

研究简报

水芹对富营养化水体的净化效果研究

宋超, 刘盼, 朱华, 张清靖, 贾成霞

[国家淡水渔业工程技术研究中心(北京)暨北京市水产科学研究所, 北京 100068]

Research of Purification Effect on Eutrophic Water by *Oenanthe javanica*

SONG Chao, LIU Pan, ZHU Hua, ZHANG Qing-jing, JIA Cheng-xia

[National Engineering Research Center for Freshwater Fisheries (Beijing) and Beijing
Fisheries Research Institute, Beijing 100068, China]

摘要:利用聚乙烯板作为浮床栽植水芹(*Oenanthe javanica*),观测其对4组不同富营养化程度水体的净化效果。结果表明,水芹对总磷(TP)有较好的去除效果,初始浓度越高去除率越低,去除率范围53.3%~84.0%;水芹对低于5 mg/L的总氮(TN)有较好的去除效果,去除率也随初始浓度升高而降低,去除率范围36.1%~85.7%,如果总氮浓度过高(达到20 mg/L左右),去除效果不明显。试验组氨氮($\text{NH}_3\text{-N}$)的浓度虽然有明显的降低,但与对照组比没有明显优势,水芹对亚硝酸盐氮($\text{NO}_2\text{-N}$)的去除作用不明显,硝化细菌对氨氮和亚硝酸盐氮的去除起主要作用,水芹通过降低水中总氮水平对氨氮和亚硝酸盐氮有一定间接的去除作用。在整个试验过程中,各组高锰酸盐指数(COD_{Mn})维持在较低水平(<3 mg/L),未观察到栽植水芹对高锰酸盐指数的降低作用。

关键词:水芹;富营养化;净化

中图分类号:X52 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2011)03-0145-04

我国60%以上的湖泊处于严重富营养化状态,2007年太湖蓝藻事件又一次引起了全国范围内的高度关注,控制水体富营养化已经成为当今世界各国关注和重视的水环境问题。水体富营养化的根本原因是营养物质增加,主要是氮和磷,可能还有碳、微量元素和维生素等(李效宇,2007)。目前,对水体富营养化的控制措施主要有物理方法、投放化学药品和生物调控3种。由于物理和化学控制方法成本高,效用时间短,对生态环境本身有一定潜在威胁,生物调控方法受到越来越多的重视。

生态浮床技术是一种利用植物对水质进行生物调控的新技术,该技术把高等水生植物或改良的陆生植物,以浮床作为载体,种植到污染水体的水面,

通过植物根部的吸收、吸附作用和物种竞争相克原理,去除水体中的氮、磷、有机污染物和重金属,达到净化水质的效果,同时又可营造水上景观(井艳文等,2003)。目前,该技术已经在闭锁性水域有较多的应用并取得一定效果(Salmon et al,1998; Forni et al,2001;屠清瑛等,2004;Li et al,2007)。

水芹(*Oenanthe javanica*)属伞形花科水芹属,为水生宿根草本植物,性喜凉爽,忌炎热干旱,15~20℃生长最快,5℃以下停止生长,能耐短期0~-5℃低温。水芹营养丰富,含有多种维生素和矿物质,富含植物纤维,中医认为其有一定食疗作用(李彦连,2007)。现在我国中部和南部栽培较多,以江西、浙江、广东、云南和贵州栽培面积较大,在北方仅作为特菜有少量种植和销售,有较大的潜在市场。

本研究利用生态浮床水培技术,以一定浓度富营养水体模拟小型水体,以漂浮的聚乙烯板材作为载体,在其表面栽植水芹,在实验室条件下对水芹净化富营养化水体的效果进行初步研究,旨在为富营养化水体污染防控提供有效方法,净化水质的同时收获特菜,在保护环境的同时获得经济收益。

收稿日期:2011-01-26 收修改稿日期:2011-04-19

基金项目:现代农业产业技术体系建设专项资金资助(CARS-46-26);北京市农村工作委员会资助(NO. 20080112)。

通讯作者:朱华。E-mail: zhuhua@bjfishery.com

作者简介:宋超,1981年生,女,硕士,工程师,主要从事渔业生态与环保的研究。E-mail: mimikit@163.com

1 材料和方法

1.1 材料

浮板材料为聚乙烯珍珠棉,规格 800 mm × 500 mm × 30 mm,每块浮板上均匀打 24 个直径 3 ~ 4 cm 的圆孔。水芹挑选大小均匀的植株,株高约 20 cm,每株鲜重 10 ~ 15 g。

1.2 方法

所有水芹在霍格兰培养液中驯化 2 周后开始试验。栽种时将水芹的根部泥沙冲洗干净,以过滤棉为基质,扦插于聚乙烯板孔内,使水芹的根部浸入水中,茎叶外露浮板之上。

选用规格 2 m × 1 m × 1 m 的玻璃纤维缸,每缸注水 1.5 m³。氮和磷均设置 4 个不同的浓度梯度,配置所用药品参照霍格兰培养液,用量见表 1。梯度设计总磷和总氮浓度参照《地表水环境质量标准 GB3838-2002》,浓度 1 为Ⅲ类水标准,浓度 2 为Ⅴ类水标准,浓度 4 为严重富营养化鱼缸中 N 和 P 的实测水平,浓度 3 取浓度 2 和浓度 4 的过渡浓度。试验水体除 N、P 元素外,其他营养元素的含量按照霍格兰培养液设置。

表 1 氮磷营养元素的浓度梯度设计

Tab.1 Concentration design of nitrogen and phosphorus

	mg/L			
指标	浓度 1	浓度 2	浓度 3	浓度 4
TP(以磷酸盐计)	0.2	0.4	0.8	2.0
TN	1.0	2.0	10.0	25.0
NH ₃ -N(以 NH ₄ ⁺ 计)	0.09	0.18	0.37	0.925
NO ₃ ⁻ -N	0.91	1.82	9.63	24.075

每个梯度设 2 组平行,试验组每缸内置 3 个聚乙烯浮板,每块浮板上种植 24 株水芹。每个梯度设一对照组,对照组内放置相同的浮板,不种植物。

试验持续 75 d,水温维持在 16 ~ 18℃,每周监测 TP、TN、氨氮(NH₃-N)、亚硝酸盐氮(NO₂⁻-N)和高锰酸盐指数(COD_{Mn})的变化。各项指标的测定按照《水和废水监测分析方法》(国家环保总局《水和废水监测分析方法》编委会,2002)进行,总磷采用钼锑抗分光光度法,总氮采用过硫酸钾氧化紫外分光光度法,氨氮采用水杨酸-此铝酸盐光度法,亚硝酸盐氮采用 N-(1-萘基)-乙二胺光度法,高锰酸盐指数采用酸性法。

2 结果与分析

2.1 水芹对营养盐的去除效果

2.1.1 对总磷的去除效果 各试验组 TP 初始实

测浓度较设定为高,1 ~ 4 组分别为 0.4、0.84、1.41 和 2.11 mg/L,均高于《地表水环境质量标准 GB3838-2002》规定的Ⅴ类水标准(0.4 mg/L)。各组水体总磷浓度变化见图 1a。各试验组和对照组 TP 浓度均明显降低,各浓度试验组 TP 的去除率均高于对照组,与对照组相比,1 ~ 4 各试验组 TP 去除率分别提高了 8.0%、17.8%、24.9% 和 8.9%。试验进行 30 d 后,试验组 1 中的 TP 达到了Ⅰ类标准(<0.1 mg/L),试验组 2 达到了Ⅱ类标准(<0.2 mg/L),试验组 3 达到了Ⅴ类标准。1 ~ 4 试验组水芹去除的总磷占浮床系统去除总量的百分比分别为 9.5%、21.6%、34.2% 和 16.6%,表明在水面栽植水芹对于降低富营养化水质中 TP 有一定作用。

水芹对 TP 的去除速率和浓度有关,浓度越大,去除速率越快。1 组 ~ 3 组在试验进行的前 30 d 对 TP 的去除速率较快,随后有逐渐减缓的趋势,高浓度的第 4 组 TP 的去除速率始终较快,整个试验周期内没有明显变化,这可能与 1 ~ 3 组水中的营养物质被消耗有关。浓度 1 ~ 浓度 4 各试验组 TP 去除量

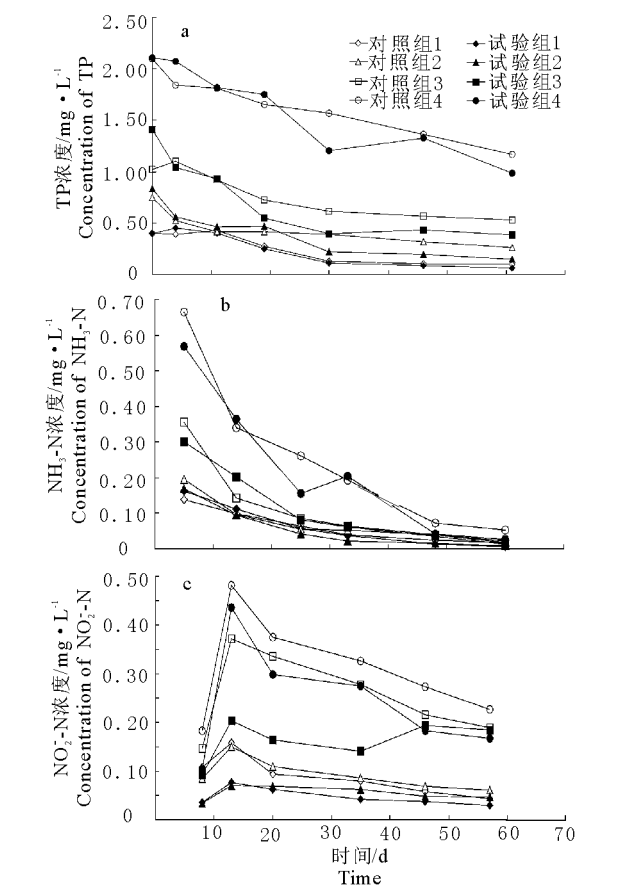


图 1 各组水体总磷、氨氮和亚硝酸盐氮浓度变化
Fig.1 Concentration changes of total phosphorus, ammonia nitrogen and nitrous nitrogen in each water

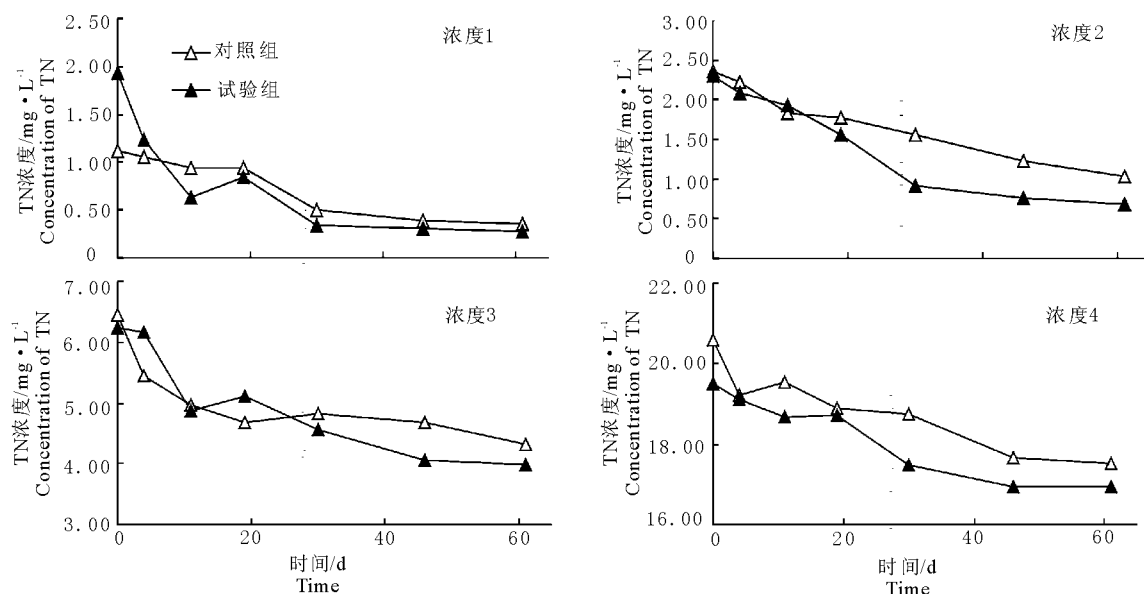


图 2 各组水体总氮浓度变化

Fig. 2 Concentration changes of total nitrogen in each water

分别为 0.33、0.69、1.03 和 1.13 mg/L,去除率为 84.0%、82.5%、72.8% 和 53.3%,浓度越大,TP 去除量越多,但去除率降低。

2.1.2 对总氮的去除效果 浓度 1 ~ 浓度 4 各试验组初始实测 TN 浓度分别为 1.93、2.29、6.23 和 19.94 mg/L,均接近或高于《地表水环境质量标准 GB3838 - 2002》规定的 V 类标准 (2 mg/L)。试验进行 30 d 后,试验组 1 中的 TP 达到了 II 类标准 (< 0.5 mg/L),试验组 2 达到了 III 类标准 (< 1.0 mg/L),试验组 3 和试验组 4 TN 浓度也有一定降低。

各组水体总氮浓度变化见图 2。浓度 1 ~ 浓度 4 各试验组 TN 去除量分别为 1.65、1.61、2.25 和 2.55 mg/L,而对照组的去除量分别为 0.77、1.33、2.13 和 3.05 mg/L,与对照组相比,浓度 1 ~ 浓度 4 各试验组 TP 去除量分别提高了 17.2%、13.7%、3.0% 和 -1.7%,1 ~ 4 试验组水芹去除总氮分别占浮床系统去除总量的 20.0%、19.6%、8% 和 -13%。可见随着水体中 TN 浓度的升高,总氮的去除率降低,水芹对低于 5 mg/L 的富营养化水体的净化效果明显,对高浓度 TN 的水体净化效果不明显。原因可能是植物吸收 N 的能力有限,有限的水芹难以吸收过量的氮,对水体总氮浓度影响不大。

2.1.3 对氨氮和亚硝酸盐氮的去除效果 各组水体氨氮浓度变化见图 1b。各组水中氨氮水平都有明显的下降,去除率均达到 87% 以上,水芹在氨氮去除中所做的贡献不大,浓度 1 ~ 浓度 4 试验组和对照组相比,氨氮的去除率只提高了 9.3%、5.4%、

0.4% 和 3.1%,水芹去除氨氮占总去除量的 9.6%、5.7%、0.4% 和 3.2%。植物不能直接利用氨氮,硝化细菌将氨氮转化为亚硝酸盐和硝酸盐,是氨氮浓度降低的主要原因 (Todd & Lawrence, 1998; 靖元孝和杨丹菁, 2004)。

各组水体亚硝酸盐氮的浓度变化见图 1c。栽种水芹的试验组亚硝酸盐氮的浓度均普遍低于对照组,但去除率没有明显优势。在试验开始 2 周左右各组亚硝酸盐的含量达到最高值,之后逐渐下降。配置培养液的时候未添加亚硝酸盐,水中的硝酸盐氮和氨氮转化为亚硝酸盐,导致水中亚硝酸盐氮的含量迅速升高,2 周左右硝化细菌开始大量繁殖,消耗水中的亚硝酸盐氮,使水体亚硝酸盐氮浓度达到峰值后又缓慢降低。植物只能通过间接途径减少氨氮和亚硝酸盐氮的含量,原因是只有硝酸盐氮能被植物直接利用,通过水中各种形态的氮元素的相互转化,硝酸盐氮含量降低,也间接的使亚硝酸盐氮和氨氮等其他形态的氮含量降低。

2.2 水芹对高锰酸钾指数的影响

各组水体高锰酸盐指数的变化见图 3。对照组的 COD_{Mn} 水平普遍高于对照组,但各组 COD_{Mn} 的变化一直处于波动中,变化规律不明显。与对照组相比,栽种水芹的试验组并没有降低 COD_{Mn} 的优势。在整个试验过程中所有 COD_{Mn} 均较低,接近或优于 I 类地表水标准 (< 2 mg/L),不是水体的主要污染指标。高锰酸盐指数综合反应地表水水体受有机污染物和还原性无机物污染的程度,试验水体没有添加有机污染物,还原性无机物主要有亚硝酸盐、铵和亚

铁离子等,这些无机物的含量较低,使得高锰酸盐指数整体较低。

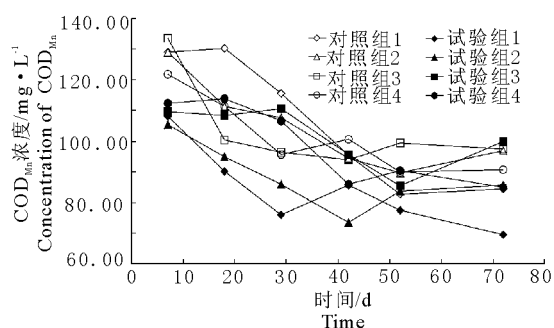


图3 各组水体高锰酸钾指数(COD_{Mn})的变化

Fig.3 Concentration changes of permanganate index (COD_{Mn}) in each water

3 讨论

试验中各组水芹的成活率都非常高,均达到95%以上。从水芹的生长状况来看,氮、磷浓度越高水芹生长越旺盛。生态浮床技术不仅能够有效地去除养殖水体中的氮、磷等营养物质,改善水体环境,而且种植的水芹污染少、口感好,具有很好的经济效益。

利用生态浮床修复技术净化水体富营养化污染是一种具有潜力的、经济方便的技术手段,但对于富营养化特别严重的水体净化效果有限,为达到较好的治理效果需要同其他控制措施相结合,如与硝化细菌等微生态制剂联用,将会取得更好效果。

参考文献

国家环保总局《水和废水监测分析方法》编委会. 2002. 水和废水监测分析方法[M]. 4版. 北京:中国环境科学出版社.

- 井艳文,胡秀琳,许志兰,等. 2003. 利用生物浮床技术进行水体修复研究与示范[J]. 北京水利, (6): 20-22.
- 靖元孝,杨丹菁. 2004. 风车草(*Cyperus alternifolius*)人工湿地系统氮去除及氮转化细菌研究[J]. 生态科学, 23(1): 89-91.
- 李效宇. 2007. 微囊藻毒素及其毒理学研究[M]. 北京:科学出版社.
- 李彦连. 2007. 野生蔬菜水芹栽培技术[J]. 上海蔬菜, (3): 57-58.
- 屠清瑛,章永泰,杨贤智. 2004. 北京什刹海生态修复实验工程[J]. 湖泊科学, 16(1): 61-67.
- Forni C, Chen J, Tancionil L, et al. 2001. Evaluation of the fern *Azolla* for growth, nitrogen and phosphorus removal from wastewater [J]. Water Research, 35(6): 1592-1598.
- Jing Y S, Yang D Q. 2004. Nitrogen removal and nitrogen-transformation bacteria in *Cyperus alternifolius* constructed wetland[J]. Ecological Science, 23(1): 89-91.
- Li M, Wu Y J, Yu Z L, et al. 2007. Nitrogen removal from eutrophic water by floating-bed-grown water spinach (*Ipomoea aquatica* Forsk.) with ion implantation [J]. Water Research, 41: 3152-3158.
- Salmon C, Crabos J L, Sambuco J P, et al. 1998. Artificial wetland performances in the purification efficiency of hydrocarbon wastewater[J]. Water Air and Soil Pollution, 104: 313-329.
- Todd Li, Lawrence A B. 1998. Nitrate removal in wetland microcosms[J]. Water Research, 32(3): 677-684.
- Tu Q Y, Zhang Y T, Yang X Z. 2004. Approaches to the ecological recovery engineering in Lake Shishahai, Beijing [J]. Journal of Lake Science, 16(1): 61-67.

(责任编辑 杨春艳)