

文章编号: 1000-5013(2011)03-0309-04

3 种浮床植物系统对富营养化水体中藻类的抑制效果

周真明¹, 梅玉龙², 叶青¹, 沈春花¹, 赵志领¹

(1. 华侨大学 土木工程学院, 福建 泉州 362021;
2. 绿城东方建筑设计有限公司, 浙江 杭州 310012)

摘要: 以叶绿素 a、藻类密度表征水体藻类含量,通过静态试验,研究风车草(*Cyperus alternifolius*)、菖蒲(*Acorus calamus*)和富贵竹(*Dracaena sanderiana*)3 种浮床植物系统对富营养化水体中藻类的抑制效果. 结果表明:风车草、菖蒲和富贵竹对叶绿素 a 的平均抑制率分别为 42.6%,36.7%和 18.7%,对藻类密度的平均抑制率分别为 45.4%,39.9%和 23.3%;3 种浮床植物系统对叶绿素 a、藻类密度的抑制效果与空白对照组对比存在显著差异($P<0.05$). 风车草对蓝藻、绿藻、硅藻和铜绿微囊藻的平均抑制率分别 40.1%,24.8%,32.3%和 29.8%;而菖蒲则分别为 38.2%,34.2%,30.1%和 27.6%.

关键词: 富营养化;浮床植物系统;藻类;抑制效应

中图分类号: X171.4; Q 949.99

文献标志码: A

浮床植物系统修复富营养化的水域,具有投资少、风险小、不产生再次污染等优点,从而受到了人们的青睐^[1]. 浮床植物系统抑藻的途径主要有遮光,减少水体中的营养盐和化感作用^[2]. 操家顺等^[3]研究表明,水雍菜(*Ipomoea aquatica*)对重污染河道水体中藻类抑制率为 88.8%. 鲜啟鸣等^[4]研究表明,金鱼藻(*Ceratophyllum demersum* L.)、微齿眼子菜(*Potamogeton maackianus* A. Benn)和枯草(*Vallisneria spiralis* L.)具有较强的克藻效应. 李磊等^[5]研究表明,荷花(*Nelumbo nucifera*)和睡莲(*Nymphaea tetragona*)对铜绿微囊藻有一定的抑制作用. 张维昊等^[6]研究表明,菖蒲(*Acorus calamus*)对铜绿微囊藻有较好的抑制效果. 刘佳等^[7]研究表明,水葫芦(*Eichhornia crassipes*)、金鱼藻(*Ceratophyllum demersum*)和浮萍(*Lemna minor*)都具有较好的抑制藻类生长作用. 目前,这方面的研究主要集中在对藻类总体或某一特定藻的抑制效果,但对蓝藻、绿藻、硅藻抑制效果的研究鲜见报道. 因此,本文通过静态试验,考察 3 种浮床植物系统对蓝藻、绿藻、硅藻以及水华发生常见的铜绿微囊藻的抑制效果.

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验选用风车草(*Cyperus alternifolius*)、菖蒲(*Acorus calamus*)和富贵竹(*Dracaena sanderiana*)3 种浮床植物. 所有的植物来自土培苗,苗高 15 cm 左右,经除土洗净后移植到试验水体中. 实验水箱材料为塑料,使用前用原水浸泡数天.

1.2 试验设计

试验在实验水箱中进行,实验水箱尺寸为 80 cm×60 cm×80 cm(长×宽×高),水箱中盛放试验原水,水深为 75 cm,水样体积为 360 L. 每个水箱水面上放置一块 75 cm×55 cm,厚 5 cm 的可降解聚苯乙

收稿日期: 2010-10-21

通信作者: 周真明(1981-),男,讲师,主要从事微污染水源水质控制技术与富营养化水体控制技术的研究. E-mail: zhenming@hqu.edu.cn.

基金项目: 福建省自然科学基金资助项目(2008J0196);福建省青年人才科研基金资助项目(2007F301040091);华侨大学科研基金资助项目(07HZR05)

烯泡沫塑料板作为浮床. 在浮床上以 20 cm×20 cm 的间距开 12 个直径为 5 cm 的定植孔, 每个定植孔中定植 1~2 株植物, 并用海绵辅助固定.

1.3 试验方法

试验共设 4 组水箱: 第 1 组为只有浮床而无植物的水箱的空白对照组; 第 2, 3, 4 组分别为风车草、菖蒲、富贵竹单元. 试验于 2008 年 3—4 月间进行, 试验时间为 35 d, 试验期间水温为 24~30 ℃, 平均水温为 27 ℃, 水温适合植物和藻类生长, 试验原水来自于福建泉州华侨大学秋中湖湖水.

试验期间, 每隔 7 d 在水箱水面下 10 cm 处取样一次, 每次每组测定 3 个样品, 能满足差异性统计检验要求. 测定水样中的藻类密度、叶绿素 a 时, 定期补充自来水以消除水分蒸发损失对试验效果的影响. 试验均在自然光照和温度下进行, 遇到雨天时, 需用透明塑料薄膜遮挡.

1.4 测定方法

采用鲁哥氏液固定、目镜视野法^[8]测定藻类密度; 采用萃取光度法^[8-9], 以 0.45 μm 醋酸纤维膜过滤, 测定叶绿素 a 的质量浓度.

1.5 数据处理

采用方差分析植物单元系统与空白对照单元系统之间抑制叶绿素 a 和藻类密度效果的差异. 浮床植物系统对叶绿素 a 和藻类密度的抑制率为

$$\eta = \frac{\rho_{0,i} - \rho_i}{\rho_{0,i}} \times 100\%.$$

式中: $\rho_{0,i}$, ρ_i 分别为第 i 天时, 空白对照单元和植物单元系统水体中的叶绿素 a 的质量浓度或藻类密度.

1.6 原水水质指标^[10]

原水水质指标: 水温为 27 ℃; pH 值为 7.8; 高锰酸盐指数为 13.97 mg·L⁻¹; 化学耗氧量(COD_{cr}) 为 45.17 mg·L⁻¹; 总氮(TN)的质量分数为 6.8 mg·L⁻¹; 总磷(TP)的质量分数为 0.26 mg·L⁻¹; 叶绿素 a 的质量分数为 224.6 μg·L⁻¹; 藻类密度为 18.2×10⁷ 个·L⁻¹. 从水质指标可以知道, 试验原水属于富营养化水体.

2 结果与分析

2.1 单元系统对叶绿素 a 的抑制效果

不同单元系统水体中叶绿素 a 质量分数变化及对叶绿素 a 的抑制效果, 如表 1 所示. 表 1 中: ρ_{ch} 为叶绿素 a 的质量浓度; η_{ch} 为植物单元系统对叶绿素 a 的抑制率. 由表 1 可知道, 风车草、菖蒲、富贵竹 3 种植物单元系统对叶绿素 a 的平均抑制率分别为 42.6%, 36.7% 和 18.7%.

表 1 不同单元系统对叶绿素 a 抑制效果

Tab. 1 Inhibitory effects of chlorophyll-a by different unit system

取样日期	$\rho_{ch}/\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$				$\eta_{ch}/\%$		
	空白	风车草	菖蒲	富贵竹	风车草	菖蒲	富贵竹
2008-03-20	224.6	224.6	224.6	224.6	—	—	—
2008-03-27	36.4	24.3	27.1	30.8	33.2	25.5	15.4
2008-04-03	110.4	63.4	70.1	90.6	42.6	36.5	17.9
2008-04-10	80.3	45.2	49.2	65.3	43.7	38.7	18.7
2008-04-17	60.5	32.3	35.6	48.2	46.6	41.2	20.3
2008-04-24	46.3	24.5	27.0	36.4	47.1	41.7	21.4

结合文献[10]的结果可知, 3 种植物对叶绿素 a 抑制率随着植物根系生物量的增加有加大趋势. 说明生长快、生物量变化大、根系发达的植物与藻类竞争营养物质能力强, 遮光效果越明显, 从而抑藻效果越明显. 方差分析结果表明, 3 种浮床植物系统对叶绿素 a 的抑制效果与空白对照组对比存在显著差异($P<0.05$), 说明植物的存在显著提高了系统抑制藻类生长的能力.

试验第 1 周, 水体中的叶绿素 a 明显下降, 主要是由于水体环境(静态和水体变小等)的骤变使得水体藻类迅速减少; 从第 2 周开始, 藻类繁殖生长, 其数量迅速增加, 水体中叶绿素 a 明显增加; 从第 3 周开始, 由于浮床植物系统抑制藻类生长, 使得水体中藻类数量逐渐减少.

2.2 单元系统对藻类密度的抑制效果

不同单元系统水体中藻类密度变化及对藻类密度抑制效果,如表 2 所示. 表 2 中: ρ_{al} 为藻类密度; η_{al} 为植物单元系统对藻类密度的抑制率.

由表 2 可知,风车草、菖蒲、富贵竹 3 种植物单元系统对藻类密度的平均抑制率为 45.4%,39.9%和 23.3%,风车草、菖蒲对藻类抑制效果好于富贵竹. 方差分析结果表明,3 种浮床植物系统对藻类密度的抑制效果与空白对照组对比存在显著差异($P<0.05$),说明植物的存在显著提高了系统抑制藻类生长的能力.

结合文献[10]的结果可知,由于风车草根系最发达,菖蒲次之,富贵竹最差,而植物生长越快,根系越发达,与藻类竞争营养物质能力越强,遮光效果越明显,从而抑制藻类能力越强^[11-12].

表 2 不同单元系统对藻类密度抑制效果

Tab.2 Inhibitory effects of algae density by different unit system

取样日期	$\rho_{al} \times 10^7 / \text{个} \cdot \text{L}^{-1}$				$\eta_{al} / \%$		
	空白	风车草	菖蒲	富贵竹	风车草	菖蒲	富贵竹
2008-03-20	18.20	18.20	18.20	18.20	—	—	—
2008-03-27	4.42	2.87	3.09	3.71	35.10	30.10	16.10
2008-04-03	9.82	5.08	5.36	7.54	48.3	45.40	23.20
2008-04-10	7.94	4.14	4.58	5.89	47.90	42.30	25.80
2008-04-17	6.13	3.23	3.60	4.56	47.30	41.30	25.60
2008-04-24	5.26	2.72	3.14	3.89	48.30	40.30	26.00

2.3 单元系统对不同藻种的抑制效果

富营养化水体中藻类大多以蓝藻、绿藻、硅藻共存,蓝藻约占 71%、绿藻约占 10%、硅藻约占 15%,而蓝藻中的铜绿微囊藻约占 74%. 以藻类密度表征水体中各种藻的含量,着重考察不同浮床植物对蓝藻、绿藻、硅藻及铜绿微囊藻 4 种藻类的抑制效果(η_{al}),如表 3 所示.

由表 3 可以知道,风车草对蓝藻、硅藻、铜绿微囊藻抑制效果最好,菖蒲次之,富贵竹最差;而菖蒲对绿藻抑制效果最好,风车草次之,富贵竹最差. 风车草、菖蒲对富营养化水体中不同的藻种都有较好的抑制效果.

不同植物单元系统对不同藻种抑制效果不同,主要是由于不同植物与藻类间化感作用的生物活性物质不同^[11],以及不同植物单元系统对水体中 N,P 去除效果不同^[10]. 因此,在遴选植物种类时应根据原水藻种、地区气候特征选择最佳的植物.

表 3 不同单元系统对不同藻种的抑制效果

Tab.3 Inhibitory effects of different algae species by different unit system

藻种	风车草			菖蒲			富贵竹		
	范围	均值	标准差	范围	均值	标准差	范围	均值	标准差
蓝藻	39.1~42.5	40.1	3.5	36.8~40.1	38.2	3.7	20.5~23.9	22.1	3.9
绿藻	23.5~26.4	24.8	2.6	30.8~35.5	34.2	5.6	15.1~18.4	16.4	3.8
硅藻	30.2~33.5	32.3	3.3	28.9~32.3	30.1	4.6	22.9~26.8	24.2	4.2
铜绿微囊藻	28.2~31.9	29.8	3.2	25.4~28.4	27.6	2.3	27.2~31.9	19.8	3.1

3 讨论

空白对照单元系统抑藻主要途经是,浮床的遮光和水体自净减少了水体中营养盐. 浮床植物单元系统抑藻的主要原因有 3 点:(1) 浮床对光照遮蔽效应,减少了藻类的滋生;(2) 植物减少水体中 N,P 营养盐,导致藻类营养不足而数量减少;(3) 可能存在的植物化感作用(此机理有待后续进一步研究).

实验结果表明,风车草、菖蒲和富贵竹浮床植物系统对富营养化水体中叶绿素 a 抑制率范围分别为 33.2%~47.1%,25.5%~41.7%,15.4%~21.4%,对藻类密度抑制率范围分别为 35.1%~48.3%,30.1%~45.4%,16.1%~26.0%. 此外,3 种浮床植物系统对叶绿素 a、藻类密度的抑制效果与空白对照组对比存在显著差异($P<0.05$).

风车草和菖蒲对富营养化水体中不同藻种都有较好的抑制效果,风车草对蓝藻、硅藻、铜绿微囊藻抑制效果比菖蒲好,而菖蒲对绿藻抑制效果最比风车草好。因此,风车草和菖蒲可作为富营养化水体治理的优良物种而推广使用。

研究结果可为后续的浮床植物系统修复富营养化水体的动态试验及实际应用提供理论依据。

参考文献:

[1] SOOKNAH R D,WTLKIE A C. Nutrient removal by floating aquatic macrophytes cultured in anacroically digested flushed dairy manure waste water[J]. Ecol Eng,2004(22):27-42.

[2] 周真明,叶青,沈春花,等. 浮床植物系统对富营养化水体的净化效果[J]. 华侨大学学报:自然科学版,2010,31(5):576-579.

[3] 操家顺,李欲如,陈娟. 水蕹菜对重污染河道净化及克藻功能[J]. 水资源护,2006,22(3):36-41.

[4] 鲜啟鸣,陈海东,邹惠仙,等. 四种沉水植物的克藻效应[J]. 湖泊科学,2005,17(1):75-80.

[5] 李磊,侯文华. 荷花和睡莲种植水对铜绿微囊藻生长的抑制作用研究[J]. 环境科学,2007,28(10):2180-2186.

[6] 张维昊,周连凤,吴小刚,等. 菖蒲对铜绿微囊藻的化感作用[J]. 中国环境科学,2006,26(3):355-358.

[7] 刘佳,刘永立,叶庆富,等. 水生植物对水体中氮、磷的吸收与抑藻效应的研究[J]. 核能学报,2007,21(4):393-396.

[8] 周真明. 扬水曝气+原位生物接触氧化组合技术改善水源水质的试验研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2006.

[9] 丛海兵,黄廷林,周真明,等. 藻类叶绿素测试新法[J]. 给水排水,2007,33(6):28-32.

[10] 周真明,叶青,沈春花,等. 3 种浮床植物系统对富营养化水体净化效果研究[J]. 环境工程学报,2010,4(1):91-95.

[11] 鲜啟鸣,陈海东,邹惠仙,等. 淡水水生植物化感作用研究进展[J]. 生态学杂志,2005,24(6):664-669.

[12] 孟丽华,刘义新. 利用植物化感作用抑制铜绿微囊藻的研究进展[J]. 中国给水排水,2008,24(20):7-9.

Study on Algae Inhibitory Effects by Three Floating-Bed Plant Systems in Eutrophic Water

ZHOU Zhen-ming¹, MEI Yu-long², YE Qing¹, SHEN Chun-hua¹, ZHAO Zhi-ling¹

(1. College of Civil Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China;
2. Greentown Oriental Architects, Hangzhou, 310012, China)

Abstract: Using chlorophyll-a and algae density to quantify algae, the algae inhibitory effects by floating-bed plant systems of *Cyperus alternifolius*, *Acorus calamus* and *Dracaena sanderiana* in eutrophic water were investigated through static experiment. Results show that the average inhibitory rates of chlorophyll-a by three plants are 42.6%, 36.7% and 18.7% respectively, and the average inhibitory rates of algae density are 45.4%, 39.9% and 23.3% respectively. The algae inhibitory effects of the floating-bed systems in chlorophyll-a and algae density are significantly different ($P<0.05$) for three plants and the blank control. The average inhibitory rates of cyanophyta, green algae, diatom and *Microcystis aeruginosa* by *Cyperus alternifolius* are 40.1%, 24.8%, 32.3% and 29.8% respectively, and these by *Acorus calamus* are 38.2%, 34.2%, 30.1% and 27.6% respectively.

Keywords: eutrophication; planted float system; algae; inhibitory effect

(责任编辑: 陈志贤 英文审校: 刘源岗)