

# 人工湿地耦合微生物降解技术在农村生活污水治理中的应用研究

玄祯冬

哈尔滨商业大学食品工程学院环境工程

DOI:10.32629/eep.v9i2.3066

**[摘要]** 农村生活污水治理是乡村生态振兴战略实施、改善农村人居环境质量的关键,也是维护区域水体生态平衡、保障城乡居民身体健康的抓手。人工湿地耦合微生物降解技术具有生态友好性、成本可控性及运行简便性等优势,是解决农村生活污水治理瓶颈的有效技术。本文基于农村生活污水排放分散性、水质波动性等特点,系统阐释了该技术的内涵与作用机制,深入分析了在农村生活污水治理中的应用价值及方法。

**[关键词]** 人工湿地; 微生物降解; 农村生活污水; 污水治理

中图分类号: S791.246 文献标识码: A

## Research on the Application of Artificial Wetland Coupled with Microbial Degradation Technology in Rural Domestic Sewage Treatment

Zhendong Xuan

School of Food Engineering, Harbin University of Commerce; Environmental Engineering

**[Abstract]** The treatment of rural domestic sewage is crucial for the implementation of the rural ecological revitalization strategy and the improvement of the quality of rural living environment. It is also a key measure to maintain the ecological balance of regional water bodies and ensure the health of residents in rural areas. The artificial wetland coupled with microbial degradation technology has advantages such as ecological friendliness, controllable costs, and simple operation. It is an effective technology to solve the bottleneck of rural domestic sewage treatment. Based on the characteristics of the scattered discharge of rural domestic sewage and the fluctuation of water quality, this paper systematically expounds the connotation and mechanism of this technology, and deeply analyzes its application value and methods in rural domestic sewage treatment.

**[Key words]** artificial wetland; microbial degradation; rural domestic sewage; sewage treatment

### 引言

农村生活污水治理是落实《农村人居环境整治提升五年行动方案(2021—2025年)》的重要举措,也是践行绿色发展理念、打造生态宜居乡村的重要要求,也是推进生态文明建设的重要组成部分。目前,我国农村生活污水存在排放点多面广、水质波动显著、治理设施覆盖率低、运维能力不足等问题,传统治理技术难以适应农村地区经济发展与治理要求。人工湿地耦合微生物降解技术有机融合了人工湿地的物理—化学—生物协同净化功能与微生物降解技术的污染物分解能力,符合农村地区低成本、易运维的治理要求,对解决农村生态治理短板、推动乡村全面振兴具有重要意义<sup>[1]</sup>。

### 1 人工湿地耦合微生物降解技术概述

人工湿地耦合微生物降解技术是将人工湿地系统与微生物降解技术有机整合的复合生态治理技术。人工湿地作为污水净化的载体,基于基质截留、植物吸收及土著微生物代谢的协同作

用,对水中悬浮物、可降解有机物进行初步截留、降解;微生物降解技术通过人工筛选、定向驯化降解菌株,定向分解与转化污水中难降解的污染物,弥补了单一人工湿地净化效率有限、污染物去除不彻底的问题。该技术以“生态协同、高效低碳、因地制宜”为指引,不用投入复杂的机械设备及高额运行成本,充分适合农村污水排放分散、水质多变的特征。

### 2 人工湿地耦合微生物降解技术在农村生活污水治理中应用的意义

#### 2.1 改善农村人居环境

农村生活污水无序排放是导致农村人居环境恶化的主要原因之一,未经处理的污水会滋生有害生物、散发恶臭气体,污染土壤和地表水体,直接威胁居民健康。人工湿地耦合微生物降解技术能够高效净化农村生活污水,将污染物转化为无害物质,降低污水排放对村庄周边环境的污染负担。同时,人工湿地系统可与农村景观生态建设相融合,发挥“治污+造景”的双重效

益。该技术适应性强、灵活度较高,能够根据村庄布局灵活布设,无需大规模建设污水收集管网,有效解决了农村污水收集难、治理难的问题。

### 2.2 保证乡村水体生态

农村生活污水内含有的氮、磷等营养盐类污染物,如果直接排入河流、湖泊、池塘等水体,会引发水体富营养化,破坏水体生态系统平衡、威胁农村饮用水安全。人工湿地耦合微生物降解技术能够去除污水中氮、磷、有机物等污染物,降低污水排放对周边水体污染压力,遏制水体富营养化蔓延。对于农村分散性生活污水等低污染水,人工湿地是有效的净化手段,不同类型湿地对污染物的净化效果各异,其脱氮效率受碳氮比、温度、溶解氧等因素影响<sup>[2]</sup>。微生物定向降解作用可将有害物质转化为可循环利用的物质,湿地基质与植物则对污染物进行吸附和截留,减少土壤和水体的污染叠加效应,维护乡村水体生态系统的完整性及稳定性,给乡村生态环境保护作出了铺垫。

### 2.3 助力乡村全面振兴

生态振兴是乡村振兴的重要内容与基础,农村生态环境质量改善是推进乡村全面振兴的前提条件。人工湿地耦合微生物降解技术在农村生活污水治理中的运用,可以解决农村污水治理难题,化解乡村生态治理短板,推动乡村生态环境质量的优化,给乡村产业振兴、文化振兴奠定了生态基础。该技术运维成本低、操作简便、适应性强,适合农村地区大规模推广,借此带动农村生态治理相关产业发展,吸引农村剩余劳动力参与运维工作,保证农村居民的经济收入。另外,乡村生态环境改善能够提升乡村吸引力,推动乡村休闲旅游、生态农业等发展,促进“生态治污+产业增收”的良性循环,确保乡村全面振兴战略实施。

## 3 人工湿地耦合微生物降解技术在农村生活污水治理中应用的方法

### 3.1 优化工艺组合方式

工艺组合方式的优化是提升人工湿地耦合微生物降解技术治理效果的保障,应结合农村生活污水水质特征、排放量及村庄地形地貌、经济条件等因素,构建科学的工艺组合体系。目前,该耦合技术主流工艺组合方式主要分为两大类——水平潜流方式适用于污水排放量大、水质波动较小的村庄;垂直流模式适用于地形复杂、污水排放分散、土地资源紧张的村庄区域。可按照不同区域需求进行选择,优化配置。

以山东省某典型乡村治理工作为例,该村庄共有农户320户,常住人口1100人,日均生活污水排放量在80m<sup>3</sup>,污水进水水质指标:COD浓度280-350mg/L、BOD浓度130-180mg/L、氨氮浓度25-35mg/L,水质波动明显;村庄内部地形平坦,土地资源充足,适合建设水平潜流人工湿地。基于现实条件,当地采用水平潜流人工湿地耦合微生物降解技术治理污水,人工湿地基质选择火山岩、陶粒、砾石组成的复合基质体系,湿地植物选择芦苇、香蒲等耐污性强、适应性广的本土湿地植物,微生物体系用经定向驯化的芽孢杆菌、硝化细菌、反硝化细菌复合菌株,经过科学配比接入湿地系统,构建了净化体系。

本治理工程建设周期3个月,总投资85万元,运维成本在0.8元/m<sup>3</sup>污水。工程运行1年后监测数据表明,污水内COD去除率为88.6%、BOD去除率为90.2%、氨氮去除率为82.3%,出水水质均符合《农村生活污水处理设施水污染物排放标准》(GB 18918-2002)一级B标准。该案例证明,结合村庄实际条件优化工艺的耦合模式,能够发挥人工湿地与微生物降解技术的协同净化功能,高效净化农村生活污水。

### 3.2 规范技术应用标准

规范化的技术应用标准是保障人工湿地耦合微生物降解技术推广、运行的前提,应严格遵循国家及地方相关规范,明确耦合技术在应用中的各项标准。可参考相关规范包括《农村生活污水处理设施水污染物排放标准》(GB 18918-2002)、《人工湿地污水处理工程技术规范》(HJ 2005-2010)等,从而对该耦合技术的工艺要求、水质控制、设施建设、运维管理等作出详细规定<sup>[3]</sup>。

人工湿地建设中,严格按照《人工湿地污水处理工程技术规范》(HJ 2005-2010)的规定,根据村庄地形、水文地质条件选址,严禁在饮用水源保护区、生态敏感区等区域布设湿地设施,保证湿地建设不会对周边生态环境构成威胁;湿地基质选择要符合规范标准,优先选择渗透性好、吸附能力强、来源广泛且成本低廉的材料,基质粒径、厚度要根据污水水质特征科学设计,确保物理截留与吸附净化效果;湿地植物选择遵循“耐污性强、适应性广、易养护、本土化”原则,优先选择本土优势湿地植物,严禁引入外来入侵物种,植物种植密度控制在理想范围,充分发挥植物吸收净化功能。

微生物降解技术应用中,严格遵循相关规范,微生物菌株要符合环保标准,没有二次污染风险,菌株驯化、培养要按照标准化流程去做,确保菌株活性和污染物降解效果;微生物接种量、接种方式根据污水水质、湿地系统规模等因素进行确定,接种后定期监测微生物群落结构情况,补充高效降解菌株,保障微生物降解效果。同时,严格执行《农村生活污水处理设施水污染物排放标准》(GB 18918-2002),定期监测污水进水、出水水质,确保COD、BOD、氮磷等污染物排放达标。

### 3.3 完善系统运维管理

系统运维管理是保障技术稳定运行、发挥治污作用的关键。应建立“日常养护、定期监测、及时整改、动态优化”的全方位运维管理体系。根据农村地区情况优化运维流程,降低成本,提升运行效率。人工湿地耦合微生物降解系统运维管理主要包括湿地系统养护、微生物系统养护、水质监测、故障排查和应急处置等环节,要明确各项运维工作具体要求及责任分工,确保运维工作常态化、规范化。

湿地系统养护方面,需定期清理基质表面杂物与沉淀物,每1-2年更换老化基质;定期修剪、收割湿地植物,清除枯萎植株,补充新苗。微生物系统养护方面,每季度监测微生物群落结构及活性,按需补充降解菌株,定期投放营养物质。

水质监测中,建立监测体系,控制好监测指标、监测频率以

及监测方法,主要监测指标包括COD、BOD、氨氮、总氮、总磷、pH值等,日常监测频率控制在每月1次,雨季、高温期等重点时段加密至每周1次。及时记录、整理分析监测数据,建立完整的监测档案,给治理效果评估和运维参数调整提供依据。故障排查与应急处置方面,定期检查管道、水泵、曝气等附属设施,建立应急处理机制,针对暴雨溢漏、微生物活性骤降等故障制定处置方案,快速响应,及时处理,最大限度降低故障对治理效果影响。

以下是人工湿地耦合微生物降解系统运维管理流程简易图表,呈现了运维各环节衔接要求:

运维环节	具体工作内容	监测/养护频率	责任主体
湿地基质养护	清理杂物、沉淀物,更换老化基质	日常清理,1—2年更换一次	村级运维小组
湿地植物养护	修剪、收割,补充幼苗,清除枯萎植株	每月1次,季节性补充	村级运维小组
微生物养护	监测微生物活性,补充菌株,投放营养物质	每季度1次,按需补充	技术服务单位
水质监测	检测COD、BOD、氨磷等指标	每月1次,重点时段每周1次	技术服务单位+村级运维小组
故障排查	检查管道、设备,处理突发故障	每周1次,突发故障及时处理	村级运维小组+技术服务单位

### 3.4 国内外对比研究

借鉴国际先进技术经验是优化我国农村生活污水治理技术的重要途径。

国外人工湿地耦合微生物降解技术发展较早,技术体系相对成熟,广泛应用于农村及小城镇污水治理领域。欧美国家注重技术的生态可持续性,将湿地系统设计与自然生态系统整合,强调基质、植物、微生物的协同优化,优先选择本土耐污植物和高效降解微生物。

我国该技术起步较晚但发展迅速。近年来,随着农村人居环境整治工作推进,该技术在全国多地农村广泛应用,形成了具有中国特色的技术模式。针对农村人口分散、污水排放量小、水质波动大的特点,我国以小型化、分散式应用为主,注重工艺简洁性,优先选择低成本、易获取的基质和植物,微生物菌株多采用本土化驯化方式。南方农村结合多雨气候采用垂直流人工湿地提升净化效率;北方农村针对冬季低温采取保温防护措施保障治理效果。但与国外相比,仍存在高效微生物菌株研发创新能力不足、运维管理模式相对粗放、智能化监测水平偏低等问题。

### 4 结语

人工湿地耦合微生物降解技术作为新型生态友好、成本可控、运维简单的复合生态治理技术,能够满足农村生活污水治理的要求,对改善农村人居环境、守护乡村水体生态、助力乡村全面振兴等方面发挥重要作用。该技术通过人工湿地和微生物降解技术的协同,促进了农村生活污水的高效净化,解决了农村污水治理的难题。目前,该技术在应用中仍要进一步优化工艺组合模式、调整技术应用标准、完善系统运维管理,不断借鉴国外先进技术经验,推动技术创新升级。

### [参考文献]

- [1]谢林花,吴德礼,张亚雷.中国农村生活污水处理技术现状分析及评价[J].生态与农村环境学报,2018,34(10):865-870.
- [2]吴马翼,黄福杨,王彬,等.人工湿地净化污染物的应用及机制研究进展[J].岩矿测试,2025,44(5):978-1000.
- [3]人工湿地污水处理工程技术规范:HJ2005-2010[S].2010.

### 作者简介:

玄祯冬(2003--),男,汉族,黑龙江省齐齐哈尔市人,本科生,研究方向:水污染控制。