河套灌区土壤次生盐渍化过程中盐分运移规律及改良措施研究

付玉茹[1] 魏喜梅[2] 郭慧丽[3] 逯 婧[4] 张 星[2]

1.内蒙古河套灌区水利发展中心解放闸分中心沙壕渠试验站 内蒙古 巴彦淖尔 015000

2.内蒙古河套灌区水利发展中心解放闸分中心 内蒙古 巴彦淖尔 015000

3.内蒙古河套灌区水利发展中心总干渠分中心 内蒙古 巴彦淖尔 015000

4.内蒙古河套灌区水利发展中心永济分中心 内蒙古 巴彦淖尔 015000

【摘 要】：河套灌区坐落于我国西北干旱半干旱生态区，独特的气候条件与本地化农田灌溉运维模式，造就了区域特有的水土物质循环体系。在土壤水文循环过程中，盐分物质伴随水体垂直渗透、毛细抬升完成空间再分配，其富集特征与分布格局会随年度气候节律、田间灌溉管控模式产生规律性动态变化。基于此，本文将结合河套灌区实地生产现状，解析次生盐渍化演化阶段盐分积聚迁移特点，厘清盐分迁移内在机制，提出适配本地条件的改良调控对策，为灌区盐渍耕地治理、水土高效利用提供实践依据。

【关键词】：灌区土壤次生盐渍化；盐分运移规律；改良

DOI:10.12417/2811-0536.26.10.004

引言

河套灌区粗放化灌水排水作业，极易催生耕地次生盐渍化现象。盐分依托水分驱动力在土壤层位发生迁移、富集，逐步破坏耕层土体结构，威胁河套灌区粮食生产稳定性。厘清河套灌区水盐随环境条件变化的集散特征，把握盐渍化演变内在动因，可为因地制宜开展土壤改良提供现实依据，助力耕地地力保护，维护区域水土生态系统平稳运行。

1 灌区土壤次生盐渍化过程中盐分运移规律

（1）灌水入渗阶段盐分淋失下移特征：农田灌溉补水是驱动灌区土壤盐分向下淋洗迁移的重要因素。灌溉水体可溶解耕作层固结盐类，形成含盐水溶液，伴随水分垂直下渗完成表层脱盐过程。单次灌水量与灌溉频次直接左右土体淋盐深度与治理成效，大水量灌溉可将浅层盐分输送至深层土层或地下径流，有效降低耕层含盐基数。而小水量、高频次的灌溉模式仅能润湿浅表土层，难以达成深层脱盐效果，极易使盐分滞留于次表层位置持续富集，为区域土壤盐渍化反复滋生创造条件。

（2）蒸发作用下盐分表聚回升规律：农田停水间歇阶段，深层土体与地下水中的可溶性盐离子，可通过土壤毛细孔隙构成的输水通道，跟随水分向上输送至地表土层。表层水分在强蒸发作用下快速散失，盐类物质无法随水汽挥发，持续留存并不断叠加积累。长期的蒸发浓缩循环会持续抬高耕层含盐浓度，造成土体结构硬化、盐渍化加剧，直接制约作物根系的正常伸展与养分吸收。

（3）田间水肥扰动下盐分横向分异特征：田间农事作业、肥料施用及微地形差异，会打破河套灌区土壤盐分的均匀分布状态，形成明显的横向盐度分异。施肥残留的各类矿物质离子、田间低洼区域的积水淤积，会改变局部土体溶液渗透压，驱动盐分向潮湿低洼地带聚集。另外，机械化耕作造成的土层疏密差异、田块边缘通风透水条件的特殊性，会造成不同区域盐分迁移速率存在偏差，最终形成低洼地块、田边地带盐分富集，规整耕作区域盐分分布相对均衡的空间格局。

（4）季节交替下盐分动态循环演变规律：河套灌区水土盐量迁移过程具备鲜明的季节周期性特征，随气候更迭和农事周期呈现规律性变化。春季集中灌溉作业以盐分淋洗下移为主要趋势，耕层土壤含盐量整体偏低。夏季气温偏高、蒸发剧烈，盐分快速向上聚集，土壤盐害问题集中显现。秋冬季节停止灌溉后，土体水分趋于平稳，盐分迁移活动大幅减弱，盐类物质在土层内稳定堆积。这种随季节切换的水盐运移模式，是河套灌区次生盐渍化动态演化、常年反复的核心诱因。

2 灌区土壤次生盐渍化过程中盐分运移的改良措施

（1）优化灌排配套体系，调控水盐纵向运移：河套灌区具备西北干旱区典型的水土资源特质与农田灌溉运维模式，标准化的灌排配套设施建设，是维系区域水土系统良性循环、塑造优质耕层水土条件的核心举措。依托精细化农田水控技术体系，可以有效调节土层盐分纵向迁移态势，塑造结构稳定、分布均衡的土层水盐格局。实际农田管护工作中，可推广适配河套灌区种植体系的精准节水灌溉工艺，采用分区分时的差异化供水模式，替代传统粗放式灌溉作业。结合

各类作物不同生育阶段的水分需求特征制定专属供水方案，在充分保障作物生长所需水分的前提下，科学调控土壤水分渗透与升降节奏，引导土层盐分有序定向迁移。与此同时，持续完善灌区立体化田间排水网络，整合浅层明沟疏导、深层暗管导排的复合型设施体系，构建全域覆盖、层级完备的田间排水系统，高效疏导田间冗余水分，同步完成土壤盐分的淋洗与转运工作，将区域地下水埋深维持在适宜范围，搭建通畅稳定的水盐输送通道。通过灌溉与排水系统的协同联动调控，构建灌区田间水土良性循环机制，稳步优化耕作层盐分基数，长期维系水土动态平衡格局，为区域水土资源可持续开发利用筑牢基础。

（2）实施土壤理化改良，优化土体盐分储存环境：河套灌区长期农耕作业培育形成了独特的土体结构形态，通过科学规范的土壤理化调理手段，可有效优化土壤孔隙构造，完善水土存储载体条件，重塑土体内部盐分迁移与留存的微观环境。物理改良可以土层结构优化为核心，通过深耕翻土、分层改土等田间工艺，破除固化板结层与长期耕作形成的坚硬犁底层，提升土体孔隙占比与通透性能，强化土层垂直透水、脱盐能力，避免盐类物质在中层土体滞留堆积。化学改良则需通过合规生态改性物料干预土体理化属性，投放脱硫石膏、腐殖酸、有机调理剂等材料，调节土体酸碱平衡，优化土壤胶体吸附特性，置换土体中过量的钠盐、氯盐等有害离子，降低土壤溶液盐活性，从微观层面抑制盐离子随水体迁移聚集。两种改良方式协同施用，可全方位优化土体结构与理化属性，弱化盐渍发育的水土条件，稳步提升耕地自主脱盐、抑盐能力，逐步修复受损盐渍耕地，构建适宜作物生长的土壤环境。

（3）采用生物生态修复技术，长效抑制盐分富集：生态生物修复属于绿色长效的盐碱耕地治理技术，适配河套灌区持续性盐渍化防控需求，依靠植被适配改良与微生物调控双重机制，干预田间盐分运移过程，实现水土生态稳态修复。田间治理工作中，可筛选本土适配、抗逆性强的耐盐绿植与绿肥作物构建生态修复群落，借助植株根系的穿插伸展作用疏松紧实土体，优化田间孔隙结构，加快土层盐分淋溶下移速度。另外，还可利用植株生物富集特性，吸附固化土体中的可溶性盐离子，持续降低耕作层含盐量级。与此同时，搭配微生物活化改良技术，施加专用盐碱地复合菌剂，激活土体土著微生物菌群并优化群落结构，依托微生物的代谢分解作用，转化固化土体活性盐离子，削弱盐类迁移扩散能力，有效防控表层土体盐分堆积。该类生态技术无需大幅改造田间水土结构，可长期动态调节区域水盐分布，改善田间盐分局部富集、分布不均的现状，兼顾生态养护与长效治理效果，适配灌区规模化、常态化的盐渍化治理工作。

（4）构建动态监测管控体系，精准防控盐渍化复发：受季节气候更替、田间农事作业节律影响，河套灌区土壤水盐分布状态始终处于动态演变过程，搭建智能化，信息化的全灌域监测管控体系，是实现灌区水土精准管护、长效提质的关键抓手。相关部门可布设全域覆盖的智能感知设备，依托土体盐分传感设备、地下水位监测终端、田间墒情采集系统等智能化装置，全天候采集不同土层盐度、土壤含水率、地下水埋深、田间蒸发通量等关键参数，精准掌握区域盐分纵向迁移、横向分异的动态规律及季节演变特征。依托实测数据搭建本地化水盐动态研判模型，精准预判区域盐渍化发育趋势，结合田间水土变化动态调整灌溉制度、排水调度方案与土体改良举措，实现因地、因时的差异化精准治理。通过全天候动态监测、数据研判与靶向调控的闭环工作模式，提前规避强蒸发、不合理灌溉、季节更替带来的盐分富集风险，稳固前期土壤改良成效，彻底解决河套灌区次生盐渍化反复爆发的行业难题。

总而言之，河套灌区次生盐渍化源于区域水盐平衡被持续打破，摸清土壤内部盐分迁移变化特征，是落实本土化土壤改良工作的重要基础。各类治理手段不宜单独推行，要贴合河套灌区实际水文环境综合施策，兼顾当下脱盐效果与区域生态长效平衡。今后应当坚持开展田间实地监测，优化水盐调控落地路径，助力河套灌区耕地保护，保障当地农业生产长久稳定运行。

参考文献：

[1] 高奇奇,韩哲群,张海睿,等.引黄灌区次生盐渍化对土壤质量与耕地产能的影响[J].中国农业科学,2025,58(20):4272-4284.

[2] 张学文,李朝阳,徐安正.银北灌区土壤次生盐渍化的成因及调控对策[J].农村科学实验,2024,(19):166-168.

[3] 杨苑璋.熊毅与黄淮海平原土壤次生盐渍化治理[J].土壤通报,2014,45(4):769-776.