

## 原位围隔耐寒高羊茅浮床对苏州重污染河道水体的净化\*

杨婷婷, 操家顺, 周 勇, 周 凌

(河海大学环境科学与工程学院, 南京 210098)

**摘 要:**过去采用美人蕉等浮床来净化水质报道较多,而采用原位围隔高羊茅草坪浮床来净化重污染河道水体,目前尚未见有报道.本文研究了不同高羊茅草坪浮床覆盖率对冬季重污染河道水体的净化能力,以期确定其最佳覆盖密度.试验结果表明,高羊茅浮床对富营养化水体中的氮、磷、COD等均具有极强的去除能力,并能有效提高水体透明度.这为冬季重污染河道水体水质改善的示范工程提供了可靠的科学依据.

**关键词:**浮床;高羊茅草坪;重污染水体;水质净化

### Purification effect of cold-tolerant *Festuca arudinaces* in heavy polluted river, Suzhou

YANG Tingting, CAO Jiashun, ZHOU Yong & ZHOU Ling

(College of Environmental Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, P. R. China)

**Abstract:** *Canna generalis* was often used to purify polluted river by floating bed, while the floating bed of *Festuca arudinaces* was less used. The purification of seriously polluted river in winter by *Festuca arudinaces* of different floating-bed coverage rates was carried out to find the best coverage rates in heavy polluted river, Suzhou City. The results showed that *Festuca arudinaces* had a high ability to remove nitrogen, phosphorus and COD in eutrophicated water, and the water clarity (SD) was raised effectively. Future engineering for improving water quality of heavy polluted river in winter would be favorable through the use of floating bed of *Festuca arudinaces*.

**Keywords:** Floating bed; *Festuca arudinaces*; heavy polluted water; purification effect

植物浮床技术近年来已成为治理富营养化水体的热门技术之一<sup>[1-7]</sup>,主要是利用植物根系的吸收和吸附作用来净化污染水体<sup>[8-11]</sup>.针对苏州南园水系污染负荷重,悬浮物中的有机物含量高,水体交换频繁、水位变化大等特点,在南园河示范区内进行了原位围隔不同覆盖率浮床高羊茅草坪净化重污染水体的试验,旨在探索冬季高羊茅草坪在不同的覆盖率条件下对水质的净化效果.

根据调查,苏州城市河道属于劣V类水体,其中TN达7–12 mg/L,TP 0.5–1.0 mg/L.不仅严重黑臭、缺氧,而且SD仅为20–30 cm,沉水植物绝迹.

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

试验前将美国进口的耐寒高羊茅(*Festuca arudinaces*)草坪在河水中预先培养30 d.试验时的植物株高平均为30 cm、根系长7 cm.试验水源为苏州市南园河重污染水体,其中TN达10 mg/L以上,TP 0.5 mg/L以上,有机污染指数大于8.04,水体透明度45 cm左右,黑臭现象严重,属劣V类水体.

### 1.2 原位围隔装置

水质净化示范区南园河宽40 m,长280 m,平均水深1.5 m.以规格为Φ100 mm的UPVC管作为框架,用透水率为1‰的坚固防水布原位围隔6个试验区,其规格为长×宽×底=4 m×2 m×1 m的试验装置,其中

\* 国家“十五”重大科技专项“863”计划资助项目(2003AA601070)资助.2006–10–09收稿;2007–04–01收修改稿.杨婷婷,女,1981年生,硕士研究生;E-mail: ytingting1881@163.com.

设立一个空白对照区. 高羊茅浮床覆盖率分别为 10%、20%、30%、40% 和 50%, 其相应编号为 1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>、3<sup>#</sup>、4<sup>#</sup> 和 5<sup>#</sup>. 在试验期内均有专人昼夜看管和打捞浮萍、杂物, 以排除干扰(图 1).

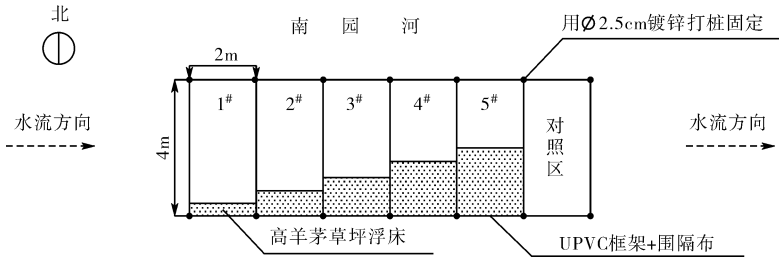


图 1 原位围隔试验装置平面图

Fig. 1 Plane figure of *in situ* inclosure experiment apparatus

### 1.3 方法

正式试验时用水泵向每个围隔各放注入现场河水 8 m<sup>3</sup>. 将预培养的高羊茅草皮铺种在空心毛竹架上, 并在其下垫厚度为 5 cm 的聚苯乙烯泡沫板以增加浮力. 每 5 d 测定一次各围隔内水体的水质指标, 以及气温、水温等, 试验时间从 2005 年 11 月 18 日开始, 到 12 月 13 日止, 为期 25 d.

测定的项目有: 气温、水温、TN、TP、COD、叶绿素、透明度等, 以及植物的生长状况. 其中 TN 的测定采用过硫酸钾氧化, 紫外分光光度法; TP 采用钼锑抗分光光度法; COD 采用重铬酸钾氧化法<sup>[12]</sup>; 透明度采用塞氏黑白盘法测定.

## 2 结果与分析

### 2.1 不同覆盖率的高羊茅草坪浮床对水体中 TN 的去除效果

高羊茅草坪浮床有很强的去除重污水中 TN 的能力, 且具有先快后慢的净化趋势. 图 2a 显示, 对 TN 的去除率在 5d 内已经有了显著下降, 覆盖率为 10% - 50% 的围隔区水体总氮浓度分别减少了 25.8%、21.0%、30.2%、25.2% 和 28.0%. 在试验结束时, 其去除率基本达到稳定, 分别为 45.1%、44.4%、58.8%、62.0% 和 65.2%; 而对照处理区水体中总氮浓度的下降率仅为 9.9%. 本试验在河道现场进行, 如果能排除天气等干扰因素影响的话, 去除效果则会更加理想.

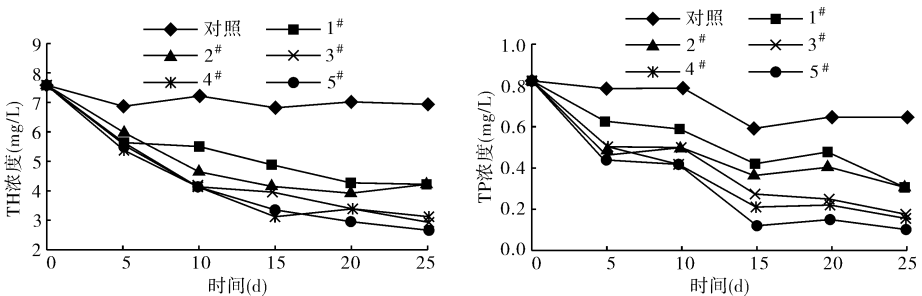


图 2 浮床试验区 TN(a), TP(b) 变化情况

Fig. 2 The changes of TN(a) and TP(b) in floating bed experiment area

### 2.2 不同覆盖率的高羊茅草坪浮床对水体 TP 的去除效果

试验结束时各个原位围隔试验区内的总磷都显著降低, 其中覆盖率为 30% 和 40% 时的去除率分别为 78.9% 和 85.4%; 覆盖率为 50% 时去除效果最佳, 达 90.2%. 可见覆盖率在 30% 以上时, 已经将磷降低到较

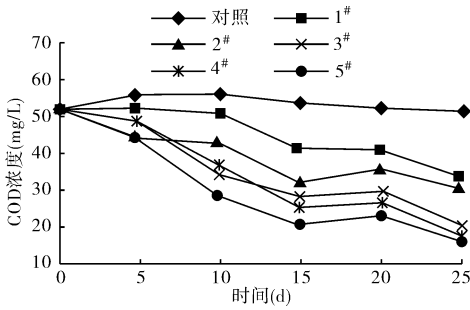


图3 浮床试验区 COD 变化情况

Fig. 3 The COD changes in floating bed experiment area

低水平. 其规律性基本上是先快后慢(图 2b). 虽然对照区的总磷也随着时间推移缓慢降低,但在整个过程中始终高于其他各个试验区.

### 2.3 不同覆盖率的高羊茅草坪浮床对水体 COD 的去除效果

由图 3 可知,不同覆盖率的高羊茅草坪浮床对污水中 COD 也有一定的去除效果. 在试验结束时 COD 的去除效率已趋于稳定,分别为:1#, 35.9%;2#, 41.1%;3#, 60.5%;4#, 66.4%;5#, 68.5%. 由此可见,在覆盖率为 30% 以上时, COD 的去除率增加并不明显,当覆盖率在 30% 左右时的去除效果已经较好. 而对照组中的 COD 增高则是由于围隔中无高羊茅草坪覆盖导致藻类繁殖,这说明高羊茅草坪浮床对 COD 和藻类有明显的抑制作用.

### 2.4 不同覆盖率的高羊茅草坪浮床对其他水质指标的影响

高羊茅草坪能够有效的提高重污染水体的透明度(表 1),且试验开始 5d 后透明度就明显地提高,见效快,在试验结束时浮床草坪覆盖率为 40% 和 50% 的围隔区水体已澄清见底(因试验装置所限,100 cm 时已见底). 一方面是由于植物根系对悬浮物的吸附作用;另一方面则是由于水面的浮床草坪降低了风速(围隔效应),减少了沉淀物质再次悬浮的机率,从而较快的提高水体透明度. 这说明 SD 的迅速提高是由于原位围隔效应和高羊茅草坪的共同作用所致.

表 1 不同覆盖率的高羊茅草坪浮床对透明度的改善效果

Tab. 1 Improvement effects of different *festuca arudinaces* floating-bed coverage rates to transparency

覆盖率(%)	10	20	30	40	50	对照
起始值(cm)	45	45	45	45	45	45
最终值(cm)	62	70	85	见底(>100)	见底(>100)	54

叶绿素 a 在试验 5d 时就有了明显的下降(表 2),1# - 5# 围隔区内水体叶绿素 a 含量分别下降了原来的 42.7%、60.6%、72.6%、83.8% 和 81.3%,而对照区水体仅下降了原来的 32.3%. 之后有所回升最后又下降,主要是试验后期受水温的突然变化等因素的影响所导致. 从整体效果来看,浮床草坪覆盖率在 30% 时即能较好的起到抑制藻类的作用.

表 2 不同覆盖率高羊茅草坪浮床试验区中叶绿素 a (mg/m<sup>3</sup>) 的变化情况Tab. 2 Chl. a changes (mg/m<sup>3</sup>) in experiment areas with different *festuca arudinaces* floating-bed coverage rates

试验时间(d)	0	5	10	15	20	25
对照	19.36	13.10	15.70	17.60	20.41	16.48
浮床 1#	19.36	11.11	12.41	11.83	15.79	12.69
浮床 2#	19.36	7.62	11.60	10.40	15.16	11.51
浮床 3#	19.36	8.31	11.82	10.51	13.52	12.25
浮床 4#	19.36	3.14	7.34	10.00	12.64	10.56
浮床 5#	19.36	3.62	5.34	9.00	11.01	9.26

### 2.5 高羊茅草坪在重污染水体中的生长状况

高羊茅草坪的初始植株高度平均为 30 cm,根系长 7 cm. 在重污染水体中生长 25d 之后,植株高度增长为 50 cm,根系长 15 cm,并长出许多新根,鲜重也显著提高(表 3). 本研究开始时已处于低温的冬季,而高羊

茅的植株高度、根系长度及鲜重等都有较大程度增加,可见其在重污染水体中不仅能够正常生长,而且优于在陆上种植.

表3 起始-最终试验生物量变化  
Tab.3 Initiative and final experimental biomass changes

覆盖率(%)	10	20	30	40	50
起始鲜重(kg)	4.59	9.17	13.76	18.35	22.93
最终鲜重(kg)	12.76	24.75	34.40	47.74	59.20

### 3 结语

(1)高羊茅草坪浮床对水质有极强的净化功能,在本试验条件中,其覆盖率仅30%左右时,对TN、TP、COD及Chla的去除率就分别达到58.8%、78.9%、60.5%和72.6%,同时还能迅速提高SD.

(2)在苏州古城区重污染河道试验区内进行原位围隔8 m<sup>3</sup>装置,其初始生物量分别仅有4.59 kg、9.17 kg、13.76 kg、18.35 kg和22.93 kg,能得到如此理想的效果,其实用价值比室内小试的意义更大.并且已经将成果在示范区内进行实际应用,效果显著.

(3)高羊茅是我国由美国引进的耐寒且四季常绿的多年生陆生草坪植物,用它来净化重污染水体,不仅可以做到规模化和资源化、不易产生二次污染,而且四季常绿,与陆上景观相协调.从而为类似地区水污染的治理创造了技术方法,在科学上也具有重要意义.

### 4 参考文献

- [1] 戴全裕,蔡述伟,张秀英等.多花黑麦草对黄金废水净化与富集的研究.环境科学学报,1998,18(5):553-556.
- [2] 李欲如,操家顺,徐峰等.水蕹菜对苏州重污染水体净化功能的研究.环境污染与防治,2006,28(1):69-71.
- [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.环境污染与防治,2005,27(7):505-507.
- [4] 宋祥甫,邹国燕等.浮床水稻对富营养化水体中氮、磷的去除效果及规律研究.环境科学学报,1998,18(5):489-494.
- [5] 朱斌,陈飞星等.利用水生植物净化富营养化水体的研究进展.上海环境科学,2002,21(9):564-567,576.
- [6] 童昌华,杨肖娥,濮培民等.富营养化水体的水生植物净化试验研究.应用生态学报,2004,15(8):1447-1450.
- [7] Selma C Ayaz, Lütfi Akca. Treatment of wastewater by natural systems. *Environment International*, 2001, 26:189-195.
- [8] 戴全裕,蒋兴昌,汪耀斌等.太湖入湖河道污染物控制生态工程模拟研究.应用生态学报,1995,6(2):201-205.
- [9] Lazarova V, Manem J. An innovative process for waste water treatment: the circulating floating bed reactor. *Wat Sci Tech*, 1996,34(9):89-99.
- [10] 王剑虹,麻密.植物修复的生物学机制.植物学通报,2000,17(6):504-512.
- [11] 种云霄,胡洪营,钱易等.大型水生植物在水污染治理中的应用研究进展.环境污染治理技术与设备,2003,4(2):36-40.
- [12] 国家环境保护总局.水和废水监测分析方法(第四版).北京:中国环境科学出版社,1998:45-251.