

德州盐碱化渠道水土保持与生态修复技术研究

焦凌玥, 柴龙刚, 刘鸿五

(南水北调东线山东干线有限责任公司, 山东 济南 250109)

【摘要】文章对盐碱化渠道水土资源退化问题进行分析,从工程防护、土壤改良、植被重建等多方面进行阐述,提出了渠道防渗控盐、客土置换、暗管排盐等水土保持方案,以及微生物脱盐、生物炭改良、耐盐植物配置等生态修复技术策略。论述了采取复合防渗结构切断盐分迁移路径,利用客土置换重塑土壤环境,结合暗管排盐优化水土循环,采用微生物与生物炭技术改善土壤理化性质,运用耐盐植物与生态袋护坡构建生态屏障等多种措施。经实践验证,这种技术集成应用能抑制土壤盐渍化、增强边坡稳定性、恢复生态系统功能,可为同类地区生态治理提供借鉴。

【关键词】盐碱化渠道;水土保持;生态修复;防渗控盐;客土置换

【中图分类号】S157

【文献标志码】A

【文章编号】1009-6159(2026)-03-0062-03

Study on Soil and Water Conservation and Ecological Restoration Technologies for Salinized Canals in Dezhou

JIAO Lingyue, CHAI Longgang, LIU Hongwu

(Shandong Main Line Co., LTD., East Line of South-to-North Water Diversion Project, Jinan, Shandong 250109, China)

Abstract: This paper analyzes the problem of soil and water resource degradation in salinized canals, elaborates from multiple aspects including engineering protection, soil improvement, and vegetation reconstruction, and proposes soil and water conservation schemes such as canal seepage prevention and salt control, foreign soil replacement, and underdrain salt drainage, as well as ecological restoration technology strategies including microbial desalination, biochar improvement, and salt-tolerant plant configuration. It discusses various measures: adopting a composite anti-seepage structure to cut off the salt migration path, using foreign soil replacement to reshape the soil environment, combining underdrain salt drainage to optimize the soil-water cycle, applying microbial and biochar technologies to improve soil physical and chemical properties, and using salt-tolerant plants and ecological bag slope protection to build an ecological barrier. Practice has verified that the integrated application of these technologies can inhibit soil salinization, enhance slope stability, and restore ecosystem functions, which can provide a reference for ecological management in similar areas.

Key words: Salinized channels; Soil and water conservation; Ecological restoration; Seepage prevention and salt control; Foreign soil replacement

盐碱化渠道广泛分布于干旱、半干旱及地下水位较高地区,长期受盐分积聚与水流冲刷双重作用,导致出现土壤板结、肥力下降,边坡土体失稳加剧等问题,严重威胁农田灌溉安全与区域生态平衡。系统整合工程、生物、化学等学科技术,构建盐碱化渠道水土保持与生态修复技术体系,突破现有治理瓶颈,为推动退化生态系统恢复提供技术支持。

1 盐碱化渠道水土保持方案

1.1 渠道防渗控盐阻土流失

对渠道基底及边坡进行清基处理,剔除表层松散、含盐量高的土壤,深度控制在 30~50 cm,暴露稳定土层。随后铺设复合土工膜作为核心防渗

收稿日期:2025-10-18

作者简介:焦凌玥(1991—),女,工程师

层,膜材选用两布一膜型(厚度 ≥ 0.8 mm),其防渗系数达 1×10^{-11} cm/s,可有效阻隔水分下渗与盐分运移。坡顶与坡脚设置混凝土截、排水沟,截面尺寸为40 cm $\times$ 40 cm,沟壁内衬防渗混凝土(抗渗等级P6),防止地表径流冲刷坡面。针对冻融区域,在防渗层与保护层间增设5 cm厚聚苯乙烯保温板,降低冻胀对防渗结构的破坏。

1.2 客土置换重塑水土环境

开展土壤盐渍化程度检测,采用分层取样法(0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm)测定含盐量与pH值,划定重度盐碱化区域作为置换范围。客土源选择需遵循“就近取材、低盐高肥”原则,优先选用周边山地或农田耕作层土壤,要求含盐量 $<0.3\%$ 、有机质含量 $>1.5\%$ 。置换过程采用分段施工,单次作业长度不超过50 m,避免渠道长时间暴露。使用挖掘机清除原土至设计深度(通常60~80 cm),将挖出的盐碱土集中堆放并覆盖防尘网,后续用于制作生态砖等建材。

1.3 植被固坡增强保土能力

“草-灌-乔”的立体种植模式能够带来较好的生态效益、景观效应和经济效益。先锋草本选用碱茅、田菁等耐盐品种,种子以0.3%的硫酸亚铁溶液浸种后撒播,播量20~25 g/m²,播后覆盖无纺布保湿防冲刷;灌木层栽植深根系植物沙棘、紫穗槐等,采取营养钵苗移栽方式,株行距1.5 m $\times$ 2 m,栽植时于栽植穴内施用脱硫石膏(每穴0.5 kg)改良根际土壤;乔木层选种耐盐碱白蜡、榆树等,栽植前挖80 cm $\times$ 80 cm $\times$ 80 cm树穴,底部铺设20 cm厚的炉渣排水层,回填客土,浇透定根水;利用智能滴灌系统按照土壤盐分、含水量情况对灌水进行控制,防止过量灌水导致二次盐渍化;在每年春季追施微生物菌肥(每公顷地用量750 kg),达到促根增效、改良土壤的效果;对于坡面冲刷严重的地区,可在植被之间使用三维土工网垫,网垫孔径为12 mm,网垫埋深5 cm,将植物的根系和土壤紧密结合在一起,使抗盐碱能力得到大幅提高。

1.4 暗管排盐优化水土循环

暗管排盐系统通过构建地下排水网络,加速盐分淋洗与水分循环,从根本上改善盐碱化土壤水盐动态。依据渠道地形与水文条件进行管网设计,采用鱼刺状布局,干管间距50 m,支管间距

10 m,埋深1.2~1.5 m,坡度不小于0.3%。管材选用PVC波纹滤水管,管径110 mm,开孔率3%~5%,外包300 g/m²土工布防止泥沙堵塞。管道铺设前开挖梯形沟槽,槽底铺设10 cm厚碎石滤水层,管道就位后两侧回填中粗砂至管顶10 cm,表层覆盖20 cm厚黏土封填压实。排盐管网末端接入集水井,井深2 m,直径1.5 m,内置潜水泵实现自动排水。系统运行时,通过调节灌溉水量(采用“小定额、高频次”灌溉),促使土壤盐分随重力水下渗至暗管排出。结合气象数据与土壤盐分监测,在雨季前降低地下水位0.5~1 m,增强土壤蓄盐能力。

2 水土生态修复技术应用策略

2.1 微生物技术促土壤脱盐

盐碱化土壤中盐分积累与微生物活性受抑制形成恶性循环,通过微生物技术可打破这一困局。筛选耐盐功能菌株,重点选用解磷菌、固氮菌及耐盐芽孢杆菌。菌株扩培采用液体发酵技术,以麸皮、玉米浆为培养基,在28~32℃条件下发酵72 h,使菌液浓度达到 1×10^9 CFU/mL。应用时采用分层施菌法,在渠道边坡与基底开挖深度20~30 cm的沟槽,按1:10比例将菌液与秸秆粉末混合(秸秆粉碎至2~3 cm),均匀撒入沟槽后覆土压实。微生物通过分泌有机酸溶解土壤中的碳酸钙,释放被固定的钙元素,置换土壤胶体上的钠离子($\text{Ca}^{2+} + 2\text{Na}^+ - \text{土壤胶体} \rightarrow \text{Ca}^{2+} - \text{土壤胶体} + 2\text{Na}^+$),降低土壤碱化度。

同时,微生物代谢产生的多糖类物质可改善土壤团聚体结构,孔隙度提高15%~20%,加速盐分随水分下渗排出。为维持微生物活性,每季度追施一次腐熟有机肥(每公顷22.5 t),并在灌溉水中添加0.1%的海藻酸,刺激微生物繁殖。通过监测土壤微生物量碳(MBC)和脲酶活性,当MBC含量达到150 mg/kg、脲酶活性 >2.0 mg/(g $\cdot$ 24 h)时,表明土壤生态系统恢复良好。持续应用微生物技术可使土壤含盐量降低40%~60%,pH值下降0.5~1.0个单位,为植物生长创造适宜环境。

2.2 耐盐植物构建生态屏障

选种时优先考虑泌盐型、稀盐型、拒盐型植物,其根系可分泌特殊蛋白调节离子吸收,在含盐量2%的土壤中仍能维持正常生长。采用“先锋

植物+目标植物”的梯度配置模式,先锋植物在修复初期快速覆盖,降低地表蒸发;目标植物在土壤条件改善后构建稳定群落。

项目团队选取怪柳、碱蓬作为先锋植物,种植前严格执行种子预处理程序:怪柳种子用 30℃ 温水浸种 24 h,激活种子活性;碱蓬种子采用 0.5%NaCl 溶液浸泡 48 h,模拟盐碱环境,提高发芽率。经预处理后,两种植物种子发芽率分别提升至 85%和 78%。边坡种植采用鱼鳞坑整地法,坑深 30 cm、直径 50 cm,株行距 1 m×1.5 m 呈品字形排列,每个种植穴底部铺设 10 cm 厚碎石排水层,有效降低地下水位,避免盐分上移,回填客土与腐殖土混合基质(比例 3:1),既能改良盐碱土壤结构,又为植物生长提供养分。施工过程中,在距离 2 km 左右的示范段内完成怪柳种植 1 300 株、碱蓬 2 000 丛。经一年观测,植物成活率达 82%,地表盐分降低 0.3%,渠道边坡侵蚀量减少 65%。种植后覆盖稻草帘,减少水分蒸发并抑制返盐。

植物生长过程中实施“水盐调控-刈割排盐”管理策略,通过滴灌系统控制灌溉量,保持土壤含水量在田间持水量的 60%~70%,避免盐分上移;每年秋季对泌盐植物进行刈割,带走体内积累的盐分(每公顷植物一年可带走盐分 2~3 t)。

2.3 生物炭改良提升土壤活性

生物炭改良可改善盐碱土土壤结构和养分状况,玉米秸秆、稻壳为原料在限氧条件下 500~600℃ 热解,生物炭比表面积为 300~500 m²/g,pH 值 8~10,富含碱性官能团。将生物炭粉碎到 20~40 目,并与脱硫石膏按 3:1 比例混匀使用,有效调节土壤 pH 值,又能促进土壤钠离子淋洗排出。深翻地块 30 cm,按照每公顷 75 t 用量均匀撒施混合生物炭,并用旋耕机将炭土混合均匀;沿等高线在边坡上开挖 15 cm 深沟槽,将生物炭混合物分层摊入沟槽内,再覆土压实。利用多孔结构可以吸附土壤溶液中盐离子,表面负电位点与钠离子之间发生置换吸附($R-COO^-+Na^+=RCOONa$),降低土壤盐分;生物炭为微生物提供栖息地,使土壤微生物数量增加 2~3 倍,促进有机质的分解及养分的转化。

试验结果表明,施用生物炭后土壤容重下降

了 0.1~0.2 g/cm³,阳离子交换量(CEC)提高 15%~25%,有效磷增加了 30%,速效钾增加了 20%。为了保证生物炭继续发挥作用,每隔两年需要补充 1 次生物炭(补充量 2.5 t/hm²)并配合绿肥还田,以达到提升土壤肥力和生态功能的目的。

2.4 生态袋护坡固土复生机

生态袋护坡通过工程措施与生态修复结合,快速稳定边坡并促进植被恢复。选用高强度聚丙烯生态袋,克重≥120 g/m²,袋体抗紫外线指数≥8 级,内部填充客土、保水剂(用量 0.5%)、草籽(狗牙根、高羊茅混播)及生物肥的混合基质。施工时采用“阶梯式错缝叠放”工艺,在边坡修整至 1:1.5 坡度后,自坡底向上铺设生态袋,每层错缝 1/3 袋长,用 U 型钢筋(长 30 cm、直径 8 mm)固定,层间铺设三维植被网增强整体性。袋体顶部开口处覆盖 5 cm 厚腐殖土,喷洒 1%的海藻酸溶液促进种子萌发。在生态袋表面安装滴灌带,采用水肥一体化技术,每周滴灌含腐植酸水溶肥。

3 结 语

渠道防渗控盐工程通过复合土工膜与保护层结构,有效阻隔盐分运移与土壤侵蚀;客土置换技术从根本上改善重度盐碱化区域的土壤环境;植被固坡与暗管排盐分别通过生物措施与工程手段,实现坡面稳定与水盐平衡调控。微生物技术与生物炭改良协同作用,提升土壤活性、降低盐碱度;耐盐植物配置结合生态袋护坡,构建了稳定的生态防护屏障。

参考文献

- [1] 李文博,姜博文,王晶滢.吉林省西部盐碱地综合开发多情景模拟与水资源效应[J].水土保持学报,2024,38(3):159-167,176.
- [2] 窦晓慧,李红丽,盖文杰,等.牧草种植对黄河三角洲盐碱土壤改良效果的动态监测及综合评价[J].水土保持学报,2022,36(6):394-401.
- [3] 马凯,饶良懿.我国土壤盐碱化问题研究脉络和热点分析[J].中国农业大学学报,2023,28(11):90-102.
- [4] 王景立,孙佳,张航,等.东北苏打盐碱地输水渠道渗流模拟与试验研究[J].中国农机化学报,2022,43(3):170-177.
- [5] 赵耀巍,贾彬良.山西省盐碱地改造利用实践与探索[J].农业技术与装备,2024(10):42-44.

(责任编辑 张玉燕)