

城市污水再生利用在园林灌溉中的应用效果分析

唐晶晶

江西大业建设工程有限公司 江西 宜春 336000

【摘要】：城市水资源供需矛盾加剧与污水处理量持续增长的双重背景下，污水再生利用成为破解缺水与水浪费的关键路径，而园林灌溉作为再生水最具潜力的应用场景之一，已成为国内外研究热点。本文系统梳理城市污水再生利用在园林灌溉领域的研究进展，从再生水水质特性与处理技术、再生水灌溉对园林植物生长及生理特性的影响、对土壤理化性质与生态环境的作用、应用效益评估及现存问题与优化策略等方面进行全面综述。重点分析再生水灌溉的优势与潜在风险，总结不同气候条件、植物类型、灌溉模式下的应用规律，指出当前研究中存在的长期生态效应不明确、水质标准针对性不足、技术集成度低等问题，并提出未来应强化长期定位观测、完善差异化标准体系、推进技术与管理协同创新等研究方向，为再生水在园林灌溉中的规模化、安全化应用提供理论支撑与实践参考。

【关键词】：城市污水再生利用；园林灌溉；植物生长；土壤环境；研究综述

DOI:10.12417/2811-0722.25.12.024

1 研究背景

传统园林灌溉多依赖自来水、地下水等优质水资源，既加剧了城市水资源供需矛盾，又大幅增加了园林养护成本。城市污水再生水作为一种水量稳定、水质可控、成本低廉的非常规水资源，其水质指标与园林植物生长需求具有良好适配性，将其用于园林灌溉，可实现污水资源化、园林节水与生态保护的三重目标，是构建节水型社会与海绵城市的重要举措。

近年来，我国相继出台《城镇污水再生利用工程设计标准》（GB 50335-2016）、《城市污水再生利用 绿地灌溉水质》（GB/T 25499-2010）等一系列标准规范，但在实际应用中，仍面临着水质安全顾虑、长期生态效应不明、技术推广难度大等问题，制约了再生水园林灌溉的规模化发展，亟需通过系统综述现有研究成果，明确核心科学问题与技术瓶颈，为后续研究与实践提供指导。本研究主要明确再生水园林灌溉的技术优势与应用潜力，解答实践中面临的水质安全、植物适配、土壤保护等核心问题，为城市园林管理部门、污水处理企业提供技术参考与决策支持，助力降低园林养护成本、缓解城市缺水压力、推进水资源循环利用体系建设。

2 城市污水再生利用对园林植物生长及生理特性的影响

2.1 对植物生长指标的影响

2.1.1 株高与生物量

多数研究表明，适宜水质的再生水灌溉可促进园林植物株高增长与生物量累积。这主要是因为再生水中含有的氮、磷、钾等营养盐可直接被植物吸收利用，补充土壤养分不足，促进植物光合作用与细胞分裂。此外，植物类型与灌溉年限也影响生长效果，乔木与灌木的长期生长促进效应更为显著，而草本植物在短期灌溉中效果更明显。

2.1.2 株型与抗逆性

再生水灌溉不仅影响植物生长量，还能优化株型结构，提升抗逆性。研究表明，再生水灌溉可增加乔木地径、灌木冠幅与草本植物分蘖数，使植物茎秆粗壮、枝叶繁茂，抗倒伏、抗病虫害能力显著提升。再生水中的营养盐促进植物细胞壁增厚、木质化进程加快，同时诱导植物产生更多抗氧化酶，增强对逆境胁迫的适应能力。但当再生水水质不佳时，可能导致植物株型畸形，抗逆性下降。

2.2 对植物生理特性的影响

2.2.1 叶绿素含量与光合作用

叶绿素含量是反映植物光合能力的核心指标，再生水灌溉对其影响因水质与植物类型而异。多数研究表明，适宜水质的再生水灌溉可提高植物叶绿素含量，增强光合作用效率。但当再生水含盐量过高或含有的重金属、有机物对植物产生毒害时，叶绿素含量会下降，光合作用受到抑制。

2.2.2 抗氧化系统与代谢功能

植物抗氧化系统的活性直接反映其对逆境的适应能力，再生水灌溉可通过调节抗氧化酶活性影响植物代谢功能。研究表明，达标再生水灌溉可适度激活植物抗氧化系统，提高SOD、POD、CAT等酶的活性，减少活性氧积累，避免细胞膜损伤。但当再生水存在污染风险时，可能导致抗氧化系统失衡，代谢功能紊乱。例如，高盐胁迫会使植物抗氧化酶活性过度升高，导致酶系统损伤；重金属则会抑制代谢酶活性，影响碳水化合物与蛋白质合成。此外，植物对再生水的生理响应存在滞后性，短期可能无明显变化，长期灌溉后差异逐渐显现。

2.3 影响因素与作用机制总结

再生水灌溉对园林植物的影响是水质、植物类型、土壤条件、灌溉模式等多因素综合作用的结果，见图1。其核心作用机制可概括为营养效应与胁迫效应的博弈，当再生水水质达标

时，营养效应占主导，促进植物生长与生理功能优化；当水质不达标或植物、土壤不适配时，胁迫效应占主导，抑制植物生长甚至造成毒害。



图1 再生水灌溉对园林植物影响机制

3 现存问题

3.1 长期生态效应不明确

现有研究多集中于短期试验，对再生水长期灌溉的生态效应研究不足。例如，长期灌溉是否会导致土壤微量有机污染物累积、植物基因变异、微生物群落功能退化等问题，尚未形成明确结论；此外，不同气候区、土壤类型、植物组合下的长期效应差异较大，缺乏系统性的定位观测数据。

3.2 水质标准针对性不足

我国现行《城市污水再生利用 绿地灌溉水质》（GB/T 25499-2010）为统一标准，未充分考虑不同区域气候条件、植物类型、土壤特性的差异。例如，干旱地区土壤盐渍化风险高，需强化盐度指标控制；南方酸性土壤需调整pH值限值；公众接触频繁的绿地（如城市公园）需严格控制病原微生物含量，而郊野绿地可适当放宽标准。此外，标准中对微量有机污染物、抗生素等新兴污染物的控制指标缺失，难以满足生态安全要求。

3.3 技术集成度与推广难度大

再生水园林灌溉涉及污水处理、灌溉系统、园林养护等多个领域，但现有技术多为单一环节优化，缺乏全链条技术集成。例如，污水处理工艺与园林灌溉需求的精准匹配、灌溉系统与植物类型的适配性、土壤监测与灌溉方案的动态调整等技术集成不足；此外，再生水输配管网建设成本高、部分公众对再生水安全性存在顾虑、管理机制不完善等因素，导致技术推广难度较大。

3.4 监测与管理体系不完善

再生水园林灌溉的监测体系存在指标单一、频率不足、覆盖范围有限等问题。目前监测多集中于再生水水质与植物生长指标，对土壤重金属、微生物群落、微量有机污染物等生态指标的监测不足；监测频率多为季度或年度，难以及时发现短期污染风险；此外，监测数据共享机制不健全，管理部门、污水

处理企业、园林养护单位之间缺乏协同联动。

4 城市污水再生利用在园林灌溉中的应用策略

4.1 再生水水质精准调控策略

城市污水再生利用用于园林灌溉，核心前提是保障水质与园林生态系统的适配性，需摆脱单一净化标准的局限，建立贴合植物生长需求与土壤环境承载力的精准调控体系。从源头来看，应强化污水处理环节的针对性净化，结合园林灌溉对水质的核心诉求，优化格栅、沉淀、生物处理等基础工艺，重点去除污水中影响植物根系发育的悬浮物、阻碍养分吸收的过量有机物，以及可能在植物体内累积的重金属离子。针对不同园林场景的差异需求，末端微调环节需灵活适配。对于花卉、幼苗等敏感植物种植区，增设深度过滤与消毒单元，降低病原体与可溶性盐类含量；对于乔木、灌木等耐受性较强的植物区域，则可适当调整净化参数，在保证安全的前提下提升处理效率、降低成本。同时，需建立水质动态监测机制，根据季节变化、植物生长周期等因素实时调整净化工艺参数，确保再生水水质既满足灌溉需求，又不会因过度处理造成资源浪费，实现净化效果与经济性的平衡。

4.2 灌溉系统适配升级方案

灌溉系统的适配性直接影响再生水利用效率与园林养护效果，需基于园林整体规划与植物分布特点进行系统性升级。在灌溉方式选择上，应摒弃传统粗放式漫灌，根据植物类型、种植密度及地形条件科学选型。对于花坛、花境等精细绿化区域，采用滴灌系统，将再生水精准输送至植物根系附近，减少水分蒸发与地表径流；对于大面积草坪、疏林草地，可采用喷灌系统，并搭配低压雾化喷头，避免再生水雾化后对周边环境造成影响；对于坡度较大的绿地，则需采用分区漫灌结合导流设施的方式，防止水土流失与局部积水。同时，所有灌溉系统均需配套完善的预处理设施，在输水管道前端安装多级过滤装置，拦截再生水中残留的杂质，避免堵塞灌溉设备；增设在线消毒模块，确保再生水在输送过程中保持卫生安全。此外，还需优化管网布局，根据绿地分布划分独立灌溉区域，实现不同区域的分时段供水，结合地形高差合理设计管道坡度与压力调节装置，保证灌溉均匀性，从硬件层面为再生水高效利用提供支撑。

4.3 灌溉管理智能化优化

智能化管理是提升再生水园林灌溉科学性与精准度的关键，核心在于实现“供需匹配”的动态调控。搭建一体化物联网监测平台，整合多维度数据采集模块。通过土壤墒情传感器实时获取不同深度土壤的含水量、含盐量等指标，通过气象监测设备收集降水量、蒸发量、温度、湿度等环境数据，通过植物生长监测装置记录植物株高、叶片含水量、生长速率等生长信息。基于这些数据，建立涵盖植物生长周期、土壤水分阈值、

气象条件变化等多因素的动态灌溉模型,通过算法分析确定最优灌溉方案,自动调节灌溉量、灌溉频率及灌溉时间:在降水充沛的季节,自动减少或暂停灌溉;在高温干旱时段,适当增加灌溉量并避开正午蒸发高峰期;在植物快速生长期,提高灌溉频率以满足养分输送需求,在休眠期则减少灌溉量避免土壤积水。同时,设置人工干预接口,管理人员可根据园林实际情况调整参数,实现智能化自动调控与人工精细化管理的有机结合,彻底改变传统灌溉依赖经验判断的粗放模式,最大化提升再生水利用效率。



图2 污水再生利用灌溉管理智能化优化流程

4.4 生态风险防控体系构建

再生水长期用于园林灌溉可能引发潜在生态风险,需建立全流程、多层次的防控体系,保障园林生态系统的稳定性与安全性。构建常态化监测网络,覆盖土壤、植物、地下水及周边空气环境。定期检测土壤理化性质,重点关注土壤pH值、有机质含量、重金属累积情况及土壤结构变化,防范土壤板结、盐渍化或养分失衡;定期抽检植物生长状态,监测植物叶片是否出现黄化、枯萎等异常现象,检测植物体内有害物质累积量,确保植物生长安全;定期监测地下水水位与水质,防止再生水下渗对地下水造成污染;关注灌溉区域周边空气质量,避免再生水雾化后产生异味或有害气体。建立风险分级预警机制,根据监测数据设定安全阈值,当某项指标接近或超出阈值时,自动触发预警信号,及时启动应急处置方案。如土壤盐渍化风险升高时,切换为清水灌溉或增加淋洗频次;发现植物出现异常

时,调整再生水水质净化参数或更换灌溉方式。同时,制定长期生态评估方案,定期开展再生水灌溉对园林生态系统影响的综合评估,根据评估结果优化防控措施,形成“监测-预警-处置-评估-优化”的闭环管理,从根本上防范生态风险。

4.5 政策与技术保障机制完善

再生水园林灌溉的规模化、可持续应用,离不开政策引导与技术支撑的双重保障。在政策层面,需完善配套制度体系。出台再生水利用专项激励政策,对积极采用再生水进行园林灌溉的单位给予资金补贴、税费减免等支持,降低应用成本;明确再生水园林灌溉的责任主体与管理要求,将再生水利用纳入园林建设与养护的考核指标,推动相关单位主动落实再生水利用措施;加大公共财政投入,支持再生水输送管网向园林区域延伸,完善再生水取水、输水设施建设,解决再生水“输送难、取用难”的问题。在技术层面,强化产学研协同创新,聚焦再生水净化技术、灌溉设备适配技术、智能化监测技术等关键领域,研发低成本、高效率、易操作的技术与设备,降低技术应用门槛;建立技术推广服务体系,通过技术培训、现场指导等方式,提升园林养护人员对再生水灌溉技术的掌握能力,确保优化策略能够落地执行;加强行业交流与合作,推广先进应用经验,促进技术成果共享,推动再生水园林灌溉技术不断迭代升级,为应用优化提供持续的技术支撑,形成政策引导、技术驱动、市场参与的良性发展格局。

5 结论

城市污水再生利用在园林灌溉中的应用是缓解水资源短缺、推进水资源循环利用的重要路径,具有显著的经济、环境与社会效益。现有研究表明:经深度处理的再生水在水质达标前提下,可促进园林植物株高增长、生物量累积与抗逆性提升,改善土壤理化性质与微生物群落结构,且长期灌溉不会导致土壤重金属累积超标;再生水园林灌溉可降低水费与化肥成本,节约优质水资源,减少污染物排放,提升城市生态环境质量。

参考文献:

- [1] 詹咏,杨超淇,王慧,等.上海污水厂污泥园林绿化利用潜力与复合生态风险评估[J].环境科学,2025,46(10):6334-6343.
- [2] 芦静,马颖,杨波,等.7种北方园林绿化常用灌木对污水净化效果的研究[J].吉林林业科技,2023,52(06):18-23.
- [3] 王宗华,张唯佳,任慧莹,等.污水处理厂污泥制备园林用土壤改良剂进行资源化利用[J].发明与创新(职业教育),2021,(04):126-127.
- [4] 马三贵.污水处理厂污泥在园林绿化中的应用[J].环境与发展,2020,32(10):60-61.
- [5] 白彦珍.浅议城市生活污水反渗在城市园林绿化中的工程处理[J].农业科技与信息,2018,(07):69-70.