

1.2 再生水滴灌的堵塞形成与减缓机制及高效安全利用技术

➤ 简要信息

【获奖类型】 应用特等奖

【任务来源】 国家重点研发计划课题、国家自然科学基金项目

【课题起止时间】 2008 年 1 月~2019 年 11 月

【完成单位】 中国水利水电科学研究院、中国农业大学、北京市水科学技术研究院

【主要完成人】 李久生、栗岩峰、李云开、王 珍、赵伟霞、王 军、周 博、张 航、温 洁、郭利君、郝锋珍、仇振杰、胡雅琪、李 艳、肖 洋

➤ 背景

再生水灌溉是世界范围内缓解水资源供需矛盾的有效手段，在我国的应用面积已超 4000 万亩。滴灌在再生水利用方面优势明显，但系统运行安全和环境污染风险成为限制其应用的主要因素。项目围绕安全高效灌溉的目标，探索了再生水滴灌的系统安全、环境安全和高效利用等理论技术难题，为规模化应用奠定了基础。

➤ 主要内容

- 系统安全方面，探明了灌水器堵塞规律，揭示了生物和化学堵塞的相互作用机制，发现生物膜中磷脂脂肪酸是诱发生物堵塞的主要因素，阐明了堵塞形成和减缓机制；定量评价了灌水器堵塞对系统水力性能的影响，建立了抗堵塞灌水器流道优化设计方法，提出低浓度长历时的安全加氯加酸处理模式。
- 环境安全方面，揭示了病原体 (*E. coli*)、重金属和有机污染物在土壤-作物系统中的行为特征，首次建立考虑非饱和土壤中双点位吸附特性的 *E. coli* 运移-衰减模拟模型，发现土壤中 *E. coli* 的衰减周期为灌后 72 h，在作物上无明显残留，重金属和有机污染物含量均低于相应标准限值。
- 高效利用方面，提出 ^{15}N 示踪-肥料当量法，首次定量评价了再生水中氮

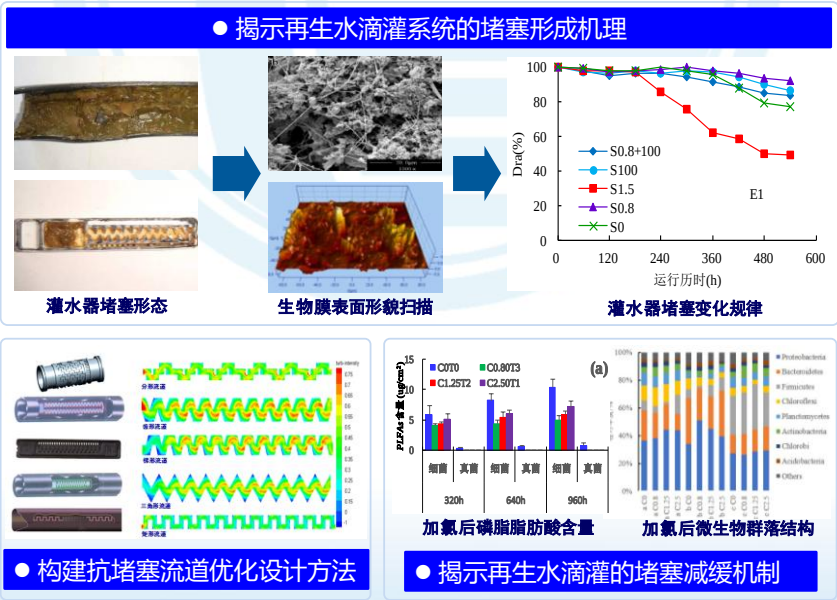
素对玉米生长的有效性，得出再生水氮相当于尿素氮的 50%~69%；在系统阐释再生水滴灌的作物耗水规律、土壤酶活性响应机制、氮磷和病原体迁移及淋失特征的基础上，构建了再生水滴灌安全高效利用模式。

➤ 创新点

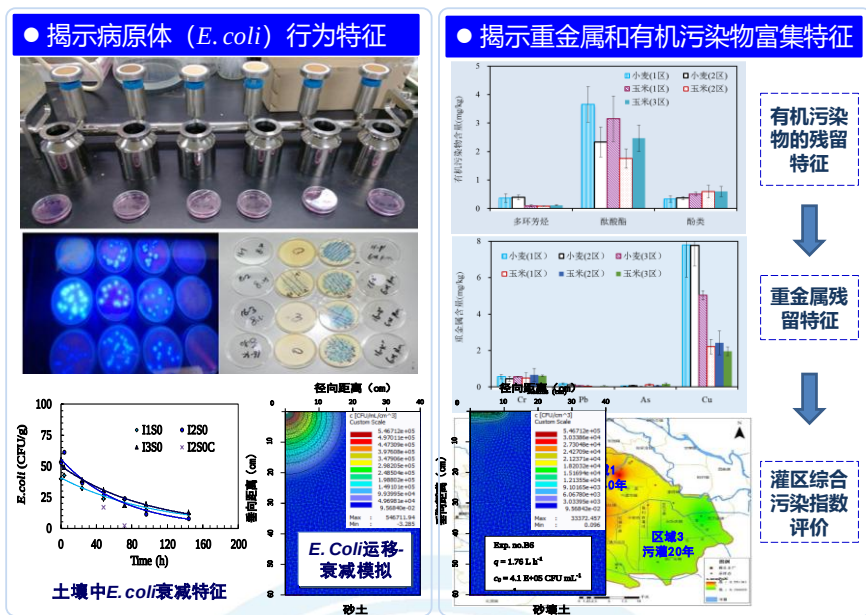
- 揭示了化学和生物堵塞相互作用下的灌水器堵塞诱发机理和减缓机制，阐明了堵塞的微观机制及其影响的宏观特征。
- 建立了再生水滴灌条件下的病原体行为动力学描述方法，为科学评价再生水灌溉的病原体污染风险、消除公众疑虑提供了工具。
- 首次定量评估了再生水中养分的有效性，为制定再生水灌溉的水质标准和水肥优化措施提供了依据。

➤ 推广应用情况

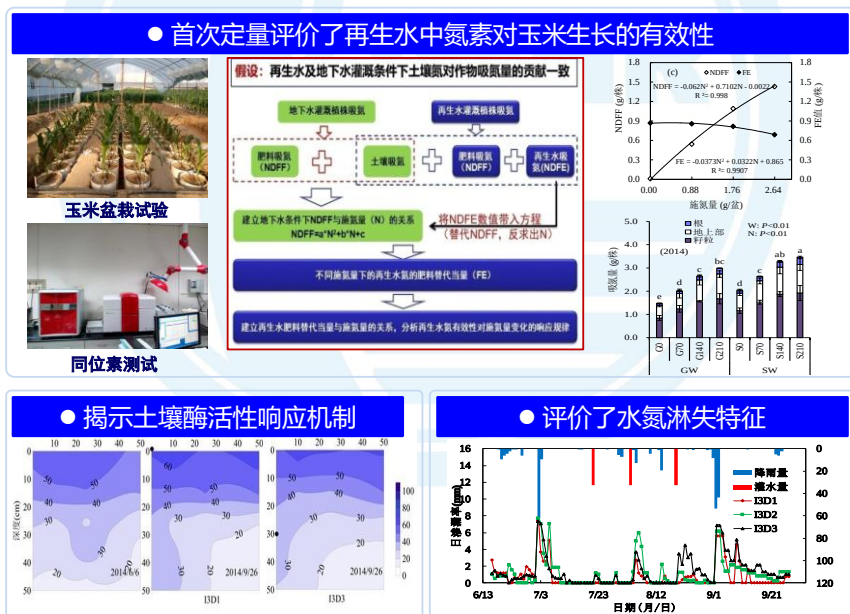
本研究成果推广应用超过 1.5 万亩，亩均节约淡水 60 m³、节肥 13%，对提升滴灌系统性能、控制污水排放、降低面源污染等也发挥了重要作用，经济和社会效益显著。



灌水器堵塞形成减缓机制及抗堵塞优化设计



再生水灌溉对环境影响的动力学特征



再生水养分有效性与高效安全调控机制