

The Role of Aquatic Plants in the Ecological Remediation of Micropolluted Waters

Dandan Shan Jun Zhang Tingting Zhou

Nantong College of Science and Technology, Nantong, Jiangsu, 226006, China

Abstract

With the rapid development of industrialization and urbanization, the existence of micropolluted water bodies poses a serious threat to human health and ecosystems, causing a sharp decline in water quality. Aquatic plants are able to absorb, accumulate or decompose pollutants in water to different degrees through their unique physiological mechanisms, which is conducive to the realization of sustainable management of the water environment. This paper provides an overview of micro-polluted water bodies and aquatic plant ecological remediation technology, analyzes the basic physiological characteristics of aquatic plants and the physical, chemical and biological mechanisms of aquatic plants in micro-polluted water bodies; and proposes specific application strategies for aquatic plant remediation technology for different water conditions and pollutant types.

Keywords

aquatic plants; micropolluted water; ecological remediation

水生植物对微污染水体生态修复的作用

单丹丹 张隽 周婷婷

南通科技职业学院, 中国·江苏 南通 226006

摘要

随着工业化和城市化的快速发展,微污染水体的存在对人类健康和生态系统构成了严重威胁,引起水质的急剧下降。水生植物能够通过其独特的生理机制,在不同程度上吸收、积累或分解水中的污染物,有利于实现水环境的可持续治理。论文通过对微污染水体及水生植物生态修复技术概述,分析水生植物的基本生理特性,以及水生植物在微污染水体中的物理、化学和生物作用机制;针对不同的水体条件和污染物种类,提出水生植物修复技术的具体应用策略。

关键词

水生植物; 微污染水体; 生态修复

1 引言

随着人口的持续增长,农业、工业快速发展,城市化进程日益加快,农业面源、工业废水和城市雨水径流引起的微污染水体中含有的微量有机物、重金属和持久性有机污染物等污染物,长期积累影响了生态环境和人类健康。物理沉淀、化学反应和生物处理等传统的水体净化方法可以处理含有较高浓度污染物的水体,但存在成本高、能耗大、二次污染等问题^[1]。因此,利用水生植物进行生态修复作为一种绿色低碳、成本效益高的方法成为环境科学研究的关注,旨在通过水生植物的根际作用、植物吸收和微生物降解等多种机

制,在自然环境中有效去除或稳定水中的污染物。

2 相关概念界定

2.1 微污染水体的定义

微污染水体的污染物浓度通常低于传统水质标准的限值,其污染物来自工业排放、农业面源污染、城市生活污水以及大气沉降等,涵盖了微量的有机污染物、重金属、内分泌干扰物和各类药物及个人护理产品等污染物,具有慢性毒性和生物积累性,是对水生生态系统和人类健康造成潜在风险的水体^[2]。在定义微污染水体时,需要考虑微污染物的隐蔽性及持久性,及其对水体生物多样性、生态功能以及生态系统结构的影响,关注污染物的检测和控制,深入理解污染物在环境中的行为、生态效应以及它们如何通过各种生物和非生物过程影响水体的健康和安全。

2.2 微污染水体环境影响

内分泌干扰物、持久性有机污染物(POPs)以及重金属等微污染物能够在水生生物体内积累,干扰正常的生理和生化

【基金项目】2022年度南通市基础科学研究和社会民生科技计划项目(项目编号:JCZ2022049);2023年江苏高校“青蓝工程”骨干教师培养项目。

【作者简介】单丹丹(1983-),女,中国江苏南通人,硕士,讲师,从事园林、景观设计研究。

过程,影响生物的生长、繁殖和免疫系统,并通过食物链传递和放大,最终影响到更高营养级的生物,通过生物积累性和长期生态效应,导致微妙而深远的环境变化。水体作为自然界中重要的生态系统,微污染水体中的污染物可以改变水体的化学和物理性质,导致pH值的改变、溶解氧的降低,以及重金属的沉积,影响到水生植物和动物的生存条件,容易导致藻类过度繁殖,引发水华现象,消耗大量水中的氧气,造成其他水生生物的缺氧,导致生态系统多样性的降低,生态功能的单一化,进一步影响到生态系统的稳定性和恢复力^[3]。

2.3 水生植物生态修复技术的应用

水生植物生态修复技术基于水生植物对污染物吸收、降解和积累的能力,通过植物自身及其与微生物间的相互作用,有效地去除水中的有机物、重金属和营养盐等污染物。其中,芦苇、藕、水葫芦等水生植物可以通过根系吸收水中的营养物质,提供大量的根际区域,促进微生物的生长和活动,从而进一步改善水体的物理和化学性质,增加水中的溶解氧,改善光照条件,促进整个水体生态系统的健康和稳定。在城市和工业区的景观水体、农田排水沟、湿地及其他自然或人工水体中,通过选择适宜的水生植物种植配置,可以建立一个多功能的生态系统,在净化污水的同时为当地的生物提供栖息地,增加生物多样性,也有利于提升城市的生态环境质量和居民的生活质量,推动可持续发展。

3 水生植物在生态修复中的作用

3.1 水生植物的基本生理特性

浮叶植物、沉水植物和挺水植物等水生植物通过其叶片、根系和茎部与水体中的污染物直接或间接地进行交互,其强大的吸收能力能够从水中直接吸收溶解性的营养盐和金属离子,降解或转化水中的有机污染物和无机物,可以通过光合作用释放氧气,提高水体的溶解氧水平,改善低氧或无氧的水环境,有助于维持水生生物的健康生长和水质的自净能力。水生植物的基本生理特性如表1所示。水生植物的残体的分解可以提供食物来源和营养物质,在生长过程中的死亡和分解可以影响水体的碳循环和营养循环,通过分解过程中释放的有机碳可以被微生物利用,支持水体中微生物的生长,进一步促进污染物的生物降解。

表1 水生植物的基本生理特性

| 植物名称 | 类型 | 生理特性描述 |
|------|------|--------------------------------|
| 芦苇 | 挺水植物 | 强大的根系,吸收重金属能力强,根际效应明显,有助于微生物生长 |
| 水葫芦 | 浮叶植物 | 通过叶面吸收营养物质和污染物,能有效减少水体中的氮、磷含量 |
| 睡莲 | 浮叶植物 | 美观,能通过根系和叶片提供氧气,改善水质 |
| 花生菜 | 沉水植物 | 全株参与水中有害物质吸收,能在水质较差的环境中生长 |
| 狐尾藻 | 沉水植物 | 快速生长,高效吸收水中的污染物,适合于初级处理的生态系统 |

3.2 水生植物对特定污染物的修复效果

对于农药和多环芳烃等有机微生物,可以通过水生植物的广泛的根系网络进行吸收,在水生植物体内进行转化或积累,从而改变根际环境的化学性质,增强根际微生物的活性和多样性;对于重金属和营养盐等无机污染物,一些水生植物能形成络合物或通过沉积在根部的方式减少其在水体中的自由态,从而减少无机污染物的浓度,有效控制水体富营养化的进程和重金属的环境风险,降低其生物可利用性和毒性。在实际应用中,葫芦和水葫芦因其快速吸收和生长转化能力,广泛应用与处理含氮和含磷的废水;睡莲和狐尾藻因其对重金属有较强的耐受性和积累能力,常用于重金属污染水体的修复;花生菜等沉水植物可以通过光合作用释放氧气,能提高水中的溶解氧水平,改善低氧条件下的污染物降解效率。

4 微污染水体中水生植物的作用机制

4.1 物理作用机制

芦苇、蒲公英等水生植物通过其密集根系结构可以在水底形成一个复杂的网状系统,稳定水底的沉积物,防止底泥的再悬浮,也有利于颗粒态的有机物和无机物质等悬浮物的沉降,降低水流速度,减少水体的紊流程度,有助于增加水中污染物与植物根系的接触时间,通过物理吸附作用去除水中的悬浮颗粒和其他污染物,提高污染物的去除率。水生植物的根系和叶片构成的独特结构能够改善水体的光照条件和温度分布,大面积的水生植被覆盖可以防止水面过度蒸发,通过遮荫降低水体表面温度,通过光合作用释放氧气到水中,提高水体的溶解氧水平,促进好氧微生物的生长和活动、提升水体自净能力,可以为水生生态系统的健康和稳定提供基础支撑。

4.2 化学作用机制

水生植物能够通过其生物体内的生化过程直接吸收和转化污染物,可以通过根部吸收水中的重金属和营养盐,将其在植物体内转化为无害或低毒的形态,也可以积累在植物体内部,通过分泌有机酸和其他生物分子改变根际区的pH值,促使某些污染物如重金属的形态改变,使其更易于被植物吸收或降低其生物可利用性,减少这些物质对水环境的影响。另外,植物的根际区是一种活跃的微生物栖息地,分泌根际分泌物等有机物质,作为微生物的营养来源,激活根际微生物的代谢活动,进一步参与到氮的硝化和反硝化过程等复杂的生物地球化学循环中,以及有机污染物的矿化和降解等过程中,可以减少水体中污染物的浓度和毒性,以增强水体的自净能力,提高生态修复的效率和持续性。

4.3 生物作用机制

水生植物可以作为水生动物和微生物提供栖息地和食物源,水生植物的根、茎和叶可以为许多小型水生动物和微生物提供避难所,防止它们被天敌捕食,可以为它们提供必

要的营养物质,进一步促进底栖生物的聚集和繁殖,增加生态系统的生物量和复杂性,促进食物网的建立和能量流的转化,有助于维持生物多样性和生态系统稳定性。植物通过光合作用过程可以吸收二氧化碳,并释放氧气,提高水体的溶解氧水平,通过其死亡和分解过程,形成一个生态循环,为水体中的其他生物提供营养物质,促进水体中微生物的生长和活动,促进生态系统的营养循环和物质交换,有利于改善水质,增强生态系统的恢复力和适应性。

5 水生植物修复技术的应用策略

5.1 适用性评估

5.1.1 水体条件的评估

水体条件需要对水体的物理、化学和生物特性进行全面分析。从物理特性的角度,需要对水流的深度、流速、温度和光照条件展开分析,不同种类的水生植物对水深的适应性不同,水体的流速条件会影响植物的定值和生长,光照条件会影响植物的光合作用的效率;从化学特性的角度,需要评估水体的pH值、溶解氧水平、营养盐浓度、有机质含量以及潜在的污染物种类和浓度等内容,以判断水生植物的生长条件,以及水生植物对特定污染物的净化能力;从生物特性的角度,需要评估水体中现有的生物组成和生物多样性,以确定修复工作是否对本地生物群落造成干扰或负面影响。综合评估结果可以为水生植物修复技术的应用提供科学依据,有利于选择最适合水体条件的植物种类和修复方案,确保生态修复工作的顺利进行和长期成功。

5.1.2 污染物种类与浓度的评估

污染物种类和浓度的评估可以帮助确定水体受污染的程度,通过对重金属(铅、汞、镉等)、营养盐(氮、磷等)等无机污染物和石油化合物、农药、药品残留物等有机污染物的评估,有利于制定有效的修复策略。针对重金属污染严重的水体可以选用耐受高金属浓度的水生植物;针对富营养化的水体,可以选择能够有效吸收氮和磷的植物种类。浓度评估需要测定污染物在水体中的实际含量,以制定更具针对性的修复方案,作为修复效果评估的基线数据,为后续的监测和管理提供参考。其中,对于高浓度的污染物采取更强的修复措施,使用多种植物组合或配合物理、化学处理方法,以确保修复过程中可以消除污染,维护水体的生物多样性和生态平衡。

5.2 管理与维护

5.2.1 水生植物的种植与养护

基于前期的对水体的物理、化学特性以及污染物种类和浓度的环境评估,考虑植物的耐污染能力、生长速率和对特定环境条件的适应性,选择最合适的水生植物,并在种植

前进行土壤或底泥的改良,根据植物类型和水体特性灵活选择种植方式,确保根系能够在适宜的底质中健康生长。在水生植物种植的基础上,一方面养护工作需要控制入水口的污染负荷,保持水体中营养盐和有害物质的浓度在对植物生长有益的水平,并根据需要调整水体管理措施,以保证植物健康生长;另一方面,需要定期修剪过度生长的植物部分,以防止植物群落因过度蔓延而抑制其他生物的生长,维持生态平衡,更有效地维持水生植物的生长条件,确保其在生态修复中发挥最大的效能,促进水体生态系统的整体健康和稳定。

5.2.2 监测与效果评估

监测活动应涵盖水质参数、植物生长状态、生物多样性指标以及污染物的浓度变化,通过监测水体中的营养盐浓度、重金属含量以及其他化学污染指标,可以评估水生植物吸收和积累污染物的能力;通过监测植物的生长和繁殖情况,可以判断植物是否适应了当地环境;通过监测生物多样性的指标,可以评估生态系统的稳定性和健康状况,发现潜在的生态风险和生物多样性丧失的趋势;通过监测污染物的浓度变化有助于及时发现环境污染问题,采取相应的控制和修复措施。基于监测数据,对修复项目的成效进行综合分析,运用生态模拟模型和污染物迁移转化模型等多种科学工具和模型,对水质改善程度进行量化,预测长期修复效果和潜在的生态风险,在必要时进行策略调整,优化修复措施,以确保修复项目的经济可行性和社会可接受性,进一步确保长期的环境改善和生态系统健康。

6 结语

本研究基于微污染水体及其环境影响、水生植物生态修复的技术概述,探讨了微污染水体中水生植物的物理、化学和生物作用机制,提出了水体条件的评估和污染物种类与浓度的评估等水生植物的适用性评估,以及水生植物的种植、养护、监测和效果评估等管理和维护策略,强调了通过适宜的水生植物的选择和精确的植物配置可以提高修复效率,保证水生植物修复技术的持续有效性,进一步指出水生植物生态修复技术为改善水质和恢复水生生态系统健康提供了一种有效且可持续的解决方案。

参考文献

- [1] 杨帆,焉志远,韩辉,等.水生植物在水体污染修复中应用研究进展[J].国土与自然资源研究,2024(2):73-74.
- [2] 吴鹏豹,赖嫻嫻,蔡楷涛,等.水生植物组合对污染水体的生态修复效果研究[J].惠州学院学报,2023,43(3):69-77.
- [3] 徐冰.水生植物耦合植物根系促生菌修复黑臭水体的研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2023.