

水生动物群落配置对富营养化水体控制的研究进展

任燕玲, 罗国宇, 白大林, 王顺司, 戴孟翰, 王海涛

成都工业学院, 四川 成都
Email: 1939841623@qq.com

收稿日期: 2021年8月25日; 录用日期: 2021年9月11日; 发布日期: 2021年9月27日

摘要

水生动物群落配置能够有助于实现对富营养化水体的净化与修复, 而且比单一水生动物的效果更加显著。笔者阐述了水生动物对水体净化功能的发展进程、各类水生动物的环境净化作用机理, 不同类型的水生动物配置对富营养污染水体的净化效果, 提出水生动物在富营养化水体净化应用中亟待重视的相关问题, 展望水生动物配置体系的物质、能量输入输出结构, 不同程度污染的修复, 周年性的修复作用等方面的发展前景。

关键词

富营养化水体, 水生动物, 群落配置

Research Progress of Aquatic Animal Community Configuration on the Control of Eutrophic Water Bodies

Yanling Ren, Guoyu Luo, Dalin Bai, Shunsi Wang, Menghan Dai, Haitao Wang

Chengdu Technological University, Chengdu Sichuan
Email: 1939841623@qq.com

Received: Aug. 25th, 2021; accepted: Sep. 11th, 2021; published: Sep. 27th, 2021

Abstract

The configuration of aquatic animals can help to achieve the purification and repair of eutrophic water bodies, and the effect is more significant than that of single aquatic animals. The author el-

borated on the development process of aquatic animals' purification function of water bodies, the environmental purification mechanism of various aquatic animals, and the purification effects of different types of aquatic animal configurations on eutrophic polluted water bodies, and proposed that aquatic animals are urgently needed in the application of eutrophic water purification. Relevant issues that we pay attention to, look forward to the development prospects of the material and energy input and output structure of the aquatic animal allocation system, the restoration of different degrees of pollution, and the annual restoration.

Keywords

Eutrophic Water Body, Aquatic Animals, Community Configuration

Copyright © 2021 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. 引言

随着工业革命的更替,人类活动愈加频繁,工农业、生活污水中的氮磷元素大规模涌入湖泊、水库,引起了水体中各种藻类、浮游生物的过度繁殖,降低了水体中溶解氧的含量,抢夺了其它水生动植物的生存空间,打破了水体原有的生态平衡,水环境中的富营养化问题也日益凸显。寻求恢复和改善生态系统环境功能性的有效途径显得十分迫切。

水生动物作为水生生态系统食物链中的重要一环,经研究发现,滤食性鱼类、浮游动物、底栖动物均有克藻效应,对于水体中氮磷富营养物质的转移与富集有显著的效果。已被证实是一种维护费用低、处理效果好、不存在二次污染,能够集景观改善与环境绿化相结合的最值得期待的富营养化水体治理技术。近年来,国内外学者不断探寻试验,得到了数种针对富营养化水体净化效果显著的水生动物,此外,通过对比发现,多种水生动物群落优化配置的净水效果明显优于单一水生动物。笔者就水生动物的净化机理、净化效果进行介绍,针对水生动物群落配置开展论述,以期为水生动物修复富营养化水体提供可行依据。

2. 水生动物对水体净化功能研究进展

Shapiro [1]于1975年提出生物操纵(即食物网操纵)技术,主要是通过改变水生系统中鱼类群落的组成结构:通过提高肉食性鱼类比例亦或是降低滤食浮游生物鱼类比例以期增大浮游动物种群数量,从而降低藻类生物量,达到净化水质的目的。1985年、1986年Carpenter与Mcqueen [2] [3]相继提出了基于营养物质-浮游植物-浮游动物-鱼类营养级结构的营养级联反应、上行/下行反应。以上理论均是基于生物操纵的理念,希望达到调控浮游生物结构的作用。此后,在此基础上相关学者提出了通过控制水体中鲢鳙等滤食性鱼类的比例直接去除藻类物质的非经典生物操纵法[4]。

根据水生动物的生活方式,通常可以将其分为以下三大类:浮游动物、鱼类、底栖动物。目前,关于这三大类水生动物净化富营养化水体的研究较多,常见的用于净水研究的水生动物见表1。

3. 水生动物的净化机理

大量文献显示,水生动物可通过滤食或者刮食作用去除水体中浮游植物、颗粒物等,从而有效改善水体透明度,高效降低营养物质浓度,对水体净化具有显著效果。

Table 1. Aquatic animals
表 1. 水生动物

| 类型 | 常见种类 |
|------|----------------|
| 浮游动物 | 水蚤、蚤状溞、轮虫 |
| 鱼类 | 鲢鱼、鳙鱼、鳊鱼 |
| 底栖动物 | 铜锈环棱螺、河蚌、中华圆田螺 |

3.1. 浮游动物

浮游动物是所有悬浮在水中的小型水生动物的统称，是将有机物由初级生产转移向更高营养级的关键环节。相关研究表明植食性浮游动物在净化富营养化水体领域成效显著，主要表现为浮游动物对藻类的摄食作用推动生态系统的物质循环与能量流动。经研究发现，浮游动物主要通过滤食和捕食两种方式进行摄食。霍元子[5]通过人工驯化大型溞得到了一种可以快速滤食掉藻类的食藻虫，可以将修复区内的水华藻类有效地滤除。陈鸣钊[6]将大型溞(*Daphnia*)和方形网纹溞投入到长春南湖中来降低富营养化的工程试验取得了很好的效果。此外，还发现浮游动物的密度与各门类浮游植物的密度和生物量方面具有显著的相关性，轮虫主要优先摄食粒径较小的藻类，比如隐藻、甲藻、蓝藻、绿藻等，枝角类、桡足类大型浮游动物对于 35 μm 以上的有机颗粒物摄食效果显著[7]。

3.2. 鱼类

鲢、鳙鱼是中国特有的生态净水鱼类，先后有 27 个国家引进用于富营养化水体的生物净化，均收到良好的效果[8]。利用鲢、鳙控制藻类的想法来源于滤食性鱼类所特有的摄食器官。譬如，白鲢具有海绵状鳃耙，鳊鱼具有梳状鳃耙，可以有效过滤 0.01~1 mm 之间的藻类、浮游生物等颗粒物，并且鲢、鳊的鳃耙滤水效率极高，平均滤水量达 589.5 L/(h·kg)，此外鲢、鳊的肠道足够长，有效保障了对滤食物的高消化率。李元鹏等[9]研究发现，当放养鲢、鳊比例为 3:1 时，水体中 TP、NH₃-N、TN 和 COD_{Mn} 的去除效应十分明显。此外陈玲玲[10]通过模拟实验发现鳊鱼与鲢鳊鱼混养一方面通过生物相迁移能有效降低系统磷含量，另一方面氮元素的去除作用主要是通过鱼类摄食吸收氮素的微囊藻或者氮素溶解于沉积腐殖质。

3.3. 底栖动物

底栖动物属于湖泊生态系统中的次级消费者，促进了湖泊生态系统中的物质循环和能量流动，具有重要的生态功能性。通常将底栖动物划分为寡毛类、软体动物、水生昆虫三类。目前利用底栖动物修复富营养化水体已有一些报道。1987 年，Fukuhara [11]研究发现关于摇蚊幼虫和颤蚓的存在对于富营养化湖泊沉积物中氮磷释放的影响。刘煌[12]等人探究了大型溞对于富营养化水体的修复作用，结果表明可以有效降低 Chl-a、TP、SRP 等水质参数，水体富营养化状态消除。卢晓明[13]采用河蚌、螺蛳两种底栖软体动物修复富营养化河水，结果表明生物修复对于学需氧量、氨氮、总磷、叶绿素 a 等有一定的去除效果。且当停留时间为 3 天，曝气充氧条件下，当螺蛳和河蚌的放养密度分别为 35~70 个/m² 和 3~7 个/m² 时净水效果最好，河蚌较螺蛳而言，其净化效果更好。根据之前大量的文献可以知道，底栖动物的净水机理主要是通过自身滤食作用快速分解和利用底部的有机碎屑，对于泥-水界面的物质交换具有调控作用，从而促进水体自净[14]；同时底栖动物在湖泊生态系统食物链中也占据着至关重要的环节，另外部分大型底栖动物具有一定经济价值，比如螺、贝、蚌等。

4. 水生动物群落配置对于富营养化水体研究现状

鉴于水生系统中各生物种群对于富营养化水体的净化均取得了一些成效,且不同的生物种群的生活习性与食性存在差异,修复富营养化水体的机理也各不相同,如若将这些水生动物进行组合是否能够较单一物种对富营养化水体的修复效果更优呢?

通过文献调研,我们发现目前针对组合型水生动物来解决富营养化水体的案例较少且主要是同种之间的水生动物的组合,但可喜的是这些研究一定程度上表示了水生动物配置对于富营养化水体的净化有着正向积极作用。张国栋[15]等文章表明鲢鳙鱼对富营养化水体的水质净化有显著的作用。试验结果显示,当鲢鱼密度为 50.3 g/m^3 , 鲢鳙比例为 4:1 时,叶绿素 a 含量为 $9.7 \mu\text{g/L}$, 降低了 61.43%; TN 浓度为 2.43 mg/L , 降低了 67.21%; TP 浓度为 0.091 mg/L , 降低了 76.79%; 高锰酸钾指数为 5.35 mg/L , 降低了 38.79%。李梅[16]等研究了在河蚌、螺蛳投加密度 $4 + 35 \text{ 只/m}^2$ 的条件下, TN 浓度为 0.816 mg/L , 下降了 33.71%, TP 浓度为 0.034 mg/L , 下降了 33.33%, $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度为 0.816 mg/L , 下降了 21.46%, COD_{Mn} 浓度为 4.470 mg/L , 下降了 25.34%, 藻类密度仅 1947 万个/L。陈桐[17]等研究了鱼类、底栖动物和水生植物不同组合在野外原位围隔模拟条件下对于富营养化水体的修复能力。根据研究结果表明当鲢鱼与鳙鱼的比例介于 3:1 至 5:1 时, TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 、TP 和 PO_4^{4-} 的去除率的保持在 66.39% 至 73.65%; 鲮鱼对水体中磷元素的去除效果显著, TP 和 PO_4^{4-} 的去除率可分别提高 13.89% 和 7.91%; $150 \text{ g}\cdot\text{m}^2$ 密度螺和蚌的投加对 TN 的去除率可达 72.60%。

5. 利用水生动物治理富营养化水体存在的问题

到目前为止,利用水生动物修复富营养化水体存在很多的局限性:一是利用水生动物修复水体的研究大多停留在实验室小试阶段,实验周期约一个月,能量、物质的输入输出基本靠人为支持,所以对水生动物净化富营养化水体的研究并没有形成周年性的高效水生动物治理体系,而且这些研究没有说明水生动物的后期处置问题,动物死后可能造成二次污染;二是不同区域水体受富营养化的程度不同,对这一区域富营养化水体具有净化修复功能的水生动物并不一定适用于另一区域水体;三是水生动物修复富营养化水体需要考虑水生动物的适应性、入侵性,既保证不对本地原有生态系统造成威胁又要对污染水体具有很强的适应能力。

6. 展望

浮游动物、底栖动物、鱼类通过食物链形成拥有独立的物质、能量输入输出结构,能够做到对不同程度污染都具有周年性的修复作用。

综上所述,利用水生动物治理富营养化水体已经取得了巨大进展,已被证明是一种有效、合理的修复富营养化水体途径之一,富营养化水体的生态修复具有很高的应用前景,以后应寻找更合理的水生动物配置体系应用于富营养化水体修复。

基金项目

成都工业院校级科研项目,“微型生态”-富营养化水体修复实验装置,项目编号:2021ZR036。

参考文献

- [1] Shapiro, J. (1975) *Bio-manipulation: An Ecosystem Approach to Lake Restoration*. University of Florida, Gainesville.
- [2] Carpenter, S.R., Kitchell, J.F., Hodgson, J.R., et al. (1987) Regulation of Lake Primary Productivity by Food Web Structure. *Ecology*, **68**, 1863-1876. <https://doi.org/10.2307/1939878>
- [3] McQueen, D. (1986) Trophic Relationships in Freshwater Pelagic Ecosystems. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **43**, 1000-1008.

- uatic Sciences*, **43**, 1571-1581. <https://doi.org/10.1139/f86-195>
- [4] 刘建康, 谢平. 揭开武汉东湖蓝藻水华消失之谜[J]. 长江流域资源与环境, 1999(3): 85-92.
- [5] 霍元子, 何文辉, 罗坤, 等. 大型溇引导的沉水植被生态修复对滴水湖水质的净化效果[J]. 应用生态学报, 2010, 2(21): 495-499.
- [6] 陈鸣钊. 浮动生物滤清器及其应用[J]. 环境科学动态, 1997(2):17-18.
- [7] 万莉. 四明湖水库浮游生物群落结构及其动态[D]: [硕士学位论文]. 宁波: 宁波大学, 2014.
- [8] 詹新生, 王乐平. 滤食性鱼类对大水面水体的净化作用分析[J]. 河南水产, 2019(4): 37-39.
- [9] 李元鹏, 于惠莉, 顾学林, 等. 鲢鳙鱼原位修复水库水质的试验[J]. 净水技术, 2017, 36(10): 52-56.
- [10] 陈玲玲. 鲢鳙鱼联合操纵生态系统对水体富营养化的治理[D]: [硕士学位论文]. 苏州: 苏州科技大学, 2019.
- [11] Fukuhara, H. and Sakamoto, M. (1987) Enhancement of Inorganic Nitrogen and Phosphate Release from Lake Sediment by Tubificid Worms and Chironomid Larvae. *Oikos OIKSAA*, **48**, 312-320. <https://doi.org/10.2307/3565519>
- [12] 刘煌, 曹琳, 许国静, 等. 大型溇强化生物操纵修复富营养化水体研究[J]. 环境科学与技术, 2020, 43(2): 156-161.
- [13] 卢晓明, 金承翔, 黄民生, 等. 底栖软体动物净化富营养化河水实验研究[J]. 环境科学与技术, 2007(7): 7-9.
- [14] 杨明生. 武汉市南湖大型底栖动物群落结构与生态功能的研究[D]: [博士学位论文]. 武汉: 华中农业大学, 2009.
- [15] 张国栋. 利用鲢鳙鱼及水生植物控制平原水库富营养化的研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 青岛理工大学, 2011.
- [16] 李梅, 张克峰, 任杰, 等. 底栖动物净化水库水试验[C]//中国环境科学学会 2019 年科学技术年会——环境工程技术创新与应用分论坛. 西安, 2019: 149-152.
- [17] 陈桐, 张毅敏, 高月香, 等. 鱼类、底栖动物和水生植物的不同组合对水质净化效果的原位围隔实验[J]. 环境工程学报, 2016, 10(10): 5511-5520.