

水蕹菜对重污染河道净化及克藻功能

操家顺¹ 李欲如¹ 陈娟²

(1. 河海大学环境科学与工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学水利水电工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要 研究采用浮床无土栽培种植水蕹菜以控制重污染河道水体水质。不仅进行了静态试验, 而且在重污染河道苗家河上加以应用, 效果显著。静态试验结果表明, 在气温 35℃、水温 30℃ 以上的条件下, 水蕹菜对重污染水体中的 COD_{Mn}、TN、NH₄⁺-N、TP 的去除率分别为 37.0%、92.9%、93.9%、93.8%; 对藻类的抑制率为 88.8%。示范工程水域中水质得到明显改善, 透明度达 90~130 cm。由此证明水蕹菜是对重污染河道净化处理的优良生物材料之一。

关键词 水蕹菜; 浮床; 重污染河道净化; 克藻

中图分类号: X173 文献标识码: A 文章编号: 1004-693X(2006)02-0036-03

Purification of seriously polluted river by *Ipomoea aquatica* and its allelopathic effect on algae

CAO Jia-shun¹, LI Yu-ru¹, CHEN Juan²

(1. College of Environmental Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract The water quality control of seriously polluted river was tested by *Ipomoea aquatica* on soilless floating beds. Besides lab test, the technique was applied to a seriously polluted river, Miaojia River, showing a remarkable effect. The results of static state test showed that removal rates of COD_{Mn}, TN, NH₄⁺-N, and TP by *Ipomoea aquatica* were 37.0%, 92.9%, 93.9%, and 93.8% respectively, and its inhibition rate of algae was 88.8% when air temperature was above 35℃ and water temperature was above 30℃. The water quality of demonstration project on Miaojia River was improved obviously, and its transparency reached 90~130 cm. As a result, *Ipomoea aquatica* is one of eminent biomaterials to purify seriously polluted river.

Key words *Ipomoea aquatica*; floating bed; purification of seriously polluted river; allelopathic effect on algae

苏州地处我国经济最发达的长江三角洲经济圈内。近年来, 随着苏州市人口的不断增长和社会经济的快速发展, 排入城市河、湖的废水和生活污水日益增多, 而水处理设施建设严重滞后, 地表水污染日趋严重, 特别是苏州城区内, 几乎所有河流都存在严重的富营养化问题。因此, 如何利用生态工程的方法治理水环境, 保障社会经济的可持续发展, 已成为关注的热点。

利用植物治理或修复富营养化水体方面的工作已开展很多年^[1-7], 已取得一定的效果, 但由于不能产生直接的经济效益和易产生二次污染以及管理维

护困难等原因而未形成一套完整的集成技术, 尚难以直接推广应用。戴全裕等人利用水蕹菜处理饮食废水^[8]及程树培等人利用水蕹菜处理缫丝生产废水^[9]的研究已经取得部分成果, 但利用水蕹菜治理重污染河道水质尚未见报道, 因此本文从实际应用出发, 研究利用种植水蕹菜治理重污染河道的可行性以及应用效果。

水蕹菜(*Ipomoea aquatica*)又名空心菜, 属一年生经济植物, 有很强的耐高温和耐污性能, 同时也有很高的经济价值。它可以一次栽种而多次采收, 这对净化污水, 将营养盐不断的从污水中输出而不致造

成水体二次污染卓有成效。本研究运用浮床技术,在重污染河道中种植水蕹菜,以期达到既能净化污染水体和抑制藻类暴发,又能充分利用资源,取得良好的经济、社会和环境效益。

本研究包括静态试验和示范工程研究两部分。

1 静态试验的材料与方法

1.1 试验材料

所选水蕹菜来自苏州市某农贸市场,苗高 5~10 cm,洗净后放入塑料桶里预培养 1 周。试验水样取自苏州古城区的苗家河重污染河道,其主要水质指标为:总氮质量浓度为 8~15 mg/L,总磷 0.4~1 mg/L,铵态氮 5~10 mg/L,化学需氧量 8~15 mg/L,溶解氧为 0~2 mg/L。参照 GB 3838—2002《国家地表水环境质量标准》^[10],该河水水质为劣 V 类水。

1.2 试验方法

在容积为 30 L 的清洁塑料桶内注入 20 L 供试水样,桶内水面上放置一块直径 55 cm,厚 5 cm 的聚苯乙烯塑料泡沫板作为漂浮栽培的载体。在此载体上按 5 cm×5 cm 的间距排列若干个孔,孔直径以正好插入供试植物为宜。将预培养的水蕹菜苗各 250 g,小心地用去离子水清洗(切勿损伤根系)移植入试验桶中,每个试验取两组平行样,另设一个不投放植物的试验桶作为空白对照。

试验在自然光照下条件进行。试验周期为 14 d,从 2004 年 8 月 17 日开始至 8 月 30 日结束,试验期间气温在 35℃、水温在 30℃以上,每 2 d 测定 1 次,测定之前以蒸馏水补充蒸腾所蒸发的水分,从而保持桶中水样避免因蒸发而导致污染物浓度的变化。

1.3 测定项目和方[11]

用纳氏试剂光度法测定铵态氮浓度(NH_4^+-N);过硫酸甲氧化-紫外分光光度法测定总氮浓度(TN);钼锑抗分光光度法测定总磷浓度(TP);高锰酸盐指数法测定化学需氧量浓度(COD_{Mn});丙酮萃取分光光度法测定叶绿素 a 浓度(Chl-a);分别用 pH 值计、温度计、溶氧仪测定 pH 值、温度、溶解氧。试验结果为两组平行样的平均值。

2 静态试验的结果与分析

2.1 静态试验中水蕹菜的生长情况

水蕹菜在静态试验中的生长情况如表 1 所示。

表 1 静态试验期间水蕹菜生物量及水样的变化

时间	水温/ ℃	鲜重/g	株高/ cm	根系长 度/cm	pH 值	$\rho(\text{DO})$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)
08-17	32.1	250.0	8~12	3~6	7.85	1.25
08-29	30.5	586.2	11~18	6~20	6.93	3.26

从表 1 可见,供试水样中的溶解氧浓度上升,pH 值则下降,随着供试水样中 $\rho(\text{COD})$ 的下降以及复氧作用,水样中的 $\rho(\text{DO})$ 值上升,这可能与水蕹菜的根系具有泌氧功能有关。水蕹菜长势很旺盛,鲜重增加比较大,比初始鲜重增加了 134.5%,而株高和水中的根系也比较发达。这说明水蕹菜较为适宜在重污染水中生长。

2.2 静态试验中水蕹菜对污染水体的净化能力

从表 2 中可以看出,在试验时间内,水蕹菜对供试水样中 TN、 NH_4^+-N 的去除效果十分明显。试验水样的 $\rho(\text{TN})$ 从初始的 6.62 mg/L 减少到了 0.47 mg/L,去除率为 92.9%; $\rho(\text{NH}_4^+-\text{N})$ 从 4.57 mg/L 下降到 0.28 mg/L,去除率为 93.9%;而对照水样(无植物)的 TN、 NH_4^+-N 的去除率则低于试验水样(分别为 80.7%和 88.2%)。供试水样中 TN 的含量与 NH_4^+-N 的去除密切相关,水体中 NH_4^+-N 在试验初期浓度下降很快,后期则趋于平缓,对应的 TN 也表现出同样的下降趋势,表明水蕹菜对水体中的离子态氮氮有“快速”吸收的特性。

表 2 静态试验期间水体污染指标的变化 mg/L

日期	$\rho(\text{TN})$		$\rho(\text{NH}_4^+-\text{N})$		$\rho(\text{TP})$		$\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})$	
	试验值	对照值	试验值	对照值	试验值	对照值	试验值	对照值
08-17	6.62	6.62	4.57	4.57	0.49	0.49	8.37	8.37
08-19	0.84	2.58	0.65	0.90	0.15	0.29	7.16	12.26
08-21	0.79	2.04	0.48	0.66	0.13	0.18	7.16	10.24
08-23	0.75	1.80	0.38	0.64	0.09	0.14	6.82	10.36
08-25	0.72	1.61	0.36	0.64	0.06	0.09	6.36	10.44
08-27	0.49	1.34	0.31	0.60	0.05	0.09	5.91	13.46
08-29	0.47	1.28	0.28	0.54	0.03	0.08	5.27	12.80

水蕹菜使试验水样的 $\rho(\text{TP})$ 从初始的 0.49 mg/L 下降到 0.03 mg/L,去除率为 93.8%。其去除率同样比对照水样的自然净化要高,同样水蕹菜对 P 的吸收有快速吸收的特性,即在试验期内 1~2 d 内较快,以后趋缓。

水蕹菜对 COD_{Mn} 的净化能力比 TN、TP 的净化能力低。试样水样的 $\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})$ 从初始的 8.37 mg/L 下降到 5.27 mg/L,去除率为 37.0%。而对照样中的 $\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})$ 呈波动性上升,这主要是因为,在试验过程中,对照样中由于水体静止,细菌等微生物活动减弱,有机污染加重,使得在测定的过程中 $\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})$ 值反而高出初始值。

2.3 静态试验中水蕹菜对藻类的抑制作用

所有的藻类都含有 Chl-a, Chl-a 含量的高低与该水体藻类的种类、数量等密切相关,也与水环境质量有关,是水理化性质动态变化的综合反映指标。因此,通过测定 Chl-a 含量能够在一定程度上反映水质状况。如表 3 所示,从试验开始至试验结束,水

藻菜对藻类有明显的抑制作用,抑制率(用 $\rho(\text{Chl-a})$ 表征)为 88.8%,而对对照样中的 $\rho(\text{Chl-a})$ 波动性上升,抑制率为 -85.4%,对照样中藻类快速繁殖,这与对照样中 N、P 的减少以及 $\rho(\text{COD})$ 的升高相吻合。

表 3 水藻菜对藻类的抑制作用 mg/m^3

日期	试验 Chl-a	对照 Chl-a	日期	试验 Chl-a	对照 Chl-a
08-17	49.68	49.68	08-25	8.79	85.2
08-19	19.58	93.62	08-27	7.79	99.62
08-21	11.72	85.35	08-29	5.55	92.12
08-23	9.02	84.26			

2.4 小结

静态试验的结果表明,在气温 35℃、水温 30℃ 的条件下,水藻菜在重污染水体中生长良好,对重污染河道水体中的 N、P 元素有很强的吸收能力,对藻类也有很强的抑制作用。空白对照中水体中藻类恶性繁殖,需要消耗大量的 N、P 元素,造成了水体中 TN、 NH_4^+-N 、TP 的质量浓度有不同程度的下降, $\rho(\text{COD})$ 高出初始值。

3 示范工程

3.1 示范区的选择

该项研究在苏州市苗家河上进行。示范区采用防水布与其他河段隔开,示范区水域面积 576.0 m^2 ,浮床水藻菜种植面积 120 m^2 ,占试验水域面积的 20.8%。

3.2 浮床结构的设计

选择了高密聚苯乙烯塑料泡沫板作为浮床载体,并确定浮床模板尺寸及植物的栽种孔穴。浮床整体是用铝合金边框、U 型铁钉和软绳,把有植物栽种孔穴的浮床载体连接而成。考虑到河道宽度有限(14.4 m)以及小船航行和维护工作,并没有用木桩将浮床固定,而是用软绳把浮床整体连接在岸边。

3.3 示范工程的环境效益

由于苗家河每天的水量交换量很大(每天水位变化在 0.5 m 左右),故对示范区的环境效益评价不能简单地以进、出水为依据,只能以示范区内外水质相比较。

由表 4 可知,示范区内的水体透明度(SD)提高明显,与示范区外相比,SD 平均相差 0.29 m,最大相差 0.50 m,最大 SD 值达 1.30 m,示范区内的 $\rho(\text{Chl-a})$ 比示范区外平均低 13.76 mg/m^3 ,最大相差达 20.37 mg/m^3 。几乎所有示范区外的水质项目指标都比示范区内差,可见浮床水藻菜在污染河道内对水质改善以及藻类的控制是有效的。该监测结果与静态试验相比有很大差距,主要因为示范区水体交换量大,若在水量交换较小或没有的情况下,其净化作

用会更明显。

表 4 示范工程实施后的水质状况

月份	SD/m		$\rho(\text{Chl-a})(\text{mg}\cdot\text{m}^{-3})$	
	示范区内	示范区外	示范区内	示范区外
6	1.30	0.80	10.60	25.75
7	1.00	0.60	15.88	31.56
8	1.00	0.80	43.50	63.87
9	0.90	0.75	24.71	39.22
10	0.95	0.75	8.78	11.86
平均	1.03	0.74	20.69	34.45

3.4 示范工程的经济效益

水藻菜的经济价值很高,可以作为蔬菜食用。通过比较市售与试验水藻菜的重金属含量,发现试验水藻菜重金属含量远低于市售水藻菜重金属元素标准(如表 5),所以示范工程收获的水藻菜可以作为蔬菜食用。

表 5 试验水藻菜与市售水藻菜重金属量比较

类别	mg/kg (干重)				
	铜	铅	镉	铬	锰
市售	1.146	0.156	0.061	0.409	4.584
试验	0.347	0.148	0.004	0.380	1.601

试验于 2004 年 5 月 30 日开始,初始种植水藻菜 105.0 kg,至 2004 年 11 月 28 日,共实际收割水藻菜 2915.0 kg,约为引种前水藻菜自身总量的 27.8 倍。根据计算,从 5 月 30 至 11 月 28 日止,水藻菜的收获量平均为 24.3 kg/m^2 (鲜重),折合 24.3 万 kg/hm^2 ,若以市售价 2 元/kg 计,则经济价值达 45.6 万元/hm²。由此可见,该项研究经济效益显著。

4 结 语

试验结果表明,利用浮床无土种植的技术,在苏州市重污染河道水面上种植水藻菜能产生直接的经济和社会效益,较其他水生植物(沉水植物和浮叶植物)相比又具较大的干物质生产量,在收获农产品、美化景观的同时,通过水藻菜对 N、P 等无机盐的吸收和吸附作用以及对藻类的抑制作用,依靠太阳能,可以转化为大量的有机产品,以实现化害为利,变废为宝,净化水质,保护水域环境的目的,所以该项技术对治理类似污染河道有积极的推广应用意义。

参考文献:

- [1] GERSBERG R M, ELKINS B V, LYON S R, et al. Role of aquatic plants in waste water treatment by artificial wetlands [J]. Wat Res, 1986, 20(3): 363-368.
- [2] LIE E, CHRISTENSSON M, JONSSON K, et al. Carbon and phosphorus removal process [J]. Wat Res, 1997, 31(11): 2693-2698.

(下转第 41 页)

数,最后得到三库的灾变预测模型,见表2。

表1 各库的灾变值

水库名称	灾变值/ mm	原始系列	灾变时间集合
清林径水库	1498	1960~1998	{4, 8, 10, 12, 19, 25, 30, 31, 32}
铁岗水库	1395	1965~1998	{3, 7, 13, 20, 24, 26, 27}
罗田水库	1329	1959~1998	{4, 5, 19, 22, 24, 26, 31, 32, 33, 37}

表2 各水库参数

水库名称	参数		预测模型
	a	u	
清林径水库	-0.1767	9.09	$\hat{x}(t+1) = 55.44e^{0.1767t} - 51.44$
铁岗水库	-0.1879	10.18	$\hat{x}(t+1) = 57.19e^{0.1879t} - 54.19$
罗田水库	-0.1180	14.05	$\hat{x}(t+1) = 123.1e^{0.118t} - 119.10$

利用上述模型做还原计算,计算结果见表3(表中还原结果已做四舍五入处理)。根据还原结果评价模型精度,结果见表4。根据“后验差检验法”模型精度评价标准^[1],三个模型的后验差检验均合格,其中罗田与清林径两水库评价等级为好。

表3 还原计算结果

罗田水库			铁岗水库			清林径水库		
实际 序列 (年份)	还原 序列 (年份)	模型 误差 /a	实际 序列 (年份)	还原 序列 (年份)	模型 误差 /a	实际 序列 (年份)	还原 序列 (年份)	模型 误差 /a
			1967		0	1963		
			1971	1976	5	1967	1969	2
1977	1976	-1	1977	1978	1	1969	1971	2
1980	1978	-2	1984	1982	-2	1971	1974	3
1982	1980	-2	1988	1985	-3	1978	1978	0
1984	1983	-1	1990	1989	-1	1984	1981	-3
1989	1986	-3	1991	1994	3	1989	1985	-4
1990	1989	-1	外延	2000*		1990	1990	0
1991	1993	2		2008*		1991	1996	5
1995	1998	3				外延	2003*	
外延	2003*						2011*	
	2008*							

表4 模型精度评价

参数	清林径水库	铁岗水库	罗田水库
C	0.3121	0.3868	0.334
P	1	1	1
模型等级	好	合格	好

利用表2中的模型作外延预测,得到罗田水库2003年、2008年,铁岗水库2000年、2008年,清林径水库2003年、2011年将出现年降雨量小于 P_{75} 的枯水情形(表3中星号表示)。

3 结 语

对于具有境外引水的复杂水资源系统的管理,一方面必须降低联合供水成本,尽可能充分利用当

地水资源,减少境外引水;另一方面必须保障供水系统可靠性。因此必须进行当地水资源与境外引水的联合调度。建立水资源实时预警系统,寻找适当方法对当地水资源作中长期定性预测,有重要意义。

为了得到枯水年发生时间,科学安排境外引水与境内水库运用计划,本文利用GM(1,1)模型探讨了深圳市枯水年预测问题。GM(1,1)模型具有方法简单、操作方便等特点,但预测的精度与水文灾变事件发生规律、灾变阈值的选择等有直接关系。从表3的结果看,尽管模型精度评价较好,但还原计算的结果并不理想,除清林径水库有两年符合外,其他均有一定的错位,可见利用灰色系统进行实时预警具有局限性。尽管如此,灰色系统作为一种选择性预测方法,仍有一定的价值。

参考文献:

- [1] 邓聚龙. 灰色预测与决策[M]. 武汉:华中工学院出版社, 1988:97-190.
 - [2] 钟平安,刘静楠,陈凯,等. 水库资料在深圳市水资源评价中的应用研究[J]. 水利水电科技进展, 2002, 22(5):24-27.
 - [3] 钟平安,王会容,刘静楠,等. 深圳市水资源系统优化调度模型研究[J]. 河海大学学报:自然科学版, 2003, 31(6):616-620.
- (收稿日期 2005-09-16 编辑 徐 娟)
-
- (上接第38页)
- [3] 程南宁,朱伟,张俊. 重污染水体中沉水植物的繁殖及移栽技术探讨[J]. 水资源保护, 2004, 20(6):8-11.
 - [4] 戴全裕,蔡述伟,张秀英,等. 水芹菜对黄金废水的净化与富集作用的研究[J]. 应用生态学报, 1998, 9(1):107-109.
 - [5] 司友斌,包军杰,曹德菊,等. 香根草对富营养化水体净化效果研究[J]. 应用生态学报, 2003, 14(2):277-279.
 - [6] 成水平. 人工湿地废水处理系统的生物学研究进展[J]. 湖泊科学, 1996, 8(3):268-271.
 - [7] 李芳柏,吴启堂. 无土栽培美人蕉等植物处理生活污水的研究[J]. 应用生态学报, 1997, 8(1):88-92.
 - [8] 戴全裕,蒋兴昌,张珩,等. 水蕹菜对啤酒及饮食废水净化与资源化研究[J]. 环境科学学报, 1996, 16(2):334-337.
 - [9] 程树培,丁树荣,胡志明. 利用人工基质无土栽培水蕹菜净化螺丝废水的研究[J]. 环境科学, 1991, 12(4):47-51.
 - [10] GB3838—2002 地表水环境质量标准[S].
 - [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, 2002:223-279.
- (收稿日期 2005-01-19 编辑 高渭文)