



草本植物在东北地区侵蚀沟生态修复利用研究进展

彭大庆¹, 王雪珊¹, 张强¹, 孔晓蕾¹, 刘慧莹², 田春霞¹, 任南威³, 刘杰淋^{1*}, 乔支福⁴

1. 黑龙江省农业科学院草业研究所, 哈尔滨 150086

2. 黑龙江省农业科学院, 哈尔滨 150086

3. 中建深圳装饰有限公司, 深圳 518002

4. 哈尔滨金蜂巢工程材料开发有限公司, 哈尔滨 150086

* 联系人, Email: liujielin7857@163.com

收稿日期: 2025-04-28; 接受日期: 2025-07-31; 网络版发表日期: 2025-11-20

黑龙江省农业科学院农业科技创新跨越工程(批准号: CX23YQ23)、黑龙江省省属科研院所科研业务费(批准号: CZKYF2024-1-A004)、国家现代农业产业技术体系(批准号: CARS-34)和中央财政林业科技推广示范项目(批准号: 黑(2025)TG15)资助

摘要 土壤侵蚀作为全球性环境问题, 在气候变化加剧背景下呈现持续恶化态势. 侵蚀沟是土壤侵蚀造成的一种结果, 受侵蚀影响每年造成大量的粮食损失, 严重危害国家的粮食安全. 植被因其绿色、生态和可持续的特性, 已成为防控土壤侵蚀的重要工具之一. 本文分析侵蚀沟的发生原因及对耕地的危害; 针对填埋复垦模式、植被治理模式、植被工程组合模式的治理方法及优缺点进行综述; 探讨了植物在侵蚀沟阻控侵蚀的研究进展及机制解析. 在此基础上, 对草本植物在侵蚀沟防控侵蚀的研究现状进行重点探讨. 基于东北地区草本植物治理侵蚀沟的工程实践, 提出“蜂格网侵蚀沟生态治理模式”, 通过草本植物与工程材料的协同配置, 实现侵蚀沟治理的生态效益与水土保持稳定性双重提升, 为草本植物在侵蚀沟的应用研究提供理论支撑和模式参考.

关键词 草本植物, 侵蚀沟, 防蚀机制, 生态修复

土壤侵蚀作为全球性环境问题, 在气候变化加剧背景下呈现持续恶化态势, 其时空演变受坡度、气候波动与人类活动的复合驱动, 通过改变形态动力学过程影响着土壤健康和生态系统稳定(<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/5d66c466-4040-4493-a85f-58470f0bb771/content>)^[1]. 其中侵蚀沟作为水力侵蚀的典型地貌形态, 在农业坡耕地中尤为突出. 数据显示, 我国土壤受水力侵蚀影响造成的水土流失面积为 $105.10 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 约占全国土地面积的11%, 已严重威胁粮食安全(<http://swcc.mwr.gov.cn/gonggao/>

[202503/t20250321_1878440.htm](https://doi.org/10.1360/SSV-2025-0128)). 这种兼具自然过程与人为加剧特征的地质灾害, 亟待构建多尺度协同治理模式以保障粮食安全.

植被因其绿色、生态和可持续的特性, 是防控土壤侵蚀的重要工具之一. 现如今, 植物措施主要应用在侵蚀沟的沟坡、沟底治理中, 多为柳跌水、防护林等较为成熟的木本植物措施^[2]. 而草本植物在抗冲刷、快速覆盖和生态协同等方面的独特优势尚未得到充分挖掘利用, 研究基础较为薄弱. 因此, 需加强草本植物与侵蚀防控的基础研究, 针对侵蚀沟边坡特性, 突破单

引用格式: 彭大庆, 王雪珊, 张强, 等. 草本植物在东北地区侵蚀沟生态修复利用研究进展. 中国科学: 生命科学

Peng D Q, Wang X S, Zhang Q, et al. Research progress in the utilization of herbaceous plants in ecological restoration of gully erosion in Northeast China (in Chinese). Sci Sin Vitae, doi: [10.1360/SSV-2025-0128](https://doi.org/10.1360/SSV-2025-0128)

一措施思维, 利用草本植物优势构建“草灌立体”的协同防控体系, 同时建立覆盖整地、播种、管护全流程的技术标准体系, 推动植被措施从辅助手段向核心治理模式转型。

中国东北地区作为国家粮食安全的重要“压舱石”, 以黑土为主的肥沃土壤是粮食生产的必要条件^[3]。习近平总书记曾多次强调要把黑土地这个“耕地中的大熊猫”保护好、利用好。但基于东北地区侵蚀沟的调查数据表明, 东北黑土区已是中国除黄土高原外沟道侵蚀最为严重的区域^[4], 严重危害东北地区农业活动的健康发展。因此, 了解草本植物维持沟坡稳定的内在机制, 对于推进侵蚀沟修复工作、保护黑土地、保障国家粮食安全至关重要。基于上述原因, 本文对侵蚀沟的发生机制与治理模式进行回顾并综述, 分析植被防控侵蚀的机理及优点, 并介绍近年来草本植物在侵蚀沟生态修复中主要研究进展, 提出现阶段侵蚀沟植被防蚀的有效模式, 为侵蚀沟修复利用提供参考依据。

1 侵蚀沟的发育机制与治理模式

1.1 侵蚀沟的发育

侵蚀沟是由沟坡侵蚀造成的。沟坡侵蚀的显著特征是坡面中上部表土被剥离, 一部分迁移到坡底沉积, 一部分随迁移出流域加剧侵蚀^[5]。表土剥离的物理学原因是重力应力超过坡面机械阻力时发生的重力质量移动^[6]。其发生原因包括多种因素, 如雪水运动、动物践踏和人类活动等^[7-9]。通常情况下, 上述现象发生会导致坡面植被出现张力裂缝, 使雨水或融雪水“冲刷”掉整块植被, 进而导致植被和表层土壤剥离。一旦表土被剥离, 自然植被重建和稳定可能需要几十年的时间, 期间二次侵蚀过程会导致土壤的进一步剥离。东北地区侵蚀沟总体发育形成近几十年, 约90%仍处于发展阶段^[10]。丁超等人^[11]将2018年的东北黑土区侵蚀沟实地调查结果与2013年国家公布的东北黑土区沟蚀普查数据结果相比发现, 侵蚀沟数量、沟壑密度和沟蚀强度都较普查数据显著增加, 表明东北侵蚀沟仍在快速发展。截至2023年, 东北地区报告的沟壑数量达到66.67万条, 危害面积4030 km², 地力下降20%, 损毁耕地超30万hm²(http://www.mwr.gov.cn/xw/slyw/202308/t20230828_1681146.html)。因侵蚀沟发育造成的沟毁耕地的增加, 极大地影响农业机械的操作, 不

利于机械化程度相对较高的东北地区农业生产, 严重阻碍国家现代化农业进程。

1.2 侵蚀沟的治理模式

侵蚀沟的发展主要表现为三种形式: 沟头溯源侵蚀、沟底下切和沟岸崩塌^[12]。针对不同的类型, 需采取差异化的防控策略。目前在东北地区侵蚀沟治理实践中, 主要形成以下三类技术模式: (i) 填埋复垦模式。该模式是将侵蚀沟周边农田中作物收获后剩余的秸秆, 打包压实后填充进侵蚀沟内, 沟底铺设暗管导流并在填埋后覆土, 使地表径流分散到地下减少地表水蚀^[13]。模式主要由沟道整形与暗管布设、秸秆打捆与压实填埋、上层覆土等措施组成。其优点在于消除耕地中的侵蚀沟, 便于机械大规模作业。技术实施后, 沟毁耕地可重新种植植被。此外, 采用秸秆填埋具有绿色环保、透水性好等优点, 且物料获取较为便捷。该模式是经过张兴义等人^[5,13]长期实践工作的总结并逐渐完善而成, 适用于耕地中来水量较小的中小型侵蚀沟修复技术, 治理成本约为45万元/hm²。(ii) 植被治理模式。该模式根据沟型坡位、径流状况等侵蚀发生因素结合立地环境条件, 配置植物组合进行侵蚀沟治理。模式多利用植物跌水、谷坊等措施削弱水蚀冲击, 拦截泥沙^[2]。为保障植被存活, 在栽种前多采用机械对侵蚀沟进行削坡塑形, 使沟坡坡度小于35°。该模式通过全植被覆盖实现侵蚀防控, 兼具生态与经济效益的双重优势。然而, 其应用效果受立地条件制约显著: 在土壤贫瘠区域, 植被建植成活率较低, 会影响治理成效; 同时, 植被系统对暴雨、干旱等极端气候事件的适应性相对有限, 存在一定的风险。目前, 植被治理时多采用柳树、松树、紫穗槐、石刁柏等乔灌木植被。模式适用于水土条件较好、坡度较缓、危害较小的中小型侵蚀沟, 治理成本较低, 约为7~15万元/条^[2,5]。(iii) 植被工程组合治理模式。该模式对局部植被措施难以有效防治的区域补充必要的工程措施进行侵蚀沟治理。对于上方来水量较小的发展型中小型侵蚀沟, 一般采取石笼或柳跌水, 沟底为灌木柳或石笼谷坊。而对于发展快的大中型侵蚀沟, 则需针对侵蚀沟发育的关键位置施用石头、钢筋混凝土等高抗冲性材料稳固沟坡, 并在其他位置施用植被措施, 达到阻控侵蚀的目的。其治理后侵蚀阻控稳定性较单一植被治理模式更高, 造价也相对更高, 治理成本为10万元/条以上^[5]。总体来

说, 结合经济投入和应用效果, 在侵蚀沟发育初期快速利用植被建植的方式预防沟坡侵蚀效果最佳.

2 草本植物对侵蚀沟防蚀机制的研究

2.1 植物对侵蚀沟防蚀机制

众所周知, 植被是防治土壤侵蚀的积极因素. 在土壤侵蚀阻控研究中, 植被作为重要的防蚀阻控因子影响因子而备受关注. 植被对侵蚀沟防治是多维度的, 主要体现在以下三部分: (i) 植被冠层通过截留作用对降雨能量进行梯度消减^[14]. 植被冠层可改变雨滴大小、空间分布, 减少到达地表的降水量和雨水侵蚀力^[15,16]. 研究认为, 高大粗壮的植被截留作用更强, 如乔木层叶片承接初始雨滴动能, 可将直径3~5 mm雨滴破碎为微水滴, 使单位面积冲击力降低60%以上^[17]. 灌木层通过枝干分形结构形成二次截留, 延长径流形成时间. 草本层密集覆盖地表, 使坡面流速降低30%^[18]. 这种层级式消能体系使暴雨的径流系数显著下降. (ii) 植被根系通过穿透生长对土壤进行加固. 植物根系在土壤中的交错、穿插、挤压形成根系网络, 黏结土壤颗粒, 促进团聚体形成, 稳定土壤结构^[19]. 研究表明, 根系直径和长度可形成具有不同特征的加固体系, 细根通过分泌多糖类物质与土壤颗粒胶结, 使抗剪强度提升^[20]. 深根系植物垂直根可锚固深度土层, 水平根网络在浅层形成张力带^[21]. (iii) 植被枯落物通过覆盖地表对土壤进行物理屏障. 枯落物覆盖会增加地表粗糙度, 减轻径流对土壤的直接冲刷, 降低径流流速, 最终降低水土损失^[22]. 此外, 植被根系对土壤结构的改良同样关键. 植被根系生长增加土壤孔隙度, 促进渗透过程, 提高蓄水能力. 根系能增加土壤入渗导水速率, 减弱径流的冲刷力, 减少地表土壤的损失^[23]. 目前, 植物措施与工程结构物的耦合模式已成为侵蚀沟治理的新范式. 如传统工程、土壤生物工程与植物措施的结合使侵蚀沟道内土壤侵蚀模数降低了71.8%^[24], 边坡灌草带与格宾石笼的配合可以有效降低维护成本等. 这种生物-工程复合系统为水土保持的发展提供新思路, 其绿色、环保、生态、可持续性已成为未来推广利用的重点模式, 但相关作用机制仍有待多学科交叉的深入研究.

2.2 草本植物在防蚀阻控的优点

目前, 人们对植被保持水土的机理已有一定的了

解. 许多学者认为木本植被比草本植被更有利于固坡, 因为树木的生育年限更长, 能在更长的时间内稳定固坡, 且在一年中的变化较小^[25]. 但种植乔木或灌木来控制侵蚀也存在一些缺点, 如木本物种对当地环境条件的适应; 木本植被自身生长较缓慢导致前期阻控效果差; 木本植物高度较高、林下植被覆盖度不足使拦截后的水滴对土壤的破坏可能更大, 从而导致土壤板结、地表径流产生和沟壑形成^[26]. 而草本植被可有效减少水土流失. 与沟坡上的乔木和灌木相比, 草本植被可保持更多的水土. 与乔木和灌木相比, 草本植物可快速覆盖地表, 使播种后40~60天即可形成有效防护层. Yan等人^[27]发现, 沟坡上的草本植被可使径流减少19%~30%和土壤流失减少78%~97%. 草本植被通常在表土层有大量细根, 而木本植被通常有根系较粗的直根系统, 大量细根比少量粗根对边坡加固的贡献更大^[28]. 研究发现, 高固坡稳定性与高根长密度和高细根含量有关, 高密度的细根可产生较高的土壤加固作用^[29]. 如Zhu等人^[30]在西藏的一个天然斜坡上观察到, 与附近的草本物种相比, 一些灌木的根系只有很少的短根, 对土壤加固的贡献很小. 此外, Kokutse等人^[31]通过输入坡度、土壤质地等立地条件模拟固坡结果发现, 树木植被的负面影响超过根系的稳定作用, 导致其稳定性低于草本植被. 比如在堤坝或山坡上, 树木很容易因大风或风暴而被连根拔起, 而草本植被通常更具抵抗力, 因此, 在侵蚀强度较弱或侵蚀初期, 草本植物侵蚀阻控效果更好. 国外研究发现山体滑坡更频繁地发生在森林覆盖率较高的斜坡上, 但草本植物根系通常较浅, 大多数根系的深度只有几厘米, 较深的土层通常不会被草本植被加固^[6,32]. 因此, 研究人员比较不同植被类型的固坡潜力后认为草本植被对防止滑坡有效, 而木本植被则更适合防止崩塌^[33]. 此外, 草本植被控制沟蚀的成本约为乔木或灌木的三分之一, 价格低廉. 在生态修复、经济效益、后续管护成本等方面, 草本植物较木本植物有显著优势. 总体而言, 草本植被在预防、阻控土壤侵蚀的能力上具有一定优势, 但固坡防蚀管理的最佳植被类型仍需进一步研究.

2.3 草本植物模式研究应用现状

现如今, 世界各地对草本植物在侵蚀阻控的应用上开展许多研究. 美国中西部采用抛物线形草皮沟道设计, 通过种植狗牙根(*Cynodon dactylon*)、格兰马草

(*Bouteloua gracilis*)等植被,使沟道糙率系数提升至0.035~0.045,径流流速降低40%~60%,控制土壤侵蚀^[34]。在废弃梯田的生态修复中,西班牙纸草(*Stipa tenacissima*)能够有效控制水土流失,促进植被恢复。对于密集水流的区域,灰绿针草(*Lygeum spartum*)可显著增强泥沙拦截效果。此外,在坡面稳定性提升方面,西班牙纸草与猪毛菜(*Salsola genistoides*)的种植能改善土壤结构并增强抗侵蚀能力^[35]。在法国南部阿尔卑斯山上,Burylo等人^[36]通过调查分类植物的抗蚀特性发现星捧月(*Aphyllantes monspeliensis*)和一种芨芨草属植物*Achnatherum calamagrostis*更适合当地沟坡防护。

在我国早期东北黑土区治理实践中,形成以适度人工干预促进侵蚀沟自然修复的技术路线。随着研究的深入,基于本土植物资源构建适生植被的生态修复策略逐渐得到认可^[37]。周宁等人^[37]选择使用樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongholica* Litv.)、锦鸡儿(*Caragana sinica* (Buc'hoz) Rehder)和黄花菜(*Hemerocallis citrina* Baroni)等乡土植物为主的植被配置方案,在保证沟坡稳定性的同时实现生态系统的良性演替。后续Liu等人^[1]根据沟东北地形条件将沟的每个部分划分为不同的区块,依据植物的生长特性采用不同的植被建植模式进行建植,综合研究发现在侵蚀沟不同坡度建植植被中,坡度10°优先建植草本植物白三叶,坡度12°时可建植刺果甘草,坡度19°时可建植无芒雀麦。此外Yan等人^[27]用鸭茅(*Dactylis glomerata* Linn.)、苇状羊茅(*Festuca arundinacea* Schreb.)、梯牧草(*Phleum pratense* Linn.)、红三叶(*Trifolium pratense* L.)和紫花苜蓿5种草组合建植5个侵蚀沟植被防控侵蚀模式,分析后得出结论认为在五种沟坡植被建植模式中,由鸭茅、苇状羊茅、梯牧草和紫花苜蓿等比例混合的植被建植模式最适宜应用于东北黑土区沟坡保护。综合前人研究和本团队最新的研究结果表明,紫花苜蓿(*Medicago sativa* L.)、刺果甘草(*Glycyrrhiza pallidiflora* Maxim.)、黑麦草(*Lolium perenne* L.)和无芒雀麦(*Bromus inermis* Layss.)等草本植物在黑土区的侵蚀防控中的效果较好^[1,27,38]。

总体而言,人工植草作为侵蚀沟防治的重要生物措施,主要适用于土层较厚、土壤水分条件良好且坡度小于20°的区域,尤其适用于沟底比降小于10%、沟体相对稳定的侵蚀沟治理。目前我国已出台多项技术规范和地方标准指导实践,包括《侵蚀沟建植饲用燕

麦技术规程》《侵蚀沟建植紫花苜蓿技术规程》及《东北黑土区侵蚀沟治理技术应用指南》等。与纯工程措施相比,人工植草技术具有成本优低、生态效益持久等特点,但也存在植被演替及杂类草入侵导致生态退化的风险。因此,为确保治理成效,需建立长效管护机制,尤其是对栽植后前三年实施重点管护,防止牲畜啃食和杂草入侵。在水分管理方面,建植初期需保证土壤湿度,若立地条件较干旱则需透水浇灌,可铺设生态草毯保持温湿度,提高植被存活率。同时要开展病虫害监测,并采取围栏等物理隔离措施规避人为干扰和自然破坏的风险。此外,近年来在东北黑土区中小型侵蚀沟治理中新兴“蜂格网侵蚀沟生态治理模式”(图1),通过创新性整合植物措施与工程措施,形成具有区域特色的综合治理体系。该技术体系具体实施流程包括:对侵蚀沟道实施削坡整形处理,随后拉伸固定蜂格网形成立体防护结构,在网格单元内建立草本植物群落,同步布设谷坊工程并依据土壤特性喷施保水剂以显著提升植被存活率^[39]。蜂格网侵蚀沟生态治理模式可实现人均200 m²/d施工量,从人工、材料、机械三个方面实现综合成本降低18%,具有显著的施工效率优势。研究表明,在降雨96 h后,蜂格网防护边坡较裸土边坡防护效果提高了79.8%^[40]。因此,相较于传统治理方式,该模式的工程成本较低、土壤侵蚀阻控能力高、生态修复功能强,具有大面积推广复制潜力。

3 应用前景

当前水土保持研究存在明显的“重机理、轻应用”现象,特别是在东北黑土区这一特殊地域。该区域面临双重挑战:一方面,严酷的气候条件对植被恢复技术提出更高要求;另一方面,百余年来作物种植结构的演变(从早期大豆-小麦主导到现今玉米-大豆为主的格局)显著影响着坡耕地的水土流失特征。然而,这种由农业结构调整引发的侵蚀动态变化尚未建立起完整的认知体系。

侵蚀沟形成是由汇水线形成的,是生态系统水系通道,封堵是不现实的,治理后的侵蚀沟仍需承担着导排水功能。东北黑土区经过长期实践探索,已构建起系统化的沟道侵蚀综合治理技术框架,相关技术成果已纳入黑土区侵蚀沟专项治理国家工程实施。基于恢复生态学理论^[41],侵蚀沟治理采用“工程固沟-植被修复”的递进式治理路径,通过先稳定沟道结构、后培

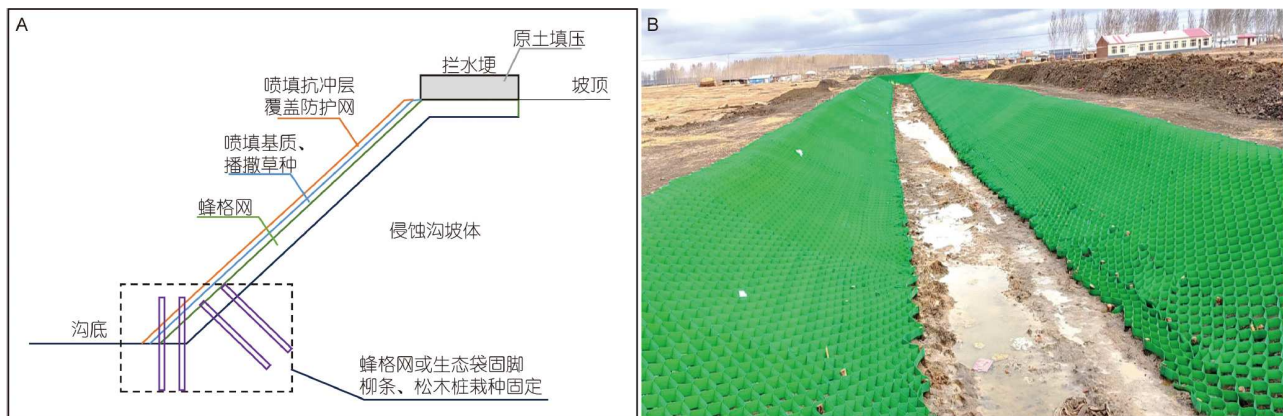


图 1 蜂格网侵蚀沟生态治理模式. A: 蜂格网模式机制图, 坡顶采用拦水埂拦截水流, 坡体铺设蜂格网网内种植植物, 沟底采用生态袋固脚, 并插设柳条固定; B: 黑龙江省绥化市兰西县蜂格网现场实施图

Figure 1 Honeycomb grid ecological remediation model for erosion gullies. A: Schematic diagram of the honeycomb grid mechanism, featuring water interception ridges at the slope crest, vegetation planting within honeycomb grids on the slope, and ecological bags with willow cuttings for toe reinforcement at the gully bottom; B: field implementation photo of honeycomb grid systems in Lanxi County, Suihua City, Heilongjiang Province

育植被群落的阶段性措施, 最终达成沟道生态系统的全面恢复与功能重建. 在侵蚀沟生态修复中植被恢复措施的选择上, 高大乔木虽然具有长期稳定的防护效益, 但其见效周期长, 且易形成林下的水土流失; 相比之下, 草本植物可快速覆盖地表, 降低侵蚀沟的发展速度, 具有当年即可发挥水土保持功能的优势. 草本植物也可与其他植物组合种植也能共同构建稳定的生态系统, 提高生物多样性, 使生态演替正向发展. 此外, 在黑土区侵蚀沟治理中, 由于侵蚀沟多分布于农田区域, 栽植乔木不仅占用耕地面积, 还面临农户的抵触; 而采用灌木与草本相结合的植被配置模式, 既能实现快速生态修复, 又能有效控制水土流失, 同时具有成本低廉、社会接受度高等优势, 展现出良好的应用前景. 但目前人工建植草本植被的研究相对匮乏, 其沟坡侵蚀防治效果研究鲜有报道; 同时受立地条件、气候环境等因素的制约, 植被配置模式尚未形成成熟的技术体系, 未来需开展深入的科学研究与实践探索.

综合草本植物模式研究应用现状, 当前研究与实践仍存在若干关键科学问题有待深入研究: (i) 沟坡植被的物种配置比例及其空间布局尚未形成系统化理论框架, 现有模式多依赖经验性配置; (ii) 人工草本植被的生态适应性及其在不同区域的侵蚀阻控效能尚未

得到充分验证, 特别是在生态环境较为脆弱的地区; (iii) 针对不同气候带(如湿润地区、干旱地区等)和土壤类型(黑钙土、盐碱土等)的适生草种筛选体系仍不完善; (iv) 植草后植被的演替过程及其与原生植被的竞争、共存和协同关系尚需进一步研究.

考虑到全球气候变化下我国侵蚀沟生态修复用种的现状^[42], 未来研究需重点开展多因子耦合实验, 系统解析草本植物与土壤抗蚀性的响应机制^[43]; 发展草本植物等具有生态修复草种的育种与种植技术; 同时可建立基于机器学习算法的草种适生性预测模型, 为侵蚀沟治理提供科学决策支持. 值得注意的是, 侵蚀沟治理应秉持“预防为主”的理念, 草本植被在沟道防护中具有独特的“治未病”功能. 借鉴发达国家的成功经验, 草水通道作为预防性措施能有效分散地表径流、降低水流冲刷力, 从源头上遏制侵蚀沟的发生发展, 是控制侵蚀沟发育的有效手段之一. 相较于传统的工程治理措施, 草本植被防护不仅成本低廉、易于维护, 还能与农业生产系统相协调, 具有显著的生态经济效益. 因此, 在侵蚀沟防治策略中, 应更加重视草本植被的预防性作用. 综上所述, 草本植物在侵蚀沟生态修复中的应用研究对于提升我国生态建设水平、保障国家粮食安全具有重要意义, 前景值得期待.

参考文献

- 1 Liu J, Zhu Y, Li J, et al. Short-term artificial revegetation with herbaceous species can prevent soil degradation in a black soil erosion gully of

- Northeast China. *Land*, 2024, 13: 1486
- 2 Shen H O, Ren M, Wen L L, et al. Water erosion and its mitigation in sloped black soil farmlands in Northeastern China: a review (in Chinese). *J Irrig Drain*, 2024, 43: 97–105 [沈海鸥, 任明, 温磊磊, 等. 黑土区坡耕地水力侵蚀及其防治技术研究进展. *灌溉排水学报*, 2024, 43: 97–105]
 - 3 Liu X T, Yan B X. Soil erosion and food security in the black soil region of Northeast China (in Chinese). *Soil Water Conserv China*, 2009, 2009: 17–19 [刘兴土, 阎百兴. 东北黑土区水土流失与粮食安全. *中国水土保持*, 2009, 2009: 17–19]
 - 4 Li Z G, Wang Y S, Liu X C, et al. Survey methods and results of erosion gullies in black soil areas of Northeastern China (in Chinese). *Sci Soil Water Conserv*, 2013, 11: 9–13 [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. *中国水土保持科学*, 2013, 11: 9–13]
 - 5 Zhang X Y, Liu X B. Current scenario of gully erosion and its control strategy in Mollisols areas of Northeast China (in Chinese). *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2021, 37: 320–326 [张兴义, 刘晓冰. 东北黑土区沟道侵蚀现状及防治对策. *农业工程学报*, 2021, 37: 320–326]
 - 6 Caviezel C, Hunziker M, Schaffner M, et al. Soil-vegetation interaction on slopes with bush encroachment in the central Alps—adapting slope stability measurements to shifting process domains. *Earth Surf Proc Landf*, 2014, 39: 509–521
 - 7 Ceaglio E, Mitterer C, Maggioni M, et al. The role of soil volumetric liquid water content during snow gliding processes. *Cold Regions Sci Tech*, 2017, 136: 17–29
 - 8 Pande T N, Yamamoto H. Cattle treading effects on plant growth and soil stability in the mountain grassland of Japan. *Land Degrad Dev*, 2006, 17: 419–428
 - 9 Qian Z J, Liu Y, Hou Y Q, et al. Factors affecting development of erosion gullies on typical slope farmland at baiquan county of Heilongjiang province (in Chinese). *Bull Soil Water Conserv*, 2024, 44: 166–176 [钱志晶, 刘焯, 侯驭麒, 等. 黑龙江省拜泉县典型区坡耕地侵蚀沟发育的影响因素. *水土保持通报*, 2024, 44: 166–176]
 - 10 Li Q F, Li J C, Yu M P, et al. Systematic morphological classification method for cultivated land erosion gullies in the typical black soil regions of Northeast China (in Chinese). *Trans CSAE*, 2024, 40: 53–61 [李全峰, 李吉程, 于明鹏, 等. 东北典型黑土区耕地侵蚀沟形态系统分类方法构建. *农业工程学报*, 2024, 40: 53–61]
 - 11 Ding C, Zhang S M, Hu W, et al. Field validation of gully survey of national census for soil conservation in the black soil region of Northeast China (in Chinese). *Sci Soil Water Conserv*, 2021, 19: 77–85 [丁超, 张晟旻, 胡伟, 等. 东北黑土区侵蚀沟普查结果实测验证. *中国水土保持科学(中英文)*, 2021, 19: 77–85]
 - 12 Zhang S M, Li H. Gully erosion control practices and models in Mollisol areas of Northeast China (in Chinese). *Bull Soil Water Conserv*, 2020, 40: 221–227 [张晟旻, 李浩. 东北黑土区的侵蚀沟治理措施与模式. *水土保持通报*, 2020, 40: 221–227]
 - 13 Zhang X Y, Qi Z, Zhang S M, et al. Rehabilitation engineering of gully filling in the Mollisols farmland of Northeast China (in Chinese). *Sci Soil Water Conserv*, 2019, 17: 128–135 [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. *中国水土保持科学*, 2019, 17: 128–135]
 - 14 Shou W, Musa A, Liu Z, et al. Rainfall partitioning characteristics of three typical sand-fixing shrubs in Horqin Sand Land, north-eastern China. *Hydrol Res*, 2016, 48: 571–583
 - 15 Nagase A, Dunnett N. Amount of water runoff from different vegetation types on extensive green roofs: effects of plant species, diversity and plant structure. *Landscape Urban Plann*, 2012, 104: 356–363
 - 16 Nearing M A, Yin S, Borrelli P, et al. Rainfall erosivity: an historical review. *CATENA*, 2017, 157: 357–362
 - 17 Liu X D, Wu Q X, Zhao H Y, et al. The vertical interception function of forest vegetation and soil and water conservation (in Chinese). *Res Soil Water Conserv*, 1994, 3: 8–13 [刘向东, 吴钦孝, 赵鸿雁. 森林植被垂直截留作用与水土保持. *水土保持研究*, 1994, 3: 8–13]
 - 18 Dan C, Liu G, Zhao Y, et al. The effects of typical grass cover combined with biocrusts on slope hydrology and soil erosion during rainstorms on the Loess Plateau of China: an experimental study. *Hydrol Process*, 2023, 37: e14794
 - 19 Baets S D, Poesen J, Knapen A, et al. Impact of root architecture on the erosion-reducing potential of roots during concentrated flow. *Earth Surf Proc Landf*, 2007, 32: 1323–1345
 - 20 Xia Z Y, Zhou Z J, Huang X L, et al. Preliminary study of relationship between shallow soil reinforcement and fractal characteristics of vegetation roots in biotechnical slope protection (in Chinese). *J Rock Mech Eng*, 2011, 30: 3641–3647 [夏振尧, 周正军, 黄晓乐, 等. 植被护坡根系浅层固土与分形特征关系初步研究. *岩石力学与工程学报*, 2011, 30: 3641–3647]
 - 21 Song H C, Chen L H, Lü C J, et al. Distribution characteristics and mechanical properties of *Betula platyphylla* roots in North China mountainous area (in Chinese). *Acta Agric Zhejiangensis*, 2012, 24: 693–698 [宋恒川, 陈丽华, 吕春娟, 等. 华北土石山区白桦根系分布特征及力学性能研

- 究. 浙江农业学报, 2012, 24: 693–698]
- 22 Liu F, Zhang G, Sun F, et al. Quantifying the surface covering, binding and bonding effects of biological soil crusts on soil detachment by overland flow. *Earth Surf Processes Landf*, 2017, 42: 2640–2648
 - 23 Hu W, Shao M, Wang Q, et al. Temporal changes of soil hydraulic properties under different land uses. *Geoderma*, 2009, 149: 355–366
 - 24 Kim J H, Fourcaud T, Jourdan C, et al. Vegetation as a driver of temporal variations in slope stability: the impact of hydrological processes. *Geophys Res Lett*, 2017, 44: 4897–4907
 - 25 Gong X, Li L, Zhao F Y, et al. Effect of eroded gully control and near-natural restoration of Lingshan mountain in Beijing (in Chinese). *Soil and Water Conserv China*, 2019, 05: 42–45+69 [巩潇, 李璐, 赵方莹, 等. 北京市灵山侵蚀沟道治理与近自然修复效果研究. 中国水土保持, 2019, 05: 42–45+69]
 - 26 Zhang B, Zhang G, Yang H, et al. Soil resistance to flowing water erosion of seven typical plant communities on steep gully slopes on the Loess Plateau of China. *CATENA*, 2019, 173: 375–383
 - 27 Yan Y, Zhang X, Liu J, et al. The effectiveness of selected vegetation communities in regulating runoff and soil loss from regraded gully banks in the Mollisol region of Northeast China. *Land Degrad Dev*, 2021, 32: 2116–2129
 - 28 Hudek C, Sturrock C J, Atkinson B S, et al. Root morphology and biomechanical characteristics of high altitude alpine plant species and their potential application in soil stabilization. *Ecol Eng*, 2017, 109: 228–239
 - 29 Hamidifar H, Keshavarzi A, Truong P. Enhancement of river bank shear strength parameters using Vetiver grass root system. *Arab J Geosci*, 2018, 11: 611
 - 30 Zhu H, Hu X, Li Z, et al. The influences of riparian vegetation on bank failures of a small meadow-type meandering river. *Water*, 2018, 10: 692
 - 31 Kokutse N K, Temgoua A G T, Kavazović Z. Slope stability and vegetation: conceptual and numerical investigation of mechanical effects. *Ecol Eng*, 2016, 86: 146–153
 - 32 Rickli C, Graf F. Effects of forests on shallow landslides—case studies in Switzerland. *Forest Snow and Landscape Research*, 2009, 82: 33–44
 - 33 Löbmann M T, Geitner C, Wellstein C, et al. The influence of herbaceous vegetation on slope stability—a review. *Earth-Sci Rev*, 2020, 209: 103328
 - 34 Zhang Z Y. Soil and water conservation in the United States and small watershed management (in Chinese). *Adv Sci Technol Water Resour*, 1998, 1998: 8–12, 67 [张展羽. 美国的水土保持及小流域治理. 水利水电科技进步, 1998, 1998: 8–12, 67]
 - 35 De Baets S, Poesen J, Reubens B, et al. Methodological framework to select plant species for controlling rill and gully erosion: application to a Mediterranean ecosystem. *Earth Surf Proc Landf*, 2009, 34: 1374–1392
 - 36 Burylo M, Dutoit T, Rey F. Species traits as practical tools for ecological restoration of marly eroded lands. *Restor Ecol*, 2014, 22: 633–640
 - 37 Zhou N, Li C, Lyu Z X, et al. Planning and Measures of water and soil erosion control for erosion gully in Heilongjiang province (in Chinese). *Water Resour Cold Reg Eng*, 2020, 3: 158–161 [周宁, 李超, 吕志学, 等. 黑龙江省侵蚀沟水土流失治理规划及措施. 水利科学与寒区工程, 2020, 3: 158–161]
 - 38 Wang X, Guo M, Liu J, et al. Soil anti-scourabilities of four typical herbaceous plants and their responses to soil properties, root traits and slope position in Northeast China. *Sustainability*, 2022, 14: 16807
 - 39 Guo Y Q, Xiao Y, Yang Q N, et al. Ecological management model and application of honeycomb grid erosion gullies (in Chinese). *Soil and Water Conserv China*, 2025, 2: 74–76 [郭雨晴, 肖洋, 杨庆楠, 等. 蜂窝网侵蚀沟生态治理模式及应用. 中国水土保持, 2025, 2: 74–76]
 - 40 Hou S H. Numerical simulation and stability analysis of eco-slope protection using honeycomb grid and plant root systems (in Chinese). Dissertation for Master's Degree. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2023 [侯松昊. 蜂窝网+植物根系生态护坡数值模拟及稳定性分析. 硕士学位论文. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2023]
 - 41 Zhou T, Chen B M, Liao H X, et al. Integrated development and future trends of restoration ecology (in Chinese). *Sci Sin Vitae*, 2024, 54: 1614–1625 [周婷, 陈宝明, 廖慧璇, 等. 恢复生态学的整合性发展与趋势. 中国科学: 生命科学, 2024, 54: 1614–1625]
 - 42 Meng J H, Cui Y, Luo A, et al. Threat assessment of future climate change to China's seed plants (in Chinese). *Sci Sin Vitae*, 2024, 54: 751–765 [孟佳慧, 崔宇, 罗奥, 等. 未来气候变化情景下的中国种子植物受威胁等级评估. 中国科学: 生命科学, 2024, 54: 751–765]
 - 43 Zhou G S, Song X Y, Zhou M Z, et al. Advances in influencing mechanism and model of total climatic production factors of plant phenology change (in Chinese). *Sci Sin Vitae*, 2023, 53: 380–389 [周广胜, 宋兴阳, 周梦子, 等. 植物物候变化的全气候生产要素影响机制与模型研究. 中国科学: 生命科学, 2023, 53: 380–389]

Research progress in the utilization of herbaceous plants in ecological restoration of gully erosion in Northeast China

PENG DaQing¹, WANG XueShan¹, ZHANG Qiang¹, KONG XiaoLei¹, LIU HuiYing²,
TIAN ChunXia¹, REN NanWei³, LIU JieLin^{1*} & QIAO ZhiFu⁴

¹*Institute of Forage and Grassland Sciences, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China*

²*Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China*

³*China Construction Shenzhen Decoration Co. Ltd, Shenzhen 518002, China*

⁴*Harbin Jinfengchao Engineering Materials Development Co., Ltd, Harbin 150086, China*

* Corresponding author, E-mail: liujielin7857@163.com

Gully erosion has become a global environmental issue, and it continues to deteriorate under intensified climate change. As a consequence of soil erosion, erosion gullies can cause significant annual grain loss and pose a severe threat to the national food security. Therefore, vegetation has emerged as a critical tool for controlling soil erosion due to its environmentally friendly, ecological, and sustainable characteristics. This article analyzes the causes of erosion gullies and their detrimental impacts on the farmland, discusses current remediation approaches, including landfill reclamation, vegetation restoration, and combined vegetation-engineering models, along with their advantages and limitations. Furthermore, it reviews research progress and mechanisms of vegetation in inhibiting erosion within gullies, with a focus on herbaceous plants in erosion control. Based on the practical engineering applications of herbaceous vegetation in managing erosion gullies in Northeast China, this article proposes the “Honeycomb Grid Ecological Remediation Model for Erosion Gullies”. By integrating herbaceous plants with engineering materials through collaborative configuration, this model achieves a dual enhancement of ecological benefits and soil and water conservation stability, offering theoretical support and practical references for applying herbaceous plants in erosion gully management.

herbaceous, gully erosion, erosion control mechanisms, ecological restoration

doi: [10.1360/SSV-2025-0128](https://doi.org/10.1360/SSV-2025-0128)