

沉水植物对水体的净化及工程实践

范秀磊¹, 石 上¹, 戚玉浩¹, 张建昆¹, 梁 森², 李慧娴²

(1. 徐州工程学院 环境工程学院, 江苏 徐州 221018; 2. 徐州市河湖管理中心, 江苏 徐州 221634)

摘要:将沉水植物对污染水体的净化作用、净化机制和工程实践进行了归纳和总结,并对沉水植物未来的研究方向进行了展望。目前基于沉水植物的水体净化和生态修复工程实践,在沉水植物群落和调整水生动物结构等方面相结合具有良好效果,但受限于种植方法、存活条件、维护管理等问题,基于研究现状分析结果,建议加强沉水植物去除新污染物潜力分析及作用机制,沉水植物对多种污染物的复合去除,沉水植物微生物协同作用及工程实践限制条件解决方案等方面的研究。

关键词:沉水植物;生态修复;富营养化;水质净化

中图分类号:TV675

文献标识码:A

文章编号:1007-7839(2024)08-0054-0004

Purification of water by submerged macrophytes and engineering practice

FAN Xiulei¹, SHI Shang¹, QI Yuhao¹, ZHANG Jiankun¹, LIANG Sen², LI Huixian²

(1. College of Environmental Engineering, Xuzhou University of Technology, Xuzhou 221018, China;

2. Xuzhou River and Lake Management Center, Xuzhou 221634, China;)

Abstract: The purification effect, purification mechanism and engineering practice of submerged macrophytes on polluted water were summarized, and the research direction of submerged macrophytes in the future was prospected. At present, the practice of water purification and ecological restoration based on submerged plants has achieved good results in the combination of submerged plant communities and the adjustment of aquatic animal structures. However, due to limitations in planting methods, survival conditions, maintenance and management, based on research status analysis, it is suggested that the potential analysis and mechanism of the removal of new pollutants by submerged plants should be strengthened, the complex removal of many pollutants by submerged plants, the cooperation of submerged plants and microorganisms, and the solutions to the limit conditions in engineering practice are studied.

Key words: submerged macrophytes; ecological restoration; eutrophication; water purification

1 概 述

沉水植物作为水生植物的一种,是水生态环境的重要组成部分。沉水植物全株在水中生长,可以高效吸收水体与沉积物中的营养盐,降低营养盐负荷,抑制水体富营养化,并在一定程度上控制水华的发生,是水环境中重要的污染净化体(图1)。目前,众多河湖水生生态系统中,淡水生态系统通常保

持“草型清水态”(沉水植物覆盖率高,水质清澈)和“藻型浊水态”(浮游植物占优势,水质混浊)2种稳定状态。大多数浅水湖泊的原始状态为沉水植物覆盖度高,水质清澈的“草型清水态”,污染物中大量营养盐的输入将会改变这一稳态,当超过某一营养盐阈值时,湖泊的水体透明度受到影响,由“清”变“浊”,继而导致沉水植物大量消失,生物多样性降低,水体转变为浮游植物占优势,水质浑浊的“藻

收稿日期: 2024-03-11

基金项目: 江苏水利科技项目(2021077)

作者简介: 范秀磊(1989—),男,副教授,博士,研究方向为水污染控制及水生态修复技术开发及应用。E-mail: xlfan@xzit.edu.cn

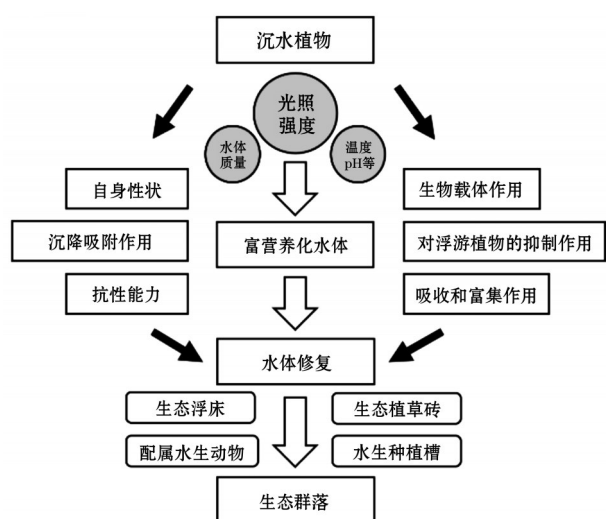


图1 沉水植物水生态修复流程

型浊水态”。沉水植物的存在与否及其覆盖度决定着稳态类型,但仅靠降低营养盐浓度不足以完成水体的水质净化,合理利用沉水植物被认为是实现“藻型浊水态”向“草型清水态”转换的高效手段^[1-3]。

本文归纳了不同沉水植物的生长特性和自身优势,分析了沉水植物用于水体净化的优势及机理,此外,总结了目前沉水植物在水生态修复工程中的应用及存在的问题,以期为沉水植物的恢复和保护提供理论基础。

2 沉水植物的分类

沉水植物是植物体全部位于水层下面,只有花会将小部分茎和叶抬升到水面以上的大型水生植物。作为初级生产者,沉水植物在水生态系统中

起着重要作用,维持着生态系统的功能和结构。不同沉水植物对污染物的去除方式有所不同,大致可以分为3种:(1)通过植物吸收将污染物转移至植物内部去除;(2)通过由茎、叶吸附水体中的污染物;(3)通过分泌物和微生物作用降解污染物。典型的沉水植物包括马来眼子菜、狐尾藻、金鱼藻、苦草、菹草等,其科属分布、生长习性、工程应用等特性如表1所示。

3 沉水植物对污染物水体的净化机制

3.1 沉水植物的水体净化优势

沉水植物群落能够降低污染水体的污染物浓度,改善水体环境。沉水植物的根茎叶都能很好地吸收水体中的养分,因沉水植物本身特性,其根功能退化,吸收作用反而较低,但在水体富营养情况下,根系能从营养物质相对丰富的沉积物中吸收养分,起着泵的作用;茎含大量的薄壁细胞,间隙较大,因此有发达的通气组织以便进行气体交换,维持生命活动;叶片根据所处水环境的不同,存在各种形态,以纤细状和薄膜状为主,其皮层细胞中的叶绿素能保证沉水植物在微弱光照条件下进行光合作用。因此,由于根茎叶的不同特质,沉水植物能够在较为特殊的沉水环境中维持生命,从而在水体修复工程中发挥优势,起到关键作用。

3.2 沉水植物的水体净化机理

氮磷是沉水植物的基本组分元素,植物吸收同化是植物去除氮磷的重要途径。沉水植物生长过程中能够直接大量吸收水体中的营养盐及氮磷物质,

表1 典型沉水植物特性

名称	科属	生长习性	繁殖	工程应用
苦草	水鳖科 苦草属	适宜水深:0.5~1.5 m 4月萌芽,10月后进入休眠期	播种、分株繁殖	苦草丛生性强,叶如丝带,花序奇特,是优良的沉水景观植物,在水族箱中也常用到
马来眼子菜	眼子菜科 眼子菜属	适宜水深:0.7~3.0 m 4月萌芽,10月后进入休眠期	播种、分株、扦插繁殖	马来眼子菜叶片如竹叶,是优良的沉水景观植物
菹草	眼子菜科 眼子菜属	适宜水深:0.5~2.0 m 晚秋萌芽,第二年6月进入休眠期	种子、分株、扦插、休眠繁殖	菹草自然分布广泛,在秋、春季生长旺盛,是少有的冬季生长、夏季休眠的沉水植物
黑藻	水鳖科 黑藻属	适宜水深:0.5~2.0 m 4月萌芽,10月后进入休眠期	种子、分株、扦插、休眠繁殖	黑藻茎叶螺旋状,叶深绿发黑,是优良的景观沉水植物,也是水族箱常用沉水品种
金鱼藻	金鱼藻科 金鱼藻属	适宜水深:0.5~1.5 m 4月萌芽,10月后进入休眠期	播种、分株、扦插繁殖	金鱼藻叶片如松针,密集柔软,是优良的景观沉水植物,也是水族箱常用沉水植物品种
狐尾藻	小二仙草科 狐尾藻属	适宜水深:0.8~3.0 m 4月萌芽,11月后进入休眠期	播种、分株、扦插繁殖	株丛茂密,茎粗叶密,其穗状花序伸出水面,是优良的景观沉水植物,也是水族箱常用沉水植物品种

并将其转化为生长所需的蛋白质和核酸等物质。

大量利用耗竭法的实验研究表明,不同种类沉水植物对水中氮磷的吸收能力存在差距,不同种类沉水植物组合对营养物质去除效果明显好于单一植物,弥补各植物间不同营养物质的吸收特征差异。同时可通过吸收作用,吸收部分重金属离子,间接缓解水体中的重金属污染。沉水植物会释放化感物质如酚类萜类脂肪酸等,产生克生作用抑制藻类的生长繁殖。这些化感物质主要通过抑制藻类的光合作用和呼吸作用,对藻类细胞造成氧化损伤和DNA损伤或诱导藻细胞程序性死亡等途径抑制藻类生长繁殖。不同种类的沉水植物对藻类生长的抑制作用存在差异,如苦草>黑藻>狐尾藻,可通过沉水植物种类搭配增强化感作用。与此同时,沉水植物生长过程中与藻类在生长空间、光照、营养物质等方面不断竞争,从而达到治理水体富营养化的目的。

4 工程实践应用

在实际工程应用中,基于沉水植物在水体生态修复中呈现的强大效果,沉水植物技术改善及群落部署不断演化(表2)^[4-5]。2021年,在上海花博园水系生态修复的过程中,以东平国家森林公园景观水体生态修复工程为例,依据公园水环境、水体质量和水生态现状,进行问题识别,确定治理目标,制定了“清水入园+内源控制为辅,生态修复为主”的解决方案。其中,水生态修复工程以构建沉水植物群落和调整水生动物结构相结合,以达到水生动物优化沉水植物群落的最终目的。根据实际水体的不同水位特征,沉水植物分别选用苦草、刺苦草和马

来眼子菜,以满足全水域沉水植物群落的构建。另一方面,根据“鲢、鳙鱼控制藻类技术”理论,水生动物以鱼类投放为主,主要包括鲢鱼、鳙鱼;考虑到枝角类浮游动物对水体透明度具有一定的改善作用,投放适量溠类;同时为完善食物链,辅以投放青虾、环棱螺等大型底栖动物。此外,修复工程还采用了曝气增氧装置,以布设沉水鼓风机-曝气设备为主,使得水体中的溶解氧量大大增加,从而保证沉水植物的成活率及群落的稳定发育。

此外,针对特殊河湖的治理,许多新型装置得到开发及实际应用。如,在南京友谊河(秦淮段)水体修复治理工程中,由于河道全线除宁芜铁路沿线河道左岸河底未护砌,其余大多为雷诺护垫硬质护底,局部为钢筋混凝土及浆砌块石硬质护底,常规河湖生态修复技术对于硬质河底效果并不明显,因此采用了生态浮床结合新槽开挖、新型水生种植槽、生态植草砖等装置,实现硬质河底河湖的水体修复。生态浮床技术对污染负荷变化的适应性较强,克服了水体透明度低及河湖水深环境的不利影响,并有利于营养盐的吸收及水体波动的消减。现阶段国内外已广泛应用该技术,大大优化了沉水植物的生存环境,一定程度上解决了水体富营养化问题。

5 沉水植物工程应用的局限性

5.1 种植问题

扦插法、叉子种植法和直接抛掷法是沉水植物的经典种植方式。其中扦插法种植沉水植物存活率最高,其人工成本也是最高,通常需要放水种植,即将河道、湖泊水体水位降低,然后工人进入水体中手动扦插。叉子种植法一般是用一头绑有叉的

表2 沉水植物的实际工程应用案例

水域地点	水体现状	选用植物	治理手段
东平国家森林公园水域(龙策湖、天鹅湖、水杉湖等)	湖区水质尚可,公园内景观水体水味正常,无恶臭现象存在;湖区水色以暗绿色为主,入湖区段以黄浊色为主	矮苦草、刺苦草、马来眼子菜	不同沉水植物搭配,构建附属水生生物群落,辅以曝气增氧装置
太湖贡湖湾	生态修复区水体透明度下降,沉水植物覆盖率降低	苦草、穗花狐尾藻、黑藻、金鱼藻	结合水生动物,构建沉水植物群落,后期辅以鱼类群落调控
友谊河(秦淮段)	河道全线除宁芜铁路沿线河道左岸河底未护砌,其余大多为雷诺护垫硬质护底,局部为钢筋混凝土及浆砌块石硬质护底	以苦草类为主	沉水植物(再生式生态修复法、生态浮床、新槽开挖技术、新型水生种植槽、新型水生植草砖),结合人工曝气增氧
金川河	部分流域水质为劣V类,氨氮含量超标	四季常绿矮型苦草、改良刺苦草、红线草、小茨藻	栽植沉水植物,构建生态驿站

竹竿或木杆作为工具,用叉子固定住沉水植物的茎部,插入水中,完成种植,这种方法适用于丛生的沉水植物和诞生的多植株种植。叉子种植法的局限性在于对种植环境有要求,如土壤软底泥要在10 cm以上,水深控制在0.5~2.0 m甚至更深的水系,该方法需耗费人力财力,仅适合小范围的种植,对于不易到达的水域较难完成种植。直接抛掷法是直接将沉水植物抛入水中,这些沉水植物会自然沉入水底,生根萌芽生长,这种方法的局限性在于需要无流动、较稳定的水域,如水塘池塘等,其次,沉水植物选择泥土黏性较大的为佳,该方法耗费物力财力且抛入水中的沉水植物存活率低。

5.2 存活问题

大多数常用沉水植物的抗环境冲击力较弱,如抗污染负荷、抗水力冲刷、抗低温等能力较差,不易在合流制溢流污染大的水体中存活;对于某些环境复杂程度较高的水体,由于水体悬浮物质较多,严重影响了水体透明度及沉水植物所受光照强度,大幅缩短沉水植物的生命周期;在感潮或有排水功能等有冲刷流速的水体中,沉水植物难以扎根生存,容易流失死亡,漂浮在水中继而增加内源污染;在天气极端的区域,沉水植物存活率低,越冬能力差。因此种植沉水植物需考虑到沉水植物的种类、水质特点、底泥特征等。

根据现有研究,沉水植物对于不同生长环境的适应性不同,不合理的生长环境中,沉水植物难以存活。影响沉水植物生长的因素很多:①光照强度:作为植物光合作用的能量来源,适当的光照能更好地维持沉水植物的生命周期;②水体质量:水体中营养盐是沉水植物生长的必要营养物质,浓度过高过低都不利于其生长发育,过高对沉水植物有毒害作用,甚至引起沉积物再悬浮和浮游藻类的暴发,导致水体光线遮挡,再次影响沉水植物生长;③底质成分:作为水体的重要组成部分,大多数沉水植物会根据水中养分浓度确定生态位宽度,它们利用根系吸收底质中的养分,满足其对营养的需求。除此以外,生态水体的水流速度、温度、透明度等也会影响沉水植物的生长,但究其本质,大多数影响因素都能最终归结到光照强度和营养成分。

5.3 维护管理问题

沉水植物种植后,作用不会立即凸显,对其进行有计划的维护管理不可缺少。若有植物死亡上

浮,需要及时打捞;若水体透明度较低,需要适量投加絮凝剂,改善水质;若适当时间后沉水植物密度未达标或超标,需要进行补种或收割调控。根据各种沉水植物的生长特性,还需在生长期后进行收割,这不仅可以降低水域内源性营养物负荷,还可以抑制生物促淤作用,以促进沉水植物的再生长能力,达到进一步净化水体的效果。

6 结 语

目前关于沉水植物净化水体的研究主要集中在沉水植物对常规污染去除效果和不同种类污染物对沉水植物的毒理效应,关于沉水植物对新污染物的去除效果及其机制的研究有待加强。研究表明光照强度是沉水植物生长的主要限制因子,但考虑多重因子对光衰减的综合影响和多种环境因素共同影响,沉水植物生长的研究结论并未成体系,不同沉水植物组合对水体的净化作用优势也还没有完整性的研究,应根据生态功能性、适宜性与持续性综合考量,探索沉水植物科学种植和资源化管护措施。

工程实际应用中,沉水植物大量应用于水生态和水体水质修复,联合水生动物构建完整的稳定群落应用最为广泛,但面对不同污染情形及客观条件,生态浮床、水生种植槽和生态植草砖等新型种植养护装置也正不断研发与使用。此外,从栽种技术、栽种环境和栽种装置等方面改进沉水植物现有的种植、维护和存活问题方面的研究还需不断探索创新,为今后沉水植物在水体环境中的高效应用提供参考。

参考文献:

- [1] 杨凤娟,蒋任飞,饶伟民,等. 沉水植物在富营养化浅水湖泊修复中的生态机理[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(26): 58-61.
- [2] 崔庆飞. 沉水植物及组合对缓滞水体水质净化研究[D]. 张家口:河北建筑工程学院, 2020.
- [3] 欧克芳,林鸿,陈桂桥,等. 沉水植物的特点及其应用[J]. 安徽农业科学, 2008(17): 7210-7211, 7221.
- [4] 白静. 沉水植物群落在上海花博园水系生态修复中的应用研究[J]. 环境科学与管理, 2021, 46(11): 147-151.
- [5] 刘寒. 沉水植物适应富营养化湖泊弱光环境的生理生态学机制[D]. 武汉:中国科学院大学(中国科学院武汉植物园), 2021.