

冬-春季节浮床技术净化重污染河水的动态试验研究

严以新¹, 操家顺², 李欲如²

(1.河海大学科学研究院, 江苏 南京 210098; 2.河海大学环境科学与工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要:以苏州市重污染河道水体为研究对象,在冬-春季节进行利用浮床技术种植水芹菜净化重污染河水的动态试验.研究表明,进水 $\rho(\text{TN})$ 和 $\rho(\text{TP})$ 分别为 $7.05 \sim 9.99 \text{ mg/L}$ 和 $0.29 \sim 0.73 \text{ mg/L}$ 时,水芹菜能正常生长,在水力负荷为 $0.5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 的条件下,水芹菜浮床对重污染河水中的 $\text{NH}_3\text{-N}$, TP , TN 的去除率与水温正相关,对藻类的抑制作用稳定,营养盐的去除负荷随原水质量浓度的增加而增大.水芹菜是冬-春季节净化重污染河道的经济有效的生物材料.

关键词:浮床;水芹菜;模拟河道;水力负荷;净化效果

中图分类号: X703 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-198X(2006)02-0119-04

面对日益严重的全球性水环境问题,利用植物特别是陆生植物净化污水被认为是一种廉价而有效的水污染控制技术,国内外对此进行了诸多有益的尝试,在植物的净化效果、净化机理等方面取得了一定的进展^[1-4].20世纪90年代以来,有不少运用无土栽培技术净化受污染水体的研究报道,所试植物有绿色蔬菜丝瓜^[5]、水芹菜^[6]、水蕹菜^[7]、粮食作物水稻^[8]等,但多数研究仅局限于静态条件或者夏秋季节常温条件下这些植物对氮、磷等营养盐浓度较高的污水的净化作用,将生物浮床技术用于冬-春季节流动状态下重污染河水的研究尚未见到报道.本文以苏州市重污染河道水体为研究对象,在动态水流条件下进行利用浮床技术种植水芹菜净化污染水体的研究.

1 材料与方法

1.1 试验设施及运行方式

动态试验在苏州市新区污水处理厂的模拟河道中进行.模拟河道水槽单槽尺寸为 3.0 m (长) $\times 0.5 \text{ m}$ (宽) $\times 1.2 \text{ m}$ (高),有效水深 1.0 m .模拟河道采用不锈钢板制作,单槽容积 1.8 m^3 ,有效容积 1.5 m^3 .可同时并联多个这样的模拟河道进行试验.通过流量计调节进水流量,槽的尾部有溢流水堰及2个可调节出水口.通过控制和调节进水流量可以使模拟河道中的水处于流动状态,并控制流速和停留时间,见图1.

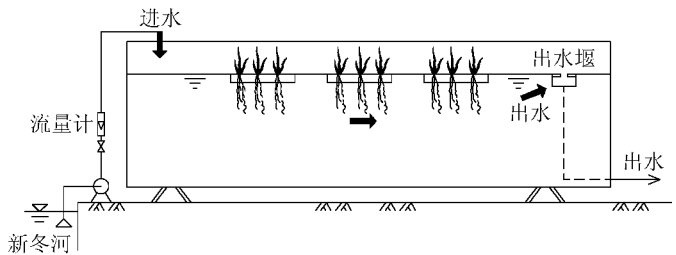


图1 模拟河道水槽

Fig.1 Schematic map of flume experiment for river course simulation

试验于2004年11月24日开始,至2005年4月6日结束,期间为当地的冬-春季节.运行方式为连续进水,设计进水流量 31.25 L/h ,空槽水力停留时间 48 h ,水力负荷 $0.5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$.按照水芹菜的生长阶段以及水温的变化试验分3个阶段进行.第1阶段为2004年11月24日至2004年12月26日,平均水温 12.0°C ;第2阶段为2005年1月2日至2005年1月30日,平均水温 4.4°C ;第3阶段为2005年3月9日至2005年4月6日,平均水温 12.4°C .

1.2 试验水源

试验用水取自新冬河重污染水体.新冬河位于苏州市新区,与京杭大运河相连,其污染来源主要是新区

内的生活污水以及部分工业污水,河水水质属于 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》中的劣Ⅴ类水,是典型的重污染河流.其水质情况见表1.

河水用潜水泵提升,通过流量计调节控制,进入模拟河道水槽.

1.3 试验植物及种植方法

试验所选用的植物为耐寒性很强的水芹菜(*Oenanthe javanica*),为伞形花科水芹属,中型半蔓延草本2年生植物,母茎无性繁殖,嫩茎和叶柄可食用,且具有降低血压等药用功能.水芹菜母茎于2004年9月下旬购于江苏省溧阳市某农贸市场,2004年10月24日将预培养好的水芹菜插入定制好的聚苯乙烯泡沫板载体后放入模拟河道预培养.水芹菜初始生物量1.5 kg,水面覆盖率35%.

1.4 检测项目和方法^[9]

用纳氏试剂光度法测定氨氮(NH₃-N),过硫酸甲氧化-紫外分光光度法测定总氮(TN),钼锑抗分光光度法测定总磷(TP),丙酮萃取分光光度法测定叶绿素a(*Chl-a*),水银温度计测定温度.取样时间为8:00~9:00之间.

污染物的去除率(η)和去除负荷(L)计算公式为

$$\eta = \frac{\rho_i - \rho_e}{\rho_i} \times 100\% \qquad L = Q \frac{\rho_i - \rho_e}{A}$$

式中: L ——以模拟河道水面面积为基准的污染物去除负荷; A ——模拟河道水面面积; Q ——进水流量; ρ_i ——进水污染物的质量浓度; ρ_e ——出水污染物的质量浓度.

2 结果与分析

2.1 水芹菜生长情况

试验前后水芹菜植物学性状指标的变化如表2所示.在试验期间的5个月内,水芹菜生长良好,尤其是在1月上、中旬当地气温早晚降至0℃以下,表面水体结薄冰的条件下,水芹菜依然保持了生存状态.至试验结束时其株高、质量都有不同程度的增加.根系发达,须根分枝和根毛多,而且能分蘖更多的水芹菜茎秆,说明水芹菜在动态水流的重污染河水中能正常生长.

2.2 水质净化效果

2.2.1 氨氮的去除效果

如图2(a)所示,NH₃-N的进水和出水质量浓度表现出一定的一致性,进水质量浓度高,出水质量浓度也相应偏高.

第1阶段在平均水温12.0℃的条件下,NH₃-N的平均去除率为16.64%;第2阶段平均水温为4.4℃,NH₃-N的平均去除率为14.14%;第3阶段平均水温为12.4℃,NH₃-N的去除率为23.13%.可见NH₃-N的去除率与水温的变化正相关,其原因是硝化菌活性受温度的影响显著.第3阶段平均水温与第1阶段基本相同,但是NH₃-N的平均去除率却明显高于第1阶段,这是因为经过长时间的运行,水芹菜的水下根系发达,为硝化细菌提供了良好的栖息位点.气温回升后,硝化作用恢复并超过了试验运行初期.

2.2.2 总氮的去除效果

TN的去除效果见图2(b).第1阶段平均水温为12.0℃,TN的平均去除率为20.17%;第2阶段平均水温为4.4℃,TN的平均去除率为12.24%;第3阶段平均水温为12.4℃,TN的去除率为22.78%.可见TN的去除率与水温的变化正相关且与NH₃-N的去除效果基本相似.

2.2.3 总磷的去除效果

如图2(c)所示,TP的出水质量浓度随进水质量浓度的变化而变化,出水TP质量浓度都在0.3 mg/L以下,说明在该试验条件下水芹菜浮床种植技术具有一定的抵抗TP负荷冲击能力.

在平均水温分别为12.0℃、4.4℃、12.4℃的3个阶段,总磷的平均去除率依次为54.69%、37.44%、

表1 试验河水污染物质量浓度

Table 1 Pollutant concentration of tested river water					
$\rho(\text{DO})$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{TN})$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{TP})$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{Chl-a})$ ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)
0.1~2.5	7.1~10.0	4.8~8.6	0.29~0.73	7.6~13.4	18.3~80.1

表2 供试植物在供试水体中的生长情况

Table 2 Growth complexion of tested plant in tested water				
指标	株高/cm	根系长/cm	质量/kg	分蘖数
初始	10.2	7.3	1.5	1.0
结束	46.5	32.5	13.7	14.5

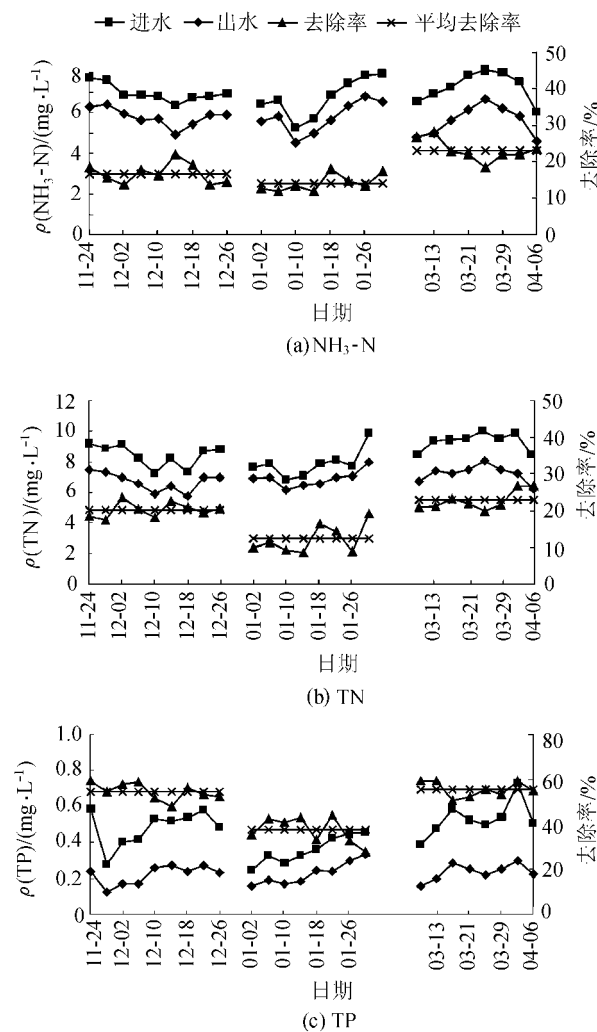


图 2 各污染物的去除效果

Fig.2 Removal effect of each pollutant

的不同相差很大(分别为 61.86 mg/m^3 , 31.65 mg/m^3 , 83.50 mg/m^3),而动态试验中对藻类的平均去除率分别为 57.61% 55.67% 58.46% ,说明水芹菜浮床对藻类的抑制作用稳定并且效果良好.

2.3 去除负荷与原水质量浓度之间的关系

去除率反映的是进出水质量浓度的变化程度,而去除负荷则反映了污染物总量的去除能力及土地的面积利用率.在水力负荷为 $0.5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 的试验条件下,原水质量浓度与其对应的去除负荷之间的关系见图 4.可见在本试验条件下,TN,TP 的去除负荷均随原水质量浓度的增加而线性增加,即水芹菜对重污染水体的净化效果具有原水质量浓度越高去除负荷越大的特点.因此,水芹菜浮床种植技术适合处理污染较严重,N,P 浓度较高的水体.

2.4 环境效益和经济效益分析

在冬-春季节利用浮床技术种植水芹菜,净化重污染水体,在取得良好的环境效益的同时也能带来一定的经济效益.3 个阶段 TN,TP 的去除负荷如表 3 所示.TN 平均去除负荷值为

55.62% ,可见水芹菜在动态水流条件下对 TP 的去除率明显高于 $\text{NH}_3\text{-N}$ 及 TN.其原因是植物对溶解性磷的吸收作用以及颗粒物的沉降作用都比较显著.第 2 阶段水温较低,总磷的去除率都在 37% 左右.去除率降低的原因有 2 个:一是植物处于休眠状态,对磷的吸收能力减弱;二是低温时水的黏度增大,悬浮物沉降速率降低,不利于颗粒结合态磷的去除.

2.2.4 对藻类的抑制作用

叶绿素是藻类重要的组成成分之一,所有的藻类都含有叶绿素 a(*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,为水生生态系统测定中必选项目之一.水体中 *Chl-a* 的含量能够在一定程度上反映水质状况;同时考虑到藻类计数法在藻类含量较低时测量误差较大,而该试验时间为冬-春季非藻类高发期,因此测定的 *Chl-a* 含量可以间接表征水体中的藻类含量.

如图 3 所示 3 个阶段平均 *Chl-a* 质量浓度由于水温

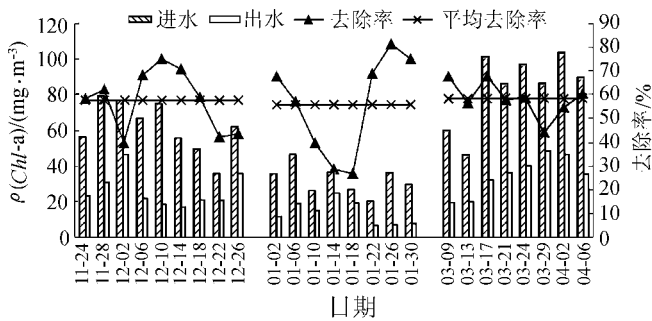


图 3 对藻类的抑制作用

Fig.3 Inhibition on algae

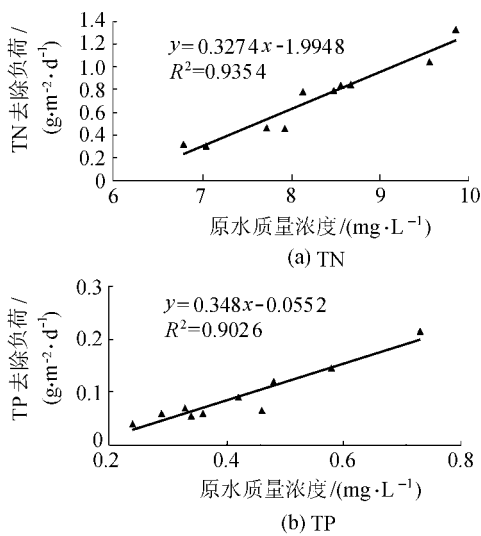


图 4 营养盐去除负荷与原水质量浓度的关系

Fig.4 Relationship between inflow concentration and removal rate of nutritive salt

0.802 g/(m²·d),TN 平均去除负荷值为 0.113 g/(m²·d).如果种植 1 hm² 水芹,从 11 月至次年 4 月的半年内,可去除重污染水体中的氮 1 459.65 kg、磷 205.65 kg,可见环境效益明显.试验期间收获水芹菜可食部分鲜重 5.8 kg,平均产量 110 481 kg/hm².若以 1 元/kg 的价格计,则经济效益达 7 365.4 元.

3 结 语

- a. 在动态水流的重污染河水中 种植在浮床上的水芹菜在冬-春季节能够很好地生长,可以与水蕹菜、美人蕉等喜温植物实现浮床植物整年的季节性衔接.
- b. 在水力负荷为 0.5 m³/(m²·d)时,水芹菜浮床对重污染河水中 NH₃-N,TN,TP 的去除率与水温正相关,TN 的平均去除负荷值为 0.802 g/(m²·d),TP 的平均去除负荷值为 0.113 g/(m²·d)对藻类的抑制作用较为稳定,平均抑制率为 57.25%.
- c. TN,TP 的去除负荷均随原水质量浓度的增加而增大,水芹菜浮床种植技术适合处理污染较为严重、营养盐浓度较高的水体.
- d. 利用水芹菜浮床种植技术净化重污染河水,不但可以产生显著的环境效益,同时还具有一定的经济效益.

参考文献:

[1] BACHAND P A M,HOME A J. Denitrification in constructed free-water surface wetlands: II. Effects of vegetation and temperature[J]. Ecol Eng, 2000, 14(1):17-32.

[2] 宋海亮,吕锡武,李先宁,等.水生植物滤床处理微污染水源水[J].中国给水排水,2004,20(11):6-9.

[3] 刘淑媛,任长久,由文辉.利用人工基质无土栽培经济植物净化富营养化水体的研究[J].北京大学学报:自然科学版,1999,35(4):518-522.

[4] 邴旭文,陈家长.浮床无土栽培植物控制池塘富营养化水质[J].湛江海洋大学学报,2001,21(3):30-33.

[5] 戴全裕,张珩,戴玉兰,等.丝瓜对食品废水的净化功能及经济效益[J].城市生态与环境,1994,7(4):7-12.

[6] 戴全裕,蔡述伟,张秀英.水芹菜对黄金废水的净化与富集作用研究[J].应用生态学报,1998,9(1):107-109.

[7] 程树培,丁树荣,胡忠明.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.

[8] 宋祥甫,邹国燕,吴伟明,等.浮床水稻对富营养化水体中氮、磷的去除效果及规律研究[J].环境科学学报,1998,18(5):489-494.

[9] 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.

Dynamic pilot study on purification of heavily polluted river water with floating bed technology in winter-spring

YAN Yi-xin¹, CAO Jia-shun², LI Yu-ru²

(1. Academy of Science and Technology, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. College of Environmental Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract A dynamic pilot study on purification of heavily polluted river water by planting *Oenanthe javanica* with floating bed technology was performed. Some conclusions were drawn: *Oenanthe javanica* grew normally when TN and TP concentrations in raw water were 7.05-9.99 mg/L and 0.29-0.73 mg/L respectively; with the hydraulic load being 0.5 m³/(m²·d), the removal rates of NH₃-N, TP, and TN from heavily polluted river water by *Oenanthe javanica* floating bed were positively related to water temperature, and it inhibited the growth of algae stably; the mean removal rate of nutritive salt increased with the concentration of raw water. As a result, *Oenanthe javanica* is an economical and effective biological material for purification of heavily polluted river courses in winter-spring.

Key words floating bed; *Oenanthe javanica*; river course simulation; hydraulic load; effect of purification

表3 营养盐的去除负荷

Table 3 Removal rates of nutritive salt

阶段	去除负荷/(g·m ⁻² ·d ⁻¹)	
	TN	TP
第1阶段	0.845	0.130
第2阶段	0.495	0.065
第3阶段	1.065	0.145