蚀沟治理首先要对沟道进行整形, 削坡是侵蚀沟治理必不可少的措施, 东北黑土区侵蚀沟多发育形成于耕地中, 削坡必然要占用耕地, 是当前黑土区侵蚀沟治理工程实施的难点。

其次, 从国家粮食安全黑土地系统保护规划层面, 整合现有黑土地保护工程, 将主要发育形成耕地中的黑土区侵蚀沟, 纳入农田水系建设体系, 发挥其导排水功能, 沟坡协同防治, 黑土地力提升协同发展。侵蚀沟发育形成于汇水线, 在小流域中侵蚀沟是生态系统水系通道, 封堵是不现实的, 治理后的侵蚀沟包括填埋后的侵蚀沟仍然承担着导排水功能, 因此侵蚀沟治理应纳入以耕地为主的小流域农田水系建设体系。

第三, 要进一步梳理东北黑土区侵蚀沟治理成功经验, 加强技术创新研发, 构建成熟适用侵蚀沟防治技术体系, 颁布技术标准, 从技术层面确保侵蚀沟科学高效治理。东北黑土区侵蚀沟无论科学研究还是治理起步晚, 规模化治理起始于 2017 年国家启动的东北黑土区侵蚀沟治理专项工程, 可借鉴的经验少, 关键技术创新不足, 尚未颁布区域侵蚀沟治理技术标准, 其他区域技术不能简单照搬。

第四, 要以服务国家粮食安全需求为核心, 以坡耕地中侵蚀沟治理为重点, 优先实施填埋复垦技术, 修复沟毁耕地, 是保护农田黑土的重要措施之一, 是保护“耕地中大熊猫”的重要体现, 可为现代农业发展提供保障。东北黑土区侵蚀沟数量多, 对农田危害大, 尤其还呈发展加剧的态势。然而主要发育形成于耕地的侵蚀沟, 形成的时间短, 多以中小型为主, 相对易于治理。因此利用国家重视黑土地保护之契机, 加强侵蚀沟治理, 着实新时代水土保持和生态文明建设。

东北黑土区沟道侵蚀严重, 但发育形成历史短, 侵蚀沟以中小型为主, 易于治理, 现已形成了有效的侵蚀沟治理与生态修复模式。建议侵蚀沟治理应作为黑土地保护的重要内容, 以耕地中的沟毁耕地修复和侵蚀沟生态恢复为主。

[参 考 文 献]

- [1] Liu Xiaobing, Lee Burras C, Kravchenko Y S, et al. Overview of Mollisols in the world: Distribution, land use and management[J]. Canadian Journal of Soil Science, 2012, 92(3): 383-402.
- [2] 张兴义, 刘晓冰. 黑土利用与保护[M]. 北京: 科学出版社, 2018.
- [3] Zhang Xingyi, Liu Xiaobing, Zhao Jun. Utilization and conservation of Black soil[M]. Beijing: Sciences Press, 2018.
- [4] Zhang X Y, Sui Y Y, Zhang X D, et al. Spatial variability of nutrient properties in black soil of Northeast China[J]. Pedosphere, 2007, 17(1): 19-29.
- [5] 张之一. 中国东北地区暗沃土[J]. 黑龙江省八一农垦大学学报, 2011, 23(6): 1-4.

- Zhang Zhiyi. The Mollisols of Northeast China[J]. Journal of Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2011, 23(6): 1-4. (in Chinese with English abstract)
- [5] 刘兴土, 阎百兴. 东北黑土区水土流失与粮食安全[J]. 中国水土保持, 2009(1): 17-19.
Liu Xingtu, Yan Baixing. Water and soil losses in relation to food security in Black soil region of Northeast China[J]. Water and Soil Conservation of China, 2009(1): 17-19. (in Chinese with English abstract)
- [6] 郑粉莉, 张加琼, 刘刚, 等. 东北黑土区坡耕地土壤侵蚀特征与多营力符合侵蚀研究重点[J]. 水土保持通报, 2019, 39(4): 314-319.
Zheng Fenli, Zhang Jiaqiong, Liu Gang, et al. Characteristics of soil erosion on sloping farmland and key fields for studying compound soil erosion caused by multi-forces in Mollosol region of Northeast China[J]. Bulletin of Water and Soil Conservation, 2019, 39(4): 314-319. (in Chinese with English abstract)
- [7] 张兴义, 隋跃宇, 宋春雨. 农田黑土退化过程[J]. 土壤与作物, 2013, 2(1): 1-6.
Zhang Xingyi, Sui Yueyu, Song Chunyu. Degradation process of arable Mollisols[J]. Soil and Crop, 2013, 2(1): 1-6. (in Chinese with English abstract)
- [8] Zhang S L, Li F, Li T, et al. Remote sensing monitoring of gullies on a regional scale: A case study of Kebai region in Heilongjiang Province, China[J]. Chinese Geographical Science, 2015, 25(5): 602-611.
- [9] 张之一. 黑土开垦后黑土层厚度的变化[J]. 黑龙江省八一农垦大学学报, 2010, 22(5): 1-3.
Zhang Zhiyi. The thickness changes of Ah horizon after the phaeozems cultivated[J]. Journal of Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2010, 22(5): 1-3. (in Chinese with English abstract)
- [10] 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): 12-16.
Li Zhiguang, Wang Yansong, Liu Xianchun, et al. Survey methods and results of erosion gullies in black soil areas of northeastern China[J]. Science of Soil & Water Conservation, 2013, 11(5): 12-16. (in Chinese with English abstract)
- [11] 王念忠, 沈波. 东北黑土区侵蚀沟发展状况及其对粮食安全的影响[J]. 中国水土保持科学, 2011, 9(5): 7-10.
Wang Nianzhong, Shen Bo. Development of gully erosion in Northeast China and its effects on the national food security[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2011, 9(5): 7-10. (in Chinese with English abstract)
- [12] 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.
- [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.
Jiang Yun, Wang Jun, Zhang Li. Morphology and distribution characteristics of erosion gully in the typical black soil region of Northeast China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(7): 157-165. (in Chinese with English abstract)
- [14] 刘宝元, 刘刚, 王大安, 等. 区域沟蚀野外调查方法: 以东北地区为例[J]. 中国水土保持科学, 16(4): 34-40.
Liu Baoyuan, Liu Gang, Wang Daan, et al. A field survey method for regional gully erosion: A case study in northeastern China[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2018, 16(4): 34-40. (in Chinese with English abstract)
- [15] Poesen J, Nachtergaele J, Verstraeten G, et al. Gully erosion and environmental change: Importance and research needs[J]. Catena, 2003, 50(2/3/4): 91-133.
- [16] 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.
Du Shuli, Li Hao, Chen Qiang, et al. The spatial distribution and main factor of gully erosion in typical black soil region-A case study at Yinlonghe farm[J]. Soil and Crop, 2013, 2(4): 177-182. (in Chinese with English abstract)
- [17] 水利部, 中国科学院, 中国工程院. 中国水土流失与生态安全: 东北黑土卷[M]. 北京: 科学出版社, 2010:126.
- [18] Zhang T Y, Liu G, Duan X W, et al. Spatial distribution and morphologic characteristics of gullies in the Black Soil Region of Northeast China: Hebei watershed[J]. Physical Geography, 2016, 37(3/4): 228-250.
- [19] 王岩松, 王念忠, 钟云飞, 等. 东北黑土区侵蚀沟省际分布特征[J]. 中国水土保持, 2013(10): 67.
- [20] 王文娟, 张树文, 李颖, 等. 东北黑土区近40年沟谷侵蚀动态及影响因素分析[J]. 水土保持学报, 2009, 23(5): 51-55.
Wang Wenjuan, Zhang Suwen, Li Ying, et al. Dynamics and influencing factors of gully in the Black soil area of Northeast China during the past 40 years[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2009, 23(5): 51-55. (in Chinese with English abstract)
- [21] 闫业超, 张树文, 岳书平. 近40a黑土典型区坡沟侵蚀动态变化[J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 109-15.
Yan Yechao, Zhang Shuwen, Yue Shuping. Dynamic change of hill slope and gully erosion in typical area of black soil region during the past 40 years[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(2): 109-115. (in Chinese with English abstract)
- [22] Li H, Cruse R M, Liu X, 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): 779-88.
- [23] Poesen J. Challenges in gully erosion research[J]. Landform analysis, 2011(17): 5-9.
- [24] 王文娟, 张树文, 方华军. 东北典型黑土区坡沟侵蚀耦合关系[J]. 自然资源学报, 2012, 27(12): 2113-2122.
Wang Wenjuan, Zhang Shuwen, Fang Huajun. Coupling mechanism of slope-gully erosion in typical black soil area of Northeast China[J]. Journal of Natural Resources, 2012, 27(12): 2113-2122. (in Chinese with English abstract)
- [25] 唐克丽, 郑世清, 席道勤, 等. 杏子河流域坡耕地的水土流失及其防治[J]. 水土保持通报, 1983, 3(5): 43-48.
Tang Keli, Zheng Shiqing, Xi Daoqin, et al. Water and soil losses and control in sloping farmland of Xingzi valley[J]. Bulletin of Water and Soil Conservation, 1983, 3(5): 43-48. (in Chinese with English abstract)
- [26] 郑粉莉, 徐锡蒙, 覃超. 沟蚀过程研究进展[J]. 农业机械学报, 2016, 47(8): 48-59.
Zheng Fenli, Xu Ximeng, Qin Chao. A review of gully erosion process research[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(8): 48-59. (in Chinese with English abstract)
- [27] 松辽水利委员会. 松辽委组织编制完成东北黑土区侵蚀沟治理专项规划[J]. 中国水土保持, 2016(12): 92.
- [28] 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.
Zhang Xingyi, Qi Zhi, Zhang Shengmin, et al. Rehabilitation engineering of gully filling in the Mollisols farmland of Northeast China[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2019, 17(5): 128-135. (in Chinese with English abstract)
- [29] 祁志, 韩兴, 丁超, 等. 填埋复垦侵蚀沟的导排水功能和秸秆腐解速率[J]. 农业工程学报, 2020, 36(23): 85-91.
Qi Zhi, Han Xing, Ding Chao, et al. Drainage function and straw decomposition rate of landfill reclamation erosion gully[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2020, 36(23): 85-91. (in Chinese with English abstract)
- [30] 中华人民共和国水利部. SL 446-2009 东北黑土区水土流失综合防治技术标准[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2009: 16
- [31] 孟令钦, 李勇. 东北黑土区沟蚀研究与防治[J]. 中国水土保持, 2019(12): 44-46.
- [32] Liu X, Li H, Zhang S, et al. Gully Erosion control practices in Northeast China: A review [J]. Sustainability, 2019, 11(18): 5065.

Current scenario of gully erosion and its control strategy in Mollisols areas of Northeast China

Zhang Xingyi, Liu Xiaobing^{*}

(Key Laboratory of Mollisols Agroecology, Northeast Institute of Geography and Agroecology,
Chinese Academy of Sciences, Harbin 150081, China)

Abstract: Gully erosion is a destructive and dramatic form of land degradation, representing the soil loss of the top surface along drainage channels by water runoff and rainfall. Except for the Loess Plateau in China, the black soil (Mollisols) region of Northeast China has become the most severe affected area due to gully. The gully erosion has posed a great threat to regional agricultural production and ecological environment, since the current gully erosion is ever-fragmenting the farmland to aggravate sloping land erosion, even to destroy the land. Since the 1970 s, considerable efforts have been made to gradually control gully erosion using various conservation measures, thereby mitigating property damage and losses. In this study, a systematic summary was proposed to clarify the characteristics, developing trends, and damages of gully erosion in the black soil region of Northeast China, integrating with the survey conducted by the National Gully Erosion Management Project and reports from the National Key R&D Program. The results demonstrated that the actual gully number of 295 700 in the region was probably underestimated by 50%, according to the gully density difference obtained from the satellite images and field investigation. The average size of gullies was an area of 1.23 hm² with a length of 661.3 m. In the 88.9% active gullies, 60.2% developed in farmland was encroaching the arable land at an expansion rate of 7.39 km² per year. As such, the ultimate goal of gully mitigation was to stabilize the erosion expansion and rehabilitate vegetation in the region. The recent control of gully erosion could firstly hinder the gully development, and then restore the gully through ecological approaches. Different feasible measures were developed to construct the structures at gully headcuts, or various check dams in the gully bed, as well as soil and water conservation barriers along the gully bank, depending on the local conditions and resources. Four systems against gully erosion are available: 1) the corn stover and coal gangue can be filled to remediate gully on the farmland; 2) vegetation rehabilitation including the wicker check dams, continuous live wicker, and a shrub or an arbor plant enclosure can be achieved; 3) other bioengineering can be combined with engineering techniques; 4) the plant rehabilitation can be integrated with engineering techniques, such as drop structures at headcuts and soil check dams, masonry check dams, and gabion check dams in gully bed locations with the masonry against flow scour. Specifically, a systematic practice of gully erosion was established to identify the well-suited conditions of sites. The application of these practices depended mainly on the topography, gully size, and local economy. The specific locations and conditions were also defined for the bioengineering implementation in each system. In addition, some strategies were proposed for the control of gully erosion in the aspects of law and regulation perfection, integration of Mollisols conservation projects, innovation of remediation practices, and the priority of gullies in sloping farmland. The findings can provide scientific support and guidelines for the policy-making on the control engineering of gully erosion for better regional development in modern agriculture and ecological civilization construction.

Keywords: soils; gully; erosion; characteristics; remediation; Mollisols area; strategy