

文章编号: 1000 5013(2010)05-0576-04

# 浮床植物系统对富营养化水体的净化效果

周真明, 陈灿瑜, 叶青, 赵志领

(华侨大学 土木工程学院, 福建 泉州 362021)

**摘要:** 通过静态试验, 研究空心菜、美人蕉、吊兰 3 种浮床植物系统对富营养化水体净化效果. 结果表明, 在水温为 27~32 ℃, 生长 21 d 条件下, 空心菜和美人蕉生长良好, 生物量大, 而吊兰生长较差, 生物量增加少. 空心菜、美人蕉和吊兰对化学耗氧量( $\text{COD}_{\text{Mn}}$ )的平均去除率分别为 13.2%, 11.7% 和 6.9%; 对总磷的平均去除率分别为 57.7%, 66.4% 和 30.6%; 对  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  的平均去除率分别为 69.1%, 82.0% 和 42.1%; 对  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的平均去除率分别为 50.0%, 42.8% 和 21.9%; 对藻类的平均抑制率分别为 55.1%, 42.5% 和 13.6%.

**关键词:** 富营养化; 浮床植物系统; 净化效果; 静态试验

**中图分类号:** X 171.4; Q 949.99

**文献标识码:** A

水体富营养化是指在人类活动的影响下, 生物所需的氮、磷等营养物质大量进入湖泊、河口、海湾等缓流水体, 引起藻类及其他浮游生物迅速繁殖, 水体溶解氧量下降, 水质恶化, 鱼类及其他生物大量死亡的现象. 利用浮床植物系统修复富营养化水体方面的工作已开展很多年, 也取得了一定的效果<sup>[1-5]</sup>. 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. 化感作用和化感物质的发现, 为实现藻类的安全控制提供了一种新思路. 水生植物产生的化感物质, 可以抑制水体中有害藻类的生长<sup>[2, 6-10]</sup>. 本文通过静态试验, 从有机物、氮磷、藻类等 3 个方面, 综合考察 3 种(空心菜、美人蕉和吊兰)浮床植物系统对富营养化水体的净化效果.

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

选用空心菜、美人蕉和吊兰 3 种浮床植物, 所有的植物来自土培苗, 经除土洗净后移植到试验水体中. 试验水箱材料为塑料, 使用前用原水浸泡数天.

原水水质的温度为 30 ℃, pH 值为 7.9, 高锰酸盐指数为  $12.86 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 总磷(TP)为  $0.70 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  为  $0.12 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  为  $1.20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 藻类密度为  $18.19 \times 10^8 \text{ 个} \cdot \text{L}^{-1}$ , 叶绿素 a 为  $108.9 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ . 从这些水质指标来判断, 试验原水属于富营养化水体.

### 1.2 试验设计

试验装置放置在四周无遮挡且带有玻璃棚顶的棚屋内. 试验水箱采用 65 L 白色半透明塑料水桶, 桶的直径为 43 cm, 高度为 50 cm. 水箱中盛放试验原水, 水深 40 cm, 水样体积约为 60 L, 每个水箱水面上放置一块 30 cm × 30 cm, 厚度为 3 cm 的可降解聚苯乙烯塑料泡沫板作为浮床. 在浮床上以 7.5 cm × 7.5 cm 的间距开 9 个直径为 4 cm 的定植孔, 每个定植孔定植 1~2 棵植物, 并用海绵辅助固定.

### 1.3 试验方法

试验于 2008 年 6~7 月间进行, 试验时间为 21 d, 试验期间水温为 27~32 ℃, 平均水温为 30 ℃, 水

收稿日期: 2009 02 12

通信作者: 周真明(1981-), 男, 讲师, 主要从事微污染水资源水质及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)

温适合植物和藻类生长, 试验原水为福建华侨大学厦门校区的人工河水. 试验共设 4 组水箱, 第 1 组为空白对照组, 只有浮床而无植物的水箱, 第 2~ 4 组浮床上分别定植空心菜、美人蕉和吊兰.

试验期间每隔 7 d 取样一次, 测定水样中的化学耗氧量(  $COD_{Mn}$  ), 总磷(TP),  $PO_4^{3-}-P$  和  $NH_4^+-N$ ; 每隔 10 d 取一次样, 测定水样中藻类密度和叶绿素 a, 记录植物各个时间段的生物量, 并定期补充自来水以消除水分蒸发损失对试验效果的影响.

1.4 测定方法

用酸性法<sup>[11]</sup> 测定高锰酸盐指数, 即化学耗氧量(  $COD_{Mn}$  ); 用钼锑抗分光光度法<sup>[11]</sup>, 测定 TP 和  $PO_4^{3-}-P$  质量浓度; 采用纳氏试剂光度法<sup>[11]</sup>, 测定  $NH_4^+-N$  质量浓度; 采用鲁哥氏液固定, 目镜视野法<sup>[12]</sup>, 测定藻类密度; 以 0.45  $\mu m$  醋酸纤维膜过滤, 采用乙醇萃取光度法<sup>[12-13]</sup>, 测定叶绿素 a 质量浓度.

2 结果与分析

2.1 各单元系统的生物量变化

3 种植物的生物量增长情况, 如表 1 所示. 表 1 中:  $H_{av}$  为平均株高,  $L_m$  为最长根长,  $L_w$  为平均叶片数,  $m$  为质量. 由表 1 可知, 在试验前后, 空心菜、美人蕉、吊兰平均株高的相对增长率分别为 90%, 100%, 50%, 而其最长根长的相对增长率分别为 107%, 67%, 33%. 其次, 空心菜、美人蕉的长势良好, 生长速度快, 生物量变化比较大; 而吊兰生长速度较慢, 生物量变化较小. 此外, 空心菜根系最发达, 美人蕉次之, 吊兰最差.

表 1 各单元的植物试验前后生物量的变化  
Tab. 1 Changes of plants in every unit before and after tested

项目	空心菜			美人蕉			吊兰		
	植前	植后 10 d	植后 21 d	植前	植后 15 d	植后 30 d	植前	植后 15 d	植后 30 d
$H_{av}/cm$	14.5	23.0	28.0	12.0	20.0	24.0	1.0	1.2	1.5
$L_m/cm$	14.5	25.0	30.0	15.0	19.0	25.0	9.0	10.0	12.0
$L_w/片$	8	10	13	3	4	5	43	43	43
$m/g$	3	29	32	18	71	91	4	9	11

2.2 各单元系统对有机物去除效果

3 种浮床植物系统对  $COD_{Mn}$  去除效果, 如表 2 所示. 表 2 中:  $\eta$  为对  $COD_{Mn}$  的去除率. 由表 2 可以发现, 3 种浮床植物系统对  $COD_{Mn}$  平均去除率均值, 大小依次为空心菜( 13.2% ), 美人蕉( 11.7% ), 吊兰( 6.9% ). 说明, 空心菜、美人蕉浮床系统对有机物有一定的去除效果. 其次, 结合表 1 可知, 随着植物根系生物量的增加, 浮床植物系统对有机物去除率逐渐提高. 这是因为浮床植物系统对  $COD_{Mn}$  的去除, 主要依靠植物的根系吸附及根系附着微生物降解作用<sup>[14]</sup>.

表 2 3 种浮床植物系统对  $COD_{Mn}$  的去除效果  
Tab. 2 Removal effects of  $COD_{Mn}$  under three planted floats system

取样日期	$COD_{Mn}/mg \cdot L^{-1}$				$\eta/\%$		
	空白对照	空心菜	美人蕉	吊兰	空心菜	美人蕉	吊兰
2008-06-18	12.86	12.86	12.86	12.86	—	—	—
2008-06-25	11.32	10.17	10.26	10.75	10.2	9.4	5.0
2008-07-02	11.05	9.47	9.66	10.21	14.3	12.6	7.6
2008-07-09	10.64	9.03	9.24	9.77	15.1	13.2	8.2

2.3 各单元系统对 N 和 P 的去除效果

3 种浮床植物系统对  $NH_4^+-N$  去除效果, 如表 3 所示. 表 3 中:  $\eta$  为  $NH_4^+-N$  的去除率. 由表 3 可见, 3 种浮床植物系统对  $NH_4^+-N$  的平均去除率均值, 大小依次为空心菜( 50% ), 美人蕉( 42.8% ), 吊兰( 21.9% ). 说明, 空心菜、美人蕉浮床系统对  $NH_4^+-N$  有良好的去除效果.

3 种浮床植物系统对总磷(TP)和  $PO_4^{3-}-P$  去除效果, 如表 4, 5 所示. 表 4, 5 中:  $\eta_3$ ,  $\eta_4$  分别为 TP 和  $PO_4^{3-}-P$  的去除率. 由表 4, 5 可以发现, 3 种浮床植物系统对 TP 的平均去除率均值, 大小依次为美人蕉( 66.4% ), 空心菜( 57.7% ), 吊兰( 30.6% ); 而它们对  $PO_4^{3-}-P$  的平均去除率均值, 大小依次为美人蕉

(82.0%), 空心菜(69.1%), 吊兰(42.1%). 其次, 美人蕉浮床系统对磷的去除效果大于空心菜, 美人蕉、空心菜浮床系统对 TP 平均去除率都在 50% 以上, 对  $\text{PO}_4^{3-}$  的平均去除率都在 60% 以上.

由表 3~ 5 还可见, 空心菜浮床系统对 N 的去除效果大于美人蕉浮床系统, 而美人蕉浮床系统对 P 的去除效果大于空心菜浮床系统.

表 3 3 种浮床植物系统对  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的去除效果  
Tab. 3 Removal effects of  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  under three planted floats system

取样日期	$\rho(\text{NH}_4^+-\text{N})/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$				$\eta/\%$		
	空白对照	空心菜	美人蕉	吊兰	空心菜	美人蕉	吊兰
2008-06-18	1.20	1.20	1.20	1.20	—	—	—
2008-06-25	1.04	0.51	0.62	0.85	51.0	40.4	18.3
2008-07-02	1.13	0.61	0.62	0.87	46.0	45.1	23.0
2008-07-09	0.98	0.46	0.56	0.74	53.1	42.9	24.5

表 4 3 种浮床植物系统对 TP 的去除效果  
Tab. 4 Removal effects of TP under three planted floats system

取样日期	$\rho(\text{TP})/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$				$\eta/\%$		
	空白对照	空心菜	美人蕉	吊兰	空心菜	美人蕉	吊兰
2008-06-18	0.70	0.70	0.70	0.70	—	—	—
2008-06-25	0.65	0.31	0.25	0.47	52.3	61.5	27.7
2008-07-02	0.52	0.20	0.17	0.35	61.5	67.3	32.7
2008-07-09	0.54	0.22	0.16	0.37	59.3	70.3	31.5

表 5 3 种浮床植物系统对  $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$  的去除效果  
Tab. 5 Removal effects of  $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$  under three planted floats system

取样日期	$\rho(\text{PO}_4^{3-}-\text{P})/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$				$\eta/\%$		
	空白对照	空心菜	美人蕉	吊兰	空心菜	美人蕉	吊兰
2008-06-18	0.120	0.120	0.120	0.120	—	—	—
2008-06-25	0.110	0.036	0.024	0.068	67.3	78.2	38.2
2008-07-02	0.104	0.032	0.016	0.060	69.2	84.6	42.3
2008-07-09	0.096	0.028	0.016	0.052	70.8	83.3	45.8

2.4 各单元系统对藻类抑制效果

分别采用叶绿素 a 和藻类密度表征富营养化水体中藻类的质量浓度. 3 种浮床系统对藻类的抑制效果, 如表 6, 7 所示. 表 6, 7 中:  $\eta_b$ ,  $\eta_c$  分别为对叶绿素 a 的抑制率和对藻类密度的抑制率.

表 6 3 种浮床植物系统对叶绿素 a 抑制效果  
Tab. 6 Inhibitory effects of chlorophyll-a under three planted floats system

取样日期	$\rho(\text{叶绿素 a})/\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$				$\eta/\%$		
	空白对照	空心菜	美人蕉	吊兰	空心菜	美人蕉	吊兰
2008-06-18	108.9	108.9	108.9	108.9	—	—	—
2008-06-28	82.5	20.8	32.0	60.6	71.3	55.9	16.4
2008-07-08	40.5	20.7	34.2	36.0	48.9	40.2	11.1

表 7 3 种植物系统对藻类密度抑制效果  
Tab. 7 Inhibitory effects of algae density under three planted floats system

取样日期	$\rho/\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$				$\eta/\%$		
	空白对照	空心菜	美人蕉	吊兰	空心菜	美人蕉	吊兰
2008-06-18	18.19	18.19	18.19	18.19	—	—	—
2008-07-28	12.78	5.39	8.55	11.45	57.8	33.1	10.4
2008-07-08	8.65	5.01	5.15	7.25	42.1	40.5	16.2

由表 6, 7 可见, 空心菜、美人蕉和吊兰对叶绿素 a 的平均抑制率分别为 60.1%, 48.1% 和 13.8%; 空心菜、美人蕉和吊兰对藻类密度的平均抑制率分别为 50.0%, 36.8% 和 13.3%; 空心菜、美人蕉和吊兰对藻类的平均抑制率分别为 55.1%, 12.5% 和 13.6%. 其次, 空心菜浮床系统抑制藻类生长效果最好, 美人蕉次之, 吊兰最差. 不同浮床植物具有不同抑制藻类生长效果, 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<sup>[15]</sup>.

### 3 结束语

通过静态试验, 从有机物、氮磷、藻类等 3 个方面, 综合考察空心菜、美人蕉和吊兰 3 种浮床植物系统对富营养化水体的净化效果. 总的来说, 空心菜、美人蕉浮床系统对富营养化水体有良好的净化效果. 研究结果不仅为后续的动态试验研究遴选植物和提供去除污染物的途径, 也为浮床植物系统修复技术净化富营养化水体实际应用提供理论依据.

#### 参考文献:

- [1] AKIRA M, FUMITAKE K, WAICHI A, et al. Plant production and water purification efficiency by rice and umbrella plants grow in a floating culture system under various water environmental conditions[J]. J Fac Agr Kyushu Univ, 2000, 45(1): 28-38.
- [2] 操家顺, 李欲如, 陈娟. 水蓼菜对重污染河道净化及克藻功能[J]. 水资源保护, 2006, 22(3): 36-41.
- [3] 李欲如, 操家顺. 冬季低温条件下浮床植物对富营养化水体的净化效果[J]. 环境污染与防治, 2005, 27(7): 505-507.
- [4] 卢进登, 陈红兵, 赵丽娅, 等. 人工浮床栽培 7 种植物在富营养化水体中的生长特性研究[J]. 环境污染治理技术与设备, 2006, 7(7): 59-61.
- [5] 周小平, 王建国, 薛利红, 等. 浮床植物系统对富营养化水体中氮、磷净化特征的初步研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(11): 2199-2203.
- [6] 李锋民, 胡洪营. 生物化感作用在水处理中的应用[J]. 中国给水排水, 2003, 19(7): 38-40.
- [7] 李锋民, 胡洪营. 植物化感作用控制天然水体中有害藻类的机理与应用[J]. 给水排水, 2004, 30(2): 1-4.
- [8] 李锋民, 胡洪营. 大型水生植物浸出液对藻类的化感抑制作用[J]. 中国给水排水, 2004, 20(11): 18-21.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 刘松岩, 何涛, 周本翔. 水生植物净化受污染水体研究进展[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(19): 5019-5021.
- [15] 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.

## Study on the Purification Effects of Eutrophic Water Body in Floating-Bed Plant Systems

ZHOU Zhen-ming, CHEN Can-yu,  
YE Qing, ZHAO Zhi-ling

(College of Civil Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

**Abstract:** The purification effect of eutrophic water body in floating bed system with *Ipomoea aquatica*, *Canna generalis* and *Spider plant* were studied through static tests. Results show that *Ipomoea aquatica* and *Canna generalis* could grow well in the floating-bed plant system under the conditions of water temperature 27~32 °C and growth 21 d, but *Spider plant* could not grow well. The average removal rate of COD<sub>Mn</sub> by these three plants were 13.2%, 11.7% and 6.9%, and that of TP, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N and algae were 57.7%, 66.4% and 30.6%, 69.1%, 82.0% and 42.1%, 50.0%, 42.8% and 21.9%, 55.1%, 42.5% and 13.6% respectively. *Ipomoea aquatica* and *Canna generalis* had good purification effects of eutrophic water body in the floating-bed system.

**Keywords:** eutrophication; floating-bed plant system; purification effects; static test

(责任编辑: 钱筠 英文审校: 方德平)