

水生植物营造的植物微系统对富营养化水体抑藻能力的影响

叶胜兰^{1,2,3,4,5,6}, 李娟^{1,2,3,4,5,6*}, 武丹^{2,3,4,5,6}

¹陕西地建 - 西安交大土地工程与人居环境技术创新中心, 陕西 西安

²陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司, 陕西 西安

³陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 陕西 西安

⁴自然资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室, 陕西 西安

⁵陕西省土地整治工程技术研究中心, 陕西 西安

⁶自然资源部土地工程技术创新中心, 陕西 西安

收稿日期: 2022年11月23日; 录用日期: 2022年12月20日; 发布日期: 2022年12月27日

摘要

本实验采用盆栽实验, 研究了水生植物营造的植物微系统对富营养化水体抑藻能力的影响, 结果表明: 不同种类挺水植物处理后可降低富营养化水体的pH值, 其中以千屈菜和鸢尾处理组的pH最低, 分别为7.34和7.48, 显著低于对照(CK)。同时, 不同处理均有效降低了水体中氮磷含量。在实验结束时, 鸢尾的总氮含量由9.49 mg/L下降到3.21 mg/L, 去除率达66.2%; 种植不同种类水生植物的水体TP去除率在59.1%~81.3%, 明显高于无植物的对照组(去除率为37.6%)。鸢尾对水体TP的去除效果优于其余挺水植物, 且与CK达到显著差异, 去除率超过了80%。种植鸢尾的实验组在实验结束时chl a的含量最低(6.6 mg/L), 较初始降低了37.1%, 较CK低了54.1%, 且与其他各处理达到显著差异($P < 0.05$)。对照组测得叶绿素a浓度随着时间一直呈现缓慢上升。综合分析, 不同挺水植物形成的微系统能有效改善水质条件, 抑制水体中藻类的繁殖, 其中以种植鸢尾的效果最佳。

关键词

挺水植物, 抑藻能力, 植物微系统, 富营养化水体

Effects of Plant Microsystems Created by Aquatic Plants on Algal Inhibition in Eutrophic Water

Shenglan Ye^{1,2,3,4,5,6}, Juan Li^{1,2,3,4,5,6*}, Dan Wu^{2,3,4,5,6}

*通讯作者。

文章引用: 叶胜兰, 李娟, 武丹. 水生植物营造的植物微系统对富营养化水体抑藻能力的影响[J]. 环境保护前沿, 2022, 12(6): 1277-1282. DOI: 10.12677/aep.2022.126158

¹Shaanxi Land Construction-Xi'an Jiaotong University Land Engineering and Human Settlement Technology Innovation Center, Xi'an Shaanxi

²Institute of Land Engineering and Technology, Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

³Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

⁴Key Laboratory of Degraded and Unused Land Consolidation Engineering, Ministry of Natural Resources, Xi'an Shaanxi

⁵Shaanxi Provincial Land Consolidation Engineering Technology Research Center, Xi'an Shaanxi

⁶Land Engineering Technology Innovation Center, Ministry of Natural Resources, Xi'an Shaanxi

Received: Nov. 23rd, 2022; accepted: Dec. 20th, 2022; published: Dec. 27th, 2022

Abstract

In this experiment, a pot experiment was used to study the effect of the plant microsystem created by aquatic plants on the algae inhibition ability of eutrophic water. The pH values of the groups treated with phyllocladon and Iris were the lowest, 7.34 and 7.48, respectively, which were significantly lower than those of the control (CK). At the same time, different treatments all reduced the content of nitrogen and phosphorus in the water. At the end of the experiment, the total nitrogen content of Iris dropped from 9.49 mg/L to 3.21 mg/L, and the removal rate reached 66.2%; the TP removal rate of water bodies planted with different types of aquatic plants was 59.1%~81.3%, which was significantly higher than that without plants the control group (removal rate 37.6%). The removal effect of iris on TP in water body is better than that of other emergent plants, and it is significantly different from CK, with a removal rate of more than 80%. The experimental group planted with iris had the lowest chl a content (6.6 mg/L) at the end of the experiment, which was 37.1% lower than the initial level and 54.1% lower than CK, and it was significantly different from other treatments ($P < 0.05$). The concentration of chlorophyll a in the control group has been showing a slow increase with time. According to the comprehensive analysis, the microsystems formed by different emergent plants can improve the water quality and inhibit the reproduction of algae in the water body, among which the effect of planting iris is the best.

Keywords

Emergent Plants, Algae Inhibition Ability, Plant Microsystem, Eutrophic Water Body

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

近年来,随着经济的增长,居民生活污水、工业废水、农业污水的排放量日益增加,城市公园景观水体的富营养化问题已成为国内外环境治理和研究的热点。当水体中总氮的含量大于 0.3 mg/L、总磷含量大于 0.02 mg/L,水体就处于富营养化状态[1] [2]。有研究表明,我国公园水体存在 TN、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TP、COD 不同程度的超标污染,这不仅导致经济损失,同时也破坏生态系统结构和功能,不利于生态文明建设,更不利于人体健康[3]。水生植物城市水体景观的重要构成部分,是城市重要的风景线。水生植物还具有吸附水体中的污染物质的作用,从而达到净化水质、防治污染的效果[4] [5]。因此,在城市水体景观

构建中, 如何利用丰富的水生植物资源, 利用水生植物在水体富营养化防治修复中的种植应用, 是国内生态环境科学领域研究的迫切发展需求。水生植物去除的污染物主要集中在适宜自身生长的氮、磷等营养成分和影响水质的其他污染物上。

水生植物在水环境中, 通过根、茎、叶等组织器官来吸收水体中的有机物和养分[6]。大多水生植物在整个周期内都需要氮、磷等营养物质的吸收参与, 所以对水体氮、磷去除效率较高。此外, 水生植物以吸收和分解的方式将其他的水体污染物转化为第二种物质积累在体内, 在其生长过程此类物质被逐步消耗[7]。同时, 水生植物可以有效的抑制污染水体中的藻类大量繁殖。水生植物可以减少藻类生长所需的阳光, 水生植物体积较大可以遮挡藻类生长所需的阳光, 使得藻类生长受限[8]。同时, 水生植物快速繁殖形成生长区, 在生长区域内发挥自身竞争优势, 加速生长代谢, 抑制周围藻类物质的生长代谢[9]。然而, 目前大多水体景观设计在植物选择上过多地考虑园林美学的要求, 忽视了水生植物净化能力, 如蔡玲等研究了挺水植物与浮叶植物在苏北湿地景观中的应用[10]。而针对水生植物净化污水的研究, 实践植物种类较少, 大多研究多选取单一种类的水生植物为材料[11] [12] [13], 特别是针对不同生活型水生植物对富营养化的城市河道水体净化效果的研究还较少。鉴于此, 本研究分别选取了 6 种常见的水生植物, 通过在室内条件下模拟富营养化城市河道水体环境, 来检测水体底泥中氮磷变化及抑藻能力。

2. 材料与方法

2.1. 试验材料

根据对富平石川河生长的水生植物种类调研, 并查阅相关文献资料, 选取千屈菜、香蒲、再力花、荷花、花叶芦竹、鸢尾 6 种常见的挺水植物作为研究对象。

2.2. 试验设计

实验于 2022 年 6 月至 7 月在沪灞人工气候室进行。实验温度白天保持在 29℃~32℃, 晚上保持在 20℃~23℃, 相对湿度为 75% ± 5%。

本实验采用规格为 30 cm × 50 cm PVC 材质圆筒形实验箱, 水箱分为 6 组, 每组选取一种挺水植物, 分别设置 3 个平行试验组, 并设置对照组(无植物种植), 共计 19 个试验组。试验开始前将底泥填充至水箱底部, 填充厚度为 20 ± 0.5 cm, 分别加入自来水至 22 cm 处, 静置待用。将植物在清水中培养两天。待生长稳定后, 选取生长健壮、长势相对一致的植株移栽入水箱; 同时在表面铺上 2 cm 碎石以防止底泥悬浮。在植物生长基本稳定后(约 4 天)。

本实验水样采样频率为: 每 10 天采集一次水样; 共采集水样 6 次。并定期监测水体中氮磷情况及水体中叶绿素 a 含量变化情况。叶绿素 a 含量计算公式如下:

$$\text{叶绿素a}(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}) = \frac{[11.64 \times (D_{663} - D_{750}) - 2.16 \times (D_{645} - D_{750}) + 0.10 \times (D_{630} - D_{750})] \times V_1}{V \times c} \quad (1)$$

式 1 中: V 表示采集水样的体积; D 为不同波长下的吸光度; V_1 表示提取液最终定容体积; C 为比色皿量程。

3. 结果与分析

3.1. 不同挺水植物对水体 pH 的影响

不同挺水植物处理后的水体 pH 前期表现为波动上升, 在 7 月 15 日后开始出现下降的趋势。其中以千屈菜处理组的 pH 下降最为明显, 在实验结束时 pH 值为 7.34, 呈中性; 其次是种植鸢尾的实验组, 实验结束时 pH 值为 7.48, 且均显著低于对照(8.24)。无植物种植的对照组(CK) pH 在实验结束时高于初始

值, 且一直高于挺水植物种植组。从图 1 中各处理的总体变化趋势可看出, 挺水植物系统中的水体的波动范围明显小于无植物的 CK, 水体整体表现较为稳定。

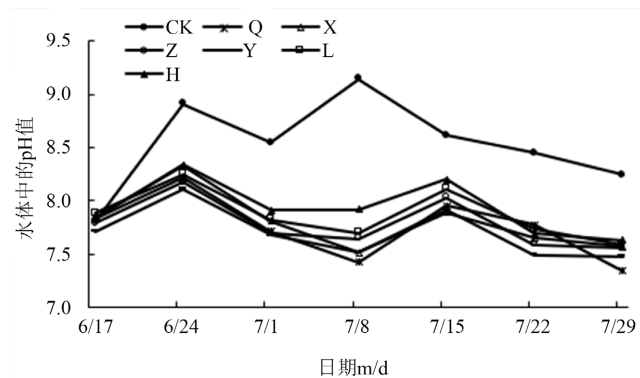


Figure 1. Variation of water pH value in different emergent plant systems

图 1. 不同挺水植物系统中水体 pH 值变化

3.2. 不同挺水植物微系统水体中总氮含量变化

实验初期, 挺水植物微系统中的总氮含量快速下降, 因为前期快速沉降作用和植物根系的吸附、截留作用较强; 随着实验的进行, 沉降作用减弱, 根系也逐渐达到了吸附饱和, 此时总氮的去除了主要依靠植物的吸收和根系微生物的吸附、降解, 这一过程较为缓慢, 所以总氮的去除了速度逐渐变缓。实验结束时, 植物组对总氮的去除了效果都优于未种植的对除了组; 其中, 鸢尾的总氮含量由 9.49 mg/L 下降到 3.21 mg/L, 去除了率达 66.2% (图 2); 其次是千屈菜和荷花微系统, 水体的总氮最终去除了率分别为 54.9% 和 54.1%, 且两者间的清除率差异不显著。鸢尾处理在 7 月 15 日总氮出现了快速下降, 主要是因为这期间植物快速分蘖繁殖, 需要大量的吸收大量的氮素, 导致水体中总氮浓度迅速下降。而对除了组的总氮最终平均去除了率仅为 8.6%, 显著低于其他实验组($P < 0.05$)。

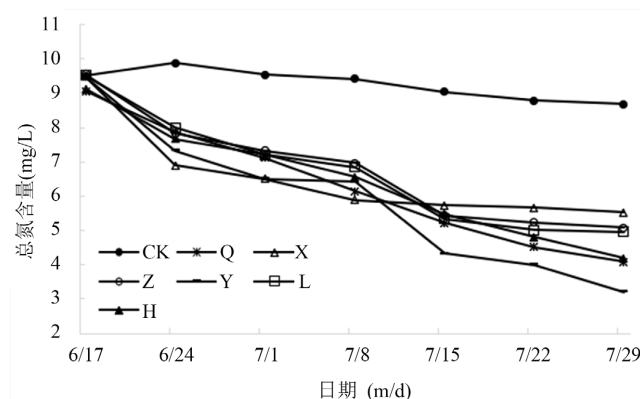


Figure 2. Variation of total nitrogen content with time in different emergent plant systems

图 2. 不同挺水植物系统中水体总氮含量随时间变化

3.3. 不同挺水植物微系统水体中总磷含量变化

在实验前期, 不同挺水植物微系统水体中总磷含量下降趋势及下降的量基本保持一致。在实验结束

时,种植不同种类水生植物的水体TP去除率在59.1%~81.3%,明显高于无植物的对照组(去除率为37.6%)。基于不同类型挺水植物处理比较分析,鸢尾对水体TP的去除效果优于其余挺水植物,且与CK达到显著差异,鸢尾对水体TP去除效果明显,去除率超过了80%(图3)。这可能是在实验前期,不同植物均在生长初期,对水体的磷元素需求量相对较少;而在实验后期,植物快速生长,部分植物出现了大量的分蘖现象,需要补充大量的营养元素,导致水体中总磷含量出现了一定的差异性。

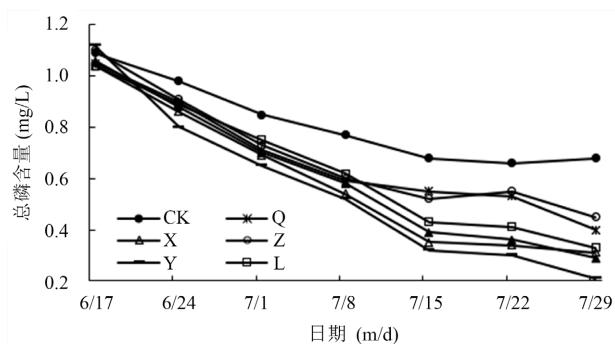


Figure 3. The variation of total phosphorus content with time in different emergent plant systems

图3. 不同挺水植物系统中水体总磷含量随时间变化

3.4. 不同挺水植物微系统中叶绿素 a 含量变化情况

叶绿素是植物及藻类光合作用的重要色素,其中又以叶绿素 a (chl a)最为重要。水环境系统中浮游藻的叶绿素 a 存在浓度可以反映出浮游藻的数量,是水体污染评价和富营养化评价中具有重要评价指标。

由图4可知,对照组所测得叶绿素 a 浓度在试验结束时,相比初始浓度出现了增加,6组不同挺水植物微系统水体中,叶绿素 a 在实验初期的波动较大;在实验结束时与初始浓度相比有明显降低。而种植鸢尾的实验组则在试验初期急剧下降后出现了一定的回升,之后下降趋于平稳,且Y处理在实验结束时 chl a 的含量最低(6.6 mg/L),较初始降低了37.1%,较CK低了54.1%,且与其他各处理达到显著差异($P < 0.05$)。对照组测得叶绿素 a 浓度随着时间一直呈现缓慢上升,其可能原因是实验时间为夏季,光照强烈,温度较高,水体中氮磷含量丰富,满足了藻类快速繁殖的条件,因此CK处理的 chl a 浓度呈逐步上升趋势,导致最终试验结束时所测浓度显著高于起始浓度。

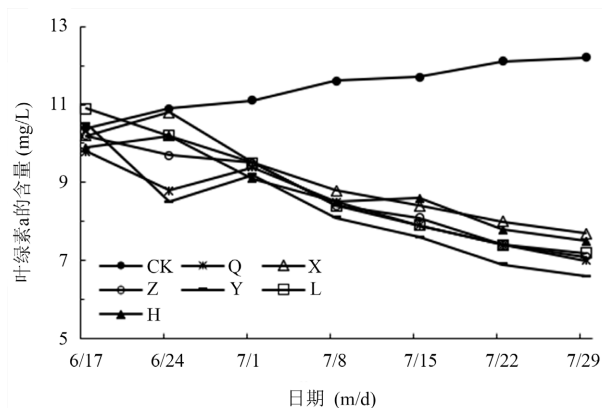


Figure 4. Changes in chlorophyll a concentration in different emergent plant systems

图4. 不同挺水植物系统中叶绿素 a 浓度变化

4. 结论

1) 挺水植物系统中的水体的波动范围明显小于无植物的 CK, 水体整体表现较为稳定。千屈菜处理组的 pH 下降最为明显, 其次是鸢尾处理组。

2) 不同挺水植物微系统水体中氮磷含量逐渐下降。实验初期, 挺水植物微系统中的总氮含量快速下降, 随着实验的进行, 总氮的去除速度逐渐变缓; 实验结束时, 植物组对总氮的去除效果都优于未种植的对照组。基于不同类型挺水植物处理比较分析, 鸢尾对水体 TP 的去除效果优于其余挺水植物, 且与 CK 达到显著差异。

3) 在实验结束时, 不同植物处理微系统水体中 chl a 的浓度较初始浓度明显下降。对照组所测得叶绿素 a 浓度在试验结束时, 相比初始浓度出现了增加。

综合分析, 不同挺水植物形成的微系统能有效改善水质条件, 抑制水体中藻类的繁殖, 其中以种植鸢尾的效果最佳。

基金项目

陕西地建 - 西安交大土地工程与人居环境技术创新中心开放基金资助项目(2021WHZ0093)。

参考文献

- [1] 李祚泳, 丁晶. 环境质量评价原理与方法[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [2] 刘录三, 黄国鲜, 王璠, 等. 长江流域水生态环境安全主要问题、形势与对策[J]. 环境科学研究, 2020, 33(5): 1081-1090.
- [3] 陈双, 王国祥, 许晓光, 等. 水生植物类型及生物量对污水处理厂尾水净化效果的影响[J]. 环境工程学报, 2018, 12(5): 1424-1433.
- [4] 洪瑜, 王英, 王芳, 等. 不同水生植物组合对稻田退水的氮磷净化效果[J]. 环境科学与技术, 2020, 43(3): 110-115.
- [5] Wang, C., Zheng, S.S., Wang, P.F., *et al.* (2014) Effects of Vegetations on the Removal of Contaminants in Aquatic Environments: A Review. *Journal of Hydrodynamics, Serice B*, **26**, 497-511. [https://doi.org/10.1016/S1001-6058\(14\)60057-3](https://doi.org/10.1016/S1001-6058(14)60057-3)
- [6] Kadlec, R., Knight, R., Vymazal, J., *et al.* (2002) *Constructed Wetlands for Pollution Control*. IWA Publishing, London, 93-102.
- [7] 彭少麟. 南亚热带退化生态系统恢复和重建的生态学理论和应用[J]. 热带亚热带植物学报, 1996, 4(3): 36-44.
- [8] 林娟, 殷全玉, 杨丙钊, 等. 植物化感作用研究进展[J]. 中国农学通报, 2007, 23(1): 68-72.
- [9] 濮培民, 王国祥, 李正魁, 等. 健康水生态系统的退化及其修复理论、技术及应用[J]. 湖泊科学, 2001, 13(3): 193-203.
- [10] 蔡玲, 张浩, 陈宇. 挺水植物与浮叶植物在苏北湿地景观中的应用[J]. 基因组学与应用生物学, 2019, 38(11): 5131-5135.
- [11] 樊恒亮, 谢丽强, 宋晓梅, 等. 沉水植物对水体营养的响应及氮磷积累特征[J]. 环境科学与技术, 2017, 40(3): 42-48.
- [12] Zhang, C.B., Liu, W.L., Pan, X.C., *et al.* (2014) Comparison of Effects of Plant and Biofilm Bacterial Community Parameters on Removal Performances of Pollutants in Floating Island Systems. *Ecological Engineering*, **73**, 58-63. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.09.023>
- [13] 张海燕, 唐迎洲, 顾建英. 水生态系统净水效果研究进展评述[J]. 环境科学与技术, 2016, 39(1): 79-86.